

令和 2 年 8 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K16016

研究課題名(和文) エージェントモデルに基づく外国為替市場の安定性解析

研究課題名(英文) Stability analysis of foreign exchange markets based on agent-based models

研究代表者

金澤 輝代士 (Kanazawa, Kiyoshi)

筑波大学・システム情報系・助教

研究者番号：50759256

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年金融市場のマイクロデータが大規模に利用可能になり、トレーダーの行動分析を詳細に行うことが可能になった。そこで本研究では個々のトレーダーの行動データを分析することで、トレーダーレベルでの取引戦略のクラスタリングを行い、その結果を踏まえた市場のエージェントベースモデルの構築を行った。更には、そのエージェントベースモデルに対する理論解析手法を構築し、市場の統計則をマイクロからマクロまで解き明かした。

本研究によって市場のマイクロなトレーダーの取引戦略(トレンドフォロー戦略)が、市場のマクロな性質(ボラティリティなどの安定性の指標)にどのように波及するかを理解することが出来るようになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

個々のトレーダーレベルでのデータ分析は非常にレアであり、トレーダーがどのような戦略を採用しているかはほとんど知られていなかった。本研究では、プロのトレーダーがどのような戦略を採用し(指数移動平均に基づくトレンドフォローなど)、その戦略にどの程度の多様性があるかを明らかにした。そういったマイクロレベルでの戦略の多様性が、市場のマクロな性質にどのような影響を与えるかも、統計物理学の理論手法を用いて、実証的・理論的に解き明かした点にも重要な意義がある。更には本研究では統計物理学の手法(BBGKY階層構造方程式、分子運動論)が重要な役割を果たし、学際研究としてもうまくいった点も付記に値する。

研究成果の概要(英文)：Recently, microscopic financial data (such as order-book data) is becoming available, which has greatly helped researchers to study the detail of strategies by financial traders in real markets. In this study, we have revealed the strategic behavior of individual traders in a foreign exchange markets by analyzing high frequency data to track all the orders including trader IDs. We apply several clustering methods for traders' strategies, and have shown their relevance to the market liquidity. We then propose a microscopic model of this FX market by incorporating the above empirical findings. This model is solved theoretically by extending the kinetic theory in statistical physics. This theoretical program has enabled us to study the macroscopic characters of this system (such as volatility and liquidity) from its microscopic dynamics (such as trend-following strategies at the microscopic trader level).

研究分野：統計物理学

キーワード：マーケットマイクロストラクチャ 金融データ分析 経済物理学 統計物理学 確率過程

1. 研究開始当初の背景

金融市場のマイクロデータ分析の高まり

金融市場では電子取引が非常に盛んであり、その結果非常に高精度な高頻度マイクロデータが利用可能になりつつある。例えば、金融市場のマイクロデータとして**オーダーブックデータ**が挙げられる。オーダーブックデータとは、各トレーダーの細かな注文行動を記載したマイクロデータである。本研究はこのオーダーブックデータに基づく金融市場のエージェントベースモデルを構築し、金融市場の安定性解析を行うための理論基盤を創出することが目的である。

オーダーブックデータの説明の前に、金融市場のルールを説明する。特に本研究では外国為替市場に焦点を当てる。外為市場では、トレーダーは取引を行う前から注文の発注をオークション形式で行っている。具体的には、トレーダーは事前に希望価格を指定して、売買注文を発注する。例えば、1米ドルを105円で購入(売却)することを希望する場合は、買い(売り)の指値注文を発注する(図1a)。この注文はすぐには約定されず、オーダーブックと呼ばれる注文分布情報に保存される(図1b)。これらの売買注文が合致すると、取引に至るのが市場ルールである(図1c)。こういった個々人の注文行動を記載している市場のマイクロデータが、オーダーブックデータである。

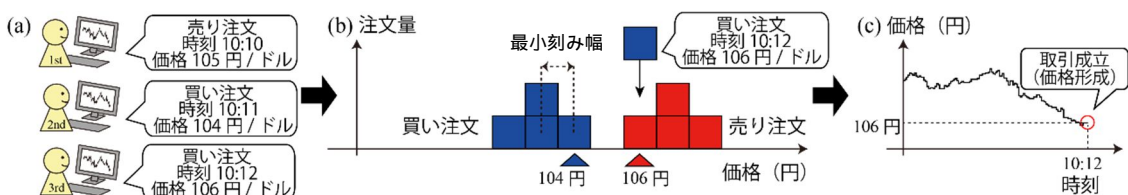


図 1: 市場のルール。(a) トレーダーは価格を指定して売買の指値注文を行う。(b) 指値注文はオーダーブックと呼ばれる注文分布情報に収録される。ここで青いブロックは買い注文であり、赤いブロック注文は売り注文である。横軸は価格、縦軸は注文量(たとえば、ドル円の EBS 市場なら 1 ブロック = 100 万ドル)を表す。(c) 買い注文と売り注文が合致した時、取引が成立し、価格時系列が生成される。

本データに基づくことで、従来の時系列モデルを超えた詳細なエージェントベースモデルを構築することが可能になった。例えば、従来はオーダーブックの詳細によらず、需要と供給のバランスによって価格が決めるエージェントベースモデル(例えば Kyle のモデルや Lux のモデル)が主流であったが、オーダーブックレベルでの発注行動をモデル化する研究(例えば Daniels et al. Phys. Rev. Lett. 2003)も行われてきた。結果、ただの取引系列のみならず、オーダーブックレベルでの統計則を再現するための研究も盛んに行われてきた。一方、これまでのモデルはあくまで注文レベルでの市場の動力学を対象にしており、トレーダーに紐づいたレベルでのデータ解析を行うことができなかった。これは、トレーダーID が含まれるようなオーダーブックデータは非常にレアであり、科学的な解析を行う土壌が整っていなかったことに起因する。

2. 研究の目的

個々のトレーダーレベルでの注文行動の分析・市場モデリング

しかし近年、(匿名化されたレベルではあるが)注文発注者と注文が紐づいているオーダーブックデータが徐々に利用可能になってきた。本データを使用すれば、市場のトレーダーの行動を完全に追跡調査する分析を行うことができる。例えば

- (1) トレーダーはどのような発注戦略を採用しているのだろうか?
- (2) その様子を詳細に模写するようなエージェントベースモデルは構築できるか?
- (3) そのモデルを理論解析し、市場のマクロな統計則を理解できるだろうか?
- (4) そのモデルをもとに市場の安定性解析などを行う基礎を構築できるだろうか?

というような市場の根源的な疑問を解決することができると期待できる。本データはごく最近利用可能になったばかりであり、以上のような問題は解決されてこなかった。そこで本研究では上記の質問を回答するための基礎研究を行うことにした。

3. 研究の方法

そこで本研究では以下のような順序で研究を行う。

- (1) **マイクロデータ分析**: 個々のトレーダーがどのような発注行動を行っているか、データから解明する。過去の市場の状態(例えば、価格時系列がヒストリカルに上昇・下降トレンドか、など)によって、個々人が発注の意思決定にどのような影響があるか、統計分析を行う。
- (2) **マイクロモデル構築**: 上記の手法で発見された統計則を組み込んだエージェントベースモデルを構築する。具体的には、個々のトレーダーの意思決定プロセスを確率過程として記述する。更には、多数のトレーダーが意思決定を連続的に行う、多体確率過程としてモデル化を行い、数学的な理論解析の土俵に載せる。

- (3) **理論解析の枠組み構築**：多体確率過程として記述された市場のマイクロモデルを理論的に解析する枠組みを構築する。具体的には、統計物理学で発達してきた高次元力学系の縮約法（BBGKY 階層構造方程式）を用いることで、系のマクロなふるまいを解析的に解明する。
- (4) **数値計算手法の構築**：上記の理論的な枠組みの結果を数値的に検証するための手法を構築する。

4. 研究成果

以上の手法を通じて以下のような研究成果を得た。

- (1) **トレーダーの戦略の分類・生態系の解明**

トレーダーがどのような戦略を採用しているかの分析を行い、戦略クラスタリングを通じて市場の生態系構造を調べた。具体的には、市場のヒストリカルな価格時系列が上昇・下降しているとき、マーケットメイクを行っている高頻度トレーダー(High frequency traders, HFT)の提示する価格が将来どのように変化するかを相関分析した。その結果、HFT の提示する価格の将来の変化は、過去のトレンドの指数移動平均の変化に対し、正の相関を示すことを発見した。これはトレーダーが過去の価格トレンドに対して追従する戦略(トレンドフォロー戦略)を採用していることを表していると解釈できる。更には HFT のトレンドフォロー戦略に対して、シンプルな非線形相関構造が普遍的にあることを発見した(K. Kanazawa et al., Phys. Rev Lett. 2018; Phys. Rev. E 2018)。

また、指数移動平均のタイムホライズンがトレーダーによって多様性があることを示した。この結果を踏まえて戦略のクラスター分析を行った(T. Sueshige et al., PLoS ONE 2018)。結果、市場の戦略の普遍性と多様性、そこから生まれる生態系の構造を明らかにした。
- (2) **市場のマイクロ構造を記述するエージェントベースモデルの構築**

上記のように、データから発見された統計則を取り入れることで、トレーダーの意思決定プロセスを記述する確率過程のモデルを構築した。具体的には、過去の価格時系列との非線形な相関構造をモデルに取り入れ、トレンドフォローしながらランダムウォークするトレーダー動力学モデルを提案した。
- (3) **統計物理学に基づいた理論解析**

多体確率過程として記述された市場のマイクロモデルを解析する理論手法を構築した。具体的には、統計物理学で発達してきた高次元力学系の縮約方法を適応した。

統計物理学の分子運動論では、高次元のハミルトン力学系を出発点に、BBGKY 階層構造方程式の手法を用いて 1 体分布関数のレベルに情報を縮約する。その結果、Boltzmann 方程式・Langevin 方程式といったブラウン運動の基礎方程式に到達する。本研究ではこの手法を、市場を記述する確率力学系に拡張することで、市場のマイクロ動力学からマクロ構造を解き明かすことを試みた。

すなわち、市場の確率力学系を、BBGKY 階層構造の手法を通じて縮約し、金融市場の Boltzmann 方程式・Langevin 方程式を導出した。結果、市場のマクロ構造を理論的に解き明かすことが出来た。更に、市場の実データと整合的な結果を得ることが出来た(K. Kanazawa et al., Phys. Rev. Lett. 2018; Phys. Rev. E 2018)。
- (4) **数値計算手法の開発**

金融市場の Boltzmann 方程式は通常分子運動論と同様に平均場近似の結果として導出されるため、非線形微分積分方程式である。よって数値計算を行うことは簡単ではない。そこで、非線形微分積分方程式を数値的に解く手法を開発した。具体的には、定常状態で Boltzmann 方程式の解に収束する反復モンテカルロ法を構成し、解が理論解と一致することを確認した(論文準備中)。本手法は理論解が分からないときでも適当であるため、より複雑な市場モデルであっても適応可能である。今後は、不安定市場などを解析するために基礎解析手法として応用することを目指す。
- (5) **分子運動論の手法を用いたレヴィ・フライトの導出**

本研究では従来の分子運動論の手法を、より広い確率力学系に応用することで、非物理系の多体系のマクロ構造を調べることを行っている。この方法論を応用することで、レヴィ・フライトと呼ばれる異常拡散の数理の研究を行った。

レヴィ・フライトとは変位幅がべき分布に従う異常拡散の数理モデルである。例えば金融市場の暴落などはその代表例として知られており、レヴィ・フライトをマイクロな力学系モデルから導出することは重要な未解決問題である。そこで、本計画で得られた一般化された Boltzmann 方程式の手法を応用することで、レヴィ・フライトのマイクロ構造を体系的に解き明かすことを試みた。

上記の計画を遂行する上で私が最終的に着目したのは、(金融系とは外れるが)生物系・アクティブマター系での異常拡散現象である。クラミドモナスなどをはじめとする遊走微生物からなる系では、異常拡散現象が実験的に確認されるという報告があった。そこで、一般化された分子運動論の数理の手法をアクティブマター系に応用することで、レヴィ・フラ

イトが導出されることを数理的に示した (K. Kanazawa et al., Nature 2018)。

本研究は私が知りうる限り初めてのレヴィ・フライトモデルのミクロからの基礎論になっている。今後は本手法を数学的に更に拡張し、金融系のレヴィ・フライトなどを理解するための研究に応用することを考えていきたい。

(6) Hawkes 過程の場の理論的解法の提案

金融市場ではしばしば間欠的な動力学が観測される。その様子をフィットするための確率モデルとして Hawkes 過程がある。Hawkes 過程は非マルコフな過去の状態に基づいて次のイベント発生が決まるモデルであり、SNS や神経ネットワークなどのバースト現象のモデル化にも使用されている。このモデルの面白い性質として、パラメータに応じて臨界現象を示すことが可能な点がある。これは金融市場での間欠的なふるまい、更には暴騰暴落にかかわるような臨界現象にも強く関連すると考えられている。しかし、Hawkes 過程はその非マルコフ性に影響して解析が困難であり、理論的な性質はあまり知られていなかった。

そこで Hawkes 過程の理論的な解法を場の理論を用いて構成した。具体的には、非マルコフな確率常微分方程式である元のモデルを、無限変数(場の変数)に対する確率偏微分方程式にマップすることで、マルコフ化した。このマルコフ化された確率場に対して、汎関数マスター方程式の方法を用いることで、臨界点直下での漸近解を導出することに成功した (K. Kanazawa and D. Sornette, arXiv: 2001.01195; arXiv: 2001.01197)。

Hawkes 過程は金融時系列解析への応用が盛んなモデルであり、本手法を応用することで、オーダーブックデータの間欠的な性質を理解することを試みることを考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Kanazawa Kiyoshi, Sano Tomohiko G., Cairoli Andrea, Baule Adrian	4. 巻 579
2. 論文標題 Loopy Levy flights enhance tracer diffusion in active suspensions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature	6. 最初と最後の頁 364 ~ 367
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41586-020-2086-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kiyoshi Kanazawa, Didier Sornette	4. 巻 -
2. 論文標題 Non-universal power law distribution of intensities of the self-excited Hawkes process: a field-theoretical approach	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ArXiv	6. 最初と最後の頁 2001.01195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Kiyoshi Kanazawa, Didier Sornette	4. 巻 -
2. 論文標題 Field master equation theory of the self-excited Hawkes process	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ArXiv	6. 最初と最後の頁 2001.01195
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Boilard J.-F., Kanazawa K., Takayasu H., Takayasu M.	4. 巻 509
2. 論文標題 Empirical scaling relations of market event rates in foreign currency market	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 1152 ~ 1161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2018.06.002	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kanazawa Kiyoshi、Sueshige Takumi、Takayasu Hideki、Takayasu Misako	4. 巻 98
2. 論文標題 Kinetic theory for financial Brownian motion from microscopic dynamics	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 52317
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.98.052317	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sueshige Takumi、Kanazawa Kiyoshi、Takayasu Hideki、Takayasu Misako	4. 巻 13
2. 論文標題 Ecology of trading strategies in a forex market for limit and market orders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PLOS ONE	6. 最初と最後の頁 e0208332
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0208332	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 末重拓己、金澤輝代土、高安秀樹、高安美佐子	4. 巻 -
2. 論文標題 外国為替市場におけるトレーディング戦略分類	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第21回 人工知能学会 金融情報学研究会 (SIG-FIN) 資料	6. 最初と最後の頁 なし
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 末重 拓己、金澤 輝代土、高安 秀樹、高安 美佐子	4. 巻 -
2. 論文標題 実時系列データ解析に基づく外国為替市場トレーダーの戦略クラスタリング	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 第61回自動制御連合講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11511/jacc.61.0_433	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kiyoshi Kanazawa, Takumi Sueshige, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	4. 巻 120
2. 論文標題 Derivation of the Boltzmann Equation for Financial Brownian Motion: Direct Observation of the Collective Motion of High-Frequency Traders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 138301-138306
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.120.138301	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jean-Francois Boilard, Kiyoshi Kanazawa, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	4. 巻 16
2. 論文標題 Replication of Cancellation Orders Using First-Passage Time Theory in Foreign Currency Market	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011014-011021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.16.011014	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takumi Sueshige, Kiyoshi Kanazawa, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	4. 巻 16
2. 論文標題 Time-Variation of Imbalance of Order Book in Foreign Exchange Market	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JPS Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011008-011015
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.16.011008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoya Hamano, Kiyoshi Kanazawa, Hideki Takayasu, Misako Takayasu	4. 巻 16
2. 論文標題 A dealer model of foreign exchange market with finite assets	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Conference Proceedings	6. 最初と最後の頁 011012-011020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.16.011012	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 金澤輝代士, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子	4. 巻 -
2. 論文標題 多体確率過程論を用いた外国為替市場の記述	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the Japan Joint Automatic Control Conference THE 59TH JAPAN JOINT AUTOMATIC CONTROL CONFERENCE	6. 最初と最後の頁 239-241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) http://doi.org/10.11511/jacc.59.0_239	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計26件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa
2. 発表標題 Kinetic theory for Levy flight in active bacterial suspensions
3. 学会等名 Statistical Physics of Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa
2. 発表標題 Statistical physics of a foreign exchange market: kinetic mean-field theory of a stochastic many-body trader model
3. 学会等名 Statistical Physics of Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤 輝代士
2. 発表標題 金融市場の平均場確率モデルの解析解と数値解法
3. 学会等名 第62回自動制御連合講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa,
2. 発表標題 Microscopic data analysis of high-frequency traders and corresponding mean-field theory
3. 学会等名 Asia-Pasific Econophysics Conference 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa
2. 発表標題 Trading-log analysis of individual traders: microscopic kinetic theory for financial Brownian motion
3. 学会等名 Econophysics Colloquium 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa
2. 発表標題 Kinetic theory and Boltzmann equation for financial market microstructure
3. 学会等名 Conference on Complex Systems 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤輝代士
2. 発表標題 実時系列データ解析に基づく外国為替市場トレーダーの戦略クラスタリング
3. 学会等名 第61回自動制御連合講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤輝代士
2. 発表標題 実データに基づく金融トレーダーの注文戦略分析
3. 学会等名 経済物理学とその周辺 : Data-driven Mathematical Science
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤輝代士、高安秀樹、高安美佐子
2. 発表標題 金融市場のボルツマン方程式の解析解と直接数値計算
3. 学会等名 日本物理学会 第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤輝代士
2. 発表標題 外国為替市場のトレーダー行動分析とエージェントモデル解析
3. 学会等名 情報処理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa
2. 発表標題 Agent-based model of FX traders and its theoretical and numerical solution
3. 学会等名 3rd Annual International Conference on High Frequency Exchange Rate Dynamics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金澤輝代土
2. 発表標題 データ解析に基づく金融市場のエージェントモデルとその解析解
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 末重拓己, 金澤輝代土, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 外国為替市場の個々のトレーダーの短期トレンドフォロー解析
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代土, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 金融市場のミクロモデルと平均場解析
3. 学会等名 日本物理学会第73回年次大会(2018年)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金澤輝代土, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 外国為替市場と統計物理学：マイクロデータ分析に基づく平均場理論
3. 学会等名 平成29年度 統数研共同研究集会「社会物理学の新展開」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa
2. 発表標題 Trajectory Analysis of High Frequency Traders: Ecology of Their Strategies
3. 学会等名 2nd Annual International Conference on High Frequency Exchange Rate Dynamics: Econophysics and Econometric Analysis Based on the EBS data sets (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代土, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 金融市場でのブラウン運動のミクロ構造: トレーダーの行動分析から平均場理論まで
3. 学会等名 経済物理学 2017 : 新たな領域との融合
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代土, 佐野友彦, Andrea Cairoli, Adrian Baule
2. 発表標題 非平衡状態の生物物理系における安定レヴィ過程の微視的導出
3. 学会等名 自動制御連合講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代土, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 外国為替市場の個々のトレーダのトラッキング解析: ミクロモデルの提案とその平均場理論
3. 学会等名 第19回 人工知能学会 金融情報学研究会 (SIG-FIN)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代士, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 外国為替市場のマイクロ動力学の分析: ミクロからマクロへ
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa, Takumi Sueshige, Hideki Takayasu, Misako Takayasu
2. 発表標題 Application of Molecular Kinetic Theory to Financial Brownian Motion
3. 学会等名 International Conference on High Frequency Exchange Rate Dynamics: Econophysics and Econometric Analysis Based on the EBS data sets (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa, Takumi Sueshige, Hideki Takayasu, Misako Takayasu
2. 発表標題 Application of the kinetic theory to reveal the non-Gaussianity in finance
3. 学会等名 ジャムドマターの非ガウスゆらぎとレオロジー (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代士, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 金融市場のブラウン運動のマイクロ導出の試み: 分子運動論の数理の応用
3. 学会等名 統計物理学懇談会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 金澤輝代士, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 多体確率過程論を用いた外国為替市場の記述
3. 学会等名 第59回自動制御連合講演会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 金澤輝代士, 末重拓己, 高安秀樹, 高安美佐子
2. 発表標題 外国為替市場のミクロ構造: データ解析からミクロ理論まで
3. 学会等名 異常拡散研究会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kiyoshi Kanazawa, Takumi Sueshige, Hideki Takayasu, Misako Takayasu
2. 発表標題 Kinetic description of the foreign exchange markets
3. 学会等名 ASIA-PACIFIC ECONOPHYSICS CONFERENCE 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Financial Brownian Motion https://physics.aps.org/synopsis-for/10.1103/PhysRevLett.120.138301</p> <p>Physicists Get to the Root of Randomness in Financ http://physicsbuzz.physicscentral.com/2018/04/physicists-get-to-root-of-randomness-in.html</p> <p>金融市場トレーダーの行動法則をボルツマン方程式で解明 http://www.iir.titech.ac.jp/2018/04/10/ttnews-70/</p> <p>金融市場トレーダーの行動法則をボルツマン方程式で解明 https://www.titech.ac.jp/news/2018/041137.html</p> <p>The statistical mechanics of currency exchange https://physicstoday.scitation.org/doi/10.1063/PT.6.1.20180423a/full/</p> <p>レヴィ・フライトと呼ばれる物質の異常拡散の微視的な仕組みを数理的に解明 ~ ブラウン運動とは異なる現実世界のランダムな拡散を理論化 ~ http://www.tsukuba.ac.jp/attention-research/p202003190100.html</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----