

人工市場アプローチによる為替レートの分析

和泉 潔, 大勝 孝司

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

本研究は、実際の経済現象の分析における人工市場アプローチの有効性を調べるために、外国為替市場を一つのケーススタディとして、人工市場アプローチによる新しいモデルを構築し、予測力と説明力の評価を行った。その結果、予測力においては、既存の為替モデルに比べて10%以上、予測誤差を小さくすることが可能となった。また、説明力に関しては、市場参加者の予想の同調と完全な一致により、1988年から1991年の為替バブルの成長と崩壊がもたらされたことを示すことができた。これらの結果により、本研究は人工市場アプローチが現実の経済現象を定量的にも分析することの有効性を示すことができた。

An Analysis of Exchange Rate Dynamics on the Artificial Market Approach

Kiyoshi IZUMI and Takashi OKATSU

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 examine the Artificial Market approach's effectiveness on analyses of real economic phenomena, we construct a new model of a foreign exchange market as a casestudy of this approach and evaluate our model in forecasting and explaining of an actual rate dynamics. As a result, our model can improve other existing models' forecasts over 10%. Moreover, our model suggests that the growth and collapse of the rate bubble between 1988 and 1991 were caused by bandwagon effect and coincidence of all agents' expectations. Therefore, this study shows that the Artificial Market approach can be effective in quantitative analyses of real economic systems.

1 始めに

近年のバブル現象とその崩壊以来、経済活動のさまざまな面における行動の心理的な要因がますます注目されるようになってきた。しかしながら、経済理論の方へ目を向けてみると、期待の合理性を仮定することにより、現実とは離れてしまっている場合が多々見受けられる。これに対し、人工市場アプローチと呼ばれる新しいアプローチが出てきている [1, 2, 8]。このアプローチでは、合理性の仮定をゆるめて、個人の適応行動を含めたモデルのシミュレーションを行ない、その結果を実際の経済現象の理解に用いている。

本研究の目的は、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、各個人の適応行動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 AGEDASITOF) を立て、それを既存のモデルと比較評価し、実際のバブル現象のメカニズムを解明することである。

2 一般的なフレームワーク

既存の外為市場の経済学的なモデルのほとんど全ては、以下の4つのステップを含んでいる。

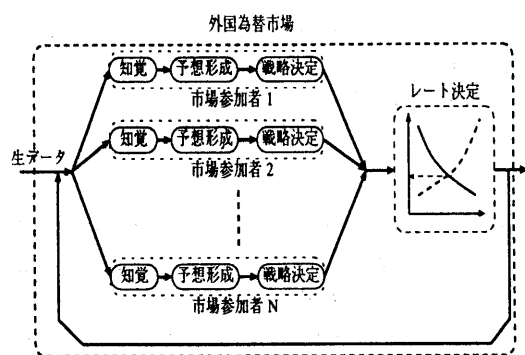


図 1: 外為市場モデルのフレームワーク

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。

3 合理的期待仮説とその問題

今までの経済理論の主流の手法である合理的期待仮説は、上記のフレームワークに期待の合理性という非常に強い仮定を課している。そもそも期待の合理性の合理性とは何を示しているのだろうか。合理的期待仮説を提唱した Muth [10] によると、「期待とは、未来の出来事の情報駆使した予測であるから、適切な経済理論に基づく予測に一致する。」としている。この定義を厳密に解釈すると、合理的期待は「全ての市場参加者の情報、認知モデル、効用関数が同じであること (期待の合理性)」と「全ての市場参加者の期待が合理的であることを全ての市場参加者が知っていること (共有知)」の二つの仮定を含む。

しかし、最近、合理的期待仮説による外為市場モデルについて、理論や実証の双方において、さまざまな問題点が指摘されている [6, 9]。これらの問題点は、合理的期待仮説が、全ての市場参加者の期待が本質的に同一であると仮定して、各市場参加者の適応行動を考慮していないことから生じている。したがって、外為市場における適応行動というものを詳しく調べる必要がある。

4 外為市場と遺伝学のアナロジー

実際の外為市場における市場参加者は常に、今現在、市場が注目している材料を探り、それと自分が予想形成の際に材料視するものとを一致させようとしている。この適応行動には、以下の特徴が見られる。

- ある市場参加者の持つ信念が、ある程度の正確さを持って、他の市場参加者に複製される。

- さまざまな材料に対する信念が集合した信念体系が、各市場参加者の行動を決定する。
- 予測力の低い信念は淘汰され、現在のレート変動をうまく説明できる信念のみが生き残っていく。
- 市場参加者間の相互作用などにより、常にさまざまな信念が新しく作られる。

外為市場における各材料に対する信念のもつこれらの特徴は、生物の遺伝における遺伝子と共通である。本研究における外為モデル (AGEDASI TOF) 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。

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 1: 予想材料

5 AGEDASI TOF の作り方

AGEDASI TOF において各期は、既存の外為市場モデルと共通である知覚・予想形成・戦略決定・レート決定の四つのステップに新たに適応ステップを加えた五つのステップから成り立っている。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。

5.1 知覚ステップ

各市場参加者は、生データからレートの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 1)。

5.2 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

の和を将来の為替レートの変動値だと予想する¹。

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

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。

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

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。

5.3 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。

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

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

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。

したレートで市場に注文をする。

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

5.4 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。

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

5.5 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、予想レー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。

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

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

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

² 遺伝的アルゴリズムの操作は Goldberg [3] をもとにした。

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。このようにして次に用いる信念体系が用意される。

5.6 従来の人工市場との違い

AGEDASI TOF は従来の人工市場アプローチのモデルと次の二点において異なる。

- 従来のモデルでは主に戦略決定ステップの適応が扱われていたが、AGEDASI TOF では予想形成ステップの適応が扱われている。各市場参加者の信念体系の発達は戦略決定ステップよりも予想形成ステップに対応しているため、AGEDASI TOF は実際の市場における市場参加者の情報処理プロセスに対してより親密な関係を持つ。
- 従来のモデルでは入力される情報は、レートの動きなどのトレンドに関する情報のみであったが、AGEDASI TOF 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。そのため、AGEDASI TOF では各市場参加者が経済的な構造を考慮していることを記述できる。

以上の二つの特徴により AGEDASI TOF は、従来の人工市場アプローチのモデルと異なり、定性的にだけでなく定量的にも実際の経済現象の解析を行なうことが可能になった。

6 既存モデルとの比較

AGEDASI TOF の評価を行なうために、1986年から1993年までの実際の外為市場の週次データを用いて、1,4,13,26,52週間先の予測についての平均絶対誤差(MAE)を計算し、既存の外国為替市場モデルと予測力の比較を行なった。

$$\text{MAE} = \sum_{s=0}^{N_k-1} |\tilde{S}_{t+s \times 26+k} - S_{t+s \times 26+k}| / N_k$$

ただし、 k (予測期間)=1,4,13,26,52で N_k は予測の総回数である。

比較したモデルはランダムウォークモデルと線形回帰モデルの二つである。線形回帰モデルの説明変

数は AGEDASI TOF のコーディング情報と全く同じものであり、合理的期待仮説から導出されたモデルも線形回帰モデルに含まれる。驚いたことに、先行研究では、線形回帰モデルは、全く経済的な構造を考慮しておらず単純なランダムウォークモデルに、予測力が劣るといふ結果が得られている [9]。

本研究の結果でも、線形回帰モデルはランダムウォークモデルよりも平均予測誤差が大きかった (図 2)。それに対し AGEDASI TOF はランダムウォークモデルよりも平均予測誤差が 10%以上小さかった。つまり、この三つのモデルの中で、AGEDASI TOF がもっとも予測力が高かったのである。

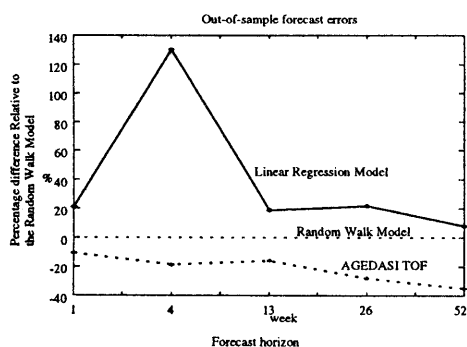


図 2: 平均予測誤差の比較

7 バブルの解析

次に、AGEDASI TOF を用いて 1989 年の始めから 1990 年の終りにかけての為替レートのバブルの解析を行なった。50 回シミュレーションを行ない、レート予測の結果の分布を調べたところ、バブルが発生したグループ (バブルグループ) と発生しなかったグループ (ノンバブルグループ) に分けることができた (図 3)。

まず、各グループの典型的なケースの材料の重要度の変化を比較したところ、以下の二つのことがわかった (図 4)。一つ目は、バブルグループの方が経済の基礎的な要因に関する材料に対して敏感な市場参加者が多かったことである。もう一つは、バブルグループでは、短期的には現在のトレンドが続くように (同調的期待)、長期的には大きく変動したらもとの水準に

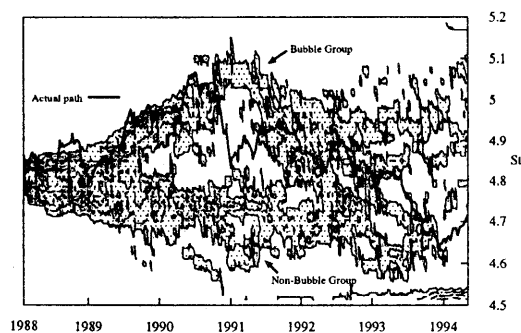


図 3: レート予測の分布

戻るように (回帰的期待)、予想する市場参加者が多かったことである。

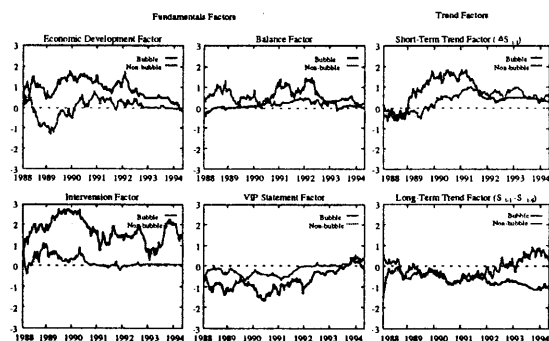


図 4: 各材料の重要度の市場平均

そして、バブルが発生したシミュレーションのケースにおいて、バブルの成長と崩壊での市場の需要と供給関係を調べた (図 5)。その結果、バブルの崩壊時には取り引き量はほとんどゼロになり、崩壊の前後で需給関係が逆転していたことがわかった。以上の結果によると、この時期のバブルのメカニズムとして以下のものが考えられた。バブルは市場参加者の予想の同調により成長し、ほぼ全ての市場参加者の予想が一致して取り引きが成立しなくなってバブルが崩壊する。

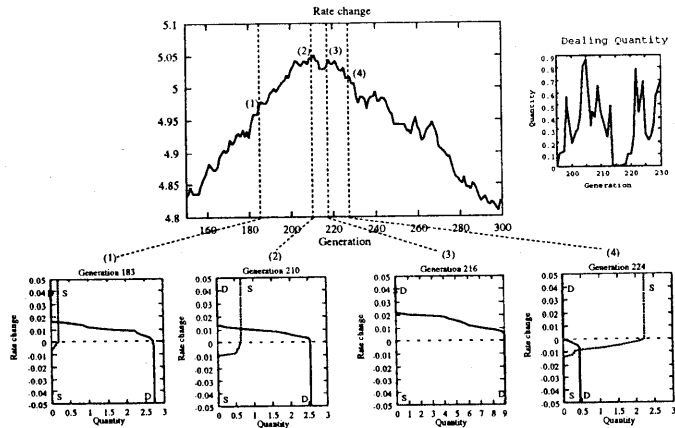


図 5: バブルシミュレーションにおける需給関係と取り引き高

8 まとめ

本研究では、合理的期待仮説を廃して、市場参加者の適応行動を含めた外国為替市場のモデルを遺伝的アルゴリズムを用いて構築した。本研究のモデルは、既存のモデルに予測力において勝り、為替レートバブルの成長・崩壊が市場参加者の予想の同調と完全な一致により説明できることを示した。

このように、本研究では、個人の適応行動を考慮しコンピューターシミュレーションを行なう、人工市場アプローチが、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用いることの可能性を示すことができた。

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] 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.
- [9] R. A. Meese and K. Rogoff. Empirical exchange rate models of the seventies. *Journal of International Economics*, 14:3-24, 1983.
- [10] J. F. Muth. Rational expectations and the theory of price movements. *Econometrica*, 29(3):315-335, 1961.
- [11] 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.