

慶応義塾大学 経済研究所  
計量経済学ワークショップ（2019/6/11）

<https://ies.keio.ac.jp/workshops/econometrics/>

人工市場シミュレーションを用いた  
金融市場の規制やルールの議論

スパークス・アセット・マネジメント株式会社  
運用調査本部  
ファンドマネージャー 兼 上席研究員  
水田孝信

mizutata[at]gmail.com  
@takanobu\_mizuta (twitter)  
<http://mizutatakanobu.com>

本発表資料はスパークス・アセット・マネジメント株式会社の公式見解を表すものではありません。  
すべては個人的見解であります。

この資料は以下からダウンロードできます：

<http://mizutatakanobu.com/20190611.pdf>

金融市場は人類の発展に必要な不可欠な道具である。McMillan[2002]が述べたように、「物理学者や生物学者が研究してきたシステムと同じくらい複雑で高度なもの」である。うえに、「うまく設計されたときのみ、うまく機能する」、まさに複雑系である。

しかし、これまでの伝統的な経済学で使われてきた手法では、この良い設計が見つけれなかったという批判がある。そのため、複雑系を複雑なまま取り扱える、人工市場モデル（金融市場のエージェント・ベースド・モデル）に期待が集まり始めている。特に、喫緊の課題として規制やルールを議論している実務家からの注目が高い。

本講演では、人工市場モデルの特徴やこれまでの貢献を紹介した後、一例として「呼び値の刻みの変更」という実際に行われた取引所のルール変更のときに、人工市場モデルがどのように貢献したかを紹介する。

# 自己紹介

2000年 気象大学卒業

2002年 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻修士課程修了  
研究内容：宇宙空間プラズマのコンピュータシミュレーション

2004年 同専攻博士課程を中退

同年 スパークス・アセット・マネジメントに入社：バックオフィス業務

2005年 ボトムアップ・リサーチ・アナリスト

2006年 クオンツ・アナリスト → 2010年より ファンド・マネージャー

2009年 人工知能学会などで研究発表を始める

2011年 東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻博士課程  
社会人をしながら在籍 指導教官：和泉潔先生  
研究内容：人工市場を用いた金融規制のシミュレーション

2014年9月修了：博士（工学）

2017年度より 上席研究員兼務

現在 金融市場全般の調査、株式市場やポートフォリオの定量的分析、学術研究も継続

2007年 日本証券アナリスト協会検定会員

2009年 中小企業診断士

2014年より 東京大学公共政策大学院 非常勤講師

2016年度より 人工知能学会 金融情報学研究会幹事 → 2019年度より 主幹事

2017・18年度 人工知能学会 代議員（終了）

2019年 Computational Finance and Economics Technical Committee Member  
on IEEE Computational Intelligence Society

# その他の話題：もしご興味あればご覧下さい

2019/2/8「人工知能の可能性と限界」

<http://mizutatakanobu.com/201902.pdf>



<https://www.sparx.co.jp/report/special/>

- 2019/5/8 高頻度取引（3回シリーズ第2回）：高頻度取引業界-競争激化と制度・規制の整備-
- 2019/4/3 高頻度取引（3回シリーズ第1回）：高頻度取引とは何か？
- 2019/3/11 あの日から8年～自然災害と取引所～
- 2018/11/7 信託報酬ゼロの出現～コスト以上に重要なこと
- 2018/8/17 上場銘柄数が減少し小型株が冴えない米国
- 2018/5/21 なぜ株式市場は存在するのか？
- 2018/4/23 水平株式保有は経済発展をとめるのか？
- 2018/3/2 パッシブファンドの新たなる論点「水平株式保有」
- 2018/2/16 優れたアクティブファンドはいろいろな忍耐強さを持っている
- 2018/2/16 アクティブファンドが超えてはいけない規模
- 2016/12/2 良いアクティブ運用とは？ -対ベンチマーク運用の衰退とハイリーアクティブ運用の再起-



東証公式のページ「東証マネ部！」インタビュー記事

<http://money-bu-jpx.com/news/article008322/>

本日の後半の話「ティックサイズ変更を人工市場で議論」したことを、一般向けに解説したインタビュー記事です



# 参考文献：人工市場を用いた金融市場の規制・制度の議論

最近の私の研究についてはこの資料のダウンロード版の後半にあります

## 解説論文

証券アナリストジャーナル 2019年5月号,  
水田孝信「人工市場シミュレーションを用いた金融市場の規制やルールの議論」  
[https://www.saa.or.jp/learning/journal/each\\_title/2019/05.html](https://www.saa.or.jp/learning/journal/each_title/2019/05.html)

本テーマの基本的なことから書いてあります

水田孝信 (2014) 人工市場シミュレーションを用いた金融市場の規制・制度の分析,  
東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻  
2014年9月26日 博士 (工学) (博工 第8404号)  
<http://mizutatakanobu.com/jphd.htm>

## ごく簡単な英文レビュー論文

Mizuta (2016) A Brief Review of Recent Artificial Market Simulation Studies  
for Financial Market Regulations And/Or Rules, SSRN Working Paper Series  
<http://ssrn.com/abstract=2710495>

## 発売予定の本

(マルチエージェントシリーズ B-6) マルチエージェントによる金融市場のシミュレーション,  
コロナ社, 2019-2020予定? (私も著者の一人)



# 参考文献：シミュレーション技術の金融への応用を扱っている本

## 【主要内容】

「レジリエンス」とは、弾性、しなやかさ、回復力といった意味を有する言葉であるが、専門用語としてのレジリエンスは、システムが変化や擾乱を吸収して正常な機能や平静を保つ能力を意味する。特に、日本でレジリエンスという言葉が使われるようになったのは、2011年3月11日に東北地方を襲った東日本大震災とそれに伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故を経験して以降である。

現代社会を襲うさまざまな脅威は、国家の成長や国民生活へ深刻な障害になるという認識が国際社会で高まっており、国全体を単位としたナショナルレジリエンス

の考え方が提唱され、その強化策が国際的な場で議論されるようになった。

このようにレジリエンスは現代社会にとっての重要課題になりつつある。

このような背景から、2013年、東京大学大学院工学系研究科に「レジリエンス工学研究センター」が開設された。同センターの活動に関連する研究成果を踏まえ、レジリエンス工学を俯瞰的に紹介することを目的として著されたのが本書である。

## 【主要目次】

第1章 レジリエンス工学の誕生

第2章 自然災害とレジリエンス

第3章 重要社会インフラのレジリエンス

第4章 エネルギーシステム

第5章 強靱な金融システム

第6章 インフラ整備プロジェクトのレジリエントな制度設計

## レジリエンス 工学入門

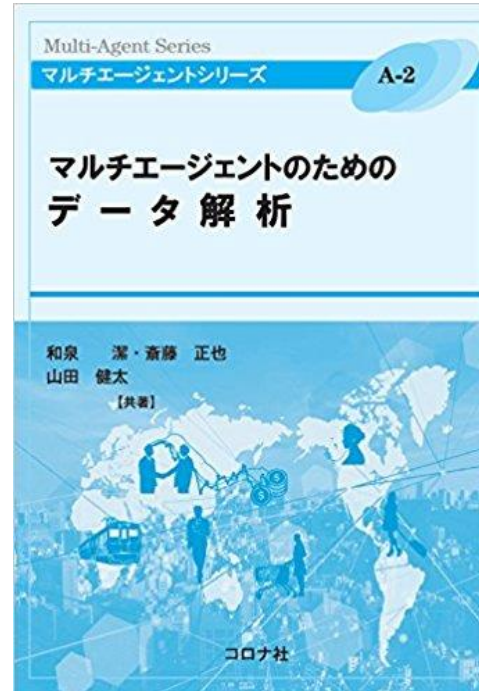
「想定外」に備えるために

古田一雄 著



マルチエージェントのためのデータ解析, コロナ社, 2017/8/16,  
和泉潔, 6. 可能世界ブラウザとしてのエージェントシミュレーション

<http://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339028126/>



1. データ解析とエージェントシミュレーション
  - 1.1 大規模データ解析から社会動向が予測可能か
  - 1.2 シミュレーションが必要なわけ
  - 1.3 システムの分類
2. 軌跡データと移動シミュレーション
  - 2.1 データ分類による社会現象モデルの作成
  - 2.2 クラスタ分析による移動軌跡マイニング
  - 2.3 子供の室内転倒事故予防シミュレーション
  - 2.4 手術室内ワークフローシミュレーション
3. 購買データとマーケティングシミュレーション
  - 3.1 動的開放システムのモデル構築
  - 3.2 マーケティングシミュレーション
4. 時系列モデルの基礎と金融市場データへの適用
  - 4.1 イントロダクション
  - 4.2 金融市場に見られる代表的経験則
  - 4.3 ランダムウォーク
  - 4.4 自己回帰 (AR) モデルとそのパラメータ推定方法
  - 4.5 ARCH, GARCHモデル
5. パンデミックシミュレーションとデータ同化
  - 5.1 感染症数理モデリング
  - 5.2 個人ベースシミュレーション
  - 5.3 事例紹介
6. 可能世界ブラウザとしてのエージェントシミュレーション
  - 6.1 データ解析とエージェントシミュレーションの統合の3段階
  - 6.2 ステップA: マクロデータの再現
  - 6.3 ステップB: ミクロデータに基づく行動モデル構築
  - 6.4 ステップC: 過去データにない新エピソードの発見
  - 6.5 実データ解析とシミュレーションとの統合の可能性
  - 6.6 おわりに

古田一雄 編著(2017), レジリエンス工学入門「想定外」に備えるために,  
日科技連出版社,

和泉潔, 川久保佐記, 米納弘渡, 第6章「強靱な金融システム」

<http://www.juse-p.co.jp/cgi-bin/html.pl5?i=ISBN978-4-8171-9624-8>

# 今日のお話

## 人工市場による市場制度の設計

(1) 規制・制度分析に用いる人工市場モデル

(2) ティック・サイズの縮小

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(参考) モデルの詳細・妥当性

(参考) その他の事例

(1)

規制・制度分析に用いる  
人工市場モデル

各種言葉が表す領域（人によってけっこう使い方が違うが、）

Agent-Based Model, Multi-Agent Model, Artificial Market Model

Agent-Based Model (エージェント・ベースド・モデル)

⇒ Agentが数個程度でhomogeneous

→ 英語論文を探すときはこの単語が一番よさそう

Multi-Agent Model (マルチ・エージェント・モデル)

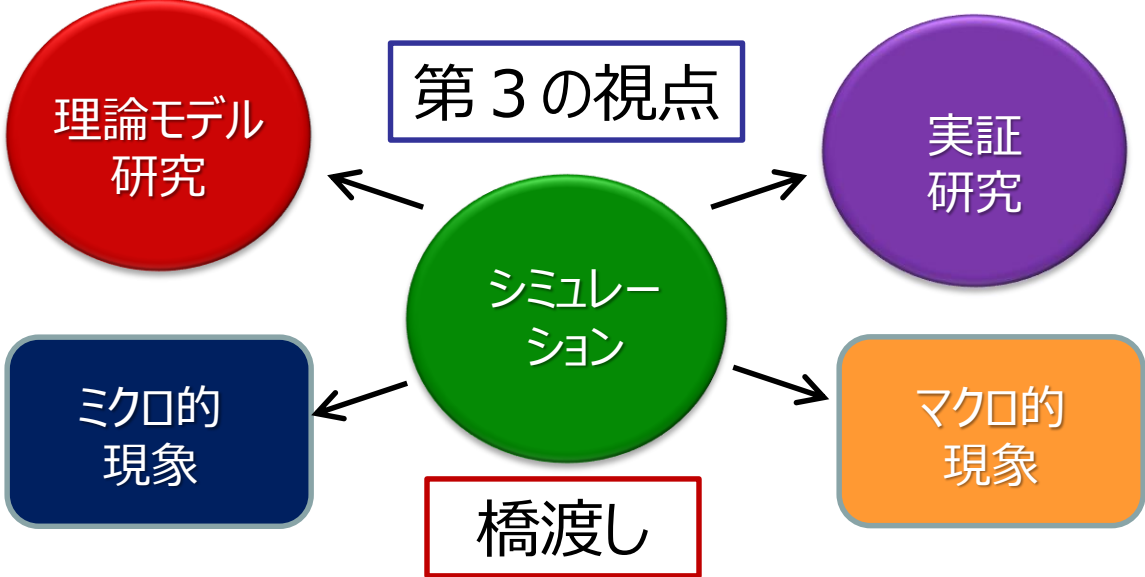
⇒ Agentがとても多くheterogeneous

Artificial Market Model: 人工市場

⇒ Agent Based Modelで金融市場をシミュレーション

以後、基本的には“人工市場”を使います

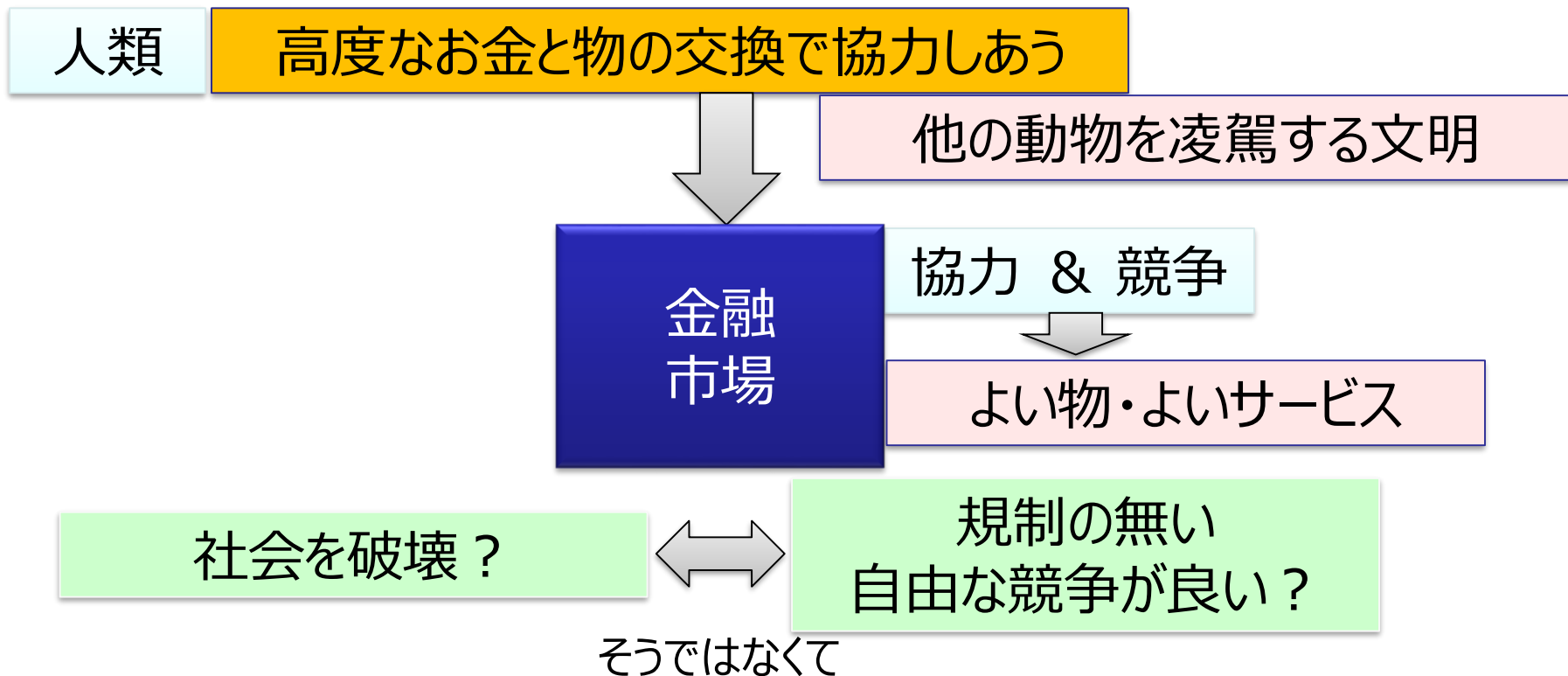
コンピュータの中に仮想の社会を構築する  
ミクロなエージェント（人間）を多数投入。お互いに相互作用する。  
それらが集積してマクロな挙動がみれる。



- 複雑系である社会において、制度・規制の変更が与える副作用や想定外の効果をコロンブスのたまご的に発見
- 理論や実証で調べるべきテーマの発見、メカニズムの知識発見
- 既存の手法を補完する手法として他分野では定着

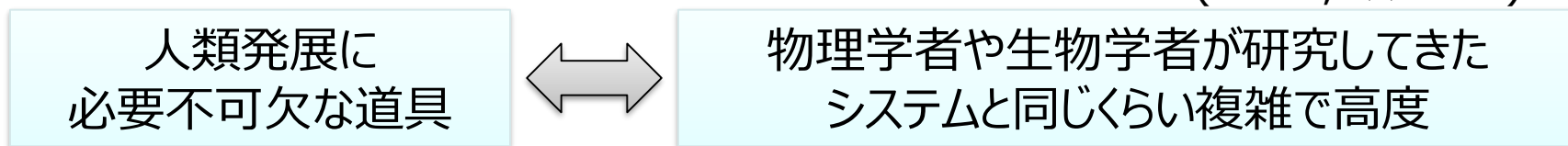
自動車道の整備が交通渋滞へ与える影響分析、  
テロや火災・伝染病が発生した場合の避難の方法、など

# 金融市場の制度設計の重要性



うまく設計されたときのみ、うまく機能する

John McMillan (2002, 訳2007)



市場の設計をうまく行う = 難しいけど社会発展に非常に重要

複雑系をなす、まさにシミュレーションを必要とする分野



## 市場設計の 重要性

うまく機能する市場は、人々が自己利益に従いつつ立派な行動をするように、よい行動に対して報酬を与えるとともに、悪い行動を防ぐためにチェックとバランスのメカニズムを備えている。市場がうまく設計されているとき、そしてそのときに限り、われわれはアダム・スミスの見えざる手が、分散した情報を活用し、経済をコーディネートし、取引利益を創出することで、効果的に作用すると信じていることができる。

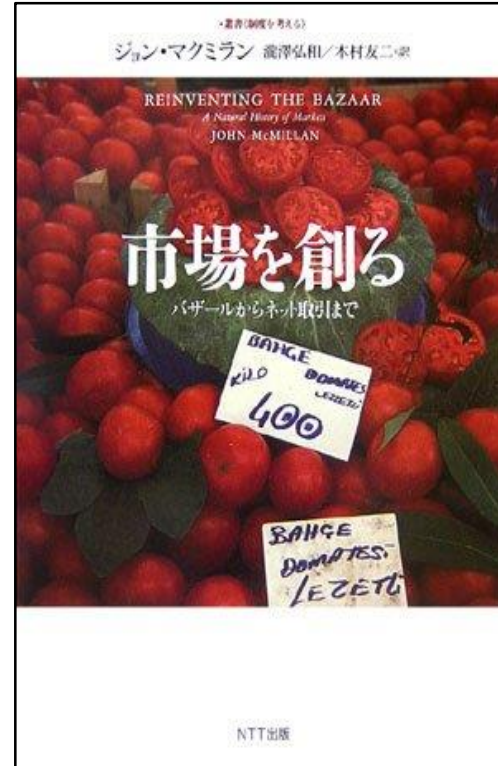
### 神は細部に宿る

日本においても、

市場は自然発生する

- ・江戸時代の米の先物市場
  - ・第2次世界大戦後・取引所再開前の株取引
- その存在の是非を議論すべきでなく、うまく機能するにはどういう設計にすべきか議論すべき

江戸時代の大坂に  
米切手の先物市場  
世界初の先物・証券市場



ジョン・マクミラン著「市場を創る」, 2007/3/29  
<http://www.nttpub.co.jp/search/books/detail/100001751>



日本取引所グループ著(2017)「日本経済の心臓 証券市場誕生！」集英社  
[http://books.shueisha.co.jp/CGI/search/syousai\\_put.cgi?isbn\\_cd=978-4-08-786084-9](http://books.shueisha.co.jp/CGI/search/syousai_put.cgi?isbn_cd=978-4-08-786084-9)



# 複雑系である金融市場の規制・制度設計の難しさを示す例え話

森信親 金融庁長官(当時), 2015, "Rethinking Regulatory Reforms", the 6th Annual Pan Asian Regulatory Summit, Hong Kong  
<https://www.fsa.go.jp/common/conference/danwa/20151013/01.pdf>

和訳の参照: 永見野良蔵 金融国際審議官(当時), 2018, 日本金融学会 <https://www.fsa.go.jp/common/conference/danwa/2018/20180526.pdf>

森信親 金融庁長官(当時), 2015年、香港での講演より  
(金融規制を強化する欧米を批判)

タイタニック号沈没の3年後\*、乗客分の救命ボートを備えることを求める国際海洋救命条約が成立して、米国は同基準を国内航路にも適用したが、五大湖の遊覧船(イーストランド号\*)が救命ボートの重みで沈没し、多くの\*犠牲者が出た

規制を作った当初、予想していなかった副作用

\*水田修正

複雑系: 予期せぬ結果を招く

140名の医者が患者を取り囲み、症状ごとに別の強い薬を注射したら、患者はどうなるだろうか

金融安定理事会など国際機関に計140の部会が設けられ、それぞれ新規制を設計したり、実施状況を監視したりしていることの比喻

部分最適でも全体にどういう影響を及ぼすか分からない

複雑系: 部分の単純な足し算が全体とはならない



(当会の他の方の講演の様様)



[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eastland\\_disaster\\_port\\_side.jpg#/media/File:Eastland\\_disaster\\_port\\_side.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eastland_disaster_port_side.jpg#/media/File:Eastland_disaster_port_side.jpg)

神は細部に宿る

金融市場では、金融危機による混乱がしばしば発生  
⇒ どのような規制・制度で対応するか議論

取引市場の新規参入により、さまざまな制度の取引市場が登場  
⇒ より良い取引市場にするために、どのようなルールを採るべきか

### 実証研究の困難さ

導入したことがない規制・制度変更を議論

→ 実証データが全くない

価格形成に関して規制・制度変更の効果だけを取り出す

→ 実際の市場ではさまざまな要因が複雑

当局や取引市場が規制・制度を策定するときの議論

⇒ 仮説検証型の分析に基づかない定性的な議論のみ  
導入した後に副作用を発見し導入したものを廃止するといったことが繰り返される場合も



人工市場シミュレーション

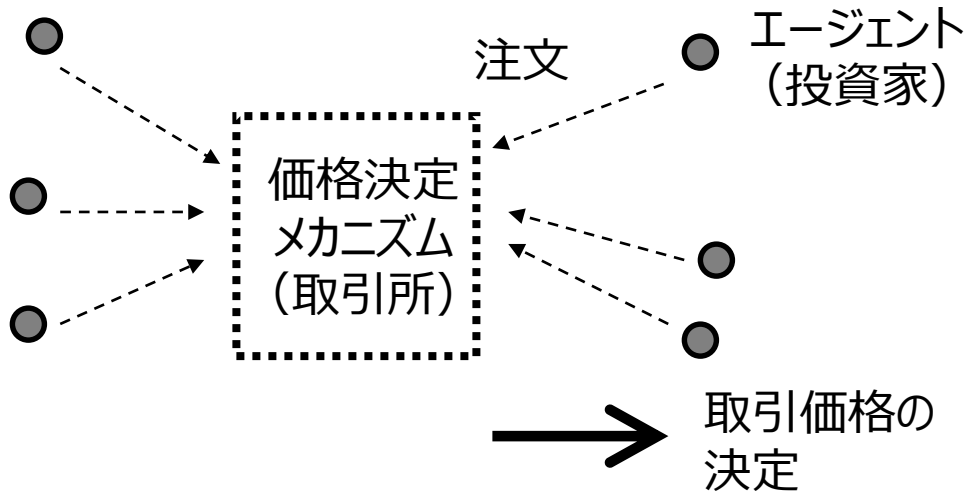
# 人工市場モデルを用いたシミュレーションとは？

計算機上に人工的に作られた架空の市場

エージェント（架空の投資家）

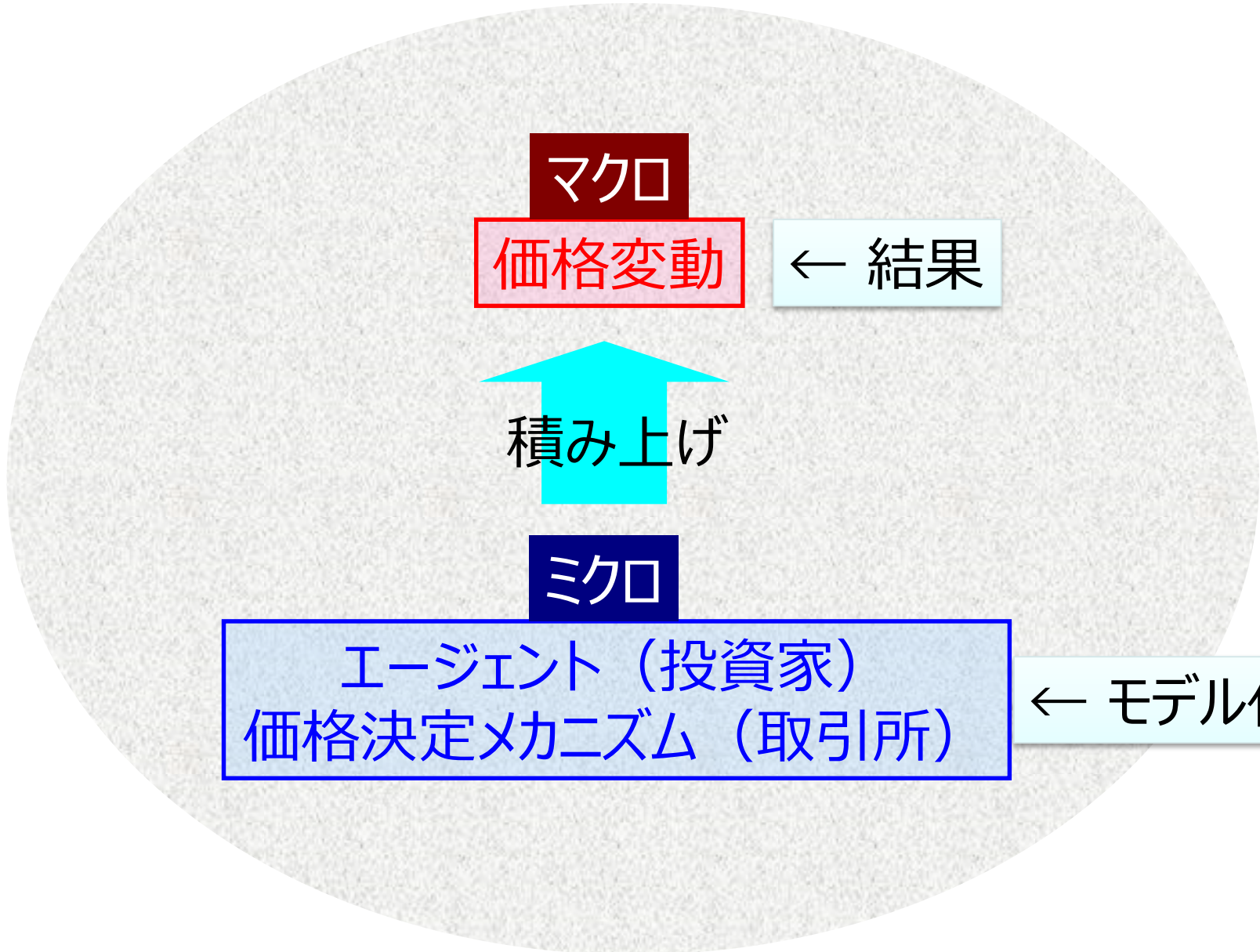
+

価格決定メカニズム（架空の取引所）



実データが全く必要ない完全なコンピュータシミュレーション

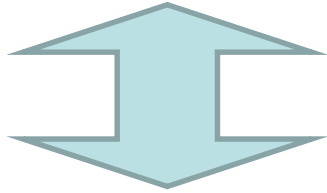
これまでに導入されたことがない金融市場の規制・制度も議論できる  
その純粋な影響を抽出できる



人工市場モデル

マイクロプロセスはシンプルなモデル化。  
しかし、それらが多様性(heterogeneous)を持てば、  
観測されるマクロ現象は非常に複雑となる。

複雑系



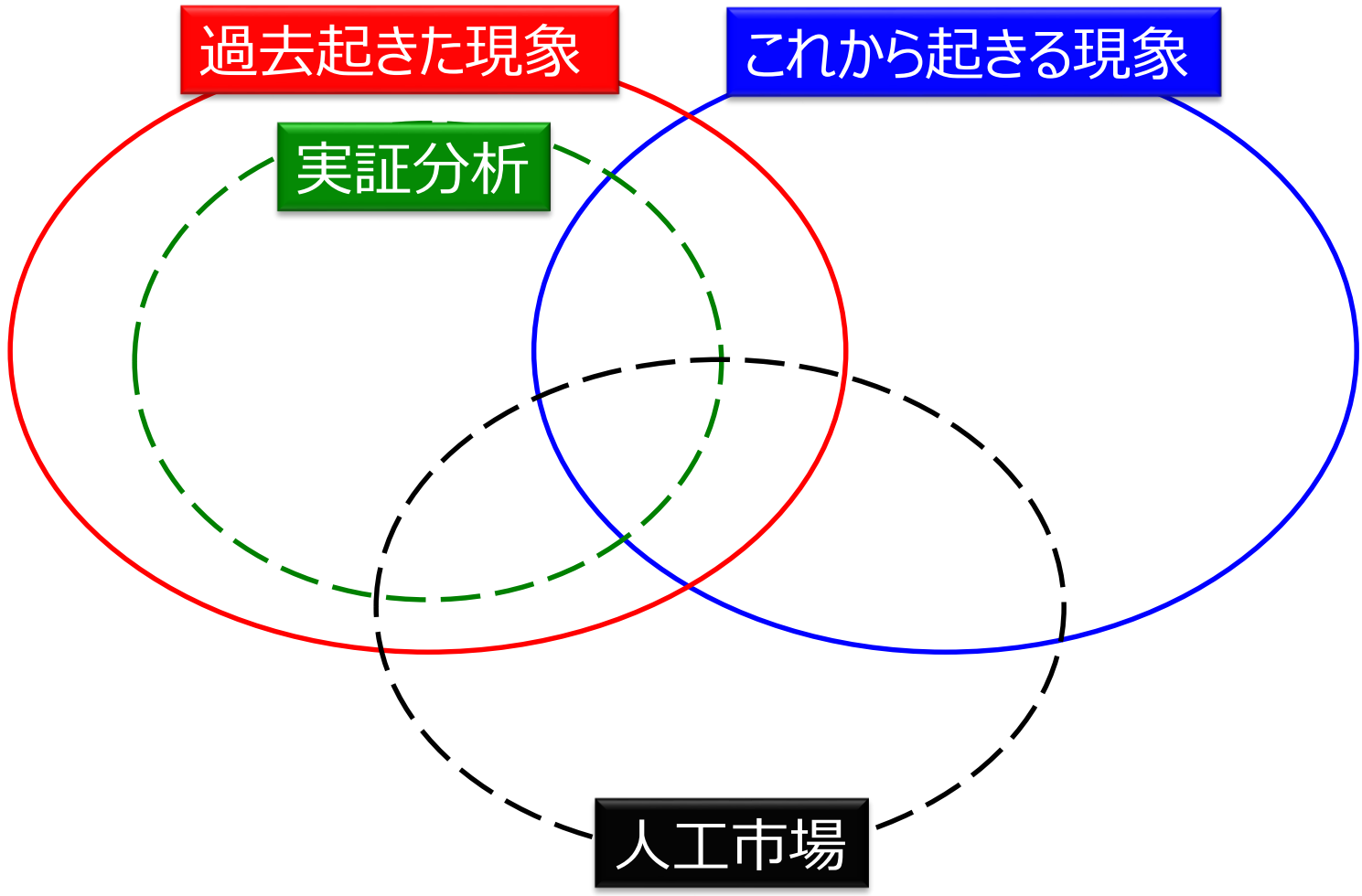
本質を失わないモデル化  
知識獲得ができる

良くないマクロモデル

複雑な数式でマクロをモデル化

モデル化の過程で本質を失っている可能性

# 人工市場の得意とする範囲



これから起きる現象を取り扱えるのが長所だが、  
これからも起こらない現象を取り扱ってしまう可能性があるのが短所

# 今回議論する人工市場の使い方

調査対象に応じたモデルに必要な要素の特定  
⇒ 調査内容によって良いモデルは異なる  
(不要な要素の実装は知識獲得の妨げ)  
実際に議論されている規制・ルールを分析・設計

規制・制度の議論に実務的に使える  
知識の獲得を目指す

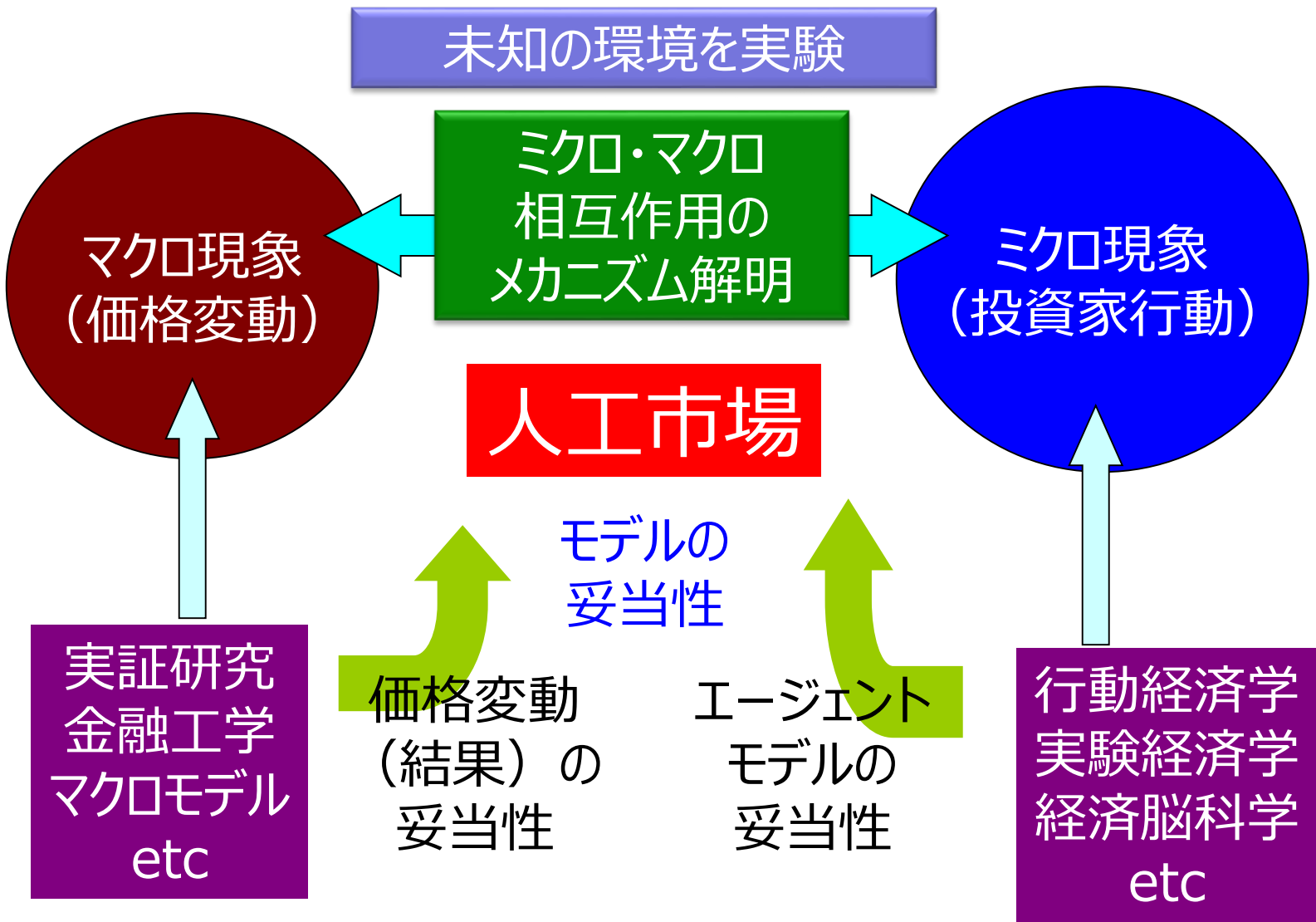
過去の特定事象の再現は目的でない

コロンブスの  
たまご的な  
気づき

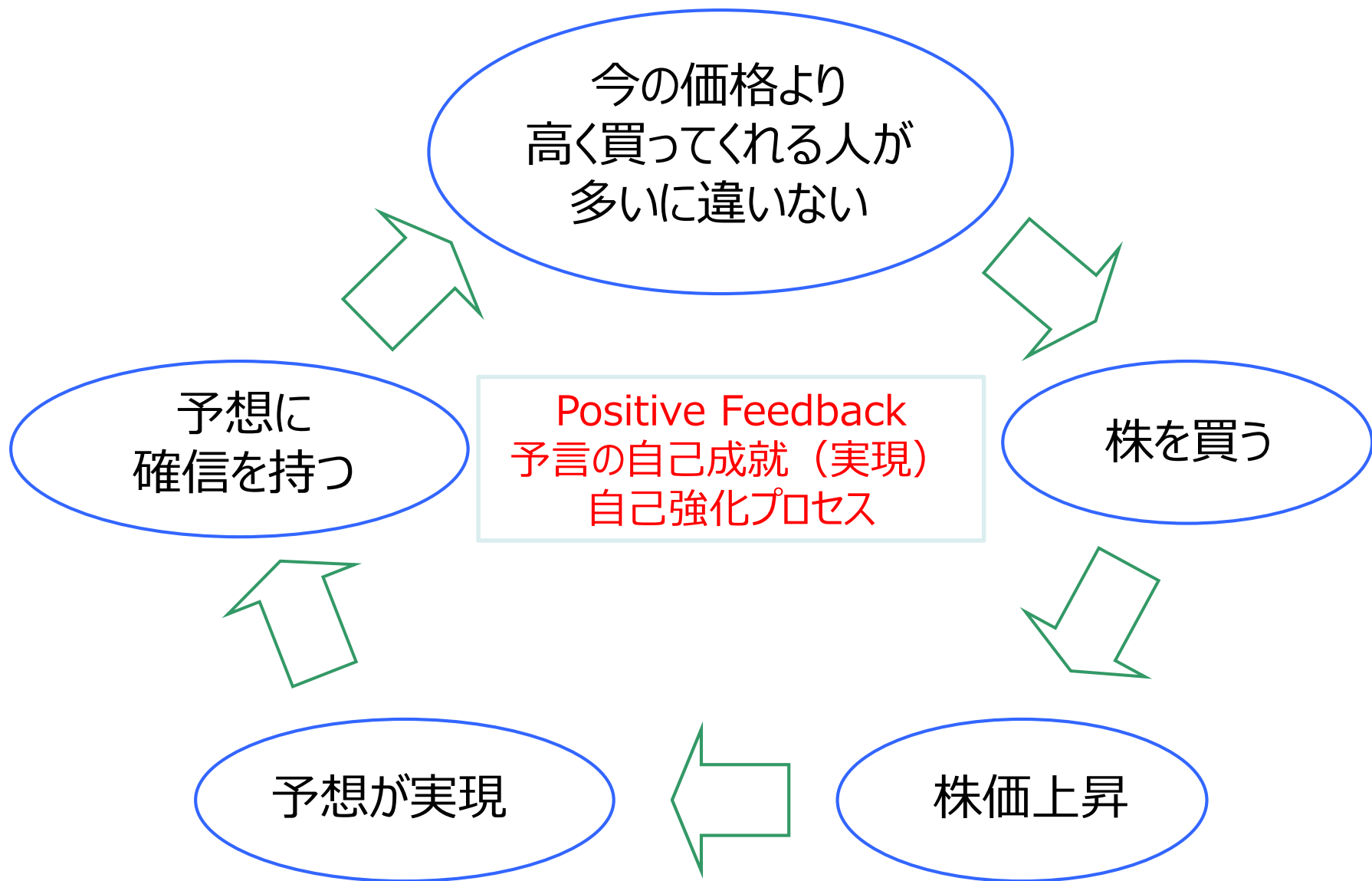
実際の議論で参考にされることを目指す

他の手法と協力して、「市場をうまく設計する」という目的を果たす

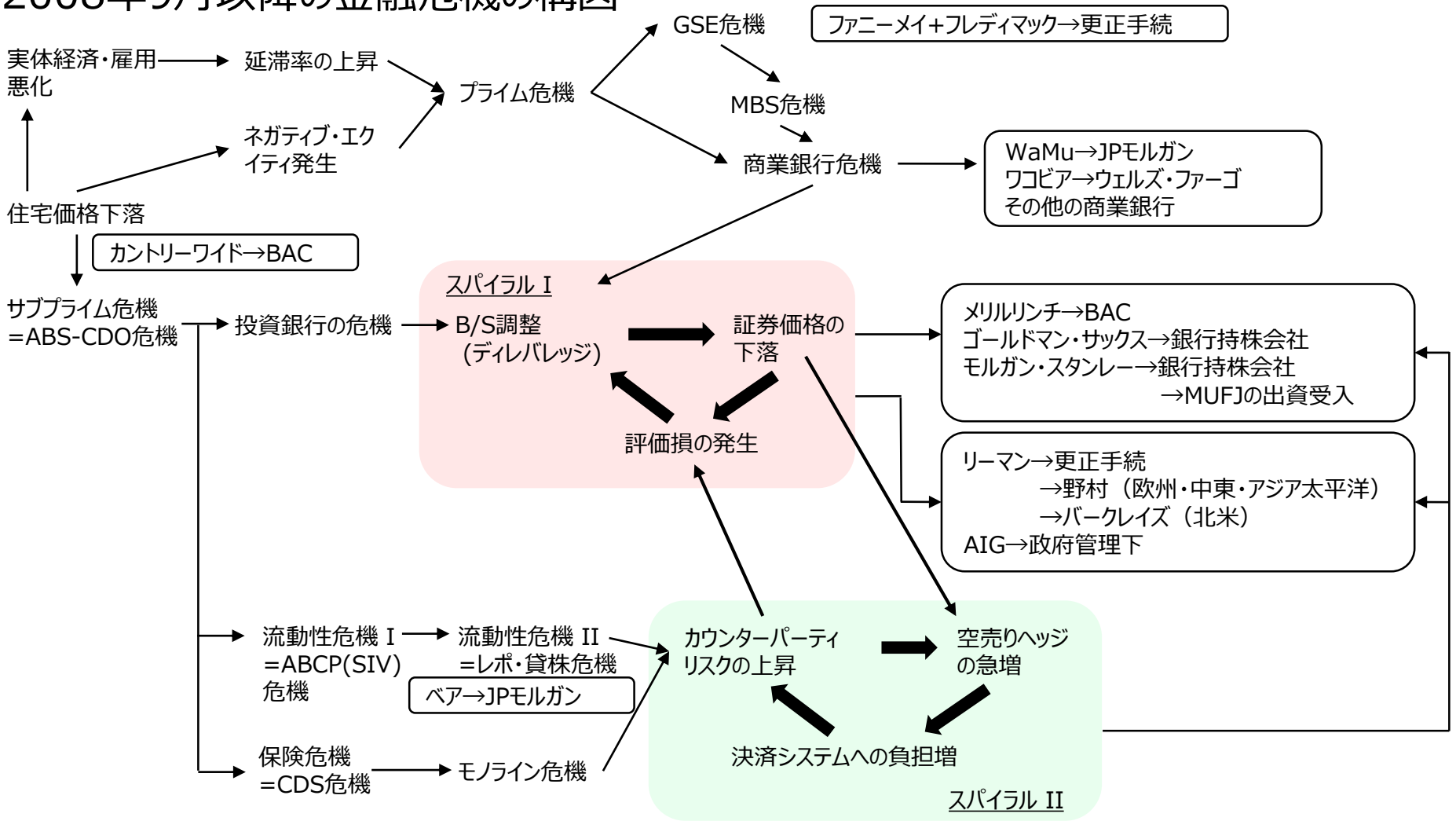
# 人工市場の得意とすること：マイクロ・マクロ相互作用







## 2008年9月以降の金融危機の構図



(出所) 各種資料より野村資本市場研究所作成

できること（得意なこと）

個人的意見

● 特定のマイクロ環境変化がどのような変化が起こりえるか？

★ マイクロ環境変化の例

新しい種類の投資家が参加

\* 他資産とのヘッジ取引、高頻度取引、心理バイアスのある人

取引所の制度・規制の変更

→ 歴史上ない変更も取り扱える

→ その変更の純粋な効果を取り出せる

★ “起こりえる”

起きるとは限らないが、可能性のある変化、思わぬ副作用を拾い出すのが得意

→ 変化の是非の議論の幅を広げる、視点を加える

確実にこう変化するとは、人工市場単独では言えない

複雑系内のマイクロ・マクロ相互作用のメカニズムの分析ができる

→ 知識発見できる、マクロ現象を意味づけできる

## できないこと（他手法がよいこと）

- 特定事象に関して“こうなる”といった未来予測はできない
  - 例) アベノミクスはうまくいくか？
  - 過去の特特定象のメカニズム分析はできる
- 株価予測みたいなことはできない
  - 起こりえる現象を拾い上げてそれが具体的にいつ起こるかなどはわからない
  - 例) 来月バブルがスタートするか？
    - ⇔バブルはこんな感じで起きている、ということは扱える
- 現実にはありえない設定であるかどうか
  - ↑ 他の手法との比較でしか議論できない
- 定量的に正確な議論
  - 例) 金融危機時はボラティリティは15%から25%へ上昇する
    - ボラティリティが上昇することは議論できる

# 金融市場の規制・ルール変更の議論に貢献

呼値の刻みの縮小（適正化）、空売り価格規制（アップティック規制）、適切な値幅制限の制限時間や値幅、ダーク・プールの適正な普及率、バッチオークションの副作用、H F T が市場間競争に与える影響、証券取引所システムの適切な速さ、レバレッジドETFの影響、信用分散規制の影響、自己資本規制やVaRの効果、銀行の連鎖倒産、クラッシュの伝播・それをおさえる制度・規制  
売買の少ないアクティブ運用が市場を効率化するかどうか

## NATUREやSCIENCEに、人工市場に期待をかける記事

Farmer and Foley (2009) The economy needs agent-based modelling, Nature, 460, 685-686, Aug 2009 <http://www.nature.com/nature/journal/v460/n7256/full/460685a.html>

オバマ大統領の経済チームが作成した洗練された経済・金融（数理）モデルはリーマンショックを理解するのに役に立っただろうか、いや役に立っていない。今まさに、エージェント・ベースド・モデル（人工市場モデル）が必要だ

Battiston et al. (2016) Complexity theory and financial regulation-Economic policy needs interdisciplinary network analysis and behavioral modeling-, Science 19 Feb 2016, Vol. 351, Issue 6275, pp. 818-819. <http://science.sciencemag.org/content/351/6275/818>

銀行間ネットワークやエージェント・ベースド・モデル（人工市場モデル）の研究を複雑系モデルとして紹介。金融の応用研究の分野では、複雑系モデルを使った研究は、まだ初期段階だがとても期待される分野。エージェント・ベースド・モデルは、金融の複雑系に潜む正のフィードバック現象を弱くし金融システムの安定化させるような、政策や規制はどのようなものかの知見を得られる。世界の金融システム全体をリアルタイムに監視する技術へつなげたいと、抱負。

これまでの経済学ではリーマンショックを分析・対応できなかったという批判  
→ 人工市場（エージェント・ベースド・モデル）ならできるとある・期待<sub>25</sub>



日本取引所グループ

東京証券取引所  
大阪取引所  
日本取引所自主規制法人  
日本証券クリアリング機構

### JPXワーキングペーパー

東京証券取引所の親会社、日本取引所グループ（JPX）は市場を巡る様々な環境変化や法制度等に関する調査・研究を行いワーキングペーパーを公表  
**29本中、実に9本が人工市場を用いた研究(2019年4月1日現在)**  
呼び値の刻み、HFTの影響、取引所の高速化、バッチオークション、自己資本規制やVaRの影響など

<https://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/index.html>

### 日本銀行職員のワーキング・ペーパー

Toshiyuki Sakiyama and Tetsuya Yamada, Market Liquidity and Systemic Risk in Government Bond Markets: A Network Analysis and Agent-Based Model Approach

<http://www.imes.boj.or.jp/research/abstracts/english/16-E-13.html>

(日本語要約版) [https://www.boj.or.jp/research/wps\\_rev/lab/lab16j09.htm/](https://www.boj.or.jp/research/wps_rev/lab/lab16j09.htm/)

国債市場のデータ分析と銀行ネットワークシミュレーションを比較

### EUが資金を出す金融政策研究プロジェクト

Integrated Macro-Financial Modelling for Robust Policy Design Work Package 7: Bridging agent-based and dynamic-stochastic-general-equilibrium modelling approaches for building policy-focused macro financial models <http://www.macfinrobods.eu/research/workpackages/WP7/wp7.html>

当然のようにエージェント・ベースド・モデルの研究が含まれる。マクロ経済を分析するにDSGEモデルでは不十分で、複雑系をそのまま扱えるエージェント・ベースド・モデルをDSGEモデルと比較可能な感じで導入しようっていう感じの研究

# シミュレーションモデルの役割

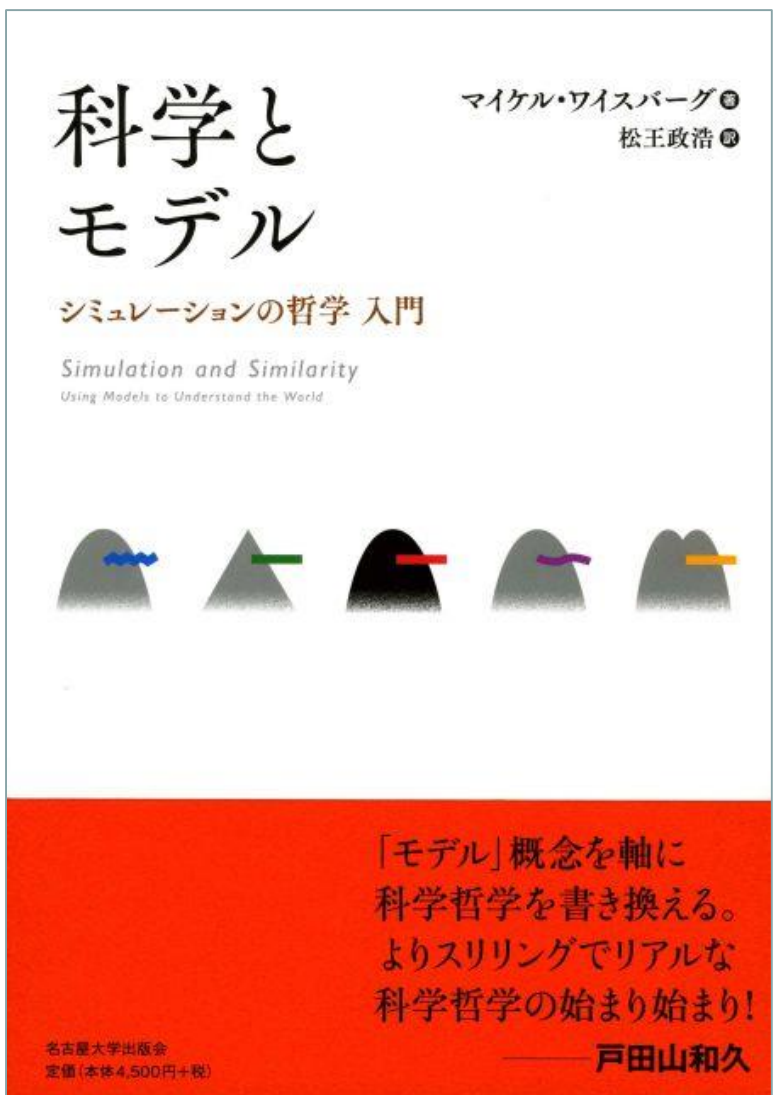
右の本は、“モデル”に関わっているすべての人に読んでほしいと思う。

そもそも“モデル”とは何なのか  
どういう役割があるのかを考察

この理解が不足しているため、  
不毛な議論が陥ることがしばしば

特に経済学の世界で、  
「シミュレーションモデルと  
数理モデルの役割の違い」  
に関する理解の欠如が顕著

シミュレーションモデルがどう役に  
立つのかほとんど理解されてない



科学とモデル シミュレーションの哲学 入門, 2017年  
<http://www.unp.or.jp/ISBN/ISBN978-4-8158-0872-3.html>



### \* 冒頭の扉の文

しばらくするとこの膨大な地図でもまだ不完全だと考えられ、地図学院は帝国と同じ大きさで、一点一点が正確に照応し合う帝国地図を作り上げた。西部の砂漠では、ぼろぼろになって獣や乞物の仮のねぐらと化した地図の断片がいまでも見つかることがある

J.L.ボルヘス「汚辱の世界史」

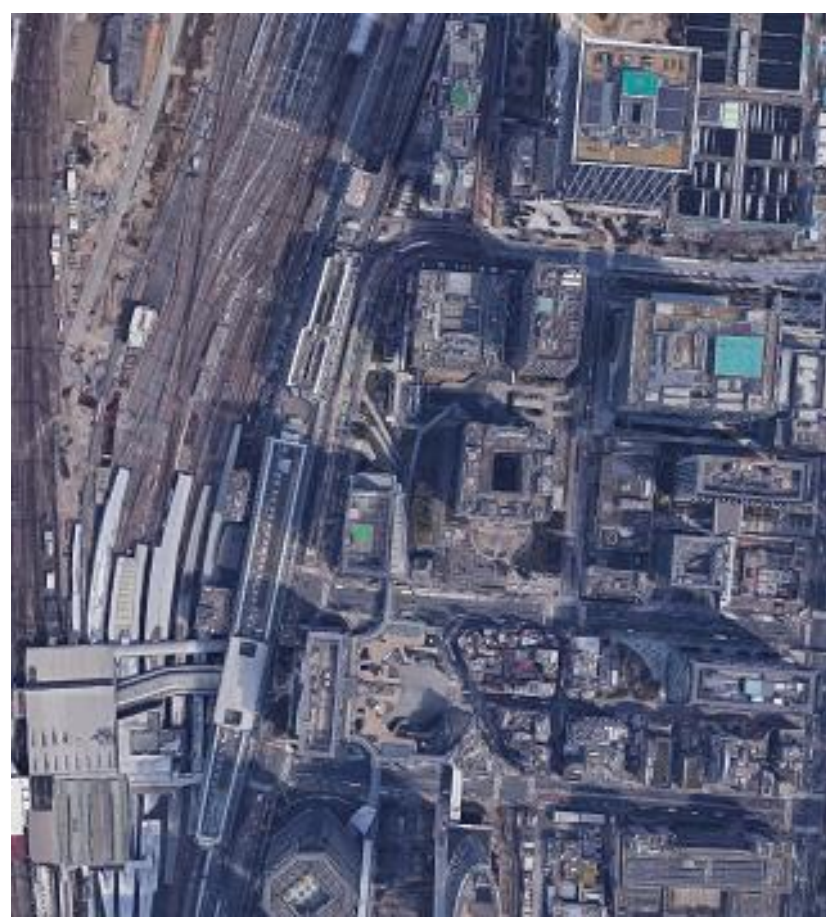
- \* モデリングとは、モデルの構築や分析を通じて、現実世界を間接的に研究する手法のことである
- \* 多くの例からわかるように、モデリングは必ずしも現実世界の完全な表現を目指しているわけではない。（中略）。むしろ彼らが力を入れていたのは、背景システムのどんな特徴が、自らの探求に対して特に重要となるのかを突き止めることだった。
- \* 細胞の教科書モデルは実際の細胞に比べて抽象的であり、同時に理想かもされていると指摘する。抽象的だというのは、それがいかなる特定の種類の細胞とも違うからである。標準モデルは、すべての真核細胞が共有する性質をもったモデルである。このことと関連するが、理想化されているというのは、それが汎化される事でモデルのある部分が現実の細胞に対して歪められているからである。



# どちらの地図が分かりやすいか？



現実とは大きく異なるが、理解しやすい  
迷子にならない



現実に近いが分かりにくい  
迷子になる

理解したいことの本質以外は削り落としてモデル化  
理解したいことが異なれば削り落とす部分も異なる

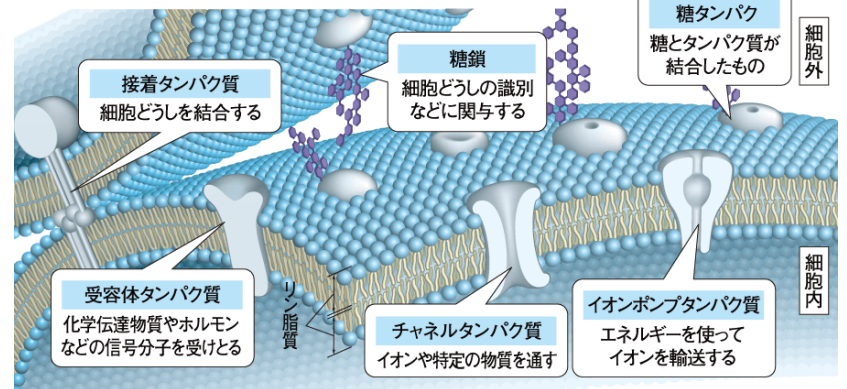
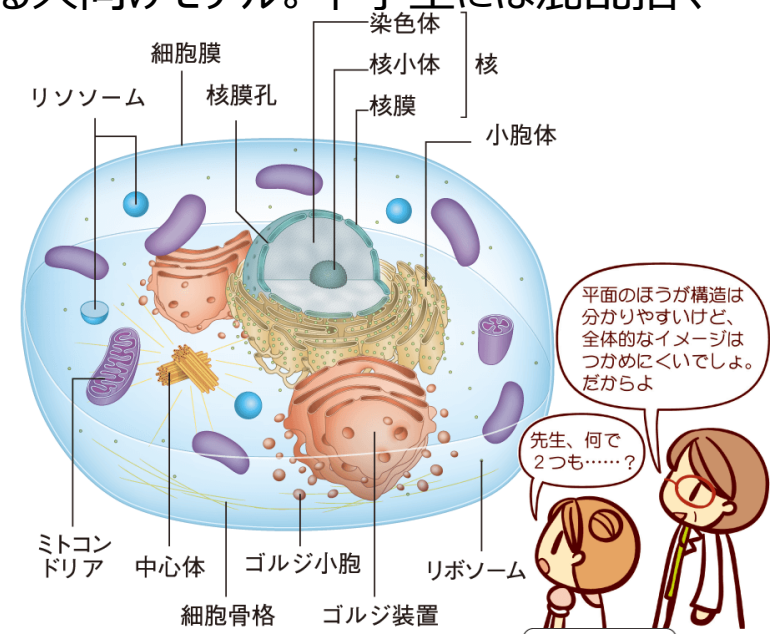
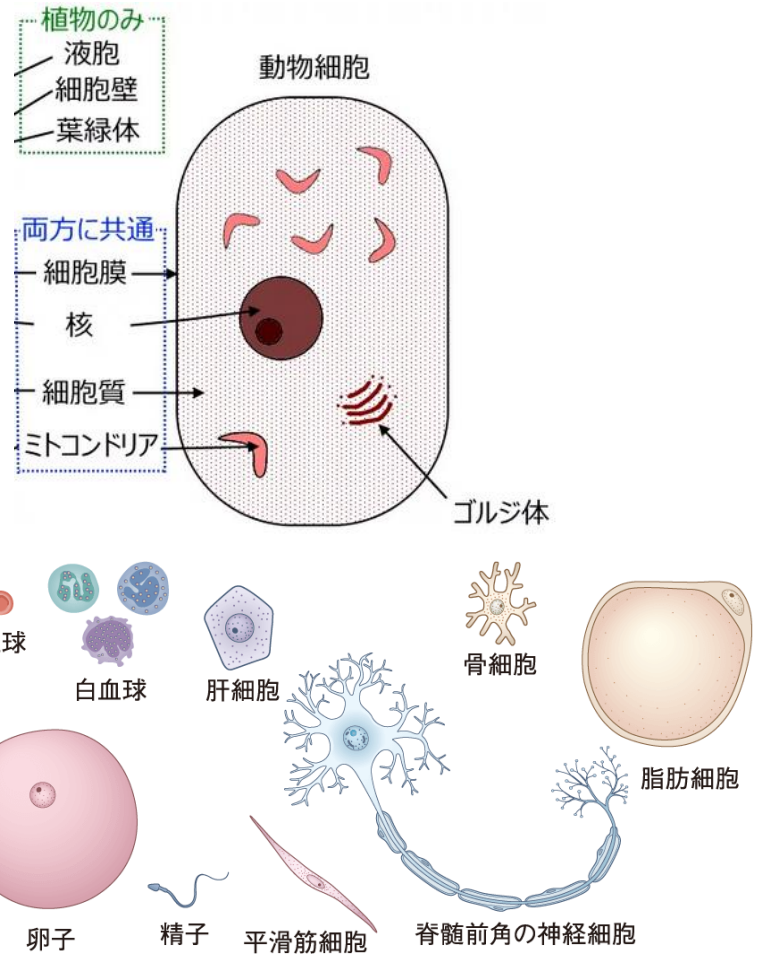
# 現実の再現が目的ではない：細胞の教科書モデル

中学理科まとめ [http://rikamoto.com/2017/11/28/2\\_20/](http://rikamoto.com/2017/11/28/2_20/)

細胞の本質（核、細胞質、細胞膜等で構成）を学ぶためのモデル。この細胞は実際には1つも無い

解剖生理をおもしろく学ぶ, 2015年  
<https://www.kango-roo.com/sn/k/view/1554>

看護師試験レベル←もっと深く知る必要がある人向けモデル。中学生には混乱招く



いろいろな種類の細胞モデル  
 上のモデルを見た後なら、違いを理解しやすい  
 (例：核の大きさ、位置で分類できる)

細胞膜詳細←上のモデルにこれを書かれるとか  
 えてて分かりにくい

# モデルの役割

投資家  
Aさん

投資家  
Bさん

投資家  
Cさん

注目している現象に対して、  
本質的な性質（行動・手続き）のみ継承

注目している現象が違えば、  
本質的な性質も異なり  
モデルも異なる

投資家  
モデル

投資家を理解するための  
世界に一人もない投資家

例：ファッションモデル：服を理解  
モデルルーム：部屋を理解

本質的な性質（行動・手続き）が、注目している現象に対して、  
どのような役割を果たし、どのようにマクロに影響を与えているか理解する

投資家Aさん、Bさん、、、の再現が目的ではない、  
投資家の本質を理解することが目的

注目している現象ごとに良いモデルは異なる



\* ある現象を説明するために数値計算（シミュレーション）モデルが持ち出されるとき、たいていは、遷移規則やアルゴリズムが説明項として用いられる。シェリングは、小さな心の傾向を反映した小さな意思決定が集まると、大規模な人種分離の人口統計につながることを指摘し、人種分離に関する説明を行った。ここではモデル状態の時系列やモデルの最終的な平衡状態などは、いずれも説明力を持っていない。説明には、アルゴリズムそのものが必要なのである。

アルゴリズム：自分と同じ人種が隣にいる割合が30%から100%の間ならばこれを気にかけず、30%未満になると不満になる

## 19 第2章 三つの種類のモデル

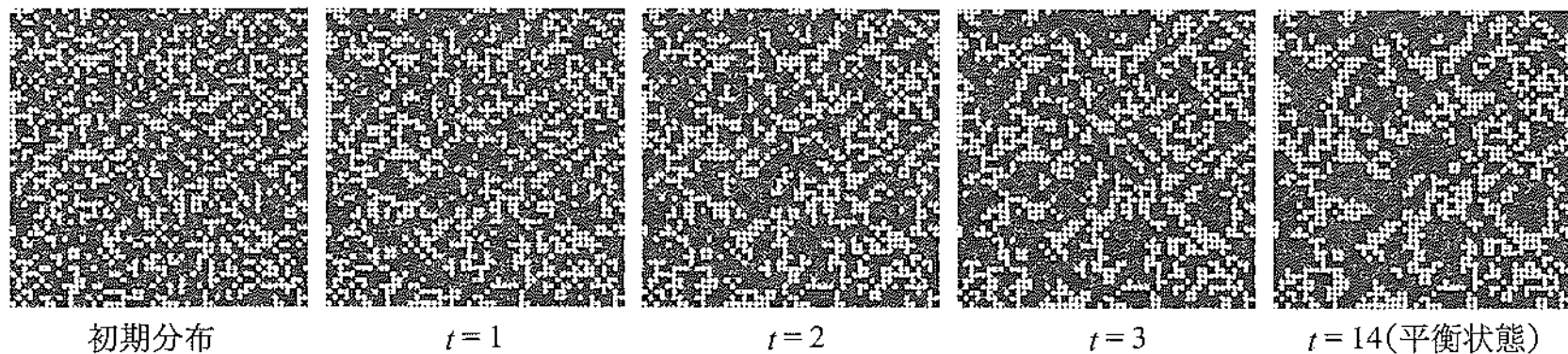


図 2.2 シェリングの人種分離モデルの例。51 × 51 の格子に 2000 の行為者が配置されたもの。各行為者は、ムーア近傍の 30% が同じ色、形であることを好む。行為者の初期の分布はランダムで、14 の時間ステップ後にモデルは平衡状態となった

# シミュレーションモデルにはできて数理モデルにはできないこと：シリングモデルを例に

学生(#)と教授(@)が参加する立食パーティー

ミクロ動機とマクロ行動, 2016年  
<http://www.keisoshobo.co.jp/book/b251669.html>

#	#	@	#	@		
#	#	@	@	#	@	
#	@	#	@	#	@	
@	#	@	#	@	#	@
@	@	@	#	@	@	@
#	#	#	#	@		
#	@	#	@	#	@	
@	@	#				

ルール：

- 自分の周り（8マス）自分の同類が1/3より多ければよい
- 他方に囲まれた場合どこかに移動

繰り返していくと、...

#	#	@	#	#			
#	#	#	@	@	@	#	#
#	#	@	@	@	@	#	
#	@	@	@	@	@	@	
@	@	@	#	@	@	@	
@	#	#	#	@	@	@	
#	#	#	#				
@	@	#					



分離されてしまう

修正ルール：

- #: 要求同類の人数 1 人増
- @: 1 人減、繰り返していくと、...

#	#	#	#	@	@	
#	#	#	#	@	@	@
#	#	#	#	@		
@	#	@	@	@	@	@
@	@	@	#	@	@	@
#	#	@				
@	#	#	#	@		
@	@	#	#	#		

「自分があまりにも少数派になりたくない」だけで分離が起きる。積極的に「嫌い」なわけじゃない

この理由が分かることがシミュレーションの目的  
現実の会場の最終配置を予測することは目的でない

配膳テーブルの位置とか、個々人の食べる量の違いとか、准教授は？とか、現実にこんな会場ないとか、こんな単純な人いないとか、「この調査目的において」はどうでもよい。むしろ「理由の理解」には邪魔になるだけ。

#の場所が狭くなる

「知りたいこと」に応じてモデルを簡略化・複雑化することが大事

# シミュレーションモデルの役割

ミクロプロセス：投資行動、取引所ルール  
マクロ現象：価格形成  
の関係が知りたい

数理モデル  
マクロモデル  
このみ扱える

- A国 株式市場
- A国 債券市場
- B国 株式市場

本質的な性質のみ再現

価格形成  
(シミュレーション結果)

取引所  
モデル

注文  
突合せ  
(アルゴリズム  
の集積)

ルール  
変更

投資家  
モデル

投資  
行動  
(アルゴリズム)

これらの  
関係が  
知りたい！

本質的な性質のみ継承

- 投資家 Aさん
- 投資家 Bさん
- 投資家 Cさん

### エージェント

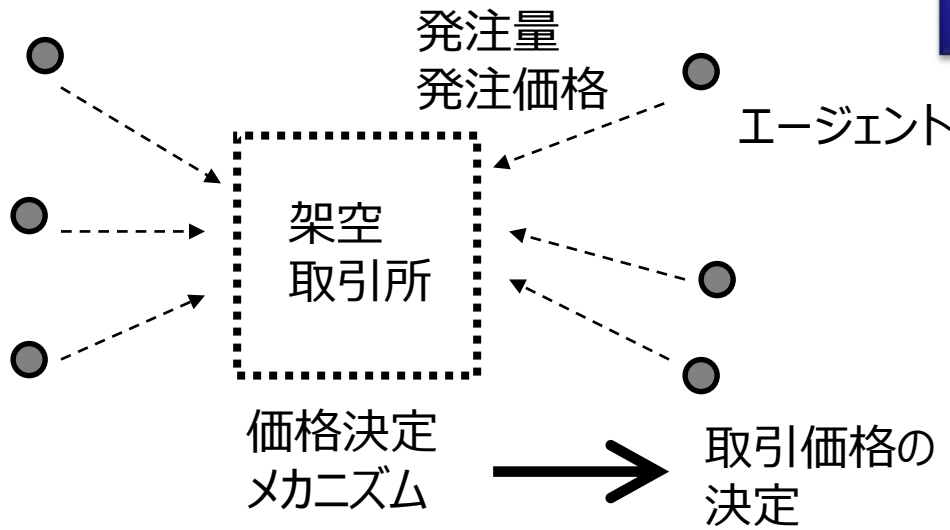
ごく一般的な投資家を再現

特定環境のみに存在する特殊な投資家は再現しない

↑ 過去の特定事象の再現でなく、

規制・制度の一般的なメカニズムの理解が目的

一般的な投資家をモデル化



調査対象の制度・規制を正確にモデル化

### 価格決定メカニズム

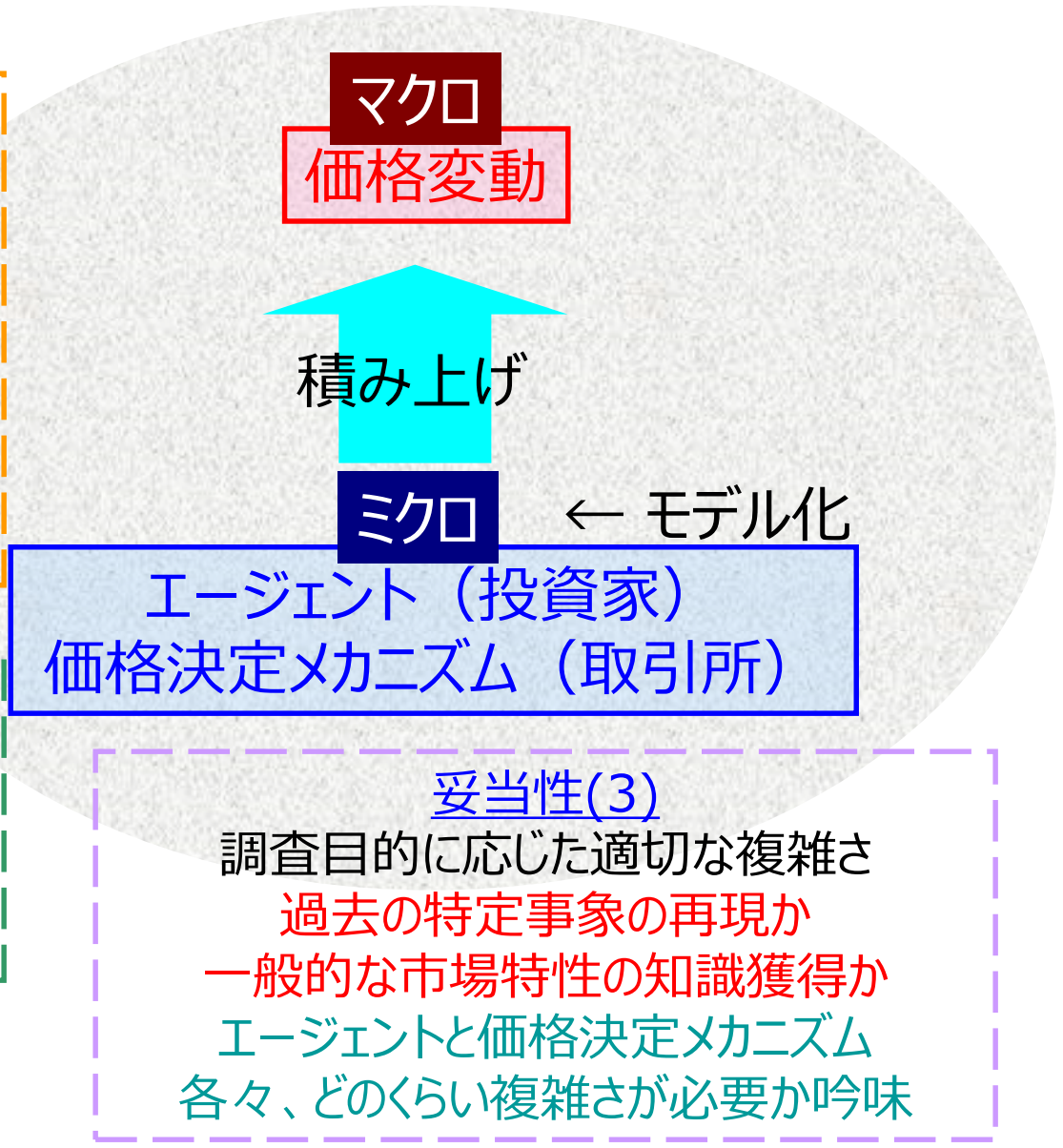
調査対象の制度・規制を再現する必要がある

Chiarella et. al. 2002をベースにしてモデルを構築

# モデルの構築において、、、

**妥当性(1)**  
現実のマクロを  
(必要な部分) 再現  
スタイライズド・ファクトを再現  
ファット・テール  
ボラティリティ・クラスタリング  
その他目的に応じて  
再現するもの

**妥当性(2)**  
実証等で解明された  
ミクロにあわせる  
ファンダメンタル投資家  
テクニカル (順張り) 投資家



**妥当性(3)**  
調査目的に応じた適切な複雑さ  
過去の特定期事象の再現か  
一般的な市場特性の知識獲得か  
エージェントと価格決定メカニズム  
各々、どのくらい複雑さが必要か吟味



# 価格決定メカニズム:現実と同じように複雑

調査対象の制度・規制が再現する必要がある

正確なモデル化

continuous double auction (ザラ場) :  
注文が入るごとに価格を決定

ザラバ

売り 注文株数	注文 価格	買い 注文株数
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	←ここに注文を入れるとすぐ取引成立
ここも同様⇒	98	150
	97	
	96	70

対等する注文があるとすぐに成立

⇔簡略なモデル

価格変化  $\propto$  (買い注文量 - 売り注文量)

# エージェントモデル

j: エージェント番号  
(1000体, 順番に注文)  
t: 時刻(ティック時刻)

過去リターン  
 $r^t_{h,j} = \log P^t / P^{t-\tau_j}$

テクニカル

予想リターン

$$r^t_{e,j} = \frac{1}{\sum_i w_{i,j}} \left( w_{1,j} \log \frac{P_f}{P^t} + w_{2,j} r^t_{h,j} + w_{3,j} \varepsilon^t_j \right)$$

エージェントの  
パラメータ

$w_{i,j}$   $\tau_j$   
一様乱数で決定  
途中で変わらない

$w_{i,j}$   $i=1,3: 0\sim 1$   
 $i=2: 0\sim 10$

$\tau_j$   $0\sim 10000$

ファンダメンタル

$P_f$  ファンダメンタル価格  
10000 = 定数  
 $P^t$  現在の取引価格

ノイズ

$\varepsilon^t_j$   
正規乱数  
平均0  
 $\sigma=3\%$

予想価格  $P^t_{e,j} = P^t \exp(r^t_{e,j})$

# 価格の予想方法（投資戦略）

## \* ファンダメンタル戦略

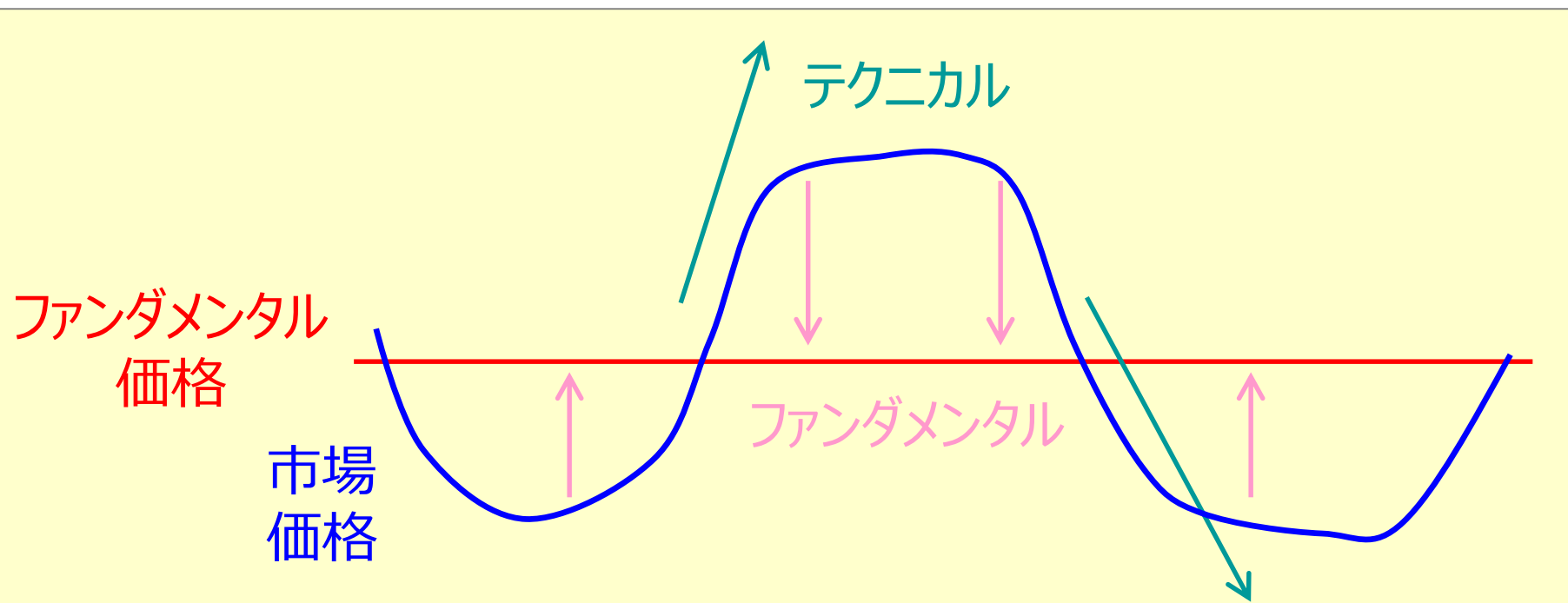
ファンダメンタル価格  $>$  市場価格  $\Rightarrow$  上がると予想

ファンダメンタル価格  $<$  市場価格  $\Rightarrow$  下がると予想

## \* テクニカル戦略

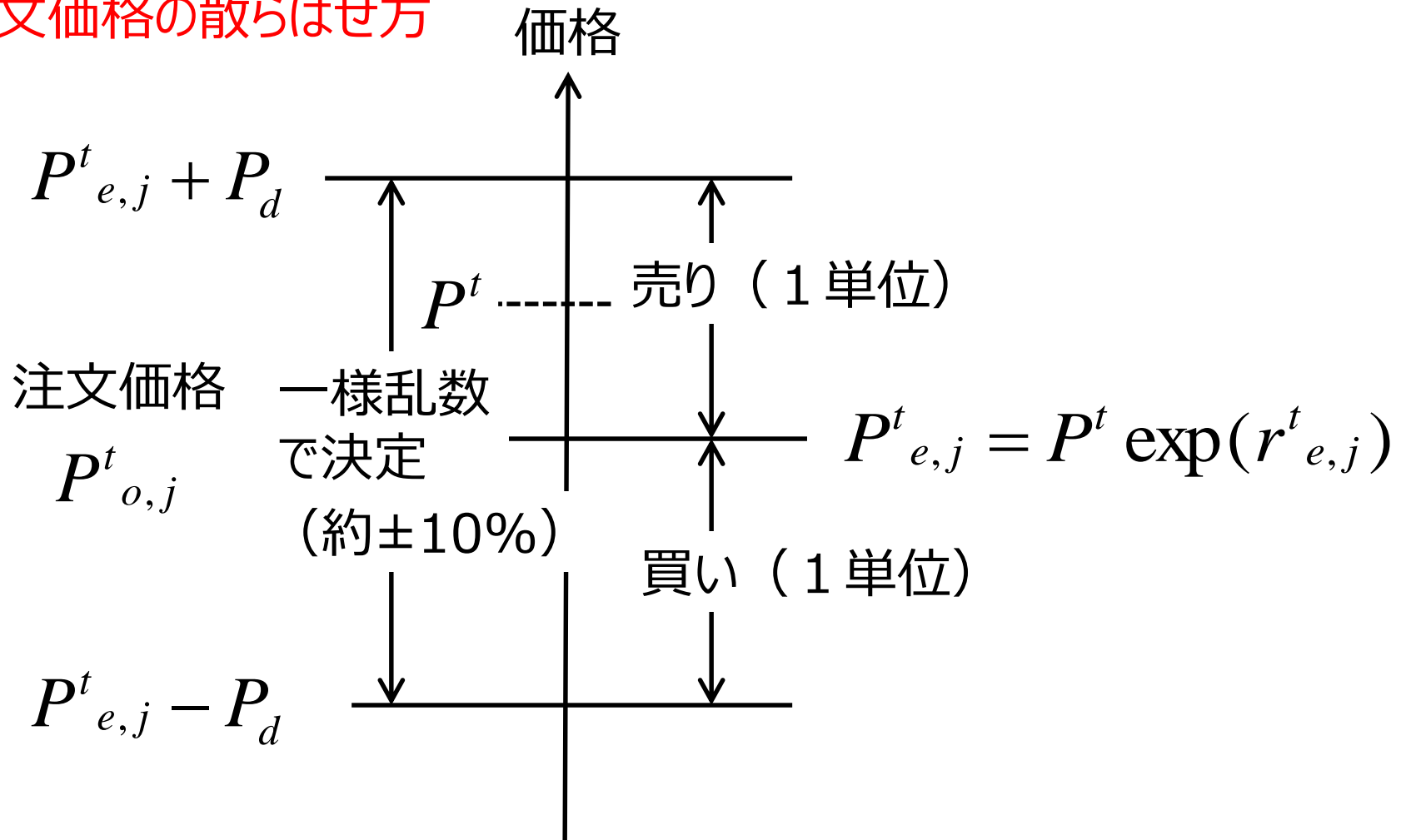
過去リターン  $>$  0  $\Rightarrow$  上がると予想

過去リターン  $<$  0  $\Rightarrow$  下がると予想



# 売り買いの決定

## 注文価格の散らばせ方



実際のザラバの注文状況を再現するため

⇒多くの待機している注文（指値注文）が存在

↑ 高い価格で多くの売り注文、安い価格で多くの買い注文

## 妥当性検証（概略）

知られている全てのスタイライズド・ファクトの再現は目的でない  
⇒ 調査目的に応じた適切な複雑さ

★ 金融市場においてどのような状況でも存在

⇒ 値には幅あり

(1) ファットテール (Mandelbrot 1963等多数)

価格の騰落率の分布が正規分布に比べ裾が厚い  
→ 暴騰・暴落が正規分布で予想されるより多い

尖度：1～100程度と値には幅がある

(2) ボラティリティ・クラスタリング (Mandelbrot 1972等多数)

価格の騰落率の2乗が大きなラグでも自己相関をもつ  
→ 市場が荒れたすと持続する

短いラグで0.1～0.2程度、ラグが長くなると急激に減少  
ゼロに近づくもののマイナスにはならない（プラスを維持）

(2)  
ティック・サイズの縮小

# 伝統的取引所と私設取引所（PTS）の競争

証券会社などが独自運営する私設取引所（PTS）

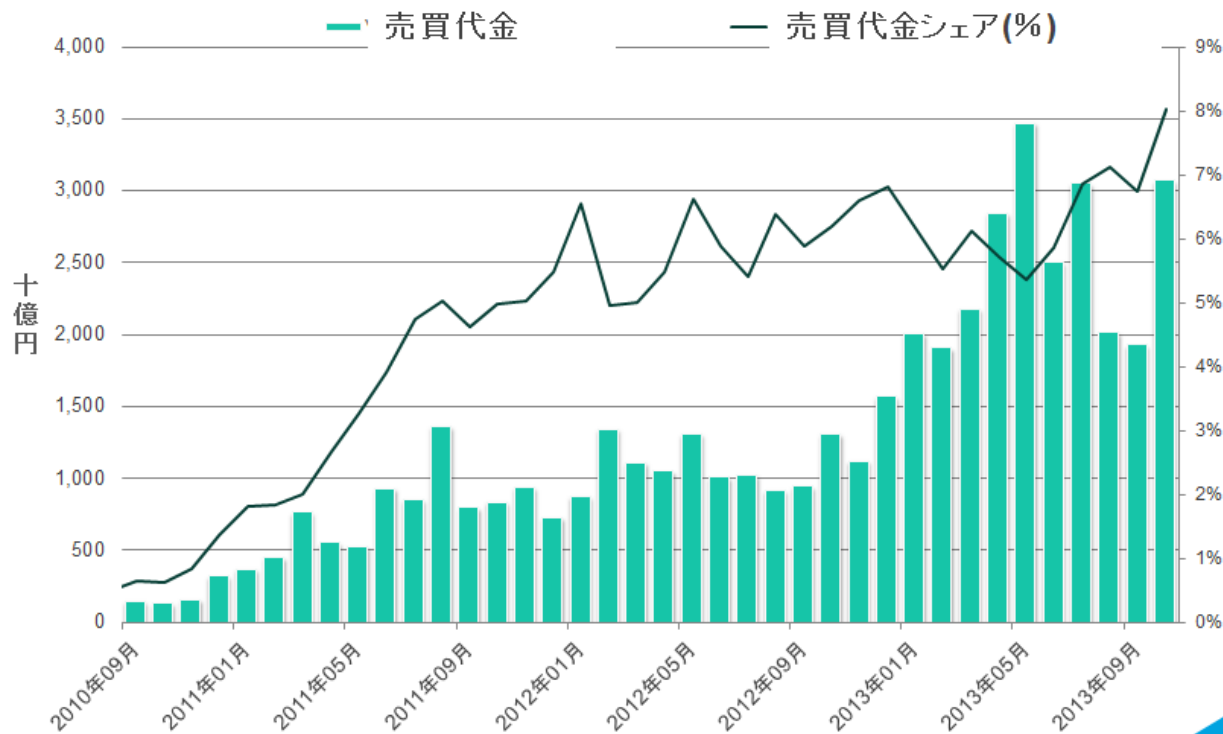
ジャパンネクスト証券（SBI系）、Chi-X Japan（独立系）

→ 東証の経営にとっても無視できない売買代金シェア

↑ 東証もPTSも売買代金に比例した手数料が主な売上

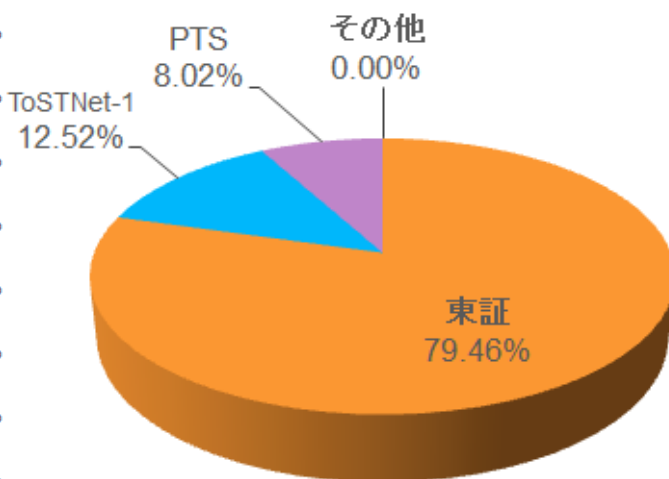
Fidessa

PTS売買代金の動向（日経225構成銘柄を対象）



出所:フィデッサ

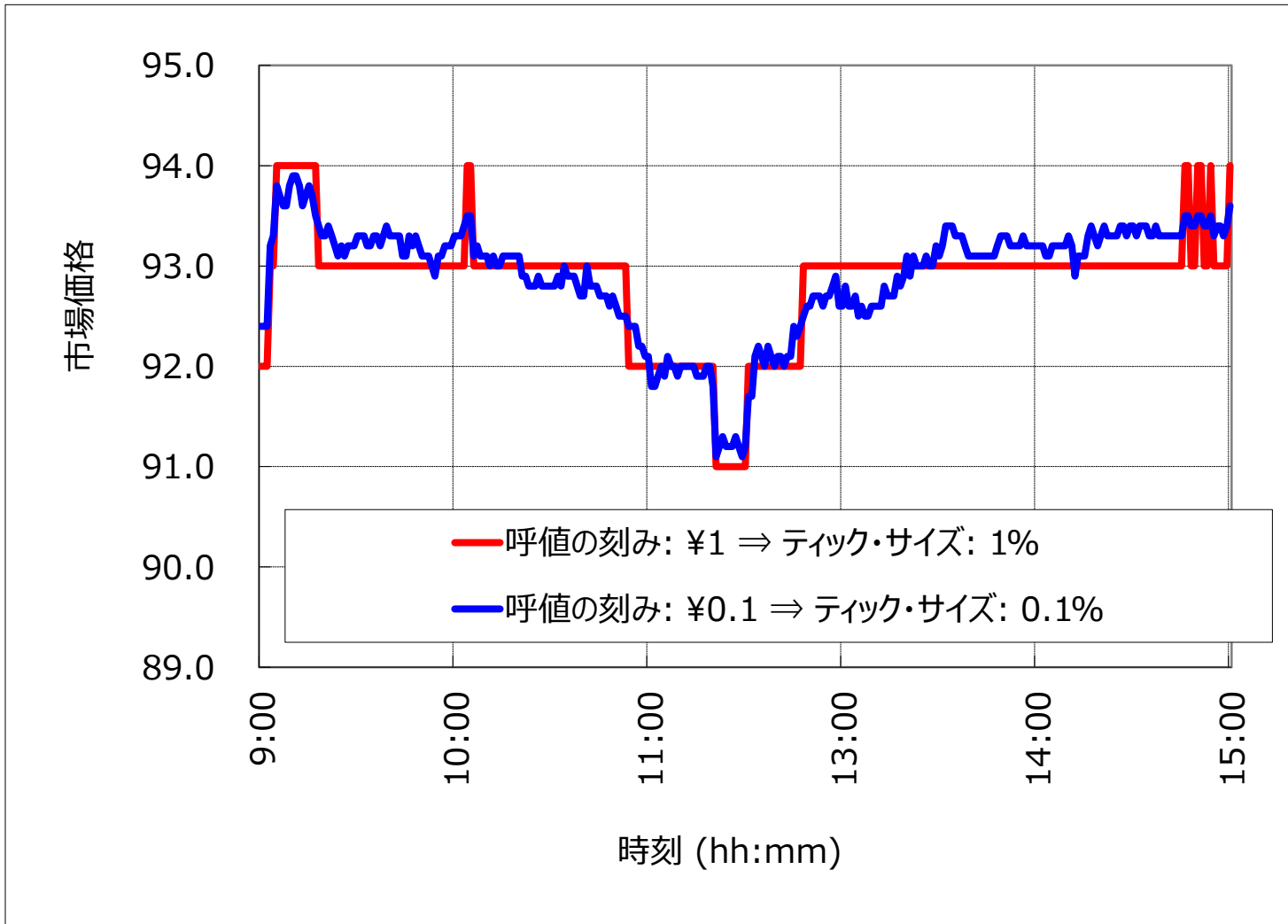
2013年10月末現在



青の“ToSTNet”は  
殆どが“ダーク・プール”？

# PTSとの競争は“ティック・サイズ”が重要な要素の1つ

## 同じ株式の、2つの取引市場での株価の動き



ティック・サイズが大きすぎると騰落率が比較的大きい  
⇒投資家が困る⇒他の取引市場で取引⇒取引量シェアが移る



## ティック・サイズ変更に関する共同研究の推移

- 2011～2012 東京証券取引所の一部の方々が  
人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会に出入り
- 2012/12 東京証券取引所と東京大学工学系研究科が  
共同研究開始を発表
- 2013/1/30 J P X（日本取引所グループ）ワーキングペーパー  
☆呼び値の刻みが大きいとP T Sにシェアを奪われる  
共同研究第一弾として社長記者会見でも触れられる
- 2013/3/19 人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会  
東京証券取引所で開催、招待講演にて上記研究を発表
- 2013/3/29 JPX社長記者会見：呼び値の刻みを細かくすることを発表  
日経新聞朝刊の一面記事に
- 2014/7/22 一部の銘柄で10銭(0.1円)刻みの注文が可能に
- 2015/9/24 ごく一部の銘柄でティック・サイズを拡大



サンケイビズ 2013年3月30日

東京証券取引所と東京大学は  
「金融商品市場の安定化・効率化に向けた情報技術の研究」  
に関する共同研究を開始します

2012年12月10日  
株式会社東京証券取引所  
東京大学大学院工学系研究科

株式会社東京証券取引所と国立大学法人東京大学は、金融商品取引市場の安定化・効率化のためのデータ解析技術やシミュレーション技術の開発を目的とした共同研究を開始しますので、お知らせいたします。

## SankeiBiz

### 株価の刻み幅「10銭」単位に 日本取引所、来年1月に試行の背景

2013.3.30 08:00

日本取引所グループが、株価の刻み幅を現在の10分の1に縮小して行う取引を来年1月に、試験的に導入する方向で検討していることが29日分かった。銘柄を限定して始め、結果をみて2015年度中にも本格導入する。細かな値動きをさせることで、売買を活性化させたい考えた。

現在、株価が3000円以下の株式は1円刻みの値動きをするが、これを10銭刻みにする。背景には、日本株は世界の主要株式市場と比べ、刻み幅が大きいとされていることがある。100円なら1%以上動かないと差益が出ないことになる。

株価の水準が低い銘柄は売買高が比較的少ない場合が多いが、みずほフィナンシャルグループや全日本空輸など、主力株でも200円前後の銘柄がある。

日本取引所は26日に発表した中期経営計画に、株価の刻み幅の見直しを盛り込んだ。齊藤惇最高経営責任者(CEO)は「より適正な株価の発見、執行コスト低減の観点から進める。影響度が見えにくいので、銘柄を限定して試験を行う」と説明していた。15年度には東京証券取引所の株式売買システム刷新を控えており、これに合わせて本格導入する可能性がある。

<http://www.sankeibiz.jp/macro/news/130330/eca1303300801002-n1.htm>



日本取引所グループ  
JPX企業情報

MENU

調査・研究／政策提言

- JPXワーキング・ペーパー
- 日本取引所グループ金融商品取引法研究会
- JPX金融資本市場ワークショップからの提言
- デリバティブ投資家層の裾野拡大に向けた勉強会
- 業界連携型DLT実証実験
- 過去の各種研究会

JPX トップページへ アクセス お問い合わせ

English

中文

文字サイズ

小

中

大

検索キーワード



JPXについて > 調査・研究／政策提言 > JPXワーキング・ペーパー

2019/04/01 更新 このページを音声で聴く 印刷

## JPXワーキング・ペーパー

JPXは、競争力強化に向けて、市場を巡る様々な環境変化や法制度等に関する調査・研究を進めております。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・関連会社の役員員及び外部研究者による当該調査・研究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、株式会社日本取引所グループ及びその子会社・関連会社の公式見解を示すものではありません。

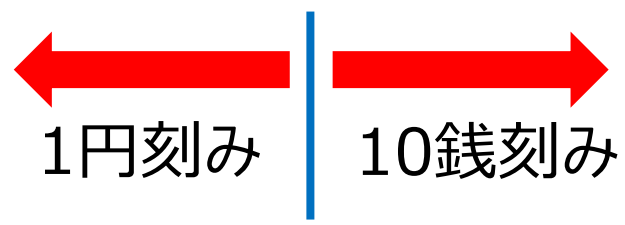
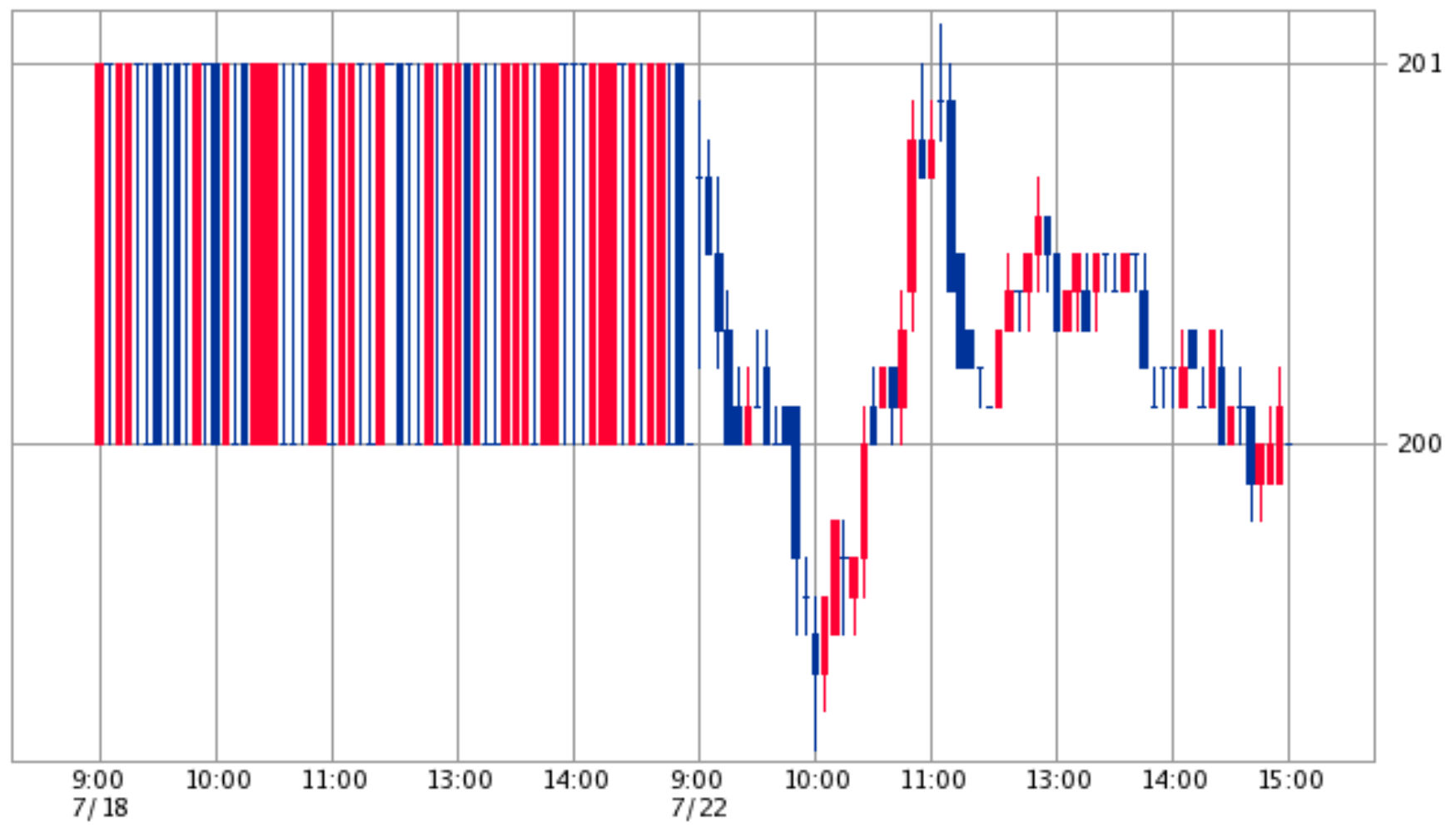
	発行日	タイトル	全文	要約版
Vol.29	2019/04/01	人工市場を用いた金融市場流動性に影響を与える要因の調査		
Vol.28	2019/04/01	株価分析に基づく投資家行動の解析	-	-
Vol.27	2019/02/25	株式とETFの裁定取引にかかるコストと流動性の関係 - 人工市場によるシミュレーション分析 -		
Vol.3	2013/03/19	混合ガウスモデルを用いた市場注文状況の変化の検出		
Vol.2	2013/01/30	人工市場シミュレーションを用いた取引市場間におけるティックサイズと取引量の関係性分析		
Vol.1	2012/09/28	東証市場における空売りの実態及び空売り規制の影響		



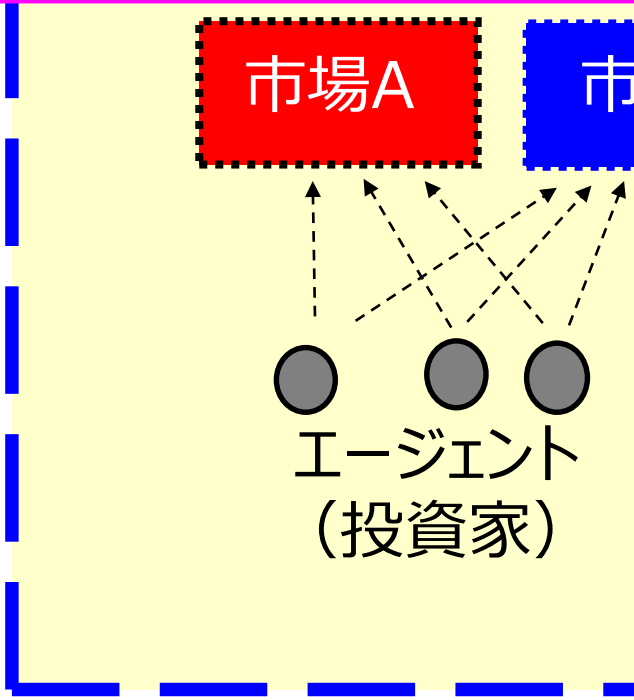
JPXワーキング・ペーパー Vol.2 (2013年1月30日) **赤の四角**  
人工市場シミュレーションを用いた取引市場間におけるティックサイズと取引量の関係性分析

<http://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/>

# 2014年7月22日と18日（前営業日）



価格の刻み（ティック・サイズ）のみ異なる市場 A、B で  
どのように出来高シェアが移り変わるかを分析



成行注文（即座に成立する注文）：  
有利な価格で  
売買できる市場を選択

指値注文（即座には成立しない注文）：  
各市場の過去の取引量シェアに  
比例して配分

市場 A：初期の取引量シェア 90%、ティック・サイズ大きい  
市場 B：初期の取引量シェア 10%、ティック・サイズ小さい

## どちらの市場に注文をだすか？

市場 A			市場 B		
売り	価格	買い	売り	価格	買い
84	101		1	99.2	
176	100		2	99.1	
	99	204		99.0	3
	98	77		98.8	1

- (1) 98円の買い：取引量シェアに応じた確率でAかBを決める
- (2) 99.1円の買い：市場 B ← 99.1円で即座に買えるため
- (3) 100円の買い：市場 B ← 99.1円で即座に買えるため

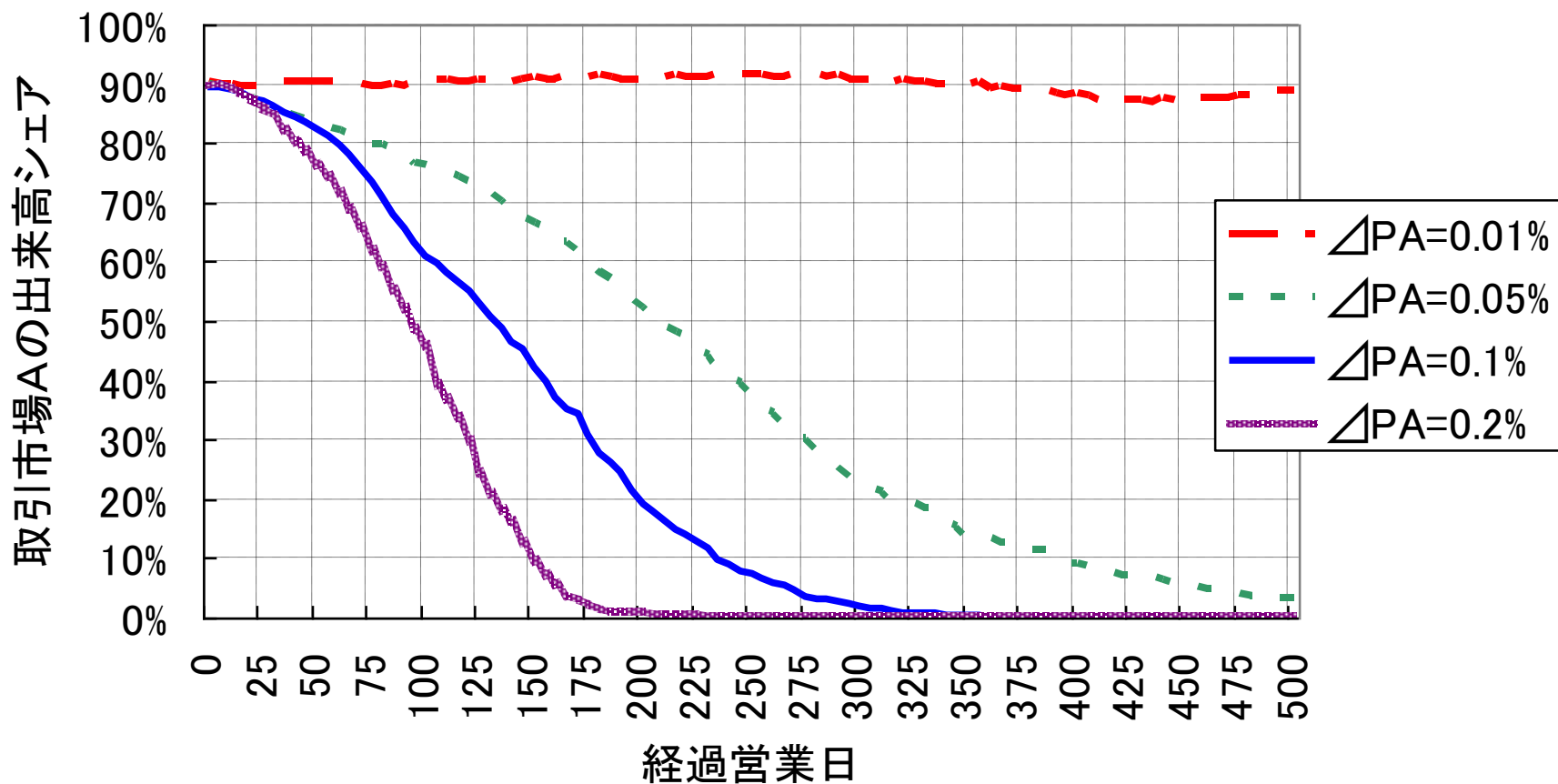
(2)、(3)によりシェアを伸ばすことが可能



# ティックサイズが大きい場合

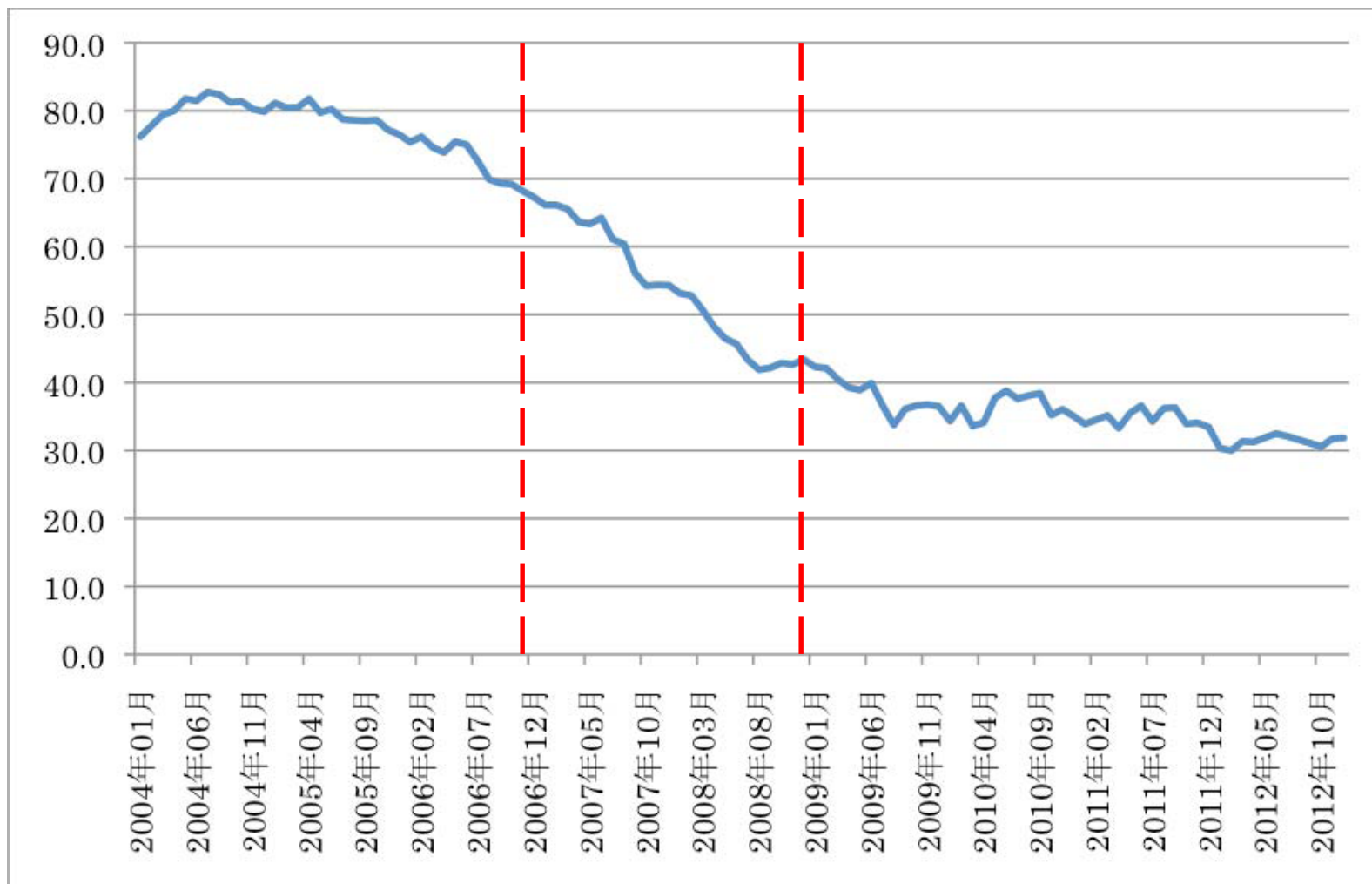
## 取引市場Aの出来高シェア推移

$t_{AB}=5$ 日,  $\Delta PB=0.01\%$ の場合



ティックサイズの差が大きいほどシェアが早く移り変わる  
横軸は2年間  $\Leftrightarrow$  米国で起きた時間スケールに近い

# 米国におけるニューヨーク証券取引所のシェア



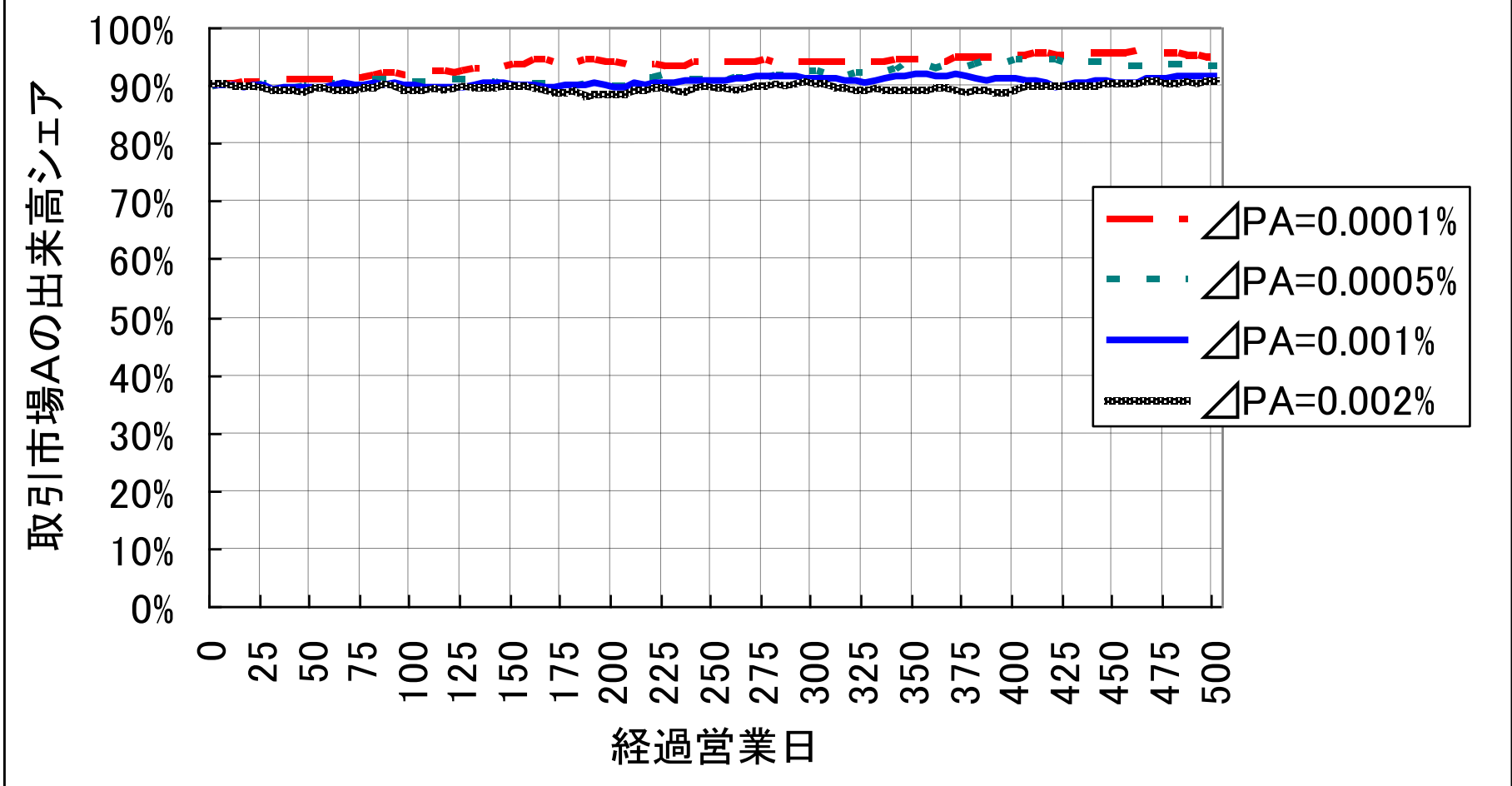
清水葉子, 金融庁金融研究センター ディスカッションペーパー 2013年5月

<http://www.fsa.go.jp/frtc/seika/discussion/2013/01.pdf>

2年程度で支配的地位から陥落

# ティックサイズが小さい場合

取引市場Aの出来高シェア推移  
 $t_{AB}=5$ 日,  $\Delta PB=0.0001\%$ の場合



ティックサイズの絶対水準が小さいと、ティックサイズに大きな差があってもシェアを奪えない

# 500営業日後の取引市場Aの取引量シェア

取引市場A 500営業日後シェア		取引市場B ティックサイズ $\Delta PB$										
		0.0001%	0.0002%	0.0005%	0.001%	0.002%	0.005%	0.01%	0.02%	0.05%	0.1%	0.2%
取引 市場A ティック サイズ $\Delta PA$	0.0001%	90%	90%	91%	91%	92%	94%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.0002%	90%	90%	90%	91%	91%	94%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.0005%	89%	90%	91%	91%	92%	94%	96%	99%	100%	100%	100%
	0.001%	89%	89%	90%	90%	92%	94%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.002%	87%	88%	89%	89%	91%	93%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.005%	84%	85%	85%	84%	87%	92%	96%	99%	100%	100%	100%
	0.01%	75%	76%	76%	77%	78%	83%	92%	98%	100%	100%	100%
	0.02%	53%	52%	53%	54%	54%	59%	70%	93%	100%	100%	100%
	0.05%	5%	5%	4%	5%	5%	5%	6%	23%	93%	100%	100%
	0.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	94%	100%
0.2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	96%	

取引市場間シェアが  
移り変わらない条件

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

or

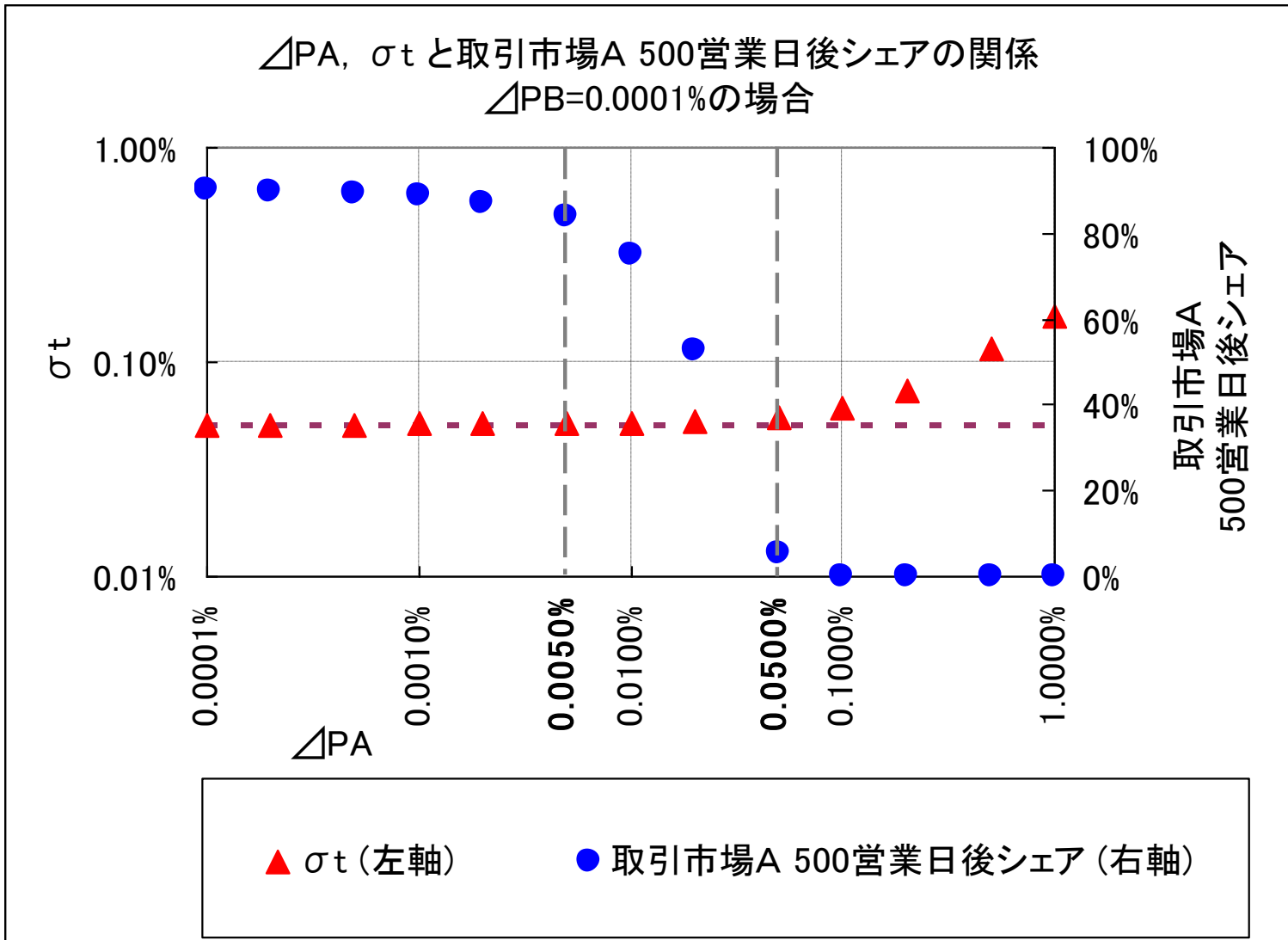
$$\bar{\sigma}_t > \Delta P_A$$

$$\bar{\sigma}_t = 0.05\%$$

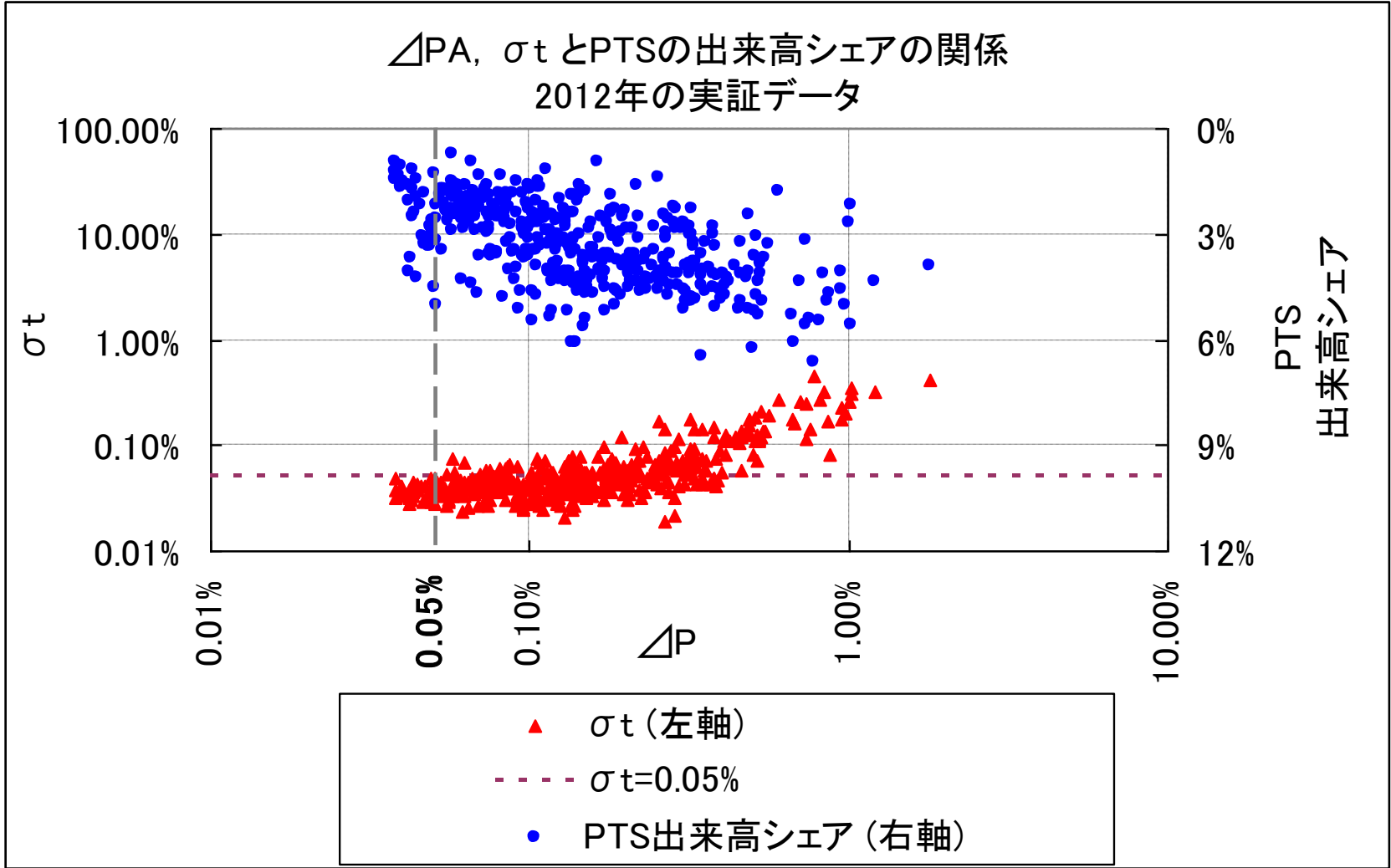
騰落率の標準偏差：ボラティリティ

キーパラメーター

# ティック・サイズと価格の変動幅



ティックサイズが大きすぎると価格の変動幅が大きくなる  
 ↑ 取引所の制度で価格の変動幅に影響を与えるべきでない

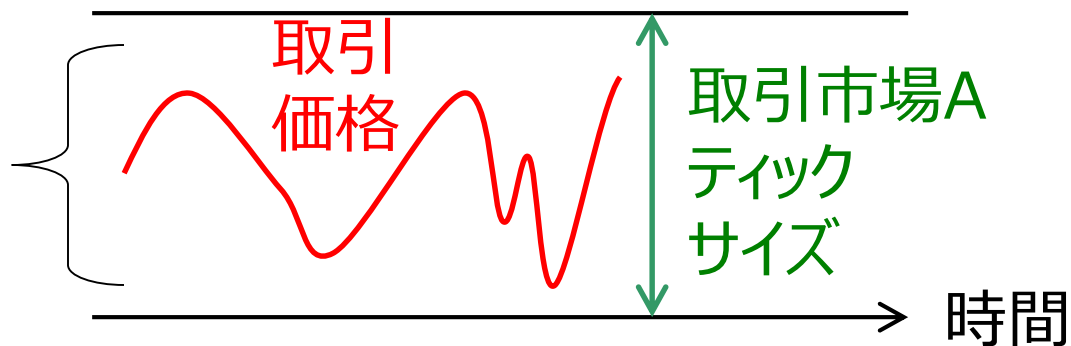


ティック・サイズにより価格形成が阻害されている領域の発見  
↑取引所制定の制度で価格形成を規定しているという問題発見  
価格形成の阻害と出来高シェアの関係性を発見



$$\bar{\sigma}_f < \Delta P_A$$

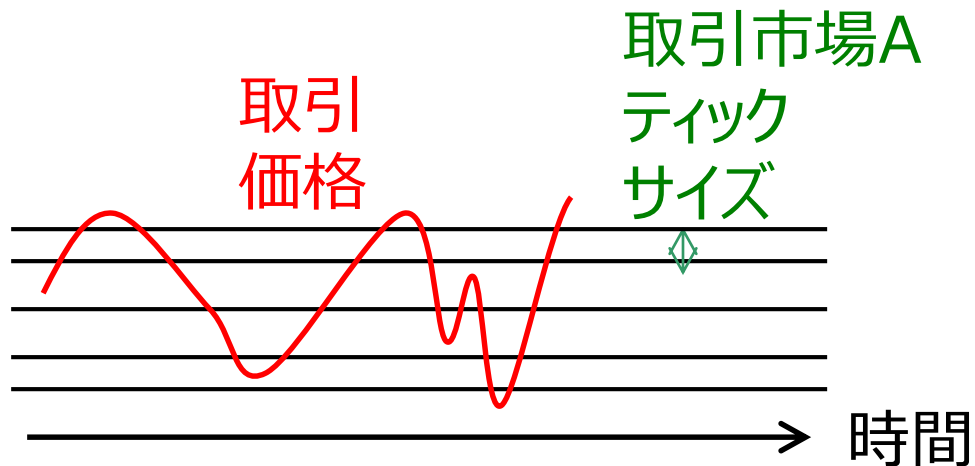
取引市場A  
で取引でき  
ない領域



取引市場Aの出番がない  
→ 取引市場Bの高い約定率  
⇒ 素早く取引市場Bがシェアを奪う

$$\bar{\sigma}_f > \Delta P_A$$

取引市場B  
の必要性  
が薄い



⇒ シェアが動かない

ティック・サイズと初期の出来高シェアのみが異なる  
2つの取引市場がある場合に、どのような条件の場合に  
シェアが移り変わるのか調べた

取引市場間シェアが  
移り変わらない条件

$$\Delta P_B > \Delta P_A \quad \text{or} \quad \bar{\sigma}_t > \Delta P_A$$

$$\bar{\sigma}_t = 0.05\%$$

騰落率の標準偏差：ボラティリティ

キーパラメーター

そもそも取引市場が導入すべきティック・サイズは  
どれくらいなのかという定量的な議論を、初めて可能とした

- ティック・サイズが大きいままだとPTSに売買代金シェアを奪われる可能性があり、その期間は2年程度
- あまりにも小さいティック・サイズの競争は意味がない可能性
- ティック・サイズが大きすぎると価格の変動幅が大きくなる可能性  
↑ 取引所の制度で価格の変動幅に影響を与えるべきでない
- 大きすぎる、小さすぎる、の具体的な水準（数値）を示唆

さらに単純化したモデルにより解析的な分析がなされ、  
整合的な結果が得られた

- ← ティックサイズの比ではなく差がシェアの移る速さを決める
- ← ティックサイズの過当競争は意味がない

Market A is chosen at a probability 1 in case of (i) and 1/2 in case of (iii). Likewise, market B is chosen at a probability 1 in case of (ii) and 1/2 in case of (iii) Therefore, share of market A and B should be

$$\begin{aligned} S_A^* &= 1 \cdot P_1' + \frac{1}{2} P_3' \\ &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2}(a - b), \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned} S_B^* &= 1 \cdot P_2' + \frac{1}{2} P_3' \\ &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2}(b - a). \end{aligned} \tag{5}$$

Therefore, it is found that share is shifted from a market with a larger tick size to a market with a smaller tick size. Moreover, the size of share-shift is determined by difference between tick sizes, not ratio between tick sizes.

\* Nagumo, S. et. al.(2016), The effect of tick size on trading volume share in three competing stock markets, Journal of Physics: Conference Series, vol. 750,no.1.

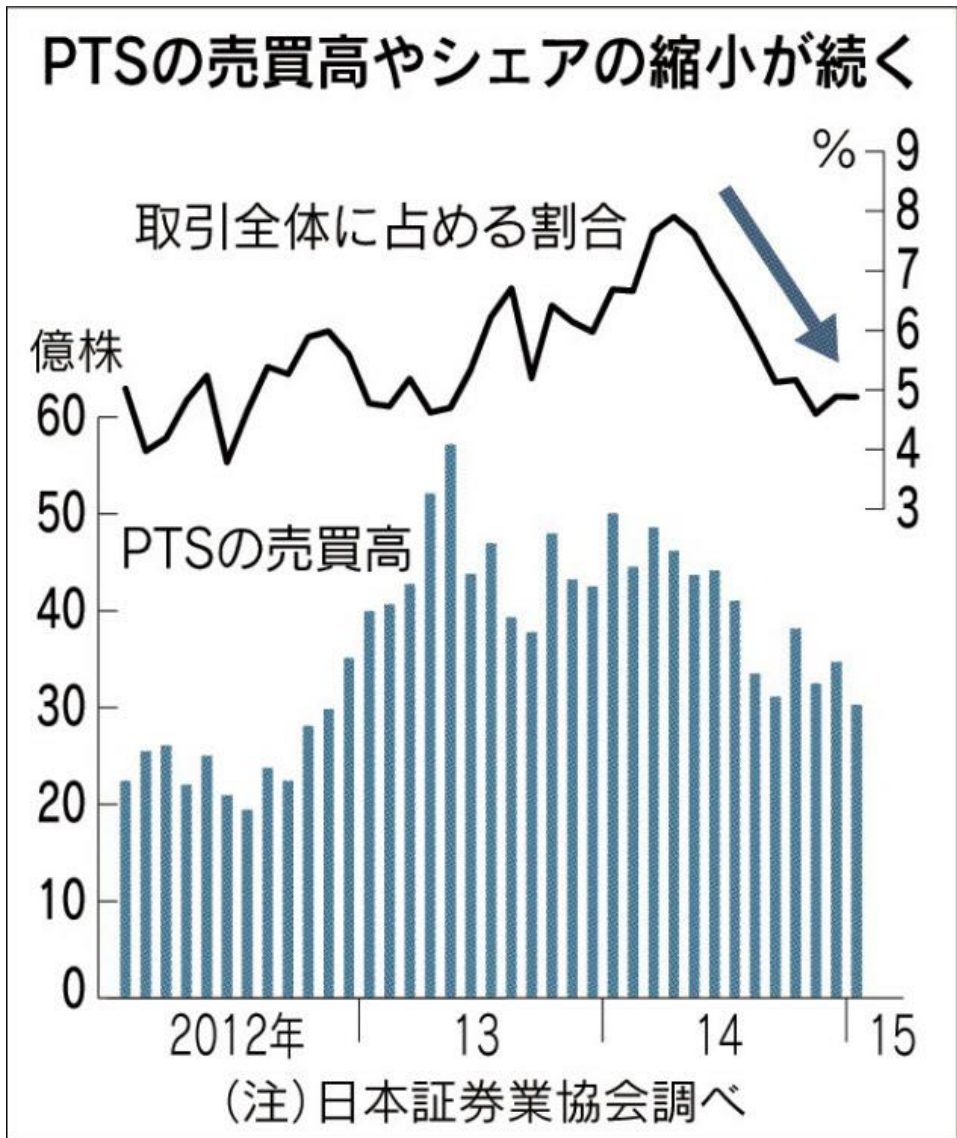
<http://stacks.iop.org/1742-6596/750/i=1/a=012019>

\* Nagumo, S. et. al.(2017), The Effect of Tick Size on Trading Volume Share in Two Competing Stock Markets, Journal of the Physical Society of Japan, vol. 86,no.1.

<https://doi.org/10.7566/JPSJ.86.014801>

株式の私設取引、  
売買シェア低下  
東証の刻み値縮小が  
響く 差別化難しく  
投資家離れ

2015/2/27付  
日本経済新聞



# ティック・サイズが大きすぎる・小さすぎる

## ティック・サイズ 0.01%

売気配株数	気配値	買気配株数
--	成行	--
100	43,070	
200	43,065	
100	43,060	
100	43,050	
100	43,035	
700	43,030	
100	43,025	
200	43,010	
	42,980	100
	42,970	100
	42,965	200
	42,960	100
	42,955	500
	42,950	300
	42,945	200
	42,940	200

0.07% 100

0.3%

## ティック・サイズ 0.5%

売気配株数	気配値	買気配株数
--	成行	--
8,403,000	209	
9,273,300	208	
6,752,900	207	
7,283,900	206	
9,032,500	205	
13,942,600	204	
18,925,300	203	
16,667,700	202	
	201	20,197,400
	200	33,796,900
	199	18,616,100
	198	21,486,200
	197	9,092,000
	196	6,601,200
	195	6,643,200
	194	2,492,000

0.5%

株価		呼値の刻み	ティックサイズ	
最小	最大		最小	最大
1	1,000	0.1	0.01%	10.00%
1,001	5,000	0.5	0.01%	0.05%
5,001	10,000	1	0.01%	0.02%
10,001	50,000	5	0.01%	0.05%
50,001	100,000	10	0.01%	0.02%
100,001	500,000	50	0.01%	0.05%
500,001	1,000,000	100	0.01%	0.02%
1,000,001	5,000,000	500	0.01%	0.05%
5,000,001	10,000,000	1,000	0.01%	0.02%
10,000,001	50,000,000	5,000	0.01%	0.05%
50,000,001		10,000		0.02%

## 一部の価格帯で戻すことに



### 呼値の単位の適正化フェーズⅢの対応内容



<フェーズⅢ対応内容>

銘柄	細かい呼値の単位の適用範囲は引き続きTOPIX100構成銘柄のみ ※現状から変更なし
呼値の単位	TOPIX100構成銘柄について、3,000-5,000円を0.5円から1円に変更 ※上の桁における同等の価格帯も同様に修正

<呼値の単位>

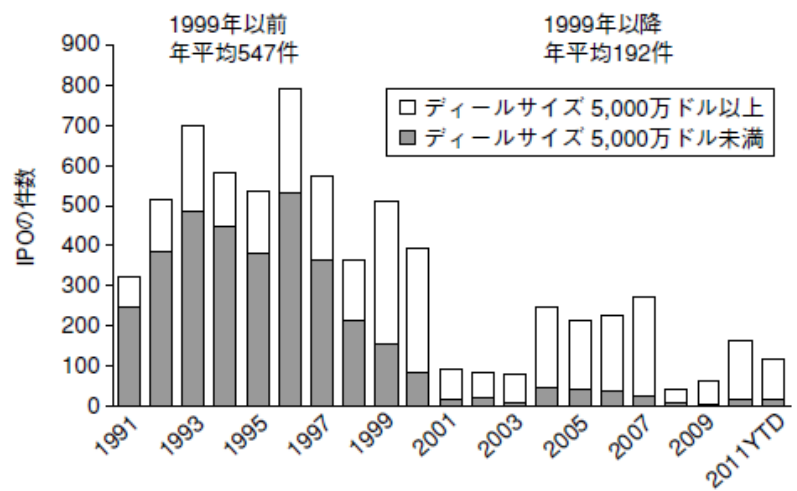
価格帯(円)		通常銘柄	TOPIX100構成銘柄 フェーズⅠ	TOPIX100構成銘柄 フェーズⅡ	TOPIX100構成銘柄 フェーズⅢ
超	以下				
	1,000	1	1	0.1	0.1
1,000	3,000	1	1	0.5	0.5
3,000	5,000	5	1	0.5	1
5,000	10,000	10	1	1	1
10,000	30,000	10	5	5	5
30,000	50,000	50	5	5	10
50,000	100,000	100	10	10	10



# 米国：ティックサイズ拡大の議論があったが

## 新規上場企業が少ない原因のひとつ：ティックサイズが小さすぎる？

図表1 規模別IPO件数



図表3 試験プログラムの実証分析の概要

- ①ティックサイズを拡大したグループは、スプレッドの拡大、ボラティリティの増加、価格効率の低下が見られ、全体として市場の質が低下した。
- ②市場の質の低下は、取引価格の呼値の拡大による影響だけでなく、むしろ気配の呼値の拡大によってもたらされた。
- ③ティックサイズを拡大した3つの試験グループ全てで、最良気配で出されている注文の量である市場の厚み (depth) は増加した。しかし、最良気配の5セント範囲まで広くとった厚みで見ると、流動性はむしろ縮小した (ただしトレード・アット・ルールの影響を受けたものを除く)。
- ④最良気配の外側の厚みも増加したが、大口取引の取引コストの縮小にはつながらなかった。
- ⑤市場の質の低下は、試験プログラム前にスプレッドが5セントより小さかった銘柄についてはさらに悪化した。このことは、人為的にティックサイズを拡大したことになる銘柄の方が悪影響が大きいことを示している。

図表2 ティックサイズ拡大議論の経緯

2011.10	IPO Task Forceが米財務省にディシマライゼーションとIPO危機に関する問題提起レポートを提出
2012.4	JOBS Act (Jumpstart Our Business Startups Act) 成立 ディシマライゼーションと中小型銘柄のIPOとの関係についてSECが議会報告を行うことを義務付け
2012.7	SECによる議会報告 "Report to Congress on Decimalization"
2013.2	SEC Decimalization Roundtable開催 小型株のティックサイズを拡大することにおおむね賛成の意見多し
2013.3	SEC "Advisory Commission on Small and Emerging Companies"
2013.11	Small Cap Liquidity Reform Act H.R.3448成立。
2014.6	FINRAと取引所に対して12ヶ月のパイロットプログラム実施を命令。 "Order Directing the Exchanges and the Financial Industry Regulatory Authority To Submit a Tick Size Pilot Plan"
2014.8	FINRAと取引所がパイロットプログラムのためのルール改正をSECへ提出
2016.10	ティックサイズ拡大のパイロットプログラム実施 (2年間)

実験してみることに、、、

拡大しないほうが良かった

# SIG-FIN

JSAI Special Interest Group on  
Financial Informatics

<http://sigfin.org/>



年2回（9月～10月と1月～3月）東京都内で開催  
誰でも聴講可 ← 人工知能学会の会員でなくてもよい  
参加費：1,000円

前回 160名程度の聴講：学者よりも実務家が多い

メーリングリスト登録ページ

<http://sigfin.org/mailman/listinfo/jsai-fin>

- ✓ 機械学習やテキストマイニングの技術を金融実務に応用する研究多い
- ✓ 人工市場シミュレーションの研究もよく発表されている

ここから先(“モデルの詳細・妥当性”, “その他事例”)は印刷しておりません。  
以下からダウンロードできます:

[http://mizutakanobu.com/20190611.pdf](http://mizutatakanobu.com/20190611.pdf)

(参考) モデルの詳細・妥当性

## 妥当性(1) 現実のマクロを（必要な部分）再現

知られている全てのスタイライズド・ファクトの再現は目的でない  
⇒ 調査目的に応じた適切な複雑さ

★ 金融市場においてどのような状況でも存在

⇒ 値には幅あり

(1) ファットテール (Mandelbrot 1963等多数)

価格の騰落率の分布が正規分布に比べ裾が厚い  
→ 暴騰・暴落が正規分布で予想されるより多い

尖度：1～100程度と値には幅がある

(2) ボラティリティ・クラスタリング (Mandelbrot 1972等多数)

価格の騰落率の2乗が大きなラグでも自己相関をもつ  
→ 市場が荒れたすと持続する

短いラグで0.1～0.2程度、ラグが長くなると急激に減少  
ゼロに近づくもののマイナスにはならない（プラスを維持）

		尖度	3.01
100試 行平均	騰落率 の 2乗の 自己相 関	lag	
		1	0.13
		2	0.10
		3	0.08
		4	0.06
		5	0.05
		6	0.04

## ファットテール, ボラティリティ・クラスタリングを再現

### (1) ファットテール

(Cont 2001, Sewell 2006)

尖度： 1~100程度と値には幅がある

### (2) ボラティリティ・クラスタリング

(Cont 2001, Sewell 2006)

短いラグで0.1~0.2程度、ラグが長くなると急激に減少  
ゼロに近づくもののマイナスにはならない (プラスを維持)

パラメータ決定の例：  
w2max (テクニカル戦略のウェイト)

		w2max	0	0.1	1	10	100
		尖度	-0.33	-0.28	0.15	3.01	17.12
		lag					
平均	騰落率の 2乗の 自己相関	1	0.12	0.12	0.13	0.13	0.06
		2	0.05	0.05	0.07	0.10	0.05
		3	0.03	0.03	0.05	0.08	0.04
		4	0.02	0.02	0.04	0.06	0.04
		5	0.02	0.02	0.03	0.05	0.03
		6	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03

		w2max	0	0.1	1	10	100
		尖度	0.03	0.03	0.04	0.22	2.11
		lag					
標準偏差	騰落率の 2乗の 自己相関	1	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
		2	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
		3	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03
		4	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
		5	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
		6	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02

w2max=10 : ファットテール、ボラティリティ・クラスタリングの両方が成立、試行ごとのばらつきも小さい

## 1) 価格の予想方法（投資戦略）（1/7）

投資戦略は無数に考えられる： 無駄に増やしたらダメ

Lux & Marchesi 1999, Nature : 比較的シンプルなモデルで

\* ファンダメンタル・エージェント

\* テクニカル・エージェント

に集約 ← 理由は述べられていない

⇒ ボラティリティ・クラスタリングを再現

この2つ組み“だけ”が妥当かどうかは分からない

この2つ組みで“十分”（そこそこ）妥当とは言える

## 1) 価格の予想方法（投資戦略）（2/7）

妥当性(2): 実証等で解明されたミクロにあわせる

### \* アンケート調査による実証研究

どのような投資戦略を用いているか？

ファンダメンタル、テクニカルを問うのが一般的  
他の項目を追加してもこの2つの回答が多い  
⇒ 2戦略が現実市場で主要な投資戦略

投資家が考えるファンダメンタル価値はバラけている  
⇒ heterogeneous（後述）

2戦略間で切り替えを行う ⇒ 学習あり（後述）



TABLE 2  
THE IMPORTANCE OF TECHNICAL ANALYSIS ACCORDING TO QUESTIONNAIRE SURVEYS

Study	form of analysis for decision making	some use of technical analysis	share of technical plus fundamental analysis to total forms <sup>(2)</sup>	share of technical analysis to technical plus fundamental analysis <sup>(2)</sup>	the relation between the weight of technical analysis and horizon
Taylor and Allen (1992)	fundamental analysis; technical analysis	89.4%	100%	32% <sup>(4)</sup>	strictly negative
Menkhoff (1997)	fundamental; technical; flow analysis	>90%	82%	45%	weakly hump-shaped
Lui and Mole (1998)	fundamental; technical	~100%	100%	51% <sup>(5)</sup>	strictly negative
Cheung and Wong (2000) <sup>(1)</sup>	fundamental; technical; bandwagon; overreaction; speculative forces	n.a.	62% <sup>(3)</sup>	40% <sup>(3)</sup>	strongly hump-shaped
Oberlechner (2001)	fundamental; technical	>98%	100%	49%	strictly negative
Cheung and Chinn (2001) <sup>(1)</sup>	see Cheung and Wong (2000)	n.a.	56%	29%	strongly hump-shaped
Cheung, Chinn and Marsh (2004)	see Cheung and Wong (2000)	n.a.	49% <sup>(6)</sup> 54% <sup>(7)</sup>	47% <sup>(6)</sup> 29% <sup>(7)</sup>	strongly hump-shaped
Gehrig and Menkhoff (2004)	fundamental; technical; flows analysis	>90%	77%	53%	weakly hump-shaped

Menkhoff & Taylor, 2007

# 1) 価格の予想方法（投資戦略）（3/7）

妥当性(2): 実証等で解明されたミクロにあわせる

## \* 人を使った実験研究（行動経済学・実験経済学）

（例：橋本 2008）

ランダムに動いている架空の株価時系列を被験者に見せる  
被験者もランダムだと知っているにも関わらず予想しようとする  
予測手法は順張り（テクニカル）

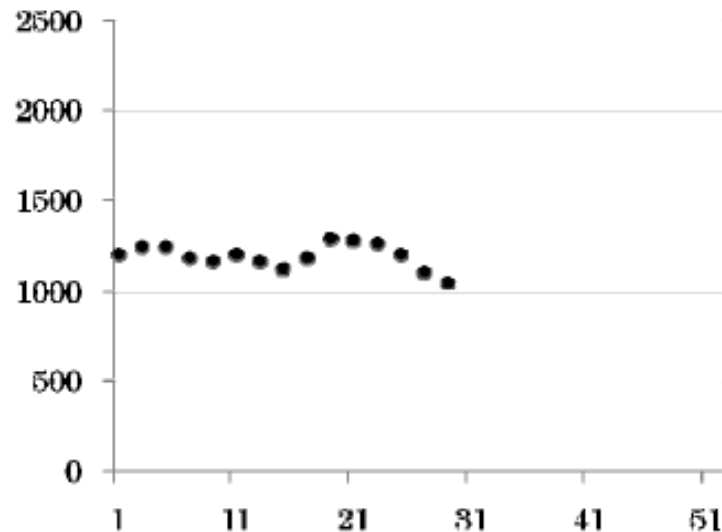


図1. 提示された過去データグラフの例

# 1) 価格の予想方法（投資戦略）（4/7）

妥当性(2): 実証等で解明されたミクロにあわせる

ファンダメンタル（実態価値）

## 効率的市場仮説

ファンダメンタル投資家しか存在しない

しかもファンダメンタルは一意に決まりみんな知っている

テクニカルがいたとしても儲からないので減っていなくなる

（Friedman, 1953）

## 株式の定義

全株式を手に入れると企業の全利益が手に入る（全額配当）

例）毎年1兆円くらい現金を得ている企業

1円は安すぎるし、100兆円は高すぎる、10兆円くらい？

利益は続く？ 3年で回収したい人 10年でも良い人

不確定要素 & 人によって違う要求利回り

⇒ 幅があり、一意に決まらないが、存在はする

## 1) 価格の予想方法（投資戦略）（5/7）

妥当性(1) 現実のマクロを（必要な部分）再現 Stylized Facts

\* 主要Stylized Factsを満たす限りの  
なるべくシンプルなエージェントモデルの追及（経済物理学）

（例： Yamada et. al. 2009, Physical Review E）

順張り（テクニカル）だけでよい

価格の順張り： ファットテール

注文間隔の順張り： ボラティリティ・クラスタリング

「ファンダメンタル投資家が必要ない」

# 1) 価格の予想方法（投資戦略）（6/7）

まとめ

なぜ、この2戦略なのか？

効率的市場仮説

このみ  
いるはず

いない  
はず

不要な場合も

絶対必要

ファンダメンタル  
エージェント

アンケート調査

テクニカル（順張り）  
エージェント

主要な  
戦略

幅はあるが  
存在

不要

経済物理  
Stylized Factsを再現

必要

人間の  
基本特性

株式の定義  
全部買えば利益は  
全て自分のもの

行動経済学  
人への実験

## 1) 価格の予想方法（投資戦略）（7/7）

### ファンダメンタル・エージェントが必要な場合

- 取引価格帯を変えたくない（他資産との整合性など）
- 市場混乱のトリガーとしてファンダメンタル価格を急変させる
- ファンダメンタルの変化量と市場価格の変化量を比較したい
- 誤発注などで著しく押し下げられた株価が戻る過程が必要

シミュレーションの技術的な側面から要・不要を判断

# 学習プロセスの必要性検討

## 学習

### 学習とは？

各エージェントが過去の投資成績や過去の株価の推移から、パラメータを調整したり戦略を切り替えたりする

### 学習は不要という見解

学習を追加しても新たに説明可能となるスタイライズド・ファクトが無い  
(Chen et. al., 2009)

学習なしで主要スタイライズド・ファクトを再現 (Chiallera et. al. 2002, 2009)

⇒ 新しいスタイライズド・ファクト “ハザード・レート”は学習がないと再現できない  
(Mizuta & Izumi & Yoshimura 2013)

ハザード・レートはバブルやアンダーシュートなど一時的に大きな価格変動を起こすような現象が含まれているか調べるもの

市場が安定している場合を取り扱う： 学習は必須でない  
大きな価格変動を取り扱う場合： 学習は必須

もともと、学習が実装された人工市場のほうが多かった

(LeBaron 2006, Chen et. al. 2009)

サンタフェ・モデル (Arthur et. al. 1997)

学習を実装し、バブルを再現

和泉モデル (Izumi & Okatsu 1996, Izumi & Ueda 1999) :

バブル時におこる取引量に関する現象をも再現

Luxモデル (Lux & Marchesi 1999, Nature) でも学習を実装

←理由の説明はなかった

他、多数

⇒ 学習について明確な議論は無かった

実装する理由が述べられたり、

実装した場合としない場合の丁寧な比較検討したり

比較のための基準を議論したりはされてこなかった



## それでも学習が実装されてきた理由

特にバブル形成時に学習が重要であることが広く知られていた  
チューリップバブル(オランダ1637年) :

ファンダメンタル戦略からテクニカル戦略への変更

## 実験経済学 (例 Hirota & Sunder 2007)

バブル期は、投資家がテクニカル戦略に自信を深め、  
テクニカル戦略に傾斜する

## 実証研究 (Yamamoto & Hirota 2013)

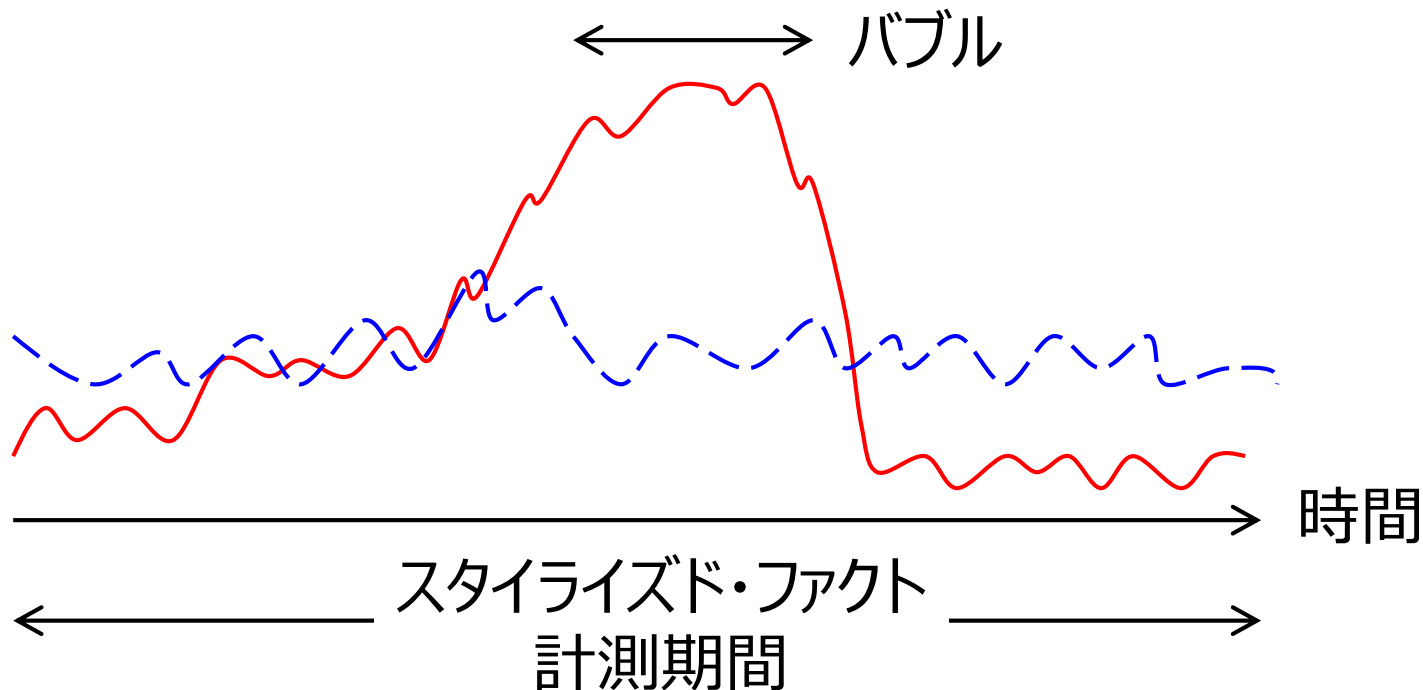
市場価格がファンダメンタル価格から乖離すればするほど、  
テクニカル戦略を行う投資家が増える

## 著名投機家 : ジョージ・ソロス (Soros 2003)

学習プロセスという学習こそが価格変動を支配していると主張

## これまでのスタイライズド・ファクトで分析できなかった理由

一時的にしか発現しない動的な現象（バブル・アンダーシュート）



これまで検討されてきたスタイライズド・ファクトは計測期間中に満遍なく存在する性質しか抽出できないものばかり

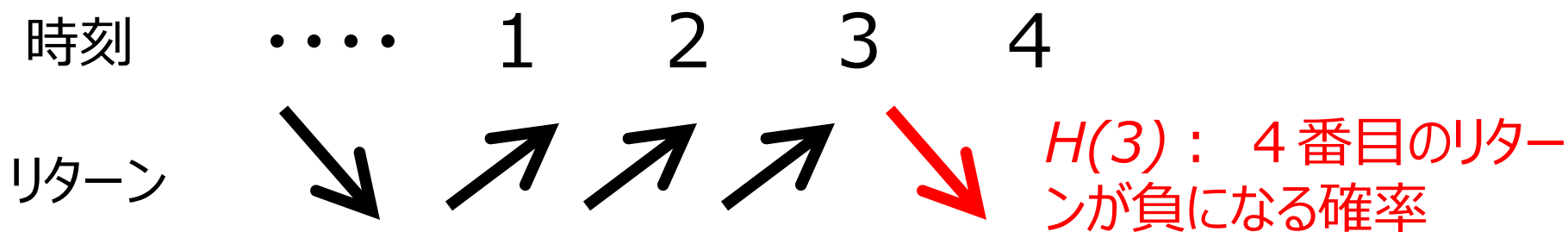
これら動的な現象を再現できるのかどうか分析する  
スタイライズド・ファクトが必要

## ハザード・レート を提案 (Mizuta & Izumi & Yoshimura 2013)

$H(i)$  条件付確率

$i$ 回連続で正のリターンが続いた後, リターンが負になる確率

例えば、 $i=3$ 、 $H(3)$  の場合



実証研究:

バブルなどの現象を“含む”期間 :  $i$ とともに $H(i)$ は急減

(McQueen and Thorley 1994, Chan et. al. 1998)

⇒ バブル時はリターンが正に続きやすい

続けば続くほどその傾向は強くなる

# 本研究の学習モデル

予想リターン

$$r_{e,j}^t = \frac{1}{\sum_i w_{i,j}} \left( w_{1,j} \log \frac{P_f}{P^t} + w_{2,j} r_{h,j}^t + w_{3,j} \varepsilon_j^t \right)$$

過去リターン

$$r_l^t = \log P^t / P^{t-t_l}$$

それぞれの戦略の  
リターンと比較

同符号

良い戦略

$$w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} + k r_l^t [0, (w_{i,\max} - w_{i,j})]$$

ウェイトを上げる

異符号

悪い戦略

$$w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} - k r_l^t [0, w_{i,j}]$$

ウェイトを下げる

1%の確率で初期化  $w_{i,j} \leftarrow [0, w_{i,\max}]$  [a,b]: aからbまでの一様乱数

- ・ 戦略切り替えに焦点：メカニズムの分析しやすいモデル
- ・ 比較的シンプルでパラメータが少ない

# スタイライズド・ファクトの再現

		バブルを誘発する ファンダメンタルジャンプなし		バブルを誘発する ファンダメンタルジャンプあり	
		学習なし	学習あり	学習なし	学習あり
尖度		3.018	5.394	2.079	3.180
騰落率の2乗の 自己相関	ラグ				
	1	0.134	0.125	0.219	0.325
	2	0.101	0.105	0.164	0.293
	3	0.076	0.087	0.133	0.274
	4	0.060	0.074	0.118	0.261
	5	0.052	0.061	0.108	0.253
	6	0.040	0.054	0.100	0.247
	7	0.036	0.048	0.092	0.241
	8	0.030	0.045	0.087	0.237
	9	0.026	0.039	0.082	0.238
ハザード レート Hi	<i>i</i>				
	1	56%	55%	56%	55%
	2	55%	52%	55%	50%
	3	55%	50%	53%	45%
	4	54%	49%	52%	40%
	5	54%	45%	48%	36%
	6	53%	44%	45%	29%
	7	52%	41%	40%	26%
	8	52%	40%	35%	22%
	9	53%	40%	30%	19%

学習過程を入れるとハザード・レートを再現

● モデルの構築

- ・規制・制度を調査するに適した人工市場モデルを構築

● 学習過程の実装

- ・バブルやアンダーシュートなど市場混乱を再現するのに必要
- ・再現できたかどうかをハザードレートを用いて分析

# (参考) その他の事例

## (参考) その他の事例

呼値の刻みの縮小 (適正化)、空売り価格規制 (アップティック規制)、適切な値幅制限の制限時間や値幅、ダーク・プールの適正な普及率、バッチオークションの副作用、H F T が市場間競争に与える影響、証券取引所システムの適切な速さ、レバレッジドETFの影響、信用分散規制の影響、自己資本規制やVaRの効果、銀行の連鎖倒産、クラッシュの伝播・それをおさえる制度・規制  
売買の少ないアクティブ運用が市場を効率化するかどうか

- 水田孝信 (2017) 人工市場シミュレーションを用いた金融市場の規制・制度の分析  
博士論文, 東京大大学大学院工学系研究科  
<http://hdl.handle.net/2261/59875>
- Mizuta (2016) A Brief Review of Recent Artificial Market Simulation (Agent-Based Model) Studies for Financial Market Regulations And/Or Rules, SSRN Working Paper Series <http://ssrn.com/abstract=2710495>
- 古田一雄 編著 (2017), レジリエンス工学入門「想定外」に備えるために, 日科技連出版社, 和泉潔, 川久保佐記, 米納弘渡, 第6章「強靱な金融システム」  
<http://www.juse-p.co.jp/cgi-bin/html.pl5?i=ISBN978-4-8171-9624-8>
- 和泉潔, 斎藤正也, 山田健太 (2017), マルチエージェントのためのデータ解析, コロナ社,  
<http://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339028126/>
- 東証公式のページ「東証マネ部！」インタビュー記事(2018)  
「よりよい金融市場を構築するための技術「架空の市場」が、金融市場の安定に貢献する」  
<http://money-bu-jpx.com/news/article008322/>



2019年6月4日-7日  
第33回 人工知能学会全国大会  
<https://www.ai-gakkai.or.jp/jsai2019/>

株式とETFの裁定取引にかかるコストと流動性の関係  
—人工市場によるシミュレーション分析—

水田 孝信

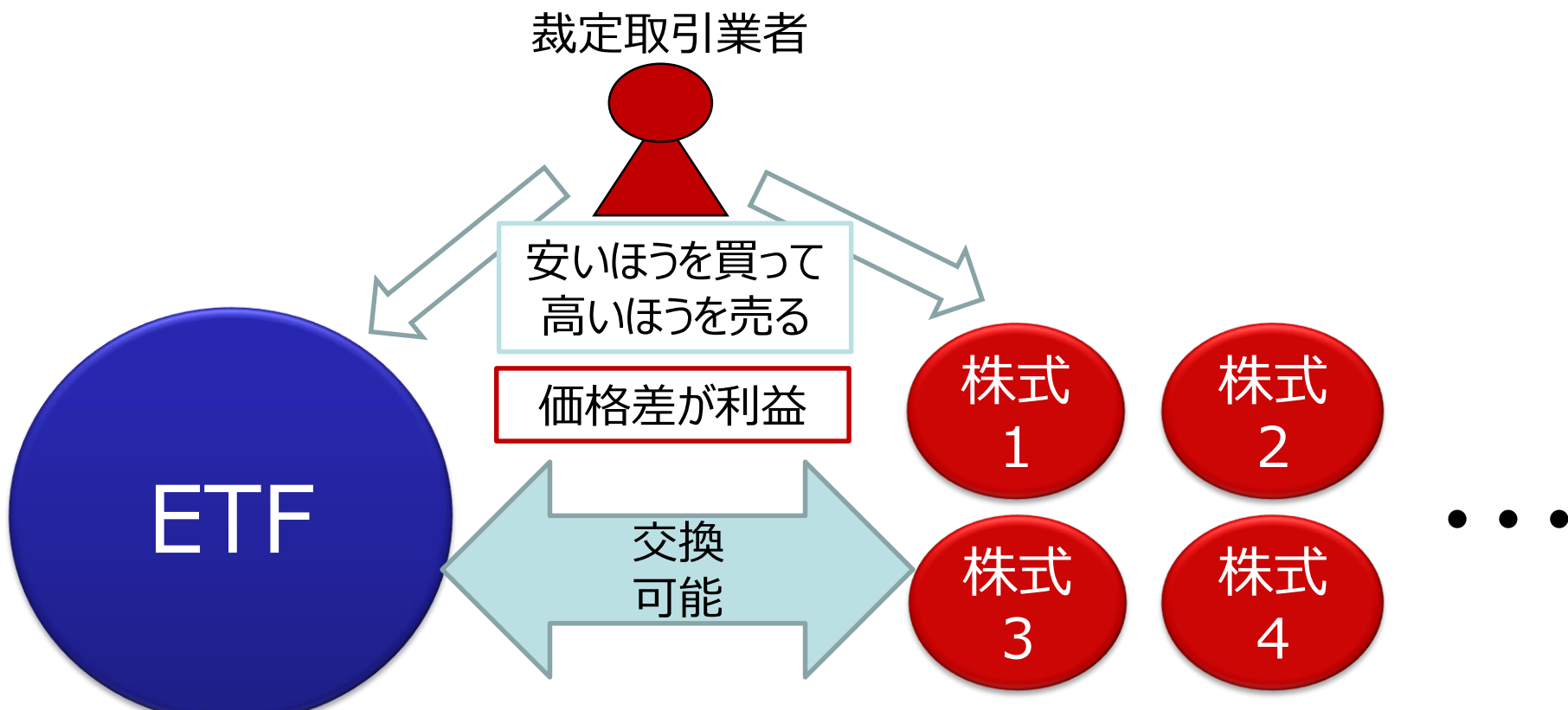
スパークス・アセット・マネジメント株式会社

本資料は、スパークス・アセット・マネジメント株式会社の公式見解を表すものではありません。  
すべては個人的見解であります。

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

[http://mizutakanobu.com/201906.pdf](http://mizutatakanobu.com/201906.pdf)

# ETFと株式の交換、裁定取引

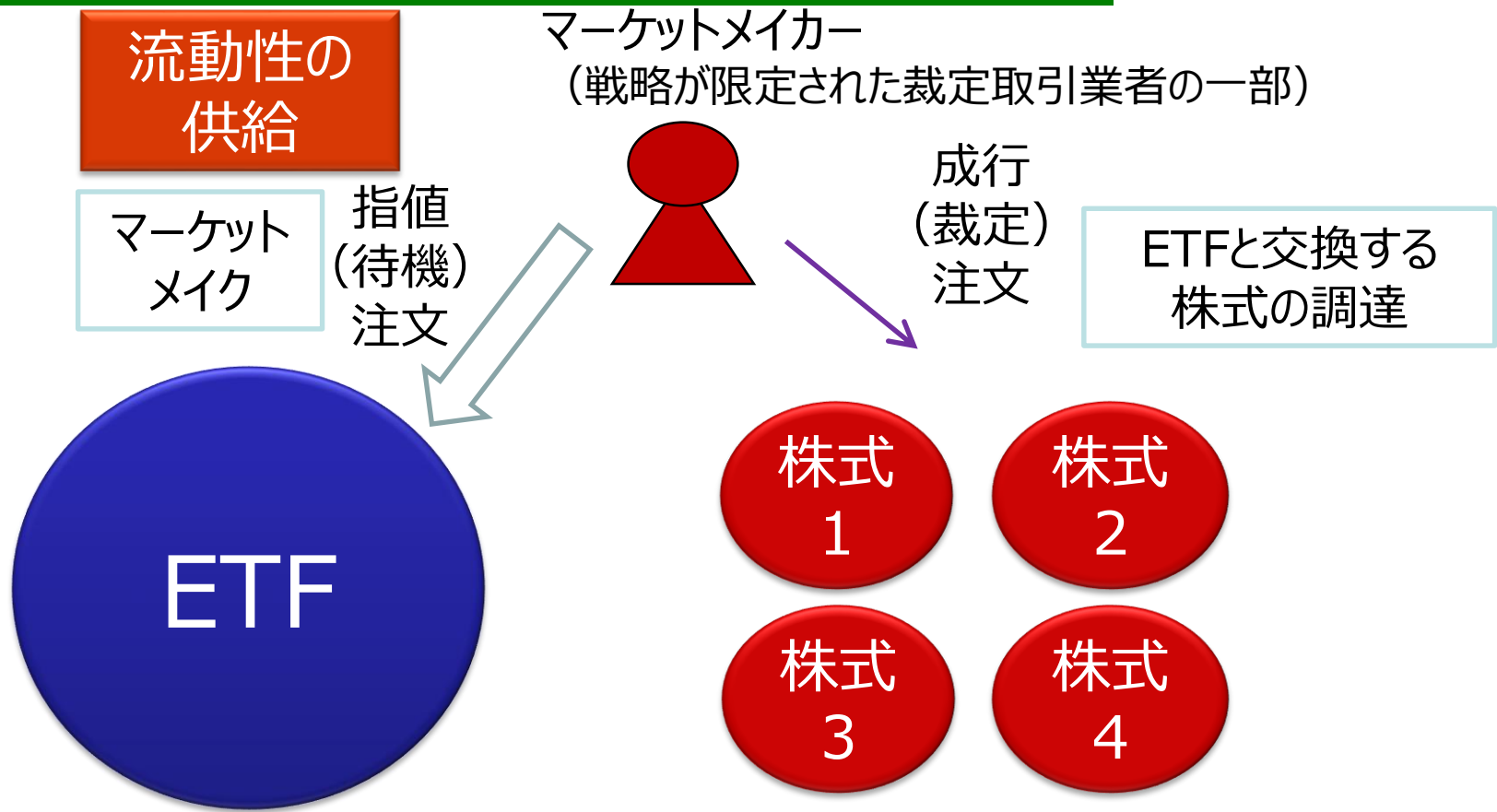


ETFは組み入れている株式をすべて集めたものと交換可能

ETFと組み入れ株式に価格差があるときに、安いほうを買い、交換を行い、高いほうを売って、価格差を利益とすることができる。

ETFへの注文が増え、ETFの流動性を向上させる

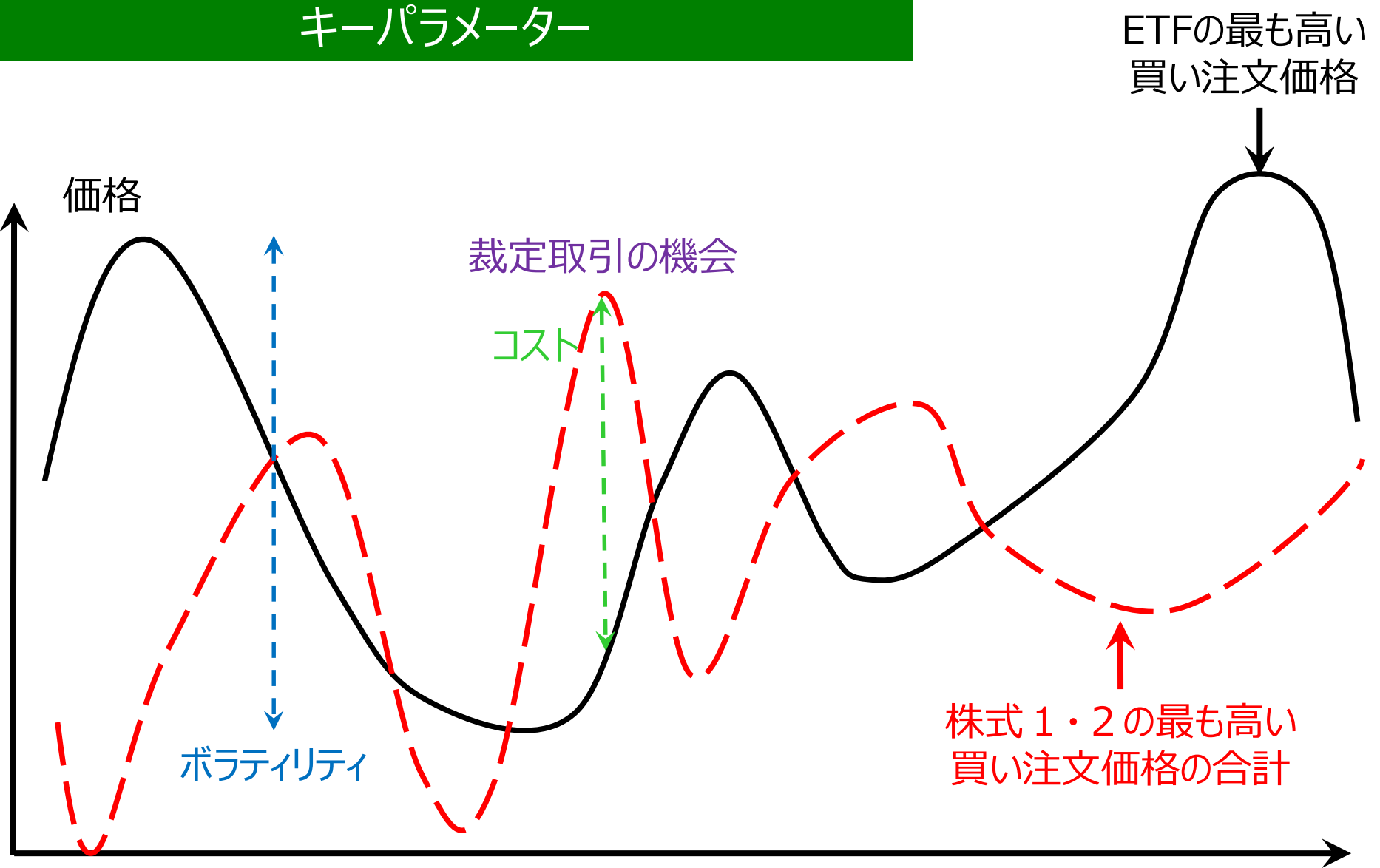
# マーケットメイカーと手数料優遇策



東京証券取引所は流動性が低いETFの流動性を高めるため、ETFに注文を常にだしておき（マーケットメイク）、利益の機会があれば裁定取引を行う専門業者（マーケットメイカー）には取引手数料を引き下げるなどの制度を2018年に導入した [東証 17].

裁定取引にかかるコストによってETFや株式の流動性がどのように変化するのか、そのメカニズムはどのようなものなのかといったことは分かっていない。

# キーパラメーター



短期のボラティリティが必要なコスト幅を発生させている

必要条件

短期ボラティリティ > コスト

2018年10月20日

第21回 人工知能学会 金融情報学研究会 (SIG-FIN)

<http://sigfin.org/021-01/>

水平株式保有するパッシブファンドの増加が  
企業間競争と市場価格へ与える影響  
--人工市場によるシミュレーション分析--

水田 孝信

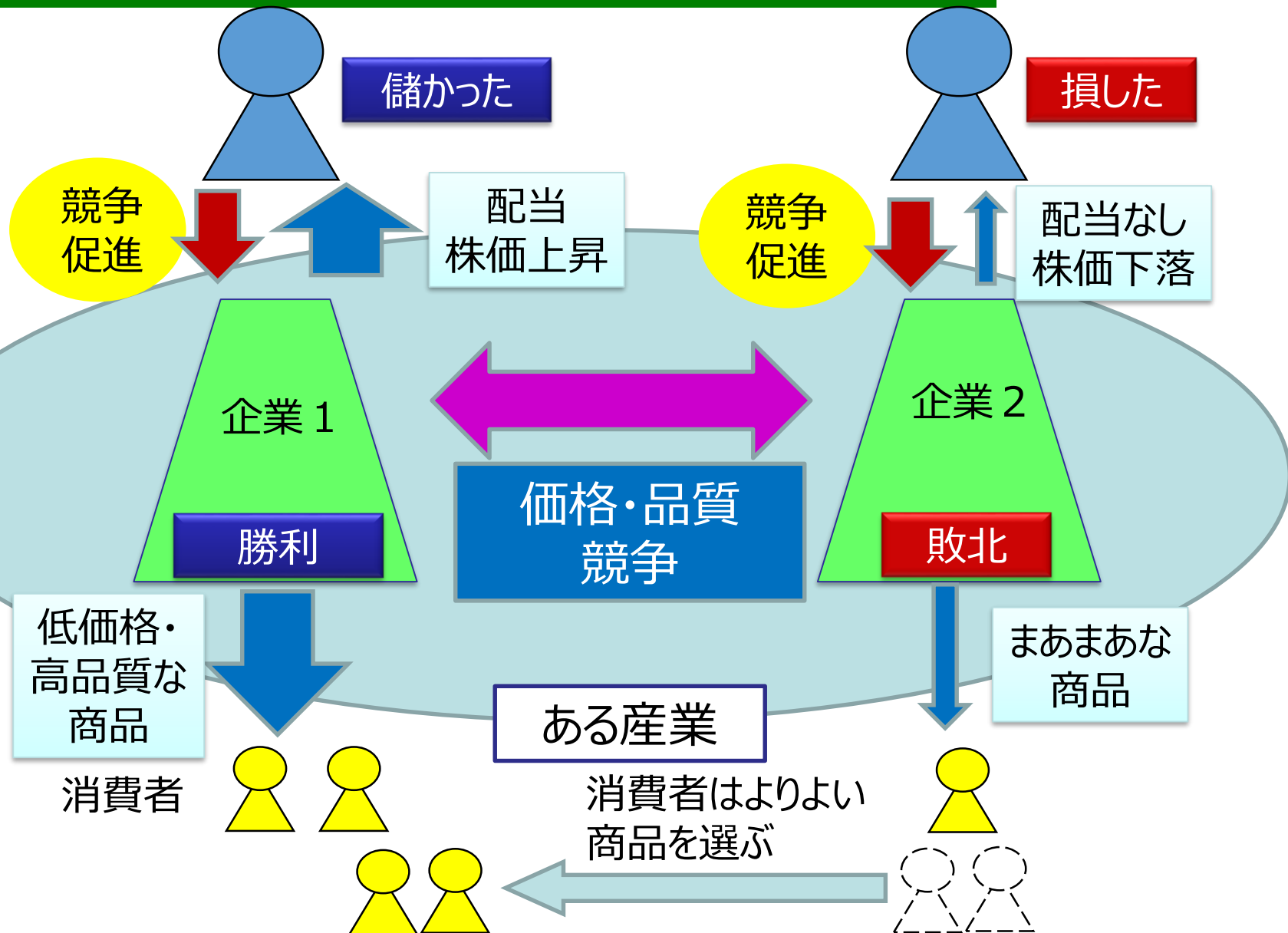
スパークス・アセット・マネジメント株式会社

本資料は、スパークス・アセット・マネジメント株式会社の公式見解を表すものではありません。すべては個人的見解であります。

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

[http://mizutakanobu.com/20181020.pdf](http://mizutatakanobu.com/20181020.pdf)

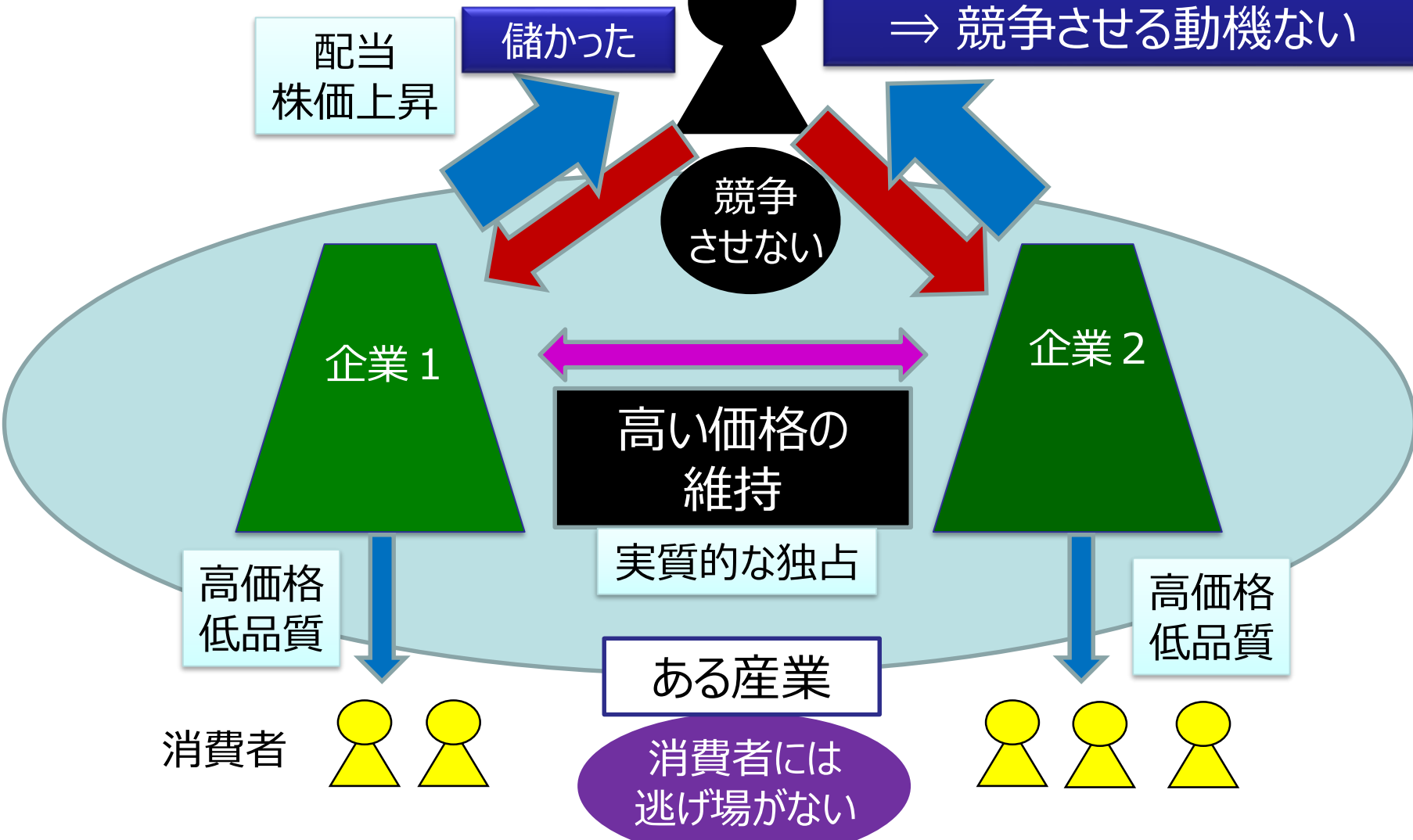
# 別の人保有する独立した企業間の競争



独立した企業間：価格・品質競争 ⇒ 消費者に恩恵

同じ人が競合企業を保有  
完全な水平株式保有（共同保有）

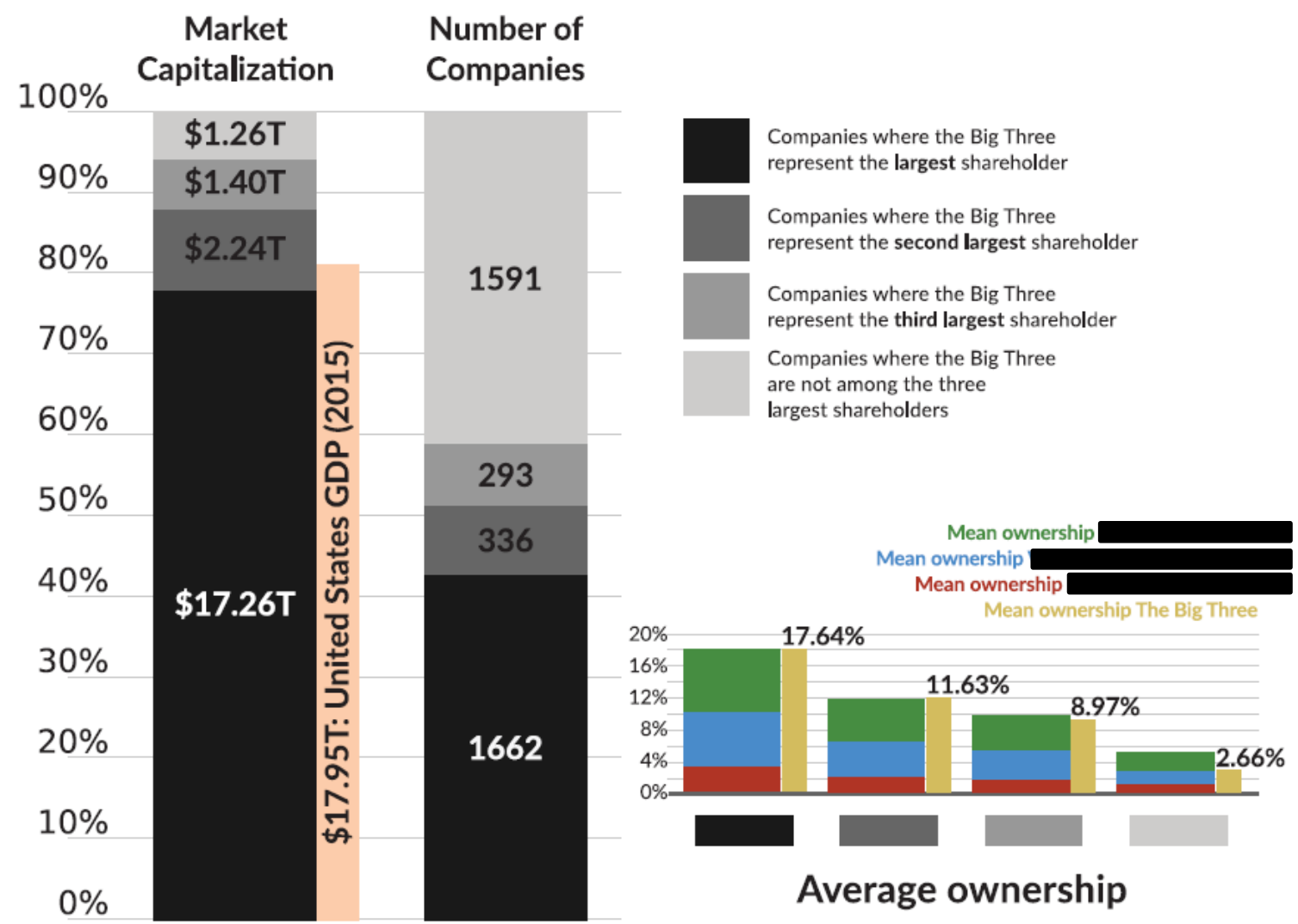
競争させても必ず敗北側の損失もこうむる  
⇒ 競争させる動機ない



明確に独占禁止法に違反（談合、カルテル） ← 消費者に損失のため  
株主が分散している上場企業では起こらない現象と考えられてきた

# しかし近年の米国：多くの企業の上位株主が重複

[Fichtner 17]より

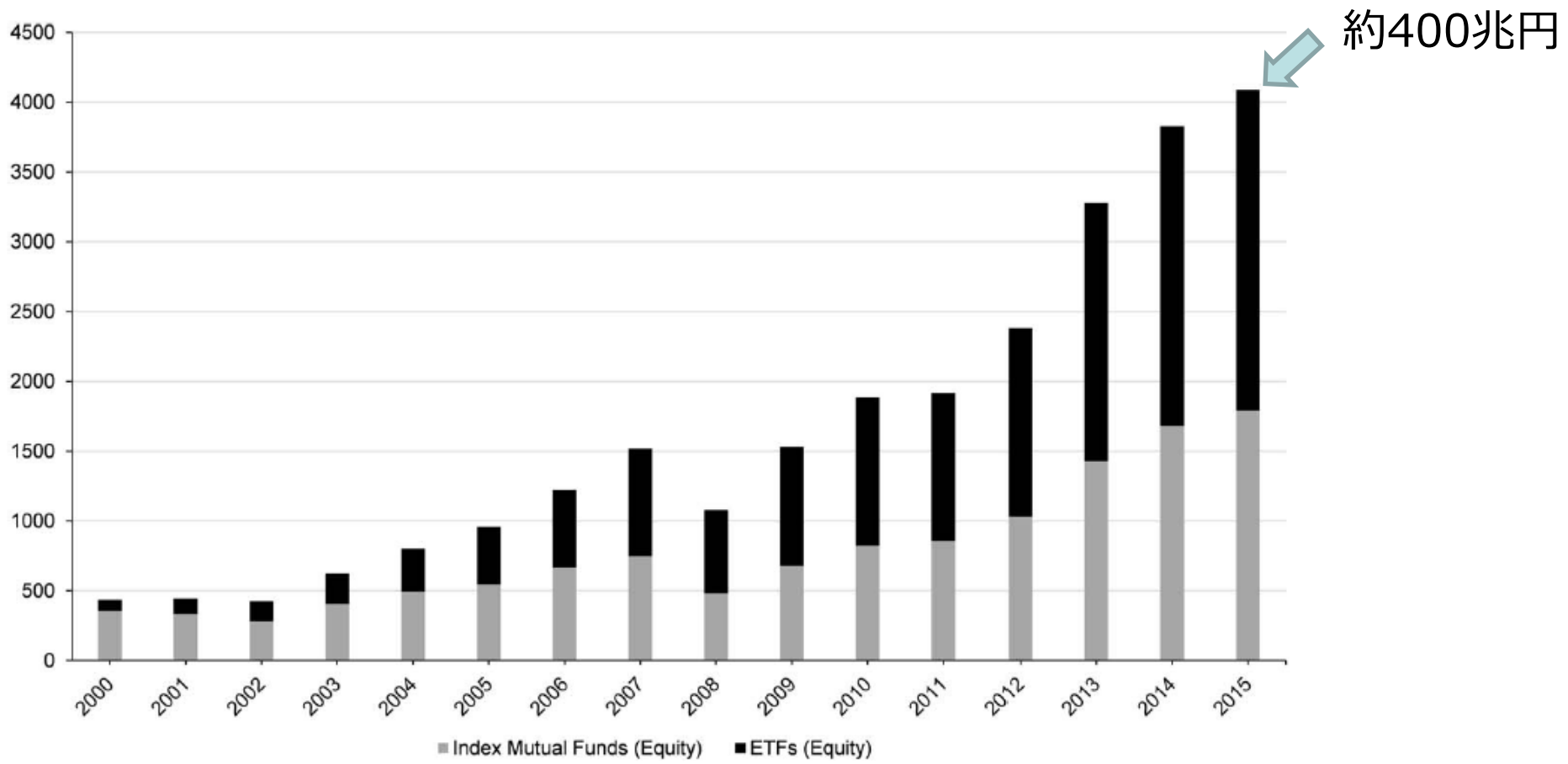


4割以上の企業：筆頭株主がBIG3、BIG3が全体の約15%を保有

BIG 3：パッシブファンドを運用する上位3社：寡占状態

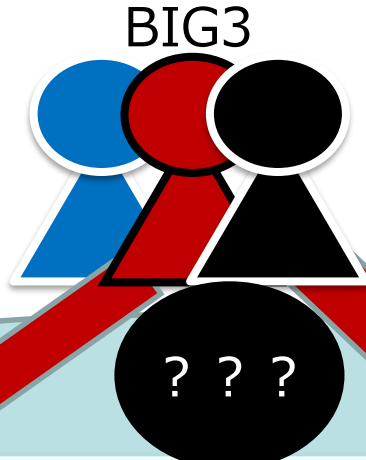


日経平均株価やTOPIXなどの指数と同じ値動きをするファンド  
 指数に組み入れているすべての企業を保有 ← 水平株式保有



**Figure 1: Assets under management by equity passive index funds 2000–2015, bn U.S.\$.**  
 Source: Investment Company Institute Fact Book; BlackRock Global ETP Landscape Report Dec. 2015.

1 業界につき 1 企業のみ  
保有を制限すべき? [Elhauge 16]



人材獲得競争をおさえ  
低賃金が維持?  
所得格差の拡大?  
[Elhauge 16]

非公式ミーティングの場多い  
競争回避の圧力? [Fichtner 17]  
忖度せざるを得ない? [Elhauge 16]

[Piketty 13]  
の説に疑問?

企業 1

企業 2

航空運賃が3%~7%ほど  
高くなっている? [Azar 14]

米国航空業界

消費者

賃金上がらず物価のみ上  
昇? [Elhauge 16]

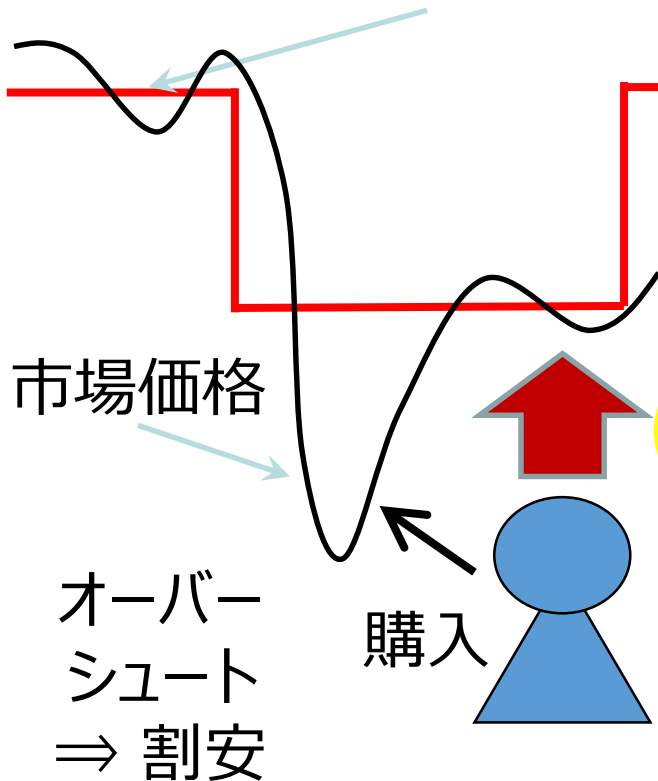
すでに反トラスト法(日本でいう独占禁止法)に違反? [Elhauge 16]

反論も多く、まだ確定的なことは何も分かっていない

# 企業間競争のバランスをとるメカニズム

敗北

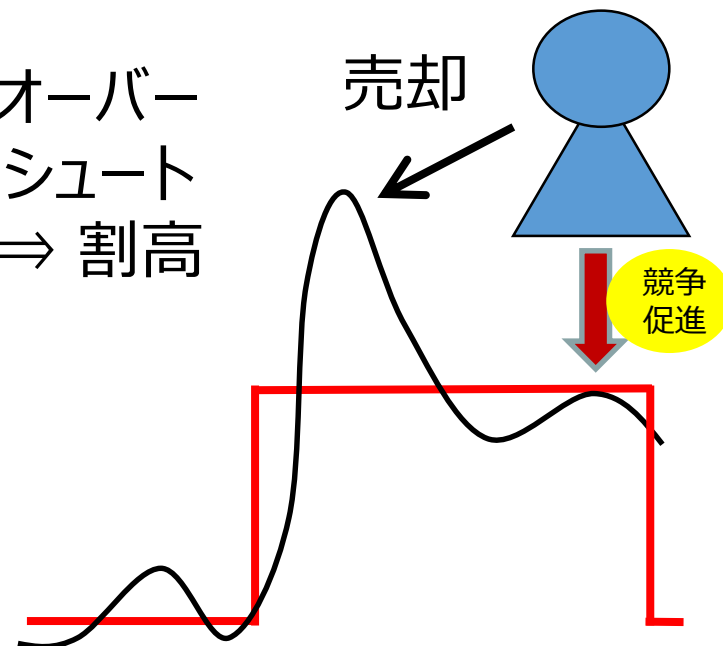
ファンダメンタル  
価格



勝利

オーバー  
シュート  
⇒ 割高

売却



ファンダメンタル投資家が果たす重要な社会的機能

パッシブファンドの増加はこのようなメカニズムを弱める恐れ

2017年10月14日

第19回 人工知能学会 金融情報学研究会 (SIG-FIN)

忍耐強い(Patient)アクティブ投資は  
市場を効率的にするのか？  
---人工市場によるシミュレーション分析---

(予稿) <http://sigfin.org/019-01/>

水田 孝信      スパークス・アセット・マネジメント株式会社

堀江 貞之      株式会社 野村総合研究所

本資料は、スパークス・アセット・マネジメント株式会社および株式会社野村総合研究所の公式見解を表すものではありません。すべては個人的見解であります。

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

.pdf [http://www.mizutatakanobu.com/20171014\\_x.pdf](http://www.mizutatakanobu.com/20171014_x.pdf)

値上がりが期待できる銘柄を選別しそれらに投資

**アクティブ投資 (ファンド)**

減少



日経平均株価などの指数（インデックス）と同じ収益を得られるようにインデックスを構成する銘柄と同じ銘柄を保有

**パッシブファンド**

増加



- ☆ アクティブファンドの利益の平均がパッシブファンドより少ないことを主張する実証研究 [French 08, Bogle 14]
- ☆ 手数料が高いファンドを販売する場合に販売員が説明責任を負う法改正 [A.T.Kearney 16, 神山 17]  
(一般にアクティブファンドの方が手数料が高い)

# 優れたアクティブ投資（ファンド）とその機能

アクティブ投資の社会的な機能

=

減少は社会的損失

- ☆ 企業に本源的に存在する価値（ファンダメンタル価格）を発見
- ☆ ファンダメンタル価格付近に市場価格を近づける  
（市場を効率的にする）
- ☆ 資本主義の重要な機能である投資資本の適切な配分を担う

[Wurgler 10]

矛盾？

売買量が少なければ市場価格に影響与えない？

[Suominen 11]

忍耐強い(Patient)アクティブ投資

=

利益が高い

- ☆ ファンダメンタル価格に基づいて取引
- ☆ 投資した銘柄の保有期間が長い、つまり売買量が少ない

[Cremers 16]

# 本研究の貢献

## アクティブ投資の社会的な機能

- ☆ ファンダメンタル価格付近に市場価格を近づける  
(市場を効率的にする)
- ☆ 資本主義の重要な機能である投資資本の適切な配分を担う

[Wurgler 10]

本研究の結果

矛盾しない

忍耐強いアクティブ投資はまれに起こる、市場価格が市場価値から大きく乖離して市場が不安定になり、市場がさらに非効率になりそうなときのみによく売買を行い、市場を効率化することに寄与していることを示した

忍耐強い(Patient)アクティブ投資

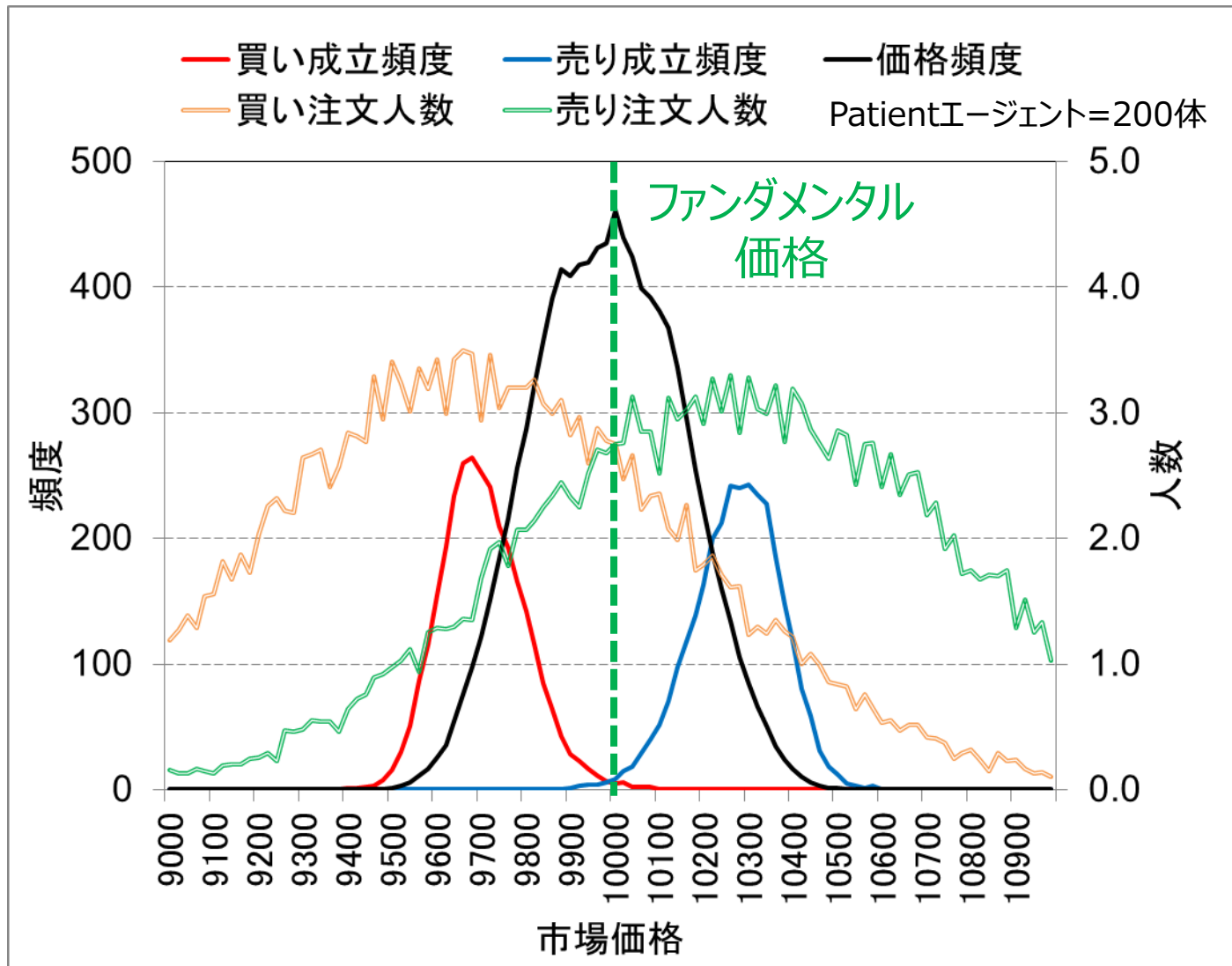
=

利益が高い

- ☆ 投資した銘柄の保有期間が長い、つまり売買量が少ない

[Cremers 16]

# 価格帯別 Patientエージェント注文数, 売買成立取引量 (1/2)



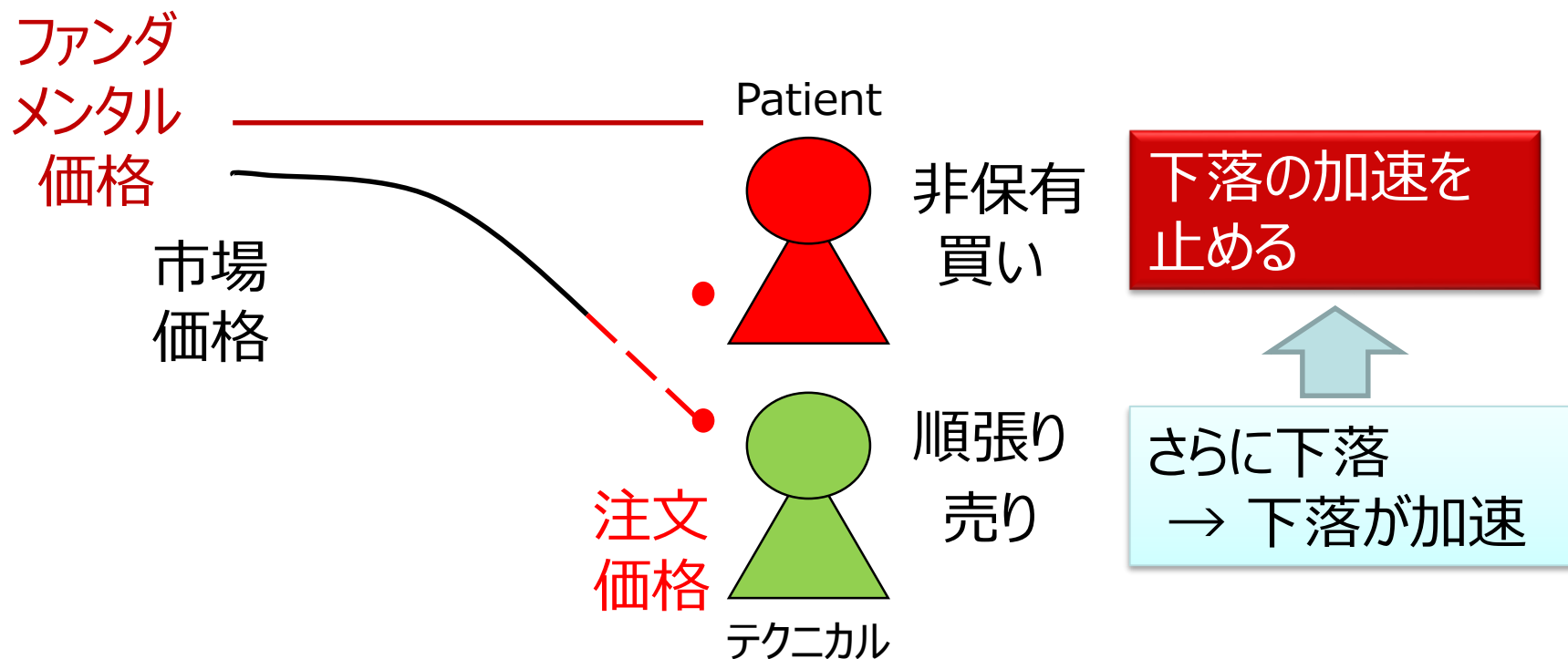
売買注文は満遍なく存在⇔売買成立は頻度が低い価格帯のみ

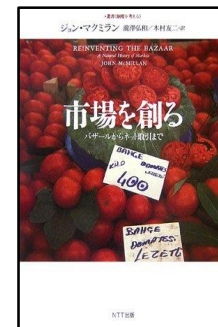
ファンダメンタル価格から離れたときのみ近づける方向の取引



市場価格の変動が大きくなると、  
順張りのテクニカルエージェントの注文価格は、  
さらに市場価格から乖離したものとなり、  
市場価格をさらにファンダメンタルから遠ざける。

Patientエージェントの注文は、  
このような増幅を防いでいる





## 価格発見の 重要性

1792年, この状況にチャンスを感じ取ったジョン・サットンという人物が, その当時は泥だらけの小道だった22番ウォールストリートで証券の取引を組織化した。サットンは売り手たちが毎朝持ってくる株券や債券を, お昼に手数料を取ってオークションで売った。

自身が証券取引事務所と呼んだ, サットンのオークションは, 現代の金融市場成長の口火を切り, ニューヨーク証券取引所にまで成長した。変化は早かった。サットンのオークションは, 他の取引者たちがそれにただ乗りし始めたため, 当初の有効性を失った。

もぐりの商人たちが, 価格の推移を見るためだけにオークションに参加し, その後はもっと低い手数料で自ら証券の販売を行い, サットンからビジネスを奪っていった。このやり方はすぐに自己矛盾を露呈するものとなった。

サットンのオークションにおける取引量が少なくなりすぎて, そこでの価格が証券の真の価値を知るための有用な手引きとなくなってしまうからである。

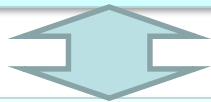
発見された価格へのただ乗り問題は昔からある  
価格発見のコストを誰が担うのか

神は細部に宿る

この問題が資本市場を機能不全に陥れる可能性は否定できない

## アクティブ投資 (ファンド)

ファンダメンタル価格の発見



流動性を奪う

## パッシブファンド

価格発見しない



流動性を奪わない

一番知りたいのは両者の、、、

“大丈夫な割合” $\Leftrightarrow$ “これを超えると危険な割合”

これを議論するために、両者の市場価格へ与える影響のメカニズムを知る必要がある

“資本主義の重要な機能である投資資本の適切な配分”が維持されるかどうかの重要な議論

重要な研究課題 & モデルの大規模化必須  
⇒ 多くの人に参加して欲しい

2017年3月10日  
第18回 人工知能学会 金融情報学研究会

# 人工市場シミュレーションを用いた レバレッジETFが原資産価格変動に 与える影響分析

(予稿) <http://sigfin.org/SIG-FIN-018-02/>

八木 勲

神奈川工科大学 情報学部

水田 孝信

スパークス・アセット・マネジメント株式会社

本資料は、スパークス・アセット・マネジメント株式会社の公式見解を表すものではありません。  
すべては個人的見解です。

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

Slide Share <http://www.slideshare.net/mizutata/20170310y>

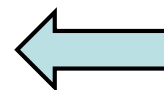
.pdf <http://www.mizutatakanobu.com/20170310y.pdf>

# マーケットインパクト・ボラティリティ比率 (MIVR)

マーケットインパクト・ボラティリティ比率 (MIVR)

=マーケットインパクトの絶対値の平均 / ボラティリティ (サイズ=0%のとき)

	サイズ (レバレッジドETFの初期金額 /全ノーマルエージェントの初期金額の合計)						
	0%	0.1%	1%	10%	15%	16%	17%
レバレッジドETFの総注文数	0	7.64	70.7	84.9	91.0	1166	2561
(a) マーケットインパクト (%)	0	0.00499	0.0392	0.0585	0.0798	4.90	10.5
ボラティリティ (%)	1.16(*1)	1.19	1.38	1.46	1.38	14.4	25.9
MIVR = (a) / (*1)	0	0.00430	0.0337	0.0503	0.0687	4.22	9.07



安定  
インパクト小さい

不安定  
インパクト大きい

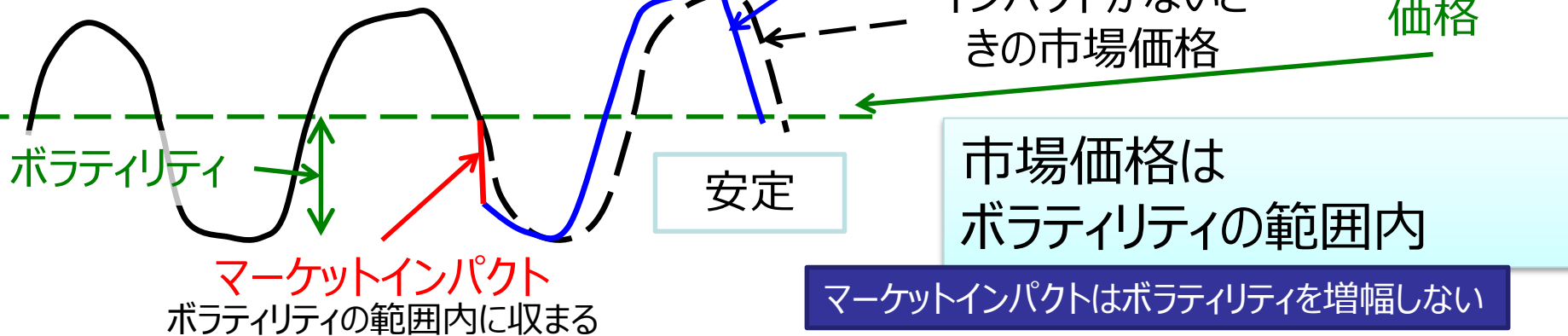
MIVRはキーパラメーター

MIVR < 1: 安定, MIVR > 1: 不安定

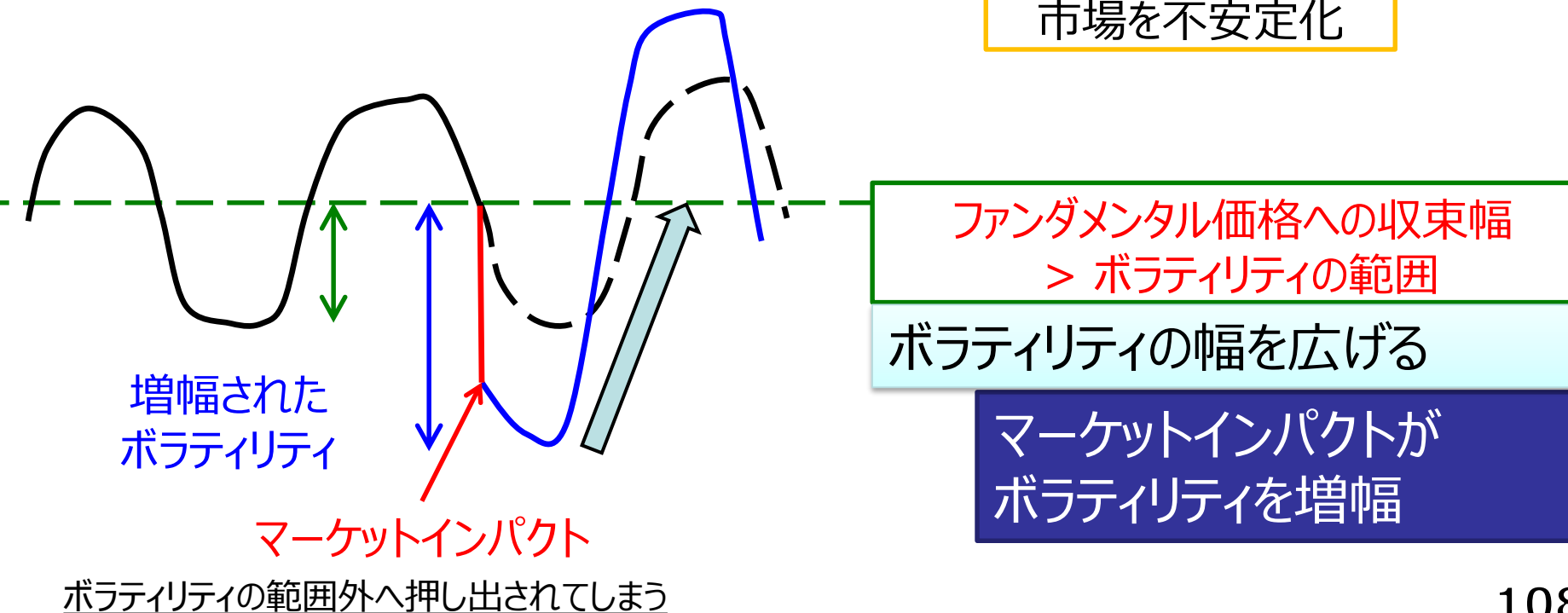
マーケットインパクトがボラティリティを超えると不安定

# 考えられるメカニズム

マーケットインパクト < ボラティリティ



マーケットインパクト > ボラティリティ



## ● 値幅制限

価格変動が一定以上を超えた取引を禁止

日本などアジアでは採用が多い ⇒ 特別気配、ストップ安  
欧米では不採用が多い

⇒ 市場を効率化するかどうかは議論が分かれている。

## ● 完全空売り規制

空売り（借りてきた株を売る）行為を一切禁じる

先進国で導入されることはまれ、時限的な導入はある

## ● アップティックルール

直近で約定した価格よりも低い価格で空売りすることを禁じる

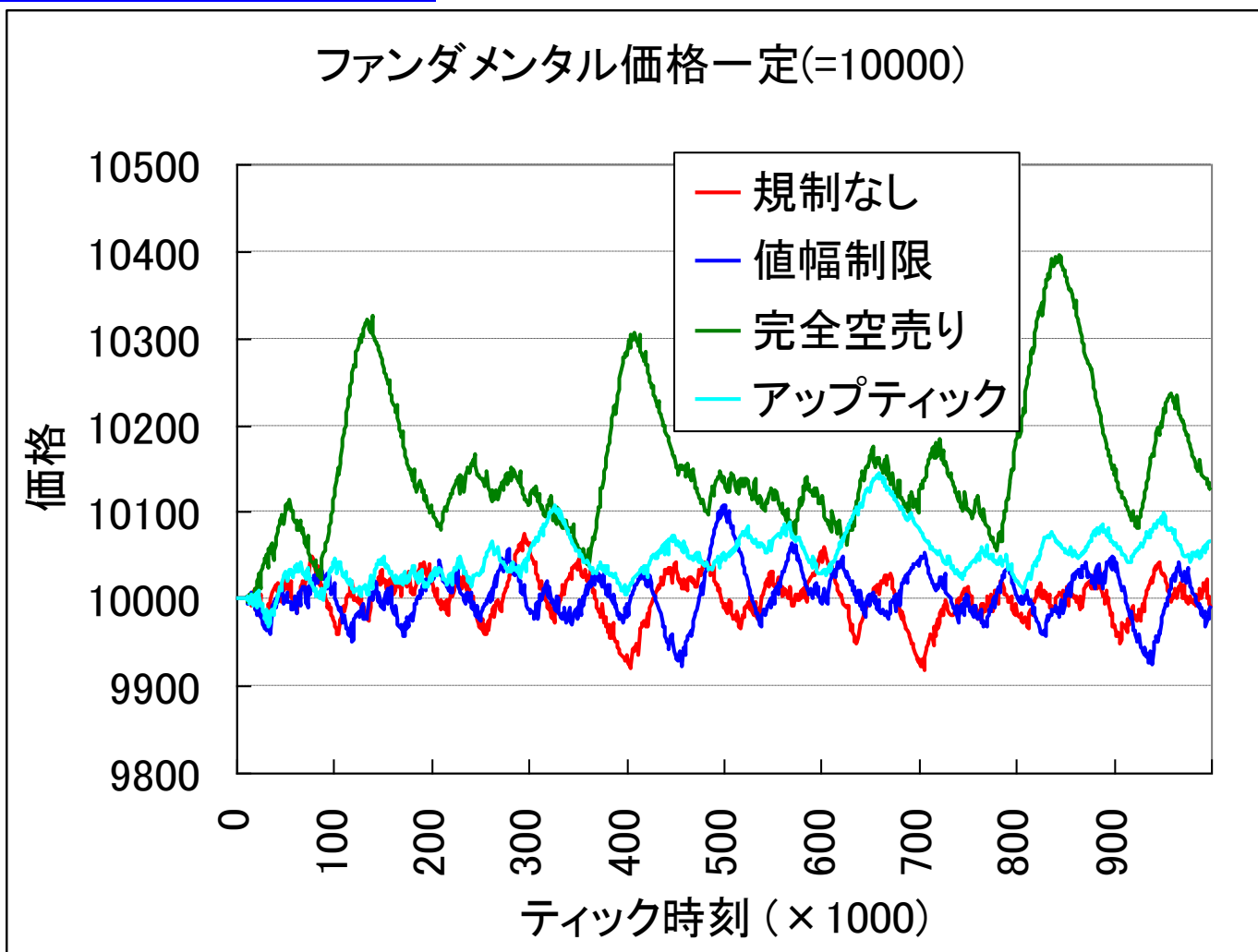
日本で導入、米国では導入されたり廃止になったり

⇒ 市場を効率化するかどうかは議論が分かれている。

主要論文:電気学会論文誌 論文誌C, Vol. 133, No.9, pp.1694-1700, 2013

主要論文:<http://sigfin.org/SIG-FIN-011-01/>

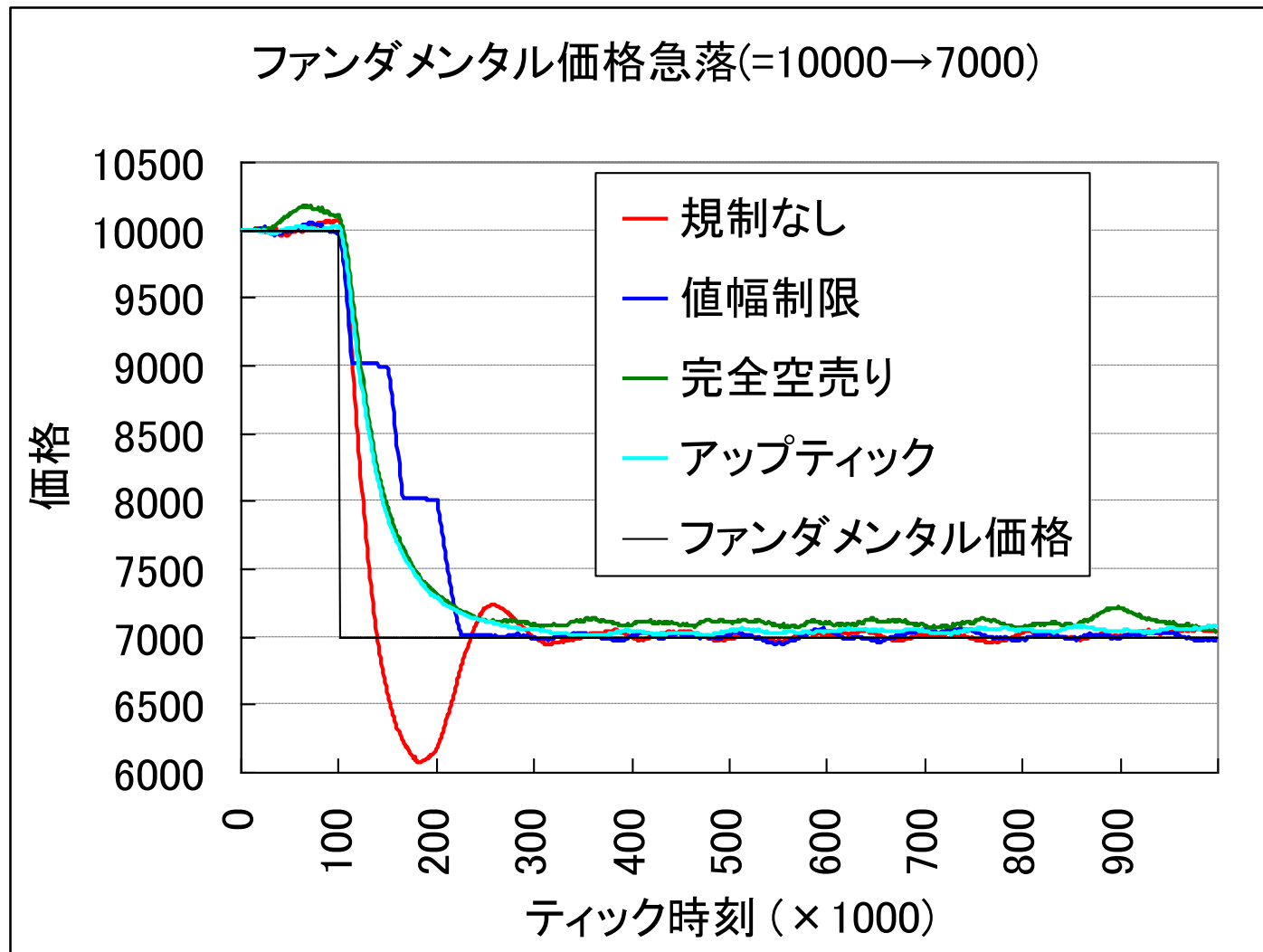
## 【2】シミュレーション結果



空売り規制は平常時に常に割高で取引され非効率  
⇒ 実証研究 (大塚[2012]) と整合的

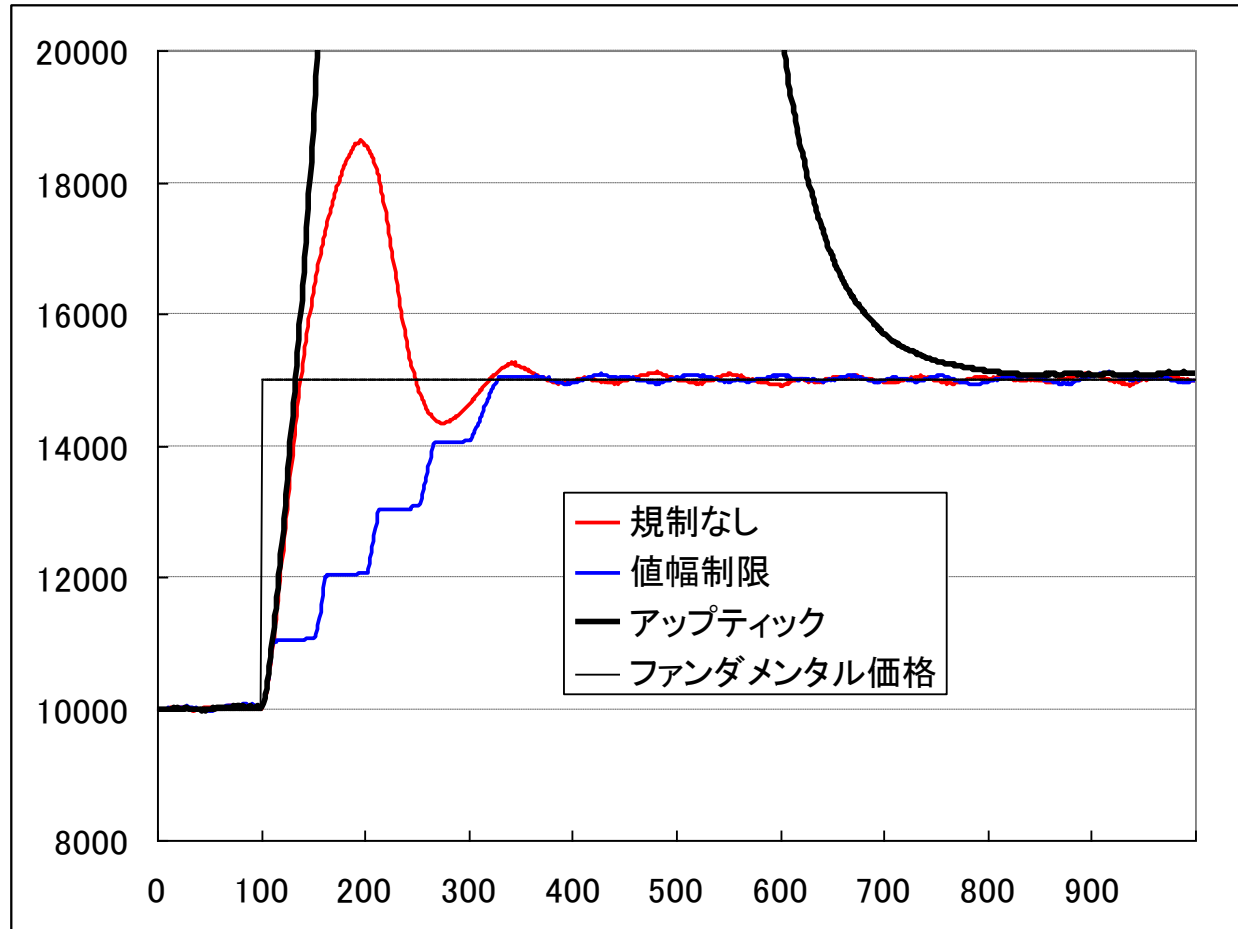


# ファンダメンタルが暴落した場合



規制が無いと過剰な暴落を引き起こす  
⇒ 値幅制限のみ両方で効率

## ファンダメンタルが暴騰した場合 ⇒ バブル時



完全空売り規制、アップティックルール

⇒ バブルを大きく助長する

⇒ **コロンブスのたまご的発見**： 空売り規制は下落時ではなく  
安定時・上昇時こそ検証されるべきという発見

## 最適な値幅制限

$t_{pl}$ 前の価格 $P^{t-tpl}$  から $\pm \Delta P_{pl}$ に制限

東証：日次値幅制限：  $t_{pl}=1$ 日、 $\Delta P_{pl}=20\%$ 程度

東証：特別気配：  $t_{pl}=3$ 分、 $\Delta P_{pl}=2\%$ 程度

$$\frac{\Delta P_{pl}}{t_{pl}} < v \quad \text{かつ} \quad \Delta P_{pl} > V_{tpl}$$

$v$ : 規制がないときの株価下落速度

$V_{tpl}$ :  $t_{pl}$ で測定したボラティリティ

左の不等式は厳しすぎると

ファンダメンタルになかなか到達しない  $\Rightarrow$  ほどほどが良い

### 誤発注に関する研究

$t_{pl}$ は誤発注の時間規模と同じくらいが良い

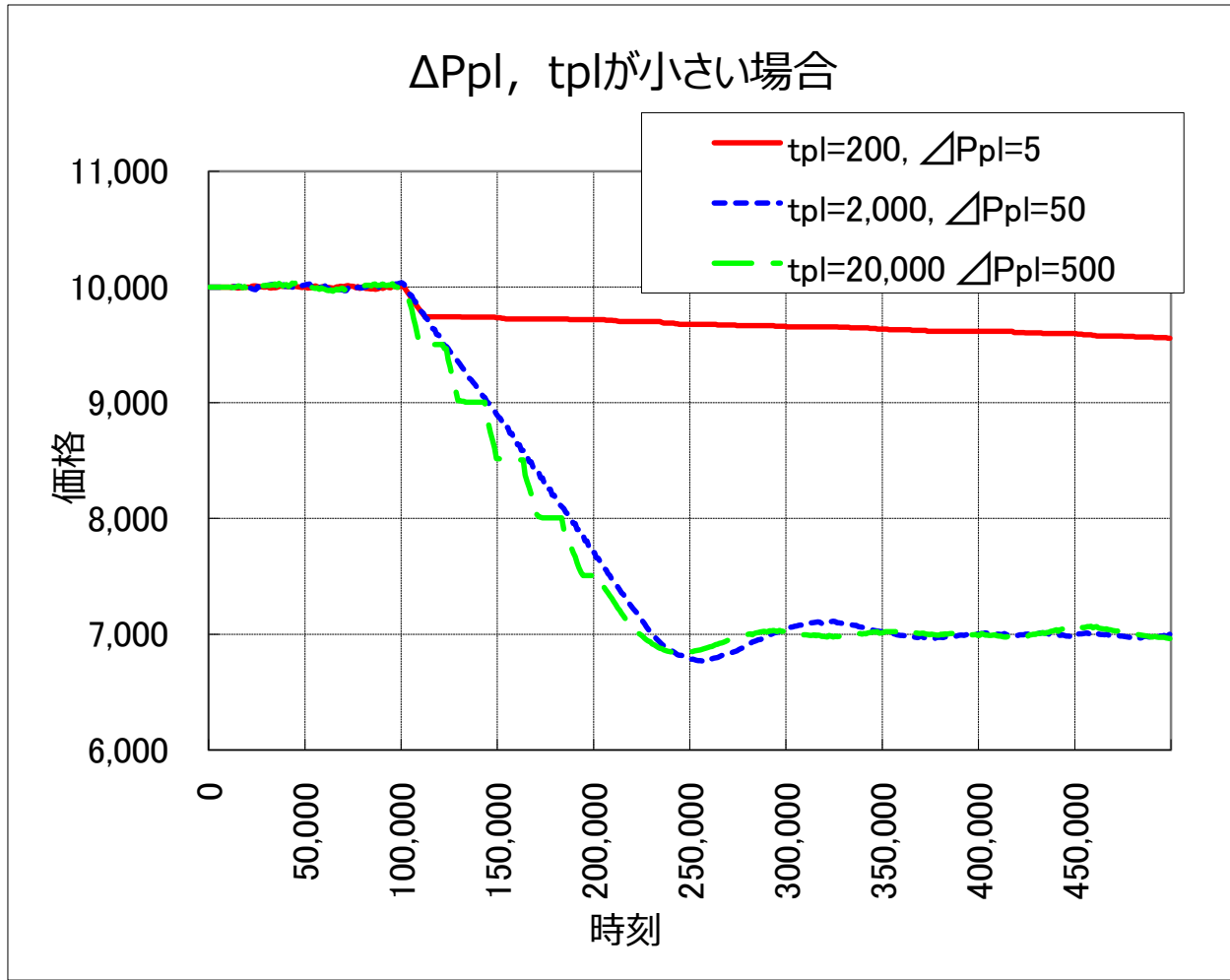
$\Rightarrow$  何段階か備えるべき

東証：世界的に見てもなかなか良い制度

高頻度取引向け値幅制限をもう一段あった方が良い？

# 制限値幅が異常に小さいとき

$\frac{\Delta P_{pl}}{t_{pl}}$  が一定なら同じ性質の価格変動を示すか？



余りにもΔPplが小さいと収束しない

中国人民元がファンダメンタルから乖離している可能性？

人工市場を用いた  
大規模誤発注による市場混乱を  
防ぐ制度・規制の検証  
～ トリガー式アップティック・ルールを中心に ～

水田 孝信\* スパークス・アセット・マネジメント（株）  
東京大学大学院工学系研究科

和泉 潔 東京大学大学院工学系研究科  
科学技術新興機構 CREST

八木 勲 神奈川工科大学情報学部

吉村 忍 東京大学大学院工学系研究科

Slide Share <http://www.slideshare.net/mizutata/sigfin11>  
.pdf <http://www.mizutatakanobu.com/sigfin11.pdf>

日本語論文 <http://sigfin.org/SIG-FIN-011-01/>

English Slide <http://www.mizutatakanobu.com/cifer2014a.pdf>

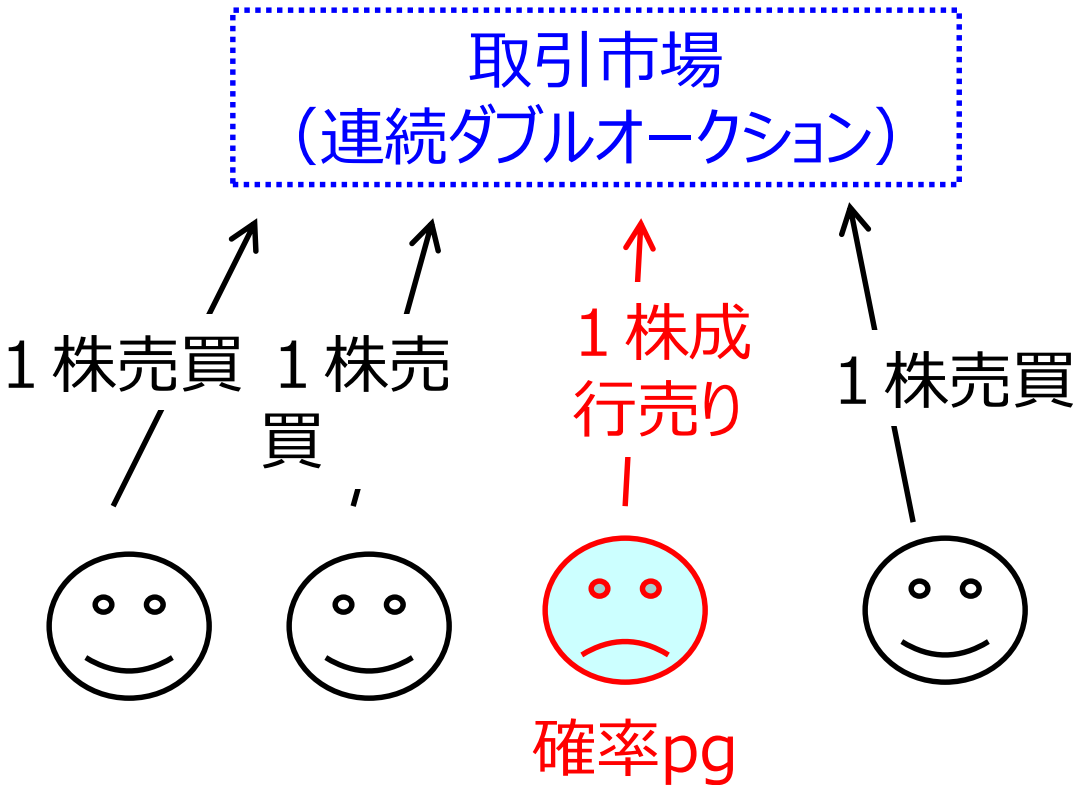
English Paper <http://dx.doi.org/10.1109/CIFEr.2014.6924065>

(If you want the paper, please send me e-mail.)

# 実験 1 : 誤発注による市場混乱

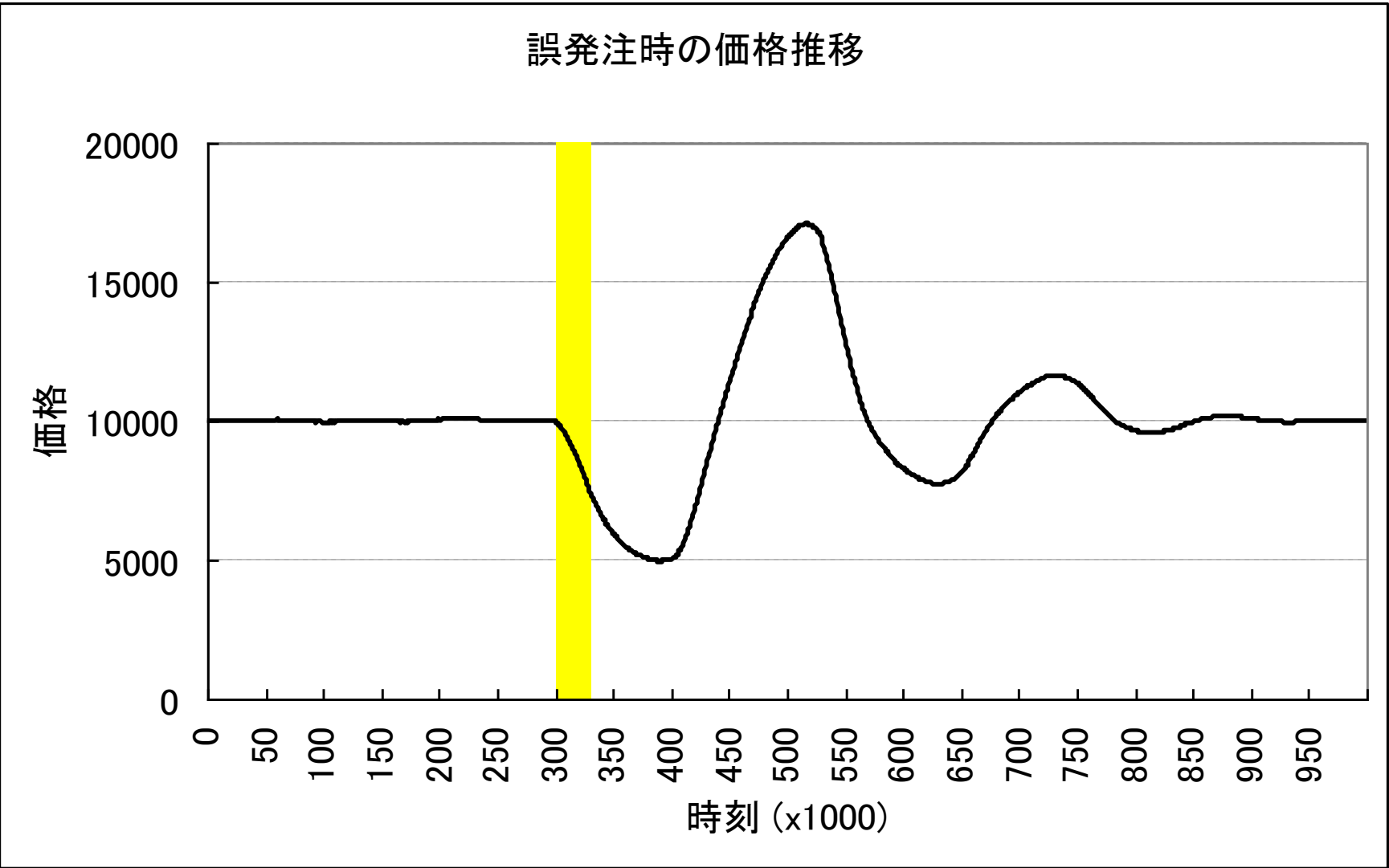
## 誤発注のモデル化

2つのパラメータ       $p_g$  : 誤発注確率  
                                  $t_g$  : 誤発注期間



この状態が  $t_g$  期間続く

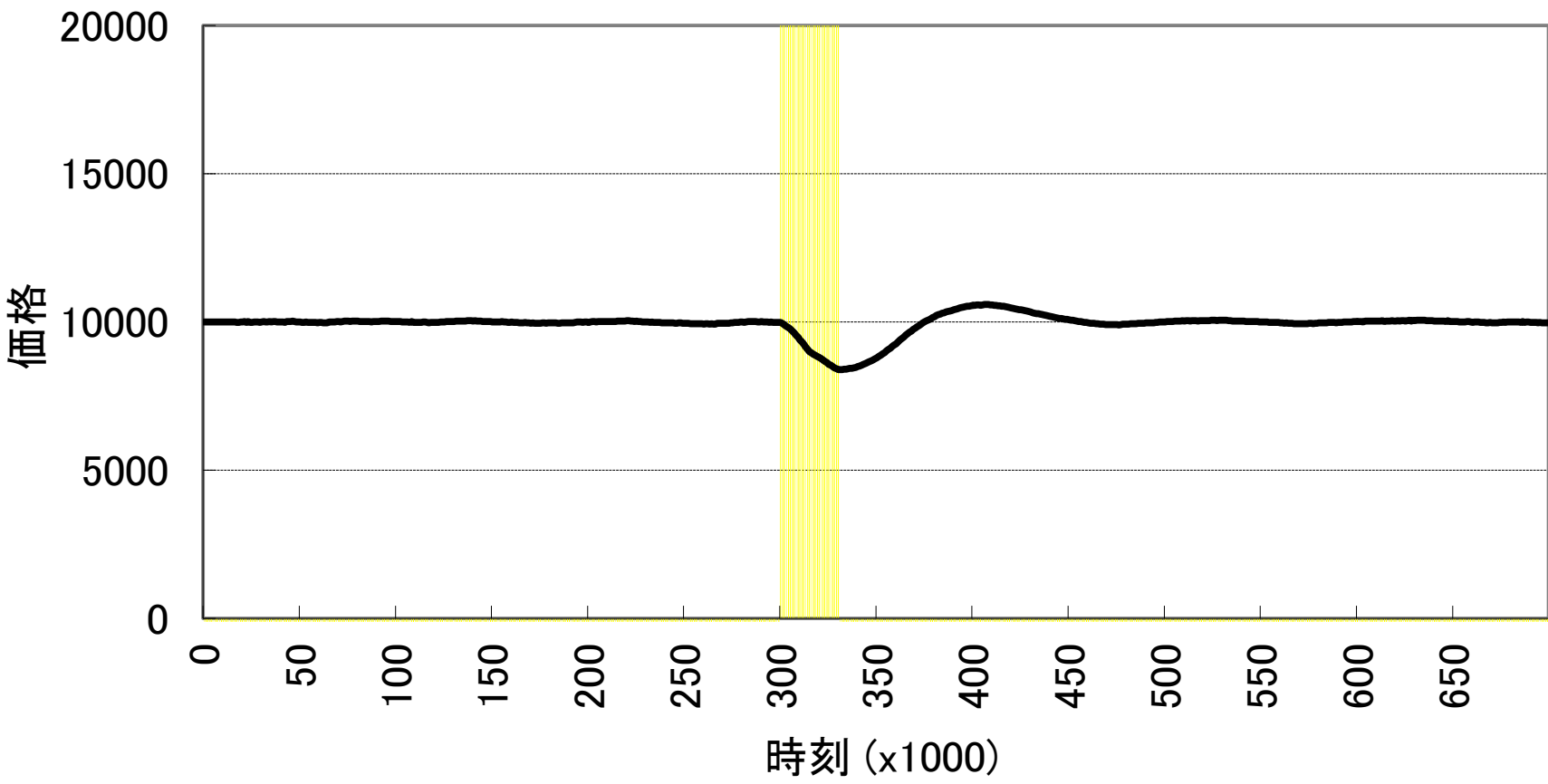
# 誤発注時の価格推移 (tg=30000, pg=0.15)



誤発注期間 (tg) を過ぎても下落し続ける

# トリガー式アップティックルールがある場合

誤発注時価格推移：トリガー式アップティック・ルール：時間解除あり  
解除時間 $t_{ut}=50,000$



市場混乱を回避できている



## 解除方式をいろいろ試す(2/2)

時間解除方式： ある一定の時間がたつと解除

騰落率解除方式： ある一定のところまで価格が戻ると解除

	アップティック・ルール									
	時間解除方式									
	5,000	10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	100,000
最大価格	14,626	13,337	10,653	10,653	10,683	10,788	11,220	11,884	12,774	14,654
最小価格	5,540	6,315	8,396	8,412	8,419	8,422	8,417	8,418	8,417	8,332

	規制なし	アップティック・ルール			
		解除なし	騰落率解除方式		
			9,000	9,500	10,000
最大価格	15,251	35,955	10,694	10,793	11,027
最小価格	5,104	8,418	8,419	8,409	8,426

緑： 市場混乱を防げている

時間解除方式： 誤発注期間に似た解除時間である必要

騰落率解除方式： どんな期間の誤発注も対応可能な可能性

## トリガー式・アップティック・ルール

10%下落したときのみアップティックルールを適用  
翌々営業日から解除

時間解除方式： 誤発注期間に似た解除時間である必要

騰落率解除方式： どんな期間の誤発注も対応可能な可能性

金融庁案は時間解除方式に近い  
価格があるところまで戻った場合、  
前倒しで解除するルールを加えるべき？

# 取引所同士の競争：HFT（高頻度取引）、ダーク・プール

取引所（実質）参入自由化  
最良執行義務の強化（欧米）

取引所の増加・競争開始



いち早く注文・取消をしたい

こっそり大量に買いたい

取引システムの高速化

HFT（高頻度取引）の出現

（アルゴリズム取引の高度化）

ダーク・プールの出現

この2つが、現在、株式取引市場での最大の話題

その他にどのような市場参加者がいるかは以下参考

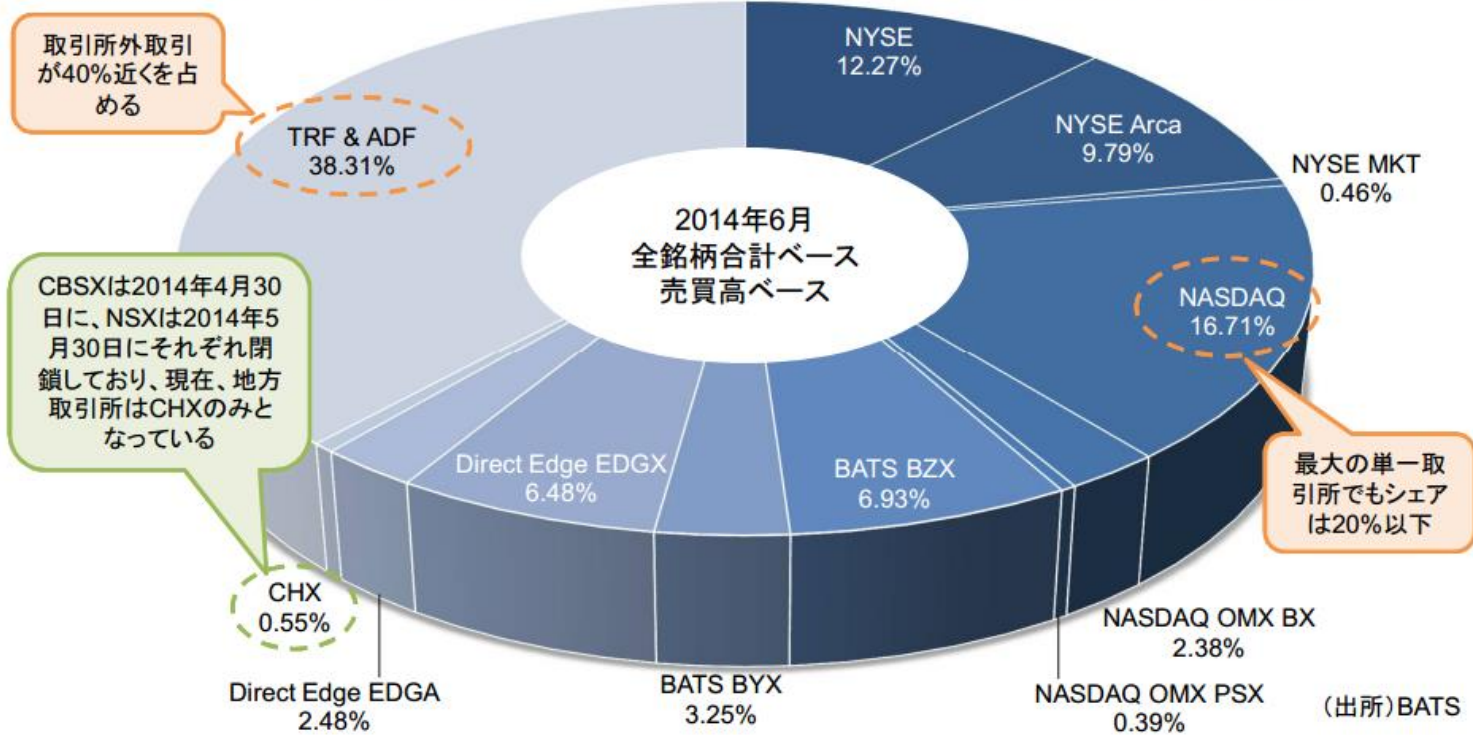
システム創成学専攻 金融レジリエンス情報学2016/4/7 金融の役割と機関投資家の株式投資実務

<http://www.slideshare.net/mizutata/20160407>

# アメリカにおける状況

## 群雄割拠の様相

- ✓ 11の取引所市場、40以上のダーク・プールがシェアを奪い合っている現状。
- ✓ ダーク・プールを含む取引所外取引は、既に全米の40%近くを占める。



※ 上図の「TRF & ADF」は取引所外取引を示す。正式な統計はないものの、このうち3分の1程度がダーク・プール、残りの3分の2程度が証券会社の店内化 (Internalization) 等によるものと推測される (ダーク・プールの内訳については後述)。



JPXワーキング・ペーパー特別レポート「米国市場の複雑性とHFTを巡る議論」(2014年7月10日)

72

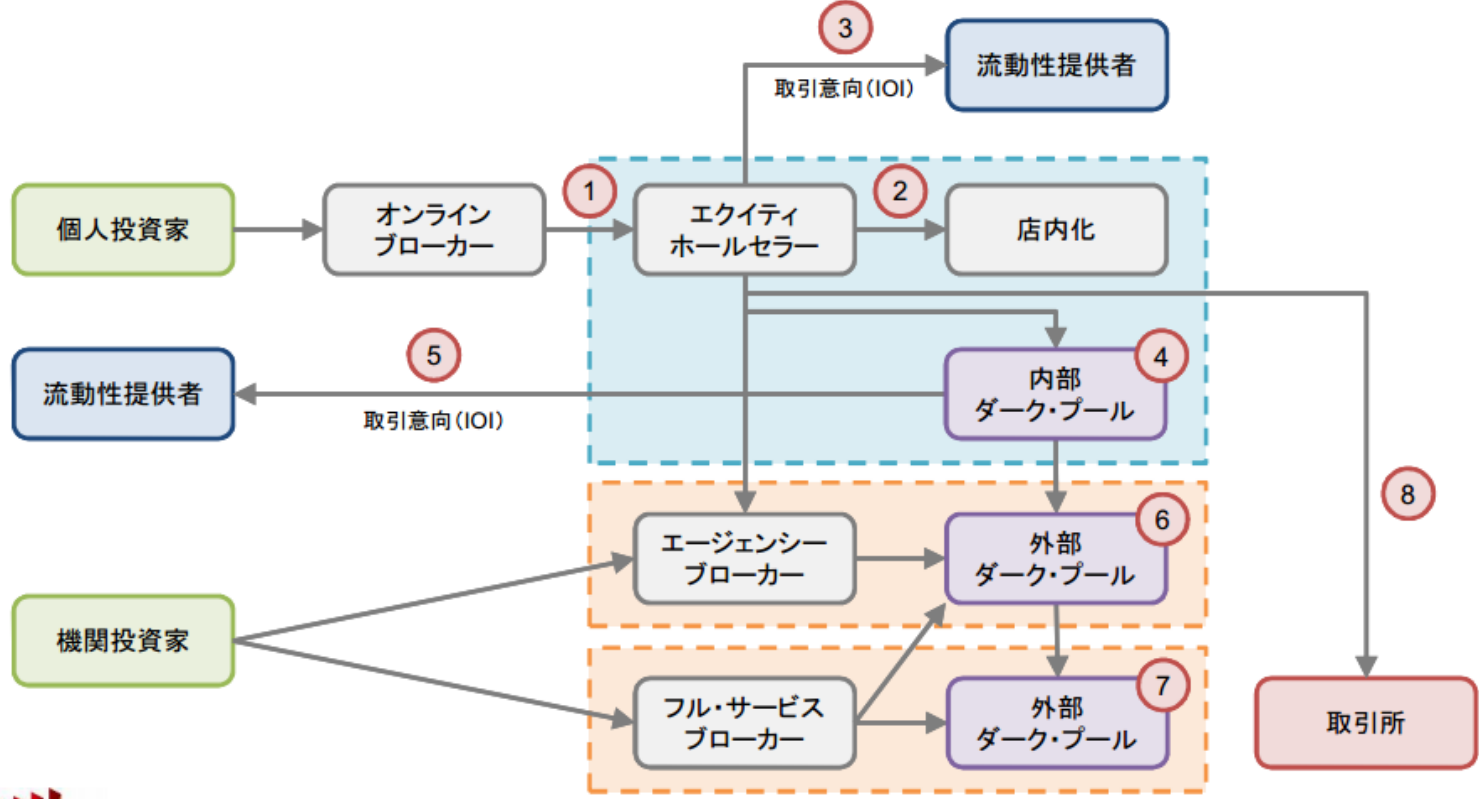
[http://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq0000008q5y-att/JPX\\_WP\\_SP.pdf](http://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq0000008q5y-att/JPX_WP_SP.pdf)

ヨーロッパでも同様な状況：カナダ、オーストラリア等でも追随している  
日本もこのようになるのか？

# 米国では既に理解しがたいほど複雑なシステムに

## 顧客注文の執行フローの複雑化

- ✓ ペイメント・フォー・オーダー・フローの存在によるエクイティ・ホールセラーの介入、テイカー・フィーを回避するための店内化やダーク・プールの利用等により、投資家の注文が取引所に届くまでには、様々なプロセスを経ることとなる。



(出所) Tabb Groupの資料より抜粋し一部改変



JPXワーキング・ペーパー特別レポート「米国市場の複雑性とHFTを巡る議論」(2014年7月10日)

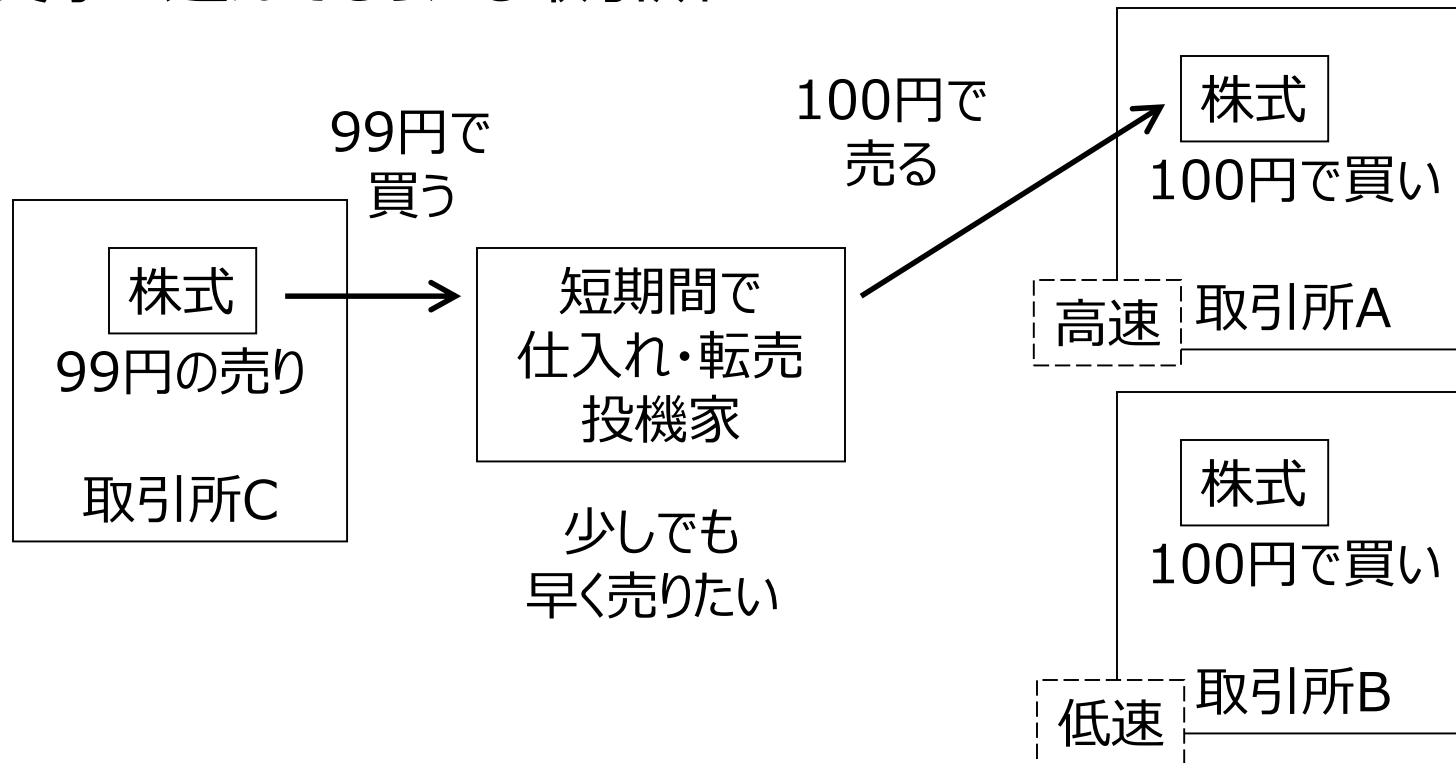
158

[http://www.jpjx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq0000008q5y-att/JPX\\_WP\\_SP.pdf](http://www.jpjx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq0000008q5y-att/JPX_WP_SP.pdf)

しかし幸い、日本ではこのような状況になっていない

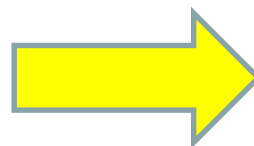
# 高速化：取引所間競争の重要な要素

取引所が多数存在 ⇒ 競争 ⇒ より流動性が高い取引所  
投資家に選んでもらえる取引所



他が同じ条件なら注文処理が早い取引所に注文  
何度も取引できる、機会を逃したくない

他の取引所より注文処理が  
少しでも速いことが重要



高速化競争

いち早く注文・取消をしたい

## 取引システムの高速化

水田ら 2015, JPXワーキング・ペーパー Vol.9

<http://www.jpx.co.jp/corporate/news-releases/0010/20150331-02.html>

取引市場同士の競争、大口取引を行う投資家の要望により高速化

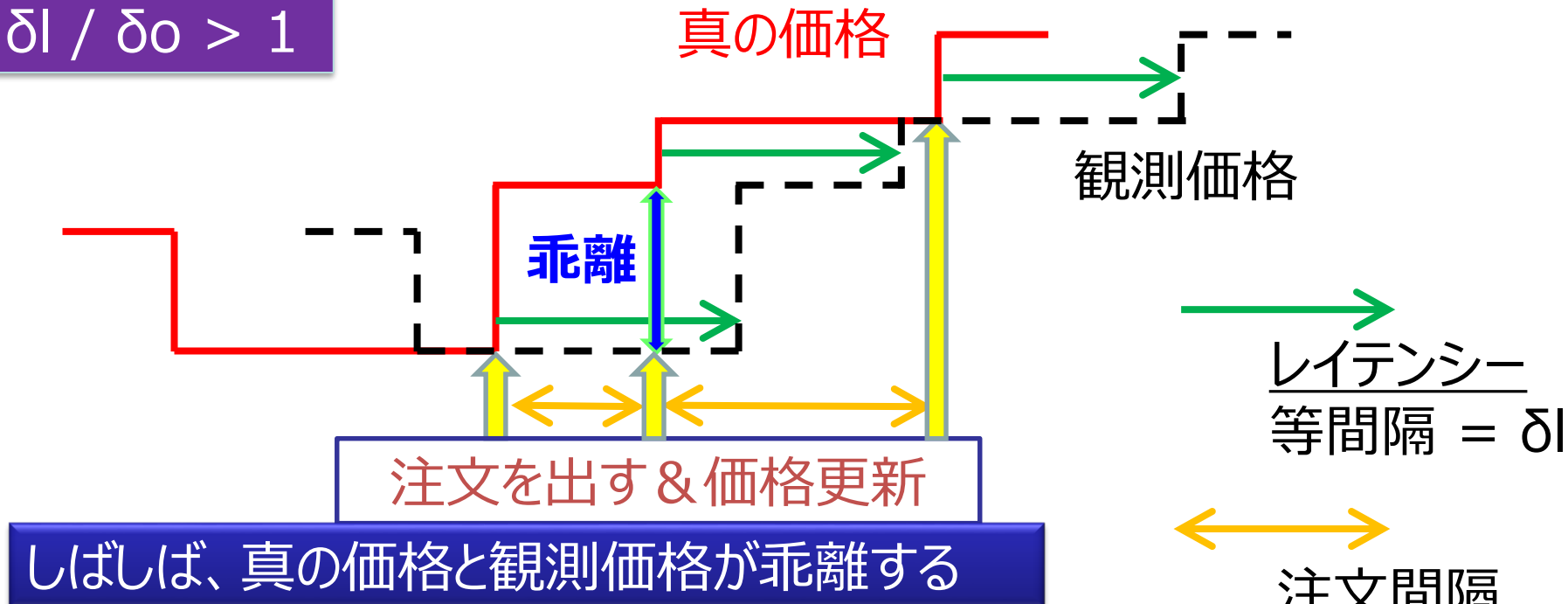
流動性を供給する投資家の注文量が増え、流動性が向上



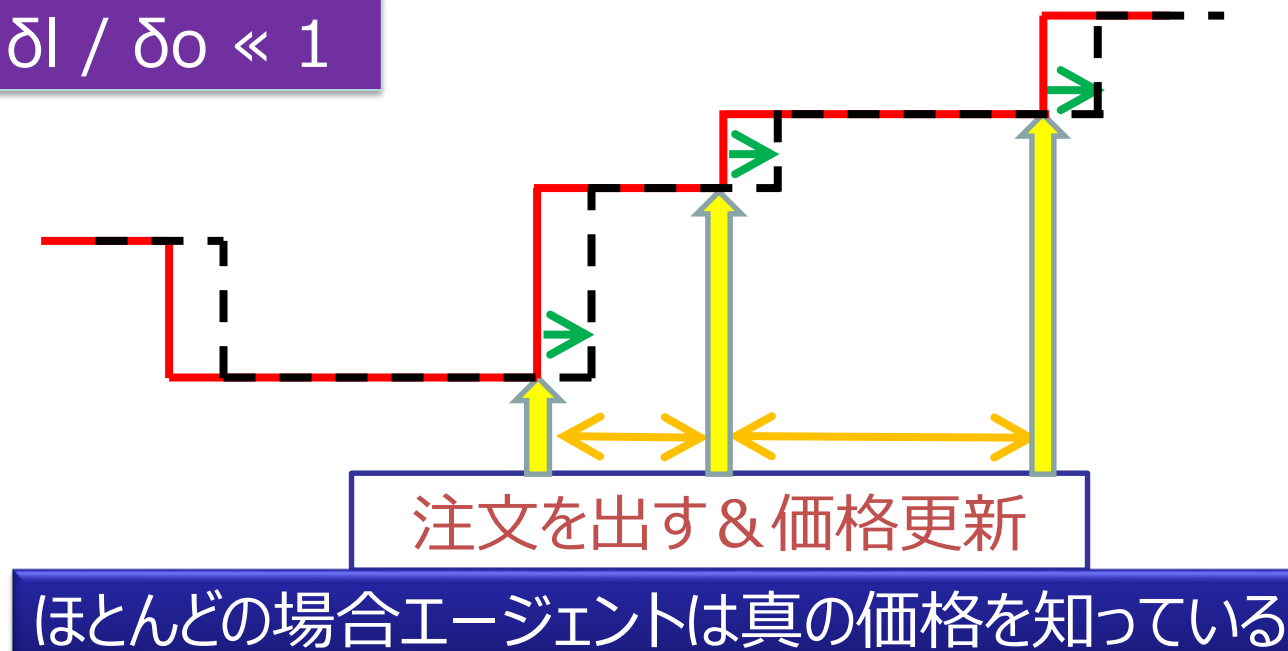
市場の運営コストや取引参加者のシステムコストの増大

どのくらい的高速化が適切か？

$$\delta l / \delta o > 1$$

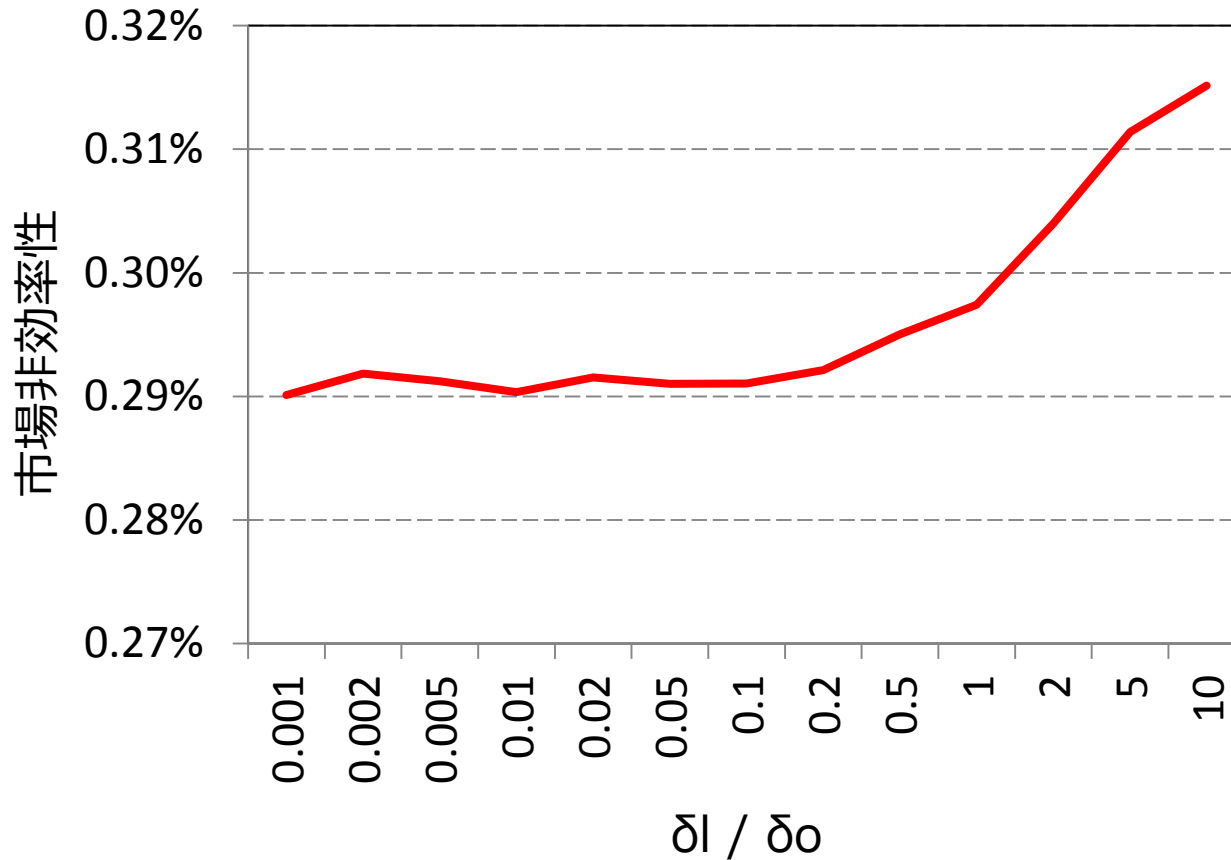


$$\delta l / \delta o \ll 1$$





## 市場非効率性



$\delta I / \delta O > 1$  : 市場が非効率化

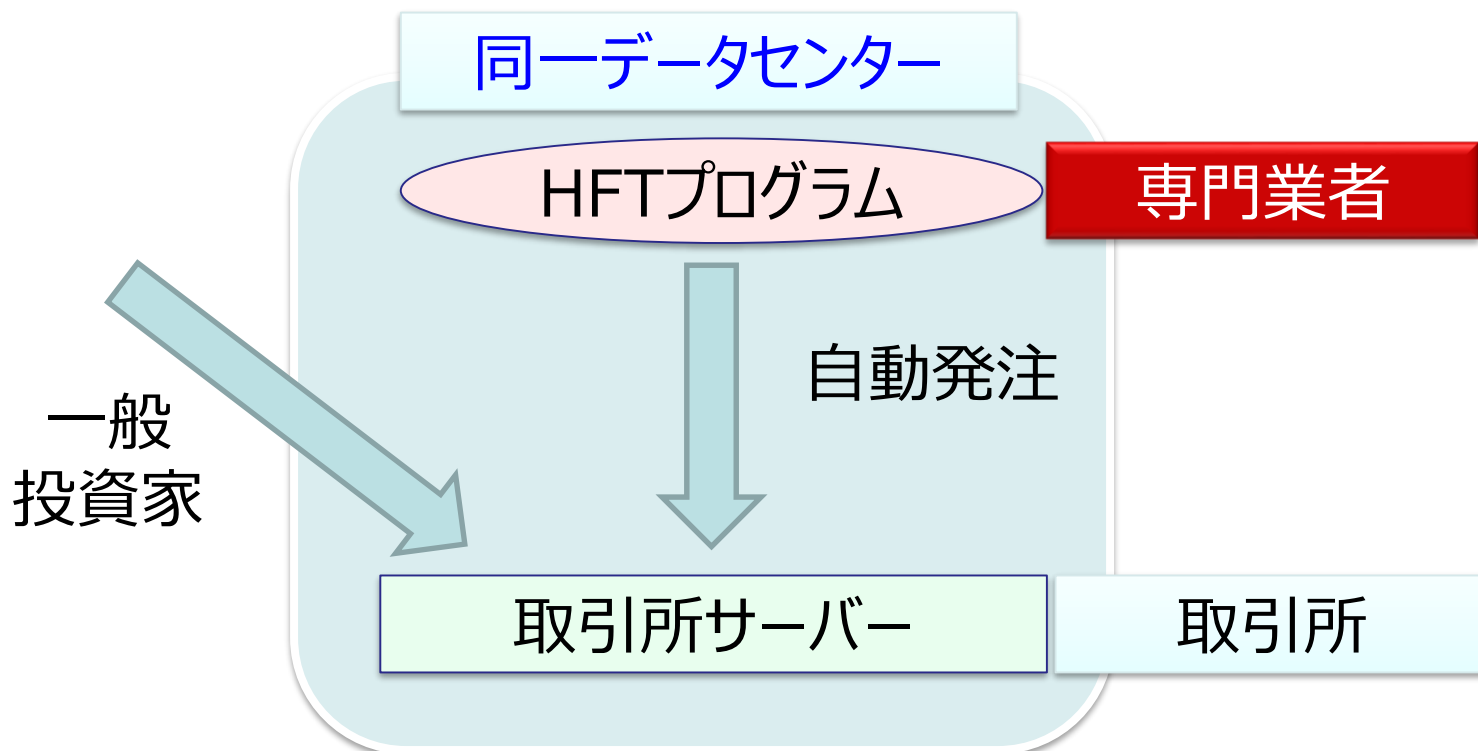
$\delta I / \delta O = 0.5$  あたりから市場の非効率化が始まっている

# HFT（高頻度取引）の出現

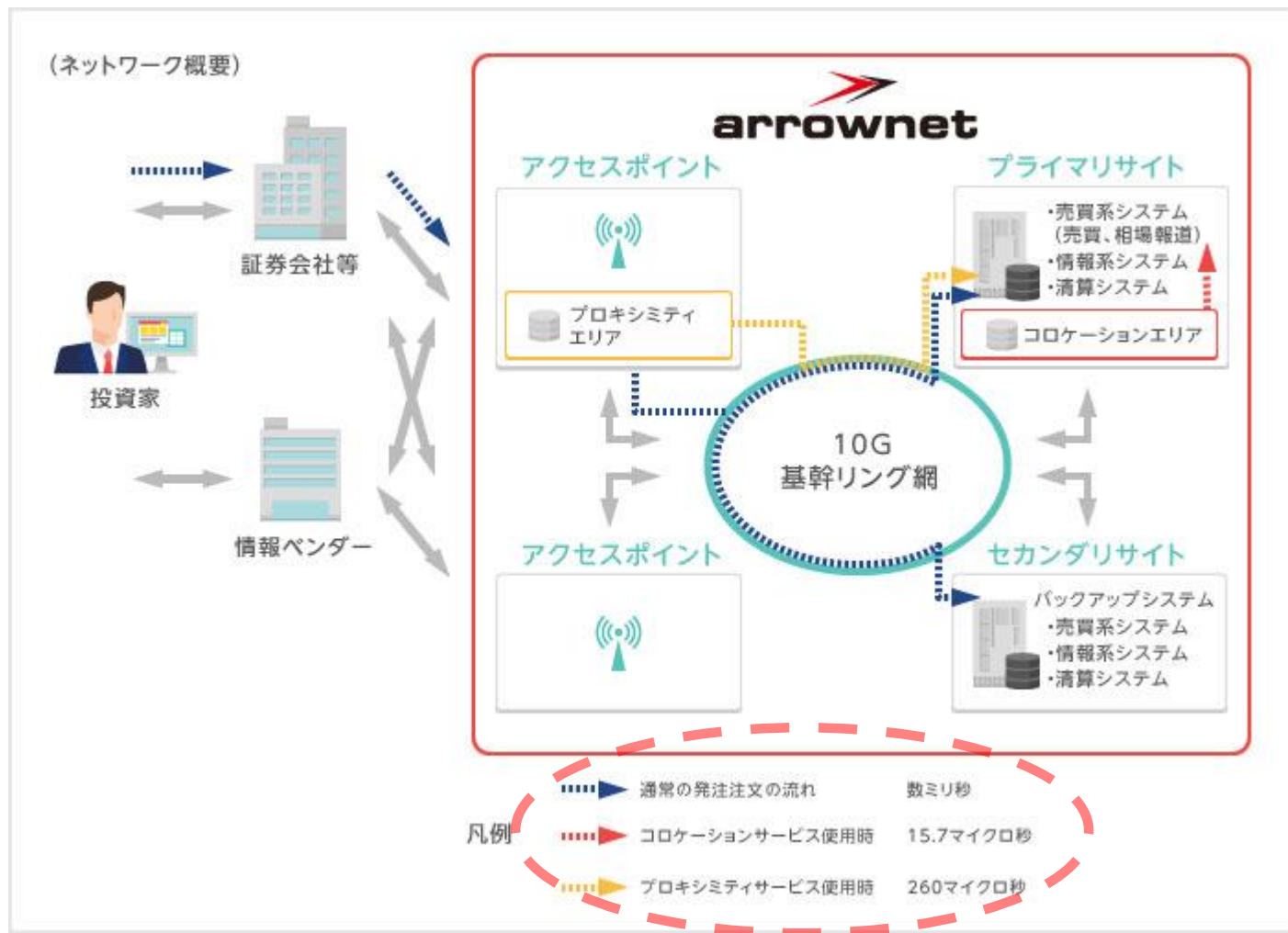
草田ら 2015, JPXワーキング・ペーパー Vol.8

<http://www.jpx.co.jp/corporate/news-releases/0010/20150331-01.html>

HFT：数十マイクロ秒ごとといった高頻度に  
注文を出したりキャンセルする機械の投資家  
↑ いち早く注文が取引所に届くように隣のサーバーラックに  
⇒コロケーションサービス（取引所提供）



# 東京証券取引所提供コロケーション・サービス



<http://www.jpx.co.jp/systems/connectivity/> 動画もあるよ！

<http://www.jpx.co.jp/systems/connectivity/> 動画もあるよ！

「コロケーションサービスのメニューや施設の性能を以下の動画にて短時間で分かりやすくご紹介しております。」



使用しているケーブルについての説明とかも（2分36秒あたり）  
サーバー2重化、電源、空調とかも（2分30秒～4分くらい）

# マーケットメーカー戦略 1/2

HFTの多くはマーケット・メーカー戦略

⇒ 買いと売りを同時に出す

	売り	価格	買い	
	84	101		
注文	176	100		
		99	204	注文
		98	77	

99円と100円を行ったり来たりしていると儲かる

↑ 99円で買って100円で売ること繰り返す

市場がどちらかの方向に動き出したら、すばやく逃げる必要

↑ 99円で買っちゃったものがもっと安い値段でしか売れなくなる

昔からある戦略。以前は大人数で手作業で行われていた。

彼らの仕事が機械化され効率化された⇒社会全体のコストは下がったと考えられる。

## 実例

### マーケットメーカー戦略のHFTが いる銘柄

売気配株数	気配値	買気配株数
--	成行	--
250	OVER	
3	12,720	
10	12,590	
2,713	12,510	
3,089	12,500	
3,149	12,490	
2,884	12,480	
2,960	12,470	
3,566	12,460	
3,243	12,450	
前 2,514	12,440	
	12,410	前 2,953
	12,400	3,245
	12,390	3,534
	12,380	2,693
	12,370	3,329
	12,360	2,814
	12,350	3,006
	12,340	2,864
	12,320	200
	12,210	20
	UNDER	261

### いない銘柄

売気配株数	気配値	買気配株数
--	成行	--
--	OVER	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
	0	
1,000	1,203	
前 1,000	1,202	
	1,197	前 100
	1,196	100
	1,195	100
	1,100	100
	1,000	10
	999	10
	0	
	0	
	0	
	0	
	UNDER	--

流動性の供給とはこういうことである

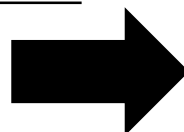
# MMあり-市場間でティック・サイズが等しい場合-

## 取引市場A

シェア90%, MMなし

売り	価格	買い
84	101	
	100	
	99	
	98	124
	97	77

出来高  
シェア  
は動く  
か?



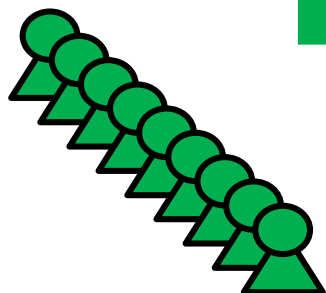
## 取引市場B

シェア10%, MMあり

売り	価格	買い
16	101	
	100	
	99	
	98	
	97	13



1000体  
スタライズドトレーダー



指値注文の場合  
90%は取引所Aへ  
10%は取引所Bへ

常に売りと買いの  
指値注文を取引所Bへ

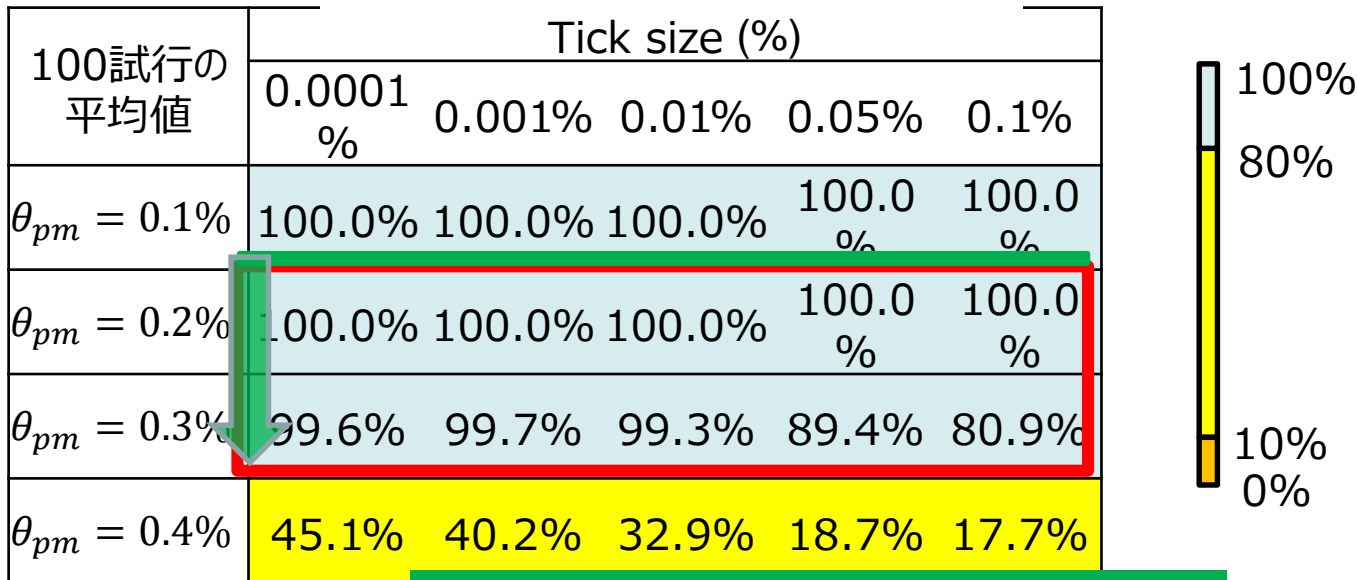
草田ら 2015, JPXワーキング・ペーパー Vol.8

<http://www.jpx.co.jp/corporate/news-releases/0010/20150331-01.html>

# 500営業日後の取引市場Bのシェア(MMあり)

MMのスプレッド $\theta_{pm}$ が取引市場AのBOSである $\theta_A$ の平均 $\bar{\theta}_A$ よりも大きい場合でもシェアを奪える

シェアの推移はどうなっているか?

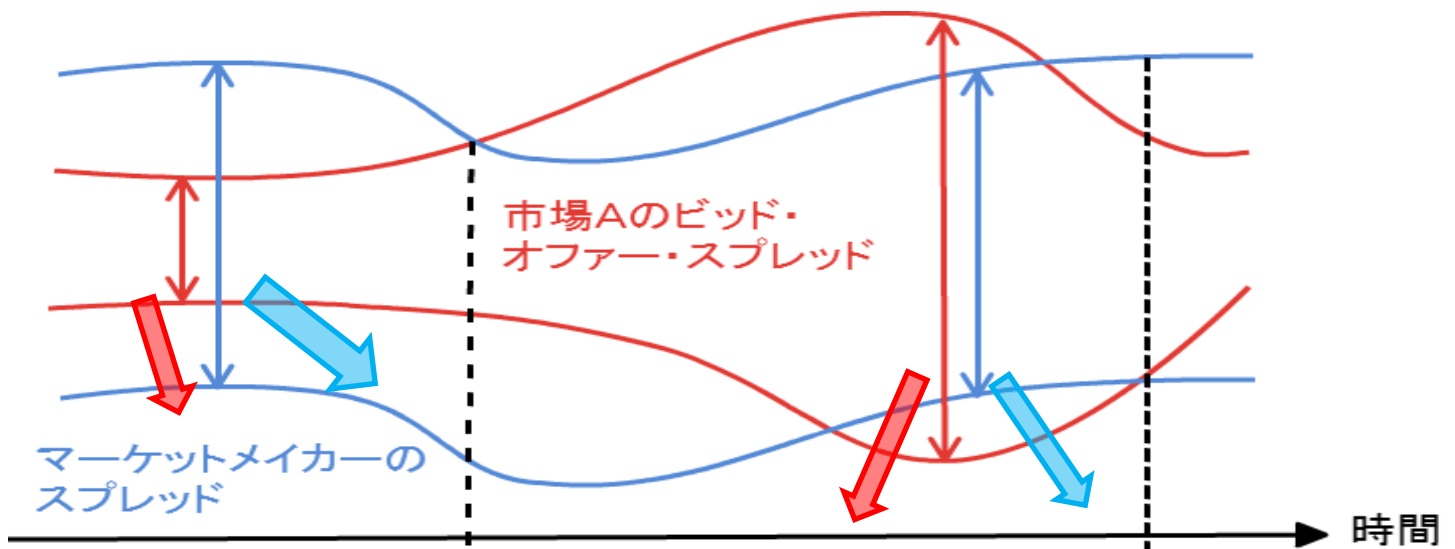


$\theta_{pm}$ が市場AのBOSより大きい

MMなし	Tick size (%)	0.0001%	0.001%	0.01%	0.05%	0.1%
100試行 の 平均値	市場AのBOS	0.148%	0.146%	0.152%	0.169%	0.199%
	市場BのBOS	0.290%	0.290%	0.297%	0.320%	0.350%



# シェア変動のメカニズム(MM約定時)



取引市場 A			取引市場 B		
売	価格	買	売	価格	買
84	101		16	101	
7	100		1	100	
1	99			99	
	98	2		98	
	97	7		97	1
	96	98		96	13

➔

取引市場 A			取引市場 B		
売	価格	買	売	価格	買
84	101		16	101	
	100		1	100	
	99			99	
	98			98	
	97			97	1
	96	98		96	13

- マーケット・メーカー（最狭義HFT）： 単調なアルゴリズムを先回りしてポジション調整をすることも？
- 裁定取引： 速さが重要な場合はHFTに分類されることも
- ストラクチャル： 市場の構造的な欠陥を利用する  
⇒ レイテンシー・アービトラージ  
(フラッシュ・ボーイズの元ネタ、後述)
- ディレクショナル： 短期逆張り、短期順張り
- イベント・ドリブン（最広義HFT）： 合併比率やTOBの発表、決算発表、誤発注などを待つ

アルゴリズム取引とHFTは敵同士

しかし、アルゴはHFTからもらう流動性を

HFTはアルゴが提供する投機機会を、必要としている

居ることは確実だがどれくらいいるか良くわからない  
マーケットメイクや裁定取引に比べれば少ない？

いずれにせよ、そんなに複雑なことはやってないし、  
ものすごく凄いことをやっている訳でもない

こっそり大量に買いたい

## 証券会社の取次ぎ業務

機関投資家は取引所へ直接注文を出せない

証券会社には機関投資家の注文を“小分けにして”さばく仕事がある

機関投資家  
(年金、政府ファンド、生損保、金融機関、学校)  
その代行：運用会社

電話

A社 1万株 買い  
今日中にやっとして

証券会社  
(取次ぎ・委託売買部門)

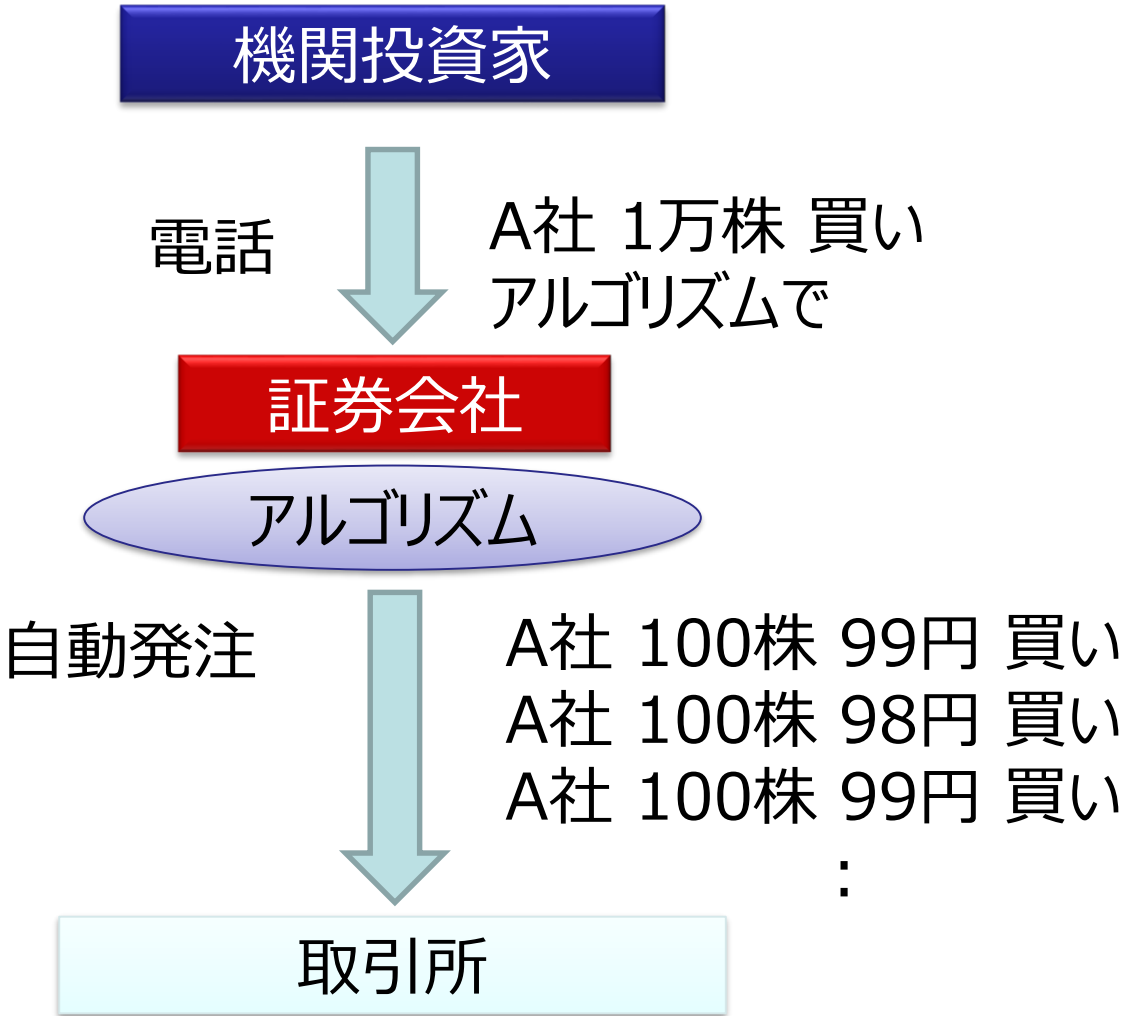
ネット  
手でクリック

A社 100株 99円 買い  
A社 100株 98円 買い  
A社 100株 99円 買い

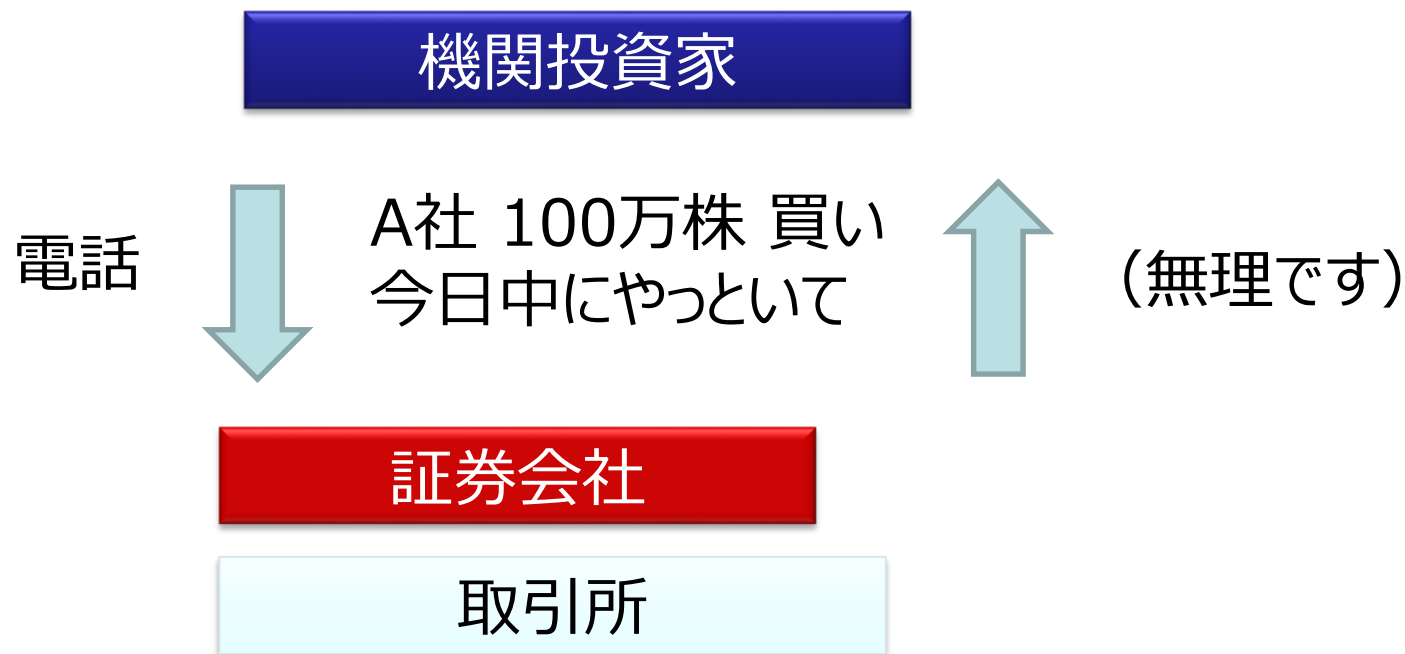
：

取引所

注文を”小分けにして”さばく仕事を  
機械化したものがアルゴリズムです



# 機関投資家は時々、ちょっと“不可能な”注文を出してくる



金融取引は大きいほど不利になる珍しいゲーム

後述のブロック取引は競争を公正にするための処置とも言える

大きい取引をする投資家を助けるための処置

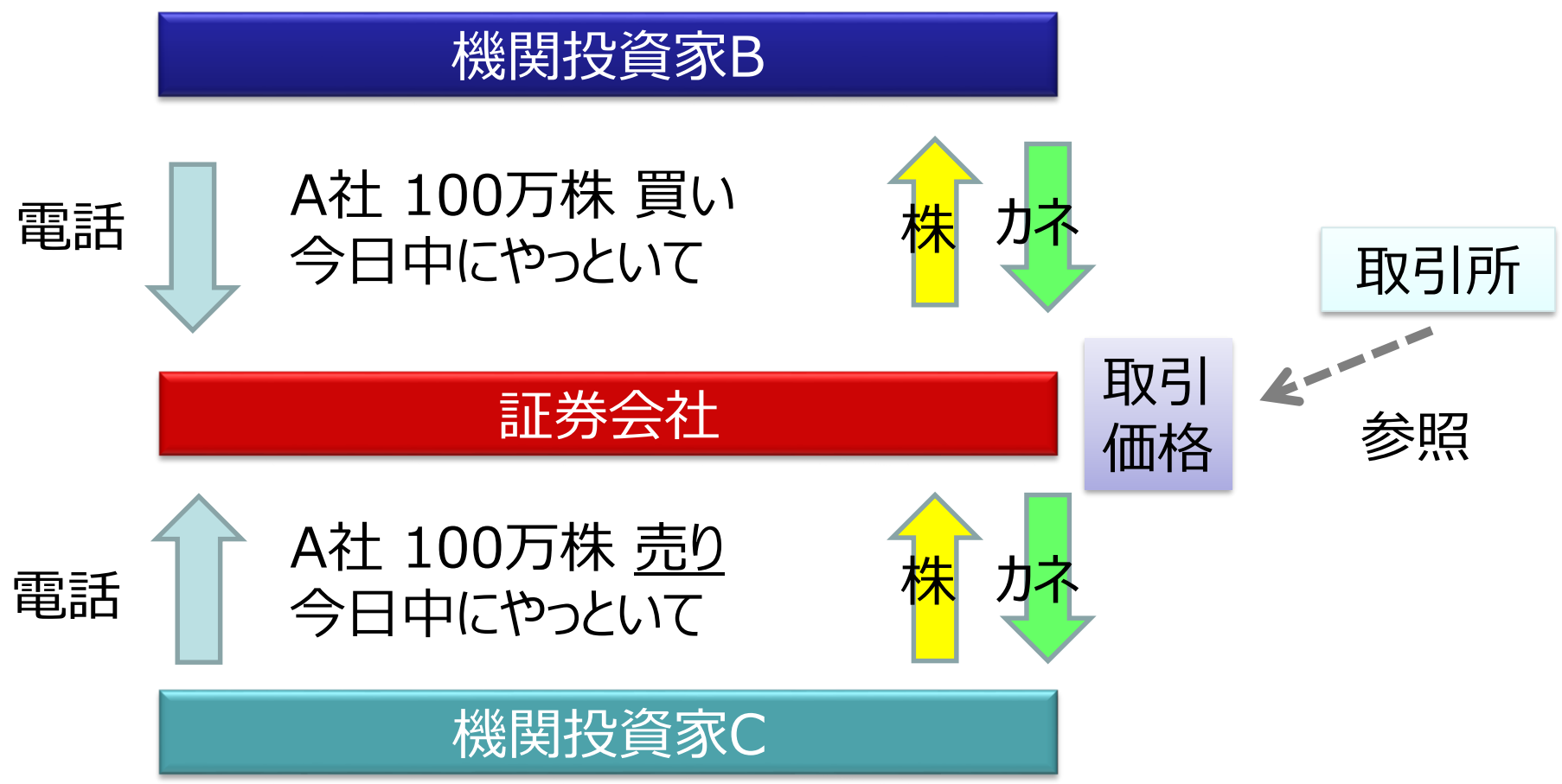
⇔ 製造業や小売業などは規模が大きい方がコストダウンでき  
規模の経済が働くのが普通

競争を公正にするため小さい業者を助ける処置あり

公正取引委員会、独占禁止法、下請けいじめの禁止

# ブロック・トレード

たまたま反対の“無理な”注文が来れば、取引所を出さずに、取引を成立させることができる ⇒ ブロックトレード



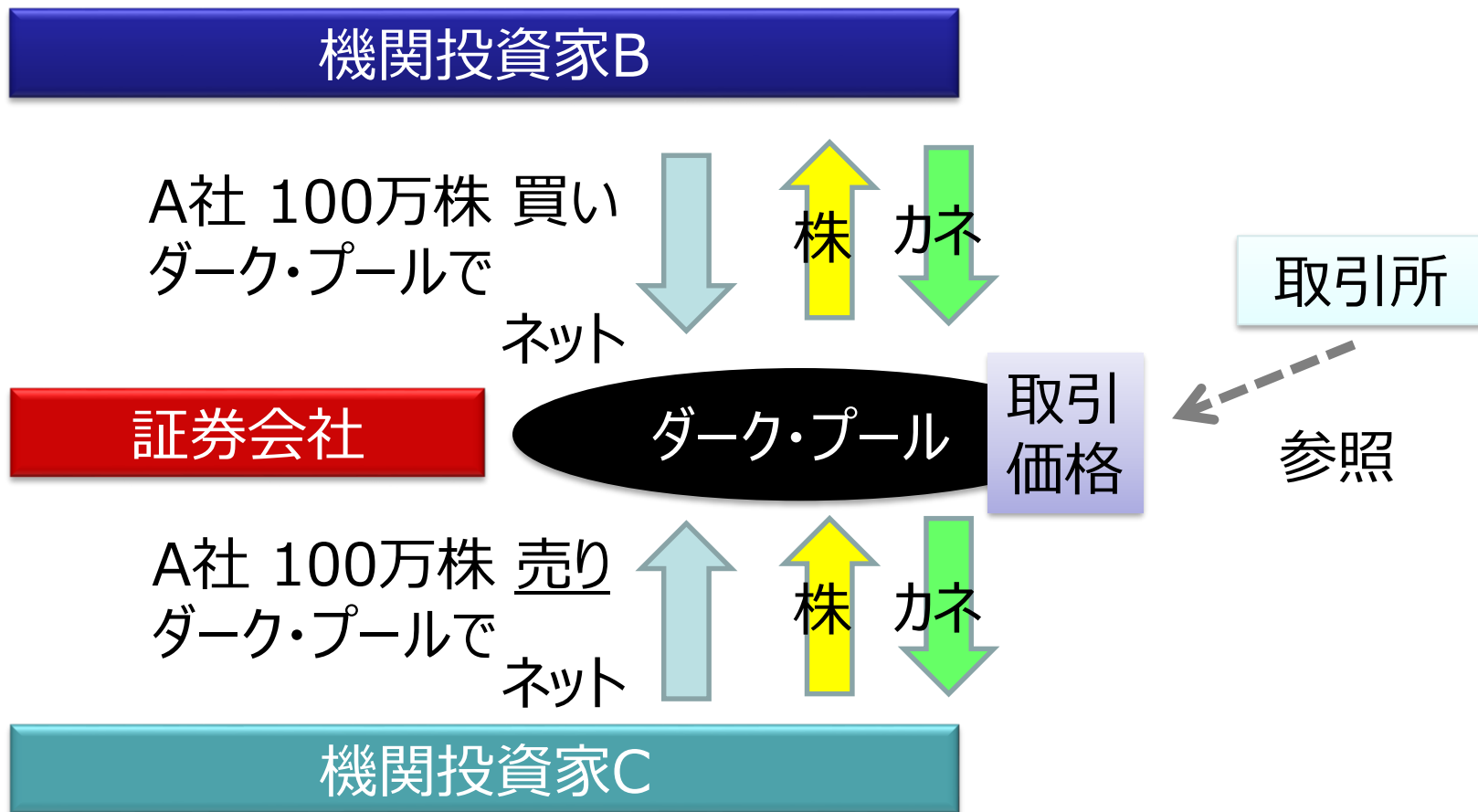
取引所の価格決定プロセスには参加しない

# ダーク・プールの出現

ブロック・トレードを機械化したもの ← 注文状況は見れない

水田ら 2016, 第16回金融情報学研究会, No.3

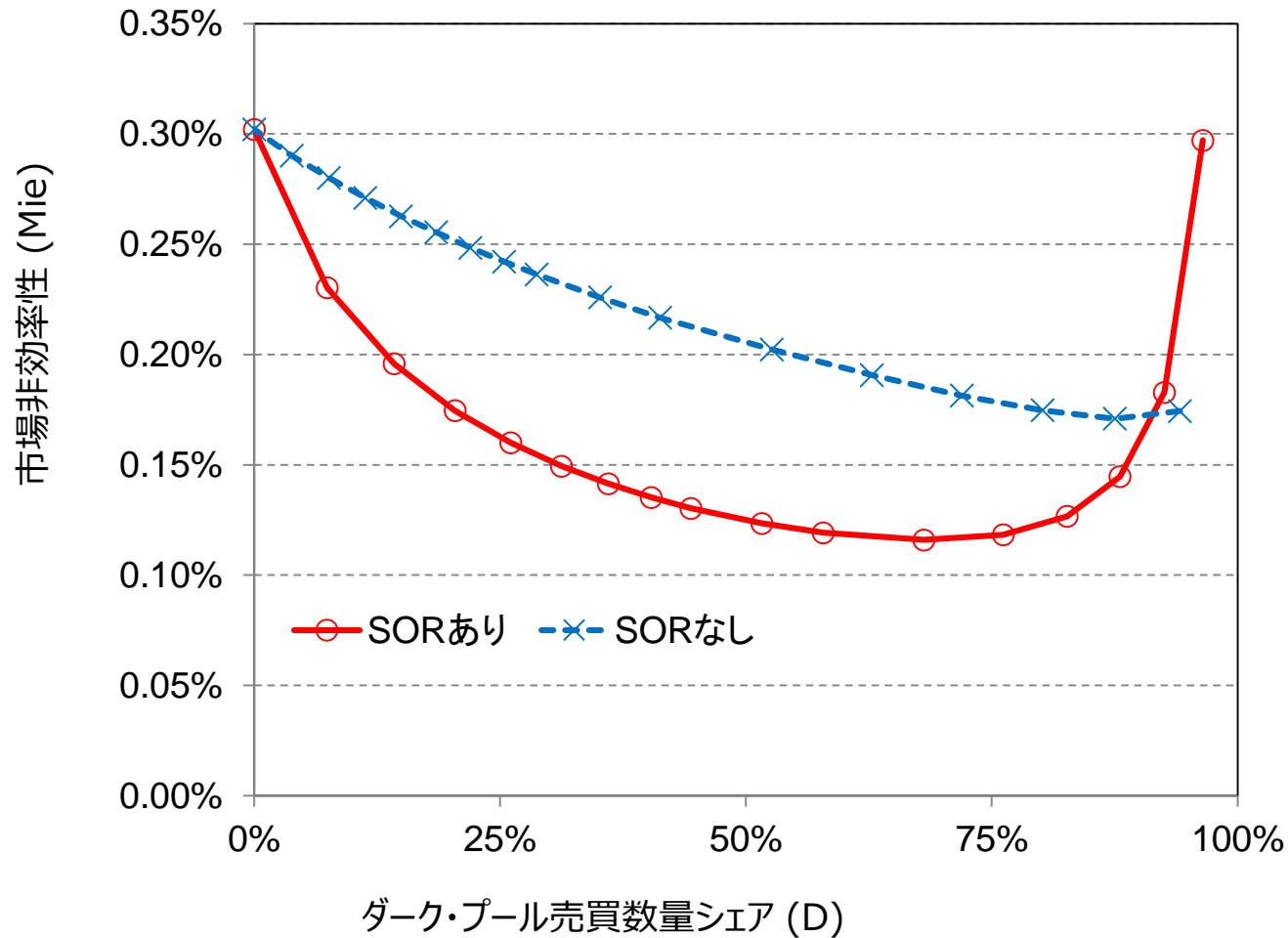
<http://sigfin.org/SIG-FIN-016-03/>



取引所の価格決定プロセスには参加しない

みんながダーク・プールばかり使い出したら誰か価格を決めるの？

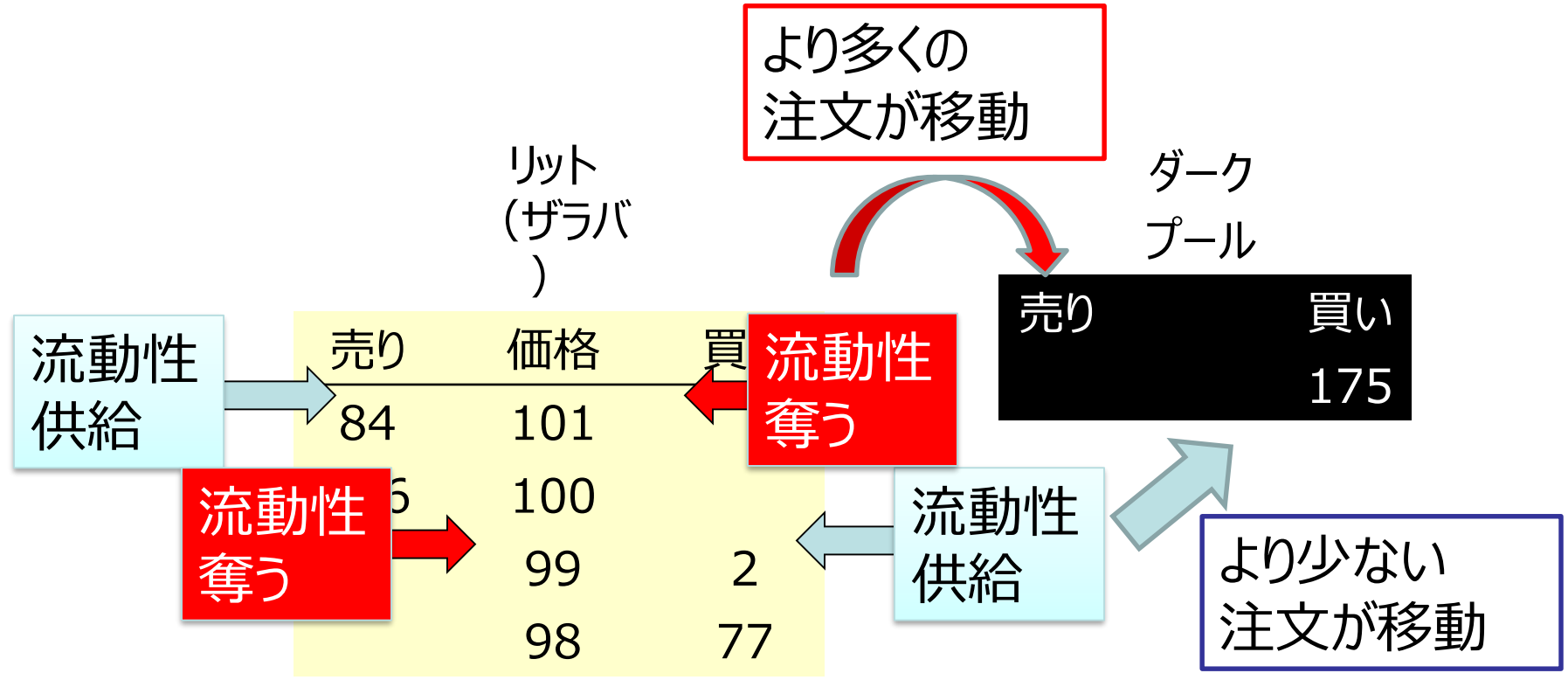
### 市場非効率性 (SORあり,なし)



ある程度のダーク・プールの普及は市場を効率化する  
リットへの成行注文の量 (←キーパラメーター) の減少が理由



# 市場が効率化するメカニズムとキーパラメーター(1/2)



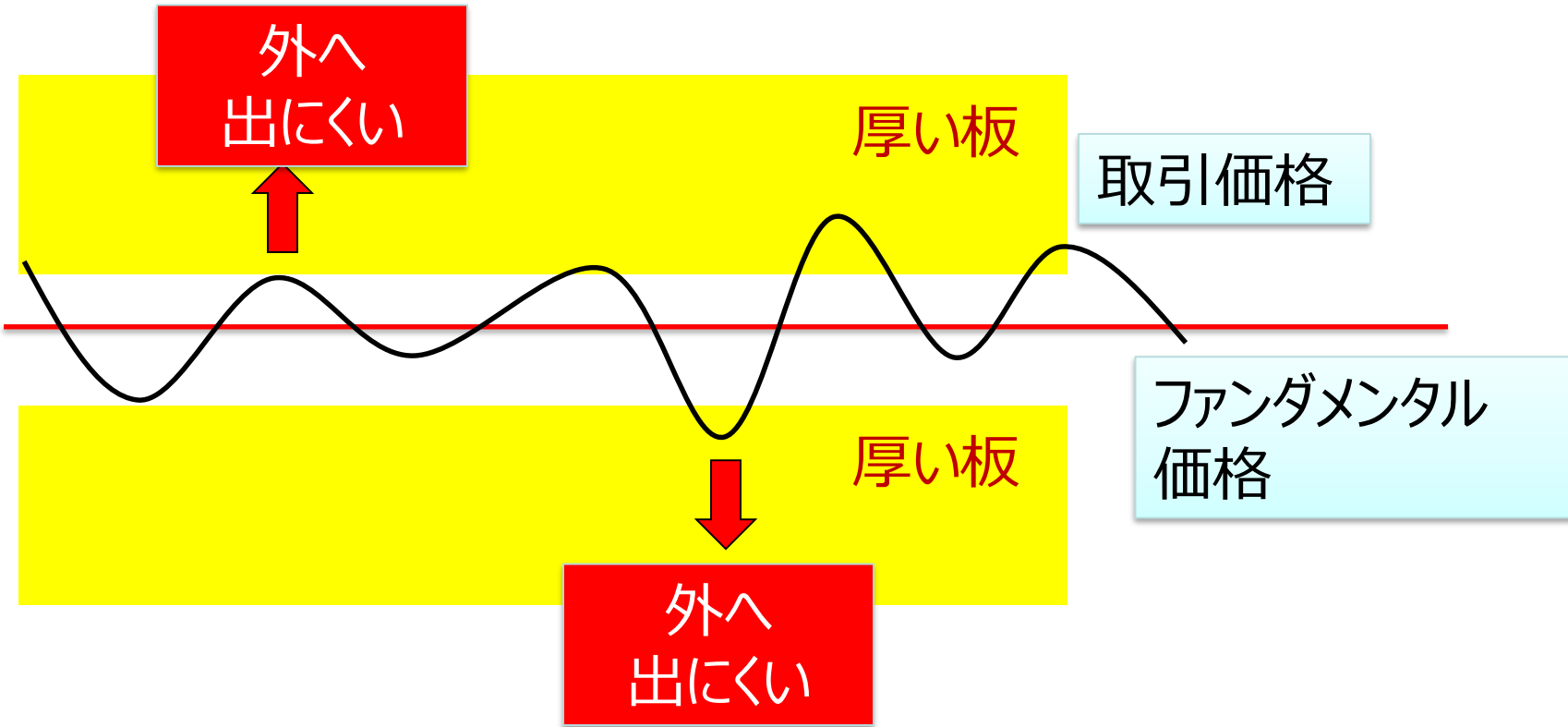
キーパラメーター：リット成行注文数/リット指値注文数

ダーク・プールは価格を指定しないため、指値注文が広がらず結局取引されずキャンセルされてムダになる指値注文が少ない

# 市場が効率化するメカニズムとキーパラメーター(2/2)

キーパラメーター：リット成行注文数/リット指値注文数

これが小さいということは、

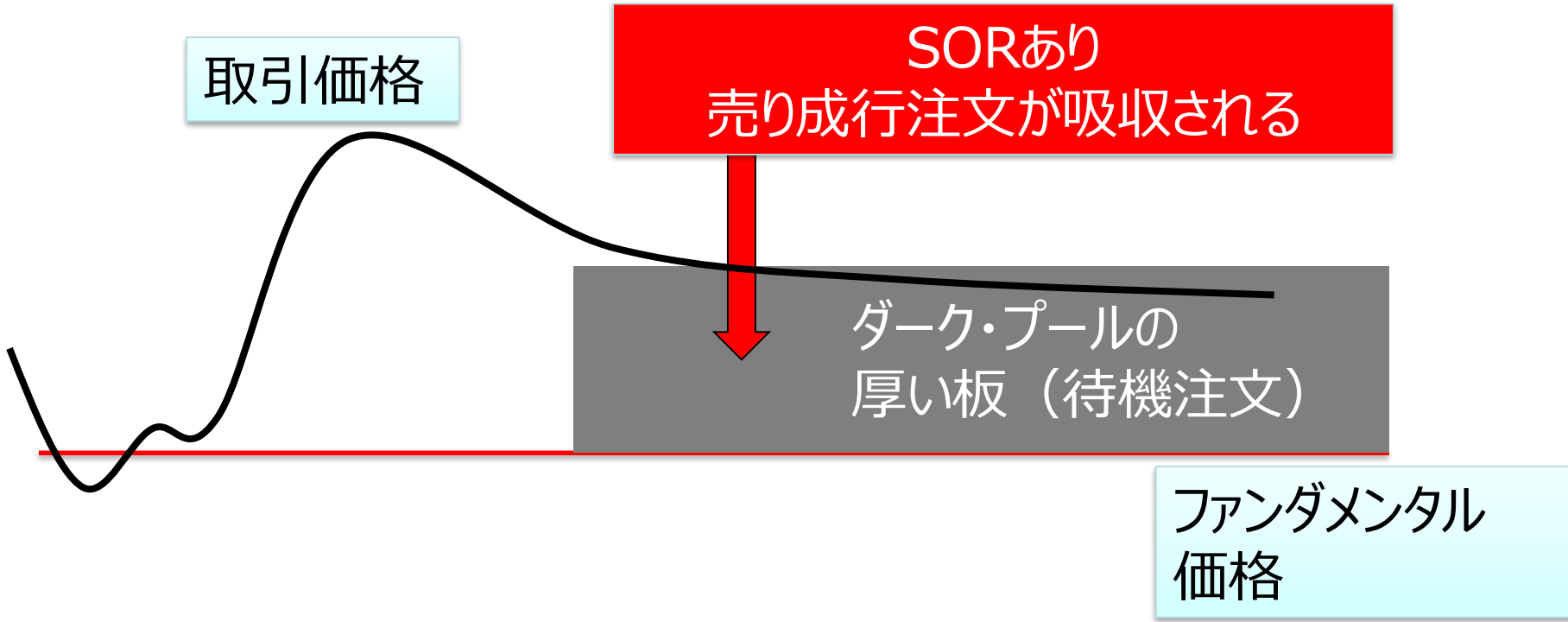


板が厚くなり、ファンダメンタル価格からの乖離がしづらくなる

⇒ 板の厚み増加による市場効率化

ファンダメンタル価格より高く乖離している

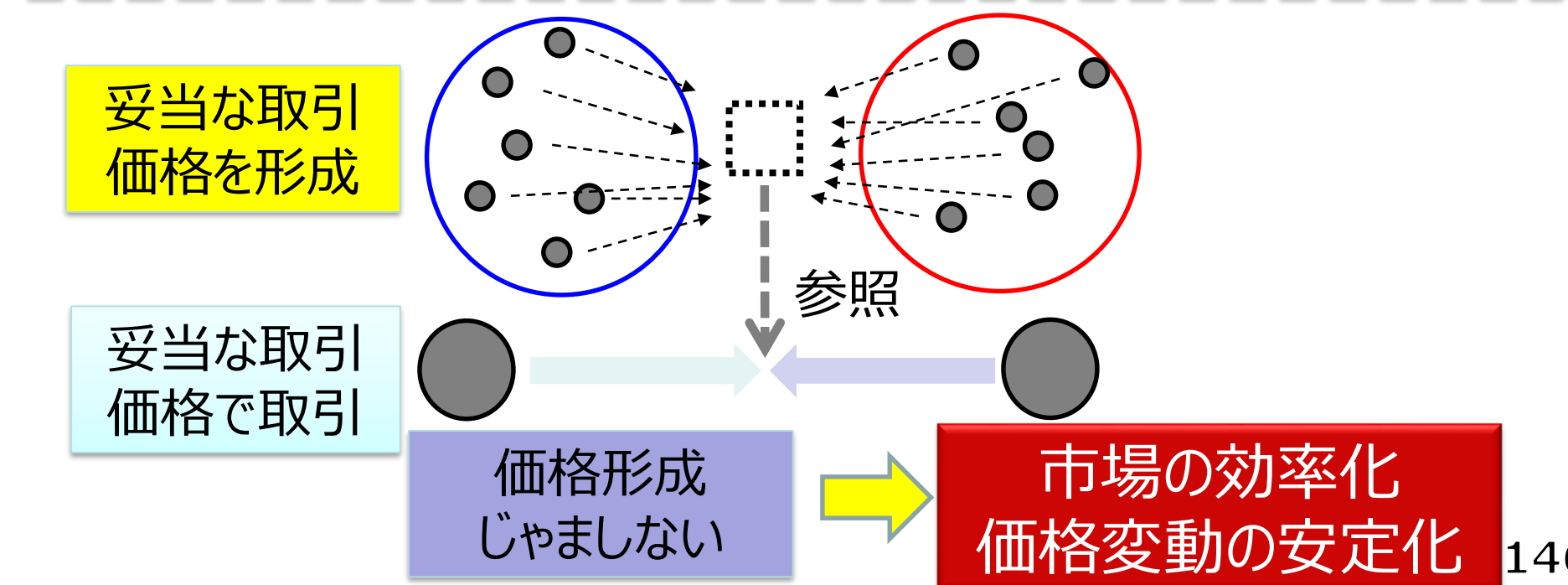
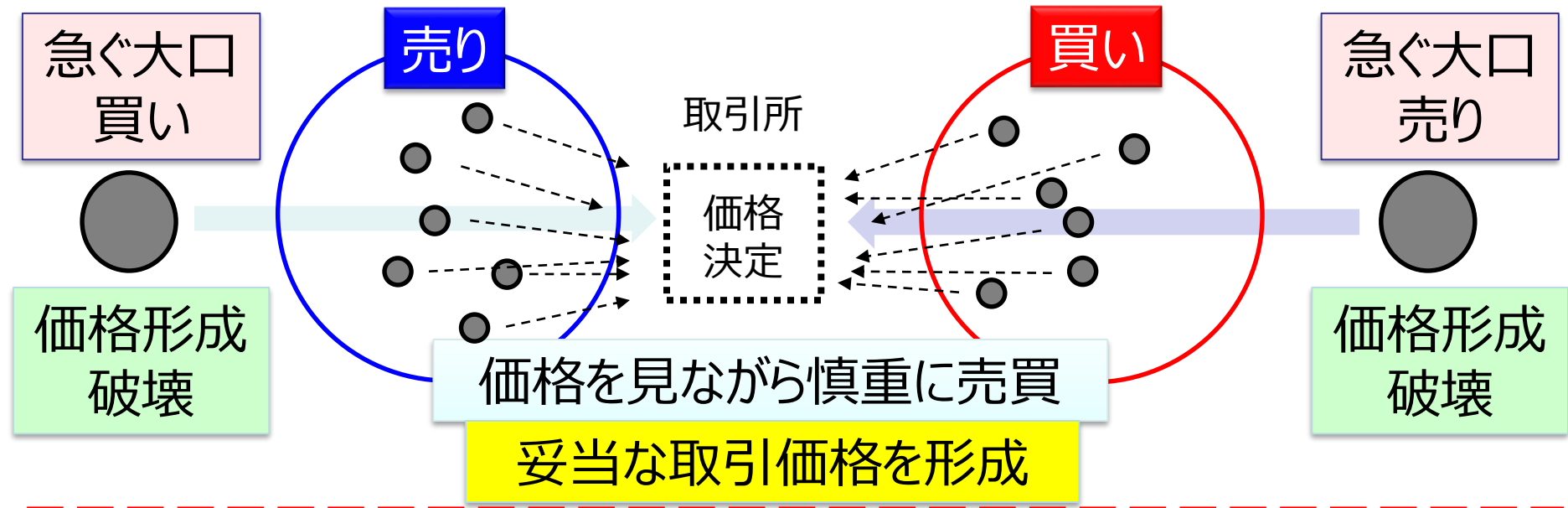
ダーク・プールに買い注文が多く待機



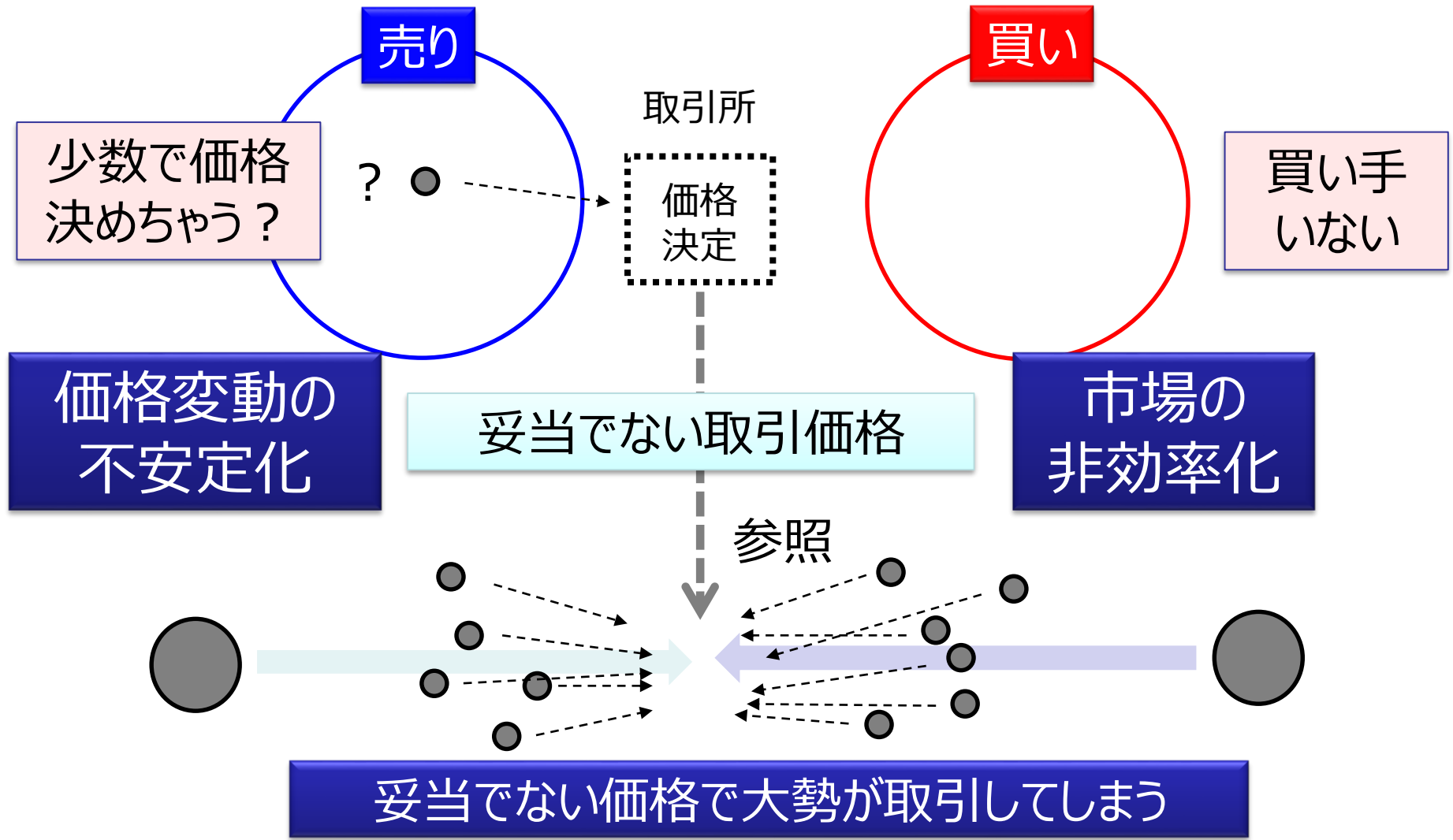
ファンダメンタル価格へ収束する売り成行注文が SORにより、すべてダーク・プールへ吸収される

⇒ 乖離の解消に時間がかかり非効率化

# 取引を急ぐ大口投資家が価格決定しないところで取引するメリット



みんなが価格決定しないところで取引したすと、大きなデメリット



半分以上の取引が価格決定に関わって無いと不安定・非効率化

# ダーク・プールは金融市場を安定化し マーケット・インパクトを低減させるか？ ～ 人工市場シミュレーションを用いた検証 ～

水田 孝信      スパークス・アセット・マネジメント株式会社  
東京大学大学院工学系研究科

小杉 信太郎

楠本 拓矢

松本 渉

野村證券株式会社

和泉 潔

東京大学大学院工学系研究科  
科学技術新興機構 CREST

吉村 忍

東京大学大学院工学系研究科

日本語論文 <http://sigfin.org/SIG-FIN-012-14/>

English Slide <http://www.mizutakanobu.com/cifer2014b.pdf>

English Paper <http://dx.doi.org/10.1109/CIFEr.2014.6924056>

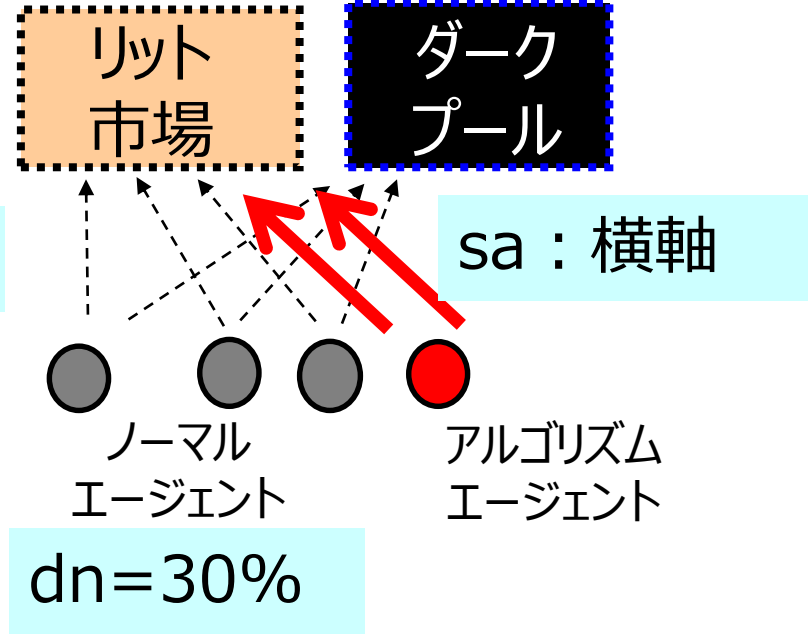
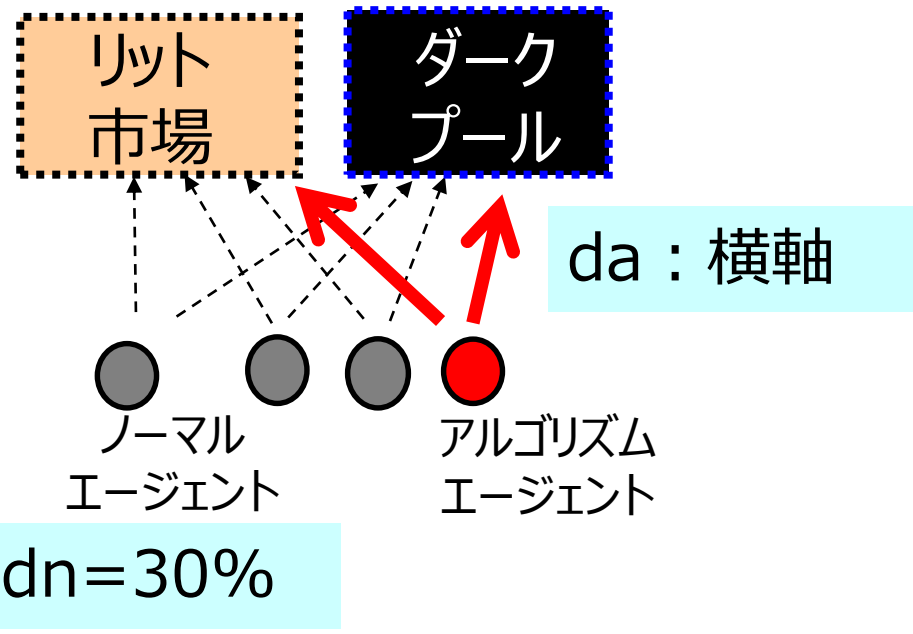
(If you want the paper, please send me e-mail.)

# (6) ダーク・プールの使用によるマーケット・インパクトの低減

ダーク・プールとアルゴリズム・エージェントの両方をいれ  
ダーク・プールのマーケット・インパクト（縦軸）低減効果を見る

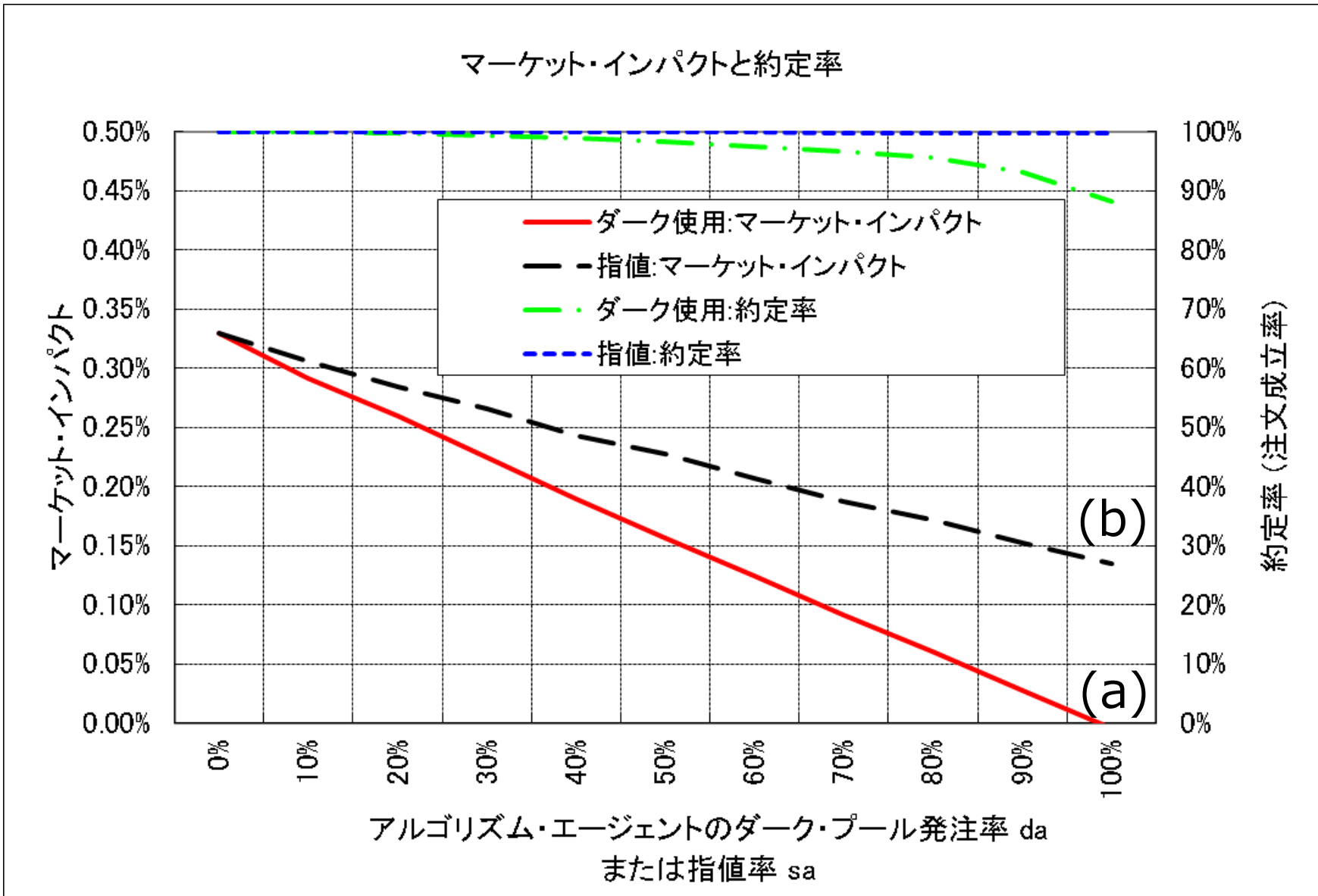
(a) リット市場への成行と  
ダーク・プール

(b) リット市場への成行と  
リット市場への指値



dn=30%: ダーク・プール普及率  
(ノーマル・エージェントがダークプールに注文する率)  
da: (a) アルゴリズム・エージェントがダーク・プールに注文する率  
sa : (b) アルゴリズム・エージェントがリット市場に指値する率

# ダーク・プール使用によるマーケット・インパクトの低減を測定



ダーク・プールの使用によりマーケット・インパクトを低減できる



## まとめ

- ・人工市場シミュレーションを用いてダーク・プールの普及が価格形成に与える影響を調査
- ・ダーク・プールが普及するほどボラティリティが低下
- ・ダーク・プールを使うことによりマーケット・インパクトを低減できる
- ・ダーク・プールが普及しすぎるとリット市場でのマーケット・インパクトが増加する弊害  
ますますリット市場が使われず価格発見機能が低下する恐れ

ある程度の普及は市場安定化に寄与

⇔ 普及しすぎは価格発見機能の低下の恐れ

## 今後の課題

- ・実際の市場でのダーク・プールの普及率がどれくらいが適切か？  
現状10%程度は適切な水準と比べ低すぎる事が示唆？

“Our regulatory system must protect public health, welfare, safety, and our environment while promoting economic growth, innovation, competitiveness, and job creation . . . It must identify and use the best, most innovative, and least burdensome tools for achieving regulatory ends.”

BARACK OBAMA

「我々の規制システムは、公共の衛生、福祉、安全、および私たちの環境を守り、その一方で、経済成長、イノベーション、競争力、雇用の創出を促進するものでなければならない。（中略）規制上の目的を達成するうえで、最適かつ最も革新的で、そして最も負担が少ない手段を特定し使用するシステムでなければならない。」

バラク・オバマ

The White House, Office of the Press Secretary, “Executive Order 13563 -- Improving Regulation and Regulatory Review” January 18, 2011.

<https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2011/01/18/executive-order-13563-improving-regulation-and-regulatory-review>

日本語訳は、「デロイトトーマツ【保険ERM】次世代の規制当局（2016.03）めまぐるしく変化する時代における規制の策定と執行」より引用

[http://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/financial-services/articles/ins/ins-regulator.html?Id=jp:2sm:3tw:4dcom\\_share:5awa:6dcom:financial\\_services](http://www2.deloitte.com/jp/ja/pages/financial-services/articles/ins/ins-regulator.html?Id=jp:2sm:3tw:4dcom_share:5awa:6dcom:financial_services)