

人工市場モデルによる外国為替ディーラーの学習行動の分析

和泉 潔, 植田 一博, 中西 晶洋

kiyoshi@game.c.u-tokyo.ac.jp

東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 広域システム科学系 大勝研究室

〒153 東京都目黒区駒場 3-8-1

本研究では、より現実的な外国為替市場の理論を構築するために、実際の為替ディーラーに1994年1月から1995年11月までのレートの動きに関してインタビューを行ない、期間により予想の材料が変化することと変化のメカニズムの一端を解明した。その知見を考慮して、遺伝的アルゴリズムを用いて、既に構築した外国為替市場の人工市場モデルの修正を行なった。モデルの検証のため、1996年1月から8月までの期間について外挿テストとその分析を行なった結果、この時期の緩やかな円安は、マルクのつれ高、各国の態度、貿易収支、株価の要素の影響と市場参加者が短期的なトレンドが反転し続ける事を予想していたことが原因であったことを解明した。

An Analysis of Dealers' Learning Behavior in a Foreign Exchange Market with the Artificial Market Approach

Kiyoshi IZUMI, Kazuhiro UEDA, and Akihiro NAKANISHI

c/o Prof. Okatsu, Dept of General Systems Studies

Graduate School of Arts and Sciences, the University of Tokyo

3-8-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153, JAPAN

In this study, in order to make a more realistic theory of foreign exchange markets, we have an interview with a dealer about the rate dynamics from January 1994 to September 1995. Using the data of interview, we refine our Artificial Market model of a foreign exchange market with Genetic Algorithm. We conduct extrapolation tests about the rate dynamics from January 1996 to August 1996. The results show that the causes of the slow rise of dollar in this period are Dollar/Mark rate, VIP statements, balance of trade, stock price, and agents' forecasts that the short-term trend will turn over.

1 始めに

人工市場の研究の目的は、コンピュータ上に現実的
で「人間臭い」金融市場を作ることである。

近年の株式市場や外国為替市場の激しい変動以来、
金融市場における人間の心理が注目されている。しか
しながら、これまでの経済理論では、合理的な人間の
みが存在する過度に理想的で非現実的な市場(合理的
期待仮説)を仮定して、市場参加者の個人特性の違い
や心理的側面を軽視していた。

では、人間心理に左右される現実的な市場を分析す
るにはどうすれば良いのか。人間の被験者を使って、
市場を模擬実験するにしても限界がある。そこで、「人
工市場」という新しい研究では、一人の市場参加者の
役をするコンピュータプログラムが多数集まって自由
に取り引きするようなコンピュータ上の仮想的な
金融市場で実験を行なっている [1,2,9]。

人工市場で一番重要な点は、仮想的な市場参加者が
どのように予想や投資の方法を学習するのかを決定
する事である。最近人工知能の分野で、遺伝的アルゴ
リズムが話題となっているが、他の思考法と相互作用
をしながら良い思考法が淘汰されていくという点が、
市場での学習を記述するのに最適であるので、以前に
我々は遺伝的アルゴリズムを用いて外国為替市場の
人工市場モデルを構築し解析を行なった [7,8]。その
結果、我々の人工市場モデルが既存の合理的期待仮説
に基づいたモデルよりも説明力と予測力において優
れている点と、1985年のプラザ合意以後の現実の為替
レートにおける急激な円高の原因が心理的な同調効
果であることの二点を示した。

本研究では、人工市場のもともとの目的であるより
現実的な市場の理論を作るという点でさらに一歩踏
み込んで、現実の外国為替市場に携わっているディー
ラーにインタビューを行ない、その分析から我々の人
工市場モデルにおける市場参加者の学習の記述と比較
し妥当性の検証を行なった。また、1996年1月から
8月までの為替レートに関して我々のモデルの外挿
テストを行ない、その結果から現実の為替市場での市
場参加者の予想方式の変化について考察した。

2 為替ディーラーに対するインタ ビュー

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、実際の外国為替ディー
ラーにインタビューを行なった。相手は外資系銀行の
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
も行なっており、ウィークリーやマンスリーといった
中期や長期の為替予想もいつもしている。

2.1 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行なった。

1. 始めに1994年1月から1995年11月までの為替
レートの動きに関して何も資料を与えずに思い
出せるだけで自由に解説を行なってもらい、その
当時に主にウィークリーのレートについてどの
ような予想を行なっていたのかと市場の状態を
どのように認識していたのかも話してもらった。
2. 次に1994年1月から1995年11月までを当時の
為替市場の状態の認識の変化からいくつかの期
間分割を行なってもらい、それぞれの期間におい
て当時どのようなファクターを重要視してレー
ト予測を行なっていたのか解説してもらい、ファ
クター間の重要度の違いとその原因についても
話してもらった。
3. 特に期間によってファクターの種類や重要度や
変化した場合には、その変化の原因について思い
出せる限りで、解説してもらった。

2.2 インタビュー結果

2.2.1 期間分割の認識

インタビューの結果、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を行なった結果、ほ
ぼレートの動きのトレンドにしたがって、九つの期間
に分ける事ができた(図1)。

1994年

	I 1月	II 2月～6月	III 7月～10月	IV 11月～12月
実際の動き	横ばい	緩やかな下降	横ばい	横ばい
当時の予測	1月は下がらない	8月まで強い下降	10月まで横ばい	年内横ばい
予測材料 (重要順)	1. マルクにつれ高 2. 季節要因	1. チャート分析 2. 貿易収支 3. 政治的要因	1. チャート分析 2. 大幅な乖離 3. 政治的要因	1. 季節要因

1995年

	V 1月	VI 2月～4月	VII 5月～7月	VIII 8月～9月	IX 10月～12月
実際の動き	上昇	急激な下降	急激な上昇		横ばい
当時の予測	1月は上昇	下降の後8月まで横ばい	上昇へ修正		横ばい
予測材料 (重要順)	1. 季節要因 2. 市場のコンセンサス	1. 貿易収支 2. 政治的要因 3. メキシコ問題 4. チャート分析	1. 大幅な乖離 2. 協調介入		

表 1: 予想材料の変化

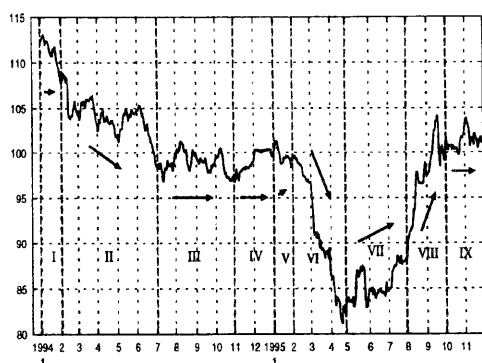


図 1: 実際のレートの動きと期間分割

2.2.2 予想材料の変化

上で分割したそれぞれの期間に関して、当時の予想とその予想の材料となったファクターについて聞いた。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(表1)。

予想材料の変化のメカニズムに関して以下の現象が見られた。

まず、各期間で予想材料が変化するには常に、市場全体が今のようなファクターを重要視しているかといった市場のコンセンサスに従ったということと話していた。例えば1994年から1995年にかけては日本の貿易黒字の額自体は常に大きかったのであるが、特に第II期と第VI, VII期には米の政治的な要

因とも関係して市場全体が注目して、逆に他の時期では無視されていたと話した。

次に、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キッカケとなることがあった。第VII期においてこのディーラーは実際のレートの動きは既に上昇に変わっていたのに、まだ横ばいのトレンドにあると予想し、第VIII期になってやっと上昇トレンドに認識を変えた。8月にレートが急激に90円台にまで戻って初めて、それまで頭の片隅にあったが無視していた介入のファクターが急に浮上して来たそうである。市場のコンセンサスがそれまでの貿易収支などから介入へと変わったという認識の変化がここで起きている。

最後に、予想方式を変更する際に他のディーラーとのやりとりを参考にしていたことである。なぜ、第VIII期で、それまでさほど注目されていなかった介入のファクターが、急に市場全体で重要視されたかという点、1995年7月の協調介入がそれまでと違って非常に良いタイミングであると市場で話し合っていたからだそうである。つまり、レートが80円台前半でそれまでの円高要因である日本の貿易黒字が自然と解消されるようなレベルに来ているので、日本の貿易黒字はもう重要な要因でないと市場のコンセンサスができたと同時に、協調介入で各国の為替政策が本気で円安を目指しているという新しいコンセンサスが出来上がったのである。このようなコンセンサスの移り変わりの時は特にロイターズ等のニュースや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。

2.3 インタビュー結果の考察

上記のインタビュー結果を考察した結果、実際の外為市場における市場参加者の予想形成に関する学習には、以下の特徴が見られた。

- 予想形成の材料に用いられるファクターの種類と重要度は一定ではなく期間によって大きく変化する。
- それまでの自分の予想方式による予想と実際のレートとのずれによって自分の予想方式を変更するかどうか決定する。このずれが予想方式の利得のようなものになっている。
- 予想材料の重要度を変化させる時に、市場参加者は常に他の市場参加者のファクターの対する考え方を考慮しており、そのような市場のコンセンサスに合わせようとしていた。つまり、遺伝的アルゴリズムの淘汰のように利得の高い予想方式が頻度を増やしたり、交叉のように複数の予想方式が合わさって新しい予想方式が生まれたりした。

以上のように、実際の市場参加者たちは常に他人と相互作用しながら、現在の市場を支配しているレート変動の理論に適応しようとしている。又、このようなミクロなレベルの適応行動が集積して、市場というよりマクロなシステムを動かす、その動きに合わせてミクロなレベルで適応行動がおきている。このような環境との相互作用は生態学におけるシステムとも共通の特徴である。

本研究における外為モデルは、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。

3 人工市場モデル

3.1 モデルの枠組

本研究では、人工市場アプローチの一つのケーススタディとして、遺伝的アルゴリズムを用いて、前節での考察を考慮した外国為替市場のモデル (A GEnetic-algorithmic Double Auction SIMulation in TOKYO

Foreign exchange market AGEDASI TOF) を構築した。

AGEDASI TOF は以下の5つのステップを含んでいる。

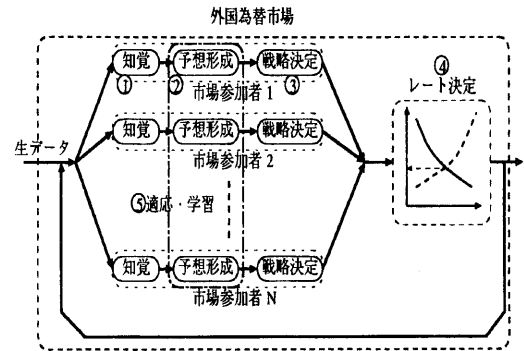


図 2: 人工市場モデルの枠組

1. 知覚ステップ: 各市場参加者は、今期が始まる前までに入ってきたさまざまな情報から、為替レートに影響を与えると思われる材料を知覚する。
2. 予想形成ステップ: 知覚された材料をもとに、自分自身の信念体系にしたがって、将来の為替レートの変動のシナリオを作成し、レートを予想する。
3. 戦略決定ステップ: 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。
4. レート決定ステップ: 各市場参加者の売り買い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レートが決定される。
5. 適応ステップ: 自分が行なった予想が実際のレートに対してどれほど正確だったかに応じて予想方式を改良する。その際に他人の予想方式を参照し現在のレートの動きをうまく説明でき、市場で支配的な予想方式を採用しようとする。

以上の五つのステップの繰り返しにより、為替レートが変動していく。

3.2 知覚ステップ

各市場参加者は、生データからレート of 予想材料を知覚する。今回は全ての市場参加者の知覚は同じであると仮定し、同じ予想材料データを代入した。予想材料データは17種類あり、それらはファンダメンタルズ要因とトレンド要因の2種類に分けられる。ファンダメンタルズ要因は、金利や貿易収支、政治状況など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を、トレンド要因はチャートから長期と短期のトレンドをコーディングした値を代入した(表2)。

予想材料	もとなる生データ
1 景気	[米] GDP,NAPM 指数 etc. [日] GNP
2 物価	[米][日] 消費者物価指数, 卸売物価指数
3 金利	[米][日] 公定歩合, 長期金利
4 マネーサプライ	[米][日] マネーサプライ
5 貿易収支	[米][日] 貿易収支
6 雇用	[米] 失業率, 非農業就労者数 etc.
7 個人消費	[米] 小売売上, 個人所得
8 介入	[米][日] 介入
9 要人発言	[米][日] 中央銀行総裁等の発言 etc.
10 マルク	ドル/マルク 円/マルクのレート
11 石油	石油価格
12 政治	政情, 国際的な事件
13 株	[米][日] 株価
14 債券	[米][日] 債券価格
15 短期トレンド 1	先週の変動値 (ΔS_{t-1})
16 短期トレンド 2	変動の変動値 ($\Delta S_{t-1} - \Delta S_{t-2}$)
17 長期トレンド	5週間の変動 ($S_{t-1} - S_{t-6}$)

[米]=米国, [日]=日本. S_t は為替レートの対数値を示す。

表 2: 予想材料

3.3 予想形成ステップ

各市場参加者 j は自分独自に各材料 i に対する重要度 $w_{i,t}^j$ を $\{\pm 3, \pm 1, \pm 0.5, \pm 0.1, 0\}$ の9段階の値で持っており、 $w_{i,t}^j$ と知覚された各材料 $x_{i,t}$ をかけたものの和を将来の為替レートの変動値だと予想する¹。

$$\mathbf{E}_t^j[\Delta S_t] \equiv f\left(\sum_{i=1}^{17} w_{i,t}^j x_{i,t}\right),$$

ただし、 f は小数点以下を切り捨てる関数である。また各市場参加者の予想の分散値は以下ようになる。

$$(\mathbf{Var}_t^j[\Delta S_t])^{-1} \equiv \sqrt{|(wx_+)^2 - (wx_-)^2|},$$

¹従って、本研究では各市場参加者の信念体系は各材料に対する重要度の組合せで表現され、市場参加者間の違いは重要度の値と組み合わせ方の違いで表される。

ここで、 wx_+ は $w_{i,t}^j x_{i,t} > 0$ の和、 wx_- は $w_{i,t}^j x_{i,t} < 0$ の和である。

3.4 戦略決定ステップ

本研究では全ての市場参加者の効用関数は負の指数関数であると仮定し、この効用関数を最大にするように戦略を決定する。すると、各市場参加者 j の最適なドル資産保有高 q_t^{j*} は以下の値になる。

$$q_t^{j*} = \frac{1}{a} \frac{\mathbf{E}_t^j[\Delta S_t]}{\mathbf{Var}_t^j[\Delta S_t]},$$

ただし、 a は危険回避度である。各市場参加者 j は、自分のドル資産保有高が最適になるように、自分の予想したレートで市場に注文をする。

$$\text{注文量 } \Delta q_t^{j*} \equiv q_t^{j*} - q_{t-1}^{j*}. \text{ 注文レート } \equiv \mathbf{E}_t^j[\Delta S_t].$$

3.5 レート決定ステップ

外為市場全体の需要を集積して需要曲線 $\mathbf{DD}_t(x)$ と、供給を集積して供給曲線 $\mathbf{SS}_t(x)$ を作る。

$$\mathbf{DD}_t(x) = \sum_{j \in J_x^D} \Delta q_t^{j*}, \quad \mathbf{SS}_t(x) = \sum_{j \in J_x^S} \Delta q_t^{j*}$$

$$(J_x^D \equiv \{j : \Delta q_t^{j*} < 0 \text{ and } \mathbf{E}_t^j[\Delta S_t] \geq x\}).$$

$$(J_x^S \equiv \{j : \Delta q_t^{j*} > 0 \text{ and } \mathbf{E}_t^j[\Delta S_t] \leq x\}).$$

最終的に今期の為替レートは需要曲線と供給曲線が交わるところに決定する。

$$S_t = S_{t-1} + x^*, (\mathbf{DD}_t(x^*) = \mathbf{SS}_t(x^*)).$$

こうして決定されたレート S_t 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、それ以外の市場参加者は売買の契約ができずに前期の保有高 q_{t-1}^j のままである。

$$q_t^j = \begin{cases} q_t^{j*} & \text{if } j \in J_x^S \text{ or } J_x^D \\ q_{t-1}^j & \text{otherwise} \end{cases}.$$

3.6 適応ステップ

遺伝的アルゴリズムを用いて各市場参加者の予想形成部を適応させる。具体的には、17種類の材料に対する重要度を一列に並べたものを個体とし、予想レ

トと実際のレートの差にマイナスをかけたものを利得として、淘汰や交叉、突然変異の操作を行なった²。

$$\text{個体 } \mathbf{w}_i^j \equiv (w_{1,t}^j, w_{2,t}^j, \dots, w_{n,t}^j).$$

$$\begin{aligned} \text{個体 } \mathbf{w}_i^j \text{ の利得} &= -|\mathbf{E}_i^j[\Delta S_t] - \Delta S_t| \\ &= -|f\left(\sum_{i=1}^n w_{i,t}^j x_{i,t}\right) - \Delta S_t|. \end{aligned}$$

これらの操作により、実際のレートに近い予想をした重要度の組合せの市場全体での頻度が増え、予想が外れた組合せの頻度が減る。このことは、各市場参加者が予測力の高い信念体系をまねして取り入れたと解釈できる。又、他人との相互作用や自分一人によって新しい信念体系をつくっていく。このようにして次期に用いる信念体系が用意される。

4 モデルの検証

本研究のモデルの検証を行なうため、1994年1月から1996年8月までの週次の現実の為替レートのデータと表2にある外生変数のコーディングデータを用いて、外挿テストとその解析を行なった。

まず、1994年1月から1995年12月までの外生変数とレートのデータセットを用いて、モデルを訓練させた³。訓練期間中はモデルはレート決定ステップは行わず、適応ステップにおける各市場参加者の予想方式の利得は、自分達の予想と現実のレートの差の累積とした。1994～1995年の週次データを100回繰り返して用いて訓練を行なった。

訓練期間が終わった後に、1996年1月から8月までの外生変数をモデルに入力し、外挿シミュレーションを100回行なった。外挿期間中は現実の為替レートは全く参照せず自分達のモデルの中で為替レート決定を行ない、適応ステップにおいても自分達で決定したレートと自分の予想との差を毎週の利得とした。つまり全く仮想の人工市場となったわけである。

100回の外挿シミュレーションの結果の分布を図3に示す。100回のシミュレーションの平均のパスは、この期間全体的な円安のトレンドを捉える事ができた。また、2,4,6月の急激な円安の開始もあてている。次に

² 遺伝的アルゴリズムの操作は Goldberg [3] をもとにした。

³ 遺伝的アルゴリズムのパラメータは、以前他のモデルとの比較を行なった時に最適だった組合せを用いた [7]。

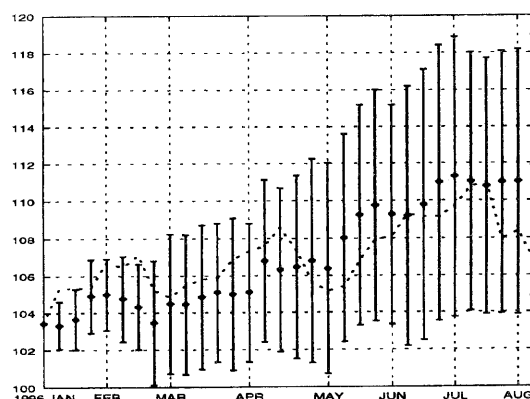


図3: 外挿テストの結果:点線は実際のレート.100回のシミュレーションの平均と±標準偏差

典型的な一つのパスに対して、各ファクターに関する重要度の市場全体の平均を解析した(図4)。これを見ると次第にマルクにつられて円も高くなるつれ高の要素、各国の為替に対する態度の要素、そして株価の要素の重要度が市場全体で強くなり、逆に貿易収支の要素の重要度が弱まったのがわかる。また、興味深いのは介入に対する反応が途中でまるっきり逆になった事である。つまり1月から4月にかけては素直に中央銀行が介入の際に望んでいた方向に従っていたわけだが、6月以降は逆に介入に逆らう形になった。これは現実の市場で、6月以降に全体的な円安のトレンドに逆らう形の介入が増え、無視されたことと一致している。

もう一つ興味深い事として、期間を通して短期的なトレンドに関する重要度の符号が負であった事である。つまり、先週円安の動きがあったら今週は円高に予想するといったジグザグの動きを予想している。実際にこの期間のレートの動きは前の年と比べるとトレンドは緩やかであり、一方的な円高や円安にはならなかった。

以上の考察により、1996年1月から8月にかけてのレートの動きが緩やかな円安になったは、マルクのつれ高、各国の態度、貿易収支、株価の要素が影響しており、しかしながらこれらの要素が急激な円安のコンセンサスを作り出す程の連続した強いニュースが存在しなかったからだと推測される。そのため、市場では短期的なトレンドがすぐにひっくり返るような

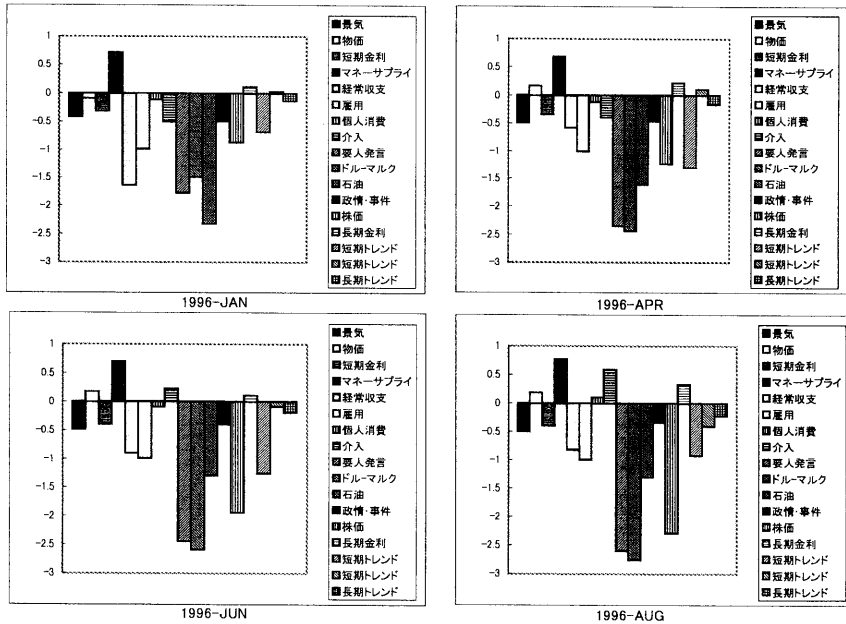


図 4: 予想材料の重要度の変化

ボックス相場を予想していたと思われる。

5 まとめ

本研究では、より現実的な外国為替市場の理論を構築するために、実際の為替ディーラーに 1994 年 1 月から 1995 年 11 月までのレートの動きに関してインタビューを行ない、期間により予想の材料が変化することと変化のメカニズムの一端を解明した。その知見を考慮して、遺伝的アルゴリズムを用いて、既に構築した外国為替市場の人工市場モデルの修正を行った。

モデルの検証のため、1996 年 1 月から 8 月までの期間について外挿テストとその分析を行なった結果、この時期の緩やかな円安は、マルクのつれ高、各国の態度、貿易収支、株価の要素の影響と市場参加者が短期的なトレンドが反転し続ける事を予想していたことが原因であったことを解明した。

従来の人工市場アプローチのモデルと本研究のモデルの違いを以下に述べる。

- 従来のモデルでは主に投資戦略の学習が重視され、各エージェントが市場に対してどのようなメンタルなモデルを持っていて、それを変化させているのか点を軽視していた。これに対して、本研究では予想形成の学習が扱われている。
- 従来の人工市場モデルでは、各エージェントが経済の構造に関するモデルを持っていなかったため、入力される情報、レートの動きなどの内生的な変数に限られていた。本研究では、金利などの経済の基礎的な要因に関する情報も入力情報として扱われている。

以上の二つの特徴により本研究のモデルは、従来の人工市場アプローチのモデルと異なり、実際の市場における学習などの心理的な観察による知見と比較し、それをモデルに取り込んだり、モデルの妥当性を評価するのに利用できるようになった。

今後、人工市場の研究がより発展すれば、心理学などのミクロに関する研究の知見と、人工知能の方法論を経済学に結びつけていく事ができるであろう。

参考文献

- [1] J. Arifovic. Genetic algorithm learning and the cobweb model. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 18:3–28, 1994.
- [2] M. de la Maza and D. Yuret. A futures market simulation with non-rational participants. In Rodney A. Brooks and Pattie Maes, editors, *Artificial Live IV*, pages 325–330. The MIT Press, 1994.
- [3] D. E. Goldberg. *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
- [4] Y. Hayashi. *A foreign exchange as a market (in japanese)*. Toyo Keizai Shinpo Sha, 1993.
- [5] J. H. Holland and J. H. Miller. Artificial adaptive agents in economic theory. In *American Economic Review: Papers and Proceedings of the 103rd Annual Meeting of the American Economic Association*, pages 365–370, 1991.
- [6] T. Ito. Foreign exchange rate expectations: Micro survey data. *the American Economic Review*, 80(3):434–449, 1990.
- [7] K. Izumi. A simulation of a foreign exchange market with genetic algorithm. Master's thesis, University of Tokyo, 1995.
- [8] 和泉 潔, 大勝 孝司. 人工市場アプローチによる為替レート
の分析 情報処理学会 人工知能研究会 報告 (102-2),
pages 7–12, 1995.
- [9] R. Marimon, E. McGrattan, and T. J. Sargent. Money as a medium of exchange in an economy with artificially intelligent agents. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 14:329–374, 1990.
- [10] R. A. Meese and K. Rogoff. Empirical exchange rate models of the seventies. *Journal of International Economics*, 14:3–24, 1983.
- [11] J. F. Muth. Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica*, 29(3):315–335, 1961.
- [12] D. G. Palmer, W. B. Arthur, J. H. Holland, B. LeBaron, and P. Taylor. Artificial economic life: a simple model of a stock market. *Physica D*, 75:264–265, 1994.