

論文審査の結果の要旨

氏名 饗場行洋

本論文は5章よりなり、第1章はイントロダクションであり、経済物理学が概説されている。第2章では本研究の焦点である、外国為替市場における三角裁定取引が説明されている。第3と第4章で本研究の成果である、三角裁定取引に対する‘マクロモデル’と‘ミクロモデル’とが提起、解析され、市場間相互作用の重要性に関する論考がなされている。第5章はそのまとめである。

最近、経済・金融現象を、統計物理学の研究手法を用いて研究する学問が盛んに進められている。経済物理学 (Econophysics) とよばれるもので、例えば、外国為替市場における為替レートについて言えば、その変動 (ゆらぎ) がどのような特徴的な分布を示すかがまず解析され、続いて、その分布および変動の詳細が、多数の市場参加者の売買行為から生ずるメカニズム (多体系の非線形ダイナミクス) を明らかにしようとする研究が展開されている。本論文では、三角裁定取引とよばれる、次のような‘現象’が取り上げられている。いま、1円をドルに両替し、そのドルをユーロに両替し、そのユーロを円に両替したときの円が μ 円であったとすると、 μ は対応する三つの為替レートの積で与えられ、 $\mu > 1$ であれば、この三角裁定取引で利益を得る。利益が得られることが分かれば、市場参加者の多くはこの取引を進めようとし、その結果為替レートが変動する。本論文提出者はこれを異なる市場間の相互作用と捉え、それを定式化する新しいモデルを提起し、ログレート積とよばれる μ の対数 ν に関して、モデルの解析結果と現実の市場間で見られる実データとの比較を行っている。

第3章では三角裁定取引の‘マクロモデル’の提起と解析がなされている。ここで‘マクロ’とは、多数の市場参加者の売買行為まで立ち入らず、三つの為替レート r_i を変数とするモデルを意味する。具体的には、各 $\ln r_i$ は互いに独立なノイズと (切断レビ過程とする)、ログレート積 ν をその時間平均値 $\langle \nu \rangle$ に戻そうとする、 $\nu - \langle \nu \rangle$ に比例する作用の下で時間発展するとする。後者は、 $\ln r_i$ をある粒子の位置座標と見なせば、三つの粒子の重心に調和振動子型の復元力が働いているモデルとなる。そのばね定数 k や $\langle \nu \rangle$ を含めて、モデル中のすべてのパラメータは実データから見積もることができる。それを代入したモデルを主に数値的に解いた結果が実データ ν の振舞いを良く再現することが確かめられた。特に、為替市場間に相互作用がない ($k = 0$) とした場合、 ν の時間発展は各 $\ln r_i$ と同様なランダムな変動を見せるが、実データから見積もられた k 値を用いた場合、 ν の分布 $P(\nu)$ が $\langle \nu \rangle$ で鋭いピークを示すとともに、比較的大きい $|\nu - \langle \nu \rangle|$ の領域では減少がゆっくりであること、また、為替レート間相互作用を反映して、各 $\ln r_i$ の自己相関関数は短い時間スケールで負の相関を示すことが検証されている。

第4章では三角裁定の‘ミクロモデル’が論じられている。多数 (N 人) のディーラーの売買行為まで立ち入って、一つの市場の価格変動を解析した研究は既にいくつかなされてい

るが、その一つに次のような佐藤・高安モデルがある。各ディーラーは希望取引価格を用意し(売値と買値の差は全て一定値 Λ をとり、売値の初期値は一様乱数 $[0, \alpha)$ とする)、売り手のディーラーは売れるまで言い値を下げ、買い手のディーラーは買えるまで言い値を上げ、ディーラーの中で前者の最低値が後者の最高値を下回ったとき、取引が成立、両者の平均値が新しい価格となり、その売り手(買い手)は以後買い手(売り手)に転じる。本論文では、この一市場に対するモデルを、三角裁定を単純化した二市場に対するモデルへ拡張されている。すなわち、円・ユーロ為替市場とドルの売り買いを通じた有効円・ユーロ為替市場を設定し、二つの市場内にそれぞれ佐藤・高安モデルを適用すると同時に、二つの市場間でも売り手の最低値と買い手の最高値の間で取引成立を許し、後者を、市場間相互作用のミクロ過程と見なす。これが、本論文で提起された三角裁定の‘ミクロモデル’である。パラメータ N や α/Λ などの値を変えた数値解析を詳細に行った結果、このモデルが実データ ν の振舞いをよく再現すること、特に、分布 $P(\nu)$ が変数 $\nu - \langle \nu \rangle$ に対して非対称であることが検証された(マクロモデルではこれは再現されない)。更に、このミクロモデルから算出されるばね定数 k が、実データから求められる k と同様に、取引成立間隔を変数としたとき指数関数型になることも確かめられている。

本研究の意義は、三角裁定取引を取り上げ、それに対する新しいモデルを提起、解析することにより、為替レート変動に働く市場間相互作用の重要性を明らかにしたことにある。複数の市場を考え、その間の相関について考察を行った研究は経済物理学としては本研究が初めてであり、論文提出者の着眼のよさは高く評価される。ミクロモデルについては、実データとの比較において、例えば、取引成立間隔とばね定数の関係に関して定量的な問題が残されているが、マクロモデルも含めて、モデル結果としてのログレート積 ν の大まかな振舞いは、対応する実データの振舞いをよく再現しており、満足のいく結果であると言える。

なお、第3章で述べられているマクロモデルに関する成果は、雑誌 *Physica A* に3報、本 “The Application of Econophysics” ed. H. Takayasu に分筆1報がすでに出版されている。

本論文中の第3、4章の一部は、羽多野直道氏、および、高安秀樹氏との共同研究であるが、論文の提出者が主体となって分析を行ったもので、論文提出者の寄与は十分であると判断する。よって本論文は博士(理学)の学位請求論文として合格と認められる。