

【統一論題報告・要旨】

量子アニーリングが拓く機械学習と計算技術の新時代

田中 宗（早稲田大学高等研究所，科学技術振興機構さきがけ）

キーワード：量子アニーリング，組合せ最適化，自然計算，機械学習

近年，量子アニーリングと呼ばれる新しい計算技術が，学术界のみならず産業界からも大きな注目を集めている（西森・大関 [2016]，Tanaka, Tamura, and Chakrabarti [2017]）。量子アニーリングは，組合せ最適化問題を高速かつ高精度に処理すると期待されている計算技術の一つである。組合せ最適化問題は，「膨大な選択肢から最適な選択肢を探索する」と表現される一連の問題である。多くの従業員を抱える企業の最適なシフト計画や，セールスマンが多く場所へ営業に行く際の最適な経路を見つける問題である。組合せ最適化処理はデータの規模が大きくなるにつれて困難になることが知られている。組合せ最適化処理が必要となる場面は多様な業種に普遍的に内在するため，これを高速かつ高精度に実行する技術の発掘が重要になる。そのような背景を元に，量子アニーリングが注目を集めている。

量子アニーリングは物理学発祥の計算技術である。すなわち，物理学の概念を積極的に利用した計算手法である。解きたい組合せ最適化処理を物理学の理論モデルの一つであるイジングモデルに変換し，イジングモデルの振舞いを使って情報処理を行う。ここで用いた変換規則は，組合せ最適化処理の答えと，イジングモデルの安定状態を対応させることに相当しており，イ

ジングモデルの安定状態を得ることができれば，組合せ最適化処理の答えを得ることが出来るという仕組みである。このように自然現象を使った計算技術のことを一般に自然計算と呼ぶが，この量子アニーリングも自然計算の一種とみなすことが出来る。

自然計算の開発は，以前からなされてきた。いまや様々な場面で汎用的に用いられているシミュレーテッドアニーリング（Kirkpatrick, Gelatt, and Vecchi [1983]）と呼ばれる手法はその一つである。シミュレーテッドアニーリングは，温度による熱揺らぎ現象を模倣することにより，システムの安定状態を得る方法である。この熱揺らぎの代わりに，量子揺らぎと呼ばれる別のタイプの物理的な揺らぎを用いることで組合せ最適化処理を実行しようというのが量子アニーリングである（Kadowaki and Nishimori [1998]）。

2011年，量子アニーリングを物理現象として実行する商用の専用マシンD-WaveがD-Wave Systems社によって発表された。その後，2年おきにマシン性能を向上させており，今後も着実な進化が見込まれる計算技術と見る向きもある。現在では，海外企業だけでなく国内企業も試験的に利用している状況である。今すぐに，量子アニーリング専用マシンが他の計算技術に

比べて優勢である（もしくは、劣勢である）と即断することは出来ない状況であることは注意しなければならない。すなわち、量子アニーリングや類似の計算技術の研究開発を加速的に推進することにより、この技術がどのような場面で利用され得るかを詳細に検討する必要がある。

講演では、量子アニーリングの研究開発の現状とともに、私が入り組む量子アニーリング及び周辺類似技術に関する研究開発の現状を紹介した。更に、量子アニーリングや周辺類似技術の経営分析に対する利用可能性について議論した。私は現在、量子アニーリング及び周辺類似技術のハードウェア開発、ソフトウェア開発、アプリケーション探索の3つの柱を明確に意識し、研究開発を行っている。一例として、機械学習を量子アニーリングを用いて高速化する試みや、新エネルギー・産業技術総合開発機構「IoT推進のための横断技術開発プロジェクト」委託事業で進めている革新的アニーリングマシンに関する研究開発、更に国内の複数の企業との産学共同研究が挙げられる。

本講演で取り上げた研究内容の一部はそれぞれ、科学研究費助成事業（15K17720, 15H03699）、国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）さきがけ（JPMJPR1665）、並びに、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務の結果得られたものです。

（参考文献）

- Kadowaki, T., and Nishimori, H. (1998) "Quantum annealing in the transverse Ising model", Physical Review E, Vol. 58, November, pp. 5355-5363.
- Kirkpatrick S., Gelatt C. D., and Vecchi M. P. (1983) "Optimization by simulated annealing", Science, Vol. 220, May, pp. 671-680.
- Tanaka S., Tamura R., and Chakrabarti B. K. (2017)

"Quantum Spin Glasses, Annealing and Computation", Cambridge University Press.

西森秀稔, 大関真之 (2016) 『量子コンピュータが人工知能を加速する』日経BP。