

[博士論文審査要旨]

申請者 佐久間 吉行

論文題目 為替取引のクラスタ現象が価格形成に与える影響の調査

審査員 中村信弘, 本多俊毅, 横内大介

佐久間氏の博士論文は、外国為替取引で発生するクラスタ現象が取引価格の形成に与える影響を、Tick データと呼ばれる為替取引の結果が時々刻々と記録されているビッグデータを用いて調査している。

この為替取引のクラスタ現象とは、ある時間帯は立て続けに約定し、逆にある時間帯では極端に約定が起りづらさをあらわした表現である。Tick データの約定時間と約定価格の組を適切に図示すれば、クラスタ現象の様子は視覚的にも容易に確認できる。

一方で、Tick データを用いた外国為替取引に関する研究の多くは、伝統的な時系列分析が行いやすいように Tick データを縮約して、30 分足、1 時間足などの等間隔の時系列データに加工する。このようなデータの等間隔化はクラスタ現象をデータから隠してしまうことになるので、クラスタ現象と取引価格形成との関係の調査は研究テーマとしてとりあげづらく、先行研究もそれほど多くはない。

佐久間氏の研究ではクラスタ現象に関する情報を損失しないよう、先行研究のような等間隔化の加工をおこなわず、Tick データをそのまま使用している。このような Full Tick データを分析する研究では、Hawkes 過程が用いられることが多い。このモデルでは、取引の発生強度を示すパラメタの値がジャンプとなだらかな減衰を繰り返すことで、取引数の変化を表現している。ただし、取引が密な時間帯、疎な時間帯といった明確に区分されたクラスタを取り出すという目的の場合、このような自己励起的な Hawkes 過程の表現は使いにくい面もある。そこで、本研究ではこの Hawkes 過程ではなく、複数の点過程モデルを適宜切り替える Shibata[2006]の 2 分木アルゴリズムによるモデリングを採用している。この 2 分木アルゴリズムは、特定の期間を 1 つの点過程モデルで説明すべきか、それともある時点で切り替わる 2 つの点過程モデルで説明すべきか、という仮説検定の問題を設定、実施し、モデルの切り替え時点、つまりクラスタの区分点を決定している。この仮説検定を区分したデータに対しても再帰的に適用し、1 つの点過程モデルで説明するという帰無仮説が棄却できなくなるまで継続することで、すべてのクラスタを自動的に検出している。Shibata[2006] では発生強度一定のポワソン過程を用いられていたが、佐久間氏はモデルの自由度を持たせるために発生強度が特定の確率分布に従う複合ポワソン過程をとりあげ、さらなる一般化を図っている。次に、本研究では 2 分木アルゴリズムで得られた各クラスタのデータと先行研究でよく用いられる等間隔化したデータの両方を用いて、為替取引の価格形成を調査している。この調査では、為替取引の板情報を使って価格形成を調べた Cont et al.[2014]のフレームワークを採用している。本研究では、為替相場を平常時と FOMC の発表で相場が急変した異常時に場合分けをし、クラスタ化したデータと等間隔化したデー

データの2種類を用いて、それぞれの条件の下での指値と取引の発生間隔、価格、量の変動などの変量間の関係を調べている。その結果、平常時データの分析ではクラスタ化したデータと等間隔化したデータとも結果に大きな変化は見られなかったが、異常時データの分析では、従来の等間隔化したデータの分析ではとらえることができなかつた指値注文による価格の急激な変化が、価格インパクトやデプスの変化、クラスタ数の急激な増加という形でとらえられるようになったと報告している。さらに、本研究では、2分木アルゴリズムが経時的にクラスタの区分点を検出することはできないという実務的な欠点があることを指摘し、その問題を解決する手法として Yokouchi et al.[2013]が提案したレジームスイッチを経時的に検出する時変 AR モデルの拡張を提案している。具体的には、単変量モデルである Yokouchi et al. [2013] の時変 AR モデルを、指値注文の中値、ベスト・ビッド/アスクの量が同時に扱えるように時変 VAR モデルへと拡張し、経時的に得られる残差のマハラノビス距離に急激な変化が生じた時点を区分点とみなしてクラスタを検出している。そして、同一データに対して、2分木アルゴリズムを適用して検出したクラスタの区分点と提案した時変 VAR モデルを適用して検出した区分点とを比較し、おおよそ同じクラスタが検出できたと述べている。この異常検知自体はマハラノビス距離を用いたカイ二乗検定に過ぎないので研究的な目新しさはないが、多変量に対する EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)のアイデアを導入することで逐次計算を容易にし、高速取引の現場でも利用できるように設計した点は高く評価できる。

以上のように、本研究は、外国為替取引の価格形成に関する伝統的なデータ分析手法を、為替のクラスタ現象という興味深い特徴が消失しない形で再構成している。その点は、他の研究に類を見ない独創性の高い研究であるといえる。また、本研究でいうところのクラスタの検出とは一種のレジームのスイッチングポイントの検出とみることもできる。AI による高頻度取引が盛んになりつつある昨今において、軽量の計算で経時的にある種の相場の転換点の候補を検出できる時変 VAR モデルは、実務的にも価値の高い手法になる可能性を秘めている。これらの研究に対する基本的な発想は、高頻度データ研究が進むべき一つの方向性を与えるものであるといえる。

佐久間氏の学位請求論文は全部で6つの章で構成されている。第1章は本研究の目的と本論文の構成について述べている。

第2章では本研究で用いた Tick データの内容説明と分析時のデータの加工方法および本論文の説明を簡潔にするための数式や記号の導入を行っている。

第3章では、取引発生の強度が確率変動すると仮定した場合の為替の取引の発生間隔のクラスタ区分と提案したモデルの当てはまりの調査を行っている。先行研究である Shibata[2006] は、平常時の為替データを取りあげ、定常ポワソン過程による2分木アルゴリズムを用いて取引発生の強度が一定のクラスタに区分し、クラスタ内の価格差がラプラス分布に従うことを確認しているが、フラッシュクラッシュなどの相場の異常時についての調査は行っていない。佐久間氏は、相場が異常時の際は、強度一定のモデルよりも強度が

確率変動する仮定を置いた方がモデルの説明力が高まると予想し、相場が異常時であるとみなせるデータの分析に焦点を当てて議論を展開している。具体的には、定常ポワソン過程を用いる Shibata [2006] のモデルを拡張し、複合ポアソン過程を仮定することで、新たなクラスタの検出方法を確立している。実証分析では、米国の S&P 先物の流動性供給が瞬間的に壊れて大暴落したフラッシュクラッシュの時間帯を含む Tick データを用意し、発生強度がガンマ分布、逆ガンマ分布に従う仮定を置いてクラスタ区分を行い、発生強度一定の Shibata [2006] モデルとの当てはまりを比較した。その結果、取引が活発な時間帯では本研究で提案したモデルのほうが説明力は高いことを報告している。

第4章では、為替取引をクラスタに区分し、それぞれのクラスタごとに、取引および指値の発生間隔、価格、量といった各変量間の相互の関係の調査を行っている。Tick データを用いた分析の多くは、発生間隔に関する情報を省略し、30分足などの等間隔データに変換する。本章では、定常ポワソン過程の仮定の下、二分木アルゴリズムを用いてクラスタに区分した Tick データを用意し、Cont et al. [2014] による指値注文の価格変動と量の関係を調査方法に準じて、取引および指値の発生間隔、価格、量の間関係を調査している。そして、Cont et al. [2014] の分析でも用いられる 30分等間隔の時系列データを別途用意して、それぞれのデータでの分析結果を比較することで、発生間隔の情報の有用性について議論している。実証分析の結果としては、発生間隔と価格、量の間には正の相関が存在することを確認しており、また、30分等間隔の区分上では隠れて確認できなかった価格変動が引き起こす価格インパクトやデプスの動きが視覚化できるようになったことを報告している。さらに、FOMC 発表直後の価格ジャンプについても調査を行い、クラスタに区分したデータを用いることで、発表直後に発生間隔が密になり指値注文の量が短時間に増加する様子が視覚的にとらえられるようになったことを報告している。

第5章では、クラスタの区分点の経時的な検出方法として、為替の指値注文の中値、ベスト・ビッド/アスクの量を基にした多変量時変 VAR モデルを提案している。二分木アルゴリズム分は事後的に区分点を検出するための方法であり、時間軸に沿って事象の変化を逐次的に検出することはできない。その問題を解決する方法として、Roberts[1959] の EWMA のアイデアを応用した Yokouchi et al. [2013] の時変 AR モデルの拡張を提案している。先行研究では時変係数を持つ単変量 AR モデルが用いられていたが、本章では為替の指値注文の中値、ベスト・ビッド/アスクの量を説明する 3 変量モデルへ拡張を行い、経時的に得られる残差に対するマハラノビスの距離を計算することで異常値の発生も同時にとらえられるよう改良している。そして、提案したモデルでとらえた異常値の発生時点が、二分木アルゴリズムでとらえた区分点とほぼ同一とみなせることを報告している。また、クラスタの区分点は相場の変化点であるとみなすことができることから、逐次的に変化点の候補を見つけることができるこのモデルは、相場の動きの予測に役立つ可能性があるとして述べている。

第6章は、本論文の3章から5章で得られた研究成果を整理し、簡潔にまとめている。

以上のように、佐久間氏の研究は、外国為替取引における取引および指値の発生間隔、価格、量の関係を明示的に扱う新たなモデルの構築とその応用を提案したものであり、Tick データを等間隔化する従来の分析手法に内在する問題点を指摘した点は高く評価される。一方で、審査員からは、3章で提案したモデルは新規性があるものの、具体的にどのような為替現象が捕らえることができるようになったのかがわかりづらい点、4章の内容が方法論に終始しているため本来の研究の意図が読みづらい点が本学位請求論文の問題点として指摘された。しかしながら、これらは残された課題として今後取り組むべきものであり、本研究の本質的な価値を損なうものではない。よって、審査員一同は、佐久間吉行氏の学位請求論文は、国際企業戦略研究科 博士（経営学）の学位を受けるに値するものと判断する。

以上