

外国為替市場モデルの構築

—円ドル市場の再現と為替変動分析—

宇佐美 絢子[†] 津屋 隆之介^{††} 井庭 崇[†] 高安 秀樹^{†††}

[†] 慶應義塾大学 環境情報学部
^{††} 慶應義塾大学 SFC 研究所
[†] 慶應義塾大学 総合政策学部
^{†††} ソニーコンピュータサイエンス研究所

要旨 実際の変動相場制の外国為替市場において、為替レートは様々な要因が影響して決定される。為替レートの安定は、経済危機回避のためにも必要条件であるが、それを達成するのは事実上難しい。このような背景を踏まえ、本研究では、外国為替市場を分析するための基盤を構築する。本論文で提案するモデルは、必要最低限の規模の基本モデルである。この基本モデルを用いて、為替レートがどのような要因で乱高下を起こすのか等を分析し、その妥当性を検証する。

キーワード 外国為替市場、人工市場、マルチエージェントモデル、シミュレーション、エコノフィジックス

Building a Simulation Model of Foreign Exchange Market

—Reproduction of the Yen-Dollar Market—

Ayako USAMI[†], Ryunosuke TSUYA^{††}, Takashi IBA[†], and Hideki TAKAYASU^{†††}

[†] Faculty of Environmental Information, Keio University
^{††} Research Institute at SFC, Keio University
[†] Faculty of Policy Management, Keio University
^{†††} Sony Computer Science Laboratories

Abstract To avoid an economic crisis, stable foreign exchange rate is necessary. The rate is, however, determined by various complicated factors, it is difficult to keep the balance of rate. From these reasons, we build the model to analyze the Foreign Exchange Market. The model that we suggest in this paper is most basic one with minimum scale. Using this basic model, we'll analyze what caused the violent fluctuations of exchange rate.

Key words Foreign Exchange Market, Artificial Market, Multi-Agent Model, Simulation, Econophysics

1. はじめに

本論文では現在日本が採用している変動相場制、特に国際通貨である米ドルと円との外国為替市場的を絞って再現する。マルチエージェントモデリングとコンピュータ・シミュレーションの手法を用いることで、既存の経済学とは異なる新たな視点で分析を行い、外国為替市場について理解を深めるためである。

円ドル市場を作成していく手順としては、最も簡潔なモデルから徐々に拡張していくことにしたい。そこで本論文では、円ドル市場分析の土台となる基本モデルを構築する。PlatBox Simulator^(注1)を用いて、各段階ごとに様々な設定で動かし、そのシミュレーション結果を見ることで、その要素一つ一つの結果に及ぼす影響を分析していく。

2. 研究背景

2.1 為替制度の及ぼす世界的悪影響

ここ数十年で多くの社会主義国が資本主義国へと体制を変え、世界全体としても資本主義社会へ移行変わりつつある。そのため企業の海外進出も増え、投機目的の実需を伴わない為替や株の売買が、取引の大部分を占めるようになった。これに伴い、短期間での巨額な資本流入・流出の金額や規模は拡大しており、投機の対象となった新興市場諸国は為替レートや通貨価値の増減で、大規模な経済成長を遂げたり、危機的な状況を迎えたりする非常に不安定な状態におかれるようになった [1]。

更に深刻な問題として、この一国の経済状態の暗転の影響が波及して、時として世界各国に大ダメージを与えることがある。日本を始めとするアジア各国が打撃を受けた1997~1999年の東南アジア経済・金融危機も、タイの危機から波及したもので、ドルの高騰という為替レートの変動が原因であったと多くの専門家が述べている。

そこで世界が瀕している新たな経済的不安定要素に対し、為替レートの安定という目的を達成することで阻止することができないかと考え、本論文ではこのテーマについて取り組むことにした。

2.2 既存の為替制度

世界に存在する為替制度の種類として、大きく分けると固定相場制と変動相場制の二つがある。変動

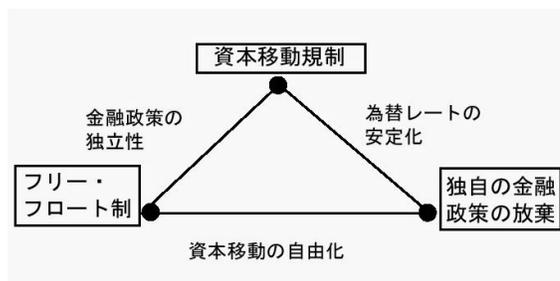


図1 インポシブルトリニティ [2]

相場制度は、ほぼ完全に市場に任せて需要と供給を均衡させるものなので、為替制度が政府介入のあるクリーンフロート制と、政府介入のないダーティフロート制の2種類しか存在しない。一方、固定相場制は固定の方法や度合いも様々で、各国異なっている。しかし為替制度で、無条件にどの制度が一番優れている、ということはない。なぜならば為替制度には、図1のような「インポシブルトリニティ」とよばれるトリレンマが存在するからだ。これは、為替レートの安定化、資本移動の自由化、独立した金融政策の実施、という3つの重要で実現すべき目的があるにもかかわらず、どれか2つを達成しようと試みると、残りの1つが矛盾してしまう、というものである。つまりこの3つの目的のうち、どれとどれを優先すべきか、そしてその国の特性とを考慮して、最適な制度を採用すべきなのである。

2.3 新たな数理モデルの出現

外国為替市場において一日約200兆円もの金額が取引されているが、そのうち実需は約2兆円である。残りは市場価格の変動を利用して利益を挙げる投機であり、実に全体の取引金額の99%近くを占めている。そのような特殊な市場において、近年、投機動機とそれに伴うお金の流れ、市場価格の変動に関する基礎研究が活発に行われうようになった。このことにより、モデルの初期条件やエージェントに持たせる振る舞いを、より現実的なものに近づけ、整合性の高い数理モデル構築を作ることが可能になった。

3. 研究アプローチ

これまで、主に事例研究や理論をもとにミクロ経済とマクロ経済に分けて、時間軸を取り入れずに理論化を図るというアプローチが主流であった。これに対し、本論文では、為替市場は複雑に入り組み合う社会の中に存在し、為替レートは日々変化する環境とディーラーなどのエージェントのミクロ的振る舞いによって、その時々で創発されると捉える。その結果、マクロ的な為替レートの変動が生まれると

(注1): Platboxとは井庭研究室で作られているシミュレーション作成ツール。詳しくは <http://www.platbox.org/> 参照。

いう複雑系の概念にたち、シミュレーションを作成、分析を行う[3]。このような新しいアプローチをとることで、今まで理解できなかった為替レートの不可解な暴落などの創発過程の再現と、それが起こった原因などを探ることが出来ないかを考える。

また、一般的なモノの売買は生産者と消費者が明確に分かれており、伝統的な需要と供給の調整によって市場価格が適正に決まるといふ考え方で理解することができたが、為替市場においては、売り手と買い手(すなわち需要者と供給者)が容易に入れ替わるという、全く異質の性質を持っている。

さらに、売り手と買い手が両者を2、3人の市場ならば、簡単な図を書いてシミュレーションすることが可能であるが、各エージェントが 売り手が増えれば増えるほど価格が下がる、市場のエージェント全体の行動によって取引を変える、というような命令を付け加えたり、エージェントの数を100人に増やしたならば、もはや人間の力だけのシミュレーションは不可能になる。コンピュータ・シミュレーションはそれを可能にし、更には様々な変動要因や条件を変えたり、変更を即座にモデルに反映、適確にシミュレーションを実行・分析することまで実現する。このことで原因と結果が結びつきやすくなり、視覚的にもその因果関係が理解しやすくなる。この利点を活かし、個々の要素とそれがエージェントに与える影響、最終的には為替レートの変動の様子を観察し、外国為替市場の特徴をとらえていけるようなモデルを作っていく。

4. モデル

4.1 モデルの基本構造

本モデルでは、ディーラーと投機家をエージェントとしてモデル化する。本来、外国為替市場に参加しているエージェントには、企業、機関投資家、個人投資家、引受業者、政府も含まれるが、変動為替相場制における変動要因を確実に、順を追って検証していくためにも、まずはごく簡潔なモデルにおいてシミュレートしたいと考えたからである。この2つのエージェントを選んだ理由としては、市場の動きの大部分である取引金額の99%に当たる投機を動かしている、必要最低限のモデルにて、そもそもの変動為替相場制という制度下における変動要因を探るようになるため、が挙げられる。

そこでエージェントとしては、ディーラー、投機家に加えて市場の3タイプを作った。この円ドル市場モデルの世界を図示にしたものが、図2で

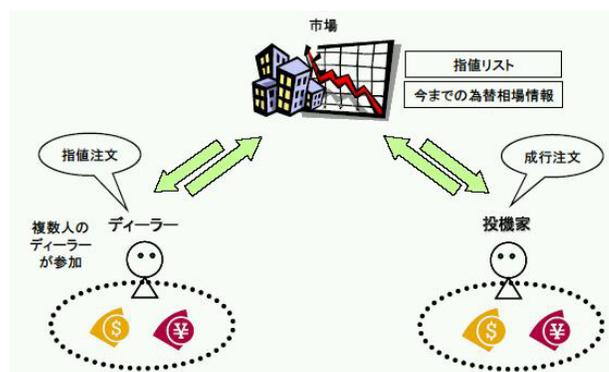


図2 円ドル市場のモデルのイメージ

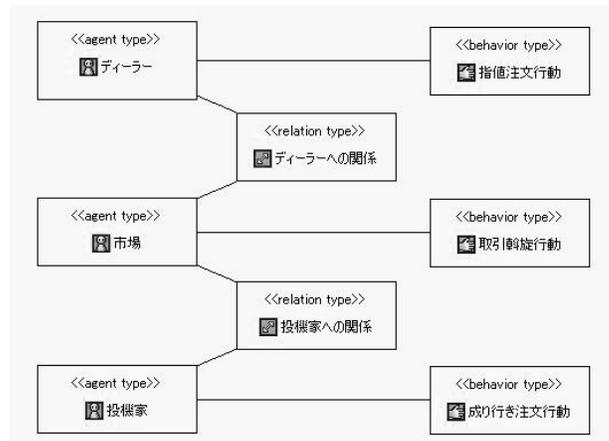


図3 エージェント・関係・行動のクラス図

ある。

エージェントと関係、行動を表すクラス図は、図3のようになる。市場エージェントを作ったのは近年の取引方法の変化を反映するためである。実際の外国為替市場における取引は、銀行間のディーラーと投機家による相対取引(注2)である。以前は、ブローカーが売り手と買い手を結びつけて取引を成立させるのに電話を使っていた。しかし最近では誰でもインターネットなどでタイムリーな為替相場をいつでも受信できるようになり、瞬時に最適な状態での取引を実現できる電子取引のシェアが大幅に増えてきている。そのため、市場という取引斡旋エージェントを作ることで、最適な取引が瞬時に行われるという表現にしている。

エージェントと情報のクラス図は、図4のようになる。

4.2 シミュレーションの流れ

本モデルのコミュニケーション・シーケンス図は、図5のようになる。

(注2): 相対取引とは価格を提示する側と、その価格で売買を行なう側の、2者間で行なわれる取引

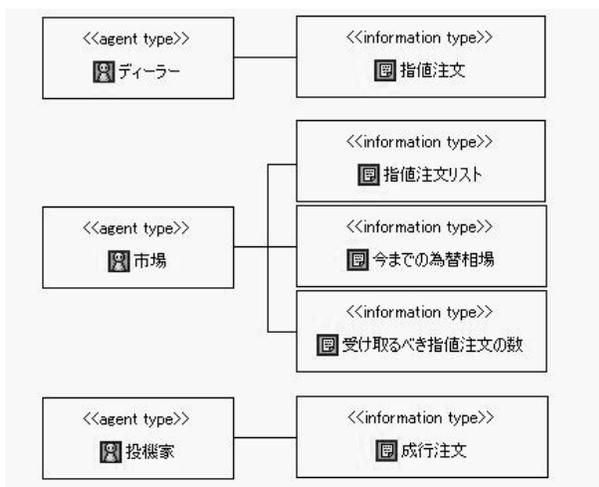


図 4 エージェント・情報のクラス図

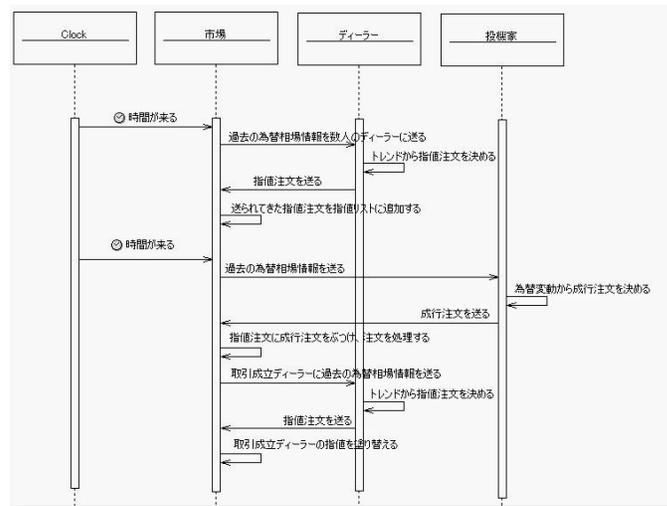


図 5 コミュニケーション・シーケンス図

(1) 市場は今までの全ての為替相場^{注3}を記録したものを、数人のディーラーに送る。

(2) デイラーは受け取ったリストをもとに短期間の為替相場の変動率を求める。算出された変動率をもとに、それぞれの振る舞いの設定に応じて、指値^{注4}を決定、指値注文を市場に送る。

(3) 市場はディーラーから受け取った指値を次々に指値リストに追加していく。指値リストが完成したら、今度は為替相場のリストを一人の投機家に送る。

(4) 投機家は、ディーラーと同様に、任意の過去の為替相場の変動率を算出。成行注文^{注5}の売りか買い、注文量を決定し、成行注文を市場に送る。

(5) 成行注文を受け取った市場は、指値リストを参照し、各成行注文にとって最適な指値注文との取引を実現し、処理する。

(6) 取引終了後、best bit^{注6}と best ask^{注7}を新たな為替相場情報として、リストに加える。そして取引が成立したディーラーから再度指値注文を受け取り、投機家からの成行注文を受け付け、取引を実現させる。

(7) ある一定期間に為替変動が大きく上下した場合、取引に参加するディーラーの数を変更する。

(注3): 為替相場とはドルを買いいたいという注文のうち一番高い価格と、ドルを売りいたいという注文のうち一番安い価格。この価格がそのときに取引するのに最適な価格を示している

(注4): 指値とはディーラーが予め、この価格だったらドルを買い、この価格だったらドルを売り、という公表する価格

(注5): 成行注文とは、あらかじめ公表されている指値に、売りか買いの注文をぶつけて取引を実現する方法

(注6): best bit とは買い注文の相場。本モデルでは予め出されている売り注文のうち、一番安い価格から取引されていくので、最も安い売値が best bit となる

(注7): best ask とは売り注文の相場。

4.3 エージェントの注文決定方法

ディーラーは最初に全員、過去の短期の為替相場から移動平均を算出する。予め設定段階で、順張りディーラー^(注8)と逆張りディーラー^(注9)の比率を決めておくので、算出した為替変動と各ディーラーの性質に応じて、指値の価格を決定する。また、ディーラーは過去の変動が大きすぎる場合は、通常 0.05 ~ 0.1 の間であるスプレット^(注10)を 0.1 ~ 0.2 に変更する。注文の本数^{注11}は、毎回 1 ~ 11 本の乱数とし、売りと買いの本数は同じにする。

投機家はまず、それぞれが毎回、1 ~ 100 期のいずれかの過去の為替相場の移動平均を出す。ディーラーと同様に、逆張りとは順張りの比率を決めてあるので、その振る舞いに応じて売りか買いのどちらを行うかを決定する。注文本数は、1 ~ 11 本の乱数とし、成行注文とする。

4.4 パラメータで調節可能な部分

パラメータで調節可能な部分は、以下の通りである。

- デイラーの数、投機家の数
- 市場に参加するディーラーの数を変える基準
- 順張りディーラーの割合 (必然的に逆張りディーラーの割合も決まる)
- 順張り投機家の割合 (必然的に逆張り投機家の割合も決まる)
- デイラーが参照する過去の市場の期間
- デイラーがスプレットの大きさを変える基準

(注8): 順張りとは相場の上下に沿った注文を出す行為をいう。例えば、相場が上がっているときは外貨を買い、という行為

(注9): 逆張りとは順張りの逆で相場流れに反抗する注文を出す行為

(注10): スプレットとは売値と買値の差のことをいう

(注11): 為替市場における取引単位。一本は 100 万ドル

5. シミュレーションによる実験

5.1 基本設定による振る舞い分析

5.1.1 実験の設定

- デイラーの数 = 20 人
- 投機家の数 = 1 人
- 市場に参加するデイラーの数を変える基準 = 30 期の移動平均が 10 以上だったらデイラーの数を変える

- 順張りデイラー: 逆張りデイラー = 1 : 1
- 順張り投機家: 逆張り投機家 = 1 : 1
- デイラーが参照する過去の市場の期間 = 15 期の移動平均

投機家の参照する過去の市場の期間 = 0~100 期の乱数

- 投機家の参照する過去の市場の期間 = 0~100 期の乱数
- デイラーがスプレットの大きさを変える基準 = 50 期の移動平均が 30 以上だったら、売値と買値のスプレットを 0.1 0.2 に拡大する

5.1.2 シミュレーション結果

以上の設定で、シミュレーションを 10 万ステップ実行した結果は、以下のとおりである。全体的に、為替レートは常に細かく動き、時々大きく急激に動いている。で行った場合、図 6 のように、変動を繰り返して最終的にもとの相場に落ち着くもの、図 7 のように上昇していくもの、図 8 のように下落していくものがある。また、図 6 は 5 万ステップの当たりで相場がかなり大きく上昇したり、直後に下落しているにもかかわらず、10 万ステップでは当初のレートに戻りつつあるということが分かる。次に、図 8 は 1500 ステップほどの期間で 30~50 銭上下することが多々ある。しかし、全体として為替レートの動きを見ると、緩やかに下落している。一方、図 7 は、1500 ステップほどで 30~50 銭上下することは 2 回ほどしかない。それなのに、全体として為替レートの動きを見ると、図 8 よりも、大きく相場が上昇している。

変動の大きさと発生頻度の関係に注目すると、この 3 つの図を見て分かるとおり、小さな変動は沢山あるが、変動が大きくなればなるほど、発生する頻度は少なくなっている。

5.1.3 考察

まず、本モデルにおいて取引を行うエージェントは完全に投機を目的としており、周りの行動に応じて 100% 自分の行動を決めている。それにもかかわらず、為替レートは非常に複雑で予測困難な動きを示し、実際の市場と同様の動きを示すことが認めら

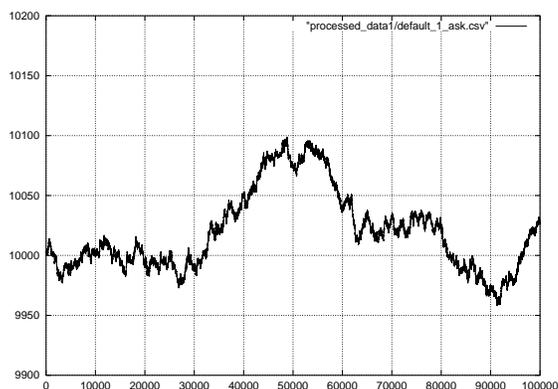


図 6 元の相場に落ち着く場合の為替レートの変動

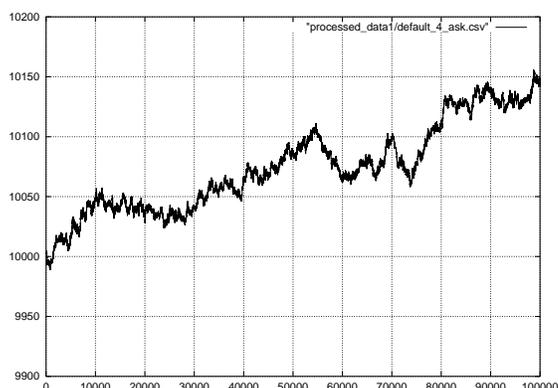


図 7 相場が上昇していく場合の為替レートの変動



図 8 相場が下落していく場合の為替レートの変動

れた。これらのことからファンダメンタルズ^{注12)}に加え、市場のトレンドも為替レートの変動に大きく作用しているのではないかと考えることが出来る。

アジア通貨危機前の各国のマクロ経済政策は比較的健全であったと言われており、その実態に見合わないほど市場が反応したと言われている。この現象

(注12): ファンダメンタルズとは、その国の国力や経済状態を示す要素で、各国の経済成長・物価・国際収支などのこと。為替取引の参加者の意思決定はこれに強く影響されると言われている

も上記のように、実際のファンダメンタルズ以上に、周りのエージェントの行動に同調する振る舞いによって過剰に市場が反応してしまったのではないかと考えることができる [4]。

また、小さい部分ごとの変動は大きいのに、マクロ的に見たら緩やかな相場の変化であったり、逆に部分部分の変動は小さいのに、マクロ的に見ると大きく上下していたり、あるいは予測どおりの動きをしたりと、同じ設定においても様々な動きが見られ、為替レートは創発されるものであって非常に予測困難であることが分かる。

為替相場の変動の大きさが大きいほど発生頻度は低く、小さな変動ほど頻繁に起こっているという、実際の為替市場の特性も、本シミュレーションでは再現されている。

5.2 ディーラーの人数による影響分析

5.2.1 実験の設定

本モデルでは、投機家は全く同じ対応と設定を持ったエージェントが一回のステップにつき一人だけ取引を行うため、1人居ても100人居ても結果に影響はない。そこでディーラーの数を1人、2人に固定して変化を見た。更に為替相場の変動があまりに大きい場合、参加ディーラーの数を変更するという命令を加え、5~10人の間で可変、10~20人の間で可変させてシミュレーションを行い、結果を比較する。参加ディーラーの数以外の設定は全て同じ条件でシミュレーションを行った。

5.2.2 シミュレーション結果

図9のディーラーが1人の場合と、図10のディーラーが2人の場合を比較すると、その差は歴然としており、明らかにディーラー2人の場合のほうが安定している。一方、図11はディーラーが5~10人参加しており、図12は10~20人の結果である。10名程度増やしているにもかかわらず、為替相場の変動に差ほど大きな違いは得られなかった。

個々にグラフを見ていくと図9はディーラーが一人であるにもかかわらず、大きな変動ほど発生頻度が少なく、小さな変動ほど発生頻度が多い。図12は、一見なだらか過ぎるようにも見えるが、これは縮尺の問題で、図6と同じデータである。

5.2.3 考察

ディーラーの参加する人数が増えれば増えるほど、指値リストに加えられる注文の本数が多くなる。つまり、ディーラーの数が多いと相場は安定したのは、同じ価格に沢山の注文が入っているほど、為替相場は変動しにくいからだと考えられる。一回のステッ



図9 ディーラーが1人の場合の為替レートの変動



図10 ディーラーが2人の場合の為替レートの変動

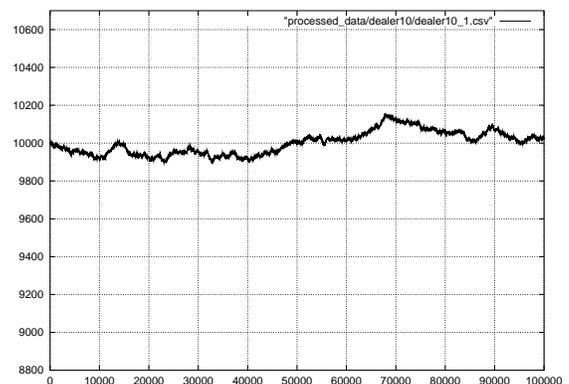


図11 ディーラーが5~10人の場合の為替レートの変動

プで投機家は1~11本の注文しか行わない。そのため、ディーラーを「5~10人」から「10~20人」に増やしても、1人から2人に1人だけ増やした時ほど結果に変化が大きく現れなかったのだろう。

つまり、一つの価格帯に11本以上の注文が入っていても、為替相場の変動には影響を与えないと推測される。ディーラーの振る舞いを決める条件は同じなので、指値として入れておく注文の数を多くしたなら、一人でも市場の動きを再現することが可能な

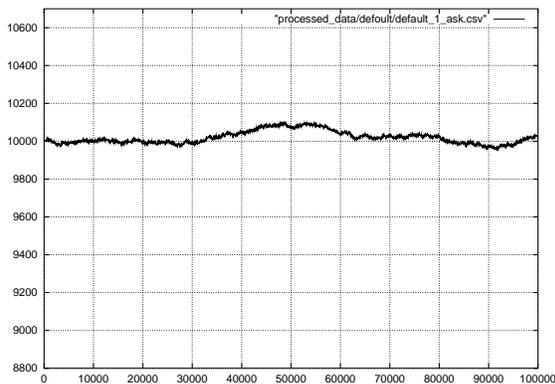


図 12 デイラーが 10~20 人の場合の為替レートの変動

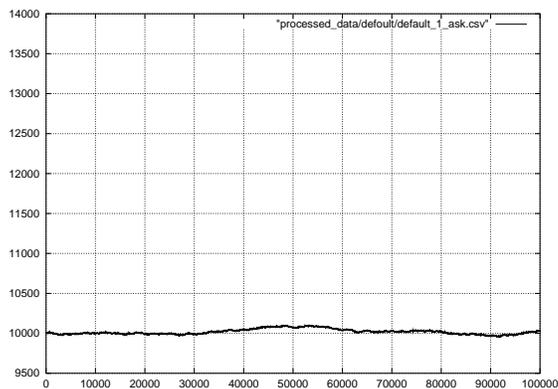


図 13 順張り:逆張り = 1:1 の場合の為替レートの変動

のではない。

5.3 順張り・逆張りの割合による影響分析

5.3.1 実験の設定

ディーラーと投機家の、トレンド(注13)に対する順張り・逆張りの注文を行う確率を変えて、シミュレーションを行った。設定としては順張り:逆張り = 1:1、3:2、2:3の3段階で行った。尚、順張り・逆張りの割合以外の設定は全て同じである。

5.3.2 シミュレーション結果

順張り:逆張り = 1:1 の場合は、図 13 のようになる。図 6 と同じ設定・結果であるが、比較のために縮尺を大きくして揃えているため、のようにならなかでレートがあまり変化していないように見える。

順張り:逆張り = 3:2 の場合は、図 14 のように、かなり上昇した。初期の状態よりも 35 円の円安となっている。乱数の設定を変えてシミュレーションを実行しても、全て 10 万ステップ後には 35~40 円の相場が上昇している。相場の軌跡も、どの乱数の設定においても非常に酷似している。

順張り:逆張り = 2:3 の場合は、図 15 のように、なだらかに下落した。最初に比べても 50 銭ほどしか変わっておらず、乱数の設定を変えてシミュレーションを実行しても、全て 10 万ステップ後の相場の変化は 50~70 銭の間に収まっている。つまり、順張り:逆張り = 3:2 の設定に比べると、70 分の 1 程度の変動に留まっている。また、どの乱数の設定においても、順張り:逆張り = 3:2 の設定と同様、おなじような曲線を辿っている。

5.3.3 考察

順張り・逆張りの割合を少し変えただけで、かなりの結果の違いが現れた。順張りが多いと、相場は

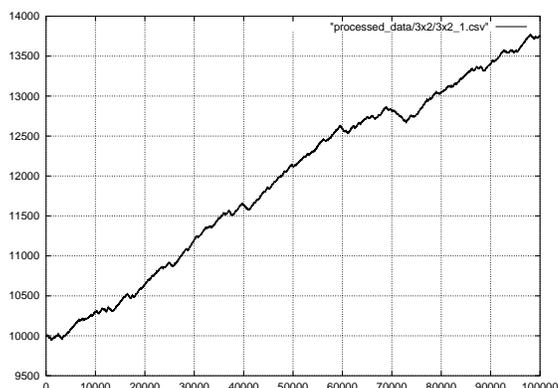


図 14 順張り:逆張り = 3:2 の場合の為替レートの変動

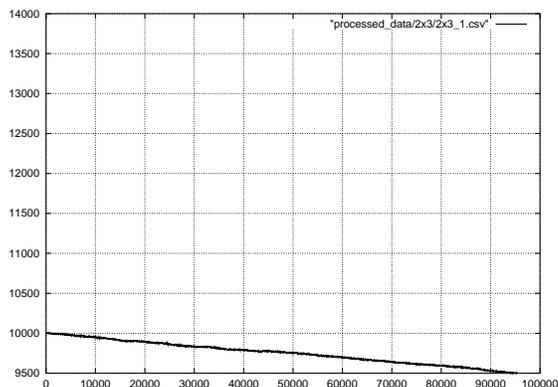


図 15 順張り:逆張り = 2:3 の場合の為替レートの変動

大きく動き、長期的な視野で見ても、大きなトレンドを生むことになっている。一方逆張りが多いと、かなり緩やかな為替レートが持続されていた。このことから投機する際に、相場の裏を読んで、常にトレンドに逆行するような取引を行うほうが、順張りが多い市場よりも為替レートの安定が保たれるといえる。

実際にアメリカなどでは順張りが多いと言われており、為替レートもトレンドに敏感に反応し、変動

(注13):トレンドとは、為替相場が上がる、又は下がるなど、動く方向のことを言う。

も実際若干大きめになっている。一方の日本は逆張りが多いと言われている。

このモデルの更に面白い点は、順張りとは逆張りの割合が1:1の初期設定時は、乱数以外の設定を同じにしても大きく上昇したり、停滞したり、下落したりと、乱数の設定によって様々な動きを見せていたにもかかわらず、順張りとは逆張りの割合を変えることで、同様の動きを見せるようになったことである。この原因としては、どちらかの性格が強くなることで、変化を一方向に進める順張りの力や、小さな変化を押しつづす逆張りの効果があるのだろう。実際の市場ではこの順張りとは逆張りの割合が絶えず変化してきて、更に市場の為替相場を予測不可能なものにしているのだろう。

6. 今後の展開

6.1 本モデルの課題

本論文では、想定していたパラメータの変更と結果の比較をすべて行うことはできていない。そこでモデルを拡張したりする前に、まずはもう少し、パラメータを変えて分析・比較することが大切である。想定されるパラメータの変更点は、以下の通りである。

- ディーラーが参照する過去の市場の期間の変更
- 投機家の参照する過去の市場の期間を定める
- ディーラーがスプレットを決める基準を変更
- 市場に参加するディーラーの数を頻繁に変更

これをそれぞれ乱数のシードを変えて分析する必要がある。ある変動要因に対し、対処療法的に急激な変動を抑える方法を、シミュレーションを実行していく上で探っていくことはもちろん、為替制度としての変動相場制という大きな視点から、総合的にパラメータを変えて安定方法を探っていくことも大切であろう。

6.2 円ドル市場モデルの拡張

拡張としては、まず政府介入が考えられる。一回の介入が一兆円といわれてはいるが、果たしてその金額はどれほど効果があるのか。また、こういった状況に市場があるときに効果がより発揮され、金額の増減で効果はどれほど変わってくるのかを見たい。

次に、一日の取引量などからステップ数を実際の為替市場の時間軸に照らしあわせ、変動の規模や動きを実際の為替レートに近づけるパラメータを導きたい。

7. おわりに

本研究はアジア金融の安定を目的として、為替制度について研究するプロジェクトの一環である。

中国はドルペック制から、米ドル、欧州ユーロ、日本円の3大通貨に一定割合で連動する「通貨バスケット制」を参考に、上下0.3%幅の変動を認める管理変動相場制への移行したが、なお諸外国からの中国の人民元の切り上げ圧力がかかっている。変動相場制度の理解は、アジアで大国に成長しつつあり、日本にも多大な影響を及ぼす中国がいずれ完全な変動相場制に移行するにしても、そのリスクを回避するのに役立つであろう[5]。

また、近年EUROが上手く機能しており、アジアでも共通通貨を導入しようという意見を多く耳にするようになってきた。だが実はEUROの成功は珍しいもので、どの国にとっても良いとはいえない。EUROの成功が各国のリスク分散という共通通貨の制度上のメリットから成り立っているのかを、ヨーロッパの地理的・歴史的環境や経済理論から探るのではなく、シミュレーションから構造的に探っていきたい。

以上のように、今後は円ドル市場の分析に留まらず、日本、ひいてはアジアにとって、どのような制度が最適といえるのかを構造的に、他の制度と比較していきたい。その第一ステップとして、現在アジア金融プロジェクトとして同時並行して作成されている、バスケット通貨のシミュレーション[6]との比較を考えている。

謝辞

本研究は、経済産業省の「新通商金融システム」研究会の一環として行われた。外国為替市場の知識提供や本研究に対するご助言を下された研究会の方々に感謝の意を標したい。

参考文献

- [1] 白井早百合. 検証IMF経済政策～東アジア危機を越えて～. 東洋経済新報社, 1999.
- [2] 松浦克己, 米澤康博. 金融の新しい流れ～市場化と国際化. 日本評論社, 2002.
- [3] 高安秀樹. 経済物理学の発見. 光文社, 2004.
- [4] 吉野直行. 新通商金融システム研究会座長取りまとめメモ. 経済産業省, 2004.
- [5] 白井早百合. 人民元と中国経済. 日本経済新聞社, 2004.
- [6] 国友美千留, 津屋隆之介, 井庭崇, 高安秀樹. バスケット通貨モデルの構築: シミュレーション実験を用いた国際金融取引の安定要因分析. FCS/MPS 計算科学シンポジウム, 2005.