

2023年6月6日-9日
第37回 人工知能学会全国大会

<https://www.ai-gakkai.or.jp/jsai2023/>

人工市場シミュレーションによる 値幅制限とサーキットブレイカーの効果比較



水田 孝信

スパークス・アセット・マネジメント株式会社

mizutata[at]gmail.com <https://mizutatakanobu.com>

八木 勲

工学院大学

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

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

(1) はじめに

(2) モデル

(3) シミュレーション結果

(4) まとめ

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

(1) はじめに

(2) モデル

(3) シミュレーション結果

(4) まとめ

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

値幅制限、サーキットブレーカー：どちらがよいか？

証券取引所において、市場安定化のため価格の急変動をおさえるための規制を加えることがある

値幅制限

現在の価格から大きく離れた価格の注文を出せないようにする
日本や中国本土，韓国などアジアで採用が多い

サーキットブレーカー

価格が急変動した際にある一定時間注文を受け付けない
米国やヨーロッパで採用が多い

どちらがより価格の急変動をおさえるかは多くの議論がある

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

[https://mizutakanobu.com/2023JSAI.pdf](https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf)

現実の金融市場では全く同じ急変動が起こることはない

- ・ 制度の違いによってもたらされた違いなのか？
- ・ そもそも急変動の大きさの違いなのか？

区別できないため、実証分析で両制度の効果を比較するのは難しい



人工市場

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

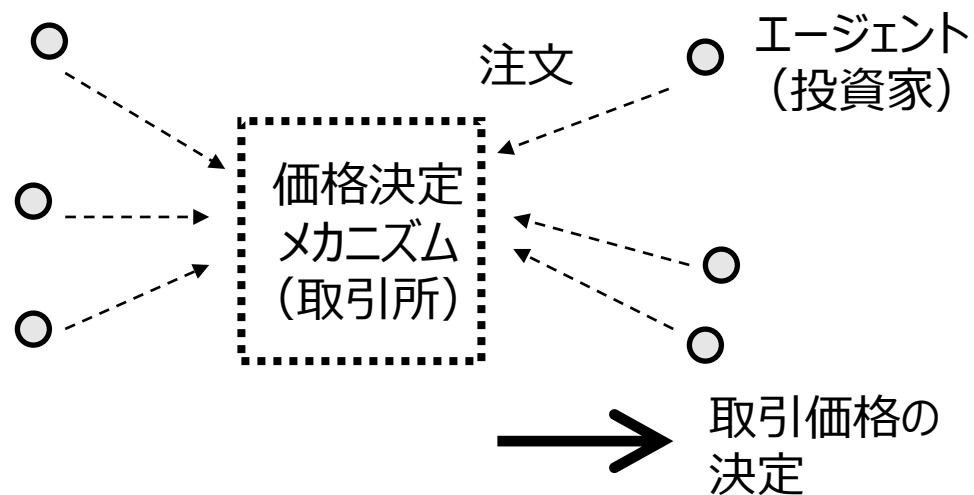
人工市場とは？・・・金融市場のマルチエージェントモデルです

計算機上に人工的に作られた架空の市場

エージェント（架空の投資家）

+

価格決定メカニズム（架空の取引所）



実データが全く必要ない完全なコンピュータシミュレーション

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

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)



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

JPXワーキングペーパー

東京証券取引所の親会社、日本取引所グループ(JPX)が発行

40本中、実に12本が人工市場を用いた研究(2022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>

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

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。

[水田 2014],[Mizuta 2016]

値幅制限を分析した研究

値幅制限が有効であるためのパラメータの条件を見つけた

注文が1つ出されると時間が1進むモデルになっており、サーキットブレイカーの発動時のように、注文は出せないが時間が経過する効果をモデル化できていない

ただ時間が経過したことによる効果をモデル化するためには工夫が必要

値幅制限とサーキットブレイカーの両方を同じ条件で比較するにはモデルに工夫が必要

そこで本研究は、

[水田 2014],[Mizuta 2016]

+

誤発注 & 損切り

値幅制限とサーキットブレイカーの両方を
同じ条件で比較した

各エージェントは適正な価格を予想

誤発注により適正な価格とは関係なく大幅に下落

予想が正しいか調べ直すのに時間がかかる

調査が終わるまでは損切り

ただ時間が経過したことによる効果のモデル化に成功

(1) はじめに

(2) モデル

(3) シミュレーション結果

(4) まとめ

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

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	
	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

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)

j: エージェント番号(順番に注文)
t: 時刻

予想リターン

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

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 $0\sim 1000$

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

t=10000経過した注文はキャンセルする

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

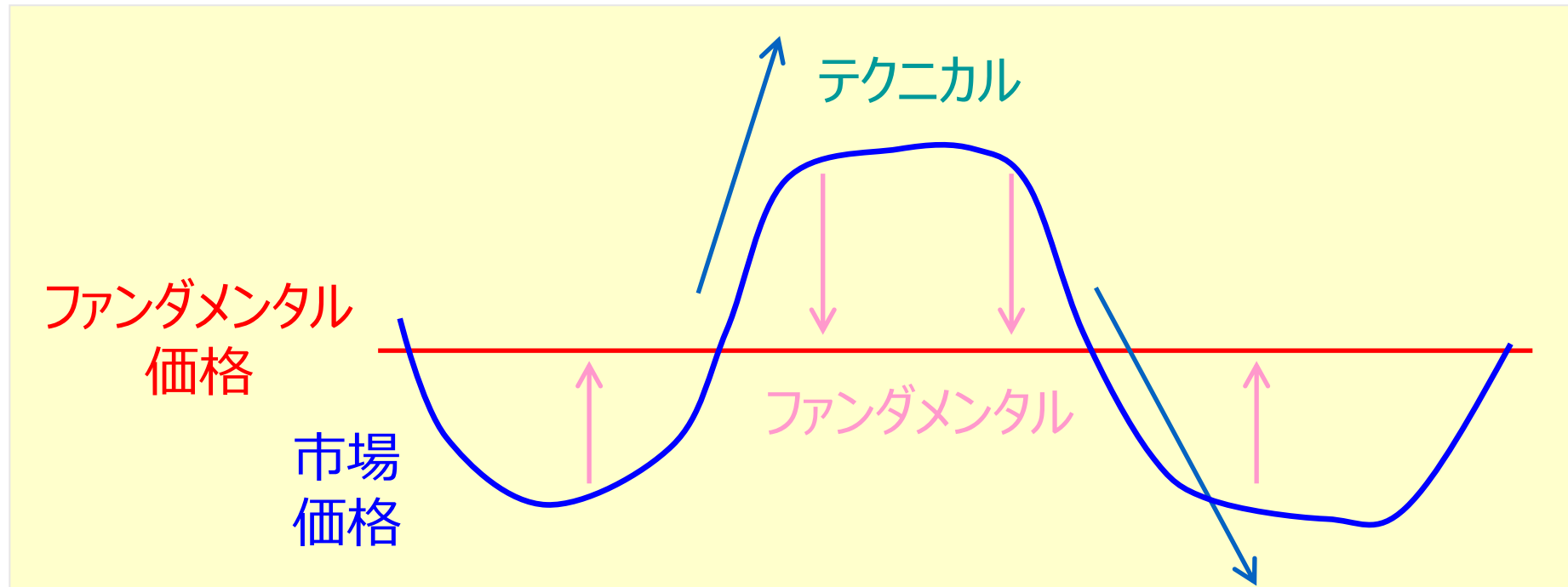
ファンダメンタル価格 $>$ 市場価格 \Rightarrow 上がると予想

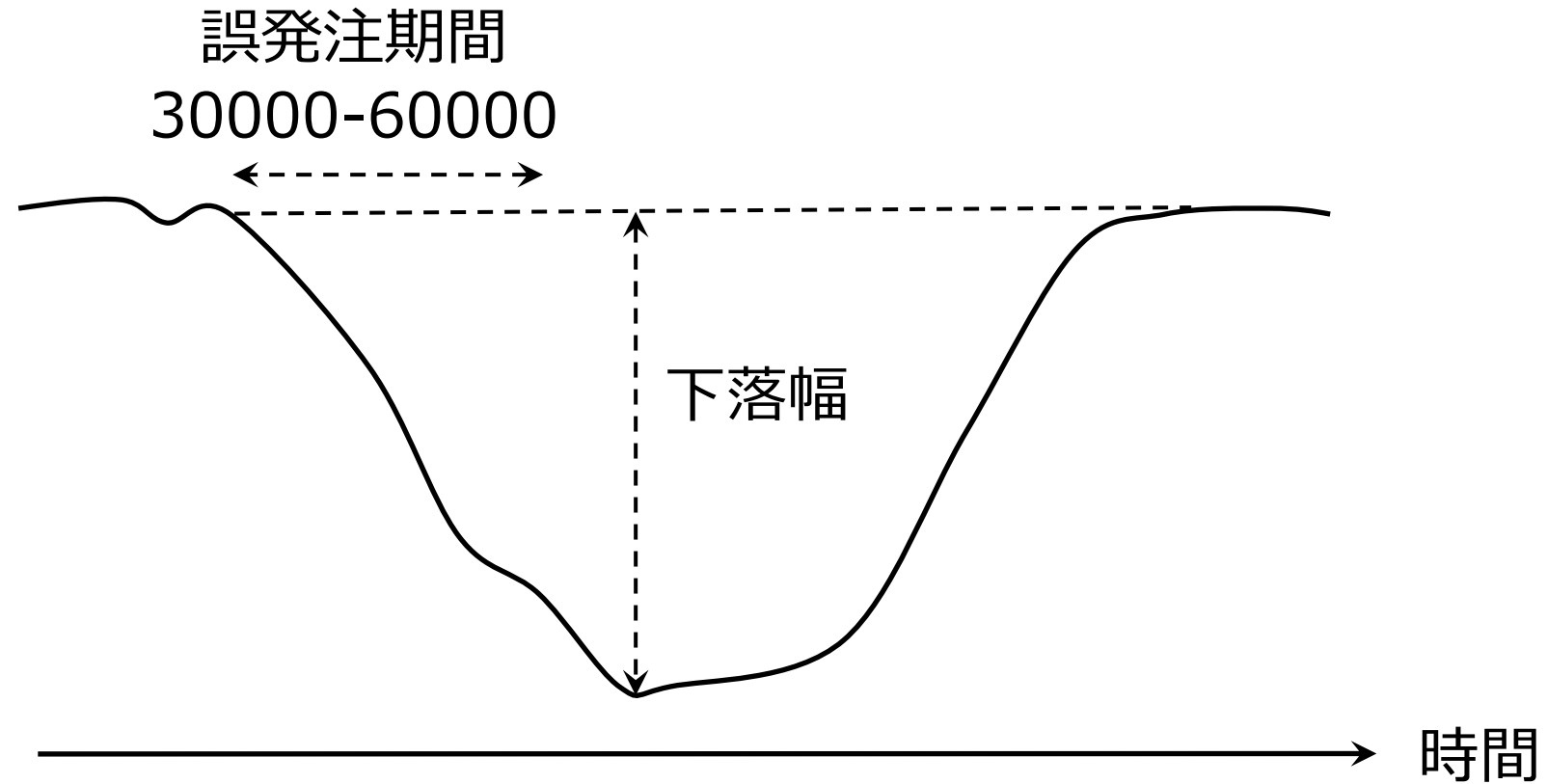
ファンダメンタル価格 $<$ 市場価格 \Rightarrow 下がると予想

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

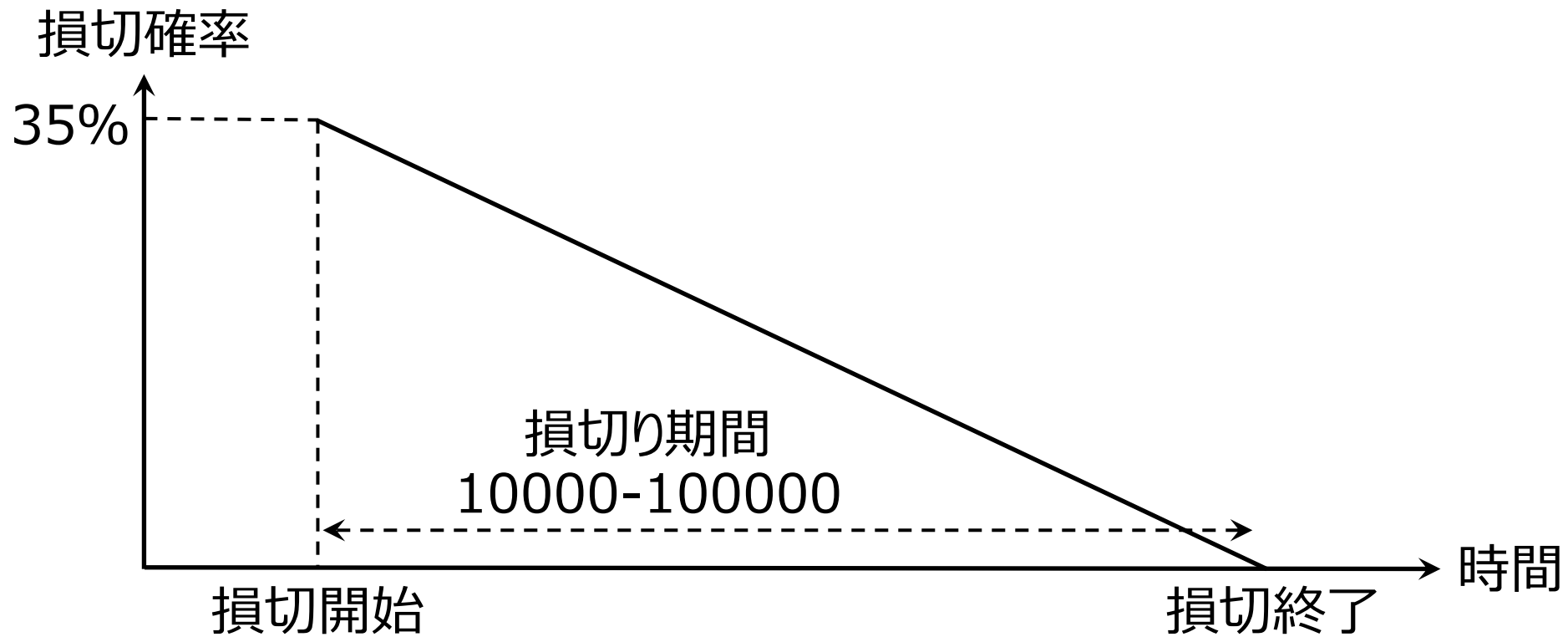




誤発注期間においては、各エージェントの注文は15%の確率で即時に成立するくらい安い価格の売り注文に変更

誤発注により大きく価格は大きく下落。次に述べる損切りにより誤発注期間後も下落。最も下落した時と通常時との価格差を今後、“下落幅”とよぶ

損切り

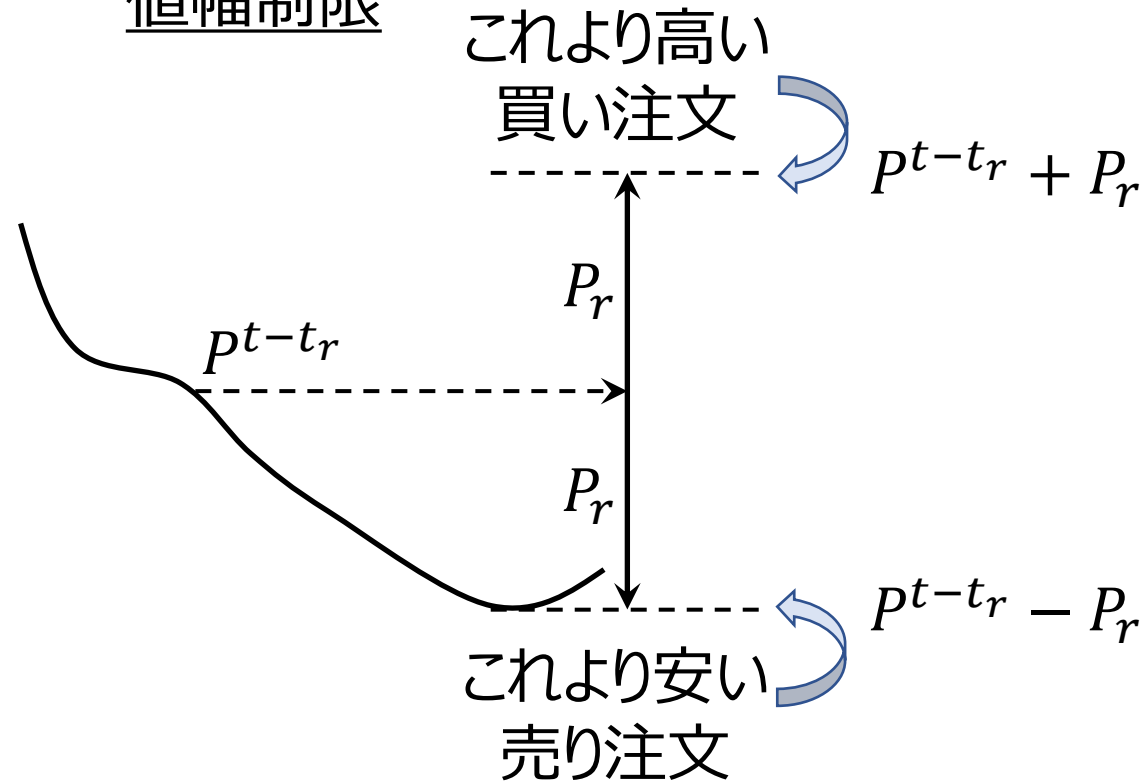


各エージェントは損切り価格をあらかじめ決めている(概ね7000-9000)
その価格を下回ると損切り開始となる。初め35%の確率で、
即時に成立するくらい安い価格の売り注文に変更するが、
この確率は損切り終了までに線形に減少

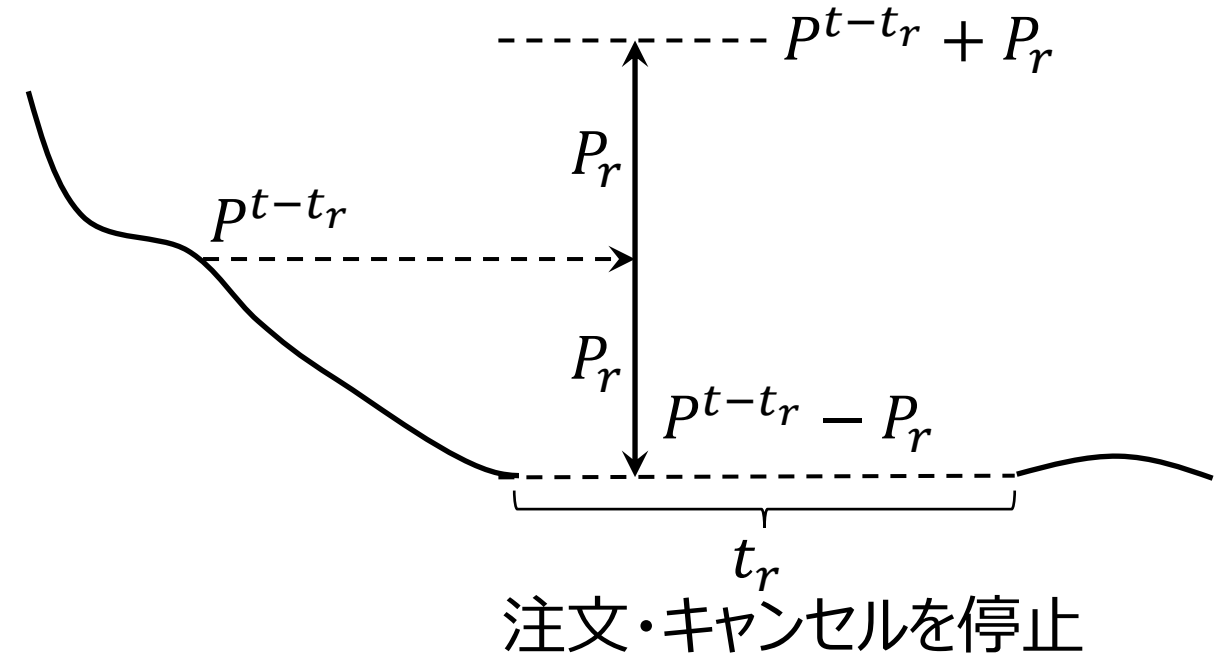
誤発注により大きく価格は大きく下落し、損切りにより誤発注期間後も下落

値幅制限とサーキットブレーカー

値幅制限



サーキットブレーカー



tr前の価格から上下Prを超えたら制限

値幅制限：値幅からでた注文を値幅ギリギリの注文にする

サーキットブレーカー：そこからtrの間、注文・キャンセルを停止

値幅制限(改)：値幅からでた注文はなかったことにする：(現実的でないが比較用)

trとPrをさまざまに変えて、値幅制限とサーキットブレーカーの効果を比較する

(1) はじめに

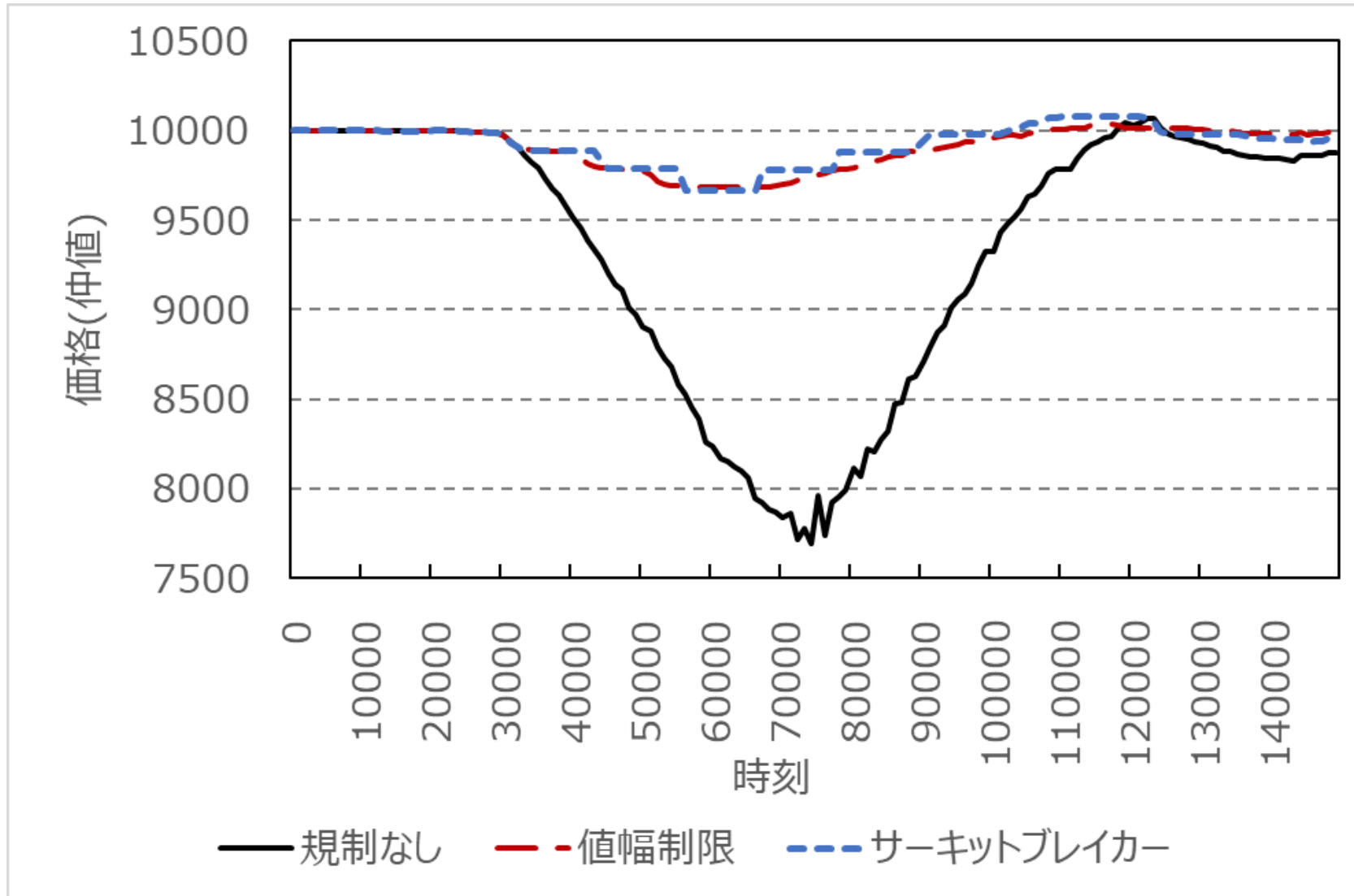
(2) モデル

(3) シミュレーション結果

(4) まとめ

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>



規制なしは誤発注期間終了後も下落が続いている
値幅制限、サーキットブレイカーとも下落をおさえている

さまざまにパラメータを変えた時の下落幅の比較

値幅制限

制限値幅	制限時間				
	1000	2000	5000	10000	20000
10	298	157	73	45	33
20	577	302	134	79	52
50	1227	721	313	167	110
100	2000	1296	612	315	209
200	2194	2111	1140	615	408
500	2054	2054	2053	1419	906
1000	2054	2054	2054	2054	1433

サーキットブレイカー

制限値幅	制限時間				
	1000	2000	5000	10000	20000
10	152	103	57	34	22
20	297	207	107	58	43
50	702	487	266	163	105
100	1222	869	520	315	208
200	1954	1522	821	614	407
500	2054	2054	2038	1061	503
1000	2054	2054	2054	2054	1006

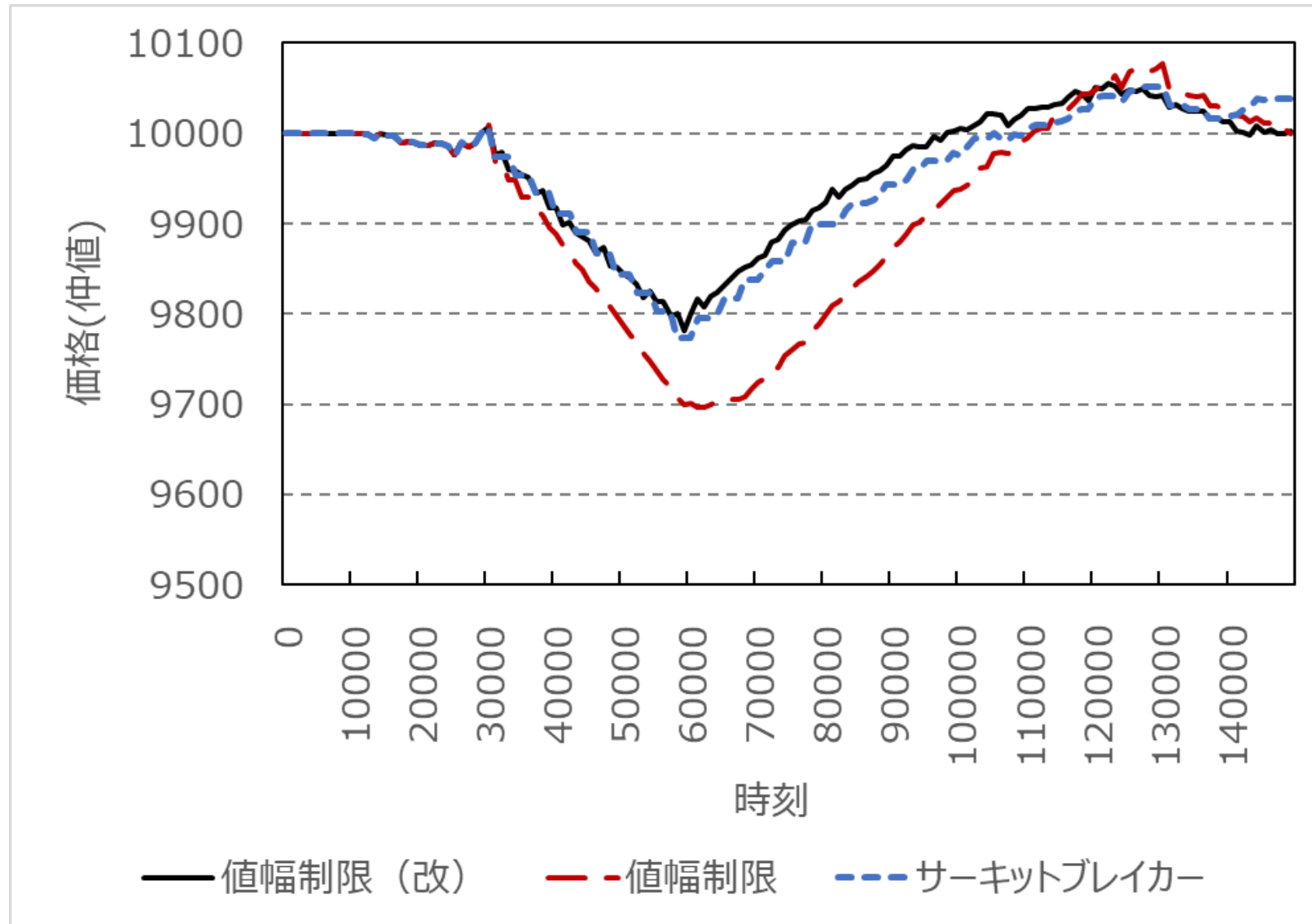
[水田 2014], [Mizuta 2016]より、値幅制限が有効であるためには
 $\text{制限値幅} / \text{制限時間} < \text{下落速度}$
 であることが必要。黄色はそれを満たさない領域

$\text{tr} \geq 10000$: 同じくらいの効果
 $\text{tr} < 10000$: 値幅制限のほうが効果が低い

値幅制限－サーキットブレイカー

		制限時間				
		1000	2000	5000	10000	20000
制限値幅	10	146	54	16	12	11
	20	280	95	27	21	9
	50	525	234	47	4	5
	100	778	427	92	0	1
	200	240	589	319	1	1
	500	0	0	15	359	403
	1000	0	0	0	0	427

差を取るとよくわかる



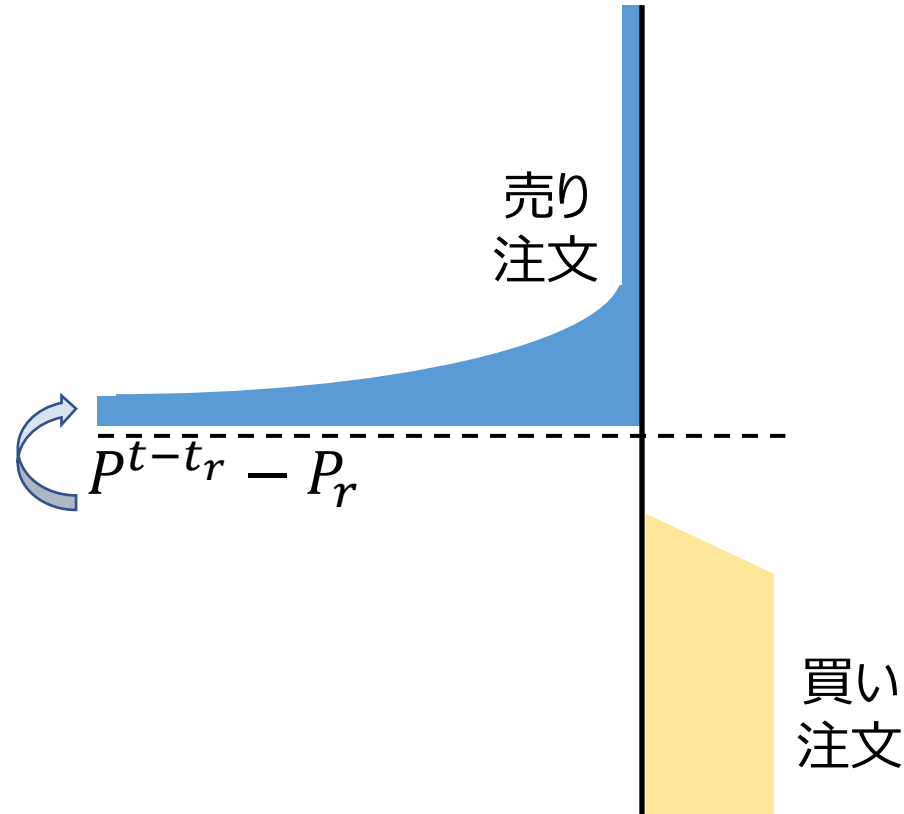
値幅制限は効果が低くなっているが
値幅制限(改)はサーキットブレイカーと同じ効果

値幅制限(改)－サーキットブレイカー

	制限時間				
	1000	2000	5000	10000	20000
10	-8	-17	-13	-5	-1
20	56	3	-4	2	-3
50	212	83	16	-14	-6
100	418	247	38	-17	-10
200	69	413	231	-23	-10
500	0	0	15	318	392
1000	0	0	0	0	417

値幅制限(改)だと制限時間によらず、
サーキットブレイカーと同等の効果を得る

値幅制限と値幅制限(改)の違い



t=10000はエージェントが注文をキャンセルする期間と同じ
注文がキャンセルされる前にPrが変わっていき制限値に多くの売り注文がたまる

この売り注文が壁となり買い注文が多少入っても、まったく上昇しなくなる
⇒ 下落をおさえにくくなる
(改)ではこの注文がないため壁が作られない

t=600000の注文状況(tr=2000, Pr=20)

値幅制限

サーキットブレイカー

値幅制限 (改)

売り株数	価格帯	買い株数	売り株数	価格帯	買い株数	売り株数	価格帯	買い株数
272	9780-9800		6	9860-9880		82	9880-9900	
290	9760-9780		9	9840-9860		85	9860-9880	
279	9740-9760		8	9820-9840		55	9840-9860	
278	9720-9740		1	9800-9820		25	9820-9840	
136	9700-9720		1	9780-9800		3	9800-9820	
	9680-9700	49		9760-9780	17		9700-9800	4
	9660-9680	69		9740-9660	44		9720-9780	74
	9640-9660	83		9720-9740	44		9740-9760	72
	9620-9640	80		9700-9720	64		9720-9740	86
	9600-9620	67		9680-9700	54		9700-9720	88

確かに、値幅制限の時のみ売り株数が多くなっている

(1) はじめに

(2) モデル

(3) シミュレーション結果

(4) まとめ

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

- ✓ 本研究では, [水田 2014],[Mizuta 2016]の人工市場モデルに, エージェントの損切り行動とサーキットブレイカーを追加に実装し, 同じパラメータを持つ値幅制限とサーキットブレイカーの効果の比較を行った. その結果, 値幅制限とサーキットブレイカーは制限値幅や制限時間といったパラメータを同じにすれば, 同じ程度に急変動をおさえる効果があることが分かった. しかし, 投資家が注文をキャンセルする時間スケールより値幅制限が短いパラメータを持つ場合, 制限価格に付近に注文がたまってしまい, その注文が急変を緩和する方向への価格変動を妨げてしまい, サーキットブレイカーよりも効果は劣ってしまうことも分かった.

- ✓ 今回の結果は非常に限定的な状況下のことしか示していないことに注意が必要である。今回の結果だけを見れば、値幅制限よりもサーキットブレーカーの方が優れているように見える。しかし今回の結果は、誤発注による下落であり、かつ、いずれの規制も個別銘柄に導入された場合のみを分析している。すなわち、価格急変動の原因が誤発注ではない場合、例えばファンダメンタル価格の急変時などや、個別銘柄ではなく株価指数に導入されている場合などは、結果が異なる可能性がある。
- ✓ 実際、現実の市場においては、価格急変動の要因は誤発注以外の場合もとても多く、また、値幅制限は個別銘柄に、サーキットブレーカーは株価指数に導入されることが多い。
- ✓ また、特にサーキットブレーカーの場合、制限が始まりそうになると投資家が売買を急ぐ行動がみられることがあり、これがかえって価格変動を急にしている場合もあることが指摘されている [Wang 2022].
- ✓ これらの検討はすべて今後の課題である。

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

[https://mizutakanobu.com/2023JSAI.pdf](https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf)

参考文献

- [水田 2014] 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・制度の分析”, 博士論文, 東京大学大学院工学系研究科, 2014, <https://doi.org/10.15083/00007779>
(モデル構築の詳細などが書かれています)
- [Mizuta 2016] Mizuta, T., Kosugi, S., Kusumoto, T., Matsumoto, W., Izumi, K., Yagi, I., and Yoshimura, S., “Effects of Price Regulations and Dark Pools on Financial Market Stability: An Investigation by Multiagent Simulations”, Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management, Vol. 23, No. 1-2, pp. 97-120, 2016, <https://doi.org/10.1002/isaf.1374>

こちらのスライドは以下からダウンロードできます

<https://mizutatakanobu.com/2023JSAI.pdf>

その他文献(人工市場全般)

解説資料(人工市場は後半から)

水田孝信, 「金融業界における人工知能、高速取引、人工市場による市場制度の設計」

<https://mizutatakanobu.com/2023k.pdf>

解説動画 YouTube: <https://youtu.be/DI5Q-Ub4Wck>

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「人工市場による金融市場の設計と広がる活用分野」

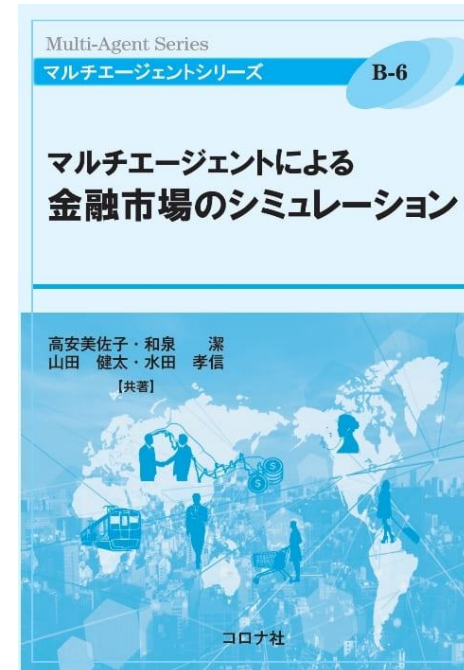
人工知能学会誌 人工知能 2021年5月号

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

一般向け解説記事

水田孝信 「金融市場の制度設計に使われ始めた人工市場」, 2021,
スパークス・アセット・マネジメント

<https://www.sparx.co.jp/report/special/3215.html>



スパークス・アセット・マネジメント株式会社

SPECIAL REPORT

2021年11月15日

金融市場の制度設計に使われ始めた人工市場

著者: 水田 孝信
スパークス・アセット・マネジメント(株)
ファンドマネージャー兼上席研究員

レビュー論文英語版

Mizuta (2019) An agent-based model for designing a financial market that works well,

査読付き国際会議論文 <https://doi.org/10.1109/SSCI47803.2020.9308376>

arXiv <https://arxiv.org/abs/1906.06000>

Slide: <https://mizutatakanobu.com/2021kyushu.pdf>

YouTube: <https://youtu.be/rmlb72ykmlE>

先行研究をひたすら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>