



TOHOKU
UNIVERSITY

平成 29 年 1 月 24 日

報道機関 各位

東北大学大学院情報科学研究科

最適化・機械学習に特化した量子計算技術の研究を加速 量子アニーリング方式の新規シミュレーション法の開発

【ポイント】

- 多くの候補から最善の選択を見つけ出す「最適化問題」に特化した計算を行う「量子アニーリング」という方法が注目を集めている。ほかにも「機械学習」での利用も盛んとなり世界各国で研究競争が始まっている。しかし、これまでのコンピュータとは全く異なる原理で動作しているため、シミュレーションをするためには多くの困難を伴っていた。
- 本研究成果により、「量子アニーリング」を研究するための新しいシミュレーション方法を発見。
- 量子コンピュータそのものの開発の後押しにとどまらず、新しいシミュレーション法を利用することで「最適化問題」や「機械学習」を駆使したサービスの多様化・高速化へつながると期待される。

【概要】

世界中で競争が進む人工知能の開発。その鍵を握るのは、大規模なデータ、そしてそのデータを処理するための高速な計算技術、またそれを実行するコンピュータです。そのような背景のもと、世界各国で専用のコンピュータを作る動きが加速しています。その一つの大きな動きが「**量子アニーリング** ^(注1)」という方法を利用した量子コンピュータです。

東北大学大学院情報科学研究科大関真之准教授らの研究グループは、高度な計算を行う量子アニーリングのシミュレーションを行う新規手法の開発に成功しました。

新しいハードウェアを作るためには、うまく動作しているのかを担保するためにシミュレーションによる検証を必要とします。しかし量子コンピュータは、これまでのコンピュータとは全く異なる原理で動作しているため、その全容をシミュレーションするためには多くの困難を伴います。その一つの難しさが、異なる可能性を「重ね合わせる」ことのできる量子力学特有の性質を扱うというものです。

本研究成果では、この重ね合わせの状態を作り出すために利用される重要な「量子揺らぎ」について、これまで利用されてきた「横磁場」という設定法だけに止まらず、より広範囲の様々な量子揺らぎについてシミュレーションを可能にしました。

本研究成果により、量子コンピュータの開発の後押しにとどまらず、広く社会におけるサービスの多様化・高速化へつながると期待されます。

本研究の成果は2017年1月23日(月)19時(イギリス時間同日10時)Scientific Reports誌に掲載されます。

【量子アニーリングの概要】

名前に「量子」とあるように、私たちの日常的生活スケールに比べると非常に小さい原子や分子などの動きを決める量子力学による動作原理を利用します。量子力学特有の現象である「重ね合わせ」の状態を利用することで、量子アニーリングは、複数の可能性を同時に保持しながら最善の選択を見つけ出すことを得意とします。この重ね合わせの状態を作り出す方法は様々に提案されてきましたが、そのどれも重ね合わせの状態という概念が難解に感じられる通り、その研究自体も困難なものとなります。

量子アニーリングでは、上と下を向く小さな磁石（スピン）の性質を利用します。そこに横向きに磁場をかけることにより、「上向き、かつ、下向き」の磁石の状態を作り出して、どちらの向きを取れば磁石にとって最善の状態となるのかを探索します。この性質を巧みに利用して、現実の社会で有効な解決策を探る「最適化問題」の高速解法としようというのが量子アニーリングの発想です。最適化問題には配送経路の最適化、ポートフォリオの最適化、スケジュール管理の最適化などあらゆるサービスの効率化につながる多様な応用例があります。この磁石の上向き、下向きを配送経路の選択で言えば、この道を選ぶか選ばないか、に対応させます（図1）。

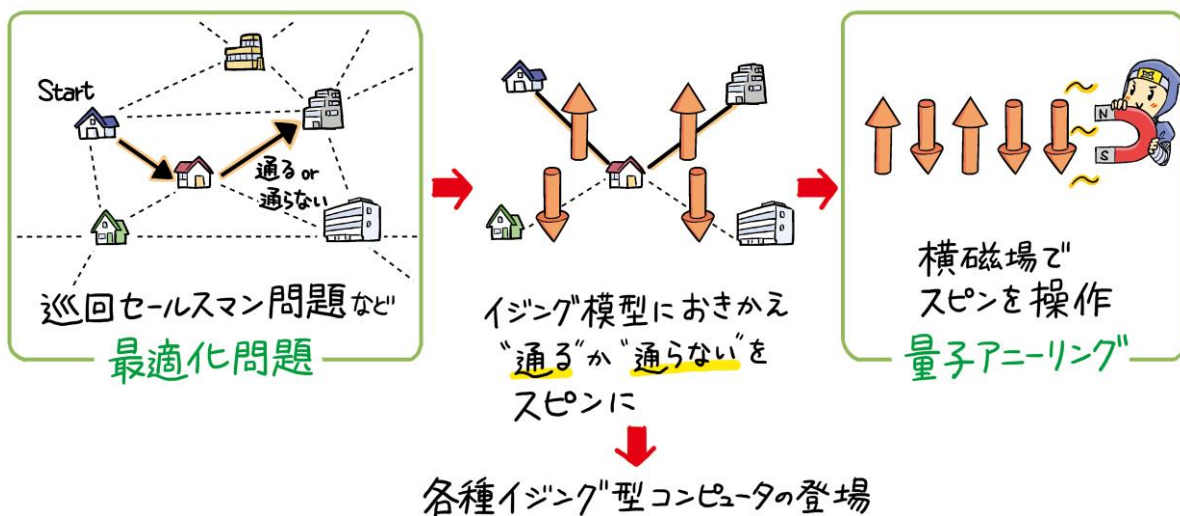


図1:最適化問題と量子アニーリング

この広範囲な応用例を持つ最適化問題を、磁石の性質を利用して高速に解こうというアイデアは、量子アニーリングに限らず広く利用されています。この小さな磁石の振る舞いを端的に表したイジング模型を巧みに利用する様子から、「イジング型コンピュータ」として世界各国で開発が進められています。

さらに最適化問題にとどまらず、最善の選択を求めていく過程で、どんなことが起こり得るかを調べ上げる「サンプリング」にも有効です。このサンプリング技術を利用することで、画像や音声などの多くのデータから私たちの身の回りの現象を真似するように設定をすることで、自動的に絵を描いたり、写真を作成したり、言語の生成をしたりするシステムを構築する機械学習への応用にも注目が集まっています（参考文献：[1]）。

【現状での課題】

量子アニーリングを用いる際には、最善の道を探すためにあらゆる可能性を探索するために、この「横向きの磁場」のかけ方が重要となります。この横向きの磁場の掛け方を通常とは異なる掛け方をすると、量子アニーリングの計算能力が飛躍的に向上することが指摘されていましたが、その実現に向けた研究を行う上で、効率的なシミュレーション方法が必要とされてきましたが、非常に困難なものと考えられてきました。そのため横磁場のかけ方についてはもっとも素朴な一様なものを利用するまでにとどまっていた（図2）。

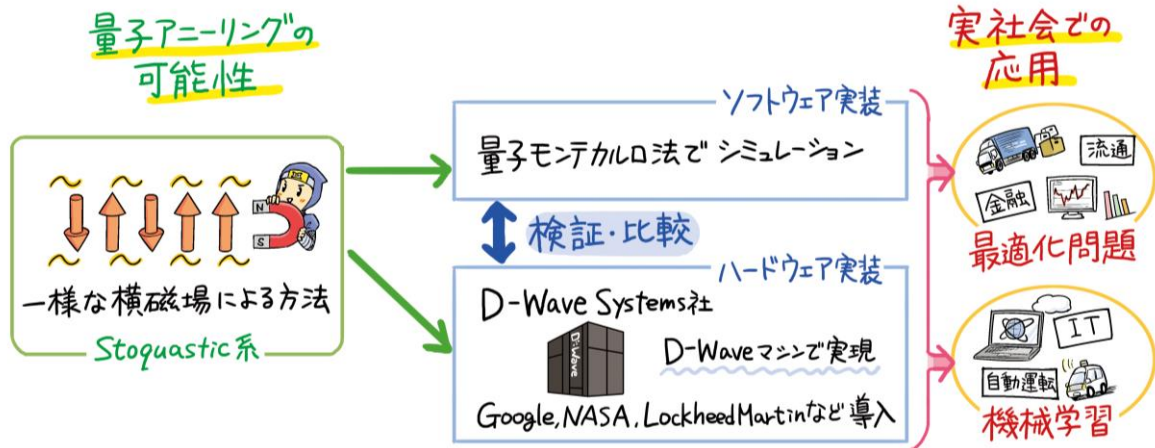


図2: 量子アニーリングの現状

【本研究成果の要点】

本研究では、この横向きの磁場の掛け方が通常と異なる場合について、効率的にシミュレーションをする方法である「適応的量子モンテカルロ法」を発明しました。この適応的量子モンテカルロ法では、シミュレーションをしたい問題設定の性質に合わせた数学的な計算を先にある程度進めることで、既存の方法ではシミュレーションの難しい点（負符号問題^(注2)）を回避することができ、横向きの磁場の掛け方を様々に変えた場合について、従来型のコンピュータ上でシミュレーションを可能にしました（図3）。

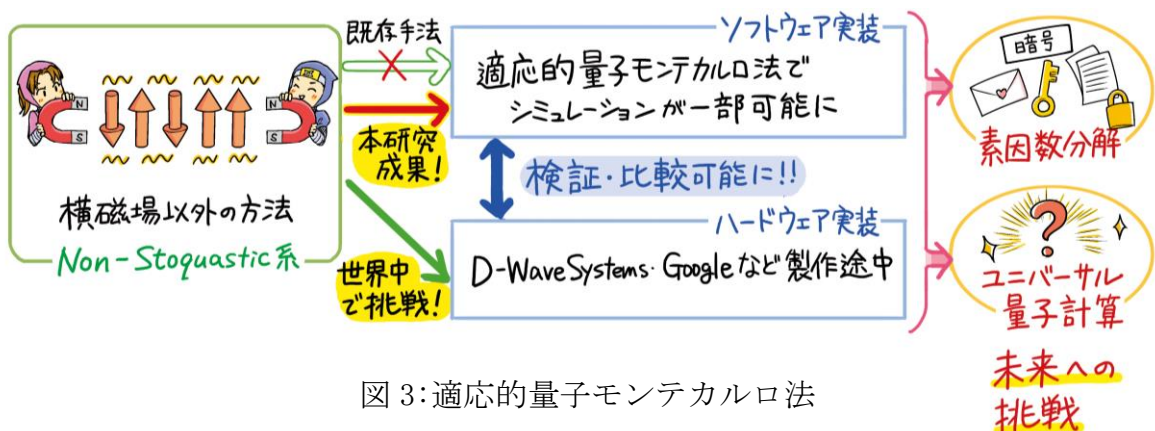


図3: 適応的量子モンテカルロ法

【今後の展望】

どんな場合にも、この方法が適用できるわけではありません。それは、我々が利用しているコンピュータに限界があるためです。現代のコンピュータでは非常に時間のかかる大きな数字に対する素因数分解や、量子コンピュータが自由自在に使えるようになった暁に人類が手にするユニバーサル量子計算など、本当に挑戦をするべき課題については、世界中で開発が進んでいる量子コンピュータの実現を必要とします。しかしその量子コンピュータが正しく動作しているのかを探る上で、従来型のコンピュータ上と量子コンピュータ上で計算を行い、両者の結果を対比することで、量子コンピュータが正しく動作しているかどうかの検証を重ねていく必要があります。その方法の一つが本研究成果です。

その意味で、本研究成果は、従来のコンピュータと量子コンピュータの間をつなぐ重要な研究成果と期待されます。

【研究費支援】

本研究は、科研費基盤研究(B)「量子アニーリングが拓く機械学習と計算技術の新時代」(研究代表者:大関真之、課題番号:15H03699)、基盤研究(B)「量子制御技術のための制御・量子・情報理論の融合」(研究代表者:津村幸治、課題番号:16H04382)、挑戦的萌芽研究「詳細釣り合いの破れが生み出す革新的機械学習アルゴリズム」(研究代表者:大関真之、課題番号:16K13849)の支援により行われたものです。

【論文情報】

TITLE : Quantum Monte Carlo simulation of a particular class of non-stoquastic Hamiltonians in quantum annealing

日本語タイトル : 量子アニーリングに現れる確率解釈困難な量子系の特別な場合に対する量子モンテカルロ法

著者 : 大関 真之 (東北大学大学院情報科学研究科応用情報科学専攻准教授)

掲載誌 : Scientific Reports

【語句説明】

(注1) 量子アニーリング

複数の異なる可能性を同時に保持できる量子力学特有の性質を利用することで、様々な可能性の中から最善の結果を見つけ出すことを得意とする計算手法。経路探索に利用される最適化問題への適用や、大量のデータとの適合度を探ることにより、人工知能の発展に寄与する機械学習にも利用されています。更なるアプリケーションの開発競争が世界各国で繰り広げられています。

(注2) 負符号問題

量子力学に基づく動作をこれまでに利用してきたコンピュータ上でシミュレートが容易なものを stoquastic 系 (確率解釈可能な量子系) と呼びます。これは、量子力学に従う動作を確率的な現象に対応させる量子モンテカルロ法によるシミュレーションが可能のためです。量子アニーリングにおいて、横向きの磁場を複雑なものに変えると、多くの例が nonstoquastic 系 (確率解釈困難な量子系) と呼ばれて、効率的なシミュレーションが難しいものとなります。その原因は、従来の方法をそのまま適用すると確率的な現象に対応させることが難しいためです。確率を表す部分に負符号 (マイナス) が生じてしまい、計算の精度が非常に悪くなるという問題があるためです。この問題を負符号問題と呼び、長年の間困難な問題とされてきました。

【参考文献】

- [1]量子コンピュータが人工知能を加速する 西森秀稔、大関真之著（日経 BP 社）
[2]Y. Seki and H. Nishimori: Phys. Rev. E 85, 051112 (2012)

問い合わせ先

（研究に関すること）

東北大学大学院情報科学研究科

担当 大関 真之

電話：022-795-5846

E-mail：mohzeki@tohoku.ac.jp