

1

スパコンと比べても桁違いの実力！

量子スーパープレマシーの実現

21世紀初頭には物理学での偉大な発見が続ききました。素粒子論からのヒッグス粒子の発見や、一般相対性理論からの重力波の発見、などがあります。これらの大発見は20世紀に理論提案されていたものです(上図)。一方、21世紀の物理学の革新応用として、量子コンピュータでの「量子スーパープレマシー(量子超越性)」の実証があります。ネイチャー誌はライト兄弟による動力飛行機の初飛行になぞらえて、「量子コンピューティングが離陸する」とする解説記事も掲載しました。量子コンピュータのアイデアは1982年に米国の物理学者リチャード・ファインマンが提案し、英国の物理学者デイヴィッド・ドイチュにより計算モデルが考案されてきました。

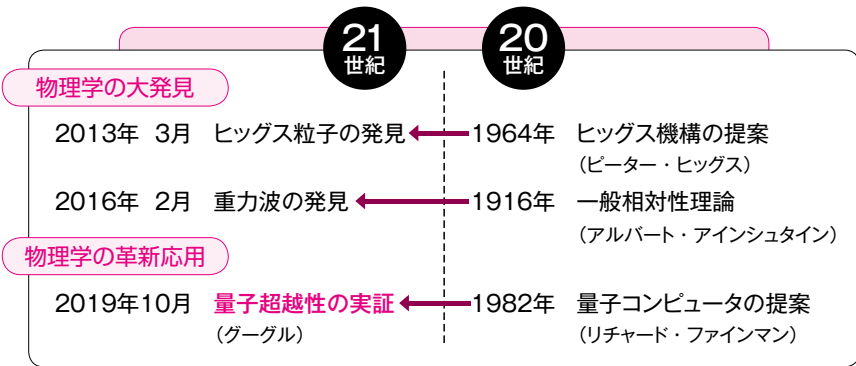
現代社会では、コンピュータは私たちの生活にはなくてはならない道具となっています。毎日みなさんが使っているスマホやPCはもとより、最近の家電製品や通勤・通学での電車や自動車にも、コンピュータが

機能的に組み込まれています。中型の汎用コンピュータ(汎コン)や超大型のスーパーコンピュータ(スパコン)も、さまざまな分野で利用されています。

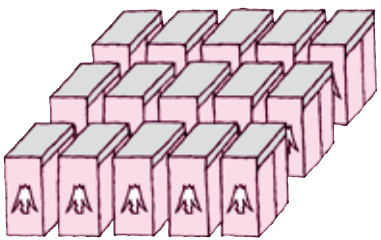
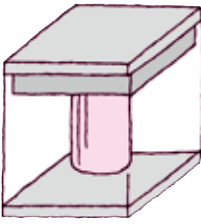
量子スーパープレマシー(量子超越性)とは、量子コンピュータがこれら従来型のコンピュータ(古典コンピュータと呼ばれます)を超えることです。2019年10月に、米国グーグル社が量子超越性を確認したとの論文が、学術雑誌ネイチャーに発表されました。現在の最先端のスパコンで計算すると約1万年かかる問題を、量子コンピュータでは3分20秒(200秒)で解いたとのことです。2020年12月には、中国での光子ビットによる量子超越もネイチャーに発表されています。

スパコンと量子コンピュータとの比較を下図にまとめました。現状ではスパコンは汎用並列化による大規模高速計算の実績は多々です。一方、量子コンピュータでは汎用化は未完成ですが、将来の超並列・小型化・省電力の可能性に期待が集まっています。

21世紀の物理学の大発見と革新応用



スパコンと量子コンピュータとの比較

	スパコン	量子コンピュータ
計算時間の比較	1万年(*)	200秒
装置	米国「サミット」 日本「富岳」(世界最速2020年6月) 	米国「シカモア」 米国「IBMQ」 カナダ「D-Wave」 
特長	現状 ◎既存技術で汎用並列化 ◎高度な大規模計算で実績大	◎組み合わせ最適化に特化(量子イジング方式) △汎用化は開発中で未完成(量子ゲート方式)
	将来 △大規模超並列では消費電力大で困難	◎超並列・小型化・消費電力小の可能性大

(*)これはグーグルの見積(量子コンピュータの15億倍)。IBMの見積もりは2日半(1000倍)。

要点BOX

- 物理学の革新応用としての量子コンピュータ
- 量子超越性の例として、スパコンで1万年の見積りの計算が量子コンピュータで200秒

2

世界のIT大企業や 国家が激突!

国家戦略としての夢の技術

現代社会では、さまざまな場面でコンピュータが活用されています。IoT(モノのインターネット)やロボット、AI(人工知能)、データマイニング(データからの知識発掘)など、大量の情報データの高速処理とその通信の安全性が必要となってきました。そのため、高速並列計算機と暗号通信が重要となってきており、企業や国家間での競争が激化しています。

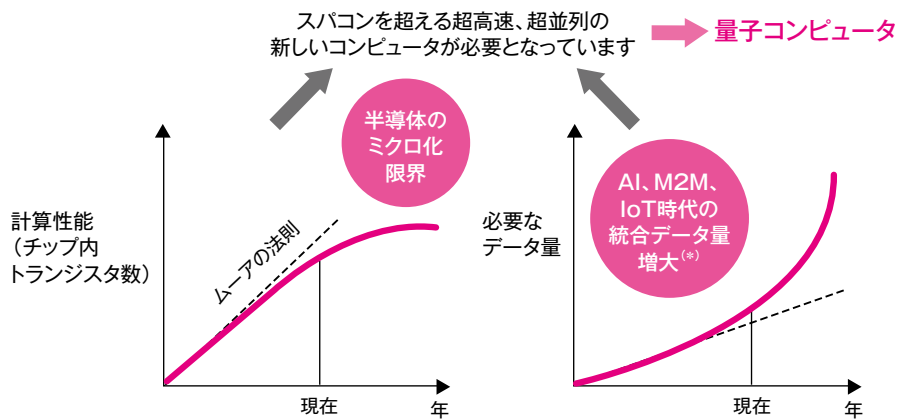
現在、国家の威信をかけて超大型コンピュータ(スパコン)の開発が進められており、国立研究所や大学での様々な研究に供されています。スパコンの更なる高速化・並列化の高性能化のためには、計算機のチップ(集積回路やマイクロプロセッサ)の更なる進展が必要です。チップの進展は、「ムーアの法則」で表され、集積密度は1年半から2年で倍増し、処理能力と小型化が指数関数的に進展すると考えられています(上図)。しかし、現在は集積度の限界に近づいており、その限界を超える新しいチップの概念が必要となってきて

います。

一方、AIやM2M(機械と機械との通信)やIoT(機械の他にモノとの通信を含む)の時代の現代では、処理が必要なデータ量が飛躍的に増大してきています。したがって、スパコンを超える超高速で並列の新しいコンピュータの出現が望まれています(上図)。それを実現するのが「量子技術」であり、その技術の中心にあるのが「量子コンピュータ」です。

世界中で国家や企業がこの量子コンピュータの開発にしのぎを削っています(下図)。各国の国立研究所や大学を中心として、国家技術戦略としてスパコンや量子コンピュータの開発競争が繰り広げられています。IT(情報技術)企業や金融機関では、通信や暗号に関連する量子技術の開発が進められています。そして、各国の主要大企業も幅広い産業応用のために、国際競争として量子コンピュータの開発・応用を進めています。

ムーアの法則の限界とデータ量の爆増



ムーアの法則として、チップの集積密度は1年半から2年で倍増し、処理能力と小型化が指数関数的に進展します。ただし、現在は限界に達しています。

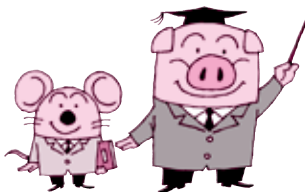
IT(情報技術)社会では、扱うデータ量が爆発的に増大しています。

(*) AI(Artificial Intelligence)人工知能
M2M(Machine to Machine)機械と機械
IoT(Internet of Things)モノのインターネット

量子コンピュータの開発と利用

夢の技術の実現のスタート

- 国家・国立研究所・大学
スパコンの性能の国際競争 → 高性能量子コンピュータの開発
- IT企業・金融機関
通信ネットワークの安全性確保 → 量子通信、量子暗号の開発
- 大企業
広い分野でのコンピュータ利用 → 量子コンピュータの産業利用



要点BOX

- 半導体チップの進展の限界と必要データ量の増大から、量子コンピュータに期待
- 国家戦略としての量子コンピュータ開発

3

2つの方式で新たな可能性が生まれている！

ゲート方式と
アニーリング方式

一言で量子コンピュータと言っても、様々な形態があります。特に、主要な方式として、「ゲート方式」と「アニーリング方式」とがあります。

古典コンピュータの並列化を量子論の原理を応用して、古典コンピュータの様に汎用的な計算機とするのが、「量子ゲートコンピュータ」です(上図)。英語のゲートは「門」の意味ですが、門をくぐると情報の単位としての「ビット」が変化することを意味しています。古典ゲートでは、入口で「0」または「1」のビットが、門をくぐると変化したりしなかったりで、「0」か「1」のいずれかになります。一方、量子コンピュータでは、計算の単位が「0」と「1」との重ね合わせの状態であり、量子ゲートを通ると重ね合わせの状態が変化します。そのような様々な門を通すことで、重ね合わせられた多様な状態(量子ビット)での並列計算が、瞬時にできることとなります。ただし、重なり合った状態は「観測」することができません。最初の入力は、古典ビッ

トと同じ確定値が使われ、最終的な結果も確定値しか観測できません。

一方、統計的で量子的なゆらぎをうまく利用して、最適化問題などを解く方法が「量子アニーリング」です。アニーリングとは「焼きなまし」の意味であり、熱した物質が徐々に冷えていく過程で安定な物質が作られていくことを意味しています。量子アニーリング型では、量子ゆらぎと量子トンネル効果によりエネルギーの低い領域に遷移する物理現象を利用します。これを古典回路で模擬したシミュレーテッド・アニーリング型もあります(下図)。

量子アニーリング方式ではすでに数千個の量子ビットを実現しており、組み合わせ最適化に適しているとされています。ただし、汎用計算はできません。一方、量子ゲート方式では、現在の量子ビット数は百程度ですが、将来の数百万程度のビットでエラー訂正可能な万能量子コンピュータをめざしています。

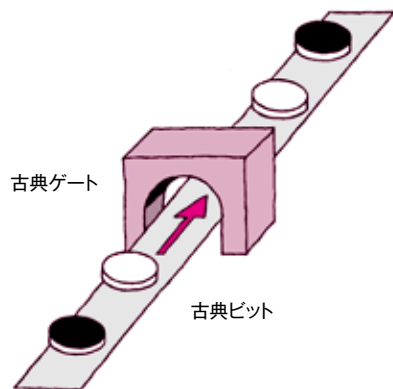
要点BOX

- ゲート方式は汎用の万能量子コンピュータ
- アニーリング方式は組み合わせ最適化問題に特化した量子コンピュータ

量子ゲートコンピュータのイメージ図

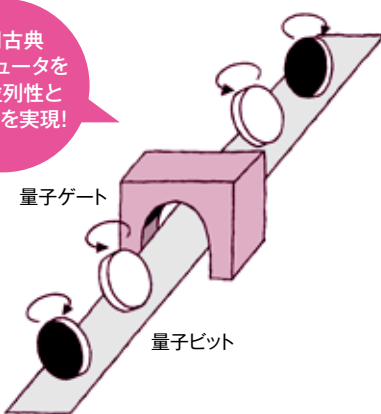
量子力学的な重ね合わせや量子もつれの原理により、超並列の計算が可能

古典コンピュータ



量子ゲートコンピュータ

汎用古典コンピュータを凌ぐ並列性と高速性を実現!

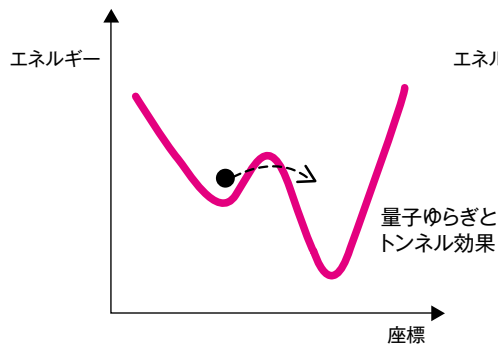


量子アニーリングコンピュータのイメージ図

量子論的ゆらぎ(量子アニーリング)により、また、古典的で統計力学的な熱のゆらぎ(シミュレーテッドアニーリング)により、エネルギー最小の状態への移行が可能

さまざまな最適化問題に有効

量子アニーリング型



シミュレーテッドアニーリング型

