

# 人工市場を用いたショートサイドの市場非効率性に関する分析

## Analysis of the market inefficiency on the short side using an artificial market

則武 誉人<sup>1\*</sup>      逸見 龍太<sup>1</sup>      水田 孝信<sup>2</sup>  
Yoshito Noritake<sup>1</sup>    Ryuta Hemmi<sup>1</sup>    Takanobu Mizuta<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 三井住友 DS アセットマネジメント株式会社  
<sup>1</sup> Sumitomo Mitsui DS Asset Management Company, Limited  
<sup>2</sup> スパークス・アセット・マネジメント株式会社  
<sup>2</sup> SPARX Asset Management Co., Ltd.

**Abstract:** 人工市場モデルを用いて、約定価格がファンダメンタル価格を上回るショートサイド（割高）の非効率性はどのような要因で顕在化するかを分析した。エージェントが出す買いと売りの注文数量に差を設け、買いの数量に対して売りの数量を少なくした場合は、市場非効率性のうちショートサイドの内訳がロングサイド（割安）のそれを上回った。一方で、エージェントの注文価格の決定に用いられるファンダメンタル価格を緩やかに上昇させた場合は、ショートサイドの内訳がロングサイドのそれを上回ることが確認できなかった。また、ショートサイドの市場非効率性が顕在化するメカニズムは、ファンダメンタル価格から一定の範囲で板に提示される売注文の数量が買注文と比べて少なくなり、買注文によるマーケットインパクトが大きくなることで、最良売気配の価格がファンダメンタル価格から乖離することを議論する。

## 1 はじめに

価格の非効率性は証券（株式）市場に投資するアルファの源泉として位置づけられているが、ロングサイドよりもショートサイドにおいて、より大きい非効率性があることが議論されている。

主要な要因の一つは、空売りに関する制約により、割安とされる銘柄への投資よりも割高とされる銘柄への投資（空売り）が少ないためという仮説が挙げられる [1]。例えば空売りするための株式は貸借取引などを通じて調達される<sup>\*1</sup>が、貸株に充てられる在庫の不足や調達に伴うコストの上昇など、空売りを行う上で様々な制約が存在する。これら空売りの制約の存在によって、価格が下落することへの懸念が実際の投資に反映されにくいというのがこの仮説の趣旨である。

もう一つの主要な要因は、公表される情報の内容に偏向があるためという仮説が挙げられる。例えば [2] は米国企業による開示情報のヒストリカルデータを用いて時系

列での類似性を測り、会計報告の用語や構造などの変更がその企業の事後のリターンにネガティブに影響することに着目した。また、[3] は証券会社から出された新規の投資の推奨に関して、売り推奨よりも買い推奨が多いという調査結果を示した<sup>\*2</sup>。この背景は、ポジティブな情報は投資家に対して積極的に公表される一方で、ネガティブな情報の公表には経営者やアナリストらが消極的もしくは硬直的になりやすくなることが考えられる [1]。

しかし、現実の価格形成には様々な要素が加わるため、上に挙げた要因が個別に変化した場合にどのような影響があるのかという議論や、影響があるのだとすればそれはどのようなメカニズムなのか考察することは実証研究を介してだけでは難しい。そこで、コンピューターで証券市場を模したエージェントベースモデルを作り検証する、人工市場シミュレーションの手法を用いる。なお、人工市場シミュレーションで用いるモデルを人工市場モデルと呼ぶ。

人工市場モデルでは投資家を模倣した複数のエージェントと、模倣した取引所を設け、シミュレーションその

\* E-mail: yoshito.noritake@gmail.com

<sup>\*1</sup> 本邦においては、ネイキッド・ショート・セリング（売付けの際に株の手当てがなされていない空売り）が禁止されているため。

<sup>\*2</sup> 売り推奨の場合と買い推奨の場合で、市場の反応が非対称であることも指摘している。

ものはコンピューター内で完結する\*3。そして、投資家による売りの発注に制約がある状況と、ポジティブな内容の情報がより多く公表される状況をそれぞれ疑似的にモデル化し、要因（パラメータ）を個別に変化させることで、シミュレーションによって約定した価格とエージェントの注文価格の決定に用いられるファンダメンタル価格の乖離（市場非効率性）のうち、ショートサイド、すなわちファンダメンタル価格を上回る割高側の内訳が取引終了時に大きくなるかを検証する。最終的に、ショートサイドの市場非効率性が顕在化するメカニズムについても考察する。

## 2 人工市場モデル

本研究では [6] をベースに、分析の目的を果たせる範囲でできるだけシンプルな人工市場モデルを構築した。[4] によれば、多くの場合は複雑なエージェントベースモデルを用いても再現できる stylized fact、すなわち実際の市場にみられる統計的性質の種類が増えないことが報告されている。また、パラメータが多く複雑なモデルほど結果の考察が困難になるため、本研究でも実際の市場を完全に再現することは目的としていない。

同時に、本研究では平常時の市場における取引を想定し、シミュレーションで個別に変化させるパラメータ\*4は元の値から大きな違いが生じないように決定した。この理由は、本研究の人工市場モデルでの約定方法が後述の通り連続ダブルオークション方式（ザラバ方式）であり、極端なパラメータを当てはめたことで急激な価格変動が頻発するようなシミュレーションになってしまうと、通常のザラバ方式だけでは価格決定メカニズムを再現したとは言いきれないためである\*5。

空売りに焦点を当てた人工市場シミュレーションの研究は [7] などが当てはまるが、本研究の分析目的のような、約定価格がファンダメンタル価格から乖離する非効率性のうち、ショートサイドとロングサイドの非対称性に着目した研究は見当たらない。また、エージェントの注文価格の決定に用いられるファンダメンタル価格の変化に関しても、[7] のようにある時点で急落をさせる研究は存在するが、平常時に公表される情報の内容に着目したような、より緩やかな変化を取り扱った研究も見当たらない。

\*3 このため、実際の株式市場とは独立した分析である点は留意されたい。

\*4 後述するパラメータ  $q$  と  $d$  である。

\*5 現実の株式市場における特別気配の仕組みを設けるなど、モデルをより複雑にする必要があるとも考えられる。

### 2.1 取引のプロセス

本モデルは1つの証券を取引対象とする\*6。価格決定メカニズムは売り手と買い手の双方の注文で提示価格が合致すると、同じ数量の注文がその価格で直ちに約定するザラバ方式とする。

投資家として  $n$  体のエージェントを用意し、エージェント  $j = 1$  から順番に  $j = 1, 2, 3, \dots$  と注文を出す。エージェント  $j = n$  まで注文を出すと、次の時刻には最初のエージェント  $j = 1$  から発注が繰り返される。時刻  $t$  はエージェント 1 体が発注するごとに  $t = 1, 2, 3, \dots$  と 1 ずつ増える。つまり、注文を出しただけで約定が無い場合も時刻は進む。

エージェント  $j$  は注文価格と売り買いの別を以下のように決定する。時刻  $t$  にエージェント  $j$  が予想する価格の変化率（予想リターン） $r_{e,j}^t$  は、

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

ここで、 $w_{i,j}$  はエージェント  $j$  の第  $i$  項目の重みであり、シミュレーションで参照する乱数表の決定時にそれぞれ 0 から  $w_{i,max}$  までの一様乱数として定める。また、 $u_j$  はエージェント  $j$  の第 3 項目の重みであり、0 から  $u_{max}$  までの一様乱数として定める。 $\log$  は自然対数である。 $P_f^t$  は時刻  $t$  でのファンダメンタル価格、 $P^{t-1}$  は時刻  $t-1$  での約定価格（時刻  $t-1$  で約定が無かった場合は、最も近い時刻の価格を参照する。ただし  $t=1$  の時、 $P^{t-1} = P_f^1$  とする\*7。） $\epsilon_j^t$  は時刻  $t$ 、エージェント  $j$  の攪乱項であり、平均 0、標準偏差  $\sigma_\epsilon$  の正規分布に従う乱数である。 $r_{h,j}^t$  は時刻  $t$  にエージェント  $j$  が計測した過去リターンであり、 $r_{h,j}^t = \log(P^{t-1}/P^{t-\tau_j-1})$  である。ここで、 $\tau_j$  は乱数表の決定時に 1 から  $\tau_{max}$  までの一様乱数としてエージェントごとに定める。

式 (1) (分子) の第 1 項目は約定価格とファンダメンタル価格の乖離に基づき投資を判断するファンダメンタル投資家の成分である。 $P^{t-1}$  がファンダメンタル価格と比較して安（高）ければプラス（マイナス）の予想リターンを示す。第 2 項目は過去の価格変化に基づき投資を判断するテクニカル投資家の成分である。 $r_{h,j}^t$  がプラス（マイナス）ならプラス（マイナス）の予想リターンを示す。第 3 項目はノイズを表す。

\*6 コーポレートアクションなどによる価値の変化は無いと仮定する。

\*7 後述する  $P^{t-\tau_j-1}$  も同様に扱う

続いて予想価格  $P_{e,j}^t$  は、

$$P_{e,j}^t = P_{e,j}^{t-1} \exp(r_{e,j}^t) \quad (2)$$

として求まる。注文価格  $P_{o,j}^t$  は平均  $P_{e,j}^t$ 、標準偏差  $P_\sigma^t$  の正規分布に従う乱数である。 $P_\sigma^t$  は式 (3) で求まる。

$$P_\sigma^t = P_{e,j}^t \sigma \quad (3)$$

売り買いの別は予想価格  $P_{e,j}^t$  と注文価格  $P_{o,j}^t$  の大小関係で決まる。すなわち、

$$\begin{aligned} P_{e,j}^t > P_{o,j}^t &\text{なら買い} \\ P_{e,j}^t < P_{o,j}^t &\text{なら売り} \end{aligned} \quad (4)$$

と定める(ただし、時刻  $t \leq 20,000$  は板構築期間として、式 (4) によらず  $P_{o,j}^t > P_f^1$  ならば売り、逆に  $P_{o,j}^t < P_f^1$  ならば買いと定める。)。注文価格の変化幅の最小単位(ティックサイズ)は  $\delta P$  とし、それより小さい端数は調整する\*8。

本モデルではザラバ方式で価格が形成されるため、買(売)注文が提示した価格よりも安い売りの(高い買いの)注文が板に存在すれば、価格優先の原則に沿って順次約定する。時刻  $t$  に出された注文によって約定した価格を  $P^t$  とみなす\*9。注文が全て約定しなかった場合は板に残す。注文が板に残ってから時刻  $t_e$  だけ経過しても約定しない場合はキャンセルされる。また、全てのエージェントは取引が終了する時刻  $t_e$  まで、注文を順番 ( $j = 1, \dots, n$ ) に何回でも出すことができる(キャッシュが無限大)。

## 2.2 売りの発注に制約がある状況

本研究では [6] からの違いとして、売注文の数量が買注文よりも平均的に少ない状況をシミュレーションできるようにした。なぜなら、キャッシュがあれば買いの発注に制約はないが、空売りには株式を調達する必要があるほか、貸株に充てられる在庫の不足や調達コストの上昇などの制約も存在するため、投資家は買いほど自由に売りを発注できないと考えられるからである。この状況は、人工市場モデルでは買注文に対して売注文の数量が少ないというシミュレーションに一般化することができる。

具体的には、買注文の数量を 100、売注文の数量を式 (5) の通りパラメータ  $q$

$$q = \{100, 99, 98, 95, 90\} \quad (5)$$

\*8 売注文なら切り上げ、買注文なら切り下げを行う。

\*9 一度に複数の注文と約定した場合は、最後の価格を採用する。

とした。 $q = 100$  ならば買いと売りの注文の数量に差はないが、 $q$  が低くなるにしたがって売注文の数量のみが少なくなる。すなわち、パラメータ  $q$  は、市場に発注される売注文の総量がどれだけ減少するかを表す。また、取引(1回のシミュレーション)の開始から終了を通じて  $q$  の値は一定とした。

## 2.3 ポジティブな内容の情報がより多く公表される状況

また、本研究では [6] からの違いとして、エージェントが注文価格を決定する際に用いられるファンダメンタル価格が時刻の経過とともに緩やかに上昇する状況をシミュレーションできるようにした。具体的には、ファンダメンタル価格  $P_f^t$  を式 (6) の通り定義し、

$$P_f^t = \begin{cases} P_f^1 & (t \leq \text{板構築期間}) \\ P_f^1 \left(1 + d \times \frac{t - \text{板構築期間}}{\text{板構築期間}}\right) & (t > \text{板構築期間}) \end{cases} \quad (6)$$

時刻  $t_e$  におけるファンダメンタル価格の上昇率を式 (7) の通りパラメータ  $d$  (%)

$$d = \{\pm 0, +1, +2, +5, +10\} \quad (7)$$

とした。 $d = \pm 0$  であれば公表される情報の内容は均等でファンダメンタル価格も一定となるが、 $d$  が高くなるにしたがってポジティブな内容の情報がネガティブな内容の情報よりも多く公表されることを表す。 $d > 0$  の場

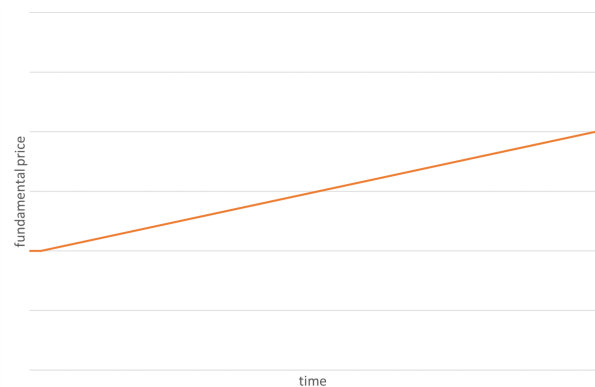


図1 ファンダメンタル価格の変化 ( $d > 0$ ).

合にファンダメンタル価格が変化するイメージを図1に示す。時刻の経過とともにファンダメンタル価格が上昇し、それに沿ってエージェントの予想価格の水準も上昇することになる。

## 2.4 市場非効率性の非対称性を測る指標

本研究では、ファンダメンタル価格と約定価格の乖離におけるショートサイドとロングサイドの内訳を測定するため、[6]に登場した市場非効率性の指標  $M_{ie}$

$$M_{ie} = \frac{1}{t_e} \sum_{t=1}^{t_e} \frac{|P^t - P_f^t|}{P_f^t} \quad (8)$$

に基づき、時刻  $t$  の約定価格  $P^t$ \*10がファンダメンタル価格より高い（ショートサイド）場合の市場非効率性  $M_{ie,ov}$ 、逆に  $P^t$  がファンダメンタル価格より低い（ロングサイド）場合の市場非効率性  $M_{ie,uv}$

$$\begin{aligned} M_{ie,ov} &= \sum_{t=1}^{t_e} \frac{|P^t - P_f^t|}{P_f^t} \quad (P^t > P_f^t) \\ M_{ie,uv} &= \sum_{t=1}^{t_e} \frac{|P^t - P_f^t|}{P_f^t} \quad (P^t < P_f^t) \end{aligned} \quad (9)$$

を新たに定義する。|| は絶対値を表す。 $d > 0$  の場合、ファンダメンタル価格の途中の上昇は  $|P^t - P_f^t|$  に含まれない。 $M_{ie,ov}$  と  $M_{ie,uv}$  は、 $M_{ie}$  と同様に 0 以上の値を取り、0 なら完全に効率的、値が大きくなればなるほど非効率であることを示す。

非効率性が確認された場合、 $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  を算出し、その結果が 0 より大きければショートサイドの内訳が大きいことが、逆に 0 より小さければロングサイドの内訳が大きいことが確かめられる。

## 3 シミュレーション結果

本研究では、人工市場モデルの所与のパラメータを  $n = 1,000$ 、 $w_{1,max} = 1$ 、 $w_{2,max} = 10$ 、 $u_{max} = 1$ 、 $\sigma_\epsilon = 0.06$ 、 $\tau_{max} = 10,000$ 、 $\sigma = 0.003$ 、 $t_c = 20,000$ 、 $\delta P = 10$ 、 $P_f^1 = 10,000,000$  と設定した。また、 $t_e = 5,000,000$  とした（各エージェントは 5,000 回ずつ発注する）。

続いて、売りの発注に制約がある状況として、 $d = \pm 0$  に固定し、式 (5) の通り  $q$  を変化させたパターンと、ポジティブな内容の情報がより多く公表される状況として、 $q = 100$  に固定し、式 (7) の通り  $d$  を変化させたパターンを（他の条件は全て揃えて）シミュレーションした。これを、結果を安定させるため乱数表を変更して 50 回ずつ繰り返した。シミュレーション後、各パターン毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  の平均値を求めた（なお、全ての結果でショートサイドとロングサイド双方に市場非効率性があったことを確認した。）。

\*10 時刻  $t$  で約定が無かった場合は、最も近い時刻の価格を参照する。

## 3.1 $q$ を変化させた時の $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$

表 1  $q$  毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$ .

$q$	100	99	98	95	90
$\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$	-0.027	1.827	2.095	3.082	5.765

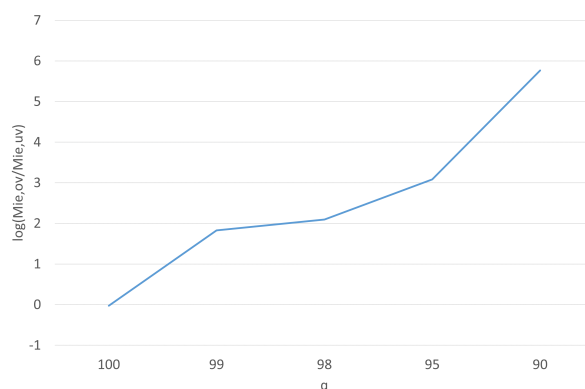


図 2  $q$  毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$ .

パラメータ  $q$  毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  を表 1 に示す（図 2 は同じ結果の折れ線グラフである。）。

$q = 100$  の場合、市場非効率性におけるショートサイドとロングサイドの内訳に大きな差は無いが、 $q$  が小さくなるにしたがって  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  は大きくなった\*11。以上より、市場に発注される売注文の数量の減少はショートサイドの市場非効率性を顕在化する結果を得た。

## 3.2 $d$ を変化させた場合の $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$

表 2  $d$  毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$ .

$d$	$\pm 0$	+1	+2	+5	+10
$\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$	-0.027	-0.033	-0.036	-0.054	-0.063

パラメータ  $d$  毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  を表 2 に示す（図 3 は同じ結果の折れ線グラフである。）。

$d = \pm 0$  の場合、市場非効率性におけるショートサイドとロングサイドの内訳に大きな差は無く、 $d$  を高くしてもショートサイドの内訳は大きくならなかった（むしろ、表 2 の結果からは  $d$  が高くなるにしたがって  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  がわずかに小さくなったことが分かる）。以上より、ファンダメンタル価格の緩やかな上昇

\*11 時系列の推移は付録 B を参照のこと。

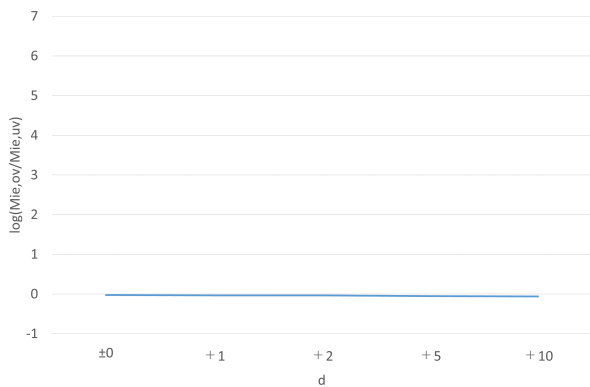


図3  $d$  毎の  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$ .

がショートサイドの市場非効率性を顕在化する結果は確認できなかった。

## 4 メカニズムの考察

本章では約定価格がファンダメンタル価格を上回る非効率性が顕在化するメカニズムを議論する。本研究では  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  の他に、メカニズムの考察のため次の3つの指標も算出した。

まず、板の厚さを算出した。具体的には、時刻  $t$  の発注が行われる前に、ファンダメンタル価格  $P_f^t$  から上下0.6%の範囲に提示された（未約定の）注文を売り買い別に集計する。集計は時刻100,000が経過するごとに行い（1回のシミュレーションで計50回集計される）\*12、計50回分の平均値を板の厚さと定義した。

次に、マーケットインパクトを算出した。ザラ場方式での約定は(A)買注文が出されたことで成立する場合と、(B)売注文が出されたことで成立する場合の2通りがあるが、具体的には、(A)の場合に（時刻  $t$  で）最良売気配の価格が変化した幅  $\Delta \text{Best Ask}^t$ 、(B)の場合に最良買気配の価格が変化した幅  $\Delta \text{Best Bid}^t$  を用いて、

$$\frac{1}{\# \text{ of execution by Buy Order}} \sum \frac{\Delta \text{Best Ask}^t}{P_f^t} \quad (10)$$

$$\frac{1}{\# \text{ of execution by Sell Order}} \sum \frac{|\Delta \text{Best Bid}^t|}{P_f^t}$$

の通り、全ての約定に対して(A)(B)別に平均した値をマーケットインパクトと定義した。

続いて、各最良気配とファンダメンタル価格のスプレッドを算出した。時刻  $t$  に発注、約定、注文のキャ

\*12 該当する注文を全て探索する処理を行うため、全ての時刻で集計を行った場合、シミュレーションの所要時間が極めて長くなる。

ンセルの処理全てが終わった後の最良売気配の価格を  $\text{Best Ask}^t$ 、最良買気配の価格を  $\text{Best Bid}^t$  として、全時刻（ただし、板構築期間を除く）の

$$\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}, \quad \frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t} \quad (11)$$

を平均した。

### 4.1 $q$ を変化させた時の各指標の結果

表3  $q$  毎の板の厚さ。

$q$	100	99	98	95	90
買い側	88,619	183,407	195,547	239,604	308,107
売り側	90,957	37,388	33,241	18,945	4,577

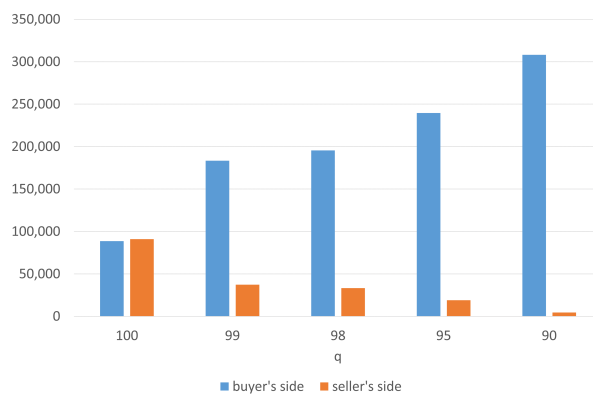


図4  $q$  毎の板の厚さ。

まずパラメータ  $q$  毎の板の厚さを買い側 (buyer's side) と売り側 (seller's side) に分けて集計した結果を表3に示す。(図4は同じ結果の棒グラフである。)  $q = 100$  の場合、板の厚さは買い側と売り側でほぼ拮抗しているが、 $q$  が小さくなるにしたがって、ファンダメンタル価格  $P_f^t$  から上下0.6%の範囲に提示された買注文の数量が増加し、反対に売注文の数量は減少した。次にパラメータ  $q$  毎のマーケットインパクトを(A)と

表4  $q$  毎のマーケットインパクト。

$q$	100	99	98	95	90
(A)の場合	0.0232%	0.0239%	0.0242%	0.0249%	0.0265%
(B)の場合	0.0232%	0.0204%	0.0203%	0.0199%	0.0193%

(B)の場合に分けて表4に示す(図5は同じ結果の棒グラフである。)。  $q = 100$  の場合、マーケットインパクトも(A)と(B)の場合でほぼ拮抗しているが、 $q$  が小さくなるにしたがって、買注文による約定が最良売気配に対

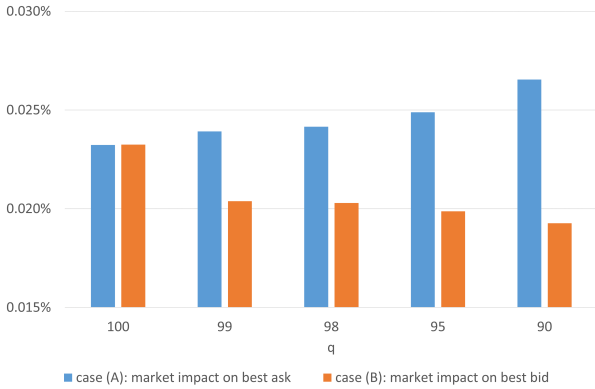


図5 q 毎のマーケットインパクト。

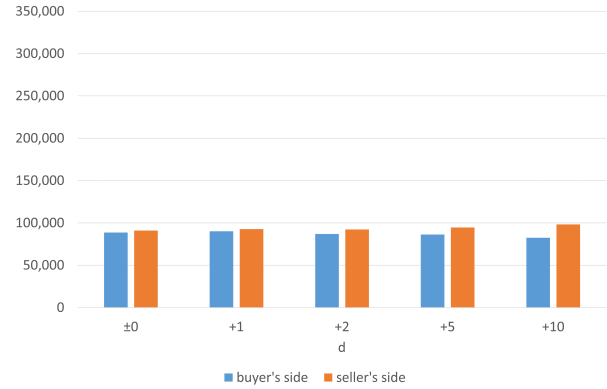


図7 d 毎の板の厚さ。

して与える変化率が大きくなり、反対に売注文による約定が最良買気配に対して与える変化率は小さくなった。続いてパラメータ q 毎の各最良気配とファンダメンタ

表5 q 毎の対ファンダメンタル価格の спреッド。

q	100	99	98	95	90
$\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}$	0.067%	0.315%	0.348%	0.466%	0.694%
$\frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$	0.075%	-0.198%	-0.231%	-0.348%	-0.574%

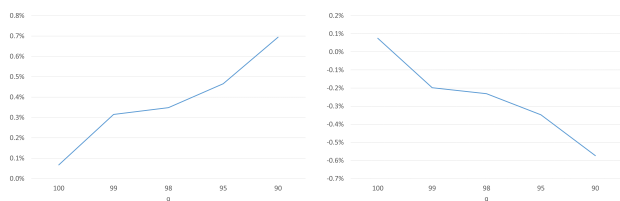


図6 q 毎の  $\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}$  (左) と  $\frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$  (右)

ル価格の спреッドを表5に示す(図6は同じ結果の折れ線グラフである)。q が小さくなるにしたがって、最良売気配はファンダメンタル価格と比べて高くなり、反対に最良買気配はファンダメンタル価格と比べて低くなった。

#### 4.2 d を変化させた時の各指標の結果

表6 d 毎の板の厚さ。

d	±0	+1	+2	+5	+10
買い側	88,619	90,165	86,974	86,359	82,496
売り側	90,957	92,712	92,194	94,525	98,234

同様にパラメータ d 毎の板の厚さを買い側と売り側に分けて集計した結果(表6と図7)、(A)と(B)の場合

表7 d 毎のマーケットインパクト。

d	±0	+1	+2	+5	+10
(A)の場合	0.0232%	0.0232%	0.0232%	0.0230%	0.0228%
(B)の場合	0.0232%	0.0233%	0.0234%	0.0235%	0.0237%

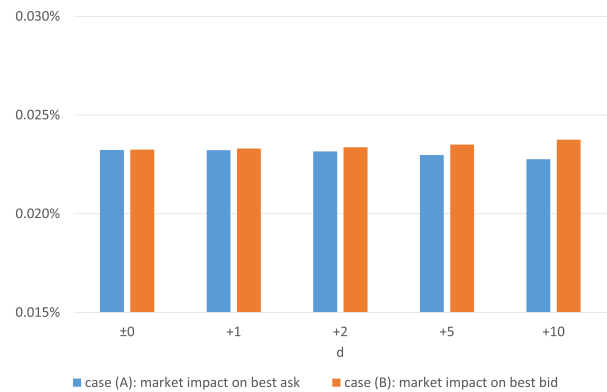


図8 d 毎のマーケットインパクト。

表8 d 毎の対ファンダメンタル価格の спреッド。

d	±0	+1	+2	+5	+10
$\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}$	0.067%	0.066%	0.065%	0.062%	0.061%
$\frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$	0.075%	0.076%	0.076%	0.079%	0.081%

別のマーケットインパクト(表7と図8)、各最良気配とファンダメンタル価格の спреッド(表8と図9)をそれぞれ示す。dが高くなった場合は、d = ±0の場合と比べて各指標の結果に生じた影響は軽微であった(わずかではあるが、dが高くなるにしたがってファンダメンタル価格  $P_f^t$  から上下0.6%の範囲に提示された売注文の数量が増加し、売注文による約定が最良買気配に与える変化率が大きくなり、最良買気配とファンダメンタル価格の спреッドが広がった。)



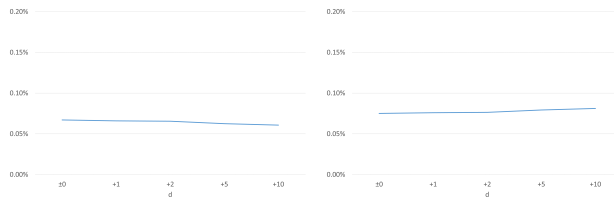


図9  $d$  毎の  $\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}$  (左) と  $\frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$  (右)

### 4.3 ショートサイドの市場非効率性が顕在化するメカニズム

パラメータ  $q$  が 100 から小さくなるにしたがって  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  は大きくなったが、同時に  $P_f^t$  から一定の範囲に提示された売注文の数量は減り、買注文による約定のマーケットインパクトが大きく、最良売気配はファンダメンタル価格と比べて高くなった。一方で、パラメータ  $d$  が高くなった場合は  $d = \pm 0$  の場合と比べて  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  に大きな変化はなく（むしろ、わずかに減少した）、板の厚さの買い側、売り側の差異、(A) と (B) 別のマーケットインパクト、各最良気配とファンダメンタル価格のスプレッドにも顕著な影響は見られなかった（むしろ  $q$  を小さくしたシミュレーションの結果と比べ、わずかに逆の傾向が見られた）。

以上より、本章で示した 3 つの指標がショートサイドの市場非効率性を顕在化するメカニズムと密接に関連していると考えられる。前述した結果と整合する、本研究の人工市場モデルで市場非効率性におけるショートサイドの内訳が大きくなったプロセスは、パラメータ  $q$  を小さくしたことでファンダメンタル価格  $P_f^t$  から一定範囲に残る売注文の数量が減少し、エージェントが買注文を（時刻  $t$  に最良売気配  $\text{Best Ask}^{t-1}$  以上の価格で）出した時に最良売気配の変化  $\Delta \text{Best Ask}^t$  が大きくなりやすくなった、その結果、最良売気配の価格  $\text{Best Ask}^t$  がファンダメンタル価格からより高く乖離し、時刻  $t+1$  以降もファンダメンタル価格  $P_f^{t+1}$  から高い水準で約定しやすくなったことである（反対にパラメータ  $d$  を高くしたことでロングサイドの内訳がわずかに増加したプロセスは、直前に約定価格が更新されなかった場合もファンダメンタル価格が上昇し、そこから一定範囲に残る買注文の数量が減少したことが一連の契機だと考えられる。）。

## まとめと今後の課題

本研究では、約定価格がファンダメンタル価格を上回るショートサイドの非効率性が顕在化する要因は、割高な銘柄への投資（空売り）が少ないためという仮説と、投資家に対して公表される情報の内容に偏向がある（ポジティブな内容がより多い）という仮説に着目した。そして [6] の人工市場モデルをベースに、売注文の数量だけを減らした場合とファンダメンタル価格が緩やかに上昇した場合のシミュレーションを行った。同時に市場非効率性におけるショートサイドとロングサイドの内訳を測定し、売注文の数量だけを減らした場合はショートサイドの内訳が大きくなることを確認した（これは [7] の結論とも整合する。）。一方でファンダメンタル価格が緩やかに上昇した場合はそのような結果は確認できなかった。

また、本研究で明らかになったショートサイドの市場非効率性が顕在化するメカニズムは、（注文板で）ファンダメンタル価格から一定の範囲に提示された売り注文の総数量が減少し、買注文（の発注価格が高い場合）のマーケットインパクトが大きくなるため、最良売気配がファンダメンタル価格と比べて高く乖離し、割高な価格で約定しやすくなったことだと考えられる。

今後の課題であるが、まず挙げられるのはファンダメンタル価格が下落するパターン（急落を含む）のシミュレーションであろう。本研究ではファンダメンタル価格の上昇と市場非効率性のショートサイドの内訳が大きくなることの関係は確認できなかったが、もしファンダメンタル価格が約定価格と比べて低い水準に下落した場合はショートサイドの市場非効率性が顕在化することも考えられる。また、ファンダメンタル価格の下落がどの程度であれば、ショートサイドの内訳の方が大きくなるかという閾値の観点からの分析も重要であろう。次に、ショートサイドで発生した市場非効率性が解消される分析も今後の課題である。本研究ではショートサイドの市場非効率性が解消されるプロセスについては言及・考察できていない。

## 留意事項

本論文の内容は筆者個人の見解です。所属組織の見解を示すものではありません。

## 参考文献

- [1] Gastineau, Gary L., Olma, Andrew R., and Zielinski, Robert G.: Equity Portfolio Management, in *CFA Program Curriculum: level III, 2018*, Vol.4, pp.254-324 (2017)
- [2] Cohen, Lauren., Malloy, Christopher., and Nguyen, Quoc.,: Lazy Prices, *The Journal of Finance*, Vol.75, No.3, pp.1371-1415 (2020)
- [3] Womack, Kent L.,: Do Brokerage Analysts' Recommendations Have Investment Value?, *The Journal of Finance*, Vol.51, No.1, pp.137-167 (1996)
- [4] Chen, S., Chang, C., and Du, Y.,: Agent-based economic models and econometrics, *The Knowledge Engineering Review*, 27(2), pp.187-219 (2012)
- [5] Cont, R.,: Empirical Properties of Asset Returns: Stylized Facts and Statistical Issues, *Quantitative Finance*, Vol.1, No.2, pp.223-236 (2001)
- [6] 水田 孝信, 則武 誉人, 早川聡, 和泉 潔: 人工市場シミュレーションを用いた取引システムの高速度が価格形成に与える影響の分析, *JPX ワーキング・ペーパー*, Vol.9, 日本取引所グループ, 2015
- [7] 水田孝信, 和泉潔, 八木勲, 吉村忍: 人工市場を用いた値幅制限・空売り規制・アップティックルールの検証と最適な制度の設計, *電気学会論文誌 論文誌 C*, Vol.133, No. 9, pp.1694-1700 (2013)

## 付録 A stylized fact の再現結果

[6] の人工市場モデルは、代表的な stylized fact として fat tail と volatility clustering を再現するよう設計されている。パラメーター  $q$  と  $d$  を変化させた場合も、これらの再現結果が損なわれていないか確認した。なお、fat tail の基準はリターンの尖度が正であること<sup>\*13</sup>、volatility clustering の基準は二乗したリターンの自己相関が正であることを指す [5] <sup>\*14</sup>。表 9 と表 10 に各統計量の 50 回分の平均値をパターンごとに示す<sup>\*15</sup>。個別の結果は省略するが、全ての  $q$  と  $d$  のパターンで 50 回とも fat tail と volatility clustering を再現した。

<sup>\*13</sup> 正規分布の尖度が 0 の時。

<sup>\*14</sup> 統計量の算出には時刻 1 が経過するごとのリターン（板構築期間を除く）を用いた。

<sup>\*15</sup>  $d = \pm 0$  の時、 $q = 100$  の場合と同じ結果になる。

表 9  $q$  毎の stylized fact.

$q$	100	99	98	95	90	
尖度	15.13	14.11	14.09	14.08	14.09	
自己相関	Lag1	0.052	0.047	0.046	0.047	0.047
	Lag2	0.052	0.046	0.046	0.046	0.046
	Lag3	0.050	0.044	0.043	0.044	0.044
	Lag4	0.047	0.042	0.042	0.042	0.042
	Lag5	0.044	0.040	0.040	0.040	0.040

表 10  $d$  毎の stylized fact.

$d$	+1	+2	+5	+10	
尖度	15.12	15.13	15.12	15.13	
自己相関	Lag1	0.052	0.052	0.052	0.052
	Lag2	0.052	0.052	0.052	0.052
	Lag3	0.050	0.050	0.050	0.050
	Lag4	0.048	0.048	0.048	0.047
	Lag5	0.045	0.044	0.045	0.045

## 付録 B 時系列でみた市場非効率性の非対称性の推移

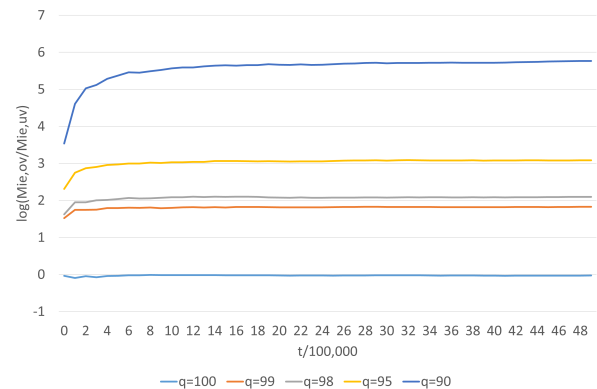


図 10 時刻 100,000 ごとの  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$ .

本文で示した  $\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$  は時刻  $t = t_e$  の結果だが、時刻 100,000 が経過するごとに同様の算出方法で市場非効率性の非対称性を測った結果を図 10 に示す。なお、本研究ではパラメーター  $q$  を小さくした場合にショートサイドの内訳が大きくなったため、式 (5) のパターンについて結果を示した。 $q < 100$  の場合、時刻 300,000 が経過するまでは非対称性を示す値が過増し、その後は増加のペースが緩やかになったことが分かる。また、時刻が経過する中でショートサイドの市場非効率性が解消される様子は見られなかった。市場非効率性がショートサイドで発生するプロセスと、それが解消されるプロセスは分かれているとも考えられる。