



アルゴリズム・トレードの 現状と今後の展開

応
般

— 誤解していませんか、アルゴリズム・トレードを? —

尹 熙元 松井 宏樹 (株) シーエムディーラボ

金融市場の現状

■ IT 技術が金融市場を変える

近年の IT 技術は金融市場を大きく変え始めている。その大変化の 1 つが、コンピュータによる自動売買、すなわち、アルゴリズム・トレードである。本稿では代表的な金融市場である株式市場を題材として、アルゴリズム・トレードの現状について解説し、最後に今後の展開について言及する。

■ 次世代取引システム

日本の株式市場は 2009 年末まで、2～3 秒に 1 回の処理を行うシステムによって取引が行われてきた。このシステムは IT 技術が飛躍的な発展を遂げる中、世界の証券市場間競争において圧倒的な劣勢状態となっていたため、東京証券取引所（以下、東証）は大規模なシステム改修を行うこととなった。

2010 年、東証 arrowhead 稼働

2010 年 1 月 4 日、東証は次世代売買システムと銘打って、株式および CB（転換社債）の取引システムを一新した。この新システムは arrowhead と呼ばれ、従来の取引引きを約 1,000 倍速くし、ミリ秒単位の取引引きを実現させるに至った。

ミリ秒の世界

人間が物事を認知するには、物理的な時間として数 100 ミリ秒を要する¹⁾。これは、東証で行われている取引引きが連続的に数ミリ秒間隔で発生した場

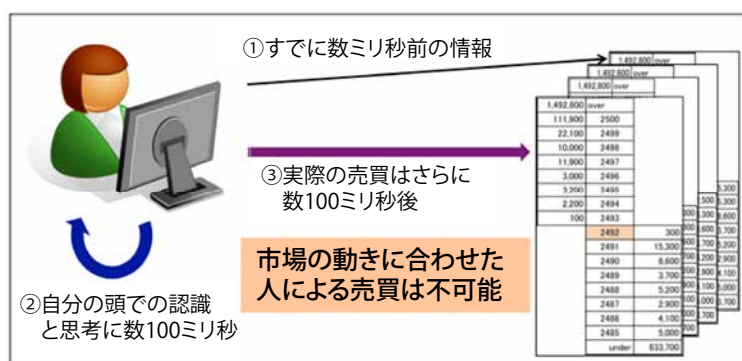


図-1 ミリ秒世界の金融取引

合、人間はその存在すら認識することができないことを意味する。また、人間を介さず、コンピュータによる取引引きを実施しようとも、市場データは発生時から数ミリ秒を経てユーザである市場参加者に達するため、情報を得た次の瞬間に誰よりも速く確実に取引引きを実施することは不可能である。すなわち、現在の金融市場は、発生した事象（取引引きや注文等）に対して確実な対応をすることが物理的に不可能な状態であり、不確実性の情報下で取引引きを実施せざるを得ない状況なのである（図-1）。

なぜ、アルゴリズム・トレードが必要なのか？

■ アルゴリズム・トレードとは？

アルゴリズム・トレードと聞いて、全自動で人が介することなく収益を上げてくれるシステムを想像してはいないだろうか？ 残念ながら、そのようなシステムが存在することはあり得ない。金融市場で収益をあげるためにはリスク（不確かな状況下での

判断)をとる必要があり、そのリスク管理を支援するための手段としてアルゴリズム・トレードが存在するのである。本節では「アルゴリズム・トレードとは何か」を明確化するために、アルゴリズム・トレードの定義から考えてみる。

アルゴリズム・トレードの定義

アルゴリズムを使ったトレードをアルゴリズム・トレードと呼ぶならば、今日の金融市場への注文はITシステムを介して実行されるため、すべての取り引きはアルゴリズム・トレードということになる。しかしながら、市場関係者の多くはすべての取り引きをアルゴリズム・トレードとは考えていない。その考えの根底には、アルゴリズム・トレードとは「(1) 数理的な市場分析プロセスを伴った、(2) コンピュータによる取り引き」という思想がある。この2つの条件をともに満たすものをアルゴリズム・トレードと定義することに異論はないであろう。ただし、(1)の“数理的な市場分析”の程度を、どのレベルで想定するかによってアルゴリズム・トレードの解釈が異なる可能性はある。

アルゴリズム・トレードの分類

数理的な市場分析を伴うことがアルゴリズム・トレードの条件となるならば、数理的な市場分析のタイプによってアルゴリズム・トレードを分類することが可能となる。

① 日中変動と日次変動の違い

分析のタイプ分けにはさまざまな視点があるが、1つの視点は、対象となるデータが日中変動データか日次変動データか、というものである。図-2左上の直方体（日中価格空間）内において、軸を中心に回転する変動が日中変動と想定すると、その空間の垂直断面（日またぎ断面）が日次変動ということになる。数値データ上では類似な変動に見えても、見ている観測面が異なるのである（週次変動や月次変動は、観測するサンプリング頻度は異なるが、日次変動と同じ観測面を見ている）。実務的な立場で日中の市場変動を分析する場合、取引時間帯については規定されるものとしてデータを扱う（株式市場や先物市場では取引開始時刻と終了時刻が決まって

いる）。それに対して日次（週次や月次、年次についても）の市場変動を分析する場合は、分析者（市場参加者）が任意に分析対象となる期間を定めることになるため、規定による開始と終了が存在しない。また、日本の株式市場では日中の取引開始が板寄せと呼ばれる需給調整によって価格が形成される一方で、日中のザラバ取引では需給調整された価格形成とはならない²⁾。これは図-2において、日またぎ断面（オレンジ色の断面）での価格形成と日中価格空間内での価格形成は異なるということを意味する。このことはアルゴリズム・トレードを考える上で大変重要な仕様の違いとなる。

② 静的な分析と動的な分析の違い

本稿で取り上げる分析のタイプ分けの2つ目の視点は、静的な時系列に対する分析か、動的な時系列に対する分析の違いによる分類である。金融工学では、市場価格の変動を確率変数としてモデル化し、定式化する³⁾。これは、価格は変化するが、市場構造を意味するモデル式は変わらないという前提がある。これに対して、近年、進化的プログラミングによる分析が試みられ、市場変動を、動的構造変化を伴う時系列として捉える研究が進んでいる。この視点も、アルゴリズム・トレードを設計する上では、仕様上の大きな相違を生む。

以上の2つの視点からアルゴリズム・トレードを分類し現状の稼働状況を示したものが表-1である。なお、稼働状況については、著者が確認しているものであるが、公表されずに稼働しているアルゴリズム・トレードが存在する可能性がある。表-1において“研究中”と記した右下の領域は多くの人工知能研究が取り組んでいるエリアである。

アルゴリズム・トレードに必須な需給情報

従来、金融工学は市場価格の時系列変動を確率モデルによって分析し、その成果をデリバティブや保有資産の評価等に応用してきた⁴⁾。多くの市場モデルは価格変化のみを扱い、取引量については、価格変化とは独立した分析やモデリングを行っている。

アルゴリズム・トレードは、保有する資産という“状態に対する分析”では十分ではない。それは、

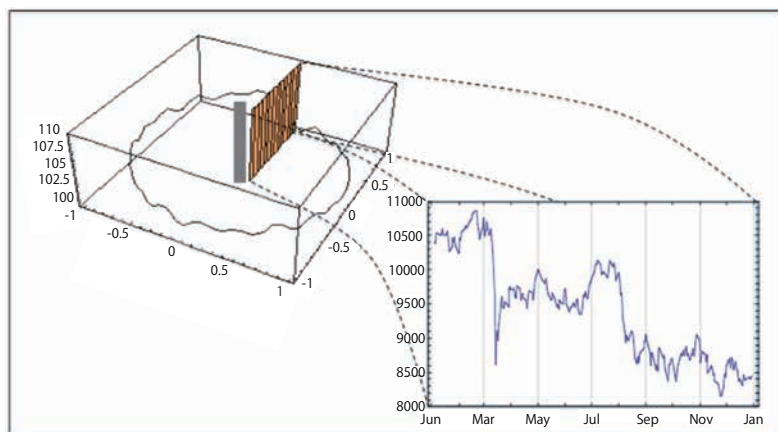


図-2 日中変動と日次変動の関係

	静的分析	動的分析
日中変動分析	通常業務にて稼働中	一部、試験的に稼働中
日次変動分析	テクニカル分析型ロボットとして稼働中	研究中

表-1 アルゴリズム・トレードの分類と稼働状況

アルゴリズム・トレードの活用者にとっては売買を執行することが大前提であるため、“状態の変化”を価格という示強変数のみではなく、取引量という示量変数を同時に考慮することが重要となるためである。さらには、示量変数として、結果としての取引量である出来高だけではなく、本源的な需給関係を示す注文数量を考慮したアルゴリズム・トレードが重要であることは論を俟たないであろう。しかしながら、注文情報に対する分析ははまだ十分になされていない。次節では、最近の注文情報を使った分析の事例を記す。

■ アルゴリズム・トレードが必須となる状況へ

アルゴリズム・トレードは、執行のプロセスをコンピュータ・プログラムとして記述するため、これまでトレーダが感覚として蓄積した経験をナレッジとして具現化することが可能となる。さらに、具現化されたプログラムを解析することによって、アルゴリズムとしての整理が進めば、資産運用や金融市場の運営・管理に役立つ技術として活用できる可能性がある。すなわち、アルゴリズム・トレードは、これまでの業務効率を向上させるためのシステム構築（高速処理への対応等）の一貫としてあるものでもなければ、自動的に収益を生んでくれる打ち出の小槌でもない。アルゴリズム・トレードとは、市場にかかわる関係者にとって、「業務ノウハウを知財化し、継承するための、確立すべき必須技術」なのである。

アルゴリズム・トレードを作るための技術

■ アルゴリズム・トレードのための分析

前章では分析の視点からアルゴリズム・トレードを分類できることを記した。それぞれのタイプをどのように活用するかは、市場参加者が決めることであり、その目的ごとに実際の分析手法は異なる。本章では執行と投資の違いを解説しながら、アルゴリズム・トレードがそれぞれの目的に対して、どのように機能すべきかを記述する。そして、アルゴリズム・トレード構築時に必ず言及されるシミュレーションについて、その有り様を記す。

執行のための分析

執行（トレーディング）と投資（インベストメント）は混同されがちだが、図-3に示す通り、明確な違いがある。

執行とは、日中の取引時間中において、取引数量が定められた株式を売買する行為であり、投資活動の最初と最後に、必ず実行される業務である。一般的に市場での売買においては、安く買い、高く売ることが望まれるが、執行においては、「定められた数量を売買すること」が優先事項となる。

したがって、執行のための分析とは、図-2の「日中価格空間内で上下の価格変動を鑑みながら、いかに執行数量分布を図るか」という問題に帰着することになる。

投資のための分析

投資とは、市場参加者の意志によって定めた期間

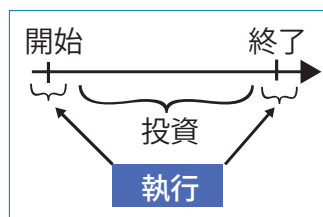


図-3 執行と投資の違い

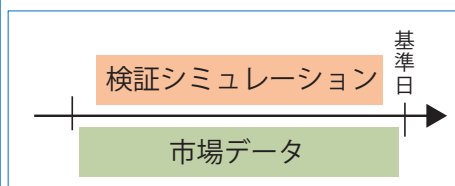


図-4 インサンプル・シミュレーション

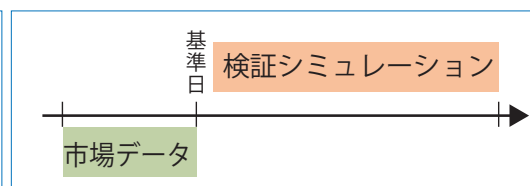


図-5 アウトオブサンプル・シミュレーション

内に、銘柄を選択することによって収益の獲得を目的とする行為である。一般に売買のタイミングを図る行為は、前項に記した執行（トレーディング）業務の範疇である。従来の投資理論では、資産選択の効率性を追求することに主眼が置かれ、保有期間中のボラティリティ（総資産金額の変化時系列の標準偏差）を鑑みた収益率（リスク調整後リターンと呼ぶ）の向上を、銘柄選択によって達成させることが目的となる。投資のためのアルゴリズム・トレードとは

- ① 変化している市場環境下で、その都度々々、最良と思われる銘柄を選択することであり、
- ② さらに、すでに選択された銘柄群（ポートフォリオと呼ぶ）を管理する上で、選択時に考慮された市場環境が当初の想定から逸脱していないかを確認する作業

を賄う処理ということになる。ここで重要なことは、期間の長さが執行業務か投資業務かの判断基準になっていない点である。たとえば、デイトレーダと呼ばれる“投資期間が極端に短い市場参加者”にとっても、銘柄選択に関する分析は投資分析であり、選択された銘柄の売買タイミングにかかわる分析は執行分析なのである。

アルゴリズム・トレードを作る際には、銘柄を選ぶための分析か、売買タイミングを図るための分析かを明確して基礎となる分析を実施し、それらを組み合わせるなどして積み上げるプロセスが必要となる^{☆1}。

シミュレーション

通常のアルゴリズムは、問題を解決するための有

限ステップとして定義される⁵⁾。金融におけるアルゴリズム・トレードのアルゴリズムは有限ステップで解決する問題ではなく、絶えず変化する市場環境下において設定された問題に対して、最良な解決策を提供し続けているかを確認する必要がある。その手段がシミュレーションである。

アルゴリズム・トレードを構築するためのシミュレーションには以下の2つのタイプが存在し、これらの概念図が図-4および図-5である。

① インサンプル・シミュレーション

② アウトオブサンプル・シミュレーション

これら2つのシミュレーションは、どちらか1つを使うのではなく、インサンプル・シミュレーションによってアルゴリズム・トレードの枠組みを作り、その有効性を確認するためにアウトオブサンプル・シミュレーションを実施するという順番に組み合わせて活用されるべきものである。

■ アルゴリズム・トレードが必要とする素材

ティックデータ

ティックデータとは、狭義の意味では“すべての約定データとしての取引価格と取引出来高”を指すが、広義には“約定データに注文データを合わせた全市場データ”を意味することがある。ティックデータはアルゴリズム・トレードを実施するための最低限の必要不可欠なデータである。

ティックデータの取得については、東証および大証と契約して市場データをフィードして自己のコンピュータに溜め込むか、情報ベンダと呼ばれる情報端末サービス提供者のダウンロードサービスを活用する方法がある。また、過去のティックデータについては、(株)日本経済新聞デジタルメディア、もしくは著者が所属する(株)シーエムディーラボが

☆1 銘柄選択を行う分析は投資にかかわる分析であるが、「投資すべき絶対金額を決定する分析は執行に関する分析」となることに注意を要する。この点の詳細については、紙面の制約からここでは言及しない。

有料にて提供している。

注文データ（板データ）

市場での売買を生業としている市場参加者は、売買の執行時に自分の執行したい数量が売買可能かどうかを必ず確認する。この観点からすればアルゴリズム・トレードの実施には、注文情報が必須と考えられるが、実際には、注文情報分析をベースとしたアルゴリズム・トレードはそれほど稼働していない。その背景には、データが膨大となり、それに対応するための大規模計算環境が未整備であるという事がある。しかしながら、今後は注文情報の分析に焦点が当たり、それらの成果を活かしたアルゴリズム・トレードが広まる可能性が高い。注文データについてもティックデータと同様に、取引所、情報ベンダ、過去データ販売業者を介して取得することが可能である。

東京証券取引所が始めた情報サービス

2011年12月、東証は注文情報を使った新しい情報サービス「東証 Market Impact View（以下、TMIV）」を開始した⁶⁾（図-6）。詳細についてはここでは割愛するが、筆者はこのサービス提供の構築にかかわった立場から、アルゴリズム・トレードとのかかわりについて言及する。

TMIVは、注文情報を7つの集計値に集約し、ユーザが執行したい株数に対して、価格がどのように変化するかを5秒ごとに、逐次配信する。この情報を活用すると、これまではすべての注文情報を取得して実施すべきだった前処理プロセスをする必要がなくなり、市場の変動特性に焦点を当てた注文分析型アルゴリズム・トレードの開発に注力することが可能となる。

■ アルゴリズム・トレードの事例

アルゴリズム・トレード（本節では以下、アルゴと記す）は実務的な活用技術であり、現在でも発展し続けている。本節の最後に、実際に稼働している代表的な執行系アルゴを取り上げる（ここに記したアルゴは、前節に記した分類では、日中変動を対象



図-6 東証 Market Impact View 画面

とした静的な分析に分類される)。

VWAP (volume weighted average price)

アルゴ

執行している当日の出来高加重平均値 (VWAP) で執行することを目標とするアルゴ。VWAP に対して、目標とする乖離幅を設定する (ただし、完全にその乖離幅を保証することはできない)。過去の出来高変動を参考情報にして作られることが多い。

POV (percentage of volume) アルゴ

執行している当日の出来高に対して、決められた割合を執行するアルゴ。参加率を設定する (ただし、参加率を完全に保証することはできない)。参加率の設定を過去の出来高データに対する分析、および、執行日の情報から判定する。

IS (implementation shortfall) アルゴ

決められた基準価格 (昨日の終値等) に対して、自分の注文量の影響を抑えるために小口に分割して注文するアルゴ。基準価格を設定する。過去の出来高データや最良気配株数データによって分割数量が算出される。

Peg アルゴ

変動する基準価格 (現値、気配値等) に対して、注文を小口に分けて執行するアルゴ。分割した小口注文が約定した後、次注文が発注される。一度に市場に晒す注文量や基準価格を設定する。過去の最良気配情報を元に晒す注文量を算出する。

その他のアルゴ

証券会社は独自にアルゴを開発している。特に、

自分の注文を晒さずに、注文集計表にあらかじめ想定している株数が出現したときに執行するアルゴが存在する（これらは各社によって呼び方が異なる）。これらのアルゴは、自分の注文情報を秘匿することに優位性があると想定しているが、その優位性を定量的に評価している事例はきわめて少ない。また、現在、稼働しているアルゴの中に、HFT（High Frequency Trade）と呼ばれる高速性売買に対応していることを性能として唱っているものがある。このアルゴは執行時の情報の不確かさ（たとえば、執行したいときの価格が変動してしまう可能性）を減じることに効果はあるが、高速性が収益に関係することを示す事例はない。

今後の金融市場に及ぼす影響について

金融市場が人間の認識力の限界を超えて変動する時代となった今日、状況を把握するための手段として、数理的な分析は必須のものとなりつつある。そして、その分析を具現化する手段としてアルゴリズム・トレードが広まることを止めることはほぼ不可能である。このような環境下において、アルゴリズム・トレードを人間が認識のできない市場変動を生み出す元凶として避けて通ることは目を閉じて道を進むに等しい。

アルゴリズム・トレードが、人間の認識を超えた領域で稼働することは事実であるが、その一方で、

アルゴリズムが決められたプロセスに基づくパターンでしか動かないこともまた事実である。すなわち、アルゴリズム・トレードが人間よりも遥かに合理的な行動パターン（作成者の意図に沿った動き）を示すことは確実であり、その点から、金融市場は以前よりも合理的な動きとして振る舞う可能性が高い。問題は、その合理性を人間が見出せるか、どうかにかかっている。

参考文献

- 1) Libet, B.: MIND TIME -The Temporal Factor in Consciousness, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts (2004).
- 2) 増川純一, 水野貴之, 村井浄信, 尹 熙元: 株価の経済物理学, 培風館, 東京 (2004).
- 3) Hull, H.: OPTIONS, FUTURES AND OTHER DERIVATIVES, Prentice-Hall (1997).
- 4) 小田信行: 金融リスクの計量分析, 朝倉書店, 東京 (2001).
- 5) Berlinski, D.: THE ADVENT OF THE ALGORITHM -The Idea That Rules the World, Harcourt, New York (2000).
- 6) <https://www.tse.marketimpactview.com/Top>

(2012年6月8日受付)

尹 熙元 | yoon@cmdlab.co.jp

1987年慶應義塾大学大学院修士課程修了。2002年工学博士。ソロモン・ブラザーズ証券会社を経て、2007年（株）シーエムディーラボを設立。経済物理学、金融工学における研究、および、研究知見の実務への展開を手掛ける。

松井 宏樹 | matsui@cmdlab.co.jp

2006年北陸先端科学技術大学院大学博士後期課程修了。博士（情報科学）。産業技術総合研究所勤務を経て、現在、（株）シーエムディーラボ研究員。人工知能、特に金融市場などを対象とした社会シミュレーションに興味がある。