



システムトレードによる 自動取引

応
般

中山 慎一郎

長山 昌平
トレード・サイエンス (株)

鳥海 不二夫
東京大学

序論

近年 IT の発展とともに、株式の自動売買に注目が集まっている。従来に比べ大量かつ豊富な情報が得られるようになり、また、自動売買のための計算もリアルタイムに行えるようになったことから、自動売買による取り引きが増加している。株式自動売買は大きく2つに分けることができ、1つは取り引きを行う際のマーケットインパクトの軽減などを目指したアルゴリズムトレード、もう1つは売買銘柄の決定を含めた投資判断を行うシステムトレードである。本稿ではシステムトレードの利点(図-1 参照)を説明し、実際に利用されている技術と実用上のリスクについて述べる。

システムトレードの利点

■ 大量情報の常時監視による投資機会の増大

人間が一度に監視できる金融商品の数には限界があり、仮に売買チャンスが到来しても即座に売買判断を行うことは困難である。また、外国為替取引のように24時間マーケットが開いているような場合にも、

人間が常に監視を続けることは容易ではない。一方、システムトレードではコンピュータプログラムが常に大量の情報を瞬時に処理し、投資機会を逃さないという利点がある。

■ 性能検証

システムトレードでは、後述する「バックテスト」という過去データを用いたシミュレーションにより、ある投資戦略が過去どの程度の収益を達成できていたのかを分析することができる。そこで得られたリターンの平均値や勝率といった数値を比較しながら投資戦略に微調整を加えていくことも可能である。バックテストを行うと何百万件にも上る膨大なデータを処理することになるが、コンピュータの使用により短時間で結果を出すことができる。近年、金融商品の多様化と取り引きの高頻度化が進んでいるため、この利点は今後ますます大きいものとなっていくことが期待される。

■ 感情に左右されない冷静な売買判断

作成したプログラムを使用することでどの程度の収益や損失が見込まれているのかを客観的な数値として把握することができる。あらかじめ損失可能性などを知っておくことで、急なマーケット変動にもパニックにならずに落ち着いて対処することが可能である。

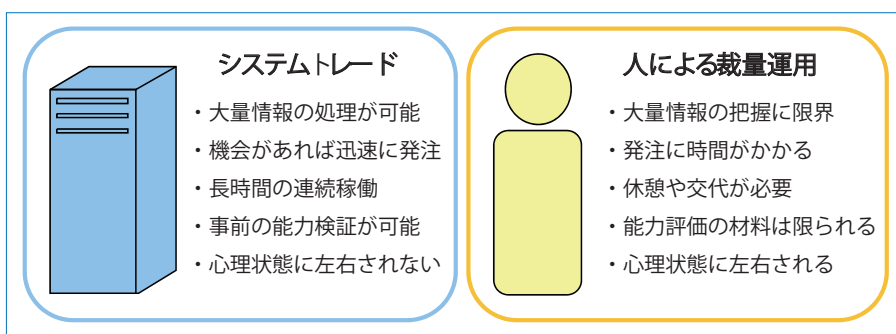


図-1 システムトレードの強み



システムトレードの基本技術

システムトレードを行うには、投資戦略をプログラムやデータで表現し、コンピュータで実行できるようにする必要がある。投資戦略とは、次のような売買判断の決定ルールである。

- 売買する金融商品の種類、銘柄
- 売買タイミング
- 売買の種類（売りか、買いか）
- 売買数量
- 注文方法の種類（成行、指値等）

このような投資戦略をプログラムやデータで表現したものを本稿では自動売買システムと呼ぶことにする。

自動売買システムは通常、一定間隔で実行される。実行間隔には日次、1時間ごと、1分ごと、1秒ごとなどがあり得る。実行の都度、その時点で利用可能な相場データに基づいて投資判断が行われ、どのような注文をすべきか、あるいは注文をすべきでないのかが決定される。

■ 開発から実運用までの流れ

自動売買システムの開発から実運用が開始されるまでの流れは、一般的には次のようになる。

1. 投資戦略の決定
2. 自動売買システムの構築
3. シミュレーションによる評価
4. 実運用の開始

■ 投資戦略の決定

投資家の既存の投資戦略

長年、投資を続けている投資家は、投資手法の自らのスタイルを確立していることが多い。これらのスタイルのうち、内容が明確で将来にわたって利用可能性が期待できるものであれば、システムトレードの投資戦略として利用することができる。筆者らが運営にかかわったシステムトレードの大会である「カプロボ・コンテスト¹⁾」では、全参加者のうち66%が投資経験者である（図-2参照）ことから、

多くの実務家が自らの投資戦略を実装しコンテストに参加していると推測される。

金融分野の既存の理論・実証研究

システムトレードによる投資戦略には、既存の金融理論も利用される。ポートフォリオ理論とCAPM（Capital Asset Pricing Model）である。

ポートフォリオ理論では、複数の金融商品を組み合わせ合わせて投資した際のリスクとリターンを確率的に分析する。許容できるリスク量に対して、リターンが最大となるような各金融商品への資金配分を求め目的等で利用される。

CAPMは、リスクを多数の資産への分散投資によって削減できる分散可能リスクと分散可能でない市場全体の変動のリスク（システムティックリスク）に分解することができ、システムティックリスクには相応のリターン（リスクプレミアム）が伴うとする理論である。

さらに、CAPMで説明しきれないリターンが存在するかどうかについては多くの研究がなされており、さまざまな現象が指摘されている。たとえば、流動性効果、バリュー効果、小型株効果、リターンリバーサル効果、低ボラティリティ効果等がある。これらが、リスクを伴うリスクプレミアムと解釈するか、情報収集や情報分析によって得られる超過収益であると解釈するかは、さまざまな理論研究による説明が試みられている。文献2)は主要な理論研究を整理している。市場には収益獲得の多様な機会が存在するとすれば、投資対象とする収益機会の選択、組合せや資金配分の決定、時期・状況に応じた乗り換え方法等が、さまざまな方法が有り得るため、自動売買システムを構築する際の工夫のしどころとなる。

データマイニング

過去の相場データ（価格推移、企業業績情報、経済指標等）等をコンピュータによる統計分析、最適化計算、探索的なルール発見等によって、有用な投資戦略を構築する試みも多い。網羅的に調査することができるため、投資家や研究者がこれまでに気がついていなかった相場変動の規則性を見出せる可能

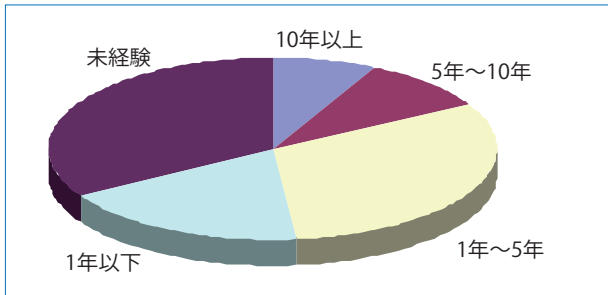


図-2 カプロボ・コンテスト参加者の投資経験年数別割合 (参加登録時アンケート, 2012年5月1日時点, N=7,934)

性がある。文献3)は、情報量が膨大な板情報(市場に集まる注文の集計情報)を分析することで、価格変動の特徴を明らかにしている。

■ 自動売買システムの構築

投資戦略が決定されると、次にそれを実行するための自動売買システムを構築する必要がある。一般的に、自動売買システムは図-3のように、データ抽出・取得、指標計算、売買判断処理、発注、取引結果の取得の各機能から構成される。各機能は、並行的に処理されるか、逐次的に繰り返し実行される。

実装に際しては、一般的なプログラミング言語が用いられる場合もあるが、必要な機能がひと通り用意されている既成ソフトウェアもあり、EasyLanguage という簡易プログラミング言語を持った TradeStation など、自動売買に特化して設計されたツールが数多く存在する。

■ シミュレーションによる評価

自動売買システムの実運用を行う前には、シミュレーションによる性能評価が行われる。その結果から、十分な投資成果が期待できるか検討する。

シミュレーション運用では、実際の売買は行わず、自動売買システムのとおり売買を実行していた場合仮想の運用成果を得る。相場データも仮想である場合もあるが、多くの場合で現実の相場データを用いる。シミュレーションの実行の進め方、使用するデータの時期によって、バックテスト、フォワードテスト等がある。

バックテスト

開発時より過去の相場データを使うシミュレーション

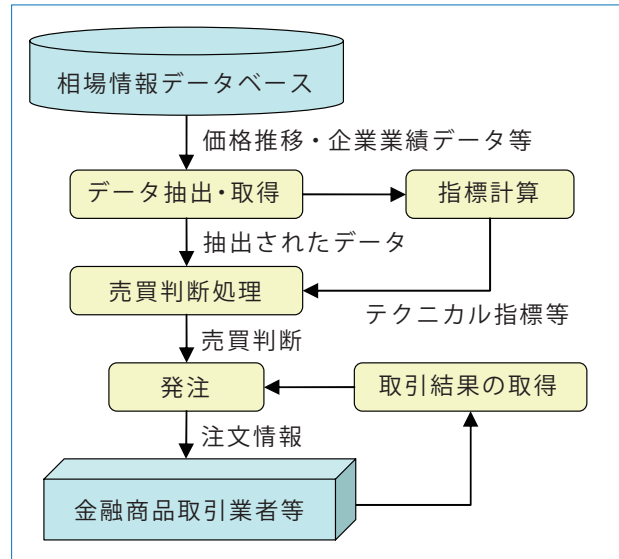


図-3 自動売買システムの構成

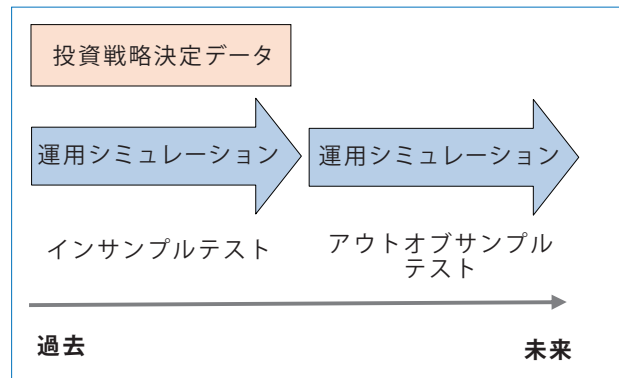


図-4 シミュレーション運用による評価方法の種類

ン運用がバックテストである。バックテストは図-4に示すように、投資戦略決定に使用するデータの期間内でシミュレーション運用するインサンプルテストと、投資戦略決定に使用しない期間でシミュレーション運用をするアウトオブサンプルテストに区別される。

「投資戦略決定に使用したデータ」とは、相場状況から投資アイデアを得るために利用したデータや、売買条件式の決定やパラメータの調整・最適化等に利用したデータという意味である。

インサンプルテストによって投資戦略が正しくシステムに実装できているかを確認できる一方で、相場の性質に関する知見を売買システムに盛り込むため、実際に運用する未来の相場と、投資戦略の決定に利用した期間とで相場の性質が異なっている場合、期待通りの性能が得られないこともある。そこで、

投資戦略を決定した期間とは異なる期間のデータを用いたアウトオブサンプルテストを行って、投資戦略がある特定の期間でのみ有用なものではないことを確認する必要がある。

フォワードテスト

開発時より後の相場データを用いるのがフォワードテストである。開発とシミュレーションのデータが分離されているため、フォワードテストもアウトオブサンプルテストの一種である。

一般的には、あたかも実運用をしているかのように日々シミュレーション運用を行いその性能を確認することが多い。開発者は、日々相場を観察しながら、売買システムの挙動を確認することができるため、大量のトレードを一気に観察するバックテストとは異なる細かな課題の発見に役立つことがある。

■ 実運用の開始

シミュレーション等による評価を経て、運用目的に十分に合致していると判断されれば、実際の売買を伴う実運用が行われる。実運用を開始しても、成績は期待どおりであるかどうか、市場特性に重大な変化が生じていないかについて、常に確認を行う。何か異変が見つければ、自動売買システムの改良や停止が検討される。

売買判断の方法

自動売買システムの売買判断の決定ルールは、スクリーニング、テクニカル分析、ファンダメンタル分析等の手法の組合せで行われる。それらのための効果的なパラメータを発見するために多変量解析モデルや遺伝的アルゴリズムが用いられることがある。以降、それらを解説する。

■ スクリーニング

何らかの条件によって、投資判断対象の銘柄を絞り込むプロセスがスクリーニング（またはフィルタリング）である。たとえば、取引量が極端に少ない銘柄や、株価が極端に低い銘柄は値動きが大きく、シミュレーション通りに取り引きできない可能性が

大きいため、自動売買システムの投資判断対象からは除外する、などの絞り込みが行われる。

なお、後述するテクニカル分析、ファンダメンタル分析を銘柄の絞り込みに用いる場合も、スクリーニングとすることがある。

■ テクニカル分析

過去の値動きとその後の値動きの何らかの関係を見出し、過去の値動きによって投資判断を行うのがテクニカル分析である。

図-5は、「5日間の価格変化率が-22%以下ならば買う」という簡単な自動売買戦略の例である。この条件を満たしたら買い、7日後に売却するという投資戦略を1997年から2011年末まで、東京証券取引所一部の主要500銘柄について運用シミュレーションを行った結果が図-6である。非常に単純な戦略ではあるが、この期間で資産を約3倍に増やす好成績となっている。

実用上はさまざまなテクニカル指標が提案され、投資判断に利用されている。代表的なものとして、判断時点以前の価格の上下変動を捉える指標として移動平均線、Relative Strength Index等、価格変動の激しさを捉える指標としてHistorical Volatility、Average True Range等がよく利用される。

資産の理論価格モデルでは、過去の情報（価格変動等）によらず将来のリターン期待値は一定であるマルチンゲール確率過程が仮定されることも多い。しかし、実際の株価等を分析した実証研究では、過去の価格変動によってその後のリターン期待値に変化が見られるリターンリバーサル効果、モメンタム効果が指摘されている。また、何らかの事情で価格変動が激しくなった後は、しばらく大きな価格変動が続くボラティリティ・クラスタリング現象も見られる。そのような、価格変動に関する特性を投資戦略に取り入れることがテクニカル分析の主な目的である。

■ ファンダメンタル分析

価格以外の要素も含めて分析を行う手法がファン

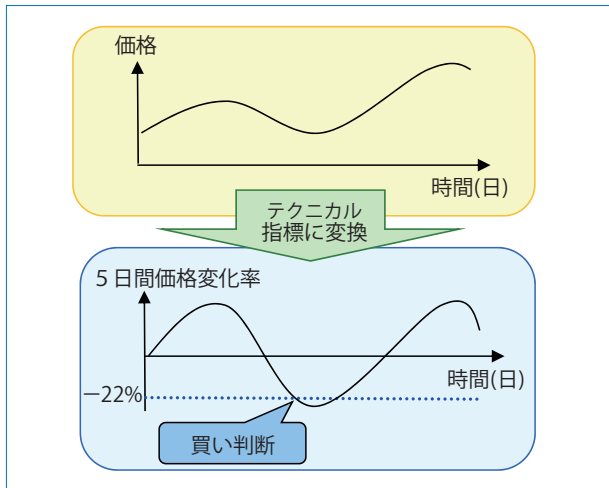


図-5 テクニカル分析による売買判断例

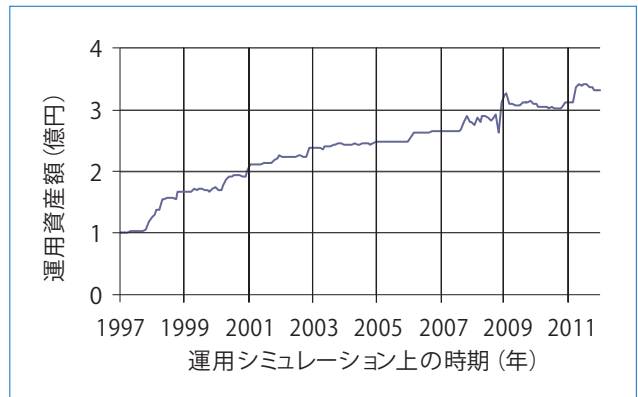


図-6 運用シミュレーション結果（東証一部の主要 500 銘柄，5 日価格変化率 -22% 以下で買い，7 日後に売却，開始時運用資産 1 億円，1 銘柄の買付代金は資産の 10% まで）

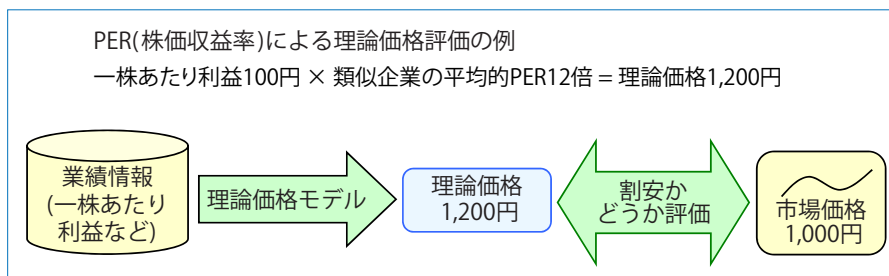


図-7 ファンダメンタル分析による売買判断例

ダメンタル分析である。経済状況，需給状況，業績や財務状況等が分析対象となる。単純な例としては，1株あたりの利益に対する株価の倍率である株価収益率（PER）を用いる方法がある。類似企業等の平均的な PER と比較して，割安（割高）であれば，それが修正される場面でリターンを上げることが狙って売買を行うのが典型的な利用例である（図-7）。

■ アノマリー戦略

銘柄によっては，毎年あるいは毎月特定の時期，曜日等によって，普段とは異なるリターンが実現しやすい傾向が見いだせることがある。税金対策，ファンド等の保有銘柄の公表タイミングを意識した意図的な入れ替え，休日前のリスク回避行動等などが原因として考えられる。そのような特性を利用するのがアノマリー戦略である。

■ 組合せモデル

これまでに述べたように，売買判断には多様な分析方法があり得る。それらの中から運用目的に合致

する方法の選択や，組合せの決定には，次のような方法が用いられる。

- ポートフォリオ理論による解法
- バックテストによる探索的発見
- 多変量解析（重回帰分析等）
- ニューラルネットワーク
- 遺伝的アルゴリズム

文献4) では，ポートフォリオ理論による解法とバックテストによる探索的発見の差異について考察している。

システムトレードのリスク

システムトレード固有のリスクのうち，代表的なものを取り上げて具体例を交えながら解説する。

■ カーブフィッティング

カーブフィッティングは，システムトレードが検証に用いる過去データに対して過剰な最適化を行うことである。たとえば，金融商品の過去の価格変動を説明するために変数を増やすと，価格変動への説明能力は向上するが，将来のデータに関して非常に

脆弱となる。極端な例ではあるが、ある期間においてアメリカのダウ平均株価の変動の75%を説明する変数がバングラデシュの年間バター生産量だった、という結果も報告されている^{☆1}。このような見せかけの相関が将来も継続すると考えにくい。システムトレードの開発者はモデル改良の際に無意識のうちにカーブフィッティングを行っている可能性があるため、常にこの問題に対して注意を払う必要がある。

■ マーケット環境の変化

モデルが前提としていた環境の変化もシステムトレードのリスクの1つである。システムトレード開発者は過去のデータを基にしてモデルを作り上げるが、ここには暗黙に今後も過去と同じ環境が継続するとの前提がある。しかしながら、たとえば何らかの要因によりマーケットの流動性が急激に低下してしまうような場合には、これまで豊富な流動性の上で動いていたモデルが作動しなくなる。環境の変化による問題は、ある程度の期間が経過しないと顕在化してこないため、モデルの機能低下が一時的なものなのかどうかを判断するには注意を要する。

■ 投資戦略の集中化

ある投資戦略の成績が良好な時期が長く続くと、その投資戦略が人気となり、皆が似通った投資戦略を行うため、特定の銘柄に投資資金が集中することが起こり得る。たとえば、過去の検証期間を通してPERの低い銘柄のリターンが高いと、どのようにモデルを開発しても少なからずPERの要素が組み込まれるということが起こり得る。もし急激にPERの効き目が低下した場合には、連鎖的にすべてのモデルが影響を受けることになる。

☆1 <http://online.wsj.com/article/SB124967937642715417.html>

結論

本稿ではシステムトレードの概要について簡単に紹介をした。システムトレードは、マーケットで観察されるさまざまな戦略をプログラム上で実装した売買手法ものである。これまで紹介してきたように、システムトレードはコンピュータの持つ強みを最大限活かし、人間だけでは限界のある投資機会を拡大する可能性を秘めている。

すでに確立した独自の投資手法を持っている投資家はもちろんのこと、これから新たに始めようとする投資家にとっても、新しい投資機会を与えてくれる可能性は非常に大きいと言えよう。今後、情報処理能力が向上するにつれ、システムトレードの存在感が増してくることが期待される。

参考文献

- 1) 早稲田大学ファイナンス研究科宇野研究室, 宇野 淳: 価格はなぜ動くのか 金融マーケットの謎を解き明かす, 日経BP社 (2008).
- 2) 竹原 均: フィナンシャル・テクノロジーの過去・現在・未来 三菱UFJトラスト投資工学研究所創立20周年記念論文集「コントラリアン戦略, 流動性リスクと期待リターン: 市場効率性の再検証」, 三菱UFJトラスト投資工学研究所, pp.407-430 (2008).
- 3) 鳥海不二夫, 西岡寛兼, 梅岡利光, 石井健一郎: 板情報による市場相違性の検出, 人工知能学会論文誌, Vol.27, No.3, pp.143-150 (2012).
- 4) 大矢倫靖, 中山慎一郎, 鳥海不二夫: 株式取引エージェントの実用化に向けて, 人工知能学会誌, Vol.24, No.3, pp.385-391 (2009).

(2012年6月1日受付)

中山 慎一郎 | nkym7911@gmail.com

システムトレードに関するコンサルティングを行うソフトウェアエンジニア。(社)日本証券アナリスト協会検定会員, NPO法人日本テクニカルアナリスト協会認定テクニカルアナリスト。

長山 昌平 | nagayama@trade-sc.jp

2011年東京大学大学院経済学研究科金融システム専攻修士課程修了。現在トレード・サイエンス(株)において日本株式の定量分析やトレーディングアルゴリズムの研究に従事。

鳥海 不二夫 | tori@sys.t.u-tokyo.ac.jp

2004年, 東京工業大学大学院理工学研究科機械制御システム工学専攻博士課程修了。現在, 東京大学大学院工学研究科准教授。エージェントベースシミュレーション, 人工市場などの研究に従事。電子情報通信学会, 人工知能学会各会員。博士(工学)。