

2020年度 経済物理学
金融ビッグデータと人工知能II

人工市場による市場制度の設計

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)
<https://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。

この資料はこちらにあります: <https://mizutatakanobu.com/2020e.pdf>

質疑応答用に用意した参考資料は: <https://mizutatakanobu.com/sankou.pdf>

金融市場は人類の発展に必要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、上記の学術研究も継続

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

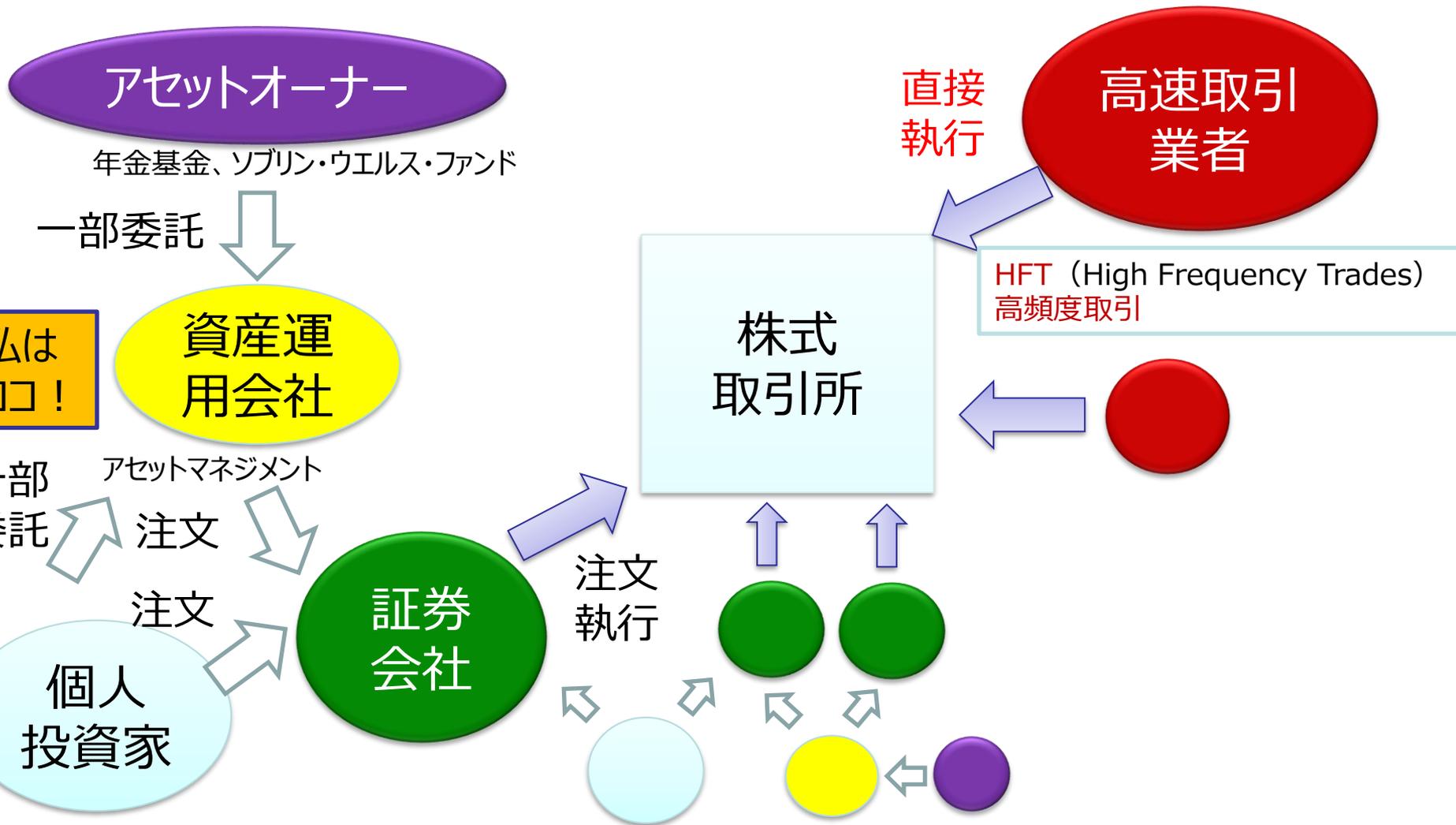
2014年より 東京大学公共政策大学院 非常勤講師

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（終了）

株式市場は様々な参加者がいることで成立



その他の話題：もしご興味あればご覧下さい

金融における人工知能

<https://mizutatakanobu.com/20200114.pdf>

本業の調査
高速取引や資産運用業界についてのレポート



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

- 例えば、
- 2020/1/24 国際資本の舵を取ってしまったグローバルインデックス算出会社
- 2019/9/18 アセット・オーナーが行っている投資：“悪環境期に耐える”と“ユニバーサル・オーナー”
- 2019/7/8 社会の役にたっている“空売り”
- 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～
- 2018/5/21 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？
- 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-



一般向けに解説したインタビュー記事

東証公式のページ「東証マネ部！」インタビュー記事

<https://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やルールの議論

教科書的な本（発売予定）

高安美佐子ほか, 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, 2020予定,
和泉潔, 水田孝信, 第5章「エージェントモデルによる金融市場の制度設計」

<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339028225/>

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

上記の英語版

Mizuta (2019) An agent-based model for designing a financial market that works well, arXiv <https://arxiv.org/abs/1906.06000>

先行研究を簡単に紹介した英文レビュー論文

Mizuta (2016) A Brief Review of Recent Artificial Market Simulation Studies for Financial Market Regulations And/Or Rules, SSRN Working Paper Series

<https://ssrn.com/abstract=2710495>

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)

<https://mizutatakanobu.com/jphd.htm>

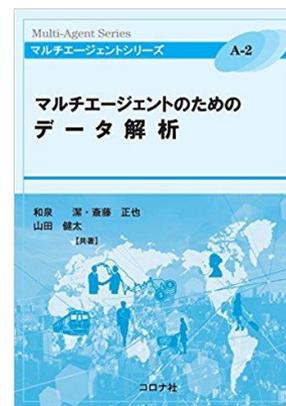
シミュレーション技術の金融への応用を扱っている本

和泉潔ほか, マルチエージェントのためのデータ解析, コロナ社, 2017,
和泉潔, 第6章「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」

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

古田一雄ほか, 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, 2017,
和泉潔, 川久保佐記, 米納弘渡, 第6章「強靱な金融システム」

<https://www.juse-p.co.jp/products/view/611>



今日のお話

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

(1) 人工市場とは？

(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

(1)
人工市場とは？

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 Simulation, Artificial Market

Agent-Based Model (エージェント・ベースド・モデル)

- ⇒ Agentが数個程度でhomogeneousの場合も含む
- 英語論文を探すときはこの単語が一番よさそう

Multi-Agent Simulation (マルチ・エージェント・シミュレーション)

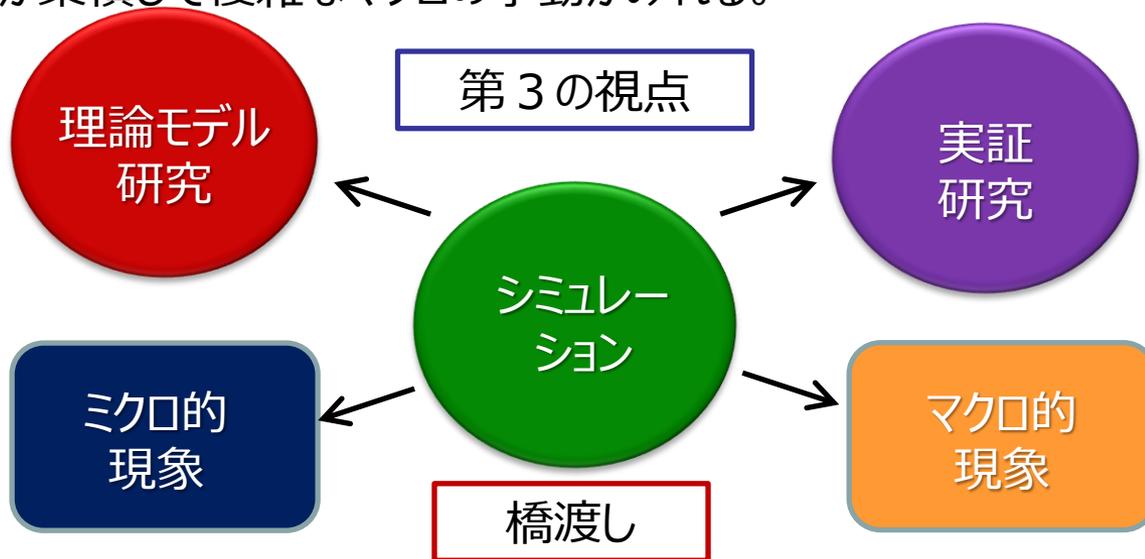
- ⇒ Agentがとて多くheterogeneous

Artificial Market: 人工市場

- ⇒ Agent-Based Modelで金融市場をシミュレーション

さまざまな分野で活躍するマルチ・エージェント・シミュレーション

コンピュータの中に仮想の社会を構築。マイクロなエージェント（人間）を多数投入。エージェントは比較的シンプルなモデルでお互いに相互作用する。それらが集積して複雑なマクロの挙動がみれる。



- ・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

簡単な具体例：初期のマルチ・エージェント・シミュレーション（後ほど再掲します）

学生(#)と教授(@)が参加する立食パーティー

トーマス・シェリング「マイ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

活躍するマルチ・エージェント・シミュレーション

役所の意思決定にも使われている



J R岡山駅東口広場に電停を 路面電車乗り入れに着手 環状化も ...

毎日新聞 - 2018/04/01

岡山市は今年度、J R岡山駅東口広場への路面電車乗り入れ事業に着手する。... ただ、東京大に依頼した交通シミュレーションで車の信号待ちの回数は大きく変わらないとの結果が出たため、「著しい渋滞は生じない」と事業の着手に踏み切る...

<https://mainichi.jp/articles/20180402/ddl/k33/010/298000c>

http://www.city.okayama.jp/toshi/gairokoutsuu/gairokoutsuu_00206.html



第4回地下街安心避難対策検討委員会(平成26年1月17日)

議事次第(PDFファイル)

資料1 実地調査の報告(PDFファイル)

資料2-1 避難シミュレーション報告(PDFファイル)

動画 避難シミュレーション Case A 階段閉塞なし(8倍速)(WMVファイル)

動画 避難シミュレーション Case A 階段閉塞なし(1倍速)(WMVファイル)

動画 避難シミュレーション Case B 階段閉塞あり(8倍速)(WMVファイル)

動画 避難シミュレーション Case B 階段閉塞あり(1倍速)(WMVファイル)

資料2-2 対策の検討と実施(案)(PDFファイル)

資料3 安心避難対策ガイドラインの骨子(素案)(PDFファイル)

http://www.mlit.go.jp/toshi/toshi_gairo_tk_000052.html



<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200220/k10012294081000.html>

新型コロナウイルスではNHKでも 取り上げられる



ホワイトハウスのキューバ危機

マルチエージェント・シミュレーションで探る
核戦争回避の分水嶺

阪本拓人・保城広至・山影達



核戦争危機から50年。

ケネディ(大黒)が自ら執務室等に仕掛けたデータ分析を駆使し、実際に起こった現実だけでなく、起こらなかった(起こり得た)現実をも説明できる新モデルを開発。
「歴史のT」に散らして挑戦する!

出版: 2012年 3月 20日

(変わり種)

キューバ危機時の米政府の会議をシミュレーション
出欠状況次第で結論が変わりえたことを示す

https://jww.iss.u-tokyo.ac.jp/publications/books/2012/hoshiro_2012_03.html

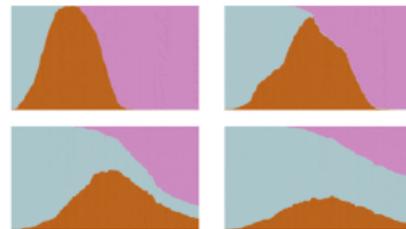
活躍するマルチ・エージェント・シミュレーション: 感染症対策でも

<https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator/>

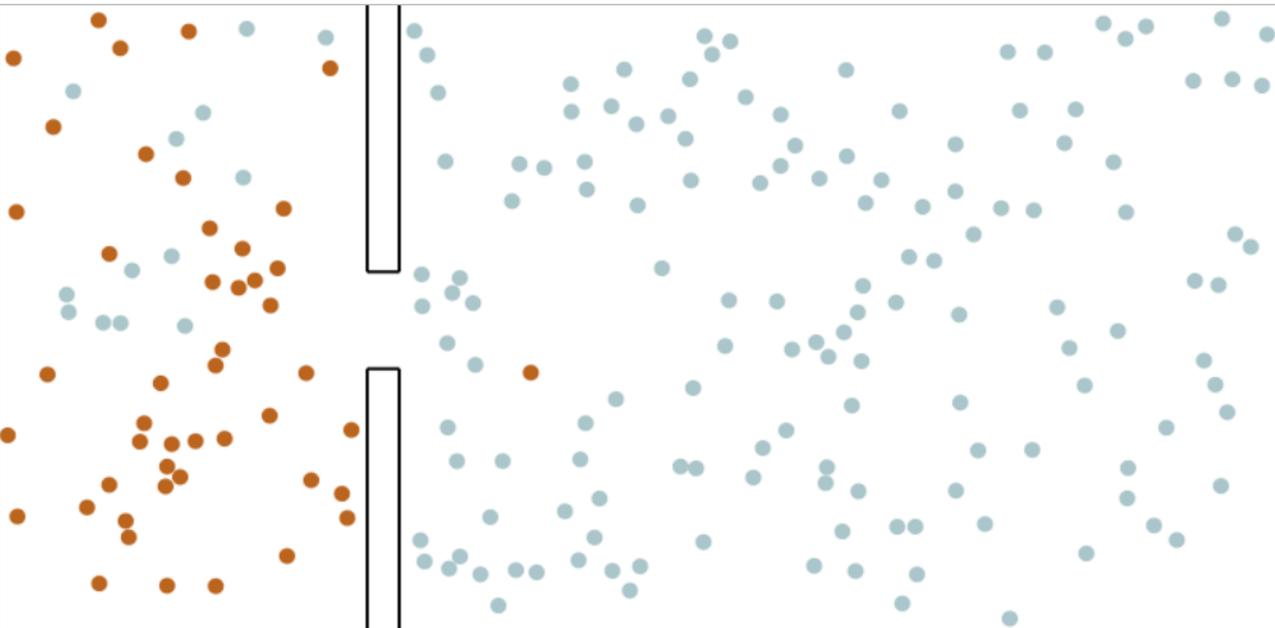
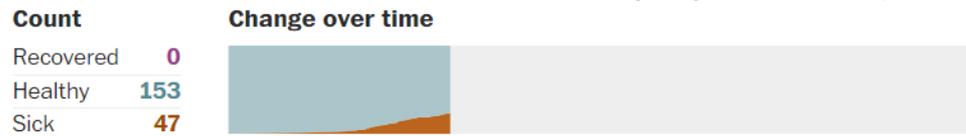
(日本語版) <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/health/corona-simulation-japanese/>



Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve”



By Harry Stevens March 14, 2020



- ボールのように動く
直線に動く、ぶつかると反射
 - ぶつかると感染
 - 感染して時間がたつと回復
もう感染しない・させない
⇒ 何もしないとピーク高い
収束早い
対応するとピーク低い
収束遅い
⇒ 自粛解除の良い
タイミングはピーク近辺？
- ↑ こういう理由が分かる
議論ができる

モデルは単純であり得ない設定だが、だからこそ分かる素過程がある

一方金融分野でも、NATUREやSCIENCEに人工市場に期待をかける記事

Farmer and Foley (2009), Nature <https://www.nature.com/articles/460685a>

Battiston et al. (2016), Science <https://science.sciencemag.org/content/351/6275/818>

標準的な経済学を否定し、人工市場を絶賛

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

金融危機は人工市場でしか扱えない！
という勢いだ、ちょっと言いすぎ

リチャード・ブックスター

投資銀行や大手ヘッジファンドでリスク管理の責任者を務めたのち、米国財務省を経て、現在はカリフォルニア大学で教鞭をとっている。『市場リスク——暴落は必然か』の著者。

経済理論の終焉 金融危機はこうして起こる, 2019/1

<https://www.panrolling.com/books/wb/wb273.html>



差し迫った課題を議論しなければならない実務家に浸透

規制当局（金融庁）、中央銀行（日本銀行）、証券取引所（東証, JPX）

J P Xワーキングペーパー



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

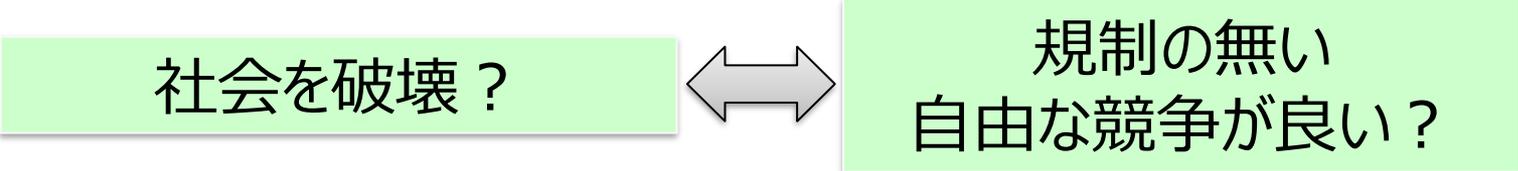
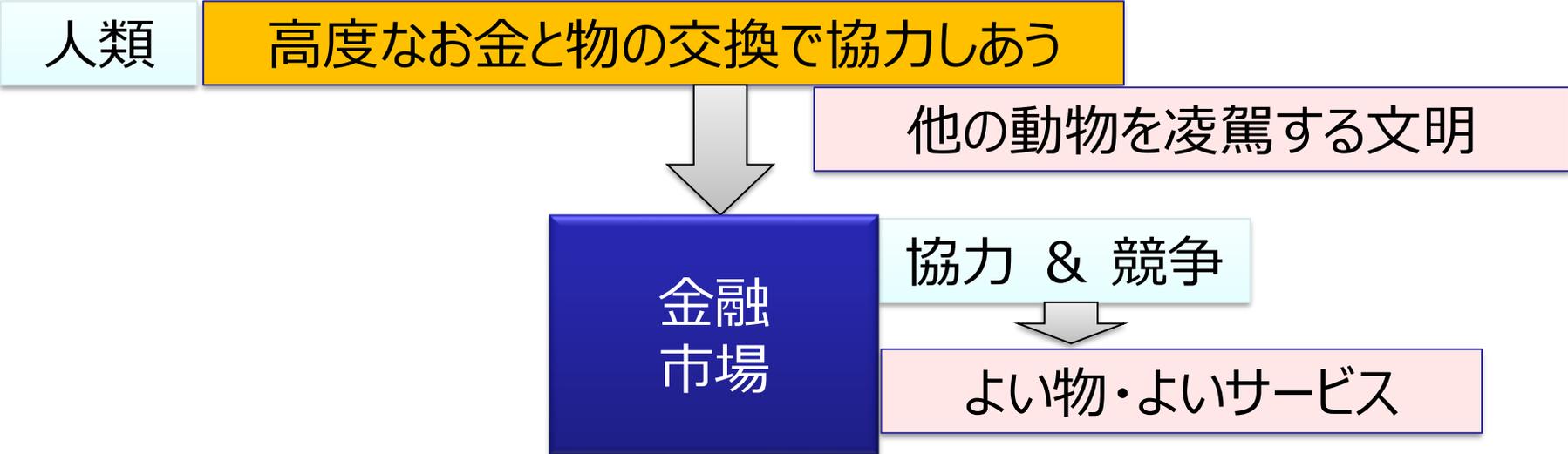
東京証券取引所の親会社、日本取引所グループ（JPX）は市場を巡る様々な環境変化や法制度等に関する調査・研究を行いワーキングペーパーを公表

32本中、実に9本が人工市場を用いた研究(2019年末現在)

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>

金融市場の制度設計の重要性



そうではなくて

うまく設計されたときのみ、うまく機能する

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



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

神は細部に宿る

複雑系である金融市場の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



(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

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

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

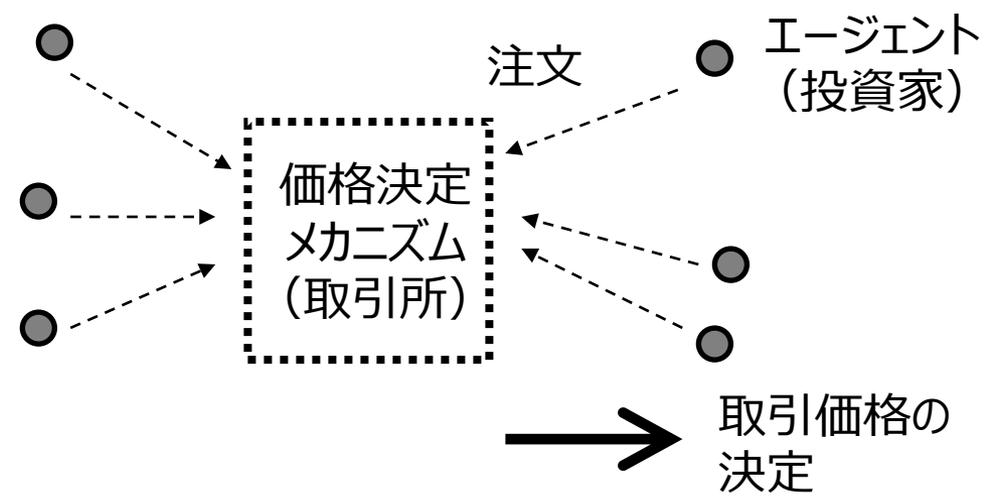
人工市場モデルを用いたシミュレーションとは？

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）

+

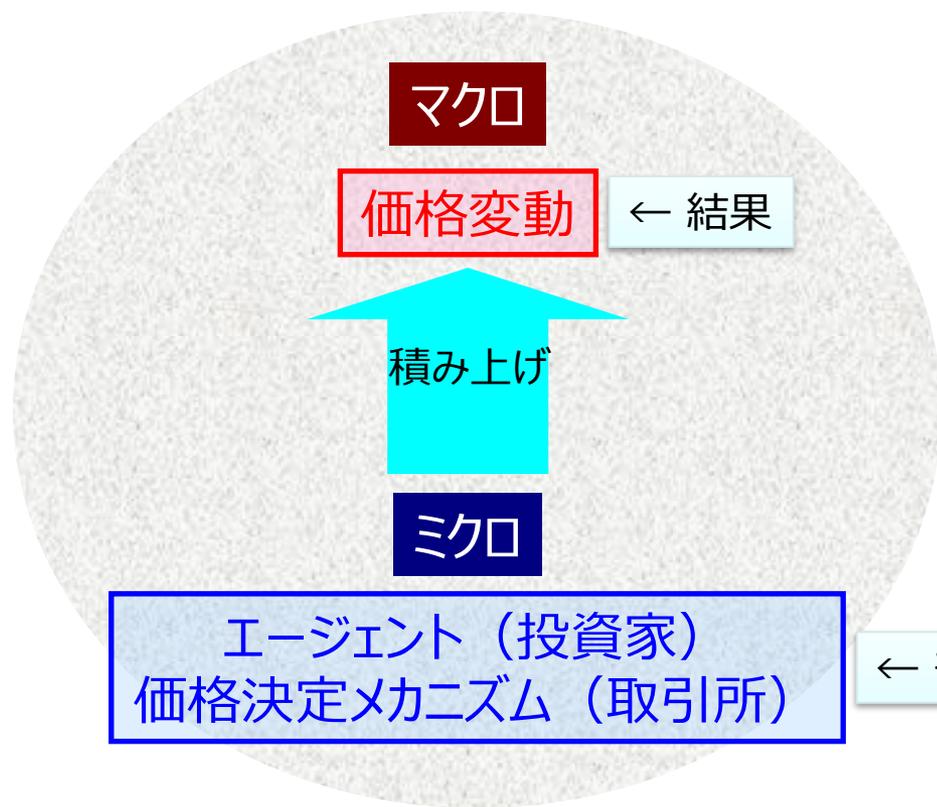
価格決定メカニズム（架空の取引所）



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

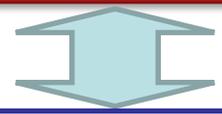
これまでに導入されたことがない金融市場の制度やルールも議論できる
その純粋な影響を抽出できる

“のみ”をモデル化、結果としてのマクロ



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。



良くないマクロモデル

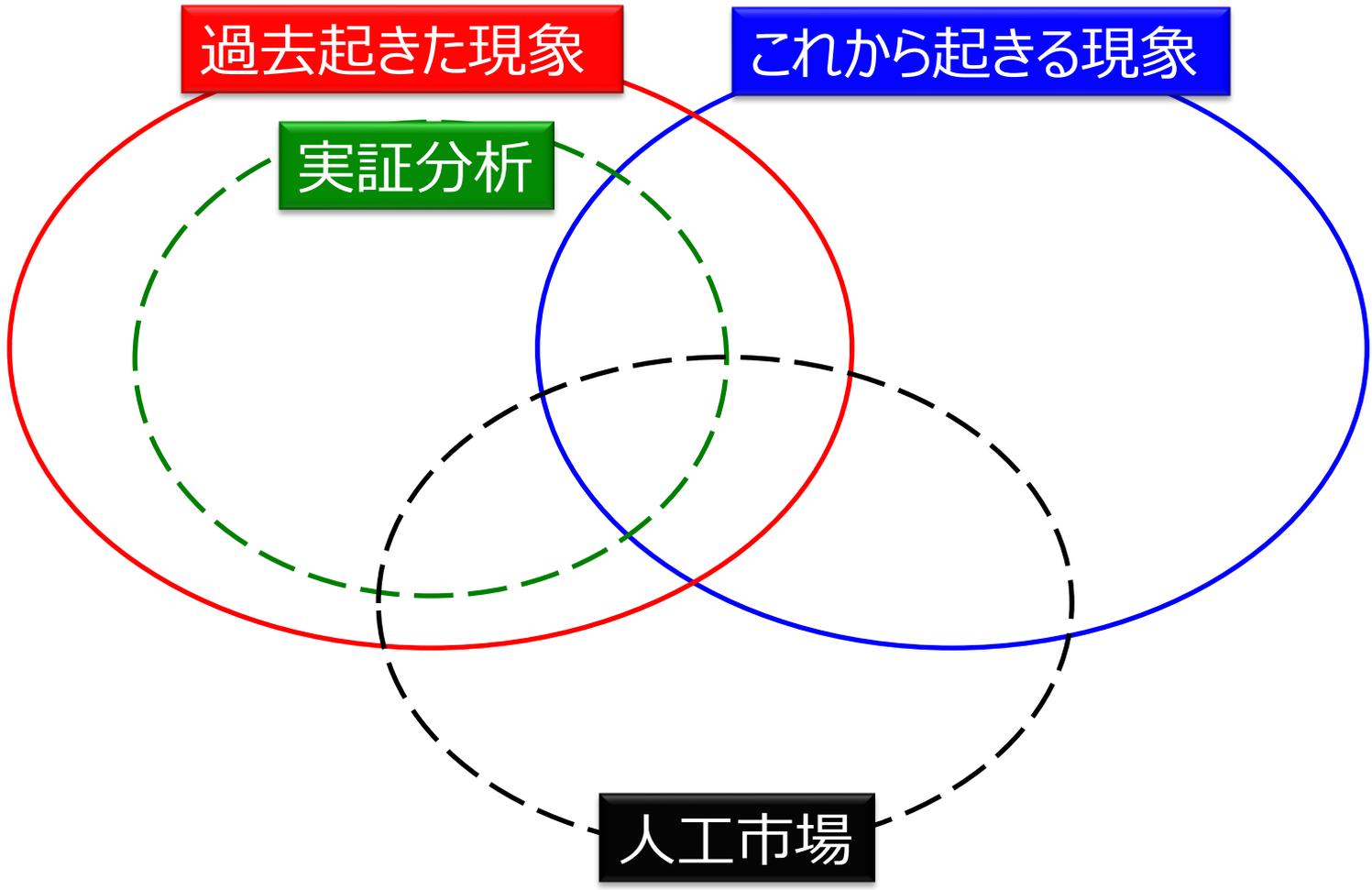
本質を失わないモデル化
知識獲得ができる

複雑系

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

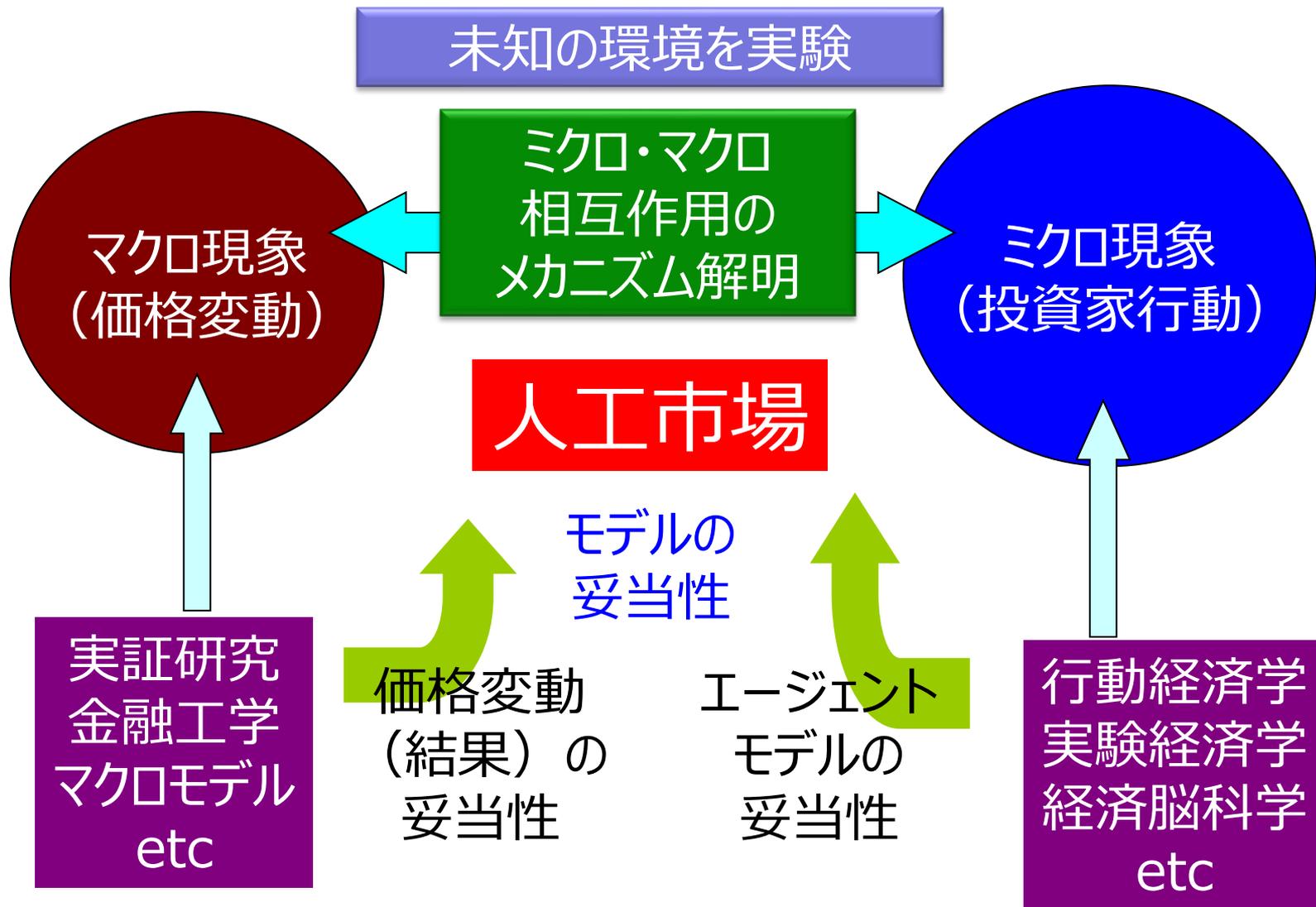
定量的に正確な議論は目指していない

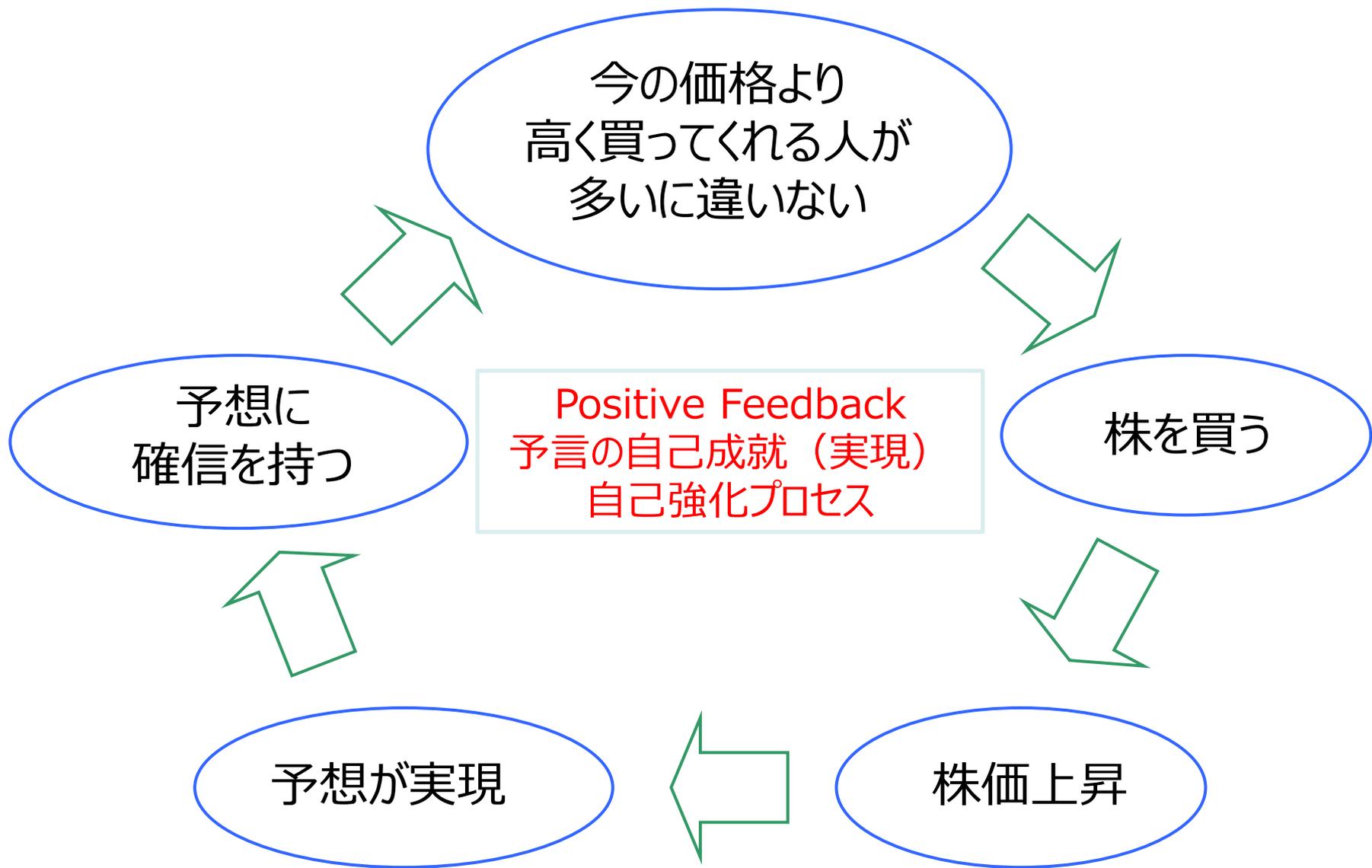
実際の議論で参考にされることを目指す

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

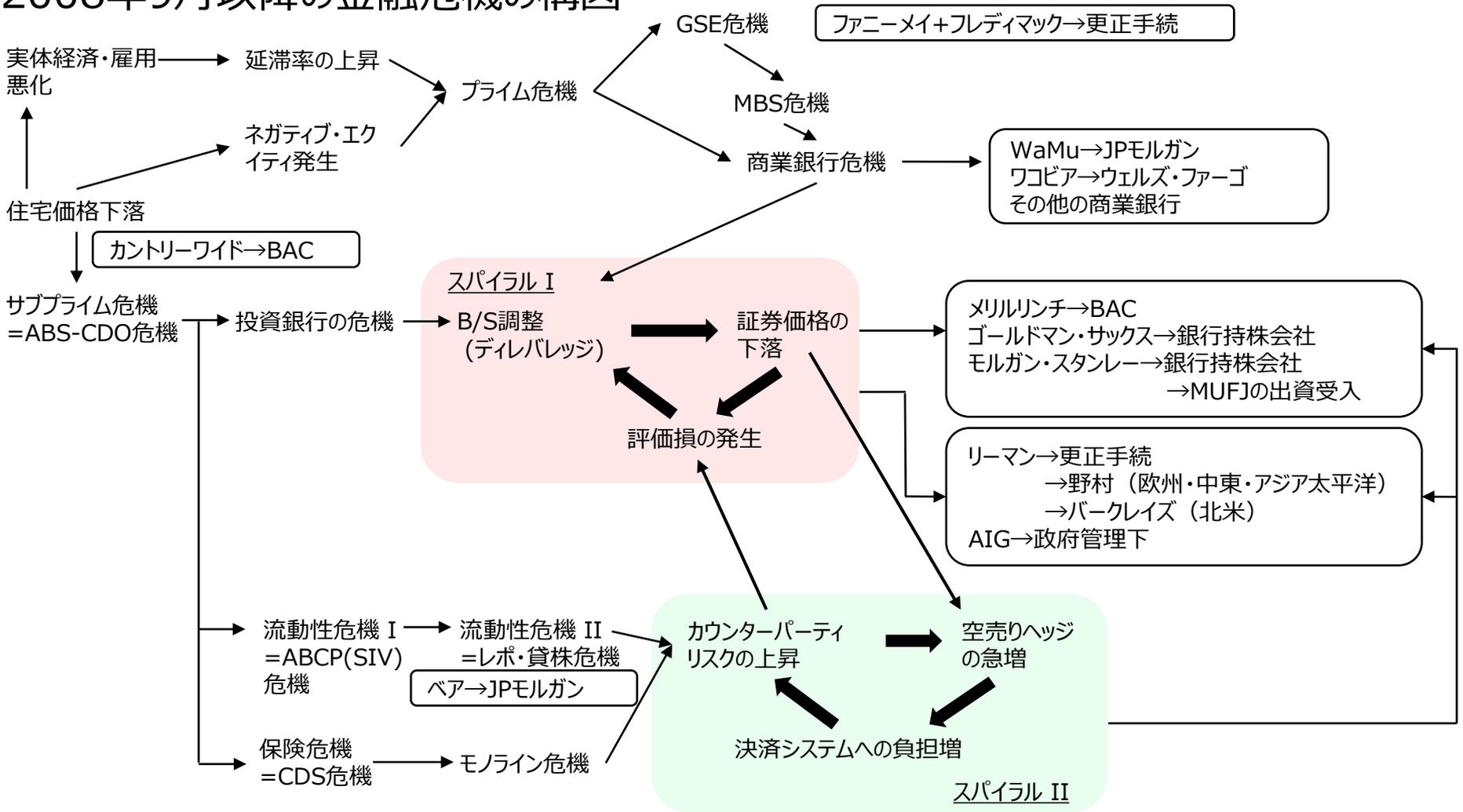
コロンブスの
たまご的な
気づき

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

シミュレーションモデルの役割

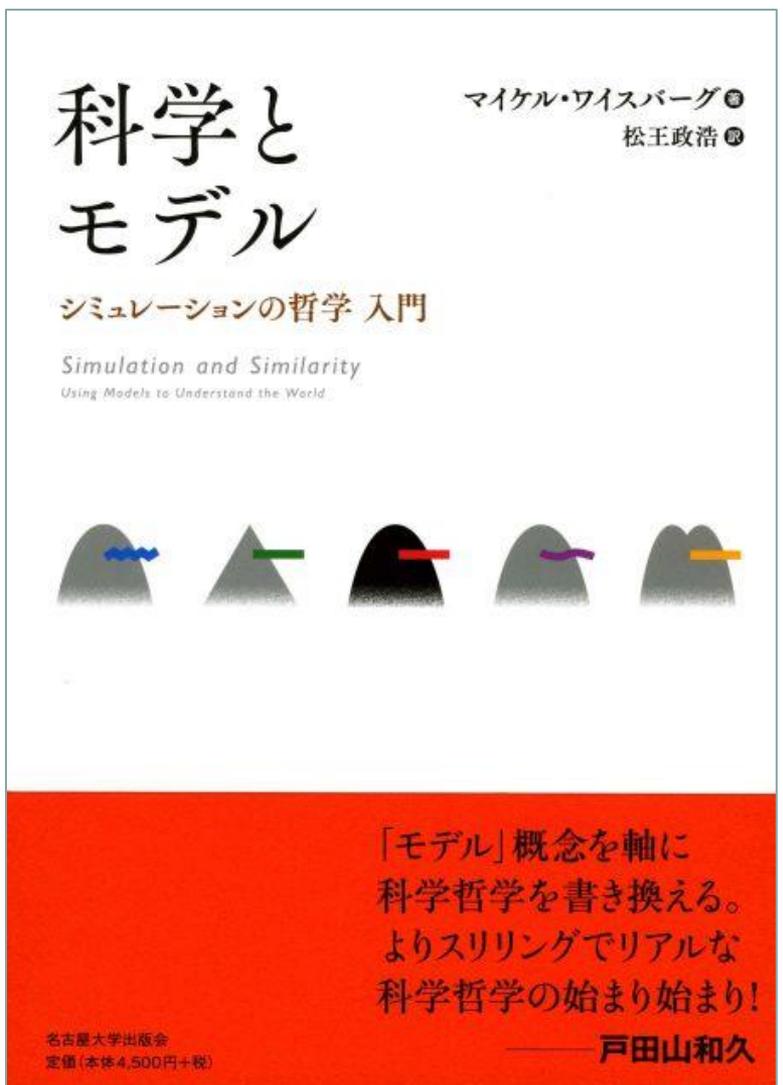
右の本は、“モデル”に関わっているすべての人に読んでほしいと思う。

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

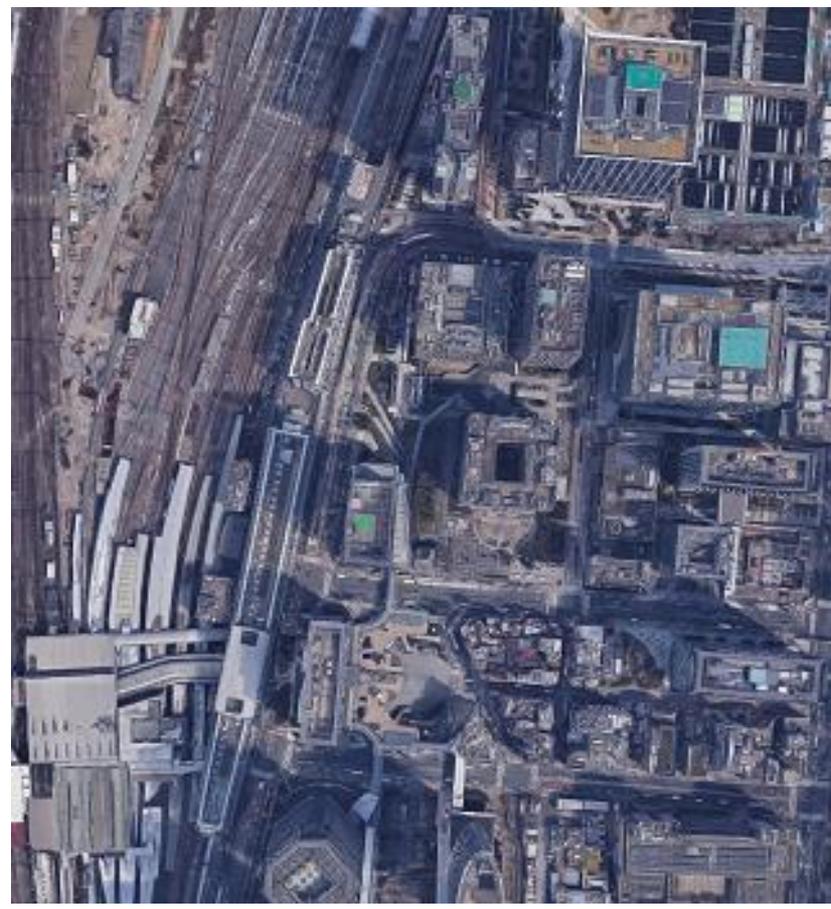
特に経済学の世界で、
「シミュレーションモデルと
数理モデルの役割の違い」
に関する理解の欠如が顕著

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
<https://www.unp.or.jp/ISBN/ISBN978-4-8158-0872-3.html>

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

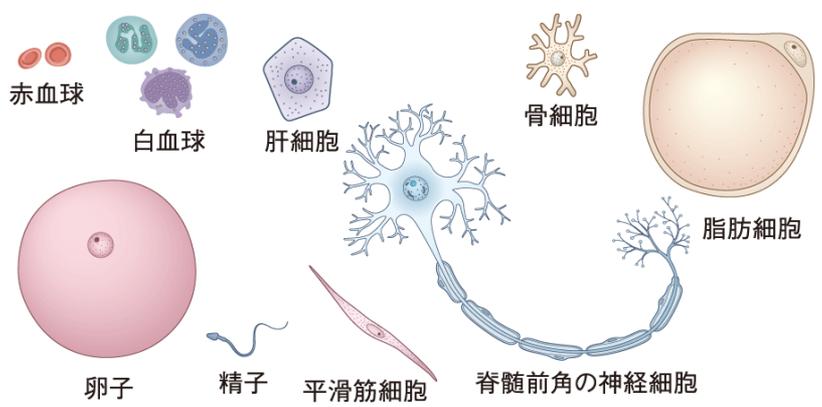
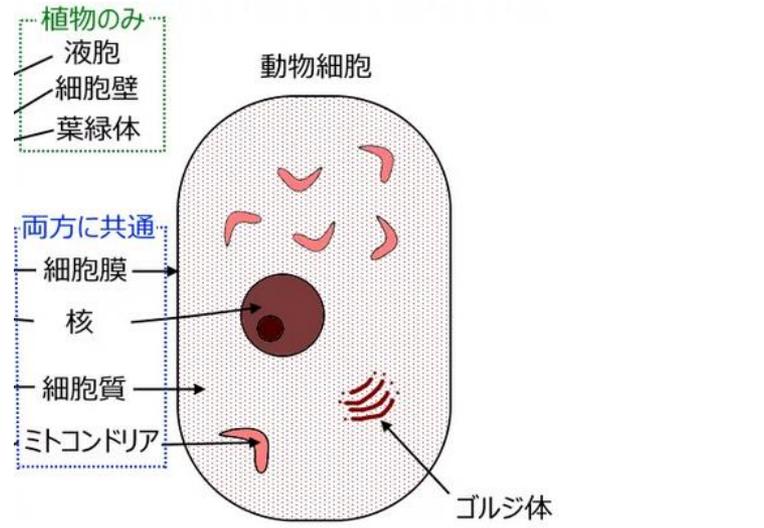
現実の再現が目的ではない：細胞の教科書モデル

中学理科まとめ https://rikamoto.com/2017/11/28/2_20/

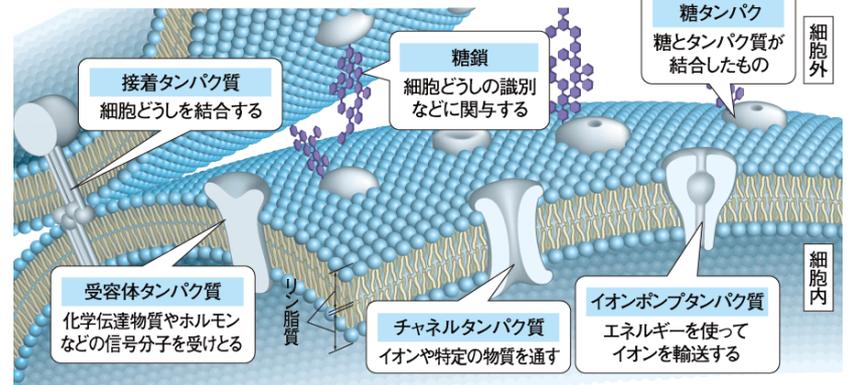
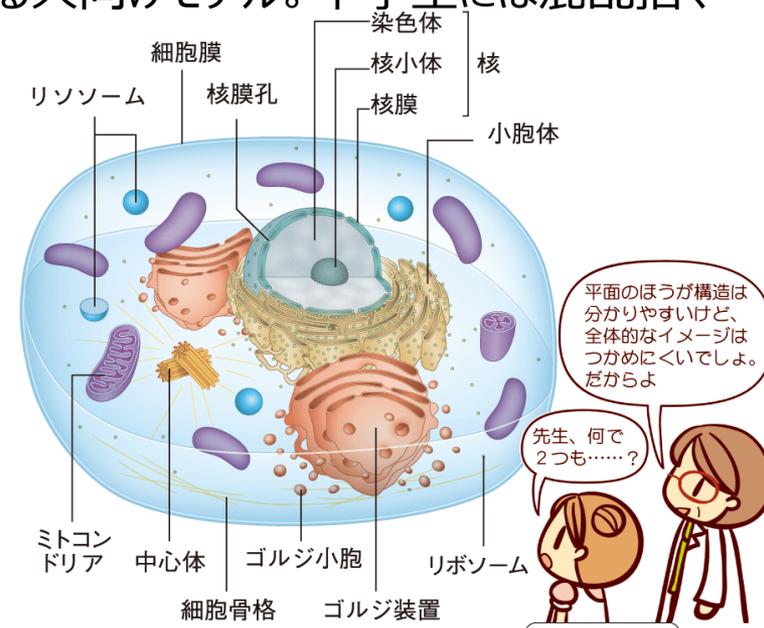
細胞の本質（核、細胞質、細胞膜等で構成）を学ぶためのモデル。この細胞は実際には1つも無い

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

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

トーマス・シリング「マイ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

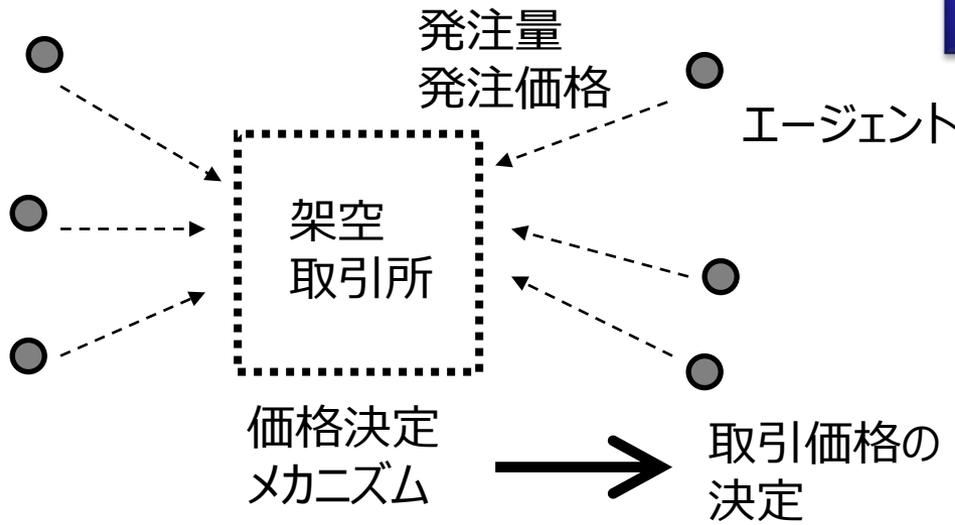
ごく一般的な投資家を再現

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



調査対象の制度を正確にモデル化

価格決定メカニズム

調査対象の制度・ルール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

価格決定メカニズム:現実と同じように複雑
 調査対象の制度やルールが再現する必要がある

正確なモデル化

continuous double auction (ザラ場)

売り 注文数量	注文 価格	買い 注文数量
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	
	98	150
	97	
	96	70

ここに売り注文を入れると
即座に売買成立

ここに買い注文を入れると
即座に売買成立

対当する注文があると即座に売買成立

⇔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

$w_{i,j}$ τ_j
一様乱数で決定
途中で変わらない

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

ε^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

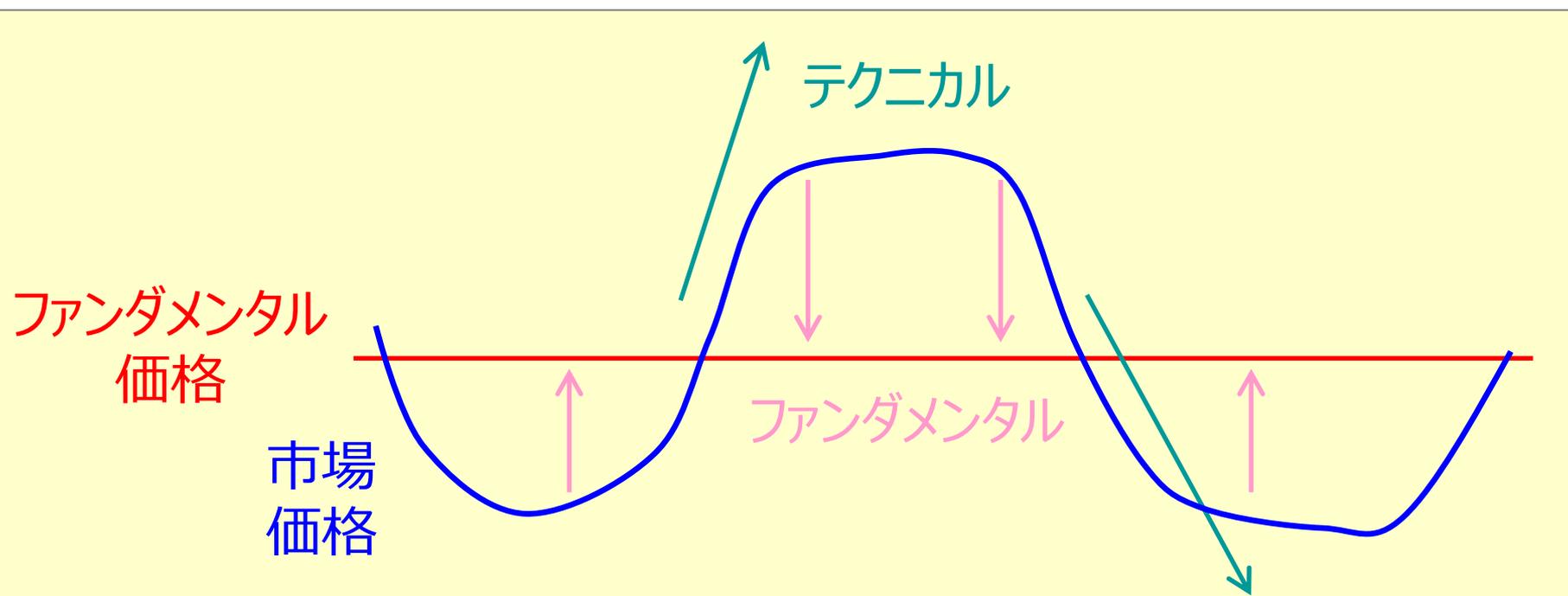
ファンダメンタル価格 $>$ 市場価格 \Rightarrow 上がると予想

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

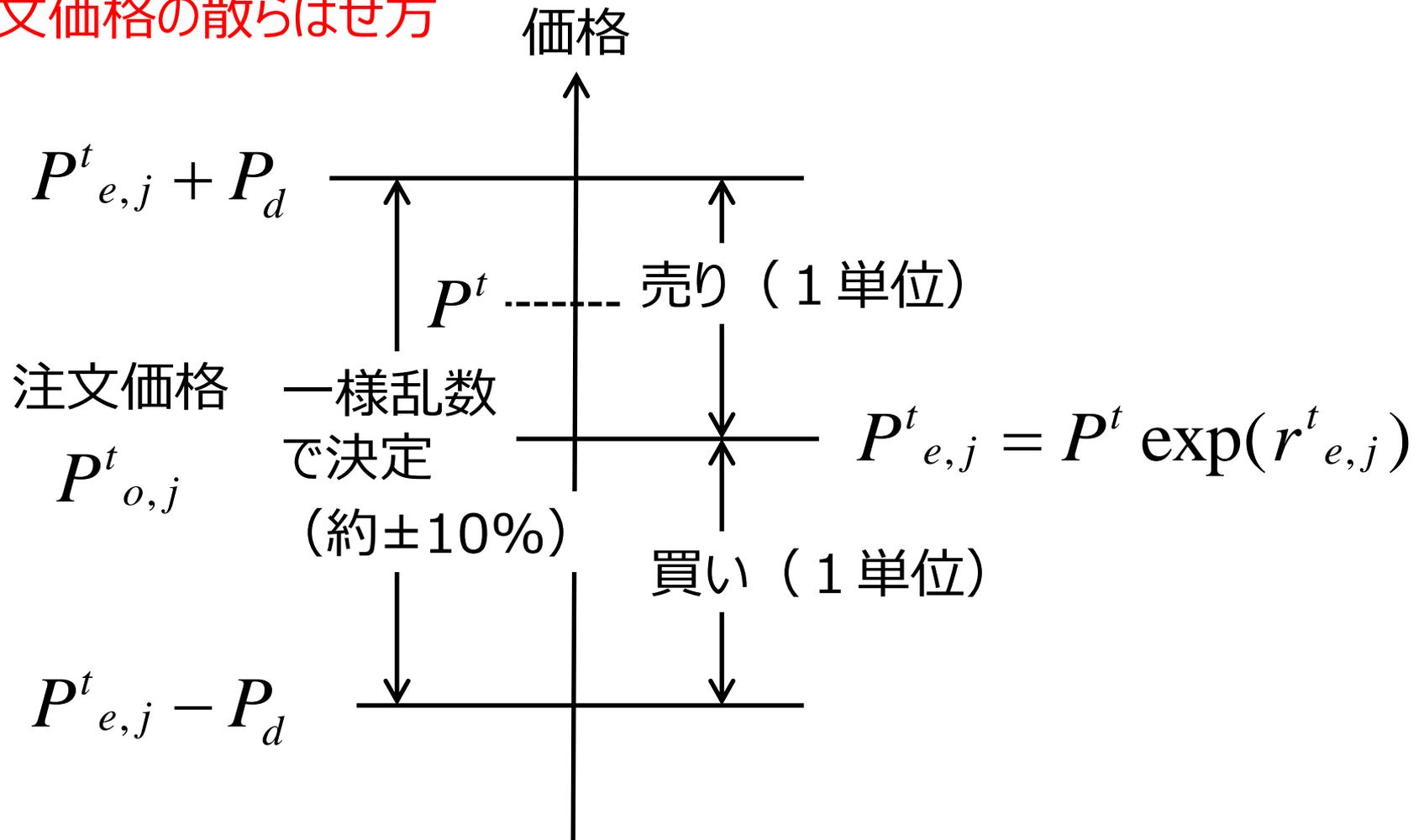
過去リターン $>$ 0 \Rightarrow 上がると予想

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

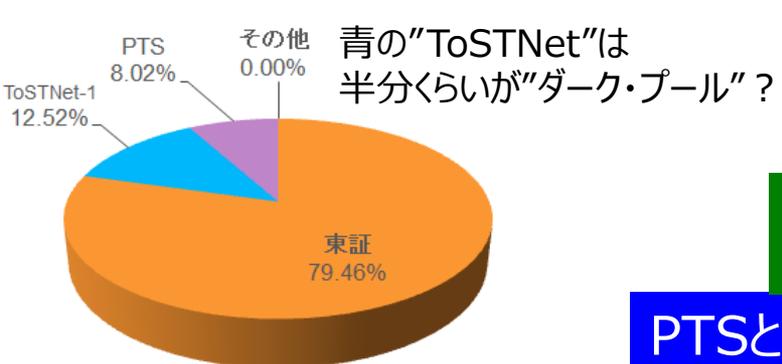
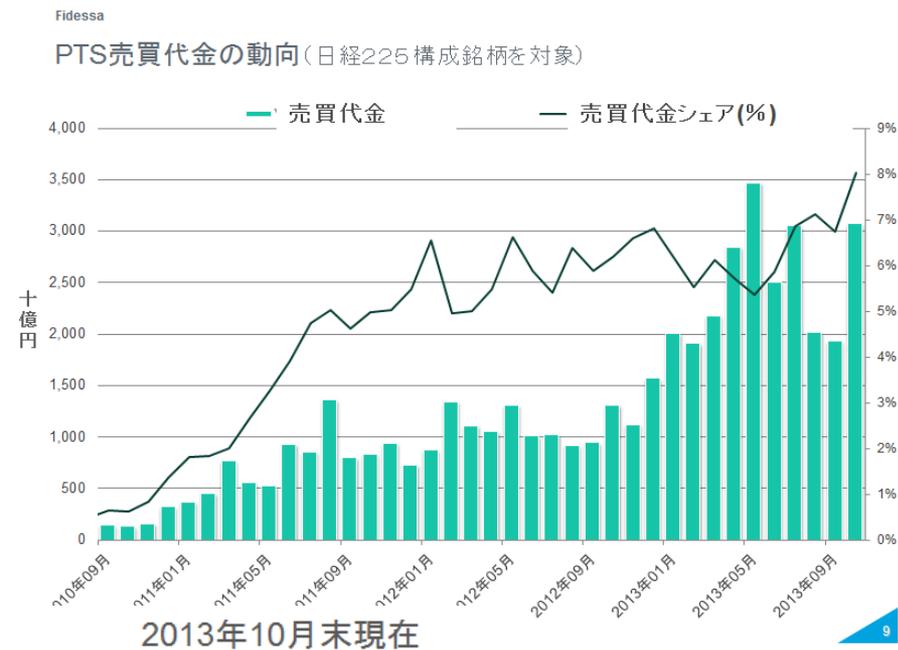
短いラグで0.1～0.2程度、ラグが長くなると急激に減少
ゼロに近づくもののマイナスにはならない（プラスを維持）

(2)
ティック・サイズの縮小

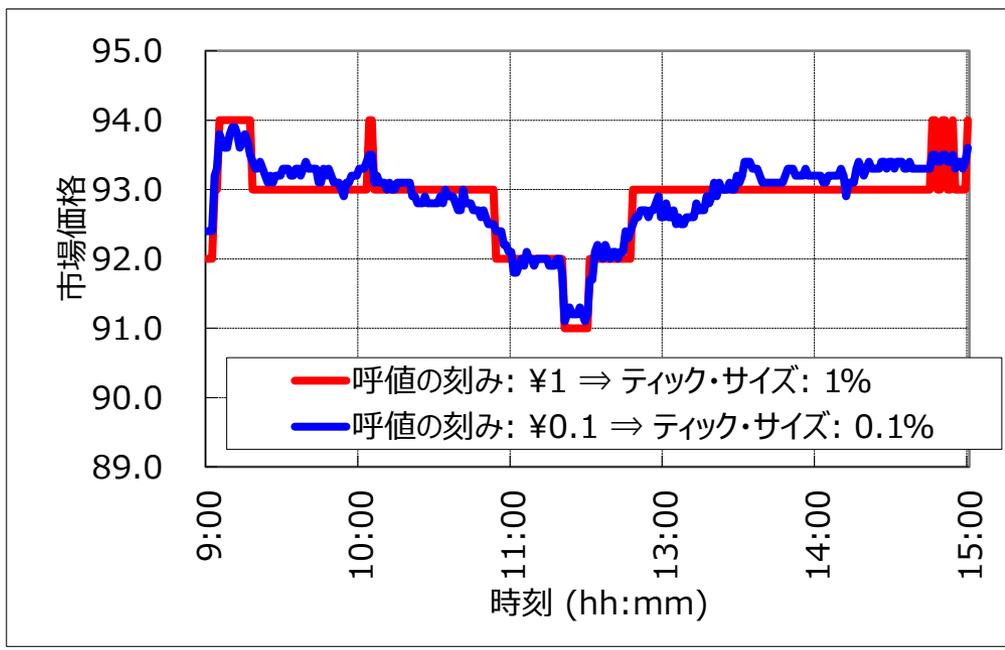
伝統的取引所と私設取引所 (PTS) の競争

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

<https://www.fidessa.com/jp/newsletter/issue009/issue009>



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

PTSとの競争は“ティック・サイズ”が重要な要素の1つ 38

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 Vol.2 (2013年1月30日)
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
<https://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/index.html>
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



- 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
- デリバティブ投資客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

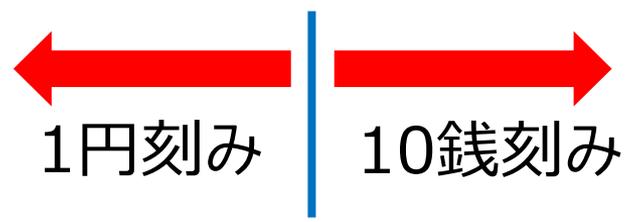
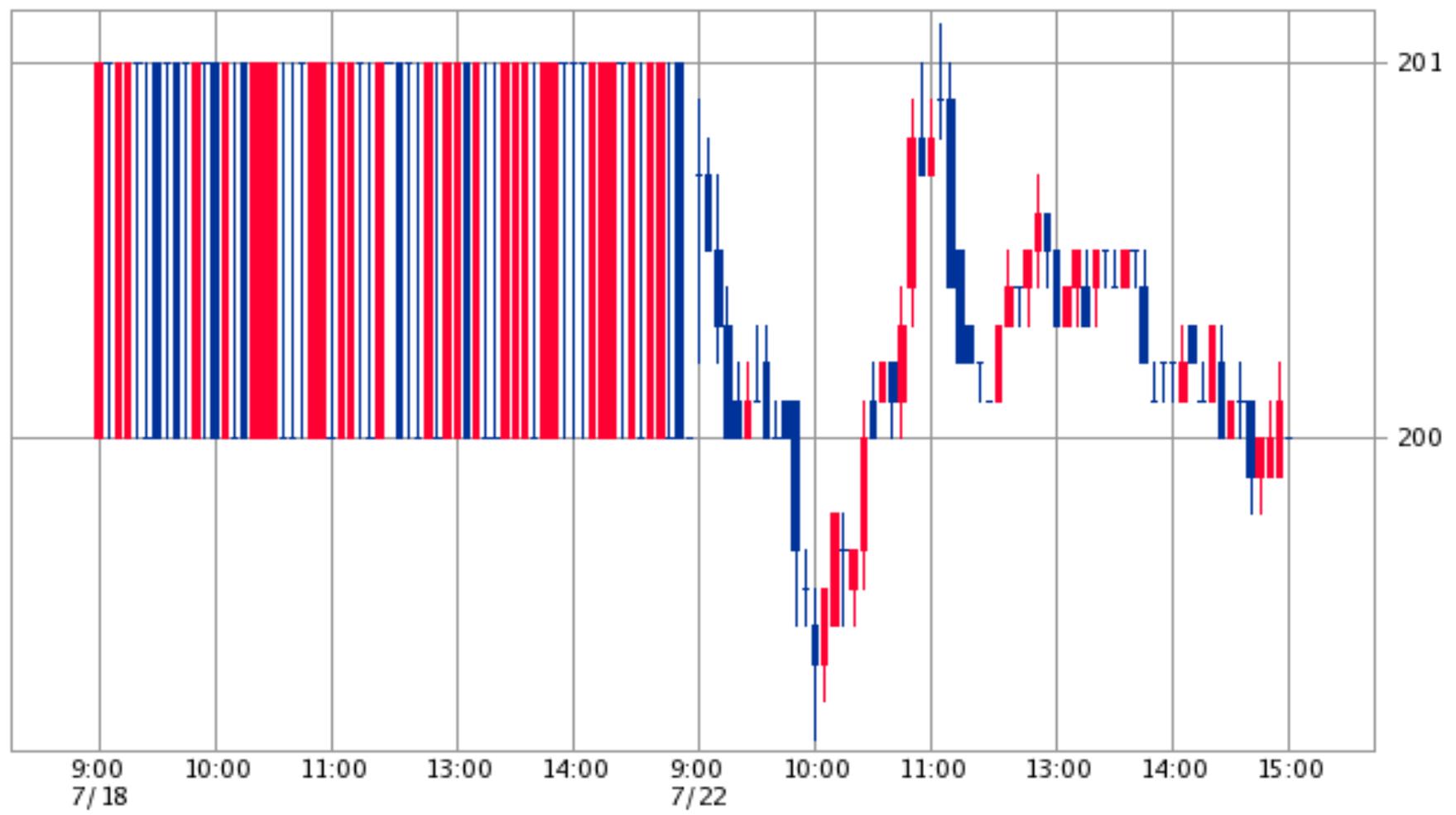
JPXは、競争力強化に向けて、市場を巡る様々な環境変化や法制度等に関する調査・研究を進めております。JPXワーキング・ペーパーは、株式会社日本取引所グループ及びその子会社・関連会社の役員員及び外部研究者による当該調査・研究を取りまとめたものであり、学会、研究機関、市場関係者他、関連する方々から幅広くコメントを頂戴することを意図しております。

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。

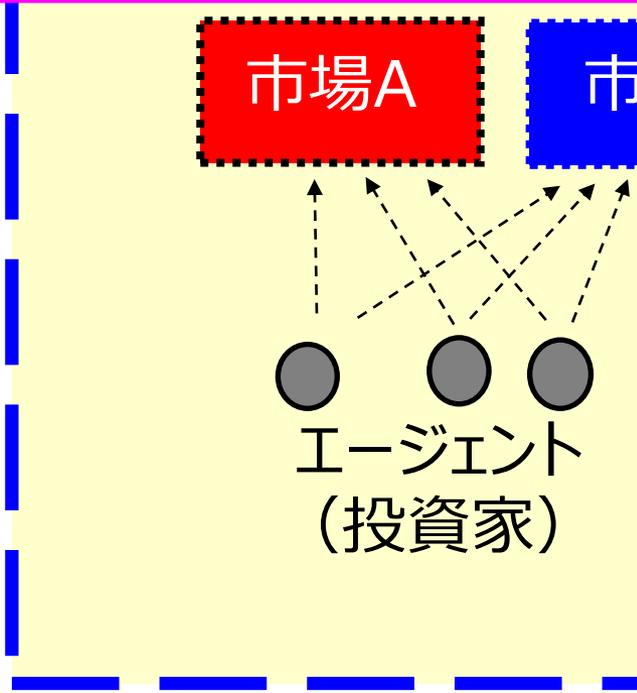
	発行日	タイトル	全文	要約版
Vol.29	2019/04/01	人工市場を用いた金融市場流動性に影響を与える要因の調査	📄	📄
Vol.28	2019/04/01	株価分析に基づく投資家行動の解析	-	-
Vol.27	2019/02/25	株式とETFの裁定取引にかかるコストと流動性の関係 - 人工市場によるシミュレーション分析 -	📄	📄

39

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

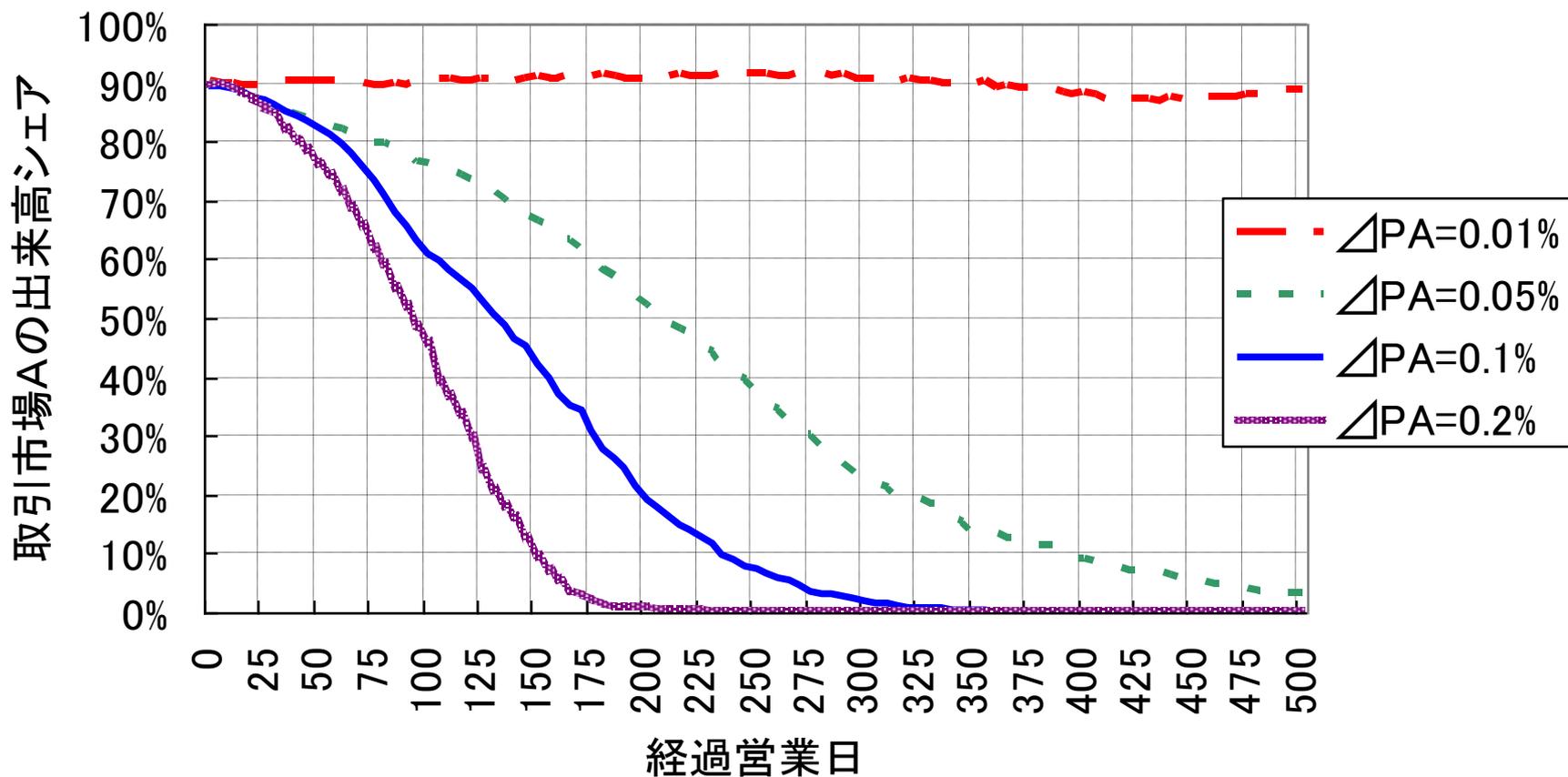
- (1) 98円の買い：取引量シェアに応じた確率でAかBを決める
- (2) 99.1円の買い：市場 B ← 99.1円で即座に買えるため
- (3) 100円の買い：市場 B ← 99.1円で即座に買えるため

(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

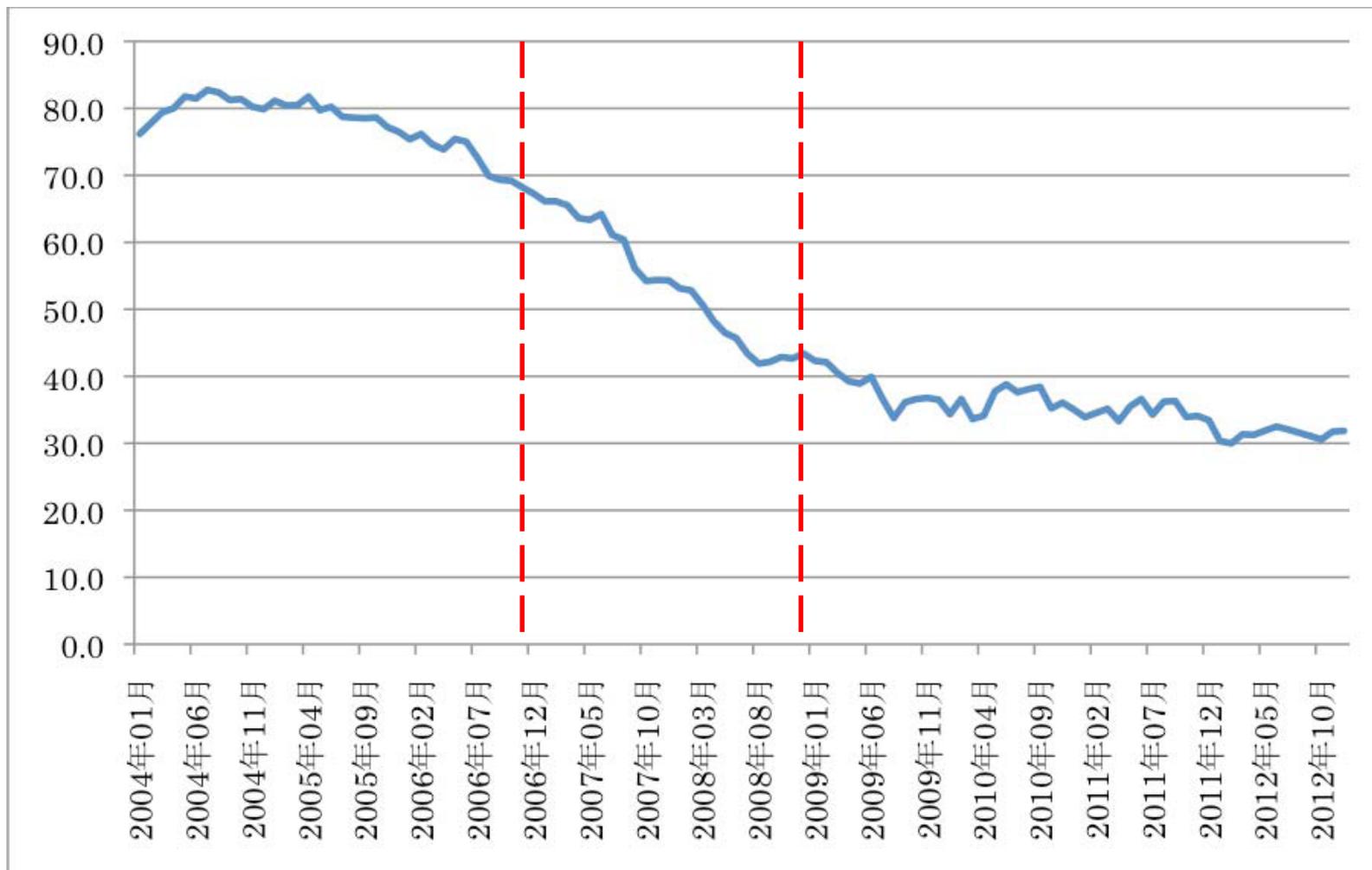
取引市場Aの出来高シェア推移

$t_{AB}=5$ 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



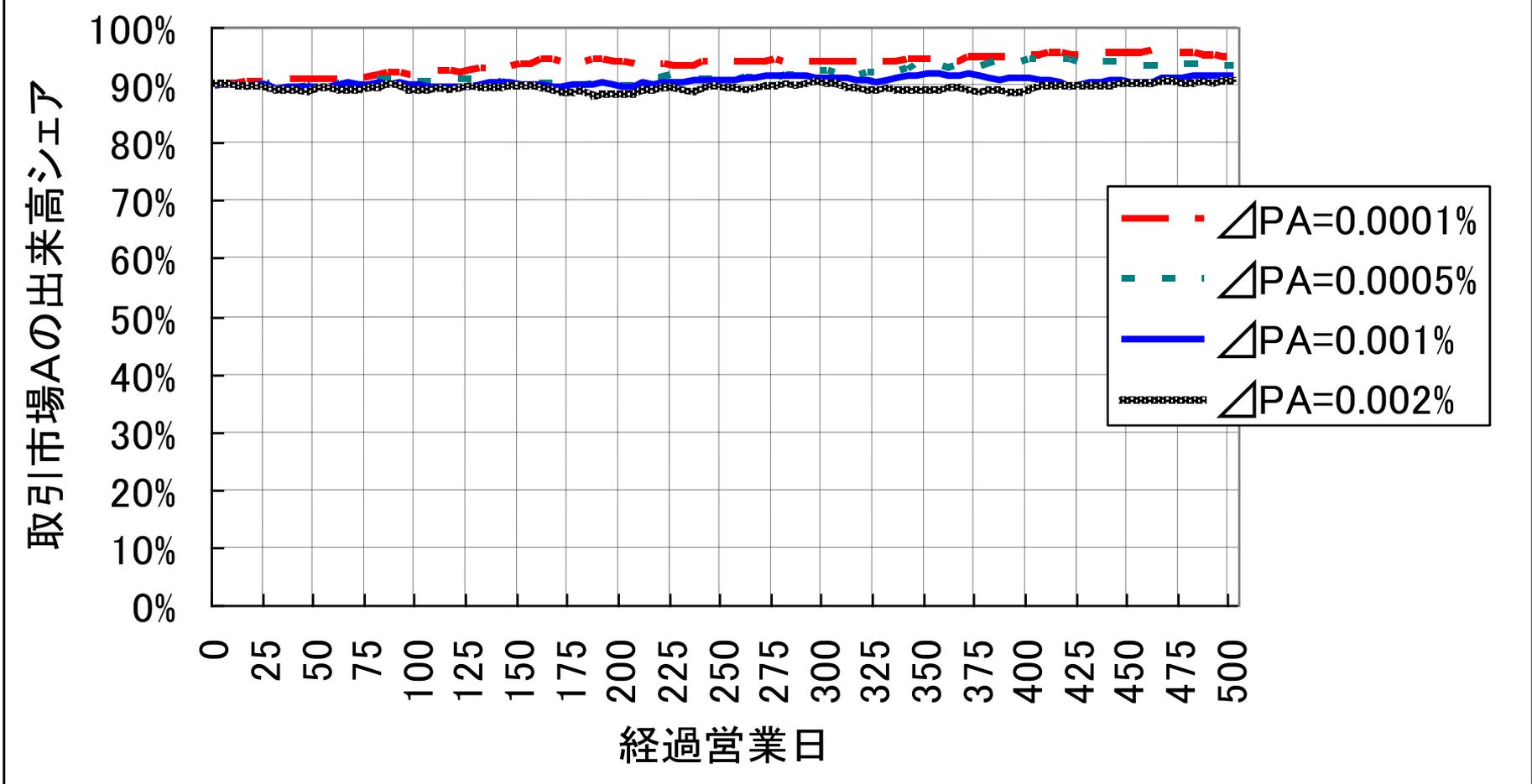
清水葉子, 金融庁金融研究センター ディスカッションペーパー 2013年5月

<https://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 ΔPB										
		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 ΔPA	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

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

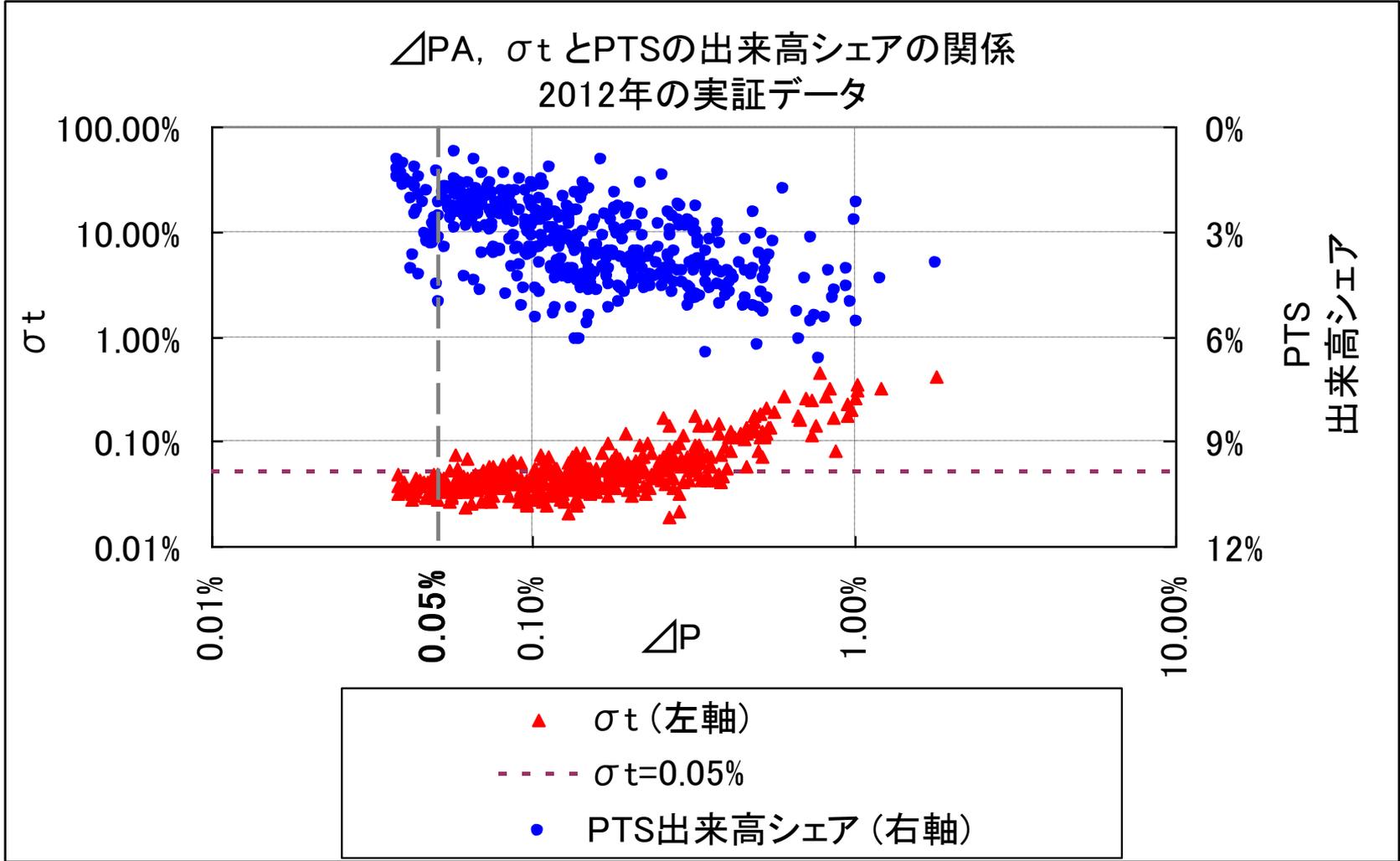
or

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

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

騰落率の標準偏差：ボラティリティ

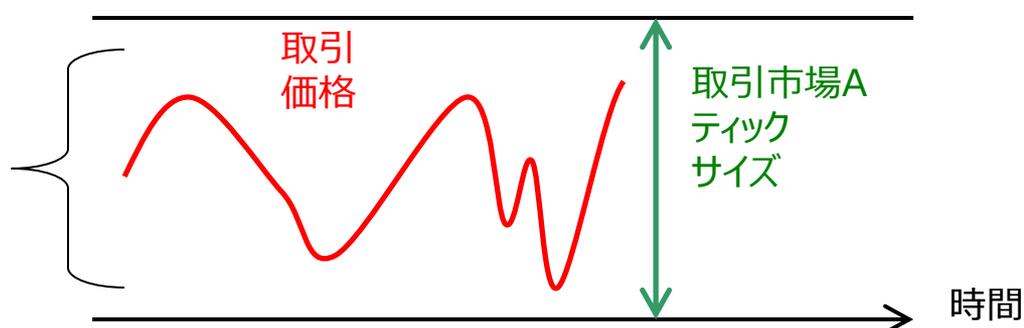
キーパラメーター



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

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

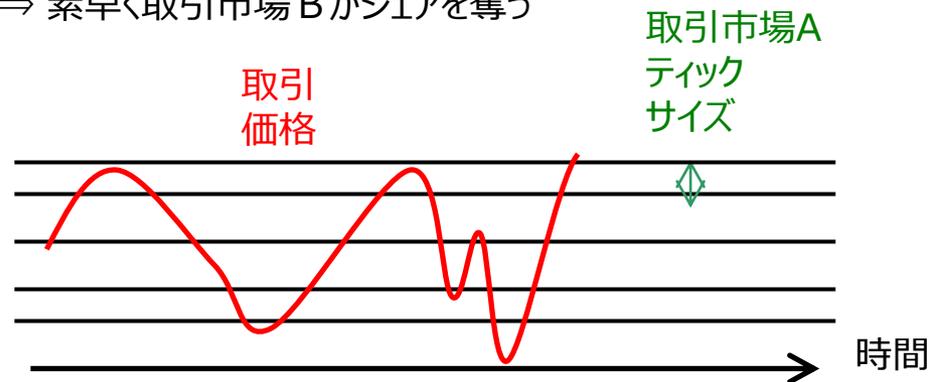
取引市場A
で取引でき
ない領域



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

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

取引市場B
の必要性
が薄い



⇒ シェアが動かない

現実の金融市場制度への示唆

- 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、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
- **取引所の制度設計に参考にされた**（JPXワーキングペーパーとしても掲載）

その後の研究の進展

さらに単純化したモデルにより解析的な分析がなされ、
 統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

- 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. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/750/1/012019>
- 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>

CSP16 IOP Publishing
 Journal of Physics: Conference Series 750 (2016) 012019 doi:10.1088/1742-6596/750/1/012019

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

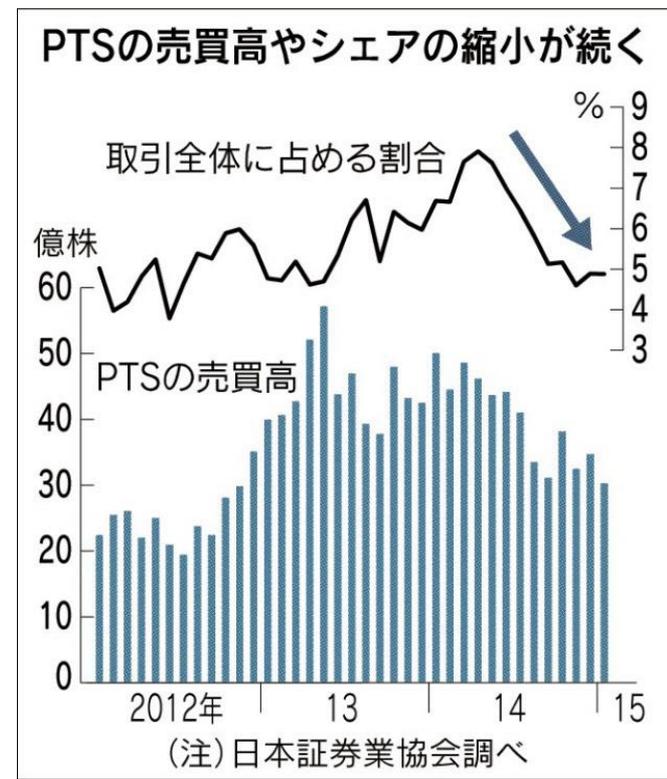
$$\begin{aligned}
 S_A^* &= 1 \cdot P_1' + \frac{1}{2} P_3' \\
 &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2}(a-b),
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

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

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.

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 日本経済新聞

<https://www.nikkei.com/article/DGKKZO83727450W5A220C1DTA000/>



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%

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%

7.4%

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>

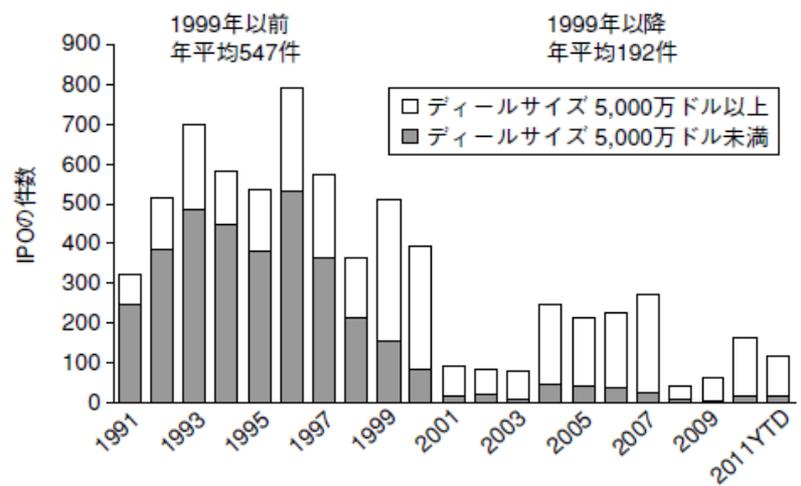
価格帯(円)		通常銘柄	TOPIX100構成銘柄 フェーズⅠ	TOPIX100構成銘柄 フェーズⅡ	TOPIX100構成銘柄 フェーズⅢ
超	以下				
	1,000	1	1	0.1	0.1
1,000	3,000	1	1	0.5	0.5
3,000	5,000	5	1	0.5	1
5,000	10,000	10	1	1	1
10,000	30,000	10	5	5	5
30,000	50,000	50	5	5	10
50,000	100,000	100	10	10	10

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%

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

<https://sigfin.org>



年2回（10月ごろと3月ごろ）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

100～200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

<https://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

時間が余ればこちらの話もします：

https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2020.0_2L5GS1305

[https://mizutakanobu.com/202006.pdf](https://mizutatakanobu.com/202006.pdf)