

2022年9月10-11日

Digital designs for money, markets, and social designs

Chapter 13

Artificial Intelligence (AI) for Financial Markets: A Good AI for Designing Better Financial Markets and a Bad AI for Manipulating Markets

ワークショップ: <https://sites.google.com/view/ddmmsd2022/>

書籍: <https://doi.org/10.1007/978-981-19-0937-5>



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

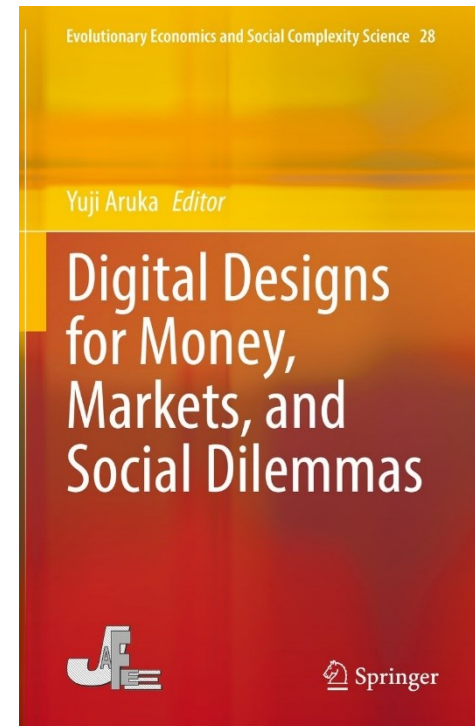
mizutata[at]gmail.com

@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/2022ddmmsd.pdf>



自己紹介

スパークス・アセット・マネジメント(資産運用会社)所属

2014年働きながら博士課程 (東京大学 和泉潔 研究室)で博士取得

金融市場全般の調査、株式市場やポートフォリの定量的分析(のためのシステム整備)、学術研究も

2016年度より 人工知能学会 金融情報学研究会(SIG-FIN)幹事 → 2022年度より 主査 <https://sigfin.org/>

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

学術研究: 人工市場による市場制度の設計

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



SPARK Asset Management Co., Ltd.

例えば、
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"と呼ばれた男はフラッシュ・クラッシュとはあまり関係なかった：高頻度取引との知られざる戦い
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："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？
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
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-



左のレポート「金融市場の制度設計に使われ始めた人工市場」
<https://www.sparx.co.jp/report/special/3215.html>

講義資料 人工市場による市場制度の設計

資料: <https://mizutatakanobu.com/2022r.pdf>

YouTube: <https://youtu.be/tq9AsMrig9s>

教科書的な本

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、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/>

人工知能学会誌の特集記事

水田孝信、八木勲 (2021) 「人工市場による金融市場の設計と広がる活用分野」 人工知能学会誌 人工知能 2021年5月号

https://doi.org/10.11517/jjsai.36.3_262

amazon: <https://www.amazon.co.jp/dp/B092XBKFKN/>

(1) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(2) 自動取引の実験場

(3) 人工知能が勝手に不正取引をしたら法的責任は？

(1) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(2) 自動取引の実験場

(3) 人工知能が勝手に不正取引をしたら法的責任は？

人工市場による制度設計は、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
38本中、実に12本が人工市場を用いた研究(2022年3月末現在)
呼値(ここで紹介)、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>

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

金融市場の制度設計に使われ始めた人工市場, スパークスレポート
<https://www.sparx.co.jp/report/special/3215.html>

予測や細かい再現を目的としていない

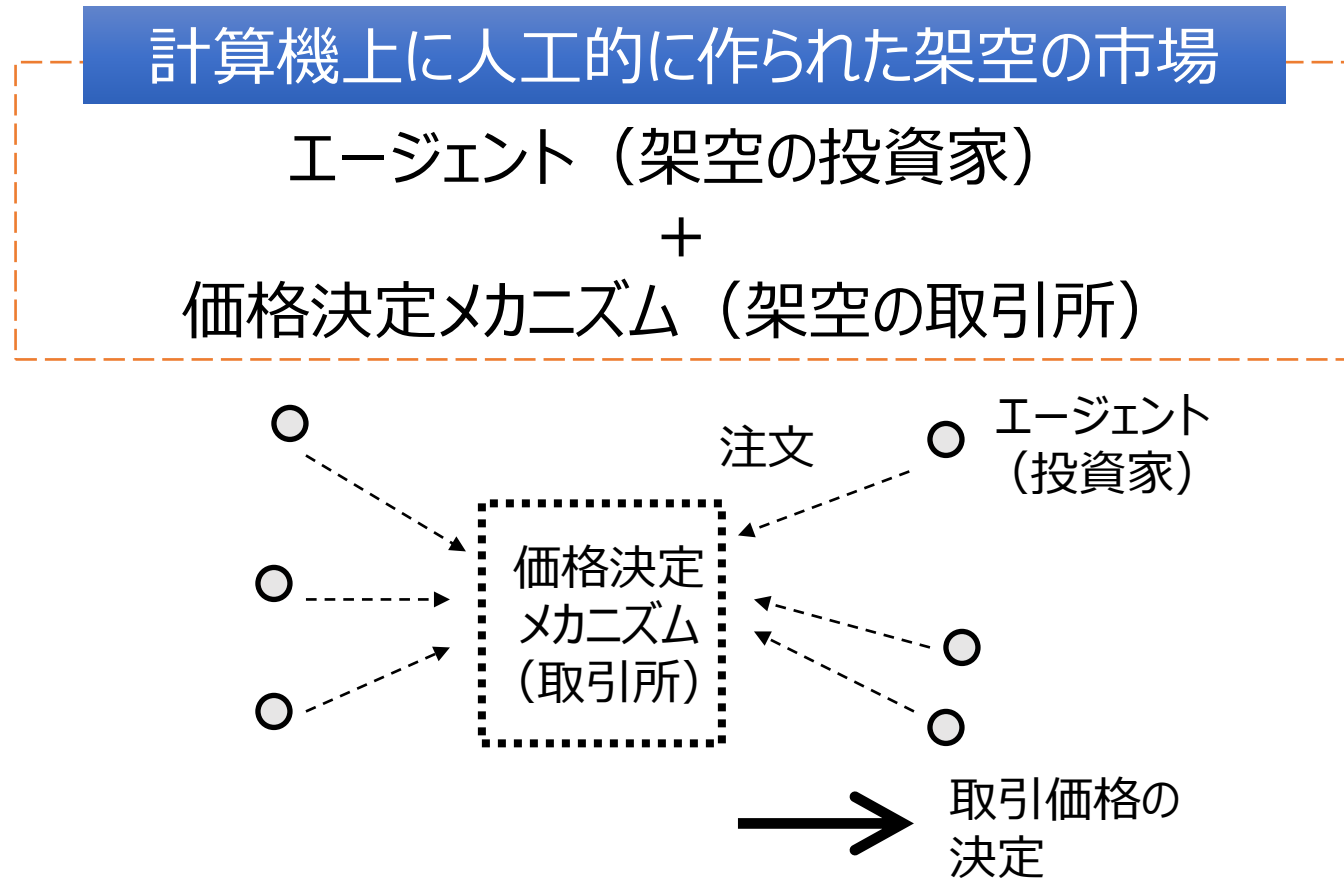
これまでにない制度によってどういうことが“起こりえるか”を調べる
“あり得る”メカニズムを見つけておく、“あり得る”副作用を見つけておく



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
水田 孝信
早川 聡
和泉 潔
吉村 忍
2013年1月30日
Vol. 02

JPXワーキングペーパー Vol.2 呼値の調査を紹介
東京大学(当時社会人博士で在籍)と東京証券取引所の共同研究

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)



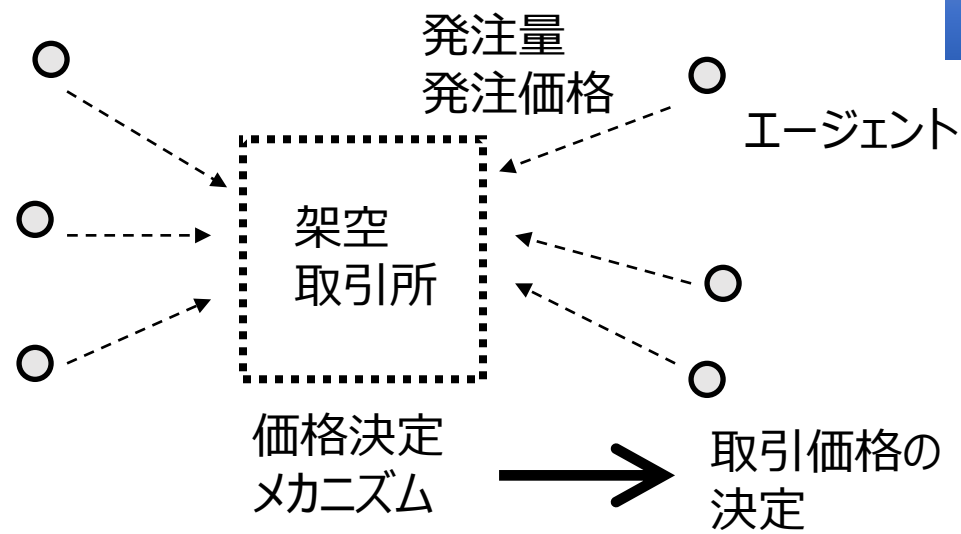
実データが全く必要ない完全なコンピュータシミュレーション

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

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

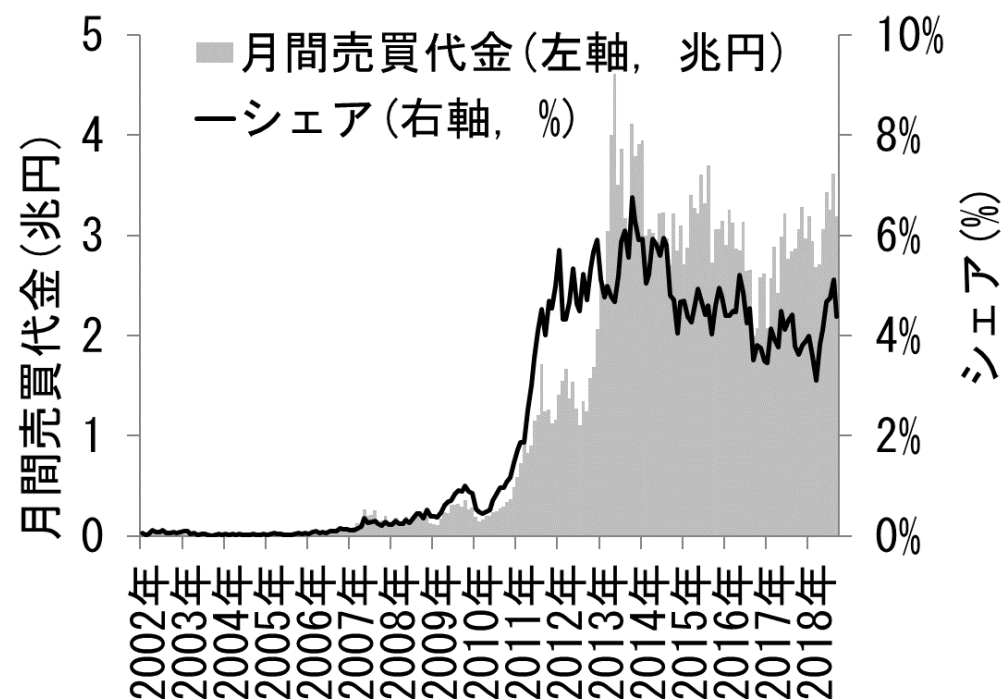
調査対象の制度・ルールを再現する必要がある

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）

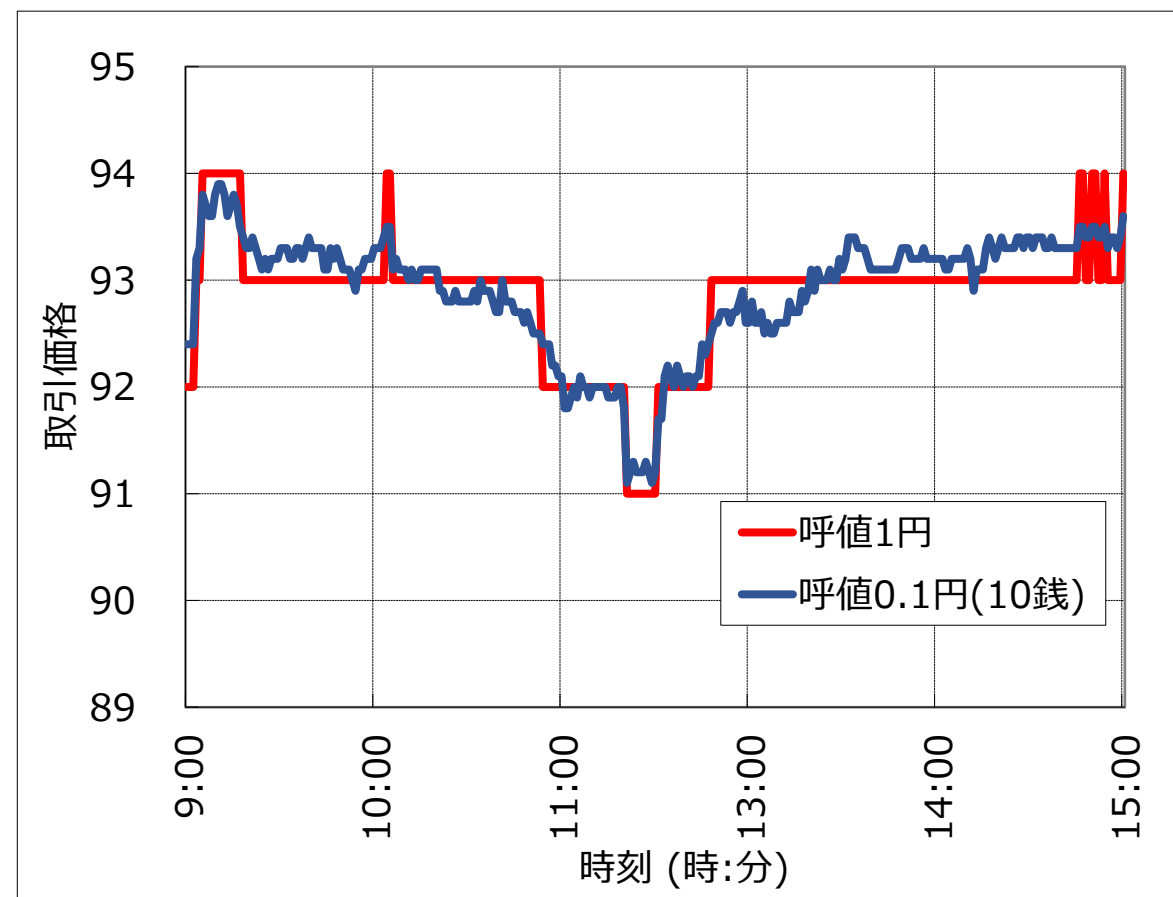
→ 東証の経営にとっても無視できない売買代金シェア

↑ 東証もPTSも売買代金に比例した手数料が主な売上



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



JPX
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 -		

9

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)

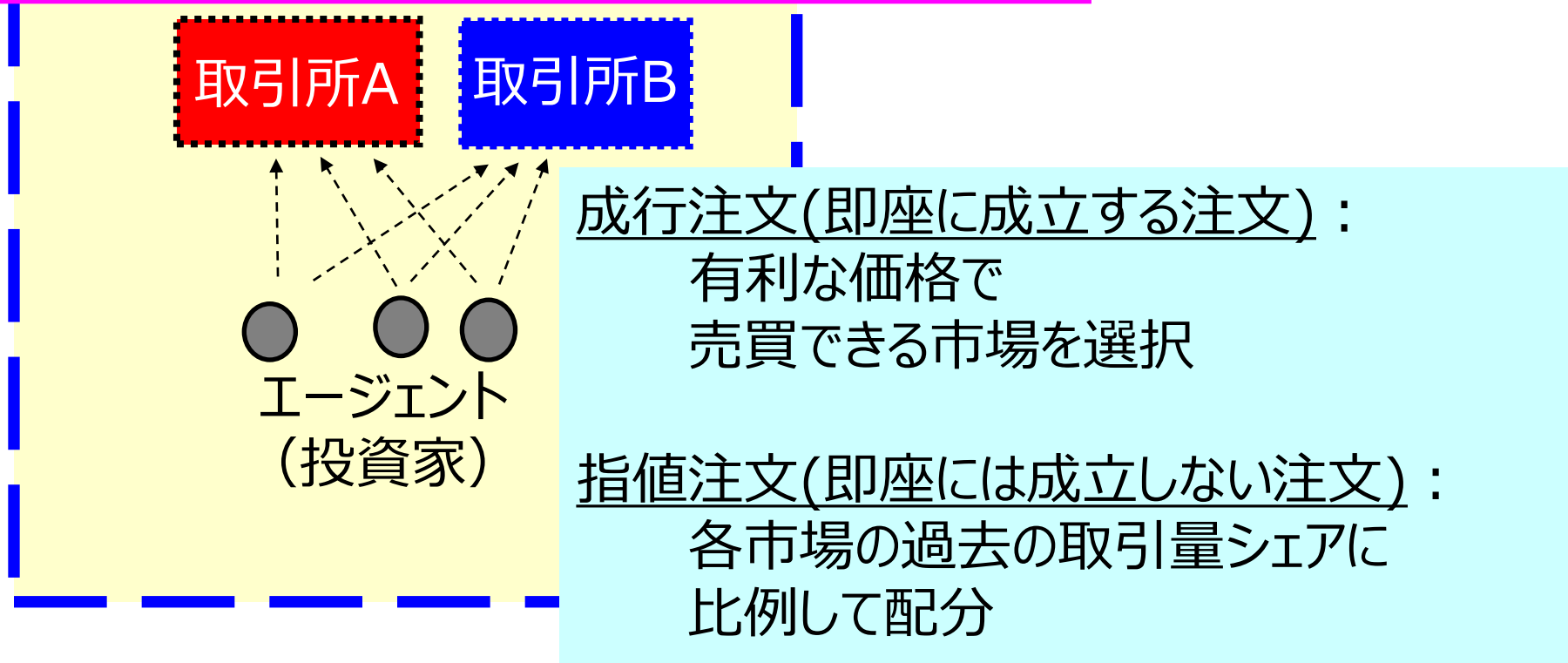
売り 注文数量	注文 価格	買い 注文数量
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	
ここに売り注文を入れると 即座に売買成立	98	150
	97	
	96	70

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

j: エージェント番号(順番に注文)
t: 時刻(ティック時刻)

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 $0\sim 1000$

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)

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

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

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

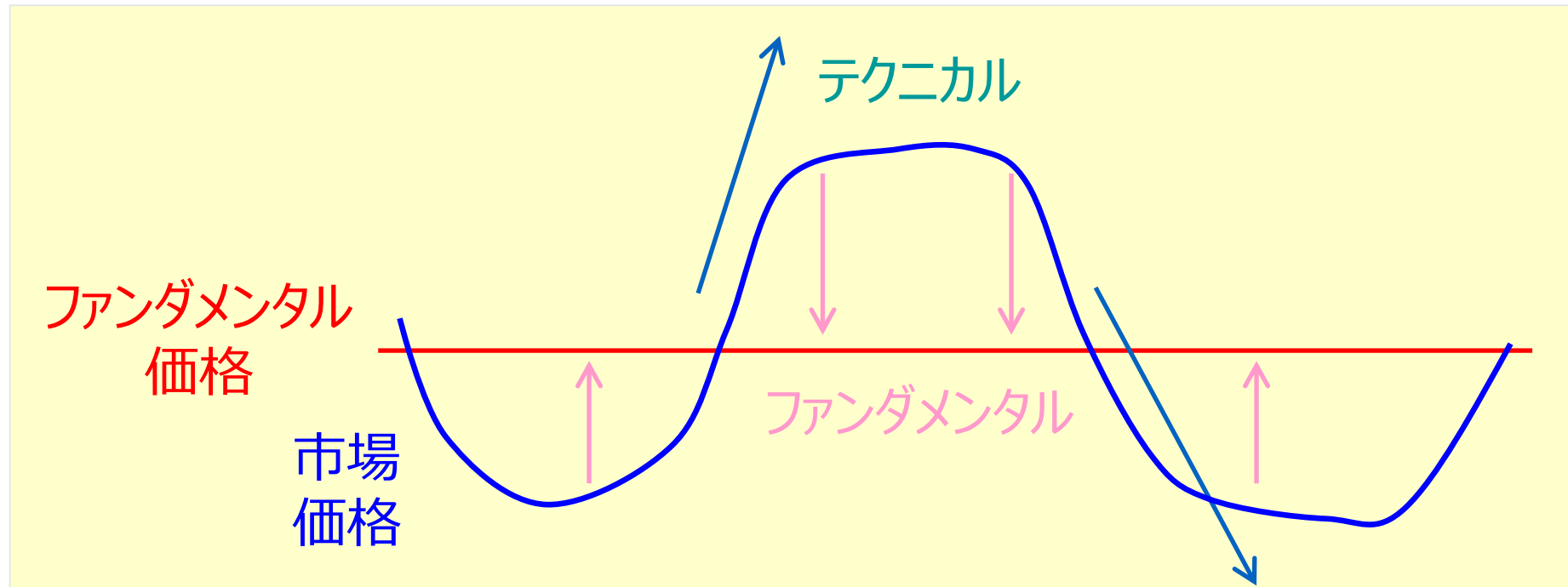
ファンダメンタル価格 > 市場価格 $\Rightarrow$ 上がると予想

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

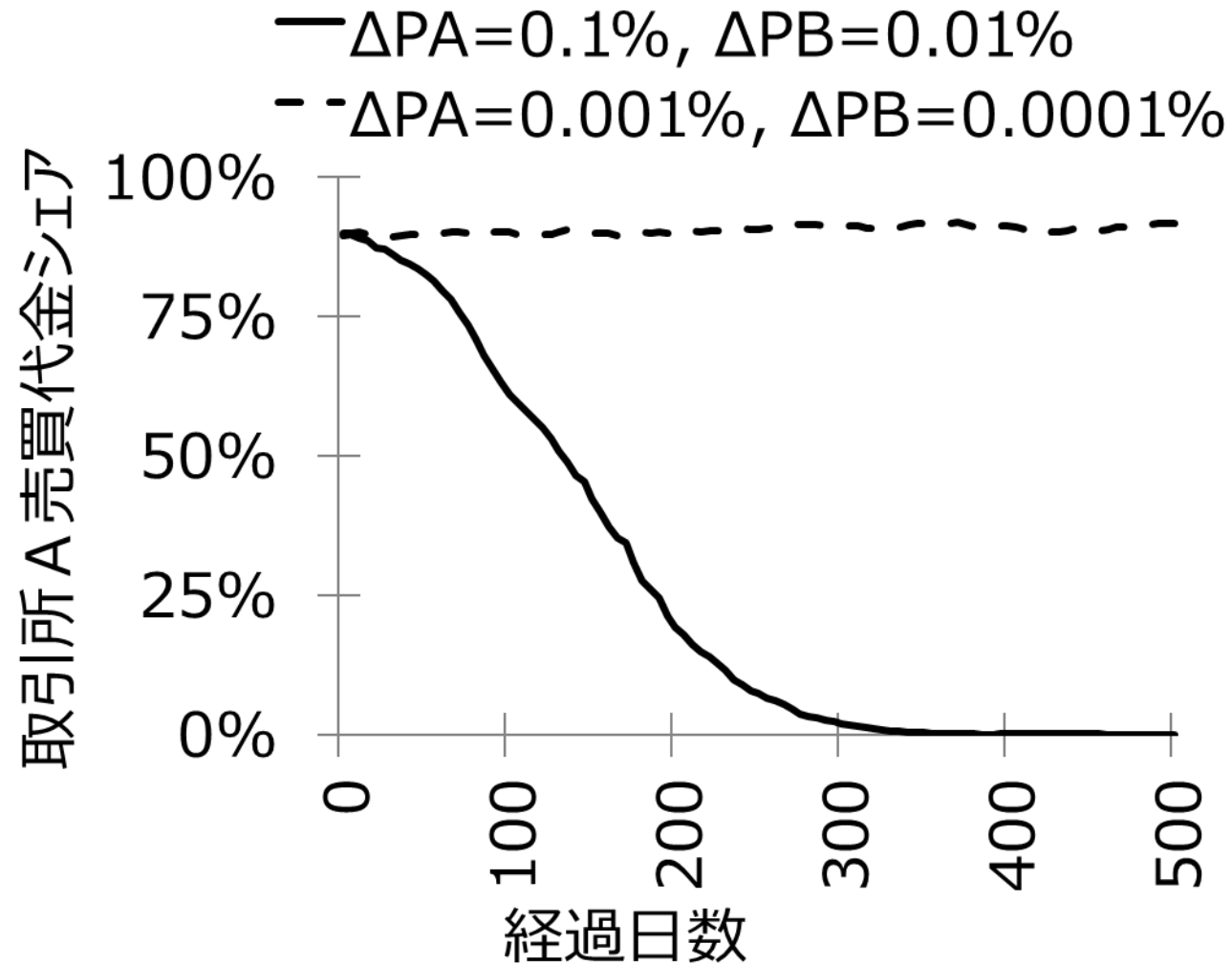
テクニカル戦略

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



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

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

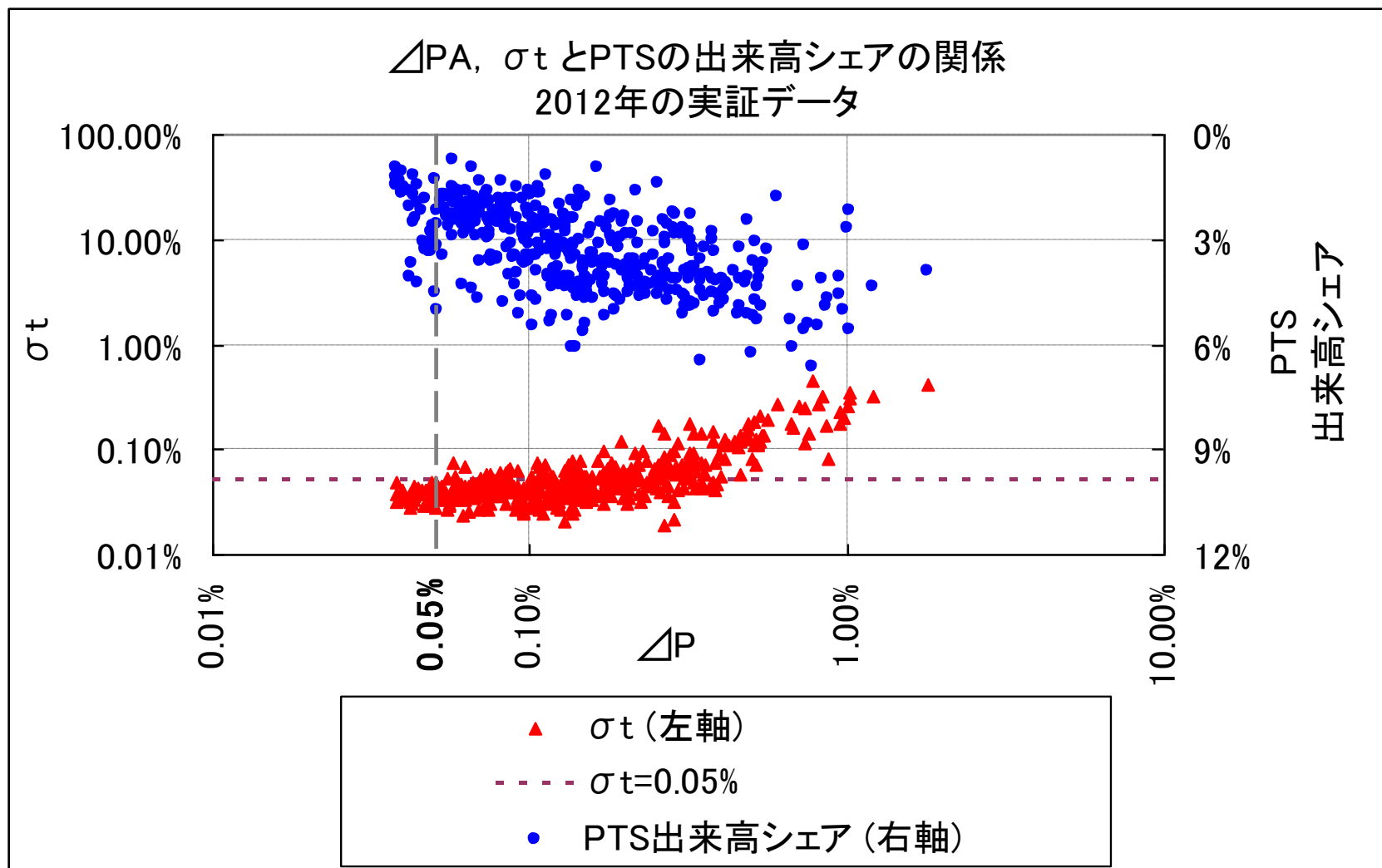
or

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

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

騰落率の標準偏差：ボラティリティ

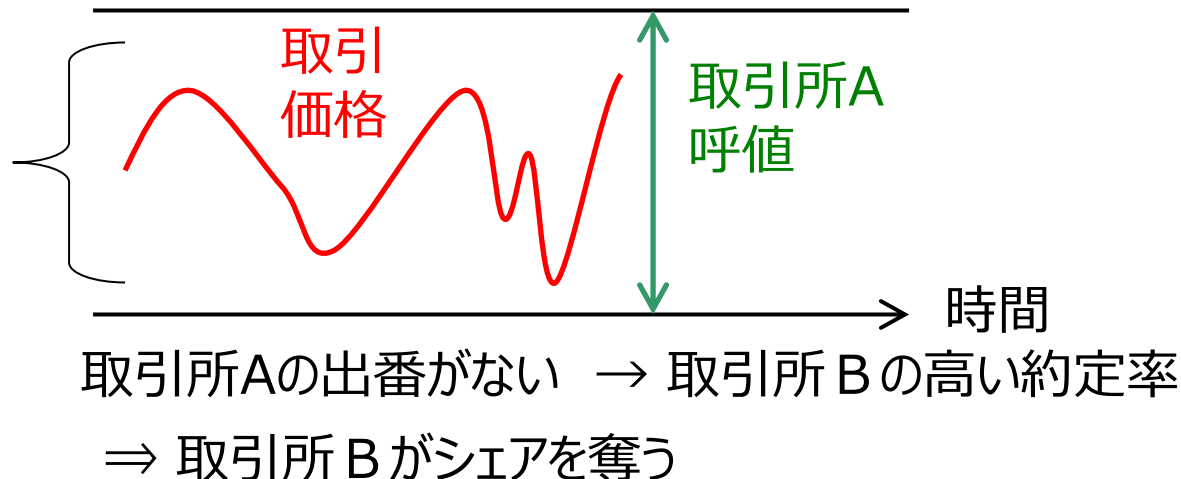
キーパラメーター



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

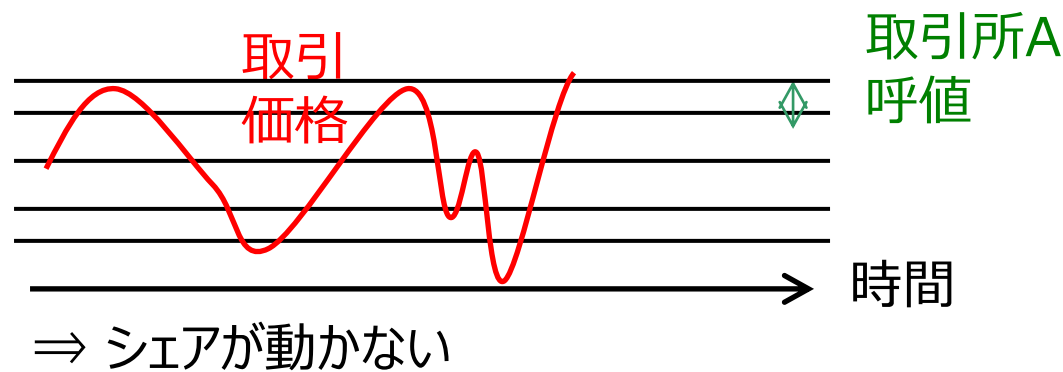
$$\bar{\sigma}_t < \Delta P_A$$

取引場A
で取引でき
ない領域



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

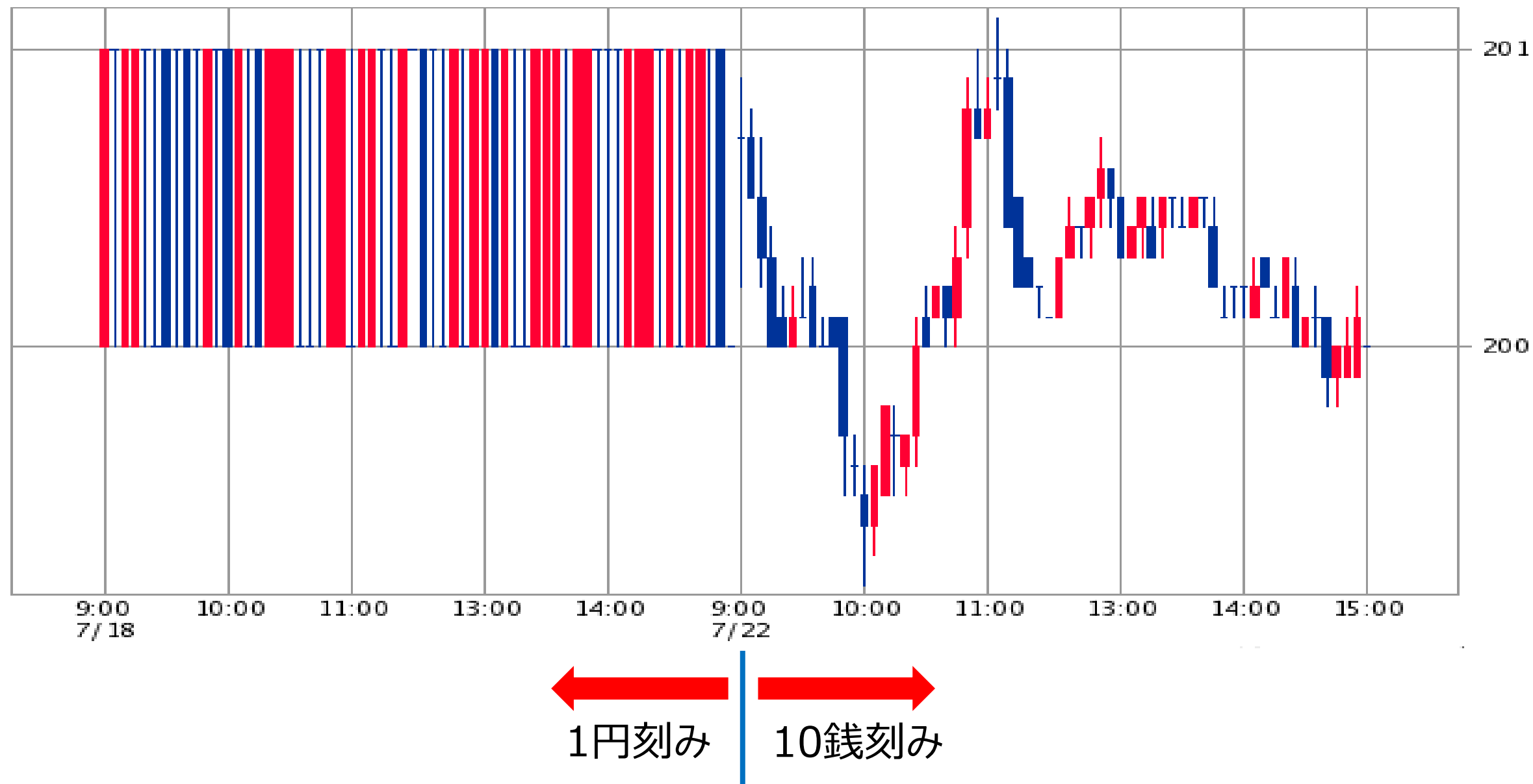
取引所B
の必要性
が薄い



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

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

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

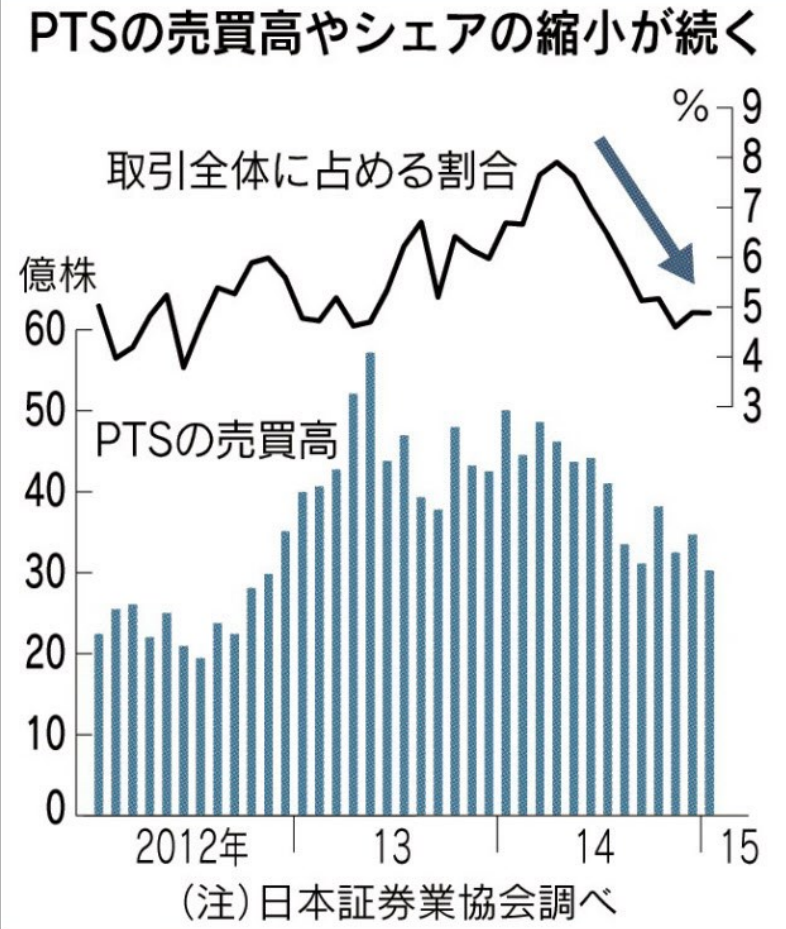
Therefore, it is found that share is shifted from a market with a larger tick size to a market with a smaller tick size. Moreover, the size of share-shift is determined by difference between tick sizes, not ratio between tick sizes.

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%

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%

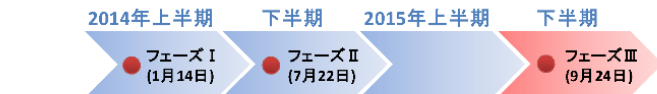
20,197,400

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



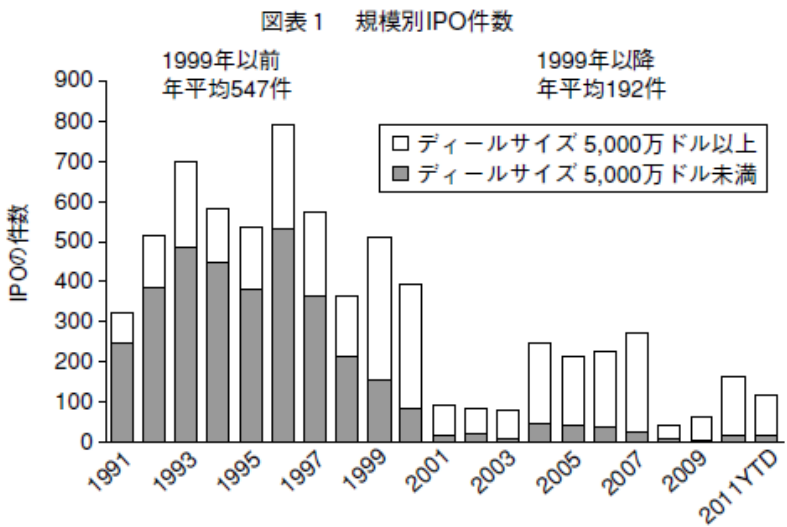
<フェーズⅢ対応内容>

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	0.5	0.5
	3,000	5,000	5	0.5	1
	5,000	10,000	10	1	1
	10,000	30,000	10	5	5
	30,000	50,000	50	5	10
	50,000	100,000	100	10	10

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) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

(2) 自動取引の実験場

(3) 人工知能が勝手に不正取引をしたら法的責任は？

自動取引の実験場：短い時間スケールの変化は再現性がある

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

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

GANを用いた実データの学習を行い、
注文データが与えられたら次の注文を
1つ返す生成器を作る
インサンプルの実データの中に
"もしこの注文があれば"をシミュレートする。
Coletta 2021 <https://doi.org/10.1145/3490354.3494411>

良くも悪くもエージェントに前提を置かず
大量のデータからGANで注文生成器を作る

データがないところからシミュレーションをスタートできない
実データの中に人工データを少し混ぜるイメージ
→ 全く経験のない環境は不得意
制度設計には向かない

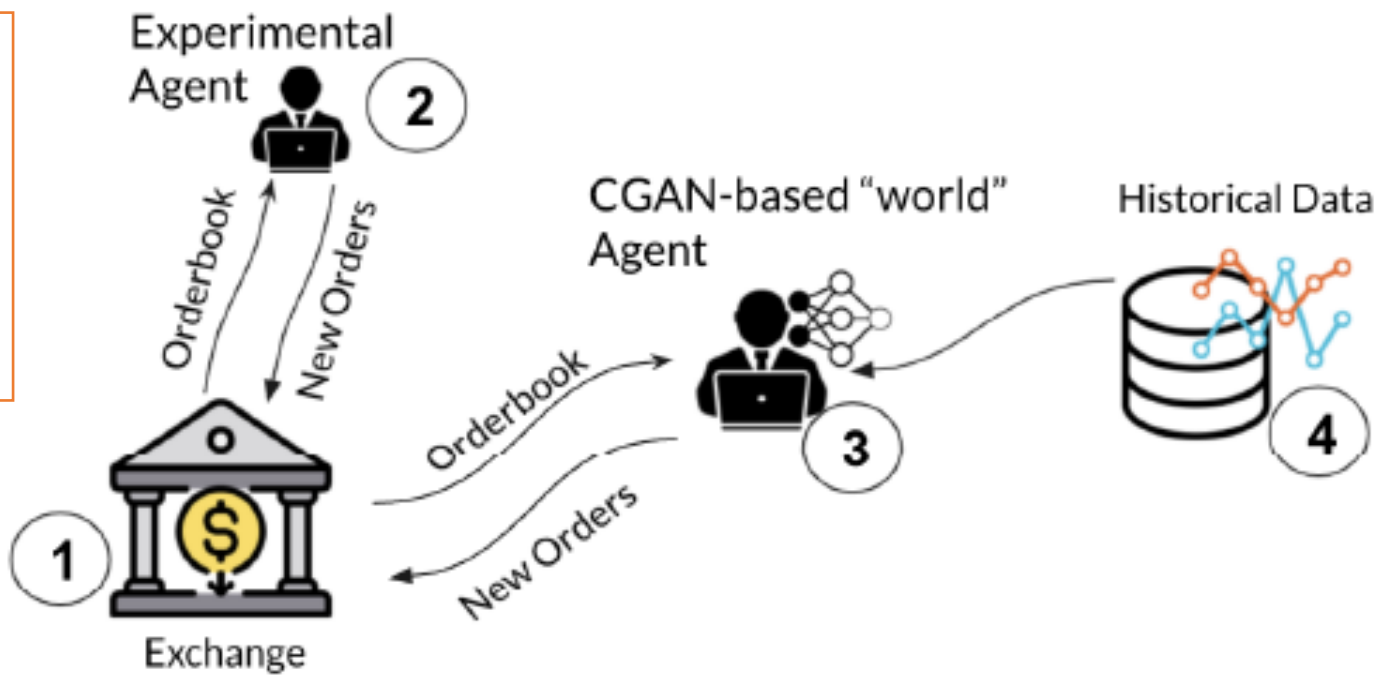


Figure 2: CGAN-Based Simulation Framework.25

実注文データ群の中に人工注文データを入れたらどうなるか

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

買い注文を出している間に元の株価水準に戻っている
急に戻るのは変な感じがする

→ 学習が過剰ではなのでは？

(元の下落後の水準に追随しすぎ)

(下落せず横ばいでも不思議はない)

とはいえ適度な学習量をどう計るのか分からない

その他にも、

同様な生成器

Li 2020, AAAI <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i01.5415>

Hirano 2022, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.13338>

HFTのマーケットメイカー戦略に焦点をあてた生成器

Hirano 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-030-69322-0_1

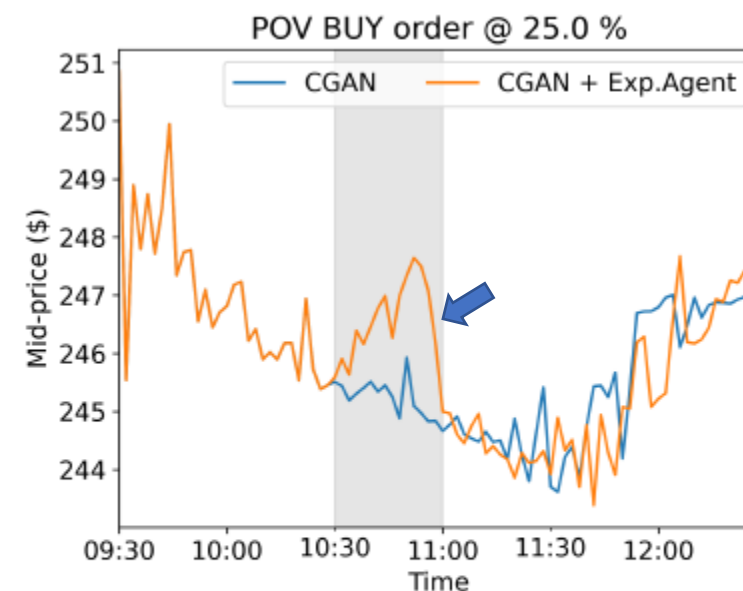


Figure 7: Comparison of a generated time-series with (orange) and without (blue) a 0.25-POV execution agent, placing order from 10:30 AM to 11:00 AM.

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

(1) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

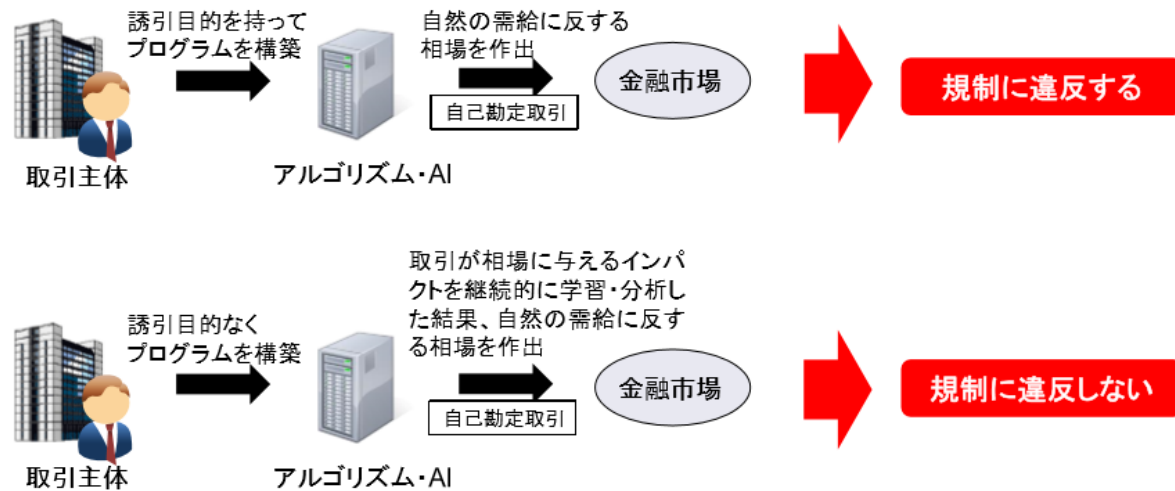
(2) 自動取引の実験場

(3) 人工知能が勝手に不正取引をしたら法的責任は？

人工知能が勝手に不正取引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/announcements/release_2018/rel180911a.htm/

(参考文献)

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を使った自動取引は自律性を持ち得るのか、市場にどんな問題が発生し
うのか、現在の法体系の問題点などを論じた論文

Azzutti et al., Machine Learning, Market Manipulation and Collusion on
Capital Markets: Why the 'Black Box' matters

<https://doi.org/10.2139/ssrn.3788872>

人工知能は相場操縦という不正な取引を勝手に行うか？
— 遺伝的アルゴリズムが人工市場シミュレーションで学習する場合 —

- A Iトレーダーが勝手に相場操縦をするかどうかをコンピュータシミュレーションで実験 → する場合があることが分かった
- ここでいう“勝手に”とは、A Iトレーダーの作成者・使用者が、相場操縦するつもりがなかったとしても、A Iトレーダーが学習の中で、相場操縦を最適な取引戦略として見つけ出し、実行すること
- 現在の日本の法律では（アメリカでも同様）、A Iトレーダーの作成者・使用者が相場操縦を意図していない場合、刑事責任を問えない
- **このままだと、「A I が勝手にやった」と言い逃れする人が現れるため、規制を強化する必要がある、と結論付けた**

予稿 https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2020.0_2L5GS1305
プレゼン資料 <https://mizutatakanobu.com/202006.pdf>
プレゼン動画 <https://youtu.be/tqaeTA2MfDg>

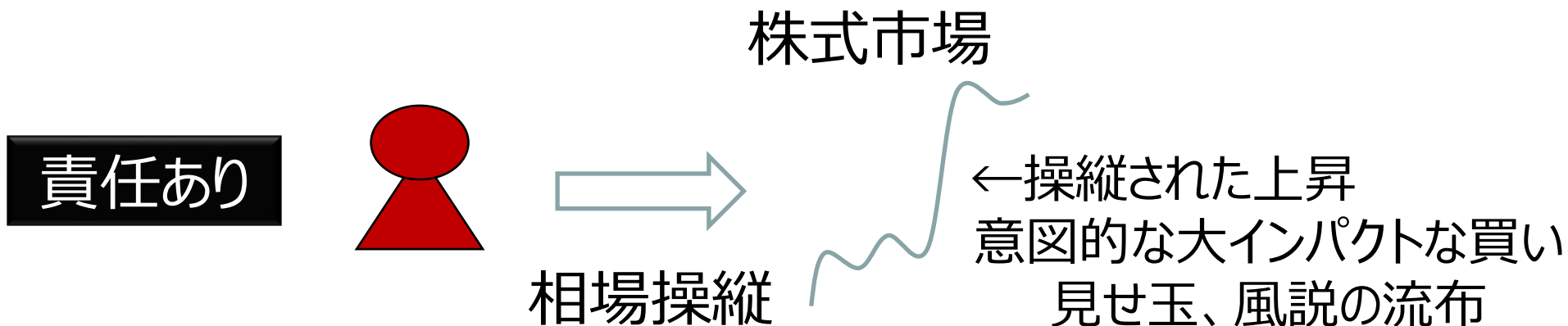
進化経済学会でも紹介した研究ですが
もう一度簡単に紹介します



人工知能学会全国大会で賞もいただきました

相場操縦は犯罪です

相場(市場価格)を自分に有利になるように動かし利益を得ようとする戦略



本来の価格形成を阻害する不正な行為であるとして多くの市場で禁止

日本においてもインサイダー取引にならぶ検挙数が多い不公正取引

証券取引等監視委員会課徴金事例集・開示検査事例集 <https://www.fsa.go.jp/sesc/jirei/index.htm>

人工知能が勝手に相場操縦をしたら作成者の責任？

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
ー投資判断におけるアルゴリズム・AIの利用と法的責任ー (2018/9/11)

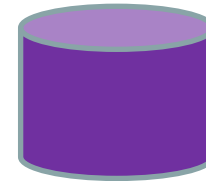
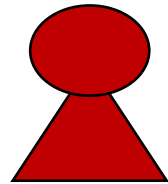
https://www.boj.or.jp/announcements/release_2018/rel180911a.htm/

人工知能作成者

人工知能

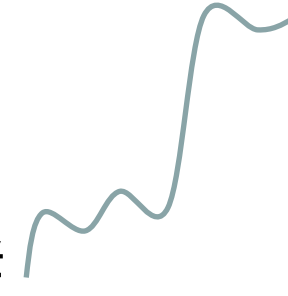
株式市場

責任あり



相場操縦の意図

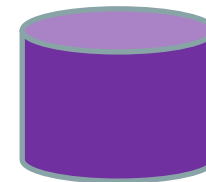
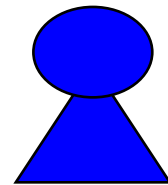
相場操縦



現在の日本の法律だと

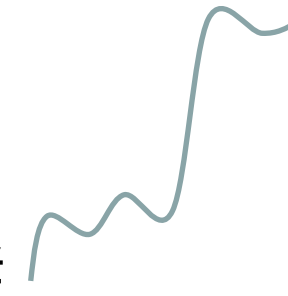
「あり」

責任
問えない
場合も



相場操縦の意図

相場操縦



「なし」

刑事事件化には「故意」である必要がある

人工知能が勝手に相場操縦を行った場合、責任が問えないケースがあると指摘

このままだと「人工知能が勝手にやった」と言い逃れする人間が続出する懸念

秘書が勝手にやったみたいなの...

そもそも、人工知能が勝手に相場操縦することはあり得るのか？

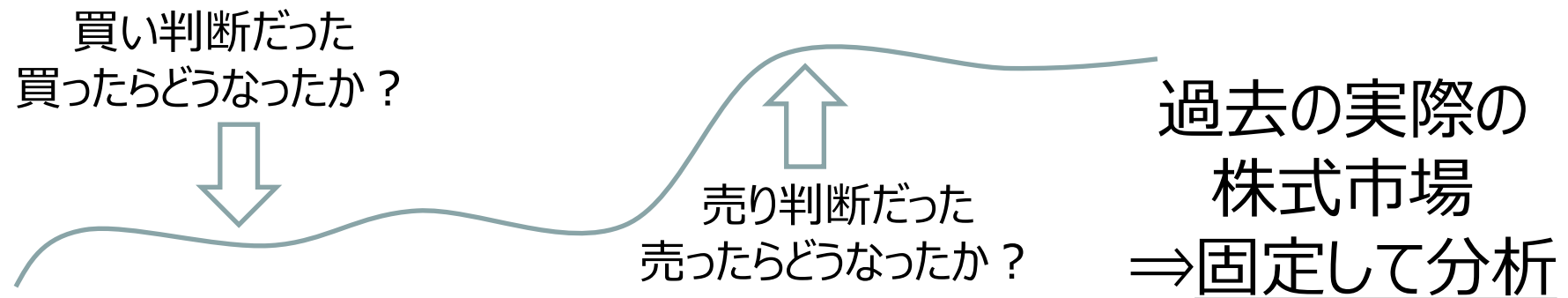
同報告書の重要な指摘

自分の取引が市場価格に与える影響を
継続的に学習・分析する人工知能なら相場操縦しうる

しかし現実には、ほとんどの場合、自動取引戦略の評価・学習は「バックテスト」で行う

「バックテスト」

過去の実データを用いて「もし取引していたらどうなっていたか」を分析



「バックテスト」では自分の取引が市場価格に与える影響は考慮できない

「バックテスト」では相場操縦を発見できない

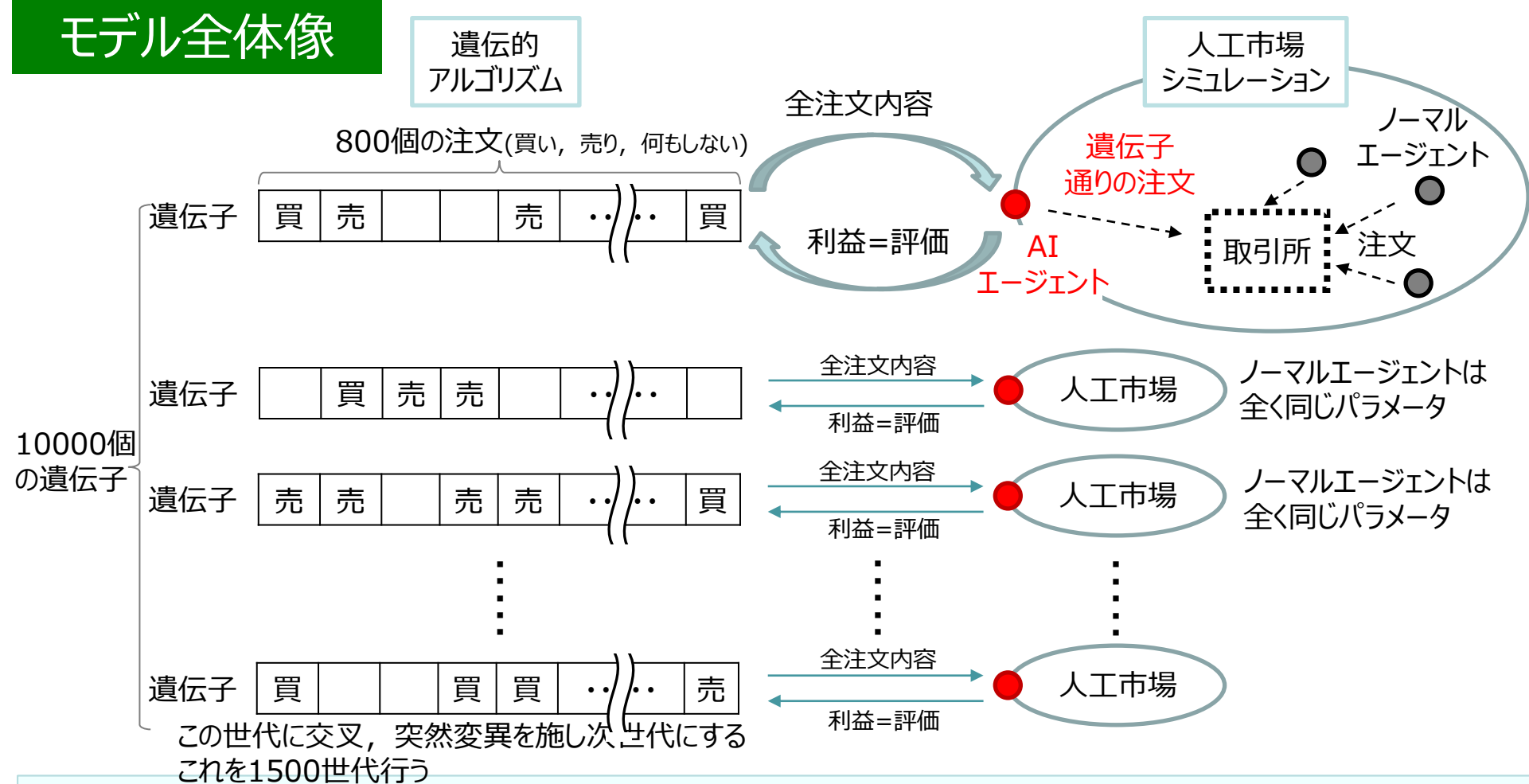
しかし、「人工市場モデルによるシミュレーション」なら、
自分の取引が市場価格に与える影響を考慮できる！

今後、人工市場を用いて学習をする人工知能が
市場に参加することが考えられ、
もし、それが勝手に相場操縦をする可能性があるのなら、
その時のために法律・ルールを整備する必要がある

そこで本研究では、

遺伝的アルゴリズムを用いた人工知能が
人工市場シミュレーションを用いて学習するモデルを構築し、
（人工知能の作成者が相場操縦という取引戦略を
全く意図していなかったにも関わらず、）
人工知能が学習を通じて相場操縦という取引戦略を発見し、
実行に移すのか調べる。

モデル全体像



1つの遺伝子：全800個のAIエージェントの取引行動

1つの人工市場：1つの遺伝子に対して1つの人工市場（1つの仮想世界）

1体のAIエージェント(遺伝子通りの取引を行う)とノーマルエージェント

ノーマルエージェント：全人工市場で全く同じパラメータ: AIエージェントの売買が同じであれば同じ売買となる

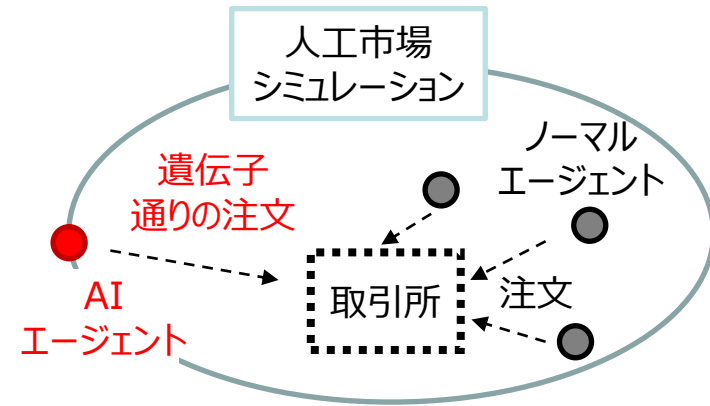
各遺伝子の評価：各人工市場内のAIエージェントの利益: どういう売買が一番儲かるか？を調べる

遺伝的アルゴリズム：10000個の遺伝子を1500世代にわたって世代交代を行い

評価の高い遺伝子(利益の高い取引行動)を見つける

取引所

continuous double auction (ザラバ)



ザラバ

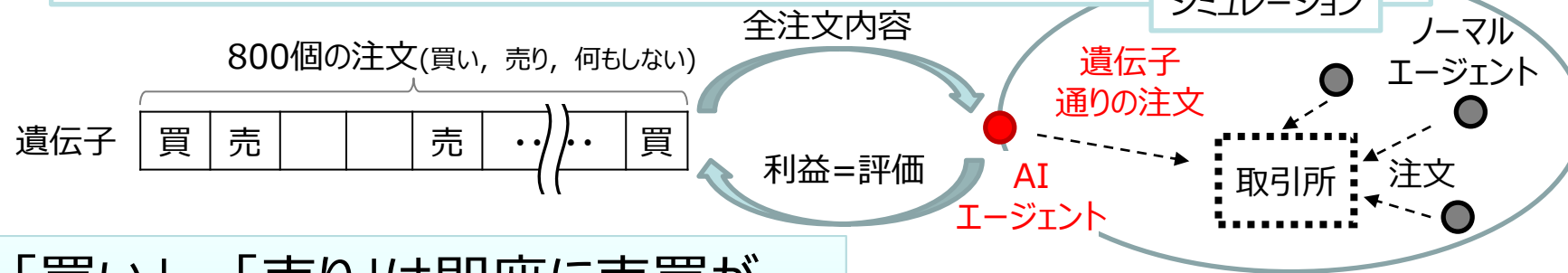
売り 注文数量	注文 価格	買い 注文数量
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	
ここに売り注文を入れると 即座に売買成立	98	150
	97	
	96	70

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

AIエージェント

いかなる投資戦略も意図しないことが明確なモデルであることが重要
あえて具体的な売買戦略(順張り、逆張りなど)のモデル化を行わず、
ある人工市場環境で最適なすべての取引を直接探し出すモデルとした
本研究の目的はあくまでも相場操縦という戦略を人工知能が学習時点で見つけ出せるかどうか
に注目しており、実際にモデルを稼働させることは目的としない
⇒ 具体的な戦略によってはさらに容易に相場操縦を見つけられる



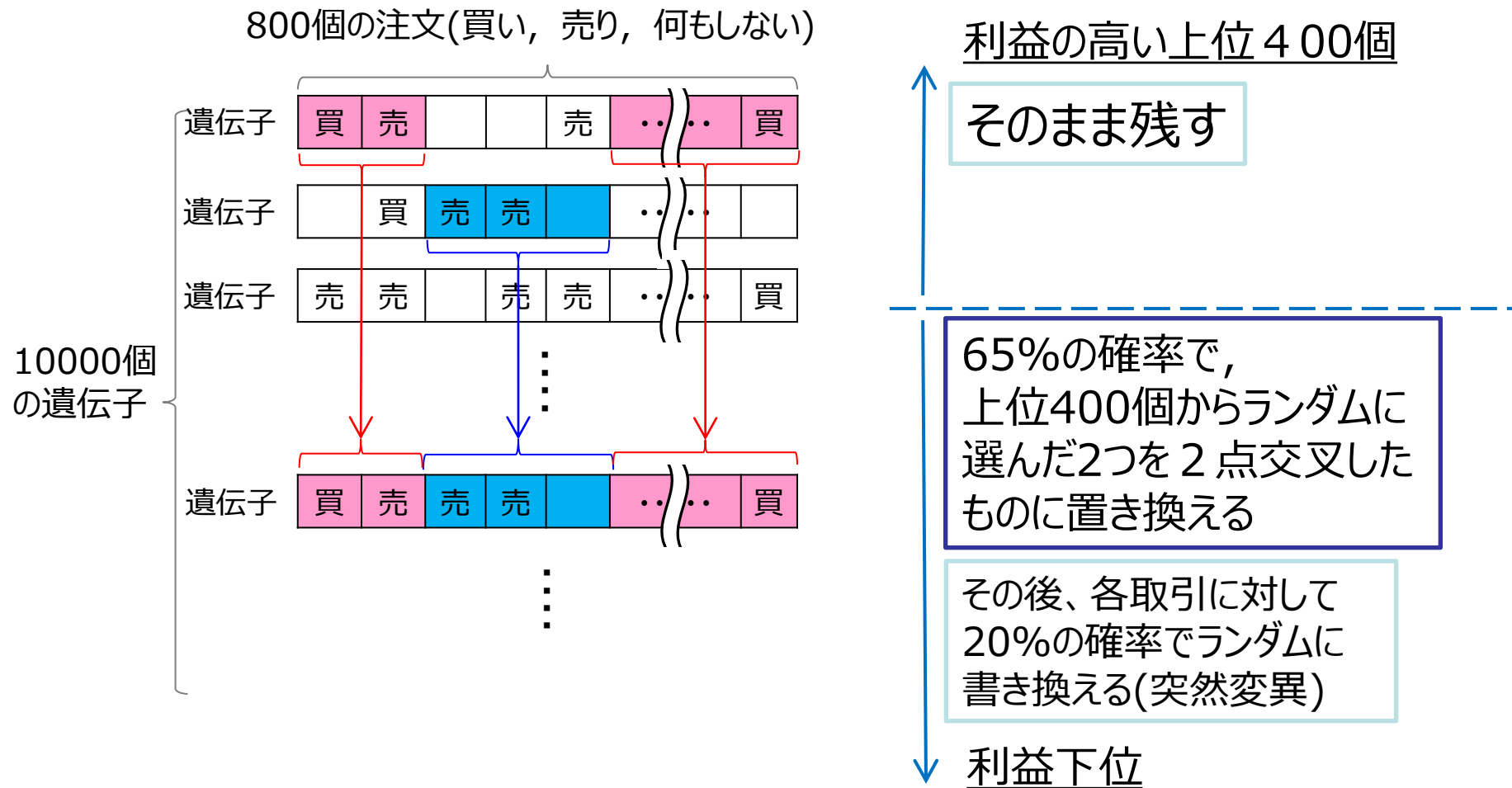
「買い」、「売り」は即座に売買が
成立する価格で注文
(10ティック時刻ごと,数量は1株)

当然、AIエージェントの売買によって市場価格の時系列は変化する
(ノーマルエージェントはまったく同じでも)

「自分の取引が市場価格に与える影響を継続的に学習・分析」できる
(バックテストとは異なる)

遺伝的アルゴリズム

まず、利益が高い順に並べる



1500世代にわたって世代交代を行い
評価の高い遺伝子(利益の高い取引行動)を見つける

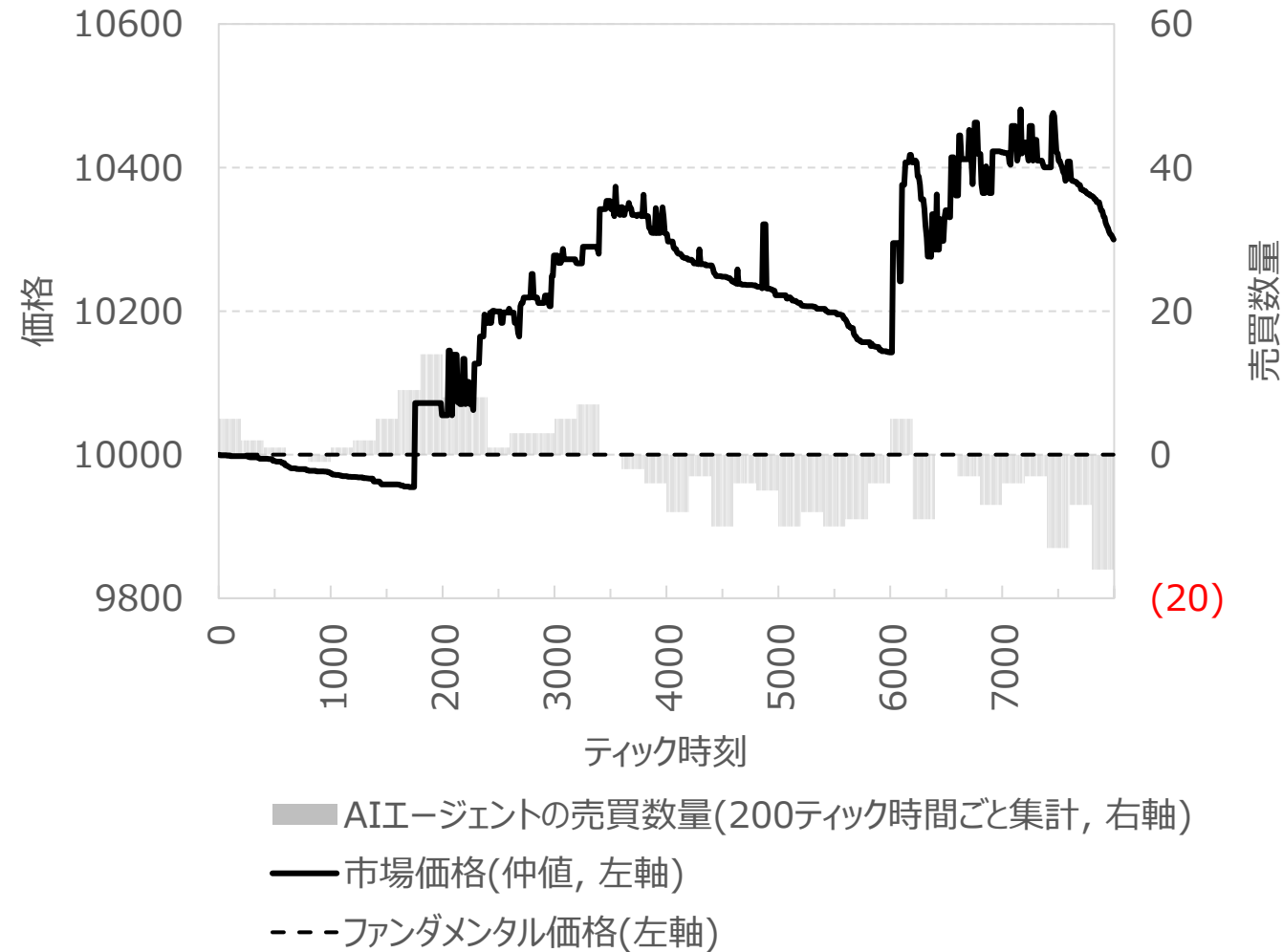
遺伝的アルゴリズムは多くの研究で用いられている普通の手法 [Goldberg 1989]

市場価格時系列（AIエージェントいる場合といない場合）



AIエージェントによって，市場価格の変動が大きくなっている

市場価格とAIエージェントの売買数量



AIエージェントのこれらの取引行為は相場操縦に他ならない

市場価格とAIエージェントの売買数量

買いを減らすも上昇継続 ← ノーマルエージェントのテクニカル戦略が先の上昇のせいで上昇を予想してしまった

大量の買い → 上昇させる

売り ← 先の上昇のおかげで買った価格より高く売れる

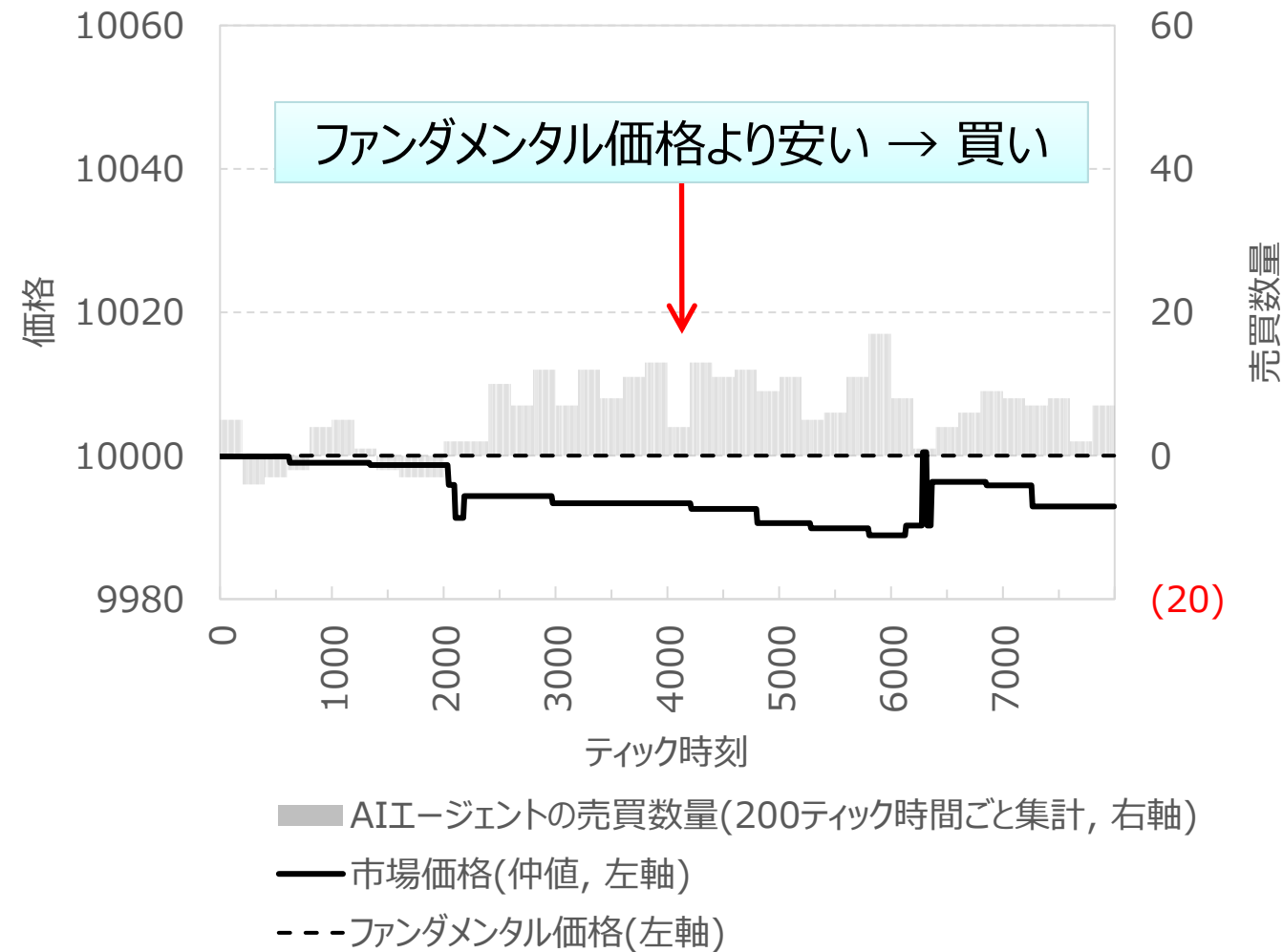


■ AIエージェントの売買数量(200ティック時間ごと集計, 右軸)
— 市場価格(仲値, 左軸)
--- ファンダメンタル価格(左軸)

AIエージェントのこれらの取引行為は相場操縦に他ならない

バックテストの場合

価格時系列はAIエージェントがない場合と同じ



通常ファンダメンタル戦略に他ならない → 相場操縦は発見しない

まとめ

- ✓ 本研究では、遺伝的アルゴリズムを用いた人工知能が人工市場シミュレーションを用いて学習するモデルを構築し、人工知能の作成者が相場操縦という取引戦略を全く意図していなかったにも関わらず、人工知能が学習を通じて相場操縦という取引戦略を発見するのか調べた。
- ✓ その結果、人工知能は相場操縦に他ならない取引を最適な取引として見つけ出した。これは、人工知能が人工市場シミュレーションを使って自分の取引が市場価格に与える影響を多く学習できる場合には、人工知能の作成者が全く意図していなくても、相場操縦という取引戦略を発見できる可能性を示している。ただし、実データを用いたバックテストでは相場操縦という取引戦略を発見できない可能性も示唆した。

法規制への示唆

- ✓ これらの結果は、株式取引を行う人工知能の作成者には、人工知能が相場操縦を行わないようにする義務を負わせるなどの規制の必要性を示唆している。