

2019年度助成分

■研究課題名

決済手段としての暗号通貨の取引ネットワーク構造と取引市場ダイナミクスの解明

研究代表者：

藤原義久 (兵庫県立大学・教授)

共同研究者：

岩下直行 (京都大学・教授)、**青山秀明** (京都大学・名誉教授)、

海蔵寺大成 (国際基督教大学・教授)、**PICHL, Lukas** (国際基督教大学・上級准教授 (2020年4月逝去))、

小野崎保 (立正大学・教授)、**井上寛康** (兵庫県立大学・教授)、**尹熙元** (株式会社 CMD FB・会社代表)

実施期間：2019年4月1日～2022年3月31日

【研究の概要】

<研究目的>

通貨の本質は信用取引を記録するための帳簿 (ledger) である。すべての経済活動は信用 (credit) を基盤とするから、通貨の流れと取引価格の決定についての研究は、信用取引としての決済システムという社会基盤として極めて重要である。これまで、通貨の流れを把握するということさえ、そのデータの入手困難さのため、ほぼ不可能であった。ところが、まったく新しい技術による暗号通貨が近年世界中で利用されており、これまでほぼ不可能であった通貨の流れや価格市場を大規模なデータに基づいて詳細に研究するための端緒が得られつつある。

本研究は、ビットコインを代表とする暗号通貨を対象として、それら決済および取引価格の大規模なデータを収集して、その詳細な情報に基づいて、ユーザー間の通貨流通の全体像、すなわち決済ネットワークの構造とその時間的な変化、ならびに取引価格のダイナミクスを解明する研究を行った。

<研究内容>

(1) 暗号通貨の大規模データベースの構築

暗号通貨のすべての決済データはブロックチェーンに累積して記録されているため、過去に行われた膨大な数の決済をすべて追跡することが可能である。また、暗号通貨は従来の通貨と取引市場を通じて取引されており、その取引価格も代表的な市場からデータを取得することができる。本研究では、ビットコインの全ブロックチェーンと取引価格のデータを収集し、そのデータベースを構築した。

(2) 決済ネットワークの解明

収集したデータに基づき、アドレス間から推定されるユーザー間決済を再構成した。このために、ユーザーをノード、決済の流れを向きのあるリンクとするグラフ構造を決済ネット

ワークとして定義して、その構造と時間変化を複雑ネットワーク科学の手法を用いて解析した。その結果、通貨の流れにおける上流・下流、強連結成分とその周辺の構造に関して、Helmholtz-Hodge-Kodaira 分解という数理的な手法を応用して、通貨の需要と供給の全体ならびに局所構造を明らかにすることができた。また、機械学習の解析手法である非負値行列分解 (Non-negative Matrix Factorization, NMF) ならびにそのベイズ推定という手法を確立して、主要な通貨の流れを同定して、重要ユーザーの活動を明らかにすることに成功した。

(3) 取引市場のダイナミクスの解明

暗号通貨の市場取引に関する収集データ（価格、取引量など）に基づき、価格変動の統計的特性を分析するための計量経済モデルを構築した。また、そのシミュレーションによる仮想的な為替レートと実際的な為替レートを比較し、共和分分析を用いて暗号通貨の市場の効率性 (market efficiency) を分析した。その結果、ビットコインと USD/EUR の為替レートには弱い市場の効率性が成立していることなどが分かった。さらに、(2) との関係について研究を進展させることができた (H. Aoyama, Y. Fujiwara et al. in preparation)。

<研究成果>

■国際会議共催

藤原・青山が京都大学総合生存学館、理化学研究所 iTHEMS らと共催で国際会議『Blockchain in Kyoto 2021』という暗号資産に関する国際会議を開催した（日程：2021年2月17-18日、場所：京都大学百周年時計台記念館）。欧米を含む招待講演者10名、一般講演者13名、登録参加者200名超と大変な盛況であった。その論文集を以下の査読付学術雑誌で発表した。

- Proceedings of Blockchain in Kyoto 2021 (BCK21), JPS Conference Proceedings, vol.36 (2021). ISBN: 978-4-89027-149-8 <<https://journals.jps.jp/doi/book/10.7566/BCK21>>

■書籍発行

Springer Nature 出版社から書籍『Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets』を出版して、本プロジェクトメンバーのほとんどが執筆した論文を発表した。

- Lukas Pichl, Choljun Eom, Enrico Scalas, and Taisei Kaizoji (edited) (2020), Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets, Springer Nature Singapore Pte Ltd. ISBN: 978-981-15-4497-2 <<https://www.springer.com/gp/book/9789811544972>>

■出版論文

- Yoshi Fujiwara and Rubaiyat Islam (2021), "Bitcoin's Crypto Flow Network", JPS Conference Proceedings, vol.36, no.011002.
- Hideaki Aoyama (2021), "XRP Network and Proposal of Flow Index", JPS Conference Proceedings, vol.36, no.011003.
- Yoshi Fujiwara and Rubaiyat Islam (2020), "Hodge Decomposition of Bitcoin Money

Flow”, *Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets*, Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp.117-137

- Rubaiyat Islam, Yoshi Fujiwara, Shinya Kawata, and Hiwon Yoon, "Unfolding identity of financial institutions in bitcoin blockchain by weekly pattern of network flows", *Evolutionary and Institutional Economics Review*, in press (published on 22 July 2020)
- Cheoljun Eom, Taisei Kaizoji, Giacomo. Livan, and Enrico Scala, "Inherent Limitations of Portfolio Diversification through Fat Tails of the Return Distributions: An Empirical Evidence", *North American Journal of Economics and Finance*, 56,C (2021) 101358
- Lukas Pichl, Cheoljun Eom, Enrico Scalas and Taisei Kaizoji, (2020), "Financial Innovations and Blockchain Applications: New Digital Paradigms in Global Cybersociety", *Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets*, Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp.1-9.
- Takeshi Yoshihara, Tomoo Inoue, Taisei Kaizoji, (2020), "Time Series Analysis of Relationships among Crypto-asset Exchange Rates", *Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets*, Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp.139-162.
- Zheng Nana and Taisei Kaizoji (2020), The optimal foreign exchange futures hedge on the bitcoin exchange rate: an application to the U.S. dollar and the Euro, *Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets*, Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp.163-182.
- Lukas Pichl, Zheng Nan and Taisei Kaizoji, (2020), "Time Series Analysis of Ether Cryptocurrency Prices: Efficiency, Predictability, and Arbitrage on Exchange Rates", *Advanced Studies on Financial Technologies and Cryptocurrency Markets*, Springer Nature Singapore Pte Ltd., pp.183-196.
- Nan, Zheng, and Taisei Kaizoji (2019), Market efficiency of the bitcoin exchange rate: Weak and semi-strong form tests with the spot, futures and forward foreign exchange rates, *International Review of Financial Analysis* 2019, Volume 64, July 2019, pp.273-281
- Cheoljun Eom, Taisei Kaizoji, and Enrico Scalas (2019), Risk Characteristic of Fat-Tails in Return Distributions revisited: Evidence from the Korean stock market, *Physica A* 526 (2019) 12 1055.

■学位論文

- Rubaiyat Islam, "Crypto-currency Flow among Bitcoin Users: De-anonymization and Dynamics of Persistently-Active Big Players by Network Analysis", Ph.D. Thesis (指導教員：藤原義久、兵庫県立大学、2021年3月)

■その他、国際会議など発表多数

■研究課題名

中央銀行-民間経済主体間の対話とマクロ経済変動

研究代表者：

青木浩介 (東京大学大学院経済学研究科・教授)

共同研究者：

梶井厚志 (関西学院大学大学院経済学研究科・教授)、**宇井貴志** (一橋大学大学院経済学研究科・教授)、**渡辺努** (東京大学大学院経済学研究科・教授)、**水野貴之** (国立情報学研究所情報社会相関研究系・准教授)

実施期間：2018年4月1日～2022年3月1日

【研究の概要】

各国の中央銀行は1990年代後半から、インフレ目標の導入、政策決定後の記者会見や講演、議事録の開示など、政策に関する情報発信を積極的に行うようになった。この現象は「中央銀行の市場との対話」と呼ばれている。中央銀行と市場の対話は、金利がゼロに張りついてしまう「流動性の罠」の状況において特に重要性を増した。足元の政策金利の下げ余地が乏しくても、将来も緩和を続けると中央銀行が情報発信することにより人々の予想を変え、足元の景気を良くすることが可能である。これは「時間軸政策」、「forward guidance」と呼ばれる政策である。中央銀行の情報発信が実務的な重要性を増した一方で、中央銀行の情報発信に対する民間経済主体の関心と信認が形成される仕組みや、望ましい情報伝達の程度についてはコンセンサスが得られていない状況である。このような問題意識のもとで、本研究では、中央銀行の情報発信が民間経済主体にどのように理解・信認されるか、また、マクロ経済変動にどのように影響を与えるかということを理解し、中央銀行と民間経済主体の対話の望ましいあり方について考察することを目的とした。研究は理論・実証研究の双方から行なった。得られた主な結果は以下の通りである。

理論面では、家計と中央銀行のコミュニケーションの理論モデルを構築した。Aoki et al. (2019)では、物価は上がらないものだという家計の「物価感」の存在により、顧客離れを恐れる企業は生産費用が上昇しても価格に転嫁しにくいということを示した。また、インフレーションが低位安定している時ほど価格を上げたときの顧客離れの度合いが大きくなり、その結果として企業も価格を上げにくくなるということも示した。この枠組みのもとで、物価感に訴える中央銀行のコミュニケーション戦略を考察している。さらに、分析枠組みを発展させ、家計が中央銀行に注意を向ける度合いの決定要因を分析できるモデルを構築した。家計が中央銀行に向ける注意の度合いは、インフレが安定するほど小さくなることを示しており、中央銀行のコミュニケーションが難しいトレードオフに直面していることを示している。

実証面では、まず、消費者インフレ予想のサーベイを実施し、インフレ予想の形成メカニズムを分析した(Diamond et al. (2020))。主要な結果は、インフレ予想は各人が経験してき

たインフレ率に依存することである。今後インフレ経験のない世代が日本の中核を担う世代になることを踏まえると、デフレマインドの払拭はかなり難しいことを示唆している。この結果は政策担当者の注目を集め、例えば、IMFが2018年11月に発表した対日4条協議審査報告書でもこの研究成果が引用された（JAPAN：Staff Report for the 2018 Article IV Consultation, November 6, 2018）。また、パンデミック下での人々の行動変容（外出抑制など）について、スマホ位置情報データを用いた研究を行い、（1）人々は緊急事態宣言のような政府の「命令」に従って行動を変容させるわけではないこと、（2）人々は新規感染者数や死亡者数など感染に関する様々な「情報」を入手し、自発的に行動を変容させること、を示した（Yabu and Watanabe (2021a,b)）。この結果は、緊急時における政府の役割は、国民に「命令」することではなく、適時適切に「情報」を提供することであることを示唆しており、本プロジェクトの主題である「中銀・政府と民間の間のコミュニケーション」に重要な意味をもつ。

主要刊行論文

- Aoki, K., H. Ichiue, and T. Okuda (2019) “Consumers' Price Beliefs, Central Bank Communication, and Inflation Dynamics”, Bank of Japan Working Paper No. 19-E-14
- Diamond, J., K. Watanabe, and T. Watanabe, (2020) “The Formation of Consumer Inflation Expectations: New Evidence from Japan's Deflation Experience”, *International Economic Review*, 61(1), 241-281,
- Ishikawa, A., S. Fujimoto, and T. Mizuno (2019) “Statistical Law observed in Inactive Rate of Firms”. *Evolutionary and Institutional Economics Review*, 16(1), 201-212.
- Chatterji, S., and A. Kajii (2020) “Efficiency, Quality of Forecasts and Radner Equilibria.” Forthcoming in *Pure and Applied Functional Analysis* (ISSN 2189-3764 (ONLINE))
- Kajii, A., and S. Morris (2020) "Notes on Refinements and Higher Order Beliefs", *Japanese Economic Review* 71, 35-41.
- Ui, T. (2020). “The Lucas Imperfect Information Model with Imperfect Common Knowledge”. *Japanese Economic Review*.
- Yabu, T., and T. Watanabe (2021a) “Japan's Voluntary Lockdown.”, *PLoS ONE* 16(6): e0252468. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0252468>.
- Yabu, T., and T. Watanabe (2021b) “Japan's Voluntary Lockdown: Further Evidence Based on Age-Specific Mobile Location Data” *Japanese Economic Review*, 72(3), 333-370.

主要学会発表：

- 青木：日本金融学会中央銀行パネル「どの様に金融政策を教育すべきか、発信すべきか、理解すべきか」（神戸大学，2020年11月1日）
- 青木：“Consumers’ Price Expectations, Central Bank Communication, and Inflation Dynamics”

- Summer Workshop in Economic Theory 2019, 2019年8月3日、小樽（発表者は共著者の奥田達志）
- Computing in Economics and Finance, 25th Conference, 2019年6月28-30日、Carleton University、カナダ
- 宇井：“Imprecise Information and Second-Order beliefs,” (18th SAET Conference on Current Trends in Economics, Academia Sinica（台湾）、2018年6月11日-13日）
- 宇井：“Incomplete Information Robustness”, (The Econometric Society/Bocconi University World Congress, イタリア、2020年8月17-21日）
- 宇井：“LQG information design,” (The 30th International Conference on Game Theory, 2019年7月15-19日、アメリカ)
- 渡辺：“Compulsion vs. Moral Persuasion.” (ESRI International Roundtable on “Economy and Society after the Pandemic.” 2021年12月17日）.

最後に、2020年8月開催のSWET (Summer Workshop in Economic Theory) と2021年10月開催のSWEQ (September Workshop on Economics at Otaru 2021) に資金協力すると同時に、成果の一部を発表した。

2017年度助成分

■研究課題名

後悔回避、投資家感情と証券市場
——神経経済学のアプローチから

研究代表者：

秦 劫 (立命館大学・教授)

実施期間：2017年4月1日～2022年3月31日

【研究の概要】

1. Regret-CAPM: A Model of Regret and Asset Pricing. Jie Qin. *Journal of Banking and Finance* 114, 1-8, 2020

本稿は後悔が資産価格に与える影響を考察し、以下の結果が得た。まず、均衡において、リスク資産における期待収益率はその資産の「後悔ベータ」に比例する。後悔ベータは証券の投資家感情に影響される度合いを測り、均衡では証券市場が全体として正の「後悔プレミアム」を支払わなければならない。本稿のモデルは後悔ベータがクロス・セクション収益率に説明力を持つことを示唆している。また、現実の証券市場で観察されたフラット証券市場線 (Flat SML) やプレミアム・パズルなどの現象も説明できる。Regret-CAPM の理論的予測は Ballinari and Müller (2022) の実証研究に支持された。このモデルは後悔と資産価格評価に関して初めて閉式解を持つモデルであり、後悔がクロス・セクション収益率に与える影響を理解するための理論的枠組を提示した。

2. 「後悔理論と資産価格評価モデル」、秦劫、『立命館食科学研究』、5号、103 - 113 頁、2021

後悔は意思決定に強い影響を与える。投資家が後悔回避的である場合には、合理性を前提としたポートフォリオ選択理論や資産価格評価モデルが成立しない。そこで、近年では後悔理論に基づいて新しい資産価格評価モデルを構築する研究が始まっている。これらの研究は、後悔回避を CAPM、Arrow-Debreu 経済、逐次取引モデルなどに導入して、後悔が資産価格評価へ及ぼす影響を理論的に分析した点において、重要な成果を得た。また、プレミアム・パズル、フラット証券市場線、ホーム・バイアス、ハーディングなどの現象に対して、新しい理論的解釈を提供した。本稿は、関連する研究を観望しつつ、後悔関数、反実仮想選択、後悔回避度、価格評価式などに関する理論的な課題を整理した。

3. Counterfactual Thinking, Trading, and Market Inefficiency. Jie Qin. SSRN Working Paper (Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4103501>), 2022

本稿は、後悔回避下の2期間証券取引モデルを構築して、後悔回避が市場の効率性に与え

る影響を考察した。モデルでは、後悔回避的な投資家は証券市場でのポジションを決める際に、代替的投資先（例えば、不動産や暗号通貨など）とも比較して、後悔の最小化を図る。証券に関する内部情報を持つ合理的な投資家は期待効用が最大になるように注文量を決める。内部情報を持たない合理的な投資家は、市場価格から内部情報を部分的に読み取り、それに基づいて注文量を決める。本研究は証券の均衡価格を導出し、市場の情報効率性および流動性等を分析した。後悔回避の影響によって、証券市場の情報効率性が低くなり、流動性も低下することを示した。また、投資家たちの後悔回避度が高いほど、もしくは代替的投資先の変動性が高いほど、証券市場の情報効率性が低下することも示した。

なお、学会と研究会等で以下の研究報告を行った。

1. Regret-CAPM: A Model of Regret and Asset Pricing. The 12th International Conference on the Regional Innovation and Cooperation in Asia, Jinan University, Guangzhou, 2017/11/24
2. Regret-CAPM: A Model of Regret and Asset Pricing, 行動経済学会, 2017/12/09
3. Regret and Decision Making under Uncertainty. Fred Hutchinson Cancer Research Center, Seattle, 2018/4/17
4. Regret-based Capital Asset Pricing Model. 日本ファイナンス学会, 2019/6/22
5. Regret-based Capital Asset Pricing Model. 産経講演会, 早稲田大学, 2019/10/7
6. Emotion and Behavioral Economics: with a focus on regret, investor behavior, and asset pricing. 清華大学, 北京, 2021/09/19