



応用物理学会秋季学術講演会 注目講演プレスリリース

2022年 9月 14日

基調講演：スピングラスから量子アニーリングへ
From Spin Glass to Quantum Annealing

世界初の商用量子コンピューターと2021年のノーベル賞 どちらも、その原点はスピングラス研究から

西森 秀稔（東京工業大学 国際先駆研究機構 特任教授）

【発表概要】

- ・ 量子コンピューターに対する研究開発が進みつつある中、まもなく国産第1号機が登場すると見込まれている。
- ・ 期待が高まる一方で、短期的な成果を求める風潮に対する懸念もある。量子アニーリングの提唱者である西森秀稔特任教授は「量子の谷」を超える努力の必要性を指摘する。

量子コンピューターには、量子ゲート方式（※1）と量子アニーリング（※2）の2タイプがある。世界で初めて実用化された量子アニーリングの原理は、1998年に西森教授と門脇正史氏により提唱された。

西森教授は大学院時代から取り組んできたスピングラスの問題に量子力学を応用して、最適な状態を探索するという研究成果を「量子アニーリング」と題して発表した。スピングラスに関する研究は、量子アニーリングに加えて量子ゲート方式の量子コンピューターの基盤技術を支える側面も持っている。さらにスピングラスの理論の研究は、2021年のGiorgio Parisi氏のノーベル賞受賞にもつながった。

ただし量子コンピューターはまだ発展段階にあり、「量子の谷（※3）」を懸念する声も上がりつつある。日本でも量子科学技術の研究開発の急速な展開は始まったばかりであり、長期的な視野に立った基礎研究や教育に重点を置いた振興策が求められる。

【詳細】

量子コンピューターとノーベル賞につながったスピングラス研究

2011年に世界で初めて量子コンピューターを実用化したのは、カナダのD-Wave社である。組み合わせ最適化問題（※4）を解くために特化して開発された量子コンピューターは、西森教授らが提唱した量子アニーリングの考え方に基づいて設計されている。

西森教授は大学院時代からスピングラスの研究を続けており、その成果が量子アニーリングの提唱につながった。スピンとは、電子が自転に類した特性により磁性を持つ電磁石のような現象である。このスピンの向きが、ガラス中の分子の位置のようにランダムに凍結している状態をスピングラスと呼ぶ。スピングラスが発生するメカニズムを研究する中で、西森教授らは量子力学的な「ゆらぎ」の概念を最適化問題に適用するアイデアを思いつく。その研究成果が1998年に「量子アニーリング」の論文として発表されたのである。この理論が、組み合わせ最適化問題一般を高速かつ高精度に処理できる可能性を持つ計算技術として認知されるようになった。

スピングラス理論の研究は、物理学においても非常に注目されている分野である。2021年には、同理論に斬新な解析手法を導入したGiorgio Parisi氏が「原子スケールから天体スケールまでの物理系における無秩序と揺らぎの関連の発見」によりノーベル賞物理学賞を受賞している。

量子コンピューターには、量子アニーリングだけでなく量子ゲート方式がある。量子ゲート方式では理想的には大きな柔軟性を持つシステムが構築できるが、エラーの発生に対する対処が難しい。この問題の有力な解決法として知られているエラー訂正方式の解析にも、西森教授が大学院生時代に提出したスピングラスの理論が応用できることが分かっている。

量子コンピューターとして一歩先を行く量子アニーリング

量子アニーリングは、組み合わせ最適化問題とその応用としての量子シミュレーションのための計算技術である。実用化に関しては、企業の現場での実証実験などの実績においてももう一方の量子ゲート方式よりも先行している。

汎用化を目指す量子ゲート方式の開発には、GoogleやIBMなどの巨大IT企業を含めた多くのグループが取り組んでいるものの、ノイズの問題などをクリアするために最低少なくとも10年くらいは必要だろうとの見解が識者から出されている。理論的には量子ゲート

方式の有効性は証明されているが、実用化には乗り越えるべきハードルが多く残されている。

量子ゲート方式の量子コンピューターが実用的な社会課題を解決できるようになるためには、少なくとも100万個程度の量子ビットを持つシステムを構築して精密に制御する必要があると言われている。ところがそのためには、現状の超伝導技術の単純な延長線で対処しようとするとは体育館ほどの空間を10mK（ミリケルビン＝約−273°C）程度の超低温に冷やす必要がある。これは明らかに不可能な話である。何段階にもわたる画期的な技術の開発が必須であり、長期的な取り組みが求められる。すぐには派手な成果が出ない「量子の谷」とも呼ばれる困難な時期を乗り越える覚悟が必要とされる。

一方の量子アニーリングについては、すでに実証実験は数多く行われており、このレベルでは一定の成果を出している。ただ、今後の発展は、現実の社会課題について何らかの基準で従来手法よりずっと効率よく解を出せるかどうかにかかっている。これは簡単な話ではなく、「量子の谷」の一つと言えるだろう。

量子ゲート方式と量子アニーリングのいずれについても、日本では研究者の数が圧倒的に不足している。今後、世界をリードするレベルの研究を推進するためにはアメリカや中国並みの人材の厚みが必要であり、大学での学部教育の段階から量子科学技術に興味を持つ学生を育てる必要がある。若い人たちに広い視野を持ってもらうために、応用物理学会には様々な可能性を提示してほしい。

【注釈】

※1 量子ゲート方式

従来型のコンピューターにおいては「ビット」と呼ばれる、「0」か「1」いずれかの値を表すデジタル信号が使われる。これを「0」でもあり同時に「1」でもあるという“重ね合わせ”の状態を取る「量子ビット」に置き換えて演算していくのが量子コンピューターである。従来コンピューターに比べて、圧倒的な計算速度が期待されている。

※2 量子アニーリング

組み合わせ最適化問題の処理を高速かつ高精度に実行できることを目指す計算技術。1998年に門脇正史氏と西森秀稔教授によって理論的に提案された。

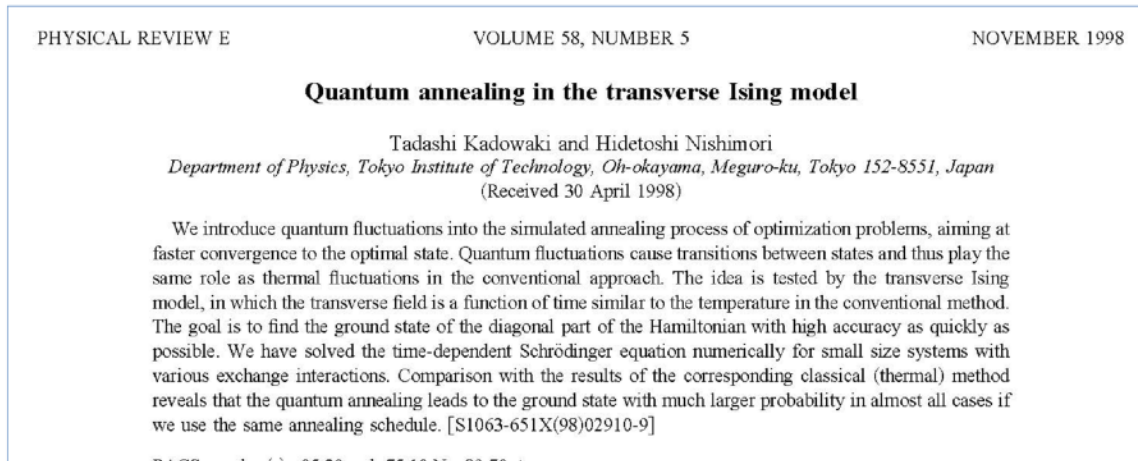
※3 量子の谷

量子ゲート方式、量子アニーリング共に、実用的な社会課題を高速で解決できるようになるまでには少なからぬ年月にわたる地道な研究開発が必要であり、この間、ややもすると過剰になりがちな社会からの期待に応えられない状態が続く可能性がある。この谷間の状態を超えられるかどうか、本格的な実用化のカギとなる。

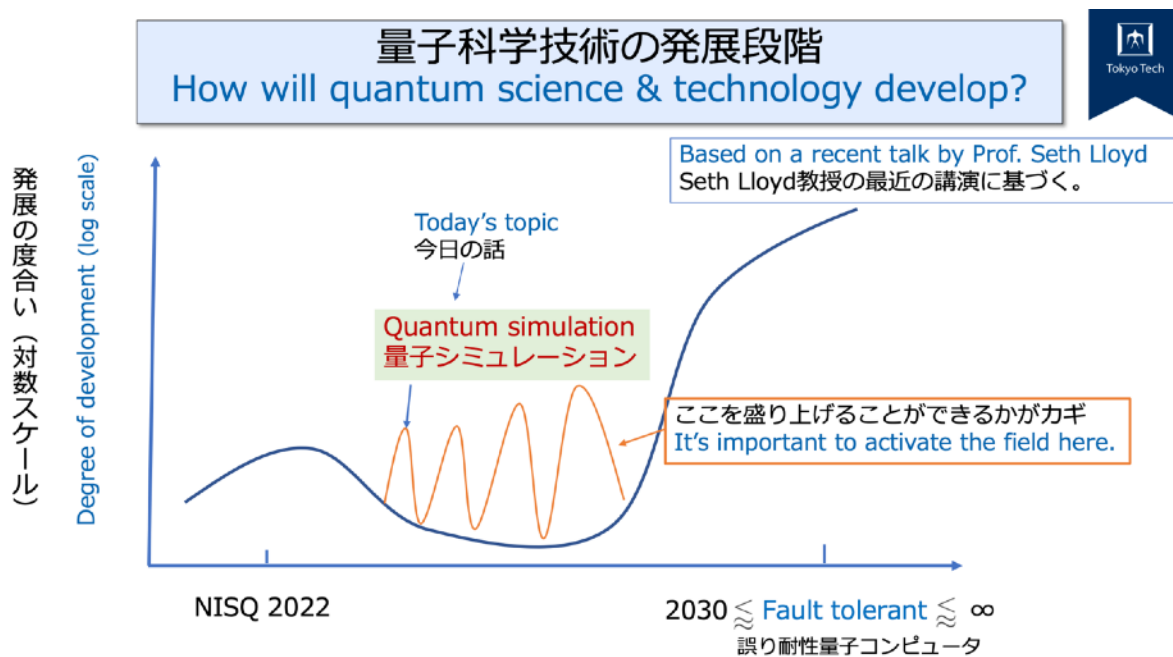
※4：組み合わせ最適化問題

与えられた条件を満たすような変数の組み合わせの中から、一番良いものを探し出す問題。

【図】



1998年にスピングラスの基底状態探索（理論物理の問題）の解決手段として、純粋に学問的な興味だけから考えて発表された西森教授らの論文。



量子化学技術の発展段階