

外国為替市場における創発的現象: 人工市場アプローチによる解析

和泉 潔

電子技術総合研究所 情報科学部
〒 305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-4
Phone: 0298-54-5756
E-mail: kiyoshi@etl.go.jp

植田 一博

東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻
〒 153-8902 東京都目黒区駒場 3-8-1
Phone: 03-5454-6675
E-mail: ueda@taikan.c.u-tokyo.ac.jp

あらまし

本研究は人工市場アプローチという新しいエージェントベースの外国為替市場研究のアプローチを提唱した。本アプローチにより既存の理論ではうまく説明できなかった現実の市場で見られるいくつかの創発的現象を説明することができた。本アプローチは実際の市場のフィールドワーク、マルチエージェントモデルの構築、市場のコンピュータシミュレーションから成り立っている。シミュレーションの結果より創発的現象は予想の多様性の相転移という概念で説明できることが分かった。本アプローチはフィールドワークとマルチエージェントモデルを統合し、市場のマイクロ-マクロの関係を定量的に説明することができた。

キーワード 複雑系, 創発的現象, 人工市場アプローチ, マルチエージェント モデル

Emergent Phenomena in Markets: Analysis Based on an Artificial Market Approach

Kiyoshi IZUMI

and

Kazuhiro UEDA

Information Science Div., ETL
1-1-4 Umezono, Tsukuba
Ibaraki 305-8568, JAPAN.
Phone: +81 298 54 5756
E-mail: kiyoshi@etl.go.jp

Dept. of General Systems Studies
University of Tokyo
3-8-1 Komaba, Meguro-ku
Tokyo 153-8902, JAPAN
Phone: +81 3 5454 6675
E-mail: ueda@taikan.c.u-tokyo.ac.jp

Abstract In this study, an artificial market approach, which is a new agent-based approach to investigate foreign exchange markets, is proposed. Using this approach, three emergent phenomena of markets were explained. First, in order to investigate the learning patterns of actual dealers, we held an interview with a dealer. Second, based on the field data acquired, we constructed a multiagent model of a market using genetic algorithms. Finally, the emergent phenomena of markets were analyzed using the simulation results of the model. The results showed that the interaction between the agents' forecasts and the relationship of demand and supply caused the phase transition of forecast variety. The three emergent phenomena were explained by the phase transition. This approach, therefore, integrates the fieldwork and the multiagent model, and provide quantitative explanation of the micro-macro relation in markets.

key words complex systems, emergent phenomena, artificial market approach, multiagent model

1 はじめに

社会科学共通の理論的な問題として、社会システムにおけるマイクロレベルとマクロレベルのシステムの関係、つまりマイクロ-マクロ問題が注目を集めている。しかしながら、外為市場の研究においては、市場参加者の意思決定を扱ったマイクロなレベルでの研究と、レート決定を対象にしたマクロな研究とは乖離してしまっている。マイクロとマクロを統合する新しい試みとして、経済的な市場のマルチエージェントモデルの研究がある [1, 2]。しかし、既存のモデルでは、市場参加者である各エージェントは、市場がある条件を満たしたらこのような売買行動を取れといったインプットとアウトプットが直結した単純なルールの集合として表現されていた。そのため、モデルにおける各エージェントの学習を、現実の人間たちが行っている社会的な状況における学習と比較検討することができない。また、現実の市場で実際に起こった様々な創発的な現象を、現実の経済的な構造などを反映した実データを使用して定量的に解析することもできない。これらの問題を乗り越える方法として、各エージェントに、市場条件というインプットを処理して現在の市場の状態を認識し、その認識を基に将来の市場の状態を予想し、自らの持つ目標を達成できるようにアウトプットである売買行動を決定する機構を持たせる手法が考えられる。このように、インプットとアウトプットの間に、状態の認識・予想の形成・意思決定など、各エージェントが内部で行っている情報処理過程を、本稿では、エージェントの認知機構と呼ぶ。

本稿の目的は、上述の課題に対する解答への取り組みとして、各エージェントに認知機構を導入した、人工市場アプローチと呼ばれる新しいアプローチを提唱することである。

2 人工市場アプローチの枠組

人工市場アプローチでは、現場観察による市場参加者各個人の情報処理過程の解析、認知機構をもつエージェントからなるコンピュータの中での仮想的な市場モデルの構築、モデルを使った計算機シミュレーションによるマクロなレベルでの為替レートのダイナミクスの解明といった3つのステップから、マイクロ-マクロ関係の解明を試みている。

人工市場アプローチを既存の外為市場モデルと比

較した時の一番の利点は、マイクロな学習や行動のルールからマクロな創発的現象を、実データを用いたシミュレーションにより定量的に説明できることである。そして、本アプローチにおいて構築されたモデルはマイクロとマクロの両方のレベルでの検証を行うことができる。つまり、モデルの計算機シミュレーションの結果を、現実の市場参加者個人の意思決定のダイナミクスについてのマイクロレベルの解析、ならびに為替レートに関する創発的現象のマクロレベルの解析の両方に用いることができる。

このようにマイクロ-マクロ問題の定量的な解析を行なうために、本アプローチの市場のモデルでは、従来の外為市場のマルチエージェントモデルと異なり、各エージェントが認知機構を持っていると仮定する。これにより、実際の市場における市場参加者の情報処理過程に関するデータをモデル内のエージェントと対応させながら、モデルの構築や評価を行うことが可能になった。マイクロ-マクロ問題の定量的な解析のもう一つの必要条件として、モデルの計算機シミュレーションにおいて、金利などの経済の基礎的な要因に関する実データも入力情報として扱っている。そのため、現実のレート変動の定量的なシミュレーションが可能となった。

3 個人の情報処理過程の解析

まず、現実の為替市場における予想方式の学習の方法と方略を調べるために、実際の外為ディーラーにインタビューを行なった。インタビューは外資系銀行の資金為替部のチーフディーラーであり、普段は主にデイリーかそれ以下の短期のトレーディングを自分でも行なっている上に、週次や月次といった中期や長期の為替予想もしている。

3.1 インタビュー方法

インタビューは、1994年1月から1995年11月(インタビュー当時)までの約2年間のレートの動きに関して、以下の手順にしたがって実施した。

まず、上記の約2年間を、当時インタビューが為替市場の状態をどのように認識していたかに基づいて、自由に期間分割をしてもらった。次に、それぞれの期間において当時どのような予想材料を重視してレートを予測していたか解説してもらい、用いた予

想材料を重要度の順に挙げてもらった。特に期間によって予想材料の種類や重要度が変化した場合には、その変化の原因について思い出せる限り、説明してもらった。

3.2 インタビュー結果と考察

3.2.1 期間分割の認識

1994年1月から1995年11月までの為替レートの動きを当時のディーラーの為替市場の状態の認識から期間分割してもらった結果、ほぼレートの動きのトレンドにしたがって、9つの期間に分ける事ができた。

3.2.2 予想材料の変化

それぞれの期間に関して、当時の予想とそこで用いた予想材料について聞いた。その結果、ディーラーは期間によって、予想材料の組合せや重要度を大きく変化させていた。予想材料に対する見方の変化のメカニズムに関して以下の特徴が見られた。

コンセンサスによる予想方式の修正: 各市場参加者の持つ予想材料の重要度は、その予想材料の値自体だけから決定されるわけではなく、市場のコンセンサスという他の多くの市場参加者の意見に追従する要素によっても決定されていることが分かった。こうした追従によって、各時期である予想材料が市場のコンセンサスとして流行し、多くの市場参加者に重視されるということが起こっていた。

失敗による学習: 自分の予想したレートと実際のレートの動きが大きくかけ離れたことが、予想方式を変化させるきっかけとなることがあった。つまり、不正確な予想をした予想方式は学習によって変化を強いられた。

コミュニケーション: インタビューは予想方式を変更する際に他のディーラーとのコミュニケーションを参考にしていたと語っていた。このようなコンセンサスが移り変わる時点は、特にロイタース等のニュースを参考にしたり、実際に他のディーラーと電話などで話す事により、市場のコンセンサスを探っていた。

3.2.3 結果の考察: 遺伝とのアナロジー

以上のように、実際の市場参加者たちは予想材料の重要度を変化させる時に、常に他の市場参加者の考え方を考慮した。つまり、市場のコンセンサスに合わせ

ようとしていた。このようなマイクロなレベルの適応行動が集積して、様々な市場のコンセンサスが市場全体で時間とともに流行したり消えていったりする様子は、生物学における遺伝とのアナロジーにおいて対比させると分かりやすい。

各市場参加者が持つ予想方式を一つの生物個体に例えると、各予想方式による予想の正確さは各生物個体の持つ適合度と見なすことができる。予想の正確な予想方式が市場のコンセンサスとして流行していくことは、適合度の高い生物個体が生物集団の中でたくさんの子孫を残して繁殖していくことに類似している。予想の不正確な予想方式が学習により変更されて市場全体から消えていくことは、適合度の低い生物個体が生物集団から死滅していくことに似ている。また、前節で述べたように、複数の市場参加者がコミュニケーションにより予想材料に対する意見を交換し合い、その意見交換の結果予想方式を変えていくことは、生物の交叉という遺伝オペレータに類似している。そして、各市場参加者が独自に新しい予想方式を考えて試していくことは、生物の突然変異と類似している。

このように現実の外為市場における予想方式の流行の移り変わりは、生物の遺伝と良く似ている。本稿におけるマルチエージェントモデルは、上記のような市場参加者の適応行動を、遺伝的アルゴリズム(以下GA)を用いて、生物の遺伝とのアナロジーから記述している。次節でモデルの全体像を紹介する。

4 マルチエージェントモデルに基づく人工市場の構築

本稿では、人工市場アプローチの一つのケーススタディとして、GAを用いて、前節での考察を反映した外国為替市場のマルチエージェントモデル(AGEDASI TOF¹)を構築した。

AGEDASI TOFは100人の仮想的なディーラーからなるコンピュータ上の人工的な市場である(図1)。本モデルにおける仮想的なディーラーは一つのコンピュータプログラムであり、以下エージェントと呼ぶ。モデルの一期間を現実の市場の一週間に対応させ、各期間は知覚・予想形成・戦略決定・レート決定・学

¹A Genetic-algorithmic Double Auction Simulation in Tokyo Foreign exchange market.

習の5つのステップよりなる²。

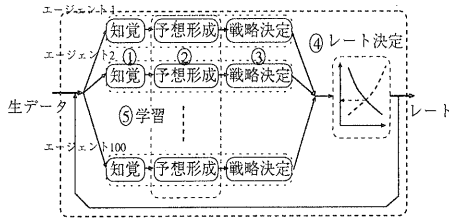


図1: モデルの枠組み

4.1 知覚ステップ

各期の最初に各エージェントは、今期が始まる前までに入ってきた様々な情報や生データから、為替レートに影響を与えると思われる材料を知覚する。今回の研究では全てのエージェントの知覚は同じであると仮定し、我々がコーディングした予想材料データを代入した。予想材料データは17種類³であり、それらはファンダメンタルズ材料とトレンド材料の二つに分けられる。ファンダメンタルズ材料は、経済指標や政治的なニュースなど14種類の材料について相場解説記事から変化の度合に応じて-3~+3の7段階にコーディングした値⁴を、トレンド材料は為替レートのチャートから長期と短期のトレンドを計算した値を代入した。

4.2 予想形成ステップ

各エージェントは知覚された材料をもとに、自分自身が認知している現在の市場の構造に従って、将来の為替レートの変動のシナリオを作成し、これから決定される今期のレートを予想する。各エージェントは自分独自の現在の市場観を持っており、それは17種類の予想材料に対する重要度⁵で表される。例えば、今期に知覚した予想材料が(金利: +2, 貿易収支: -1, 株: -3, 短期トレンド: +2)という値であったとして、あるエージェントが各予想材料に対して持つ重要度が(金利: +0.5, 貿易収支: -0.5, 株: +0.1, 短期レン

²各ステップにおける詳しい計算方法は[4, 5]を参考にしている。

³1. 景気, 2. 物価, 3. 金利, 4. マネーサプライ, 5. 貿易収支, 6. 雇用, 7. 個人消費, 8. 介入, 9. 要人発言, 10. マルク, 11. 石油, 12. 政情, 13. 株, 14. 債券, 15. 短期トレンド(先週の変動), 16. 短期トレンド(変動の変動), 17. 長期トレンド(5週間の変動)。

⁴正の値は日本の景気上昇など経済学のオズドックスな理論では円高要因となる情報を表し、負の値は円安要因の情報を表す。

⁵{±3, ±1, ±0.5, ±0.1, 0}の9段階の値。

ド: +3.0)であるとする。このエージェントは予想材料に自分の重要度を掛け合わせた値+7.0にスケール係数0.02を掛けた値+0.14だけ、今期のレートは対数値で上がると予想する。つまり前期のレートの対数値が $\log(125 \text{ 円}) = 4.82$ だったとすると、今期のレートは $4.82 + 0.14 = 4.96 = \log(143 \text{ 円})$ に上がると予想する。そして、この予想の確信度を表す予想分散は円高の要因(予想材料と重要度の積が正であるもの)の和と円安の要因(予想材料と重要度の積が負であるもの)の和の差から計算され、どちらかの要因に片寄っていれば分散は小さく(確信が強く)、両方の要因が均等であれば分散が大きく(確信が弱く)なる。

4.3 戦略決定ステップ

各エージェントが自分自身の予想を用いて、レートがいくらなら円やドルの資本をどれくらい売り買いするかを決定する。最適化の計算により期待収益を最大にするドル資産の保有高は、予想された変動値を予想分散で割ったものに比例する。つまり、上がると予想したらドル資産を増やし、下がると予想したら減らす。そしてその量は予想の確信に比例する。各エージェントの売買戦略は、もし最適なドル保有高が前期までの保有高よりも大きい(小さい)とき、市場のレートが自分が予想したレートよりも安くて(高く)有利な場合には、その差の分だけのドルを買って(売って)、ドル保有高を増やして(減らして)最適値に近づけるようにする。

4.4 レート決定ステップ

100個のエージェントの売買戦略を市場全体で集積して、需要と供給が均衡するような値にモデルの今期のレートが決定される。こうして決定されたレートよりも高い(低い)レートで注文した買い手(売り手)は実際に売買の契約ができる最適なドル保有高にすることができるが、それ以外のエージェントは売買の契約ができずに前期の保有高のままである。

4.5 学習ステップ

各エージェントは、表??の17種類の材料に対する自分なりの重要度の組み合わせ(以下、予想方式)について、生物の遺伝とのアナロジーを基にGA⁶にお

⁶遺伝的アルゴリズムの操作は[3]をもとにした。

ける淘汰・交叉・突然変異の3つのオペレータによって学習を行う。

まず、淘汰であるが、各エージェントは市場レートと自分の予想を比較し、予想が外れたエージェントは、予想がうまくいった他のエージェントの重要度を真似る。具体的には、予想形成ステップで行なった予想とレート決定ステップで決定された実際のレートの差から、各エージェントの持つ予想方式の適合度を計算し、適合度に比例した確率で次期に残ったり他の予想方式に入れ替わったりする。つまり、各エージェントは自分の持つ予想方式の予想が正確で適合度が高ければそのまま変更せず、予想が不正確で適合度の低かった場合には、高い確率で他のエージェントが持つ適合度の高い予想方式に入れ替える。こうして、生物学の淘汰のように、適合度に応じて様々な予想方式の市場全体での頻度が変わる。

次に交叉は、適合度に比例した確率で選ばれた一組のエージェントが、コミュニケーションを行って、自分の持っている予想方式の一部を交換することに対応する。具体的には17種類の予想材料に対する重要度を一列に並べて、そのうちのある場所をランダムに決めてそれより後ろにある重要度の列をお互いに交換する。こうして、新しい重要度の組み合わせが市場に出現していく。

最後に、突然変異はエージェントが独自に自分の予想方式を変えることとみなすことができる。各エージェントがある低い確率で自分の重要度のどれか一つの値を変更する。

このような学習の結果、各エージェントは新しい重要度の組み合わせ(予想方式)を持ち、次期の知覚ステップへと進んでいく。

5 市場の創発的現象の解明

本モデルの評価を行なうために、本節では、これまで為替レートの統計的な研究や実際のディーラーの書いた本などにおいてしばしば触れられていたが、既存の市場理論ではうまく説明することができなかった、以下の3つの創発的現象について、実データに基づいた計算機シミュレーションにより、ミクロとマクロの関係の観点から定量的に分析を行う。

取引高とレート変動の負の相関: レートが大きいく動くときには取引高が小さいと外為市場の現場では

良く言われている。

コントラリーオピニオン現象: 現場ではよく、ディーラーの意見が強く一致している時にはかえって皆の予想の方向に相場が動かないことがあると言われていいる。これはコントラリーオピニオン現象と呼ばれ、昔から相場の知恵として知られている。

レート変動の頻度分布: レート変動の頻度分布は、正規分布よりも有意にピークが尖って中心から外れた両端の裾が厚い分布であることが従来の統計的な研究で知られている。

5.1 シミュレーションの方法

本モデルの一つの予測パスは訓練期間と外挿期間と呼ばれる二つの期間よりなる。各期間ともに上記の5つのステップを一週間として、それを繰り返すが、訓練期間では現実の市場を手本とするような訓練が行われ、外挿期間では実際の市場とは独立した人工市場でレートの予測が行われる。訓練期間では、現実の世界における17種類の全てのデータを知覚ステップで入力する。各エージェントは予想形成を行うが、戦略決定とレート決定ステップは行わない。そして、学習ステップにおいて、各エージェントの予想した値と現実の市場でのレートの差を適応度として学習を行う。このようにして、訓練期間では各エージェントの重要度を現実のレートのダイナミクスを反映するように学習させる。これに対して外挿期間では、現実の世界からはファンダメンタルズ材料だけを用いて、人工市場の中で取り引きとレート決定をシミュレートする。知覚ステップにおける3つのトレンド材料及び学習ステップにおける適応度は、現実の市場ではなく人工市場で決定されたレートを用いて計算される。

市場の創発的現象の解析のために今回行った計算機シミュレーションでは、各予測パスにおいて訓練期間は92年から93年の104週間で、外挿期間は94年から95年の104週間であった。これらの期間を選んだのは、現実の市場において95年に非常に急激な円高のバブルがあったからである。この期間について本モデルを用いて100個の予測パスを作成した。

5.2 結果の概観: フラット相とバブル相

計算機シミュレーションの結果、100個の予測パスは二つのグループに分かれた。95年に急激な円高と円安(バブル)を持つバブルグループ(以下BG)と、

比較的平板にレートが推移するノンバブルグループ(以下 NBG)である⁷。現実のレートの動きと同じであった BG に含まれる予測バスのそれぞれについてさらに詳しくみていくと⁸、市場全体における円高と円安の予想の割合の特徴によって外挿期間を2つに分けることができた。

BG の典型的なバスの外挿期間において、100 個のエージェントのうち円高と円安の予想をした割合を調べた結果、94 年の3月から12月までは予想は半々にわかれていたが、95 年の1月から12月まではどちらか一方に収束していた。さらに詳しく見ると、前者の期間では、市場全体での予想分布は円高と円安が拮抗しており、その意味で多様な予想があった。そのため需要と供給の両方とも十分な量が市場にあり、取り引きが多い反面、レートの変動幅は小さかった。これに対して、後者の期間では、需給も一方に偏るので、取り引き高が少ないがレートの変動幅が大きかった。このように2つの期間は全く違った特徴を持っているので、それぞれを質的に異なる期間、つまり相と見なす。前者の期間ではレートはほぼ平らに動いていたのでフラット相と定義し、後者の期間ではバブルの発生と崩壊が見られたのでバブル相と定義する。

次節以降では、前述の3つの創発的現象を解析するために、なぜこのような相の質的变化がおこるのかに着目し分析を行う。

5.3 ミクロレベルの比較: 現実の行動データとモデルのシミュレーション

ミクロなレベルでのマルチエージェントモデルの妥当性の検証を行うため、実際のディーラーに質問紙調査やインタビューを行い、その結果とモデルのシミュレーション結果を比較した。

5.3.1 質問紙調査: 予想材料の分類の比較

質問紙調査の方法は以下の通りである。時期は1997年3月と7月である。これらの時期はそれぞれ、レートがそれまでの円安(円高)トレンドから円高(円安)トレンドへ変換した直後であった。対象は、銀行で日

⁷95 年の前半に、15%以上の大きなレートの下落があったバスを BG に、なかったバスを NBG に分類した。BG に含まれる予測バスは 25%、NBG は 75%であった。

⁸実際の市場で見られた創発的現象の解明を行うので、今後の解析は BG に対して行う。NBG を含めた解析は、[4]を参照してほしい。

常的に為替の取引を行っているディーラー 11 人である。質問内容は 24 種類の予想材料⁹に関して、以前、現在、そして今後に関する各々のトレンドの中で、各予想材料がトレンド決定に関してどれほど重要であるか 11 段階で評価してもらった。

質問紙調査と BG の予測バスの各々について、重要度の時間変化のパターンについて因子分析を行ない、予想材料を分類し比較した。因子分析を行った行列は全ての予想材料を列として、市場参加者たちが各時点で付与した重要度を並べたものである。その結果、計算機シミュレーションでは 6 個、質問紙調査では 8 個の因子が抽出できた¹⁰(表 1)。

予想材料より得られた各因子を検討すると、計算機シミュレーション及び質問紙調査の両方で、各因子は計量経済学系・ニュース系・トレンド系の3つのカテゴリに分類できた。計算機シミュレーションでは、第1因子は、国民所得や物価に注目する計量経済学のプライスマネタリー・アプローチで使われるデータが含まれ、第2因子は、金利差や経常収支に注目する計量経済学のポートフォリオ・バランス・アプローチで使われるデータが含まれていた。そのためこれらの因子は計量経済学系カテゴリに属する。第3因子と第4因子はキーパーソンの態度や政情などのデータが含まれていたのでニュース系カテゴリ、第5,6因子はそれぞれ短期と長期のトレンドデータで構成されているのでトレンド系カテゴリに属している。同様に、質問紙調査でも、第1から第4因子が計量経済学系に属し、第5から第7因子がニュース系、第8因子がトレンド系に分類された。各因子について詳しく見ると、因子を構成するデータの種類から、質問紙調査の第3,4,5因子がそれぞれ計算機シミュレーションの第1,2,4因子に対応していることが分かった。さらに、質問紙調査の第8因子は、計算機シミュレーションの第5,6因子を統合したものであった。このように、シミュレーションにおける各エージェントの予想材料のカテゴリは、実際の市場参加者と同様のカテゴリに集約されることが分かった。

⁹具体的には、1. 景気、2. 物価、3. 金利、4. マネーサプライ、5. 貿易収支、6. 雇用、7. 個人消費、8. 介入、9. マルク、10. 石油、11. 株、12. 債券、13. 短期トレンド、14. 長期トレンド、15. 日銀の姿勢、16. FRB の姿勢、17. 日本政府の姿勢、18. 米国政府の姿勢、19. 輸出業者の姿勢、20. 輸入業者の姿勢、21. 生命保険の姿勢、22. 証券会社の姿勢、23. 他銀行の姿勢、24. 米系ファンドの姿勢。

¹⁰累積説明率が 60%を越すところまで因子を抽出した。

表 1: 予想材料の分類の比較: 各因子に対して負荷量の大きかった二つのデータを示している。

計算機シミュレーション (累積説明率 67.0%)						
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6
1	景気	貿易収支	要人発言	介入	短期 Trend 1	長期 Trend
	-0.5256	0.4885	0.4970	-0.4132	0.5628	0.4938
2	物価	金利	雇用	政情	株価	株価
	0.5009	-0.3578	0.3719	0.3751	-0.4688	0.2283

質問紙調査 (累積説明率 60.7%)								
	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4	因子 5	因子 6	因子 7	因子 8
1	商品	株	マルク	貿易収支	FRB 態度	輸入業者	他銀行	短期 Trend
	0.8009	0.8867	0.7158	0.7162	0.8394	0.7085	0.6744	0.6915
2	通貨供給	債券	景気	個人消費	米政府	証券会社	外国投資家	長期 Trend
	0.7251	0.8800	0.6956	0.3181	0.7778	0.6920	0.6559	0.5129

5.3.2 インタビュー: 重要度の時間変化の比較

第 3 節のインタビュー結果と BG の予測パスにおけるエージェントの各予想材料に対する重要度の時間変化を、前節で分類した 3 つのカテゴリに分けて比較する。

計量経済学系の材料については、計算機シミュレーションでは、貿易収支データの重要度のみがバブル相の直前よりマイナスに大きく振れていることが分かった。インタビュー結果においても、バブルの成長期で貿易収支は重視されていた。貿易収支以外の計量経済学的な材料はインタビューでは重要な材料として触れられていなかったが、計算機シミュレーションでも、貿易収支以外の計量経済学系の予想材料の重要度は小さな絶対値の間で定常であり、市場全体ではこの時期大きな予想材料として扱われなかったことが分かる。ニュース系の材料に関しては、インタビューではバブルの時期で要人発言、介入、政治的要因が重要な材料として挙げられていたが、シミュレーションでも同様に発言、政情要因の予想材料に対する重要度が、バブル相の直前から絶対値が増大し、バブル相では、ほぼ全てのエージェントがそれらのデータに対し絶対値の大きな重要度を維持していた。トレンド系の予想材料について、インタビューイーは明示的に述べなかった。しかし、バブルの時期では市場の地合（強含み、弱含みなど）が重要であると強調していた。これがトレンド系の材料に当たると思われる。シミュレーションでは、バブル相の前半は短期、長期トレンドともに重要度が正で大きかった。

以上から、インタビューや質問紙調査から得られたディーラーの行動と、シミュレーション結果の間には、

対応関係があることが分かる。

5.4 相転移のメカニズム

計算機シミュレーションのデータと現実の行動データとの比較の結果を基に、フラット相とバブル相の間で転移が起きるメカニズムを説明する。

フラット相からバブル相への相転移: バブル相の直前から、貿易収支・要人発言・政情といった予想材料に関して多くのエージェントの意見が一致した。次に、意見の収束によって連続した円高のトレンドが生じて、市場の多くのエージェントは短期・長期トレンドの両方とも正の重要度を持つようになった。トレンド系の材料の重要度が正であるとは、各エージェントが最近のトレンドが将来にも継続すると予想することを意味する。このようなトレンドへの同調効果によるトレンドの再生産の循環、つまり、正のフィードバックによって、市場全体のエージェントの予想が円高の方向に収束するようになり、バブル相へと相転移したと考えられる。

バブル相からフラット相への相転移: 市場全体でのドルの需供関係を調べた結果、95 年の 5 月には、市場には円高を予想したエージェントのドルの供給ばかりでドル需要がないため取り引きが成立せず、それまでの急激な円高が止まったことが分かった。これにより、それまでの短期的な円高トレンドが消滅し、正のフィードバックが効かなくなった。そして、長期トレンドは円高のままであるのに対して、現在の短期トレンドは反対の円安方向になった。これによって、各エージェントの長期トレンドに関する重要度が負に変化した。つまり、長期的には、大きく変動したらもとの

水準に戻るよう(回帰的期待)に予想するエージェントが多くなったのである。このことにより需給関係が逆転し、今度は円安のトレンドへの正のフィードバックによりバブルが崩壊していった。そして円安の変動の幅が大きくなり、95年末頃にバブル以前の水準に戻った地点で、再び回帰的期待が起きた。この時にはすでに、短期トレンドに対する重要度は小さな絶対値になっているために、同調的期待による正のフィードバックは得られず、レート変動幅の小さなフラット相に変わった。

以上2つの相転移をまとめて、本稿では予想の多様性の相転移と呼ぶ。

5.5 創発的現象の解明

今度は、為替レートのダイナミクスというマクロなレベルで計算機シミュレーションと実際の市場の為替レートの比較を行い、現実の市場でみられる3つの創発的現象のメカニズムを解明する。

取引高とレート変動の負の相関: フラット相では、先週のレートの近くに需要と供給の両方とも十分な量がある。従って、需給の釣り合う取引高の量は大きい。レートの変動の幅自体は小さい。バブル相では、市場の予想が偏っているため、先週のレートの近くでは予想と反対の注文が少ない。従って先週のレートから大きく離れたところで需給が均衡し、取引高は小さい。このように、全体としては、取引高とレート変動の間に負の相関関係が生じるのである。

コントラリーオピニオン現象: コントラリーオピニオン現象は、計算機シミュレーションの中でもみられた。これは、BGの予測パスでバブル相の途中の95年5月頃に、全てのエージェントの予想が収束して取引引きが成立せず、トレンドが消滅したことに対応している。

レート変動の頻度分布: シミュレーションのパスに関しても、実際のレートと同じように、正規分布よりピークが鋭く裾が厚い変動分布を持っていることが分かった。フラット相では変動分布は0の付近に集中して、分散が小さくピークが尖っている。逆にバブル相での変動分布は分散が大きく裾が厚い。この二つの分布の重ね合わせにより、フラット相とバブル相を合わせた期間全体としては、ピークが鋭く裾の厚い変動分布となる。

6 まとめ

本稿ではエージェントの認知機構に注目することによって、フィールドワークとマルチエージェントモデルを統合する新しい外為市場研究のアプローチである、人工市場アプローチの提唱を行った。シミュレーション結果の分析により、フラット相とバブル相の間の相転移は、エージェントのトレンドへの心理的同調と需給関係が原因であることが判明した。これにより、市場の創発的現象は、予想の多様性の相転移という概念によって説明できた。

このように、本稿で提唱した人工市場アプローチでは、従来のモデルでは説明できなかった様々な市場の創発的現象を、ミクロとマクロの関係の観点から解明することができた。従って、このアプローチが定性的にだけでなく定量的にも実際の経済現象の解析に有用であることが分かった。

参考文献

- [1] M. Maza et al. A futures market simulation with non-rational participants. In R.A. Brooks and P. Maes, editors, *Artificial Life IV*, pp. 325-330. MIT Press, 1994.
- [2] R.G. Palmer et al. Artificial economic life: a simple model of a stock market. *Physica D*, Vol. 75, pp. 264-265, 1994.
- [3] D.E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley, 1989.
- [4] K. Izumi and T. Okatsu. An artificial market analysis of exchange rate dynamics. In L. Fogel et al., editor, *Evolutionary Programming V*, pp. 27-36. MIT Press, 1996.
- [5] K. Izumi and K. Ueda. Emergent phenomena in a foreign exchange market: Analysis based on an artificial market approach. In C. Adami et al., editor, *Artificial Life VI*, pp. 398-402. MIT Press, 1998.
- [6] 和泉 潔・植田一博. コンピュータの中の市場: 認知機構を持つエージェントからなる人工市場の構築とその評価. 認知科学, Vol. 6, No. 1, 1999.