

外国為替市場におけるアルゴリズム取引の概要と 市場流動性に与える影響

金融市場局 福間則貴、門川洋一*

Bank of Japan Review

2020年8月

近年、外国為替市場では、予め設定したプログラムに基づき自動的に売買を行うアルゴリズム取引のシェアが高まっており、その実態把握が重要となっている。アルゴリズム取引は高速・高頻度で行われるとの一般的特性に着目し、ドル/円スポット市場について同取引を捕捉する指標を作成すると、同取引は2016年頃から上昇傾向にあり、日本時間よりも欧米時間で活発であることが確認された。また、市場流動性に与える影響について、アルゴリズム取引は、平時では流動性の改善に寄与しているほか、新型コロナウイルス感染症の影響で市場環境が悪化した本年2月下旬から3月のストレス時でも、一定の流動性供給機能を維持していたことが示唆された。ただし、短時間で相場が大きく動いた局面では、アルゴリズム取引による流動性供給機能が一時的にせよ低下した可能性も確認された。

はじめに

外国為替（以下、外為という）市場における取引手法の変遷¹を振り返ると、90年代初頭に銀行・証券会社（ディーラー）が取引する銀行間（インターバンク）市場に、売買注文や約定を電子プラットフォーム上で行う電子取引が登場し、2000年代入り後にはディーラーが機関投資家等と取引する対顧客市場でも普及してきた。当初は、電子取引における最終的な投資判断は、ヒューマントレーダーが担うことが多かったが、2000年代半ば頃になると、投資判断や約定までの一連の取引を、予め設定したプログラムに基づき自動的に行うアルゴリズム取引が普及し始めた。同取引は、ITの進歩を背景に、ヒューマントレーダーでは実現できない高速・高頻度での取引を可能とし、取引の効率性を高めることから、近年、増加傾向にある。例えば、代表的なインターバンクの電子ブローキングプラットフォームであるEBSにおいて、スポット取引に占めるアルゴリズム取引の割合は、2019年には約7～8割まで高まっている²。こうした取引手法の変化は、為替のレート形成や市場機能にも変化をもたらしているとみられ、アルゴリズム取引の実態把握は重要となっている。

本稿では、外為市場におけるアルゴリズム取引の概要を整理したうえで、ドル/円スポット市場に焦点をあて、同取引の近年の動向や市場流動性に与える影響を、定量的に把握することを試みる。

外為市場におけるアルゴリズム取引の概要

（取引戦略アルゴリズム）

アルゴリズム取引は、大まかに、「取引戦略アルゴリズム」と「執行アルゴリズム」に分けられる（図表1）³。取引戦略アルゴリズムは、収益機会を狙い、売買注文の価格や数量、タイミングとい

【図表1】代表的なアルゴリズム取引のタイプ

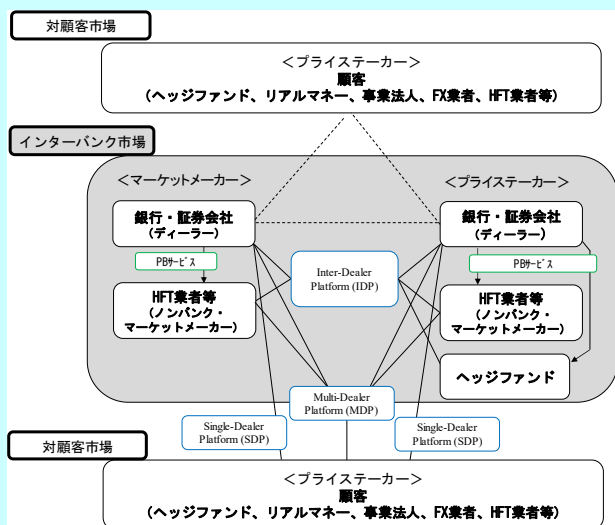
| タイプ | 概要 |
|------------|---|
| 取引戦略アルゴリズム | |
| マーケットメイク | マーケットメーカーとして、売買双方で気配値を提示し、約定された売買価格の差（ビッド・アスク・スプレッド）を収益源とする戦略 |
| ディレクショナル | トレンドやモメンタムに追随して取引を行う戦略や、ニュースやイベントの内容を瞬時に処理し、収益を狙う戦略 |
| アービトラージ | 同一商品間裁定、理論的裁定（理論価格との差）、レイテンシー裁定（市場間での情報到達時刻の差）の機会を収益源とする戦略 |
| 執行アルゴリズム | マーケットインパクトの低減等を目的に、予め決まった取引数量の円滑な執行に向けて、必要な注文の分割等を自動的に行うもの |

（注）NTTデータ・フィナンシャル・ソリューションズ 先端金融工学センター[2018]「アルゴリズム取引の正体」（きんざい）等を参考に作成。

った約定までに必要な一連の投資判断を自動的に行うものである。具体的なアルゴリズムのタイプとしては、主に、マーケットメイク、ディレクショナル、アービトラージが挙げられるが、このうち、外為取引で多く用いられていると言われていたマーケットメイクは、売買双方で気配値を提示し、約定された売買価格の差（ビッド・アスク・スプレッド）を収益源とするもので、伝統的にディーラーが担ってきたマーケットメイク機能（流動性供給機能）を自動化したものである。

こうしたアルゴリズムを利用する主体としては、マーケットメイクでは、欧米系大手銀行を中心としたディーラーに加え、高頻度取引（High Frequency Trading, HFT）業者といったノンバンクが含まれると言われている（図表2）⁴。マーケットメイクでは、市場全体の相場の動きや板（売買の注文状況）の動きに合わせて、スプレッドの広さや数量を細かくコントロールし、新規注文、変更、キャンセルを行うが、特にノンバンクは、こうした行動を高速かつ高頻度で繰り返すとの特性があり、足もと欧米系大手銀行と並ぶマーケットメーカーとして急速にプレゼンスを増している⁵。一方、ディレクショナル等のアルゴリズムについては、ヘッジファンド等のプライステーカーが利用しているとされ、ニュースや相場の変化を瞬時に捉えて売買することが収益性に直結するため、マーケットメイクと同様、高速・高頻度で取引されるものもある。

【図表2】外為取引の構造



（注）図の実線は電子取引、点線はボイス取引を示す。IDP、SDP、MDP はいずれも電子プラットフォーム。PB はプライム・ブローカレッジの略（脚注4を参照）。

（執行アルゴリズム）

取引戦略アルゴリズムが約定までの一連の投資判断を自動化したものであるのに対し、執行アルゴリズムは、取引数量は予め決まっているもとので、その執行を円滑に完了すべく自動化したものである。例えば、ディーラーが顧客の大口のドル買い・円売りを執行しようとする、その執行自体がドル／円相場の上昇を招き、当初の想定よりも割高（割安）な価格でドル買い（円売り）をせざるを得なくなる。ディーラーは、こうしたマーケットインパクトの低減等を目的として、通常、顧客の注文を小口の注文にスライスし、取引ボリュームの多い時間帯等に少しずつ執行するという手法を採っている。執行アルゴリズムはこうした執行方法を自動化したものであり、取引戦略アルゴリズムと同様、近年広がりを見せている⁶。

執行アルゴリズムの利用主体としては、主にリアルマネー（年金・生保等）が挙げられるほか、銀行などのディーラーは、同アルゴリズムの顧客に対する提供者であると同時に利用者でもあるとされる⁷。また、執行結果の詳細は電子的に記録・開示されるため、利用者はこれを分析し、ステークホルダーへの執行結果のアカウントビリティ向上などにも活用している⁸。

アルゴリズム取引の定量的な把握

本節では、ドル／円スポット市場に焦点を当て、アルゴリズム取引の動向を捉える指標を紹介するとともに、同指標を使って、アルゴリズム取引が市場流動性にどのような影響をもたらすかを、平時とストレス時に分けて検証する。

（アルゴリズム取引を捕捉する指標）

特定の規制当局がなく、多様な主体が、世界の様々な市場において主に相対で取引する外為市場の特性として、取引主体を特定してその動向を把握できるデータは少ない⁹。このため、所謂「アルゴ勢」を明確に他の主体と区別して、その詳細な取引動向を分析することは難しい。そうしたなか、先行研究では、ヒューマントレーダー対比で高速・高頻度で取引されることが多いアルゴリズム取引の一般的特性に目を付け、取引1本毎の取引速度を計測し、ある閾値よりも短時間で取引されたものをアルゴリズム取引とみなす手法が見

受けられる¹⁰。そこで、本稿では、こうした手法を参考に、EBSのティック・データ(高粒度データ)¹¹を使用し、ドル/円スポット市場に関し、以下の2つの指標を作成した¹²。

まず、①マーケットメーカーとして新たに価格を提示してから100ミリ秒(0.1秒)未満にそれをキャンセルする行為を捉えた指標(Fast-paced Orders)を作成した¹³。本指標は、取引戦略アルゴリズムのうち、主に、高速・高頻度で価格の新規提示・キャンセルを行うマーケットメイクの動きが捕捉されていると考えられる。流動性の供給・消費の別にみると、供給側(マーケットメーカー)の行動に焦点を当てたものと言える。

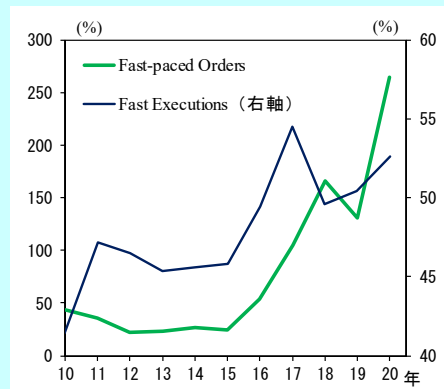
次に、②マーケットメーカーから新たに提示された価格を100ミリ秒(0.1秒)未満にテイク(約定)する行為を捉えた指標(Fast Executions)を作成した。本指標は、取引戦略アルゴリズムのうち、ディレクショナル戦略など流動性の消費側(プライステーカー)の行動を捕捉していると考えられるが、同時に、マーケットメイクに伴うカバー取引¹⁴の一部も捕捉されているとみられ、流動性の供給側(マーケットメーカー)の活動度合いも包含された指標と解釈される¹⁵。

上記の概念に基づき、最も重要な経済指標のひとつである米国雇用統計発表後の10分間(米国東部時間午前8:30~8:39)に着目し、時系列データを作成した。その結果、両指標は2016年頃から上昇傾向にあり、ドル/円スポット市場においてもアルゴリズム取引が普及してきていることが窺える(図表3)¹⁶。また、2019年11月~2020年1月に限った情報ではあるが、上記指標の時間帯別平均値を作成すると、日本時間よりも欧米時間で高いことが確認された(図表4)。この点、日本時間では、本邦実需勢を中心にドル/円の取引量は多いものの、そうした主体によるアルゴリズム取引の利用は限定的である一方、欧米時間では、同取引を活発に行うとされる欧米系大手銀行やノンバンクのプレゼンスが高いとのとの声が多く聞かれるが、上記の結果はこうした市場参加者の見方とも整合的である。

(市場流動性への影響：平時)

アルゴリズム取引の広がり、為替のレート形成や市場機能に影響を与えると考えられるが、先

【図表3】アルゴリズム取引指標の時系列推移

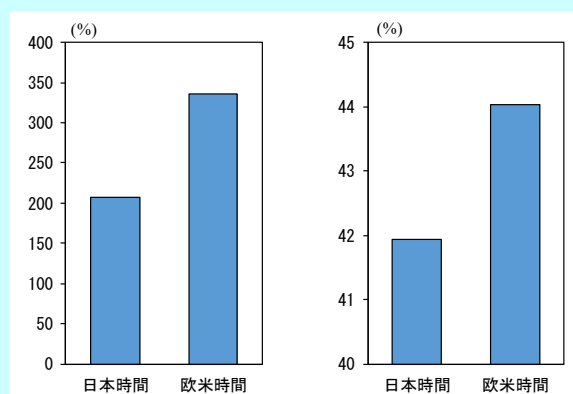


(注) ドル/円スポット市場を対象に算出。各年の値は、毎月の米雇用統計発表後10分間における動向の年間平均値。20年は20/1~3月分の平均値。取引金額の増加の影響を調整するため、Fast-paced Orders (Fast Executions)の金額を総取引金額で除した値を示している(以下同様)。Fast-paced Ordersの金額は、提示価格のキャンセル行動を捉えているため、約定ベースの総取引金額よりも多くなることもあり、実際、100%を超過している年もある。

(出所) EBS

【図表4】アルゴリズム取引指標の時間帯別動向

<Fast-paced Orders> <Fast Executions>



(注) ドル/円スポット市場における2019年11月~2020年1月(除くクリスマス、年末年始、土日)の各時間帯の1時間あたり平均値(日本時間は7~15時、欧米時間は15~翌7時)。

(出所) EBS

行研究では、このうち市場流動性への影響を分析したものが多い。実証研究の報告等を見ると、少なくとも平時には、アルゴリズム取引の増加は市場流動性の改善に寄与するとの評価が、一定程度、定まりつつあるように見受けられる^{17, 18}。

ドル/円スポット市場でもこうした評価が妥当かを検証するため、先行研究の手法¹⁹を基に、上記の指標を用いて以下の回帰分析を行った。

$$|Spread_t| = \alpha + \beta_A \ln Algo_t + \beta_L |L_Shock_t| + \beta_C Control_t + \varepsilon_t$$

推計は、再び米国雇用統計に着目し、2014年1月～20年3月の各月における同統計発表直後の10分間について実施した（各変数は、基本的に当該10分間におけるティック・データの平均値）。被説明変数の流動性指標（ $Spread_t$ ）としては、取引価格と同時点の気配値のミッド値（ビッド値とアスク値の平均値）とのスプレッドを示す実効スプレッド（Effective Spread）を用いた²⁰。説明変数としては、上記の2つのアルゴリズム取引の指標のいずれか（ $Algo_t$ ）の対数値に加え、米国雇用統計のサプライズ度合い（ L_Shock_t 、非農業部門雇用者数の市場予想値との乖離幅を、同乖離幅のサンプル期間の標準偏差で割った値）、コントロール変数（ $Control_t$ ）として被説明変数のラグ項と別の流動性指標である板の厚さ²¹（Depth）の対数値を採用した。

【図表5】推計結果

| 被説明変数 | Effective Spread | |
|--------------------------|----------------------|----------------------|
| 説明変数 | | |
| アルゴリズム取引の指標 | Fast-paced Orders | -0.075*** (0.018) |
| | Fast Executions | -0.253 (0.172) |
| 雇用統計のサプライズ度合い | 0.025 (0.019) | 0.040* (0.021) |
| 前月のEffective Spread（ラグ項） | 0.538*** (0.086) | 0.730*** (0.076) |
| Depth指標 | -0.232*** (0.059) | -0.154** (0.068) |
| 定数項 | 0.953*** (0.197) | 1.369* (0.766) |
| 修正R ² | 0.67 | 0.61 |
| サンプルサイズ | 75 | 75 |

(注) ***、**、*は、それぞれ1%、5%、10%水準で有意であることを示す。括弧内は標準誤差。

(出所) EBS、Bloomberg

推計結果について、まず、アルゴリズム取引の指標として①の Fast-paced Orders を使ったのを見ると、アルゴリズム取引の係数が有意に負であるほか、他の係数も想定される符号条件を満たしている（図表5）。すなわち、雇用統計のサプライズ度合いが大きく、前月からスプレッドが開いており、同時点の別の流動性指標（Depth）が悪化しているときほど、統計発表直後のスプレッドは拡大しやすいが、Fast-paced Orders で示される流動性供給側のアルゴリズムが活発であるほど、スプレッドが縮小しやすい（市場流動性を改善させる）ことを示している²²。一方、②の Fast Executions を

使った推計では、アルゴリズム取引の係数は、負であるが、有意ではなかった。同指標は、前述の通り、流動性の供給側だけでなく消費側の活動も含まれるため、有意な流動性改善効果はないとの結果になったと考えられる。回帰分析の係数は、推計期間を通じた平均的なものであるから、平時では、アルゴリズム取引のうち特にマーケットメイク（流動性供給）戦略が、ドル/円スポット市場の流動性改善に寄与していることが示唆された。

（市場流動性への影響：ストレス時）

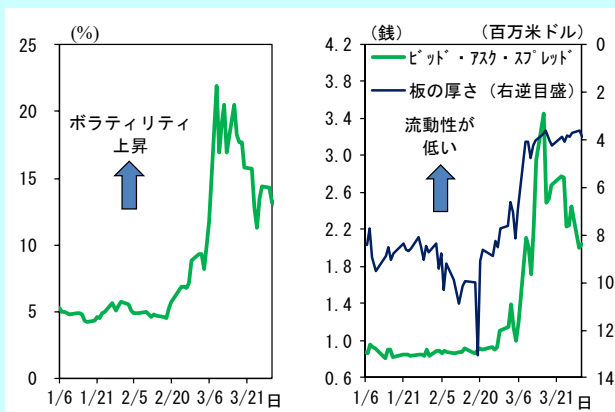
上記の示唆は、市場のボラティリティが高いストレス時でも当てはまるのだろうか。先行研究では、アルゴリズム取引のプログラムに実装されていないようなストレス時には、流動性供給を止める機能が働くこと等により、流動性の悪化に拍車がかかるとの指摘がみられる²³。例えば、大幅に円高が加速するようなストレス時では、在庫リスク（マーケットメーカーの自己の売買ポジションが円売りの一方向に大きく傾く結果、多額の在庫を抱えるリスク）や為替変動リスク（相場が一段の円高になった場合の在庫<円売りポジション>の評価損リスク）が大きくなる。こうした市場環境の悪化局面では、マーケットメーカーは、(イ) いったんビッド・アスク・スプレッドを拡大させた気配値を提示して、(ロ) その後相場変動が一定の閾値を超えれば、流動性供給そのものを止める行動が指摘されている²⁴。一方で、ストレス時においても、アルゴリズム取引による流動性供給機能は維持されるとの研究結果²⁵もあり、ストレス時の評価は必ずしも固まっていない面もある。実際、ストレス・イベントは、頻繁に生じるものではなく、その度合いや継続期間、ドル/円を含む為替相場への影響は、各イベントによって多様である。そうしたもとの、アルゴリズム取引のプログラムや運用も、ストレス時の経験を踏まえて徐々に高度化されていると考えられ、客観的な評価を行うことは容易ではない。

そうした理解に立ったうえで、以下では、直近のストレス・イベントとして、新型コロナウイルス感染症の影響で世界的にボラティリティが急上昇した2020年2月下旬～3月を取り上げ、当時のアルゴリズム取引の動向を把握することを試みる。まず、相場動向を振り返ると、3月につ

てドル/円のインプライド・ボラティリティは急上昇したほか、ビッド・アスク・スプレッドや板の厚さ (Depth) といった流動性指標は大きく悪化した (図表 6) ²⁶。こうしたなか、同時期におけるアルゴリズム取引の指標をみると、振れを伴いながらも、ボラティリティが高まる以前と見劣りしない水準で推移しており、アルゴリズム取引による流動性供給機能が明確に止まっていたことは示唆されない (図表 7)。実際、市場参加者からは、今次局面において、アルゴリズム取引による流動性供給機能は、総じてみれば、ビッド・アスク・スプレッドを拡大させつつも、その役割を一定程度維持していたとの評価が聞かれている。

【図表 6】ドル/円相場の市場環境 (2020 年～)

<インプライド・ボラティリティ> <流動性指標>

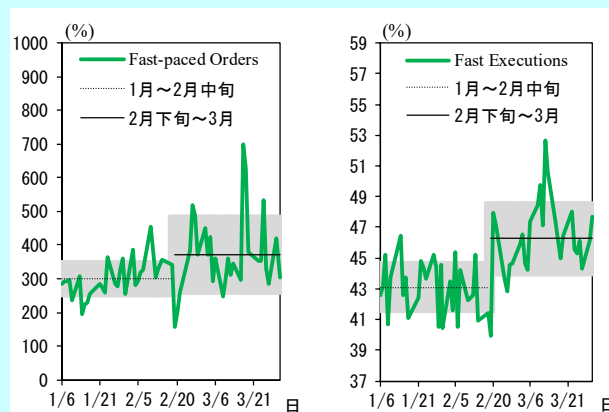


(注) インプライド・ボラティリティは 1 か月物。ビッド・アスク・スプレッドは、1 分足でのスプレッドの日次平均値 (NY 時間前日 17 時～当日 17 時) をプロット。板の厚さは、1 分足での最良気配値の板の合計値 (ベストビッドとベストアスクの合計値) を算出し、その日次平均値をプロット。日本、米国休場の日と土日は除外。直近は 3/31 日。

(出所) EBS, Bloomberg

次に、上記のストレス局面のなかでも、短時間で相場が大きく動くといった、ストレスの度合いが著しく高まった局面に焦点をあてて、アルゴリズム取引の動向を検証する。具体的には、2020 年 3 月 9 日午前 10 時～11 時半には、ドル/円が 104 円付近から 101 円半ばまで急速に下落するなど、市場環境がとりわけ悪化した (図表 8 左図)。同時帯におけるアルゴリズム取引の動向を仔細にみると、マーケットメイクの動きを相対的によく反映していると考えられる Fast-paced Orders 指標は、イベント前後 5 営業日の同時帯の平均値と比べ、有意に低下したことが分かった (図表 8 右図) ^{27, 28}。また、ドル/円相場でこうした非常に

【図表 7】アルゴリズム取引指標の推移 (2020 年～)

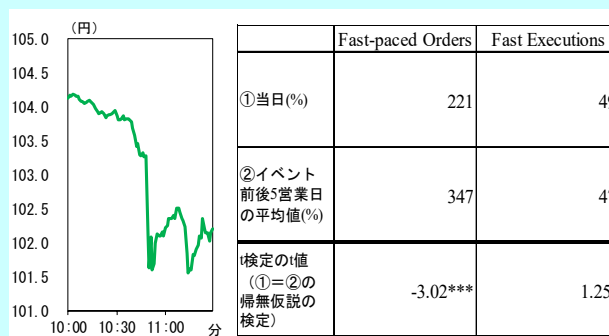


(注) 「1 月～2 月中旬」、「2 月下旬～3 月」は、それぞれ「1 月初～2/18 日までの平均値」、「2/19 日～3 月末までの平均値」。シャドーは各期間の 2 標準偏差分の範囲を示している。日本、米国休場の日、土日は除いている。直近は 3/31 日。

(出所) EBS

【図表 8】2020/3/9 日午前 10～11 時半の動向

<ドル/円相場> <アルゴリズム取引指標>



(注) 左図は分足データ (各分における安値) の推移。右図は、①3/9 日午前 10～11 時半の Fast-paced Orders (および Fast Executions) 指標が、②イベント前後 5 営業日の同時帯の平均値より低いかを検証した t 検定 (片側検定) の結果を示す。t 値がマイナス (プラス) で有意であれば、当日がイベント前後 5 営業日の平均値よりも低い (高い) ことを示す。***は 1% 水準で有意であることを示す。

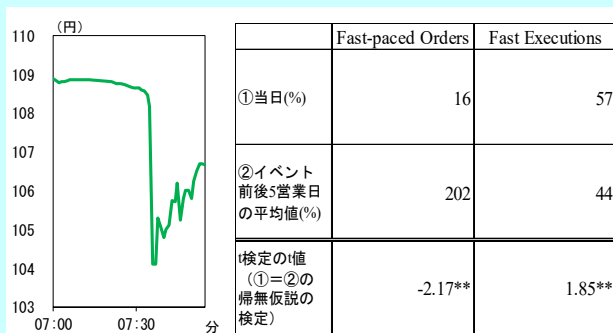
(出所) EBS, Bloomberg

強いストレスが観察された別の例としては、2019 年 1 月 3 日早朝のフラッシュ・クラッシュが挙げられる (図表 9 左図)。この際にも、Fast-paced Orders 指標がイベント前後 5 営業日の同時帯の平均値と比べ、有意に低下していたことが確認された (図表 9 右図)。

こうした結果からは、アルゴリズム取引のうち特にマーケットメイクは、ストレス時でも流動性供給機能を継続しうるが、著しいストレス時には、その機能を一時的にせよ低下させる可能性が示唆された。

【図表 9】2019/1/3 日午前 7 時台の動向

<ドル/円相場> <アルゴリズム取引指標>



(注) 図表 8 の注釈と同様。**は 5%水準で有意であることを示す。

(出所) EBS, Bloomberg

おわりに

本稿では、外為市場におけるアルゴリズム取引の概要を解説するとともに、一般に、ヒューマントレーダー対比で高速・高頻度で取引されるアルゴリズム取引の特性に着目して、同取引を捕捉する指標を作成し、その特徴や市場流動性に与える影響を検証した。今回作成した指標によれば、ドル/円スポット市場におけるアルゴリズム取引は、2016 年頃から明確な上昇傾向にあり、同取引は、特に、欧米系の大手銀行やノンバンクが活発に取引する欧米時間でプレゼンスが高いことが確認された。次に、アルゴリズム取引が市場流動性に与える影響をみると、平時では、基本的に市

場流動性の改善に寄与していることが示唆された。また、ストレス時（新型コロナウイルス感染症の影響で市場環境が悪化した 2020 年 2 月下旬から 3 月）では、期間を通じて一定の流動性供給機能を果たしていた一方、短時間で相場が大きく動いた局面（2020 年 3 月 9 日午前 10 時～11 時半）に限れば、その機能は一時的にせよ低下した可能性が示唆された。

近年、外為市場において、アルゴリズム取引のプレゼンスが増しているほか、本稿で分析したアルゴリズム取引の性質は、先行き、IT の進歩²⁹や同取引を行う市場参加者のリスク認識の状況などにより、急速に変化する可能性もある。このため、今後も、市場機能を始めとする幅広い視点から、アルゴリズム取引の理解が深められていくことが期待される。

この点、外為市場は、24 時間各国で絶え間なく取引されるとの性質上、東京を含む各国の外為市場委員会のメンバーや中央銀行で構成されるグローバル外為市場委員会（Global Foreign Exchange Committee）といった国際的な場を含めて、幅広い主体が協調して議論を深めていくことが望まれる。なお、グローバル外為市場委員会は、現在、グローバル外為行動規範の検証作業を行っており、その中で、アルゴリズム取引のシェアが高まっていることを踏まえ、同取引に関する規範の見直し可否を議論している。

* 現・企画局

¹ 電子取引の普及と市場機能への影響等に関する議論については、古賀麻衣子、竹内淳「外国為替市場における取引の高速化・自動化：市場構造の変化と新たな論点」（日銀レビュー、2013-J-1、2013 年）、王悠介、高田良博、菅山靖史「最近の外国為替市場の構造変化」（日銀レビュー、2014-J-5、2014 年）、Bank for International Settlements [2018] “Monitoring of fast-paced electronic markets,”などを参照。

² Schrimpf, A., and Sushko, V. [2019] “FX trade execution: complex and highly fragmented,” *BIS Quarterly Review* を参照。

³ 本稿では、アルゴリズム取引の目的や機能に基づき、「取引戦略アルゴリズム」と「執行アルゴリズム」の 2 つに大別しているが、一般的に確立された分類法・名称があるわけではない。

⁴ ノンバンク・マーケットメーカーとも呼ばれる。通常これらの主体は、欧米系大手銀行が提供するプライム・ブローカレッジ・サービス（PB サービス）を利用し、同サービス提供元の名義でインターバンク市場にて取引するのが一般的とされている。

⁵ 例えば、Euromoney 誌の 2020 年調査によれば、外為市場（スポット取引以外のデリバティブ取引も含む）の流動性供給主体の上位 10 社のうち、2 社がノンバンクとなっている（3 位 XTX Markets、7 位 Jump Trading）。

⁶ 代表的な執行アルゴリズムの種類としては、親注文を等量の子注文に分割し等時間間隔で執行するタイプ（結果的に執行完了までの平均価格＜Time-Weighted Average Price＞で執行するため、単に TWAP と呼ばれる）のほか、市場価格が予め指定した価格よりも有利になった場合に即座に執行を目指すタイプや、最良気配値からの乖離（spread cost）を予め定めた範囲内に収めるよう執行するタイプ、など様々なものがある。

⁷ 事業法人においても、大型の海外 M&A を実行する際などには、執行アルゴリズムが利用される場合がある。

⁸ 執行結果の分析は TCA（Transaction Cost Analysis）と呼ばれ、顧客が行うケースのほか、執行アルゴリズムを提供する銀行や第三者の専門業者が行うケースがある。

⁹ FSB（金融安定理事会）の勧告を受け、店頭デリバティブ取引については、メンバー国・地域の当局が取引当事者がある程度特定可能なかたちで詳細なデータ収集を開始しており、同データは、外為取引のうちオプション

取引を含んでいる。もっとも、本稿で分析対象としているスポット取引は、デリバティブ取引ではなく、カバーされていない。

¹⁰ 代表的な論文としては、①Fast-paced Orders に関しては Hasbrouck, J., and Saar, G. [2009] "Technology and liquidity provision: The blurring of traditional definitions," *Journal of Financial Markets* や、Scholtus, M., Dijk, V. D., and Frijns, B. [2014] "Speed, algorithmic trading, and market quality around macroeconomic news announcements," *Journal of Banking and Finance*、②Fast Executions に関しては前掲の Scholtus et al. [2014] や、Corsetti, G., Lafarguette, R., and Mehl, A. [2019] "Fast trading and the virtue of entropy: evidence from the foreign exchange market," *ECB Working Paper Series* が挙げられる。

¹¹ 具体的には EBS data Mine Level 2.0 を使用。同データでは、100 ミリ秒 (0.1 秒) 間隔の約定情報および気配値情報 (ビッド、アスクともに、最良気配値から数えて第 10 位までの気配値) が記録されている。

¹² このため、以下では、必ずしも高速・高頻度の取引で特徴付けられない執行アルゴリズム等は、議論の対象外としている。

¹³ 前掲脚注 11 の通り、本稿で用いるデータは最良気配値から数えて第 10 位までの気配値が入手可能。本稿では、 t 時点で新しく生じたマーケットメーカーの提示価格 (quote) のうち、 $t+1$ 時点でも最良気配値から数えて第 10 位のものよりも良いレートであるものを対象に、Fast-paced Orders を算出した。これは、quote が新たに t 時点で生じた際、 $t+1$ 時点において同 quote がまだ残っているにも関わらず、別の良い価格の quote が入ったことにより、第 11 位以降に落ちた結果、データ上は消滅したようにみえてしまう事象に対処するため。

¹⁴ マーケットメーカーは、顧客からの注文が売りか買いの一方に偏ることで、一時的にポジション (在庫) を抱え、為替変動によるリスク (マーケットリスク) にさらされる。このため、適宜、プライステーカーとしてスポット取引 (ないしフォワード取引等) を行うことで、ポジションの解消を図っている。こうした取引をカバー取引という。

¹⁵ 厳密には、Fast Executions には、偶然、新たに提示された価格を瞬時にテイクしたヒューマントレーダーの動向も捕捉されている可能性がある (そのほか、市場価格が予め設定した価格の範囲内に入れば即座に執行するプログラムがあるが、その設定自体はヒューマントレーダーが行うケースもある。そうした取引も本指標に含まれる)。ただし、ヒューマントレーダーのシェアが比較的高いと考えられる日本時間中において Fast Executions 指標が高い訳ではなく、影響は軽微とみられる。

¹⁶ 本指標を解釈するうえでは、以下の 2 点に留意する必要がある。第一に、使用したデータは、インターバンク市場のものであるため、銀行以外のアルゴリズム取引を十分に捕捉できていない可能性がある。もっとも、ノンバンクやヘッジファンドは、欧米系大手銀行が提供するプライム・ブローカレッジ (PB) サービスを通じて、銀行等のネームでインターバンク取引に参加することが多く (前掲脚注 4)、一定程度のカバレッジは確保できているとみられる。第二に、今回設定した閾値 (100 ミリ秒) は、計測期間中一定としたが、この間の一般的な通信速度の向上を踏まえると、本指標により捕捉されるアルゴリズム取引の相対的な質は時間を通じて低下するため (最近の 100 ミリ秒は 10 年前に比べて「高速」ではな

い)、指標は右肩上がりになりやすい面がある。

¹⁷ 例えば、Hendershott, T., Jones, M. C., and Menkveld, J. A. [2011] "Does algorithmic trading improve liquidity?," *Journal of Finance* や Hasbrouck, J., and Saar, G. [2013] "Low-latency trading," *Journal of Financial Markets* を参照。

¹⁸ もっとも、アルゴリズム取引が提供する「流動性の質」については議論がある。Bank for International Settlements [2011] "High-frequency trading in the foreign exchange market" 等によると、①アルゴリズム取引が供給する 1 件当たりの流動性のサイズは小さく、厚み (Depth) の観点からは不十分という指摘や、②アルゴ勢は様々なプラットフォームと同時に価格 (quote) を提示し、ある 1 つのプラットフォームで取引が成立すると他のプラットフォームの価格が取り消されることが多く、感知した流動性が実際には利用可能でないとの指摘がある (流動性の屋気楼 <liquidity mirage>)。

¹⁹ 具体的には、前掲脚注 17 の Hendershott et al. [2011]、前掲脚注 10 の Corsetti et al. [2019]、熊野雄介、五島圭一「金融政策アナウンスメントとアルゴリズム取引：ウェブページへのアクセス情報を用いた検証」(金融研究所ディスカッション・ペーパー・シリーズ、2018 年) を参考にした。

²⁰ 厳密には、このスプレッド (Effective Spread) をミッド値で割ったものを推計に用いた (推計には、ベースポイント < % の 100 倍 > の単位で使用)。実効スプレッドは、ビッド・アスク・スプレッド (ディーラーが買いたい価格 < ビッド値 > と売りたい価格 < アスク値 > の差) と同様、流動性指標に関する Tightness 指標のひとつと位置付けられる。同指標が小さい (スプレッドが狭い) ほど、意図する価格から大きく乖離することなく取引を行うことができ、市場流動性が高いと解釈される。

²¹ 板の厚さ (Depth) は、現在の実勢価格の近傍に、どの程度の数量のビッドとアスクがあるかを示すもの。板が厚いほど、自らの希望する数量を良好な価格で約定できる可能性が高く、市場流動性が高いことを意味する。本稿では、最良気配値 (ベストビッドとアスク) における、板の厚さを用いている。

²² ここで行った推計とは逆の因果関係として、「流動性が改善したからアルゴリズム取引が増えた」という経路も考えられる。こうした内生性問題への簡易的な対応として、本稿では、前掲脚注 10 の Corsetti et al. [2019] 等にならない、実効スプレッド (Effective Spread) を使用した。すなわち、アルゴ取引を行うとの意思決定は、取引成立よりも前に行われているはずなので、その時点では取引成立と同時にミッド値 (実効スプレッドが参照する値) は入手できないという考え方である。別の対処方法として、取引成立後 5 分後のミッド値とのスプレッド (実現スプレッド: Realized Spread) を流動性指標として用いるものもある。頑健性チェックのため、本稿でも、Realized Spread を被説明変数とする推計を行ったが、本推計結果と概ね同様の結果 (Fast-paced Orders の係数が有意に負) が得られた。加えて、内生性への対応に関して、前掲脚注 10 の Scholtus et al. [2014] では、イベント後 1 分間といったごく短時間であれば、アルゴリズム取引の利用度合いはイベント開始前に予め決められており、イベント後の流動性の状況に影響されないと整理している。そこで、本稿でも米雇用統計公表後 1 分間を対象とした推計も行ったが、本推計結果と概ね同様の結果 (Fast-paced Orders の係数が有意に負) が得られた。

²³ 例えば、Bank for International Settlements [2017]

"Foreign exchange liquidity in the Americas"を参照。

²⁴ こうした行動は、アルゴリズム取引に限らず、マーケットメーカー全般に起こりうるものである。

²⁵ 例えば、前掲脚注 18 の Bank for International Settlements [2011]を参照。

²⁶ 外為市場における流動性指標として、Tightness 指標や Depth 指標のほかに Resiliency 指標があり、例えば、新規の売買注文（オーダー・フロー）が為替相場を増価ないし減価の方向に動かす影響度を示す価格インパクト等が該当する。本稿には掲載していないが、同指標を推計したところ、概ね、Tightness 指標や Depth 指標と同様の動きとなっていた。

²⁷ Breedon, F., Chen, L., Ranaldo, A., and Vause, N. [2018] "Judgement Day: algorithmic trading around the Swiss franc cap removal," *Bank of England Staff Working Papers* の手法を基に、t 検定を行った。

²⁸ Fast Executions は、イベント前後と比べて、有意に減少していない。背景としては、同指標に含まれるディレクショナル戦略に基づくヘッジファンド勢（プライステ

ーカー〈流動性消費主体〉）が、ボラティリティ上昇を眺めて取引を活発化させたことが影響している可能性がある。

²⁹ 具体的には、取引速度の一段の高速化や、プログラム内容の精緻化等が考えられる。

日銀レビュー・シリーズは、最近の金融経済の話題を、金融経済に関心を有する幅広い読者層を対象として、平易かつ簡潔に解説するために、日本銀行が編集・発行しているものです。ただし、レポートで示された意見は執筆者に属し、必ずしも日本銀行の見解を示すものではありません。

内容に関するご質問等に関しましては、日本銀行金融市場局（代表 03-3279-1111）までお知らせ下さい。なお、日銀レビュー・シリーズおよび日本銀行ワーキングペーパー・シリーズは、<http://www.boj.or.jp> で入手できます。