

三体トレーディングモデルを拡張した 日本株式市場の日中変動シミュレーション

Intraday Simulation in Japanese Stock Market by using Improved Three-body Trading Model

見並良治^{1,2} 尹熙元¹

Ryoji Minami^{1,2} and Hiwon Yoon¹

¹ 株式会社シーエムディーラボ
¹ CMD Laboratory Inc.

² 東京大学大学院情報理工学系研究科

² Graduate School of Information Science and Technology, University of Tokyo

Abstract: We present an advanced three-body model in markets for numerical simulation of Japanese stock market. The original three-body model was introduced by Yoon in 2001. It is an artificial market model to simulate intraday price fluctuation, and the model is composed of three different types of agents; daytraders, market-makers, and investors. They have different time spans in terms of investment return from each other, and the complex nature of the price fluctuation is explained as resulting from their cross-interaction. In our advanced model, we add the investor agents a new function to observe VWAP for benchmark price, and it makes the price fluctuation very familiar to the real one in the Japanese stock market.

1. はじめに

近年コンピュータ技術の発展を背景に、エージェントシミュレーションと呼ばれる手法が注目されている。とりわけ金融市場分析の分野においてもエージェントシミュレーションの技術が応用され、エージェントによる人工市場の研究が着目され始めている。

人工市場とは、局所ルールに基づいて行動するエージェントが集合して市場を形成し、その集合体として形成された市場がどのような振る舞いを示すのかという視点に寄って市場構造を解析する研究分野である。

尹ら[1]は市場構造の分析をさらに発展させることによって3体トレーディングモデルを構築した。このモデルは、市場の参加者を時間感覚の違いに寄って3種類に分類し、3者の相互作用によって価格を形成するものである。

本論文では、提案されていた3体トレーディングモデルを拡張し、VWAPを指標とするエージェントが存在するときの価格変動シミュレーションがより市場の日中変動を適切に記述することを明らかにす

る。

2. 3体トレーディングモデル

尹らによって提案された3体トレーディングモデルは、市場参加者全体を売買や収益に対する時間感覚の違いによって3種に分類し、一見ランダムにみえる複雑な価格変動のダイナミズムを、決定論的な観点から説明しようと試みるものであった。

具体的には、まず始めに事前のモデル設計として

① 時間間隔の違いから生じる売買行動特性の分類

を決定する。その上で、市場における日中価格変動のダイナミクスを記述するため、単位時間ごとの価格形成のメカニズムを次のような3ステップのアルゴリズムで記述する。

② 市場環境を示す変数から各売買主体の売買意欲を決定

③ 買い手と売り手全体の売買意欲を集計し、取引を行う一対を選定

④ 価格の決定および売買取引の執行

このような単位時間における一連の過程を一定回数にわたって駆動することにより、日中の価格変動曲

線を描き、実際の株式市場における価格変動曲線を再現する。

3. 各主体の時間感覚と行動特性

3体トレーディングモデルでは、売買主体を時間感覚ごとに次の3主体に分類する。時間感覚がより短期的な者から長期的な者へ順に①デイトレーダー、②マーケットメーカー、③投資家と分類されている。また3主体に分類するとはいっても、具体的なシミュレーションにおけるエージェントの数は6つとする。これは、3主体それぞれについて買付と売却に分割するためである。特にデイトレーダーにおいては、買付のデイトレーダーは上昇トレンドの際に買いから入り、適切な価格に到達したら売却する。逆に売却のデイトレーダーは下落トレンドの際に売りから入り、同様に適切な価格に到達したら買い戻す。他の2主体については、買いと売りが完全に分離しており、それぞれが片側しか行わない。従って実際に買い注文を出すのは買付のデイトレーダー、売却のデイトレーダー、買付のマーケットメーカー、買付の投資家の4者であり、売り注文を出すのも同様に両側のデイトレーダーと売却の2体の4者であることに注意する。

ここで個々の主体の売買行動特性について紹介していく。

◆ デイトレーダー

- 3主体のなかで最も短期的な時間感覚をもち、一日の中で売買を繰り返して数分間内の価格差を狙って取引を行う。
- 日中の売買行動は、短期的な価格変動の方向に対してトレンドフォローイングである。
- 一旦売買を行ってポジションを決定すると、事前に決定した利益確定水準または損切り水準に価格達した瞬間に、ポジションを解消するための取引を行う。また、ポジションについては当日内にならず精算する。

◆ マーケットメーカー

- 3主体のなかでは中期的な時間感覚をもち、数日間の持ち高の持ち越しによって収益を狙う。
- 日中の売買行動は前日の引け値が当日の基準値になり、その基準値からの乖離度合いをみて取引を行う。

◆ 投資家

- 3主体のなかで最も長期的な時間感覚をもち、数ヶ月から数年という視点で

売買行動をとる。

- 日中の売買行動は、予定売買数量を事前に設定し、一方的な買いまたは売りを時間分散して執行する。売買執行に際しては事前に設定したスケジュール通りに周期的な取引が出来ることを優先する。他のエージェントとの相反的事象により執行がスケジュールよりも遅れる事態になった場合には売買意欲が強くなる。

投資家の売買行動特性において、本論文ではVWAPを基準とした行動を新たに提案した。

4. 各主体の売買意欲の決定

3章で紹介したとおり、それぞれの3種の売買主体について買付と売却のエージェントが存在する。各エージェントは単位時間あたりに一度、買いまたは売りの注文を出し、市場では全ての注文が集計されて買い手と売り手の組み合わせが決定し、価格が形成される。価格決定メカニズムの詳細については次の章にて解説するが、市場においては常に約定価格の他に売りと買いの最良気配値（取引されていない注文のなかで最も有利な価格）が存在する。エージェントはそれぞれ、各時刻における最良気配値を見て注文を出す。様々な市場環境のなかで各エージェントは以下に示すように注文を出す。

◆ デイトレーダー

- 買付のデイトレーダー
 - i. ポジションを保有していないときは、上昇トレンドが続いているときに買い注文を出す
 - ii. ポジションを保有しているとき、予め期待している利ざやが確保できる時点で売り注文を入れる。また、保有ポジションが予め想定していた損切り水準に達した際には、売り注文を出す。
- 売却のデイトレーダー
 - i. ポジションを保有していないときは、下落トレンドが続いているときに売り注文を出す。
 - ii. ポジションを保有しているとき、予め期待している利ざやが確保出来る時点で買い注文を入れる。また、保有ポジションが予め想定していた損切り水準に達した際には、買い注文を出す。

◆ マーケットメーカー

- 買付のマーケットメーカー
価格が前日引け値に対して予め想定していた水準以上安ければ、買い注文を出す。
- 売却のマーケットメーカー
価格が前日引け値に対して予め想定していた水準以上高ければ、売り注文を出す。

◆ 投資家

- 買付の投資家
予定した売買スケジュール通りの売買が実行されないときには、価格が VWAP よりもある基準以上安ければ買い注文を出す。ただし、スケジュールからの遅れが大きくなってきた場合、価格水準にかかわらず買い注文を出す。
- 売却の投資家
予定した売買スケジュール通りの売買が実行されないときには、価格が VWAP よりもある基準以上高ければ売り注文を出す。ただし、スケジュールからの遅れが大きくなってきた場合、価格水準にかかわらず売り注文を出す。

5. 価格形成メカニズム

市場では単位時間ごと取引をおこなうため、時間毎に買い手と売り手を一組選抜し、一定のアルゴリズムに基づいて売買の執行を行う。ここでは、買い手および売り手の選抜の方法、そして選ばれた売り注文と買い注文から如何にして価格と次の時刻の最良気配値を形成するかを紹介する。

買い手および売り手の選抜の方法は、2段階に分かれている。具体的には注文強度による選抜、続いて時間感覚による選抜、となっている。

まずはじめに、最も強い注文の集合を選抜する。続いて第一の選抜によって取引者を一意に特定できなかった場合、エージェント間に次のような優先順位をつける。

買い手：

- i. 売りデイトレーダー
- ii. 買いデイトレーダー
- iii. 買いマーケットメーカー
- iv. 買い投資家

売り手：

- i. 買いデイトレーダー
- ii. 売りデイトレーダー
- iii. 売りマーケットメーカー
- iv. 売り投資家

上記のように売り手と買い手のそれぞれから一人ずつ売買取引を行う代表が選抜される。このような順序に設定したのは、時間感覚が短いほどその瞬間に

約定する意欲が強いと考えられ、またデイトレーダー間の順序は、ポジションを取るときより閉じるときの方が約定に対する意欲がより強いと想定されるためである。

選抜された買い注文と売り注文のバランスから、約定価格および次の気配値を決定する。買い注文および売り注文にはそれぞれ次の3種類が存在するため、約定パターンとして $3 \times 3 = 9$ 通りの価格形成が存在する。これら9種類の約定パターンを次に示す。図で表すと、図1のようになる。

◆ 約定パターン

- 買い意欲：弱い
売り意欲：弱い
 - 約定なし
 - 買い気配：変化なし
 - 売り気配：変化なし
- 買い意欲：弱い
売り意欲：通常
 - 約定：買い最良気配値
 - 買い気配：変化なし
 - 売り気配：変化なし
- 買い意欲：弱い
売り意欲：強い
 - 約定：買い最良気配値-1
 - 買い気配：下落
 - 売り気配：変化なし
- 買い意欲：通常
売り意欲：弱い
 - 約定：売り最良気配値
 - 買い気配：変化なし
 - 売り気配：変化なし
- 買い意欲：通常
売り意欲：通常
 - 約定：直前の約定価格
 - 買い気配：
 - 買い気配での約定なら変化なし、売り気配での約定なら売り最良気配-1
 - 売り気配：
 - 買い気配での約定なら買い最良気配+1、売り気配での約定なら変化なし
- 買い意欲：通常

- 売り意欲：強い
 - 約定：買い最良気配値-1
 - 買い気配：下落
 - 売り気配：変化なし
- 買い意欲：強い
 - 売り意欲：弱い
 - 約定：売り最良気配値+1
 - 買い気配：変化なし
 - 売り気配：上昇
- 買い意欲：強い
 - 売り意欲：通常
 - 約定：売り最良気配値+1
 - 買い気配：変化なし
 - 売り気配：上昇
- 買い意欲：強い
 - 売り意欲：強い
 - 約定：直前の約定価格
 - 買い気配：
 - 買い気配での約定なら変化なし，売り気配での約定なら売り最良気配-1
 - 売り気配：
 - 買い気配での約定なら買い最良気配+1，売り気配での約定なら変化なし

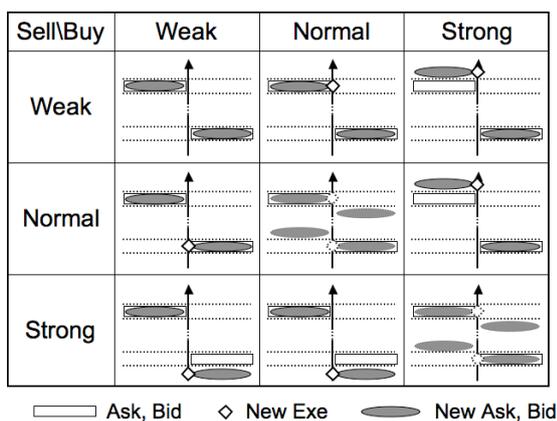


図1 価格形成メカニズム

5. シミュレーション結果

以上のような設定でシミュレーションを実行した。気配値および約定価格の日中変動シミュレーションの実例を図2に示す。

ここでは、前日引け値を1535円、当日寄り付きを1563円とした。

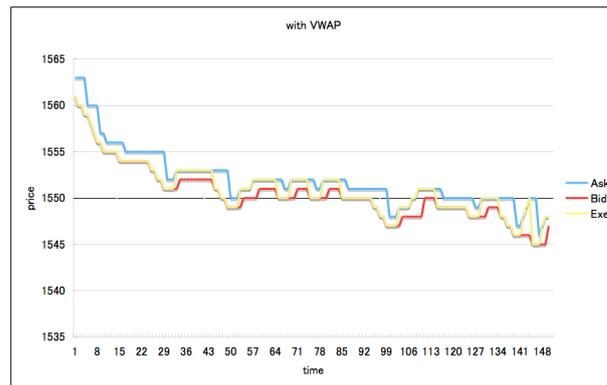


図2 VWAPを考慮したシミュレーションによる価格曲線

また本研究における独自性である、VWAPの考慮の優位性を示すため、全く同じ条件のもとで投資家のVWAPによる影響をなくした日中変動シミュレーションを行った。その結果を図3に示す。

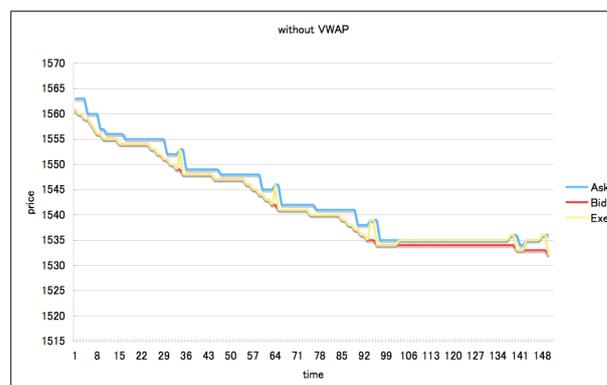


図3 VWAPを考慮しないシミュレーションによる価格曲線

6. 考察

日中価格変動のダイナミクスを生み出しているのは、個々のエージェントの特性の組み合わせである。それぞれの売買主体が価格変動そのものに与える影響は次のようである。

- デイトレーダーは、トレンドの持続を後押しする役割を果たす。
- マーケットメーカーは、価格が前日引け値への収斂するように振る舞う。
- 投資家は、まず日中にわたって定期的取引を行うため、価格変動に一定のリズムを生み出す。さらに当日日中の売買平均を水準に売買を行うため、価格の平均回帰性を促す役割を担っている。

また、投資家にVWAPを考慮させた場合とそうで

ない場合についての実験をおこない、図2と図3に示したが、前日引け値がと終値を比較してみると、VWAPを考慮しない場合、価格が前日引け値に対してほぼ一方的にむかっていることがわかる。これは、上に挙げた3主体の価格変動への影響をよく考えれば自然である。なぜならば、VWAPの考慮がない場合、デイトレーダーと投資家においては、基本的に目標価格が存在せず、大局的にはマーケットメーカーの目標価格である前日引け値への収斂に引っ張られていくからである。

このような観点からすると、ミクロな揺らぎではなく大局的にも揺らぎを与えて現実の株価の変動に近づけるためには、異なる目標価格をもったエージェントを混在させることが必要であることがわかる。本論文では、現実の市場に置いて多くの市場参加者が基準としているVWAPを計測させることによって、図2のように前日引け値への一方的な収斂を防ぎ、新たな均衡および揺らぎを生み出すことを示した。

7. おわりに

本論文では、尹らが提案した3体トレーディングモデルの3主体のうち、最も長期的な時間感覚をもつ投資家にVWAPを指標とさせる機能を付与した。この新しい機能によって価格変動が寄り付き以降一方的に引け値に収斂していく現象を緩和させ、価格変動に多様性を与えた。

今後の課題としては、現実の価格時系列が得られたときに、その状態を示すパラメータの集合を決定する手法の模索、およびその後の価格変動の予測が考えられる。またモデルの拡張として、出来高の考慮、さらには板（売買注文集計表）のメカニズムを組み込んだモデルの構築が望まれる。

参考文献

- [1] 尹熙元, 斉藤英雄, 棚橋隆彦: 金融市場における日中変動シミュレーション, 日本計算工学会論文集, Vol. 7, No. 1, pp. 283-286, (2001)