

人工証券市場の構築とその評価

嶋谷 毅

e81290@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

東京大学経済学部経済学科

東京大学社会情報研究所

あらまし

本研究では為替市場のモデル化のために、為替相場の構造・相場変動の要因・情報の性質・伝播方法に焦点をあてて実際の為替相場を分析し、モデル各部の理論的枠組みについて言及した。その上で、情報評価のみで価格が形成されるモデルと市場参加者の心理状態も加味したモデルの二つのモデルを構築し、1994年から1997年のデータをもとに試行を行った結果、市場における情報効果の一端を明らかにした。

キーワード

複雑系 人工市場 遺伝的アルゴリズム

Artificial Stock Market — Construction and Evaluation

Takeshi SHIMATANI

e81290@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

Faculty of Economics, University of Tokyo

The Institute of Socio Information & Communication Studies

Abstract

With the aim of creating a realistic artificial model of the foreign exchange market, this paper examines the theoretical structure of the various factors that effect the exchange rate. Analysis was focused on the structure of the foreign exchange rate, factors causing movements in the rate, the role played by information and how it is conveyed to the exchange market. Two models were developed: one focusing solely on the role that information plays in price formation, while the other provided for the psychological state of players. By testing each model with data from 1994-1997, the significance of the information effect in the market was made clear.

key words

complex systems artificial market genetic algorithm

1 はじめに

変動相場制のもと為替レートは日々変化を続けているが、為替レートはどのように決定されるのだろうか。マクロ経済学では為替理論が複数あり、そのいずれもが一定のフレームワークのもと、為替相場を理論的に明らかにしようとしているものである。しかし、現在までに為替相場のダイナミクスを十分に反映したモデルは作り出されていないようである。

では、既存の理論では記述しきれない市場のダイナミクスをどのように捉えるかが問題になる。一般に相場のダイナミクスを生み出しているのは個々の市場参加者であると考えられている。現に実際の市場参加者たちはマクロ理論のみによらず、マクロ理論も情報のひとつとして社会情勢・需給の動向・他の市場参加者の動向など幅広い情報から予想を形成し為替相場に参加している。その予想の動向こそがダイナミクスの源流といえる。したがって、上記の意味では、為替相場をマクロの分析対象としてではなくミクロ経済における制約条件下における個人の最適戦略の総和として考えることのほうが市場のダイナミクスを考える点では現実的かもしれない。本研究の目的はミクロ的視点からマクロへのボトムアップを試みる手段として人工証券市場を構築し評価することである。

2. 為替相場のモデル化

2. 1 市場参加者から見た為替相場

市場間(ニューヨーク・ロンドン・東京)・ブローカー間・銀行間に同一時点で価格差があると裁定取引が可能となるため、市場間では Parity が保たれ相場は同一水準に収斂する。したがって、シミュレーションでは為替相場はひとつの取引所があると仮定した。

2. 2 取引動機

現実には実需的取引と投機的取引がある。実需的取引は商取引上の必要からくる為替取引であり、投機的取引は相場変動の差益をえようとして行われる為替取引である。両者では、取引量・取引のタイミング・効用関数などが大きく異なると考えられるが、いずれも効用最大化を目的としている点では相違ない。効用最大化のためにはより正確な価格予想が要求され、市場参加者は価格変動に影響力を持つと思われるさまざまな情報を収集し、加工・総合することで価格予測を行う。この過程は非常に複雑であると推察され、モデル化することは非常に困難で現実との誤差が生まれる危険性を内包している。本研究では市場参加者(100人)は同一効用関数・一期(1週間)毎の同時手番・取引制約なし・取引費用ゼロ・税金ゼロと仮定した。

2. 3 価格形成

相場は市場の需給によって決まるものであり、時々刻々変化する売買注文と売買成立の結果である。その背後には需給を生み出す為替取引の需給の動向と、その時々における市場参加者の行動に影響を与える心理的な要因(採算見込みの判断)である。本モデルでは1期間が1週間であるため売買注文からなる需給曲線の交点をもって市場価格とした。

3. 為替相場決定要因

3. 1 ファンダメンタルズ

為替相場におけるファンダメンタルズは定義が曖昧で統一された概念ではないため、本論文では主要為替理論で価格決定に影響を与える経済指標をファンダメンタルズとして採用することにした。採用理由は1) 為替理論レートの決定モデルは一定のフレームワークや条件のもとであるべき均衡相場や相場変動の原因を理論的に解明しようとするものであるから 2) 実際、為替レートは長期的にはファンダメンタルズによって左右される部分が大いといわれている。以上2点からファンダメンタルズの指標は為替レートの決定モデルによることにした。以下に為替理論と採用指数を記す。

フローアプローチ（GNP，経常取引、名目金利、資本取引）購買力平価（内外物価指数）マネタリーアプローチ（物価指数、実質貨幣残高、実質所得、内外名目貨幣供給量）ポートフォリオアプローチ（予想インフレ率、内外資産利回り）

3. 2 国際政治情勢・国際金融不安

需給に対して円滑な資金の流入出が阻害される恐れや、予想が極端に変化あるいは困難になるといった点から流動性の喪失や大量の資本流出が引き起こされることがある。

3. 3 心理要因・投機筋

ケインズの美人投票に例えられる短期的な動きで市場参加者の予測が原動力になっていると考えられる。市場参加者の予測は中長期的にはファンダメンタルズの動向・各国政治経済の動向、短期的には輸出入など実需にかかわる情報や他の市場参加者の動向・相場変動のトレンドの情報をもとに形成されていると考えられる。

3. 4 当局の平衡介入

為替相場の安定・望ましい方向への誘導を意図して政府あるいは中央銀行によって行われる。量的な影響だけでなく政府の意思表示として心理面の影響もある。

4. 情報交換の3パターン

4. 1 Personal (Local) Communication

双方向的に行われる。主に個人間の情報交換を意味し、経済の見方・需給に関する情報などを交換することを意図している。本モデルでは遺伝的アルゴリズムにおける交叉が情報交換を体現している。

4. 2 Opinion Leader

1対Massで双方向的に行われる。Opinion Leaderは情報処理体として存在し、市場の動向に関する情報・需給に関する情報を収集→加工→発信していく存在とし、当局による口先介入・マスメディア・エコノミストの発言などを想定している。本モデルではモデル2において市場参加者の予想材料に対する関心を増幅させるメディアを感染のアルゴリズムを用いてモデル化している。

4. 3 公開情報

単方向。官公庁発表資料・経済研究所発表資料・格付け機関発表資料・市場データなど誰でも得られる市場に関する数値データを想定している。モデルでは社会情報が公開情報にあたり、全市場参加者が参照できるシステムを取っている。以下にモデルで使用したデータとそのコーディングについて記す。

	使用データ	データ
1	物価指数(輸出入物価)	ファンダメンタルズ
2	失業率	ファンダメンタルズ
3	GDP	ファンダメンタルズ
4	景気指標(景気一致指数)	
5	経常収支	ファンダメンタルズ
6	利子率(短期・長期金利)	ファンダメンタルズ
7	株式市場の動向	(TOPIX, SP500)
8	個人消費	
9	マネーサプライ	ファンダメンタルズ
10	スワップレート	ファンダメンタルズ
11	相場の変動値($\Delta St-1$)	トレンドデータ
12	変動の変動値($\Delta St-1, \Delta St-2$)	トレンドデータ
13	5週の変動値($St-1 - St-6$)	トレンドデータ

使用データとして国際情勢・国際金融不安・要人の発言等は数値化することができなかつたため、データとして使用できなかった。また予想インフレ率・実質貨幣残高・実質所得などについては上記の条件のもとでデータを得ることができなかった。

各データで円高要因は負の値、円安要因は正の値を取るようコーディングした。コーディングは各データの変化率をもとに - 3から3の値を取るよう振り分けた。経済データは原則的に日米両国ともに発表頻度が同じ物でかつ為替価格に強い影響をもたらすと考えられるデータを採用した。また、データは発表日のデータにあわせて数値化されている。コーディングした数値をデータ毎、週にあわせて配置したものを社会情報として t 期のデータ i に関する社会情報を $A(t, i)$ とした。

5. モデル

5.1 モデル1

社会情報をもとに各市場参加者は市場価格の予想ならびに最適戦略の決定を行う。その後、市場価格が形成されれば各自の予想力に応じて学習行動を行う。

ステップ1： 予想・確信度形成

社会情報をもとに予想価格・確信度の形成を行う。個人の予想形成は t 期における個人 j の価格変動予想値を $P(j, t)$ t 期の個人 j の確信度を $T(j, t)$ とすると、

$$P(j, t) = a \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I (A(t, i) \times W(j, i))$$

a はスケール係数。

$$T(j, t) =$$

$$\sqrt{\left| \sum (A(t, i) \times W(j, i))_+ - \sum (A(t, i) \times W(j, i))_- \right|}$$

ただし $(A(t, i) \times W(j, i))_+$ は $(A(t, i) \times W(j, i)) > 0$
 $(A(t, i) \times W(j, i))_-$ は $(A(t, i) \times W(j, i)) < 0$

と表わすことができる。

ステップ2： 投資戦略決定

自らの効用を最大化する投資量を決定する。

第1期の為替相場を1ドル = Pd円、資産保有量を円・ドルそれぞれHy、Hd、総資産保有量をV(t)、確信度を変形したものをσ、予想価格をμ、利子率はゼロ、効用は負の指数関数に従うとして単期間の円・ドル2資産の選択問題を解くと、最適戦略Hdは

$$Hd = \frac{V_0}{Pd - \exp(\mu + \frac{\sigma^2}{2})}$$

となる。

ステップ3： 市場価格形成

市場参加者の需給を集計して市場価格を形成する。

ステップ4： 学習ステップ

予想価格と実際のレートの違いから適応度を算出し、遺伝的アルゴリズムを用いて学習を行う。GAを証券市場に適用するにあたっては証券市場という環境に市場参加者という個体が利益をあげることで適応していくことによって市場のダイナミクスを表現できると考えた。具体的には市場に適応したものは利得が大きくなり他の個体に対して模倣・学習の対象とされるが、利益をあげられなかった者は淘汰つまり市場から退出することになる。

t 期における個人 j の適応度を $F(j, t)$ 、t 期の均衡価格を P^*_t とすると適応度は

$$F(j, t) = \text{MAX}_j \left\| P(j, t) - P^*_t \right\| - |P(j, t) - P^*_t|$$

と設定した。

5.2 モデル2

全市場参加者の動向が各市場参加者に影響を与えるモデル

ステップ1 予想・確信度形成

ステップ2 **Opinion Leader**による情報処理

感染のアルゴリズムによって全市場参加者の動向の個人に与える影響を考慮に入れる。

この過程はメディアが市場参加者の重要度に関する動向を収集し、トピックとなるデータを選択する。更にこれらのデータに関する重要度の絶対値を上げさせるような動きをとることで、経済観測に関する重要度に社会としての一体感を生み出す源流となるものである。以下に具体的な流れを示す。

i) 情報 i が伝播力(感染力)を持つか否かを決定する。この過程はメディアが市場参加者の重要度に関する動向を収集しトピックとなるデータを選択することを模している。情報 i に対する市場における重要度の平均を $Average W(i, t)$ とすると、

($|Average W(i, t)| < Random(3)$)の時情報 i は感染力を持つ。→ ii へ

($|Average W(i, t)| > Random(3)$)の時何もおきない。

ii) 情報 i が感染力を持つ時

(個人 j の確信度 $< Random$ (確信度のとり得る最大値)) なら個人 j の情報 i に対する重要度は変更される。

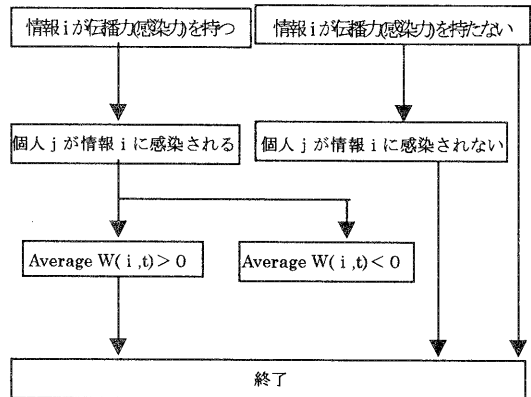
($Average W(i, t) > 0$) なら個人 j の情報 i に対する重要度は3に変更され、

($Average W(i, t) < 0$) なら個人 j の情報 i に対する重要度は-3に変更される。

(個人 j の確信度 $> Random$ (確信度のとり得る最大値)) なら何もおきない。

$Random(x)$ は0以上 x 以下の乱数を発生させる関数である。

情報処理チャート図



ステップ3 : 投資戦略決定

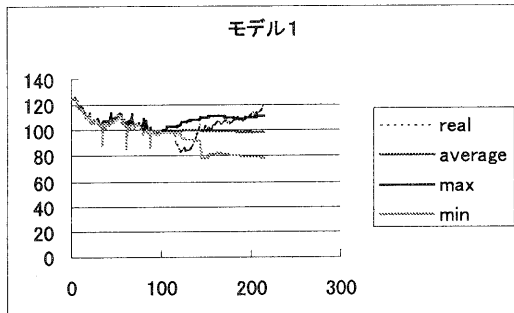
ステップ4 : 市場価格決定

ステップ5 : 学習ステップ

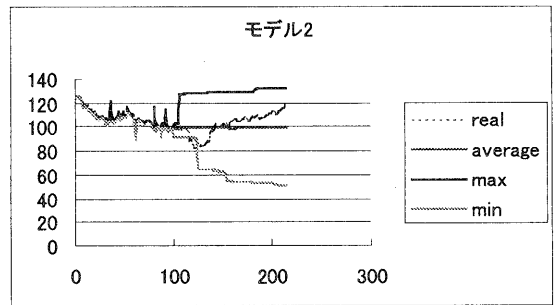
6. シミュレーション結果

1993年1月第1週から1997年2月第3週の全214期のデータをもとにシミュレーションを実行した。はじめの100期(1994年12月第2週まで)は訓練期間として実際の為替レートを用いて市場の学習行動をおこない市場の雰囲気慣れさせた。その後の114期は模擬市場で得られたレートをもとに学習を行った。

各モデルごとに100回の試行をおこなった。当時、実際の為替レートは80円台から120円台まで非常に大きな範囲で変動を続けていたが、モデル1では急激な円高を体現した市場を再現することはできなかった。また、急激な円高から一転した120円台への回復についても再現することはできなかった。モデル2でも80円台の円高を完全にカバーすることはできなかったが、円安については120円台以上を再現したパスがあった。総じて、モデル1に比較してモデル2での為替レートの範囲は広いが、予測力という観点から見た場合その正確性には疑問が残る。また、価格変動が急激であることから情報構造の影響で一時的に市場参加者の



Real は実際の為替レート、Max は各期の最高レート、Average は各期の平均レート、Min は各期の最低レートを表している。



大部分に伝播した情報があると考えられる。一方、モデル1はレートのパスの範囲こそ狭いが現実を再現できなかった点で構造に問題があると考えた。以下現実との相違点という観点から本モデルに対する考察を行う。

- 1) 政府当局の介入・要人発言を設定していない。
- 2) Pcross (交叉率)・Pmutation (突然変異率) が全期を通して一定であるが、現実には Personal Communication が行われる確率は経済状態によって変化すると考えられる。
- 3) 実際の予想形成は Step に見られるような単純なものではない。
- 4) 経済データ・重要度ともに8段階という設定は現実的でない。さらに経済データのコーディング方法が現実を大胆に近似したものであり、情報の正確性について疑問が残る。
- 5) 個人の取引制約がない。

6) 取引回数が週に1回という設定の妥当性についても検討の余地がある。また、遺伝的アルゴリズムの適用は為替相場形成後一度行われるが、Personal Communication が週に1度で一人きりという設定についても工夫が必要である。

7) 異なった金融商品を扱う市場との関連性に関する説明不足。

まとめ

本研究では経済の枠組みを踏襲しながらも現実のダイナミクスを再現することを目的に人工証券市場の構築を行った。人工証券市場という分野は未発達な分野であるため構築にあたっては現実離れた仮定やあいまいな部分が存在することは否定できないが実際に市場を構築することで意思決定を通して価格形成を実現すること・学習システムの実現など部分的ではあるがある程度理論化する事に成功した。シミュレーションの結果えられた市場価格の分析などについては今後も研究を継続していく必要があると考えている。

更に今後複数の異なった人工証券市場が構築された時、異なるプログラミングをどういった観点で評価するのかということも考えていかなければならない。モデルの評価はシミュレーション結果によるものとモデルの構成力つまりどれだけ忠実に現実を模しているかということによると考えられる。現実の社会・経済構造を無視してリアルな結果が得られるのかについては定かではないが、もし完璧なシミュレーションが存在するならばそれはもはや

シミュレーションでもあり現実でもあるという奇妙な状態に陥ってしまう。いずれにしろ人工証券市場における一般的理論が存在しない現状ではその評価もまた曖昧なものになってしまいがちである。

一方人工証券市場の可能性については触れていなかったが、実務的に価格の予想に使用したり市場参加者の心理状態の把握に応用するのみでなく、

- ・金利変動の市場に与える影響の調査
- ・行動心理学的アプローチ
- ・人工証券市場におけるマクロ経済理論分析成立条件の探求

など学術的な面でも興味ある研究対象となりうる可能性を秘めている。

参考文献

- [1]D.E.Goldberg. Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley Publishing Company, 1989
- [2]Herbert A.Simon. The Sciences of the Artificial, Second Edition, MIT Press, 1982
- [3]Paul R. Krugman. EXCHANGE RATE INSTABILITY. Massachusetts Institute of Technology
- [4]有吉 広介.コミュニケーションと社会. 芦書房 1990
- [5]古海 健一.外国為替入門. 日本経済新聞社 1990
- [6]植草 一秀. 金利・為替・株価の政治経済学. 岩波書店. 1992
- [7]米澤 保雄. 遺伝的アルゴリズムー進化理論の情報科学. 森北出版株式会社.1993
- [8]高橋 泰蔵・増田 四郎編. 体系経済学辞典. 東洋経済.S59
- [9]大山 道廣・堀内 俊洋・米澤 義衡訳 .ルーディガー・ドーンブッシュ著. 為替レートの謎を解く. 東洋経済新報社.1990
- [10]丸 淳子・首藤 恵・小峰 みどり.現代証券市場分析.東洋経済新報社.S 6 1
- [11]和泉 潔・植田 一博・中西 晶洋. 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. 情報処理学会人工知能研究会報告.1996