

博士後期課程学位論文の要旨

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

id13f002 佐久間 吉行

要旨

この論文は、以下の3つの論文から構成されている。

1. クラスタ区分の一般化
2. クラスタ区分による相場の特徴の把握
3. 時変 VAR モデルを用いた変化点の抽出とクラスタ区分との比較

以降で順に各論文の要旨を記載する。

1 クラスタ区分の一般化

1 番目の研究は、取引発生強度が確率変動すると仮定した場合の為替取引の発生間隔のクラスタ区分と当てはまりの調査となる。

外国為替取引には様々な要因が複雑に絡み合っているため、単純な数理モデルや統計モデルだけでは為替取引のメカニズムを説明することは困難であり、実務の助けになるようなフレームワークはまだ十分に確立されていない。この現象の複雑さを引き起こす要因の一つとして、為替取引のクラスタ現象が上げられる。為替取引のクラスタ現象とは、取引の活況度合いに応じて、取引発生間隔が短くなる時間帯と長くなる時間帯に分かれる現象である。このクラスタ現象を捉えるには、不均一な取引発生間隔を説明するモデルが必要になる。

Shibata[2006] は、平常時の為替データについて、定常ポワソン過程を用いて、取引の発生間隔を発生件数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異常時には強度一定のモデルではなく、強度が確率変動する仮定を置いた方がモデルの当てはまりが改善することが予想される。

この調査では異常時における説明力に焦点をあてることとし、定常ポワソン過程を用いる Shibata (2006) のモデルを拡張し、取引発生に対してはより柔軟な複合ポワ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た。具体的には、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ティックデータを用いて、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、強度一定のモデルとの当てはまりを比較した。結果、取引が活発な時間帯では本研究提案のモデルで近似精度が改善することを確認した。

併せて、価格差を取引発生間隔で基準化した分布が正規分布に従う仮定のもと、価格差の分布を求め、実際のデータとの当てはまりを確認し、Shibata[2006] の一般化を

試みた。更に、指数分布、逆ガンマ分布、ガンマ分布を GIG 分布で一般化して、どのような局面で似た分布が現れるのかパラメータの推移を視覚化した。

2 クラスタ区分による相場の特徴の把握

2 番目の研究では、為替取引の発生間隔をクラスタに区分することで、取引や指値の発生間隔と取引や指値の価格や量といった各変量間の相互の関係が、捕らえられるかの調査となる。

為替では、取引の活況具合に応じて取引の発生が疎らな時間帯と密になる時間帯に分かれる為替取引のクラスタ現象や、相場でのリスクの増減に応じて価格の変動が小さく推移する時間帯と急激な価格の上下変動が持続する時間帯に分かれるボラティリティクラスタリング現象が確認できる。これらの現象は相互に影響を与えている可能性がある。指値や取引の発生間隔、量、価格変動といった変量間の関係を明らかにし、これらを同時に捉えるモデルを構築したい。

従来の分析方法では、不定の発生間隔を一定間隔の中で発生頻度に要約して、時系列データに加工して分析する方法が考えられる。しかし、時系列分析で用いられる等間隔の区分では、経済指標の発表に伴う各変量の変化の情報は平準化されて消えてしまう。

本研究では、指値や取引の発生間隔の情報をありのままにとらえたマーク付き点過程モデルの中で、量と価格変動の関係を捉えることで、相場変化の特徴をとらえることができるのではないかと考えた。そして、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為替ティックデータをクラスタに区分する Shibata[2006] のモデルと、時系列データをもとに指値注文の価格変動と量の関係を調査する Cont et al.[2014] のモデルを組み合わせ、取引や指値の発生間隔、量と価格変動といった変量間の関係を捉えるモデルを構築した。

結果として、クラスタ区分上で、指値や取引の発生頻度と価格変動、価格インパクトなどの要約量の間での正の相関を確認した。また、時間軸を均等に区切ることで得られる 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に伴う価格インパクトやデプスなどの動きを視覚化した。そして、FOMC 発表直後の価格ジャンプについて、モデルに当てはめて調査し、等間隔の区分では消えていた情報が、クラスタ区分のもとでは、発表直後の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見えるようになることを確認した。

3 時変 VAR モデルを用いたレジーム変化点の抽出とクラスタ区分との比較

3 番目は、為替の指値注文の中値、ベスト・ビッド/アスクの量を基に、逐次にレジーム変化を検出する多変量モデルを検討した。

二分木アルゴリズムを用いるクラスタ区分は、事象を事後的に検出するには良いが、時間軸に沿って事象の変化を逐次に検出することはできない。一方で、将来に向かってクラスタの区分点と類似した相場の変化点を見つけることができれば、将来の相場の動きの予測に役立つ可能性がある。

Roberts[1959]のEWMA(Exponentially Weighted Moving Average)のアイデアを利用したYokouchi et al. [2013]の時変係数を持つ単変量のARモデルは、マハラノビスの距離の指標を用いて異常値を経時的に検出することができるので、この研究を応用することとした。

ただし、為替Tickデータでは、価格の動かない時間帯があり、変量の差分が0に近い値が続くことがある。この場合、モデルの漸化式を用いて平滑化係数($0 < r < 1$)を逐次に乗じていくと、時変共分散が0に収束して、Yule-Walker方程式から時変係数が推計できなくなる場合がある。このため、変量の差分に一定以上の変化があるデータが入ってきた場合のみ、時変共分散を更新するように工夫した。その上で、為替の指値注文の中値、ベスト・ビッド/アスクの量を組み込めるように、時変係数を単変量のARモデルから多変量のVARモデルに拡張し、経時的に得られる残差からマハラノビスの距離を計算することで異常値の発生も捉えられるモデルに改良した。

そして、マハラノビスの距離の指標が異常値を検出してジャンプした直後から次に同程度のジャンプが起こるまでの一定区間を1つのレジームと捉えることで、マハラノビスの距離の指標が検知する異常値から得られる区分を逐次で取得して、二分木アルゴリズムから作成したクラスタ区分と比較した。結果、取引が活発化したところで価格変動の異常値も発生しやすくなることを確認した。

また、付録では、時間間隔を1s, 5s, 10s, 15s, 30s, 60sの6パターン用意して、予測値が現在の価格を上回るとき一期先で価格が上昇、予測値が現在の価格を下回るとき一期先で価格が下落するとして売買する単純な戦略を組んだとき、1s, 5s, 10sの時間間隔では、右肩上がりに正の損益累計が得られることを確認した。

中値での調査であり常に等間隔で売買し続ける戦略なので、アスクとビッドの спреッドを超える収益は得られないが、高速計算可能なモデルであり、マハラノビスの距離の指標と組み合わせることで、マーケットメイカーの指値の抜き差しやアスクとビッドの спреッドの伸縮などへのモデルの応用が考えられる。