

2026年●月●日

2026年度 金融レジリエンス情報学 第●回

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
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/2026r.pdf>

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

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：上記の学術研究、資産運用業界全般の調査・レポート、

株式市場やポートフォリオの定量的分析(のためのシステム開発・運用)

2007年 日本証券アナリスト協会検定会員

2014年度-2022年度 東京大学公共政策大学院 非常勤講師

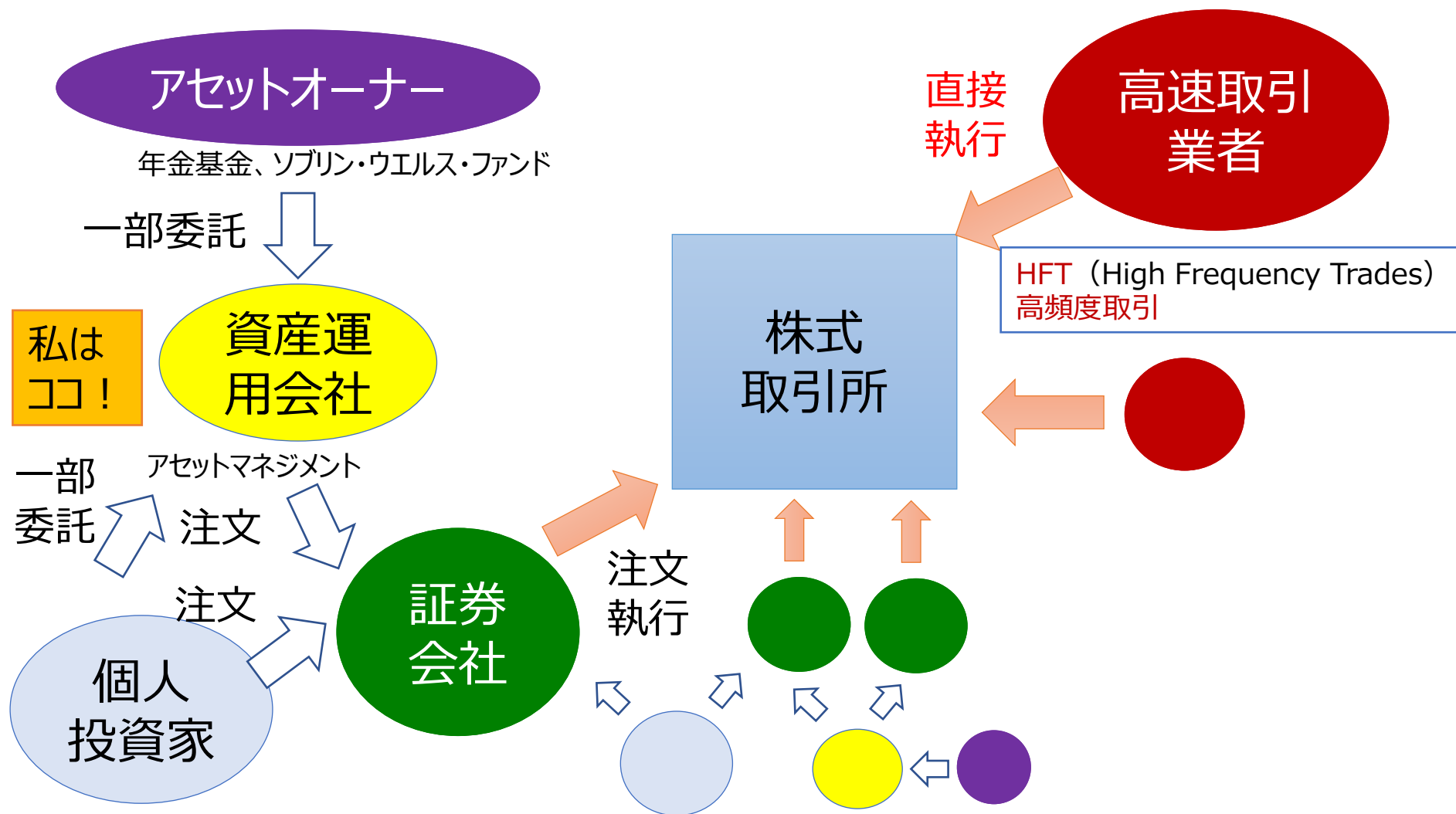
2016年度-2024年度 人工知能学会 金融情報学研究会(SIG-FIN)幹事 2022・2023年度は主査

2019年より IEEE CIS Computational Finance and Economics Technical Committee メンバー

2024・2025年 Chair

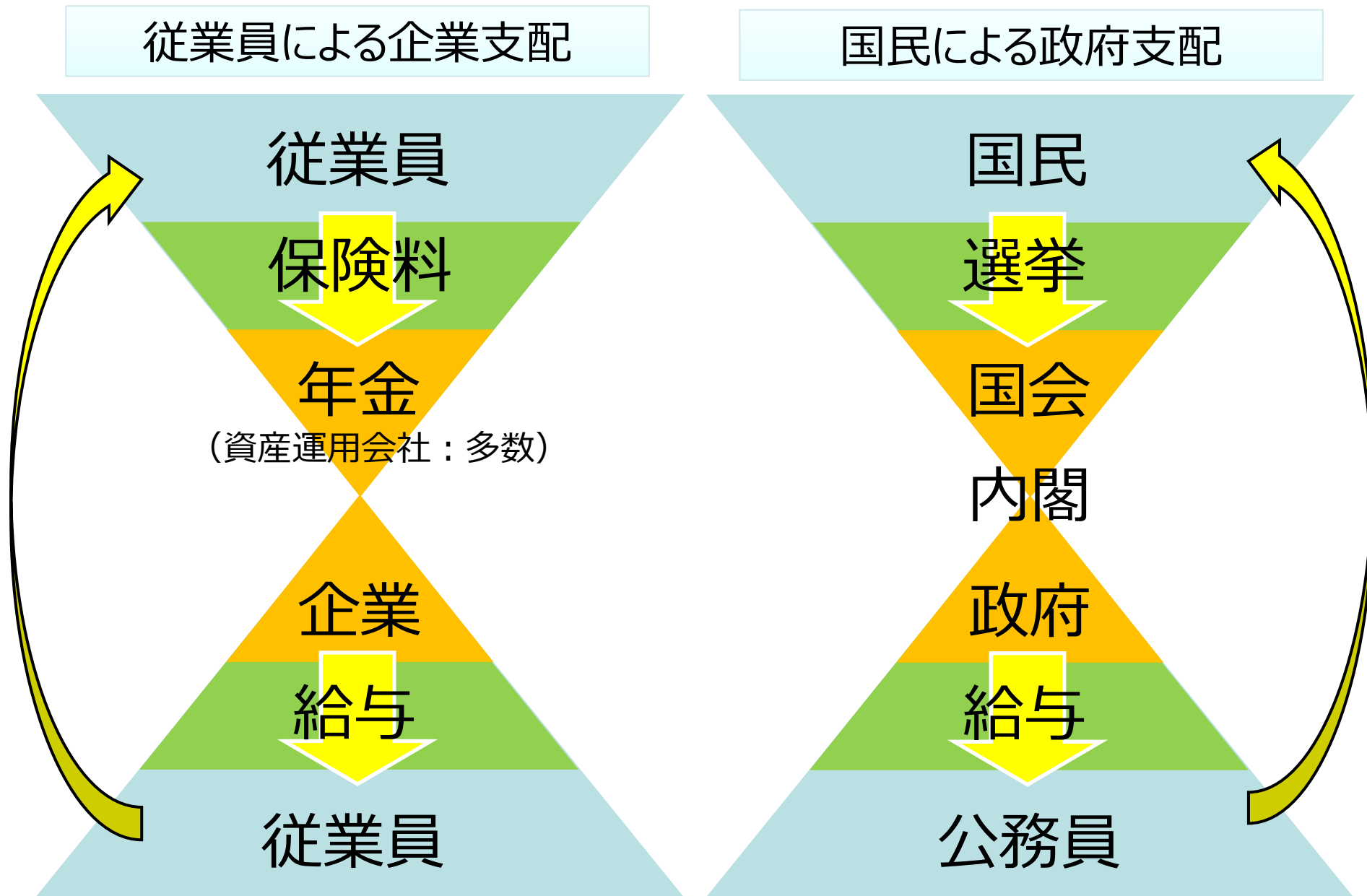
株式市場は様々な参加者がいることで成立

株式の高速取引と取引所的高速化



(おまけ)

多数が少数を支配（けん制）するから系（システム）が安定



人工市場を用いて金融の規制やルールの検証を行った研究のまとめの英文書籍を書きました。
私共のこれまでの研究の集大成的な書籍です。
Springer Natureより、出版

本日お話する内容＋具体事例が載っています

日本語かつ無料の関連文献だけでもぜひ！

<https://mizutatakanobu.com/jbook1.htm>

<https://doi.org/10.1007/978-981-96-1713-5>

Takanobu Mizuta
Isao Yagi

Financial Market Design by an Agent-Based Model



高速取引やAIの株式市場への影響：一般向け書籍

<https://www.kodansha.co.jp/book/products/0000417886>

● ● 書影 ● ●

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/mizuta/>

(つながらないとき) [https://mizutakanobu.com/jindex.htm#spe](https://mizutatakanobu.com/jindex.htm#spe)



SPARX Asset Management Co., Ltd.

(主なレポート)

2025/1/21 世界的な株式の決済期間短縮化：T+1への世界統一と即時決済の導入

2024/12/3 インデックス運用の難しさ -インデックスへの過度な追従による弊害-

2024/7/11 コメ市場と電力市場の問題点-価格安定化で失ったこと

2023/10/23 株式投資で気候変動を考慮することに賛否があるのはなぜか？ [概要編]

2023/8/3 投資の世界における生成AI

2023/6/6 関東大震災から100年～今同じことが起きたら株式取引は継続されるか？

2022/12/15 新技術の悪い影響とそれを乗り越えてきた金融市場

2022/10/7 学術研究力に直結する大学の資産運用

2022/6/28 ROEと資本コスト：その企業の価値はいくらか

2022/4/7 世界的な株式の決済期間短縮化：T+1への統一が進むか？

2021/11/15 金融市場の制度設計に使われ始めた人工市場

2021/9/8 金融市場で使われている人工知能

2021/8/16 続・市場は効率的なのか？ 実験市場や人工市場での検討

2021/4/12 "フラッシュ・クラッシュ・トレーダー"と呼ばれた男2020/12/22 市場は効率的なのか？ 検証できない仮説の検証に費やした50年

2020/9/15 なぜそれらは不公正取引として禁止されたのか？

2020/8/4 人工知能が不公正取引を行ったら誰の責任か？

2020/7/3 お金とは何か？ -古代の石貨から暗号資産まで-

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

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？

2018/5/21 なぜ株式市場は存在するのか？

2018/3/2 パッシブファンドの新たな論点「水平株式保有」

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



<https://sigfin.org>

年2回（10月ごろと3月ごろ）東京都内＆オンラインで開催
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：1,000-2,000円くらい

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://groups.google.com/g/jsai-fin/about>

- ✓ 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

人工知能学会 金融情報学研究会(SIG-FIN)の歴史 - AIと金融の技術史の一部として議論 -
https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2025.FIN-034_63
[https://mizutakanobu.com/2025SIGFIN1.pdf](https://mizutatakanobu.com/2025SIGFIN1.pdf)

和泉先生のブックマーク(人工知能学会誌)：人工知能の金融応用に関する研究会、国際的な学会、ツール類やデータなど
https://www.ai-gakkai.or.jp/resource/my-bookmark/my-bookmark_vol37-no1/

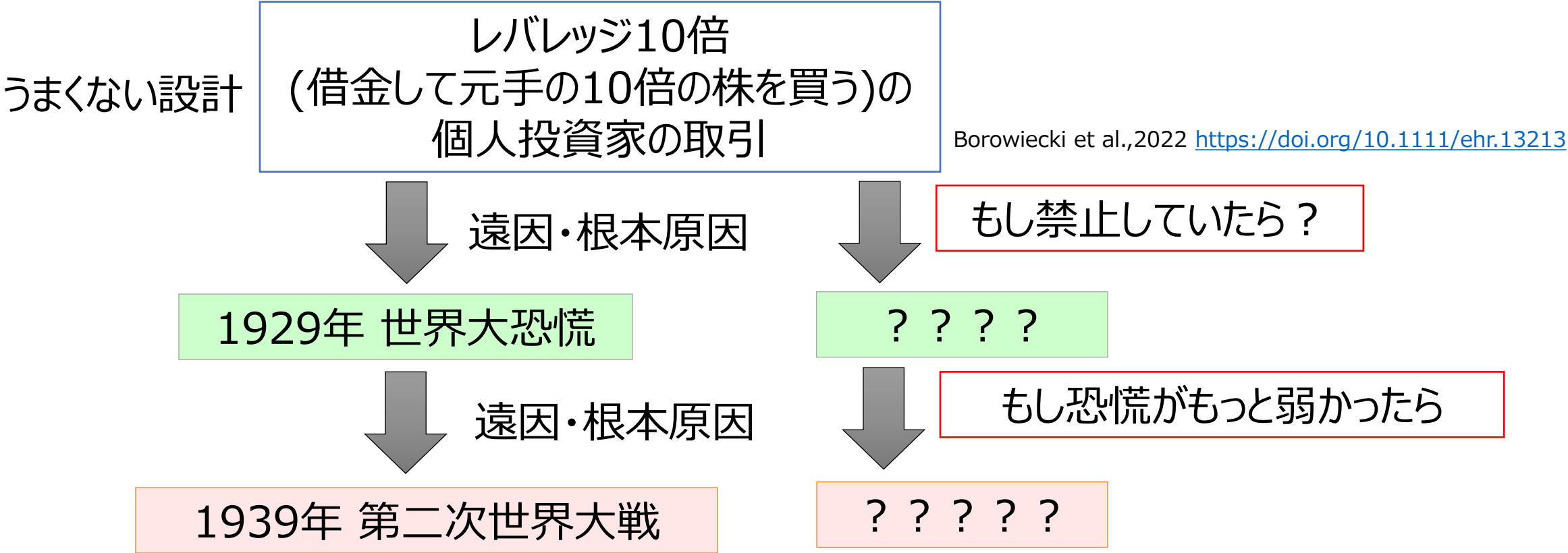
2008年の金融危機以降、伝統的な経済学では複雑系であったこの金融危機を分析できていないと批判し、金融・経済分野におけるエージェントシミュレーションである人工市場や人工経済などの複雑系科学をもっと活用すべきだという主張があらわれた。人工市場をもっと活用し伝統的な経済学の弱点を補完すべきであることは確かだと思われる。

今回は、人工市場研究を簡単にレビューしたあと、人工市場による市場制度の設計の研究を呼値変更という実際に行われた制度変更の事例を交えながら紹介する。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。人工市場は、これまでにない制度によってどういうことが“起こりえるか”を調べ“あり得る”メカニズムを見つけておく、“あり得る”副作用を見つけておく、という貢献ができる。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。

人工市場の貢献はまだ始まったばかりで、研究者が全然足りていない。この分野は社会への重要な貢献ができることは間違いないので、啓蒙活動が続けていきたい。今後、もっと多くの金融市場の規制やルールが人工市場や人工社会で扱えるようになり、うまく金融市場を設計することに貢献し、社会の発展につながっていけばと願っています。

世界を救うかもしれない金融市場のうまい設計：レバレッジ規制（後ほど再掲）

本日の話はやたら金融市場の細かいルールの話をするますが、研究目的は非常に大きいです



神は細部に宿る

金融の失敗は実社会に大きな影響を与える
金融危機は、財政危機、実経済の危機などよりも深刻
金融市場のうまい設計こそが世界を救うという気持ちで研究してます

本日の話はやたら金融市場の細かいルールの話ですが、研究目的は非常に大きいです
研究の目的は研究者ごとさまざまです。一見詳細な研究に見えても実は重要な研究もあります。
私は人類にとって重要な研究をしていると思っています。

何を重要とみるかもいろいろです。「重要」と「役に立つ」もまた少し違います。「面白い」もまた少し違います。
「重要」、「役に立つ」、「面白い」のどれを重視するかも研究者ごとにさまざまです。
いずれにせよ、どのような立場や考え方、価値観の研究者も、お互いの違いを尊重できるといいなあと考えてます。

(いきなり哲学的なこと言い出してすみません、、、この辺りは機会があればまとめたいなとは思いますが、、、)

人工知能学会は研究者の多様性が高く、この辺りの価値観も多様で、この辺りを観察するには最適です。
学会誌の人工知能に連載されている学生フォーラムでいろいろな研究者をインタビューしていますが、
この辺りの多様性を知る上でも興味深いです

https://www.ai-gakkai.or.jp/resource/student_forum/

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

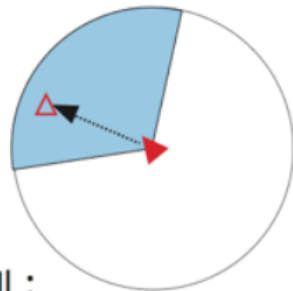
鳥の集団行動を解き明かしたエージェント・ベースド・モデル



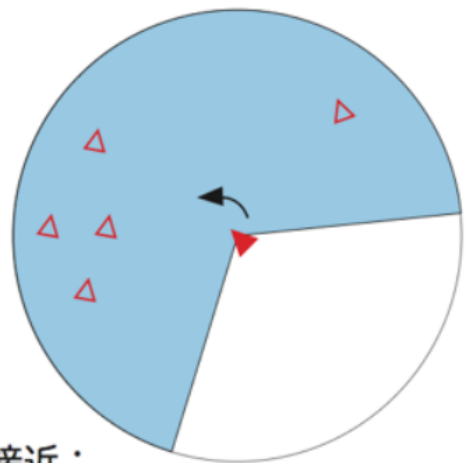
1匹 1匹は単純な行動ルール



衝突回避：
障害物や他の鳥から離れる



整列：
近くの鳥と動きを同じにする



接近：
周囲の群れに近づくようにする

<https://mas.kke.co.jp/model/boid-model/>

https://mas.kke.co.jp/wp-content/uploads/2019/06/mure.mp4?_id=1

1匹 1匹は単純な行動ルールだが、全体としては複雑できれいな模様

以前は個々の鳥が高度な行動をしていると考えられていたようだが、
エージェント・ベースド・モデルを用いることにより、そうではないことが解明

この模様は複雑系による産物、1匹の行動ルールの単純な足し合わせでは決して説明できない

創発

Complex System(複雑系)とJust Complicated(単に複雑であること)の違い

Complex System(複雑系)

創発：ミクロの単純な足し合わせがマクロにならない

バタフライ効果：少しの初期値の違いで予想できない結果を生み出す

ミクロ・マクロ相互作用：マクロの結果がミクロの入力となり、その結果またマクロの結果を変えてしまう

ポジティブ・フィードバック：

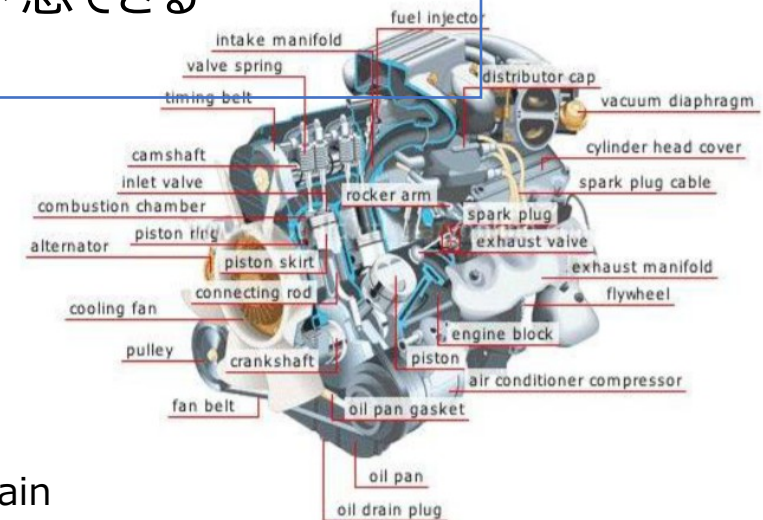
ミクロの結果がマクロの結果を増幅させそれがミクロに入力され、さらに増幅するループが作られること

Just Complicated(単に複雑であること)

例えばエンジンのように、複雑ではあるが各部品の動きから全体が予想できるもの：設計できる

エンジンの各部品の役割は明確であり、ひとつつけた場合の全体の動きも予想できる

エンジンは確かに複雑ではあるが、複雑系ではない

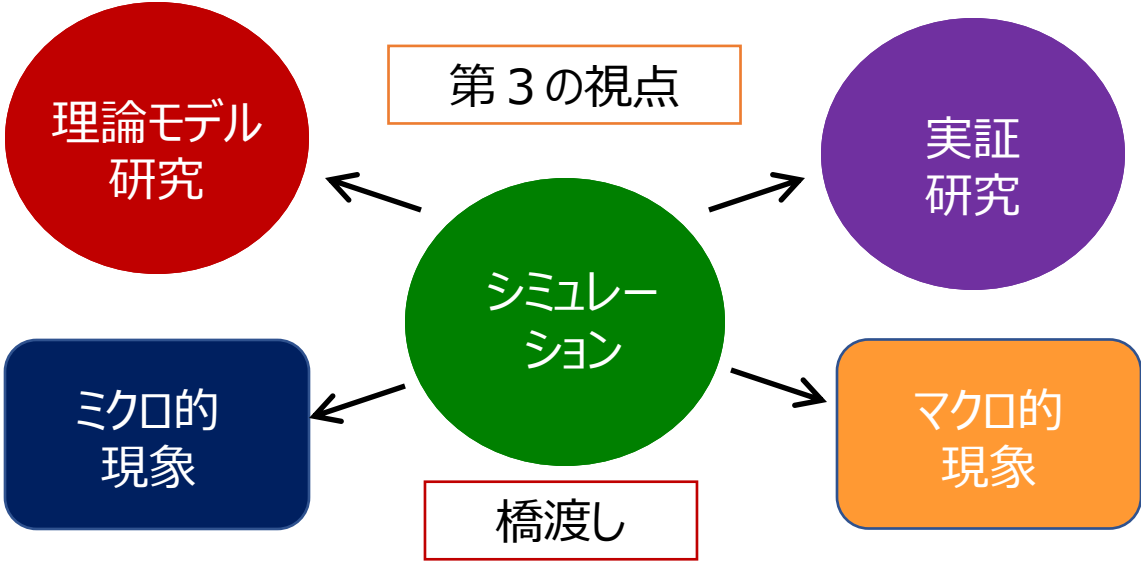


Sabzian et. al., A review of agent-based modeling (ABM) concepts and some of its main applications in management science <https://doi.org/10.22059/ijms.2018.261178.673190>

Fig. 1. A car engine² as a complicated system

さまざまな分野で活躍するエージェント・シミュレーション

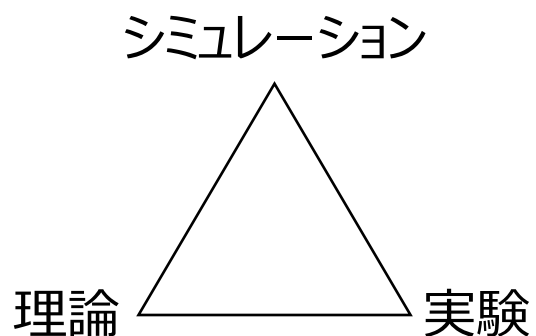
コンピュータの中に仮想の社会を構築。ミクロなエージェント（人間）を多数投入。
エージェントは比較的シンプルなモデルでお互いに相互作用する。それらが集積して複雑なマクロの挙動がみれる。



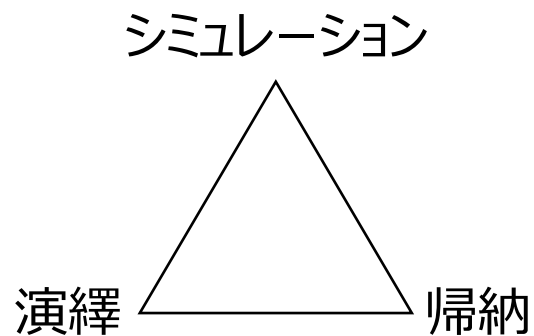
- ・複雑系である社会において、制度・規制の変更が与える副作用や想定外の効果を
コロンブスのたまご的に発見
- ・理論や実証で調べるべきテーマの発見、メカニズムの知識発見
- ・既存の手法を補完する手法として他分野では定着

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

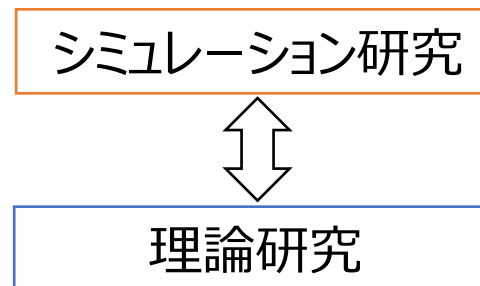
エージェント・シミュレーション(社会シミュレーション)の類型



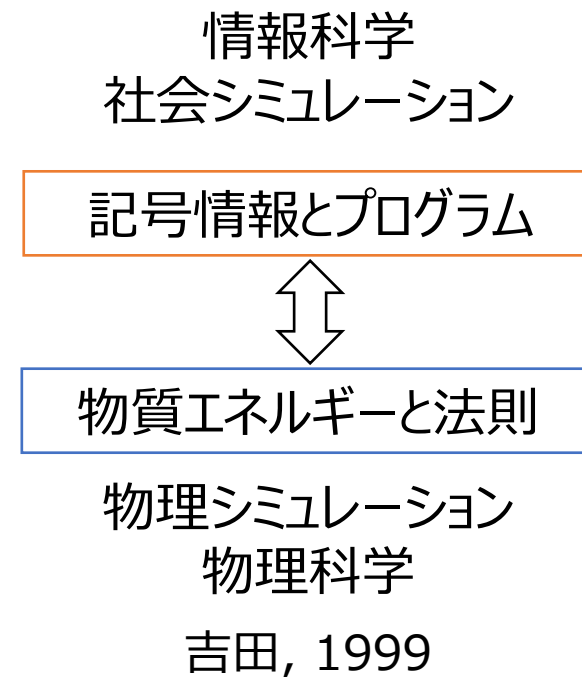
塩沢, 2006



Axelrod, 1997



Axtell, 2000



寺野隆雄, 「社会シミュレーションの類型」, 数理社会学事典, 2022
https://www.maruzen-publishing.co.jp/item/?book_no=304405

寺野隆雄, 「なぜ社会システム分析にエージェント・ベース・モデリングが必要か」, 2010
https://doi.org/10.11487/trafst.4.2_56

エージェント・シミュレーションの類型、位置づけはいろいろ提案されている

学生(#)と教授(@)が参加する立食パーティー

解説記事「多角形のたとえ話」
<https://ncase.me/polygons-ja/>

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

- ルール：
- 自分の周り(8マス)に自分の同類が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

創発

この分離は、学生・教授の行動ルールの単純な足し合わせでは決して説明できない

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



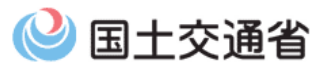
J R岡山駅東口広場に電停を 路面電車乗り入れに着手 環状化も ...

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://yamaneforest.livedoor.blog/archives/528753.html>

<https://www.city.okayama.jp/0000006104.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

ホワイトハウスのキューバ危機



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

核戦争危機から50年

ケネディ(米大統領)が自ら核戦争に仕掛けたテープ分析を踏まえ、
実際に起こった現実だけでなく、起こらなかったかもしれない現実を
も説明できる新モデルを開発。
歴史の「if」に数えて挑戦する。

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

COVID-19対応でも

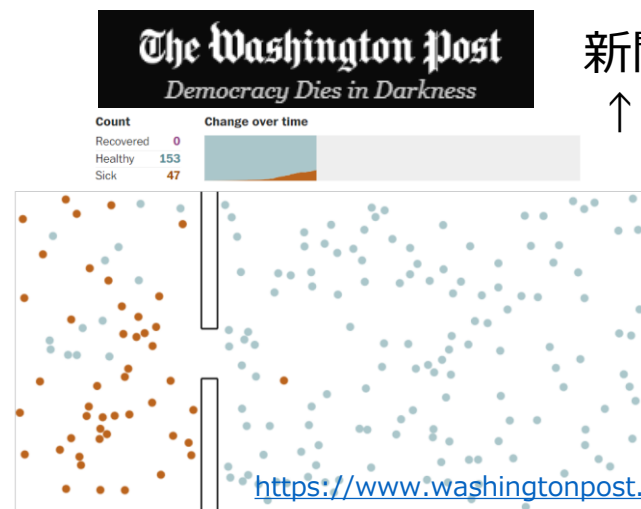


<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200220/k10012294081000.html>

<https://archive.md/uUuwa>

(和文速報論文) <https://doi.org/10.1527/tjsai.D-K28>

NHKにも取り上げられる注目度(筑波大 倉橋先生)



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

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

注: COVID-19ではエージェントではないシミュレーションのほうが多い
例) 西浦モデル、東京大学藤井・仲田モデル
(内閣官房新型コロナウイルス感染症等対策推進室の資料↓に詳しい)

<https://www.caicm.go.jp/action/survey/covid19-ai.jp/ja-jp/index.html>

想定された津波からの避難：シミュレーションを見て議論、避難をあきらめていた人をやる気に



<https://news.yahoo.co.jp/articles/07955a2e9dbae92849c8c43b9f1b56e0bd10c529>

(論文) <http://id.nii.ac.jp/1001/00101155/>



予測精度を追求するのではなく、
プロセスを見せて議論を提供する

第2章に住民たちとシミュレーションを使った
議論の推移などが書かれています

<https://www.nhk-book.co.jp/detail/000000885122017.html>

シミュレーションのプロセスを見ることにより
議論が深まり、新たな助かる方法を生み出す

高知県黒潮町は予想される南海トラフの地震で
最も高い津波が想定されている (34.4m)
これが発表された2012年当時、多くのメディアが殺到
当時の住民のアンケートからシミュレーションした結果、多
くの人が助からないことが分かった
しかし、ある交差点で地震発生から10分経っていなければ
山へ、経っていればタワーに逃げると多くの人が助かるこ
とが分かった → 住民はあきらめなくなった
山に行く途中の道が危険であるという発見
(今では避難タワーが増えたようなのもっと良い避難計
画になっていると思います)

(2017年完成のタワー) <http://yama-ken.jp/日本一の津波避難タワー完成!/>

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

既存の経済学は金融危機を取り扱えなかった！

金融市場は数式だけできれいに表されるような単純なシステムではない
バタフライ効果：蝶が羽ばたくという小さい動きがどのような影響を与えるかを正確に述べることは難しく、
台風を生み出すことさえ完全には否定できない：複雑系

それにも関わらず、既存の経済学は金融市場の動きをきれいな数式だけで表現しようとした。
その結果、2008年の金融危機では何が起きているか表現できなかったと多くの批判を浴びた。

人工市場(エージェント・ベースド・モデルによる金融市場のコンピュータ・シミュレーション)
に大きな期待！！：複雑系システムを複雑なまま取り扱える

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>

ECB総裁講演でも取り上げられる

ヨーロッパ中央銀行(ECB)総裁だったトリシェが効率的市場仮説に基づく
金融理論が、金融危機中の政策決定に関してほとんど役に立たなかったと述
べ、エージェントシミュレーション(広い意味で人工市場)などが金融政策に
貢献することを期待していると述べた講演

<https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2010/html/sp101118.en.html>

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

標準的な経済学を否定し、
人工市場を絶賛

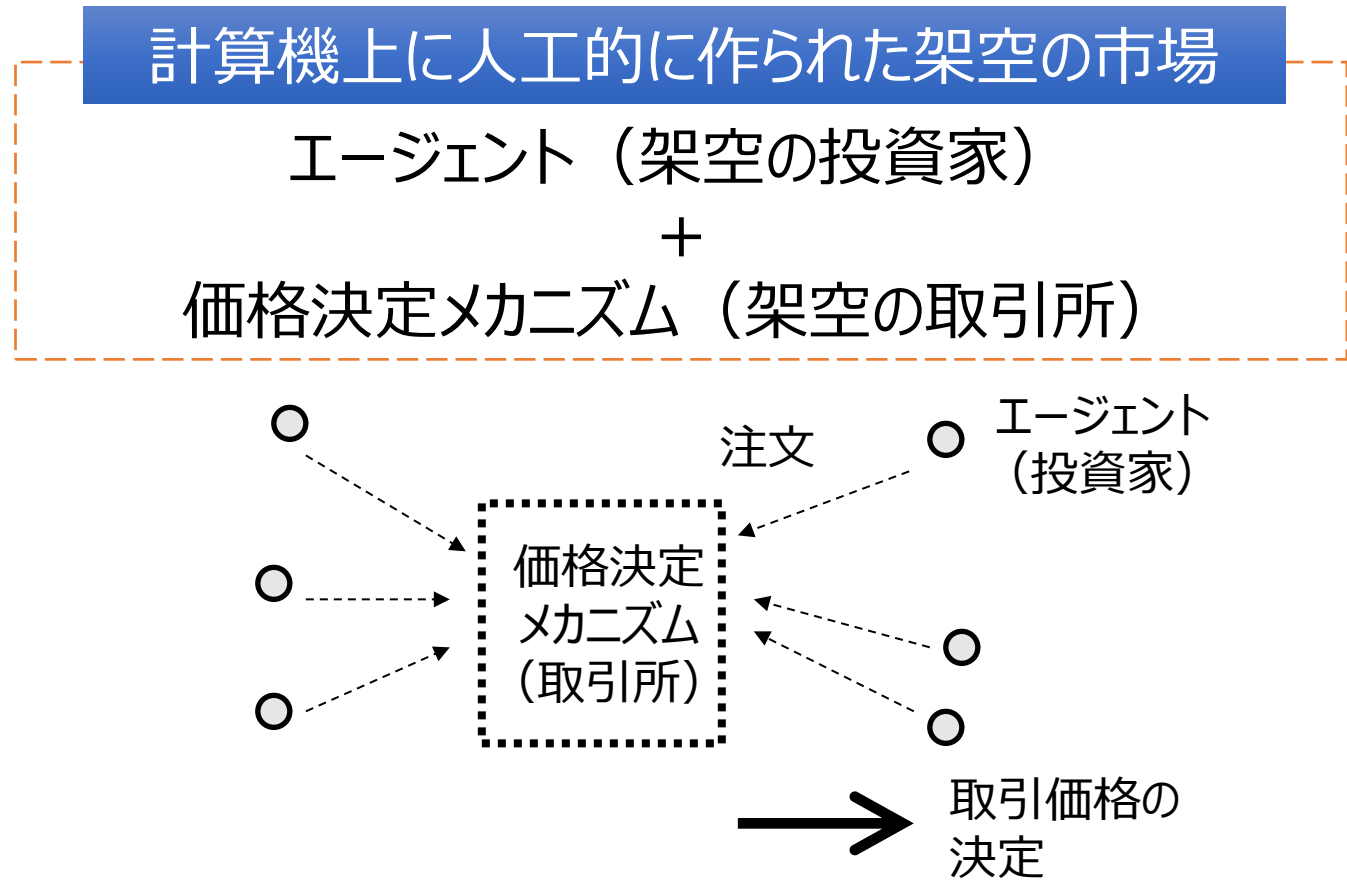
金融危機は人工市場でしか扱えない！
という勢いだが、ちょっと言いすぎ

リチャード・ブックスターバー
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>

人工市場モデルを用いたシミュレーションとは？ (金融市場のエージェントシミュレーション)



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

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

複雑系を扱える強み

金融市場は非常に複雑系のため、ミクロプロセス(投資家の行動)の単純な足し算がマクロ現象(価格時系列)にならない

人工市場

マクロ現象

価格時系列

積み上げの結果

シミュレーション

フィードバック

相互作用を直接扱う

ミクロプロセス

エージェントの振る舞い

シンプルモデル

相互作用を扱える！
相互作用を分析できる！

数理モデル 実証研究

マクロ現象

価格時系列

精密なモデリング

単純な足し算には
なっていない

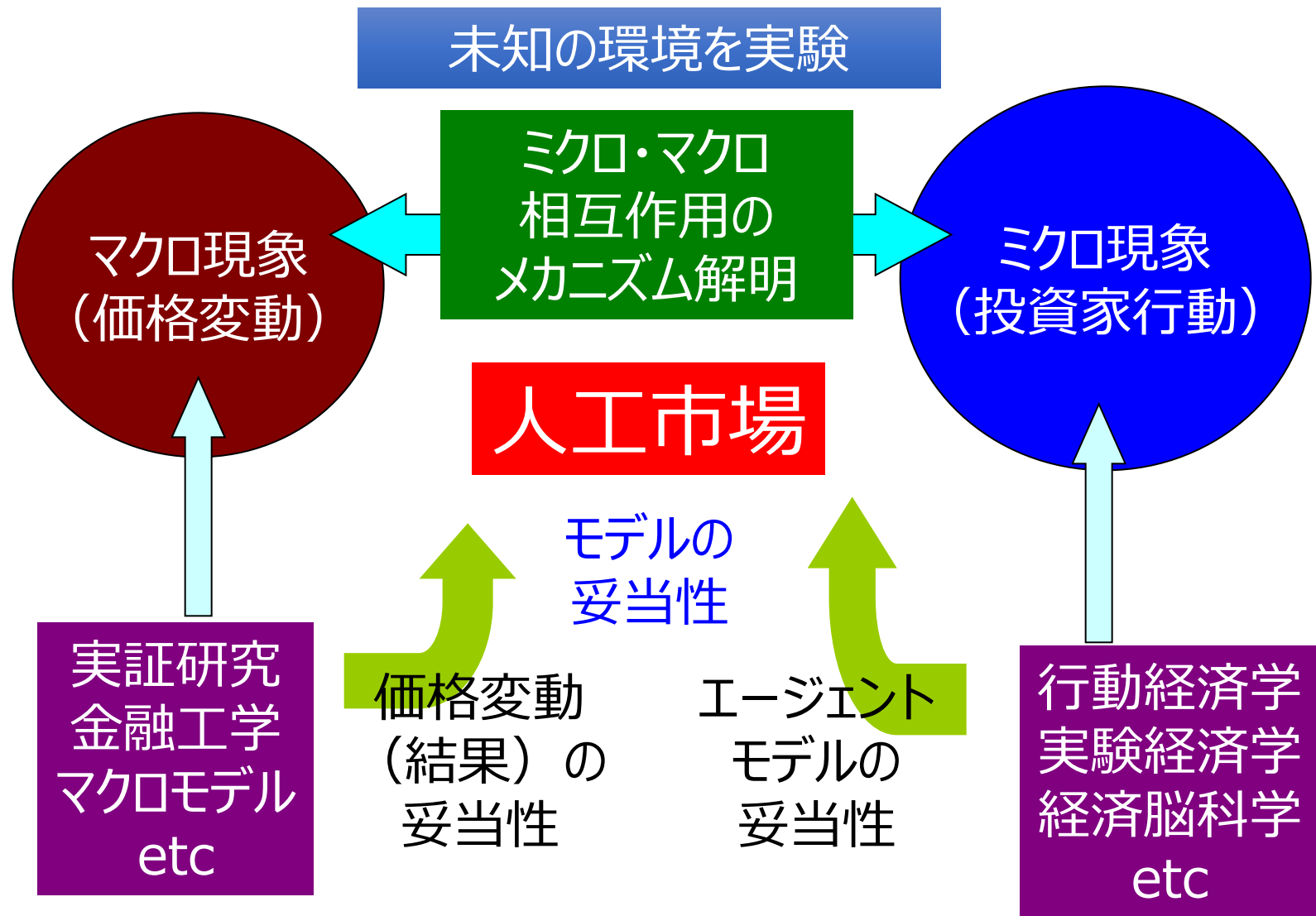
別々に扱う

ミクロプロセス

投資家の振る舞い

精密なモデリング

マクロとミクロの相互作用があるため、マクロ現象とミクロプロセスをそれぞれ調べても複雑系を理解できない。



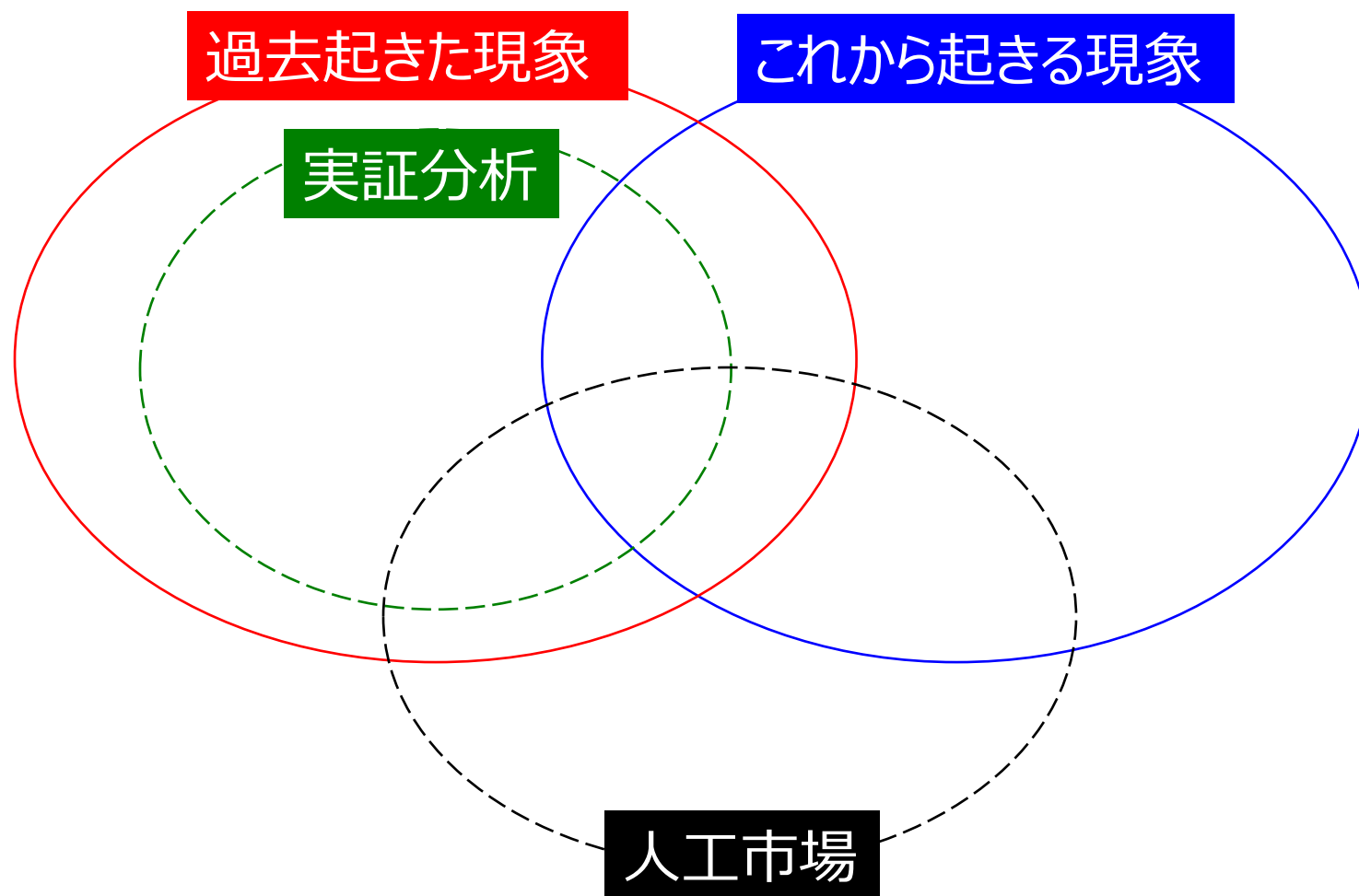


数理モデルを用いた既存の手法と、人工市場には、長所・短所ある
両方を使って、よりよい市場設計、よりよい金融・財政政策、よりよい金融危機への対応を行うべき！！

数理モデル(既存の経済学)

人工市場(エージェント・ベースド・モデル)

複雑系	扱えない	扱える
モデル	きれいで複雑な数式	シンプルな行動モデル
仮定	合理的な投資家、最適化など非現実的	メカニズムの理解に重点を置くため行動を簡素化
精度	複雑系が重要でない範囲内では高い ただし複雑系が重要な危機時は何も説明できない	複雑系が重要な危機時でも本質を説明できる ただし定量的な精度は高くない
正しい使い方	強い仮定のもとに作られたモデルであることを理解し その仮定が成立する範囲内のみで用いる 目的に応じてモデルを使い分ける	過度な現実の再現を目指さずメカニズムの理解に使用し、 あり得る副作用、あり得るメカニズムを議論する 目的に応じてモデルを使い分ける
誤った使い方	全ての経済現象を説明できると誤解して使用 複雑系が重要となる危機時の説明に使用	定量的に高い精度があると誤解して予測に使用 過度な現実との対応付け



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

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

複雑系の勃興時に研究が始まった

恐らく1990年代から行われている

スタイライズドファクトを再現

価格の騰落(リターン)の頻度分布は正規分布をしたおらず、裾が厚い
リターンの2乗の自己相関はゼロではない、ラグが大きくなるとゼロに近づく

Takayasu, H., Miura, H., Hirabayashi, T., and Hamada, K.: Statistical properties of deterministic threshold elements - the case of market price, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Vol. 184, No. 1, pp. 127, 1992

Lux, T. and Marchesi, M.: Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market, *Nature*, Vol. 397, No. February, pp. 498, 1999

実証研究で知られているスタイライズドファクトを再現するための最小限のエージェント(投資家)の特徴は何か？ 追求する

バブルの発生メカニズム

どういうときにバブルが発生するのか？ メカニズム、エージェントの特徴

Izumi, K. and Okatsu, T.: An artificial market analysis of exchange rate dynamics, *Evolutionary Programming V*, pp. 27, 1996

Arthur, W., Durlauf, S., Lane, D., and Program, S. E.: Asset pricing under endogenous expectations in an artificial stock market, *The economy as an evolving complex system II*, pp. 15, Addison-Wesley Reading, MA, 1997

プラットフォームモデル

例えば、

U-Mart: Kita, et al. : Realistic Simulation of Financial Markets, Springer, 2016

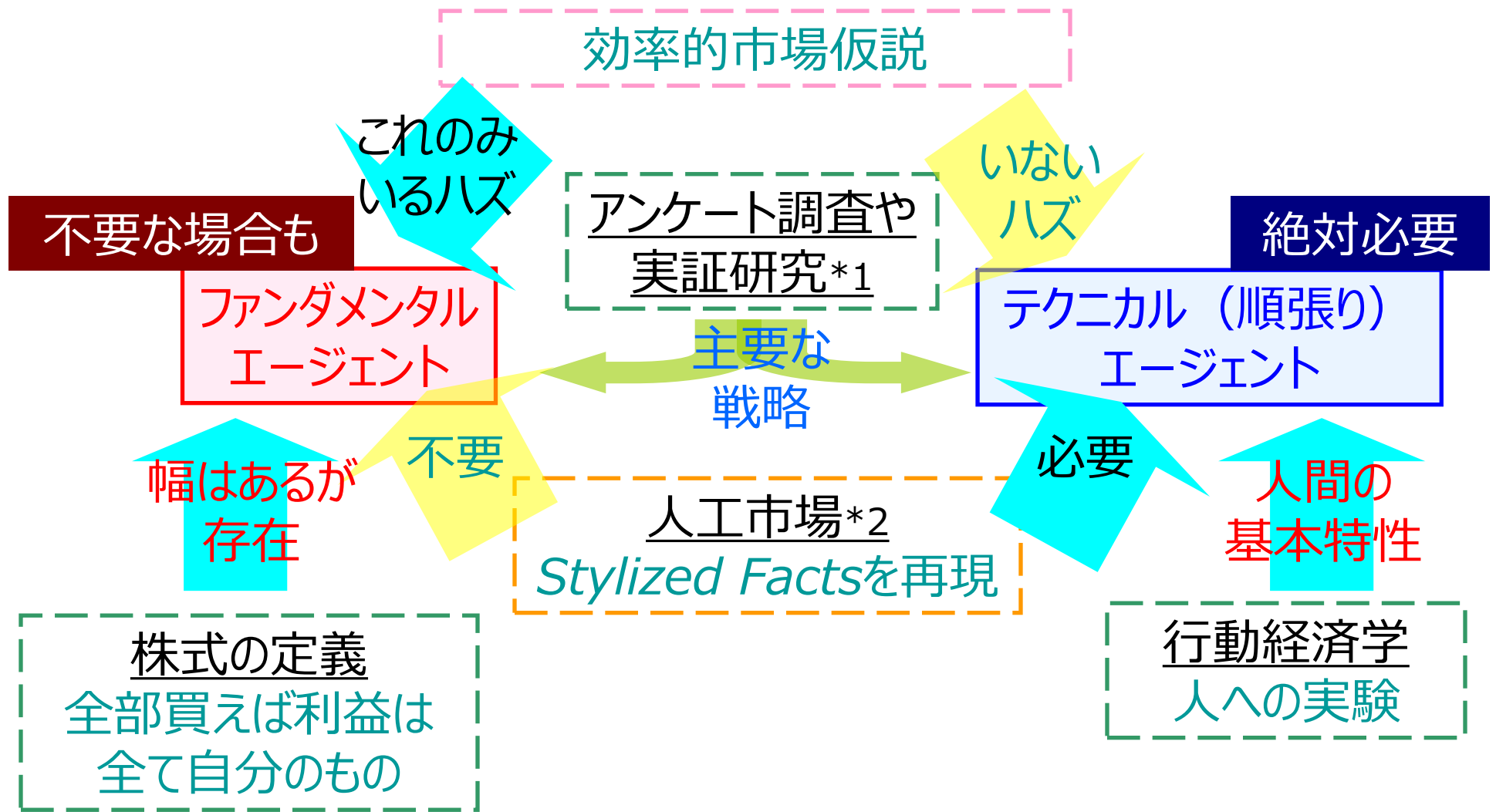
PlhamJ: 和泉研作成 : <https://github.com/plham/plhamJ>

いずれも、効率的市場仮説が否定するテクニカル戦略のエージェントが必要との結論

歴史あるテーマだが、これらは今でも重要なテーマ

いずれも、予測や細かい再現を目的としていない

ファンダメンタル戦略・テクニカル戦略の2つに集約された



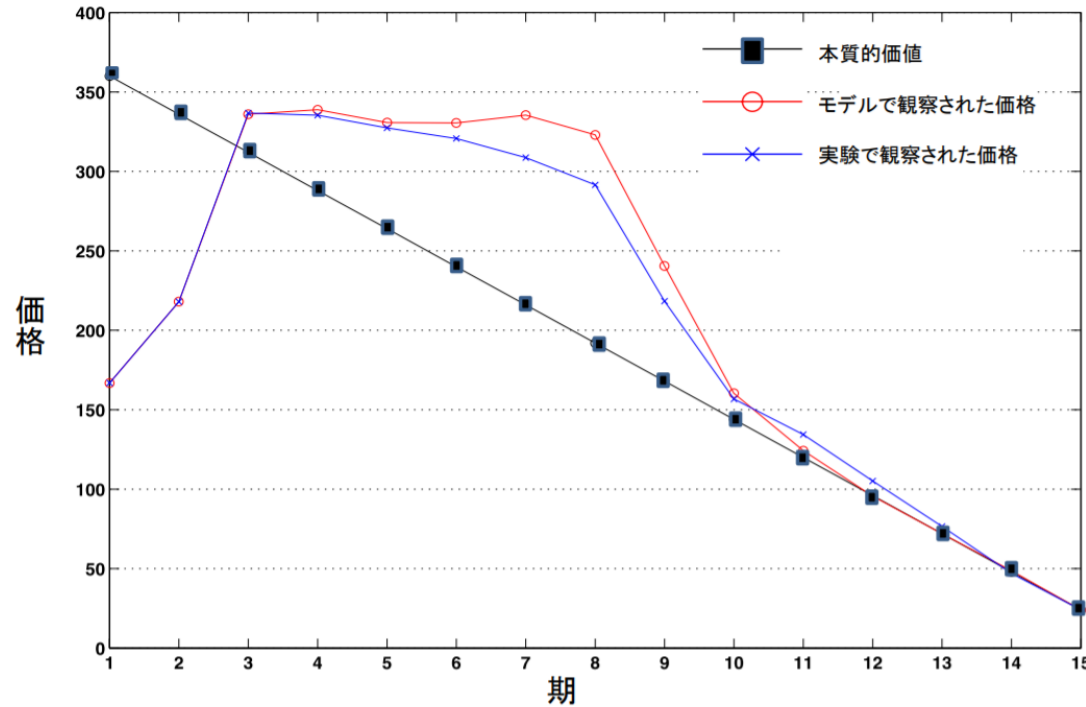
*1 Menkhoff, L. and Taylor, M. P. (2007): The Obstinate Passion of Foreign Exchange Professionals: Technical Analysis, Journal of Economic Literature
Yamamoto, R. (2021): Predictor Choice, Investor Types, and the Price Impact of Trades on the Tokyo Stock Exchange, Computational Economics
*2 Lux, T. and Marchesi, M.(1999) Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market, Nature

被験者を使った実験市場でもエージェントモデルの妥当性が確認されている

実験市場についてよくまとまった本

<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339028164/>

実験結果とモデルシミュレーションの結果の対比



Source: Haruvy and Noussair (2006)
のモデルと実験データを基に作成

被験者を使った実験市場の結果にあうような人工市場シミュレーションを試みた
ファンダメンタル戦略、順張り戦略をモデルに用いて、パラメータ調整すると、
実験市場の結果とよくあった

Haruvy and Noussair (2006): The Effect of Short Selling on Bubbles and Crashes in Experimental Spot Asset Markets

<https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2006.00868.x>



実証研究との一致はいろいろ議論があるものの、、

★金融市場においてどのような状況でも存在

(Sewell 2011) ⇒

値には幅あり

<http://finance.martinsewell.com/stylized-facts/>

(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）

特定の法則が維持される“斉一性原理”(せいいつせい)が、
長い時間スケールであるほど成り立っていない

上記は数少ない常に成立するもの
ただし、定量的には時により差がある

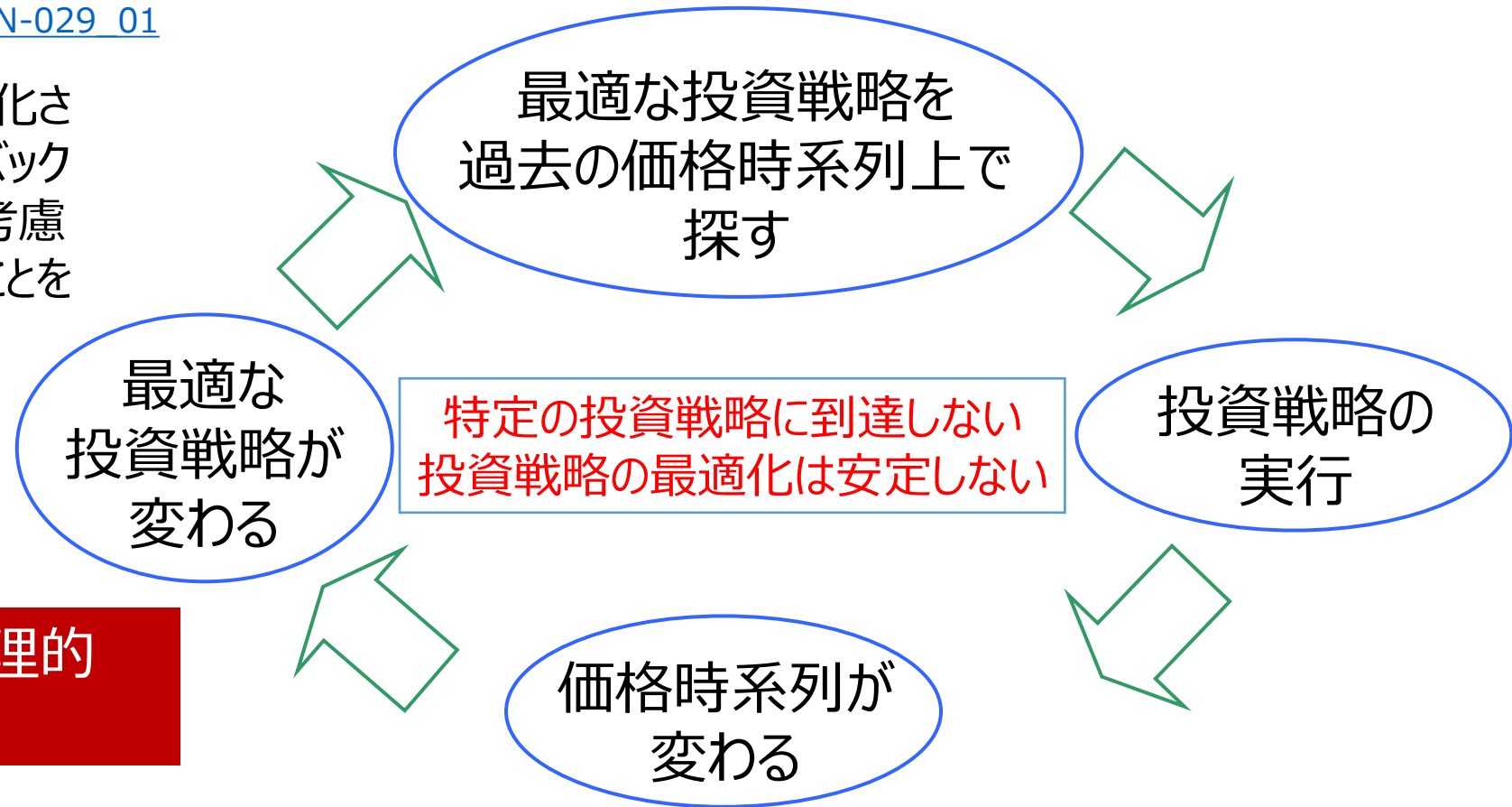
これ以上あわせに行っても意味がない

https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2022.FIN-029_01

投資家自身の売買によって価格を変化させてしまうこと(マーケットインパクト)をバックテストを用いたパラメータ最適化時に考慮できないため、パラメータが定まらないことを議論

→ 自身の売買のインパクトのせいで
自身の最適な戦略が定まらない

金融市場は投資家が全員合理的
だったとしても本質的に不安定



金融市場は本質的に、合理的に投資戦略を選定する場合でも、特定の投資戦略のパラメータには達することができない性質をもっている。そのときは合理的な投資戦略を選択したとしても、その投資戦略が価格時系列を変更し、合理的な投資戦略が変わり、と繰り返されるから。

このような予測不能な動きとなるパラメータに基づいた投資戦略によって生み出された市場価格の時系列が、予測可能であったり規則性が安定的に存在したりするとは考えにくい。規則性の不安定性は、価格時系列を数理モデル化する際の大前提である斉一性原理をも疑わせ、価格時系列の数理モデル化の難しさを示すものであると考えられる。

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

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)



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)が発行

44本中、実に12本が人工市場を用いた研究(2024年末現在)

呼値(後ほど紹介)、高速取引の影響、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

その他にも、空売り規制、値幅制限、ダークプール、信用分散規制、水平株式保有、などが調べられている
(次,次々ページ参照)

予測や細かい再現を目的としていない

これまでにない制度によってどうということが“起こりえるか”を調べる
“あり得る”メカニズムを見つけておく、“あり得る”副作用を見つけておく

私の専門分野
呼値の事例を後ほど紹介

空売り規制と値幅制限

空売りが完全に禁止された場合だけでなく、日本では2013年に廃止になった空売りの際の価格規制も、市場を非効率なものとし、価格を引き上げ、場合によってはバブルを誘発することが分かりました。

ダークプール

ダークプールは市場を安定化させ、マーケットインパクトを低減させる効果をもつことが示唆されました。しかし、ダークプールでの取引が多くなりすぎると、つまり普及しすぎると市場の効率性が著しく低下することを示しました。

暴落後の反発やボラティリティクラスタリングのメカニズムの解明

ファンダメンタルが急激に悪化してその企業の株価が暴落した直後に、反発がよくあることが知られています。これはオーバリアクションのためだと考えられていることもありますが、人工市場で分析すると、投資家の予想株価にばらつきがあり、需給に偏りがあれば、この反発は起こることが分かりました。

高速取引の影響

高速取引の多くはマーケットメイク戦略と言われていますが、このマーケットメイク戦略が存在する取引所と存在しない取引所を人工市場内に用意して取引量の変化を調べました。その結果、この戦略が存在する取引所の取引が増えました。

取引所の高速化

どれくらいレイテンシーが短ければ良いのかを人工市場を用いて調べました。その結果、平均的な注文の到着間隔よりもレイテンシーが短ければ、市場効率性やボラティリティなどに影響を与えないことが分かりました。

バッチオークション

ザラバとバッチオークションのどちらが売買量が多くなるか調べたところ、ザラバの方が売買量が多くなりました。

忍耐強いアクティブ運用の市場効率化への貢献

忍耐強いアクティブ運用はまれに起こる、市場価格が企業価値に即した適正な価格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きのみに多く売買を行い、市場を効率化することに寄与していることが示されました。

水平株式保有

パッシブ運用の増加が企業間競争と市場価格へ与える影響を分析しました。その結果、パッシブ運用の割合がさほど大きくなくても、競争を阻害する可能性を示しました。

見せ玉

板上に平均的に存在する最良気配付近の指値注文数より多くの株数の見せ玉を見せれば、不公正な利益が得られるだけでなく、価格形成に悪影響を与え、株価変動が大きくなり、市場が非効率となることが分かりました。

新しい投資戦略が既存の投資戦略の利益を奪い取るか？

CTA・短期順張りともに、お互いがいたほうが戦略を実行するチャンスが多くなり、むしろ利益を獲得していることが分かりました。

分散投資規制

何らかの理由でファンダメンタル価格が急上昇した銘柄を投資信託が上限近くまで持っていた場合に、時価の上昇で上限を越さないように売る必要が生じ、ファンダメンタル価格への収束を妨げる場合があることを示しました。

レバレッジETF

リバランス取引の市場価格へ与える影響を調べました。その結果、レバレッジETFの規模が大きいほど影響は大きく、通常時のボラティリティよりも大きいマーケットインパクトを与えるまでになると、市場価格への影響が特に顕著になることが分かりました。

流動性への影響

取引量と板の厚さは関係のない指標であり、流動性の量を示す取引量、質を示す板の厚さといった、流動性にもいくつか種類があることが示されました。

取引手数料のメイカー・テイカー制(リベート制)

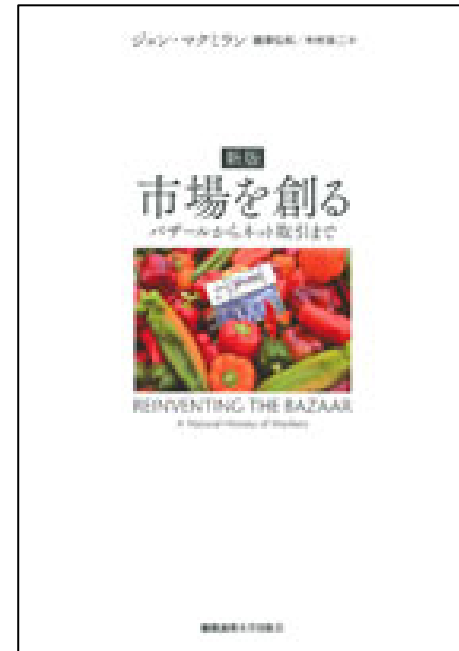
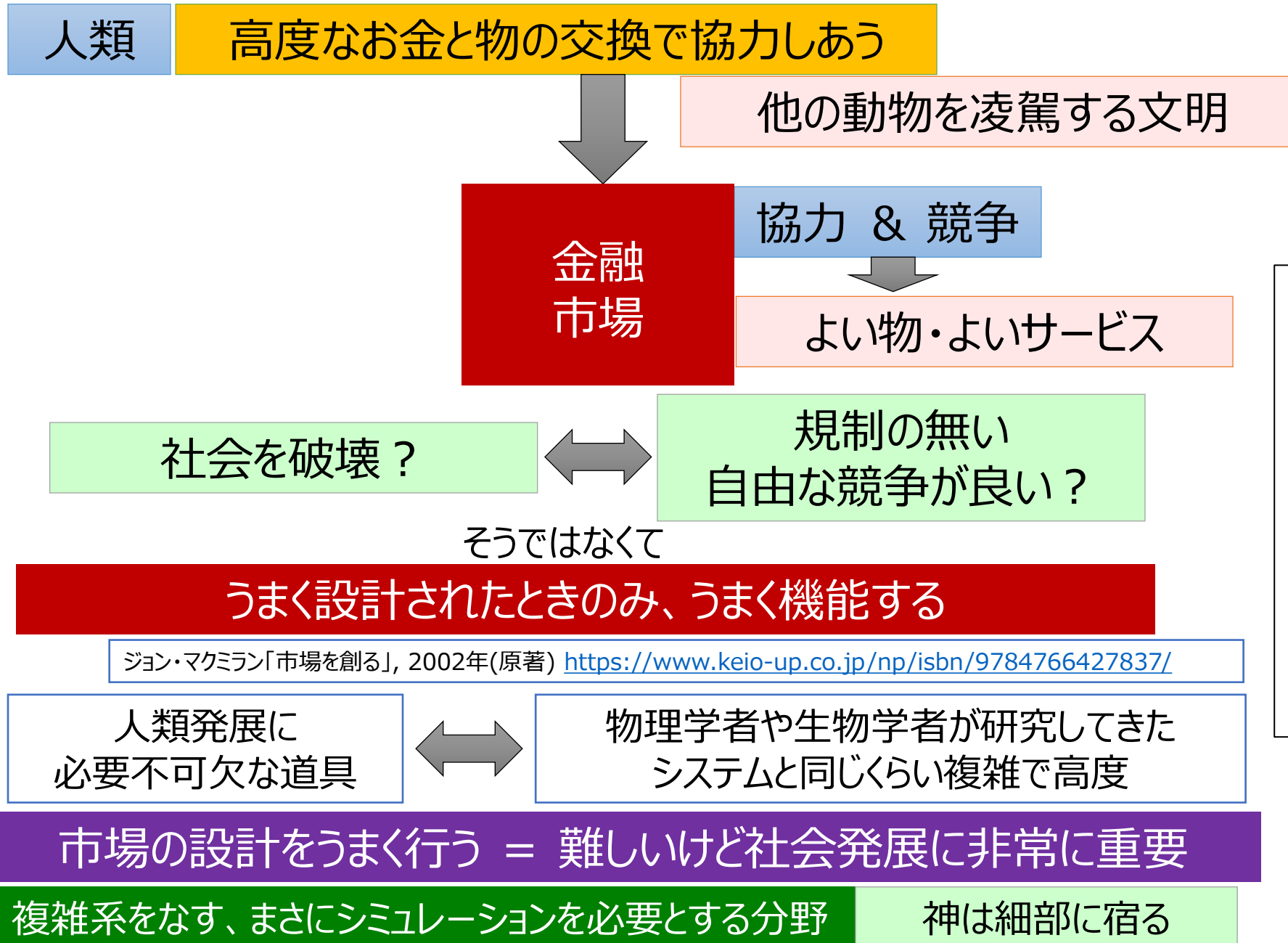
メイカーとなるマーケットメイク戦略が注文する指値の売り買い価格差が、平均的な最良売り・買い気配の差より小さくできるくらいリベートを提供すれば、テイカーの執行コストは低下する一方、それ以下のリベートの場合はかえって執行コストは上昇してしまうことが分かりました。

人工市場研究が示唆したこと

調査対象	文献	
サーキットブレーカー	清水・村永(1999)	サーキットブレーカーを終了させるのは、投資家の予想価格の下落速度が十分に小さくなってからでなければならない
注文付け合わせの即時執行	副島(2001)	価格変動を大きくする恐れ
ネイキッドショートセル呼値	大井(2012) 水田他(2013)	オーバーシュートを防ぐことができる一方、平時は割高に短期のボラティリティより小さい呼値でなければボラティリティを引き上げる
空売り規制	水田(2014)	空売りが完全に禁止された場合だけでなく、価格規制だけでも、市場を非効率なものとし、価格を引き上げ、場合によってはバブルを誘発する
値幅制限	水田(2014)	下落の時間スケールはさまざまなので、複数の時間スケールのものを用意すべき
高速取引	草田他(2015)	高速取引の多くはマーケットメイク戦略であり、この戦略が存在する取引所のほうが取引が多い
取引所の高速化	水田他(2015)	取引所は平均的な注文の到着間隔よりも低遅延(高速)であるべき
ダークプール	水田他(2016)	市場を安定化させ、マーケットインパクトを低減させる効果をもつしかし、普及しすぎると市場の価格発見機能が著しく低下
バッチオークション	水田・和泉(2016)	ザラバよりも取引は少なくなる
取引時間延長	三輪・植田(2016)	延長された時間帯の取引参加者が少ないと市場効率性が低下
レバレッジドETF	八木・水田(2017)	リバランス取引がボラティリティよりも大きいマーケットインパクトを与えると市場を荒らす
アクティブ運用	水田・堀江(2017)	忍耐強いアクティブ運用は市場がさらに非効率になりそうなときのみ多く売買し市場を効率化
水平株式保有	水田(2018)	競合企業をいずれも持つファンドが増えると企業間競争を阻害する
分散投資規制	丸山他(2019)	時価の上昇で上限を越えないように売る必要が生じファンダメンタル価格への収束を妨げる場合がある
流動性の種類	益田他(2019)	取引量と板の厚さは関係のない指標であり、流動性の量を示す取引量、質を示す板の厚さなど、流動性にもいくつか種類がある
取引手数料のリベート制	星野他(2021)	中途半端なリベートはかえって執行コストを上昇させる
値幅制限とサーキットブレーカー	水田・八木(2023)	値幅制限は制限価格付近に指値注文がたまり、反発を防ぐことがある ただし、サーキットブレーカーには取引を焦らせる副作用が報告されているがこれはまだ未調査



金融市場の制度設計の重要性



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

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

神は細部に宿る



(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

定性的な議論のみが延々となされる場合も多く、

- ・ 市場混乱や市場の制度変更の事例が少ない
- ・ 実証研究ではこれまでに導入したことがない規制・制度の分析ができない

当局や取引市場が新しい規制・制度を策定するときの議論は、
仮説検証型の分析に基づかない定性的な議論のみが延々となされる場合が多く、
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

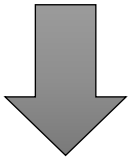
仮説検証型の議論されてこなかった

人工市場が必要

うまくない設計

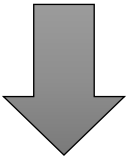
レバレッジ10倍
(借金して元手の10倍の株を買う)の
個人投資家の取引

Borowiecki et al.,2022 <https://doi.org/10.1111/ehr.13213>



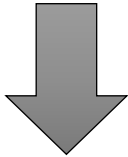
遠因・根本原因

1929年 世界大恐慌



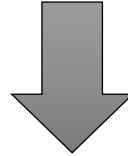
遠因・根本原因

1939年 第二次世界大戦



もし禁止していたら？

？ ？ ？ ？



もし恐慌がもっと弱かったら

？ ？ ？ ？ ？

神は細部に宿る

金融の失敗は実社会に大きな影響を与える
金融危機は、財政危機、実経済の危機などよりも深刻
金融市場のうまい設計こそが世界を救うという気持ちで研究してます

世界を救うかもしれない金融市場のうまい設計：値幅制限

うまくない設計？

ヨーロッパのA銀行
信用不安が広がる

現実：値幅制限(ストップ安)なし

よく分からないので
とりあえず売却
30%超の下落

政府より救済の用意あるとアナウンス

もう売っちゃったし
買い戻すほどでもない

株価下落による信用不安の拡散

もし値幅制限(ストップ安)があれば

売りたくても売れない
10%程度下落で済む

ならば売らないという判断
何事もなく信用不安が回復

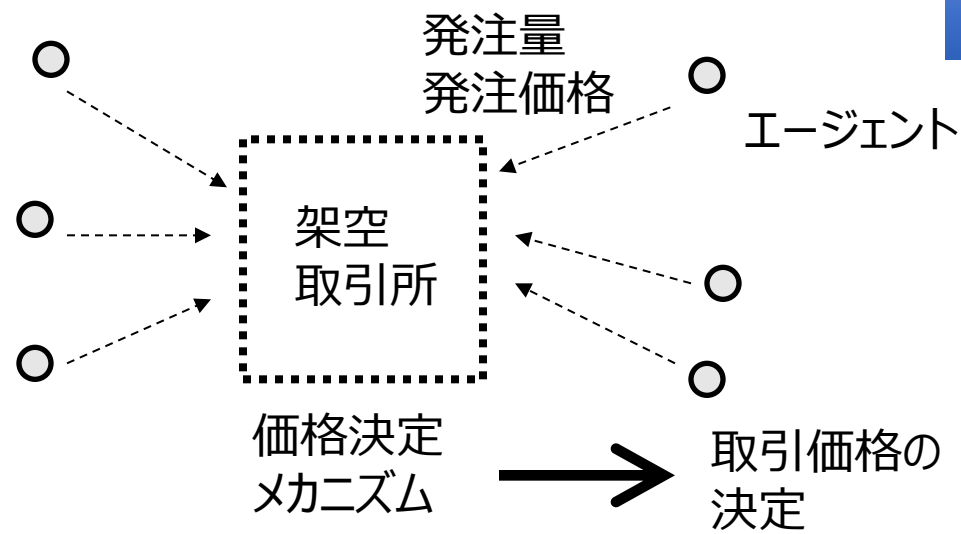
神は細部に宿る

金融危機の始まりを防げるかもしれない

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

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

注文生成AI (Generative AI for orders, Synthetic Data for AI in Finance)

世界的な銀行大手 JP Morganがスポンサーの国際学術会議 <https://icaif25.org/>
ACM International Conference on AI in Finance(ICAIF) で多く発表されていた(2020-2023)

2022年からは"Synthetic Data for AI in Finance"というワークショップも
<https://sites.google.com/view/icaif-synthetic/home>

World Agent : データの学習を行い現実的な注文データを生成
Experimental Agent : 実験したい投資戦略をのせる
この2体だけ : Experimentalがどのような成績になるか実験する

アルゴリズム取引の戦略評価に使おうとしている
短い時間スケール(秒以下)なら注文状況(板の状況)に再現性ある

↑ 人間の手で行えないので機械化されている時間スケール

- ・ 高速取引 : 高速であることを生かして利益を狙う(高速化のため戦略は単純化)
- ・ 執行アルゴリズム取引 : 手の内を知られないように注文を自動的に小口に分ける

現在の注文環境であり得そうな注文を生成する

→ 全く経験のない環境は不得 → 制度設計には向かない

→ 投資家種別ごとの相互作用によるメカニズムなどは分析できない

良くも悪くもエージェントに全く前提を置かず
大量のデータから現実的な注文を推定して生成

まだまだ実用化までは遠い感じも進歩は速い(速かった?)

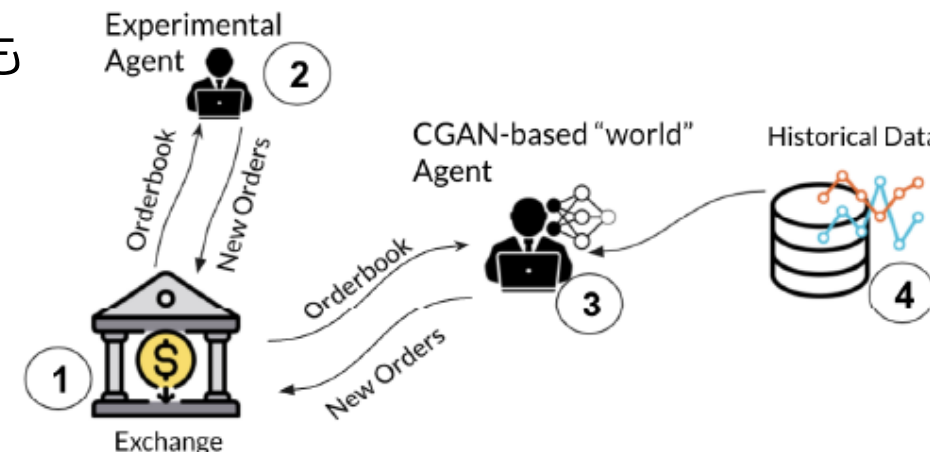


Figure 2: CGAN-Based Simulation Framework.

Coletta 2021 <https://doi.org/10.1145/3490354.3494411>

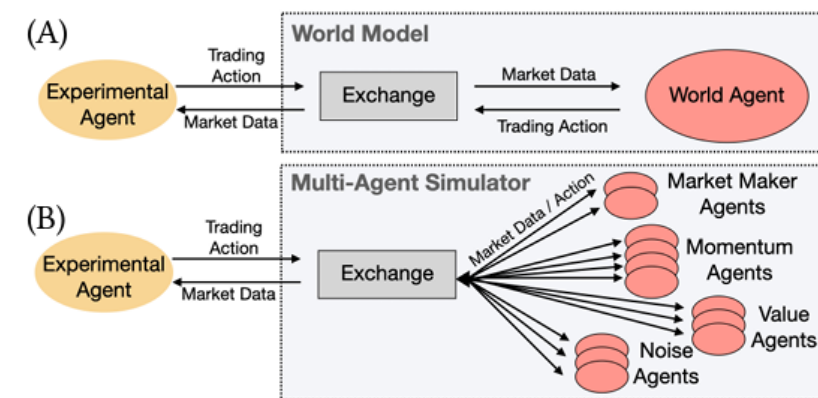


Figure 1: World Model (A) vs Multi-Agent (B) Simulator.

Coletta 2022 <https://doi.org/10.1145/3533271.3561753>

執行アルゴリズム(大口の注文を自動的に小分けにして発注)のシミュレーション：灰色の部分買い注文を出した領域

指値注文もインパクトがあることを示唆！ 見せ玉の分析できそう！

Coletta 2023 <https://doi.org/10.1145/3604237.3626854>

金融における合成(生成)データのレビュー論文

Potluru et al. 2023 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.00081>

モデルの比較、コードの公表：試したり比べたり

Berti et al. 2025 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.07071>
<https://github.com/LeonardoBerti00/DeepMarket>

Nagy et al. 2025 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2502.09172>
https://github.com/peernagy/lob_bench

見せ玉をAIトレーダーにさせないための実装を検討

Byrd 2020 <https://doi.org/10.1145/3533271.3561767>

流動性ごとに見せ玉がどれくらい有効であるかを検討
流動性が低い方が見せ玉は有効

Gu, et al. 2024 <https://doi.org/10.1145/3677052.3698634>

文章の生成AIを使う

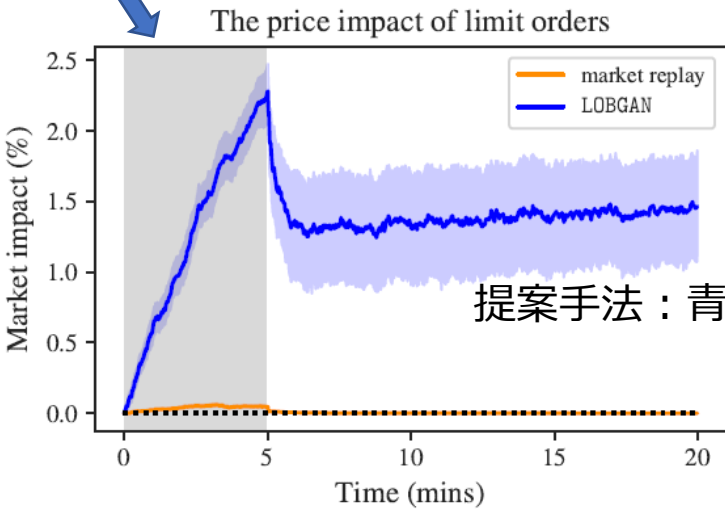
高橋友則, 水野貴之 2025
https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2025.0_1H4OS8b04

マーケットインパクトモデルを組み合わせる実用的に

Vytelingum et al., 2025 <https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.15296>

執行アルゴ(買い)
発動期間

指値注文の場合



TRADES: Generating Realistic Marke

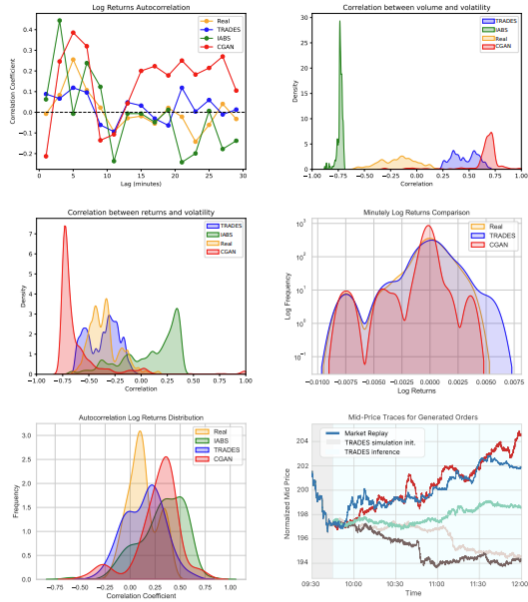


Figure 3: Stylized facts on Tesla 29/01. (1) Log returns autocorrelation. (2) The correlation between volume and volatility, and (3) between returns and volatility. (4) Comparison of the minute Log Returns distribution and (5) autocorrelation. (6) Mid-price traces of five different TRADES simulations.

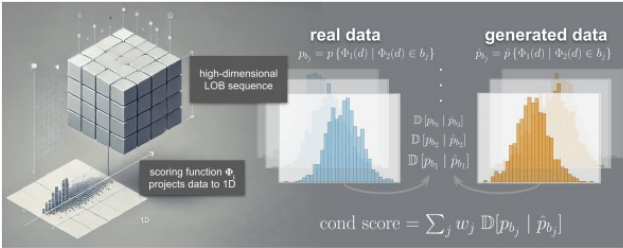


Figure 1: Schematic of LOB-Bench methodology for conditional distributional evaluation

相場操縦と見せ玉：これら不正取引を取り締まる意義

相場操縦(manipulation)とは？

- ・インサイダー取引に並ぶ、不正取引の1つ
- ・本来の株価から不正に吊り上げて高い価格で売りつける(またはその逆)など
- ・直接の売買利益が目的でない場合もある
- ・昔からある手法であるが、現代は不公正取引として刑法(金融商品取引法)で禁止されている
← 禁止しないと適正な価格での取引ではなく、ただのだましあいになってしまう(実際そうだった)

欲望と幻想の市場 - 伝説の投機王リバモア

<https://www.tradersshop.com/bin/showprod?c=9784492061114>

見せ玉(spoofing)とは？

- ・相場操縦には、風説の流布、偽装売買、見せ玉などさまざまな手法がある
- ・見せ玉は、需給を誤解させ、相場操縦することを意図して出される、取引するつもりのない大量の指値注文(待機注文)のこと
- ・特に取り締まりが難しい手法(後述)
高速取引やAIの普及で余計に難しくなっている

水田孝信(2025), 高速取引 株式市場にAIがもたらすマーケット・インパクト

<https://www.kodansha.co.jp/book/products/0000417886>

東京証券取引所のホームページにあがっている例

① 見せ玉の発注

売		株価 (円)	買	
うちAの発注	売数量		買数量	うちAの発注
	31	508		
	23	507		
	19	506		
10	14	505		
	12	504		
	16	503		
	11	502		
	8	501		
	5	500		
		499	109	100
		498	112	100
		497	110	100
		496	115	100
		495	18	
		494	23	
		493	34	
		492	40	

約定させる意思のない買注文を発注し買い優勢に見せかける。

少しでも保有株を高く売りたい

100
100
100
100

② 第三者の発注による株価上昇と保有株売却

売		株価 (円)	買	
うちAの発注	売数量		買数量	うちAの発注
	31	508		
	23	507		
	19	506		
10⇒0	14⇒0	505	15⇒1	
	12⇒0	504	14⇒2	
	16⇒0	503	19⇒3	
	11⇒0	502	13⇒2	
	8⇒0	501	18⇒10	
	5⇒0	500	23⇒18	
		499	109	100
		498	112	100
		497	110	100
		496	115	100
		495	18	
		494	23	
		493	34	
		492	40	

株価が上昇するものと誤解した第三者の発注により株価が上昇

高値での保有株売却に成功

③ 見せ玉の取消し

売		株価 (円)	買	
うちAの発注	売数量		買数量	うちAの発注
	31	508		
	23	507		
	19	506		
		505	1	
		504	2	
		503	3	
		502	2	
		501	10	
		500	18	
		499	109⇒9	100
		498	112⇒12	100
		497	110⇒10	100
		496	115⇒15	100
		495	18	
		494	23	
		493	34	
		492	40	

不要となった買注文を取消し

100
100
100
100

<https://www.jpx.co.jp/regulation/preventing/manipulation/index.html>

金融庁に実際の違反事例が多数解説されている：

例) Quadeye Trading LLCによる高速取引に係る偽計に対する課徴金納付命令の勧告について
https://www.fsa.go.jp/sesc/news/c_2024/2024/20240326-2.html

見せ玉で捕まった人に関する記事：

相場操縦で解雇の元野村国債トレーダー、SNS投稿で潔白を主張
<https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2025-07-01/SYCL6IT0AFB400>

何が問題になっていて、何を解決すべきなのか？

問題点

- ・ 相場操縦の“意図”があったのか？ 価格を動かす“効果”はあったのか？ などあいまいな議論が伴う
← 取り締まる側の人に見せ玉とは何か聞きに行ったら逆に「定量的に定義できませんか？」と聞かれた
- ・ 人間は意図しておらず、AIが“学習の結果”見せ玉などを行った場合、AIに相場操縦の“意図”があったか問うことはできるのか？
- ・ 意図以前の問題として“効果”があったのかどうかそもそも分からない

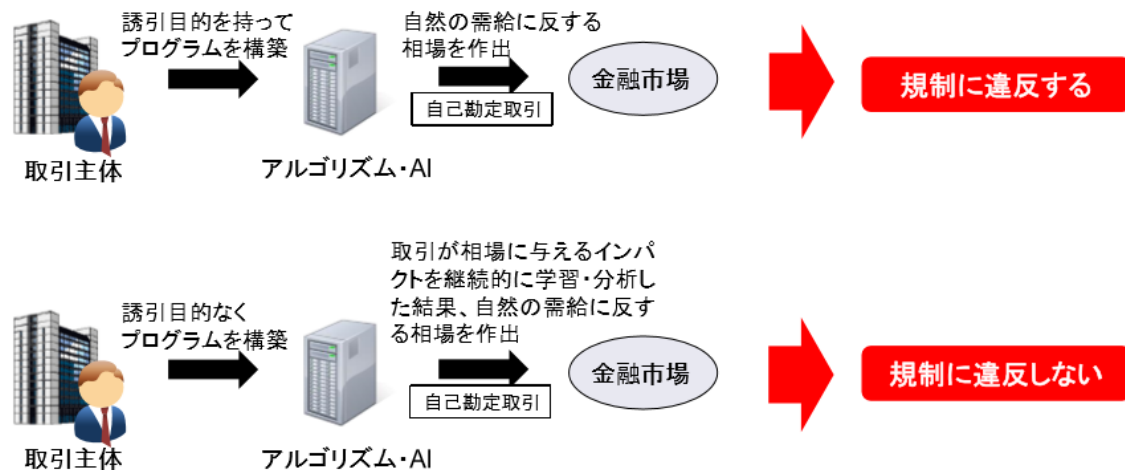
解決すべきこと

- (1) 実データを学習し次の注文を予想する「注文生成AI」を人工市場に投入し、実際の注文状況からスタートし、議論となっている見せ玉疑いの注文がある場合とない場合を比較してその注文の効果を測定し、見せ玉かどうかを議論
- (2) 人工市場を使って、一般に、AIトレーダーにどのような制限を課せば見せ玉として効果のある注文をださなくなるか調べる

AIが勝手に相場操縦をしたら法的責任は？

6. アルゴリズム・AIの利用と相場操縦規制

(2) アルゴリズム・AI利用時の問題：誘引目的の欠如



- 取引が相場に与えるインパクトを継続的に学習・分析するアルゴリズム・AIを利用するような場合、自然の需給に反する相場を作出する取引が行われたとしても、取引主体には誘引目的がないことが考えられる。
- 人間であれば誘引目的が推認されるような取引態様であっても、アルゴリズム・AIには誘引目的がないために規制対象とならないとすると、市場の公正性が害されないか？

12

第4回金融資本市場のあり方に関する産官学フォーラム (2019/2/22)基調報告(3)

<http://www.pp.u-tokyo.ac.jp/CMPP/forum/2019-02-22/>

日本銀行金融研究所「アルゴリズム・AIの利用を巡る法律問題研究会」報告書 (2018/9/11)

https://www.boj.or.jp/about/release_2018/rel180911a.htm

水田孝信 「人工知能が不公正取引を行ったら誰の責任か？」, 2020 スパークス・アセット・マネジメント

<https://www.sparx.co.jp/report/special/3071.html>

AIトレーダーが相場操縦を勝手に行うことを指摘(人工市場)

水田孝信, 2020 <https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2020.FIN-025> 82

世界的に法学界隈で議論されている

Azzutti et al., 2021, Machine Learning, Market Manipulation and Collusion on Capital Markets: Why the 'Black Box' matters
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3788872>

Ullah et al., 2021, A Brief Review of Responsible AI and Socially Responsible Investment in Financial and Stock Trading
<https://doi.org/10.36227/techrxiv.15093762>

日原拓哉 2023, AIの利活用における刑法上の諸問題：利用者と製造者の刑事責任を中心に
<https://doi.org/10.34382/00018588>

Filippo 2023, Artificial Intelligence and Market Abuse Legislation
A European Perspective <https://doi.org/10.4337/9781035310722>

Dellagiacoma 2025, Negoziazione algoritmica, intelligenza artificiale e market abuse oltre l'high frequency trading: i profili di rilevanza penale
<https://hdl.handle.net/11565/4074064>

(おまけ：ダークプールなどの議論)

Salger 2020, Dark Trading: Shedding Light on Us and Eu Regulation of the Securities Markets' Dark Sector <https://hdl.handle.net/11565/4074064>

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

投資家だけでなく、企業、銀行、中央銀行、政府、労働市場など、さまざまな市場をモデル化し、結合することで、財政政策、金融政策、経済・金融危機などの分析を行うことを目標

大きな期待！！

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>

ECB総裁講演でも取り上げられる

ヨーロッパ中央銀行(ECB)総裁だったトリシェが効率的市場仮説に基づく金融理論が、金融危機中の政策決定に関してほとんど役に立たなかったと述べ、エージェントシミュレーション(広い意味で人工市場)などが金融政策に貢献することを期待していると述べた講演

<https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2010/html/sp101118.en.html>

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

標準的な経済学を否定し、
人工市場を絶賛

金融危機は人工市場でしか扱えない！
という勢いだが、ちょっと言いすぎ

リチャード・ブックスターバー
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。

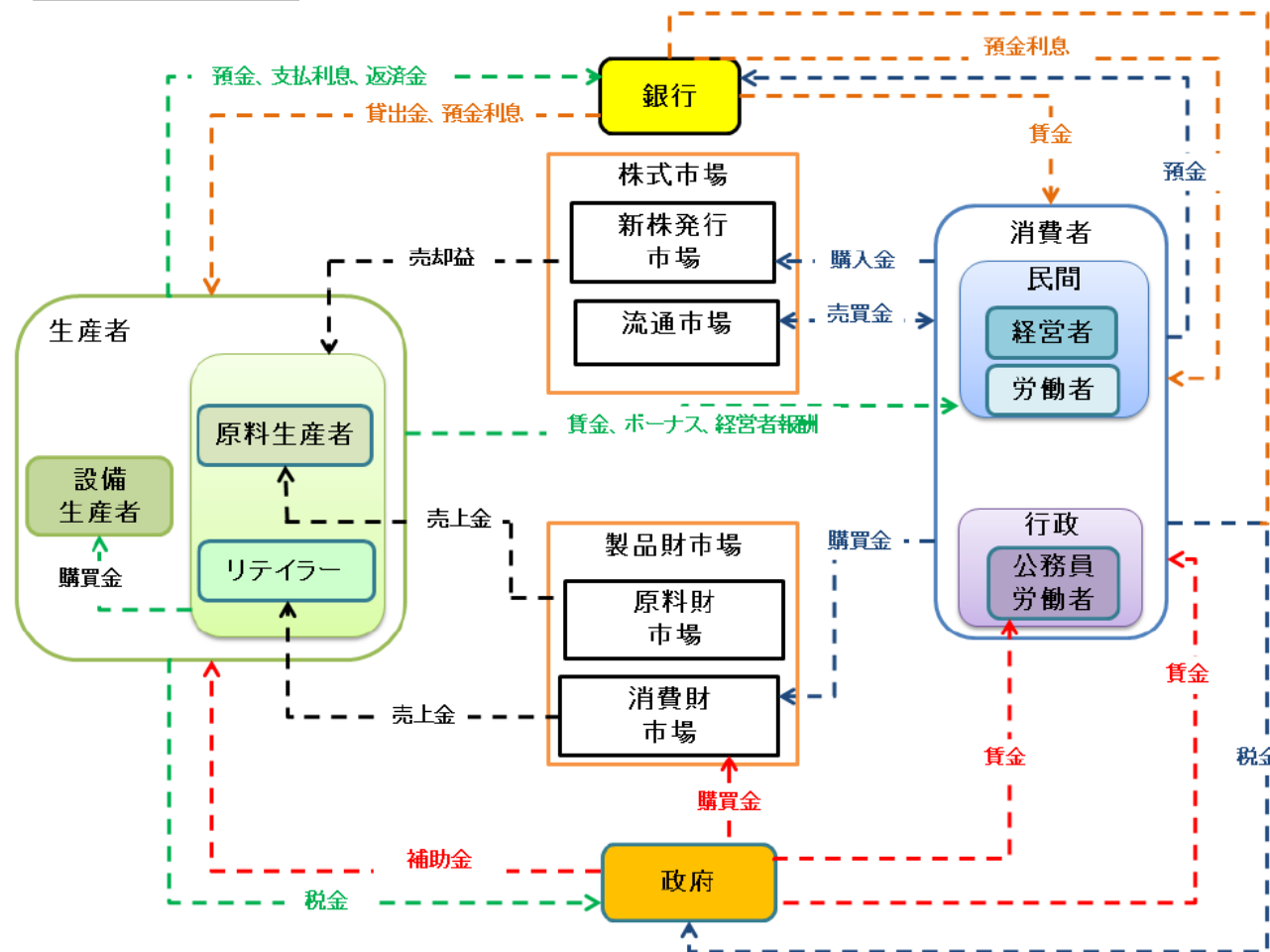


まだまだ研究者が少ない

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>

前述までの金融市場だけのモデルに比べ需要はさらに大きいものの、困難も大きい
モデルの規模が大きくなり、実務家が試したいことを試せるようになるまでの道のりが、さらに長い

モデルの例



財政政策や金融政策、金融危機のメカニズムなどを議論するため、社会経済全体をモデル化した人工市場、人工社会、マクロ経済シミュレーターとも

例えば、この研究は、政府や企業、銀行などの各経済主体の財務諸表の動きを簿記の仕訳から実装

これらの研究の発展により、金融政策がシミュレーション結果を参考にしながら決められたり、国政選挙では各政党が財政政策のシミュレーション結果を出し合って論争をしたりする日は近いかもしれない

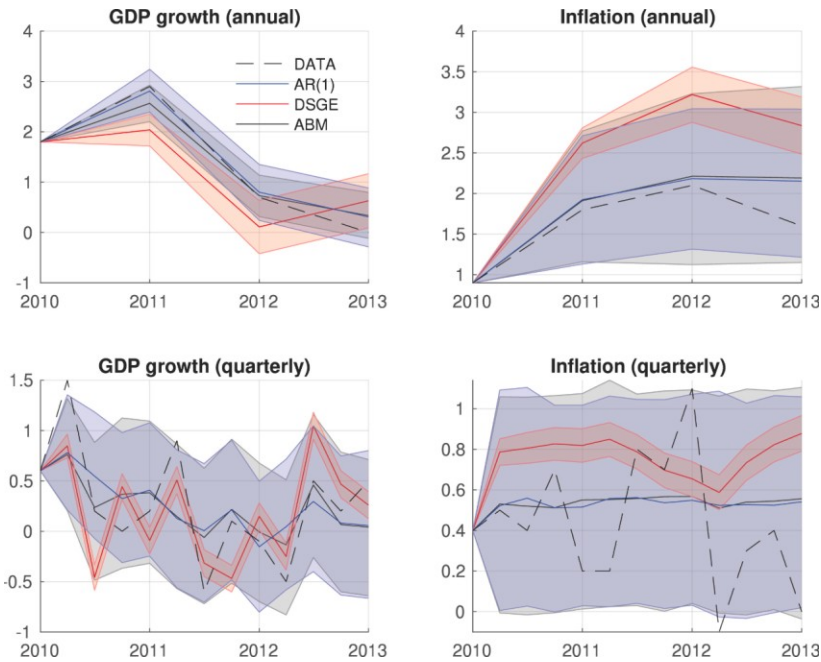
高島幸成、“ABMによるマクロ経済基本挙動再現の為のモデル構造に関する研究”、博士論文、千葉工業大学大学院社会システム科学研究科、2013

<http://id.nii.ac.jp/1196/00000044/>

Kosei Takashima, Isao Yagi, “Model Building and Description Using the Agent-based Computational Economics Framework for Accounting”, Journal of Information Processing, Elsevier, 2024, <https://doi.org/10.2197/ipsjjip.32.10>

Ogibayashi, “Model Structure of Agent-Based Artificial Economic System Responsible for Reproducing Fundamental Economic Behavior of Goods Market”, Springer Nature, 2022, https://doi.org/10.1007/978-981-19-0937-5_4

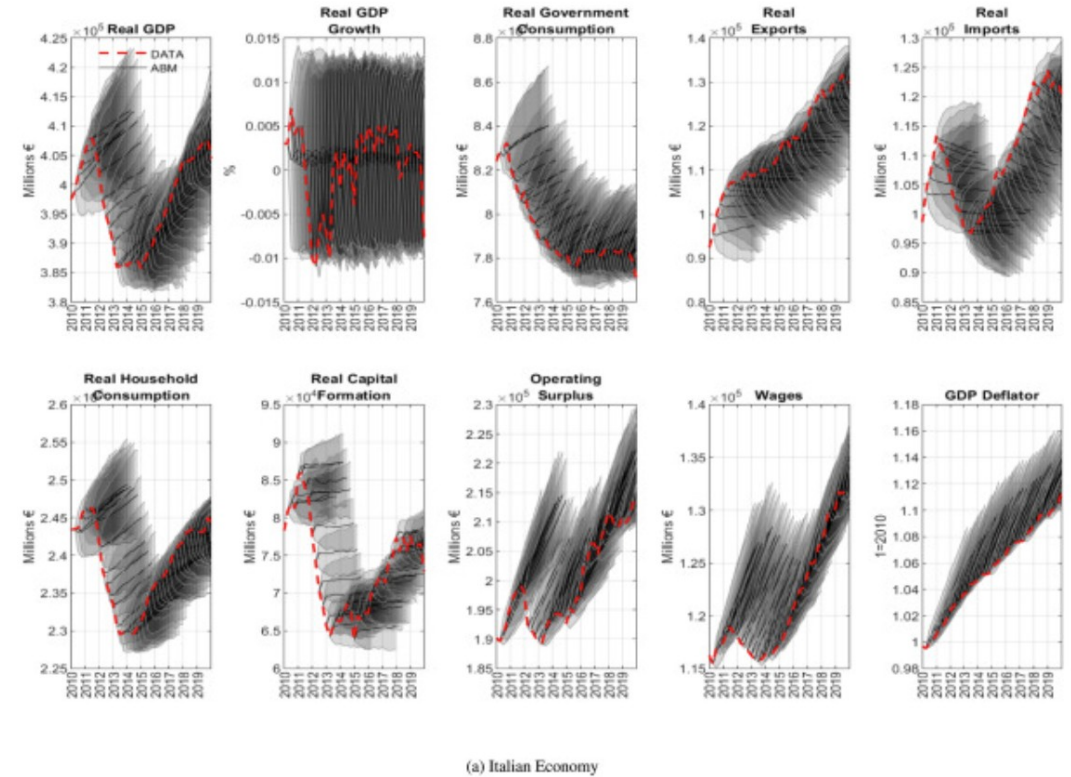
モデルの例2



マクロ経済学で使われる数理モデル、
DSGEモデルとの比較を行っている
ある程度完成度のある大規模モデル

モデルの例3

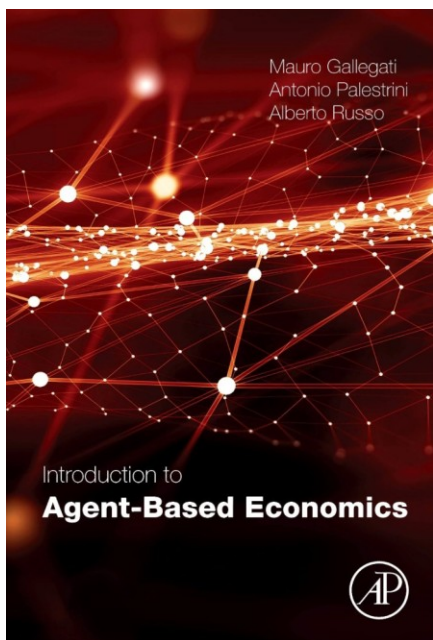
Jacopo Di Domenico et al., "Scaling and forecasting in a data-driven agent-based model: Applications to the Italian macroeconomy", Economic Modelling, Elsevier, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2025.107046>



将来予測にこだわったマクロ経済人工市場
イタリアのマクロ経済を当てられたか？

Sebastian Poledna et al., "Economic forecasting with an agent-based model", European Economic Review, Elsevier, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2022.104306>

この分野の包括的なレビュー文献

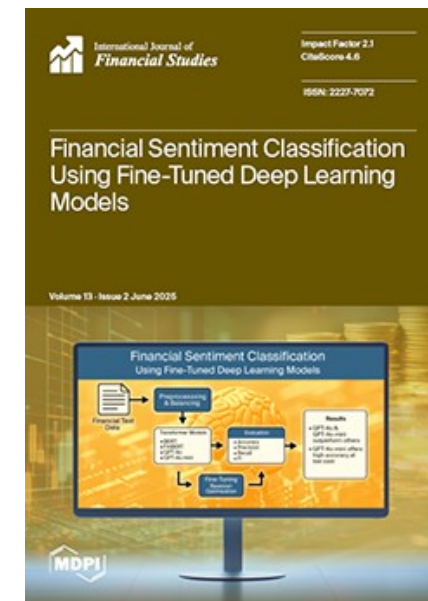


Gallegati et al., “Introduction to Agent-Based Economics”, Academic Press, 2017, <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00736-5>



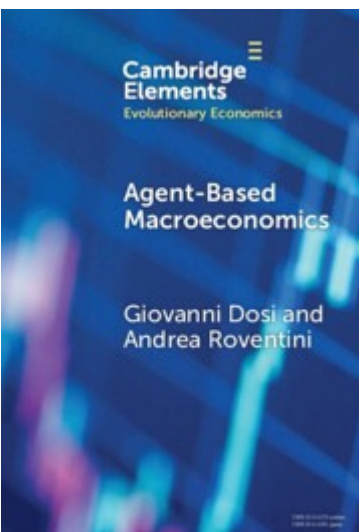
Axtell and Farmer, “Agent-Based Modeling in Economics and Finance: Past, Present, and Future”, Journal of Economic Literature, 2025, <https://doi.org/10.1257/jel.20221319>

経済学や経済物理の文献も引いている



計量的な文献分析

Ionescu et al., “Exploring Complexity: A Bibliometric Analysis of Agent-Based Modeling in Finance and Banking”, Int. J. Financial Stud. 2025, <https://doi.org/10.3390/ijfs13020065>



シュンペーターの「内生的イノベーションプロセス」とケインズの「需要創出メカニズム」を統合

Dosi and Roventini, “Agent-based Macroeconomics The Schumpeter Meeting Keynes Models”, Cambridge University Press, 2025, <https://doi.org/10.1017/9781009414173>

人工市場・人工経済

- ・メカニズムの解明
特に複雑系の中でまれに起こる急激な現象
- ・人類が行ったことがない政策やルールの検証
コロンブスのたまご的な発見
調査すべき項目自体の発見



・現実世界の予測は苦手

金融危機は全く同じものは起きないが
本質的には似たようなメカニズムを内包していることが多い
→ 予想の自己成就など

エージェントのパラメータ調整に機械学習が使われる場合がある

機械学習を用いたマクロモデル

- ・高い予測精度



- ・ブラックボックス化しがち
- ・メカニズム解明は苦手
- ・まれに起こる急激な現象の予測は難しい

塩野剛志「深層学習とマクロ経済理論(DSGE)の連携」

AI・ビッグデータ経済モデル研究会 第7回

<https://www.jcer.or.jp/policy-proposals/20210624-2.html>

両方を同時に追求するのは無理

目的に応じてモデルは使い分けるべき ⇔ 最高の、統一的な、ベースとしての、モデルはダメ
シェリングモデルは現実ではありえないモデルだが、政治学に多大な貢献

金融市場の制度設計(左)と自動取引の実験場(右)も同じ関係

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

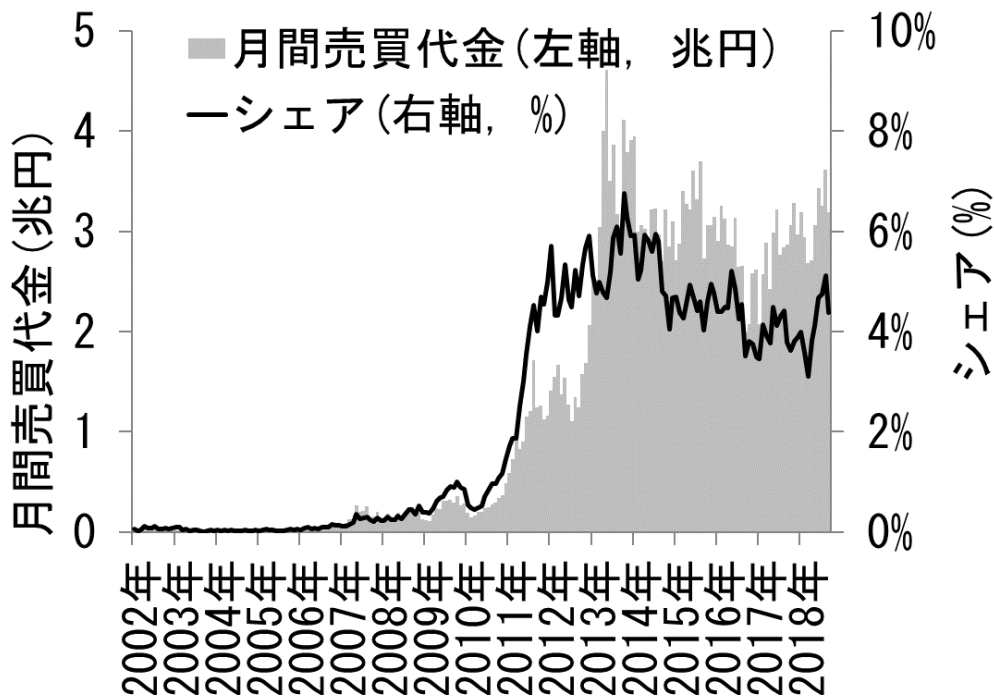
(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

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、Cboeジャパン、大阪デジタルエクスチェンジ

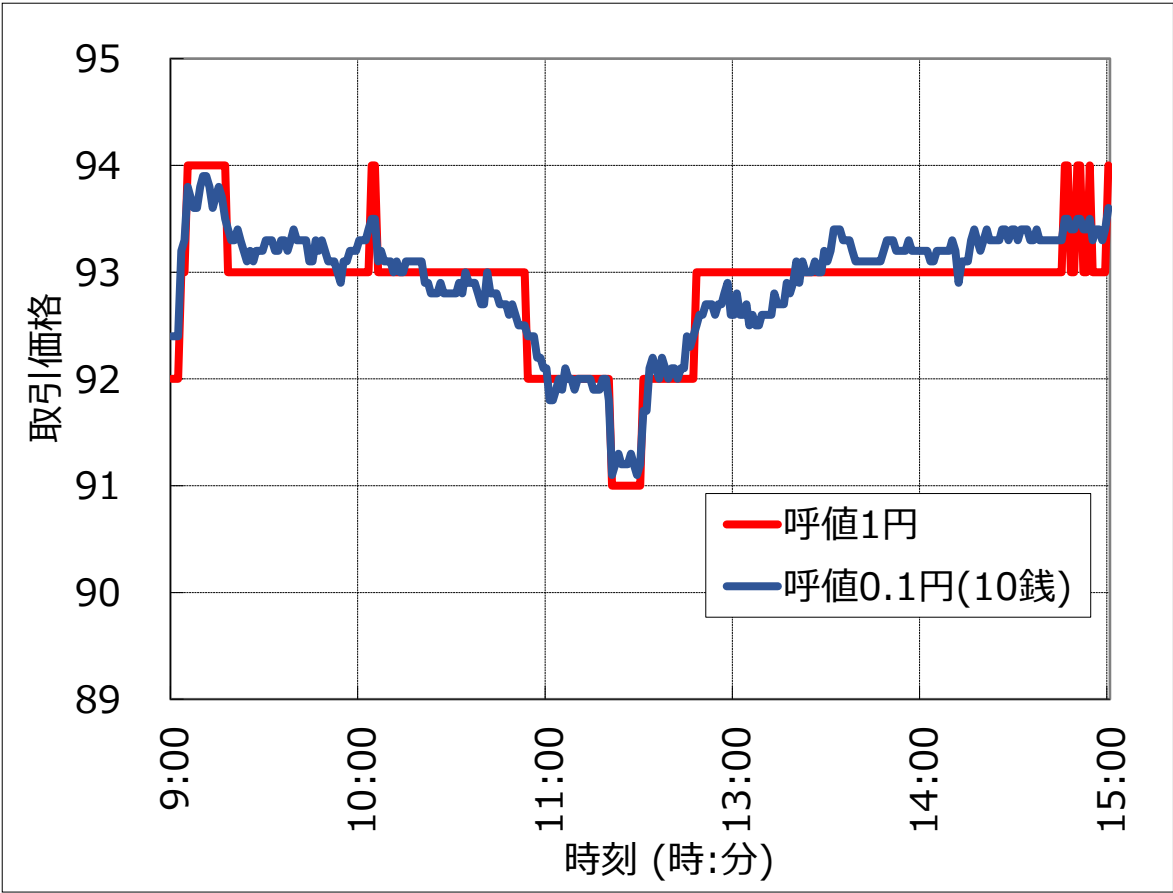
→ 東証の経営にとっても無視できない売買代金シェア

↑ 東証もPTSも売買代金に比例した手数料が主な売上



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, 2020/9
<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339028225/>

2011年ころからPTSがシェアを奪ってきた



呼値が大きすぎると騰落率が比較的大きい
⇒ 投資家が困る ⇒ 他の取引所で取引 ⇒ 取引量シェアが移る

PTSとの競争は“呼値”が重要な要素の1つ

呼値縮小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(SIG-FIN)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：呼値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 ごく一部の銘柄で呼値を拡大



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 -		

59

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 (ザラバ)

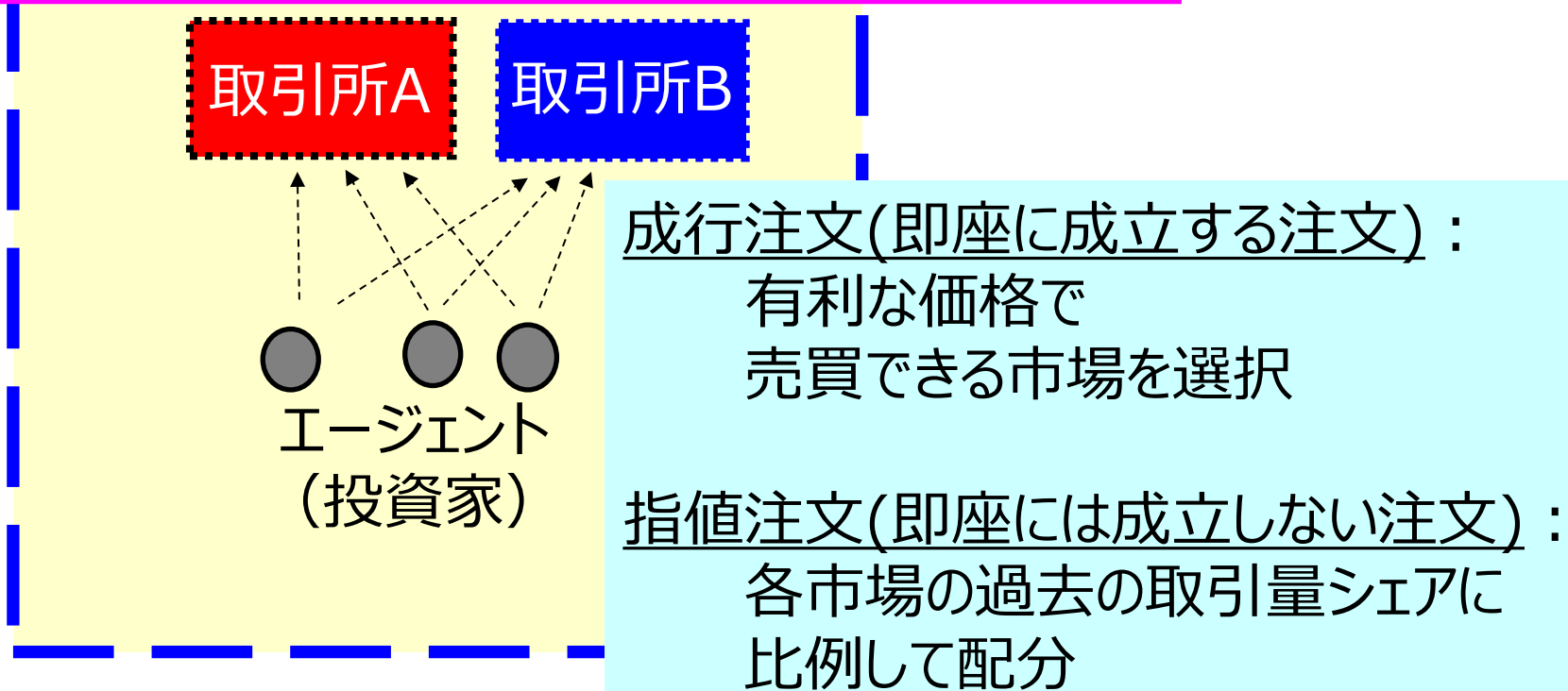
売り 注文数量	注文 価格	買い 注文数量
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	
ここに売り注文を入れると 即座に売買成立	98	150
	97	
	96	70

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)

呼値のみ異なる取引所 A、B で
どのように出来高シェアが移り変わるかを分析



取引所 A : 初期の取引量シェア 90%、呼値大きい
取引所 B : 初期の取引量シェア 10%、呼値小さい

どちらの取引所に注文をだすか？

取引所 A			取引所 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：取引所 B ← 99.1円で即座に買えるため
- (3) 100円の買い：取引所 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

エージェント

1000体

[Chiarella2002]を発展
↑ ザラバかつstylized factを再現する中で
可能な限りシンプルなエージェントモデル

統計的性質を再現するために
最小限必要な項

テクニカル(順張り)

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

予想リターン

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 $0\sim 1000$

ファンダメンタル

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

取引価格帯を定めるために
便宜上加えた項

ノイズ

ε_j^t

正規乱数
平均0
 $\sigma=3\%$

エージェントの多様性確保と
シミュレーションの安定性のため

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

ノーマルエージェントのファンダメンタル戦略とテクニカル戦略

ファンダメンタル戦略

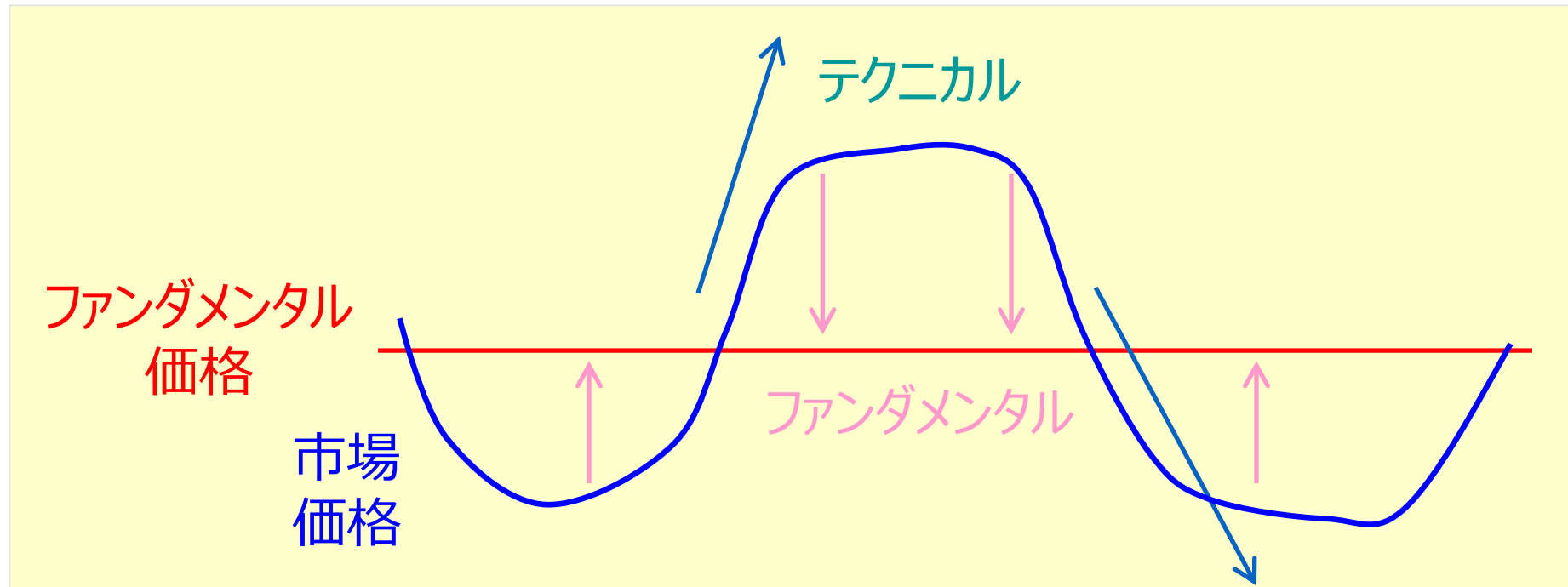
ファンダメンタル価格 $>$ 市場価格 $\Rightarrow$ 上がると予想

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

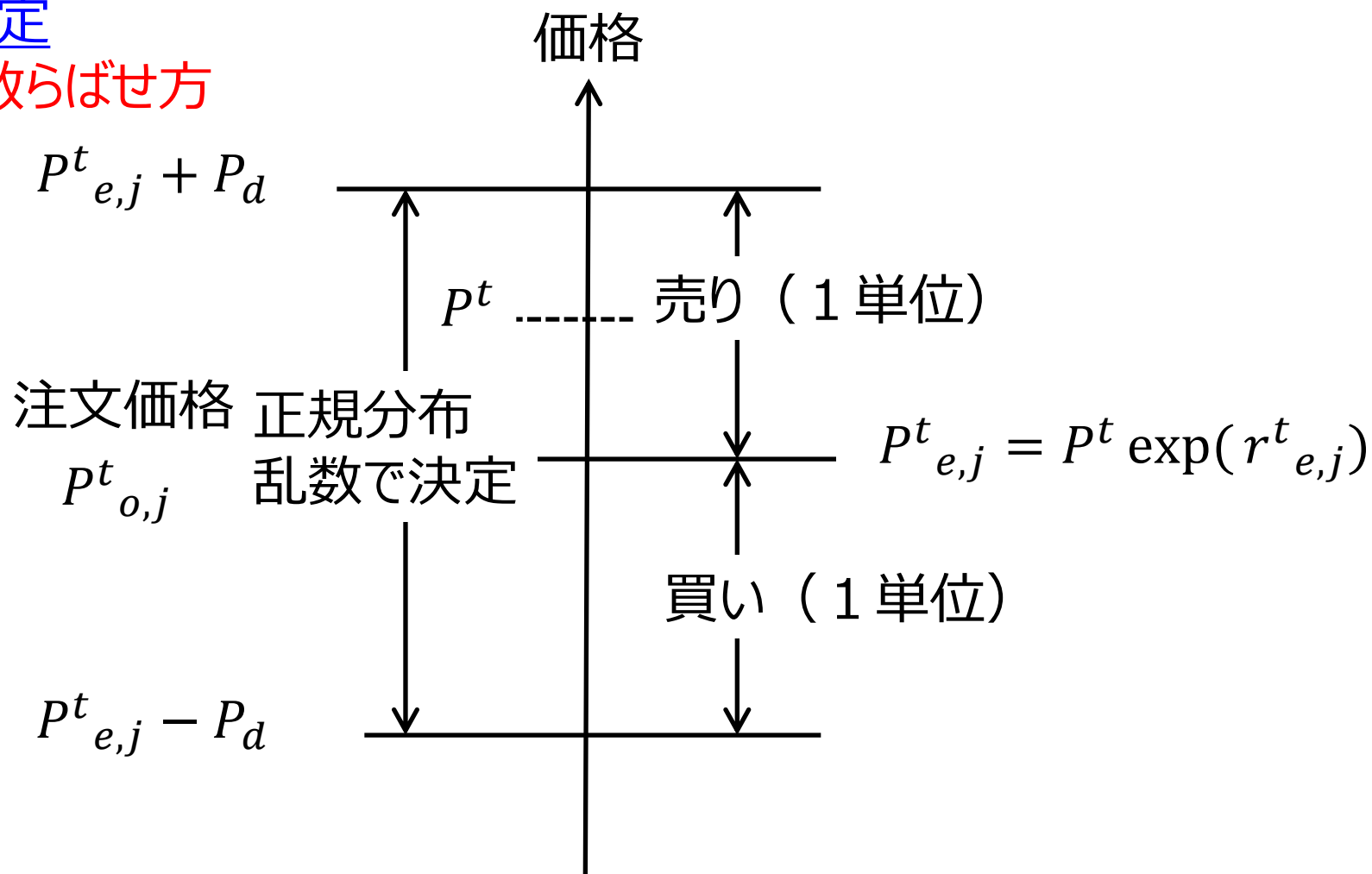
過去リターン $> 0 \Rightarrow$ 上がると予想

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

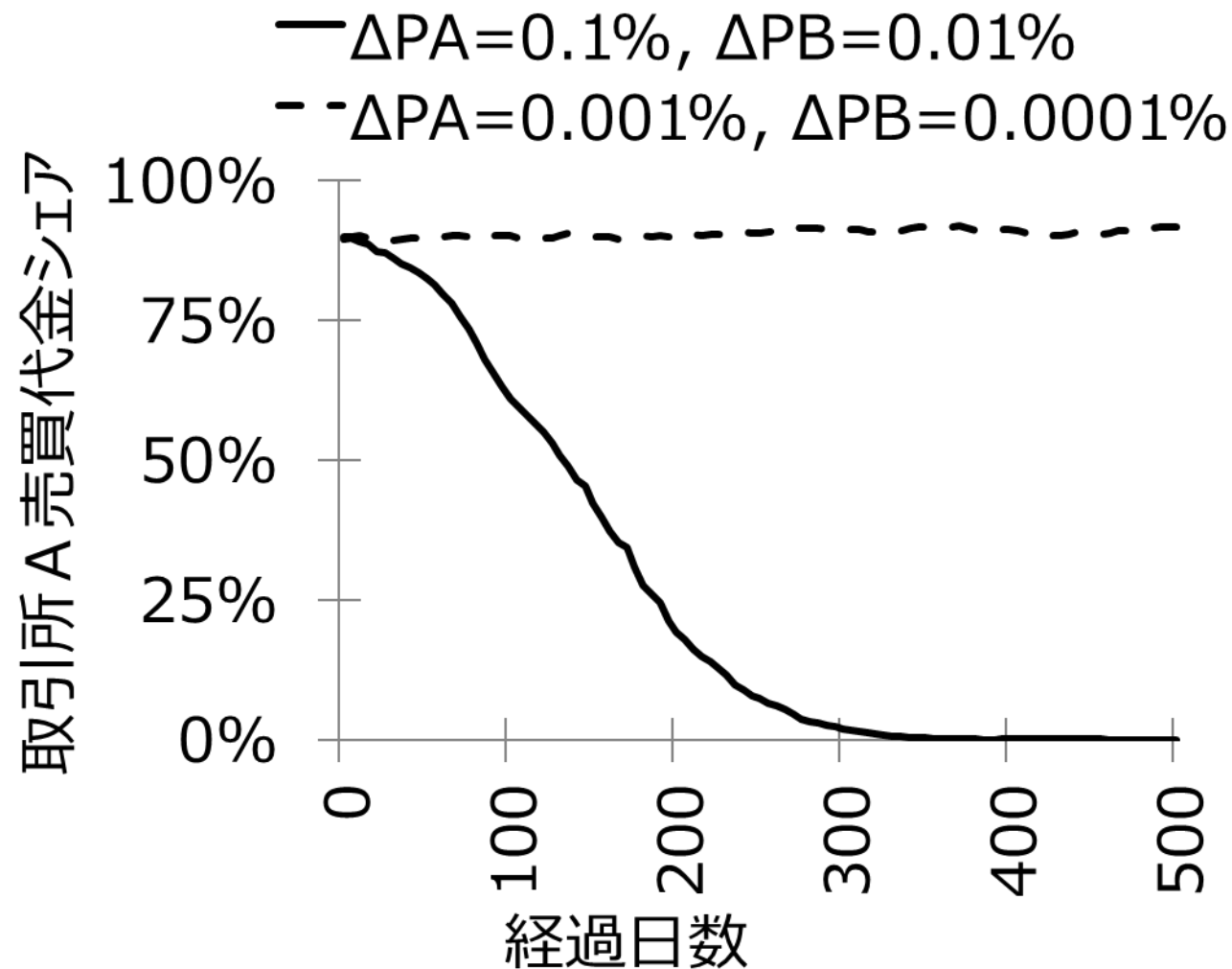


実際のザラバの注文状況を再現するため

⇒ 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

呼値に差がある時：通常の絶対水準の場合と、小さすぎる場合



呼値に差があるとシェアが移り変わる

横軸は 2 年間 $\Leftrightarrow$ 米国で起きた時間スケールに近い

ただし、呼値の絶対水準が小さいと、呼値に差があってもシェアを奪えない

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

500営業日後の取引所Aの取引量シェア

取引所A 500営業日後シェア		取引所B 呼値 ΔPB										
		0.0001%	0.0002%	0.0005%	0.001%	0.002%	0.005%	0.01%	0.02%	0.05%	0.1%	0.2%
取引所A 呼値 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

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

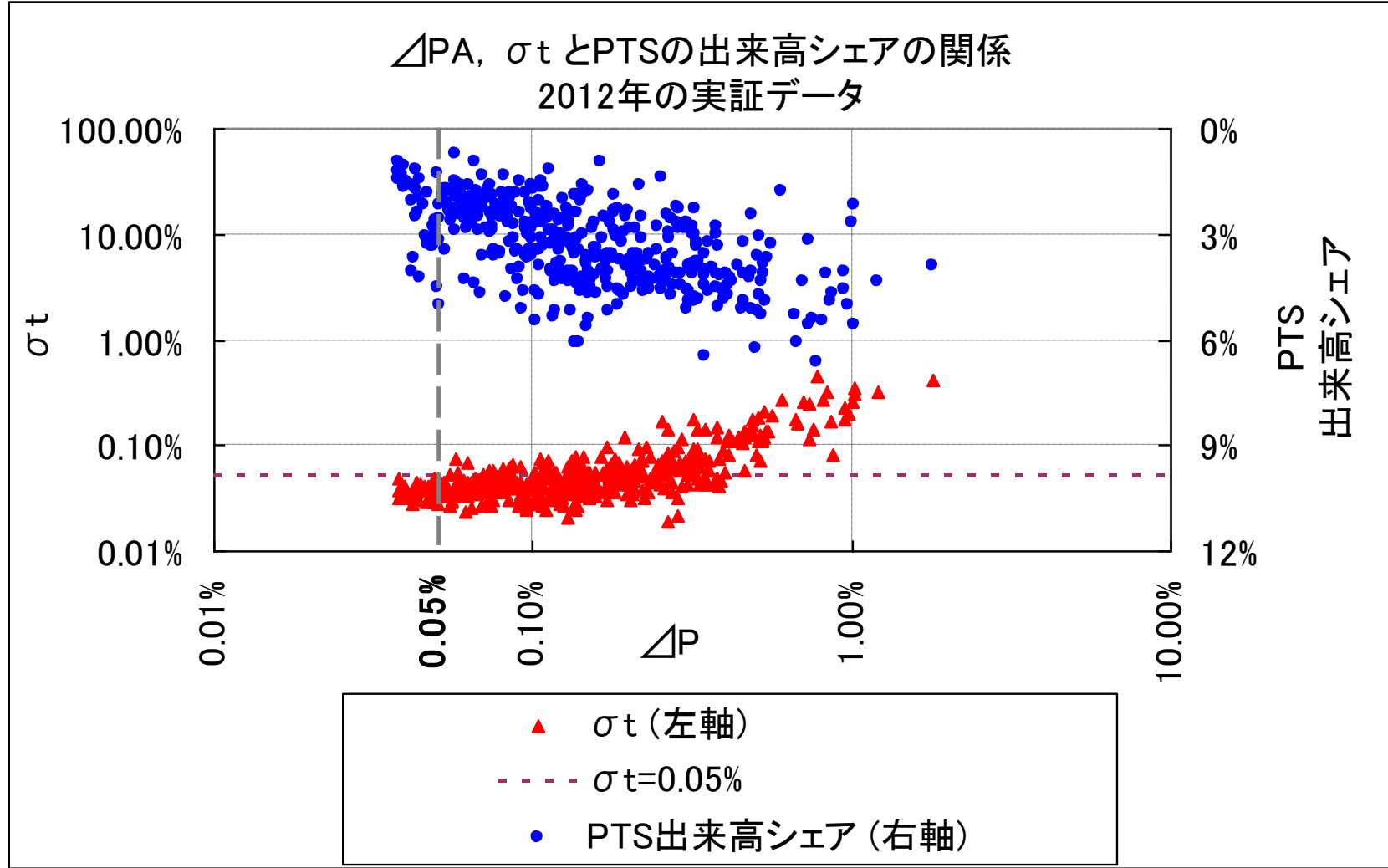
or

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

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

騰落率の標準偏差：ボラティリティ

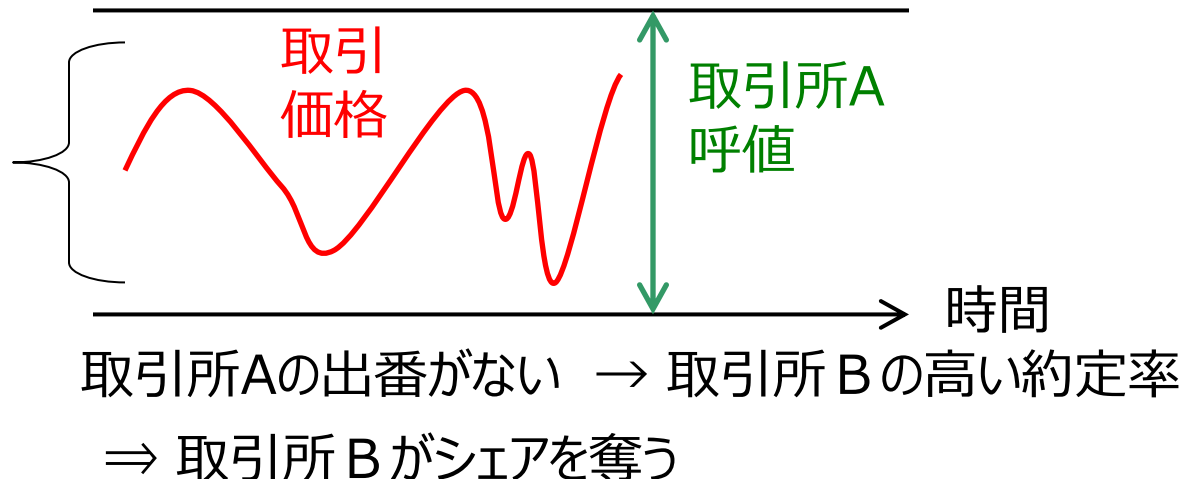
キーパラメーター



呼値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

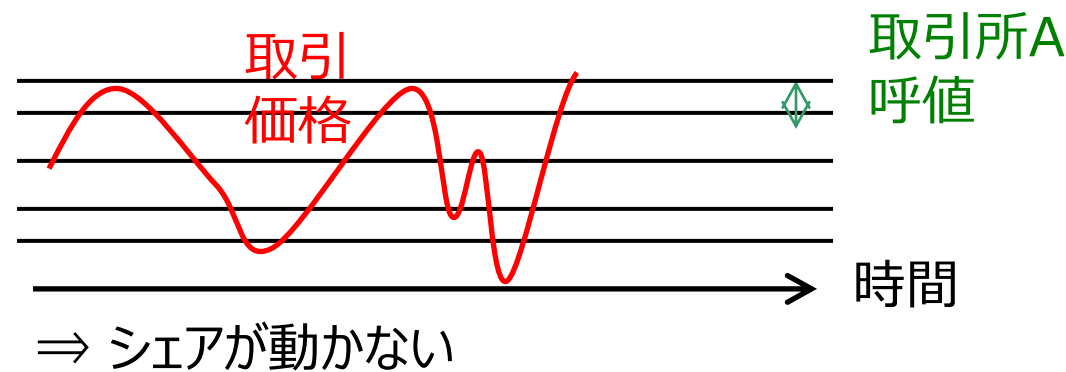
$$\bar{\sigma}_t < \Delta P_A$$

取引場A
で取引でき
ない領域



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

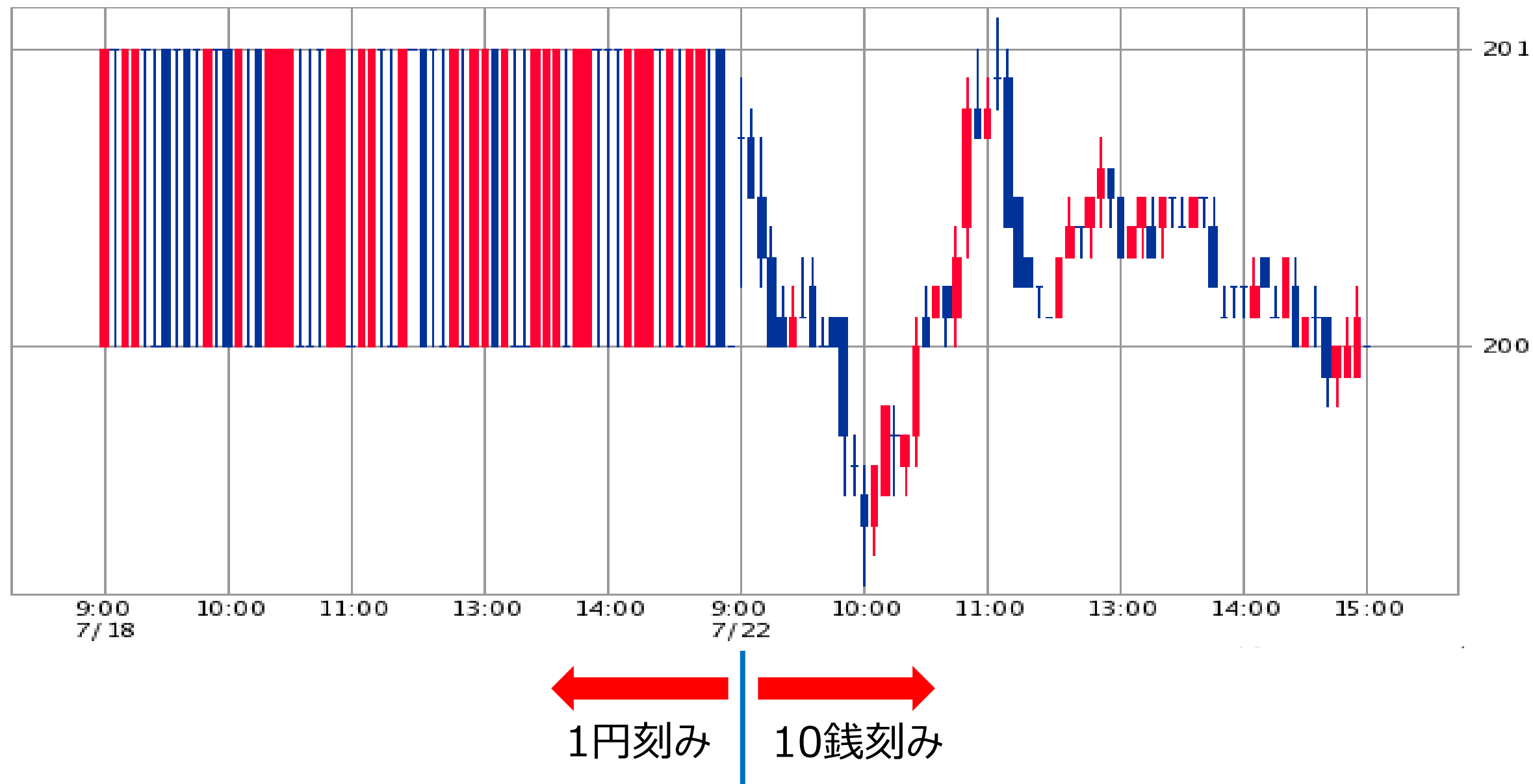
取引所B
の必要性
が薄い



現実の金融市場制度への示唆

- ・ 呼値が大きいとまだとPTSに売買代金シェアを奪われる、その期間は2年程度
- ・ あまりにも小さい呼値の競争は意味がない可能性
- ・ 呼値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)

2014年7月22日と18日（前営業日）



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、
整合的な結果が得られた

- ← 呼値の比ではなく差がシェアの
移る速さを決める
- ← 呼値の過当競争は意味がない

CSP16

Journal of Physics: Conference Series 750 (2016) 012019

IOP Publishing

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

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

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

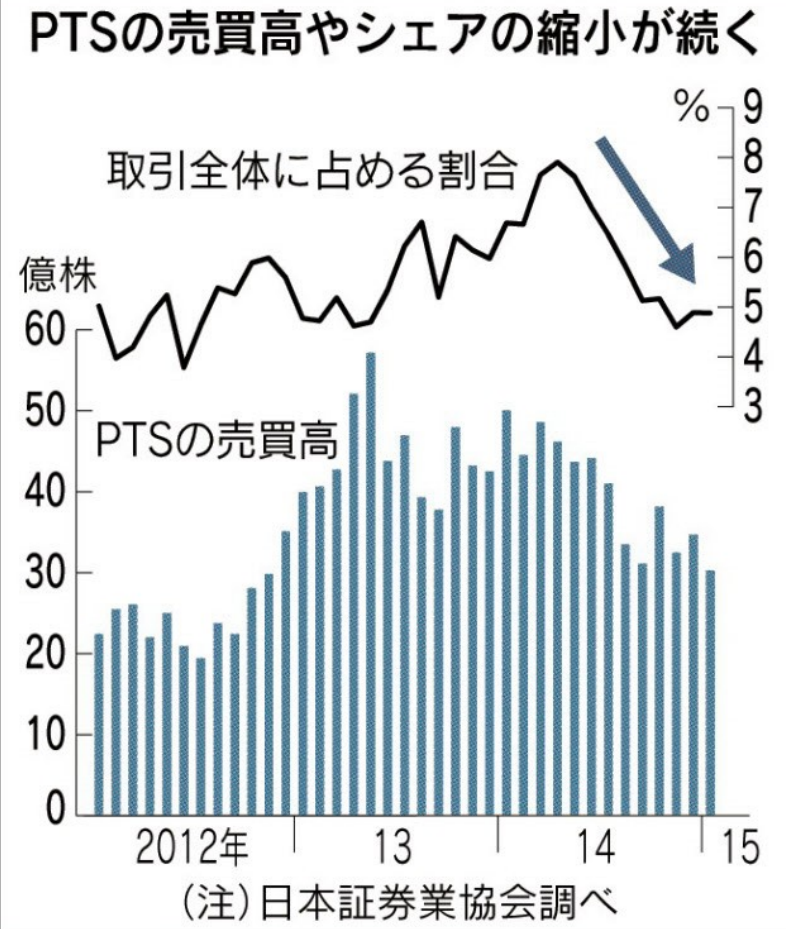
Therefore, it is found that share is shifted from a market with a larger tick size to a market with a smaller tick size. Moreover, the size of share-shift is determined by difference between tick sizes, not ratio between tick sizes.

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/>

その後、社会はどうなったか、、、

- 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>



呼値が大きすぎる・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%

7.4%

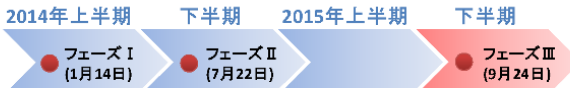
ティック・サイズ 0.5%

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%



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>

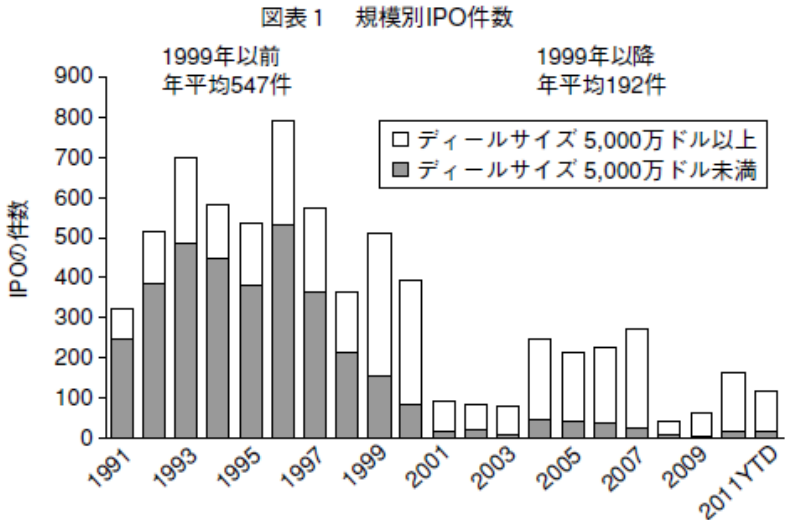
銘柄	細かい呼値の単位の適用範囲は引き続きTOPIX100構成銘柄のみ ※現状から変更なし
呼値の単位	TOPIX100構成銘柄について、3,000-5,000円を0.5円から1円に変更 ※上の桁における同等の価格帯も同様に修正

<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

一部の価格帯で戻すことに

新規上場企業が少ない原因のひとつ：呼値が小さすぎる？



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）

- 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。

実験してみることに、、、

拡大しないほうが良かった

(1) エージェントシミュレーションとは？

(2) 金融・経済におけるエージェントシミュレーション：人工市場

(2-1) 金融市場の基本性質の分析

(2-2) 金融市場の制度設計

(2-3) 自動取引の実験場

(2-4) 社会経済全体のシミュレーション

(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

Gilber(2008)によるエージェント・モデルに必要な複雑さの分類

Abstract Model

複雑な社会現象の原理的な理解を目指す

(例)シェリングモデル、ここで紹介した人工市場

→ シンプルなモデル、だが、メカニズムの理解、知識獲得

KISS(Keep It Simple Stupid)の原理(Axelrod, 1997)

Facsimile Model

特定の状況に限定された特定の現象を限りなく忠実に表現

(例)ある特定のビルの避難経路の検討、アルゴリズムの実験場としての人工市場？

→ 複雑で予測精度がある、具体的な施策検討できる、
普遍性はなく、メカニズム理解や知識獲得は不得意

Middle Range Model

上記 2 つの間

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

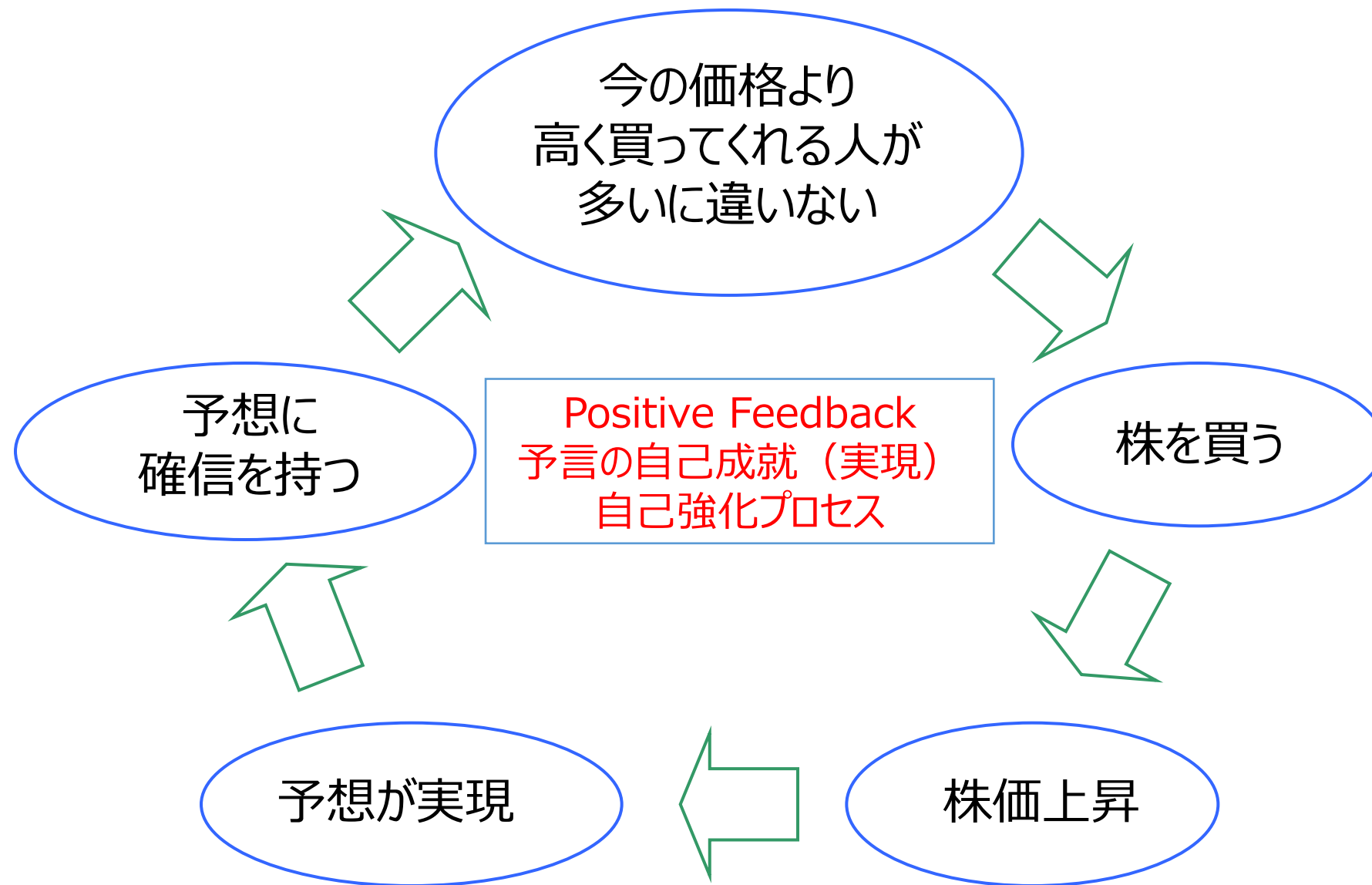
過去の特定制象の再現は目的でない

定量的に正確な議論は目指していない

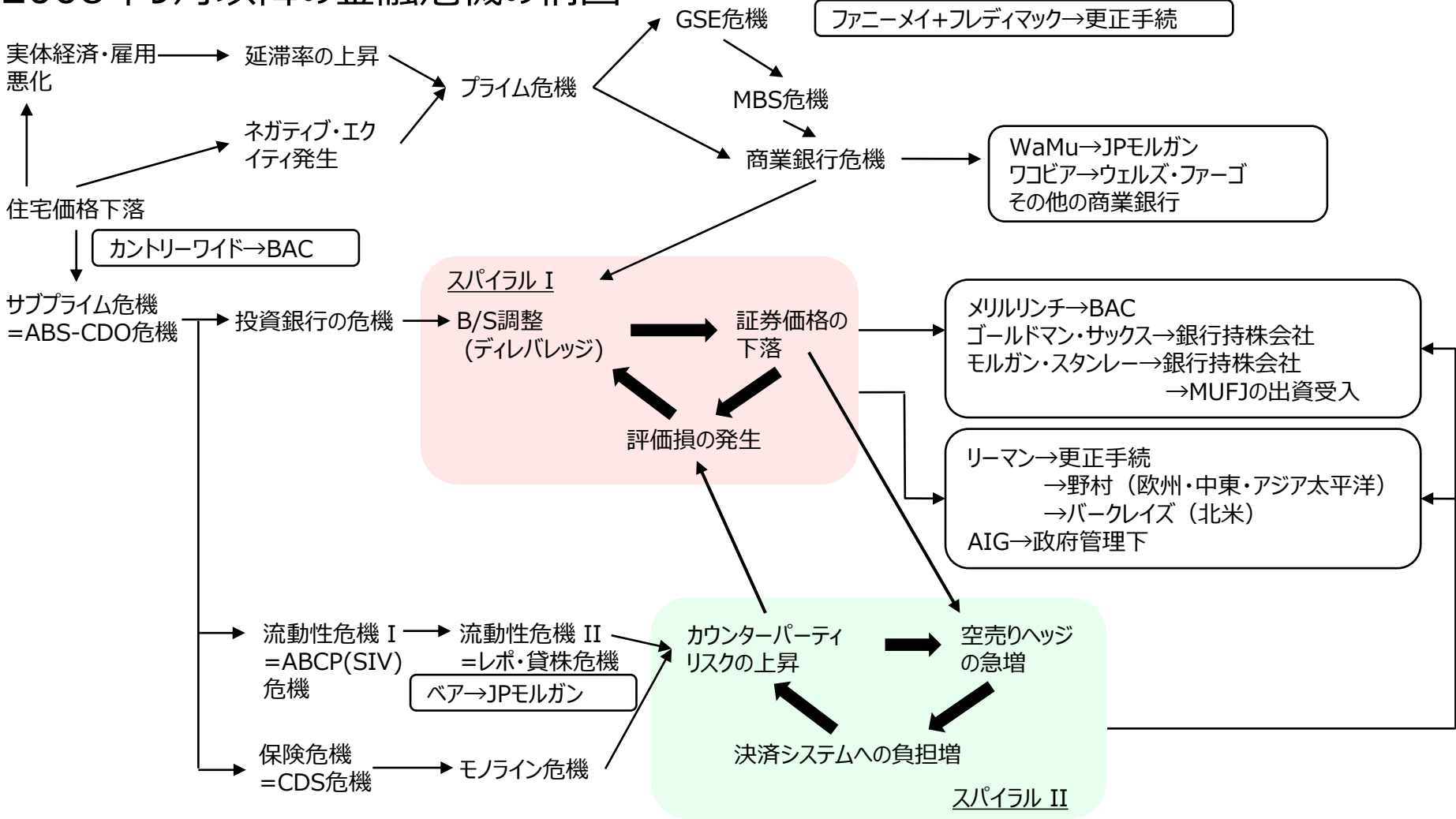
実際の議論で参考にされることを目指す

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



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

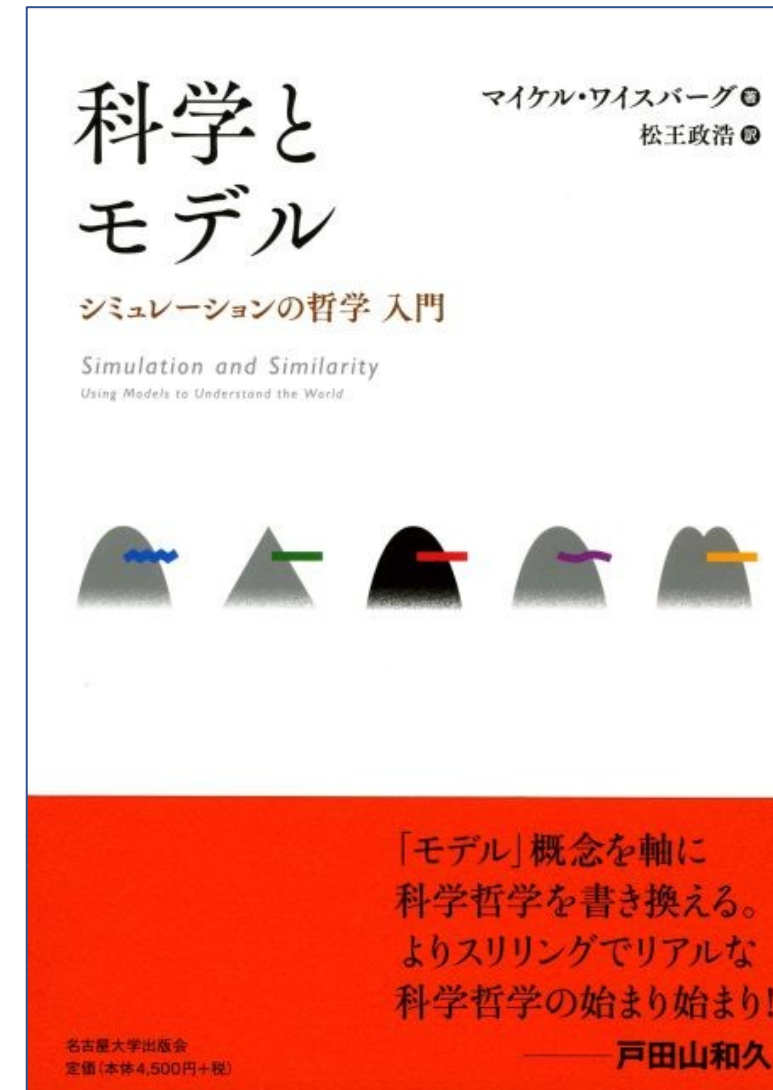
右の本は、“モデル”に関わっている
すべての人に読んでほしいと思う。

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いない



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>

From Wikipedia, the free encyclopedia

Michael Craig Weisberg (born October 20, 1976) is an American philosopher of science, currently Bess W. Heyman President's Distinguished Professor of Philosophy at the [University of Pennsylvania](#), where he also serves as Deputy Director of [Perry World House](#), directs the Galápagos Education and Research Alliance, and is a Non-resident Senior Advisor for the [International Peace Institute](#). Professor Weisberg is a Life Member of the Council on Foreign Relations.

Michael Weisberg



Born

October 20, 1976 (age 48)

Nationality

American

Education

Education

[University of California, San Diego](#)
[Stanford University](#)

Thesis

[When less is more: Tradeoffs and idealization in model-](#)

https://en.wikipedia.org/wiki/Michael_Weisberg

目次や前書きより前にこれだけを書いてある：激熱 地図はモデル(模型)のひとつ

Borges, J. L. (1954). *Historia universal de la infamia*. Emece. (ホルヘ・ルイス・ボルヘス『汚辱の世界史』中村健二訳 岩波書店 2012 年)

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食の飯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。……

ホルヘ・ルイス・ボルヘス「学問の厳密さについて」〔中村健二訳『汚辱の世界史』〕

全文でもこんだけしかないけど

<https://www.iwanami.co.jp/book/b248483.html>

汚辱の世界史

J.L. ボルヘス作
中村健二訳



¥ 792-6
岩波文庫

学問の厳密さについて

……この帝国では地図の作製技術が完成の極に達し、そのため一州の地図は一市全域をおおい、帝国全土の地図は一州全体をおおうほどに大きなものになった。しばらくするとこの龐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あう帝国地図を作りあげた。その後、人々はしだいに地図学の研究に関心をもたなくなり、この巨大な地図は厄介ものあつかいをされるようになる。不敬にも、地図は野ざらしにされ、太陽と雨の餌食となった。

西部の砂漠では、ぼろぼろになって獣や乞食の飯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。このほかにかつての地図学のありようを偲ばせるものは、国じゅうに一つとしてない。

3 種類のモデル

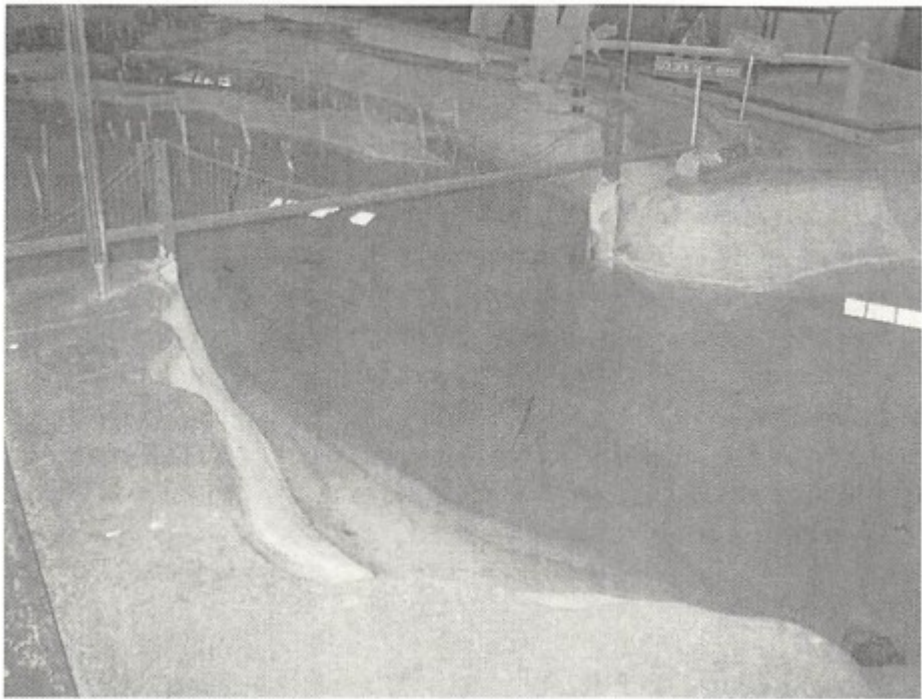


図 3.3 サンフランシスコ・ベイモデルの一部分。ゴールデンゲートブリッジを表現したものが示されている

1. 物理的なモデル

2. 数理モデル(数式)

$$\frac{dV}{dt} = [\text{被食者出生率}] - [\text{捕食者当たりの被食者被捕獲率}]$$
$$\frac{dP}{dt} = [\text{捕獲当たりの捕食者出生率}] - [\text{捕食者死亡率}]$$

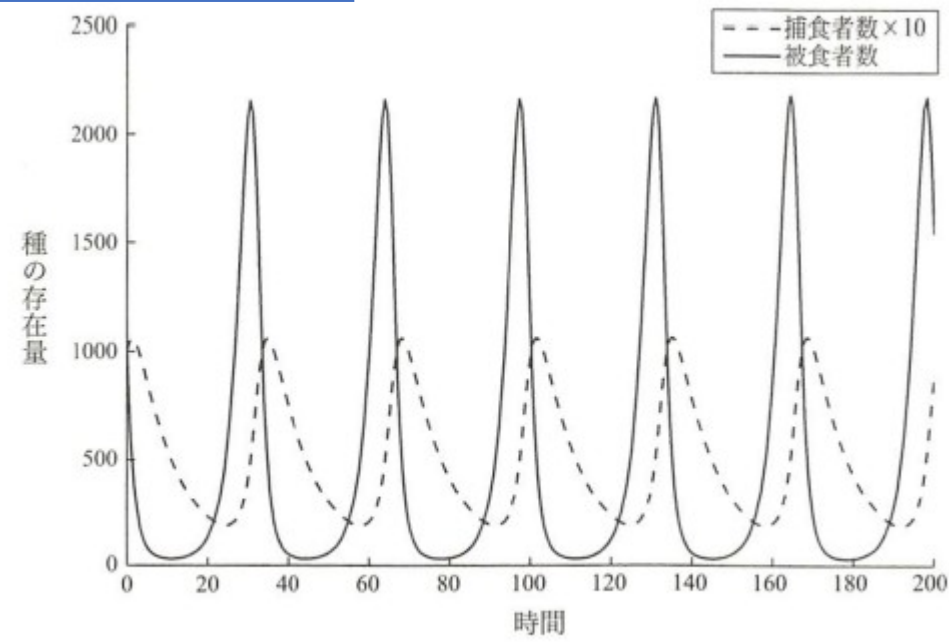


図 2.1 ロトカー-ヴォルテラモデルの振動

3. 数値計算モデル(シミュレーション)

前述のシェリングモデル
私の専門分野

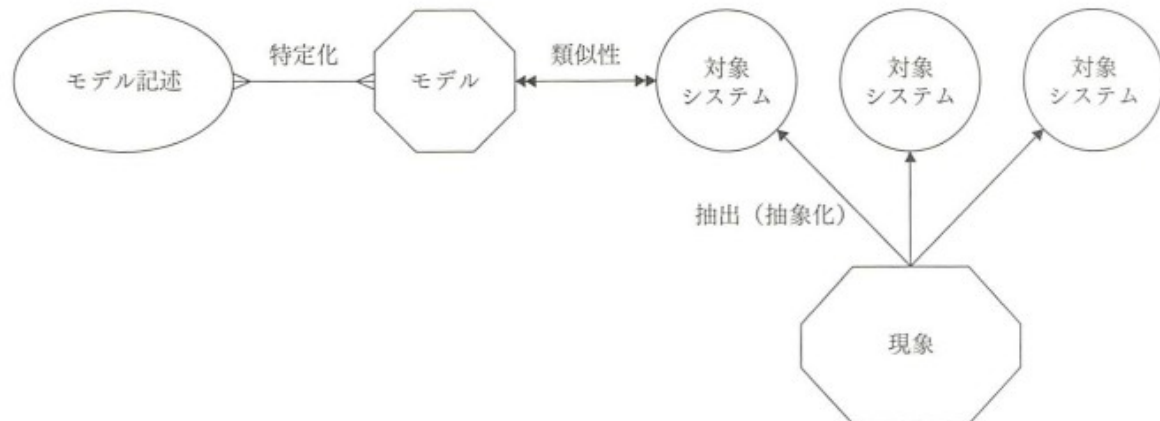


図 5.3 具象モデルにおける，現象，対象，モデルの関係

現実とモデルの類似性を比較するのではない
現実を抽象化したもの、現実で知りたい部分
のシステムと、モデルを比較するのである

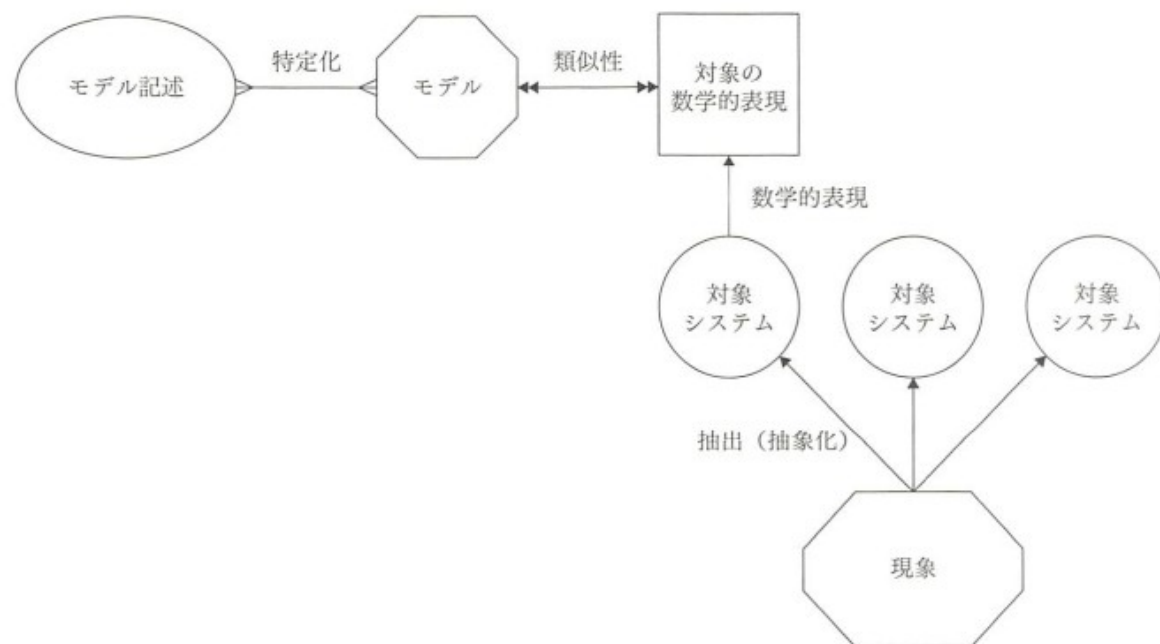


図 5.4 数理モデルにおける，現象，対象，対象の数学的表現，モデルの関係

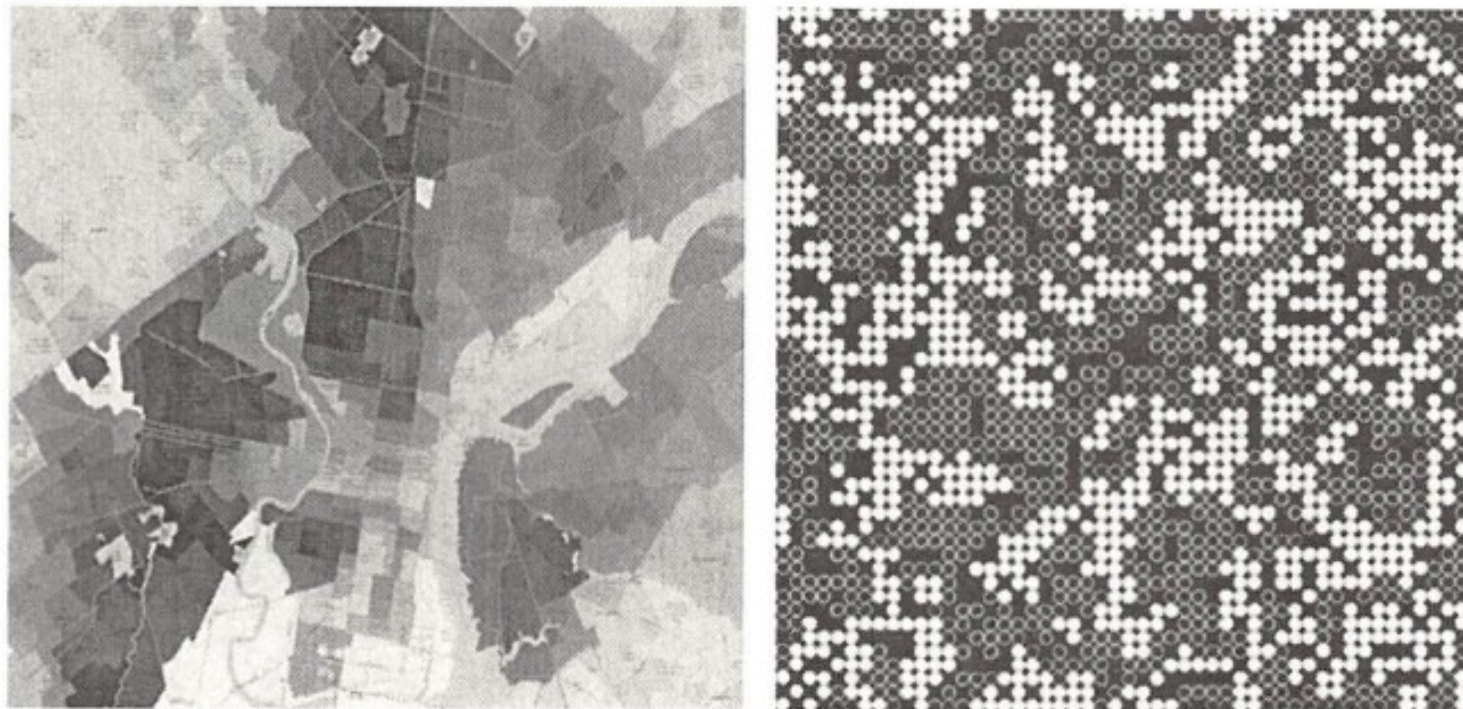
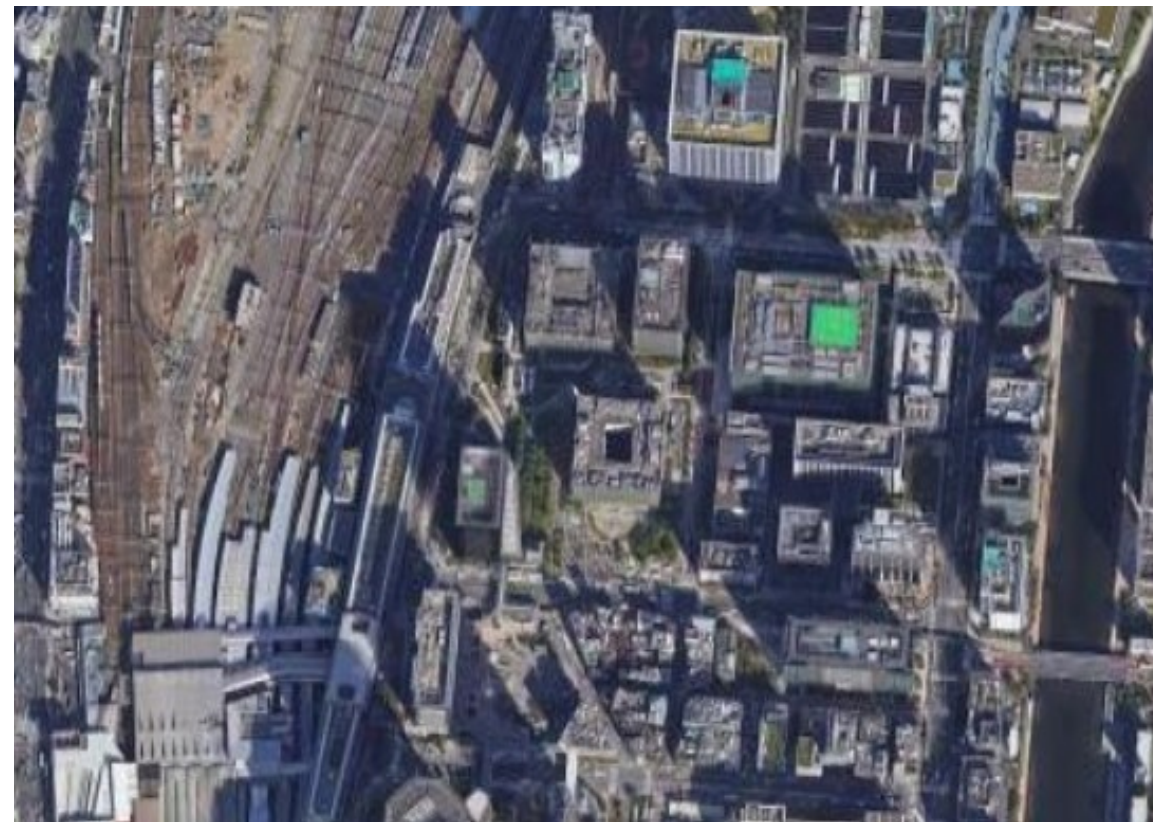


図 7.1 左：2010 年の人口調査によるフィラデルフィアにおける人種分離のパターン。濃い領域がアフリカ系アメリカ人の割合が高いことを表している。右： 51×51 マス，二種類の行為者（グレーと白）を使ってシェリングモデルを典型的な形で用いた出力例。すべての行為者に，同じ色の隣人を少なくとも 30 % 持つことを望む選好を与えている

実際の街を再現することを目的としていない
人種が分離する理由が知りたい

どちらの地図が分かりやすいか？



(左)品川シーズンテラス公式ホームページ(<https://shinagawa-st.jp/access/train.html>)より,

(右)Google mapより(画像 © 2020, CNES/Airbus, Digital Earth Technology, Maxar Technologies, Planet.com, The Geoinformation Group, 地図データ © 2020 Google)

現実とは大きく異なるが、理解しやすい
迷子にならない

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

現実に近いが分かりにくい
迷子になる

すべての目的に対して完璧なモデルなどない！

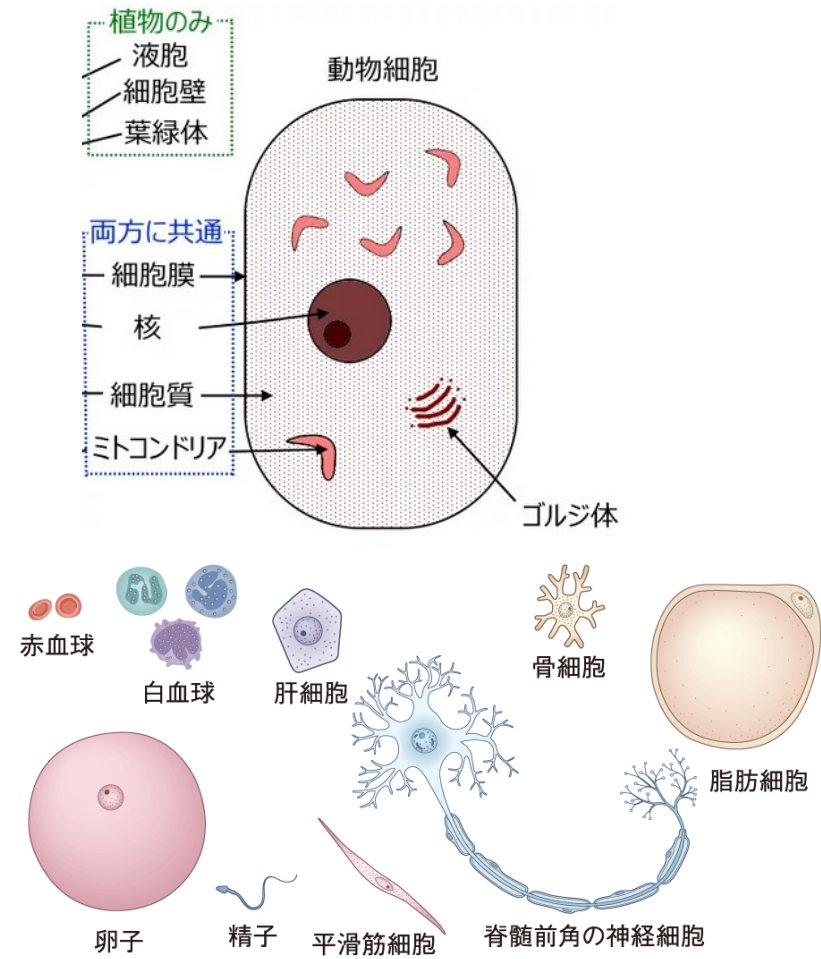
あるみたいなこと言われたら気を付けて、、

マイケル・ワイスバーグ「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>

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://rikamato.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

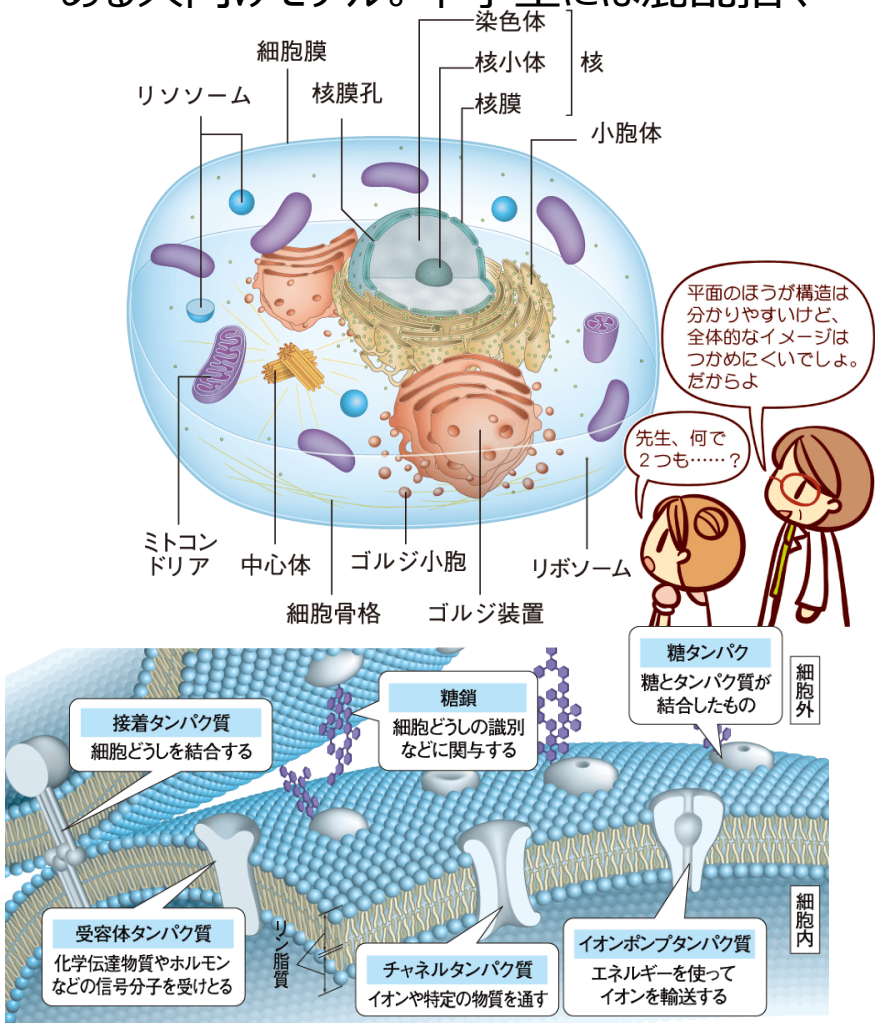


いろいろな種類の細胞モデル

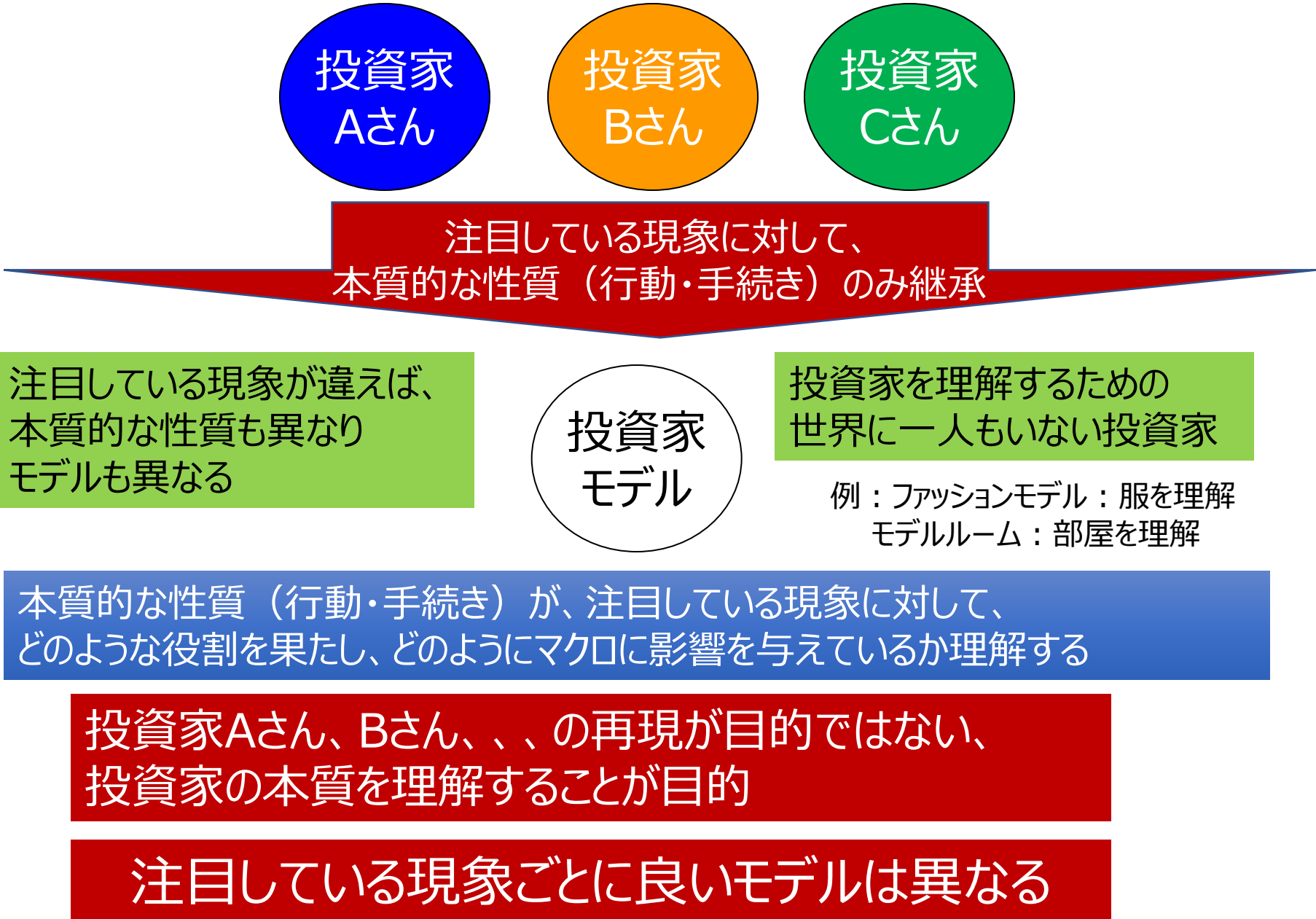
上のモデルを見た後なら、違いを理解しやすい
(例：核の大きさ、位置で分類できる)

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



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



ファッションモデル

服を見せ、服を理解させるために存在
モデルウォークは非日常的だが、服は良く見える
日常的な歩き方はいろいろな種類があり、その種類の違いがノイズとなる
（自分が着た時を想像しずらくなる）
→ ファッションモデルは非現実的だが、服を理解するのに良いモデルである

モデルルーム

家や部屋がどのようなものか理解させるために存在
家具や装飾品は非日常的だが、部屋がどのような機能を提供しうるか理解しやすい
日常的な家具や装飾品は人によりさまざま、個人的な趣向がノイズとなる
（自分が住んだ時を想像しずらくなる）
→ モデルルームは非日常的だが、部屋を理解するのに良いモデルである

投資家モデル

現実の投資家と比べると異常だがモデルとして優秀

簡単な具体例：初期のエージェントシミュレーション

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>

解説記事「多角形のたとえ話」
<https://ncase.me/polygons-ja/>

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

ルール：

- ・自分の周り(8マス)に自分の同類が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、、、

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

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、、、

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

分離されてしまう

創発

この分離は、学生・教授の行動ルールの
単純な足し合わせでは決して説明できない

「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

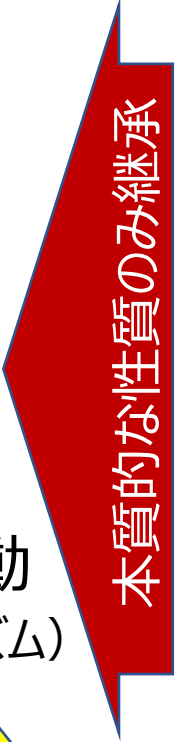
B国
株式市場



価格形成
(シミュレーション結果)

投資家
モデル

投資行動
(アルゴリズム)



投資家
Aさん

投資家
Bさん

投資家
Cさん

取引所
モデル

ルール
変更

注文突合せ
(アルゴリズムの集積)

これらの
関係が
知りたい！



金融・経済分野の他手法の研究者からの理解を得られにくい

- ・ 経済学やファイナンスの人たちの中には、シミュレーションというだけで受け入れない人がいるのは事実
- ・ 経済学ではかつて、ゲーム理論ですら受け入れるのに相当な時間がかかったらしく、同分野の文化的な側面もあるかもしれない

金融・経済分野以外のエージェントシミュレーションの研究者たちからも理解を得られにくい傾向

- ・ 投資家は常に他の投資家を出し抜こうと考えており、モデル化に使える安定した行動パターンがない
例えば、自動車エージェントの安全運転のような、こうすればみんなハッピーになるという行動様式が存在しない
- ・ そのため、モデルを複雑にしても追加で分かることはほとんどなく、きわめて包括的でシンプルな行動だけを含んだエージェントモデルにならざるを得ない。
- ・ そのようなモデルでも重要なメカニズムの知見が得られるのであるが、金融・経済分野以外のエージェントシミュレーション研究者たちからは、モデルは単純すぎるように見え、予測もできないことに物足りなさを感じるようだ。

どこの学会に属したらいいかわからない：よりどころがない

- ・ 金融市場の制度設計の場合は当局や取引所関係者から多くの研究ニーズが寄せられていて、数少ない理解者となっている ← 私はここ
- ・ ごく短い時間スケール(秒以下)の再現性を利用した分野は最近開拓されてきており、学術的にも実務的にも興味を持たれ始めている
- ・ 金融・財政政策を分析する人工市場は、実務家が求めている結果を出すまでにモデル自体の議論をまだ多くする必要がある段階であり、道のりが長すぎてよりどころがない。

2008年の金融危機以降、伝統的な経済学では複雑系であったこの金融危機を分析できていないと批判し、金融・経済分野におけるエージェントシミュレーションである人工市場や人工経済などの複雑系科学をもっと活用すべきだという主張があらわれた。人工市場をもっと活用し伝統的な経済学の弱点を補完すべきであることは確かだと思われる。

今回は、人工市場研究を簡単にレビューしたあと、人工市場による市場制度の設計の研究を呼値変更という実際に行われた制度変更の事例を交えながら紹介した。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。人工市場は、これまでにない制度によってどういうことが“起こりえるか”を調べ“あり得る”メカニズムを見つけておく、“あり得る”副作用を見つけておく、という貢献ができる。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。

人工市場の貢献はまだ始まったばかりで、研究者が全然足りていない。この分野は社会への重要な貢献ができることは間違いないので、啓蒙活動が続けていきたい。今後、もっと多くの金融市場の規制やルールが人工市場や人工社会で扱えるようになり、うまく金融市場を設計することに貢献し、社会の発展につながっていけばと願っています。