

SECにおけるアルゴリズム取引の状況認識と評価

～米国SECスタッフによる「資本市場におけるアルゴリズム取引」報告書(後半の抄訳)～

志馬 祥紀

1 はじめに

本研究では、二〇二〇年八月五日に米国証券取引委員会（以下「SEC」または「委員会」）スタッフが公表した、「資本市場におけるアルゴリズム取引」"Staff Report on Algorithmic Trading in U.S. Capital Markets"（SEC（二〇二〇））の内容について紹介する。

同レポートの政策上の位置付けや、米国株式市場の概要部分（レポートの前半部分に該当）については、志馬（二〇二二）で紹介している。詳細については同レポートを参照頂きたい。

本稿においては、同レポート中のSECスタッフにおける株式市場におけるアルゴリズム取引の現状と分析、学術研究上のアルゴリズム取引の評価等について紹介する（なお、文中の数値は全てレポート執筆内容によっている。また、稼働中の取引所数等、引用する数値は全て原レポート作成時点のものである）。

2 株式のアルゴリズム取引のメリットとリスク

現在のNMS株式の流通市場は、主に電子的に運営されている。一部の活動は手動で行われているが、取引の

プロセス大半は自動化されている。アルゴリズムにより、株式市場の幅広い参加者による流動性の提供と検索が、多様な取引場所（VENU）で容易に行われている。しかし自動化の普及は、企業や市場インフラ全般に新たなオペレーショナル・リスクを生み出している。株式のアルゴリズム取引は、通常の市場環境下では市場の質と流動性の提供に関する多くの指標を改善したことが複数の研究で示されているが、異なる他の研究では、アルゴリズム取引の種類によっては、異常な市場ストレスやボラティリティを悪化させる可能性も示されている。

(1) 投資家

個人投資家、機関投資家を問わず、多くの投資家にとって、アルゴリズムは投資や取引処理において重要な役割を果たしている。投資家の注文は様々なタイプのブローカーのアルゴリズムを介して回送・執行されているが、その回送・執行のためのアルゴリズムも、(アルゴリズムの使用に不可欠な) データフィードや処理ツールと同様に、投資家に身近なものとなっている。

個人投資家や機関投資家の中には、膨大な量の市場データを迅速に分析することで、投資や取引の意思決定を行うアルゴリズムを使用する者もいる。他のケースでは、投資家は株価指数のような外部の基準に追随し、投資や取引の決定は、それらベンチマーク・インデックスを構成する株式に関するアルゴリズム決定に基づいて行われることがある。

① 個人投資家 (Retail Investors)

長年にわたりリテール・ブローカーは、成行注文などの即時執行可能な個人投資家の注文の大半を回送、「ホー

ルセール・マーケットメーカー」(ホールセラー)として知られるブローカー・ディーラーの内部化取引として執行している。

ホールセール・マーケットメーカーは、その執行に際し最良気配(NBBO、ナショナル・ビッド・アスク・オファー)のスプレッド内で執行することで、個人投資家の注文にある程度の価格改善を与えることができる事例もある。また、ホールセール・マーケットメーカーは、取引サイズの改善(証券取引所で提示されている最良気配時の数量よりも多くの数量を単一価格で執行する)をリテール注文に提供できる場合がある。リテール・ブローカーの中には、マーケットメーカーへの注文回送と引き換えに、取引所においてペイメント・フォー・オーダーフロー(PFOF)を受けるものもある。

ホールセール・マーケットメーカーは個人投資家に価格改善を提供することを希望し、一連の注文の流れ(オーダー・フロー)をブローカーから購入する。その理由は、一般的にリテール・トレーダーやブローカーより多くの情報と処理能力を持つホールセール業者が注文に関与することで、逆選択(adverse selection)のリスクを比較的低くし、個人投資家注文の集合体に含まれる情報内容に利益機会を見出しているからである。例えば、ホールセール・マーケットメーカーは、自らの好みや市況観に基づき、任意の注文について執行するか否かを選択できる。具体的には、回送された小口注文を執行する一方、比較的高い注文や好ましくない注文を取引所や他の市場センターに回送することもできる。

この議論は、市場データの迅速かつ効果的処理こそが、現物株式市場におけるホールセール・マーケットメイキングのビジネスの中心であることを示している。マーケットメーカーのアルゴリズムにデータ・ドリブンな市場評価は、(最良執行や注文保護ルールの遵守義務だけでなく)注文処理の決定を可能にし、価格改善の評価基

準を提供する。ホールセール・マーケットメーカーはまた、長期的には、小口注文の流れに関する情報（注文処理、取引、リスク決定に関する将来のモデリングに使用可能な情報）を含む膨大な量の市場データを取得している。

一部の専業リテール・ブローカーは、機関投資家のみが利用するような、洗練されたブローカー・アルゴリズムを個人顧客に提供し、リテール顧客が独自のアルゴリズムを使用することを可能としている。専門化したリテール・ブローカーは、一般的なリテール・ブローカーよりも小規模であり、従来型のリテール・ブローカーほどホールセール・マーケットメーカーに依存していない可能性がある。

② 機関投資家 (Institutional Investors)

「機関投資家」とは、幅広い市場参加者を指している。機関投資家には、登録投資会社 (registered investment companies)、年金基金、保険会社、基金、ヘッジファンドなどの私募投資ファンド等が含まれ、これらの投資家は多様な取引戦略を使用している。取引に対するニーズやアプローチは様々だが、高い執行品質の達成に重点を置いている点では共通しており、取引の明示的・暗黙的コストを効果的に管理することが要求される。機関投資家の取引アプローチは、(1) 取引内容の決定、(2) 取引執行の管理、(3) 取引パフォーマンスの評価のためにアルゴリズムを使用する様々な方法に表れる。

投資信託や株価指数ETFなどに投資する機関投資家は多く、その結果、原資となる投資をベンチマーク・インデックスに沿わせることを目的として、市況に応じて取引を行うのが一般的である。一部の機関投資家は、投資ポートフォリオの中で株式の比率を目標または固定ウェイトとして設定している場合があり、市場の変化によ

りポートフォリオがこの目標から大きく乖離した場合には、ポジションの調整を行う。これら機関投資家にとっては、商品や戦略に組み込まれたアルゴリズムが、いつ、どの商品を取引するかといった意思決定に影響している。

インデックス指向の取引は、市場の動きによって駆動されるアルゴリズム取引の唯一の形態ではない。例えば、複数のシステムティックな機関投資家向け株式取引は、他の資産クラスや指標とアルゴリズム的に接続されている。この種の連結は、例えば、インデックス・オプションのデルタやガンマ・ヘッジ戦略に見られる。これら戦略は一般的に、ボラティリティの指標（VIX等）が上昇すると、株式市場では売却が増加する。システムティック・ボラティリティ・ターゲットインゲ戦略やリスク・パリティ戦略も同様に、ボラティリティの指標の動きに応じてポートフォリオの保有量を調整する。ボラティリティを重視した戦略は株価にモメンタム効果をもたらす可能性がある。その理由として、ボラティリティはしばしば価格下落と同時に上昇し、短期的には、採用された戦略が株式の売却を増大させ、更なる価格下落をもたらすことがある。

機関投資家は、取引の執行時に様々なアプローチを使用している。一部の企業には、独自のトレーダーやポートフォリオ・マネージャーが行った投資判断を実行するトレーダーが存在する。例えば、バイサイドの投資信託のトレーダーは、通常、ブローカーが提供するアルゴリズムを利用しているが、中には、いつ、どこで、どのように注文を執行するかを決定する独自のアルゴリズムを作成、ブローカーを利用して市場で注文執行している機関投資家もいる。その他の機関投資家では、取引専門のスタッフは存在しないが、アルゴリズム取引モデルの作成、分析、執行を行う専門家を雇用している場合もある。取引が高度に自動化されている企業において、取引スタッフは、システムが適切に動作しているか、取引が意図した通りに、リスクの範囲内で行われているかを確認

し、モニタ的な機能を果たしていることがある。機関投資家の中には、独自の取引アルゴリズムを設計・運用する場合もあれば、第三者から会社専用のアルゴリズム取引サービスを購入する場合もある。アルゴリズム取引システムを直接設計・管理するために必要な技術的な専門知識、インフラストラクチャー、リソースは、多くの機関投資家の能力の範囲外であり、取引執行（および投資戦略の他の側面）を他の市場参加者に外注する場合がある。注目すべきは、一部の技術提供企業が、リアルタイムの市場データに基づいて作動し、機械学習が組み込まれた予測分析商品を提供し始めていることである。これらのタイプの製品は、最速の市場参加者の一部が利用している低レイテンシー（＝高速）のデータアクセス、処理、執行ツールと類似し、競争力のある、より一般的に利用可能なツールとして提供される可能性がある。

独自のアルゴリズムを作成しない機関投資家は、一般的に機関投資家向のブローカーから提供されたアルゴリズムを使用している。過去一〇年間で、機関投資家の注文を手動処理することは珍しくなり、洗練された機関投資家の注文執行アルゴリズムとスマートな注文回送システムに代替されている。機関投資家は、一つの大きな「親」注文をブローカーに送ることがあり、ブローカーはそれを多くの小さな「子」注文に分割して市場で執行する。機関投資家は、同様の処理のために複数のブローカーに複数の大口注文を送信することもある。場合によっては、機関投資家は、特定のブローカーのアルゴリズムに直接注文を送ることもある。機関投資家は、大半の証券や市場条件で使用されるブローカーの中核的グループを持っている（しかし、一般的には、より多くの専門化したブローカーの集合体（プール）を利用することもできる）。実際には、ブローカーのアルゴリズムの使用は高度に集中しており、例えば、ある最近の研究（Johnson (2019)）では、機関投資家の注文フローの約三分の二が、大手三社のブローカーのアルゴリズム・セットを経由して送られていると推定されている。

機関投資家は取引にかかるコストに注目しており、そのようなコストは「明示的なコスト」と「暗黙的なコスト」に分類される。機関投資家は通常かなりの規模の取引を行うため、ブローカーに支払われる手数料などの明示的な取引コストと、情報漏洩やそれに伴う市場での不利なマーケット・インパクトなどの暗黙のコストの双方が大きなものになる。しかし機関投資家にとってブローカーの回送および執行プロセスは不透明であることが多い（機関投資家は、自分の注文が回送された取引所の数や場所、ブローカーの回送経路の影響を与えるブローカーとマーケットセンチターの間の報酬協定の有無などを知らない可能性がある）。機関投資家は一般的に、異なるブローカー、異なるアルゴリズム、または異なるマーケットセンチターから受け取った執行の品質を評価するために、独自あるいは第三者プロバイダーを通じて、取引コスト分析を行っている。データの利用可能性は、データを効果的に分析し、その結果を将来の執行の意思決定に反映させる能力として、このコスト評価プロセスの中心となる（なお委員会は最近、ブローカーの注文処理について投資家が利用できるデータの範囲と一貫性を改善するための措置を講じている）。

機関投資家は、「アルゴ・ホイール」と呼ばれるツールを使用してブローカーに注文を回送し、そのパフォーマンスを評価する事例が増加している。投資家が自ら操作（あるいは第三者が提供）するアルゴ・ホイールは、投資家を複数のブローカー・アルゴリズム・オフアーに接続し、投資家の指定する条件に基づきブローカーと個々のアルゴリズムを選択する。アルゴ・ホイールを使用することで、会社は様々な市場状況下でのブローカー・アルゴリズムのパフォーマンスを追跡可能となり、人力による入力を経ることなく異なるブローカー間での切り替えが可能となる。最近の研究では、「バイサイド」の機関投資家の約四分の一がアルゴ・ホイールを使用していると推定され、また別の最近の研究では、そのような投資家の約一四％がアルゴ・ホイールを使用していると推

定されている。アルゴ・ホイールに組み込まれたパフォーマンス測定も多くは、取引コスト分析に関連しているが、アルゴ・ホイールは、異なる状況下でどのブローカーが最も効果的に取引を行うかの評価を容易にすることができると、最良執行の評価にも貢献している。

(2) ブローカー (Brokers)

ブローカーは、複雑で断片化された市場で流動性を見つけ、最良執行を実現し、情報漏洩やその他の暗黙のコストを最小限に抑える義務を顧客に課せられている。そのために、ブローカーは様々な執行アルゴリズムを使用し、顧客に提供している。

ブローカーは大規模なアルゴリズムを提供する傾向があるが、その中核的な内容はブローカー間で類似している。例えば、多くのブローカーは出来高加重平均価格 (VWAP)、時間加重平均価格 (TWAP)、最小遂行ショートフォール (a minimum implementation shortfall)、IS法、取引決定時の市場価格に対する取引の総コストを最小化すること⁽¹⁾、または指定された市場取引高のパーセンテージでの取引 (PVOIまたはPOV) サービス等を顧客に提供している。ブローカー・アルゴリズムは、取引場所で注文板に揭示 (testing) されている流動性の取得 (テイク)、取引場所での流動性の提供 (メイク)、その二つの組み合わせを実行できる。ブローカーのアルゴリズムは、取引所、ATS、シングルディーラー・プラットフォーム、セントラル・リスク・ブックなど、利用可能な取引場所の多様性を考慮に入れている。さらに、アルゴリズムは、取引所やATSなどの取引場所でも利用可能な注文の種類がますます多様化・複雑化していることを考慮しており、注文の処理形態に影響を与える可能性がある。

ブローカーは顧客のニーズに合わせてアルゴリズムをある程度カスタマイズできる。しかし同作業は手動で行われることもあり、大規模な顧客にしか適用できない場合がある。カスタマイズされた業務については、ソフトウェアの改善により、正確なカスタマイズがより広範囲に利用されるようになるかもしれない。

流動性を求める多くのブローカーは、最初に取引所外取引に目を向ける。場合によっては、ATS（代替取引システム）、シングルディーラー・プラットフォーム、ブローカー（またはその関連会社）が運営するセントラル・リスク・ブックなどの企業内の流動性ソースが対象となる。しかし、複数の研究結果において、ブローカーが自社（または提携する）ATSでの執行を好む場合、執行の質が低下する可能性が指摘されている。

複数のダークプールにおいて、特に大規模なブロックサイズ注文で使用されている一般的なツールは、いわゆる「条件付注文」である。条件付注文では、投資家はアルゴリズムの取引場所と同時に流動性を検索できるが、条件付き注文のユーザーは、注文を肯定的に執行するか、応答を受け取った後、取引条件の交渉を行う必要がある。この追加的な段階によって、予想や希望とは異なるサイズや他の条件で約定されるリスクを最小限に抑えるための流動性の検索が可能になる一方で、情報漏洩リスクが生じる可能性がある。

(c) 自己勘定取引 (Principal Trading)

株式市場では、長い間、自己勘定で取引する企業が市場仲介者となり、他の市場参加者との間でリスクを移転し、仲介業務から直接利益を得ようとしてきた。取引所では、歴史的に、このような参加者には、例えば、スプレッド、登録マーケットメーカー、フロアトレーダーが含まれていた。取引所外では、大手投資銀行や大手銀行の関係するブローカー・ディーラーが、OTCマーケット・メイキング、ブロック・ポジションニングを行う

てきた。現代の株式市場では、これら活動の多くは、技術的あるいは量的に洗練された企業が自己資本で行っている。その際に、競争力を維持するために、業務の多くの面でアルゴリズムに依存している。

① 高頻度取引 (High Frequency Trading)

一〇年以上前から、米国の株式市場における取引の大半は、日次ベースで大量の発注、取引を行う、短期戦略に基づくプロのトレーダーが行ってきた。こうした活動は高頻度取引 (High Frequency Trading) または「HFT」と呼ばれてきた。この用語には法令上または規制上の定義はない。二〇一〇年のSECコンセプト・リリースでは、高頻度取引を行うプリンシパル・トレーディング・ファームの特徴として、五つの特徴が挙げられている。

- (1) 注文の組成、回送、執行のために、非常に高速で高度なコンピュータ・プログラムを使用。
- (2) ネットワークやその他の遅延 (レイテンシー) を最小限化するために、取引所等が提供するコロケーション・サービスや個別のデータフィードを利用。
- (3) ポジションの確立と清算のための非常に短い時間枠を設定。
- (4) 多数の注文の提出と、提出後直ちに同注文の多くをキャンセル。
- (5) 可能な限りフラットなポジションに近い状態で取引日を終了する (重要なポジション、ヘッジされていないポジションを翌日まで持ち越さない)。

高頻度取引 (HFT) を行っている者の全てがこれらの特徴を備えているわけではない。大まかに言えば、これらの戦略を実施する企業には、様々なソースからの大量のデータを迅速かつ正確に処理し、そのデータに基づ

き取引やリスクを決定、特定された取引機会が失われる前に、決定に基づく迅速な注文入力のためのITインフラが不可欠である。高頻度取引の実施には、取引のほぼ全側面をアルゴリズム化する必要がある。

高頻度取引は、単一のシンプルな活動ではなく、様々な戦略が含まれる。特に異なる市場環境下では、市場の質に異なる影響を与える可能性がある。主に流動性を提供する戦略と、流動性を要求する戦略の区別は、市場の質への影響を分析する際に重要である。二〇一〇年の株式市場構造コンセプト・リリース (Equity Market Structure Concept Release) では、短期の高頻度取引の戦略としてパッシブ・マーケット・メイキング、アービトラージ、ストラクチャー、ディレクショナルの四種の大まかな分類がなされている。

A パッシブ・マーケットメイク (Passive Market-Making)

受動的なマーケットメイクは、市場の両サイド (買い・「買気配」、売り・「売気配」) で即時性の無い指値の (non-marketable) 注文の提示を含む。利益は、主に買気配と売気配間のスプレッドを稼ぐことで得られ、多くの取引所が提供する掲示された流動性を提供することへのリベートによって補填される。

受動的なマーケットメーカーは、流動性を提供することで蓄積されたポジションを迅速に解消するために、時には急速に流動性を要求し、積極的な取引を行うことがある。受動的な注文は通常、直ちには執行されず、注板上に掲示され続けているため、状況の変化に応じて更新される必要がある。受動的なマーケットメーカーは、「逆選択」(すなわち、自分たちのビッドやオファーに反して価格が一方方向に急速に動くこと) に脆弱であり、ポジションから利益を得る取引が困難になることがある。同リスクを管理するために、パッシブ・マーケットメイク戦略は膨大な量の (注文価格の) 修正、注文キャンセルのメッセージを生成する。

B 裁定 (Arbitrage)

裁定取引戦略は一般的に、ETFとその基盤である株式バスケットとの間や、S & P 五〇〇指数の先物契約とその指数ETFとの間など、関連する商品や市場間の価格差を捕捉しようとする戦略である。裁定取引は、流動性を必要とし、商品や市場間のポジションを大規模にヘッジする必要がある。これら戦略は、単一の商品の方向性のある（上方・下方への）価格の動きに依存するのではなく、商品間の価格の発散と収束に依存している。

C 構造的戦略 (Structural)

構造的戦略とは、市場や特定の市場参加者の構造的な脆弱性を利用しようとする戦略である。例えば、最も遅延の少ない（＝最高速の）市場データとその処理ツールを有するトレーダーは、データの受信や処理が遅く、最新情報の価格への反映がまだ行われていない市場参加者と取引することで利益を得ることができる。

D 方向性戦略 (Directional)

方向性戦略は一般的に、価格が上下に動くことを予想した短期の買いまたは売りポジションを設定することを意味する。これらの戦略はポジションを構築するために流動性が必要となる。指向性戦略の中には、他の市場参加者よりも早く値動きを予測することに重点を置くものもあり、そのためには高い分析力と迅速な処理能力が必要となる。例えば、注文予測戦略では、大規模な注文に先んじて売買を行うために、市場に大規模な買い手または売り手が存在することを予測・推定する場合がある。このような予測に基づいた取引は、多くの場合、新規の株価発見のプロセスに貢献する可能性がある。

(4) シングルディーラー・プラットフォーム (Single Dealer Platforms)

シングルディーラー・プラットフォームでは、個々のディーラーは他の市場参加者と取引する準備があり、何らかの示唆的な価格付け情報を提供している。シングルディーラー・プラットフォームの中には、ブロック取引や小規模な取引に特化したものもある。シングルディーラー・プラットフォームの中には、統合された取引量中で有意な割合を占める規模のものもある（最近の推計では、一部のシングルディーラー・プラットフォームは、一日あたりの統合された平均株数の1%を占める可能性がある）。

他の株式市場の参加者と同様に、シングルディーラー・プラットフォームは、取引やリスクの決定を行うために大量の市場データを処理し、電子注文を管理するために必要なルーティングや通信を効果的に処理する必要がある。

(5) セントラル・リスク・ブック (Central Risk Books)

セントラル・リスク・ブックは、多くの市場参加者にとってブロック取引の流動性の供給源である。

セントラル・リスク・ブックは、一般的に大規模なグローバル企業がプリンシパル・トレーディングの一種として提供しているもので、デスクが企業全体でのリスクを、地域、資産クラスを包括的に集約し、リスク限度内に留まりながら資本の最大化を目指している。

同プロセスは、ヘッジコストを削減し、企業全体のリソースを最適化できる。このようなデータの集約と分析には、異なるタイプの市場データを用いて、異なる商品の市場横断的なリスク・プロファイルを調整する能力など、洗練された能力が必要となる。こうした作業により、セントラル・リスク・ブックは大口注文に流動性の提

供が可能となり、多くの場合、有利な価格設定が可能となる（一般的にはポジションを取り、リスクをヘッジするための十分な資本の有無に依存する）。

セントラル・リスク・ブックの流動性は、ブローカーのトレーディング・デスクやアルゴリズムを含む様々な経路からアクセスすることができ、A T S に反映されている。一部の企業では、ブルームバーグのような情報サービスを通じて利用可能な、行動可能な関心表示を含む一連の意思表示が示されている。ある調査では、セントラル・リスク・ブックが提供する流動性は、「中小型株や中堅株の大規模なブロックではなく、大半が優良株の相対的に小規模なブロックである」と指摘されている。

(6) 企業と市場における運営上のリスク (Operational Risks to Firms and the Market)

株式市場の電子化、自動化、相互接続の進展は、個々の企業レベルおよび市場全体レベルの双方にオペレーショナル・リスクをもたらしている。以下で述べるように、オペレーションの失敗が市場システム全体に悪影響を及ぼす可能性があり、様々な市場参加者が、システムの堅牢な運用と回復力を確保するためのポリシー、手順、慣行の整備が不可欠である。

個々の企業における不適切な技術開発、テスト、導入によるエラーは、同企業に深刻な影響を及ぼす可能性がある。例えば、二〇一二年にあるブローカー・ディーラーは、システムの更新後に株式注文の回送システムにエラーが発生し、四五分間に何百万もの誤発注が市場に送信され、最終的に同社に四億六〇〇万ドル以上の損失が発生した (Knight Capital Americas LLC の事例)。

同様に、個々の企業の不適切な管理が市場に悪影響を及ぼすこともある。例えば、二〇一一年から二〇一三年

の間に、ある会社は、実質的に匿名の米国外のトレーダーに米国市場への数十億の注文の入力を不適切に許可し、リスク管理コントロールを実施せずに取引を行ったことで、複数の規制要件に違反する結果となった (Wedbush Securities Inc. の事例)。別の会社は、二〇一〇年から二〇一四年にかけて、回送システム上の不適切な変更、および適切な取引後の監視を実施しなかった結果、NMS規則六一に違反して、想定元本約一一六〇億ドルの数百万件の注文の送信を行っていた (Latour Trading LLC の事例)。

また、アルゴリズム取引プラットフォームやその他のコア・インフラストラクチャー・システムが適切な管理を維持することも重要である。例えば、過去一〇年の間に、取引所における不適切な方針や手順、システムエラーが、証券法違反や取引の混乱をもたらした (EDGX Exchange, Inc. 等の事例)。またシステム障害が新規株式公開 (IPO) を中断させた事例 (The Nasdaq Stock Market, LLC における二〇一五年 Facebook 上場時のシステム障害) や、株式連結データフィードの一つのキャパシティの障害が SIP プロバイダーの障害を引き起こした結果、ある取引所に上場されている全証券の取引停止につながった事例もある。

(7) 市場の品質と流動性に関する研究

アルゴリズムは多様な取引活動で使用されており、現物株式市場の様々な活動や市場参加者の間では、事実上ユビキタス (偏在的) なものとなっている。このようなユビキタス性と多様性は、当然のことながら「アルゴリズム取引」に関する研究が常に同じ活動に焦点を当てられているわけではない。

例えば、アルゴリズム取引に関する文献の多くは、HFT に焦点を当てており、HFT のプロキシ測定や HFT の口座を特定したデータセットを使用している。関連する会社や口座を特定するために使用される方法は、主

に受動的な流動性の提供、積極的な流動性の取得、あるいは流動性の提供・取得の区別のない全取引に関連する分析などである。

学術的な研究が一般的に狭い領域に集中しているのは当然である。より広範な研究を行うために必要なデータ量、計算能力、洗練された技術が膨大でコストがかかり、関連するデータが広く入手不能である、あるいは容易にアクセスできない場合がある。

その結果、委員会のスタッフは、単一（あるいはごく少数）の研究を結論の根拠として用いることにはリスクがあることから、研究を単独で見のではなく、学術的な文献を全体として見て、その研究の一般的な限界と個々の限界を認識することで、より大きな洞察が得られる可能性が高いと指摘する。

以下の要約では、高頻度取引（HFT）に焦点を当てた学術的な文献から様々な研究を抽出した。

一般的に、アルゴリズム取引に関する研究では、いくつかの次元や活動が市場の質や効率性にプラスの効果をもたらす可能性がある一方で、他の次元や活動が他の市場参加者にコストを課す、異常な市場ストレスの期間にリスクをもたらす等可能性が示されている。

個々の学術研究の詳細については、本スタッフレポートの後のセクションや、委員会のスタッフが過去に発表した文献レビューを参照されたい。

研究は、一般的にHFTは通常の市場期間中の市場の質の標準的な尺度を改善する可能性がある」と結論づける。例えば、受動的なマーケット・メイキング活動は、スプレッドを狭め、キューの優先順位の達成（注文執行における執行順位を上げること）の双方の競争を通じて改善する。また、自動化されたシステムで可能となるリスク管理を通じて、スプレッドを縮小すると考えられる。さらに流動性の要求戦略は、価格効率の改善に役立つ可能

性がある。一部の研究では、HFTの活動が日中のボラティリティを低下させると結論づけるが、この点について結果は異なる。

複数の研究では、高頻度取引は他の市場参加者のコスト増加にも寄与する可能性があると結論。例えば、キューの優先順位を達成するためのHFTアルゴリズムの能力は、わずかに遅い業者であつても流動性の提供を困難にする可能性がある。

また、一部の戦略では、高速データ処理技術で参加者が利用可能な情報を取り込むことで、新規情報に対し更新されていない古い注文との取引を伴うこともある。

HFTは、他の市場参加者に比して、取引情報へのアクセスと処理の速さに由来する情報の非対称性を利用することができる。一部の研究では、速度の向上は主に相対的な価値があり、必ずしもより根本的な価値を提供するものではないとされている。そのため、技術的な「軍拡競争」は社会的に無駄なものである可能性があると言張する人もいる。

一部の研究では、異常に高いボラティリティや市場のストレスがある期間には、アルゴリズムの使用が値動きを悪化させる可能性があるとしている。

市場ストレスの期間中、市場参加者は市場リスクを最小化するために、自ら取引を停止したり、活動を減速させたりしているという証拠がある。こうした一時停止によって引き起こされる流動性の喪失は、取引が突然存在しなくなるため、他の方法ではありえない急激な価格変動を引き起こす可能性がある。また、アルゴリズム取引企業の中には、急激な値動きに対して積極的に取引を行い、利用可能な一時的な流動性を素早く消費することで値動きを悪化させている証拠もある。

しかし、一部の研究者は、定量的な投資家は最終的にはショックアブソーバーとして機能すると主張している。なぜなら、定量的なモデルは、極端なストレスがかかっている時期の取引リスクに見合うだけの利益が得られるほど価格が低下しているとのシグナルを送ることができる。

3 市場の複雑性、ボラティリティ、安定性に関する規制上の対応 (Regulatory Responses to Market Complexity, Volatility, and Instability)

大量の市場データへの迅速なアクセスと処理に依存した取引を含むアルゴリズム取引は、米国の株式市場においては偏在し、その重要性を増している。アルゴリズム取引は、流通市場の参加者に流動性の向上、コスト削減、その他の市場の質の指標の改善などの重要な利益をもたらした。

しかしテクノロジーの進歩と、市場データの提供とアクセスなどの発展は、市場の複雑さを増大させ、ボラティリティと混乱を引き起こし、システムエラーや運用上の失敗に起因する企業レベルのリスクと市場リスクを変化(場合によっては増大)させた。

過去一〇年間に、委員会と自主規制機関(SRO)は、企業レベルのリスクと市場リスクの検討を含め、これらの動きに対処するために措置を講じてきた。

委員会のスタッフは今後も変化の進展を監視し、必要に応じ、市場の発展やリスクの発生に対処するために、委員会が追加的な法的権限を必要とするか否かを含め、委員会に対して助言や勧告を行う。

(1) 市場の透明性の向上 (Improving Market Transparency)

アルゴリズム主導で複雑化し進化する株式市場の運営に対する理解を深めるために、最近、委員会、SRO、委員会のスタッフは、市場の効率性と完全性の分析を促進し、競争の促進など、さまざまな規制目標に向けて、市場の一部の側面について透明性の拡大を図っている。

(2) 大口取引の報告 (Large Trader Reporting)

二〇一一年、委員会は、米国の証券市場で相当量の取引活動を行っている市場参加者を特定し、その取引情報の入手を促進するための規則を採択した。同規則は、大規模な市場参加者を特定し、その取引活動に関する情報を収集・分析する委員会の能力を向上させた。企業は二〇一二年に必要な情報の報告を開始した。

(3) 統合取引監査システム (Consolidated Audit Trail)

二〇一二年七月、委員会はレギュレーションNMSのルール六一三を承認した。同規則は、規制当局が米国の株式・オプション市場における実質的にすべての活動を効率的かつ正確に追跡できるようにする統合取引監査システム (consolidated audit trail, CAT) をNMSプランに創設させ、自主規制機関に実施、情報の提出を要求するものであった。委員会は二〇一六年一月、CATを実施するためのNMSプランを承認した。

二〇一九年九月、委員会は、CATの開発の透明性と財務の説明責任を向上させることを目的としたNMSプランの修正案を公表した。

二〇二〇年三月、委員会は、特にCATデータベース内の個人を特定できる情報の量を削減する条件付き免除

措置を付与した。計画の実施および提案されたスケジュールに関する追加の詳細は、計画のウェブサイトで閲覧可能 (Consolidated Audit Trail, LLC, <https://www.catmsplan.com/>を参照)。

(4) FINRAによるATSおよびOTCの透明性向上 (FINRA ATS and OTC Transparency)

上述のようにFINRAは、代替取引システム (ATS) および非ATSである店頭 (OTC) 取引場所の双方について、取引所外での株式の執行に関する統計を公表している。FINRAは、二〇一四年にATSから取引高と取引件数に関する統計の収集を開始し、その後、集計ベースでの統計を公開している。

二〇一五年にFINRAは公開データの範囲を拡大し、店頭市場で執行されたATS以外の株式取引高を含むようにした。またFINRAは、公開データの範囲を拡大し、ATSおよびATS以外の店頭取引におけるブロックサイズの株式取引情報を含むようにした。

FINRAは、上述のデータへの専門家や業者によるアクセスを有料としていた時期もあるが、現在では、このデータは広く無料で一般利用できる。

(5) Rule ATS-N (Rule ATS-N)

二〇一八年八月、委員会は、NMS銘柄についてATSの開示要件を拡大し、ATSに対し、加入者の秘密の取引情報を保護するためのセーフガードの実施を要求した。

新しいフォームATS-Nでは、ATSはその運用方法、およびブローカー・ディーラーのオペレーターや関連会社のATS関連活動に関する重要情報を開示しなければならない。これらの開示は、市場参加者が自分の注文

が各ATS内でのように相互作用し、執行されるかをよりよく理解できるようにし、市場参加者が、一方では加入者と、他方ではブローカー・ディーラー・オペレーターとその関連会社との間のATS内での扱いに違いがある場合には、その違いを理解できるようにすることを目的としている。また、本開示は、より一般的な潜在的な利益相反や情報漏洩のリスクの分析を容易にすることを目的としている。

さらに、本開示は、NMS銘柄を扱うATSを相互に比較可能なものとし、市場参加者がこれらの取引場所(Venue)を全国のナショナル・マーケット・システム中の他のマーケットセンターと比較するのに役立つことを意図している。

(6) オーダーハンドリング情報の開示 (Disclosure of Order Handling Information)

二〇一八年一月、委員会は注文処理と回送情報の開示に関する要件を改正した。

これらの改正は、ブローカー・ディーラーが既に公表を義務付けられていた四半期ごとの公開報告書を強化したもので、特に注文フローの取り決めや利益配分関係の支払いについての開示を義務付けるものである。

同改正ではまた、ブローカー・ディーラーは、「保有していない」注文を出した顧客の要求に応じて、取引所から受け取った(または取引所に支払った)平均的なリベート、流動性を提供した、または排除した注文に関する情報など、ブローカー・ディーラーの顧客の注文処理に関する個別の標準化された一連の開示を顧客に提供することを要求している。

(7) 極端なボラティリティのエピソードについてのスタッフレポート

変動が激しい時期の複雑な市場の力学を理解するために、委員会のスタッフは、場合によっては他の金融規制当局のスタッフと協力して、市場の事象を説明・分析した報告書を公表している。

具体的には、二〇一〇年五月六日のフラッシュ・クラッシュ、二〇一五年八月二四日の株式市場のボラティリティを受けて報告書が公表された。これらのレポートでは、このような異常な変動期の市場ダイナミクスについて詳細に論じている。

また、市場の複雑さやデータ主導型の性質、データの制限の結果としての規制上の監視や分析の限界についての洞察も提供している。これらの制限は、CATが完全に運用されるようになった時点を含め、または対処されることが期待されている。

(8) 市場構造の統計と調査 (Market Structure Statistics and Research)

SECのウェブサイトでは、市場データの統計や市場構造の問題に関する調査を公開し、市場構造データの變化を可視化するためのツールを一般向けに提供している (Market Structure (<https://www.sec.gov/marketstructure/>) を参照)。同ウェブサイトで公開されている統計は、委員会の市場情報データ分析システム (Market Information Data Analytics System, MIDAS) から入手され、委員会のスタッフは、株式・オプションのSIP、株式取引所の専有データ (proprietary data)、先物市場データ、仮想通貨データ等の洗練された市場参加者が使用するものと同等の市場データを提供している。

(なお、本節中、市場のボラティリティに対する各種施策 (空売りサーキット・ブレーカーを含む各種サーキット

ト・ブレイカー（Limit-up/Limit-down等）については、志馬（二〇二〇）で論じているので記載を省略している。

(6) 市場の安定と安全の促進 (Facilitating Market Stability and Security)

現代の市場の複雑さと相互接続によって、アルゴリズム取引は、市場参加者、投資家、そして我々の経済全般に大きな運用上のリスクと関連するリスクをもたらしている。委員会、SRO、委員会のスタッフは、リスク管理、オペレーショナルコントロール（運用管理）、回復力、セキュリティに関連する事項に焦点を当ててきた。

① 市場アクセス・ルール (Market Access Rule)

アルゴリズム取引の成長と拡大、特にスポンサー付きアクセスとダイレクト・アクセスのもたらすリスクに対応するため、委員会は二〇一〇年に、ダイレクト・アクセスを行うブローカー・ディーラー、またはスポンサー付きの市場アクセスを他者に提供するブローカー・ディーラーに対し、そのアクセスに伴う財務、規制、その他リスクを管理する合理的なリスク管理統制システムおよび監督手続の採用を義務付ける規則を採択した。

これら要件は、スポンサー付きまたはダイレクト・アクセスを提供するブローカー・ディーラーを含め、取引所またはATSでの取引に直接アクセスできるブローカー・ディーラーに適用される。また、証券会社以外の者にATS上の取引へのアクセスを提供するATSのブローカー・ディーラーのオペレーターにも適用される。

必要とされる財務リスク管理統制および監督手続は、事前に設定された適切な与信または資本のしきい値を超えた注文、または誤発注と思われる注文入力防止するよう合理的に設計されなければならない。また、規制上のリスク管理統制と監督手続は、注文の入力を防止するように合理的に設計され、以下のすべての規制要件が遵

守られていなければならない。

(1) 予約エントリーベースであること。

(2) 取引を制限されているブローカー・ディーラーまたは顧客による注文入力防止すること。

(3) 市場アクセス技術やシステムを許可された者に限定すること。

(4) 適切な監視要員が取引後の執行報告を直ちに受けられること。

市場アクセス規則が要求するリスク管理の統制と監督手続は、少なくとも年一回、その有効性を見直さなければならぬ。

また、ブローカー・ディーラーの最高経営責任者は、ブローカー・ディーラーの管理と手続が要件を満たしていることを毎年証明しなければならない。

FINRAと委員会の審査スタッフは、ブローカー・ディーラーが市場アクセス・ルールを遵守しているかどうかを検査する。

② レギュレーションSCIO (Regulation SCI)

市場における運用リスクの管理と軽減を支援するために、委員会は二〇一四年に「レギュレーションSCIO」(Regulation Systems Compliance and Integrity) 規制システムのコンプライアンスと完全性) を採択した。

同規制により、重要な市場参加者クラス(以下「SCIO事業体」)は、そのITシステムの回復力と堅牢性を確保し、そのシステムが連邦証券法および適用される(例: SRO)規則を遵守して運用されるよう、包括的な方針と手続を実施することが求められる。

また、レギュレーション S C I は、市場インフラに関する委員会の監視を容易にするために、S C I 事業体が特定のイベントについて委員会に報告することを要求できる。対象となる事業体には、大半の S R O、取引量の大きい A T S、N M S プランプロセッサ、および特定の清算機関が含まれる。

S C I 事業体は、その事業継続計画と災害復旧計画の定期的なテストについて、会員または参加者の参加を義務づけ、業界または業界全体で相互調整の義務がある。

特定のイベントについての委員会への通知の義務付けに加えて、同規則は、S C I 事業体について、影響を受ける会員や参加者に、あるいは大規模なイベントについては、その事業体の全会員や参加者にイベントに関する情報の提供を義務づけている。

S C I 事業体はまた、毎年システムを見直し、重要なシステム変更に関する四半期報告書を委員会に提出し、適切な帳簿と記録を維持しなければならない。

委員会の審査担当者は、S C I 事業体がレギュレーション S C I の準拠状況を通常、年一回検査する。

③ アルゴリズム取引の監督に関する F I N R A ガイダンス

アルゴリズム取引戦略が市場と会社の安定性に悪影響を与える可能性があることを認識し、F I N R A は二〇一五年に、アルゴリズム戦略を使用する会員会社と市場参加者に対する効果的な監督と管理の実践についてのガイダンスをブローカー・ディーラー会員に提供した。

F I N R A のガイダンスは、レギュレーション S C I を補完するものであり、S C I 事業体のためにレギュレーション S C I で取り上げられているリスクから保護するために設計された堅牢な方針と手続きの重要性をブロー

カー・ディーラーに強調することを目的としている。

一般的なレベルでは、FINRAのガイダンスは、一般的なレベルにおいて、以下のように提案している。

- ・取引活動の全体的な見直しを行い、アルゴリズム戦略に関連して進化するリスクを評価・対応するために、分野横断的な委員会の導入を検討すること。
- ・アルゴリズム戦略の開発と、その戦略がどのようにテスト・実装されるかに重点を置くこと。
- ・アルゴリズム戦略の製品化前のテストの実施。
- ・アルゴリズム戦略の導入後、または変更後の取引活動のレビューを含む方針と手順の策定。
- ・コンプライアンス担当者とアルゴリズム戦略開発責任者との間における効果的なコミュニケーションの確認。

④ アルゴリズム開発者に対するFINRAの登録要件

二〇一六年、FINRAは、アルゴリズム取引戦略の設計、開発、または大幅な変更、またはこれらの活動の日常的な監督または指示について、主に責任を負う各関連者が証券トレーダーとしての登録を義務付ける規則を実施した。証券トレーダーとして登録するには、関連者は資格試験に合格しなければならない。

⑤ アルゴリズム取引の管理に関する検査・審査

委員会のコンプライアンス検査・審査局(OCCIE)スタッフは、二〇二〇年の審査優先事項の中で、特に、ブローカー・ディーラーによる自動取引アルゴリズムの使用に関する管理に焦点を当てると述べている。

OCCIEスタッフは「設計が不十分な取引アルゴリズムは、市場およびブローカー・ディーラーの安定性に悪

影響を及ぼす可能性がある」と指摘し、OCIEは「ブローカー・ディーラーがアルゴリズム取引活動をどのように監督するか、自動取引活動をサポートするコンピュータ・プログラムの開発、テスト、実装、保守、修正、およびコンピュータ・コードへのアクセスに関する管理を含めて検討する可能性がある」と述べている。

⑥ 金融安定監視会議への参加

当委員会の委員長は、金融安定監視評議会（FSOC）の議決権を有するメンバーである。

FSOCは、金融市場における最近の技術的・構造的な重要な変化に注目している。例えば、FSOCは二〇一九年の年次報告書の中で次のように指摘した。

金融市場の進化は、技術の進歩と規制の発展によってもたらされた。

新しい技術によって取引コストが削減され、金融データがより広く利用できるようになる一方、テクノロジ使用の増加と新タイプの市場参加者の参入は、新しいタイプのリスクを生み出している。

自動化された取引システムの利用が増え、気配値の提示や取引執行が高速化したことで、マーケットメーカーや他の参加者の操作上のイベントによる市場の深刻な混乱の可能性が高まっている。

一部の市場では、新技術に関連した規模の経済が、少数の参加者への依存度の高い流動性の増加につながっている。

新しい取引場所の出現により、取引が細分化され、市場をつなぐ技術的な解決策の導入が必要である。

当協議会は、規制当局が金融市場の構造的変化を継続的に評価し、金融システムの効率性と安定性への影響を検討することを推奨する。

規制当局はまた、市場間の複雑な連携を評価し、市場間にストレスが伝播する要因を検討し、これらのリスクを軽減するための潜在的な方法を検討すべきである。

FSOCは、主要な金融市場の施設を「システム上重要な存在（SIFMU）」として指定する責任を負う。これらの公益事業体は、現金、有価証券、デリバティブ取引の清算決済など、市場で様々な機能を果たしている。これらの多くは、セントラル・カウンターパーティーであり、それぞれの市場での取引の大部分を清算する責任を負う。

⑦ 委員会およびスタッフによる追加の進行中および可能性のある措置

透明性の向上、取引インフラの安定性と安全性の強化に重点を置いた行動に加えて、委員会のスタッフは継続的に市場の完全性、効率性、回復力を監視し、評価している。

特に、委員会のスタッフは現在、技術の進歩、上場株式におけるアルゴリズム取引の仮想的なユビキタス化、企業特有の電子システムへの依存度および一般的な依存度、およびこれらの発展によって生じるリスクを監視している。

委員会は、これらの動きに対応するために、スタッフの勧告を受けて様々な措置を講じてきた。

さらに、委員会が公表した規則制定の課題一覧に示されているように、委員会とスタッフはさらなる関連措置を検討している。現在進行中の措置と可能性のある措置には、以下のものが含まれる。

・二〇二〇年一月、委員会は統合株式市場データ計画のガバナンスに関する命令を提案し、二〇二〇年五月、委員会はSROに対し、連結株式市場データに関する新たな全国市場システム計画を提出するよう指示する

命令を承認した。一部のSROはDC巡回裁判所でこの命令の見直しを申請している。

・委員会は二〇二〇年二月、株式市場データのインフラストラクチャーに関する規則を提案した。

委員会のスタッフは、これらの提案で提起された問題点、提案に対するパブリック・フィードバックを引き続き検討する…

・OCIEスタッフは、自動取引アルゴリズムに関する統制について会社を調査する。

・OCIEスタッフは、S C I 事業者が必要に応じてS C I 方針および手続きを確立、維持、施行状況を継続的に評価し、S C I 事業者が過去の調査に対応して適切な措置の適切性を検討するための調査を継続して実施する予定である。

・取引市場局は、データ・セキュリティに関する連結監査証跡（C A T）を管理するN M S プランの修正を提案するよう、委員会への勧告を検討している。

4 アルゴリズム取引に関する研究の概要 (Summary of Studies on Algorithmic Trading)

(1) 株式 (Equities)

本節では流動性、価格の効率性、ボラティリティへの影響など、アルゴリズム取引および高頻度取引（HFT）が市場にもたらす影響に注目した研究論文における分析と結論の要約を述べる。以下で述べる学術研究では、アルゴリズム取引の効果を検証しているが、その内容には高頻度取引業者（HFT）を含む幅広い市場参加者の活動が含まれている。

歴史的には、米国株式市場におけるアルゴリズム取引の大部分をHFTが占めていたことから、研究の多くは

HFTの影響の検証が中心となっている。HFTはアルゴリズム取引のサブカテゴリに分類され、通常、短期戦略を実行するために高速のデータアクセスと処理能力を使用するプロ・トレーダーを指している。HFTには一般的に日中に頻繁に取引を行い、日中の立ち合い終了後にポジションを持つことを避けるという特徴もある。

米国株式の流通市場におけるHFTによるアルゴリズム取引に関する文献は多岐にわたる。委員会のスタッフは以前にも、市場の断片化と高頻度取引という関連トピックに関する文献レビューを発表している (Staff of the Division of Trading and Markets, "Equity Market Structure Literature Review Part I: Market Fragmentation" (Oct. 7, 2013' <https://www.sec.gov/marketstructure/research/fragmentation-ilt-review-100713.pdf>) を参照)。

これらのレビューでは、当時入手可能な経済文献を要約するだけでなく、アルゴリズム取引やHFTを研究する際の方法論的な問題点、特に一般に公開されているデータセットでは、アルゴリズム取引やHFTに明示的な識別子が付されていないことから、関連する取引の特定が困難であることも議論されている。さらに、多くの記事では、アルゴリズム取引と高頻度取引に関連する学術的な文献を調査している。

全体として、大半の学術研究においてアルゴリズム取引とHFTが市場の質を向上させ、取引コストの削減に貢献していることが明らかにされている。通常の市場環境下では、アルゴリズム取引とHFTは流動性と価格効率を向上させ、短期的なボラティリティを低下させることを示唆する十分な証拠がある。

しかし、主にフラッシュ・クラッシュの事例から、特定の状況下においては、アルゴリズム取引やHFTは、ボラティリティや市場のストレスが高い時期の値動きを悪化させる可能性があるという証拠がある。

(2) 流動性 (Liquidity)

アルゴリズム取引およびHFTに関連する問題については、学術的な文献から重要な洞察と疑問が得られている。その結果には例外や制限がないわけではないが、少なくとも通常の市場環境下では、アルゴリズム取引と高頻度取引は流動性を向上させることが一般的に確認されている。

異なるタイプのHFTを調査している学術研究の中には、HFTの種類によって結果が異なることが確認されている。HFTのマーケットメーカーを調査した大半の研究では、HFTが流動性を向上させ、スプレッドを縮小させている。他の研究では、陳腐化した注目を「拾い上げる」HFTは、逆選択コストを増加させることで流動性を悪化させる可能性があるとする。

本節では以下、アルゴリズム取引やHFTが流動性に与える（あるいは与える可能性がある）と研究が考えられている複数の影響について、アルゴリズム取引やHFTによる流動性供給への影響、逆選択を増加させる可能性があるHFTの活動、HFT間の競争の影響、HFTのスピードの変化の影響など、より詳細に説明する。

① アルゴリズム取引と高頻度取引による流動性供給 (Algorithmic Trading and HFT Liquidity Supply)

多くの学術研究では、アルゴリズム取引とHFTにより、ビッド・アスク・スプレッドが減少することが確認されている。これらの研究の大半は、高速化や市場を監視する能力の向上により、アルゴリズム・トレーダーや高頻度取引 (HFT) の流動性供給者が逆選択コストを削減し、より狭くなったスプレッドを提示できるようになったと主張している。

例えばHendershott, Jones, and Menkveld (2011)は、NYSEにアルゴリズム取引を導入した結果、ビッド・

アスク・スプレッドが減少したことを明らかにしたが、これはアルゴリズム・トレーダーの価格気配について逆選択コストが低下したことに起因している。

さらに、Brogard, Hagstromer, Norden, and Riordan (2015)は、HFTマーケットメーカーの速度の向上を調べ、それによって逆選択コストが削減された結果、よりスプレッドのタイトな市場での気配値提示が可能になることを発見した。

他の学術研究では、アルゴリズム取引とHFTが時間の経過と共に流動性を滑らかにすることで流動性を改善していることが示されている。例えば、Hendershott and Riordan (2013)は、アルゴリズム・トレーダーは、ビット・アスク・スプレッドが広いときには流動性を提供し、スプレッドが十分に狭いときには流動性を取ることで、時間的に流動性を滑らかにすることを発見しており、Carrion (2013)は、HFTについても同様の結果を見出している。

大半の学術研究では、アルゴリズム取引や高頻度取引(HFT)が提供するタイトな気配値は、有効なスプレッドを改善し、「個人投資家」の取引コストを削減すると結論づけている。しかし、HFTが「機関投資家」の取引コストに与える影響については、さまざまな結果が出ている。

Brogard et al. (2014b)は、HFTが機関投資家の約定コストに影響を与えている明確な証拠はなく、HFTの活動が増加しても機関投資家のコストは変わらないとしている。

Korajczyk and Murphy (2019)は、HFTは大規模な機関投資家の取引(二〇〇万ドルを超える取引)のコストのみを増加させ、小規模な機関投資家取引の取引コストを減少させるといふ証拠を見つけている。

Tong (2015)は、HFTの活動の増加が機関投資家の注文の価格インパクトの増加を引き起こし、その実施不

足 (shortfall) コストを増加させることを発見している。

Menkveld (2016)は、HFTの追加的な利点として、市場全体が電子取引に迅速に移行したことで、取引コストの低下と取引量の増加をもたらしたと主張している。彼は、新しい電子取引場所 (venue) とHFTの間には共生関係があり、新しい取引場所は、積極的に価格をつけた買値と売値を挿入するために高頻度取引を必要とし、高頻度取引は、自動化、スピード、低手数料の面で要求を満たすために新しい取引場所を必要としている。高流動性取引のマーケットメーカーは株式市場における主要な流動性供給者であるが、通常は流動性を提供する義務はない。懸念されるのは、市場環境が不確実である場合 (あるいはHFTにとって好ましくない場合) に、彼らが流動性の供給を縮小する可能性がある点である。

Boehmer, Li and Saar (2018)は、HFTの戦略が相関関係にあることを発見し、Malceniece, and Putnins (2019)は、HFTが株式のリターンと流動性の共通な動きを有意に引き起こすことを発見している。値動きと流動性の供給の相関は、HFTのマーケットメーカーが同時に市場から撤退する (および/またはHFTのマーケットメーカーが撤退する原因となる) 結果である。Anand and Venkataraman (2016)は、市場の状況が好ましくないときにマーケットメーカーが一齐に取引規模を縮小する証拠を見つけており、これが銘柄内でも銘柄間でも流動性供給の共分散に寄与していると考えられる。

マーケット・メイキングの気配提示義務は、そのような状況下での流動性を向上させる可能性がある。Anand and Venkataraman (2016)は、気配提示義務のないHFTを指定マーケットメーカー (DMM)、すなわちクォーティンング義務のあるHFTと比較している。彼らは、他のHFTがスケールバックした時にDMMが参加を継続したことで、約定の不確実性が減少したことを発見した。Clark-Joseph, Ye, and Zi (2017)もまた、NYSEのD

MMの義務が流動性にどのように影響を与えるかを調べ、DMMが流動性に意味のある改善を引き起こすという考えと一致する証拠を見つけている。

② HFTの活動と増大する逆選択問題 (HFT Activities and Increased Adverse Selection)

以下のサブセクションでは、一部のトレーダーの逆選択コストを増加させる可能性のある特定のHFT活動〔陳腐化した気配値のアービトラージ〕〔注文予測〕〔気配値の詰め込み〕〔見せ玉 (spoofing)〕〕について論じている。

A 陳腐化した気配値の裁定 (Stale Quote Arbitrage)

一部のHFTは、そのスピードの優位性を利用して、古くなった指値注文を狙い撃ちすることができる。これは、マーケットメーカーの逆選択コストを高め、より広いスプレッドの提示につながる。学術的な研究では、HFTが陳腐化した相場に対抗して取引を行うことができる証拠を発見している。例えば、Brogard, Hendershot and Riordan (2017)は、HFTが逆選択を指値注文に対して選択し、これが流動性に悪影響を及ぼすことを発見している。Aquilina, Budish, O'Neill (2020)は、これらの裁定取引の機会が投資家や他の市場参加者に課すと考えるコストを実証的に推定している。

スピード面での優位性があっても、HFTマーケットメーカーが指値注文で逆選択をされることを完全に避けることはできない。Menkveld (2013)とBrogard, Hendershot and Riordan (2014)は、HFTマーケットメーカーがその気配値で逆選択されていることを発見した。Budish, Granton and Shim (2015)は、このことが、HFTが

最も早く反応できるようにするために、スピードに過剰投資するインセンティブを生み出すと主張している。彼らが技術的な「軍拡競争」と呼ぶこの競争力学は、市場参加者や市場の効率性に利益をもたらさない可能性がある。

B 注文の予測 (Order Anticipation)

多くの学術研究では、HFTが他のトレーダーの注文の流れを予測可能であることを示している。例えば、Hirshy (2018)は、HFTの積極的な取引は、次の三〇秒でHFT以外のトレーダーの積極的な取引と相関関係があることを示しており、この発見はHFTによる注文予測取引の結果と解釈している。同様にClark-Joseph (2014)は、E-mini S&P 500先物市場において、HFTが小額の積極的な成行注文を出し、その反応を観察すること、注文の予測戦略を実施していることを示している。

Yang and Zhu (2019)は、戦略的トレーダーが過去の注文フローに基づく注文予測戦略を用いて、機関投資家の注文フローを予測する「逆流 (back-running)」モデルを提供している。実証結果は、HFTが機関投資家の長期にわたる新規情報に基づく注文 (インフォームドオーダー) を予測することで、機関投資家の取引コストが上昇する可能性があることを示唆している。同様にVan KervelとMenkveld (2019)は、HFTが最初は大規模な機関投資家の注文とは逆の方向に取引し、最終的には方向転換し、最も情報を有する機関投資家の注文に対して同じ方向にポジションを取ることで、これらの注文の約定コストが増加することを発見している。

C 気配値の詰め込み (Quote Stuffing)

気配値の詰め込みは、市場に有害なHFTの戦略の一つで、大量の有価証券の売買注文を迅速に連続して発注し、その後ほぼ即座にキャンセルする戦略である。Davies and Sirri (2018)は、同種活動が、最良気配に基づく注文を利用するために使用される可能性があり、またシステム上のメッセージ・トラフィックを詰まらせ、遅い接続を持つ他のトレーダーの注文更新や提出を遅延させることで、市場の整合性に影響を与える可能性を指摘している。

D 見せ玉 (Spoofing)

HFTが使用する、他の有害な戦略として、他のトレーダーを操作するために売買注文を執行する意図なしに提出・取り消しする「見せ玉」がある。Lee, Fom, and Park (2013)は、韓国取引所におけるなりすましを検証した。その内容は、投資家が戦略的になりすまし注文を発注し、注文帳の不均衡が大きいという印象を他の投資家に与えて、その後の価格を操作していた。その結果、なりすましの対象となった銘柄は、リターンの変動係数が低く、時価総額が低く、価格水準が低く、経営の透明性が低いことが判明した。

(3) HFT間の競争

HFT間の競争が流動性に与える影響については、学術的な研究では様々な実証結果が示されている。研究の多くは、一般的に、HFT間の競争が増えるとスプレッドが減少し、価格弾力性が向上するように見える、すなわち、スプレッドが一度拡大した後、スプレッドがより早く狭まることを発見している。

例えば、BrogardとGariott (2019)は、新規HFTの参入がHFT間の競争に与える影響を検証し、新規HFTが市場に参入すると、ビッド・アスク・スプレッドが縮小し、非HFTの有効スプレッドと実現スプレッドが狭まることを見出している。

対照的にYao and Ye (2018)は、HFT間の競争が、同じデータチャネル内の銘柄のメッセージフローの共動性を異常に高いレベルについて、調査コストを増加させる可能性があることを発見している。

(4) HFTのスピード

学術的な研究では、HFTのスピードの流動性へもたらす影響について、様々な証拠を提供している。

Brogard, Hagströmer, Norden, and Riordan (2015)は、HFTのマーケットメーカーは、取引所が提供するオプションのスピードアップグレードを利用する可能性が高いことを発見した。彼らが利用した場合、逆選択コストを減らすことができたため流動性が改善され、よりタイトな市場でのクォートが可能になった。

対照的に、ShkilloとSokolov (2016)は、悪天候がシカゴとニューヨーク間のマイクロ波取引ネットワークを混乱させ、これらのネットワークに依存している特定のHFTのスピード優位性を低下させた事例を検証した。こうした状況が発生すると、HFTが課す逆選択リスクが低下し、取引コストが低下し、流動性が向上することが示された。HFT間のスピードの不均一性は、流動性を向上させる仲介チェーンの形成につながる可能性がある。

Menkveld (2016)は、マーケットメーカーの取引速度や在庫保有期間の違いが、一連の金融仲介者がエンドユーザー間で株式を受け渡すことで、どのように仲介チェーンの形成につながるかを論じている。彼は、仲介チェーンがエンドユーザー間の取引を完了させる上で有用であることを論じている。仲介者に生産的な順序で並ぶこと

を強制するか、仲介者に情報の非対称性の負担を効果的に分担させるか、あるいは、取引速度の速い仲介者がより積極的に取引を行うことで、情報を早期に明らかにし、情報の非対称性を後から減らすことが可能となる。

Waller (2013)は、商品先物取引における仲介チェーンに関する直接的な証拠を提示しており、HFTのマーケットメーカーが投資家に迅速な執行を提供し、低頻度のマーケットメーカーから在庫リスクを伴うサービスを効果的に消費している。

Brogard, Hagstromer, Norden and Riordan (2015)は、取引所が複数のコロケーション・サービスを提供した後、HFTは様々なオプションの中で自分自身を分類した（全員が最速のサービスを購入したわけではない）ことを示している。これはイベント発生後、ビッド・アスク・スプレッドは低下し、深さは改善し、仲介チェンが流動性の恩恵を受けていることと一致している。

(5) 価格の効率性

学術論文では、アルゴリズム取引やHFTが価格発見プロセスや価格の効率性に与える影響についても検討されている。

これらの研究の大部分は、アルゴリズム取引とHFTが価格効率を改善し、価格が新情報を取り込むまでの時間を短縮することを確認している。例えば、Brogard, Hendershot and Riordan (2014)は、全体的に、HFTは長期的な価格変化の方向への取引と、一過性の価格の誤差の反対方向に取引することで、価格効率を促進することを発見している。

一方、Waller (2018)は、アルゴリズム取引が、市場参加者が企業の詳細を知るためにコストのかかる調査業務

へのインセンティブを低下させることで、価格効率を低下させる実証を提供している。アルゴリズム取引の増加は、決算発表時の価格の飛躍的変動の増加をもたらしている。これは、アルゴリズム取引の増加は、市場参加者が企業の収益を予測するために行う調査を減少させることを意味しており、その結果、収益発表が発表されたときのインパクトの拡大を示している。

また、学術論文では、一般的に、アルゴリズム取引やHFTにより、気配値が（取引ではなく）価格発見プロセスへの貢献度が高くなることが示されている。

例えば、Hendershott, Jones, and Menkveld (2011)は、アルゴリズム取引の増加により、気配値が取引よりも情報量が多くなり、価格発見への貢献度が高くなることを発見している。

Brogard, Hendershott and Riordan (2019)は、価格発見におけるHFTと非HFTの指値注文と成行注文の寄与度を調べ、価格発見の大部分はHFTが提出した指値注文がもたらしていることを発見した。また、ボラティリティが上昇すると、指値注文からの価格発見への寄与は減少し、成行注文からの寄与は増加する。この変化はHFTの行動の変化と相関があり、HFTの行動変化が原因であることを発見した。

多くの学術論文では、HFTが公開情報処理する速度と、どれだけ早く株価に反映するかを調べている。

Hu, Pan and Wang (2017)は、ミシガン消費者センチメント指数の一般リリースの二秒前に、有料で同情報を受け取るHFTグループを調査し、指数先物価格の発見の大半は、HFTが初期反応のピークを示した後、〇・二秒以内に起こることを発見した。

Chordia, Green, and Kotimukkalur (2018)は、マクロ経済の発表サブプライズ周辺の取引を検証し、価格が五ミリ秒以内にサブプライズに反応するが、発表周辺の迅速な取引から得られる利益は相対的に小さいことを発見して

いる。

(6) ボラティリティ

アルゴリズム取引およびHFTと価格の急激な変化との間に関連性をもたせることは、取引のスピードの速さを踏まえれば、簡単な議論のように思われる。また、急激で大きな変化（価格変動の増大）をアルゴリズム取引が引き起こすと結論づけるのは、さらに一歩進んだ認識となる。しかし、学術的な研究では、この結論に疑問を投げかけている。

一部の研究は否定しているが、多くの学術論文では、アルゴリズム取引と高頻度取引が株式市場のボラティリティに与える影響を研究し、通常の市場環境下では短期的なボラティリティを低下させる証拠を発見している。しかし、主にフラッシュ・クラッシュから得られた証拠もあるが、不確実性や市場のストレスがある時期には、アルゴリズム取引や高頻度取引が値動きを悪化させる可能性がある。

(7) 短期のボラティリティ

大半の学術研究では、アルゴリズム取引やHFTが短期的なボラティリティを低下させることがわかっている。例えばBrogard, Hendershott and Rordam (2014)は、HFTが一過性の価格変動に対して取引を行うことで、ボラティリティを低下させることを発見している。さらにBoehmer, Li, Saar (2018)は、HFTのマーケットメーカー間の競争の激化がボラティリティの低下に寄与しているという証拠を発見している。

しかし、先行研究とは対照的に、Boehmer, Fong, Wu (2018)は、アルゴリズム取引によって短期的なボラティ

リテイが上昇し、その影響は小型株でより強くなることを発見している。彼らは、ボラティリティの増加は、価格発見の速さや、アルゴリズム・トレーダーがボラティリティの高い市場に参入する傾向に起因するものではないと指摘している。

また、一部の学術研究では、アルゴリズム取引とHFTが、ボラティリティが高まっている時期にもボラティリティを低下させ続けていることを明らかにした。

例えば、Hendershott and Riordan (2013)は、乱高下する市場の局面では、アルゴリズム取引がボラティリティの減衰に寄与していることを発見している。Brogard, Carrion, Moyaert, Riordan, Shkliko and Sokolov (2018)もまた、HFTが極端な価格変動に対抗して取引を行うことで、ボラティリティが高まっている時期に価格が安定することを発見している。しかし、フラッシュ・クラッシュ時のように、特定の市場ストレスの時期には、HFTが市場から一斉に撤退する可能性があることを含め、ボラティリティを悪化させる可能性があるという証拠がある。

5 レポートの結論 (Conclusion)

今日の株式市場は高度に相互接続されており、データが市場を動している (data-driven)。電子取引とアルゴリズム取引は共に普及しており、市場の運営に不可欠である。こうした傾向は今後も継続し、株式市場の様々な分野は、今後も電子化が進み、コンピュータが動かすアルゴリズムに大きく依存し、価格や取引活動情報の配信が迅速に行われていくと予想される。

アルゴリズム取引の増加は、新たに発生するリスクなど、メリットとリスクの両方をもたらす。これは、市場

において公正で厚みのある流動性を維持するためには、技術と取引の進歩を継続的に監視し、システムと専門的知見の維持が必要であることを意味する。

委員会は、透明性を高め、ボラティリティを緩和し、安定性と安全性を高め、市場の完全性を向上させるために、上述のような様々な措置を講じ、その他の措置を評価している。これらの措置や潜在的な措置について、市場参加者や一般市民からの意見を求めてきた。委員会は、与えられた意見からメリットを得ている。関心のある関係者には、これらの事項について意見を送付し、分析等については、当委員会の注意を喚起することを奨励する。

6 おわりに

・本稿では、前回（志馬（二〇二〇））と併せて二度にわたり、SECスタッフによるアルゴリズム取引に関するレポートの分析を照会した。

・そうした中で注目される点としては、「取引所市場や代替定期取引システム、様々なプラットフォームを合わせて取引場所（venue）として包括的に把握しており、各取引場所の重要性を認識している」ことや、「それから複数に細分化された取引場所をつなぎ、全体として有機的に機能する条件として、コンピュータを使用し、高度にネットワーク化されたアルゴリズム取引をとらえている」視点が筆者には強く印象に残った。

こうしたSECスタッフの認識は、米国市場はもちろん、わが国や米国以外の証券市場の在り方を考える上で、重要な示唆を与えるものであろう。

注

(1) IS法とは、ファンドマネージャーやアセットマネージャーが売買事項を策定（銘柄の売買決定）した時点から、実際にファンドにそれを執行するまでの価格変動部分を執行関連費用として、直接的なもの（手数料等）と間接的なもの（マーケット・インパクト、タイミング、機会費用）に分解して分析する手法を指す。

(2) 本レポートにおける「逆選択」とは、パッシブ・マーケット・メーカーのような他の参加者よりも早く反応し、市場の動きに合わせて更新されていない（resting）約定注文に反して取引を行うHFTの能力のことを指す。受動的なマーケットメーカーが、市場の急激な動きに起因する「逆選択」コストを回避または最小化するための戦略の一つとして、ビッド・アスク・スプレッドを拡大することが考えられます。このような戦略の有効性は、他の要因の中でも、他のマーケットメーカーがより狭いスプレッドを提示することに同意しているかどうかによって依存する。

参考文献

- ・ Anand, A. and K. Venkataraman, 2016. "Market conditions, fragility and the economics of market making." *Journal of Financial Economics* 121: 327-349.
- ・ Aquilina, M., E. Budish, and P. O'Neill, 2020. "Quantifying the High-Frequency Trading 'Arms Race': A Simple New Methodology and Estimates." UK Financial Conduct Authority Occasional Working Paper No. 50. (<https://www.fca.org.uk/publications/occasional-papers/occasional-paper-no-50-quantifying-high-frequency-trading-arms-race-new-methodology>)
- ・ Boehmer, E., K. Fong, and J. Wu, 2018. "Algorithmic Trading and Market Quality: International Evidence." Working Paper. (SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2022034>).

- Bohmer, E., D. Li, and G. Saar, 2018. "The Competitive Landscape of High-Frequency Trading Firms." *The Review of Financial Studies* 31: 2227-2276.
- Brogaard, J., A. Carrion, T. Moynaert, R. Riordan, A. Shkliko, and K., 2018. "High frequency trading and extreme price movements." *Journal of Financial Economics* 128: 253-265.
- Brogaard, J. and C. Garriott, 2019. "High-Frequency Trading Competition." *Journal of Financial and Quantitative Analysis* 54: 1469-1497.
- Brogaard, J., B. Hagströmer, L. Norden, and R. Riordan, 2015. "Trading Fast and Slow: Colocation and Liquidity." *The Review of Financial Studies* 28: 3407-3443.
- Brogaard, J., T. Hendershott, and R. Riordan, 2014. "High-Frequency Trading and Price Discovery." *The Review of Financial Studies* 27: 2267-2306.
- Brogaard, J., T. Hendershott, and R. Riordan, 2017. "High frequency trading and the 2008 short-sale ban." *Journal of Financial Economics* 124: 22-42.
- Brogaard, J., T. Hendershott, and R. Riordan, 2019. "Price discovery without trading: evidence from limit orders." *Journal of Finance* 74: 1621-1658.
- Brogaard, J. and K. Roshak, 2016. "Prices and Price Limits." Working Paper. (SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2867104>).
- Buddish, E., P. Cramton, and J. Shim, 2015. "The high-frequency trading arms race: frequent batch auctions as a market design response." *Quarterly Journal of Economics* 130: 1547-1621.
- Carrion, A., 2013. "Very fast money: high-frequency trading on the Nasdaq." *Journal of Financial Markets* 16: 680-711.

- Chordia, T., T.C. Green, and B. Korimukkalur, 2018. "Rent Seeking by Low-Latency Traders: Evidence from Trading on Macroeconomic Announcements." *The Review of Financial Studies* 31: 4650-4687.
- Clark-Joseph, A., 2014. "Exploratory Trading." Working Paper, available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/6681/90d1945037f0649c2e4cc71eac53128ab1a5.pdf>
- Clark-Joseph, A., M. Ye, and C. Zi, 2017. "Designated market makers still matter: evidence from two natural experiments." *Journal of Financial Economics*, 126: 652-667.
- Hendershott, T., C.M. Jones, and A.J. Menkveld, 2011. "Does algorithmic trading improve liquidity?" *Journal of Finance* 66: 1-33.
- Hendershott, T., and R. Riordan, 2013. "Algorithmic Trading and the Market for Liquidity." *The Journal of Financial and Quantitative Analysis* 48: 1001-1024.
- Hirschey, N., 2018. "Do High-Frequency Traders Anticipate Buying and Selling Pressure?" Working Paper, (SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2238516>)
- Hu, E., 2019. "Intentional Access Delays, Market Quality, and Price Discovery: Evidence from IEX Becoming an Exchange." Working Paper. (SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3195001>)
- Hu, G.X., J. Pan, and J. Wang, 2017. "Early peek advantage? Efficient price discovery with tiered information disclosure." *Journal of Financial Economics* 126: 399-421.
- Johnson, Richard, "Trends in Global Equity Electronic Execution" 7, Greenwich Associates, Apr. 23, 2019 (<https://www.greenwich.com/equities/trends-global-equity-electronic-execution>).

- Korajczyk, R.A. and D. Murphy, 2019. "High-Frequency Market Making to Large Institutional Trades." *The Review of Financial Studies* 32: 1034-1067.
- Lee, E.J, K.S. Eom, and K.S. Park, 2013. "Microstructure-based manipulation: strategic behavior and performance of spoofing traders." *Journal of Financial Markets*, 16: pp. 227-252.
- Malceinice, L., K. Malceniaks, and T.J. Putniņš, 2019. "High frequency trading and comovement in financial markets." *Journal of Financial Economics* 134: 381-399.
- Menkveld, A.J., 2013. "High frequency trading and the new market makers." *Journal of Financial Markets* 16: 712-740.
- Menkveld, A.J., 2016. "The Economics of High-Frequency Trading: Taking Stock." *Annual Review of Financial Economics* 8: 1-24.
- Menkveld, A. and V. van Kervel, 2019. "High-Frequency Trading around Large Institutional Orders." *Journal of Finance* 74: 1091-1137.
- Menkveld, A.J. and B.Z. Yueshen, 2018. "The flash crash: A cautionary tale about highly fragmented markets." *Management Science*, forthcoming.
- National Market System Plan Assessment to Address Extraordinary Market Volatility (the "Supplemental Joint Assessment" or "Assessment"), available at (<https://www.sec.gov/comments/4631/4631-39.pdf>)
- SEC (2020), "Staff Report on Algorithmic Trading in U.S. Capital Markets", August 5, 2020, (https://www.sec.gov/tm/reports-and-publications/special-studies/algo_trading_report_2020).
- Shkilko, A. and K. Sokolov, 2016. "Every Cloud Has a Silver Lining: Fast Trading, Microwave Connectivity and Trading

- Costs." Working Paper, (SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2848562>).
- Tong, L., 2015. "A blessing or a curse? The impact of high frequency trading on institutional Investors." Working Paper, available at SSRN: <http://ssrn.com/abstract=2330053a>.
- Weller, B.M., 2014. "Intermediation Chains." Working paper.
- Yang, L. and H. Zhu, 2019. "Back-Running: Seeking and Hiding Fundamental Information in Order Flows." Review of Financial Studies, (SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2583915>).
- Yao, C. and M. Ye, 2018. "Why Trading Speed Matters: A Tale of Queue Rationing under Price Controls." The Review of Financial Studies 31: 2157-2183.
- 志馬祥紀 (二〇二二)、「その日は市場とアルゴリズム取引をどのように見ているのか」米国のECスタッフによる「資本市場におけるアルゴリズム取引」報告書(前半の抄訳)、「証研レポート、一七二四号、P38-63」二〇二二年二月 (https://www.jsri.or.jp/publish/report/pdf/1724/1724_03.pdf)

(つぎ よりの・客員研究員)