

# 取引ネットワークの相関テンソルによる暗号資産の価格バーストの予測

—安心して使える暗号資産とデジタル経済の実現にむけて—

## 概要

暗号資産は、デジタル経済の時代に欠かせない存在となりつつあります。京都大学総合生存学館ソーシャルイノベーションセンター：ブロックチェーン研究領域では、理化学研究所などとの共同研究において、ネットワーク科学、位相幾何学、機械学習、量子論理などを駆使することによって、マネーロンダリングや詐欺などの異常事象の検出、価格バーストの予知を行う理論的研究に取り組んでいます。京都大学・大学院総合生存学館・池田裕一教授、同・アビジット・チャクラボルティ特定助教、理化学研究所・数理創造プログラム(iTHEMS)・初田哲男プログラムディレクター（東京大学名誉教授）の研究グループは、暗号資産の取引ネットワークに対応する相関テンソルのスペクトルを解析する新規手法を開発して、相関テンソルの最大特異値が暗号資産価格の価格と有意な負の相関を示すことを発見しました。この発見を用いて、価格バーストの早期指標を提供できる見通しを得ました。現在、今回の論文で解析した期間以外で開発手法が有効であることの確認を進めています。今後は、安心して使える暗号資産とデジタル経済の実現にむけた京都発の技術として、国内外の企業と力を合わせて本開発手法を実用化できるように取り組んでいきます。

本成果は、2023年3月22日に英国の国際学術誌「Scientific Reports」にオンライン掲載されました。

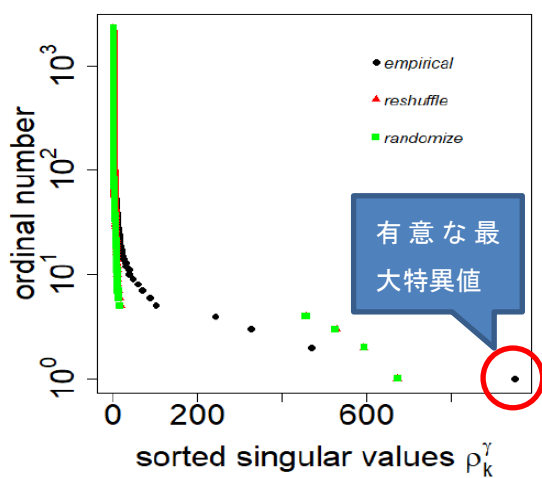


図1：取引ネットワークから、各ノードの埋め込みベクトルを得ることができます。ノード・ベクトルの集合から、相関テンソルを構築しました。相関テンソルを二重特異値分解し、その特異値のスペクトルを求めます。

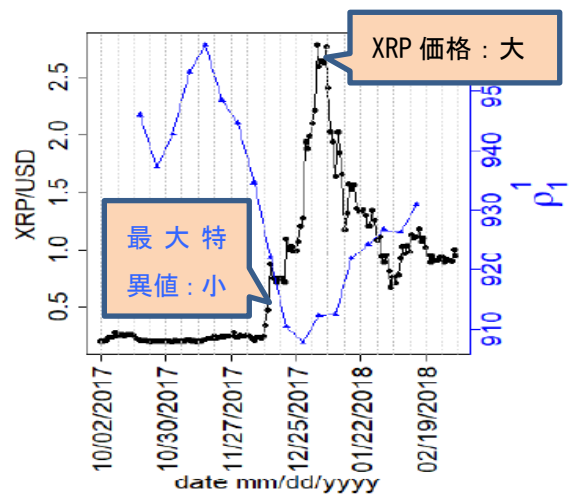


図2：有意な特異値は、ランダム化した埋め込みベクトルとの比較から判断できます。特異値の時間推移は、特徴的な挙動を示します。最大の特異値は、XRP 価格バーストと負の相関を示すことを発見しました。

## 1. 背景

日本では Society5.0 やデジタル田園都市構想（地方活性化）の取り組みが、政府を中心に進められています。また、米国の巨大 IT 企業は、web2 の次の技術として、ブロックチェーンを中核技術と位置付けた web3 を提唱しています。新しいデジタル経済の実現にはブロックチェーン技術が必須です。ブロックチェーン技術にもとづく分散台帳や暗号資産は、従来の経済システムを大きく変革する可能性があります。しかし、ブロックチェーンというと、価格暴騰する暗号資産への投機、マネーロンダリングや詐欺を思い浮かべ、ネガティブな印象を持つ人がいるかもしれません。しかし、欠点があるからといって大きい利点を逃すのは賢い考え方ではないと私たちは考えています。

京都大学総合生存学館ソーシャルイノベーションセンター：ブロックチェーン研究領域では、ネットワーク科学、位相幾何学、機械学習、量子論理などを駆使することによって、マネーロンダリングや詐欺などの異常事象の検出、価格バーストの予知を行う理論的研究に取り組んでいます。理論物理学や数学の力で欠点を抑え込み、ブロックチェーン技術に基づく分散台帳の利点をフルに生かして、「新たなデジタル経済システム」を作るための研究を進めています。

詳しくは、<https://blockchain.innovationkyoto.org/>をご覧ください。

## 2. 研究手法・成果

暗号資産は、デジタル経済時代に欠かせない存在となりつつあります。今回の研究において、暗号資産の取引ネットワークに対応する相関テンソルのスペクトルを解析する新規手法を開発して、相関テンソルの最大特異値が暗号資産価格と有意な負の相関を示すことを発見しました。

本研究では、時価総額の大きい暗号資産として XRP を取り上げました。個々の取引者のもつウォレット間の週次で全ての取引データを集約することで、有向重み付き取引ネットワークを構築します。そして、週次ネットワークを連続ベクトル空間に埋め込むことによって、各ノードのベクトル表現を得ます。次に、ノード・ベクトルの週次スナップショットの集合から、相関テンソルを構築します。この相関テンソルの二重特異値分解により、その特異値のスペクトルを求めることができます。ノード・ベクトルの時系列をランダム化して得られるランダムテンソルと比較することにより、特異値の時間推移についての特徴的な挙動を調べました。この比較から、最大特異値が XRP 価格の時間推移の大部分の情報をもつこと、この最大特異値が XRP 価格と有意な負の相関を示すことを発見しました。この発見を用いて、価格バーストの早期指標を提供できる見通しを得ました。

## 3. 波及効果、今後の予定

ランダム行列理論を株式のポートフォリオ管理に適用した画期的な研究について、約 20 年まえに、米国と仏国の研究グループから同時に二つの論文が出版されました。今回の我々の論文では、暗号資産の取引情報がブロックチェーンに記録公開されている点に着目して、ランダム行列ではなく「ランダムテンソル」の理論を構築しました。取引ネットワークに対応する相関テンソルのスペクトルの新規手法を開発して、暗号資産の価格バーストの早期指標を提供できることが分かりました。現在、今回の論文で解析した期間以外で開発手法が有効であることの確認を進めています。並行して、暗号資産取引における異常事象の検出を行う米国のスタートアップ企業との協業にむけて協議を重ねています。安心して使える暗号資産とデジタル経済の実現にむけた京都発の技術として実用化できるように取り組んでいきます。

#### 4. 研究プロジェクトについて

(1) 研究グループの各メンバーの寄与は、次のとおりです。池田が、オリジナルの概念設計を行いました。初田は、二重特異値分解を定式化しました。チャクラボルティは、データを解析し原稿を執筆しました。著者全員が、結果について議論し、原稿完成に貢献して、最終原稿を確認しました。

(2) 本研究は、次の研究費によってサポートいただきました。

- ・米国 Ripple Lab. Inc Ripple Impact Fund 2022-247584 (5855)
- ・理研-京大共同研究 「数理学を軸とする分野横断的手法による社会科学と自然科学の統合的解明と新たな数理手法の開発」

#### <用語解説>

(1) デジタル経済 Web 3は「読む／書く／所有する」を特徴とする。IT 技術をつかった「所有」がデジタル経済の根幹をなし、あらゆる経済活動がブロックチェーンの分散台帳技術をつかって変革される。

(2) 異常事象 マネーロンダリング、裁定取引、詐欺との関連が疑われる。大きい価格変動を引き起こす。

(3) 取引ネットワーク 全ての二者間の資産の売買記録を一定期間集めて、ネットワーク表示したもの。

(4) 相関テンソル 相関行列を高次元に拡張したもの。本研究の相関テンソルは4次元である。

(5) 特異値 正方行列を特徴づける量として固有値がある。特異値は矩形行列における対応概念である。

(6) 負の相関 一方の変数が大きく（小さく）なると、他方の変数が小さく（大きく）なる関係性のこと。

(7) 価格バースト 暗号資産の価値は乱高下を繰り返している。価格の急上昇を価格バーストとよぶ。

#### <研究者のコメント>

ブロックチェーン技術は、(1) 難民のための医療サービス用デジタル ID、(2) 再生可能エネルギー・水素などの脱炭素エネルギーの取引、(3) 低手数料で差別のない国際送金、(4) サプライチェーンや商品市場などの管理、などのグローバル問題の解決策を提供するための基盤技術として有望です。そのためには、暗号資産の価格が安定していること、取引速度が速いことなどが必要です。また、マネーロンダリングや詐欺などの異常事象を事前に検知できなければなりません。このような研究を通して、ブロックチェーンを使ってデジタル田園都市構想を世界展開する仲間を求めます。ご参画いただける企業の方からのご連絡をお待ちしています。

#### <論文タイトルと著者>

タイトル：Projecting XRP price burst by correlation tensor spectra of transaction networks

(取引ネットワークの相関テンソルスペクトラによる暗号資産 XRP の価格バーストの予測)

著者：Abhijit Chakraborty、Tetsuo Hatsuda & Yuichi Ikeda

掲載誌：Scientific Reports

DOI：https://doi.org/10.1038/s41598-023-31881-5

<イメージ図>

図1：取引ネットワークから、各ノードの埋め込みベクトルを得ることができます。ノード・ベクトルの集合から、相関テンソルを構築しました。相関テンソルを二重特異値分解し、その特異値のスペクトルを求めます。

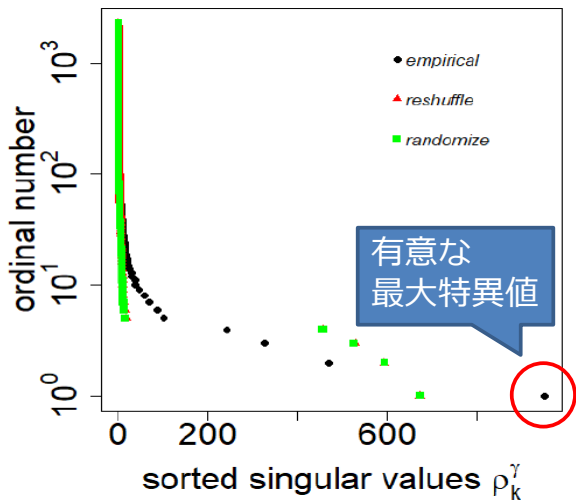


図2：有意な特異値は、ランダム化した埋め込みベクトルとの比較から判断できます。特異値の時間推移は、特徴的な挙動を示します。最大の特異値は、XRP価格バーストと負の相関を示すことを発見しました。

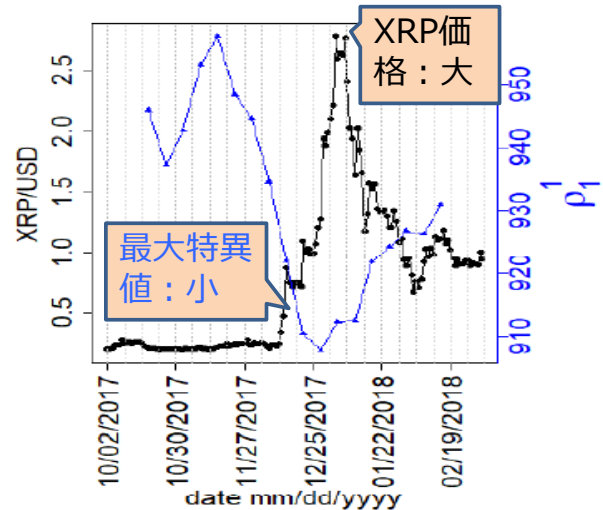


図3：取引ネットワークのコミュニティ構造は、XRP価格バースト時に巨大コミュニティに収斂します。バースト前と後は、多数の小コミュニティに分かれます。

