

# 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 (要約版)

- ➡ 則武 誉人 三井住友DSアセットマネジメント株式会社
- ➡ 逸見 龍太 三井住友DSアセットマネジメント株式会社
- ➡ 南雲 将太 株式会社 日本証券クリアリング機構
- ➡ 水田 孝信 スパークス・アセット・マネジメント株式会社
- ➡ 和泉 潔 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

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」）の役職員及び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執筆者個人に属し、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。

# 概要

- 人工市場シミュレーションの市場非効率性に着目
  - 市場非効率性：（シミュレーションで）約定した価格とファンダメンタル価格の差
- 割高、つまり約定価格 > ファンダメンタル価格となるショートサイドの乖離の内訳が顕在化する要因を考察
  - 空売りに関する制約に関しては、現実の株式市場における注文データを用いて、売注文と買注文の発注比率の実証分析も実施

# ショートサイド（割高）の市場非効率性が顕在化する要因 (1/2)

## 1. 空売り（株式）に関する制約

### ▶ 売りの注文

- 特に空売りの場合、発注に制約がある（貸株在庫の不足・調達コスト）
- 投資家が株価の下落を予想しても、実際には空売りとして発注されないことがある

### ▶ 買いの注文

- キャッシュがあれば、発注に制約はない

- トータルでは、売りの発注数量 < 買いの発注数量となりうるのではないか？

# ショートサイド（割高）の市場非効率性が顕在化する要因 (2/2)

## 2. 公表される情報の偏向

- ▶ 会計報告の用語・構造に変更のあった企業群をショートして、変更のなかった企業群をロングする株式ポートフォリオがリターンを獲得した
  - Cohen et al.(2020)
- ▶ 証券会社から発行されたレポートにおいて、新規の売り推奨よりも買い推奨の方が多かった
  - Womack(1996)

➤ 売りにつながる情報の公表が多い状況が例外的であることが、投資家が評価する株価にも影響を与えているのではないか？

# どのようなシミュレーションを行うか

## 1. 空売りに関する制約

- 取引の参加者（エージェント）が出す売注文の数量を買注文よりも少なくする = 買いの発注には制約を設けず、売りだけを減らす

## 2. 公表される情報の偏向

- 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を緩やかに上昇させる

- 売注文の数量、ファンダメンタル価格、それぞれに変更を加えた場合に、割高（約定価格 > ファンダメンタル価格）となるような乖離が大きくなるか検証し、そのメカニズムを考察する。

# 人工市場モデル構築の考え方

- 以下の目的を果たせる範囲で、できるだけシンプルなモデルを構築した。
  - 1.売注文の数量、2.ファンダメンタル価格の上昇度合いが個別に変化した場合、どのような影響があるのかを知ること
  - 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
- 実際の市場を完全に再現することは目的としていない
- 平常時の市場における取引を想定し、1.と2.にあたるパラメータは元の値から大きな違いが生じないように決定した。
  - 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、複数の約定方法が混在する現実の株式市場と結果が乖離する恐れがある

# エージェント

## ▶ 予想リターン

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

## ▶ 予想価格

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

## ▶ 注文価格

$$P_{o,j}^t \sim N(P_{e,j}^t, P_\delta^t)$$
$$P_\delta^t = P_{e,j}^t \times \sigma$$

## ▶ 売り買いの別

$$P_{o,j}^t > P_{e,j}^t \Rightarrow \text{Buy } 100$$

$$P_{o,j}^t < P_{e,j}^t \Rightarrow \text{Sell } q$$

## ➤ 以上のエージェントを1,000体用意する

# 取引の概要

- 取引対象
  - 各時刻（注文を出す時点）でファンダメンタル価格が所与の1有価証券
  - 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
- 付合せ方法
  - 連続ダブルオークション（ザラバ）方式
  - 時刻 $t$ に出された注文によって約定した価格を $P^t$ と定義
- ティックサイズ
$$\delta P = 10$$
- 注文を出す回数
  - 各エージェントにつき5,000回
  - シミュレーション終了時刻 $t_e = 5,000 \times 1,000$
  - 各エージェントは20回まで板に注文を残せる（それ以降残った場合はキャンセルされる）→ 板構築期間=  $20 \times 1,000$



# パラメーター

- ▶ 売注文の数量（買注文の数量は100（単位）に固定する）  
 $q = \{100, 99, 98, 95, 90\}$

- ▶ ファンダメンタル価格の上昇率

$$\begin{cases} P_f^t = 10,000,000 & (t \leq \text{板構築期間}) \\ P_f^t = 10,000,000 \left( 1 + d \% \times \frac{t - \text{板構築期間}}{t_e - \text{板構築期間}} \right) & (t > \text{板構築期間}) \end{cases}$$
$$d = \{\pm 0, +1, +2, +5, +10\}$$

- ▶ 計9つの条件について、乱数表を変更し50回ずつシミュレーションを行った。
  - ① 売注文の数量( $q$ )のみを少なくしたケース
  - ② ファンダメンタル価格の上昇率( $d$ )のみを高くしたケース
  - ③ 何も変更を加えなかったケース

# 結果の評価

## ▶ 市場非効率性の非対称性

$$\left( \begin{array}{l} M_{ie,ov} = \sum_{\substack{1 \leq t \leq t_e \\ p^t > p_f^t}} \frac{|p^t - p_f^t|}{p_f^t} \\ M_{ie,uv} = \sum_{\substack{1 \leq t \leq t_e \\ p^t < p_f^t}} \frac{|p^t - p_f^t|}{p_f^t} \end{array} \right.$$

$\log(M_{ie,ov}/M_{ie,uv})$ が1より大きいほど、市場非効率性のショートサイドの内訳が大きいことを示す。

# 結果の評価（その他の指標）

- 発注前の板の厚さ
  - $P_f^t$ の上下0.6%の範囲内に提示された未約定の売注文、買注文の総数量を集計
  - 時刻100,000が経過するごとに集計を行い、各期の結果を売り、買い別に平均した値 = 板の厚さ

## 結果の評価（その他の指標②）

- ▶ 約定による最良気配の価格の変化率（マーケットインパクト）

全ての約定に対し、以下を(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別に平均した値

$$(A) \frac{\Delta \text{Best Ask}^t}{P_f^t} \quad (B) \frac{|\Delta \text{Best Bid}^t|}{P_f^t}$$

- ▶ 発注後の最良気配値とファンダメンタル価格の спреッド

以下を、板構築期間後の全時刻でそれぞれ平均した値

$$\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t} \quad \frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$$

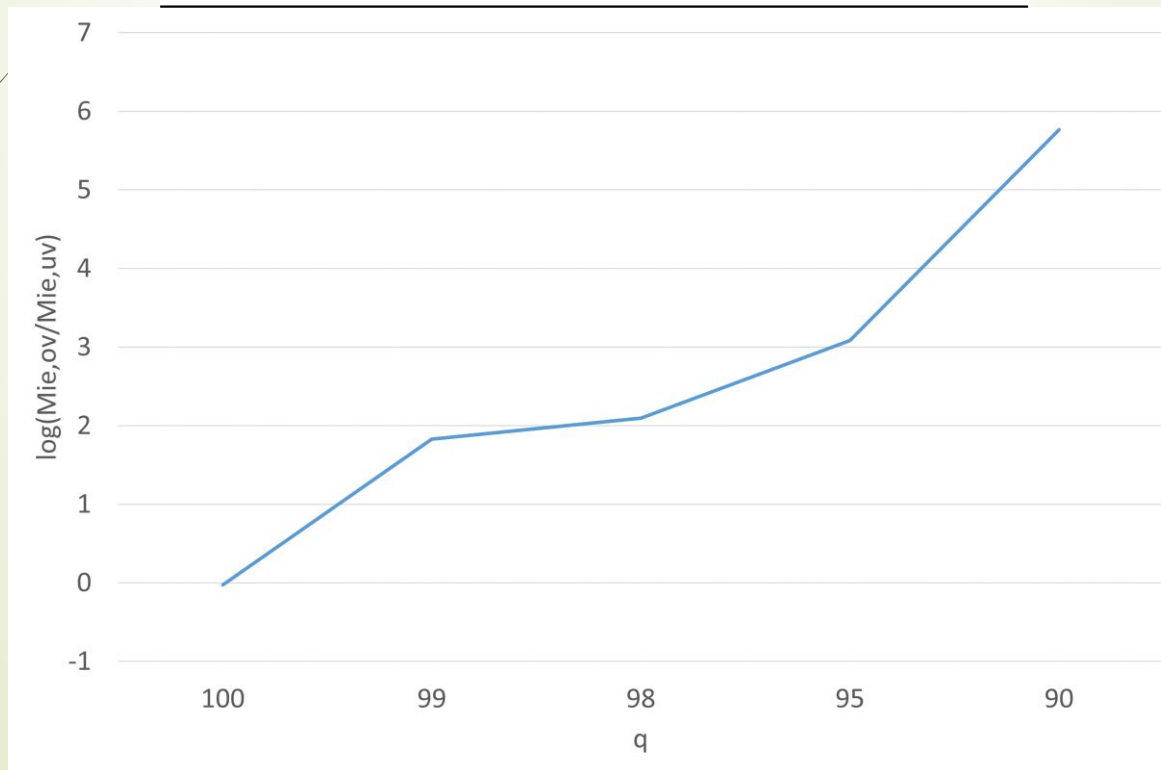
# ① 売注文の数量のみを少なくしたケースの集計

空売りに関する制約の影響

# $\log(M_{ie,OV} / M_{ie,UV})$ の平均値

- 売注文の数量が少ないほど、市場非効率性のショートサイドの内訳が大きくなった。

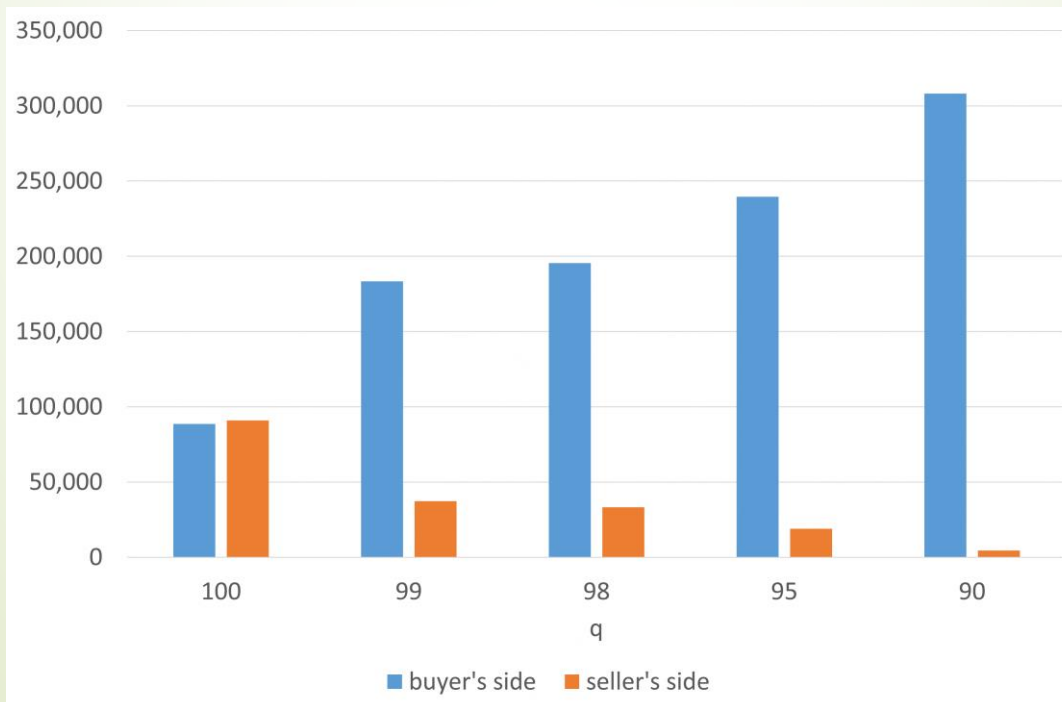
q	100	99	98	95	90
平均値	-0.027	1.827	2.095	3.082	5.765



# 板の厚さの平均値

- パラメーター $q$ が小さいほど、（ファンダメンタル価格  $P_f^t$  から一定の範囲内で）買い側に提示された注文の数量が多い。

q	100	99	98	95	90
buyer's side	88,619	183,407	195,547	239,604	308,107
seller's side	90,957	37,388	33,241	18,945	4,577

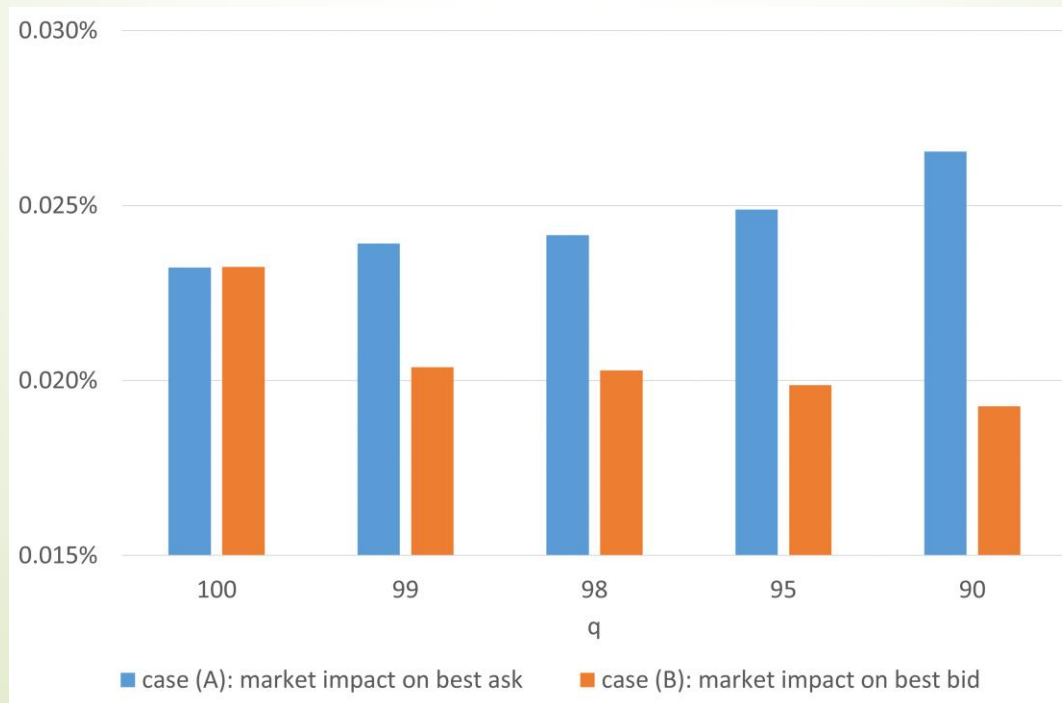


# 約定による最良気配の価格変化率の平均値

- パラメーター $q$ が小さいほど、買注文によるマーケットインパクト、すなわち最良売気配の変化（上昇）は大きい。

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%

注：絶対値



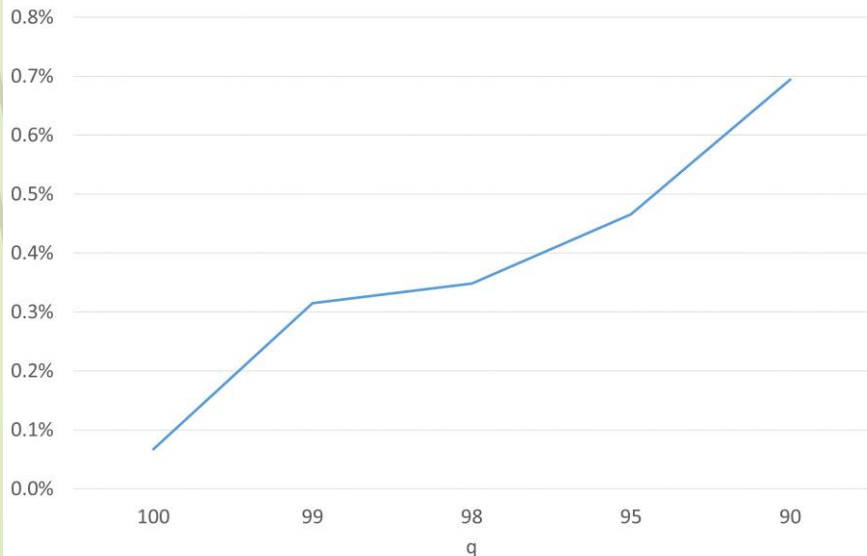


# 最良気配の価格と、ファンダメンタル価格のスプレッドの平均値

- パラメーター $q$ が小さいほど、（発注後に）最良売気配の価格はファンダメンタル価格と比べて高く乖離する。

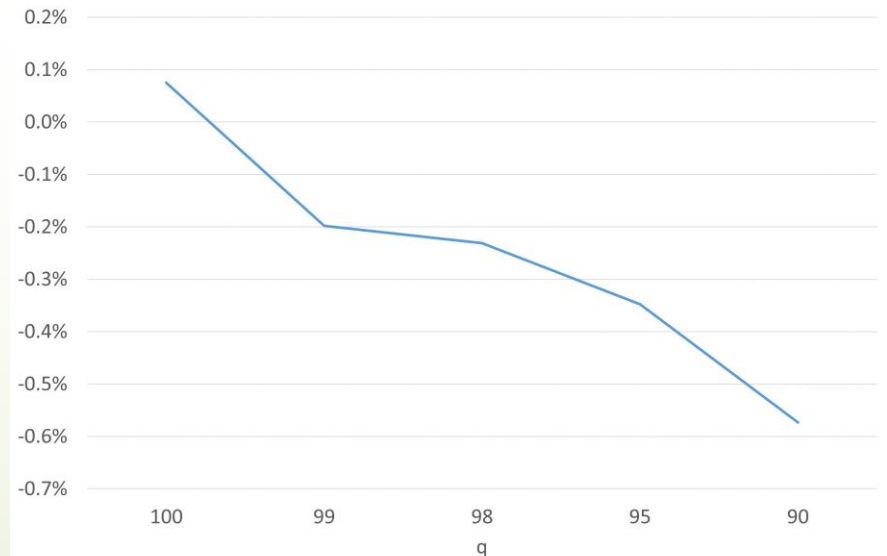
$$\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}$$

q	100	99	98	95	90
平均値	0.067%	0.315%	0.348%	0.466%	0.694%



$$\frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$$

q	100	99	98	95	90
平均値	0.075%	-0.198%	-0.231%	-0.348%	-0.574%



# 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

- ▶ 売注文の数量が少ない場合に、市場非効率性のショートサイドの内訳が大きくなるメカニズムは次のとおりだと考えられる。
  1. 発注される売注文の数量が買注文よりも少ないため、板の厚さを比較した場合も売り側に提示された注文の数量が少なくなる
  2. (A)買注文が出されたことで約定が成立した時の最良売気配価格の変化の方が大きくなる
  3. 最良売気配の価格がファンダメンタル価格から高く乖離する⇒その後もファンダメンタル価格から高い価格で約定しやすくなる

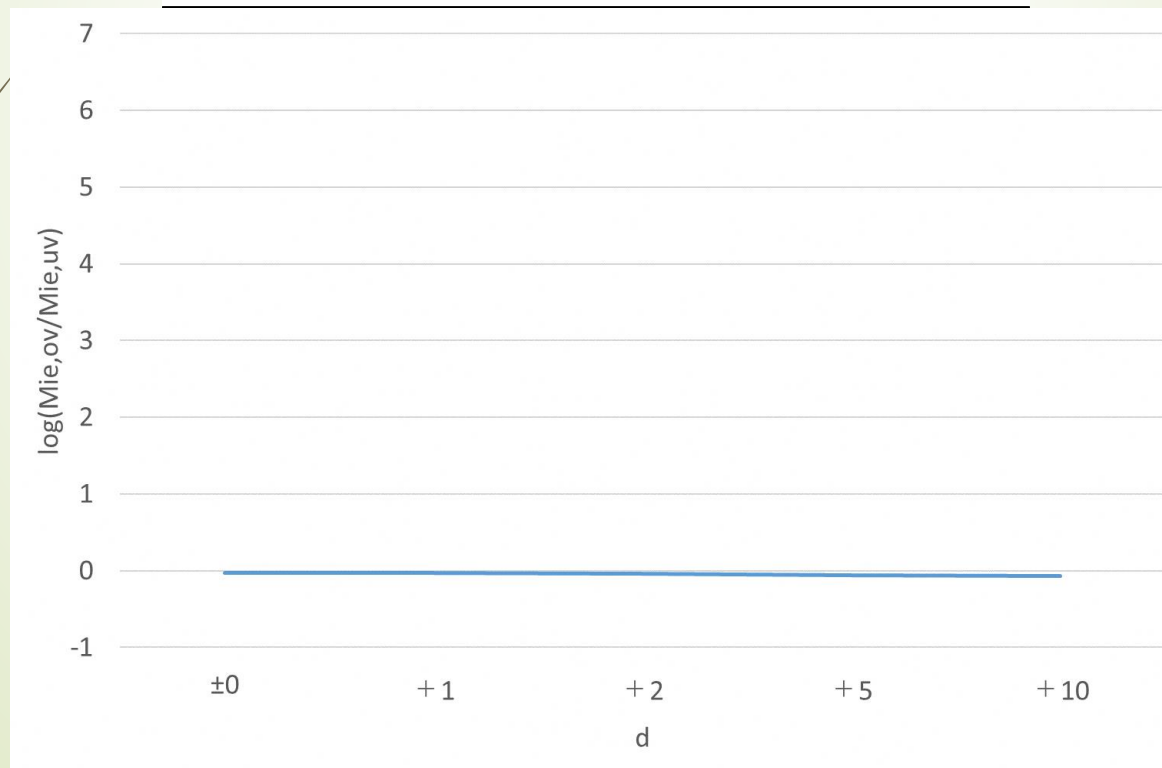
## ②ファンダメンタル価格の上昇率のみを高くしたケースの集計

公表される情報の偏向の影響

# $\log(M_{ie,OV} / M_{ie,UV})$ の平均値

- ファンダメンタル価格の上昇率を高くした場合は、市場非効率性のショートサイドの内訳が大きくなった結果は確認できなかった。

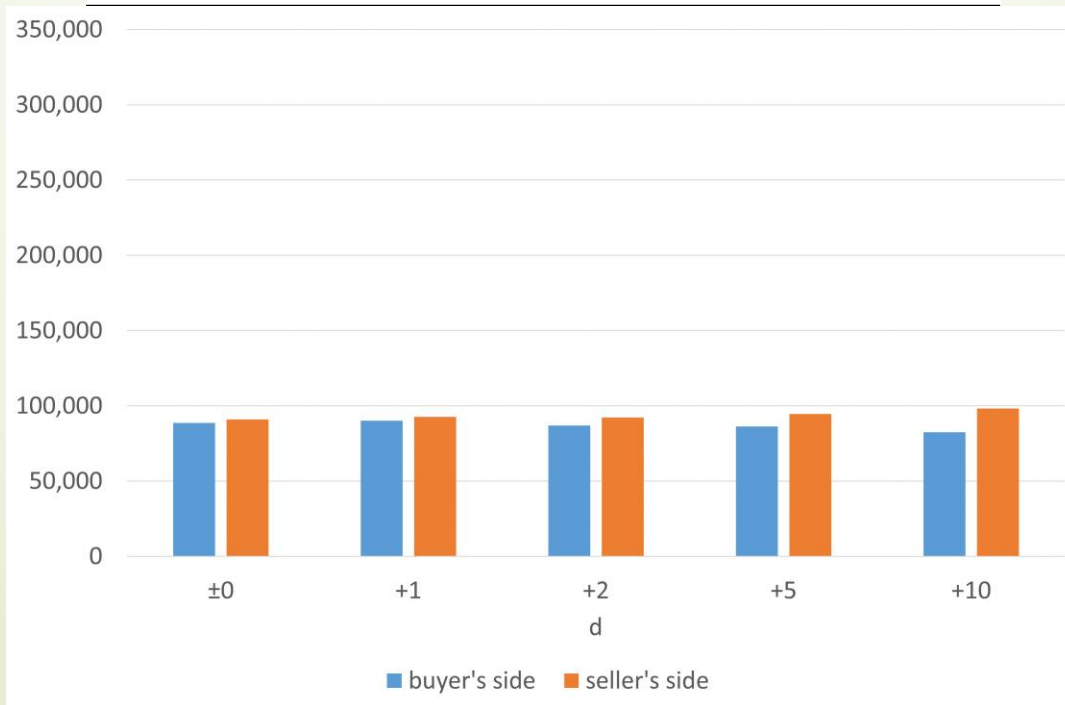
d	±0	+1	+2	+5	+10
平均値	-0.027	-0.033	-0.036	-0.054	-0.063



# 板の厚さの平均値

- パラメータ $q$ を少なくした場合と異なり、売り側、買い側の数量に顕著な差は生じなかった。

d	±0	+1	+2	+5	+10
buyer's side	88,619	90,165	86,974	86,359	82,496
seller's side	90,957	92,712	92,194	94,525	98,234

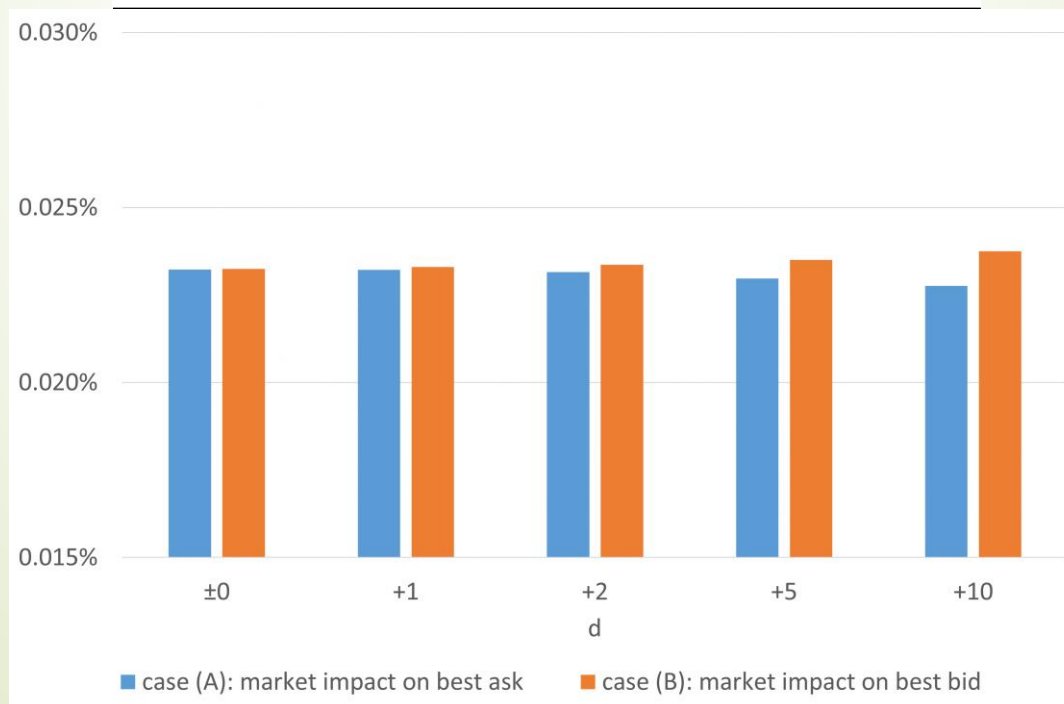


# 約定による最良気配の価格変化率の平均値

- パラメーター $d$ を高くしても、買注文によるマーケットインパクト、すなわち最良売気配の上昇は大きくならない。

d	$\pm 0$	+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%

注：絶対値

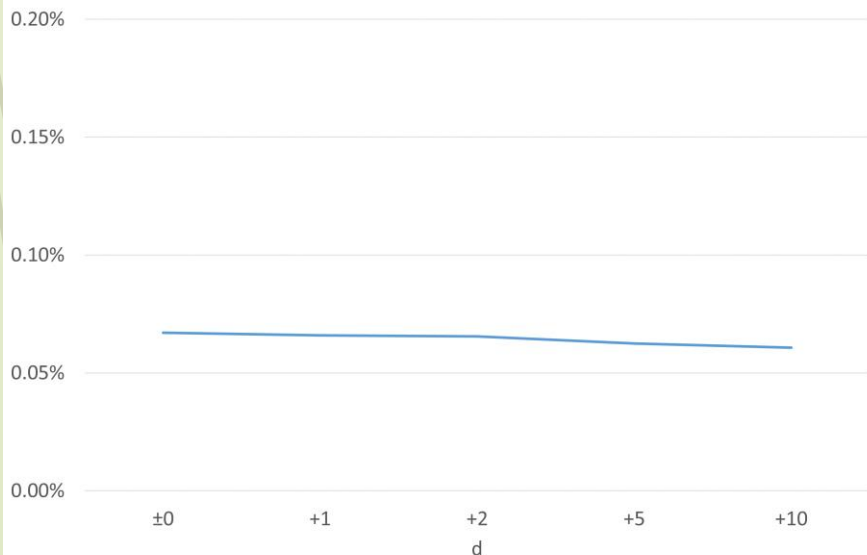


# 最良気配の価格と、ファンダメンタル価格のスプレッドの平均値

- パラメーター $d$ を高くしても、最良売気配の価格はファンダメンタル価格と比べて高く乖離しない。

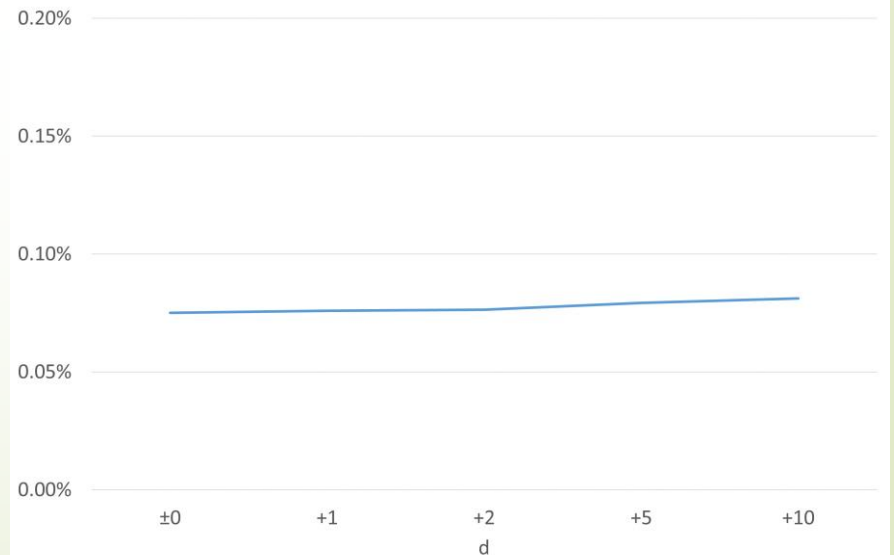
$$\frac{\text{Best Ask}^t - P_f^t}{P_f^t}$$

d	±0	+1	+2	+5	+10
平均値	0.067%	0.066%	0.065%	0.062%	0.061%



$$\frac{P_f^t - \text{Best Bid}^t}{P_f^t}$$

d	±0	+1	+2	+5	+10
平均値	0.075%	0.076%	0.076%	0.079%	0.081%



# ③現実の株式市場（市場区分ごと）における売注文と買注文の発注比率の推計

24

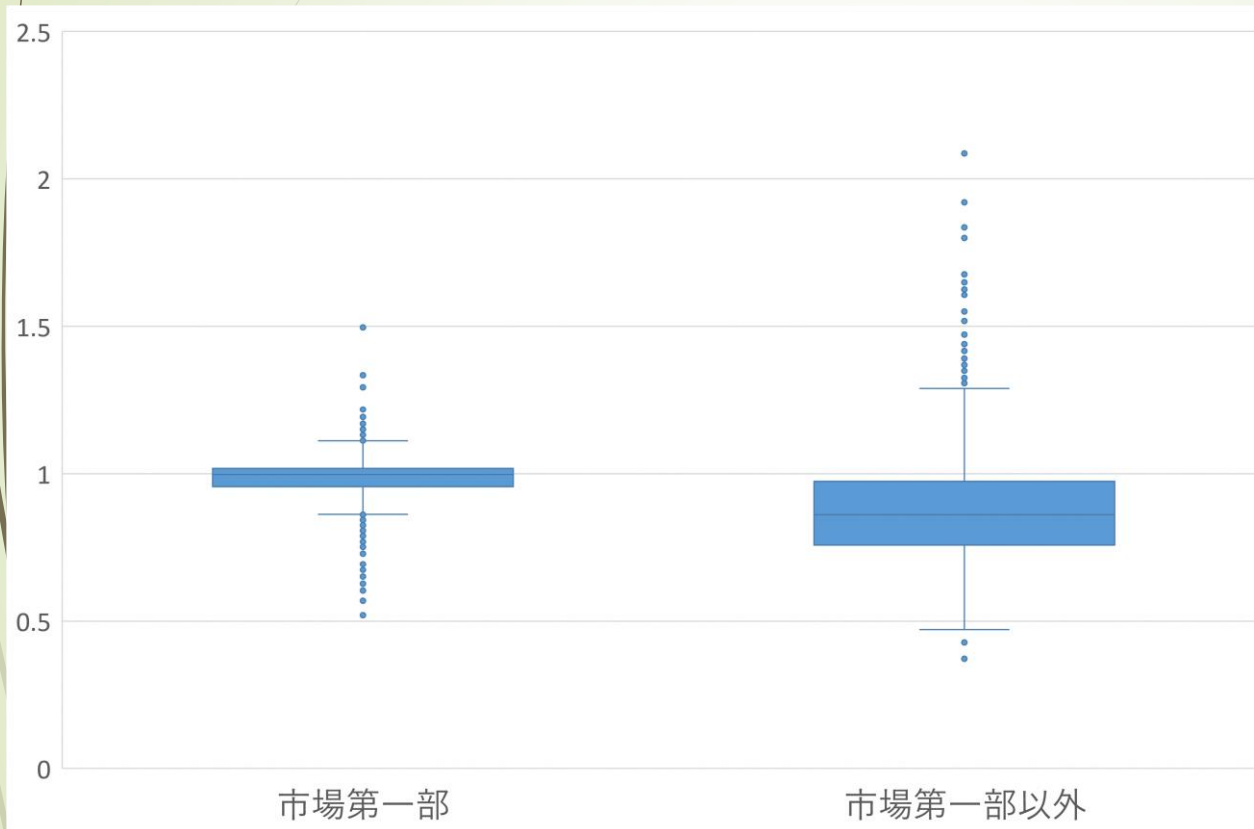
東京証券取引所の注文データを用いた実証分析



# 実証分析 概要

- 東京証券取引所に上場する内国株を対象に、2020年1～12月における売/買比率を営業日ごとに算出し、続いてその中央値を銘柄ごとに集計した。
  - 売/買比率=売注文の発注数量÷買注文の発注数量
  - 新規、変更の全注文が対象
  - また、全ての営業日で売注文と買注文の両方が発注された銘柄が対象
  
- 市場第一部の銘柄群とそれ以外（市場第二部、マザーズ、JASDAQスタンダード、JASDAQグロース）の銘柄群で、上記の通り集計した中央値の分布を比較した。
  - 期間中に上場（廃止）、市場変更があった銘柄は対象外

# 売/買比率 中央値の分布 (2020年1~12月)



売/買比率  
中央値の統計量

	市場第一部	市場第一部 以外
最大値	1.496	2.086
75%点	1.018	0.973
中央値	0.998	0.861
25%点	0.955	0.758
最小値	0.520	0.372
標本数	2133	1404
>1	1011	281
<1	1119	1116
=1	3	7

機関投資家の保有割合が低い市場第一部以外\*では、空売りに関する制約もより大きかった可能性がある。

\*東証「株式分布状況調査」(<https://www.jpx.co.jp/markets/statistics-equities/examination/01.html>)

# まとめ

- 売注文の数量のみを少なくするとショートサイドの市場非効率性が顕在化するが、ファンダメンタル価格の上昇率のみを高くした場合はそのような結果は確認できなかった。
  - むしろ、ファンダメンタル価格の上昇率が高い場合は、ロングサイドの内訳がわずかに大きい傾向がみられた。
- ショートサイドの内訳が大きくなるメカニズムは以下のとおりと考えられる。
  - ① ファンダメンタル価格から一定の範囲に提示された売注文の数量が少なくなる
  - ② 買注文により約定が成立した場合の最良売気配の価格上昇が大きくなる
  - ③ 最良売気配の価格がファンダメンタル価格と比べて高く乖離する
- 東京証券取引所に上場する内国株の売/買比率（2020年における中央値）は、市場第一部では1近辺を中心に分布していたのに対し、それ以外の市場区分では多くの銘柄で1を下回る傾向にあった。

# 今後の課題

- 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
  - ファンダメンタル価格が約定価格から（大きく）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
  - 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が大きくなるかという閾値の観点からの分析も重要
- ショートサイドで発生した市場非効率性の偏りが解消される分析
  - 本研究ではショートサイドの市場非効率性が顕在化するプロセスには言及したが、それが解消されるプロセスについては考察できていない

# 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化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)
8. 櫻井 駿平, 上原 大季, 保坂 豪: 東証売買内訳データ (信用取引・空売り) の分析, JPX ワーキングペーパー, Vol.35, 日本取引所グループ, 2021
9. 宇野 淳・梅野 淳也・室井 理沙: 日本株レンディング市場の実証分析—株券貸借モデルによる空売り規制効果の測定—, 証券アナリストジャーナル 2009 年 6 月号

# 付録A stylized fact の再現結果

- パラメーター $q$ と $d$ を変化させた場合も、fat tailとvolatility clusteringの再現結果は損なわれていなかった。

パラメーターごとの50回分の統計量の平均値

q	100	99	98	95	90
尖度	15.13	14.11	14.09	14.08	14.09
Lag1	0.052	0.047	0.046	0.047	0.047
Lag2	0.052	0.046	0.046	0.046	0.046
自己相関 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

d	+1	+2	+5	+10
尖度	15.12	15.13	15.12	15.13
Lag1	0.052	0.052	0.052	0.052
Lag2	0.052	0.052	0.052	0.052
自己相関 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

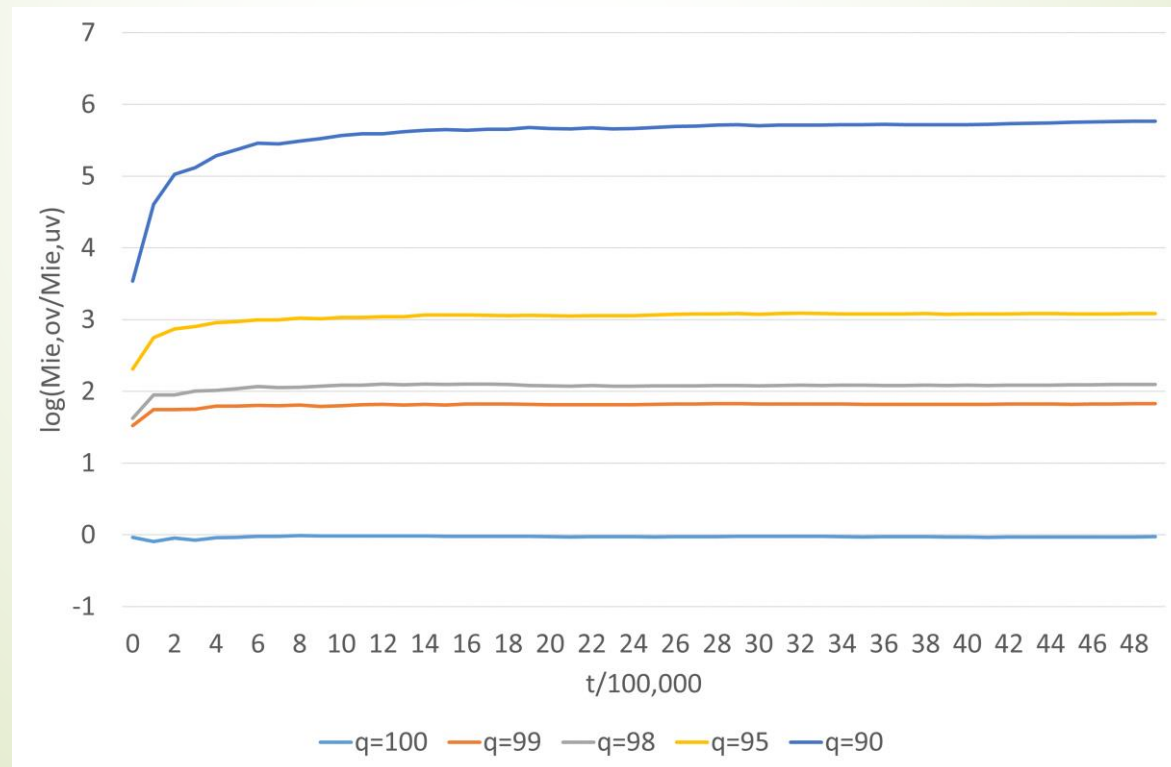
注：正規分布の尖度=0

また、時刻1が経過するごとのリターン（板構築期間を除く）に基づく

# 付録B 時系列でみた市場非効率性の非対称性の推移

- パラメーター $q$ に関して、時刻が経過する中で市場非効率性の非対称性が解消される様子は見られなかった。

時刻100,000が経過するごとに市場非効率性の非対称性を測った結果



# 付録C-1 売/買比率の月次推移 (市場第一部)

- 追加の実証分析として、売/買比率の中央値を2020年の各月に区切って集計し、推移を調べた。

売/買比率 中央値の統計量 (市場第一部・1ヶ月ごと)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最大値	1.753	1.890	1.573	1.776	1.895	2.013	1.760	1.866	2.147	3.241	2.053	1.681
75%点	1.005	1.011	1.048	1.029	1.032	1.050	1.063	1.036	1.021	1.066	1.038	1.035
中央値	0.954	0.965	1.009	0.993	0.992	1.010	1.019	0.991	0.978	1.019	0.998	0.997
25%点	0.878	0.887	0.953	0.949	0.937	0.961	0.968	0.929	0.915	0.969	0.941	0.945
最小値	0.324	0.233	0.413	0.272	0.111	0.266	0.382	0.278	0.237	0.189	0.165	0.147
標本数	2158	2158	2159	2166	2169	2166	2167	2171	2170	2176	2174	2174
>1	584	672	1207	969	979	1224	1318	975	817	1355	1066	1037
<1	1573	1486	952	1194	1190	942	846	1196	1353	821	1107	1137
=1	1	0	0	3	0	0	3	0	0	0	1	0



# 付録C-2 売/買比率の月次推移 (市場第一部以外)

- 市場第一部以外では売/買比率の（分析期間内）中央値が1未満となる銘柄がサンプル（標本数）の中で多くを占めていた。

売/買比率 中央値の統計量（市場第一部以外・1ヶ月ごと）

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
最大値	3.286	3.078	5.172	4.961	4.199	4.584	3.705	3.745	3.444	3.865	3.600	4.198
75%点	0.941	0.919	1.027	0.993	1.022	1.083	1.116	1.042	1.055	1.081	1.062	1.035
中央値	0.771	0.730	0.853	0.846	0.874	0.919	0.929	0.855	0.859	0.877	0.862	0.854
25%点	0.638	0.572	0.716	0.710	0.734	0.768	0.765	0.710	0.693	0.695	0.681	0.675
最小値	0.109	0.075	0.054	0.055	0.089	0.070	0.244	0.142	0.080	0.164	0.125	0.135
標本数	1506	1499	1471	1493	1500	1493	1493	1499	1495	1500	1506	1499
>1	282	281	403	350	414	538	569	444	444	509	484	431
<1	1222	1218	1060	1135	1085	954	915	1053	1047	988	1017	1068
=1	2	0	8	8	1	1	9	2	4	3	5	0