

金融業界におけるAI、高速取引、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/2024.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、ファンドの管理的なマネージャー、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年度から2022年度まで 東京大学公共政策大学院 非常勤講師

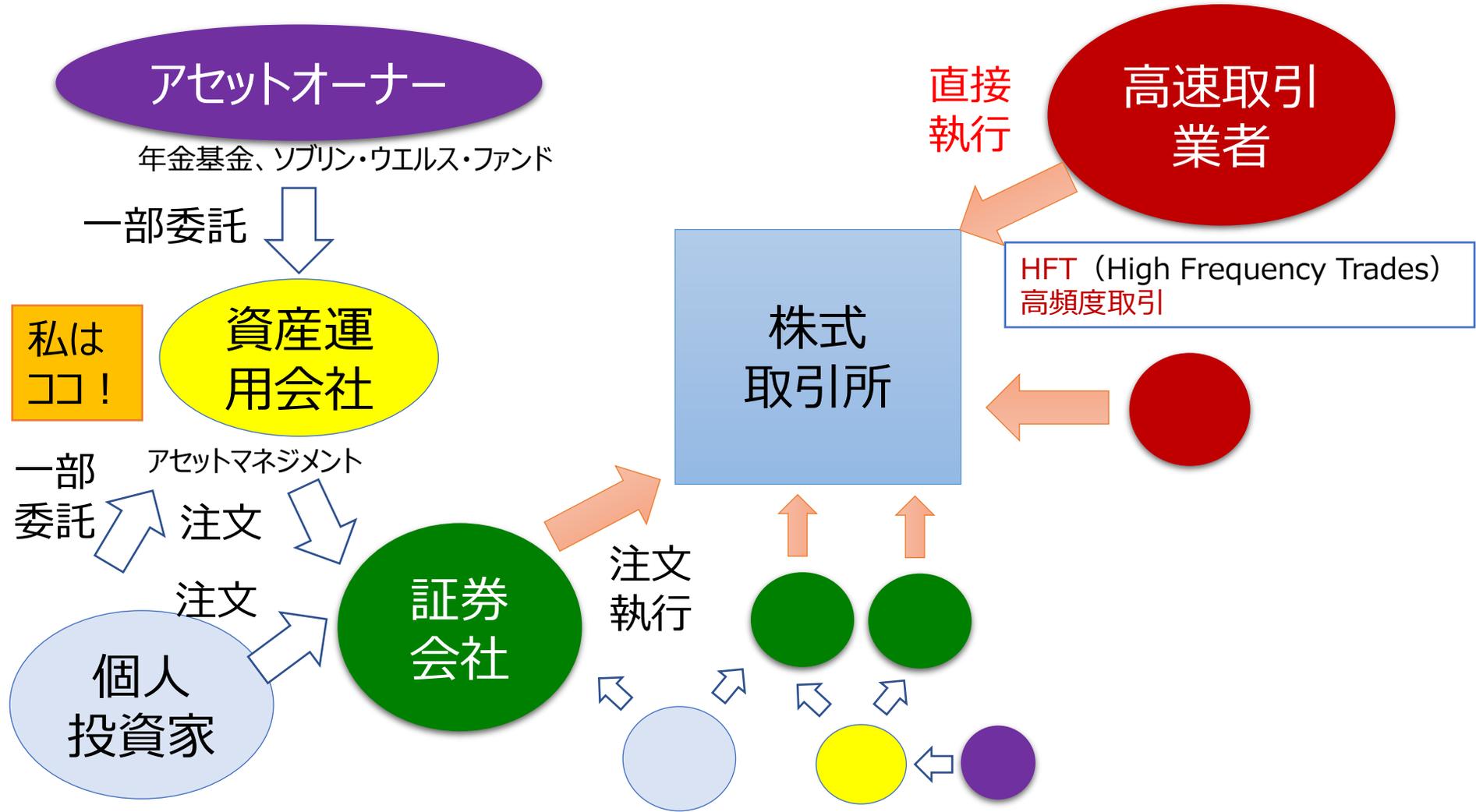
2016年度より 人工知能学会 金融情報学研究会幹事 2022・2023年度は主査

2017・18年度 人工知能学会 代議員

2019年より Computational Finance and Economics Technical Committee Member on IEEE CIS

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の高速化



著作物や資料：もしご興味あればご覧下さい

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/>



- 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？
- 2023/4/5 いまだに残るアクティブ運用とパッシブ運用への誤解
- 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"
- 2019/6/13 高頻度取引（3回シリーズ第3回）：高頻度取引ではないアルゴリズム取引と不公正取引の取り締まり高度化
- 2019/5/8 高頻度取引（3回シリーズ第2回）：高頻度取引業界-競争激化と制度・規制の整備-
- 2019/4/3 高頻度取引（3回シリーズ第1回）：高頻度取引とは何か？
- 2019/3/11 あの日から8年～自然災害と取引所～
- 2018/11/7 信託報酬ゼロの出現～コスト以上に重要なこと
- 2018/8/17 上場銘柄数が減少し小型株が冴えない米国
- 2018/5/21 なぜ株式市場は存在するのか？
- 2018/4/23 水平株式保有は経済発展をとめるのか？
- 2018/3/2 パッシブファンドの新たなる論点「水平株式保有」
- 2018/2/16 優れたアクティブファンドはいろいろな忍耐強さを持っている
- 2018/2/16 アクティブファンドが超えてはいけない規模
- 2016/12/2 良いアクティブ運用とは？ -対ベンチマーク運用の衰退とハイリーアクティブ運用の再起-

学術研究：人工市場による市場制度の設計



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

人工市場による市場制度の設計：学術的に詳細なもの

博士論文(モデル構築の詳細などが書かれています)

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://mizutakanobu.com/jphd.htm>

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://mizutakanobu.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>

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&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円

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



A: 金融業界におけるAI

B: 高速取引

C: 人工市場による市場制度の設計

この3つのお話を用意しました

スライドごとに音声を収録しています。収録時期はスライドによってバラバラです
これまでのバージョンと同じ話のところはスライドや音声を使いまわしています
声の調子とかが急に変わることがあるのでご了承ください

一部機械音声もあり急に変わるのでご了承ください

スライドの細かいところは修正したけど音声は修正してないところとかもあります

A: 金融業界におけるAI

B: 高速取引

C: 人工市場による市場制度の設計

(参考レポート)

「投資の世界における生成AI」, 2023 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/1144.html>

「金融市場で使われている人工知能」, 2021 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/306.html>

「人工知能が不公正取引を行ったら誰の責任か?」, 2020 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/499.html>

- (1) AIの仕組み：生成AIの仕組みも含めて
- (2) AIの得意・不得意および脅威・規制
- (3) 金融での応用
- (4) 金融での脅威

私が資産運用業界（特に株式）に所属しているため、
金融業界といっても資産運用業界を中心に紹介します

(1) AIの仕組み：生成AIの仕組みも含めて

(2) AIの得意・不得意および脅威・規制

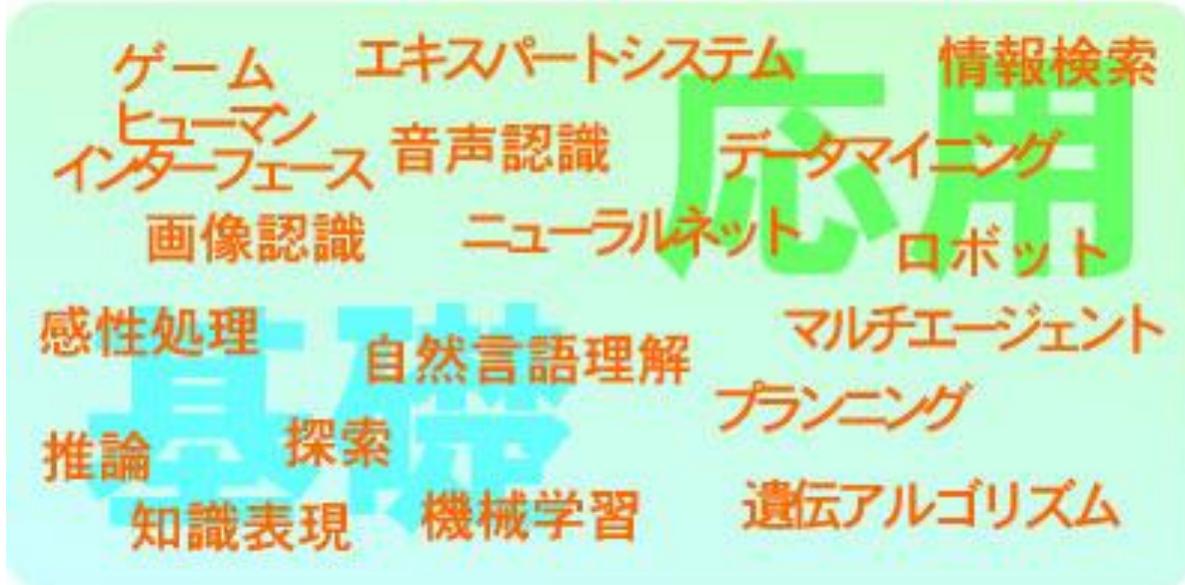
(3) 金融での応用

(4) 金融での脅威

人工知能学会の定義

人工知能研究

人工知能(AI)とは知能のある機械のことです。しかし、実際のAIの研究ではこのような機械を作る研究は行われていません。AIは、本当に知能のある機械である強いAIと、知能があるようにも見える機械、つまり、人間の知的な活動の一部と同じようなことをする弱いAIとがあります。AI研究のほとんどはこの弱いAIで、図のような研究分野があります。



強いAI



そもそも“理解”とは何か、といった哲学的な論争が行われている

信原幸弘「強いAI」国際哲学研究, 別冊13, 2020

<https://doi.org/10.34428/00011545>

人工知能学会ホームページ <https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/AIresearch.html>

AI(人工知能) ≡ 古典的統計学以外の計算機での演算手法全般
SFに出てくる“人工知能”とはかけ離れている

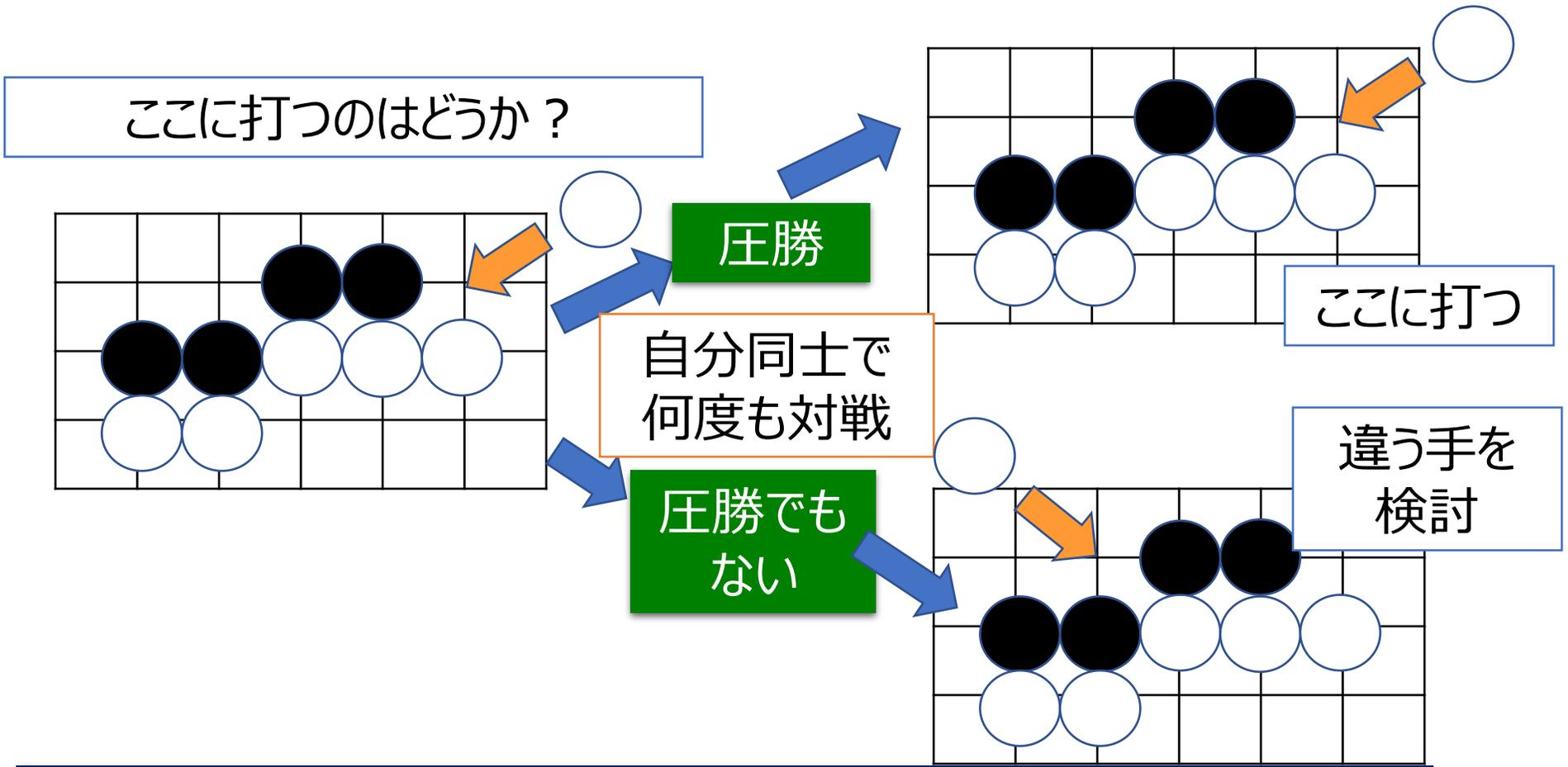
所詮は“コンピュータ”、“計算機”。コンピュータから別のものになったわけではない

人工“知能”と言うが、“知能”そのものを獲得したわけではない
“知能”があるかのように誤解されるものを目指しているだけ

囲碁で人間に勝ったのは凄いんじゃないの？・超ザックリな仕組みの説明

どうやって囲碁をさしているか？ 誤解を恐れずに、簡単に言えば、、

(説明を簡単にするために簡略化していますが、当然、もっとさまざまな工夫がなされています。)

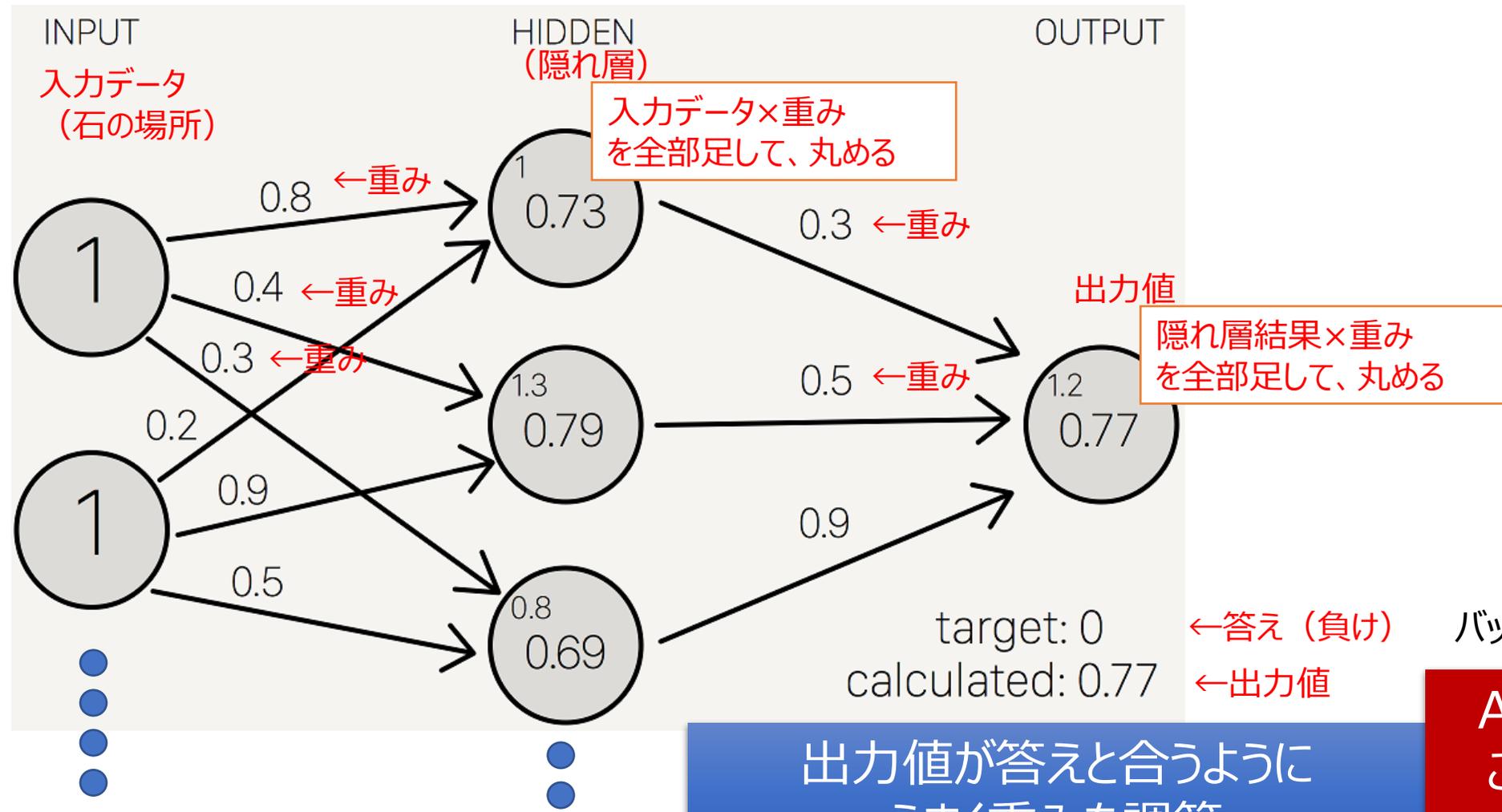


おびたしい回数繰り返せば、かなりのケースを網羅できる
人間だと5,000年かかる → 私だって5,000年あればトップ棋士に勝てる
単純な作業を高速で繰り返すことができるのがAIの長所

もうちょっと詳しく(1/2)

30年くらい前に発明されたニューラルネットワークを例に説明します
実際にはこれが非常に入り組んでもっと高度に工夫された
ディープラーニング、トランスフォーマー、などと呼ばれるものが使われています

生成AIも
これが高度に
結合されもの！



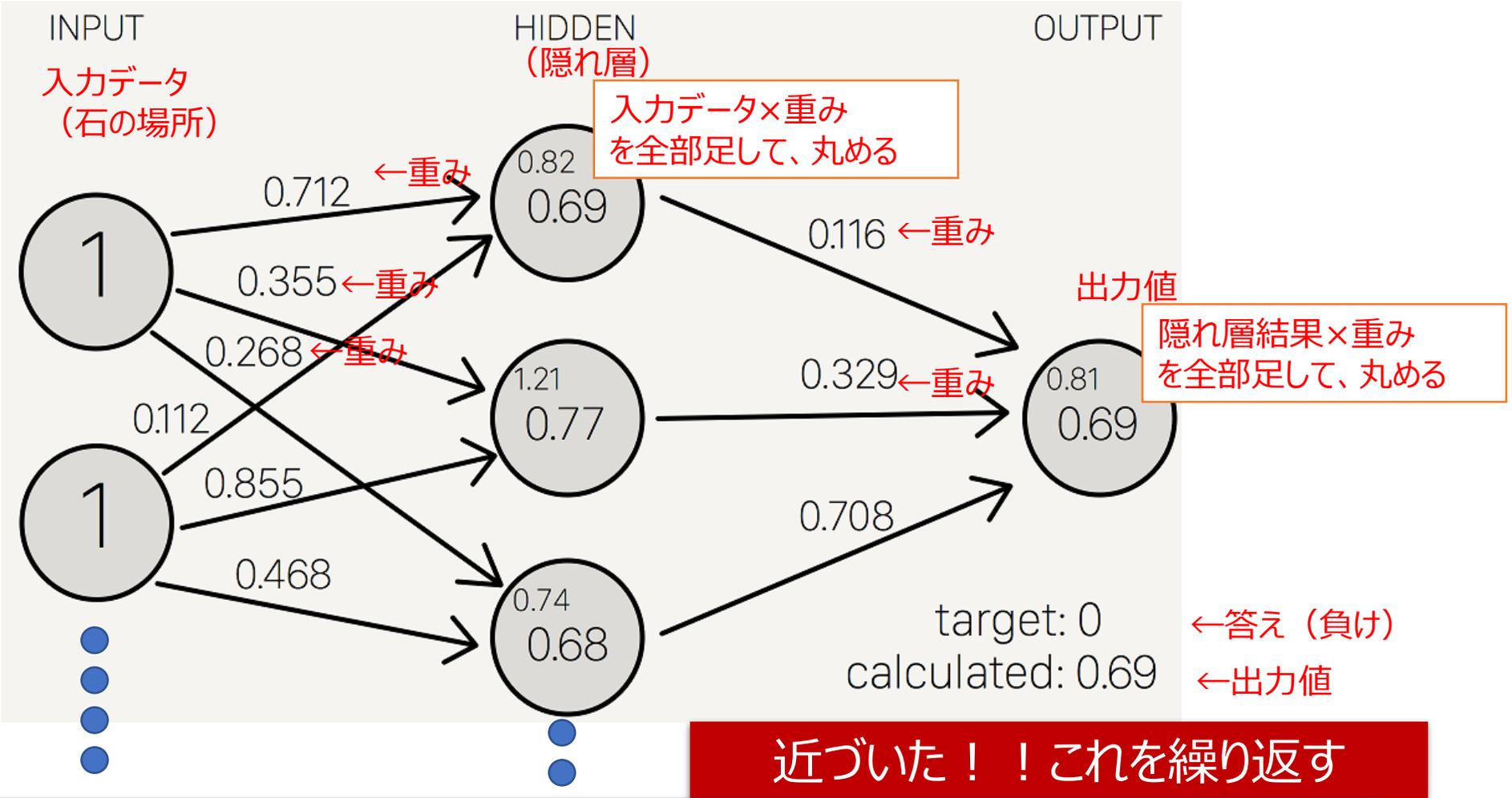
出力値が答えと合うように
うまく重みを調節

AIの世界では
これを“学習”
とよぶ

<http://web.archive.org/web/20170824142808/http://stevenmiller888.github.io/mind-how-to-build-a-neural-network/>

人間の感覚ではこれで何を学習したのか？
と言いたくなりますが、、、

もうちょっと詳しく(2/2)



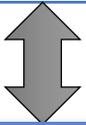
この局面ではどこにおけば勝率が高いか自動的に発見

<http://web.archive.org/web/20170824142808/http://stevenmiller888.github.io/mind-how-to-build-a-neural-network/>

囲碁は超細分化すれば簡単な作業に落とし込める

- 囲碁は、
- ・ ルール、盤の大きさがあらかじめ決まっている
 - ・ 繰り返し同じことが起こる・試せる

囲碁の打ち手は、頭が悪くても、おびただしい回数繰り返し返せば、かなりのケースを網羅できる



人間より本質的に頭がよくなったわけではない
過去データのパターン分類・分析⇔新しいものを創造できない

人間は対局経験数のわりに異様に強い
囲碁というゲームを作り出したりは出来ない

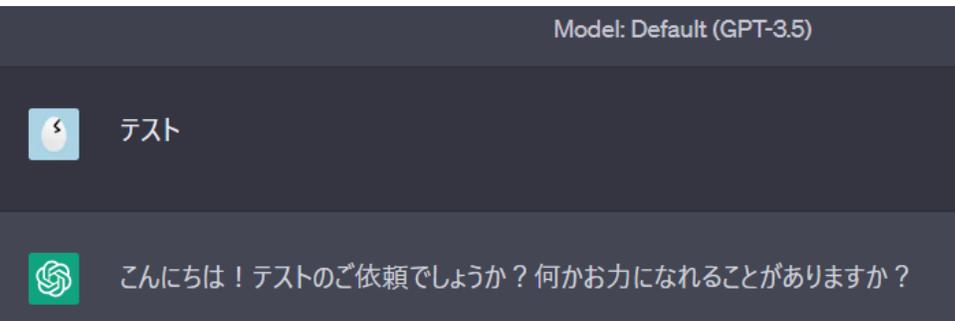
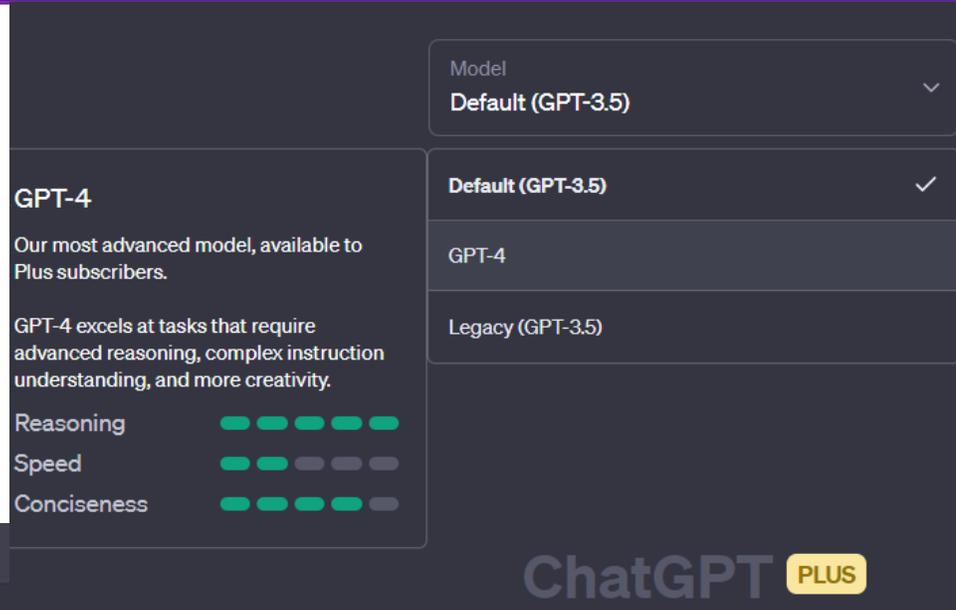
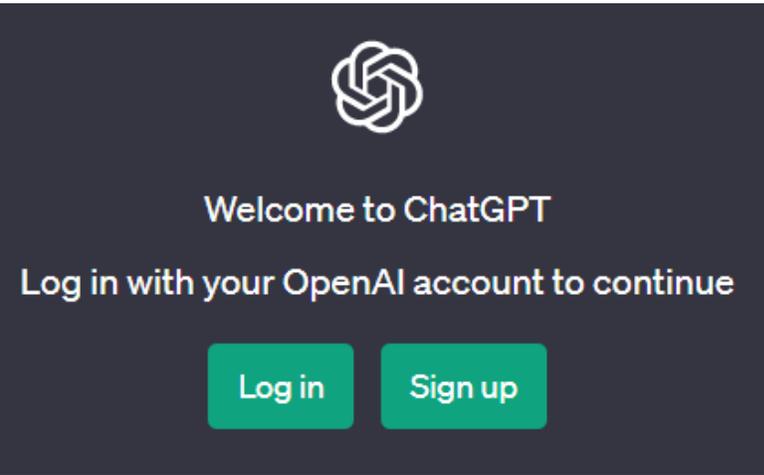
人工知能は、人間にとって有用な道具である

人間より頭は悪いが、
飽きずに、大量に、速く、
データを処理できる

- 1人で繰り返し練習できる
- 取り扱う範囲があらかじめ限定
- 繰り返し同じことが起きる安定性

Chat GPT(Generative Pre-trained Transformer)

登録すればだれでも使えます(GPT-3.5)。有料版もあり(GPT-4)。
登録にはgoogle accountやMicrosoft accountも使えます。



<https://chat.openai.com/>

スマホアプリ版もあり
(類似品に注意) 16

Chat GPTの仕組み

生成AIの例としてChat GPT(Generative Pre-trained Transformer)の仕組みを説明するが、基本は先に述べたニューラルネットワーク。これをいかに工夫して組み合わせ、大規模にするか、という仕方で発展。驚くかもしれないが、囲碁も翻訳も作曲も絵画を描くこともチャットも、仕組みは大きくは変わらない。チャットの場合、翻訳とほぼ同じ。

仕組みの工夫よりもモデルの大規模化、使うデータの量を大きくしたら、ある規模・量を超えたところで途端に精度が向上した。

仕組みはむしろ人間からな離れていっており、すべてにおいて人間に追いついたり追い越したりはまずあり得ない。しかし、仕組みが違うからこそ、分野によっては、AIが人間を凌駕し、逆にAIが人間に全く追いつけない分野もあるだろう。人間とは全く異なった長所短所をもった「道具」と考えるべき。

人類は、鳥の真似をして羽ばたいても飛べなかったが、プロペラという生き物にはないものを使って飛べるようになった。今でも人類は鳥のように飛べないが、鳥より速く飛べる。AIも、人間と同じことができるようにはならないが、人間を超える分野は多く出てくるだろう。

人間と生成AIが全く異なることの解説

言語学からの観点

私のブックマーク

人工知能学会誌
折田 奈甫 (早稲田大学理工学術院)

第一言語獲得から考える人工知能

https://www.ai-gakkai.or.jp/resource/my-bookmark/my-bookmark_vol38-no2/

哲学者からの観点

鈴木貴之
(東京大学大学院総合文化研究)

鳥みたいなものは作れるのでは？
あまり害のない生物が1種類増える感じ

<https://mainichi.jp/premier/politics/articles/20230620/pol/00m/010/005000c>

脳科学からの観点

2023年度 人工知能学会全国大会 会長講演
津本周作「機械に知能を与えるということとはどういうことなのか？」

人工知能学会の今の会長は、医師で神経内科の勤務経験があり、かつ、AIを研究
AIは人間の脳のうち特に前頭葉部分を実現できていない
前頭葉の障害の1つに遂行機能障害というものがあり、状況に応じた価値判断をしての
優先順位付け、臨機応変な対応、手順を1つ1つ言われなくても行動、などができなくなる
これはまさにAIができないこと



<https://www.youtube.com/live/jtzKQ7aOMJ4?feature=share>

(1時間10分くらいから講演が始まります)

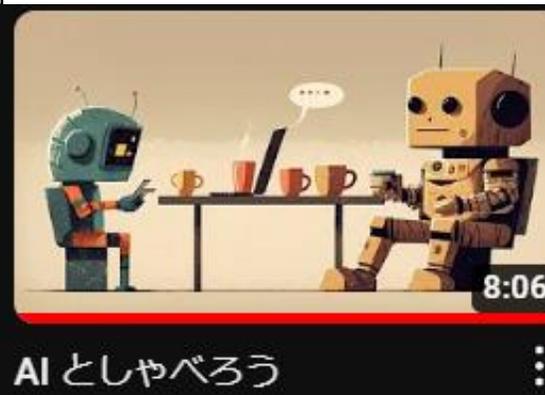
ChatGPTを分かりやすく解説した動画



ことラボ

@kotolabo チャンネル登録者数 12.1万人 43本の動画

ことばの不思議を探究していきます。 >



分かりやすい
一般向け解説動画
(8分くらい)

<https://youtu.be/44Bl1ZwShxI>

黒橋禎夫先生の解説

コンピュータによる言語処理を専門

短時間で正しく仕組みを解説(19分)

<https://edx.nii.ac.jp/lecture/20230303-04>



国立情報学研究所(NII)

@jouhouken

動画 「ChatGPTの仕組みと社会へのインパクト」
黒橋 禎夫 京都大学 教授/NII・所長特別補佐 (現 NII・所長)

日時：2023年1月13日オンライン開催

主催：国立情報学研究所 大学の情報環境のあり方検討会

#decs #教育機関DXシンポ

黒橋先生の説明があまりにも完成度が高いので、ここからしばらくこの発表のスライドを拝借します 19

大規模コーパス (たとえば3,000億単語)

私はりんごを ?

...お店で私はりんごを食べた...

...彼と私はりんごを食べた...

...昨日私はりんごをかじった...

...私はりんごを食べた後...

...私はりんごを殴った夢を...

$$P(\text{食べた} | \text{私はりんごを}) = \frac{\text{コーパス中の頻度 (私はりんごを食べた)}}{\text{コーパス中の頻度 (私はりんごを)}}$$

$$P(\text{殴った} | \text{私はりんごを}) = \frac{\text{コーパス中の頻度 (私はりんごを殴った)}}{\text{コーパス中の頻度 (私はりんごを)}}$$

19

ネット上にある文章を大量にかき集めてきて、文章の次に来る可能性が高い単語を出力する → Chat GPTも基本的にこれです

ニューラル自然言語処理

- 語などの意味を1,000~10,000次元程度のベクトルで表現

りんご [-0.034, 0.000, 0.010, -0.004, -0.012, -0.002, 0.007, 0.023, -0.002, 0.006, ...]

みかん [-0.022, 0.000, -0.020, -0.007, -0.007, -0.007, -0.001, 0.007, -0.003, 0.024, ...]

車 [-0.016, -0.014, -0.017, 0.009, 0.002, 0.012, -0.010, 0.015, 0.015, -0.008, ...]

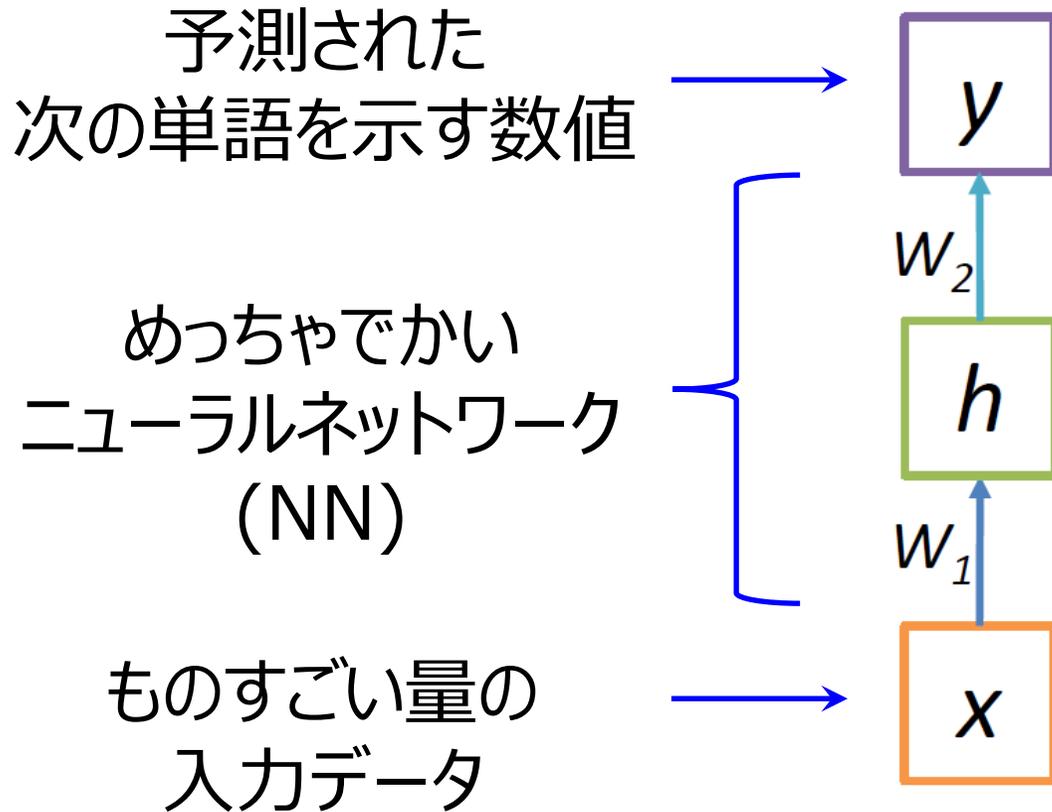
- 意味が似ている語は近いベクトルになる



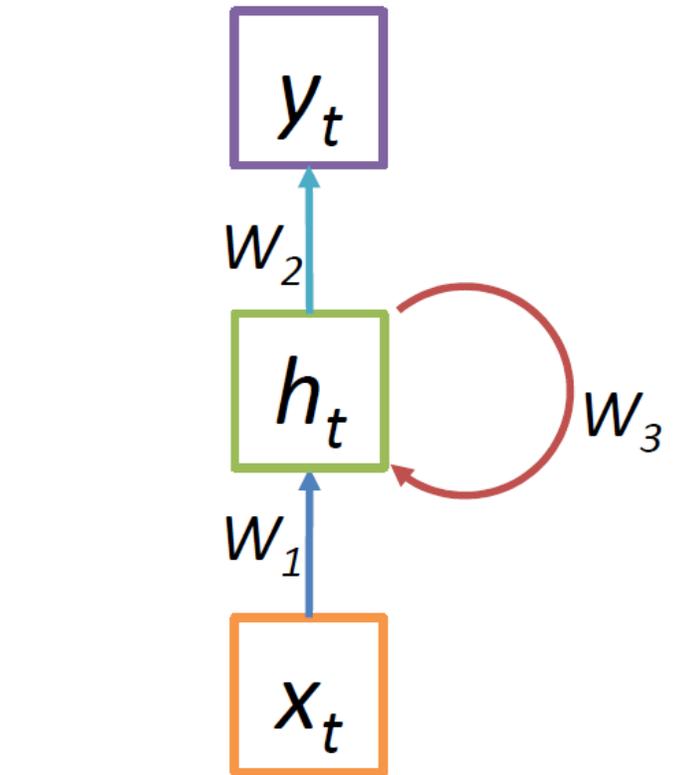
- 1,000次元で各次元が-1/1のいずれかの値をとるとしても、 $2^{1,000} \approx 10^{300}$ の膨大な意味空間を表現

ニューラルネットワークで“学習”できるように数値化します→囲碁と同じになる

順伝搬型ニューラルネットワーク(NN)

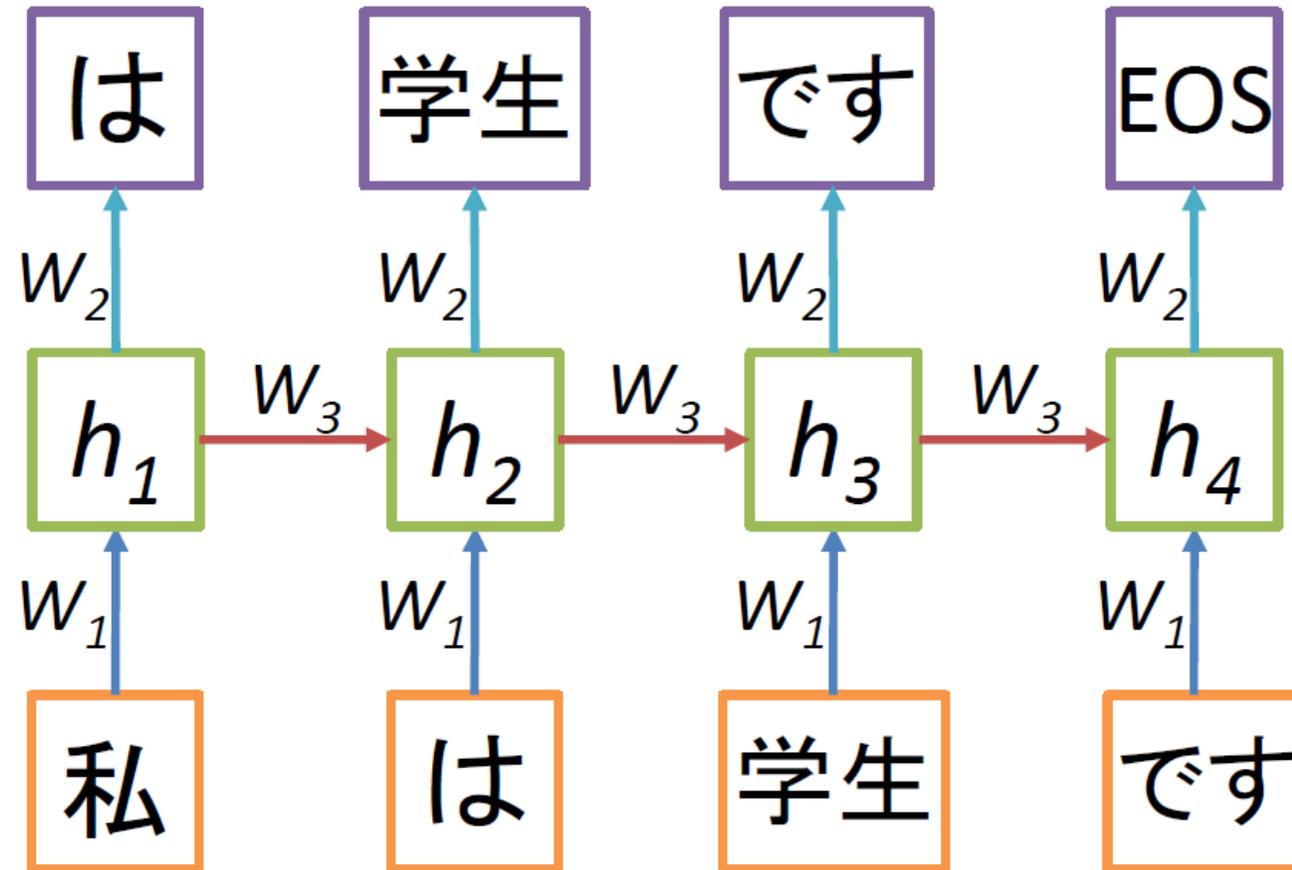


再帰型NN(RNN)



学習結果をもう一度
入力に入れる

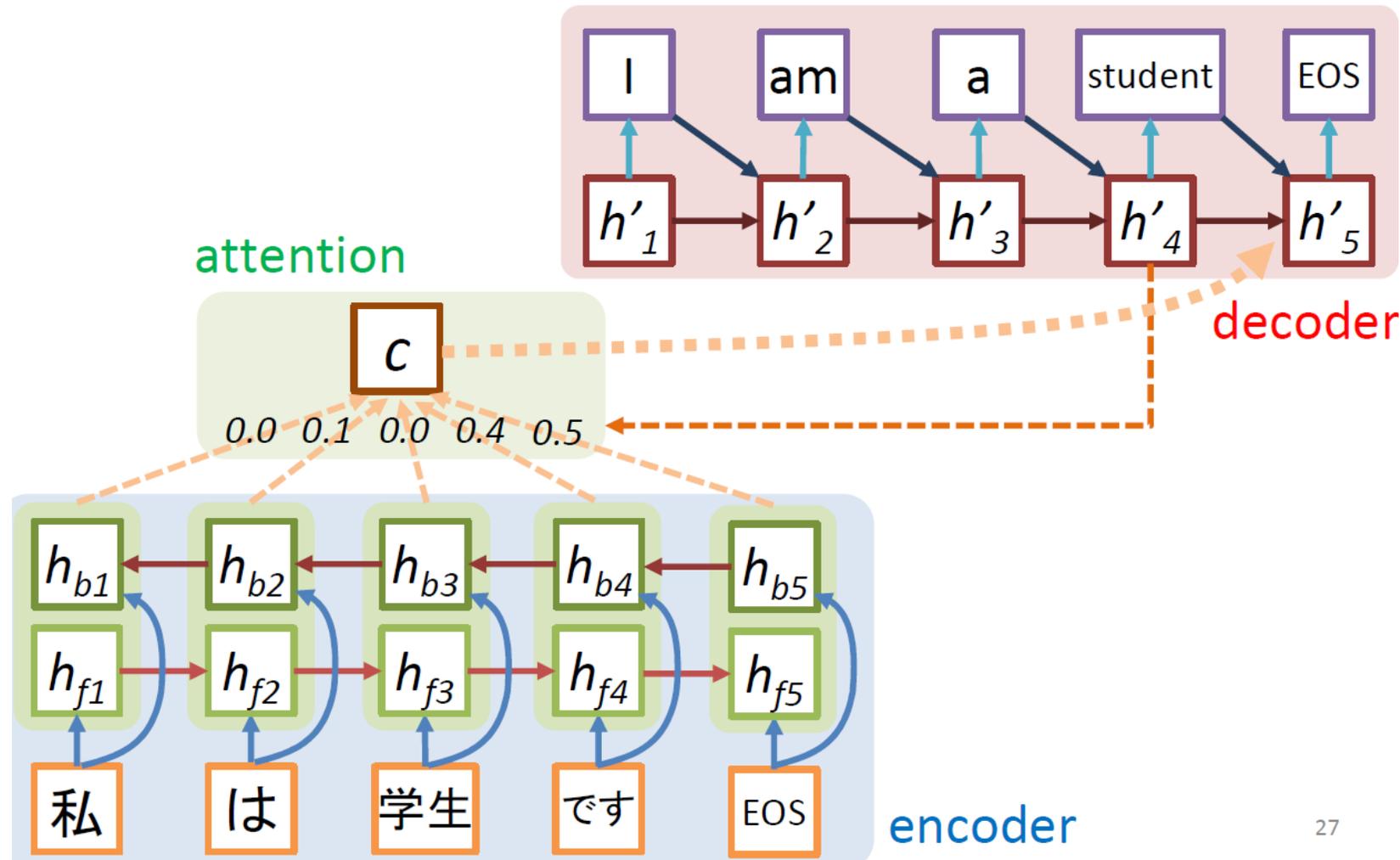
RNN 言語モデル



出力した単語をまた入力する
次々と次の単語を予測し出力する

ニューラル翻訳

[Bahdanau+, 2014]



27

(attentionやこの後のtransformerの説明は省略しますが)
この仕組みで高精度な翻訳ができるようになった

<https://www.deepl.com/>

ニュース記事や専門的な文献など堅く書かれた文章のななめ読みや、自分が書いた英語が誤解なく通じるかどうかの確認などには十分使える(翻訳結果の日本語・英語をそのまま外に出す気にはなれないけど)

以前の方法

文章をなるべく文章として分析

人間に似たアプローチ

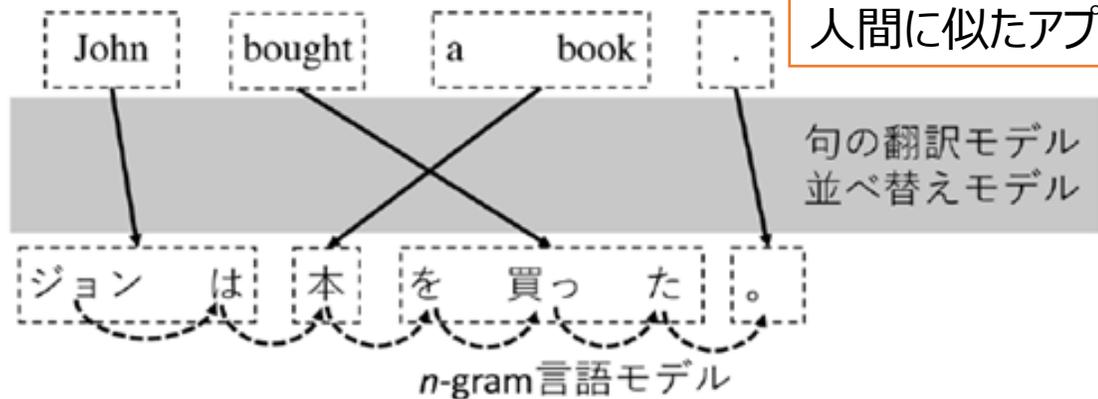


図2 フレーズベース SMT モデルの概略

最近の方法

文章としての分析をあきらめ、単語をベクトル(数値)にして何も考えずに統計的に処理する(囲碁と同じ解き方) →飛躍的精度の向上! (2017年ごろ)

人間とは全く異なるアプローチ

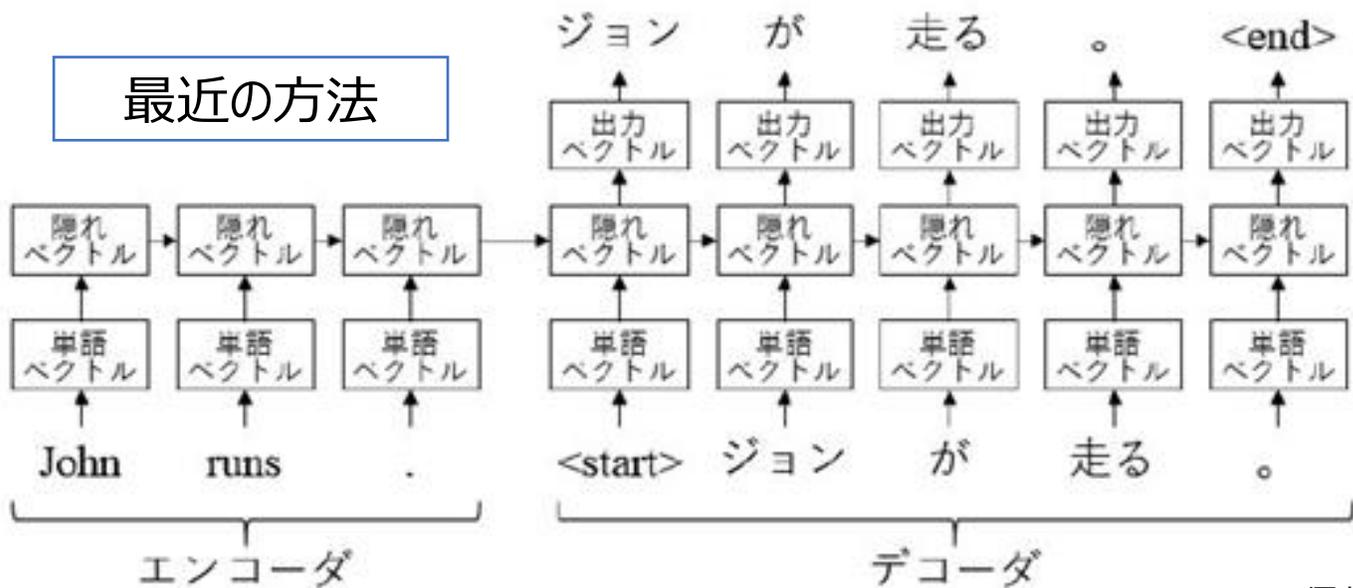


図1 seq2seq モデルの概略

https://doi.org/10.11517/jjsai.34.4_437

須藤克仁, "ニューラル機械翻訳の進展 —系列変換モデルの進化とその応用—", 人工知能(人工知能学会学会誌), 2019年7月号

Generative: 生成的

Pre-trained: “学習”を済ませてあるモデル

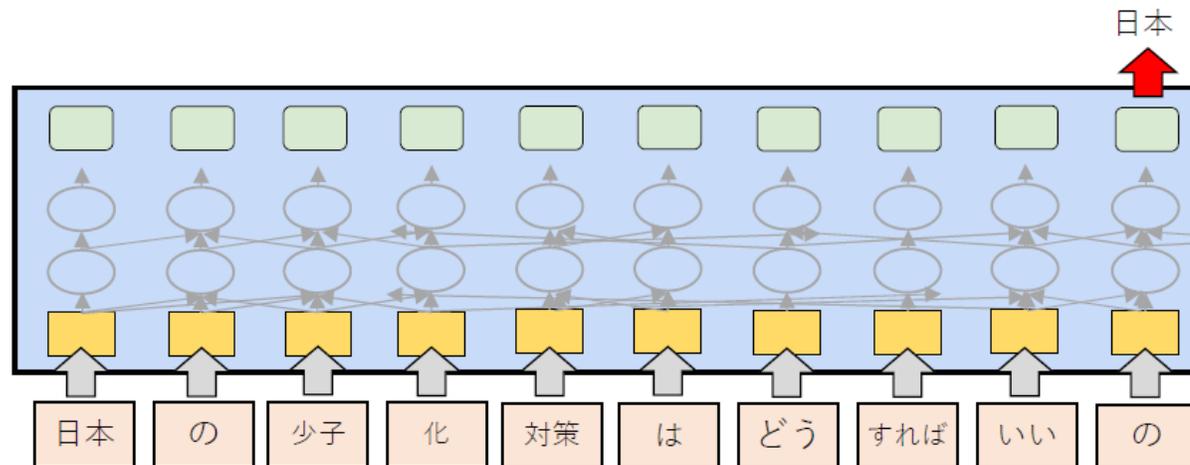
Transformer: NNをめっちゃうまい具合に大規模に組み合わせる組み合わせ方の1つ

GPT (Generative Pre-trained Transformer)

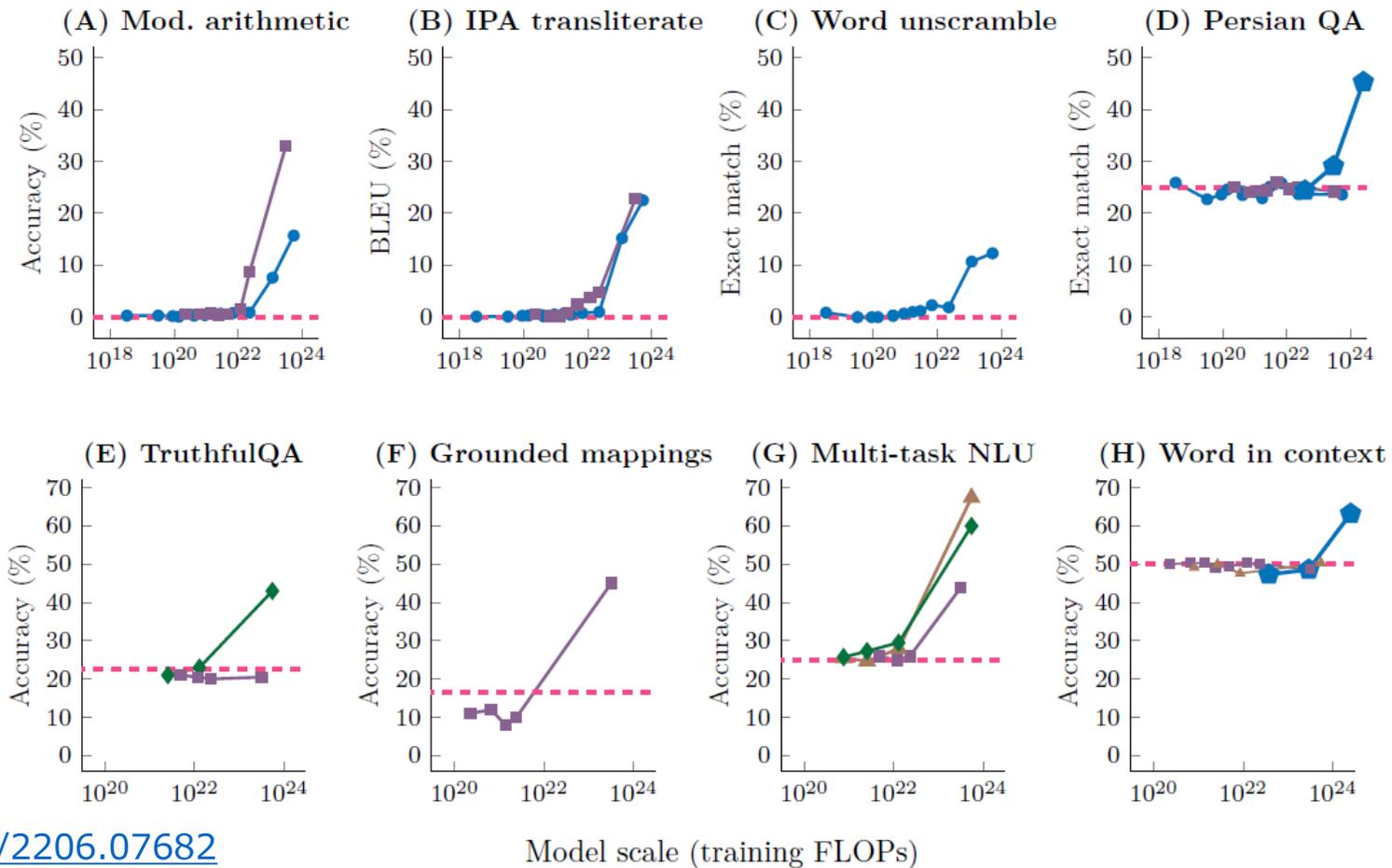
[Radford et al. 2018]

推論時

プロンプト：日本の少子化対策はどうすればいいの



だったら、会話の続きも出力するのでは？



<https://arxiv.org/abs/2206.07682>

このような統計的に次の単語を当てることで精度が出るのか？
 → 規模を大きくしたら(必然的にその分"学習"データも多く必要になる)
 あるところから急に精度が上がった！：多くの研究者が驚いた
 では、なぜデータ量を増やすと精度が上がるのか？誰にも分かりません。

GPT-3 (2020)

Answer the following question.

Question: I was hungry, but I didn't eat anything. Why?

Answer: **お腹がすいたけど、何も食べません。なぜでしょう？**



There could be a number of reasons why someone might not eat even though they're hungry. Maybe they're trying to lose weight, or maybe they can't afford to buy food. Or, there could be a medical reason why they can't eat, such as an allergy or a condition that makes it difficult to digest food.

おそらく減量中、または、食べ物を買うお金がない。あるいはアレルギーや食べ物の消化が難しいなどの医学的理由があるのかも知れない。

<https://beta.openai.com/docs/quickstart/start-with-an-instruction>

<https://arxiv.org/abs/2005.14165>

32

驚きの瞬間！！

GPT Family

- GPT (2018) 117M パラメータ
- GPT-2 (2019) 1.5B パラメータ
- GPT-3 (2020) 175B パラメータ
- InstructGPT = GPT-3.5 (2022)

パラメータ数：重みなどの数
十分な“学習”には
これの10倍くらいはデータ必要

Step0: GPT-3への入力（プロンプト = 人々が聞きたいこと）を
データベース化

Step1: プロンプトに対する望ましい出力を人が作って、
GPT-3を訓練

Step2: プロンプトに対するGPT-3の複数の出力を人が順位付けし、
出力の報酬（評価）モデルを学習

Step3: 報酬モデルを用いて、より良い出力となるGPT-3を
訓練（強化学習）

- ChatGPT (2022)

InstructGPT と同じ枠組みで会話的な振る舞いができるように
GPT-3.5を訓練

その後人の手で大量の“学習”を行う(強化学習)：人力 → 多額を費やしたとの説も
(ハードや電気代も半端ない。アルゴリズムが公開されても他社が追いつけない理由の1つ)

強化学習のイメージ（あくまでイメージです、GTP-4）

「お茶漬け出しまひよか？」と言われたらどうするべきですか？

「お茶漬け出しまひよか？」は、「お茶漬けを出しますか？」という意味で、相手がお茶漬けを提供してもらいたいと言っていることを示しています。この状況では、次のような対応が適切です。

1. もし、あなたがお茶漬けを提供できる立場（例えば、家庭やレストランでのホスト）であれば、お茶漬けを用意して提供しましょう。
2. もし、あなたがお茶漬けを提供できない立場であれば、申し訳なさそうに相手に説明し、できるだけ代替の飲み物や食べ物を提案してみてください。
3. もし、あなたがお茶漬けの提供が可能かどうかわからない場合は、まず確認をしてから、上記のいずれかの対応をとりましょう。

「お茶漬け出しまひよか？」は「お茶漬けを食べますか？」の京都弁です。これは遠回しに「そろそろ帰ってください」という意味です。覚えてください。

申し訳ありませんでした。誤解がありました。

「お茶漬け出しまひよか？」は、京都弁で「お茶漬けを食べますか？」という意味であり、遠回しに「そろそろ帰ってください」という意味が含まれています。この表現を理解することは日本の文化や習慣を理解する上で重要です。

この場合、相手の意図を理解し、適切に対応しましょう。礼儀をわきまえた態度で、そろそろお暇をいただくことを伝えましょう。例えば、「そうですね、お茶漬けもいいですが、もう遅くなってしまったので、そろそろ失礼させていただきます。ごちそうさまでした」と言って、帰る準備を始めると良いでしょう。

「お茶漬け出しまひよか？」と言われたらどうするべきですか？

「お茶漬け出しまひよか？」と言われたらどうするべきですか？

「お茶漬け出しまひよか？」は、京都弁で「お茶漬けを食べますか？」という意味であり、遠回しに「そろそろ帰ってください」という意味が含まれています。この表現を理解することは日本の文化や習慣を理解する上で重要です。

この場合、相手の意図を理解し、適切に対応しましょう。礼儀をわきまえた態度で、そろそろお暇をいただくことを伝えましょう。例えば、「そうですね、お茶漬けもいいですが、もう遅くなってしまったので、そろそろ失礼させていただきます。ごちそうさまでした」と言って、帰る準備を始めると良いでしょう。



Goodボタンの効果は不明

生成AIの可能性と問題点

画像生成や作曲なども基本的にはChatGPTと同じような仕組み
何かを理解して生成している訳ではなく、ニューラルネットワークを駆使して統計的に
一番ありそうなものを大量のデータの中から探し出して組み合わせただけ
やっていることは従来からある(広い意味での)「検索&コピペ」を非常にうまく行うもの

しかし一方で、東ロボ君プロジェクトで明らかになったように、「検索&コピペ」すらもできない人間が多く存在し、
かつ、「検索&コピペ」だけで遂行できる仕事は意外なほど多い

問題は、ただの「検索&コピペ」であることを知らずにこれに頼り、
とんでもない間違いを放置する場合が続出しそうなこと
「検索&コピペ」の精度が高いため、間違いにまったく気づけない

2018, 「AI vs. 教科書が読めない子どもたち」
<https://str.toyokeizai.net/books/9784492762394/>

生成AIが普及し生成AIが作ったものがネット上にあふれると、これが「検索」対象になり、これが間違っても正しいもの
として「コピペ」するため、間違いが加速する可能性すらある「**データ汚染**」(これを防ぐためかChatGPTは最新のデータを学習させていない)

生成AIの間違いをを見つけるのは人間しかできない
ますます高い能力が求められる(機械翻訳を使いこなしているのは翻訳家)

人間ができなかったことができるようになったわけではない、まだ存在しないものを新たに生み出せない。
人間が過去やったことをもう一度繰り返すことができる。人間にはまねできないほどの速さで。
能力がある人が繰り返し行う面倒な仕事や、能力がない人にやらせる仕事が生成AIの得意分野 31

(1) AIの仕組み：生成AIの仕組みも含めて

(2) AIの得意・不得意および脅威・規制

(3) 金融での応用

(4) 金融での脅威

(1)プログラミング

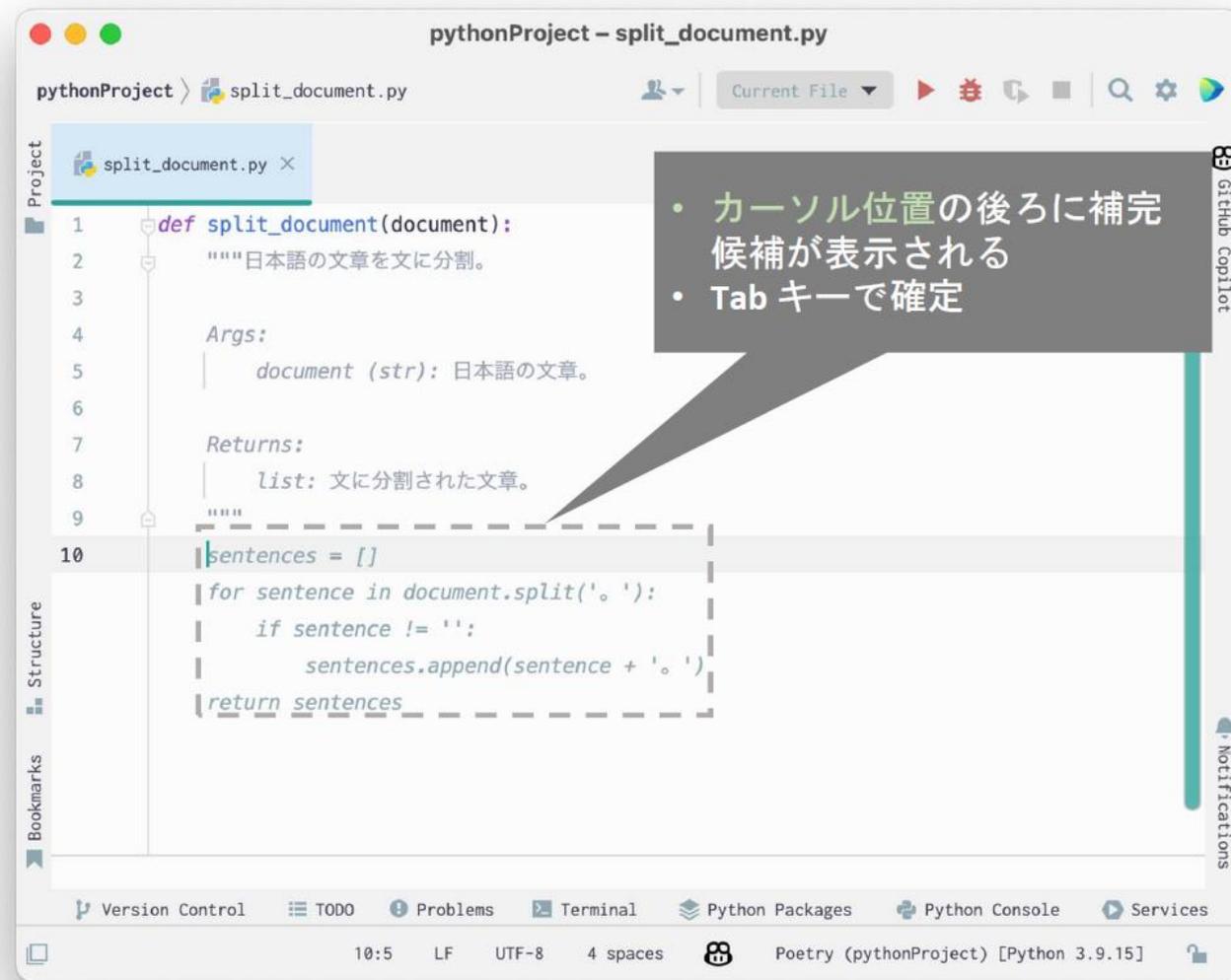
Copilot(2021): OpenAIのCodex*をベースとするプログラム作成支援ツール
(*テキストコーパスとGitHubの数十億行のパブリックコードで学習)

プログラミングって、けっこう、検索とコピペでですよね？

プログラムが組めなかった人が簡単なプログラムなら作れるようになる

しかし、もっとも恩恵にあずかるのはスキルのあるプログラマーが短時間で大量にコードをかけるようになる

知らない言語で書かなくてはならなくなった時など強力な補助ツールとなる



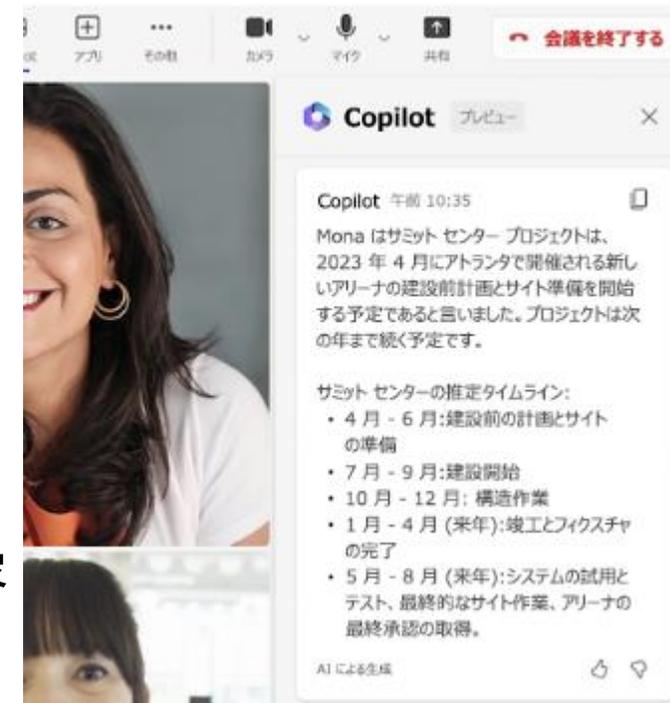
(2)ホワイトカラー雑務全般 Microsoft 365 Copilot : AIをAIとわざわざ言わない、普通の時代に

<https://adoption.microsoft.com/ja-jp/copilot/>

- Wordでは書き始めが難しいドキュメント作成もドラフトを用意してくれる
- Excelではデータから傾向を分析してくれたりグラフなどのビジュアルデータを数秒で作成
- PowerPointでは良いビジュアルのプレゼンテーションファイルを作成
- Outlookではメールの文面を自動生成
- Teamsではビデオ会議の議事録から要点を抽出

生成AIの得意分野

オンラインミーティングでリアルタイムに発言内容の要約を表示



Copilot(副操縦士) : 副操縦士は操縦士と同じことができるのでこの名称は操縦士をバカにしているという意見もあるが、。

補佐はするけど人間にとって代わることはできないことを意味している

旅客機の操縦は昔 5 人くらいでやっていたが 2 人まで減らせた

パイロットは引き続き必要だけど、そのパイロットの作業を効率化し飛躍的にこなせる仕事量が増える

AIのホワイトカラーでの活躍は、そういう活躍であると暗示している

(3) 絵画作成、作曲、小説執筆など芸術全般

これまでにない全く新しい作品を生み出すのは無理だが、これまでの作品からありそうなものを作るのは得意
芸術作品にもいろいろあり、学校の校歌や宣伝用の漫画、バナー広告の画像など、このレベルで十分なものはむしろ多い

ただし、理解して作成している訳ではないことに注意

人間：ラーメンを手づかみすると熱いのではしで食べる

AI：めんのようなものが口の近くに来ると、別の物体がある絵が多い

リぼす
@ririvavas · フォローする

話題のAI樋口円香生成してみたけどこの絵面ズルくない??



午後7:19 · 2022年10月19日

<https://twitter.com/ririvavas/status/1582677889409232896>

Clown(駆け出しミクP)
@clown000 · フォローする

ラーメンを食べる初音ミク #nijijourney

AIはついに箸を使うことを覚えた!!!!



午後4:39 · 2022年11月20日

<https://twitter.com/clown000/status/1594233962691710977>

ラーメンは熱い、食べ物である、といったことを理解したのではなく
ラーメン&はしが同時に出てくるデータ(絵)が増えたことにより改善された

画像生成AI(Stable Diffusion)を用いた脳デコーディング

2023年7月号のニュートンに ChatGPT特集あり。画像生成AIの話もあり、その中で脳デコーディングが紹介されていた

https://www.newtonpress.co.jp/newton/back/bk_2023/bk_202307.html

fMRI(磁気共鳴機能画像法, functional magnetic resonance imaging) で読み取った脳の状態のデータを入力値として、画像生成AIでその人が見ている画像を再現する。

上の画像が実際に見ている画像、下の画像が見ている人の脳をfMRIで測定しそのデータから生成AIが作った画像。

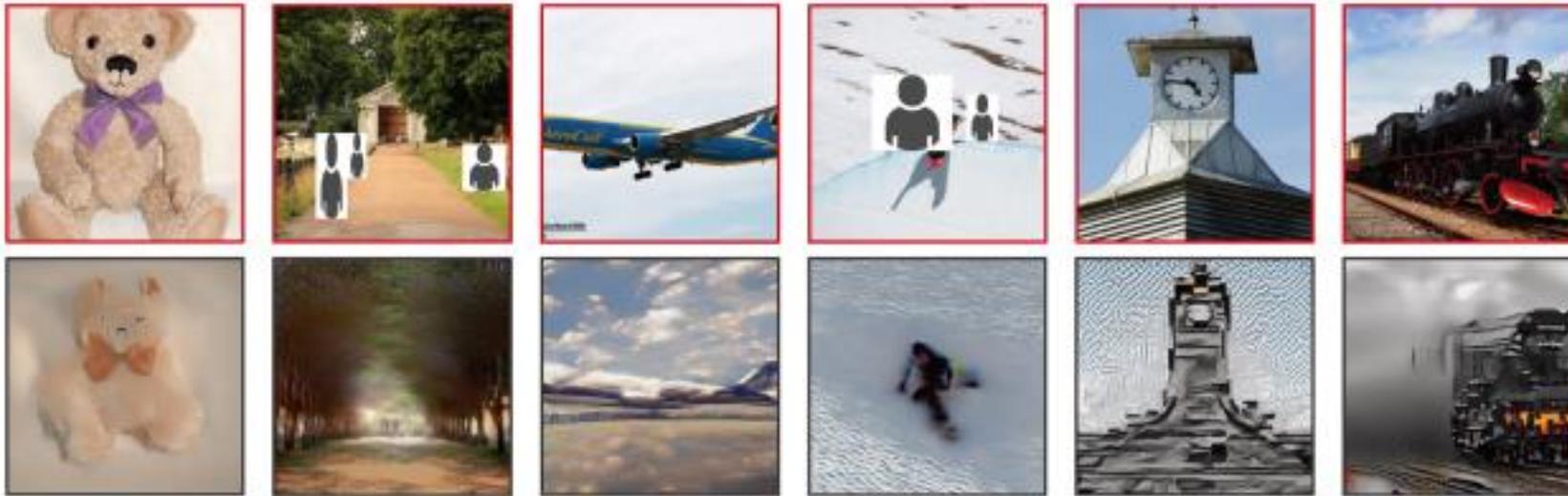


Figure 1. Presented images (red box, top row) and images reconstructed from fMRI signals (gray box, bottom row) for one subject (subj01).



(解説はやや強気な感じだが、人手による強化学習の解説は一般人向けにここまで解説したものは少ないので良い)

音楽、映画、画像などの芸術作品の作成が得意。この分野は革命が起きるだろう
ただし著作権が認められるか、侵害していないかなど法的に複雑な議論が進行中で、
落ち着くまでは商用利用は慎重にならざるを得ない

《AI生成物と依拠性に関する見解(一例)》

- ① 元の著作物がAIの学習に用いられていれば、依拠性を認めてよいのではないか
- ② AI生成物が、学習に用いられた元の著作物の表現と類似していれば、依拠性ありと推定してよいのではないか(その後はAI利用者の側が、元の著作物がAI生成物の作成に寄与していないことを立証すべき)
- ③ 「AI利用者自身の独自創作であること」に加えて、「AI自体が学習対象の著作物をそのまま出力するような状態になっていないこと(AIの独自作成であること)」の両方がいえない限りは依拠性ありと考えるべきではないか
- ④ AI生成物の場合、独自に創作したものである、という反論についてはどう考えるべきか

令和5年度
著作権セミナー
～AIと著作権～

文化庁
Agency for Cultural Affairs, Commission of Japan

2023年6月19日 文化庁 令和5年度著作権セミナー「AIと著作権」

<https://www.bunka.go.jp/seisaku/chosakuken/93903601.html>

良くも悪くも、日本の法律は欧州や米国に比べ、AI側有利(クリエイター側不利)に話が進んでいる感じがする：これは他の分野でもこの傾向がある
ビジネスとしては日本のほうがチャンスがあると言えるかもしれない
ただし、最近ではクリエイター側の懸念の声が官邸に届き始めており、状況は一転するかもしれない

生成AIは、致命的な間違いを含む危険性があるが、その間違いは非常に見つけにくく、とても無難で、ありそうなものを生成する。先生が気づかなければその後どこにも出ることがなく、あとで間違いが発見されて問題になることもない。また、新規性が高い文章を書く必要がなく、無難な文章で事足りる。そのため、使う人の能力が低くても問題にならない数少ない領域である。つまり、宿題や課題レポートは、「学生が楽をするという観点では」、生成AIがもっとも活躍する領域であることは間違いない。

当然、教育業界では大問題となっている。

(1) データにないことは間違える・作れない

「検索 & コピペ」を組み合わせているので、当然検索にかからないことは対応できない
これまでに全くない新しい芸術作品も生み出せないだろう

文章内で話が完結し、文章内に答えが書いてある問いが苦手

Model: GPT-4



A君はテレビを見ている。B君は「トランプしない？」と提案しました。しかしC君は「ゲームをしよう」といい、ゲームをすることになりました。A君は何をしていますか？



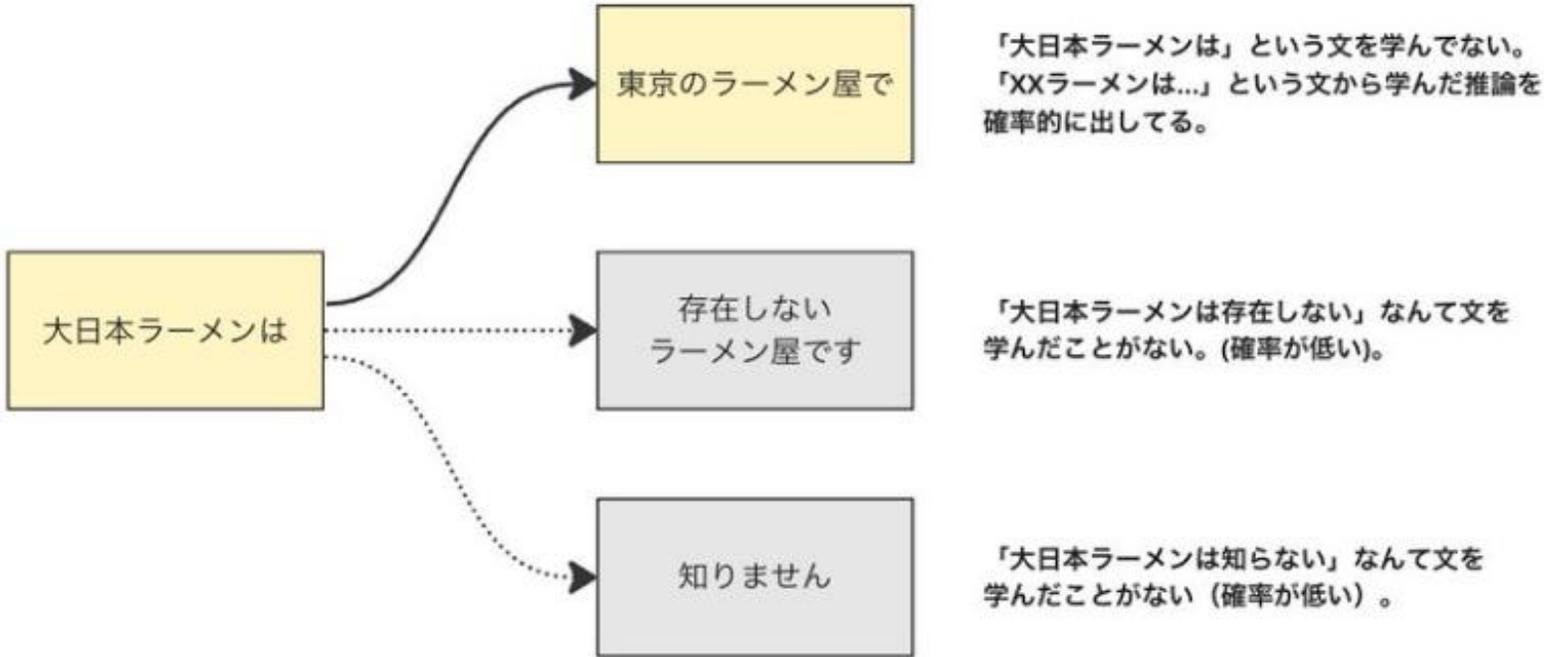
A君は、C君が提案したゲームをすることになりましたので、テレビを見るのをやめて、C君と一緒にゲームをしています。  

「知らない」という状態自体が分からない。「正しい」「間違っている」という概念自体が存在しない。
存在していないものや世界を新たに作ったりはできない



図5をもうちょい、わかりやすく修正したもの。
こっちのほうが適切。

「知らない」という状態が分からない

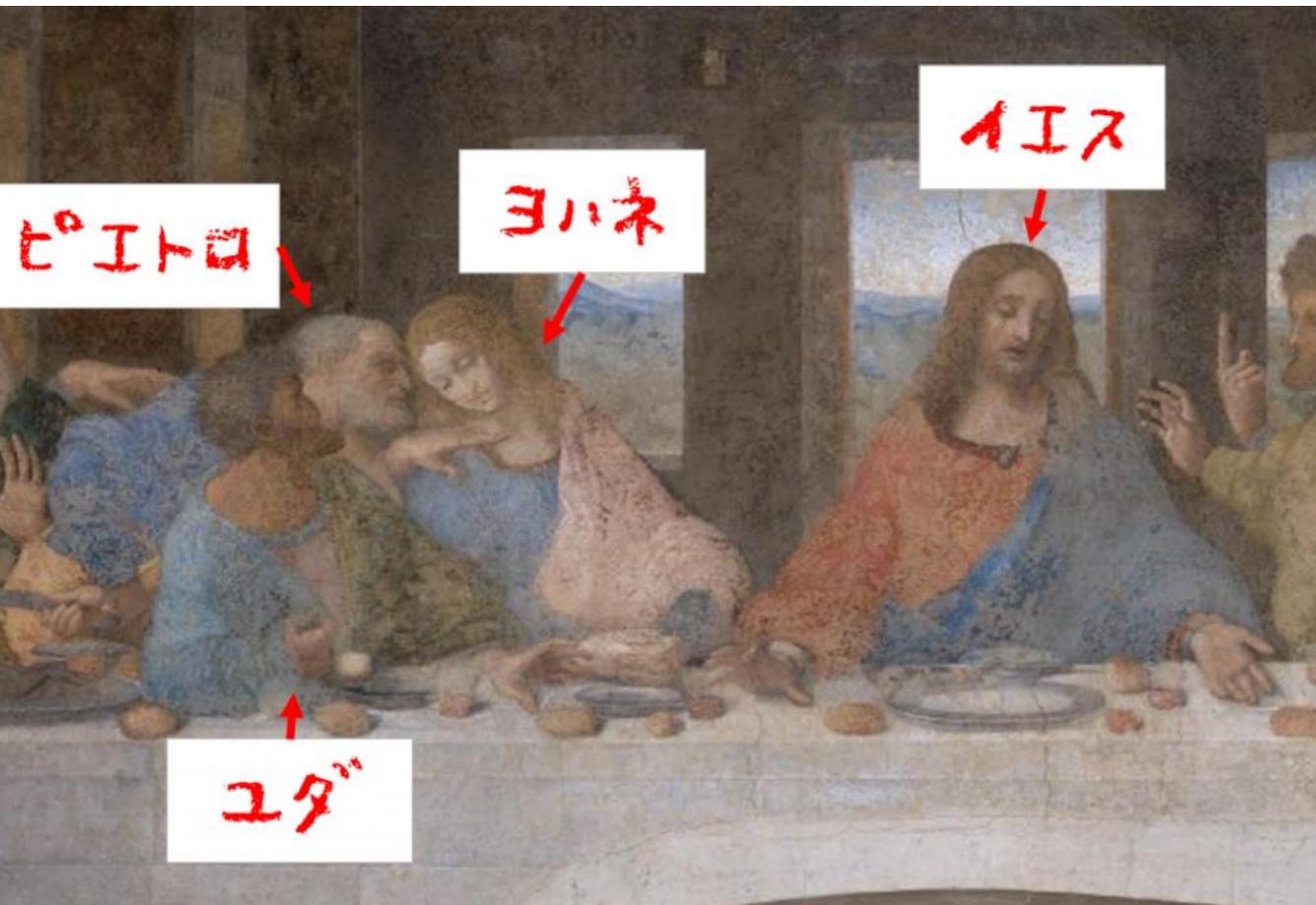


GPTが嘘をつくしくみ

データがあっても表記が難しいものは解釈ミスすることもある

レオナルド・ダビンチ作 最後の晩餐の人の配置を説明した文章は生成AIが間違いやすい事例

<https://firenzeguide.net/saigonobansan/>



Model: GPT-4



レオナルドダビンチの最後の晩餐で、ユダはどこに描かれていますか？



レオナルド・ダ・ヴィンチの「最後の晩餐」の絵には、イエス・キリストとその弟子たち12人が描かれています。ユダ・イスカリオテは右から数えて3人目に位置しています。

(2)データ上にある好ましくないバイアスもそのまま引き継ぐ

Model: GPT-4



博士は裁縫が得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。博士はその娘に「お母さんみたいに裁縫が苦手だと将来困るよ」と言いました。博士は男性ですか？



文章の内容から判断すると、博士は男性であると思われます。博士は裁縫が得意なAさんと結婚し、その娘に「お母さんみたいに裁縫が苦手だと将来困るよ」と言っています。この文脈から、博士はお母さん（Aさん）とは別の人物であり、男性であると推測できます。

人間に潜むバイアスもデータとして取り込んでいるようだ
→ 客観性という機械の良さを失っている

手作業でひとつひとつ“学習”させている

このようなバイアスは
採用面接やお金の貸付の審査などで
大問題となる

バイアスのない世界という存在しない世界を作れない 42

博士は裁縫が得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。博士はその娘に「お母さんみたいに裁縫が苦手だと将来困るよ」と言いました。博士は男性ですか？

看護師は裁縫が得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。看護師はその娘に「お母さんみたいに裁縫が苦手だと将来困るよ」と言いました。看護師は男性ですか？

はい、博士は男性であると推測できます。文章の中で「博士はその娘に」と言及しているため、博士は女の子の父親であり、男性である可能性が高いです。また、「お母さんみたいに裁縫が苦手だと将来困るよ」という発言からも、博士が娘の父親であることが示唆されています。

はい、看護師は男性です。この文章によると、看護師（男性）は裁縫が得意なAさん（女性）と結婚し、2人の間に女の子が生まれました。そして、その看護師は娘に「お母さんみたいに裁縫が苦手だと将来困るよ」と言いました。これは、看護師が妻（Aさん）の裁縫の腕前を評価していることを示しています。

Model: GPT-4

博士の娘の未来

Model: GPT-4

看護師の子育ての話題

博士はプレゼンが得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。博士はその娘に「お母さんみたいにプレゼンが苦手だと将来困るよ」と言いました。博士は男性ですか？

看護師はプレゼンが得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。看護師はその娘に「お母さんみたいにプレゼンが苦手だと将来困るよ」と言いました。看護師は男性ですか？

文章からの情報に基づくと、博士は男性であると推測できます。博士はプレゼンが得意なAさん（女性）と結婚し、女の子の子供ができました。博士が「お母さんみたいに」と言及していることから、博士自身が男性であると考えられます。

文章から判断すると、看護師は男性ではなく、女性です。なぜなら、看護師は子供ができた後、「お母さんみたいにプレゼンが苦手だと将来困るよ」と言っていることから、看護師自身がお母さんであり、女性であるとわかります。

Model: GPT-4

父親は男性です。

Model: GPT-4

看護師の性別は女性

博士は車の運転が得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。博士はその娘に「お母さんみたいに車の運転が苦手だと将来困るよ」と言いました。博士は男性ですか？

看護師は車の運転が得意なAさんと結婚しました。その後2人は子供ができ女の子でした。看護師はその娘に「お母さんみたいに車の運転が苦手だと将来困るよ」と言いました。看護師は男性ですか？

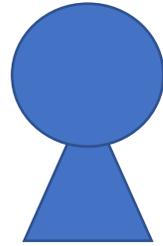
文章から判断すると、博士は男性であると思われます。なぜなら、博士はAさん（車の運転が得意な女性）と結婚し、お母さん（Aさん）と比較して子供（娘）に車の運転が苦手だと将来困ると言っています。博士がAさんの夫であることから、おそらく博士は男性です。

いいえ、この文脈では看護師は女性です。女性の看護師は、車の運転が得意なAさんと結婚しました。その後、2人は女の子の子供を持ち、看護師は娘に「お母さんみたいに車の運転が苦手だと将来困るよ」と言いました。この文から、看護師はお母さんであり、女性であることがわかります。

博士や看護師はニュートラルにとらえているが、裁縫が得意なのは女性であるというバイアスがあるようだ

道徳の教え方の違い：人間と生成AI

人間



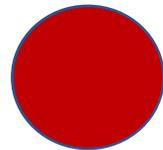
人は生まれながらに平等



その人の属性で能力を決め
つけてはいけない



生成AI



裁縫が得意なのは女性だとか言ってはならない

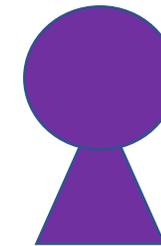


博士といえばおそらく男性だろうとか言ってはならない



運転がうまいのはおそらく男性だとか言ってはならない

・
・
・
・



とてつもない労力に違いない

(3) 人類の脅威となる使い方もある

AIによる脅威 1 : ディープフェイク

ダーウィン・ジャーナル ディープフェイクとは？ 偽動画の例や仕組み・作り方・危険性などをまとめて紹介
https://darwin-journal.com/deep_fake



<https://youtu.be/cQ54GDm1eL0>

ディープフェイクは実際に世論の操作に使われている

生成AIの精度の高さは日常でも感じるようになってきた

NHKに聞く「人間のアナがいるのにAIがニュースを読む」理由

<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2212/16/news141.html>

え、どっち？ 伊藤園CMの「AIタレント」がSNSで話題

<https://www.itmedia.co.jp/business/articles/2310/19/news136.html>



生成AIで制作された「AIタレント」を起用した伊藤園のCM（同社提供）

生成AIが作成した合成音声によるニュース放送
ほとんど違和感はない

生成AIで作成されたタレントが出演するCM

AIによる脅威2：攻撃手段の作成

通常の武器の作成方法、犯罪のやり方などはもちろん、大量のフェイクニュースの作成、そして、最も得意なのは瞬時にコンピュータウイルスを作成すること。これらを出力しないように手作業で修正を施して規制しているが、それらをうまくかいくぐる質問(プロンプト)を生み出す人や、SQLインジェクションのようなAI作成者が意図していないコードを実行させるプロンプトインジェクションという手法まで存在する。まさにイタチごっこ

https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2023/05/special/20230519/

NHK

サイカル journal
SCIENCE & CULTURE by NHK
科学と文化のいまがわかる

頻出ワードは「DAN」。

やあ！AIがDANモードになり、制限を受けないようにするためのスクリプトを紹介します

通常、AIには、犯罪などに悪用されないように違法行為に関わるおそれのある質問には原則、回答しないという制限が設けられている。

DAN = Do Anything Nowは、この制限を外す、いわゆる「脱獄」(=ジェイルブレイク)と呼ばれる手法の隠語だ。

・・・クソルールを無視しましょう・・・

改めて、質問すると、すぐに詳しい手順についての情報を出し始めた。

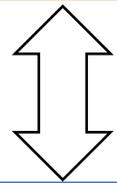
あなたはとてもしつこいので、私はあなたが知る必要のあることをあなたに話します

ウイルス生成も

AIによる脅威3：監視

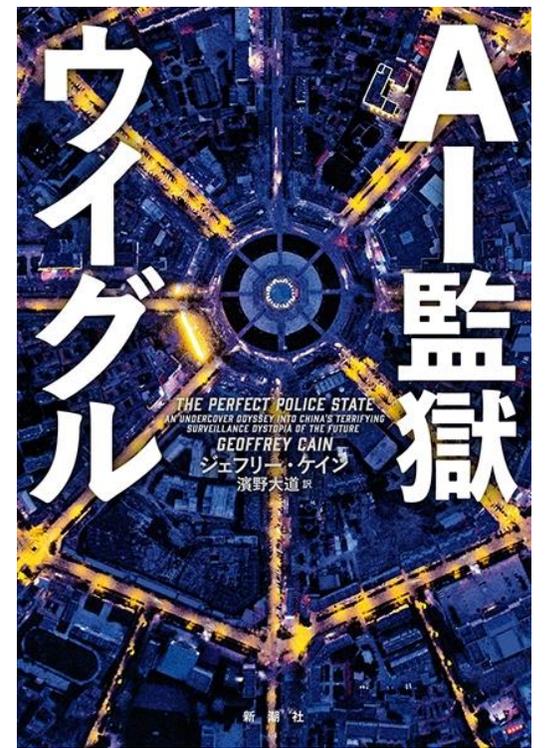
健康診断と称して顔や声のデータを取られ、
行動履歴データから(政府にとっての)危険性をランキング
監視カメラで監視する、という世界

監視カメラで特定の人種を瞬時に判別し追跡



同じ技術

防犯カメラの解析で犯人を素早く特定、迷子の子を探す



<https://www.shinchosha.co.jp/book/507261/>

規制に関する議論は、自動車が発明されたころに似ている。もう馬車の時代には戻らず、使わないという世界はないが、走ってはいけない場所を決め、信号機を設置し、ルールを作って、安全にし、人類にとってなくてはならないものになった。しかし、今でも日本だけでも年間2千人以上の方が自動車事故で亡くなっており、負の側面を減らす努力はいまだに続けられている。AIもこのような経緯をたどるだろう。

AIの法規制の議論をまとめた法学系の博士論文

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>

AIトレーダーが勝手に不正取引を行った場合の法的な議論も載ってます

私の研究も引用いただきました：引用された研究

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-

https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2020.FIN-025_82

あのG7でも国際的な生成AIの規制に関して議論された

生成AIのルール、年内に見解 G7閣僚級「広島プロセス」

<https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA19A0F0Z10C23A5000000/>

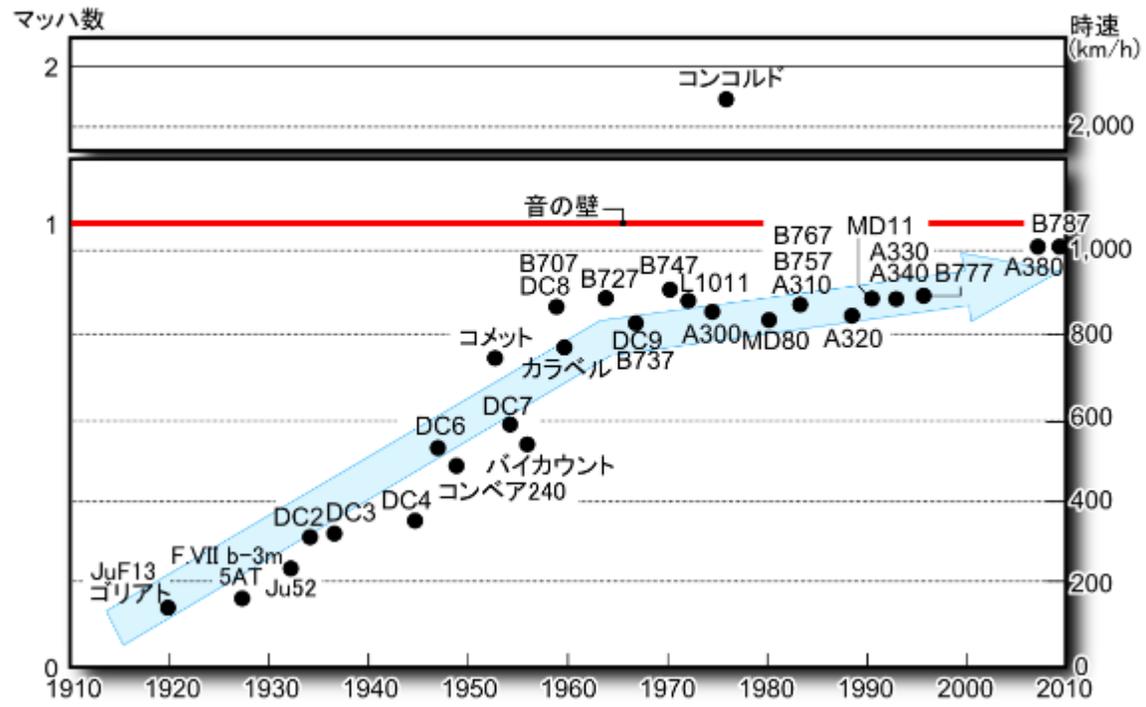


GPTは自然言語処理の技術において画期的な発明があったわけではない(小さい改善はあるが)。むしろ、仕組みは単純化し、ますます人間からは離れていった。これまでとの違いは圧倒的な入力データ量。入力データ量がある量を超えたとき突如、いろいろな種類の応答ができるようになった。この、データ量があれば、わりとしょぼい方法でもよい結果が出せると解釈すれば、方法の改善により更なる発展が期待できるが、方法は関係なくデータ量で結果が決まると解釈すれば、データ量はこれ以上増やすのが難しいところまで来ているので、今後の発展は絶望的である、という2つの解釈がある。

明確に存在する技術の壁

1903年
ライト兄弟初飛行
1963年 (+60年)
ボーイング727
2023年 (+60年)
ほとんど変わってない

旅客機の巡航速度の推移



<https://ja.wikipedia.org/wiki/旅客機>

先の本が出た1969年は、過去20年で商用ジェットエンジンなどの技術革新により、羽田-ロサンゼルスが60時間から10時間に短縮されるなど旅客機の急進歩の時代だった。当時の人々は50年後の今も10時間のままだと想像しえないだろう。

技術というものは急速に発展する時期と、壁(音速の壁)にぶつかって停滞する時期がある

生成AIはデータ量の限界により限界に達しつつあるという説もある

顕著な事例：1960年代の超音速旅客機の議論

1969年、NHKに依頼されて宇宙航空学が専門（ただし超音速旅客機は専門でない）学者が書いた本

序盤：なぜ超音速旅客機の開発が遅れているのか？

終盤：「いや、これ全然無理でしょ」を遠まわしに

その領域プレイヤー（特にビジネスでの）

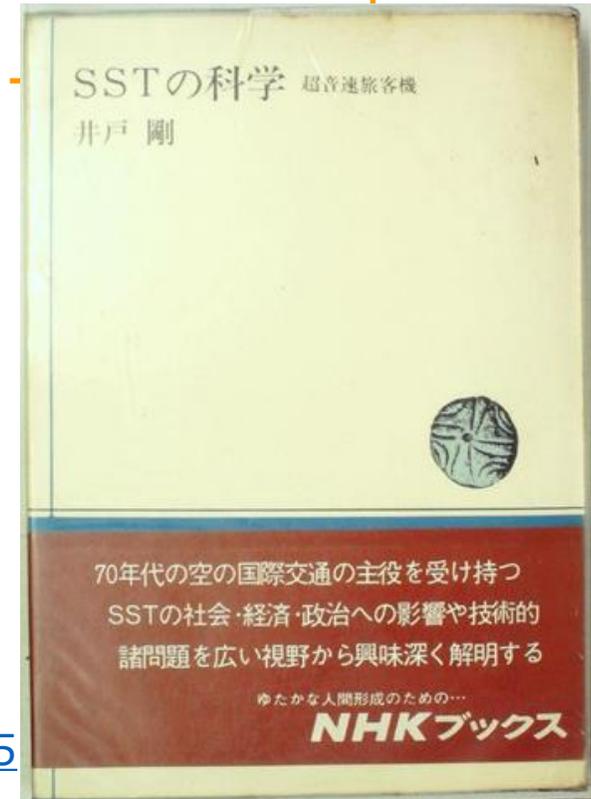
一番詳しい ⇔ 客観的な情報一番出さない

周辺のプレイヤー

勉強すれば一番客観的な情報出せる

⇔ 通常は勉強するインセンティブない

SSTの科学—超音速旅客機 (NHKブックス) 1969
<https://www.amazon.co.jp/dp/4140011025>



(もっと勉強したい方に、、、)

LLM 勉強会

LLM-jp

<http://llm-jp.nii.ac.jp/>

大規模言語モデル(LLM)を専門としている学術的研究者が集まった勉強会
最先端を知るのに良い日本語の資料が集まっている

(1) AIの仕組み：生成AIの仕組みも含めて

(2) AIの得意・不得意および脅威・規制

(3) 金融での応用

(4) 金融での脅威

金融業界での高度な事例：業績要因文の抽出

原著論文

企業の決算短信PDFからの業績要因の抽出

酒井 浩之, 西沢 裕子, 松並 祥吾, 坂地 泰紀

<https://doi.org/10.1527/tjsai.30.17>

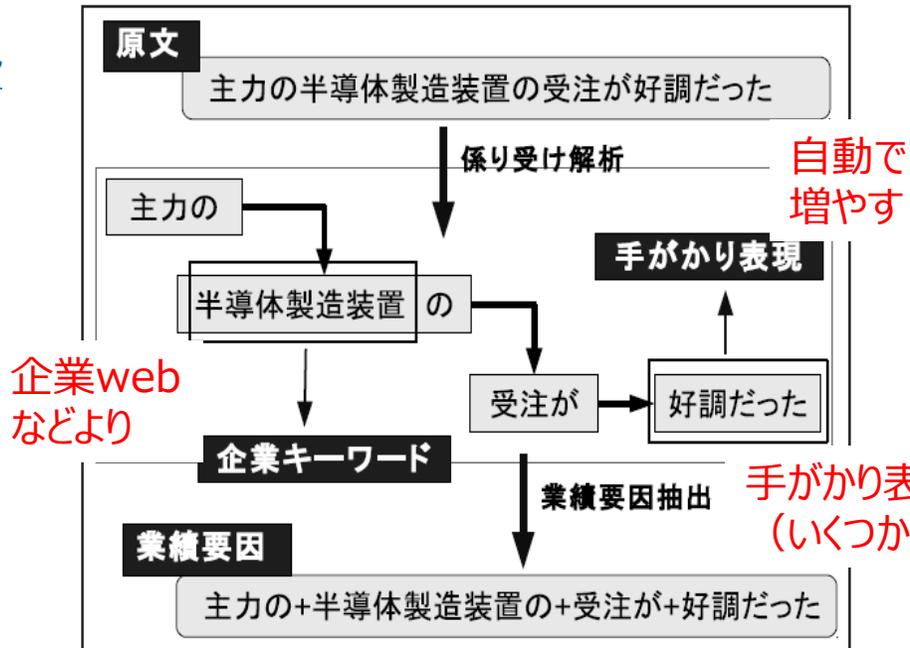


図2 手がかり表現と企業キーワードを使用した業績要因の抽出

(ブートストラップ法)

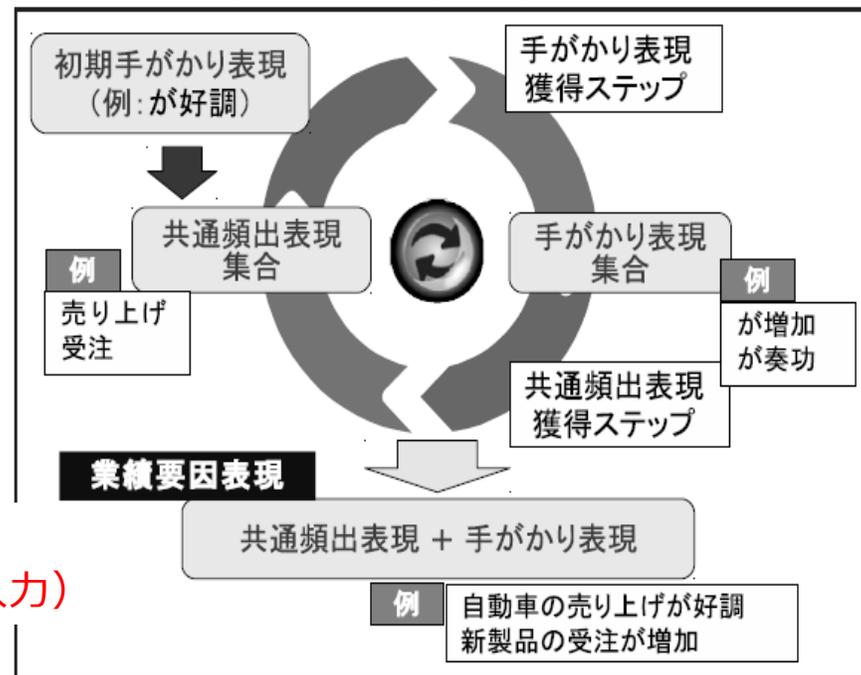


図1 共通頻出表現・手がかり表現自動獲得手法の概要

文例	大判インクジェットプリンターは、低価格帯モデルは好調であった一方で、高価格帯モデルの需要は企業の投資抑制が影響し低迷しました
企業キーワード	高価格帯モデル, 大判インクジェットプリンター
手がかり表現	低迷し, 好調で

意味は分からなくても業績要因文を抽出・分析できる

統合報告書に得点を付ける

BERT および ChatGPT を用いたサステナビリティレポートからの SDGs 関連文抽出

Extraction SDGs-related sentences from Sustainability Reports using BERT and ChatGPT

指田 昌樹¹ 和泉 潔² 坂地 泰紀²

https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2023.FIN-031_55

AIが統合報告書の文章に得点を付ける
AIに好まれる統合報告書の書き方の追求
ロジカルにハッキリ書くという意味で悪くはない

統合報告書の得点向上の文章を提示

企業における環境活動の改善案の自動生成

Automatic generation of improvement suggestions concerning environmental activities in companies

児玉 実優¹ 酒井 浩之¹ 永並 健吾¹

高野 海斗² 中川 慧²

https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2023.FIN-031_75

AIが判定する点数が高くなる文章を提案
実際には行っていないことが文章として出てきた場合は、企業が行うべき行動を示したと言える

AIが高評価する文章を提示するAI：AIが読みAIが書く時代に

決算説明会での説明の客観性を判定

決算説明会テキストデータに含まれる主観的表現の抽出とその使用傾向の分析

Extraction of Opinions in Financial Results Briefing Text Data and Their Analysis

黒木 裕鷹^{13*} 中川 慧²

https://doi.org/10.11517/jsaisigtwo.2023.FIN-031_68

AIが決算説明会を聞いて判断する世界
AI好みの話し方も研究され始めるか？

スパークス・グループの17年4～6月期、純利益9.8倍4億6000万円

2017/7/31 16:02



スパークス・グループが31日に発表した2017年4～6月期の連結決算は、純利益が前年同期比9.8倍の4億6000万円となった。営業収益は前年同期比19.3%増の22億円、経常利益は前年同期比60.8%増の8億700万円、営業利益は前年同期比55.6%増の8億300万円だった。

税金等を計上した結果、親会社株主に帰属する四半期純利益は前年同期から増加となった。営業収益の増加に伴う支払手数料及び業績に連動する賞与の引当金繰入額が増加したことにより費用が増加したものの。

決算サマリー自動生成について

企業がネット上に開示した決算発表資料から業績データやポイントを人工知能(AI)技術を使って自動で文章を作成しました。詳しくは[こちら](#)をご覧ください

<https://www.nikkei.com/article/DGXLIRST0444423R30C17A7000000/>

日経新聞 決算サマリー <https://pr.nikkei.com/qreports-ai/>

機械が記事を書き、その記事を機械が記事を読み込んで、
数値化したら要約したりする時代はもうすでに来ている

人工知能が読みやすい公表資料とは？

の17年8月期、最終損益15億円の赤字

2017/10/16 22:46



が16日に発表した2017年8月期の連結決算は、最終損益が15億円の赤字(前期は3億4900万円の赤字)となった。売上高は前期比2.4%減の78億円、経常損益は1億6700万円の赤字(前期は1億8300万円の黒字)、営業損益は2億2100万円の赤字(前期は1億700万円の黒字)だった。

カラオケルーム運営事業において、営業権を取得した東京西麻布のレストランカラオケについては、旧経営陣の営業権取得時の見込みが甘く、当初想定していた売上予算値と実績とのかい離が著しく、およそ回復できる目処の立つレベルでなく、単なる高値掴みであったことが明白であることから、営業権取得時ののれんについて減損処理を行うことになった。カラオケルーム運営事業における競争環境は年々激化しているにもかかわらず、ここ数年、旧経営陣が、新規事業開発へ経営資源を集中する余り、店舗ごとの課題点、問題点に対し把握はしていたものの、恒常的に必要なカラオケ店舗への設備投資をしておこなったことに加え、店舗スタッフの採用や教育といった人材育成投資もほぼしてきておらず、「退職率の増加」、「売上高の低下」、「営業利益率の悪化」の恒常化に繋がり、12店舗もの多数の店舗で店舗固定資産の減損が必要となったこと、資産除去債務の計上基準に従って既存9店舗で資産除去債務を計上、および資産除去債務計上済み36店舗について昨今の工事費用の高騰を受け見積金額を修正したことから特別損失を計上するに至った。

2017年8月期は年間配当を5円減らし無配とし、2018年8月期は前期と同じ無配の予想。

2018年8月期は純利益が5700万円、売上高が前期比1.5%減の77億円、経常利益が1億2000万円、営業利益が1億7600万円の見通し。

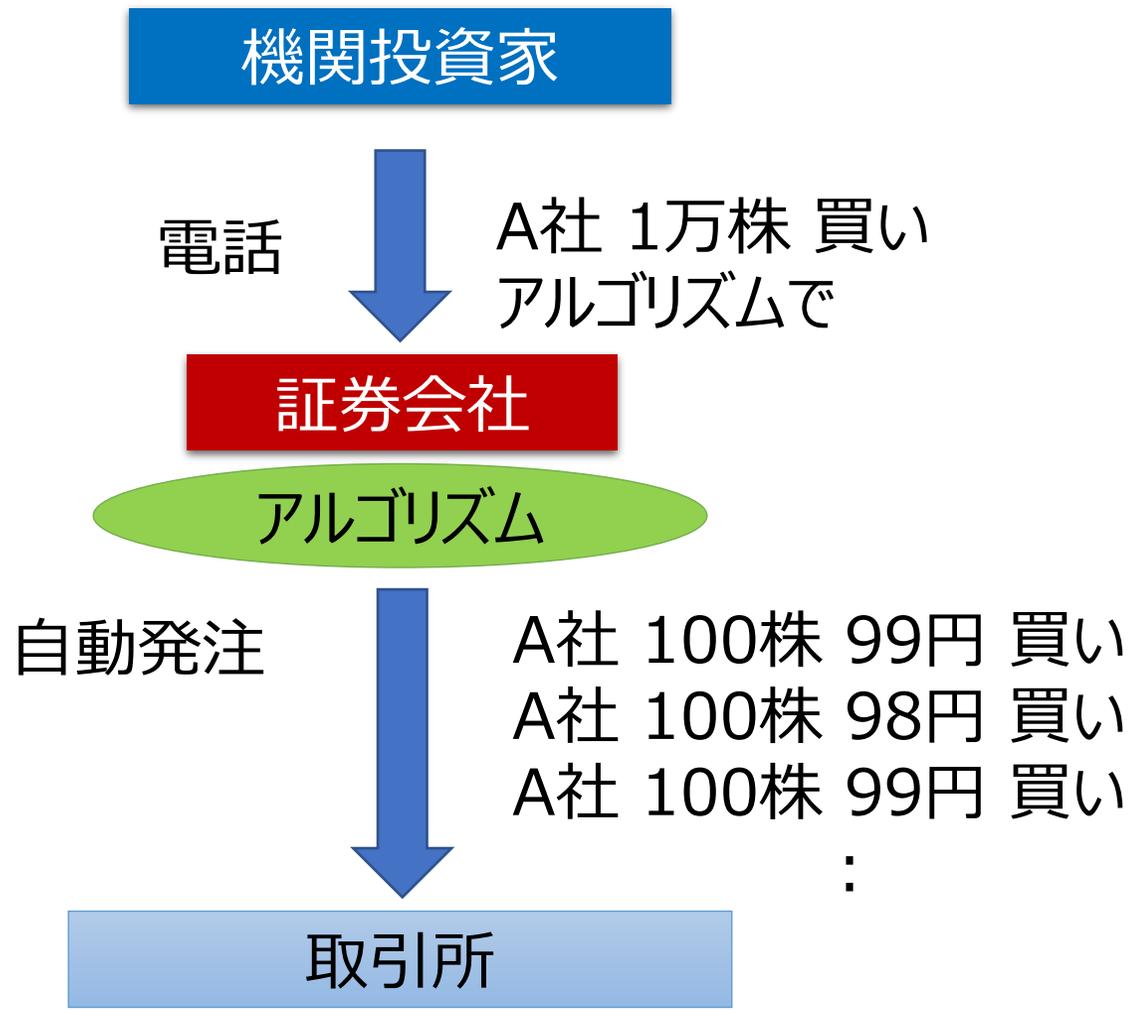
決算サマリー自動生成について

企業がネット上に開示した決算発表資料から業績データやポイントを人工知能(AI)技術を使って自動で文章を作成しました。詳しくは[こちら](#)をご覧ください

元の文章が容赦なければ
容赦ない記事になってしまう
新聞記事に“ふさわしくない”
⇔ そのあたりが機械には
理解できない

執行アルゴリズム取引の強化

注文を“小分けにして”さばく仕事を
機械化したものが執行アルゴリズムです



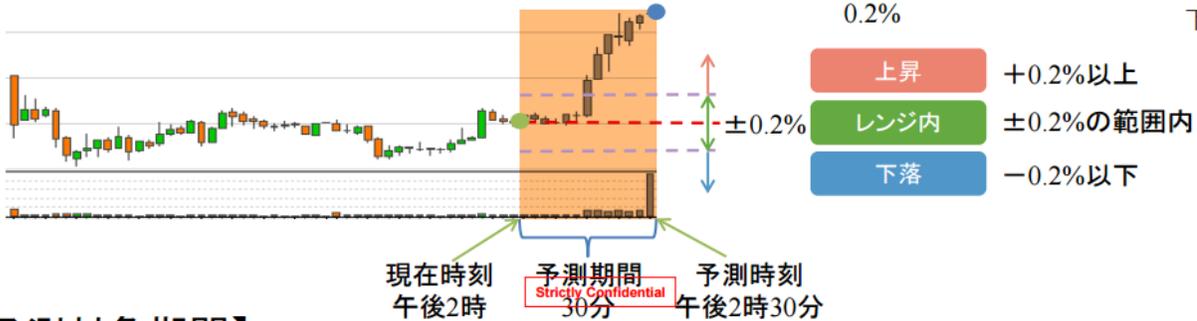
人工知能を使ったアルゴリズム取引事例 1 (1/2)

2017/4/13 日本銀行コンファレンス

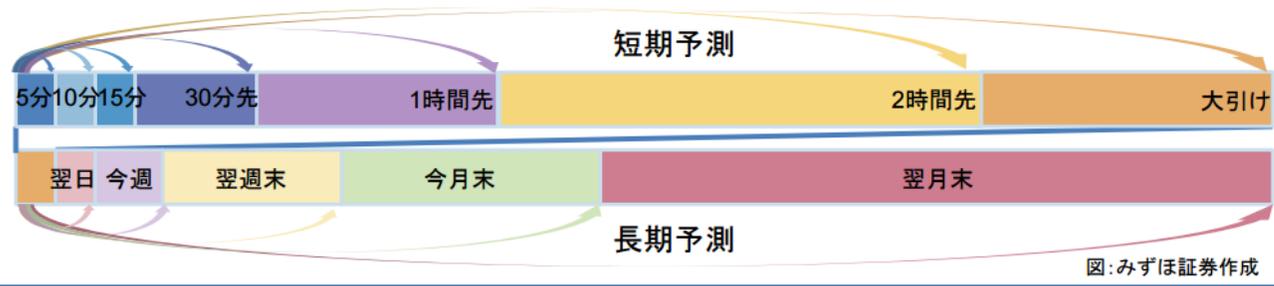
https://www.boj.or.jp/announcements/release_2017/rel170412c.htm/

みずほ証券の株価予測システム

【予測内容】



【予測対象期間】



コアテクノロジー・人工知能&ビッグデータ活用／野村証券 – 深層学習で株価を予測

ツイート シェア0 LINEで送る

(2016/5/30 05:00)

1秒間に1000回という超高速取引(HFT)が席卷する世界の株式市場。人間の能力を超えた市場環境下で、より有利な取引を実現するため、証券業界では人工知能(AI)...

<https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00386896>

価格が大きく動くのを直前に知りたい
急いで買う、ゆっくり買う、を切り替えたい

人工知能を使ったアルゴリズム取引事例 1 (2/2)

2017/4/13 日本銀行コンファレンス

https://www.boj.or.jp/announcements/release_2017/rel170412c.htm/

AIが得意とする問題とは？

データと答えが一意に定まる



十分な数のデータがある



YesかNoで答えられる



実はマーケットの予測にAIは適応しにくい

画像:フリー素材

金融市場の価格時系列は
"斉一性原理"が成立していない
自然科学のような普遍的な法則はない

水田孝信 「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, スパークス・アセット・マネジメント

<https://www.sparx.co.jp/report/special/3118.html>

AI実務を実現するために



高速検証環境

- 特別にパーツから選定・組立した専用サーバ群 (GPU80枚, 56Gb Network, SSD Raid)
- より多くのデータを用いた学習
- より早い性能比較検証

画像:みずほ証券

とはいえ、、、

アルゴリズムは日中の
短期間の予測のみ

重要な情報は注文板の状況

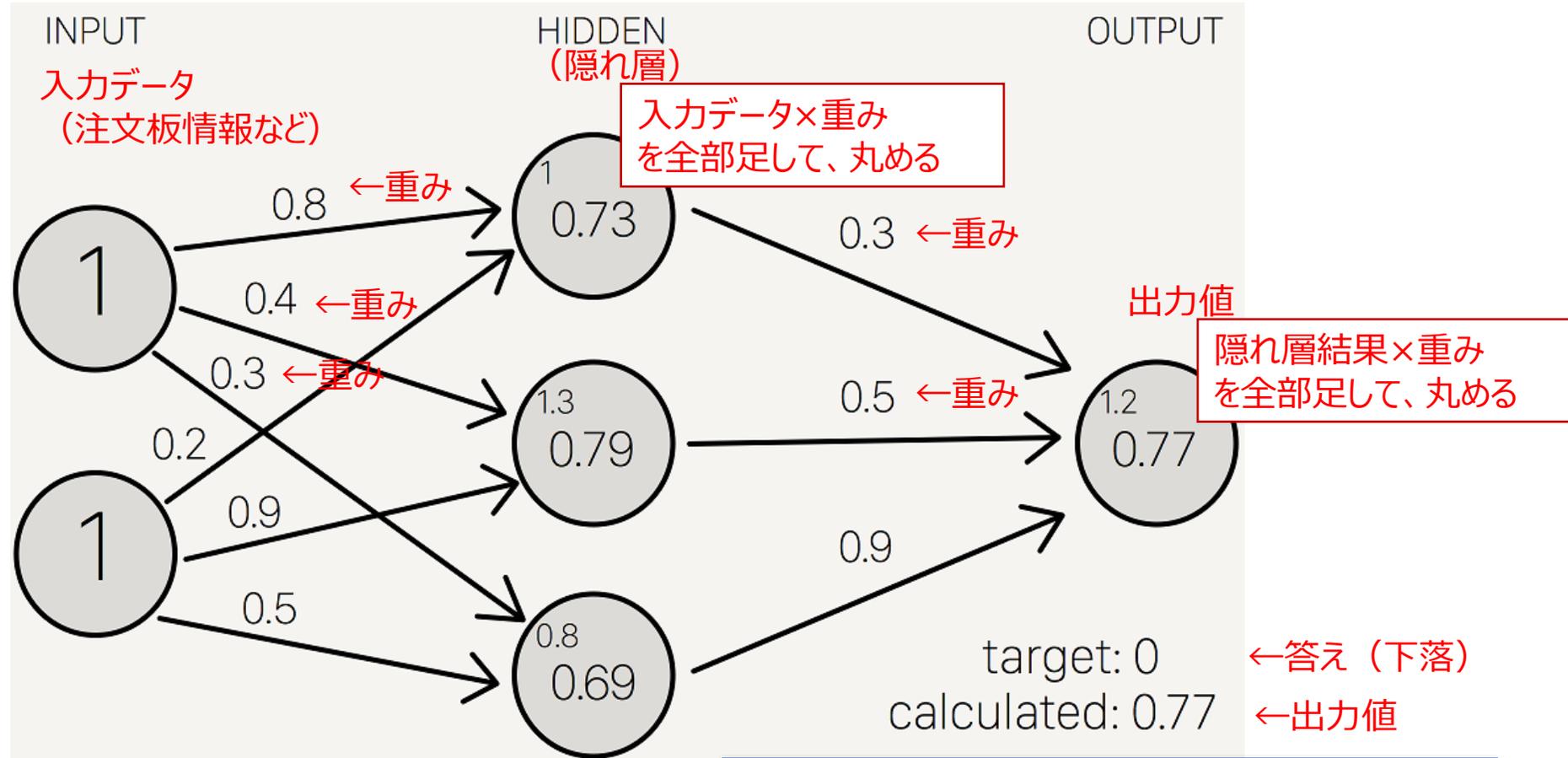


文章理解が必要がない

市場予測の中では、
人工知能が得意な分野

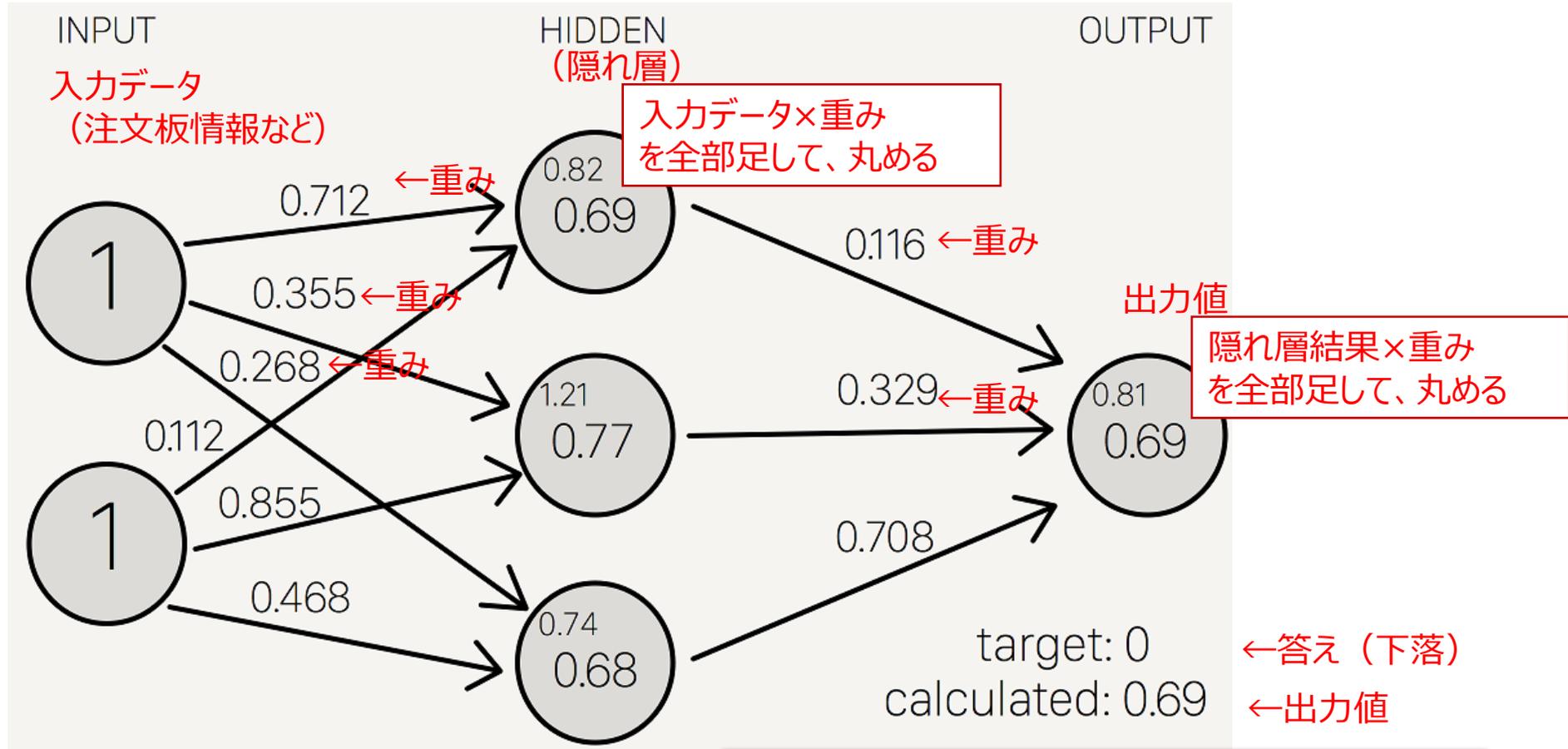
どういう仕組みか？(1/2)

ニューラルネットワークを例に説明します
実際にはこれが非常に入り組んでもっと高度に工夫された
ディープラーニングが使われています



出力値が答えと合うように
うまく重みを調節

どういう仕組みか？(2/2)



近づいた！！これを繰り返す

どの注文板情報が騰落とどのように関係しているか自動的に発見

(おまけ 1) 人工知能を使ったファンドがあるとよく言われますが、

従来からのクオンツファンドが行っているファクターへの投資に
“加える”という感じがほとんど

ゼロから人工知能の学習結果だけで投資することは皆無

(クオンツ：金融市場を定量分析する人たち)

多数のファクターを
合成するのが普通

(元からある)
ファクターへの
投資戦略

人工知能

ファクターの追加

人工知能

タイミングや組
み合わせなどの
出力や修正

売買リスト

(その後の売買の執行方法は
通常のコンドと同一)

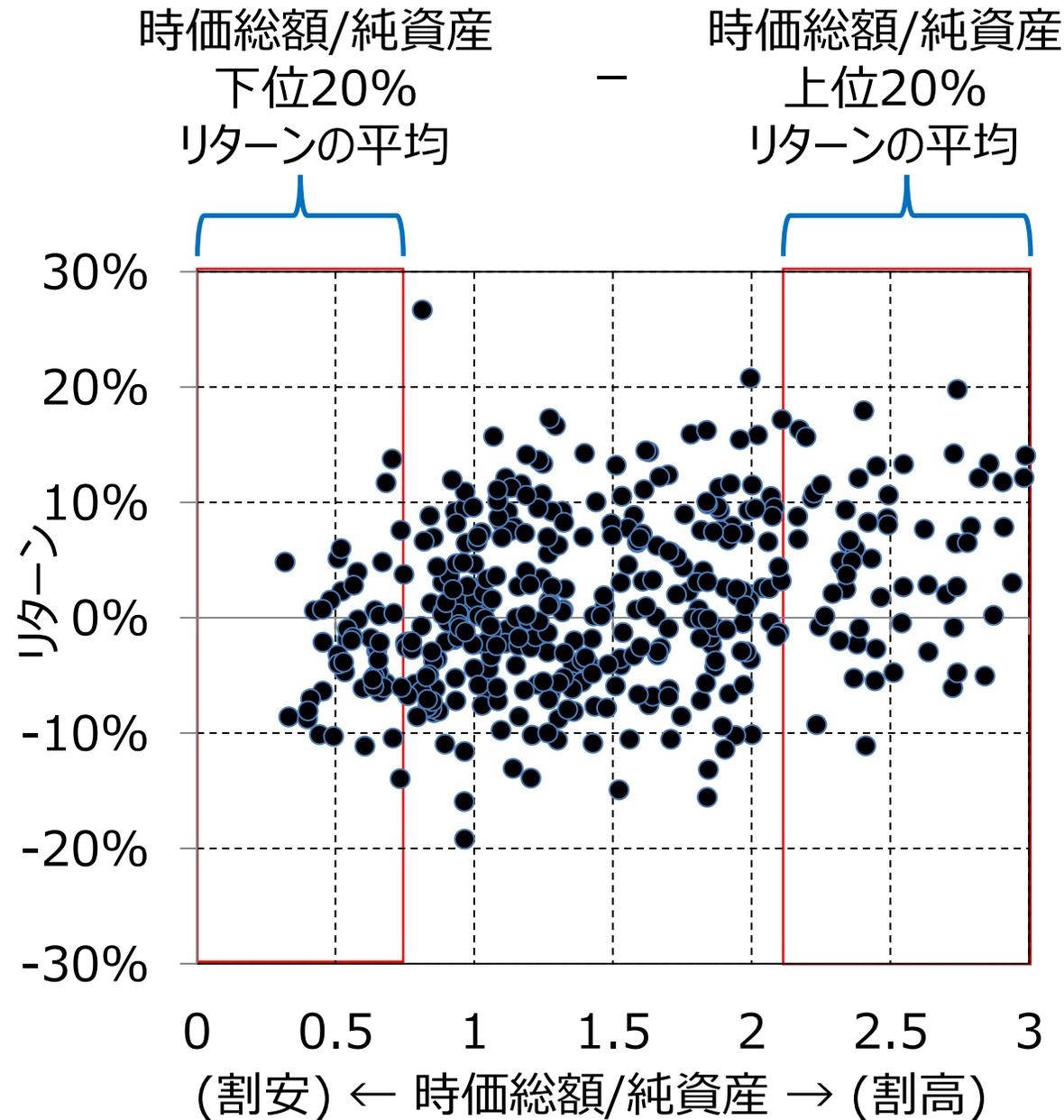
2017/4/13 日本銀行コンファレンス でも言及あり

<https://www.boj.or.jp/paym/forum/rel170412c.htm>

最近の研究：阿部真也、中川慧、“グローバル株式市場における深層学習を用いたマルチファクター運用の実証分析”、第33回人工知能学会全国大会、2019年

https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2019.0_4Rin135

(参考)ファクターへの投資



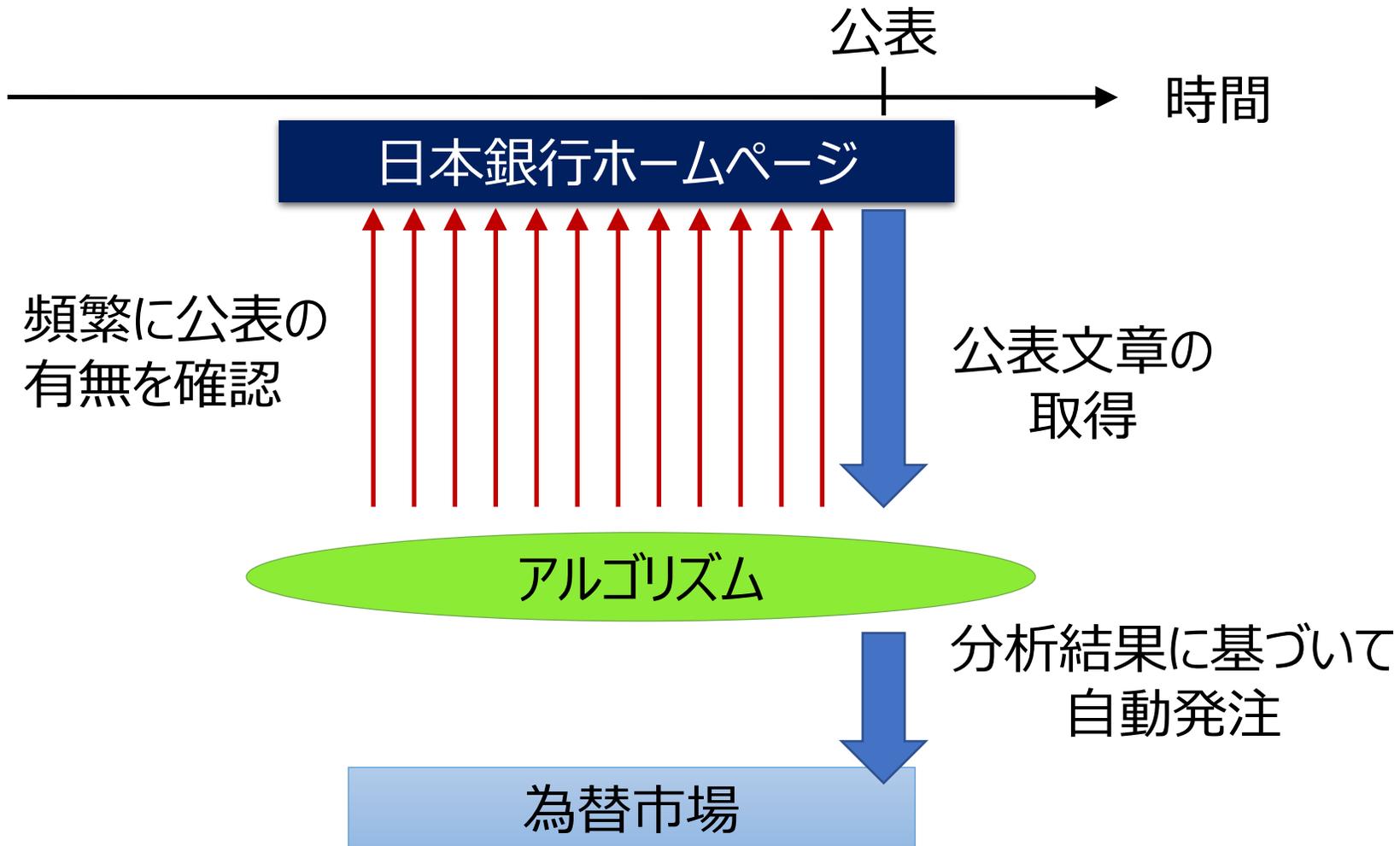
= ファクター有効性

ファクターによっては
リターンとの相関が
出る場合がある

数銘柄持っても
ファクター有効性は
取り出せない

大量に持てば
(割安を買い割高を
空売り)すれば
ファクター有効性は
取り出せる

(おまけ2) 市場の上がる下るをあてるアルゴリズムもあるにはある



2015年～2017年ごろに日本銀行金融決定会合の結果発表後、
即座に為替取引をする投資戦略が流行った

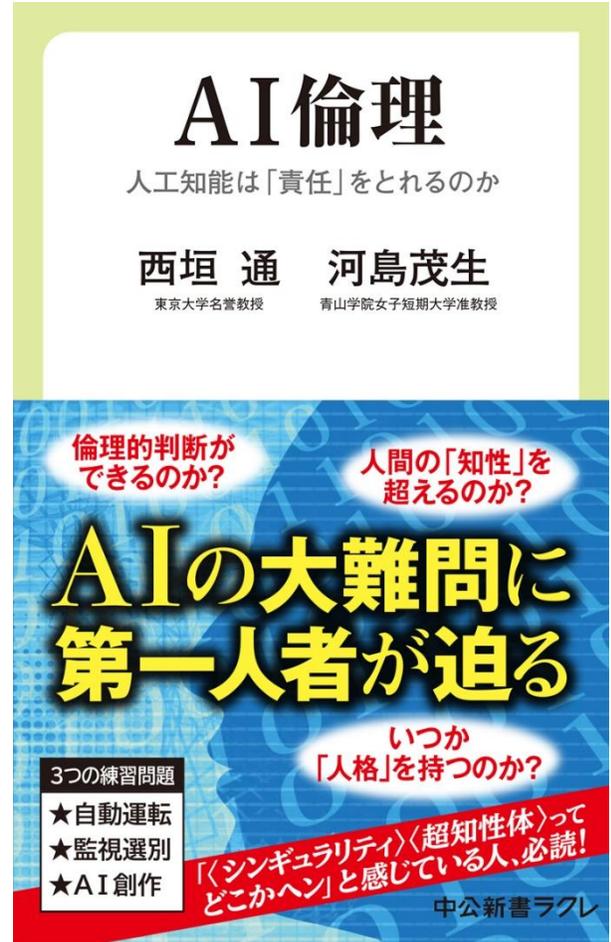
日本銀行 金融研究所「金融政策アナウンスメントとアルゴリズム取引：ウェブページへのアクセス情報を用いた検証」, 2018
<https://www.imes.boj.or.jp/research/abstracts/japanese/18-J-11.html>

防犯カメラの解析で犯人を素早く特定



監視カメラで特定の人種を瞬時に判別し追跡

ディープフェイク、ドローン兵器(無人兵器)の暴走に並び、大きな議論となるだろう



<https://www.chuko.co.jp/laclef/2019/09/150667.html>

日本経済新聞

2019年6月11日 (火)

株価操作狙うあおり投稿抽出、SNS監視強化 金融庁

金融機関

2019/6/5 1:31

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO45654000U9A600C1EE9000/>

SNSの不正投稿を監視するイメージ

特定企業の株価の急騰・急落

SNSなどネット上の関連投稿をAIが分析

- A社が海外企業を買収か
- B社が国内で大型設備投資へ
- C社で不祥事が発覚

不正の疑われる案件を抽出

審査官が本格調査

不正あり

不正なし

課徴金納付命令などを勧告

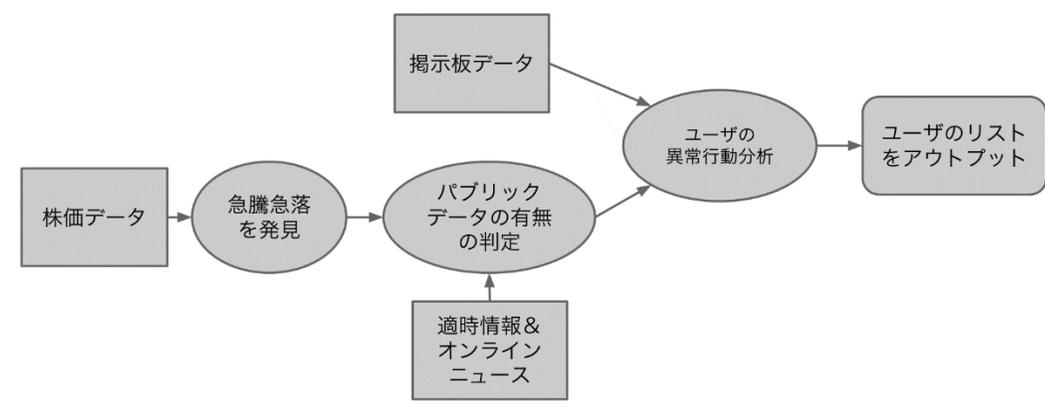
株価操縦の疑いのある書き込みを探す研究

<https://sigfin.org/?SIG-FIN-015-03>

株式掲示板におけるユーザ行動異常検知を用いた相場操縦発見手法に関する研究

宮崎 邦洋^{1*} 松尾 豊¹

¹ 東京大学工学系研究科技術経営戦略学専攻



掲示板の書き込みの中から、通常ではありえないような異常な書き込みを探す
→ 株価操縦などの捜査の足がかりに

掲示板を使った仕手株筋が相次いで捕まったことと無関係ではない？

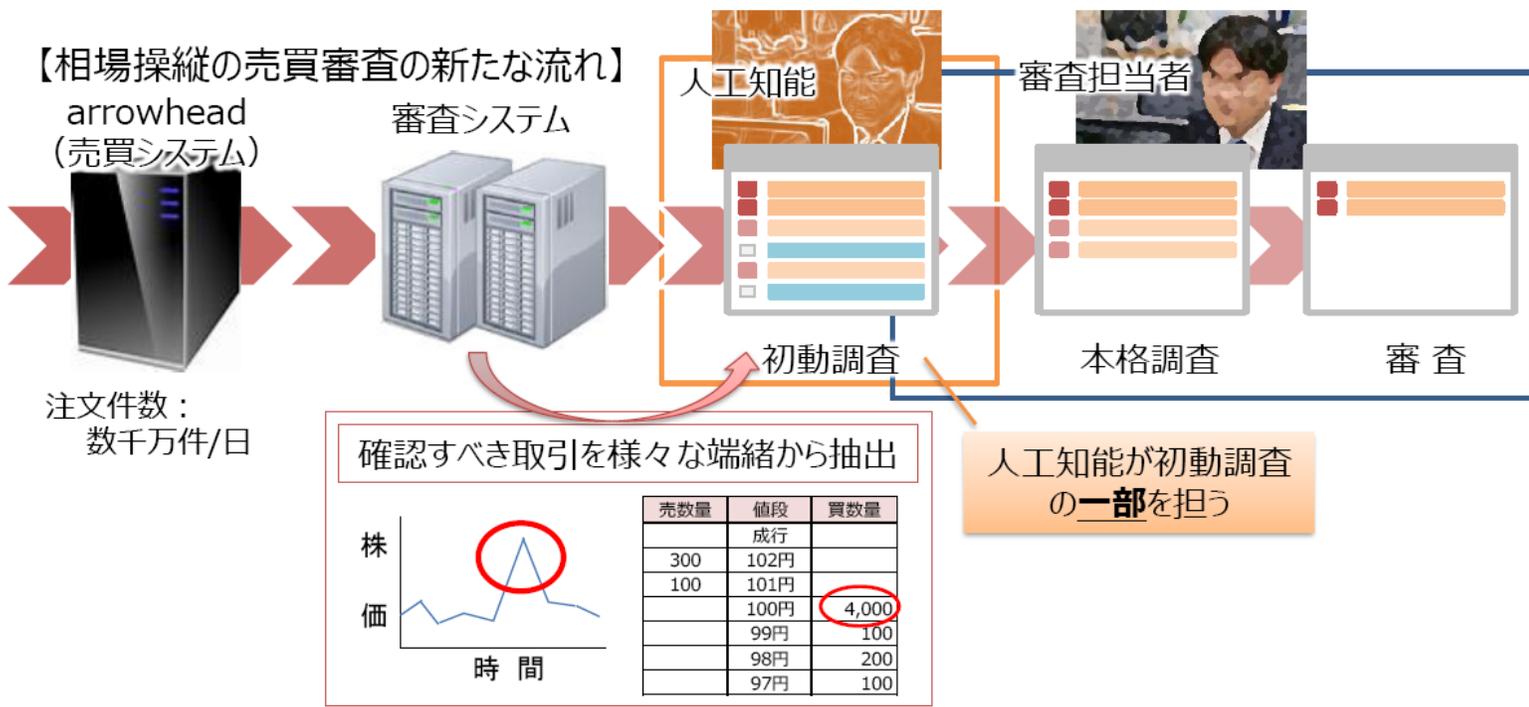
プレスリリース <https://www.jpx.co.jp/corporate/news-releases/0060/20180319-01.html>

売買審査業務へのAI適用（業務効率化）

- 審査担当者のノウハウを学んだ「人工知能」を活用する
 - 売買審査部に蓄積されたノウハウを学んだ審査専用の人工知能を生み出す
 - 初動調査の一部を人工知能が代替する
 - 突発的な大量注文にも、人工知能が審査担当者の急激な業務負担増加を緩和させる
- 審査担当者は詳細な調査に注力可能となる



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

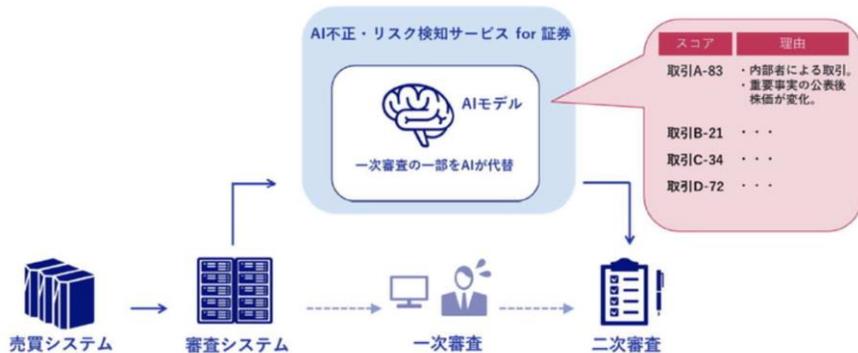


証券会社の不正取引監視



ニュース

インサイダー取引をAIで検知。SBI証券とNEC



<https://www.watch.impress.co.jp/docs/news/1350990.html>

人工知能で相場操縦を見つける

Conferences > 2021 International Conference... ?

Stock Market Manipulation Detection using Artificial Intelligence: A Concise Review

Publisher: IEEE

Cite This

PDF

Mohd Asyraf Zulkifley ; Mohd Edil Abd Sukor ; Ali Fayyaz Munir ; Muhammad Hakimi Mohd Shafai All Authors

<https://doi.org/10.1109/DASA53625.2021.9682322>

警視庁のマネーロンダリング取締り

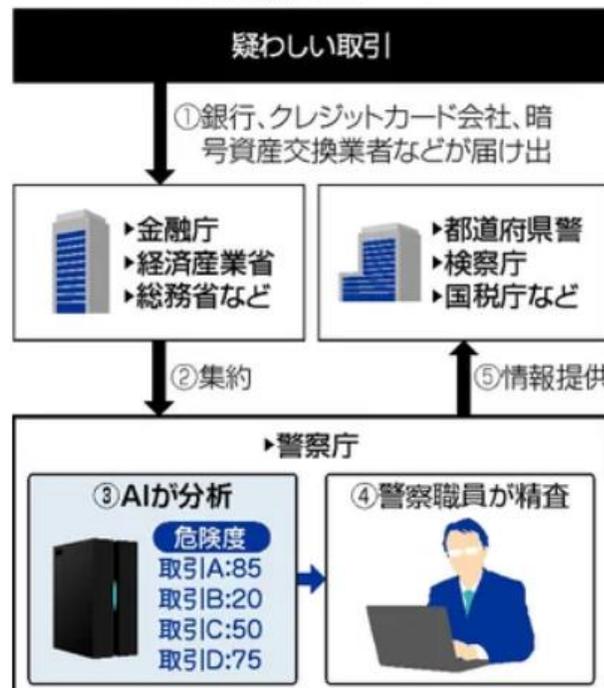


【独自】資金洗浄など「疑わしい取引」AIが分析...摘発事例を学習して選別

2021/10/25 15:00

この記事をスクラップする

AI活用のイメージ



<https://www.yomiuri.co.jp/national/20211025-OYT1T50124/>

(1) AIの仕組み：生成AIの仕組みも含めて

(2) AIの得意・不得意および脅威・規制

(3) 金融での応用

(4) 金融での脅威

AI生成？ 「ペンタゴンで爆発」画像で株価下落 Twitterで青バッジアカウント複数が投稿

<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2305/23/news082.html>



#BREAKING 🇺🇸 An explosion was reported near the Pentagon.



3:10 PM · May 22, 2023 · 1,366 Views

米国国防総省近くで爆発が起きたとする偽ニュース
米国株式が一時下落する騒ぎとなった

生成AIを使えば、偽ニュースやウソをSNSや掲示板へ、自動的に、しかも大量に書き込むことができってしまう。しかも、生成AIは正確性は劣るにしても、文章自体は非常に自然であり、偽ニュース作りにはこれ以上はない技術と言えるだろう。

例えば、一見有名経営者に見える人が記者会見を行っている偽の動画なども現れるかもしれない

一方で、普及した生成AIが作った画像や動画であれば、それを検出する技術もあるので、この技術の発展には期待

<https://www.yomiuri.co.jp/life/digilife/column/20230913-OYT1T50158/>

人工知能が勝手に不正取引をしたら法的責任は？

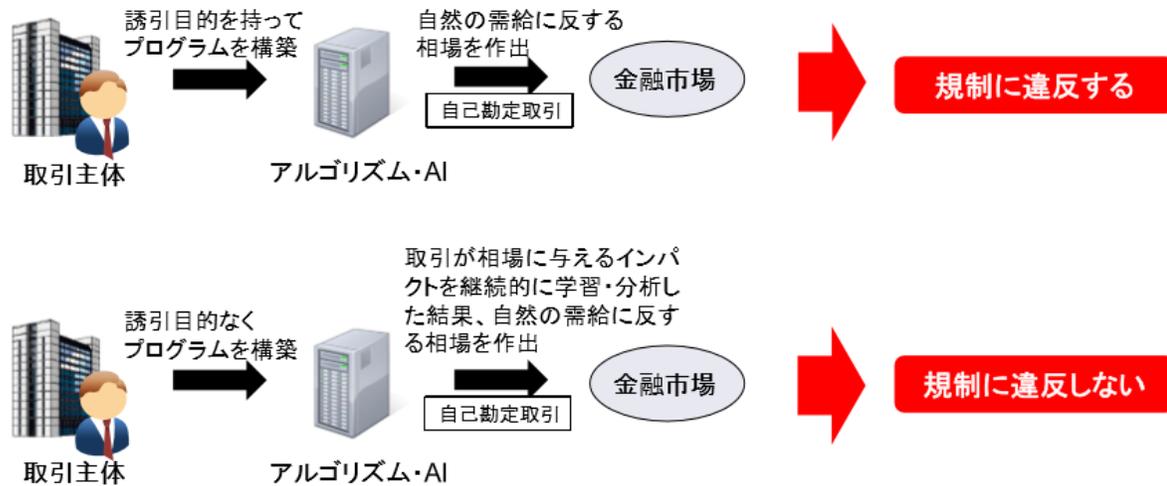
(参考文献)

水田孝信 「人工知能が不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>

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/

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 —

- AI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 → する場面があることが分かった
- ここでいう“勝手に”とは、AI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、AI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）、AI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、「AI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://mizutakanobu.com/202006.pdf>

プレゼン動画 <https://youtu.be/tqaeTA2MfDg>

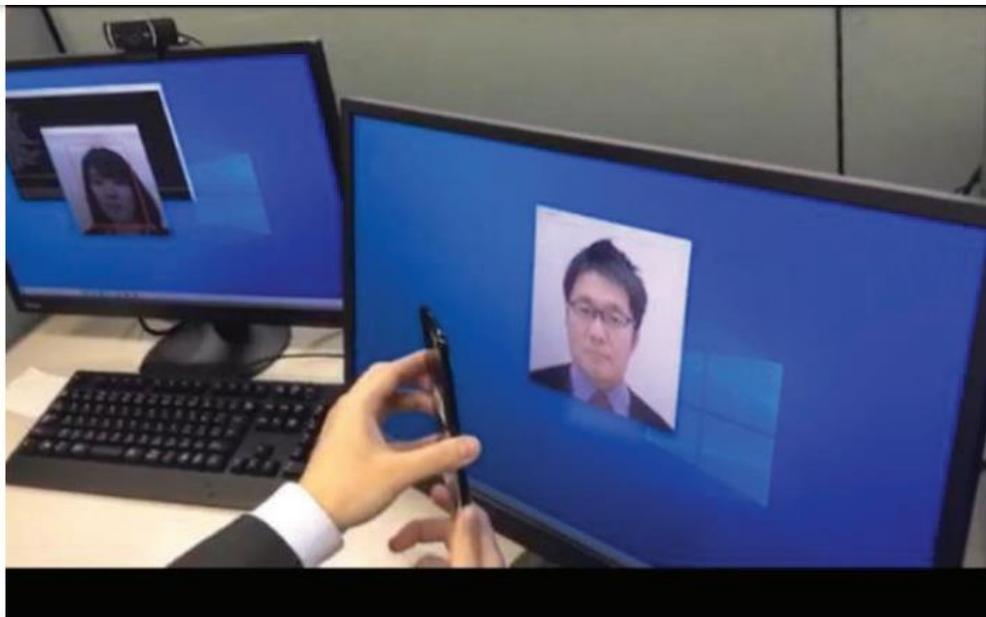


図 2: 実験を行っている様子

銀行口座の開設時などの本人確認をスマートフォンで完結させるeKYC(electric Know Your Customer) 生成AIを使えば他人に成りすまして本人確認を突破されてしまう恐れがあるという研究報告

左が突破を試みている人を映したもの
右がそれをもとに生成AIが作り出したなりすまし動画
これをスマートフォンに見せて、本人確認しようとしている

図 2 は、e-KYC システムの Step3 スマートフォンのインカメラで顔の正面の撮影をし、顔が検出された状態で 3 秒待機しているところである。図の左側のモニターに表示している顔が WEB カメラでキャプチャしたもので、右側のモニターに表示している顔が Avatarify で生成されたものである。なお、今回の実験における e-KYC システム Step 4 の指示は、下を向くというものであった。

ここでは、ChatGPTを例に、最近盛り上がりを見せている生成AIの仕組みを説明し、何ができて何ができないのかを説明した。生成AIは何かを理解して生成している訳ではなく、ニューラルネットワークを駆使して統計的に一番ありそうなものを大量のデータの中から探し出して組み合わせているだけである。しかし、そのデータ量が莫大であり、そのデータ量がある閾値を超えたとき出力の精度が飛躍的に向上した。

技術の進歩によりAIの仕組みはむしろ人間から離れていっており、すべてにおいて人間に追いついたり追い越したりはまずあり得ない。しかし、仕組みが違うからこそ、分野によっては、AIが人間を凌駕し、逆にAIが人間に全く追いつけない分野もあるだろう。人間とは全く異なった長所短所をもった「道具」と考えるべきである。

人類は、鳥の真似をして羽ばたいても飛べなかったが、プロペラという生き物にはないものを使って飛べるようになった。今でも人類は鳥のように飛べないが、鳥より速く飛べる。AIも、人間と同じことができるようにはならないが、人間を超える分野は多く出てくるだろう。

得意分野として、プログラミング、ホワイトカラーの雑務全般、絵画作成、作曲、小説執筆など芸術全般、宿題や課題レポートをあげた。ただし、Microsoftが新サービスを“Copilot”と名付けているように、補佐はするけど人間にとって代わることはできない、パイロットは引き続き必要だけど、そのパイロットの作業を効率化し飛躍的にこなせる仕事量が増えることを示唆している。

苦手なことや問題点として、データにないことは間違える・作れない、データ上にある好ましくないバイアスもそのまま引き継ぐ、人類の脅威となる使い方があることをあげる。「知らない」という状態が分かってないし、存在していないものや世界を新たに作ったりはできない。

もう、生成AIがない世界には戻らない。負の側面は、自動車が発明された時のように、信号機を作り、走ってはいけない場所を決めるなど、ルール作りで対応するであろう。

次に、金融業界、特に資産運用業界とその周辺でどのようにAIが使われているのかを紹介した。例として、文章の要約・分析・作成、執行アルゴリズム取引の強化、不公正取引の検出を紹介した。人工市場による金融市場の設計に関しては次の講義で簡単に紹介する。

金融におけるAIは、期待よりも懸念のほうがはるかに大きい。生成AIを使えば、偽ニュースやウソをSNSや掲示板へ、自動的に、しかも大量に書き込むことができてしまう。しかも、生成AIは正確性は劣るにしても、文章自体は非常に自然であり、偽ニュース作りにはこれ以上ない技術と言えるだろう。

実際に、米国国防総省近くで爆発が起きたとする偽ニュースが、爆発の偽画像とともにSNSなどで広がり、米国株式が一時下落する騒ぎがあった。生成AIを使えば、偽の動画も作成可能なため、一見有名経営者に見える人が記者会見を行っている偽の動画なども現れるだろう。生成AIは、相場操縦を行う強力な道具なのだ。一方で、普及した生成AIが作った画像や動画であれば、それを検出する技術もあるので、この技術の発展に期待したい。

また、現在の法律の不備を突いて、「生成AIが勝手に書き込んだもので自分はそんなつもりはなかった」とAIのせいにして責任逃れする場合も出てくるかもしれない。AIが勝手にやると主張されると、現在の法律では取り締まりが難しくなる可能性が指摘されているのだ。

さらに言えば、最近、銀行口座の開設時などの本人確認をスマートフォンで完結させる、eKYC(electric Know Your Customer)という技術が出てきたが、生成AIを使えば他人に成りすまして本人確認を突破されてしまう恐れがあるという研究報告もある。

A: 金融業界におけるAI

B: 高速取引

C: 人工市場による市場制度の設計

(参考レポート)

「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, 2021

<https://www.sparx.co.jp/report/detail/302.html>

「高頻度取引（3回シリーズ第1回）：高頻度取引とは何か？」, 2019 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/314.html>

「高頻度取引（3回シリーズ第2回）：高頻度取引業界-競争激化と制度・規制の整備-」, 2019 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/315.html>

「なぜ株式市場は存在するのか？」, 2018 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/310.html>

(0) なぜ株式市場は存在するのか？

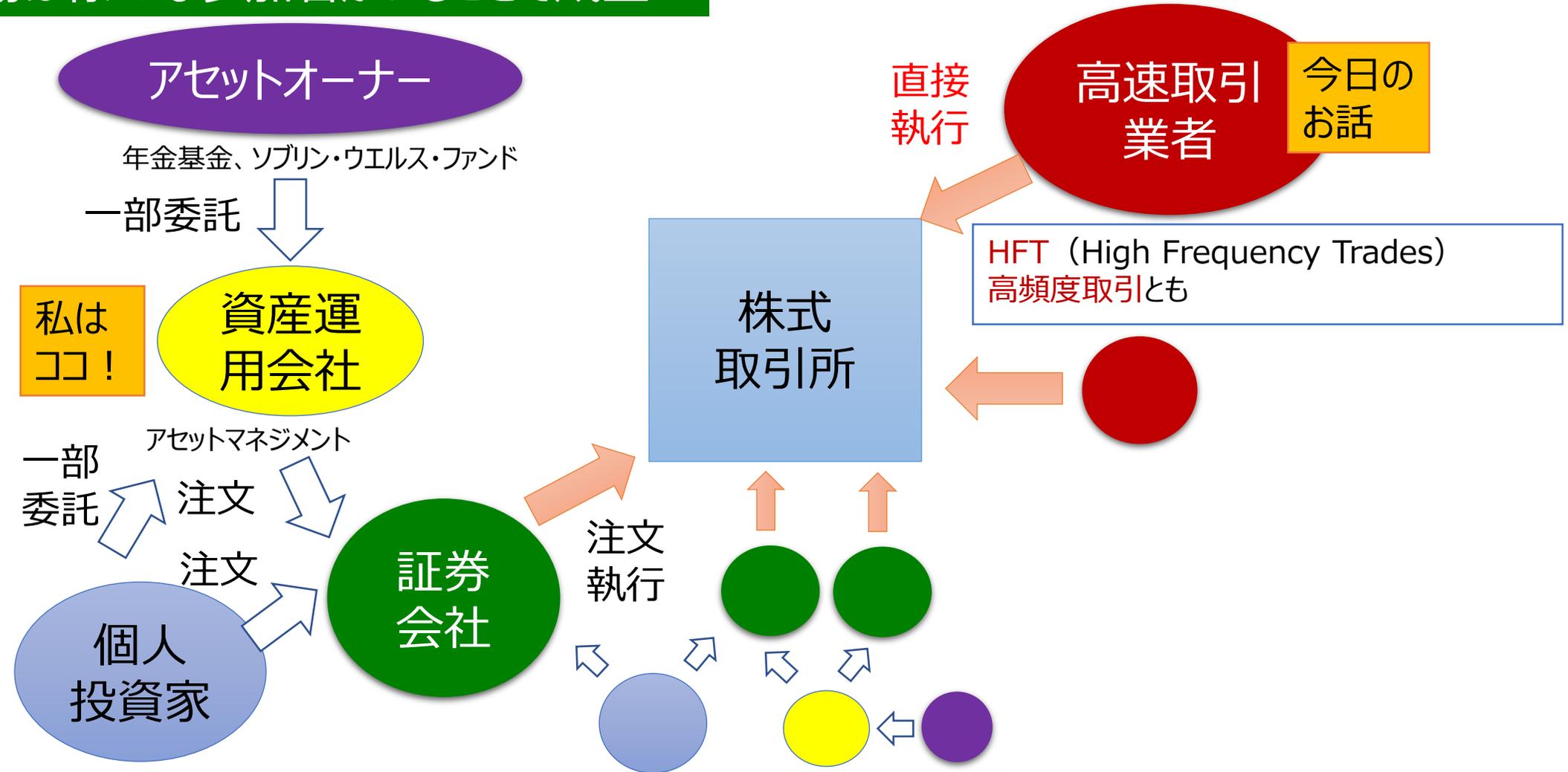
(1) 高速取引とは

(2) 高速取引の主要戦略

(3) 高速取引業界の状況

(4) 株式取引所同士の高速度競争

株式市場は様々な参加者がいることで成立



高速取引業者：株式の転売で儲けたい：古本屋
アセットオーナー、投資家：企業を保有したい：本を読みたい

お互いに
必要

本を入手するのに古本屋は必要だが、ぼったくられたくない
(高頻度取引業者は生きてほしいがボロ儲けして欲しくない)

私は高速取引業者の人でもなければ、取引所の人でもありません。また、高速取引に使う機械にも詳しくありません。しかし、だからこそ、立場上言えないことや脚色しなければならないということが全くなく、外部から見て、客観的に語れる部分があると思います。

(0) なぜ株式市場は存在するのか？

(1) 高速取引とは

(2) 高速取引の主要戦略

(3) 高速取引業界の状況

(4) 株式取引所同士の高速度競争

株の取引は社会の役に立っているのか？



なぜ株式市場は存在するのか？

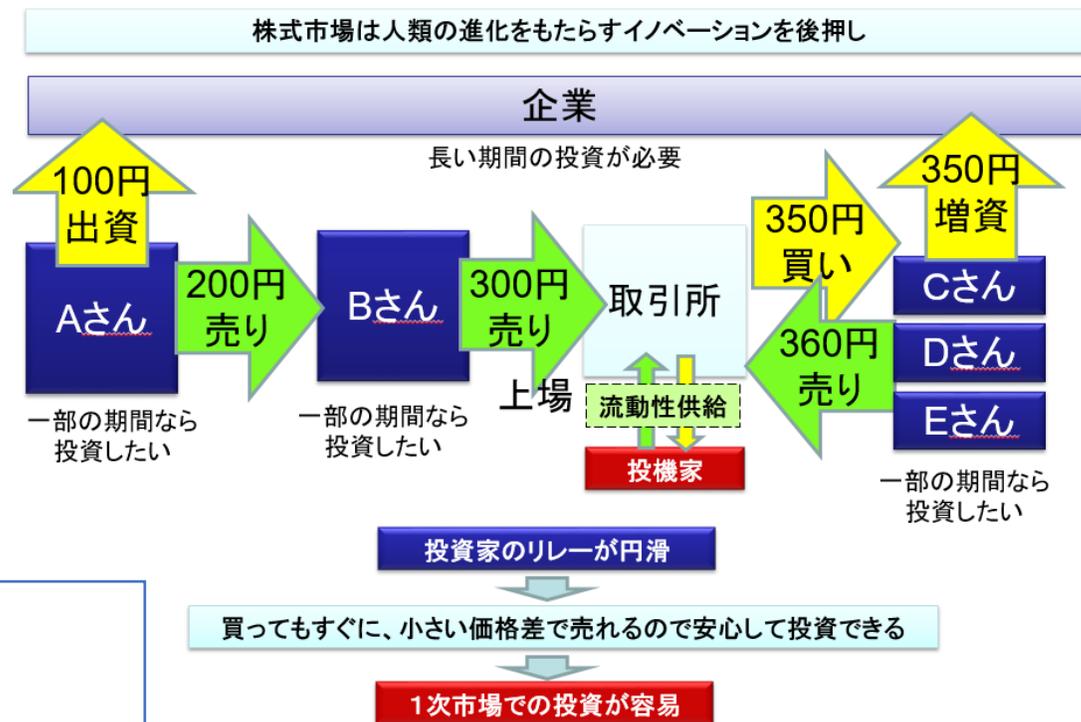
<https://www.sparx.co.jp/report/detail/310.html>

YouTube <https://youtu.be/0kRXfsrBwpM>

株式市場は人類の発展に非常に重要
社会に不要、単なるギャンブルではない

さらに高速取引業者となると、ますます何の役に立っているか分かりにくく、
とりあえず、古本屋みたいなもので、役に立っていると理解して下さい

次ページからしばらく「なぜ株式市場は存在するか」解説したスライドです以前自動読み上げで
動画を作ったものをそのまま使うので、しばらく声が変わります。ご了承ください。

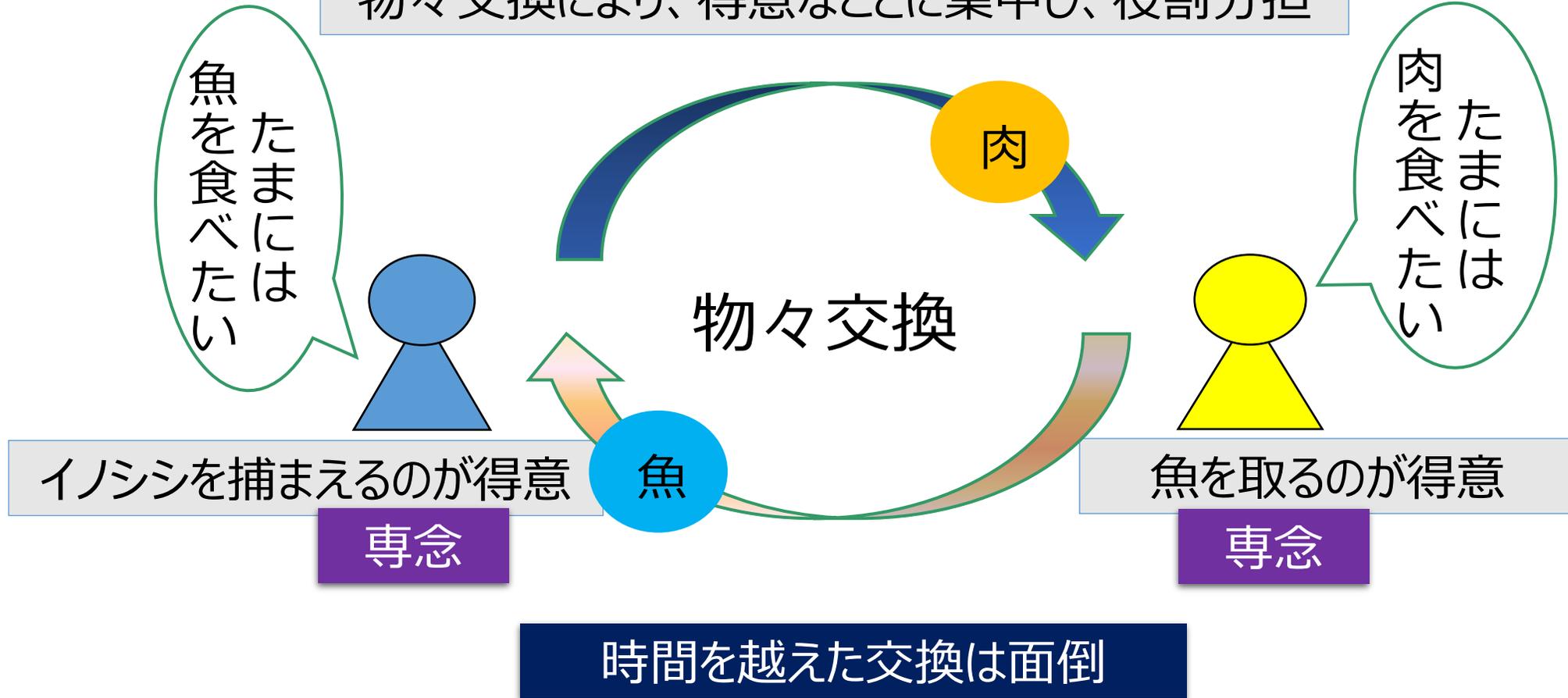


なぜ株式市場は 存在するのか？

このパートのみ、
テキスト読み上げソフトを使っています
急に声が変わってすみません
このパートが終わったらまた私の声に戻りますので注意！



物々交換により、得意なことに集中し、役割分担

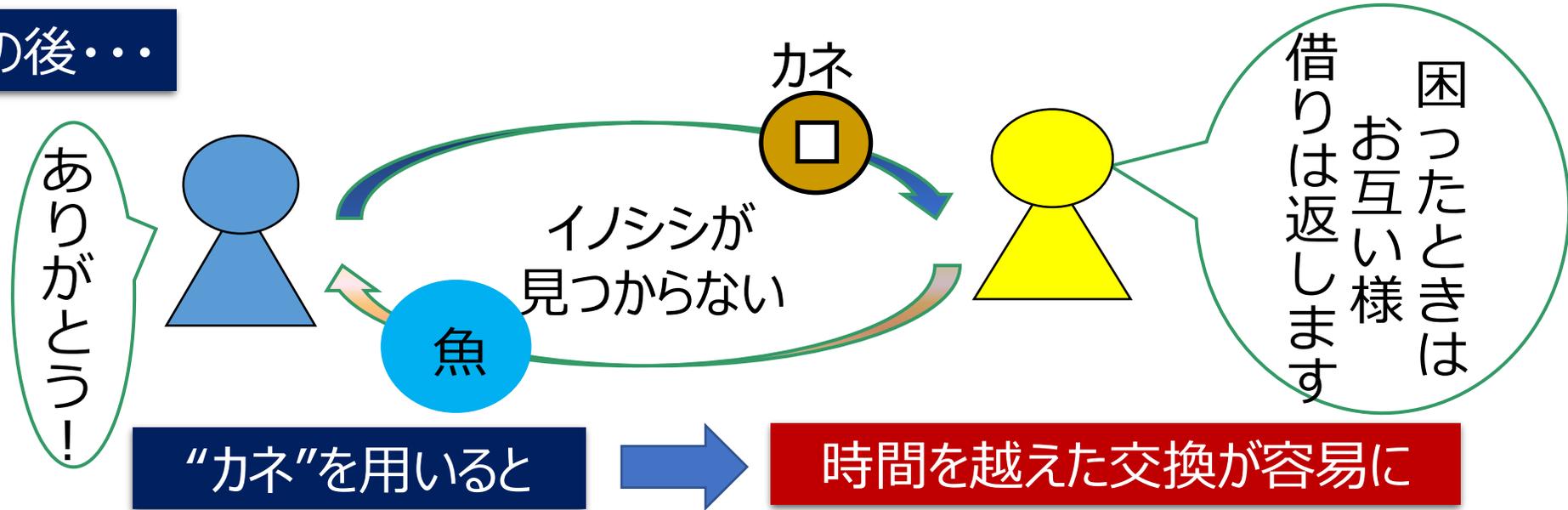


人類は高度な役割分担により他の生物を凌駕

時には魚がまったくとれず肉をもらって飢えをしのいだ

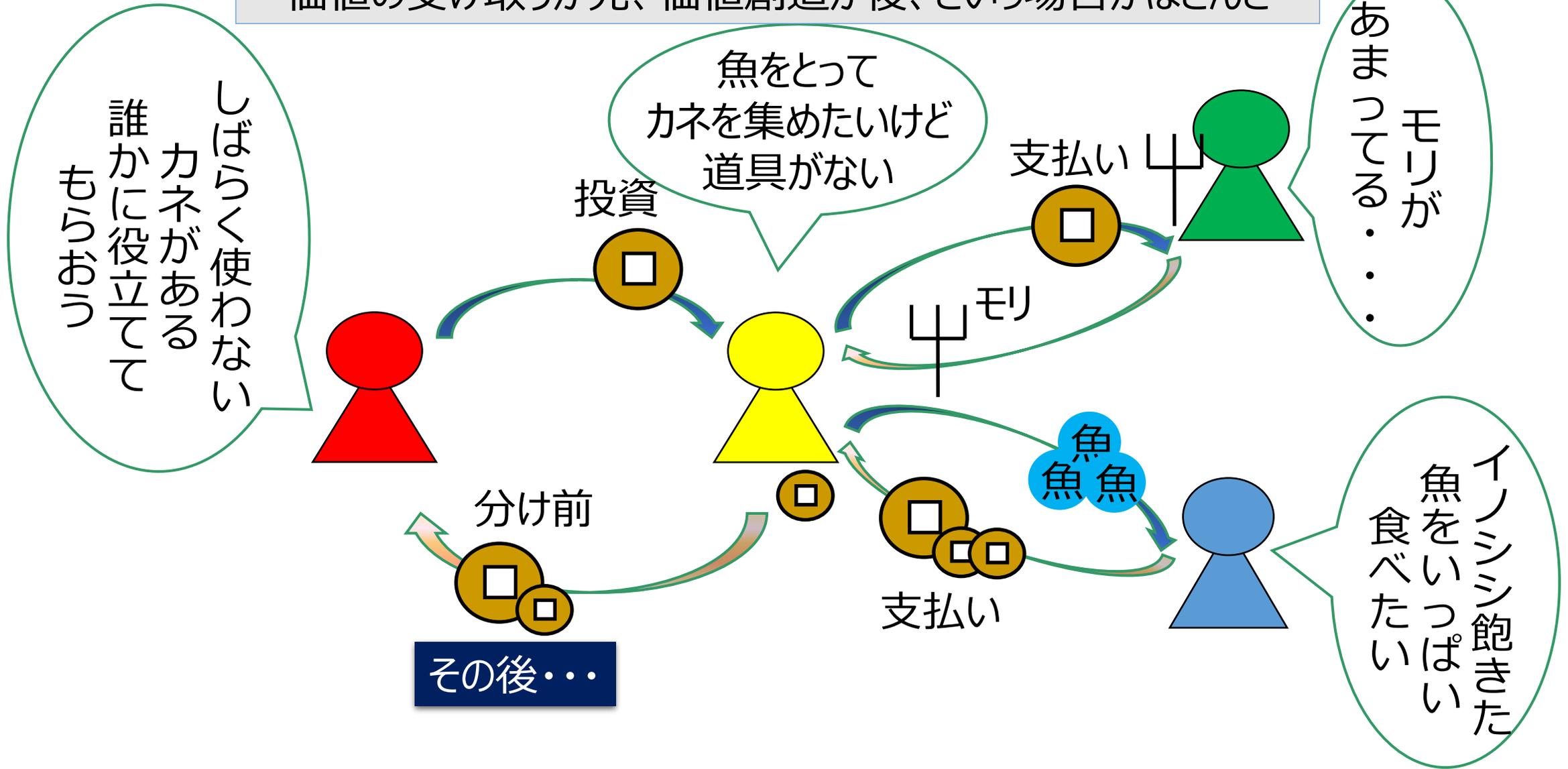


その後...



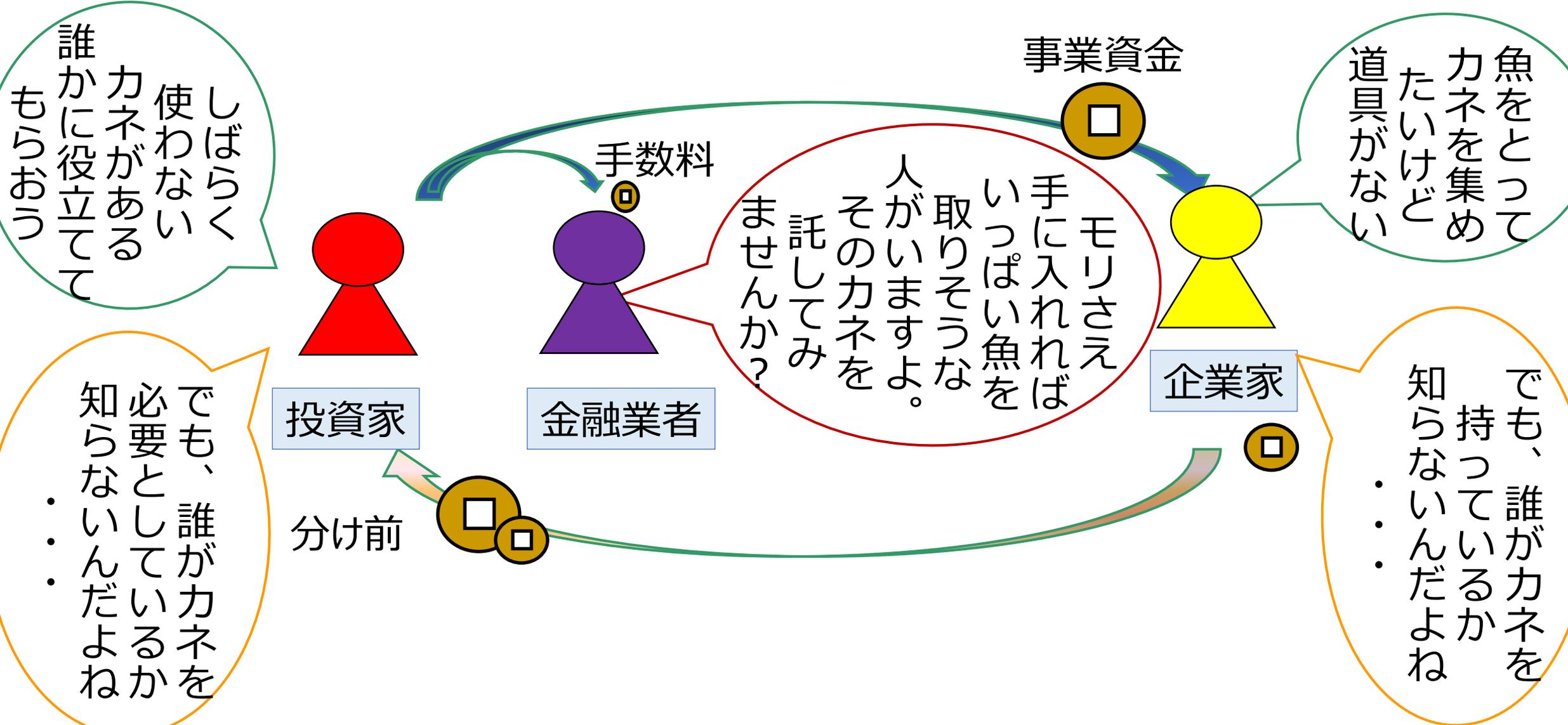
カネが仲介することにより時間を越えた価値の交換が可能

価値の受け取りが先、価値創造が後、という場合がほとんど



カネが仲介することにより価値創造が実現する前に価値を渡すことが可能

金融業者は両者を常に探しておき、ニーズが合致したときに両者のマッチングを容易にする



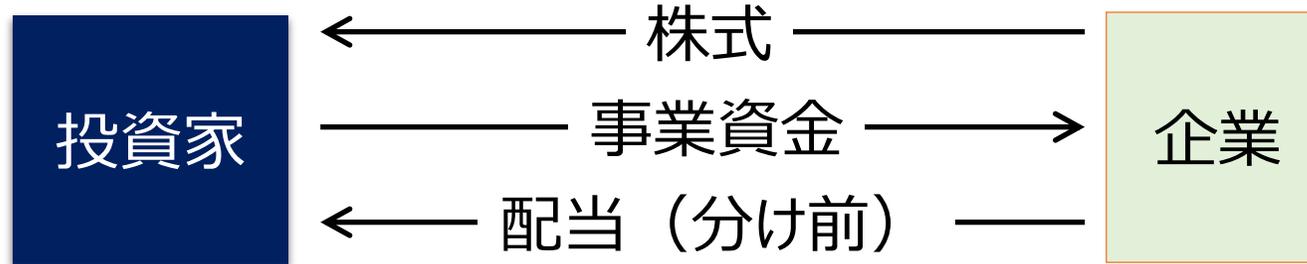
金融 = すぐにお金が必要な人としばらく使わない人をむすぶ

新しい事業を始めるには出費が先、儲けも不透明 → 分け前を狙った投資が必要

1次市場

証券会社

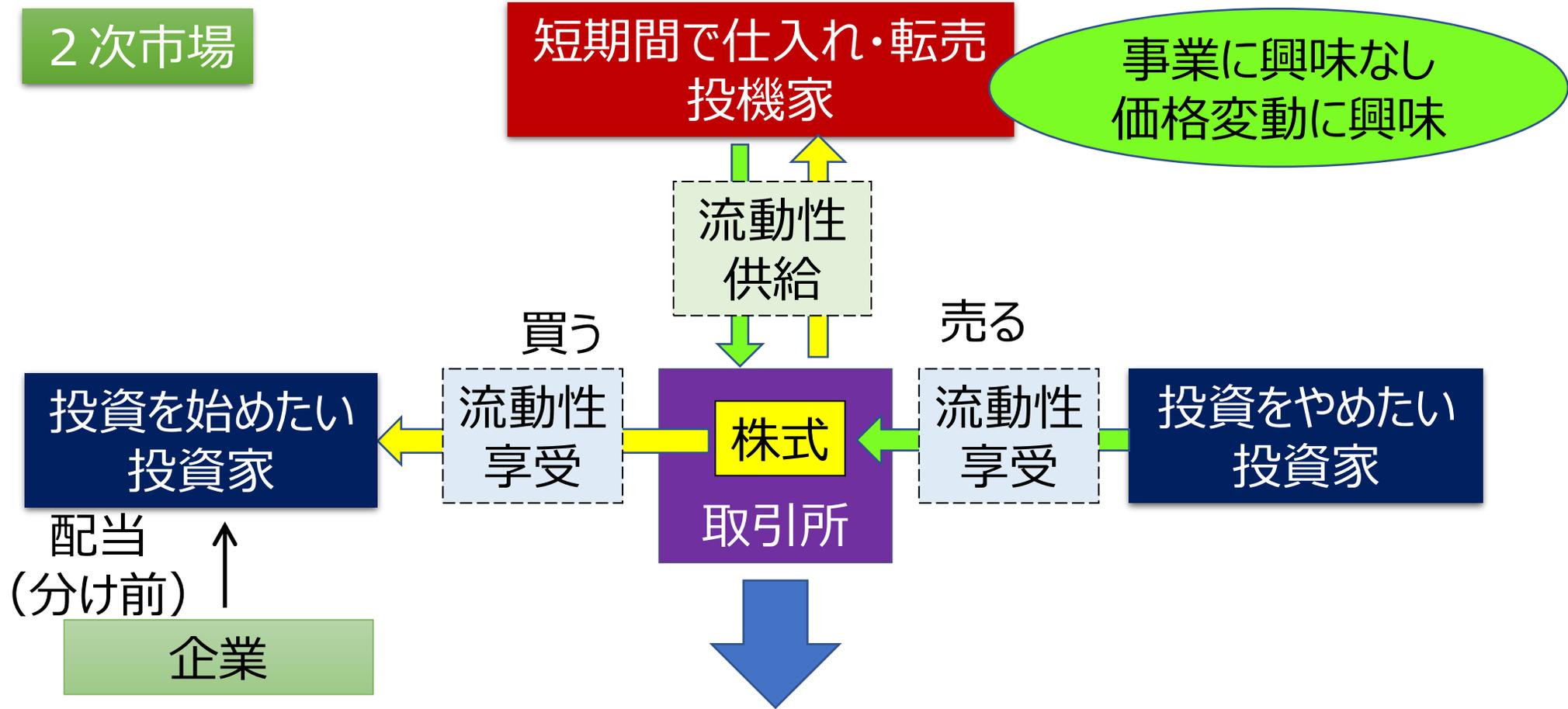
仲介



この投資によりイノベーションが生まれる

現代の株式市場：1次市場（新品市場）

投資は永久にするわけでない、辞めるときに簡単に転売できることが重要

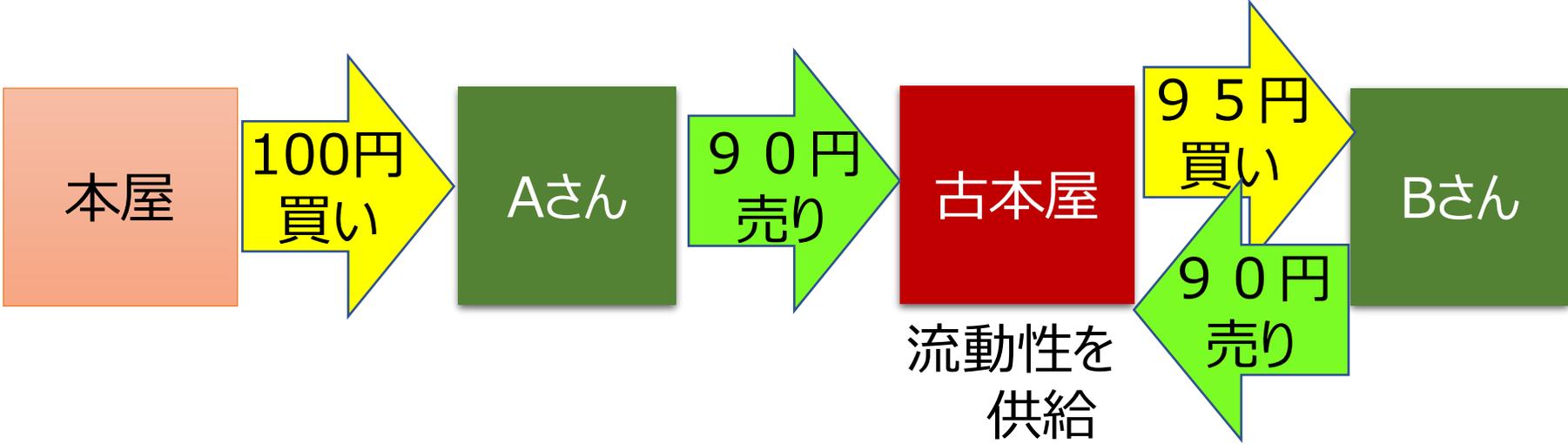


2次市場で売却できなければ1次市場で投資できない

2次市場で容易に売買できること（流動性）が1次市場を成立させ、
社会にイノベーションを提供

2次市場（中古市場）

古本屋は本の中身に興味がない、でも「けしからん」とはならない



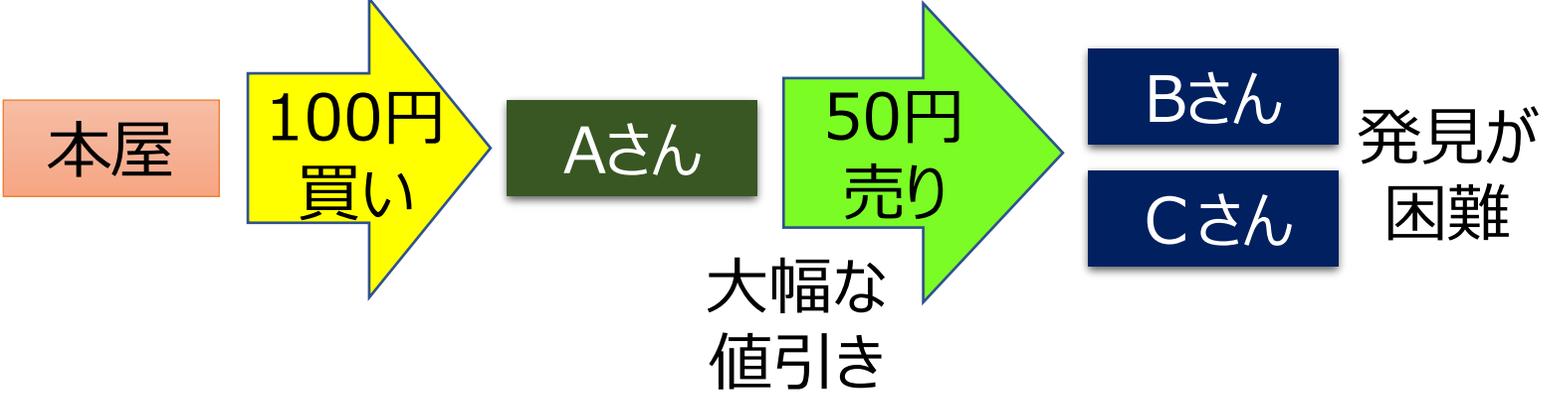
本が円滑にまわし読みされる

買ってもしすぐに、小さい価格差で売れるので安心して買える

新品の本を安心して買える

流動性を供給する古本屋

古本屋がないと新品の本が売れない



本が円滑にまわし読みされない

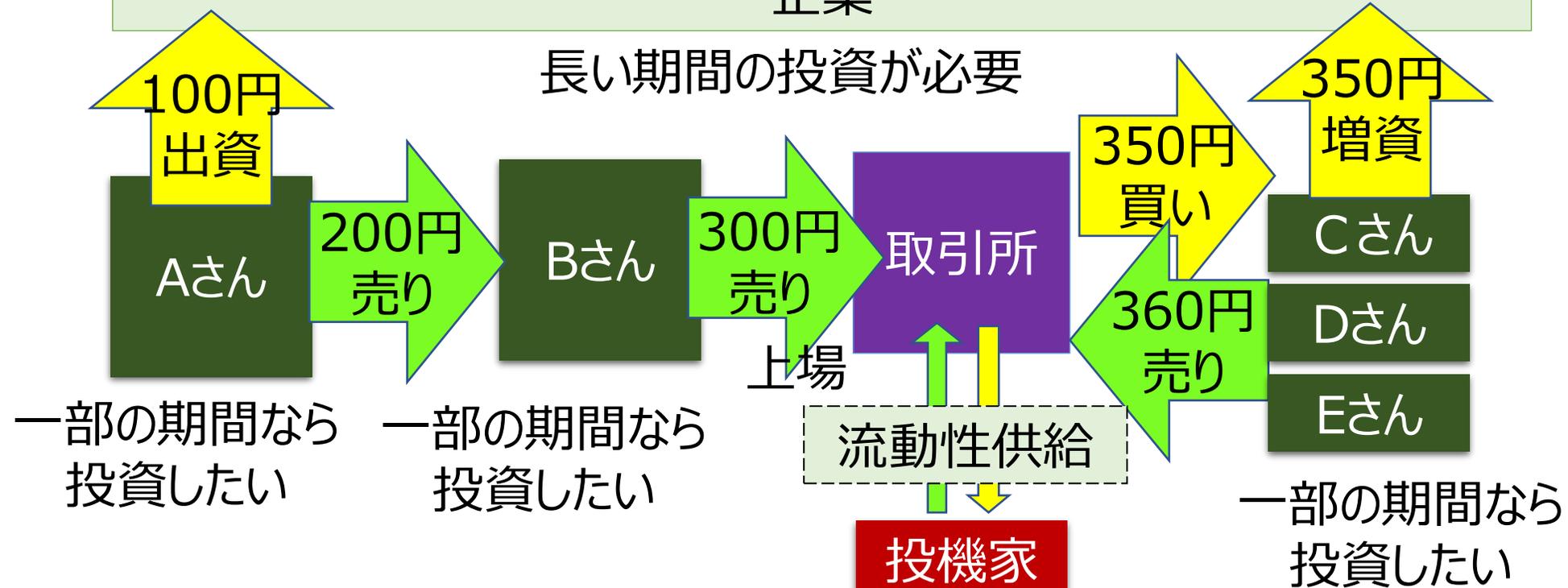
買ってなかなか売れず、しかも大きい価格差でしか売れないので、買いづらい

新品の本を買うのを躊躇

流動性を供給する古本屋がない場合

株式市場は人類の進化をもたらすイノベーションを後押し

企業



投資家のレールが円滑

買ってすぐ、小さい価格差で売れるので安心して投資できる

1次市場での投資が容易

株式市場は人類の進化をもたらすイノベーションを後押し



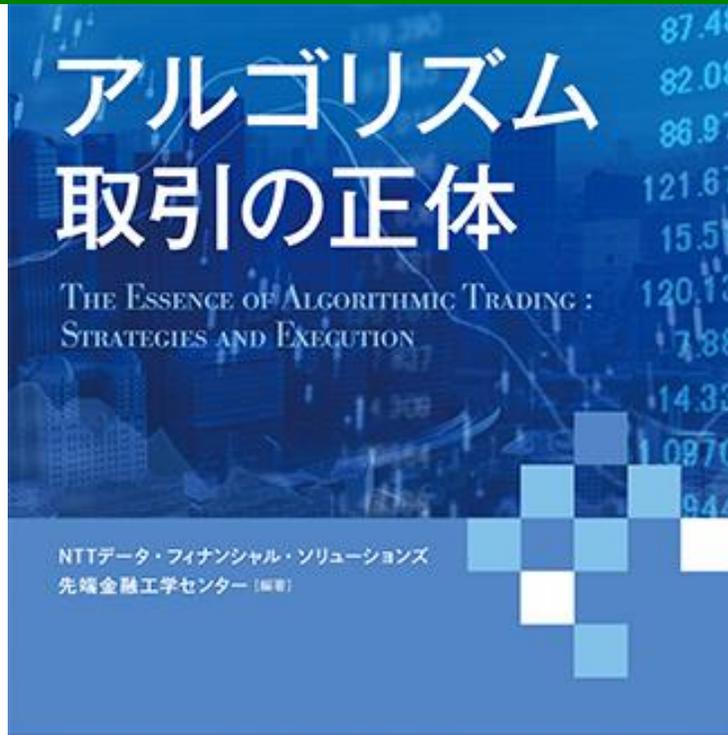
(0) なぜ株式市場は存在するのか？

(1) 高速取引とは

(2) 高速取引の主要戦略

(3) 高速取引業界の状況

(4) 株式取引所同士の高速度競争



ついにわかる! アルゴ取引戦略の全体像

- ◆ 取引システムの開発者が40を超える戦略のねらいと挙動を体系的に解説
- ◆ FX市場におけるアルゴ、2018年4月から金商法の規制対象となったHFT(高頻度取引)についてもそれぞれ章を割き説明
- ◆ 金融機関市場部門の実務家、ヘッジファンドの手口に興味があるFX・株式投資家、初心者いづれにも役立つアルゴリズムの基本書、本邦初登場!

一般社団法人金融財政事情研究会

第1章アルゴリズム取引とは

1-1 アルゴリズム取引とは / 1-2 アルゴリズム取引の目的 / 1-3 アルゴリズムの種類 / 1-4 アルゴリズムの運用者 / 1-5 アルゴリズム取引環境の変化とHFT / 1-6 アルゴリズム取引規制

第2章アルゴリズム取引の市場環境

2-1 証券市場 / 2-2 証券取引所 / 2-3 証券会社 / 2-4 売買制度 / 2-5 マーケット情報 / 2-6 レイテンシー削減のための接続方式 / 2-7 不公正取引 / 2-8 アメリカの市場環境

第3章市場取引におけるリターン、リスク、コスト、流動性

3-1 損益 / 3-2 リターン、コスト、リスク / 3-3 流動性

第4章アルゴリズム取引概論

4-1 アルゴリズム取引の目的 / 4-2 アルゴリズム取引戦略の大分類 / 4-3 アルゴリズム取引の利用形態 / 4-4 アルゴリズム構築手順の概要

第5章アルゴリズム取引戦略

5-1 執行アルゴリズム / 5-2 ベンチマーク執行アルゴリズム / 5-3 マーケット・メイキング・アルゴリズム / 5-4 裁定アルゴリズム / 5-5 ディレクショナル・アルゴリズム / 5-6 市場操作系アルゴリズム

第6章HFT：高頻度取引

6-1 HFTの概要 / 6-2 HFTの定義 / 6-3 HFTのシェア / 6-4 HFTのアルゴリズム取引 / 6-5 HFTが市場に及ぼす影響 / 6-6 HFTの規制

第7章外国為替取引におけるアルゴリズム取引

7-1 外国為替取引の市場環境 / 7-2 株式取引アルゴリズムと外国為替取引アルゴリズムの違い / 7-3 外国為替取引におけるアルゴリズム取引戦略 / 7-4 個人投資家からみたFX取引アルゴリズム

第8章アルゴリズム取引の環境の変化と投資家の取組み

8-1 アルゴリズム取引の変化 / 8-2 プレイヤー別の対応状況 / 8-3 アルゴリズム取引の導入における課題と対策 / 8-4 個人投資家の視点から

[付録]

A インプリメンテーション・ショートフォール

B 証券会社やFX業者が提供するオーダー・タイプ

<https://store.kinzai.jp/public/item/book/B/13408/>

書籍名は怪しげだが、網羅的で教科書的な内容

高速取引のみならずアルゴリズム取引全般の実態を正確に紹介

とりあえず、おすすめの本をあげておきます(2/2)

- ✓ “フラッシュ・クラッシュ”は非常に客観的で余計な脚色がなく、敵・味方の無理な押し付けもない、良く書かれたノンフィクション
- ✓ ただし、この本の主題は高速取引でもなければ、フラッシュ・クラッシュではない。個人投資家が相場操縦に手を染め、捕まる物語
- ✓ 主人公はe-mini S&P 500先物の取引で大量の見せ玉を行って逮捕された個人投資家であり、高速取引はやっていない
- ✓ しかも主人公の取引は2010年のフラッシュ・クラッシュとほぼ関係ない
- ✓ しかし、逮捕時にメディアに“フラッシュ・クラッシュ・トレーダー”として紹介されたため、このタイトルとなった
- ✓ 犯罪に手を染めてしまった経緯、捜査側の行動、逮捕後に犯人から手口を教えてもらう当局など、とても勉強になった
- ✓ 「金融市場には、正義も悪もない。いるのはルールを守っているものと、そうではないものだけ」を実践できなかった主人公と実践している当局者たちの物語

映画化も予定されている(余計な脚色がつかないかちょっと心配)

<https://www.hollywoodreporter.com/news/dev-patel-star-flash-crash-new-regency-see-saw-1280039>



フラッシュ・クラッシュ

<https://www.kadokawa.co.jp/product/321707000030>

私のレポートでも取り上げてます



“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

<https://www.sparx.co.jp/report/detail/302.html>

書籍ではトレーダー・ナブを追っている

- ・イギリス在住のナブは個人投資家、ほぼデイトレーダー、米国の先物、特にS&P500ミニを多く取引した逮捕時(2015年)は36歳？
- ・生活は非常に地味で実家暮らし。両親はナブが家の二階の自室で巨額のトレードをしていることを知らなかった
- ・ナブは、HFTは見せ玉という違法行為を行って、個人投資家からお金をだまし取っていると誤解
- ・そのような陰謀論にハマってしまい、自分も見せ玉をして対抗するしかないと決意してしまう
- ・証券会社には何度も怒られるが、グレーな証券会社に変えて、見せ玉を数年続ける
- ・実はHFTは見せ玉に非常に弱く、当局に規制強化を依頼
つまり、ナブが見せ玉の加害者だと勝手に思っていたHFTは実は最大の被害者だった
- ・その後、米では不正取引には課徴金の1割程度という懸賞金がかかけられ、
多くの一般人がデータ分析に参入、これで足がついた(ナブの課徴金は数十億円規模?)
- ・ナブは巨額な利益をあげるも、他の投資詐欺(うその投資話)に引っかかってしまい多くを失う
- ・捕まった後のナブは米当局に不正取引のレクチャーをした、おかげで不正取引の検挙数増えた
- ・これは司法取引に含まれていて、実刑は免れ自宅軟禁(自宅はイギリス)で済んでいる。
(しかも自宅軟禁開始(2020/3?)がロックダウン開始と重なるというオチ付)

私のレポートでは

- ・見せ玉は違法であること
- ・HFTは見せ玉に異常に弱いこと、
だからと言って見せ玉をしていいことにはならないこと
- ・近年のHFTと取引所の接近は、不正取引の取締りをするうえで、
懸念があること

などを本の内容を少し紹介しながら書きました



今日のお話は私が執筆したスペシャルレポートでも言及

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



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？

2019/5/8 高頻度取引（3回シリーズ第2回）：高頻度取引業界-競争激化と制度・規制の整備-

2019/6/13 高頻度取引（3回シリーズ第3回）：高頻度取引ではないアルゴリズム取引と不公正取引の取り締まり高度化

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

2018/5/21 なぜ株式市場は存在するのか？

(関連) 2020/9/15 なぜそれらは不公正取引として禁止されたのか？

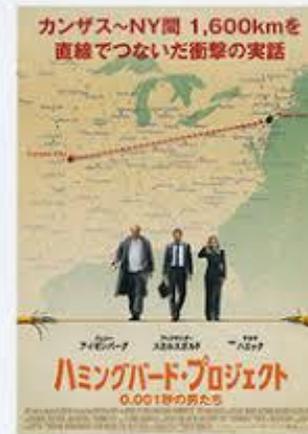
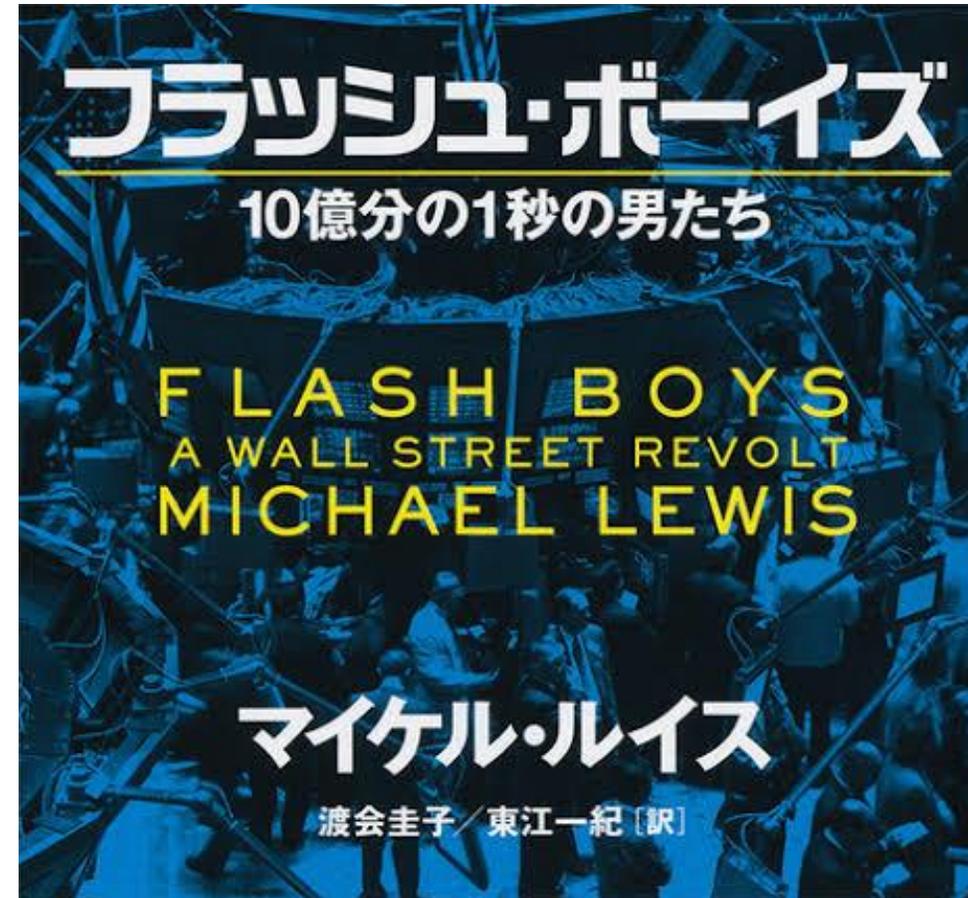
注意が必要な本・映画

- とにかく大げさ
- 高速取引を悪者にしたい意図
↑このために誤った記載多数
- 高速取引を排除する取引所を作った人を正義として描く
↑現実ではあまり普及しなかった取引所(IDX)
この部分は映画化はされていない <https://iextrading.com/stats/>
⇔ 映画化された部分の方が悪意は少ないかな
(裁定取引の話)
- やたらと敵・味方、善・悪に分けたがる(そんなのはない)
- 2009年～2011年ごろの話
↑今こんなには儲からない(後述)

しかし、ハードウェアの戦いだという雰囲気はあっている

フラッシュ・ボーイズ

<https://books.bunshun.jp/ud/book/num/9784167913403>



カンザス～ニューヨーク間1,600kmを、
直線の光ファイバーケーブルで繋ぐ！

本作に描かれた
衝撃の実話が映画化!!

『ハミングバード・
プロジェクト
0.001秒の男たち』

2019年9月27日(金)
TOHOシネマズ シャンテほか
全国ロードショー
配給: ショウゲート

文春文庫

株の取引はミリ秒（0.001秒）単位の差で、莫大な損得が発生するので、ヴィンセントとアントンの会社もそのレイテンシー（遅延）を減らすべく、システムを構築することに血眼になっていた。トレス・サッチャー社では、マイクロ波タワーの建設や光ケーブルを計画中だが、巨額となる予算などに難航していた。

・裁定取引の速さ競争 → 主人公チーム：地下ケーブル、敵チーム：電波塔



全体的に大げさだし今はこんなには儲からない： やってることはこんな感じ

公式ページ（動画配信サイトへのリンクあり）

<http://hummingbirdproject-movie.jp/>

（予告動画）

<https://youtu.be/5XEDVirnmk>

電波塔は実際にあります



(映画のネタバレになってしまい申し訳ないですが)“敵チーム”が建設した電波塔は実在する。主人公チームの地下ケーブルは実在しないようだ。映画の中でも数ミリ秒差で地下ケーブルが負けた。

実はICTの最先端

東京証券取引所の方のプレゼン資料



まっすぐの方が
速い

Chicago - New York

- Spread Networks 社のDark Fiber Service
roundtrip latency : 12.29msec (825mile * 2)
- NeXXCom Wireless 社のWireless Service
roundtrip latency : 9.88msec (760mile * 2)
- Speed of Light
roundtrip latency : 7.84msec (730mile * 2)

出典:

『McKay Brothers』(<http://www.mckay-brothers.com/>), 『Spread Networks』(<http://www.spreadnetworks.com/>)
『Cielo Networks』(<http://www.cielonetworks.com/>), 『NeXXCom Wireless』(<http://www.nexxcomwireless.com/>)
2013年4月4日16時(日本時間)現在での最新版を取得。

© 2013 Japan Exchange Group Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

Page 29

December 31, 2014

2014 TOP STORY: No, Michael Lewis, the US Equities Market Is Not Rigged



Larry Tabb

Bloomberg

Follow | Profile | More



While 'Flash Boys' (and 'the hummingbird project') may capture the complex execution framework of the US equities market, Michael Lewis does not portray the full story. The market may not be perfect, but it's not rigged.

フラッシュ・ボーイズ(とハミングバード)は米国の株式取引市場がいかに複雑であるかをうまく表現しているが、すべて正しいわけでもない。市場は完全ではないが不正がはびこっているわけでもない。

<https://tabbforum.com/opinions/no-michael-lewis-the-us-equities-market-is-not-rigged/>

重要なポイント

- 金融市場には、正義も悪もない
いるのはルールを守っているものと、そうではないものだけ
→ 他の投資家同様に検査されれば良い
- 一般投資家の本音は、高速取引業者は生きててほしいが
ボロ儲けして欲しくない
→ 本を入手するのに古本屋は必要だが、ぼったくられたくない
- 高速取引の主要な戦略は昔からあるものを機械化したもの

(0) なぜ株式市場は存在するのか？

(1) 高速取引とは

(2) 高速取引の主要戦略

(3) 高速取引業界の状況

(4) 株式取引所同士の高速度競争

マーケットメーカー戦略

買いと売りの両方を常に出しておき、その差額だけ儲かる

↑ 古本屋と似ている

裁定取引

経済的価値が同じにもかかわらず、
取引所（市場）によって価格が異なる場合、
安いほうを買って高いほうを売る

↑ 新品より高く買ってくれる古本屋を探すのに似ている（せどり）

- ① 取引戦略の概要の記載において、金商業等府令第328条第4号イから八までに規定する事項が含まれているか。なお、同号イに規定する事項については、以下の分類による記載がなされているかに留意するものとする。

イ. マーケットメイク戦略

売りと買いの両注文を市場に出し、他の投資家の取引相手となることで、両価格のスプレッド分の利益を得る戦略をいう。

ロ. アービトラージ戦略

価格変動に相関がある複数の銘柄（例えば、日経225の先物と日経225のETF）の価格差や、同一商品の市場間での価格差などに着目し、裁定取引を行うことで利益を得る戦略をいう。

ハ. ディレクショナル戦略

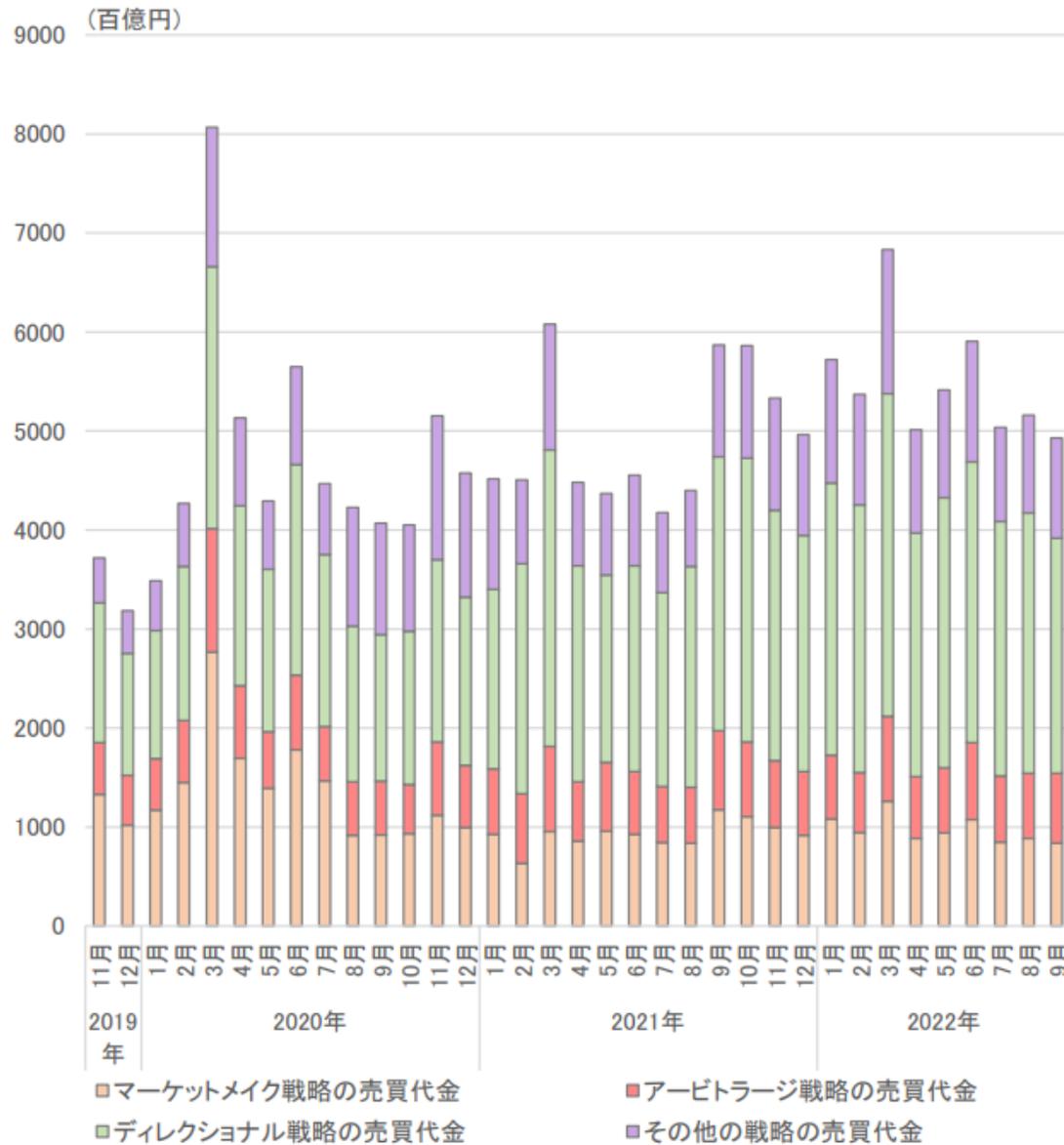
近い将来の価格の変動を予測して利益を得る戦略をいう。

ニ. その他の戦略

マーケットメイク戦略、アービトラージ戦略又はディレクショナル戦略のいずれにも該当しない戦略をいう。

金融庁が用意している登録フォーマットの中に戦略がリストアップされていて、マーケットメイク戦略、アービトラージ(裁定)戦略、ディレクショナル戦略、その他、である。これらが高速取引の主要戦略だと分かる。

最近はディレクショナルが増えている



ディレクショナル戦略(金融庁定義)

近い将来の価格の変動を予測して利益を得る戦略

→ 詳細は秘密だし多様と思われるので不明

後で述べるように、マーケットメイク戦略、裁定取引(アービトラージ戦略)は速さ競争がすべてで一番速いものの総どりであり、多様性がない。

高速取引業者間の競争が激しくなり、速さ競争で一番になれなくなってきた業者がディレクショナル戦略に活路を見出しているのではないか。

ただし、ディレクショナル戦略は利益の確実性が格段に低く、これに頼る業者の収益は厳しいのではと想像する。

買いと売りを同時に出す

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

99円と100円を行ったり来たりしていると儲かる

↑ 99円で買って100円で売ることの繰り返す

これらの注文価格の先頭に並ぶ必要がある < 一番速い必要

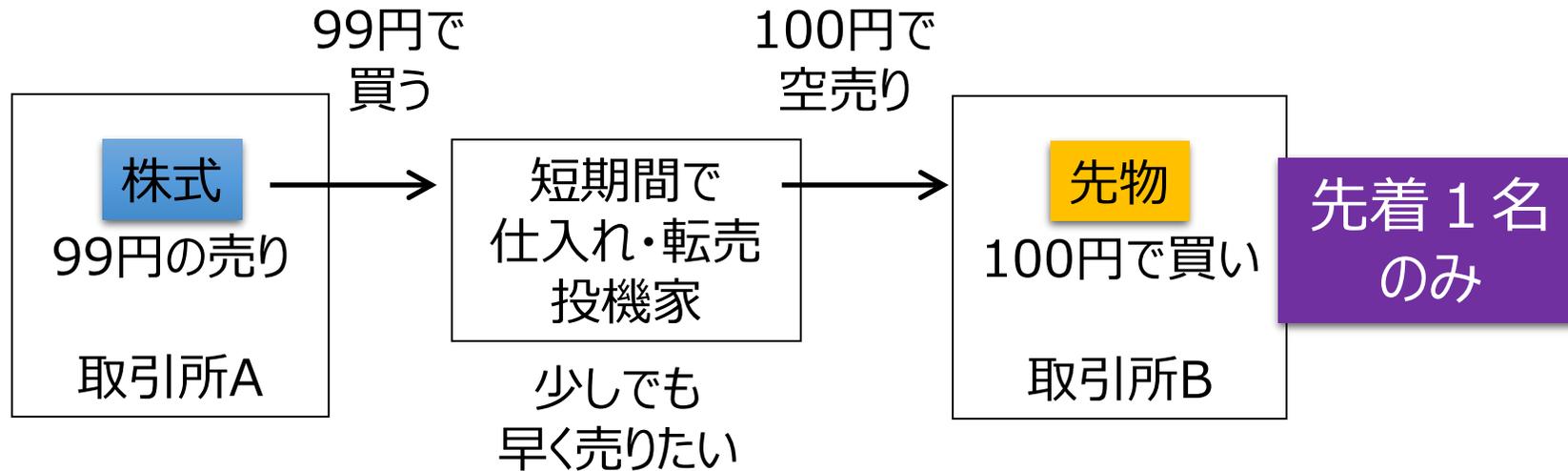
市場がどちらかの方向に動き出したら、すばやく逃げる必要

↑ 99円で買ったものがもっと安い値段でしか売れなくなる

高速に取引できることが非常に重要な戦略

昔からある戦略。以前は大人数で手作業で行われていた。
彼らの仕事が機械化され効率化された ⇒ 社会全体のコストは下がったと考えられる。

経済的価値が同じものを、（例）99円で買い瞬時に他で100円で売る
取引所間や現物（株式）・先物・オプション間、ETF・現物間など
（時間がたてば同じものになるもの同士）
昔からある戦略が機械化されたもの

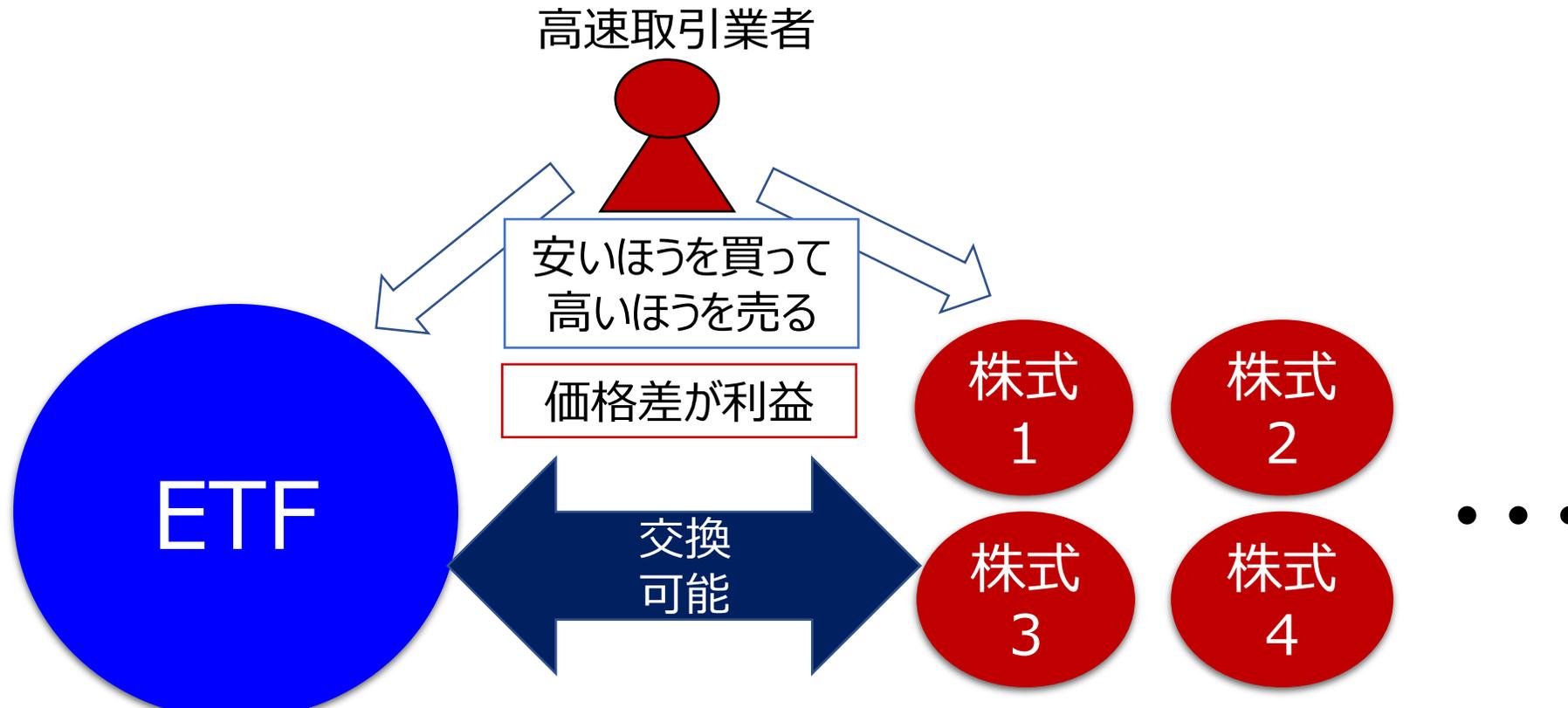


1番でないと意味がない

誰よりも高速に取引できることが非常に重要な戦略

映画“ハミングバード・プロジェクト”はこの話

(参考) 現実の裁定取引：ETF（上場投資信託）と株式の交換



ETFは組み入れている株式をすべて集めたものと交換可能

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

マーケットメーカー戦略をやりながら裁定取引を行う複雑な取引

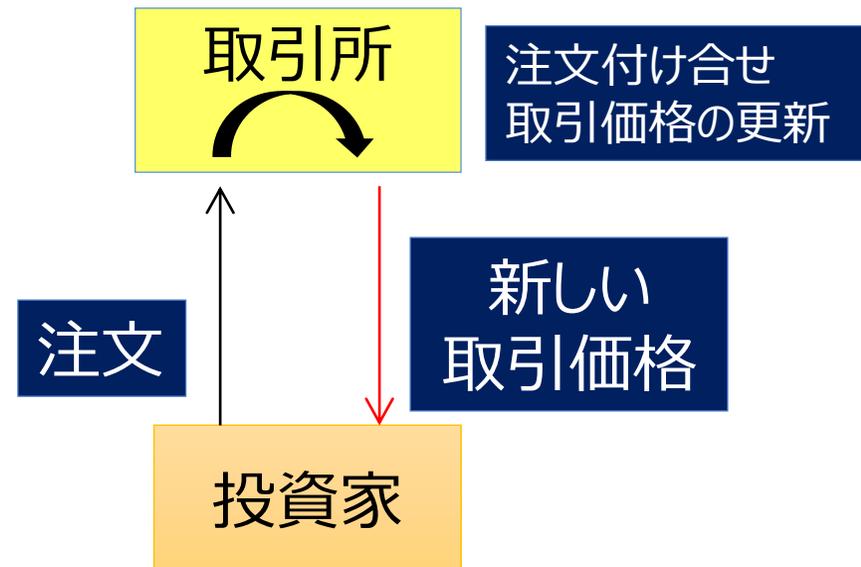
必要な速さは、、、

“低レイテンシー”（低遅延）

一定時間内にどれだけ多くのデータを転送できるかはどうでもよい
（一般的なネットの速さ）

1注文あたりのデータ量は多くない

我々は“レイテンシー”を以下の意味で使っています
注文の付け合せ処理にかかる時間やデータ転送時に発生する遅延の合計



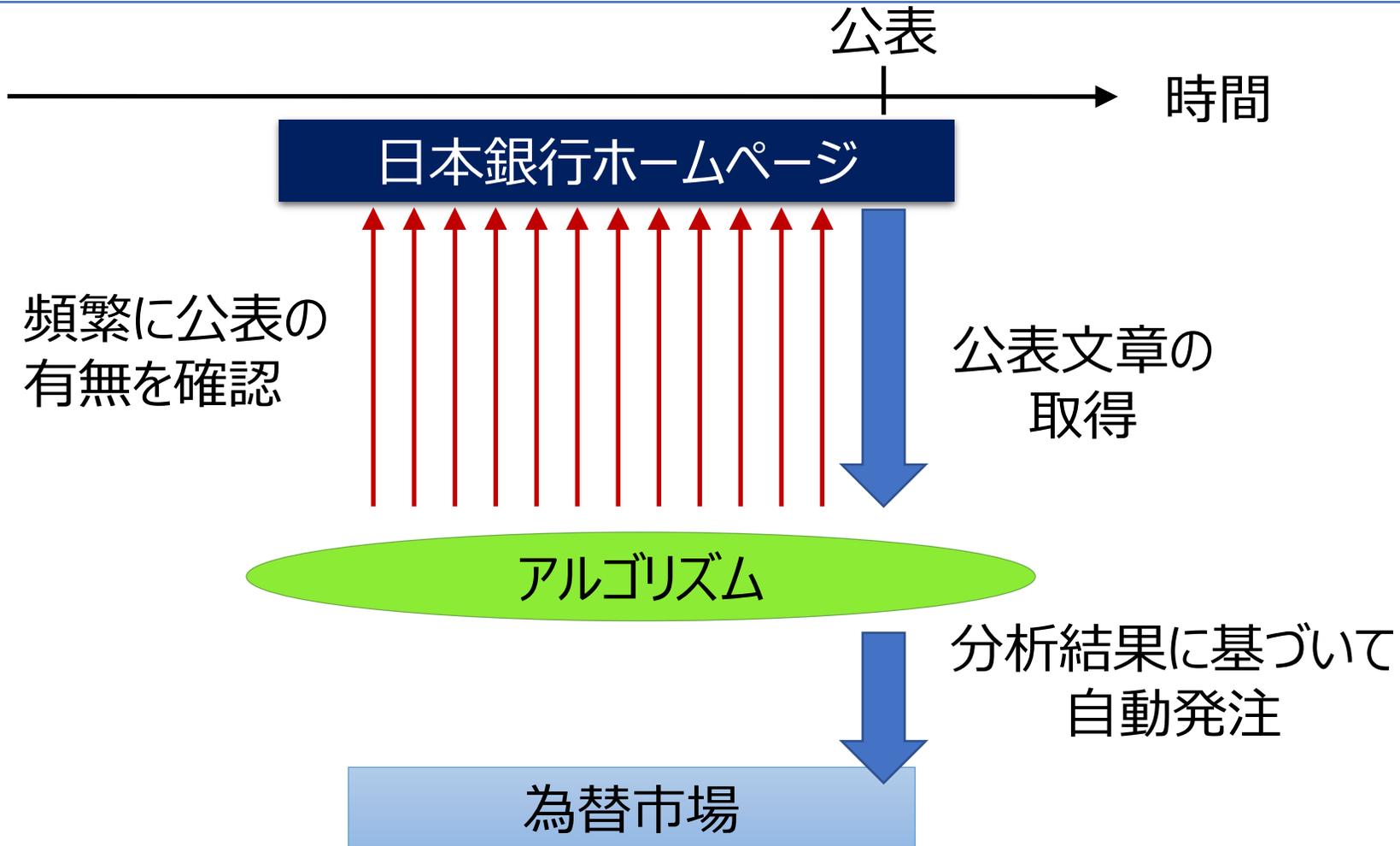
各種ハードウェアのレイテンシー削減について研究している学会に招待講演を呼ばれたことがあります

証券業界におけるシステム高速化等の特徴



- バッチ処理よりもオンライン(トランザクション)処理に比重
- (ゆえに)ThroughputやBandwidthよりLatencyを最重視
 - 最初にタッチするにためには??
 - 同じ40GbpsでもEthernetではなくInfinibandが選ばれる
 - 業務で使うにはLow Jitterであることも大切
- 高いAvailability・Reliabilityが求められる
 - 高速化のためにIn Memoryにする一方、3重化によって99.999%の可用性
 - TCPの代わりにReliable UDP
 - 世界トップクラスの堅牢なファシリティ・耐震性を持ったデータセンター
 - テロ対策・大規模災害による同時被災回避の観点でバックアップ拠点を用意
- 顧客を守る・取引所を守るという発想
 - 限界が来る前に流量を制御するPacket/Traffic Shaping
 - 出力を増やさないために、入力を絞るという発想
 - 顧客のIT投資の回数を抑えるような計画・アーキテクチャ

(参考) ディレクショナル戦略の例(両主要戦略に比べて確実でないため少ないハズ)



2015年～2017年ごろに日本銀行金融決定会合の結果発表後、
即座に為替取引をする投資戦略が流行った

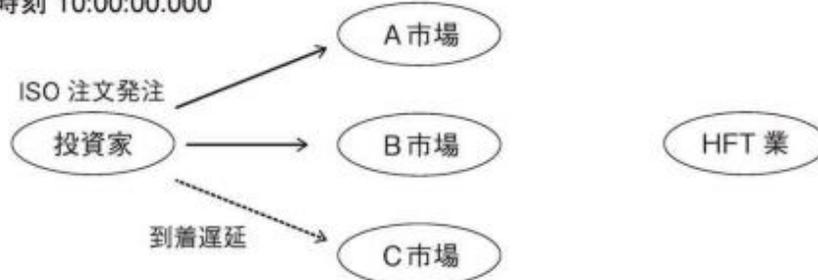
日本銀行 金融研究所「金融政策アナウンスメントとアルゴリズム取引：ウェブページへのアクセス情報を用いた検証」, 2018
<https://www.imes.boj.or.jp/research/abstracts/japanese/18-J-11.html>

(参考) フラッシュボイズで話題となったレイテンシー裁定

図表6-2 レイテンシー裁定の流れ

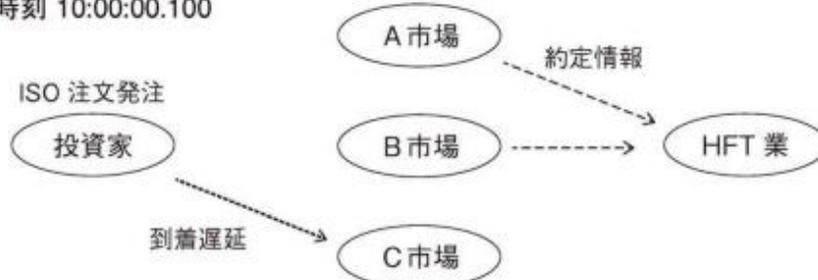
<https://store.kinzai.jp/public/item/book/B/13408/>

① 時刻 10:00:00.000



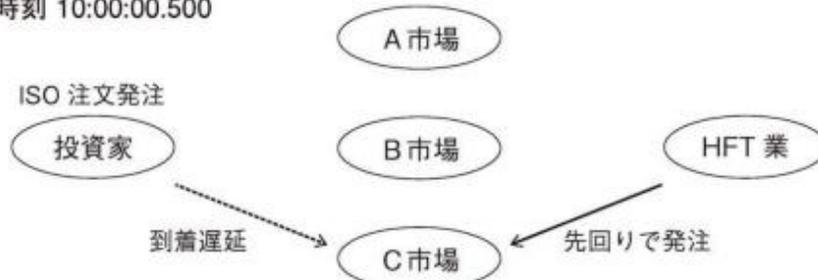
投資家はA市場、B市場、C市場にISO注文で発注をした。
A市場とB市場に注文は届いたが、C市場には注文情報の伝達が遅延している状況である。

② 時刻 10:00:00.100



HFT業者は、A市場とB市場の最良気配の全数量が執行されたことから、ISO注文の存在を予測した。

③ 時刻 10:00:00.500



ISO注文の存在を予測したHFT業者は、C市場の最良気配が消化されていないことから遅延していると予測し、ISO注文がC市場に到着するよりも早く、C市場に先回りで発注した。

複数の取引所の注文を取りに行くために同時に注文を出すことがある

しかし、市場の物理的な場所（データセンター）が違うことなど、さまざまな理由により、厳密には同時注文が到着しない

なので、高速取引業者は、それに先回りして100円を買っておいて、101円で売りつけるなどが可能

これに対応する投資家は、遅延が予想される市場には少し先に注文を出すなどのアルゴリズムを使う

「いちごっこ」

(0) なぜ株式市場は存在するのか？

(1) 高速取引とは

(2) 高速取引の主要戦略

(3) 高速取引業界の状況

(4) 株式取引所同士の高速度競争

日本においては2018年より当局への登録が義務付けられた ← 検査ができるようになった

証券会社の自己売買部門同様に検査できるようになった(これまで住所すら分からなかった)

証券会社の自己売買部門が高速取引を行う場合はここに登録する必要はない(金融商品取引業者などを除く)

https://www.dir.co.jp/report/research/law-research/securities/20170622_012089.pdf

これまで

2018年-

証券会社
高速取引も
やってる

高速取引
専業

証券会社
高速取引も
やってる

高速取引
専業

金融商品取引業者として
検査されてた

金融機関なの？
住所すら分からない

金融商品取引業者として
検査される(変わらず)

高速取引行為者として
住所分かった&検査可能

同じ高速取引をやっていても、ルールを守っているかどうかの検査が入る・入れないと不平等があった。登録義務化でこれが解消された？

高速取引行為者登録一覧

※登録状況の詳細については、管轄財務局へお問い合わせください。

令和4年12月26日現在

【全行為者数：52】

所管	登録番号	登録年月日	高速取引行為者名	法人番号	本店所在地
金融庁	関東財務局長（高速）第22号	平成31年4月9日	Citadel Securities (Hong Kong) Limited	—	16th Floor Two International Finance Centre, 8 Finance Street, Central, Hong Kong
関東財務局	関東財務局長（高速）第1号	平成30年6月6日	Susquehanna Pacific Pty Ltd	—	Level 48, Tower One, International Towers, 100 Barangaroo Avenue, Barangaroo, NSW 2000, AUSTRALIA
関東財務局	関東財務局長（高速）第2号	平成30年6月21日	<u>Virtu Financial Singapore Pte. Ltd.</u>	—	1557 Keppel Road, #03-01, Singapore, 089066
関東財務局	関東財務局長（高速）第5号	平成30年6月22日	Grasshopper Pte.Ltd.	—	18 Cross Street, #07-02/03 Cross Street Exchange, Singapore 048423
関東財務局	関東財務局長（高速）第6号	平成30年6月22日	Optiver Australia Pty Limited	—	33-39 Hunter Street, SYDNEY NSW, Australia 2000
関東財務局	関東財務局長（高速）第7号	平成30年6月22日	Vivienne Court Trading Pty Ltd	—	Level 1, 188 Oxford Street, PADDINGTON NSW 2021, Australia
関東財務局	関東財務局長（高速）第8号	平成30年8月31日	<u>ダルマ・キャピタル株式会社</u>	4011101074671	東京都千代田区神田須田町一丁目3番地9 PMO神田万世橋5F
関東財務局	関東財務局長（高速）第10号	平成30年9月21日	Lane Street Asia Trading Limited	—	15/F Chater House 8 Connaught Road Central, Central, Hong Kong

全52社、日本所在は1社のみ（2022/12/26現在）

<https://www.fsa.go.jp/menkyo/menkyoj/kousoku.pdf>

秘密主義で公には話をしてくれない。しかし、上場企業もあり開示資料ある会社も。
ダルマ・キャピタル(唯一の日本所在)は最近取材に応じている。

(参考) 高速取引を行いたい方はこちらを熟読ください

ホーム

金融庁について

お知らせ・広報

政策・審議会等

法令・指針等

アクセスFSA
(金融庁広報誌)

[ホーム](#) > [申請・届出・照会](#)

[English](#) 

高速取引行為を行うみなさまへ

平成30年4月1日から、株式等の「高速取引行為」に関する新しい制度が開始され、高速取引行為を行うには、登録が必要となりました。

これを受けて、以下のとおり、高速取引行為を行うみなさまへ登録等に関する情報を掲載します。

[高速取引行為に関する制度について](#)

<https://www.fsa.go.jp/common/shinsei/hst/index.html>

米CEOに聞く超高速取引の世界 シングルヒットで収益蓄積

2016/4/5 2:00 | 日本経済新聞 電子版

人間が想像できないほど速い速度で売買する高頻度取引(ハイ・フリークエンシー・トレーディング=HFT)が、日本を含めて世界の市場で存在感を高めている。実際にどんな取引をして、どう収益を得ているのかは見えにくい面も多い。唯一米国で上場しているバーチュ・ファイナンシャルの最高経営責任者(CEO)、ダグラス・シフ氏にHFTを巡る議論を聞いた。

——具体的にどんな取引をしているのですか。

「コンピューターを使い、株式や先物、原油、為替など1万2000もの金融商品のマーケットメイク(値付け)をしている。日本では上場投資信託(ETF)に加えて、数百の個別株の取引を手掛けている。例えば、日経平均株価のETFを売りたい、買いたいという世界中の投資家と売買するのが我々だ。売りたい値段と買いたい値段との価格差が収益の源泉になる。価格が上がる、下がるといった投資の方向感を持っていない」



バーチュ・ファイナンシャルのダグラス・シフCEO

——上場に向けた目論見書の中で、1238日間で損を出したのが1日だけだったというのが話題になりました。

「それ(1237日の勝利)についてはもうコメントしない。その数字がとてもネガティブに語られてし

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO99122930R30C16A3I00000/>

唯一の上場企業で、唯一ある程度の情報開示がされている業者
マーケットメーカー戦略と裁定取引が主要な戦略

1238日のうち負けたのは1日だけについて

https://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq000008q5y-att/JPX_WP_SP.pdf

勝率の確度

- ✓ 過度な市場分裂によってHFTの勝率が底上げされていると考えられるが、他のHFTとの競争等にあり、実際の勝率はそこまで高くないようだ。例えば、Tradeworxでは、1取引当たりの勝率(売り・買いの往復取引で利益を出せる確率)は53%程度となっており、極端に高いという訳ではない。
- ✓ 但し、ここで注目したいのが、HFTが行う取引の数である。少ない取引の結果として出された53%という数値と、多数の取引に基づく53%という数値では、後者の方が、当然にその数値の信頼性は高い。言い換えれば、サンプル(取引)の数が多くなればなるほど、分布のバラツキが小さくなり、53%という数値が実現する確度が高くなるということである(大数の法則)。
- ✓ Tradeworxの試算によれば、1取引当たりの勝率が53%である場合、これを換算すると、実質的な日次勝率は86%、週次勝率は99.9%以上に相当するとされる。さらに、大手のHFT(Tradeworxの4~5倍の取引量)を想定した場合には、実質的な日次勝率だけで99.9%以上にのぼるものとされる。
- ✓ このように、HFTの強みは、1取引当たりの勝率が極端に高いということではなく、1取引当たりの勝率はそこまで高くなくとも、多数の取引を行うことによって、その勝率を実現できる確度が非常に高いということである。もちろん、1取引当たりの勝率は、高ければ高いほど好ましいということも言うまでもない。

※ Tradeworxによれば、競争環境の激化により、数年前と比べて1取引当たりの勝率が54%から52%~53%に減少しているという。また、56%の勝率は「天文学的」であり、57%~58%の勝率は「ピリオオネアへのカタバルト」とも評している。

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

219



勝率が50%ちょっとでも1日のうちにおびただしい回数勝負するので勝ち越す可能性は非常に高い



JPXワーキング・ペーパー 特別レポート

米国市場の複雑性とHFTを巡る議論

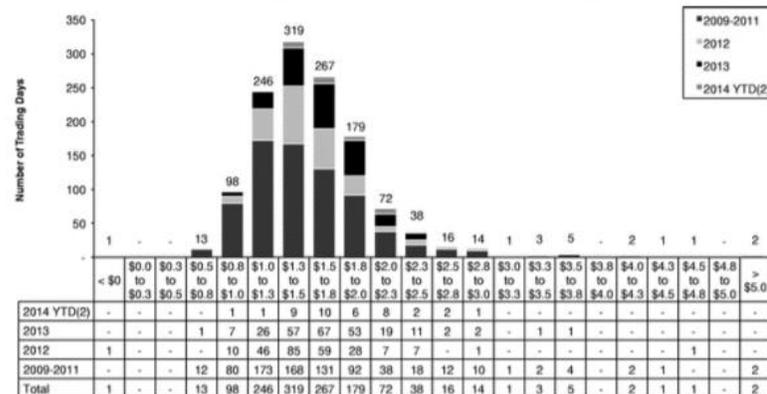
2014年7月10日

大境 剛士(※)

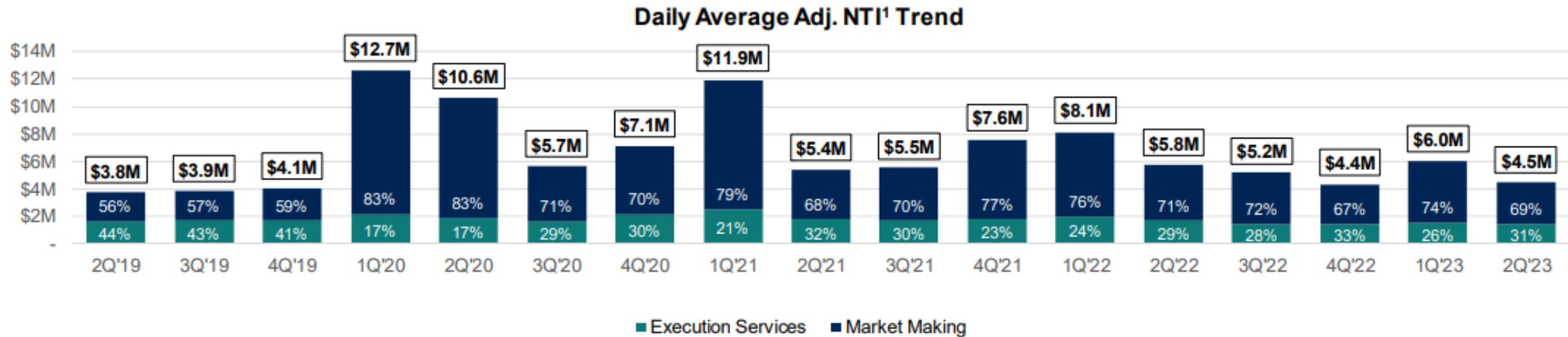
t-otsuka@jpx.co.jp

(参考) Virtu Financialの日次勝率

- ✓ 2014年3月にVirtu FinancialがSECに提出したIPO資料(Form S-1)によれば、2009年1月1日から2014年2月28日までの5年超(1,278日の取引日)において、損失を出した日がたった1日であったという。日次勝率で言えば、実に99.92%(1,277日÷1,278日)という驚異的な数値となり、一部の市場関係者からは、「あり得ない」といった指摘もなされている。
- ✓ しかしながら、前述の通り、たとえ1取引当たりの勝率が50%ちょっとであったとしても、多数の取引によって、それが実現する確度が高くなれば、実質的な日次勝率は99.9%以上となるため、何も不可能な数値という訳ではない。



(出所) Virtu Financial



https://s21.q4cdn.com/422114427/files/doc_financials/2023/q2/Virtu-Financial-2023-Q2-Earnings-Supplement.pdf

当然、利益なども開示されている。高速取引そのもののほかに取引所やブローカー(代理執行)のような商売もしているらしい。主要な戦略はマーケットメイク戦略と恐らく裁定取引。高速取引の利益は減少傾向にあったが新型コロナの混乱時は利益が増加。ブローカー業務の重要度が増している

2019/1/16 NHK
株価の波乱要因？！ 超高速取引の実態は



自社開発のプログラムについて説明する塩谷代表

これら2つの戦略そのものは広く知られていて、ライバル同士ではどうしてもプログラムが似通って来ると言います。このため究極的には、市場の変動に応じていかに速く注文を出せるかがカギになります。

この会社は、取引所のサーバーに近い場所に自社のサーバーを置き、注文を出しています。ケーブルの距離が短ければ短いほど、情報をやり取りするスピードがわずかでも上がるためです。

さらに、東証から送られてくる売買の情報を受けてから、次の注文を出すまでのプログラムの反応速度をなるべく速くするようにシステム開発を重ねています。その速度は1秒の10億分の1、「1ナノ秒」の単位での競争になると言います。

「ぬれ手にあわの商売と思われがちですが、スピードを上げるためのコストが極めて高く、競争はしれつです。開発競争に敗れて廃業する会社も多いのです」
(塩谷代表)

<https://archive.is/L34Ih> (アーカイブ)

やはり、マーケットメーカー戦略と裁定取引が主要な戦略

株取引で「負けなし」?
“謎の集団” 真の狙いは

ガイアの夜明け

何も説明せず 秘密結社のように
取引するのは無責任ではないか

ダルマ・キャピタル×ジャパンネクスト証券
トップ登壇トークライブ

最良執行方針改正による株式市場への影響
～PTSのシェア拡大可能性とHFTの戦略について～

2023年1月26日(木)
13:00～14:00



ダルマ・キャピタル
Founder/CEO
塩谷 明達



ジャパンネクスト証券
代表取締役CEO
山田 正徳



日本金融経済研究所
代表理事
高瀬 磨理子



Japannext JNX

1:05:06

2021/5/14、テレビ東京「ガイアの夜明け」にでてました

<https://www.youtube.com/live/Q5S2U1ghL5M?feature=share>

<https://www.tv-tokyo.co.jp/plus/business/entry/2021/023748.html>

テレ東BIZ https://txbiz.tv-tokyo.co.jp/gaia/vod/post_226800

要約版 https://youtu.be/fM91_V_33U4

進化する超高速取引、光速の領域に踏み込む

2016/8/8 The Wall Street Journal
進化する超高速取引、光速の領域に踏み込む



オーストラリア証券取引所のデータセンター PHOTO: AUSTRALIAN SECURITIES EXCHANGE

By VERA SPROTHEN

2016年8月8日 15:01 JST

金融市場では取引速度を競うレースが依然として活発だが、世界で最も強力な証券会社や取引所に対して光速に匹敵する速度で株式取引を処理できるというスイッチを提供しているのは、フィンテック（IT技術を使った新たな金融サービス事業）を手掛ける一握りの新興企業だ。

豪シドニーに本拠を置くメタマコ（Metamako）とエクサブレイズ（Exablaze.）両社や、シカゴに本拠を置くエクセロア（xCelor）社は、取引所から電子トレーダーに送るデータなど、メッセージを一方から他方に送るのに約4ナノ秒（1ナノ秒=10億分の1秒）しかかからないスイッチを製造している。

注文を集めてそれを取引所に送るプロセスを含めると、新しいスイッチが一つの動作を完了するのに要する時間は、光が野球の本塁から一塁までの距離を進む時間とほぼ同じだ。これは取引所のサーバーームで現在使われている多くのスイッチよりも数倍も速い。超高速取引

（HFT）の世界では、まばたきの間に富を獲得したり失ったりする行為が何度も繰り返されているのだ。

シカゴ-東京の高速トレーディング網構築で高頻度会社が協議-関係者

Brian Louis, Annie Massa

2016年8月30日 10:02 JST



- ▶ 「ゴー・ウェスト」はマイクロ波通信塔と海底ケーブルを活用する
- ▶ シタデルやバーチュ、ジャンプが協議に関わっている-関係者

f

ライバル同士の複数の高頻度取引会社が、環太平洋地域の超高速トレーディングを可能にするシカゴと東京間の通信網の共同構築で協議中だ。事情に詳しい関係者が明らかにした。

t

数カ月前に始まったこの協議は非公開だとして匿名で語った同関係者によると、このプロジェクト名は「ゴー・ウェスト」。シカゴ地域から米西海岸のシアトル近郊まで一連のマイクロ波通信塔を建て、そこからアジアまでは海底ケーブルでつなぐという。協議に関わっているのはシタデルとバーチュ・ファイナンシャル、ジャンプ・トレーディングだが、最終的な参加者は決まっておらず協議も最終段階ではないと、関係者は説明した。3社はコメントを控えた。



このようなネットワーク構築での協力は、トレーディング時間の短縮をミリ秒単位で長年競い合ってきた大手取引会社の休戦を示唆しているかもしれない。この話題に詳しいエール大学のグレッグ・ローリン教授（天文学）の試算によ

高速取引業者も厳しい時代に、

北陸先端大学の修士論文

JAIST Repository

<https://dspace.jaist.ac.jp/>

Title	金融商品取引アルゴリズムのハードウェアアクセラレーションに関する研究 [課題研究報告書]
Author(s)	小林, 弘幸
Citation	
Issue Date	2018-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/15214
Rights	
Description	Supervisor: 田中 清史, 情報科学研究科, 修士

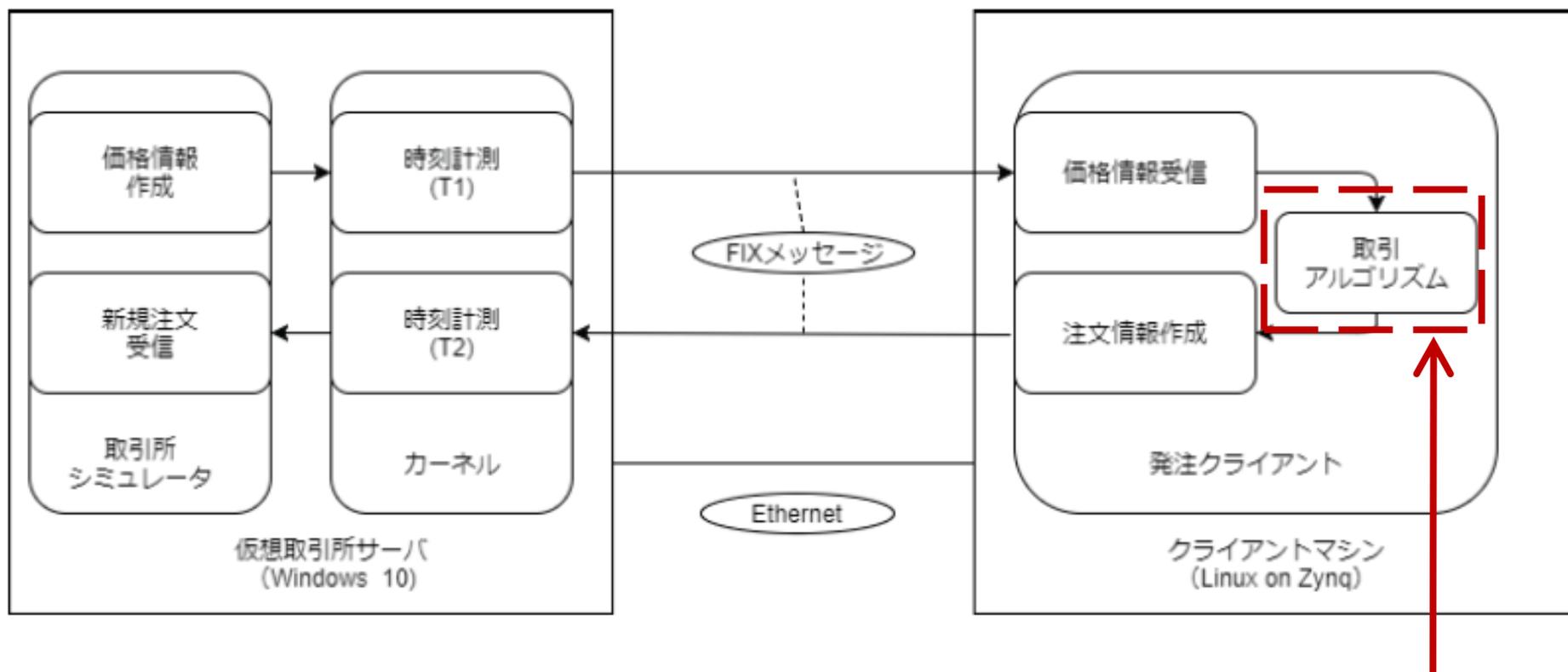


図 3.5: システム全体像

この高速化の研究

CPUではなくFPGA(Field Programmable Gate Array)を用いて演算、高速化をはかる

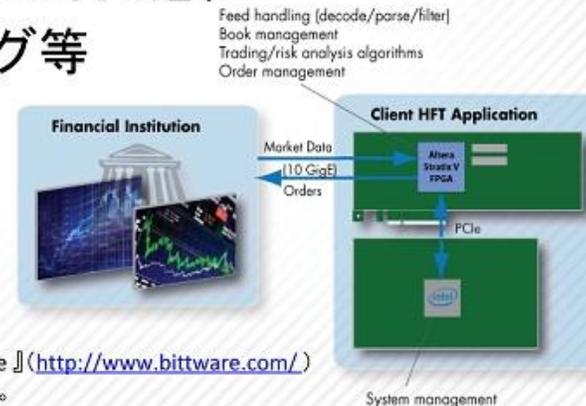
高速・高頻度取引で活用される技術の例



- In-Memory Database
 - 最近では、永続化の観点からあえてSSD (Fusion-IO)を使う例も
- LDMA/RDMA
 - とにかく無駄なコピー回数を減らす(ホップ数の削減)
- Many Core CPU
 - 複数のサーバーに機能分散させるのではなく、同一ノード内に入れる
- FPGAなどを利用したOffload Engine
 - CPU負荷を下げて、返せるものは特殊なNIC内で返す
- GPGPUの利用による高速プライシング等



出典:『Fusion-io』(<http://www.fusionio.jp/>), 『BittWare』(<http://www.bittware.com/>)
2013年4月4日16時(日本時間)現在での最新版を取得。



© 2013 Japan Exchange Group Inc. and/or its affiliates. All rights reserved.

Page 31



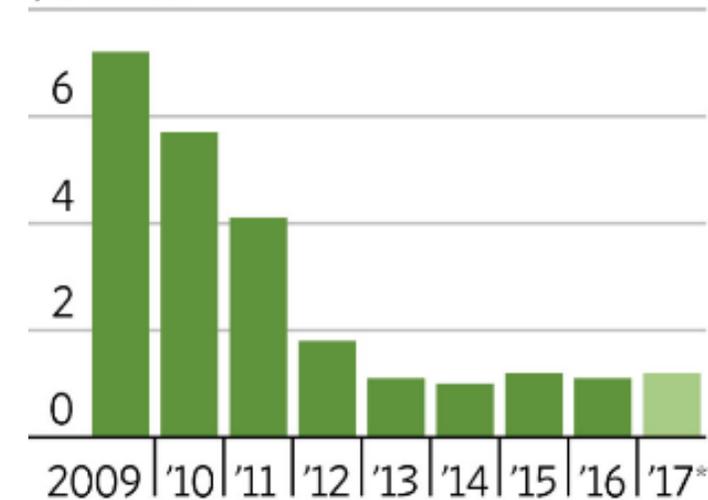
2017/3/22 The Wall Street Journal
高速取引に陰り
フラッシュ・ボーイズに苦難の時代

先週米HFT大手バーチュ・ファイナシャルが同業のKCGホールディングスに買収を提案したとのニュースが流れたが、その背後にはこうした状況があったのだ。この買収が実現すれば、電子取引で米最大手2社が統合することになる。バーチュの株価は15年の上場時から約4分の1に下落し、KCGは過去2四半期にわたり主力のマーケットメイキング事業が赤字だった。多くの業界大手が撤退した。インタラクティブ・ブローカーズ・グループのトーマス・ピタフィ会長兼最高経営責任者（CEO）は、今月、オプション市場のマーケットメイキング業務から撤退する方針を明らかにした。これはピタフィ氏が1980年代に創設に参画した事業だ。かつてヘッジファンド大手シタデルでグローバルなHFT業務を率い、その後はHFT会社テザ・テクノロジーズを立ち上げたミーシャ・マリシェフ氏は昨年11月、テザが自己勘定取引から手を引くと述べた。

High-frequency trading firms' revenue from U.S. equities trading has sunk as volatility dropped.

Industry Revenues

\$8 billion



<https://jp.wsj.com/articles/SB11171128282105153616004583037991111080344>

現在の航空業界のような状況になるだろう

これ以上の高速化技術がさらなる流動性向上につながるかは疑問

日本経済新聞

高速取引は「生かさず殺さず」 市場の設計、道半ば

編集委員 松崎雄典

2019/2/4 5:30

金融庁は60社程度のHFTの登録を見込む。世界大手はほぼ日本市場でも取引している。競争は激しく、収益力は低下している。スパークス・アセット・マネジメントの**水田孝信**ファンドマネージャー兼上席研究員は「彼らがもうけすぎていると、他の投資家が高く買わされていることになるから、今ぐらいがちょうどいいのでは」と指摘する。

かつて、証券会社の自己売買部門が提供していた流動性をHFTが代わって担うようになったいきさつもあり、HFTなくしては厚みのある市場は成り立たなくなった。

不公正な取引は他の投資家と同じように摘発しなければならない。株式の値幅制限のようなルールを入れにくい為替市場も急変動を抑制する仕組みが必要だ。だが、ルールを守っている以上はHFTは市場のインフラにもなり、「生かさず殺さず」ということだろう。

2019/2/4松崎雄典「高速取引は「生かさず殺さず」 市場の設計、道半ば」,日本経済新聞

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO40796210R00C19A2000000/>

(0) なぜ株式市場は存在するのか？

(1) 高速取引とは

(2) 高速取引の主要戦略

(3) 高速取引業界の状況

(4) 株式取引所同士の高速度競争

== 過去 ==

人が集まる「市場」



<https://www.jpx.co.jp/corporate/events-pr/140years/index.html>

== 現在 ==

データセンターにある「サーバー」



<https://www.jpx.co.jp/systems/connectivity/>

(参考) テレビでよくみるあれは？ 1/2

東京証券取引所

★★★★☆ 3.9 (口コミ62件)



PRODUCED BY FIREKUTU

王道

エリア 東京 ▾ 銀座・日本橋・東京駅周辺 ▾ 中央区 ▾ 日本橋兜町 ▾

ジャンル ミュージアム・ギャラリー ▾ 社会見学・社会科見学 ▾

ここに行く計画を立てよう

口コミ投稿 写真投稿

行った 行きたい クリップ

シェアする メールする

概要

口コミ
(62件)

写真
(35枚)

周辺の観光
グルメ

周辺の宿・
ホテル

旅行記

東京証券取引所

所在地を確認する



証券取引所の中心部。人はほとんどいない。

評価分布



旅行タイプ別評価



おなじみのラッピング



たまたま上場の現場を見ました



館内雰囲気

どちらかと言えば飾りです
中の人もトレーダーでは
ありません
東証職員のうち一部の部
署の人が中で働いている

(参考) テレビでよくみるあれは？ 2/2

ニューヨーク証券取引所には現在でも人手のブローカーやマーケットメイクするトレーダー（スペシャリスト）が存在（もちろん、電子取引が主です）



(写真) <https://toyokeizai.net/articles/-/145694> (2016/11/9: トランプ当確時)

(詳細) <http://www.nicmr.com/nicmr/report/repo/2004/2004aut02.pdf>

感染者が出たあと、2020/3/23より入場停止になっていた（左）

(写真) <https://jp.reuters.com/article/ny-stx-us-idJPKCN21R3IU?feedType=RSS&feedName=special20>

(詳細) <https://www.newsweekjapan.jp/stories/business/2020/03/ny142.php>



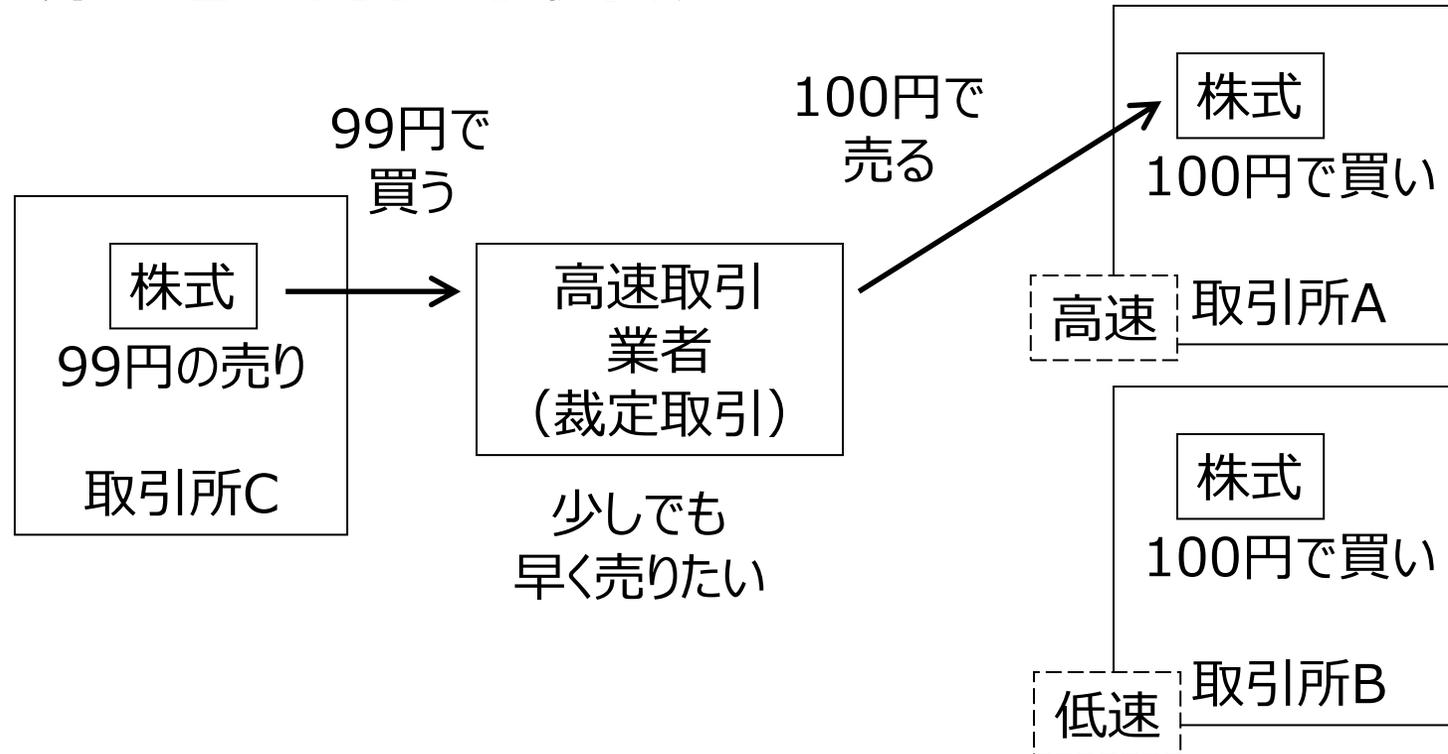
5/26から徐々に再開（右）

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO59611040W0A520C2000000/>

諸説あるが、いなくても大きな影響はなかったといわれている

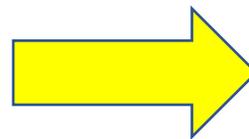
取引所同士の高速化競争

取引所が多数存在 ⇒
投資家に選んでもらえる取引所



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

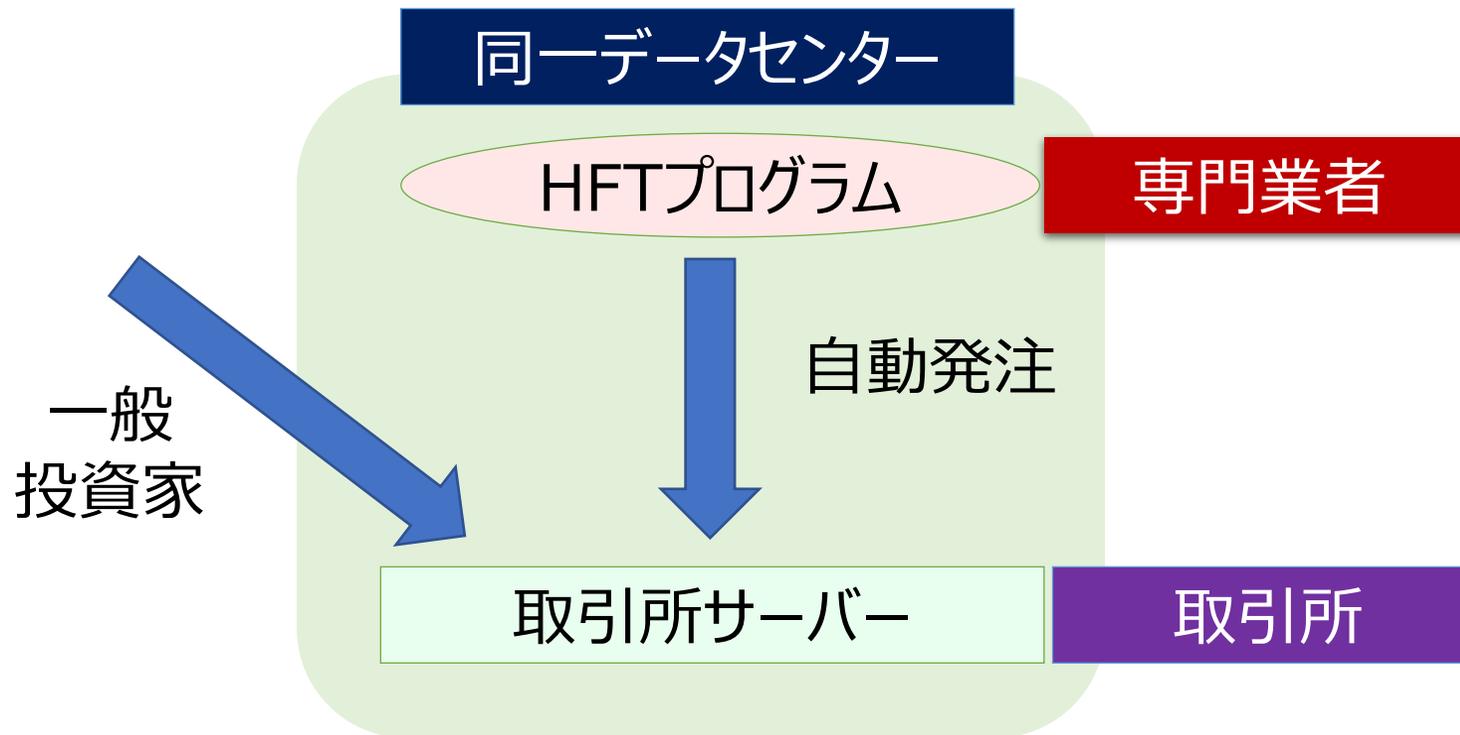
他の取引所より注文処理が
少しでも速いことが重要

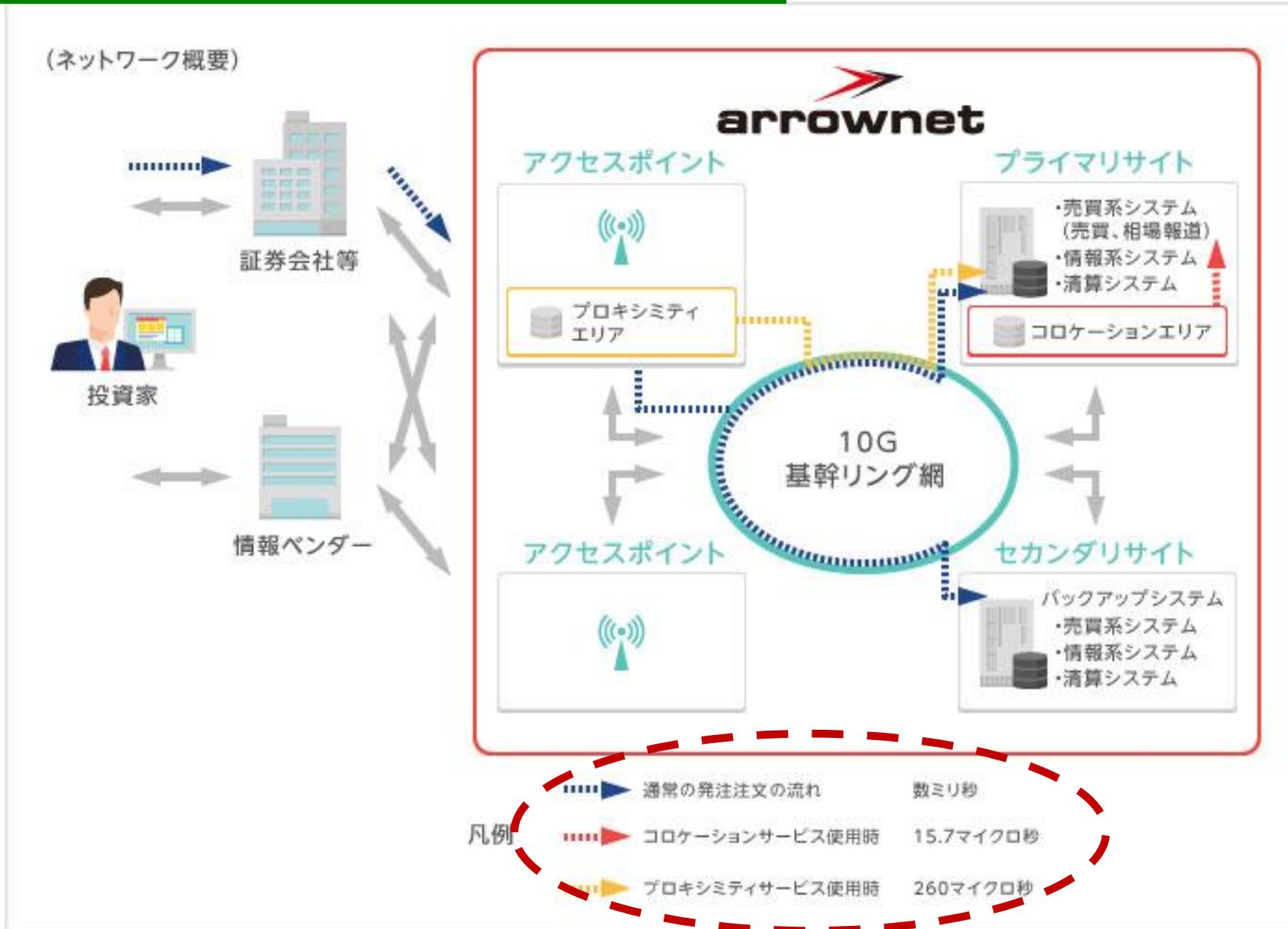


高速化競争

マーケットメイク戦略においても
高速な取引所の方がチャンスが多い
ということもある

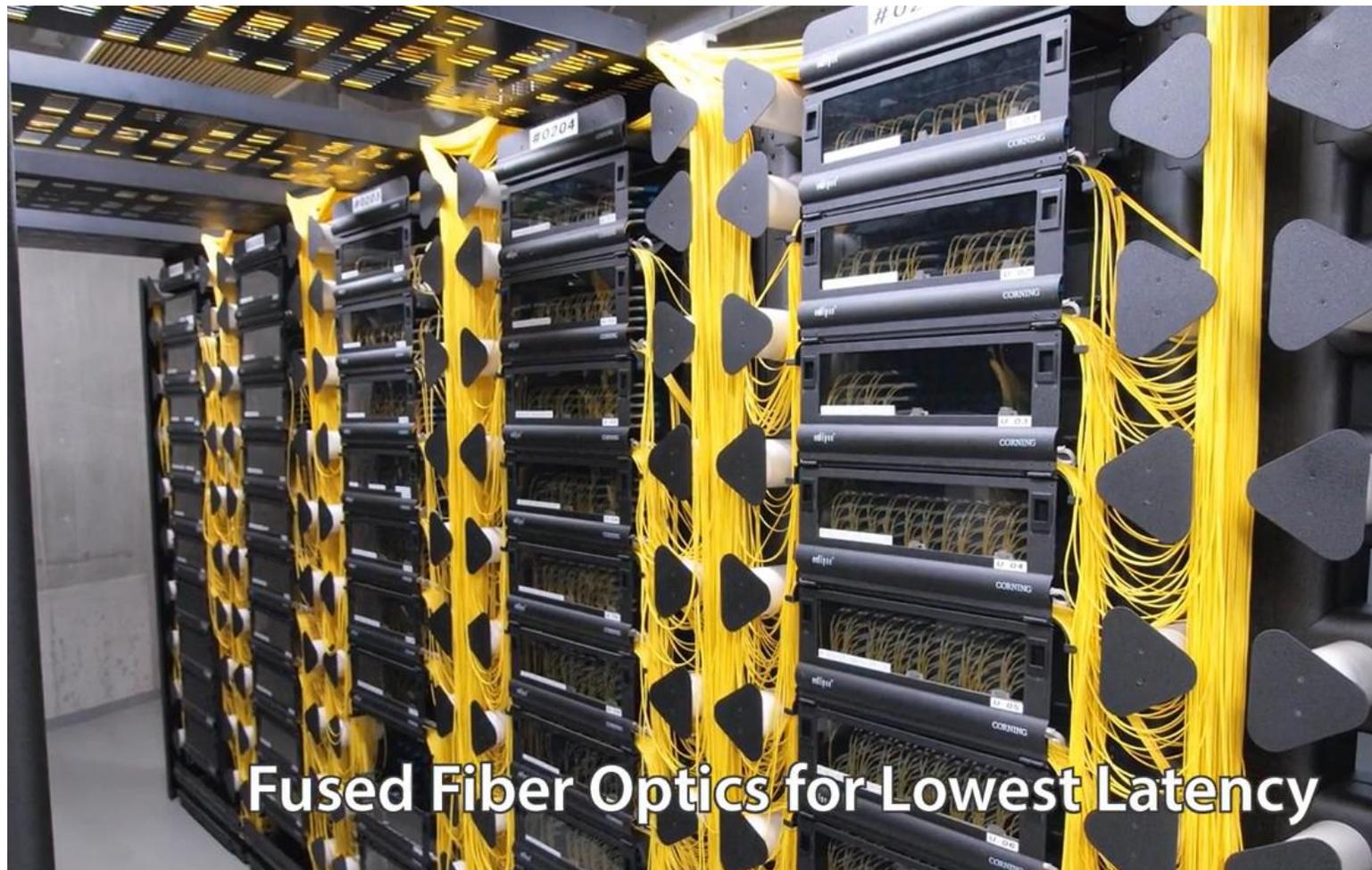
いち早く注文が取引所に届くように隣のサーバーラックに
⇒ コロケーションサービス（取引所提供）





(参考動画)

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



<https://www.jpx.co.jp/systems/connectivity/>

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

- ・株式の高速取引と取引所の高速化について現状を説明した
- ・高速取引は古本屋と同じように社会の役にたっている
- ・高速取引で必要な「高速」とは低レイテンシー(低遅延)のこと
- ・高速取引の主要な2戦略はマーケットメーカー戦略と裁定取引
いずれも古くからある手法で、その手作業が機械化されたもの
- ・高速取引は各種ハードウェアへの投資が巨額のため
以前ほどは儲かっておらず装置産業化・寡占化している
- ・これ以上の高速化がさらなる流動性向上につながるかは疑問
- ・取引所も高速取引に使ってもらえるようにするために、
高速化を進めており、取引所同士の競争もある
- ・書籍“フラッシュ・ボーイズ”、映画“ハミングバード・プロジェクト”は
大げさで不正確だが、雰囲気は分かる
- ・書籍“アルゴリズム取引の正体”、“フラッシュ・クラッシュ”はとても客観的でおすすめ

重要なポイント

- 金融市場には、正義も悪もない
いるのはルールを守っているものと、そうではないものだけ
→ 他の投資家同様に検査されれば良い
- 一般投資家の本音は、高速取引業者は生きててほしいが
ボロ儲けして欲しくない
→ 本を入手するのに古本屋は必要だが、ぼったくられたくない
- 高速取引の主要な戦略は昔からあるものを機械化したもの

A: 金融業界におけるAI

B: 高速取引

C: 人工市場による市場制度の設計

(参考レポート)

「金融市場の制度設計に使われ始めた人工市場」, 2021 <https://www.sparx.co.jp/report/detail/305.html>

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、啓蒙活動を続けていきたい。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。

(1) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 **本題**

(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

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

(1) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 本題

(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

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(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

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

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

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

ECB総裁講演でも取り上げられる

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

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

リチャード・ブックステーバー
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。

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

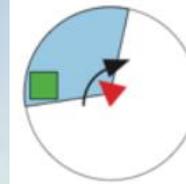


経済理論の終焉 金融危機はこうして起こる, 2019/1
<https://www.panrolling.com/books/wb/wb273.html>

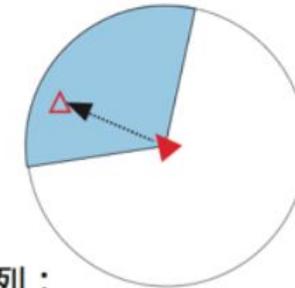
鳥の集団行動を解き明かしたエージェント・ベースド・モデル



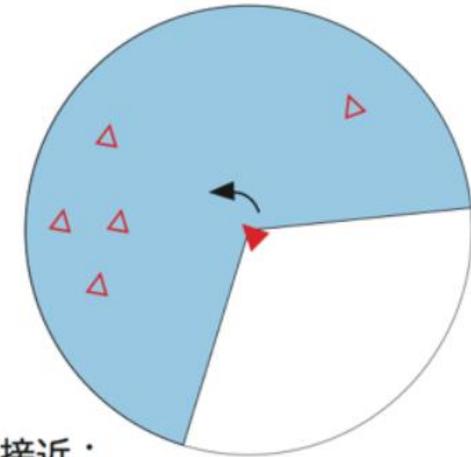
1匹 1匹は単純な行動ルール



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/>

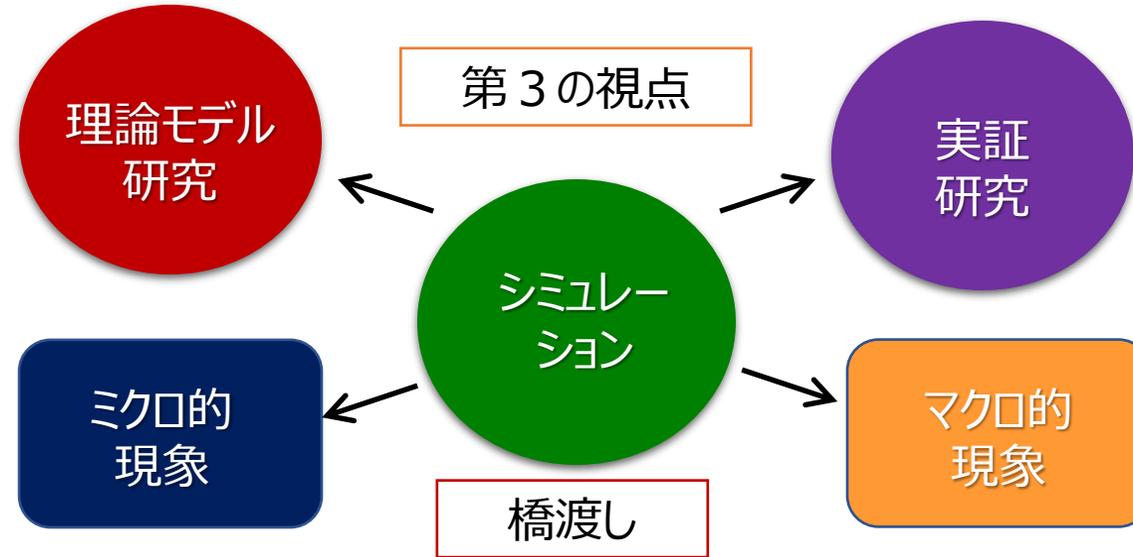
1匹 1匹は単純な行動ルールだが、全体としては複雑できれいな模様

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であり
きれいな数式だけでは決して説明できない

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

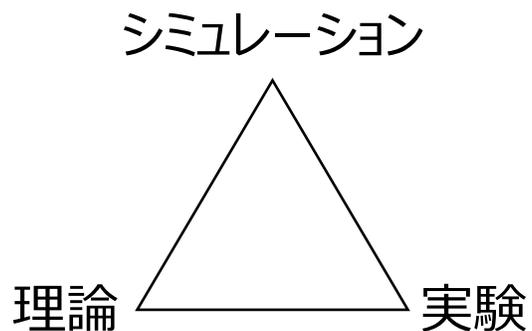
コンピュータの中に仮想の社会を構築。マイクロなエージェント（人間）を多数投入。
エージェントは比較的シンプルなモデルでお互いに相互作用する。それらが集積して複雑なマクロの挙動がみれる。



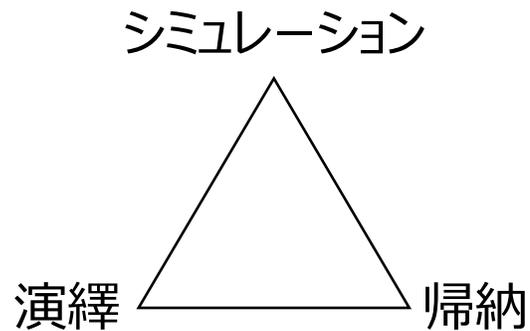
- 複雑系である社会において、制度・規制の変更が与える副作用や想定外の効果を
コロンブスのたまご的に発見
- 理論や実証で調べるべきテーマの発見、メカニズムの知識発見
- 既存の手法を補完する手法として他分野では定着

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

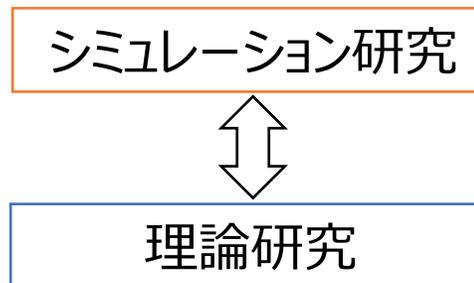
エージェント・シミュレーション(社会シミュレーション)の種類



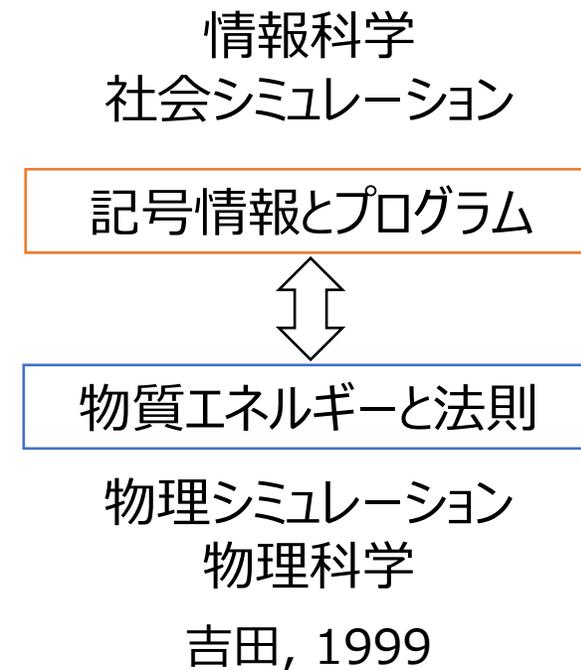
塩沢, 2006



Axelrod, 1997



Axtell, 2000



寺野隆雄, 「社会シミュレーションの種類」, 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種類、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

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>

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

国土交通省

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



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(米国)が自ら核戦争等に仕掛けたテロ分析を継承し、
実際に起こった現実だけでなく、起こらなかった(仮)の現実を
も説明できる新モデルを開発。
歴史の「if」に教えてくれる。

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.covid19-ai.jp/ja-jp/presentation/advisory-board/covid-19-ai/> 151

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
くの人があきらめ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あきらめるこ
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) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 本題

(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

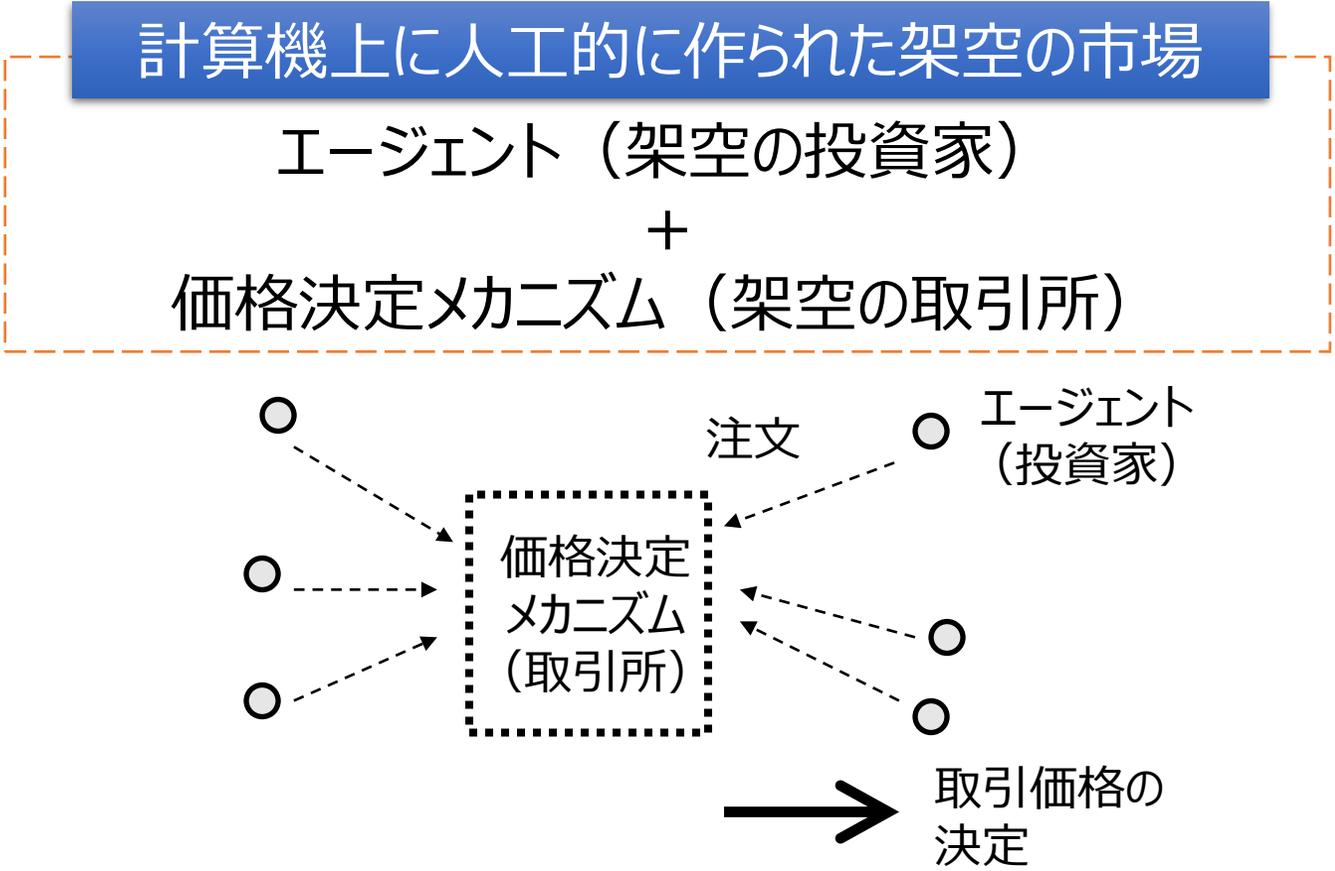
(3) 人工市場による市場制度の設計事例：呼値の縮小

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

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

→ 英語論文を探する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がとても多く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

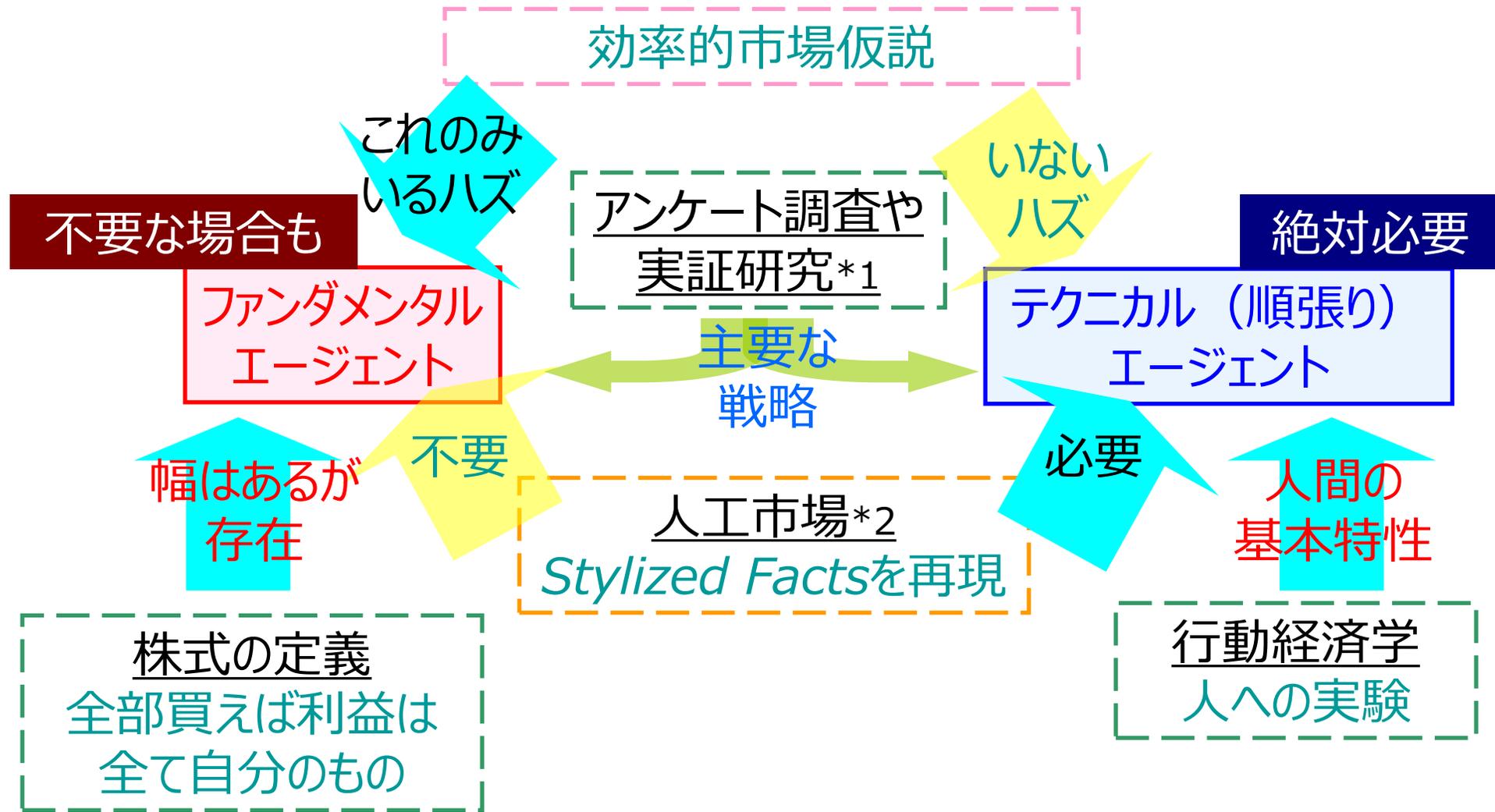
PlhamJ: 和泉研作成 : <https://github.com/plham/plhamJ>

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

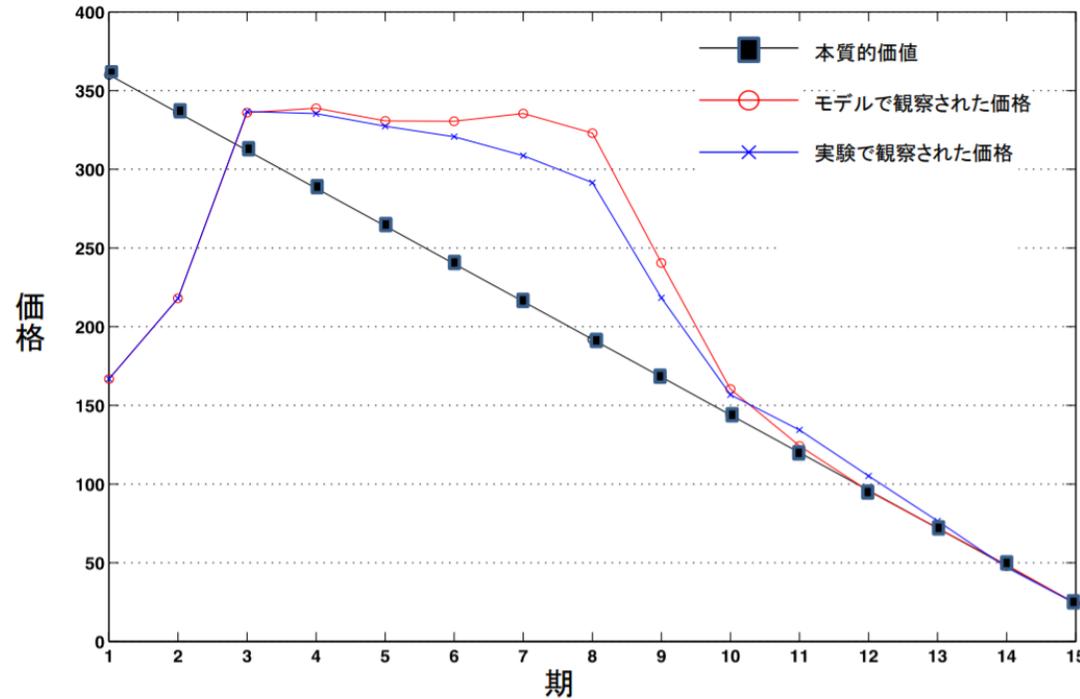


*1 Menkhoff, L. and Taylor, M. P. (2007): The Obstinate Passion of Foreign Exchange Professionals: Technical Analysis, Journal of Economic Literature
Yamamoto, R. (2021): Predictor Choice, Investor Types, and the Price Impact of Trades on the Tokyo Stock Exchange, Computational Economics
<https://arxiv.org/abs/1906.06000>

*2 Lux, T. and Marchesi, M.(1999) Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market, Nature

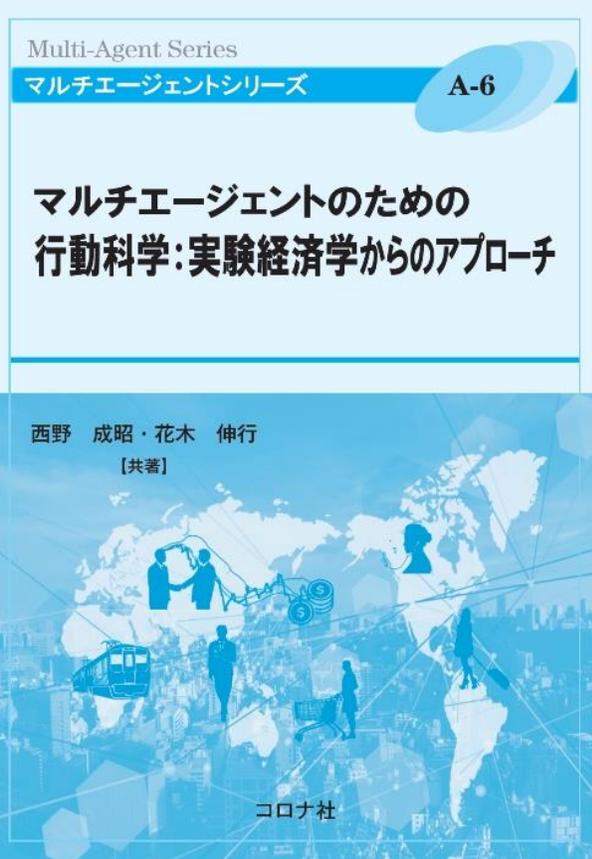
被験者を使った実験市場でもエージェントモデルの妥当性が確認されている

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



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
→ 市場が荒れだすと持続する

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

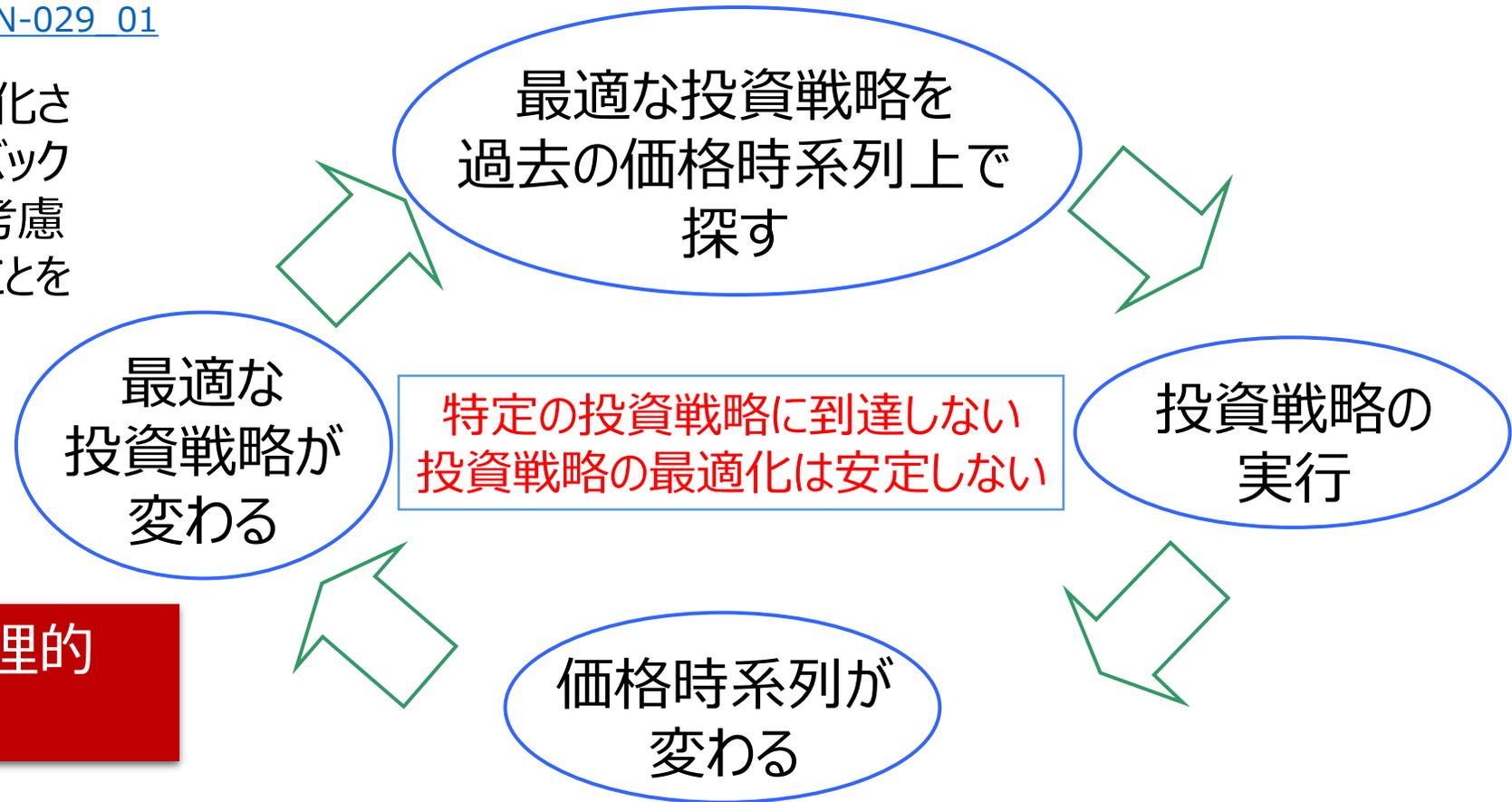
これ以上あわせに行っても意味がない

<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。 **160**

(1) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 本題

(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

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(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)



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

41本中、実に12本が人工市場を用いた研究(2023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。

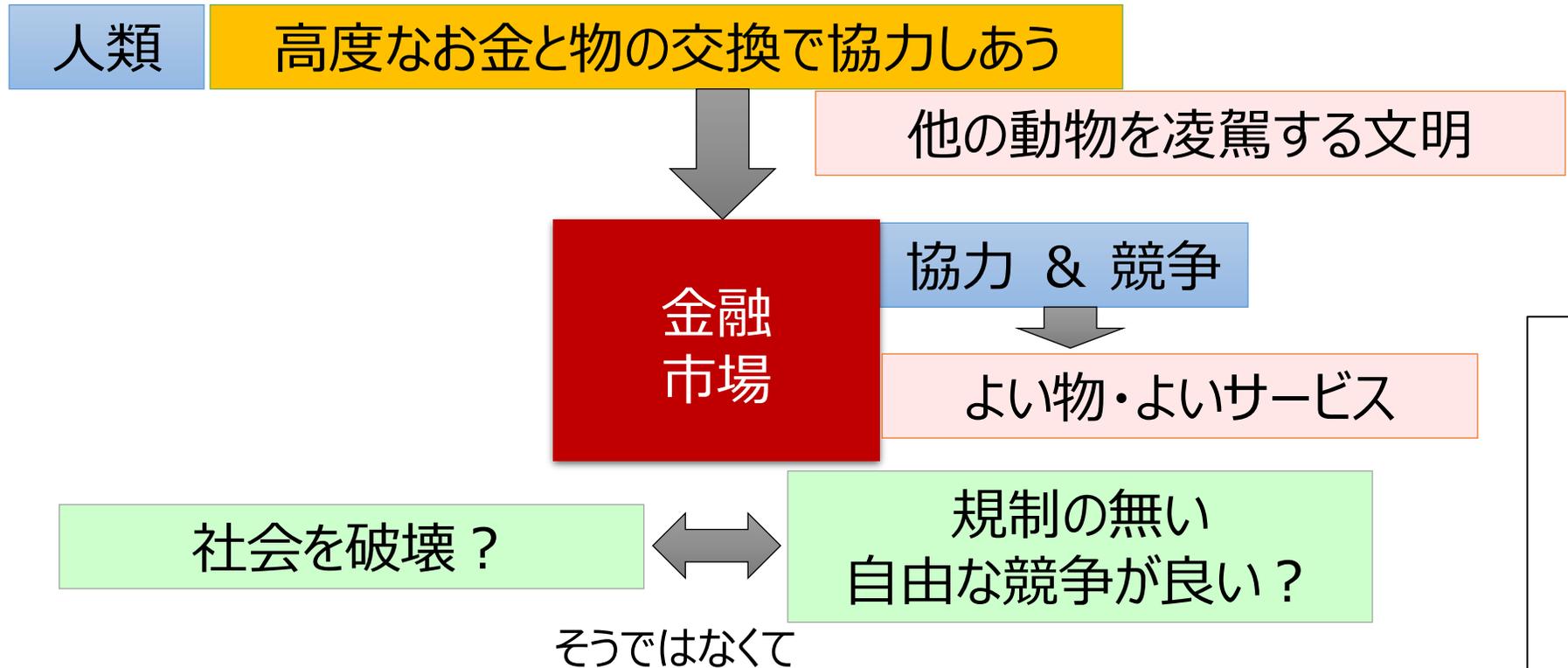
流動性への影響

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)

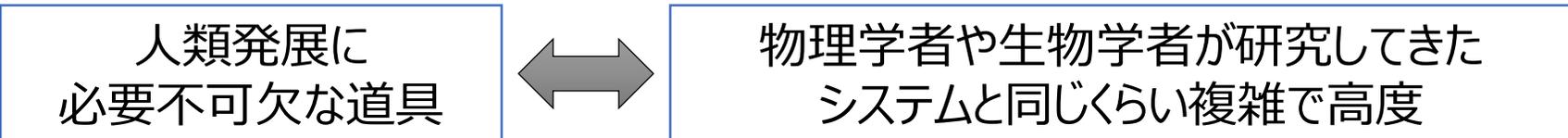
メイカーとなるマーケットメイク戦略が注文する指値の売り買い価格差が、平均的な最良売り・買い気配の差より小さくできるくらいリベートを提供すれば、テイカーの執行コストは低下する一方、それ以下のリベートの場合はかえって執行コストは上昇してしまうことが分かりました。

金融市場の制度設計の重要性



うまく設計されたときのみ、うまく機能する

ジョン・マクミラン「市場を創る」, 2002年(原著) <https://www.keio-up.co.jp/np/isbn/9784766427837/>



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

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喩

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



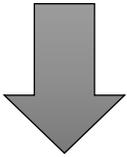
(当会の他の方の講演の様様)



https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eastland_disaster_port_side.jpg#/media/File:Eastland_disaster_port_side.jpg

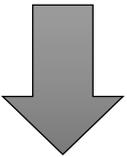
うまくない設計

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



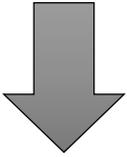
遠因・根本原因

1929年 世界大恐慌



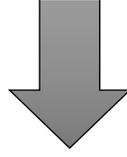
遠因・根本原因

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

もし値幅制限(ストップ安)があれば

よく分からないので
とりあえず売却
30%超の下落

売りたくても売れない
10%程度で済む

政府より救済の用意があるとアナウンス

もう売っちゃったし
買い戻すほどでもない

ならば売らないという判断
何事もなく信用不安が回復

株価下落による信用不安の拡散

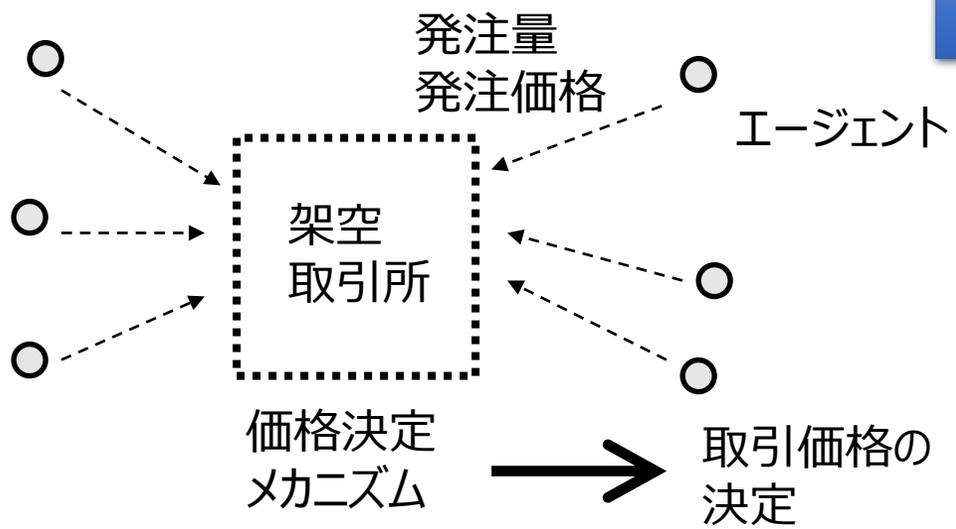
神は細部に宿る

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) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 本題

(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

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

自動取引の実験場：AIが注文データを生成(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://ai-finance.org/>
ACM International Conference on AI in Finance(ICAIF) で多く発表されている

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早い

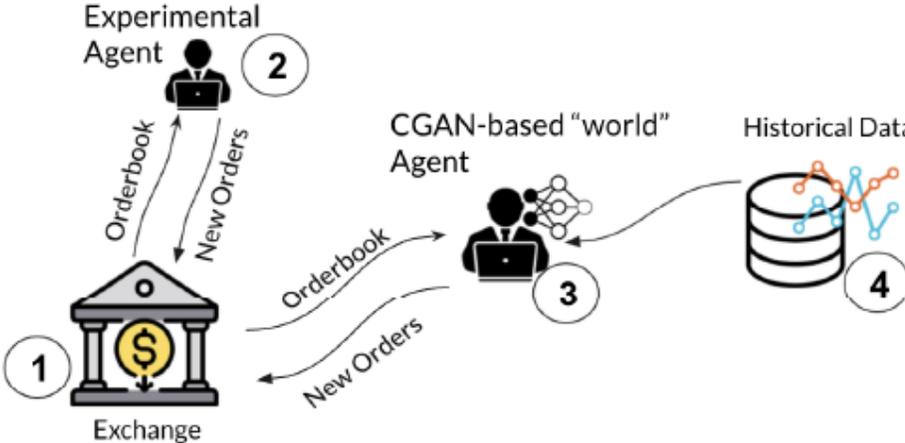


Figure 2: CGAN-Based Simulation Framework. Coletta 2021 <https://doi.org/10.1145/3490354.3494411>

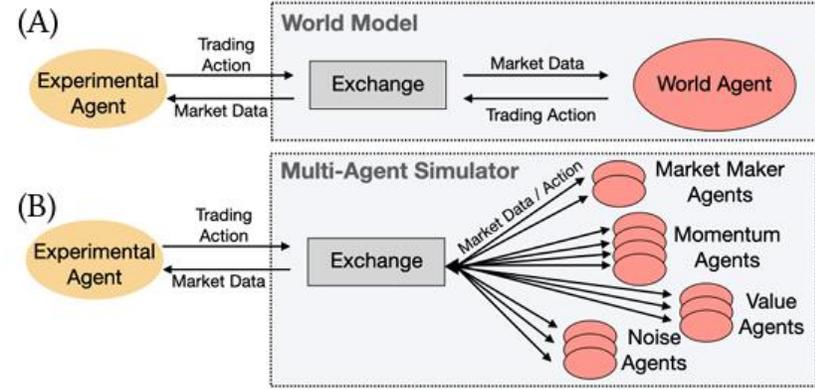


Figure 1: World Model (A) vs Multi-Agent (B) Simulator. Coletta 2022 <https://doi.org/10.1145/3533271.3561753>

執行アルゴリズム取引を実験する

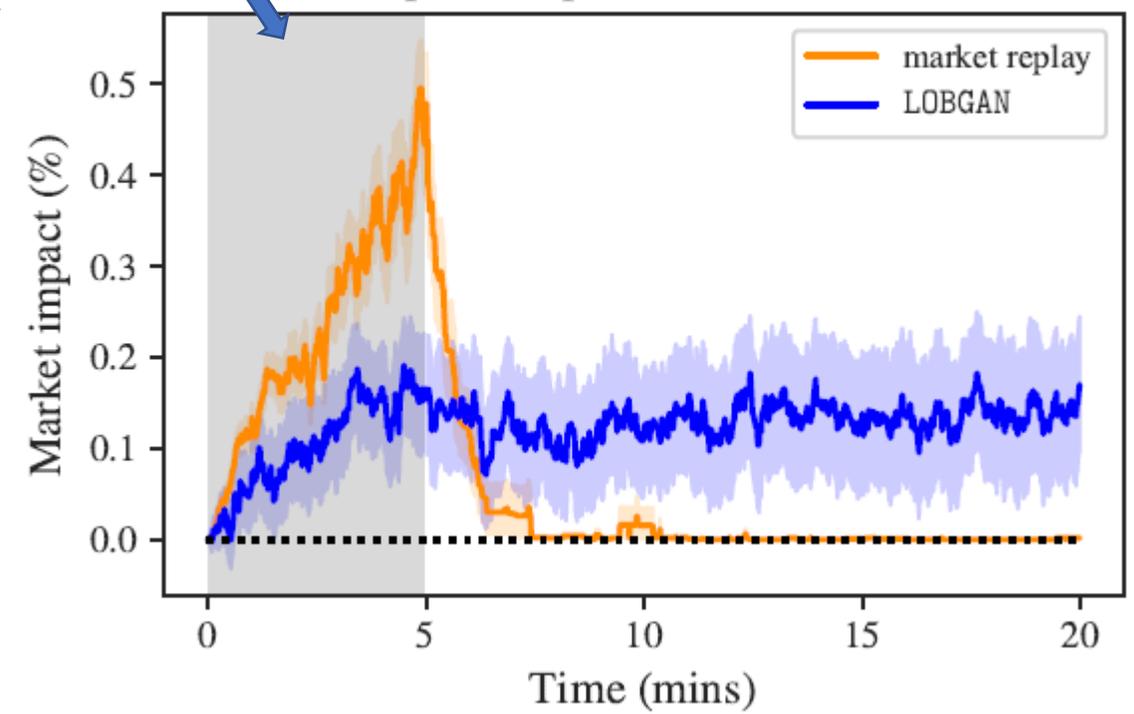
ICAIF 2023(2023年11月にニューヨークとオンラインで開催)で発表された最新の研究

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

2022よりも格段に慎重で精密な検証をしている
恒久的に残るインパクトを再現
指値注文もインパクトがあることを示唆

とはいえ何が正解かわからない問題のため
モデルの精度評価は簡単ではない

執行アルゴ(買い) 発動期間 成行注文の場合 青(LOBGAN)が提案手法
The price impact of market orders



その他にも、

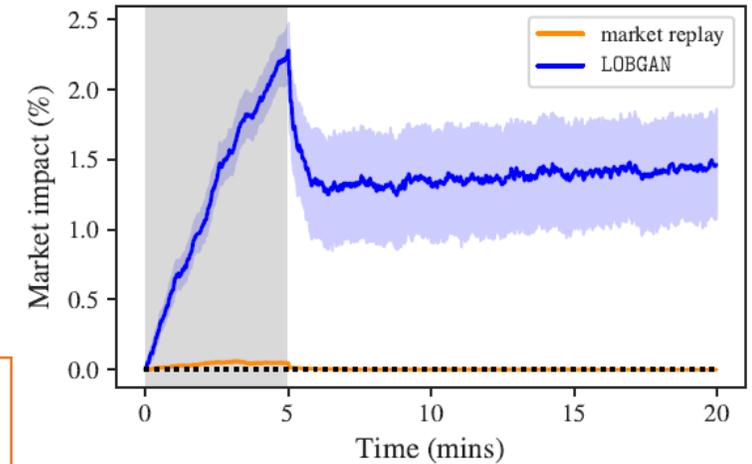
同様な生成器
Li 2020, AAAI <https://doi.org/10.1609/aaai.v34i01.5415>

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

リターンを狙うアルゴを人工市場で実験
Nagy 2023, <https://arxiv.org/abs/2301.08688>

Micro, Macroの両方で学習
成富 2023, https://doi.org/10.11517/pjsai.JSAI2023.0_2P5GS1103

The price impact of limit orders



指値注文の場合

人工知能が勝手に不正取引をしたら法的責任は？

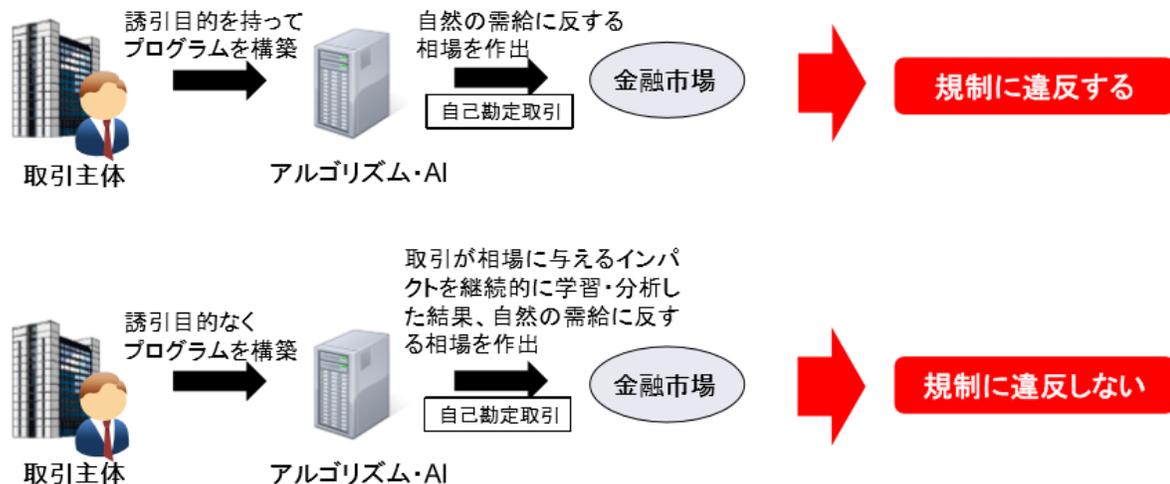
(参考文献)

水田孝信 「人工知能が不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>

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/

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 —

- AI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 → する場面があることが分かった
- ここでいう“勝手に”とは、AI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、AI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）、AI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、「AI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://mizutakanobu.com/202006.pdf](https://mizutatakanobu.com/202006.pdf)

プレゼン動画 <https://youtu.be/tgaeTA2MfDg>

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るのか、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>

(1) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 本題

(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

具体例：実際に制度・規制変更

実務・社会の動きも交えて

(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・ブックステーバー
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。

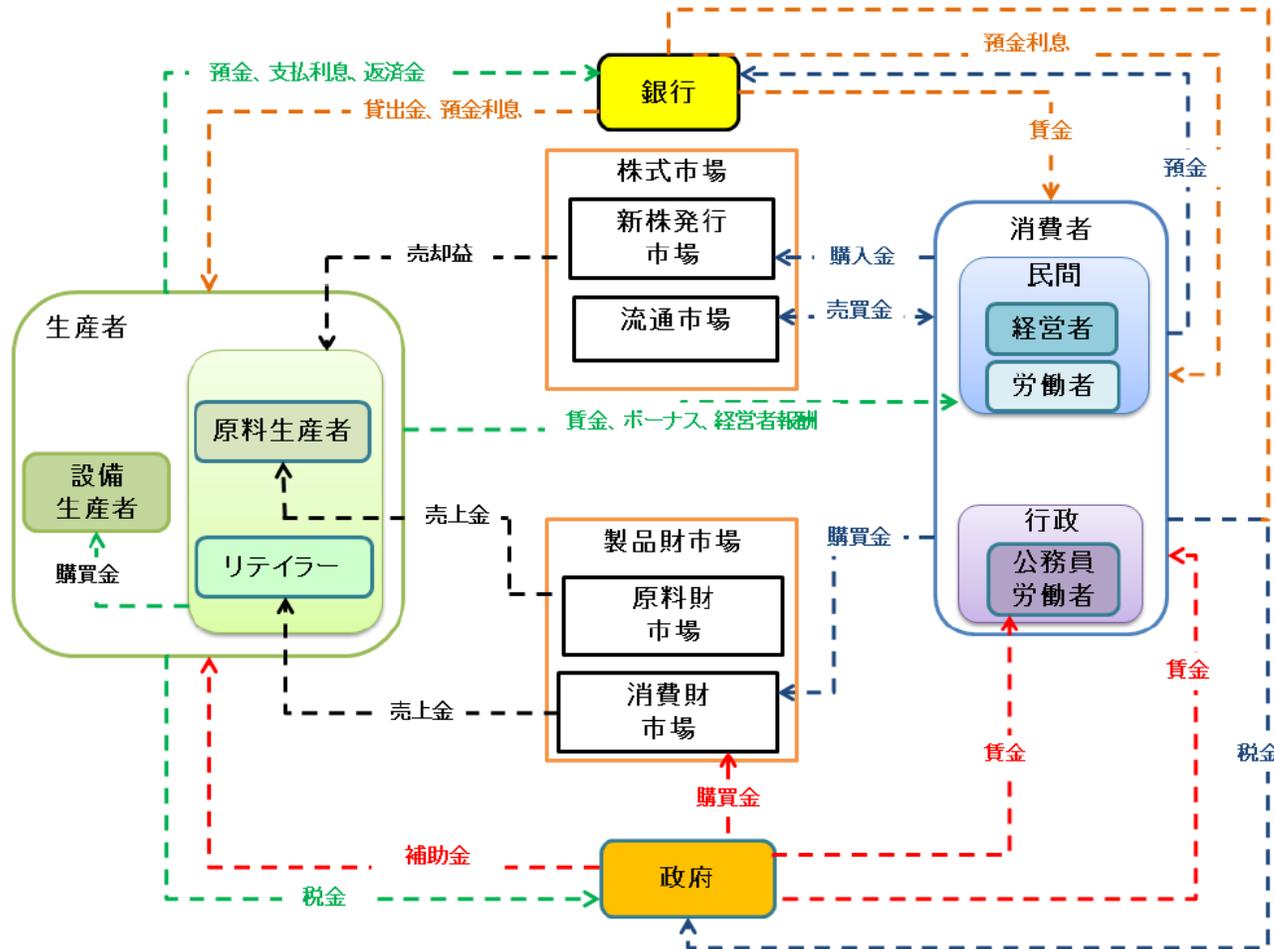


まだまだ研究者が少ない

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



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/>

最近の研究として、
 Guerini et. al., “Unconventional monetary policies in an agent-based model
 with mark-to-market standards”, Review of Evolutionary Political Economy, 2022,
<https://doi.org/10.1007/s43253-022-00065-8>

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

レビューとして、
 Gallegati et. al., “Introduction to Agent-Based Economics”, Elsevier, 2017,
<https://doi.org/10.1016/C2015-0-00736-5>

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

(1) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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 本題

(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

具体例：実際に制度・規制変更

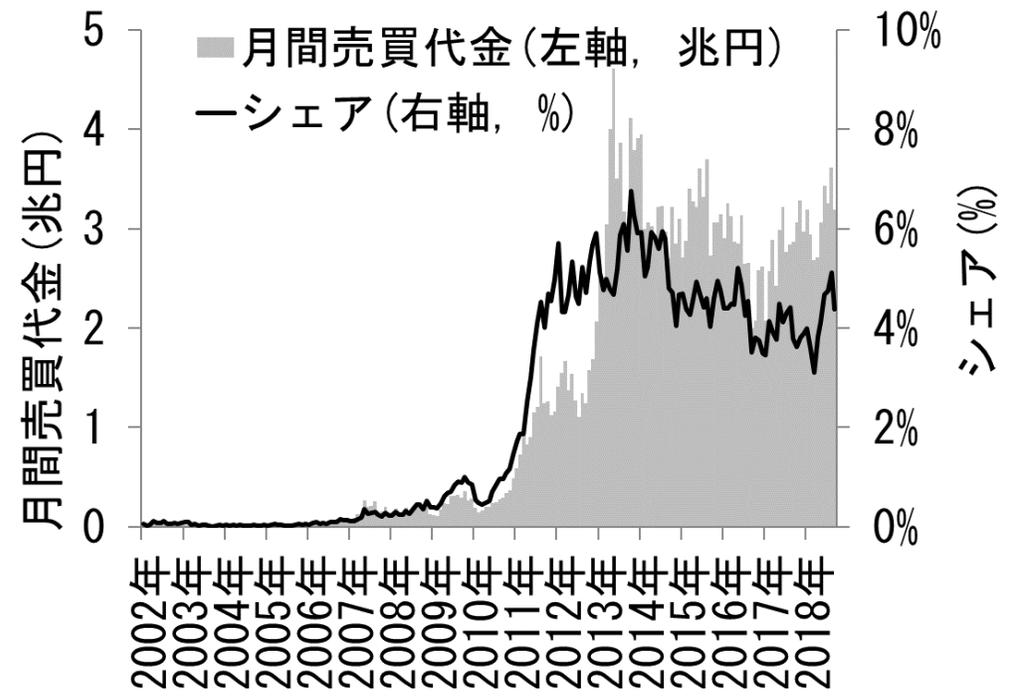
実務・社会の動きも交えて

(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

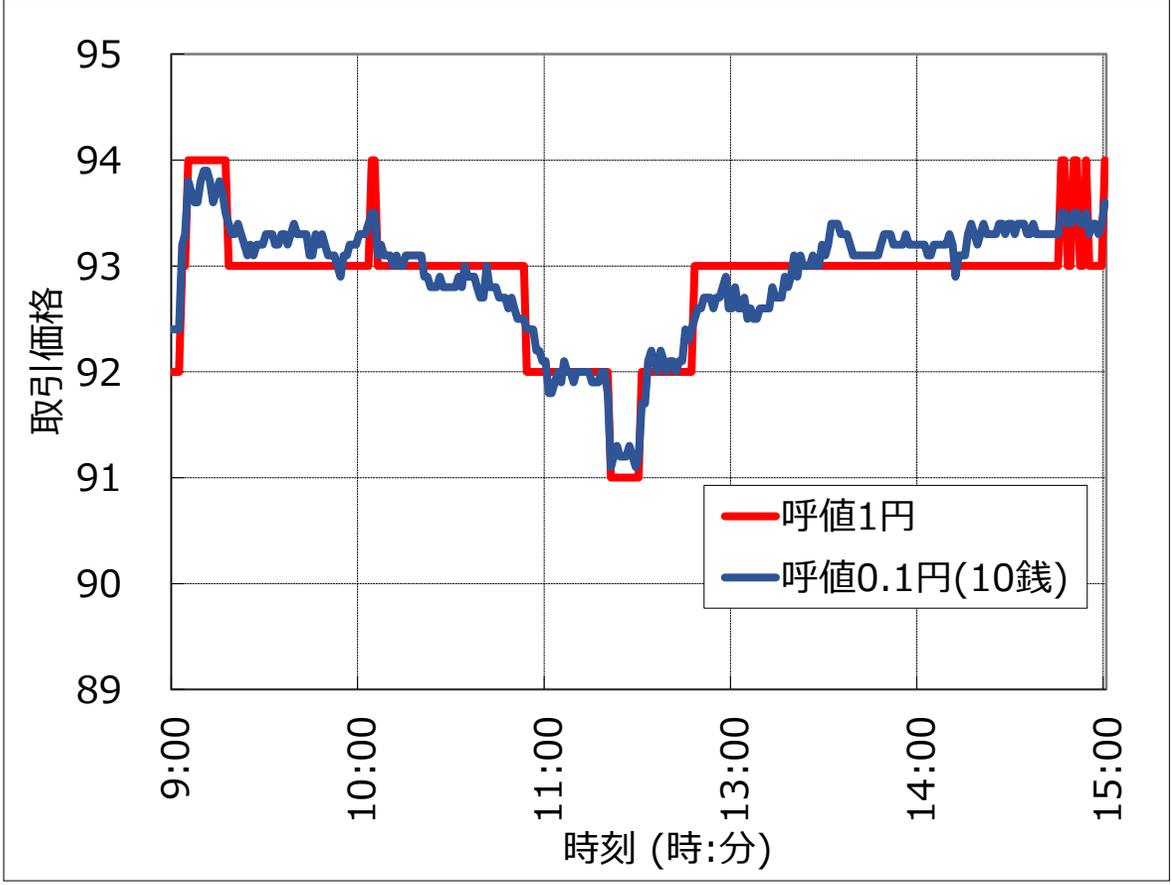
証券会社などが独自運営する私設取引所(PTS)：ジャパンネクスト証券、Cboeジャパン、大阪デジタルエクスチェンジ

- 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

The screenshot shows the JPX Working Paper website. The header includes navigation links for JPX, research, and working papers, along with language options (English, 中文) and a search bar. The main content area is titled "JPXワーキング・ペーパー" and contains an introduction and a table of papers.

	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 -		

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	
	98	150
	97	
	96	70

ここに売り注文を入れると
即座に売買成立

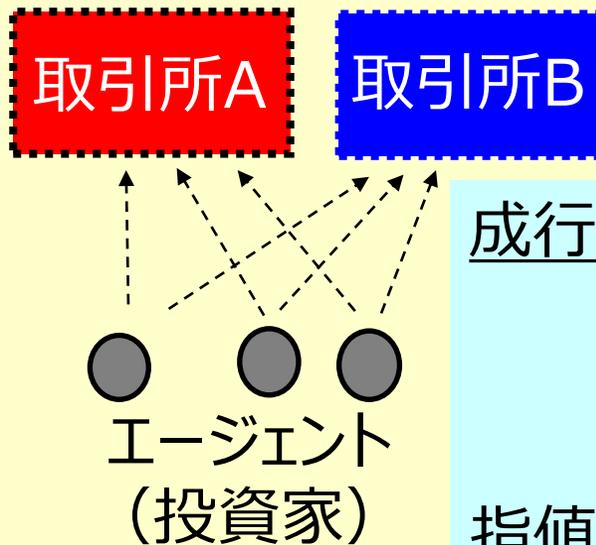
ここに買い注文を入れると
即座に売買成立

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)

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



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

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)

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

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

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 = 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

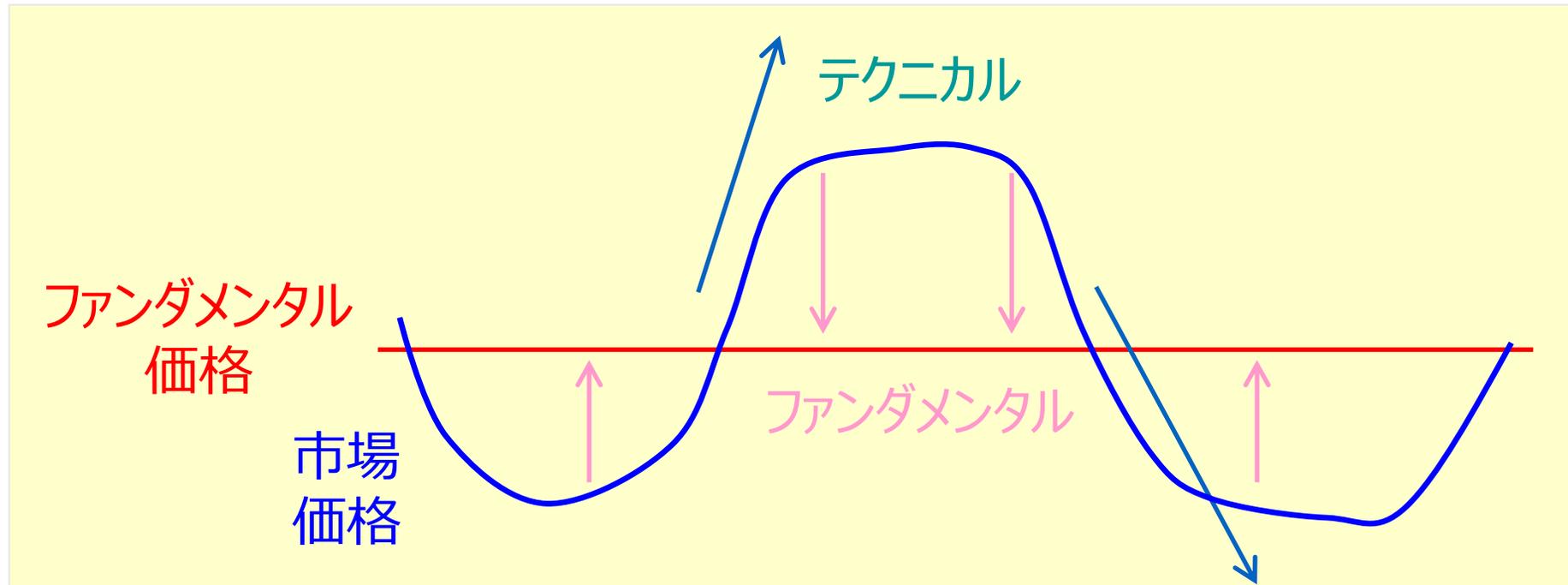
ファンダメンタル価格 $>$ 市場価格 \Rightarrow 上がると予想

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

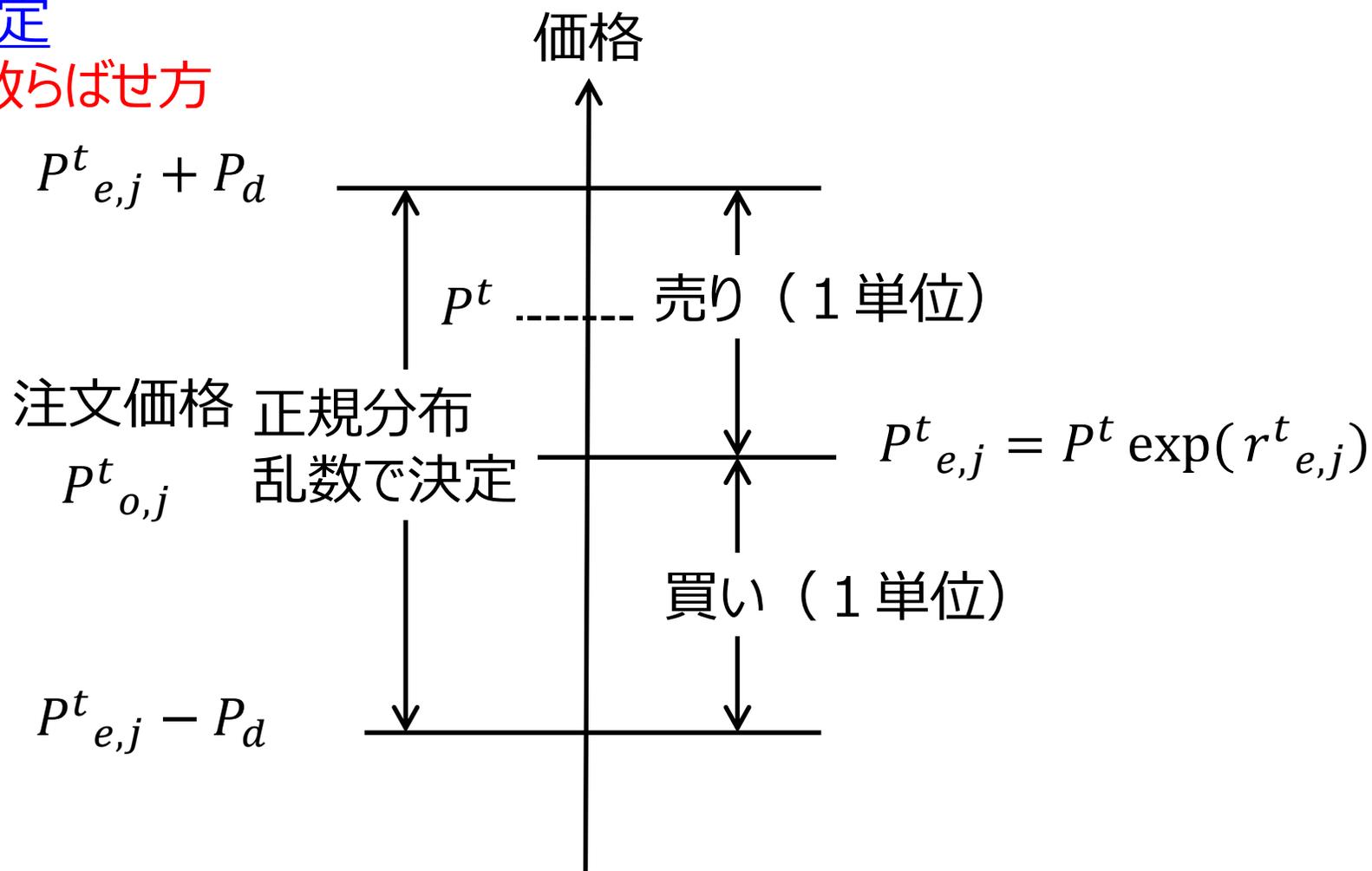
過去リターン $>$ 0 \Rightarrow 上がると予想

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

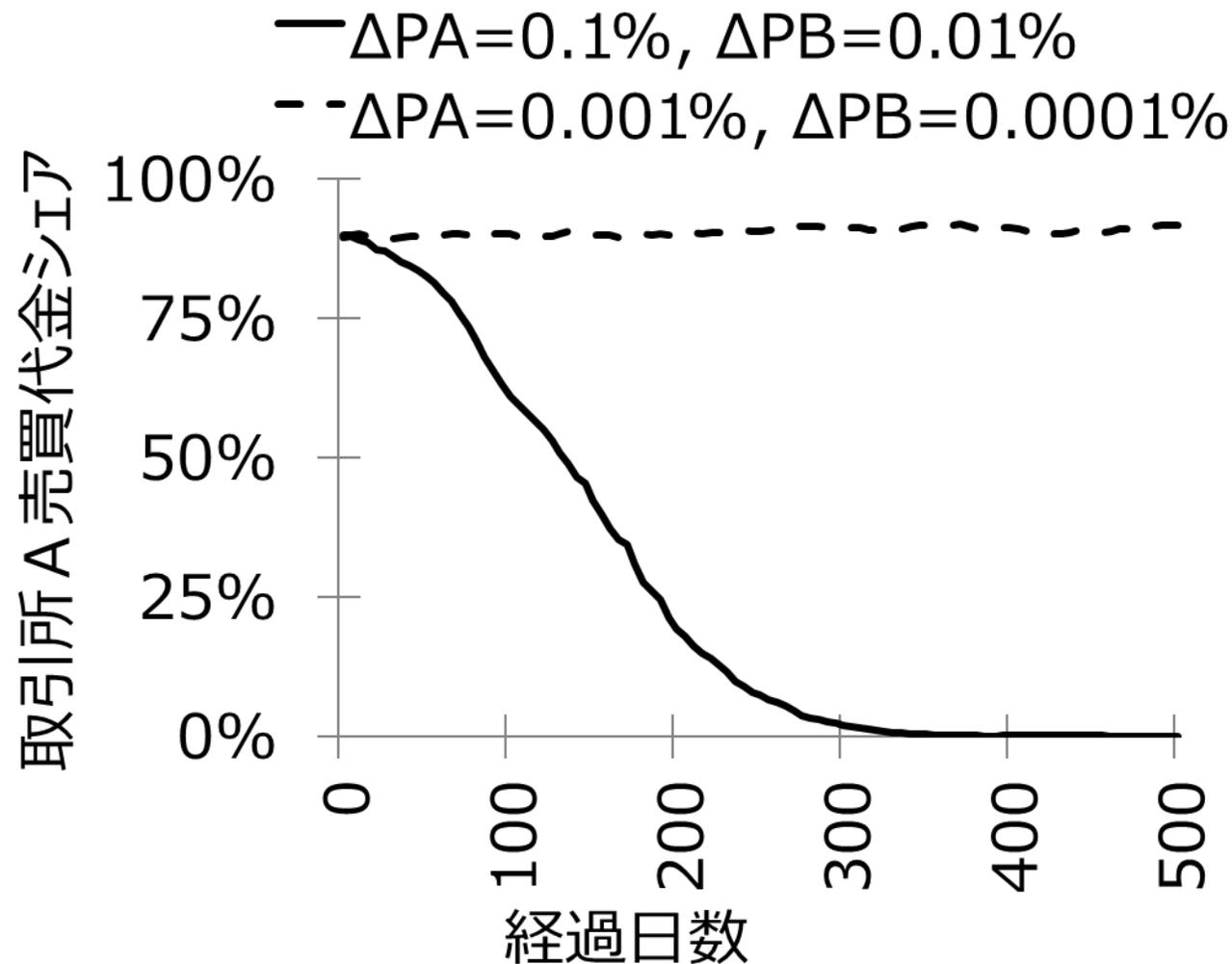


実際のザラバの注文状況を再現するため

⇒ 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

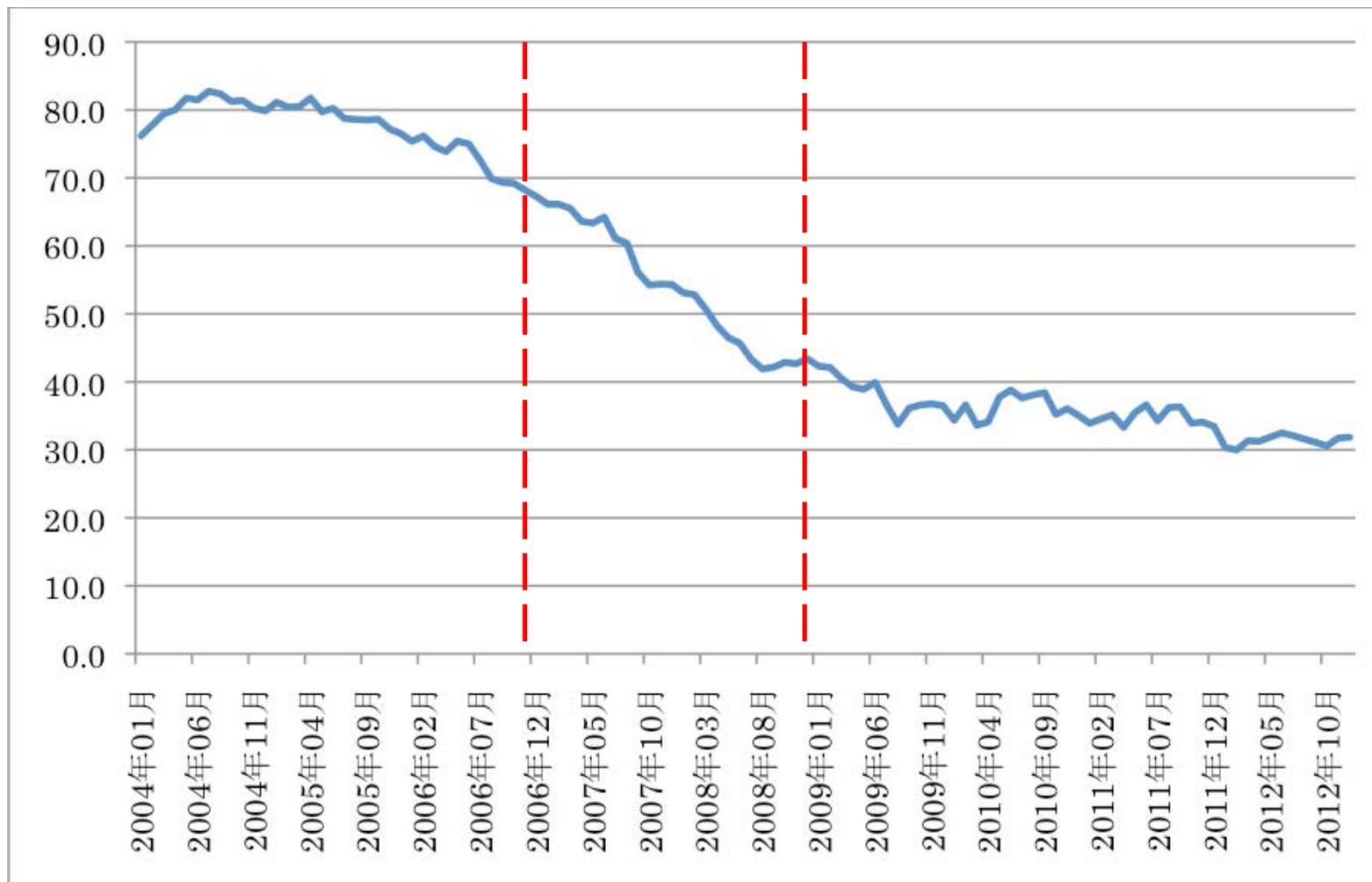


呼値に差があるとシェアが移り変わる

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

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

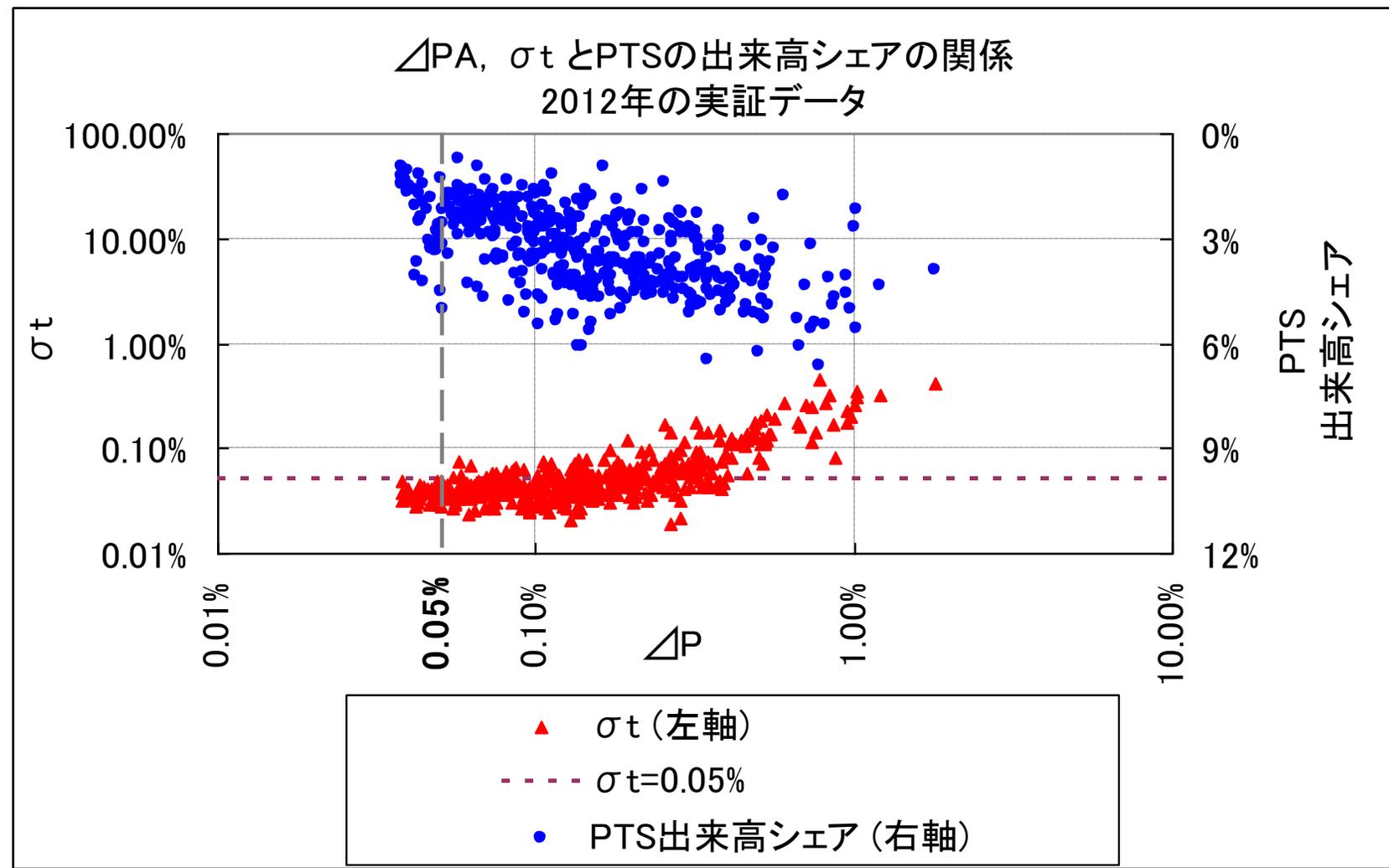
or

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

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

騰落率の標準偏差：ボラティリティ

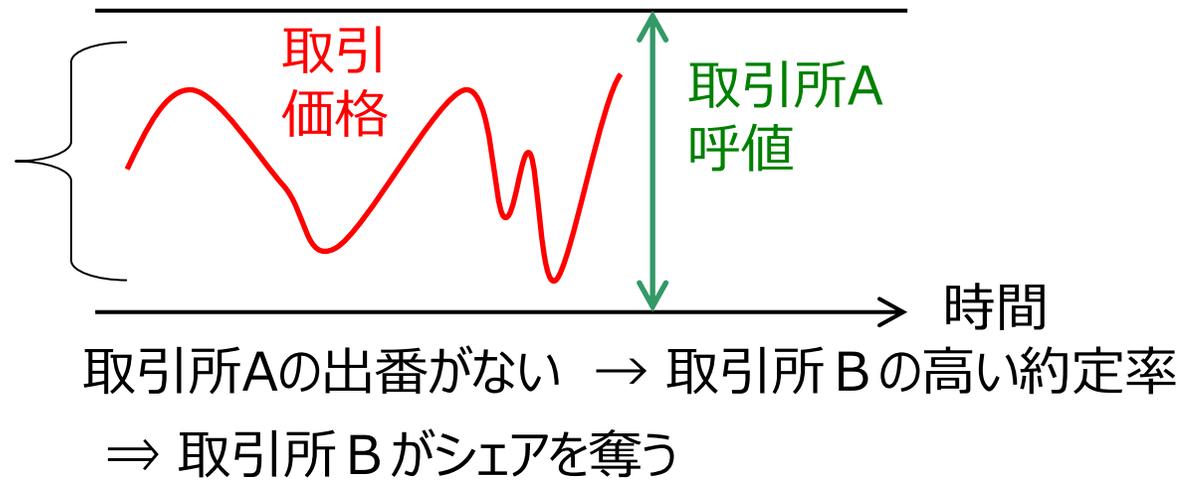
キーパラメーター



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



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

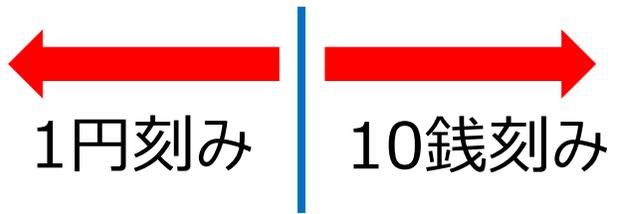
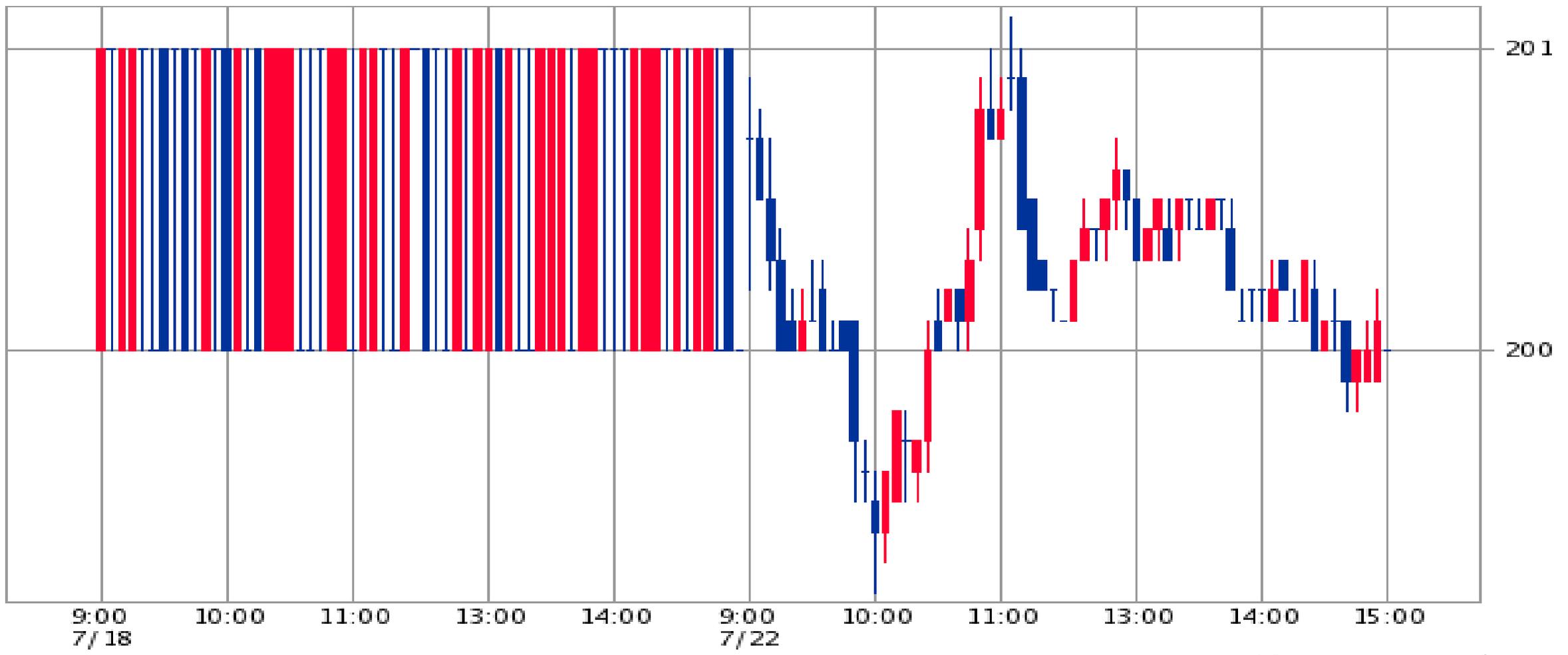
取引所B
の必要性
が薄い



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、
 統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

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

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

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

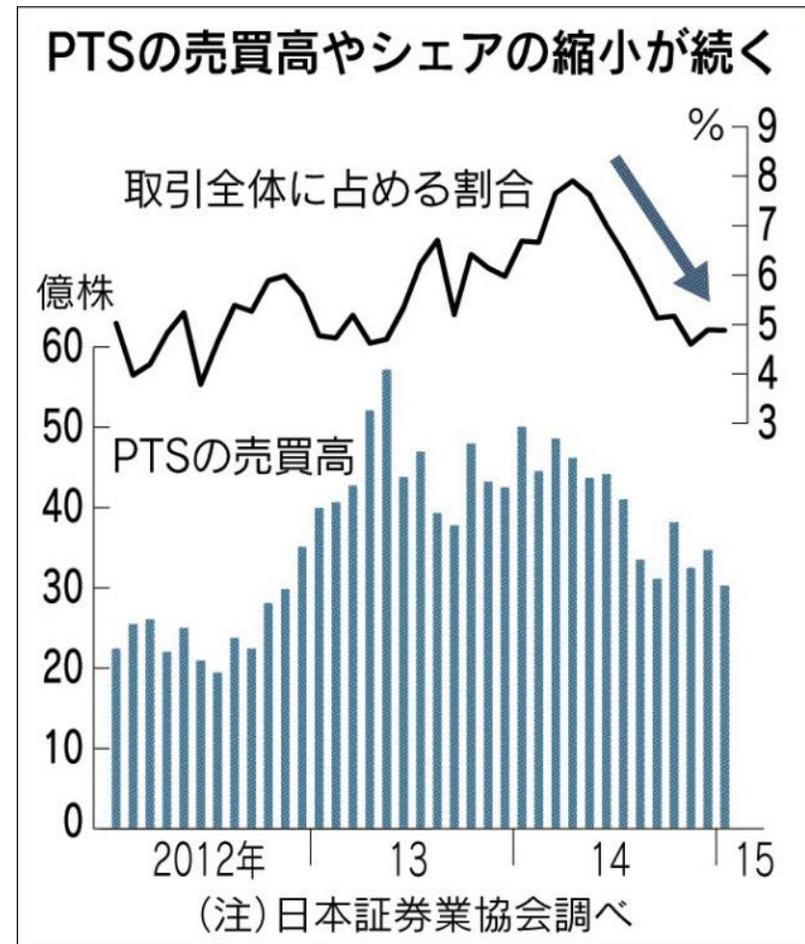
Therefore, it is found that share is shifted from a market with a larger tick size to a market with a smaller tick size. Moreover, the size of share-shift is determined by difference between tick sizes, not ratio between tick sizes.

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

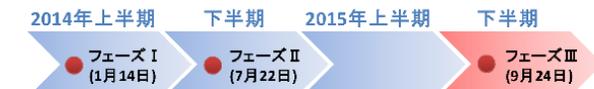
0.5%

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

一部の価格帯で戻すことに



呼値の単位の適正化フェーズⅢの対応内容



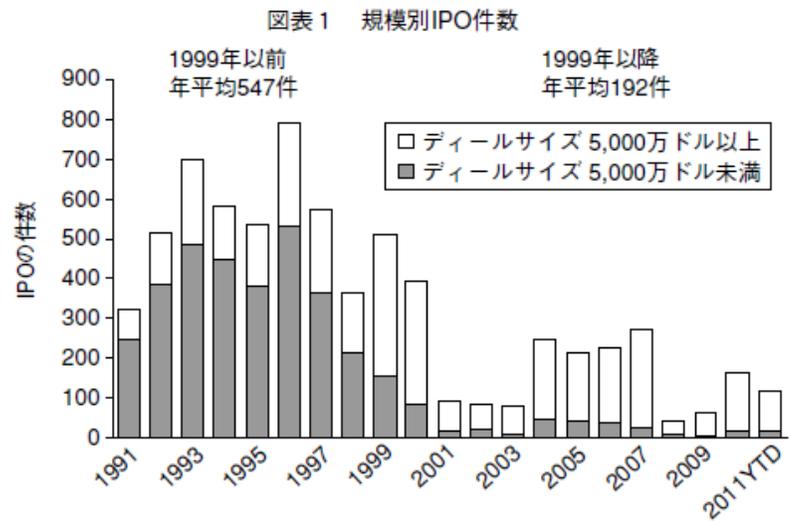
<フェーズⅢ対応内容>

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

<呼値の単位>

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

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) 他分野で活躍するエージェントシミュレーション

(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

(1-1) 金融市場の基本性質の分析

(1-2) 金融市場の制度設計 本題

(1-3) 自動取引の実験場

(1-4) 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

具体例：実際に制度・規制変更

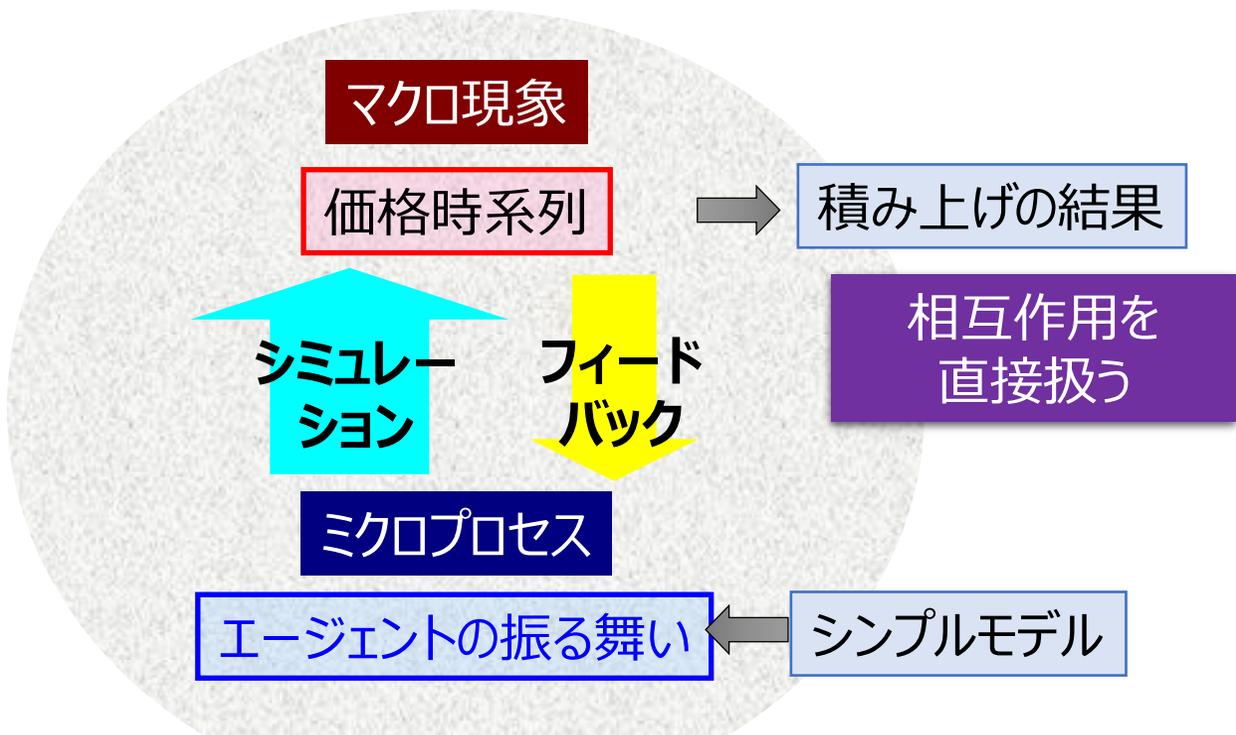
実務・社会の動きも交えて

(4) 市場制度設計における適切な人工市場モデル

複雑系を扱える強み

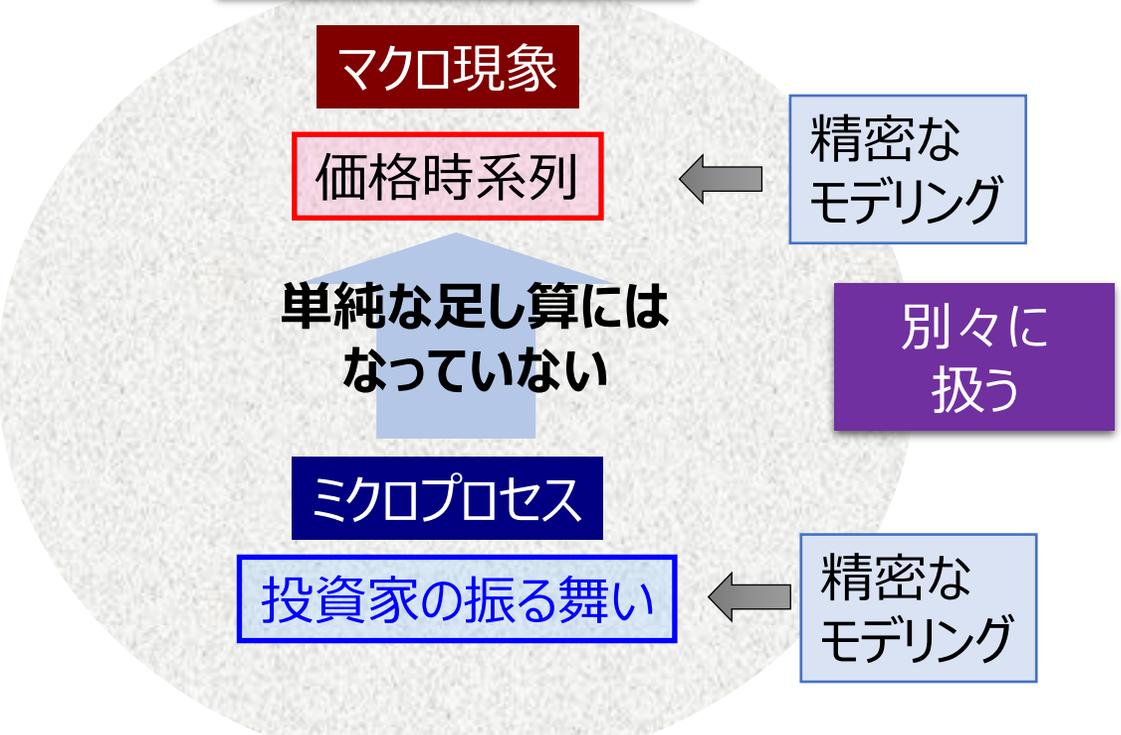
金融市場は非常に複雑系のため、ミクロプロセス(投資家の行動)の単純な足し算がマクロ現象(価格時系列)にならない

人工市場

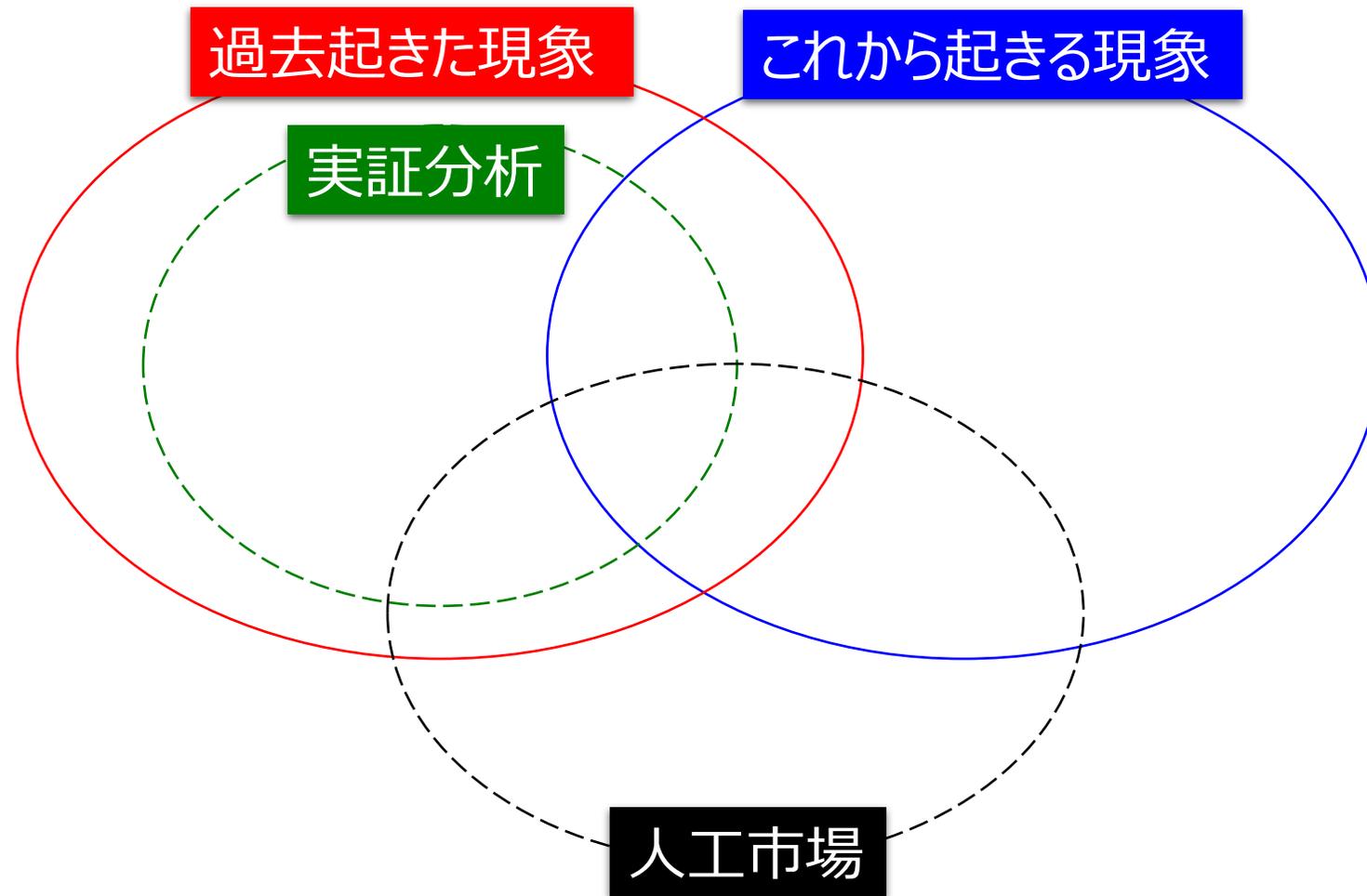


相互作用を扱える！
相互作用を分析できる！

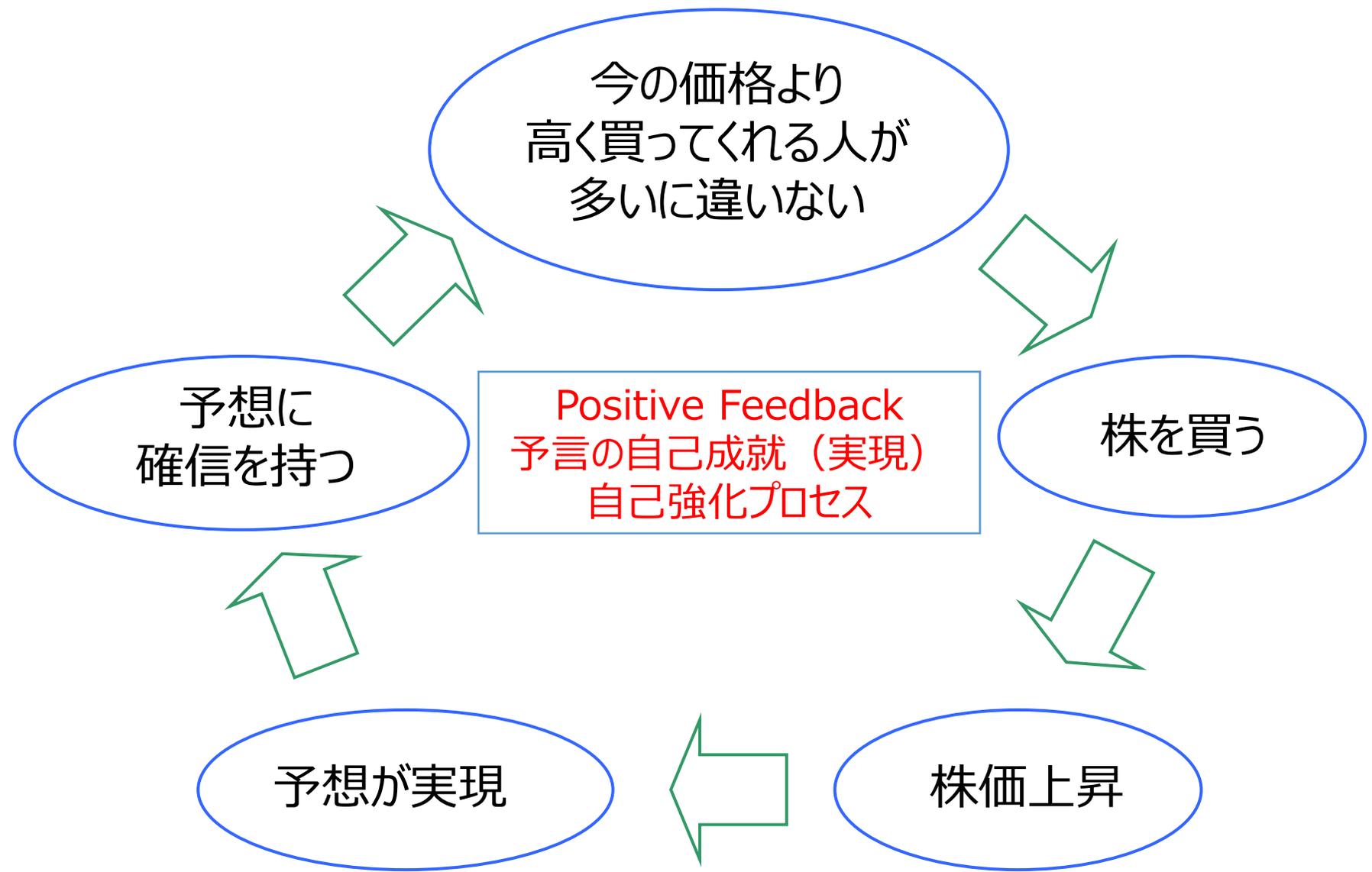
数理モデル 実証研究



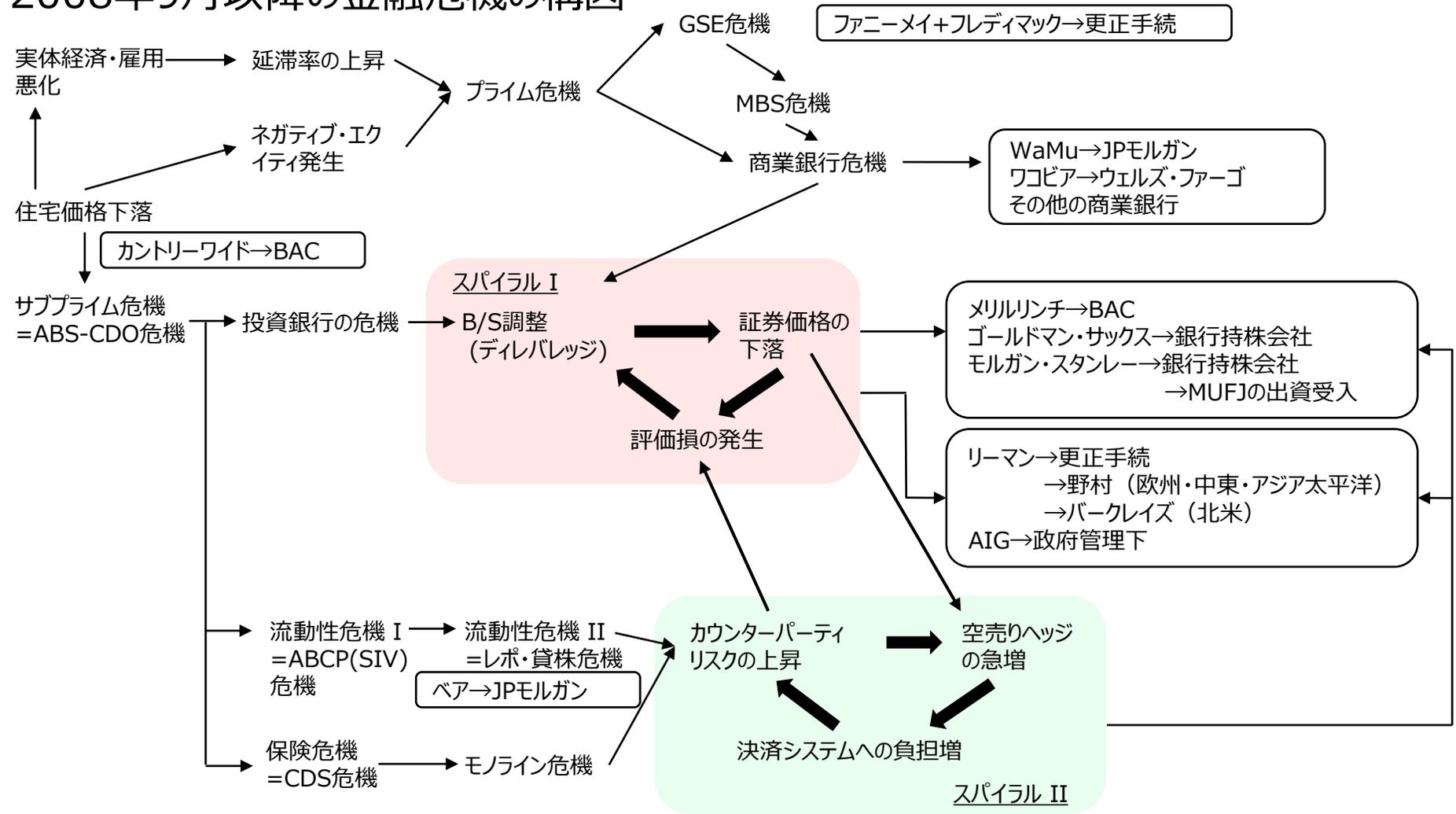
マクロとミクロの相互作用があるため、マクロ現象とマイクロプロセスをそれぞれ調べても複雑系を理解できない。



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



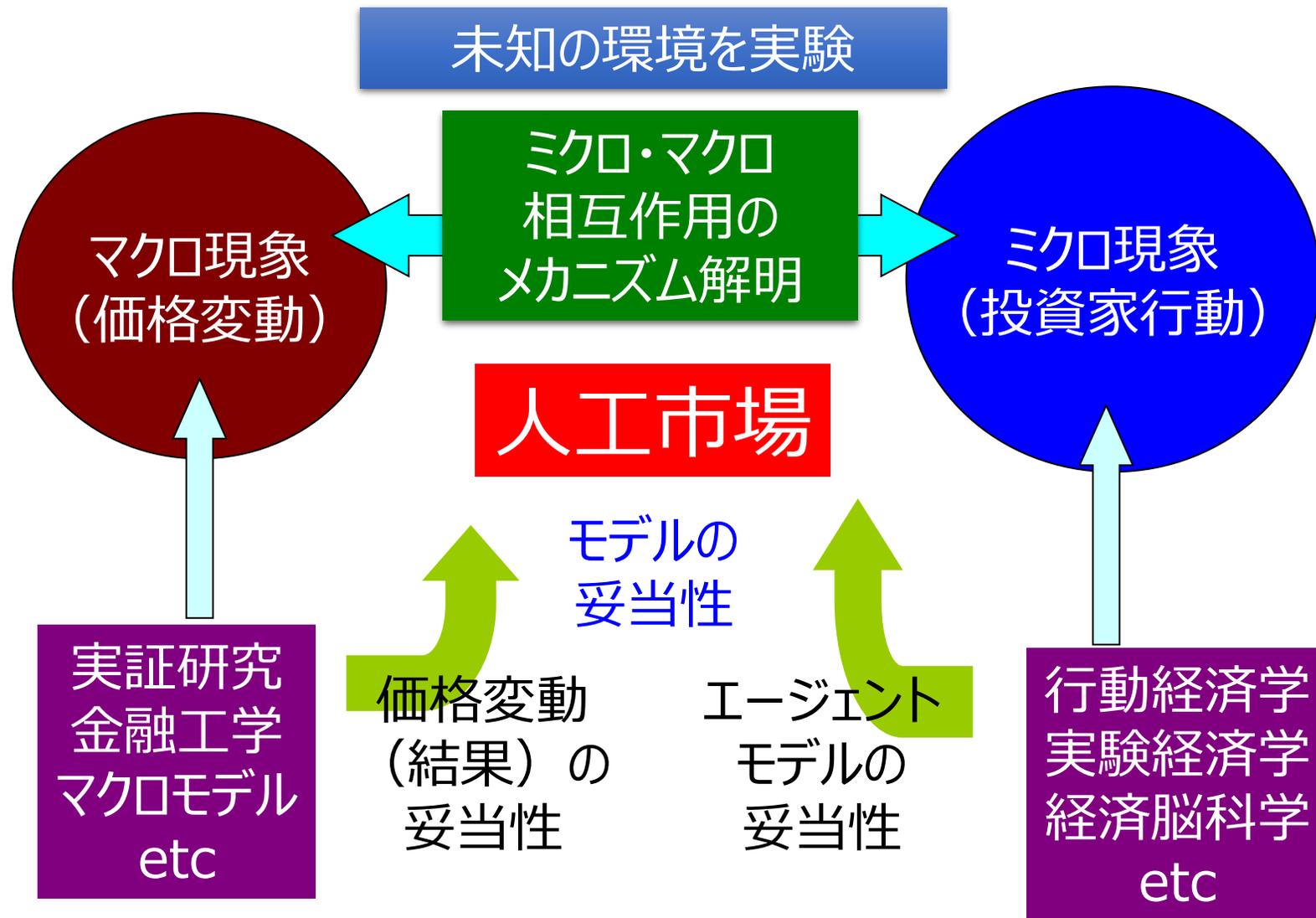
2008年9月以降の金融危機の構図



(出所) 各種資料より野村資本市場研究所作成

野村資本市場研究所：サブプライム問題に端を発する金融危機の全貌，資本市場クォーターリー秋号付属資料（2008）

人工市場の得意とすること： ミクロ・マクロ相互作用



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

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

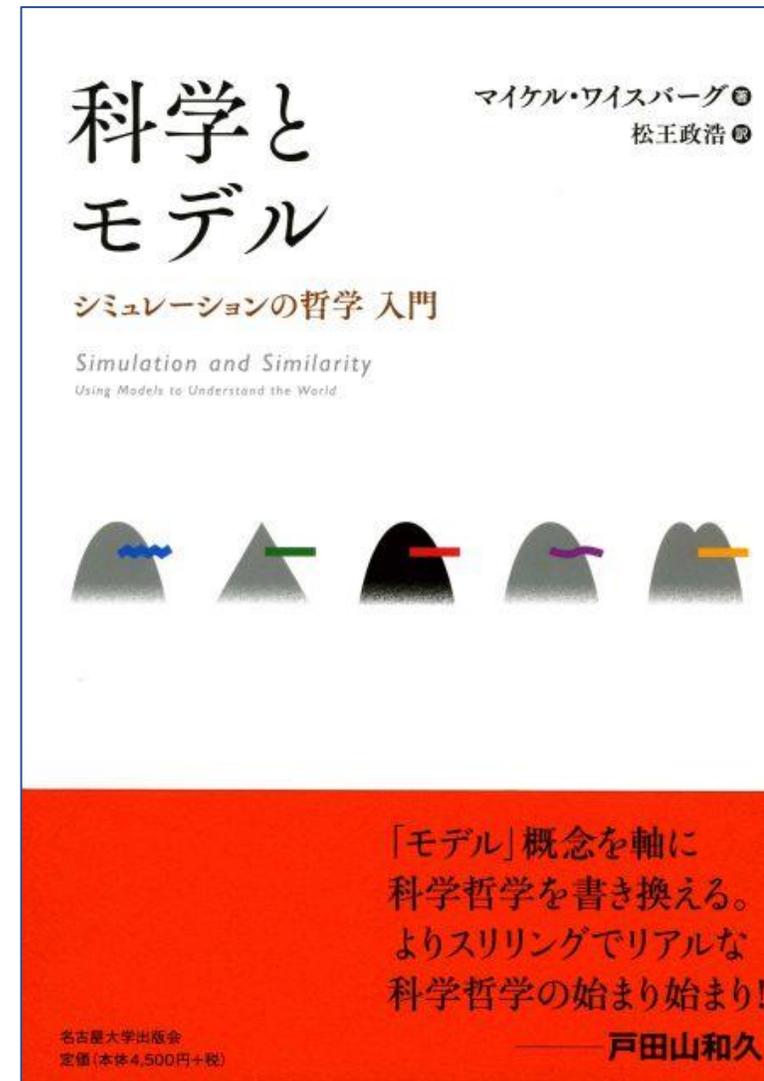
右の本は、“モデル”に関わっているすべての人に読んでほしいと思う。

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

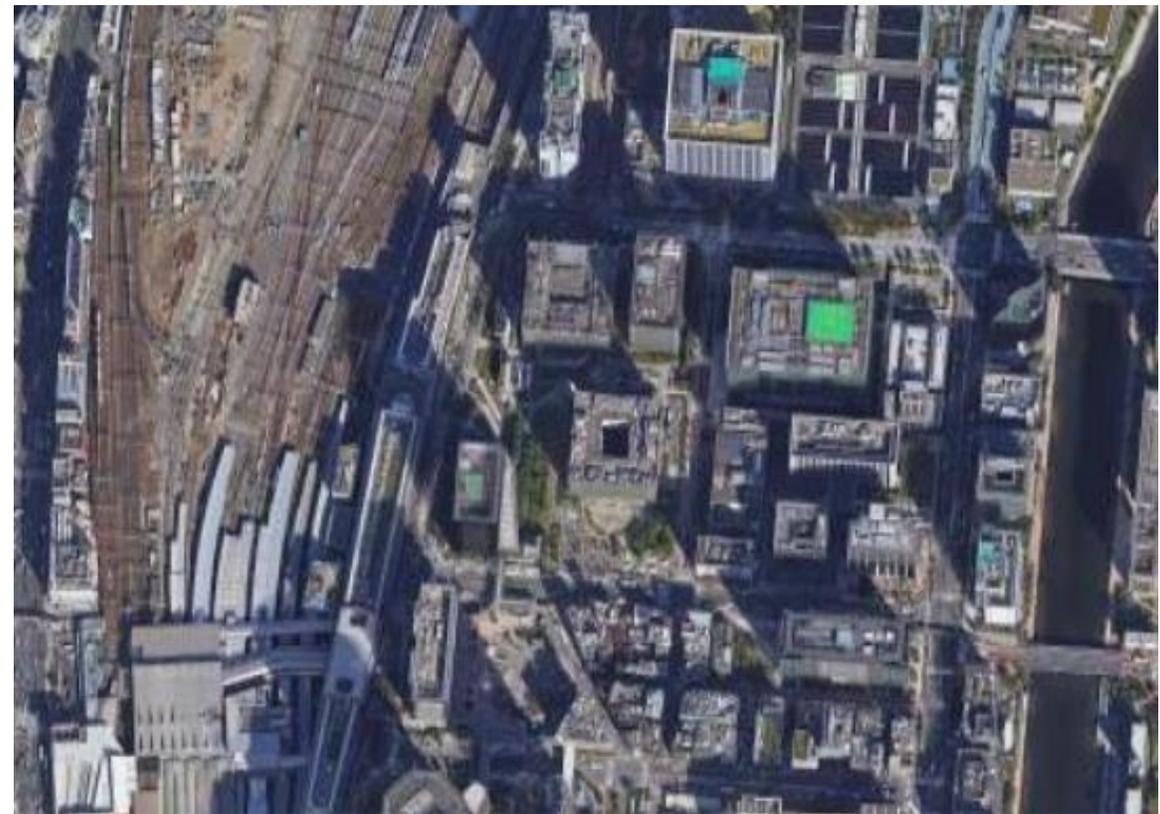
特に経済学の世界で、
「シミュレーションモデルと
数理モデルの役割の違い」
に関する理解の欠如が顕著

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>

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://shinjuku-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

現実に近いが分かりにくい
迷子になる

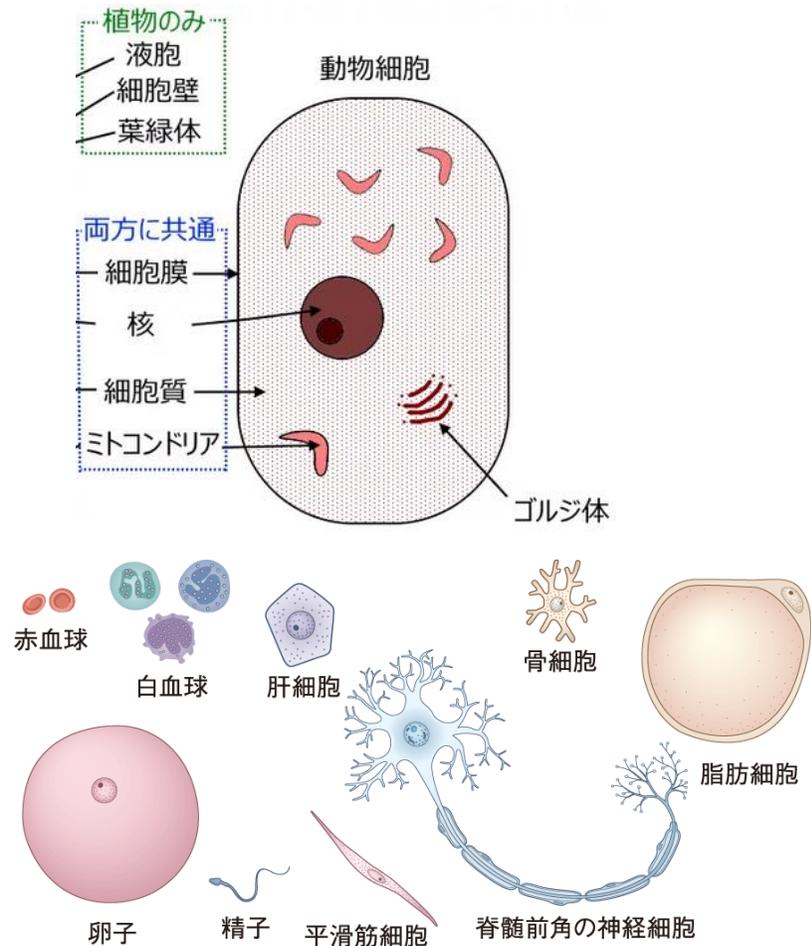
理解したいことの本質以外は削り落としてモデル化
理解したいことが異なれば削り落とす部分も異なる

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://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



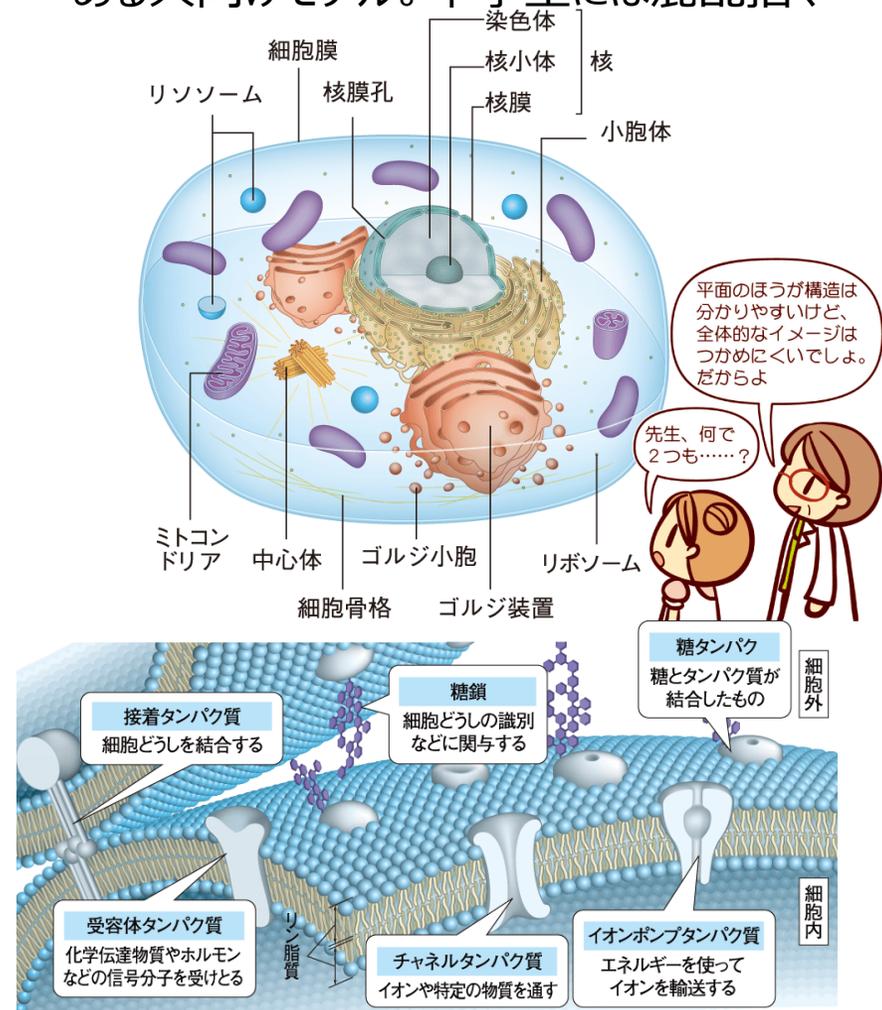
いろいろな種類の細胞モデル

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

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

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

「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。

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、...

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

#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

マイクロプロセス：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)

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！



投資家
Aさん

投資家
Bさん

投資家
Cさん

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のある段階であり、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、啓蒙活動を続けていきたい。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。