公立はこだて未来大学
FUTURE UNIVERSITY HAKODATE

PRESS RELEASE

公立はこだて未来大学　入試・広報・就職課
〒041-8655　函館市亀田中野町 116 番地 2
TEL 0138-34-6444　FAX 0138-34-6383
E-mail: pub@fun.ac.jp
URL: https://www.fun.ac.jp

量子ダイナミクスでディープラーニングを拡張

―複数の「専門家」ネットワークが量子軌道表現で予測を補正―

研究成果のポイント

・大規模言語モデルでも活用される混合エキスパート（※1）の考え方を取り入れ，学習済みのディープラーニングモデル（※2）の予測を量子軌道表現（※3）で補正する枠組みを構築しました。
・統合の方法や軌道の長さ，測定回数（※4）が予測精度に与える影響を要因別に検証し，量子軌道表現の寄与を体系的に評価しました。
・得られた知見は，量子機械学習（※5）における表現の統合に関する理解を深め，既存のモデルを生かす設計や，古典的な表現との比較を通じた有用性の評価に指針を与えます。

研究成果の概要

公立はこだて未来大学の島内宏和准教授は，複数の「専門家」ネットワークが量子ダイナミクスの軌道から得た特徴を用いて，ディープラーニングモデルの予測を補正する仕組みを構築しました。11 種のデータセットを用いたシミュレーションでは，同じ特徴を AI の入力に単純に追加すると平均予測精度が低下した一方，この仕組みでは元のモデルより平均予測精度が向上し，量子ダイナミクスの情報を生かすうえで「組み込み方」が重要であることを示しました。

（背景）

量子コンピュータの計算原理を機械学習に活用する「量子機械学習」の研究が進んでいます。その一つとして，入力データを量子状態に変換し，量子ダイナミクスから得られる情報を，分類や予測のための特徴として利用する方法があります。島内准教授はこれまでに，量子状態の変化の過程である「軌道」に沿って情報を取り出し，データを表現する枠組みを構築してきました。

こうした量子軌道表現を活用するには，表現を作るだけでなく，予測モデルにどう組み込むかが重要です。ディープラーニングモデルに新たな特徴を追加して学習させても，必ずしも予測精度が向上するとは限りません。そこで本研究では，既存のモデルを生かしながら量子軌道表現を取り入れる方法と，その表現が予測にどの程度役立つかを適切に評価する方法に着目しました。

（研究手法）

本研究では，学習済みのディープラーニングモデルを土台として残し，量子軌道表現を使って予測に

補正を加える仕組みを構築しました。まず，データを量子状態に変換し，量子ダイナミクスの軌道から特徴を取り出します。これらをグループに分け，それぞれを担当する「専門家」ネットワークに渡します。各専門家は，受け取った特徴から予測をどう補正するかを学び，その結果を組み合わせて元のモデルの予測に加えます。この仕組みには，複数の専門家を組み合わせる「混合エキスパート」と，元の出力に補正を加える「残差接続」の考え方を取り入れています。元のモデルは固定し，補正の強さをゼロから学習することで，学習開始時には元の予測をそのまま保ちます。モデルを選ぶ段階では，学習用とは別の検証用データで補正の効果を確かめ，補正を加えない選択もできるようにしました。

評価は，11 種のデータセットを用い，従来の計算機上で量子回路の動作を再現するシミュレーションを用いて行いました。特徴を入力に単純に追加する方法や，古典的な手法で作った特徴を使う方法と比較するとともに，モデルの規模をそろえた比較実験も行いました。さらに，データと量子軌道表現の対応を意図的に入れ替え，予測に役立つ情報が含まれているかを調べました。量子回路の計算を進める段階数や測定回数を変えた実験も行い，それらが予測精度に与える影響を検証しました。

（研究成果）

11 種のデータセットを用いたシミュレーションでは，量子軌道表現を入力に単純に追加した場合，検証したすべての軌道の長さで平均予測精度が低下しました。一方，今回構築した枠組みでは，元のモデルを上回る平均予測精度が得られました。データセットごとの精度の変化を，画像内のヒートマップに示します。改善の大きさはデータセットによって異なりますが，同じ量子軌道表現でも，モデルへの組み込み方によって結果が変わることが確認されました。

また，量子軌道表現を別のデータのものと入れ替えた場合と比較すると，正しい対応を保った場合の方が，測定によるばらつきのない理想条件では，3 種類の軌道の長さすべてで高い平均予測精度を示しました。この結果は，単に特徴の数やモデルの規模を増やすだけでなく，個々のデータに対応した量子軌道表現が予測に役立っていることを示しています。測定回数を有限にして，特徴にばらつきが生じる条件でも，元のモデルに対する平均予測精度の改善が見られました。ただし，この有限回の測定条件では，統計的に有意な改善が確認されたのは，一部の条件に限られました。なお，これらは理想的な測定のばらつきを再現したシミュレーションであり，量子実機の装置に由来する誤差への強さを確認したものではありません。今回の検証は，変数の少ない表形式データと短い量子回路，特定の予測モデルを対象としています。この範囲では，比較した古典的な表現に対する統計的に有意な優位性は確認されていません。今後は，データやモデル，量子回路の種類・規模を広げ，量子軌道表現が古典的な表現より有利になる条件があるかを検証する必要があります。本研究で構築した枠組みは，こうした比較評価の基盤となります。

（今後の展望）

本研究は，学習済みのモデルを生かしながら量子軌道表現を取り入れるための枠組みと，その有用性を評価する方法を示しました。今後は，対象とするデータやディープラーニングモデル，量子回路の種類を広げ，量子軌道表現がどのような課題や条件で予測の改善に役立つかを検証します。また，実際の量子コンピュータで生じる誤差を考慮した評価や実機での検証を通じて，量子計算とディープラーニングを組み合わせる手法の発展につなげていきます。

公立はこだて未来大学
FUTURE UNIVERSITY HAKODATE

論文発表の概要

研究論文名：Protected Residual Augmentation of Deep Neural Networks with Quantum Trajectory Features

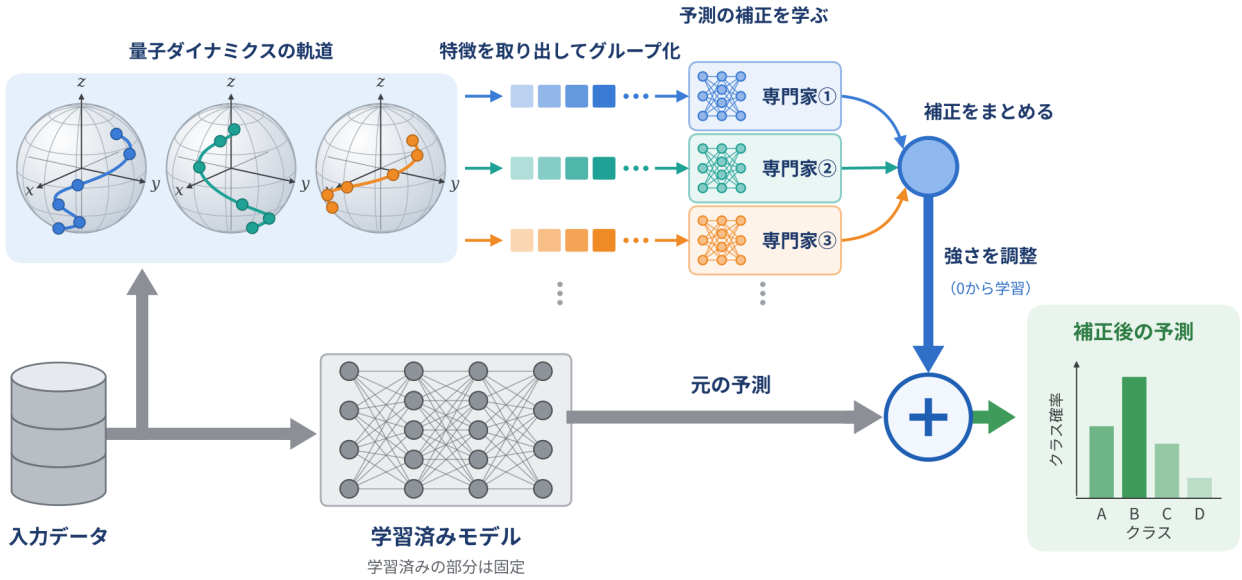
著者：島内 宏和（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

公表雑誌：IEEE Access（早期公開版），https://ieeexplore.ieee.org/document/11754951

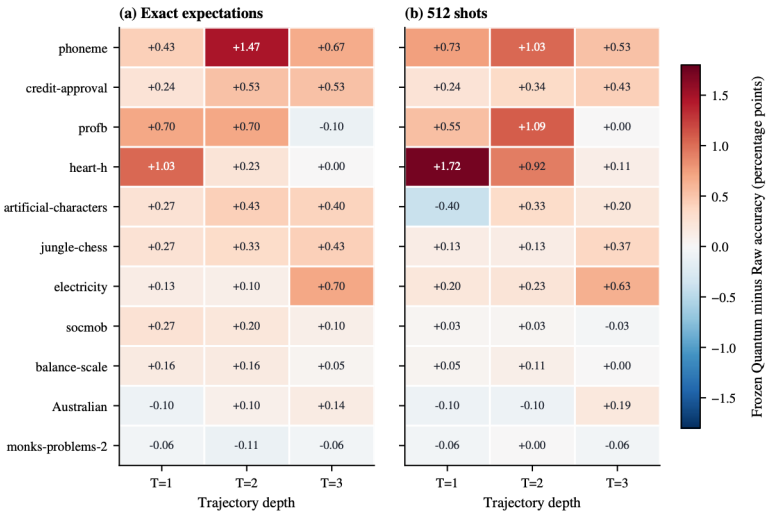
公表日：2026 年 10 月 27 日

画像

複数の「専門家」ネットワークが量子軌道表現で予測を補正



量子軌道表現による補正で，平均予測精度が向上



- ✓ 11 種のデータセットで，量子軌道表現による補正を加える前後の予測精度を比較
  - ➢ 赤は精度の向上，青は低下を表す。数値は元のモデルとの差（ポイント）。
- ✓ 効果はデータによって異なるが，測定に伴うばらつきを含む条件でも，11 種のデータセットの平均では精度が改善

［図表出典］上：本研究の内容をもとに作成した概念図。下：H. Shimauchi, Protected Residual Augmentation of Deep Neural Networks with Quantum Trajectory Features, IEEE Access, 早期公開版, 2026.

今後の展開：多様なデータ・回路や実機で，量子軌道表現が予測に役立つ条件を探る

【用語の解説】

※1 混合エキスパート：複数の「専門家」と呼ばれる小さなモデルの出力を組み合わせる仕組み。大規模言語モデルでは，入力に応じて専門家を選ぶ方式も用いられる。本研究では，量子軌道表現をグループに分けて各専門家に割り当て，それぞれが学んだ予測の補正を均等に平均する。

※2 ディープラーニングモデル：情報を処理する小さな単位を層状につないだ「ニューラルネットワーク」を用い，多くの層を通じてデータの特徴や予測の仕方を学ぶモデル。本研究では，あらかじめ学習したモデルを固定し，その予測に補正を加える。

※3 量子軌道表現：量子状態の変化の過程である「軌道」に沿って情報を取り出し，データの特徴としてまとめたもの。島内准教授の先行研究で構築した枠組みに基づく。本研究では，この表現を学習済みの予測モデルに組み込む方法を検証した。

※4 測定回数：量子状態の統計的な性質を推定するために，同じ条件で状態の準備と測定を繰り返す回数。回数が有限の場合，得られる特徴には統計的なばらつきが生じる。本研究では，このばらつきをシミュレーションで再現して評価した。

※5 量子機械学習：量子コンピュータの計算原理を機械学習に活用する研究分野。量子回路から得られる特徴を従来の計算機上の予測モデルと組み合わせる方法などがある。

お問い合わせ先

所属・職・氏名：公立はこだて未来大学　准教授　島内宏和
掲載する連絡先（　□　TEL　□　FAX　☒　E-mail　☒　研究室ホームページ）
E-mail：simauti@fun.ac.jp
ホームページ：https://www.fun.ac.jp/faculty/shimauchi-hirokazu/