

研究成果

#量子

本研究成果は論文掲載先である The Astrophysical Journal 誌から、以下の通り報道解禁設定があります。

TV・ラジオ・WEB・・・7月2日(水)午後3時(日本時間)

新聞・・・7月2日(水)夕刊(日本時間)

2025年7月2日

分野:自然科学系

キーワード:宇宙観測、X線観測、量子コンピュータ、機械学習、AI、SDGs

宇宙を読み解く新たな知性:

量子×AIで異常なエネルギー放射現象を発見

—X線宇宙観測データと量子機械学習の融合による世界初の成果—

【研究成果のポイント】

- ◆ 量子コンピュータ※¹と機械学習を組み合わせ構築した量子機械学習モデルのシミュレーションによる検証で、古典コンピュータ※²を用いた場合よりも多く、実際の宇宙の明るさの変化データから異常現象の候補を検出することに成功
- ◆ 将来的に、高性能な天文望遠鏡による膨大な宇宙の動画データからわずかな異常変動を自動で検出する手法が求められており、今回、量子コンピュータ技術に機械学習を取り入れることで効率的に異常現象を検出できることを実証
- ◆ 検知した宇宙での異常現象から宇宙の進化や物理現象などの解明に繋がる可能性だけでなく、量子機械学習の天文学分野への応用に向けた扉を開く成果

❖ 概要

大阪大学大学院理学研究科の川室太希助教、立教大学の山田真也准教授、酒井優輔さん(博士後期課程)、理化学研究所の長瀧重博主任研究員、松浦俊司上級研究員、東北大学の山田智史助教らによる研究グループは、欧州宇宙機関(ESA)が運用するX線天文衛星XMM-Newtonがこれまで約24年間にもわたり取得してきた大規模な宇宙のX線変動データから、量子コンピュータと機械学習を組み合わせた量子機械学習モデルを構築し適応することで、113件の異常なエネルギー(X線)放射現象を捉えることに成功しました。

近い将来、今以上に宇宙の変化を捉えるために膨大な量の動画データが取得されると考えられています。そこで、人類の予想を超えるような変動を見つけ、宇宙の多様性やいまだ隠れている物理現象といった神秘を解明するために、最先端の機械学習モデルの開発が活発に行われています。

そのような状況のなか、研究グループは、機械学習と量子コンピュータを組み合わせた量子機械学習の有用性をシミュレーションベースで模索するため、機械学習で用いられているLSTM(Long Short-term Memory)※³(長・短期記憶)と呼ばれるニューラルネットワークに量子回路を埋め込み、量子コンピュータで計算できるように整備し、明るさの異常変動の検出を行いました。その結果、古典コンピュータを用いた場合よりも多くの候補を特定することに成功しました。

本研究成果は、米国科学誌「The Astrophysical Journal」に、7月2日(水)15時(日本時間)に公開されます。

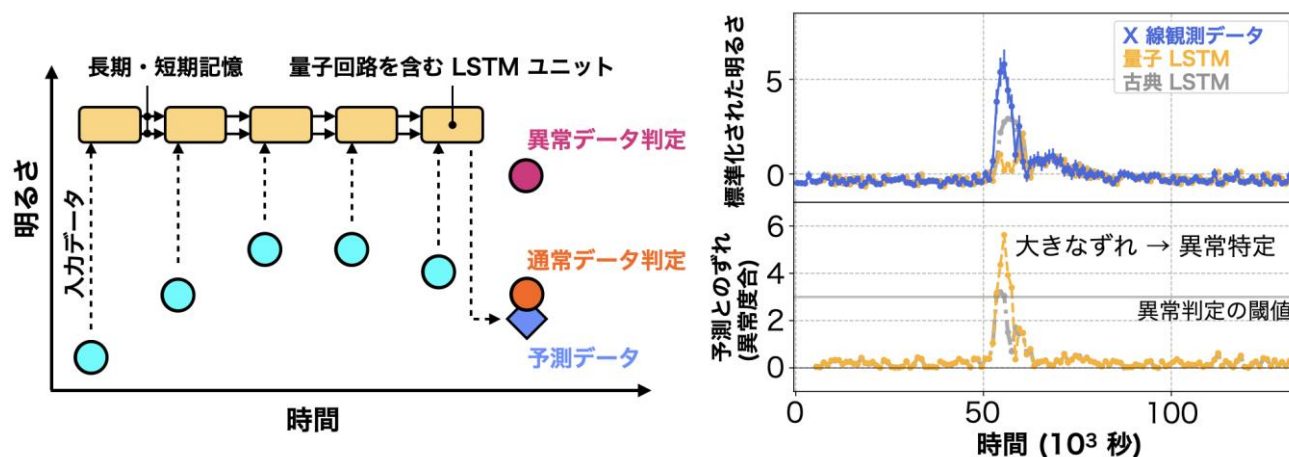


図 1

左図: 採用した量子 LSTM と異常な明るさの検知の概要。連綿と入力データを量子回路を内包した LSTM ユニットに送り、最終的に明るさを予測する(ひし形)。予測データよりも、ずれが小さい場合には通常データと判定(オレンジ丸)、ずれが大きい場合には異常現象と判定(赤紫丸)。

右図: 実際の X 線の明るさの変化に量子また古典 LSTM を適応した結果の一例。上パネルは、実際の観測データ、量子 LSTM の予測、そして古典 LSTM の予測を示している。下パネルは、観測データと予測のずれを示している。量子の方が、ずれ、または異常のシグナルが大きい。

【川室助教のコメント】

今回の研究では、異常な光度変動を自動で検出する量子機械学習モデルを構築し、実際の X 線宇宙観測データに適用したところ、古典コンピュータを用いた場合よりも多くの候補を検出できました。今回の宇宙の時間変化を捉えるという研究に留まらず、量子コンピュータの様々な天文データ解析への応用を考えていきたいです。

❖ 研究の背景

宇宙では日々、星の爆発、ブラックホール周辺の活動など、突発的な変動現象が起こっており、それらは宇宙の構造形成や極限下での物理を探るうえで重要な現象だと考えられています。また時に、研究者が予測していなかった変動現象も見つかっており、そのような異常現象を見つけることは宇宙の多様性といまだ隠れている物理現象といった神秘的解明に向けた最先端の研究にもなっています。そして将来、今以上に LSST(Large Synoptic Survey Telescope)^{※4}や NewAthena^{※5}といった最先端の天文望遠鏡によって、X 線を含む様々な光の波長で、より膨大な宇宙の時間変動を記録したデータが取得されると期待されています。そこで、取得されたデータから、わずかな異常変動を自動で検出する手法が求められており、これまでに機械学習の検討がされてきました。そのような状況下で、本研究では、機械学習に量子コンピュータの力を取り入れた「量子機械学習」の有用性を世界で初めてシミュレーションベースで検証しました。

❖ 研究の内容

研究グループでは、量子計算の仕組みを取り入れた機械学習手法「量子長短期記憶モデル(Quantum Long Short-term Memory; QLSTM)」を構築しました(図 1 左)。時刻と明るさのデータを、量子回路を埋め込んだユニットに連綿と入力することで、最終的に未来の明るさの予測を可能にします。そして、明るさの通常予測からのずれをもとに異常変動を検知することができます(図 1 右)。実際には量子コンピュータの実機ではなく、量子回路をシミュレーションする形で実装や有用性の検証を行いました。最後に、

訓練した量子機械学習モデルを欧州宇宙機関(ESA)の X 線天文衛星 XMM-Newton が取得した約 4 万件の光度曲線データに適用したところ、113 個の異常変動現象を検出でき、従来の古典的な LSTM モデルよりも多くの異常を捉えることに成功しました。検出された中には、星の爆発の瞬間やブラックホールからの準周期的な活動と思われるものもありました。

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本研究は、量子機械学習を宇宙の X 線観測データに対して世界で初めて適用し、その有用性を実証した成果です。この技術は、今後ますます重要となる「宇宙の時間変化」に着目する時代において、異常な天体現象を効率的に検出するための新しい礎になることが期待できます。さらに本研究は、量子計算技術を実際の天文データへ応用するという、これまでほぼ未踏だった領域に踏み込んだ成果であり、天文学における量子情報科学の本格的活用に向けた扉を開く画期的な一歩と位置づけられます。また、量子機械学習の天文データへの応用研究は、天文データの多様性と公開性の高さを活かして、さまざまな応用の可能性を考案し、実際に試すことが容易であるため、将来的に実社会の課題解決にもつながる技術が生まれてくることも期待されます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2025 年 7 月 2 日(水)15 時(日本時間)に米国科学誌「The Astrophysical Journal」(オンライン)に掲載されます。

タイトル: “Quantum Machine Learning for Identifying Transient Events in X-Ray Light Curves”

著者名: Taiki Kawamuro, Shinya Yamada, Shigehiro Nagataki, Shunji Matsuura, Yusuke Sakai, and Satoshi Yamada

DOI: <https://doi.org/10.3847/1538-4357/adda43>

なお、本研究は、科学研究費助成事業の一環として行われました(科研費番号 23K13153, 24K00673, 25H00675, 23K13154)。

❖ 用語説明

※1 量子コンピュータ

0 と 1 が重なり合った「重ね合わせ」状態を持つ量子ビットを使い、複数の計算を同時に進められる特性がある。

※2 古典コンピュータ

電気の有無を 0 か 1 で表し、その組み合わせで計算を行う。

※3 LSTM(Long Short-term Memory)

過去からの長期的な情報を保持しつつ、直近の情報も考慮することで未来を予測する能力があります。気象や株価データといった、時間変化するデータを扱うのに使われたりしています。

※4 LSST(Large Synoptic Survey Telescope)

チリで建設中の広視野光学赤外線望遠鏡で、紫外線から近赤外線まで感度があり、極めて広い視野（約満月 40 個分）を持つ。その広視野をもってして、望遠鏡から見える空に対して複数バンドの掃天観測を数夜で完了することができる。

※5 NewAthena

欧州宇宙機関（ESA）が主導の広視野 X 線カメラを乗せた次世代 X 線観測衛星。宇宙の高エネルギー現象の解明に大きく貢献することが期待されています。現存の XMM-Newton 衛星よりも広い視野（約満月 2 個分）と高い感度によって、より多数の変動天体をとらえられると期待されます。

❖ SDGs目標



❖ 参考 URL

川室太希助教 研究者総覧

<https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/3e0f66cedd0da895.html?k=%E5%B7%9D%E5%AE%A4>

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関するお問い合わせ>

大阪大学 大学院理学研究科 助教 川室 太希(かわむろ たいき)

TEL:06-6850-5476 FAX: 06-6850-5480

E-mail:kawamuro@ess.sci.osaka-u.ac.jp

<広報に関するお問い合わせ>

大阪大学 理学研究科 庶務係

TEL:06-6850-5280 FAX:06-6850-5288

E-mail:ri-syomu@office.osaka-u.ac.jp

プレスリリース時には、関連する機関の問い合わせ先も記載しておりますが、ホームページ掲載時は、本学理学研究科関係者のみ掲載としております。

❖ 発信先 報道機関

大阪大学から 大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

東北大学から 宮城県政記者会、東北電力記者クラブ