



日本取引所グループ  
JAPAN EXCHANGE GROUP

# JPX WORKING PAPER

JPXワーキング・ペーパー

---

保有資産を考慮したマーケットメイク戦略が  
市場間競争に与える影響:人工市場アプローチによる分析

草田 裕紀  
水田 孝信  
早川 聡  
和泉 潔

2015年3月31日

Vol. 08

#### 備考

JPX ワーキング・ペーパーは、株式会社日本取引所グループ及びその子会社・関連会社（以下「日本取引所グループ等」という。）の役職員並びに外部研究者による調査・研究の成果を取りまとめたものであり、学会、研究機関、市場関係者他、関連する方々から幅広くコメントを頂戴することを意図しております。なお、掲載されているペーパーの内容や意見は筆者ら個人に属し、日本取引所グループ等及び筆者らが所属する組織の公式見解を示すものではありません。

# 保有資産を考慮したマーケットメイク戦略が 市場間競争に与える影響:人工市場アプローチによる分析\*

草田 裕紀<sup>†</sup>, 水田 孝信<sup>‡</sup>, 早川 聡<sup>§</sup>, 和泉 潔<sup>¶</sup>

2015年3月31日

## 概要

本研究では、人工市場アプローチを用いて自身のポジションを考慮して高頻度取引を行うマーケットメイカーが株式市場の出来高に与える影響の分析を行った。まず、2つの取引市場間の出来高シェアとティック・サイズの大きさに着目して、ポジションを考慮して取引を行うマーケットメイカーが市場間の出来高シェア競争に与える影響を分析した。その結果、一方の取引市場において、マーケットメイカーのビッド・オファー・スプレッドは他方の取引市場のビッド・オファー・スプレッドの平均値以上の値でも、2つの取引市場間の出来高シェアの変化に影響を与えることを明らかにした。その際の適切なマーケットメイカーのスプレッドについても議論した。また、取引市場のティック・サイズの大きさとマーケットメイカーが市場間競争に与える影響の関係性について分析した。この分析は、取引所が導入すべきマーケットメイカーに関する制度を議論する際に有意義なものであると考えられる。

---

\* 本稿に示されている内容は、筆者ら個人に属し、株式会社日本取引所グループ及びその子会社・関連会社及び著者らが所属する組織の公式見解を示すものではありません。また、ありうべき誤りは、すべて筆者個人に属します。連絡先：草田 裕紀 (yuki.kusada2@gmail.com)

<sup>†</sup> 東京大学大学院工学系研究科

<sup>‡</sup> スパークス・アセット・マネジメント株式会社

<sup>§</sup> 株式会社大阪取引所 IT 推進室

<sup>¶</sup> 独立行政法人科学技術振興機構 CREST

# 1 序論

## 1.1 本研究の背景

近年、金融商品取引における電子化の普及やグローバル化の進展を背景として、米国や欧州を中心に取引市場間で出来高シェアの競争が激しさを増している<sup>\*1</sup>。またニューヨーク証券取引所やロンドン証券取引所に代表される伝統的な証券取引所に加えて、情報通信技術を駆使し取引コストを抑えた代替執行市場が登場し、同一銘柄の株式が複数の取引市場において取引されるという市場分断化が起きており、その是非が活発に議論されている。日本でも、PTS (Proprietary Trading System) と呼ばれる私設取引システムの出現など、取引市場間の競争が始まっている<sup>\*2</sup>。

取引市場間での出来高シェアを決める要因は多岐に渡る。取引制度として、ティックサイズ（呼値の刻み、注文価格の最小単位）の細かさ、取引時間、決済の方法、取り扱う注文の多様性、売りと買いに同時に高頻度で注文するマーケットメイカーを導入する制度などがあり、取引システムとしては、高速性<sup>\*3</sup>、システムの安定性など様々な要因があると言われている<sup>\*4</sup>。実際に日本取引所グループでは流動性を確保する観点から、マーケットメイカー制度が導入されている。また東京証券取引所においてTOPIX100 構成銘柄のティックサイズが2014年1月14日と7月22日に2回に分けて縮小されている。このような取引市場間競争に影響を与える要因を分析することは、流動性（投資家が売買を容易にできる量）を増やすにはどのようにすればよいかという観点でも重要である。一方マーケットメイカーについて実証分析を行った研究として [Hagströmer and Nordén (2013); Darley and Outkin (2007)] があるが、どのようなマーケットメイカーが出来高シェアを奪うことが出来るのか、実証研究だけで分析を行うのは困難が伴う。というのも、試したことがないマーケットメイカーの提示スプレッド（買い注文価格と売り注文価格の差を取引価格で割ったもの）や過去にない大きさのティックサイズが導入された場合の分析ができない上、シェアの推移にはさまざまな要因が複雑に関わっており実証研究ではマーケットメイカーの効果だけを分析するのは困難だからである。

このような実社会で導入されたことがない制度や規制を検証するため、コンピュータ上に取引参加者と取引市場を再現した人工市場<sup>\*5</sup>を用いたシミュレーション研究が行われている。マーケットメイカーについての人工市場モデルを用いたシミュレーション研究に [Wang et al. (2013)] がある。[Wang et al. (2013)] では、1つの取引市場におけるマーケットメイカーの影響を分析した。また、[草田他 (2014)] は人工市場を用いて、単純な取引戦略を持つマーケットメイカー（以降シンプルマーケットメイカーもしくは SMM と呼ぶ）のスプレッドと取引市場のティックサイズの大きさが取引市場間の出来高シェア競争に与える影響について議論している。本来、大きな価格変動による損失を抑えるためマーケットメイカーの取れるポジション（保有数量）は限られているが、[草田他 (2014)] では、マーケットメイカーが無限にポジションを取れるといった非現実的なモデル設定に問題があった。損失を無視して注文を出し

<sup>\*1</sup> 海外の取引市場の競争状況を報告したレポートとして [井上 (2007, 2009); 深見 (2012)].

<sup>\*2</sup> 日本における最近の PTS の動向をレポートしたものととして [大崎 (2012)].

<sup>\*3</sup> 取引市場間の競争における高速化の重要性に関して [水田 (2012)].

<sup>\*4</sup> 取引市場間の競争に影響を与える要素をまとめたものととして [宇野 (2012); 清水 (2013)].

<sup>\*5</sup> 関連研究として Thurner et al. (2012); 水田他 (2013) など。

続けるといった、現実には実行不可能な取引によって得られたシミュレーション結果である可能性があり、それが現実にも起こり得るものなのかどうか議論できなかった。

そこで本研究ではこのポジション管理といった問題点を解決するため、[Nakajima and Shiozawa (2004)] で使用されているポジションを考慮して取引を行うマーケットメイカー（以降ポジションマーケットメイカーもしくはPMMと呼ぶ）のモデルを参考に実装し、2市場間の出来高シェアの関係に着目して、ポジションマーケットメイカーと市場ティックサイズの大きさが市場間出来高シェア競争に与える影響を考察した。

本研究はマーケットメイカーがどの位の大きさの спреッドを持っていると市場の流動性を高めて、個人投資家や機関投資家の取引をしやすくすることにつながるのか、また今後ティックサイズが変更された場合のマーケットメイカーはどのようなものなのかといった議論に繋がる有意義なものであると考えられる。

## 1.2 本研究の目的

前述のように、取引市場間の出来高シェアに関する研究は投資家の利便性を高めるために重要である。特に、マーケットメイカーと取引市場のティック・サイズの大きさが取引市場間の出来高シェア競争に与える影響は重要なトピックであるが、市場間競争に影響を与える要素が多いため、実証分析による研究は難しい。しかし、要素を限定できるシミュレーション研究ならばこの分析が可能である。なお、このテーマのシミュレーション研究は今のところ行われていない。

そこで本研究では、人工市場モデルを用いたシミュレーションを行い、マーケットメイカーの有無と初期の出来高シェアのみが異なる2つの取引市場A及び取引市場Bがある場合に、どのようにシェアが移り変わるかを明らかにすることを目的とする。具体的には、以下の3つの点について明らかにする。

1. マーケットメイカーの取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度及びメカニズム。
2. ティックサイズが等しい2つの取引市場において、マーケットメイカーの取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度は取引市場のティック・サイズの大きさに依存するか。
3. ティック・サイズが異なる2つの取引市場において、マーケットメイカーの取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度と取引市場間のティック・サイズの違いが取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度の関係。

上記の3つの検証することは、下記の問題を議論する際に参考になると考えられる。

1. マーケットメイカーがどの位の大きさの спреッドを持っていると市場の流動性を高めて、個人投資家や機関投資家の取引を円滑にしやすくなるのか。
2. 今後ティック・サイズが変更された場合のマーケットメイカーはどのようなものにするべきなのか。
3. 取引市場は取引市場間の出来高シェア競争においてどの制度により注力するべきなのか。

### 1.3 本研究の構成

1 章では、本研究の背景及び目的を述べた。続く 2 章では、本研究でベースモデルとして用いた人工市場モデルの概要を説明する。また 3 章では、2 つの取引市場間のティック・サイズの大きさが等しい場合にマーケットメイカーが出来高シェア競争に与える影響をシミュレーションにより分析する。またメカニズムについて述べた後に、簡単な実証分析も行う。さらに 4 章で、2 つの取引市場間のティック・サイズの大きさが異なる場合に、マーケットメイカーとティック・サイズの大きさの違いのどちらの要因が出来高競争により影響するのかをシミュレーションにより分析する。最後に 5 章でまとめと提言、今後の課題を述べる。

## 2 人工市場モデル

### 2.1 基本事項

本研究のモデルは [水田他 (2013)] の人工市場モデルをベースに、新たに [Nakajima and Shiozawa (2004)] を参考にした自身のポジション (保有資産) を考慮して取引を行うマーケットメイカー (以降、ポジションマーケットメイカー、または PMM と記す) の役割を果たすエージェントを加えてモデルを構築した。[水田他 (2013)] のベースモデルである [Chiarella et al. (2009)] では、シンプルでありながら、実証分析で得られた長期間に存在する価格変動の統計的性質を再現できるエージェントモデルの構築に成功している。[水田他 (2013)] では、[Chiarella et al. (2009)] のモデルでは再現されていなかった、注文件数やキャンセル率、1 ティックごとの騰落率の標準偏差など、高頻度な時間スケールでの性質 (マーケットマイクロストラクチャー [太田他 (2011)]) も再現した。人工市場モデルを用いたシミュレーション研究は、実際の市場にみられる多くの統計的性質 (stylized fact<sup>\*6</sup>) を再現したり規制の効果を検証したりと多くの成果をあげている [LeBaron (2006); Chen et al. (2012)]. 一方で、多くの人工市場モデルはパラメータが多すぎて複雑すぎるという指摘もされている [Chen et al. (2012)]. なぜなら、モデルの妥当性は実証分析で得られている fat-tail<sup>\*7</sup> や volatility-clustering<sup>\*8</sup> といった代表的な stylized fact が再現できるかどうかで評価されるが、モデルを複雑にしても多くの場合は、再現できる stylized fact の種類が増えたり再現の精度が上がったりしないからである。そのため、出来るだけシンプルなモデルで stylized fact を再現できた方がよいという主張がなされている。というのもパラメータが多く複雑なモデルほど、モデルや計算結果の評価が難しくなるからである。そのため [水田他 (2013)] は [Chiarella et al. (2009)] をベースに分析目的を果たせる範囲内でなるべくシンプルなモデルの構築を行っている。本研究においても [水田他 (2013)] と同様に、分析目的を果たせる範囲内、今回の場合は最低限の統計的性質である fat-tail 及び volatility-clustering と高頻度な時間スケールでの性質を再現する範囲内で、なるべくシンプルなモデルの構築を行った。その際、実際の市場を完全に再現することを目的としておらず、実際には存在するであろう投資家をすべて網羅することはあえて行わなかった。

### 2.2 価格決定メカニズム

本モデルは 1 つの株式のみを取引対象にし、また 2 つの取引市場 A と取引市場 B で取引できる場合をモデル化した。価格決定メカニズムは、売り手と買い手の双方が価格を提示し、売り手と買い手の提示価格が合致するとその価格で直ちに取引が成立する方式であるザラバ方式 (連続 double auction 方式) とした [Friedman (1993); 東京証券取引所 (2012)]. 価格の変化幅の最小単位は  $\Delta P$  とし、それより小さい端数は、買い注文の場合は切り捨て、売り注文の場合は切り上げる。本モデルはザラバ方式であるため、買い (売り) 注文の場合、注文価格より安い (高い) 注文が既に存在すれば最も安い (高い) 売り (買い) 注文と即座にマッチングされ取引が成立する (本研究では成行注文と呼ぶ)。マッチングする注文

<sup>\*6</sup> [Cont (2001)] に整理されている。

<sup>\*7</sup> 価格の騰落率の尖度がプラスであること。

<sup>\*8</sup> 価格の騰落率の標準偏差が自己相関を持つこと。

がなければ注文を残す (本研究では指値注文と呼ぶ)。指値注文は時刻  $t_c$  経過してもマッチングされなかった場合に、キャンセルされる。

## 2.3 市場選択方法

2つの取引市場 A, B がある場合、各トレーダーはどちらの取引市場に注文を出すかを決める必要がある。以下に述べる本モデルでの市場選択方法は、実際の金融市場で用いられている市場配分アルゴリズム (SOR, Smart Order Routing) と呼ばれ [杉原 (2010); GoldmanSachsIndia (2013)] などで具体的に述べられてる方法や、[Adhami (2010)] で提案された方法<sup>9</sup>と同じ方法である。各エージェントは注文を出すごとにどちらの取引市場に出すかを判定する。買い (売り) 注文の場合、取引市場 A, B ごとに最も安い (高い) 売り (買い) 注文を探す。これを最良価格と呼ぶ。取引市場 A, B の最良価格が異なり、かつ少なくともいずれかの取引市場で成行注文となる場合は、よりよい最良価格 (買い (売り) 注文の場合安い (高い) 方の最良価格) を提示している取引市場に注文を出す。その他の場合、つまり2つの取引市場の最良価格が同じか、いずれの最良価格においても指値注文となる場合は、出来高の比率に応じた確率

$$W_A = \frac{T_A}{T_A + T_B} \quad (1)$$

で取引市場 A を選ぶ。ここで、 $T_A$  は取引市場 A の過去  $t_{AB}$  期間の出来高、 $T_B$  は取引市場 B のそれである。なお  $W_A$  は取引市場 A の出来高シェアを意味している。つまり取引市場の出来高シェアに応じて、指値注文を出す市場を決定する。したがって取引市場 B を選ぶ確率  $W_B$  は、確率  $W_B = 1 - W_A = T_B / (T_A + T_B)$  となる。また、時刻  $t_{AB}$  に達するまでの  $W_A$  は出来高シェアの初期値として外から与える。取引市場の選択についてまとめると、成行注文で取引価格が異なる場合は、必ず有利となる取引市場に、その他の場合は、出来高のシェアに応じて注文を出す。

## 2.4 エージェント

ここでは本研究でのモデルで使用するエージェントである一般の個人投資家を表すスタイライズドトレーダー、高頻度取引を行ってマーケットメイクを行うトレーダー (主に証券会社) であるマーケットメイカーについて述べる。エージェントは、実際市場の価格形成の性質を再現するために導入するものであり、stylized fact を再現する範囲内でなるべくシンプルなモデルになっている。取引主体として  $n$  体のスタイライズドトレーダーと1体のマーケットメイカーが存在する。なお本研究のエージェント1体は、現実の投資家1人に対応するものではなく、似たような戦略集団の1つを表現している。投資戦略が同じでも個々の投資家の事情で投資行動が異なってしまうような現象、例えば行動経済学で知られるような損益の状況に応じてリスク回避度が異なる現象などは取り扱わないため、1戦略集団を1エージェントで表現するといった抽象度でモデル化する。なお、各エージェントは資産を何単位でも買うことができ (キャッシュが無限大)、空売りも自由に行うことができる。

<sup>9</sup> [Adhami (2010)] では市場別に取引手数料や執行スピードも異なる場合も扱っているが、本研究のようにティック・サイズ以外と過去の売買シェア以外は同一であると仮定すると、本モデルと同一になる。



### 2.4.1 スタイライズドトレーダー

タイライズドトレーダーは番号  $j = 1$  から順番に  $j = 2, 3, \dots, n$  と発注を行う。最後のタイライズドトレーダー  $j = n$  の発注後、次の時刻には、また  $j = 1$  から発注を繰り返す。時刻  $t$  は 1 体のタイライズドトレーダーが発注するごとに 1 増える。つまり、発注しただけで取引が成立しない場合も時刻が進む。タイライズドトレーダー  $j$  は注文価格、売り買いの別を以下のように決定する。時刻  $t$  におけるタイライズドトレーダー  $j$  の期待リターン  $r_{e,j}^t$  を、

$$r_{e,j}^t = \frac{1}{\sum_{i=1}^3 w_{i,j}} (w_{1,j} \log \frac{P_f}{P^{t-1}} + w_{2,j} r_{h,j}^{t-1} + w_{3,j} \epsilon_j^t) \quad (2)$$

とする。ここで、 $w_{i,j}$  はタイライズドトレーダー  $j$  の  $i$  項目の重みであり、シミュレーション開始時に、それぞれ 0 から  $w_{i,\max}$  まで一様乱数で決める。 $P_f$  は時間によらず一定のファンダメンタル価格、 $P^t$  は時刻  $t$  での取引価格 (当該時刻に取引が成立しなかった場合には、時刻を遡って最後に取引が成立した価格とし、時刻  $t = 0$  では  $P^t = P_f$  とする)、 $\epsilon_j^t$  は時刻  $t$ 、タイライズドトレーダー  $j$  の乱数項であり、平均 0、標準偏差  $\sigma_\epsilon$  の正規分布乱数である。 $r_{h,j}^t$  は時刻  $t$  にタイライズドトレーダー  $j$  が計測した過去リターンであり、 $r_{h,j}^t = \log (P^{t-1} / P^{t-\tau_j})$  である\*10。ここで  $\tau_j$  はシミュレーション開始時に 1 から  $\tau_{\max}$  までの一様乱数でタイライズドトレーダーごとに決める。上式の第 1 項目はファンダメンタル価格と比較して安ければプラスの期待リターンを、高ければマイナスの期待リターンを示す、ファンダメンタルな投資家の成分である。第 2 項目は過去のリターンがプラス (マイナス) ならプラス (マイナス) の期待リターンを示す、テクニカルな投資家の成分であり、第 3 項目はノイズを表している。期待リターン  $r_{e,j}^t$  より期待価格  $P_{e,j}^t$  は、

$$P_{e,j}^t = P^{t-1} \exp (r_{e,j}^t) \quad (3)$$

で求まる。注文価格  $P_{o,j}^t$  は平均  $P_{e,j}^t$ 、標準偏差  $P_\sigma$  の正規分布乱数で決める。ここで、 $P_\sigma$  は定数である。そして売り買いの別は期待価格  $P_{e,j}^t$  と注文価格  $P_{o,j}^t$  の大小関係で決める。すなわち、

$$\begin{aligned} P_{e,j}^t > P_{o,j}^t &\text{なら 1 単位の買い} \\ P_{e,j}^t < P_{o,j}^t &\text{なら 1 単位の売り} \end{aligned} \quad (4)$$

とし、注文数量は常に 1 単位に固定する。なお実際に注文を行う際、取引市場の最小ティック・サイズ  $\Delta P$  より小さい端数は、買い注文の場合は切り捨て、売り注文の場合は切り上げる。

### 2.4.2 マーケットメイカー

従来マーケットメイカーは人の手によって行われていたが、近年取引市場の電子化によってマーケットメイカーは高頻度取引により行われている。また高頻度取引を行っている理由として、マーケットメイカーはリスクを避けるために自ら取るポジションを制限する必要がある点にも注意が必要である。さらに、マーケットメイカーは高頻度取引を行うため、個人投資家よりも市場価格を反映させた注文を高速で行うことが出来る。以上を踏まえてポジションマーケットメイカーのモデル化について次の 3 章で詳細に述べる。

\*10  $t < \tau_j$  のときは  $r_{h,j}^t = \log (P^{t-1} / P_f)$  とする。

## 2.5 ベースモデルのパラメータと妥当性検証

最初に、図1は今までに説明した価格メカニズム、取引市場選択方法およびエージェントを用いて作成したベースモデルの全体像である。すなわち、取引市場Aと取引市場Bが存在し、スタイライズドトレーダーは各自の戦略によって注文価格および売り買い、注文方法を決定して市場選択を行う。このようなベースモデルに3章で詳細を述べるマーケットメイカーを取引市場Bに導入して3章以降でシミュレーション実験を行う。

### 2.5.1 ベースモデルのパラメータ

ベースモデルである[水田他(2013)]と同様の以下のパラメータを用いてシミュレーションを行い、ベースモデルの妥当性検証をした。[水田他(2013)]では、さまざまなパラメータを検討し妥当性検証(fat-tail, volatility-clustering等のstylized factの再現)を行った結果、これらを決定している。表1にまとめてあるが、スタイライズドトレーダー個体数 $n = 1000$ 、ファンダメンタル成分への重みの最大値 $w_{1,max} = 1$ 、テクニカル成分への重みの最大値 $w_{2,max} = 10$ 、ノイズ成分への重みの最大値 $w_{3,max} = 1$ 、テクニカル成分を計算する際にさかのぼる最も過去の時刻 $\tau_{max} = 10000$ 、ノイズ成分の標準偏差 $\sigma_e = 0.06$ 、注文価格決定の際の標準偏差 $P_\sigma = 30$ 、指値注文の最大有効期間 $t_c = 20000$ 、2つの取引市場における最良価格が同一の場合や指値注文の場合の発注確率計算期間、及びその初期固定期間 $t_{AB} = 100000$ 、ファンダメンタル価格 $P_f = 1000000$ とした。なお、このシミュレーションでは取引市場は1つである。これらのパラメータの組み合わせについて、複数条件での並行シミュレーションのプラットフォームであるOACIS[Murase et al.(2014)]を用いて、乱数系列を変えて100回ずつシミュ

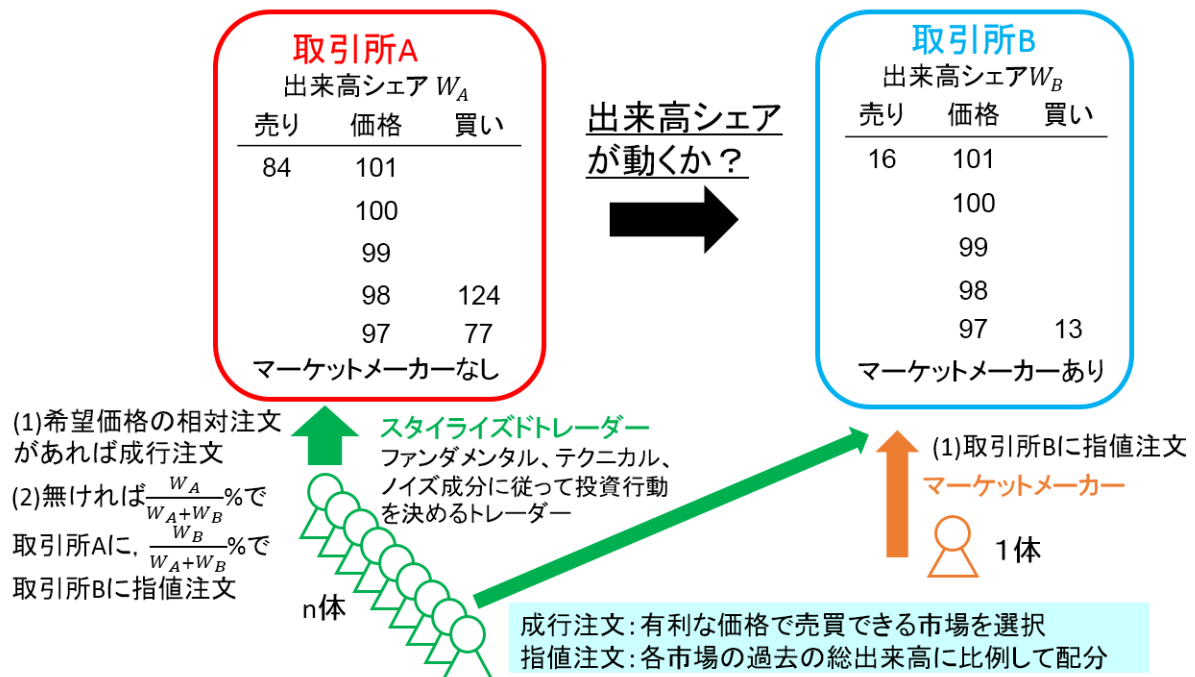


図1 ベースモデルの全体像

表1 ベースモデルのパラメータ

初期パラメータ	値
スタイライズドトレーダー個体数 $n$	1000
ファンダメンタル成分への重みの最大値 $\omega_{1,max}$	1
テクニカル成分への重みの最大値 $\omega_{2,max}$	10
ノイズ成分への重みの最大値 $\omega_{3,max}$	1
テクニカル成分計算時に遡る最も過去の時刻 $t_{max}$	10000
ノイズ成分の標準偏差 $\sigma_\epsilon$	0.06
注文価格決定の際の標準偏差 $P_\sigma$	30
指値注文の最大有効期間 $t_c$	20000
2つの取引市場における最良価格が同一の場合や指値注文の場合の発注確率計算期間、及びその初期固定期間 $t_{AB}$	100000
ファンダメンタル価格 $P_f$	1000000

レーション実験を行った。

### 2.5.2 ベースモデルの妥当性検証

表2に、取引市場が1つの場合において、ティック・サイズを徐々に変化させた場合の市場統計量を示した。これらの値は、100回のシミュレーションによって得られた値の平均値及び標準偏差である。ここでティック・サイズは、ファンダメンタル価格 $P_f$ に対する比率で示した。取引は概ね価格 $P_f$ 周辺で行われたため、このティック・サイズは概ね1ティック動いた場合の価格の騰落率の大きさを示している。また、本研究の時刻 $t$ は何かしらの注文が入るごとに増加するティック時間であるが、概ね $t = 20000$ 期間で実際の市場での1営業日の約定(売買成立)件数<sup>\*11</sup>に達するため、この期間を1営業日と定義した。これより[水田他(2013)]と同様に表2のような値が確認できた。すなわち約定率<sup>\*12</sup>、キャンセル率<sup>\*13</sup>ともにいずれのティック・サイズにおいても実際の市場の値に近い値を得ており、モデルの妥当性を示唆している。1日(20000期間)ごとの騰落率の標準偏差も、概ね実際の市場に近い値<sup>\*14</sup>が得られ、この側面からもモデルの妥当性を示唆している。

人工市場モデルの妥当性は実証分析で得られている fat-tail や volatility-clustering といった代表的な stylized fact が再現できるかどうかで評価される場合が多い。表2では、10秒(約10期間)ごとの騰落率を用いて計算した尖度と騰落率の2乗の自己相関も示している。いずれのシミュレーションでも尖度がプラスで fat-tail となっており、騰落率の2乗の自己相関もラグがあってもプラスで

\*11 実際の市場の統計量のうち、1銘柄あたりの1営業日の約定件数(ティック回数)、約定率、キャンセル率は[東京証券取引所(2010)]を参照。

\*12 約定率 =  $\frac{\text{約定件数}}{\text{注文件数} + \text{キャンセル件数}}$

\*13 キャンセル率 =  $\frac{\text{キャンセル件数}}{\text{注文件数} + \text{キャンセル件数}}$

\*14 本研究のシミュレーションではオーバーナイトが存在しないので、ここでの1日ごとの騰落率の標準偏差は、実際の市場のイントラデイのボラティリティに相当する。実際の市場の値は[宇野(2012)]を参照。

表2 市場統計量 (取引市場1つ, MMなし)

		Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
100試行の 平均値	注文状況	約定率	23.99%	24.08%	23.87%	23.84%	23.78%
		キャンセル率	25.98%	25.89%	26.10%	26.13%	26.19%
		1日約定件数	6480	6497	6459	6454	6442
	騰落率の 標準偏差	1 tick	0.051%	0.051%	0.052%	0.056%	0.061%
		1日(=20000 tick)	0.604%	0.620%	0.589%	0.614%	0.624%
	騰落率の尖度 (10 tick)		1.43	1.44	1.39	1.24	1.09
	騰落率の2乗の 自己相関(10 tick)	Lag 1	0.227	0.227	0.224	0.219	0.212
		Lag 2	0.139	0.139	0.136	0.129	0.118
		Lag 3	0.106	0.106	0.105	0.097	0.088
		Lag 4	0.087	0.088	0.086	0.080	0.072
Lag 5		0.075	0.075	0.074	0.069	0.061	

volatility-clustering も再現されており, モデルが妥当であることを示している.

以上により, [水田他 (2013)] と同様, このモデルが約定件数やキャンセル率, 1ティックごとの騰落率の標準偏差などマーケット・マイクロ・ストラクチャーの性質および, 長期に観測される価格変動の統計的な性質も再現していることが示された.

## 2.6 まとめ

この章では, 本研究で使用する人工市場モデルの基本事項, 価格決定メカニズム, 市場選択方法およびエージェントについて記述し, 本研究で使用する人工市場モデルが実際の市場構造をとらえられているのかを検証した. 先行研究で用いられたパラメータで, 実際に金融工学等の分野で発見された fat-tail や volatility-clustering といった妥当性検証で用いられる代表的な stylized fact に加え, 高頻度な時間スケールでの性質も再現されることを示した. この結果はモデルの妥当性を示している.

### 3 マーケットメイカーの市場間競争への影響～市場間ティック・サイズが等しい場合～

#### 3.1 はじめに

本章でも表 1 で記したパラメータを用いる。ただし加えて、初期値として  $W_A = 0.9$  とした。これは取引所 A の初期シェアが 90% であることを意味している。またマーケットメイカーの個体数は 1、ポジションマーケットメイカーのポジション考慮度  $w_{pm}$  に関しては、[Nakajima and Shiozawa (2004)] に従い、 $w_{pm} = 0.00000005$  とした。このポジション考慮度については、ポジションマーケットメイカーの説明の際に詳しく述べる。これらのパラメータの組み合わせについて、乱数系列を変えて 100 回ずつシミュレーション実験を行った。

#### 3.2 マーケットメイカーがない場合

##### 3.2.1 取引市場のシェア

まず最初に比較対象として、マーケットメイカーが存在せず、取引市場が 2 つある場合のそれぞれの取引市場における出来高シェアを確認した。本研究のシミュレーションでは、実際に日本取引所グループで採用されているティック・サイズ以下の組み合わせを調べるため、取引市場のティック・サイズは 0.1% 以下としている。これは今後ティック・サイズの切り下げが行われる可能性があるためである。表 3 は、さまざまなティック・サイズでの取引市場のビッド・オファー・スプレッド (以降 BOS とも記す)\*<sup>15</sup>の平均値  $\bar{\theta}_A$  と標準偏差を表しており、表 4 は 500 日後の取引市場 B の出来高シェアの平均値を表したものである。表 3 では、先行研究 [水田他 (2013)] で見られたように、取引市場のビッド・オファー・スプレッドは短期ボラティリティ (表 5 の 1tick ごとの騰落率の標準偏差の 100 試行の平均値) よりティック・サイズが小さい 0.01% 以下の場合では、取引市場のビッド・オファー・スプレッドに大きな変化が無いことが確認できた。また表 4 より、取引市場間のシェアの移動も見られなかった。つまり本モデルでは、マーケットメイカーがない場合取引市場間で出来高のシェアは移らず、また相対的にシェアを多く占めている取引市場 A の方が板にある注文の量が大きいためビッド・オファー・スプレッドの値は小さく、取引市場 B の方が注文量が相対的に少ないためビッド・オファー・スプレッドの値は大きい。さらにティック・サイズが 0.01% 以下の場合では、これ以上ボラティリティが低下しないため、ビッド・オファー・スプレッドの値もほとんど一定であることも分かる。

\*<sup>15</sup> 市場に提示されている最良売り気配値と最良買い気配値の差のファンダメンタル価格に対する比率

表3 取引市場のビッド・オファー・スプレッド (MM なし)

		Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
100試行の 平均値	取引市場AのBOS	0.148%	0.146%	0.152%	0.169%	0.199%	
	取引市場BのBOS	0.290%	0.290%	0.297%	0.320%	0.350%	
		Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
100試行の 標準偏差	取引市場AのBOS	0.019%	0.015%	0.019%	0.015%	0.016%	
	取引市場BのBOS	0.022%	0.023%	0.019%	0.022%	0.028%	

表4 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア (MM なし)

100試行の平均値	Tick size (%)				
	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
MMなし	10.0%	9.5%	8.1%	6.1%	4.9%

### 3.2.2 市場統計量

マーケットメイカーが存在せず、取引市場が2つある場合の市場統計量を表5に示した。この表5の値は、表2の値とほとんど等しいことが分かる。これは2つの取引市場で取引されていても、価格データはすべての取引を反映しているためである。つまりこのマーケットメイカーがない2つの取引市場におけるシミュレーションにおいても、2.5.2節で確認された統計的性質が再現されている。

表5 市場統計量 (取引市場2つ, MM なし)

		Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
注文状況	約定率		25.34%	25.30%	25.00%	24.84%	24.61%
	キャンセル率		27.36%	27.33%	27.43%	27.41%	27.44%
	1日約定件数		6488	6487	6452	6438	6414
騰落率の 標準偏差	1 tick		0.051%	0.051%	0.052%	0.056%	0.061%
	1日(=20000 tick)		0.607%	0.609%	0.596%	0.602%	0.615%
100試行の 平均値	騰落率の尖度 (10 tick)		1.44	1.44	1.38	1.23	1.07
	騰落率の2乗の 自己相関(10 tick)	Lag 1		0.227	0.227	0.224	0.218
Lag 2			0.139	0.138	0.137	0.129	0.118
Lag 3			0.106	0.106	0.104	0.097	0.087
Lag 4			0.088	0.087	0.086	0.080	0.072
Lag 5			0.075	0.075	0.074	0.069	0.061

図2では、マーケットメイカーが存在しない場合におけるシミュレーションの価格データを用いて計算した10tickごとの騰落率の分布と、それらの平均値及び標準偏差を持つ正規分布が比較されている。図2より、シミュレーション結果の分布のテール部分が正規分布に比べて膨らんでいることから、fat-tailが確認出来る。以降で、この市場統計量とポジションマーケットメイカーが存在する場合の市場統計量を比較する。騰落率の分布に関しても、ポジションマーケットメイカーが存在する場合のそれ

と比較する。

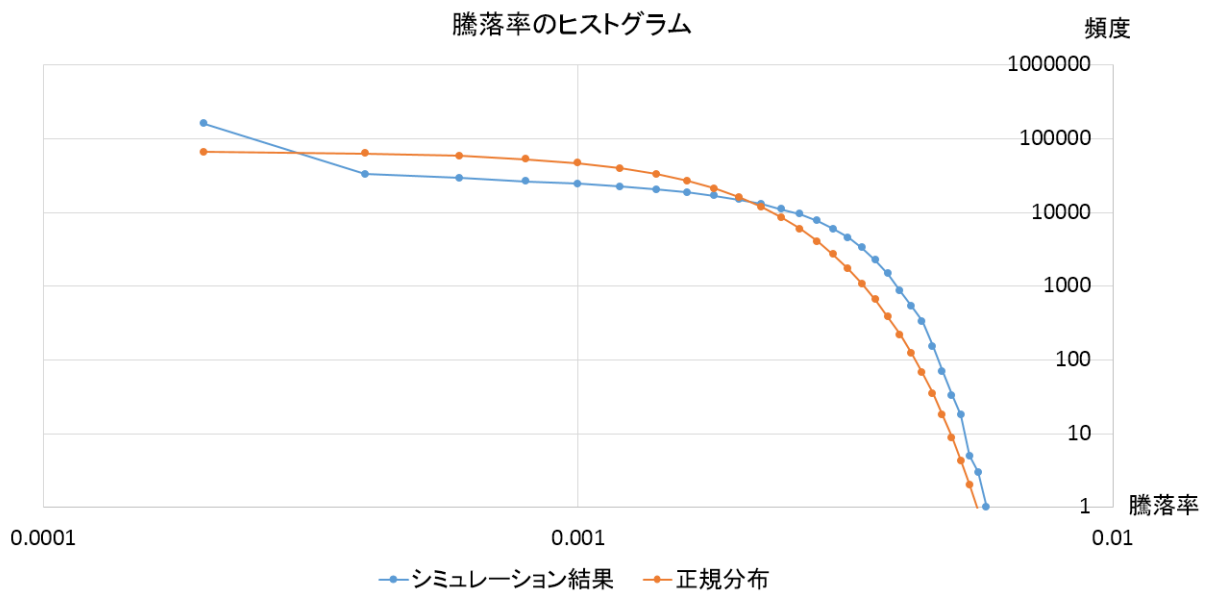


図2 騰落率の分布 (取引市場2つ, MMなし,  $\Delta P_A, \Delta P_B = 0.001\%$ , 両対数グラフ)

### 3.3 ポジションマーケットメイカーがいる場合

[草田他 (2014)] では, 単純な戦略を持つシンプルマーケットメイカーが市場間競争に与える影響について分析されていた. しかしシンプルマーケットメイカーはポジション管理に問題があった. というのも, シンプルマーケットメイカーのポジションがランダムウォーク的に推移していたため, リスク管理をしっかりと行わなければならない現実のマーケットメイカー (証券会社) を表すモデルとしては不十分である. そこで, ポジションを管理して取引を行うポジションマーケットメイカーの影響を本節では分析する.

#### 3.3.1 ポジションマーケットメイカーのモデル

ポジションマーケットメイカーのモデルについて説明する. これは [Nakajima and Shiozawa (2004)] で使用されているモデルを少し変更したものであるが, 取引戦略としては同様の手法である. すなわち, 取引市場に提示されている最良買い価格と最良売り価格に加え, ポジションマーケットメイカー自身が期待する1取引あたりの利益率であるスプレッド  $\theta_{pm}$  を参考に, 自身の注文価格を決定する. ただし, ポジションが偏るとポジションを解消するために, 注文価格を変更する. 表6で [草田他 (2014)] のシンプルマーケットメイカーと本研究のポジションマーケットメイカーを比較している.

ポジションマーケットメイカーは, 各サイズドトレーダーが注文を行う間に, 買いと売りに1単位ずつ取引市場Bにのみ指値注文を行う. また新たに注文を出す際には, 約定しなかった前回の買い注文と売り注文をキャンセルしてから注文を出し直す. [Nakajima and Shiozawa (2004)] では, マーケットメイカーの注文価格はポジションが売り持ちにあると買いたい, 買い持ちになると売りたいといった投資家の心理を表すモデルになっている. しかし, このマーケットメイカーのスプレッドは一定

ではなく、ポジションが偏るとスプレッドが大きくなるようにモデル化されている。本研究ではポジションマーケットメイカーのスプレッド  $\theta_{pm}$  を一定にして、[草田他 (2014)] のシンプルマーケットメイカーの結果と比較するために、簡素化したポジションマーケットメイカーを用いた。すなわち、時刻  $t$  における取引市場 A の最良買い気配を  $P_A^{t,buy}$ 、最良売り気配を  $P_A^{t,sell}$ 、取引市場 B の最良買い気配を  $P_B^{t,buy}$ 、最良売り気配を  $P_B^{t,sell}$ 、ポジションマーケットメイカー固有のスプレッドを  $\theta_{pm}$ 、時刻  $t$  と時刻  $t+1$  の間にポジションマーケットメイカーが抱えるポジションを  $s_{pm}^t$ 、ポジション考慮度を  $w_{pm}$  とすると、買い注文価格  $P_{o,pm}^{t,buy}$  と売り注文価格  $P_{o,pm}^{t,sell}$  は、以下の式で決定される。

$$P_{o,pm}^{t,buy} = P_{fv,pm}^t - \frac{1}{2}(P_f \times \theta_{pm}) \quad (5)$$

$$P_{o,pm}^{t,sell} = P_{fv,pm}^t + \frac{1}{2}(P_f \times \theta_{pm}) \quad (6)$$

$$P_{fv,pm}^t = (1 - w_{pm}(s_{pm}^t)^3) \times \frac{1}{2}(\max\{P_A^{t,buy}, P_B^{t,buy}\} + \min\{P_A^{t,sell}, P_B^{t,sell}\}) \quad (7)$$

しかし、上式では一つ大きな問題が残る。例えばポジションマーケットメイカーの売り注文価格  $P_{o,pm}^{t,sell}$  が取引市場の最良買い気配  $\max\{P_A^{t,buy}, P_B^{t,buy}\}$  を下回ってしまう場合、ポジションマーケットメイカーの注文は成行注文になってしまう。本来、マーケットメイカーは指値注文を出して流動性を供給する。本研究では流動性を供給するというマーケットメイカー本来の役割を考慮して、ポジションマーケットメイカーの成行注文を防ぐためポジションマーケットメイカーの注文に図3のように制限を設けた。図3のポジションマーケットメイカーのスプレッド  $\theta_{pm}$  は0.2%であり、ポジションが33または-33を越えると成行注文になってしまうため、図のように3次関数的に変化する価格を一定の値に抑えている。式で表すと、以下の制約となる。

$$P_{o,pm}^{t,buy} \geq \min\{P_A^{t,sell}, P_B^{t,sell}\} \quad (8)$$

$$P_{o,pm}^{t,sell} \leq \max\{P_A^{t,buy}, P_B^{t,buy}\} \quad (9)$$

これらの制約時のポジションマーケットメイカーの発注価格は以下のようなになる。ただし、取引市場 B

表6 SMM と PMM の比較

	シンプルマーケットメイカー	ポジションマーケットメイカー
注文頻度	スタイライズドトレーダーが取引を行う間に割り込み、毎ステップ注文価格を更新	シンプルマーケットメイカーと同じ
1取引あたりの利益	スプレッド $\theta_{sm}\%$	スプレッド $\theta_{pm}\%$
注文価格決定方法	市場の最良気配とスプレッド $\theta_{sm}$ のみを参照	市場の最良気配とスプレッド $\theta_{pm}$ に加え、自身のポジションも参照
ポジション管理	ランダムウォーク的	中心回帰的



の価格の変化幅の最小単位を  $\Delta P_B$  とする.

$$P_{o,pm}^{t,buy} = \begin{cases} \min\{P_A^{t,sell}, P_B^{t,sell}\} - \Delta P_B & (P_{o,pm}^{t,buy} \geq \min\{P_A^{t,sell}, P_B^{t,sell}\}) \\ P_{o,pm}^{t,sell} - (P_f \times \theta_{pm}) & (P_{o,pm}^{t,sell} \leq \max\{P_A^{t,buy}, P_B^{t,buy}\}) \end{cases} \quad (10)$$

$$P_{o,pm}^{t,sell} = \begin{cases} P_{o,pm}^{t,buy} + (P_f \times \theta_{pm}) & (P_{o,pm}^{t,sell} \geq \min\{P_A^{t,sell}, P_B^{t,sell}\}) \\ \max\{P_A^{t,buy}, P_B^{t,buy}\} + \Delta P_B & (P_{o,pm}^{t,sell} \leq \max\{P_A^{t,buy}, P_B^{t,buy}\}) \end{cases} \quad (11)$$

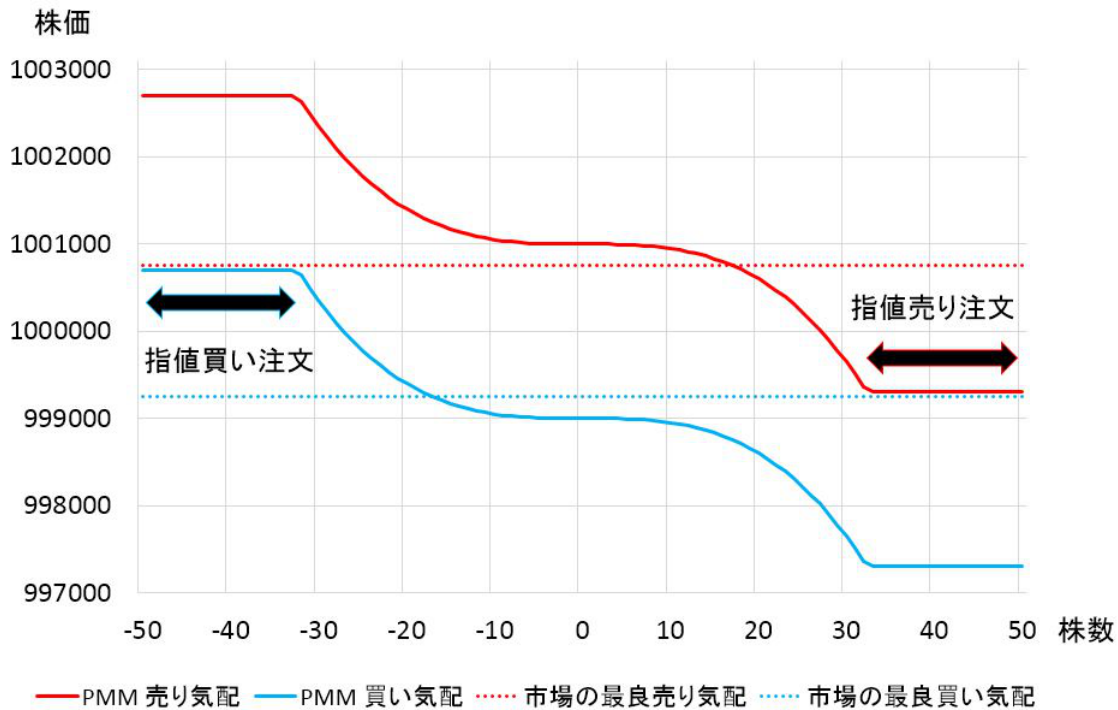


図3 PMM の発注価格

### 3.3.2 ポジション

ここではポジションマーケットメイカーのポジション (保有数量) について分析する. マーケットメイカーのポジションを比較した図4から分かるように, ポジションマーケットメイカーのポジションはほぼニュートラルである一方, シンプルマーケットメイカーのそれはかなり偏っている. また, 表7は1日あたりのポジションの平均値の100回シミュレーションにおける平均を表している. 図4, 表7よりきちんとポジションをニュートラルに保っていることから, ポジションマーケットメイカーの方がリスク管理の観点から現実的であると言える. そのため, 本研究で得られた結果は, シンプルマーケットメイカーのものよりも妥当であると言える. しかし, 結果としてシンプルマーケットメイカーの場合でも, 同様の結果が得られたことを強調しておく.

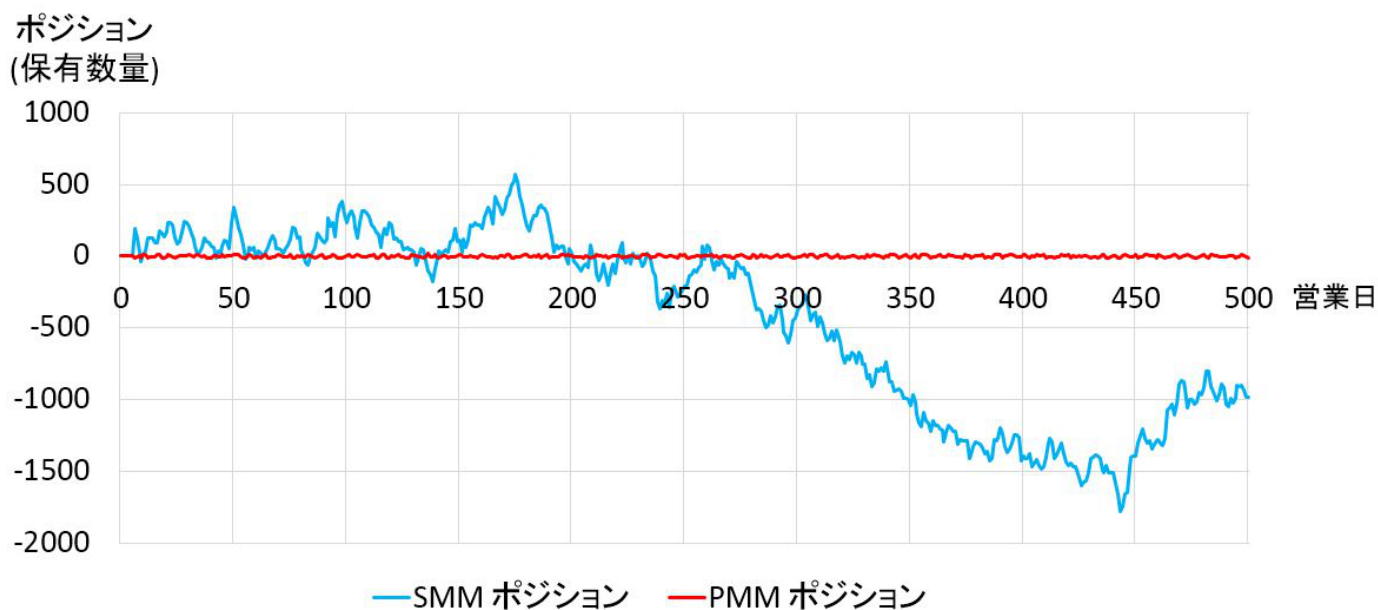


図4 マーケットメイカーのポジション推移. ( $\theta_{sm}, \theta_{pm} = 0.1\%, \Delta P_A, \Delta P_B = 0.001\%$ )

表7 PMM のポジション

100試行の平均値	Tick size (%)				
	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
$\theta_{pm} = 0.1\%$	5.9	5.8	5.1	2.3	2.3
$\theta_{pm} = 0.2\%$	6.9	6.8	6.2	2.7	2.7
$\theta_{pm} = 0.3\%$	6.6	6.5	5.4	2.5	2.4
$\theta_{pm} = 0.4\%$	5.1	5.0	4.1	2.2	2.2

### 3.3.3 取引市場のシェア

取引市場が2つある場合に出来高シェアの移り変わりに対してポジションマーケットメイカーが与える影響について分析した。取引市場Aと取引市場Bは、初期の出来高シェアとポジションマーケットメイカーの有無以外は全く同じである。繰り返しになるが、取引市場Aの初期シェアは90%でポジションマーケットメイカーが存在しない。一方、取引市場Bの初期シェアは10%でポジションマーケットメイカーが存在する。

図5は、取引市場Bの出来高シェアの100試行の平均値の推移を表している。取引市場Aと取引市場Bのティック・サイズはファンダメンタル価格に対して $\Delta P_A, \Delta P_B$ 共に0.001%とした。この時、スプレッド $\theta_{pm}$ を徐々に変化させて取引市場間の出来高シェアの変化を観察した。なお縦軸に取引市場Bの出来高シェアを、横軸に営業日をとっている。この図5から、スプレッド $\theta_{pm}$ が小さいとすばやくシェアを奪えることが分かる。またスプレッド $\theta_{pm}$ が大きすぎると、時間を掛けてもシェアを完全に奪えていないことも確認できる。これは[草田他(2014)]のシンプルマーケットメイカーの結果と類似している。

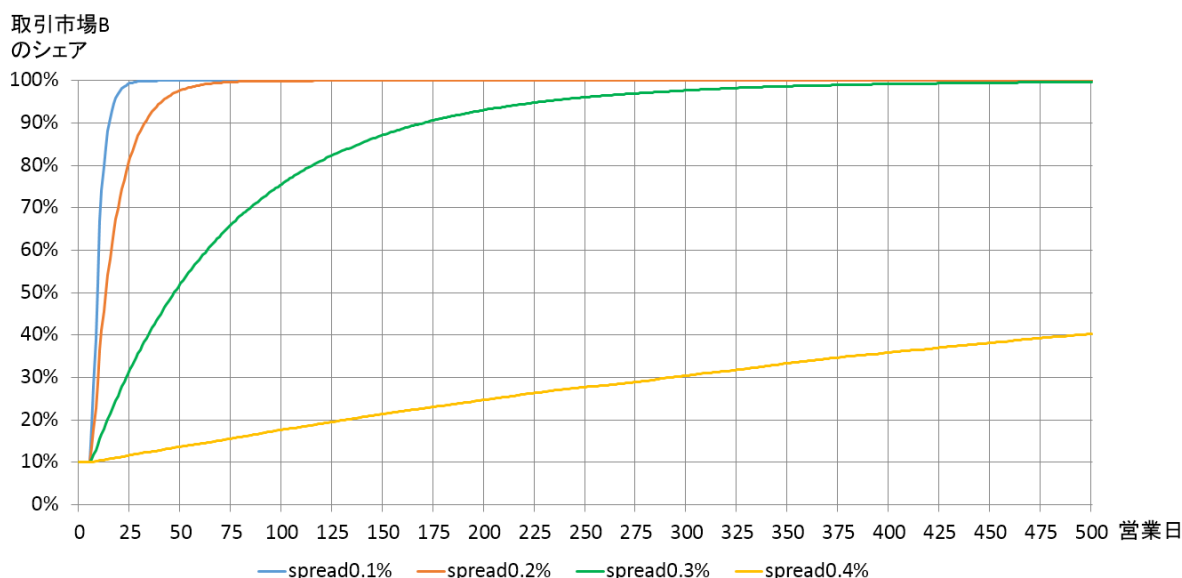


図5 取引市場 B の出来高シェアの推移 (PMM あり,  $\Delta P_A, \Delta P_B = 0.001\%$ )

表 8 は両取引市場のティック・サイズ  $\Delta P_A$ ,  $\Delta P_B$  とスプレッド  $\theta_{pm}$  を変化させた場合の 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェアを表にし, 出来高シェアが 0% 以上 80% 未満を黄, 80% 以上を青に色付けしたものである. 表 8 より, スプレッド  $\theta_{pm}$  は小さければ小さいほど 500 日後にはより多くのシェアを奪えていることが分かる. また両取引市場のティック・サイズ  $\Delta P_A$ ,  $\Delta P_B$  が 0.01% 以下の場合, 競合する取引市場 A のビッド・オファー・スプレッドの平均値  $\bar{\theta}_A \approx 0.15\%$ (表 3 の取引市場 A のビッド・オファー・スプレッドの 100 試行の平均値), さらにはそれに標準偏差 (表 3 の取引市場 A のビッド・オファー・スプレッドの 100 試行の標準偏差) を加えた値よりポジションマーケットメイカーのスプレッド  $\theta_{pm}$  が大きい場合でもシェアを奪えていることが分かる. 同様のことが両取引市場のティック・サイズ  $\Delta P_A$ ,  $\Delta P_B$  が 0.05%, 0.1% の場合でも確認出来る. これは [草田他 (2014)] のシンプルマーケットメイカーの結果とほとんど同じである.

表 8 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア (PMM あり)

100試行の平均値	Tick size (%)				
	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
$\theta_{pm} = 0.1\%$	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
$\theta_{pm} = 0.2\%$	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
$\theta_{pm} = 0.3\%$	99.6%	99.7%	99.3%	89.4%	80.9%
$\theta_{pm} = 0.4\%$	45.1%	40.2%	32.9%	18.7%	17.7%

### 3.3.4 市場統計量

$\theta_{sm} = 0.1\%$  のポジションマーケットメイカーが存在し, 取引市場が 2 つある場合の市場統計量を表 9 に, また  $\theta_{sm} = 0.3\%$  のポジションマーケットメイカーが存在し, 取引市場が 2 つある場合の市場統

計量を表 10 に示してある。

まずこれらの表とマーケットメイカーが存在せず、取引市場が 2 つある場合の市場統計量を表した表 5 とを比較すると、騰落率の標準偏差 (ボラティリティ) が低下している。特に  $\theta_{pm} = 0.1\%$  のポジションマーケットメイカーが存在する場合は、短期ボラティリティ (1tick ごとのボラティリティ) も低下している。これが意味するのは、ポジションマーケットメイカーの効果によって市場のボラティリティを低下させ、極端な価格変化が起こるのを低下させていることを示している。

また尖度に関して考察すると、ポジションマーケットメイカーが存在する場合はいずれのスプレッドの場合も、尖度が低下している。特に  $\theta_{pm} = 0.1\%$  のポジションマーケットメイカーが存在する場合は、尖度が負の値になっている。これは同じ平均値及び標準偏差を持つ正規分布に比べ大きな価格変化が起こりにくくなっていることを意味している。

騰落率の 2 乗の自己相関について見ると、全体的に値が小さくなっている。特に  $\theta_{pm} = 0.1\%$  のポジションマーケットメイカーが存在する場合は、値がほとんど 0 になっている。これは volatility-clustering がほとんど見られなくなっていることを示している。しかし  $\theta_{pm} = 0.3\%$  のポジションマーケットメイカーが存在する場合は、尖度や騰落率の 2 乗の自己相関といった全体的な市場統計量を大きく変えることなく、出来高シェアを競合する取引市場から奪うことに成功している。これはマーケットメイカーの取引が過剰ではなく、適切な値であるためであると考えられる。

表 9 市場統計量 (取引市場 2 つ,  $\theta_{pm} = 0.1\%$  の PMM あり)

		Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%	
注文状況	約定率		18.36%	18.35%	18.43%	19.12%	20.01%	
	キャンセル率		37.33%	37.29%	36.85%	35.08%	33.40%	
	1日約定件数		5732	5724	5706	5735	5807	
騰落率の標準偏差	1 tick		0.030%	0.030%	0.032%	0.038%	0.048%	
	1日 (=20000 tick)		0.106%	0.108%	0.115%	0.150%	0.203%	
100試行の 平均値	騰落率の尖度 (10 tick)		-0.52	-0.52	-0.49	-0.29	-0.09	
	騰落率の2乗の 自己相関(10 tick)	Lag 1		0.059	0.059	0.057	0.072	0.095
		Lag 2		0.029	0.028	0.028	0.026	0.030
		Lag 3		0.018	0.018	0.017	0.016	0.016
		Lag 4		0.014	0.013	0.012	0.011	0.010
		Lag 5		0.011	0.011	0.009	0.009	0.007

表 10 市場統計量 (取引市場 2 つ,  $\theta_{pm} = 0.3\%$  の PMM あり)

		Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
100試行の 平均値	注文状況	約定率	24.39%	24.41%	24.92%	26.45%	26.99%
		キャンセル率	30.03%	30.00%	30.15%	30.72%	30.52%
		1日約定件数	6264	6269	6286	6347	6401
	騰落率の 標準偏差	1 tick	0.050%	0.050%	0.051%	0.055%	0.061%
		1日(=20000 tick)	0.412%	0.413%	0.434%	0.509%	0.606%
	騰落率の尖度 (10 tick)		0.95	0.94	0.97	0.97	0.90
	騰落率の2乗の 自己相関(10 tick)	Lag 1	0.199	0.199	0.201	0.205	0.203
		Lag 2	0.123	0.122	0.124	0.120	0.111
		Lag 3	0.092	0.092	0.093	0.090	0.083
		Lag 4	0.075	0.075	0.076	0.074	0.067
Lag 5		0.063	0.063	0.064	0.062	0.058	

図 6 では,  $\theta_{pm} = 0.1\%$  の, 図 7 では,  $\theta_{pm} = 0.1\%$  のポジションマーケットメイカーがいる場合におけるシミュレーションの価格データを用いて計算した 10tick ごとの騰落率の分布と, それらの平均値及び標準偏差を持つ正規分布が比較されている. 図 6 から,  $\theta_{pm} = 0.1\%$  のポジションマーケットメイカーといった強力なポジションマーケットメイカーは, 過剰な取引によって自身のスプレッドの幅以内に価格変化を制限してしまい (図 6 の騰落率が  $+0.1\%$ ,  $-0.1\%$  周辺), 正規分布と比較しても騰落率が小さい場合が多い. これは取引価格がマーケットメイカー主導で決定されうることを示唆している. 一方で, 図 7 からは,  $\theta_{pm} = 0.3\%$  のポジションマーケットメイカーは騰落率を  $+0.3\%$ ,  $-0.3\%$  周辺での取引によって制限はするものの, マーケットメイカーがいない場合の騰落率の分布である図 2 と比較しても, 大きな変化が無いことが分かる. また図 2, 図 6, 図 7 を比較すると,  $\theta_{pm} = 0.1\%$  及び  $\theta_{pm} = 0.3\%$  のポジションマーケットメイカーが存在する場合は, 正規分布よりも大きな価格変動が occur にくくなっている. なおマーケットメイカーが存在しない場合は *fat-tail* となっているため, マーケットメイカーはテールリスクを減少させる役割を担っているといえる. これにより, 価格変動を極端に制限せず, また極端に大きな価格変動を引き起こさないポジションマーケットメイカーのスプレッドとして  $\theta_{pm} = 0.3\%$  を得ることが出来た.

ポジションマーケットメイカーについてまとめると, ティック・サイズが小さい市場ではスプレッドが小さい両マーケットメイカーは安定して取引を行い, より大きな利得を出すことが出来るが, 尖度が負になり, *volatility-clustering* がほとんど見られなくなるなど, 市場統計量に大きな影響を与える. また取引が過剰なため価格変動が極端に抑えられ, 価格がマーケットメイカー主導で決定されている. 市場等計量が非現実的な値となっている上, 価格がマーケットメイカー主導で決定されている状況は健全な市場とは言い難いと思われる. 適切な値のスプレッドを持つマーケットメイカーは市場統計量に大きな影響を与えることなく, 取引市場間におけるシェア争いに貢献している. 後者の方がより現実的なマーケットメイカーであると言えるだろう.

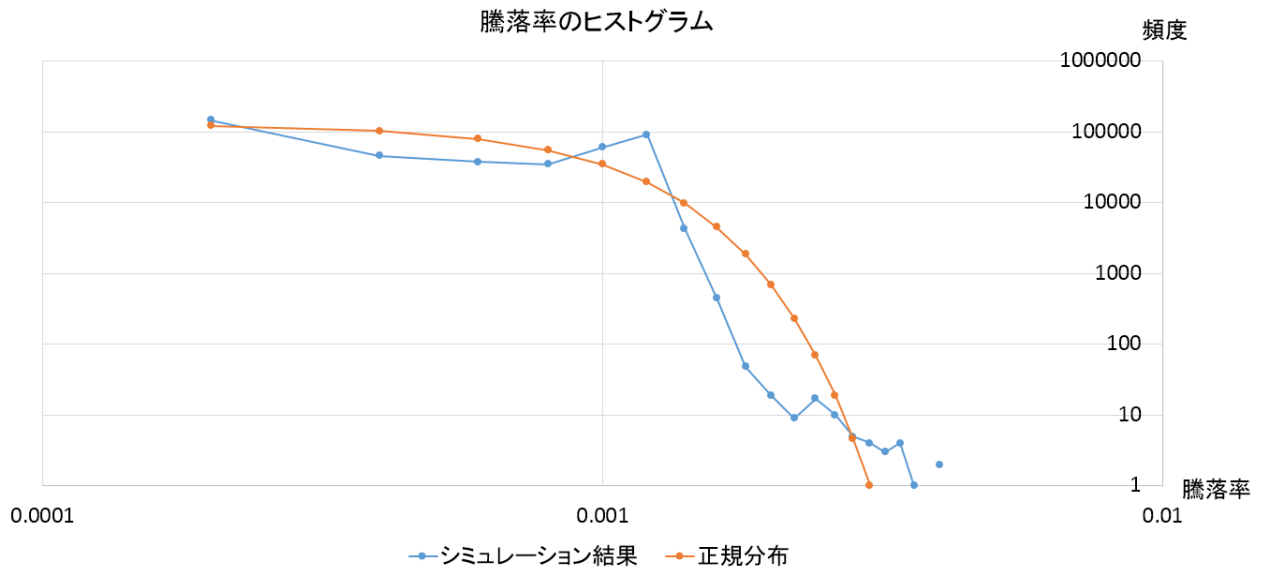


図6 騰落率の分布 (取引市場2つ,  $\theta_{pm} = 0.1\%$  のPMMあり,  $\Delta P_A, \Delta P_B = 0.001\%$ , 両対数グラフ)

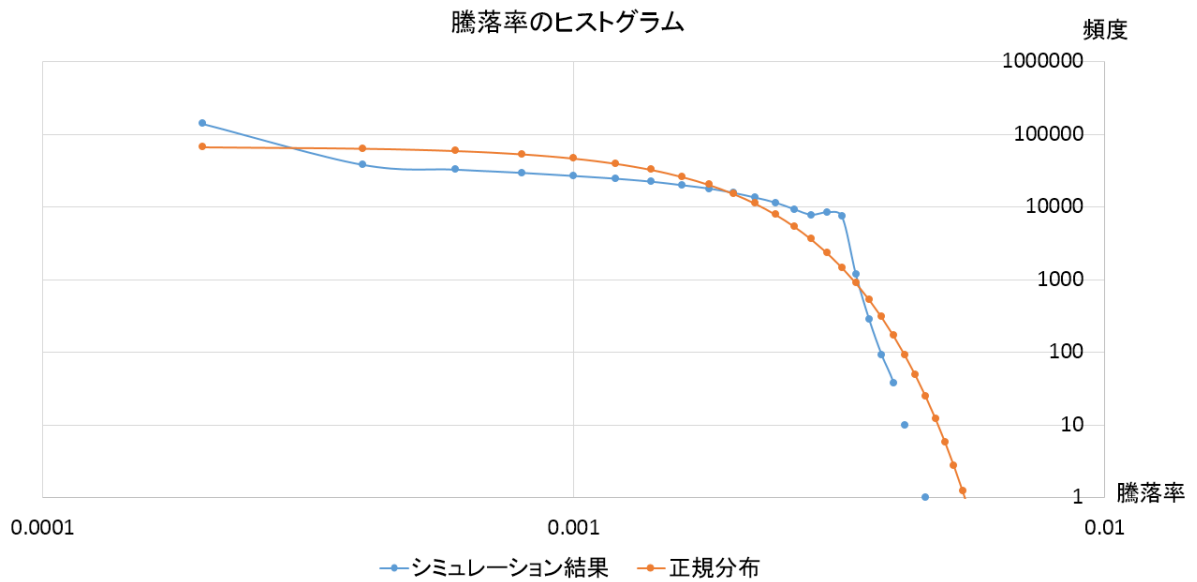


図7 騰落率の分布 (取引市場2つ,  $\theta_{pm} = 0.3\%$  のPMMあり,  $\Delta P_A, \Delta P_B = 0.001\%$ , 両対数グラフ)

### 3.4 シェア変動のメカニズム

マーケットメイカーのスプレッドが取引市場 A のスプレッドの平均値  $\bar{\theta}_A$  より大きい場合においても、取引市場間で出来高シェアが移動するメカニズムを分析した。図 8、図 9 では競合市場である取引市場 A のビッド・オファー・スプレッドを赤、マーケットメイカーの注文及びスプレッドを青で記述している。通常、図 8 のようにマーケットメイカーのスプレッドは競合市場である取引市場 A のビッド・オファー・スプレッドより広がっている。しかし図 9 の左のように、取引市場 A の板が薄くなる状況下で最良気配付近の大量の注文が瞬時に約定すると、一時的にビッド・オファー・スプレッド  $\theta_A$  がマーケットメイカーのスプレッドより広くなり、図 9 の右のような状況となる。そしてマーケットメイカーの注文が約定される。これがきっかけとなり、スタイライズドトレーダーの指値注文が集まり、板が厚くなる。そして市場のビッド・オファー・スプレッドが狭くなり、成行注文も集まるようになる。この繰り返しによって 500 営業日といった長い時間を掛けてシェアが移動することが確認された。

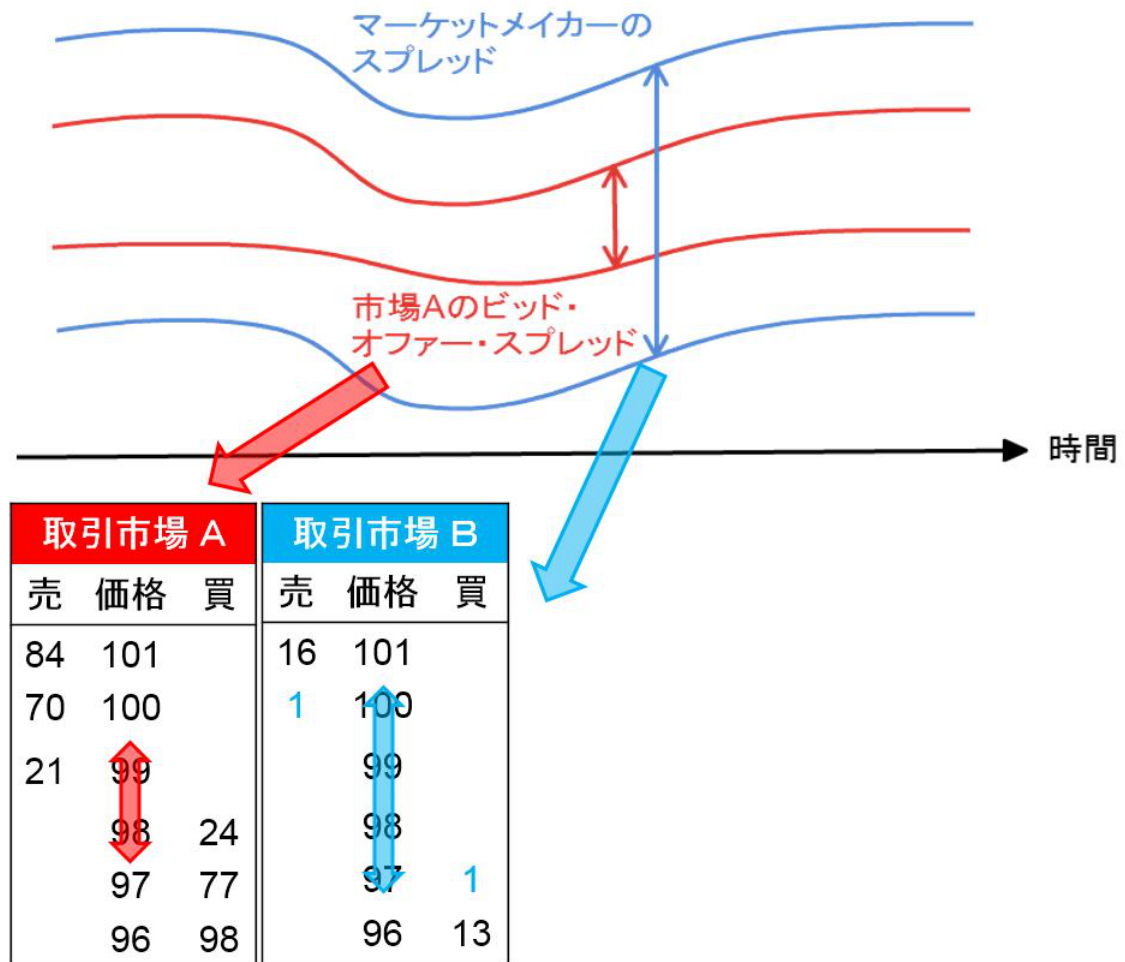


図 8 シェア推移のメカニズム (平常時)

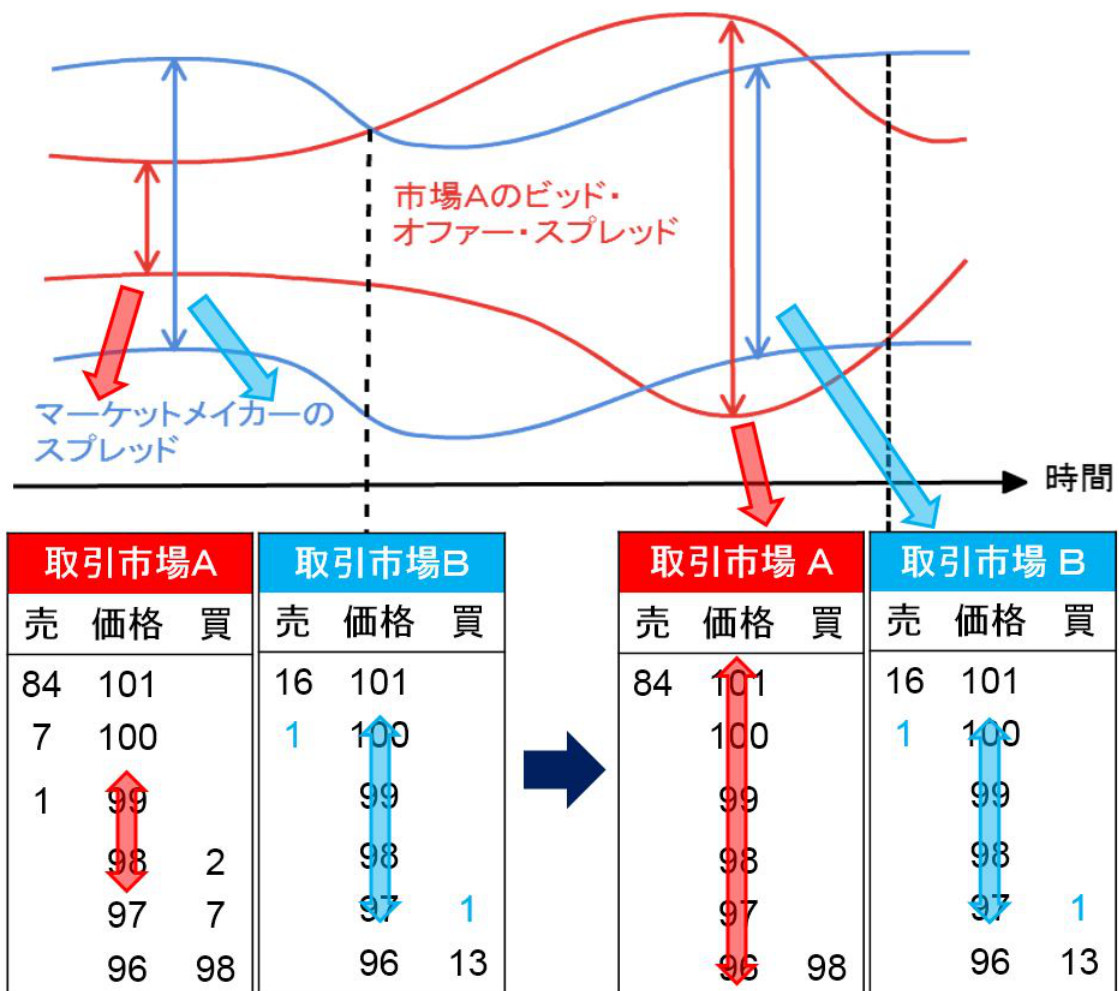


図9 シェア推移のメカニズム（マーケットメイカー約定時）

### 3.5 まとめ

本章では人工市場シミュレーションを用いて、2市場間のティック・サイズが等しい場合において、出来高のシェアの関係に着目し、ポジションマーケットメイカーが取引市場間の出来高シェア争いに与える影響について考察した。その結果、競合する取引市場のビッド・オファー・スプレッドの平均値より大きなスプレッドを持つマーケットメイカーであっても、競合市場からの出来高シェア獲得に貢献することが分かった。またそのメカニズムが、競合市場のビッド・オファー・スプレッドが一時的に広がることきっかけであると特定した。また実際には金融実務家の間であまり考えられていなかった、取引市場のティック・サイズやマーケットメイカーのスプレッドが小さい状況下でも利益を出すことが出来ることを確認した。スプレッドが小さい場合は取引が過剰なため、市場統計量が現実の値とかなり異なっている上にマーケットメイカーが価格形成を主導していたが、取引が適当な量であるスプレッドの場合は市場統計量は現実の値と大きく違わず、市場間のシェア争いに貢献していることが分かった。



## 4 マーケットメイカーの市場間競争への影響～市場間ティック・サイズが異なる場合～

### 4.1 はじめに

前章の3章では、取引市場間のティック・サイズが等しい場合に、ポジションマーケットメイカーが取引市場間の出来高シェア争いに与える影響を分析した。本章では、取引市場間のティック・サイズが異なる場合に、ポジションマーケットメイカーが取引市場間の出来高シェア争いに与える影響を分析する。というのも、取引市場間のティック・サイズの違いもまた取引市場間競争に影響を与える。本章ではマーケットメイカーと市場間ティック・サイズの違いの市場間競争に対する影響度の大小関係や相互作用について考察する。図10に前章と本章のシミュレーションで用いた、2つの取引市場のティック・サイズの組み合わせをまとめた。

本章でも表1で記したパラメータを用いる。ただし加えて、初期値として  $W_A = 0.5$  とした。これは取引所Aの初期シェアが50%であり、3章の初期シェアとは異なっている。またマーケットメイカーの個体数は1、ポジションマーケットメイカーのポジション考慮度が  $w_{pm} = 0.00000005$  である点は3章と同じである。これらのパラメータの組み合わせについて、乱数系列を変えて100回ずつシミュレーション実験を行った。

ここではティック・サイズが相対的に小さいがポジションマーケットメイカーが存在しない取引市場Aと、ティック・サイズが相対的に大きいがポジションマーケットメイカーが存在する取引市場Bの2つの市場間での出来高シェア争いについて分析した。[水田他(2013)]によると、ティック・サイズは小さいほうが取引高シェアを獲得できるが、競合する取引市場のティック・サイズがある程度小さい(短期ボラティリティ以下のティック・サイズのこと。今回のシミュレーションの場合は0.05%より

ティック・サイズ組み合わせ	取引市場B 0.0001%	取引市場B 0.001%	取引市場B 0.01%	取引市場B 0.05%	取引市場B 0.1%
取引市場A 0.0001%					
取引市場A 0.001%					
取引市場A 0.01%					
取引市場A 0.05%					
取引市場A 0.1%					

3章の組み合わせ4章の組み合わせ

図10 実験で用いるティック・サイズの組み合わせ

小さい場合) と、ティック・サイズのさらなる切り下げは影響を及ぼさないとされている。というのも、ティック・サイズの変更によって短期ボラティリティが小さくならからである。本章の目的は、市場間のティック・サイズの大きさの違いとポジションマーケットメイカーの市場間競争に与える影響度の大小関係を調べることである。

## 4.2 マーケットメイカーがいない場合

最初に比較対象として、マーケットメイカーがいない取引市場が2つある場合において、出来高シェアの移り変わりに対して取引市場間のティック・サイズの違いが与える影響について分析した。取引市場 A と取引市場 B は、初期の出来高シェアとティック・サイズの大きさ以外は全く同じである。繰り返しになるが、取引市場 A と取引市場 B の初期シェアは等しく 50% である一方で、ティック・サイズは取引市場 A の方が取引市場 B よりも小さい (図 10)。本質的な結果は [水田他 (2013)] と同じであるが、今回は初期のシェアを取引市場 A、取引市場 B とともに 50% にしたため ([水田他 (2013)] では主に初期シェアが 9:1 の場合の分析がなされている)、さまざまなティック・サイズでの 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェアを表 11 にし、出来高シェアが 0% 以上 20% 未満を橙、20% 以上 80% 未満を黄、80% 以上を青に色付けしてある。表 11 より、短期ボラティリティよりティック・サイズが小さい 0.01% 以下の場合 (表 11 の黄) では、シェアが完全に奪われていない。一方で、短期ボラティリティよりティック・サイズが大きい 0.05% 以上の場合 (表 11 の橙) はシェアを完全に奪われている。これより、[水田他 (2013)] で確認された結果が再現されている。この表 11 の結果と、後のポジションマーケットメイカーがいる場合の取引市場 B の 500 日営業日後のシェアを比較する。

表 11 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア (MM なし)

100試行の平均値	取引市場BのTick size (%)				
取引市場AのTick Size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
0.0001%		46.9%	23.8%	0.4%	0.0%
0.001%			24.8%	0.4%	0.0%
0.01%				0.4%	0.0%
0.05%					0.1%
0.1%					

## 4.3 ポジションマーケットメイカーがいる場合

### 4.3.1 取引市場のシェア

市場間でティック・サイズが異なる取引市場が2つある場合において、出来高シェアの移り変わりに対してポジションマーケットメイカーが与える影響について分析した。本節のシミュレーションでも前節と同様に、取引市場 A と取引市場 B の初期シェアは等しく 50% である一方で、ティック・サイズは取引市場 A の方が取引市場 B よりも小さい (図 10)。

表 12, 表 13, 表 14, 表 15 は両市場のティック・サイズ  $\Delta P_A$ ,  $\Delta P_B$  とスプレッド  $\theta_{pm}$  を変化させた

場合の 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェアを表にし、出来高シェアが 0% 以上 20% 未満を橙、20% 以上 80% 未満を黄、80% 以上を青に色付けしたものである。これらの表は 3 章の表 8 に対応している。表 12 から、取引市場間のティック・サイズがかなり大きく違うことによりシェアが移り変わりが確認されているティック・サイズの組み合わせ (表 11 の橙, [水田他 (2013)] でも確認されている) でもスプレッド  $\theta_{pm}$  が 0.1% のポジションマーケットメイカーは、シェアを取引市場 A から奪うことが出来ている。一方でスプレッド  $\theta_{pm}$  が 0.4% のポジションマーケットメイカーは十分に機能していないことも分かる。またスプレッド  $\theta_{pm}$  が 0.3% のポジションマーケットメイカーの場合は、ティック・サイズが短期ボラティリティより小さい組み合わせの場合はシェアを完全に奪えているが (表 14 の青), それ以外の組み合わせではシェアを完全に奪えていなかったり, また取引市場 A にシェアを奪われていたりする。表 8 と表 14 を比べると、市場間ティック・サイズが等しい場合と比べてポジションマーケットメイカーが市場間競争に与える影響が減少していることが分かる。そのため、適切なマーケットメイカーのスプレッドは 2 つの取引市場のティック・サイズからその都度判断する必要があると考えられる。

表 12 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア ( $\theta_{pm} = 0.1\%$  の PMM あり)

100試行の平均値	取引市場BのTick size (%)				
取引市場AのTick Size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
0.0001%		100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.001%			100.0%	100.0%	100.0%
0.01%				100.0%	100.0%
0.05%					100.0%
0.1%					

表 13 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア ( $\theta_{pm} = 0.2\%$  の PMM あり)

100試行の平均値	取引市場BのTick size (%)				
取引市場AのTick Size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
0.0001%		100.0%	100.0%	99.9%	79.4%
0.001%			100.0%	99.9%	77.0%
0.01%				100.0%	77.4%
0.05%					87.3%
0.1%					

表 14 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア ( $\theta_{pm} = 0.3\%$  の PMM あり)

100試行の平均値	取引市場BのTick size (%)				
取引市場AのTick Size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
0.0001%		99.7%	98.4%	42.8%	12.9%
0.001%			98.8%	37.7%	13.4%
0.01%				40.5%	12.5%
0.05%					13.7%
0.1%					

表 15 500 営業日後の取引市場 B の出来高シェア ( $\theta_{pm} = 0.4\%$  の PMM あり)

100試行の平均値	取引市場BのTick size (%)				
取引市場AのTick Size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
0.0001%		66.5%	42.5%	3.0%	2.7%
0.001%			41.4%	3.3%	1.8%
0.01%				3.2%	1.7%
0.05%					4.0%
0.1%					

#### 4.4 まとめ

本章では人工市場シミュレーションを用いて、ポジションマーケットメイカーがいる取引市場と競合する取引市場のティック・サイズが異なる場合について、2市場間の出来高のシェアの関係に着目し、ポジションマーケットメイカーが取引市場間の出来高シェア争いに与える影響について考察した。結果として、ポジションマーケットメイカーは適切なスプレッドを与えることで、ティック・サイズの違いによってシェアが流出するのを防ぐ有効な手段であることが分かった。またその際に、マーケットメイカーが存在する取引市場のティック・サイズの大きさによってマーケットメイカーの効果が大きく違うことが示された。取引市場間のティック・サイズが異なる場合は取引市場間のティック・サイズが等しい場合と比べて、ポジションマーケットメイカーの効果が相対的に小さくなるため、ポジションマーケットメイカーの重要なパラメータであるスプレッドは競合市場を含めたすべての市場のティック・サイズを踏まえて検討し、決定する必要があると考えられる。

## 5 結論

### 5.1 まとめ

本研究では、以下の3つの点を明らかにするため、人工市場モデルを用いたシミュレーションを行い、2つの取引市場A及び取引市場Bがある場合に、どのようにシェアが移り変わるかを分析した。

1. マーケットメイカーの取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度及びメカニズム。
2. ティックサイズが等しい2つの取引市場において、マーケットメイカーの取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度は取引市場のティック・サイズの大きさに依存するか。
3. ティック・サイズが異なる2つの取引市場において、マーケットメイカーの取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度と取引市場間のティック・サイズの違いが取引市場間の出来高シェア競争に与える影響度の関係。

本研究の分析から、それぞれの点について以下の知見が得られた。まず1については、ポジションマーケットメイカーが存在する場合と存在しない場合とをそれぞれ比較した結果、ポジションマーケットメイカーは市場に流動性を提供し、競合市場から出来高シェアを奪うことに貢献することが分かった。その際、競合する取引市場のビッド・オファー・スプレッドより大きいスプレッドを持つポジションマーケットメイカーであってもシェア獲得に貢献できる。そのメカニズムを分析した結果、競合している取引市場のビッド・オファー・スプレッドが一時的に広くなり、ポジションマーケットメイカーのスプレッドが相対的に狭くなり約定することによるものだと分かった。またポジション管理について、[草田他(2014)]のシンプルマーケットメイカーの抱えるポジション(保有資産)は、一時的にかなり偏ったものとなっていた。現実市場のマーケットメイカーは自身の抱えるポジション管理を正しく行っているため、リスク管理の観点から、ポジションマーケットメイカーの結果の方が現実的なものであると言える。ただし今回のシミュレーションでは、両方のマーケットメイカーとも取引市場間の出来高シェア競争に貢献できると分かった。

次に2については、両取引市場のティック・サイズが十分に小さい場合、マーケットメイカーが存在する市場においても、ティック・サイズのさらなる切り下げは取引市場間の出来高シェア競争にあまり影響を及ぼさないことが分かった。しかし、取引市場のティック・サイズが短期ボラティリティより大きい場合である0.05%以上の場合には、取引市場のティック・サイズは小さいほうがマーケットメイカーの影響は大きくなることが分かった。これはマーケットメイカーの希望する価格で注文を出せる確率が取引市場のティック・サイズが小さいほうが高くなり、より多く取引を行うことが出来るためである。市場が安定している場合においては、1取引あたりの利益はスプレッドの値とほとんど同じであるため、取引量が増える可能性のあるティック・サイズが小さい市場のほうが有利なのである。

最後に3については、取引市場間競争に対するマーケットメイカーの影響と取引市場間のティック・サイズの大きさの違いによる影響の大小関係について分析した。これは取引市場間のティック・サイズの大小関係とマーケットメイカーのスプレッドの2つのパラメータに依存することを示した。またそれらを網羅的に調べ、市場間のティック・サイズが等しい場合と比較した結果、マーケットメイカーは取

引市場間での出来高シェアを獲得する有効な手段であるが、その効果は市場間のティック・サイズの違いに依存するため、市場環境に応じたスプレッドを決定する必要があることを示した。

## 5.2 議論

本研究の結果を踏まえて以下の問題を考える。

まずマーケットメイカーがどの位の大きさのスプレッドを持っていると市場の流動性を高めて、個人投資家や機関投資家の取引を円滑にしやすくなるのかに関して考察する。ティック・サイズが市場間で等しい場合は、スプレッドがファンダメンタル価格に対して 0.3% 以下のマーケットメイカーは本研究において機能すると言える (完全にシェアの獲得に貢献すると言える)。これは競合する取引市場の平均的なビッド・オファー・スプレッドよりも大きい場合でも機能していることを意味していた。実務家の間では、マーケットメイカーのスプレッドは小さくあるべきだと考えられがちだが、実際は、必ずしも競合する取引市場の平均的なビッド・オファー・スプレッドより小さいスプレッドを提示する必要はないのである。また、あまりにスプレッドが小さい場合は市場に対するインパクトが大きい。本シミュレーションでは取引が過剰になってしまうので、マーケットメイカー主導による価格形成がおこっていた。さらに市場統計量の値も現実のものとは少し異なっていた。従って、マーケットメイカーは利益ばかりを重視せずに、市場環境に与える影響も考慮して現実的なスプレッドを選択する必要があると考えられる。またマーケットメイカーが存在する取引市場より小さいティック・サイズを採用している競合市場が存在する場合、競合する取引市場のティック・サイズの大きさも考慮して、ありうるべきマーケットメイカーのスプレッドを決定するべきだと示唆される。

次に今後ティック・サイズが変更された場合のマーケットメイカーはどのようなものにするべきなのかに関して考察する。この問題は、ティック・サイズの変更によって実際の 1tick ごとのボラティリティが変化するかどうかによってマーケットメイカーのスプレッドは依存する。仮に市場のティック・サイズが切り下げられた場合に、短期のボラティリティに変化がない場合 (本シミュレーションではティック・サイズ 0.05% 未満)、マーケットメイカーの効果に大きな影響は無いため、変更前のマーケットメイカーのスプレッドでもマーケットメイクを十分に行うことが出来ると考えられる。一方でティック・サイズの切り下げによって、短期ボラティリティが変化する場合 (本シミュレーションではティック・サイズ 0.05% 以上)、マーケットメイカーの効果は強くなるためスプレッドを変更する等 (スプレッドを大きくする) の対処が必要になる場合がある。

最後に取引市場は取引市場間の出来高シェア競争においてどの制度により注力すべきなのかに関して考察する。取引市場は現在マーケットメイカーを導入している市場としていない市場が存在しているが、流動性が低い市場には積極的にマーケットメイカーを導入していくべきであると考えられる。というのもマーケットメイカーは少なくとも市場が安定している場合は、マーケットメイク機能を果たす。さらに一般投資家が投資を行う相対をすることで価格発見機能を高める役割を担い、また他の市場からのシェアを獲得するほどに強力な手段であると考えられる。ただし、強力な手段であるがゆえにスプレッドを決定する際には慎重にならなければならないと示唆される。

### 5.3 今後の課題

今後の課題としては、以下の2つが課題として考えられる。

- (1) 本研究では、ファンダメンタル価格を1000000と一定にしてシミュレーションを行っている。そのためマーケットメイカーにとっては、利益を上げやすい市場環境といえる。現実の株式市場ではファンダメンタル価格は決算等の影響を受けて変化する。またファンダメンタル価格は、リーマンショックやバブル等の市場全体に与える大きな影響もを受けて変化する。そのため本研究においても、ファンダメンタルが急落する場合や徐々に価値が向上する場合等のシミュレーションを行う必要がある。
- (2) マーケットメイカーについて、本研究では2種類の投資戦略を実装して、それぞれの影響を分析した。しかし、実際の取引市場には複数のマーケットメイカーが存在し、それらすべてのマーケットメイカーが同じ投資戦略を取っているとは考えにくい。従って投資戦略の異なるマーケットメイカーが複数存在する場合のシミュレーションが必要になる。これも今後の課題である。

### 参考文献

- Adhami, A. A. 2010. A multi agent system for real time adaptive smart order routing in non-displayed financial venues (dark pools). School of Informatics University of Edinburgh.
- Chen, S.-H., Chang, C.-L., Du, Y.-R. 2012. Agent-based economic models and econometrics. Knowledge Engineering Review, 27 (2), 187–219.
- Chiarella, C., Iori, G., Perelló, J. 2009. The impact of heterogeneous trading rules on the limit order book and order flows. Journal of Economic Dynamics and Control, 33 (3), 525–537.
- Cont, R. 2001. Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues. Quantitative Finance, 1, 223–236.
- Darley, V., Outkin, A. V. 2007. Nasdaq Market Simulation: Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems. World Scientific Publishing Co., Inc.
- Friedman, D. 1993. The double auction market institution: A survey. The Double Auction Market: Institutions, Theories, and Evidence, 3–25.
- 深見泰孝 2012. 「市場間競争の導入とその影響—オーストラリアを事例に、」, 『証券レビュー』, 52 (10), 135–152.
- GoldmanSachsIndia 2013. Features list of the systems for smart order routing and the applicable terms and conditions. <http://www.goldmansachs.com/worldwide/india/disclosures-docs/sor-terms-conds.pdf>.
- Hagströmer, B., Nordén, L. 2013. The diversity of high-frequency traders. Journal of Financial Markets, 16 (4), 741–770.
- 井上武 2007. 「米国株式市場間競争のもう一つの側面」, 『野村資本市場クォーターリー』 (冬号), 123–135.
- 2009. 「新たな段階に入った欧州の取引所間競争」, 『野村資本市場クォーターリー』 (冬号), 178–195.

- 草田裕紀・水田孝信・早川聡・和泉潔・吉村忍 2014. 「人工市場シミュレーションを用いたマーケットメーカーのスプレッドが市場出来高に与える影響の分析」, 『JPX ワーキング・ペーパー』 (5), 日本取引所グループ.
- LeBaron, B. 2006. Agent-based computational finance. *Handbook of computational economics*, 2, 1187–1233.
- 水田孝信 2012. 「金融市場における最新情報技術: 1. 金融の役割と情報化の進展-市場の高速化と課題-」, 『情報処理』, 53 (9), 892–897.
- 水田孝信・早川聡・和泉潔・吉村忍 2013. 「人工市場シミュレーションを用いた取引市場間におけるティックサイズと取引量の関係性分析」, 『JPX ワーキング・ペーパー』 (2), 日本取引所グループ.
- Murase, Y., Uchitane, T., Ito, N. 2014. A tool for parameter-space explorations. *Proceedings of 27th Annual the Center for Simulational Physics Workshop* <https://www.csp.uga.edu/Workshop/2014/>.
- Nakajima, Y., Shiozawa, Y. 2004. Usefulness and feasibility of market maker in a thin market. In *ICEES(International Conference Experiments in Economic Sciences)*.
- 太田亘・宇野淳・竹原均 2011. 『株式市場の流動性と投資家行動—マーケット・マイクロストラクチャー理論と実証』, 中央経済社.
- 大崎貞和 2012. 「期待される PTS 利用の拡大」, 『金融 IT フォーカス』 (9 月号), 8–9.
- 清水葉子 2013. 「HFT, PTS, ダークプールの諸外国における動向～欧米での証券市場間の競争や技術革新に関する考察～」, 『金融庁金融研究センターディスカッションペーパー』.
- 杉原慶彦 2010. 「取引コストの削減を巡る市場参加者の取組み: アルゴリズム取引と代替市場の活用」, 『日本銀行金融研究所ディスカッション・ペーパー・シリーズ』 (J-26).
- Turner, S., Farmer, J., Geanakoplos, J. 2012. Leverage causes fat tails and clustered volatility. *Quantitative Finance*, 12 (5), 695–707.
- 東京証券取引所 2010. 「arrowhead(東証株式売買システム) の (1)IT Japan Award2010 経済産業大臣賞 (グランプリ) 受賞及び (2)arrowhead 稼働後 6 ヶ月の運転状況について」, <http://www.tse.or.jp/news/30/b7gje6000000rmw5-att/b7gje6000000rrr5.pdf>.
- 2012. 「東証公式株式サポーター 株式取引編 第 5 版」.
- 宇野淳 2012. 「株式取引の市場間競争—上場株取引の市場分散と価格形成—」, 『証券アナリストジャーナル』, 50 (9), 6–16.
- Wang, C., Izumi, K., Mizuta, T., Yoshimura, S. 2013. Investigating the impact of trading frequencies of market makers: a multi-agent simulation approach. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration*, 6 (3).