

キヤノン財団リユニオン 2024

「量子テレポーテーションを用いた光量子コンピューター」

(Optical Quantum Computers with Quantum Teleportation)

東京大学大学院工学系研究科 教授

理化学研究所量子コンピュータ研究センター 副センター長

古澤 明様

私は東京大学と理化学研究所プラス OptQC の役員という 3 つポジションを持っていて、産官学すべての立ち位置でやっています。今日は、キヤノン財団から助成を受けた方々に対して、皆さんを勇気づけられるような話をしてくださいと言われたので、ちょっとノリノリでやっちゃいますけど勘弁してください。

< Caltech の量子コンピュータープロジェクト >

1997年、私は「QUIC プロジェクト」というアメリカで初めて量子コンピューターのプロジェクトができたときのオリジナルメンバーで、Jeff Kimble 先生のところでポストクミタいなことをしていて、Daniel Gottesman や量子超越性を唱えた John Preskill はみんな仲間でした。John はけっこうふざけたやつで、量子テレポーテーションの歌とかいうのを作って、美女と野獣の節でそれを歌って踊っていました。

それはともかく、QUIC プロジェクトはアメリカで最初の量子コンピューターのプロジェクトだったので、2つのことをテーマにしていました。一つは、John Preskill が唱えた「量子誤り訂正」という新しい概念で、量子誤り訂正すれば、誤り耐性が出るという内容です。誤り耐性閾値というのを提唱したのがこの John で、その学生だったダニエル・ゴッテスマンなど、そういう理論の話が一つの大きなグループでした。もう一つはこのボスだった Jeff が世界で初めて cavity-QED を使って CNOT ゲートをつくったというテーマで、それに基づいてこのプロジェクトが始まりました。

僕は幸いなことに、最初から参加していました。量子コンピューターを世界で初めて提案した人には諸説あるのですが、その一人の Richard Feynman は Caltech にいて、John は Richard Feynman を師としていました。若いころにそういう人たちにめぐり合ったので、すごく楽しかったです。こんなにレベルの高い人たちって、たぶんもう二度と会えないだろうなとそのときは思いましたけれども、案外、今のほうがレベルが高いんじゃないかと思っています。この QUIC プロジェクトで我々は Unconditional Quantum Teleportation というのをやりました。2022年のノーベル物理学賞をとった Anton Zeilinger たちの実験が成功したのを見て我々がこの Unconditional Quantum Teleportation の実験を始めたみたいなどころもあるのですが、Anton たちの Teleportation は conditional で非決定論的なものなので量子暗号くらいにしか使えない。しかし我々は後発なので完璧なものをやろうということで

Unconditional Quantum Teleportation にトライして成功し、今はそれを使って量子コンピューターを作っています。この Unconditional という、「条件付きではない、常に動いている」というのが重要で、それに世界で初めて成功したというのが我々です。



※1

< クレージーウィンドサーファー >

という堅苦しい話はさておき、実は、僕はクレージーウィンドサーファーでして、週2回くらいやっています。今日、特に風が吹いているので、この会がなかったら行っていたらと思うのですが、まあ、こんな感じで楽しくやっています。

そういうことばかり言っていたら、これは2023年4月23日の朝日新聞ですが、真面目な話は右のほうに少し載っているだけで、ウィンドサーフィンの話が大きく出てしまいました。

最初、量子コンピューターの取材がしたいということで、理化学研究所に見学に来られて取材を受けて、その写真は記事の右の小さな写真なんですけど、僕はこれが新聞にバンと出ると思っていました。が、その次に「ウィンドサーフィンやっていますのですね。鎌倉に取材に行きます」と言われて受けたら、なぜだか真面目な話は小さくなっていて、ウィンドサーフィンの話がこんなふうに。新聞一面なので、この写真はかなり大きいです。

< 『失敗する自由が超越を生む』 >

ロシア国営テレビに出たことがあります、それがこのニュースです。こういうのを自



※2

※3

慢しちゃいけないかもしれませんが、ロシア国営テレビ、Fox News、ABC、BBC など全世界のほとんどに出たことがありますが、でも日本では無名なんです。なぜだか、わかりになりますか？ ヒントはこの日付です。この頃って日本は3.11の直後で、マスコミの報道はすべて地震絡みあるいは原発のものしか

なかった。ですから、全世界が except for Japan だったのです。このころ海外に行くとテレビ局が空港まで来たという感じだったのですが、良かったのか悪かったのか…。

その他にもいろいろやっ
て、光の量子コンピューターは
いいものだというを宣伝しよ
うと本を出版しました。まあ
まあ、売れたんですけど、そ
れを読んだ真山仁さん、『ハ
ゲタカ』という小説を書いた
ベストセラー作家ですが、な
ぜか気に入って『失敗する自
由が超越を生む』という僕の
本を出してくれ



※4



※5

たり、さらに『タングル』という、僕が主人公みたいな小説を書いてくれました。映画化の話もあるんですけど、僕は東都大学工学部の早乙女ということで出ていて、これのラストシーンは驚津が出てきて投資してくれて会社ができる。僕、ちゃんと、そのとおりにやりました。別に真山さんのアイデアで起業したわけではなくて、それより前から起業するつもりだったので。今は小説以上の状況になっています。

<なぜ量子コンピューターをやらなければいけないのか>



OptQC という会社を9月に起業しました。もちろん、ユニコーンを目指しています。絶対なれると思っています。IBM、Google を倒すつもりで起業しました。

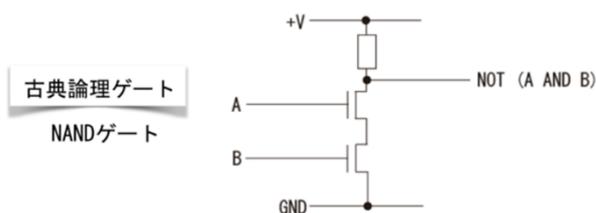
では、なぜ量子コンピューターをやらなきゃいけないのか? という話をしたいと思います。

もう10年以上前ですが、日本のメジャーな自動車会社の幹部が僕のところにやってきて、「いつ量子コンピューターできるんですか」と聞きに来ました。「なんで自動車会社の人があることを聞きにくるの?」と聞いたら、その人曰く「Google は自動車産業を支配しようとしている。それに対抗するためには自分たちで量子コンピューターをつくらなければだめなんだ」という話でした。『I, Robot』という映画をごらんになった方がどのくらいわかるかわからないですが、Google は『I, Robot』の世界をつくりたいのだと。どういう世界かというと、パブリックトランスポーテーションはオンデマンドで自動運転のタクシーで、電車やバスは走っていない。タクシーは自動運転かつ何万台も走るの、渋滞なくそれを制御して最適経路でお客さんを届ける世界を目指していると。Google ってそのころから自動運転をやっていますよね。自動運転そのものは大したことがないけれど、何万台も最適経路で走らせる能力は現在のスーパーコンピューターがどれだけ発展してもないだろうということで、Google は量子コンピューターを始めたそうです。量子コンピューターは未来

の自動車のキーテクノロジーであると。自動車産業って世界最大の産業なので、これを Google の傘下に入れるのを阻止したいということをおっしゃっていて、ふーんと思ったんですけどね。そういうこともあり、実は我々の量子コンピューターの方法を使ったスタートアップがカナダに7年前にできたので、僕は手伝いました。シリコンバレーの VC に電話して「我々の方式は IBM Q とか、全然メじゃないから、投資してよ」と。Xanadu という会社なんですけど、投資を受けて起業し、今ではユニコーンになっています。

なぜ、カナダだったか。日本は、まだ舶来主義なんですね。絶対やめたほうがいいと思うんですけど、日本で生まれたものは海外で生まれたものより下に見られる。なので、まずカナダで起業してユニコーンにして、頃合いを見て僕が起業しました。もちろん M&A するつもりです。でも、こんなの、本当は良くない。日本生まれのものをちゃんと育てるような環境をつくらなきゃいけないと思うんですけど、僕自身が非力だったのでとりあえず外国に会社をつくって成功させて、日本に投資を呼び込もうという戦略に出ました。それはうまくいきましたね。ここまではビジネスの話です。

では、なぜ量子コンピューターをやらなきゃいけないのかという話をもうちょっとしたいと思います。



釈迦に説法ですけど、今のコンピューターはこんな感じです。NAND ゲートというのですが、NOT と AND が連続して起こるような2つのトランジスタがあって、NAND ゲートのロジックは A と B の掛け算だから AND

ですね。A AND B それの否定 NOT。それで NAND ゲートと呼ぶのですが、 1×1 は 1 でその否定は 0 になる。それ以外は、AND は“掛ける”なので論理積。 1×0 や 0×1 、 0×0 は全部ゼロになるので、否定をとると 1 になるという、そういうゲートです。すべてのコンピューターはその NAND ゲートでできていて、NAND ゲートはトランジスタ 2 個でつくれる。これは FET というタイプのトランジスタですけど、A と B の両方に電圧がかかったときは導通してグラウンドに落ちるので、NAND ロジックになっている。それ以外のときは、必ずどちらかのトランジスタあるいは両方がオフになっているので、電源の電圧ができるという極めて単純な動作で、こんな単純な動作で皆さんのコンピューターあるいはスマホでもできているわけです。

これが諸悪の根源なんですね。なぜか？ それは、一回のロジック演算ごとに電流がザザッと流れているわけです。順方向に流れているのでエネルギーを消費しているというか、使い捨てなんです。たくさんのトランジスタがあって、クロックがギガヘルツなので 1 秒間に 10^9 乗回もそんなことをやっているものだからものすごいエネルギーを食うわけです。

量子論理ゲート

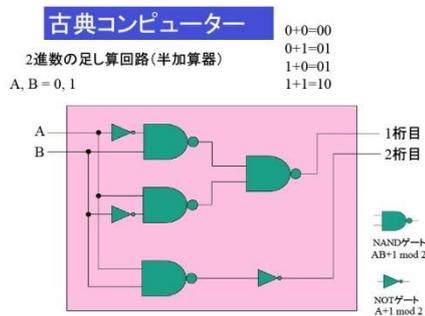
$$c_0|01\rangle + c_1|10\rangle \left\{ \begin{array}{c} \phi \\ \hline \end{array} \right\} c_0|01\rangle + c_1 e^{i\phi} |10\rangle$$

Z軸回り回転ゲート

量子演算は基本的にはユニタリ変換なので、情報の流れとエネルギーの方向が一致しているのですね。もちろん、完全には一致させると可逆変換で元に戻ってきてしまうのでエネル

ギーが少しは消費しないとだめなんですけど、いずれにしても圧倒的にエネルギーの消費が少ない。ある試算によると、地球上のエネルギー消費の半分はIT絡みになっているので、このままコンピューターを使い続けることは地球が滅亡するということです。あるいは、火星か、どこか別の星に人類は移住しなければいけない事態になると思います。私の趣味のウィンドサーフィンで言えば、風が吹いていない。風って海水温が低くて陸地の温度が上がっているから吹くわけです。ところが、海水温が上がりすぎたためにサーマルウインドが吹かなくなって、我々ウィンドサーファーはほんとに困っているんです。僕としても海水温を下げたいという、極めて自分勝手な理屈もあって、こういうITにかかるエネルギー消費をどうしても減らしたい。地球を救うためにはエネルギー消費の少ない演算をしなければいけない、量子コンピューターをやらなければいけない時代になっているのだと思います。

<量子コンピューターはアナログコンピューター>



ロジック回路では論理演算を使って、それこそ 1+1 とかを計算しなければいけない。さっきの NAND ゲートを使って 1 桁の足し算ー半加算器というのですが、半加算器はこうふうに作れます。これは NOT ゲートですけど、NOT ゲートは NAND ゲートの片側に常に 1 を入力すればいいので、電圧を上げてお

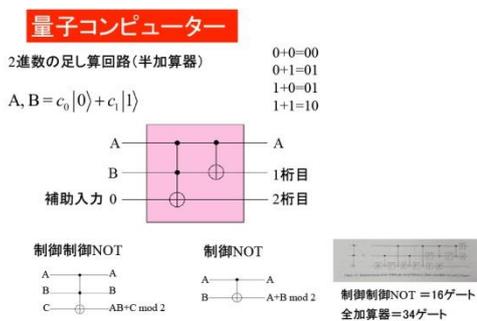
けば NAND ゲートと NOT ゲートは同じです。だから、半加算器を作るのに NAND ゲートは 7 ゲート必要になります。さらに悪いことに、半加算器って厄介なんです。1+1 が 10 というふうに桁上がりしなければいけないので、1 桁目だけを見ると 1+1 が 0 なんです。モジュロ 2 なので、2 で割った余りになる。これって極めて非線形な演算で、古典コンピューターではそんなに問題にならないですけど、これを量子コンピューターにしたときは極めて大きな問題になります。いずれにしても計算するためには半加算器を作らなければいけないので、半加算器が大量にあるのがコンピューターで、半加算器は NAND ゲートでつくられるという、そういうロジックです。

次に、量子コンピューターで同じように半加算器を作ったらどうなるか。古典コンピューターの場合は 0 か 1 だったわけですが、量子コンピューターの場合は、入力

がキュービットといって0と1の重ね合わせを許す。ここで、実は論理の飛躍があって、古典コンピューターは完璧なデジタルな計算なんですけど、重ね合わせを許している量子コンピューターは、実はアナログ計算です。量子情報とは、この c_0 と c_1 のことで、これは完全にアナログ値になっています。だからアナログコンピューターです。誤解されている方が多いですが、量子コンピューターはデジタルコンピューターじゃないんです。デジタルコンピューターでできないことがアナログだからできる、かつ重ね合わせがある。

なぜデジタルにしているかという、誤り訂正。僕が大学に入ったころってアナログコンピューターもあって、アナログのほうがむしろ性能が良かった時代がありました。でも、誤り訂正ができないので、ボロだったデジタルコンピューターしかなくなってしまったのが現在で、そのおかげでメチャメチャエネルギーがかかるようになってしまった。デジタルって、あまり良くないんですよ。例えば光通信を考えてください。光通信って、通信路は完全にアナログ処理です。デジタルやっているのは基地局だけで、通信路は完全に全部アナログです。それは、やっぱりエネルギー消費の問題と、誤り訂正は別に入り口と出口だけで済むので、そこにエネルギーをかけたくない。メンテナンスの問題もあって、デジタル機器は壊れやすいので、全部をデジタルにするとシステムが複雑になりすぎて話にならないと。

量子コンピューターも同じで、量子計算の本質は重ね合わせで加減乗除というかユニバーサルな演算ができるということだけなので、誤り訂正をとりあえず抜きにすればデジタルにする必要はないし、むしろ量子ビットにする必要なんてないと考えています。これ

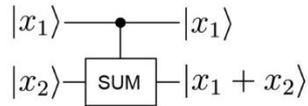


は量子コンピューターとしての半加算器ですけど、2ゲートで作られています。1つは制御制御 NOT、こことここが両方とも1だったときのみここを反転させるというゲートで、エンタングリングゲートとか、掛け算ゲートです。こんな感じで A と B の掛け算が計算できるゲートと、制御 NOT ゲートというのは制御制御 NOT ゲート

の一つに1—例えば A だけは常に1にしてあげよう。だから、制御制御 NOT がユニバーサルゲートになっていて、さっきの NAND ゲートの一つに1を入れ続けると NOT になるのと同じです。量子コンピューターを作るというのは、結局、この制御制御 NOT、トフォリゲートを作るということと等価です。ただ、この場合は、3入力3出力になっているのでごく複雑で、普通は2入力2出力と、1入力1出力のゲートのみで量子回路を作られるので、制御制御 NOT はそういうゲートが16ゲート必要になって、けっこう厄介なゲートで、全加算器を作るのに34ゲートも必要になります。

アナログ量子コンピューター

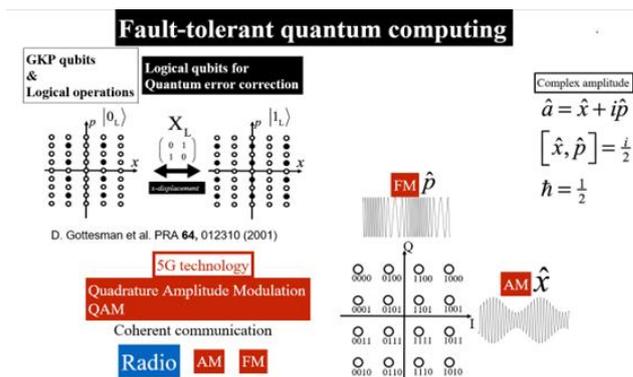
任意の桁数の足し算回路 $x_1 + x_2$



数の重ね合わせ=スクイーズド光

はカウントの仕方にもよりますが、SUM ゲートは半加算器で 34 ゲートなので、SUM ゲートは量子ビットの 34 ゲート分になります。全加算器にするとその倍になるので、かなりこれって省エネというか、ゲート数を減らせます。光でやるときは、そういうのを数の重ね合わせ状態としてスクイーズド光なるものを使うのですが、ちょっとこれは専門的になりすぎるので、このくらいにしておきます。

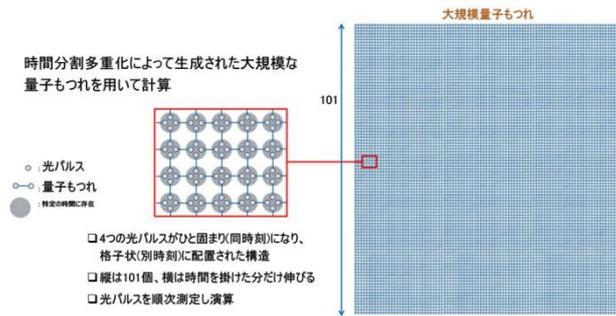
<光通信のテクノロジーを使う強み>



ところで、我々のこういう量子コンピューターは光通信のテクノロジーをそのまま輸入できます。全光通信に投入されているお金の規模が全量子コンピューターよりはるかに大きいということは、テクノロジーは日々生まれ、大量に優秀な人がいるわけです。我々は NTTさんと一緒にやっていますが、IBM やグーグルにはまったく負

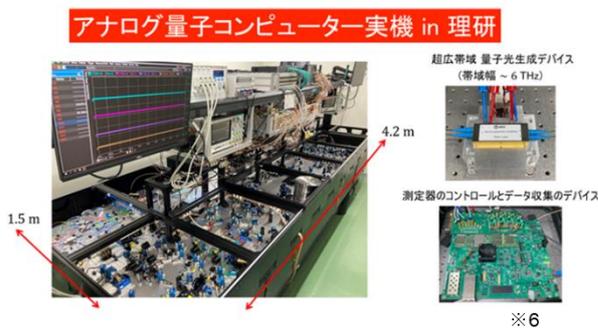
けないというか、怖くないです。その一端をちょっとだけ説明すると、ラジオには電波のキャリアを振幅変調する AM ラジオと周波数あるいは位相を変調して情報を載せる FM ラジオがありますが、光通信は AM と FM を同時にやっています。コヒーレント光通信というのですが、それを Quadrature Amplitude Modulation (QAM) と呼んでいます。64QAM とか 128QAM とかというのが世の中に出ていて、情報を送っています。光が弱い範囲になると QAM の重ね合わせ状態を作ることができるようになって、それが我々の量子情報というか、量子ビットになっていたりします。

そういうテクノロジーを使って、我々はアナログの量子コンピューターを理研に作って、それをクラウドでコントロールできるシステムを作りました。先々週、NTT フォーラム、R&D フォーラムで「量子コンピューターを動かします」と言って、NTT の武蔵野から理研のマシンをリモートでコントロールして、たわいもない計算なんですけど、3 桁の有効数字の足し算のデモをやったら、皆さん、とても喜んでくださいました。



実際には “大規模量子もつれ” なるものを作って計算をしているわけです。計算の方式には、ロジックゲートで計算をしていくと、**Lookup table** という入出力関係の表があって、こういう入力があったらこういうのを出力しなさいという

方法もあるわけで、我々の方式は **Lookup table** 式です。**Lookup table** というと、1つの演算しかできないように思えますが、我々の大規模量子もつれ状態というのは、すべての入出力関係の重ね合わせ状態になっていて、測定によってそのうちの1つを選ぶことができるので、ユニバーサルなマシンになっています。ただ、測定結果はランダムに出てくると計算もランダムになってしまうので、それを消すために **feedforward** なる、測定結果に基づいて隣のビットをいじるということをやっています、そうするとちゃんとエラーなく所定の計算ができる。その量子もつれを測定して、**feedforward** するというのは量子テレポーテーションそのものなので、僕がずっとやってきたことをそのままここに応用しています。



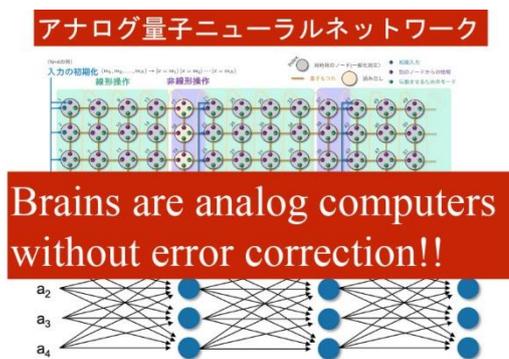
これが理研に作った量子コンピューターの実機です。これの特徴は、例えば 100 万入力とかにしても大きさは変わりません。コンピューターを作るといってチップを作るといふふうに、みんな、思うじゃないですか。僕も最初はそう思ったのですが、我々の方式は時間多重なので、それぞれのパルスを短くしてい

けばたくさん詰め込んでいけて、広帯域を使えばスペースは問題にはならない。もう一つ重要なのは、今、ASIC 作っているんです。「100GHz の ASIC 作りたい」と専門家に言ったら「そんなのできっこない」と言われましたが、今、黒田先生のご協力のもとに作っています。そもそも計算機って速くなきゃだめですよ。量子コンピューターをやっている人、みんな、黙っていますけど、今の量子コンピューターのクロックってメチャクチャとろいです。今のスーパーコンピューターのクロックって富岳でも 2 ギガです。どうして 2 ギガのロックで 2 ペタフロップスとかもっていくのかというと、べらぼうにコアを並べて並列計算しているからです。その代償としてべらぼうに電気を食うわけです。だから、Microsoft のデータセンターの横に原発をつくるとか、そういう洒落にならない話になっているわけです。

やっぱり、クロックを上げなければいけない。クロックを上げるためには光を使うしか

ない。電子信号ってしょせんマイクロ波のレベルなので、数十 GHz じゃないですか。そうすると、情報を乗つけられるって数 GHz です。だから、あらゆる意味で今のコンピューターって電気回路の際まで使っていて、いいところっているんですけど、これからは本当に地球を守り、かつちゃんとしたコンピューターを作りたいなら光になるしかない。光の周波数って 100THz を超えているので、処理としては 10THz くらい、載せられるわけです。10THz を超えるわけです。そうすると、今のコンピューターのクロックの 1 万倍になるので、1 万分の 1 の並列で済むので、エネルギー消費は 1 万分の 1 になるわけです。だから、絶対に光にしなければだめで、それを頑張っています。重要なのは、NTT さんの IOWN と一緒に、All-optical です。全光学式にするべきです。どこかにエレキを使ってしまうとそこが律速になってしまうので、全光学式に向かうべきです。通信はそっちに向かっているので、計算もそっちに向かうしか、地球を救うすべはないと思います。

<脳はアナログコンピューター>



ニューラルネットはやろうと思っています。そもそもニューラルネットワークって、甘利俊一先生が発明したと僕は今でも信じていて、甘利先生に習ったからというものあって、ぜひ借りを返したいと思っています。ニューラルネットワークというか、脳ってアナログコン

ピューターですよ。皆さんの頭の中は、全然、デジタルじゃないです、だからアナログでやるべきです。我々は、先ほどお見せしている大規模もつれ状態を使って、こういうニューラルネットワークを作って計算する。ポイントは省エネです。今って、イヌとネコを区別するのに原子力発電所が必要だという、そういうレベルじゃないですか。やっぱりイヌとネコを区別するにはお握り 1 個か、それ以下のエネルギーじゃないと意味がないですよ。『Brains are analog computers without error correction!!』。error correction なんて必要ないです。皆さんの脳、error correction していないですよ、まあ非線形の部分はあるけど。普通の計算でも実は誤り訂正必要じゃないということをおある条件のもとですけど発見して、Shor のアルゴリズムもアナログコンピューターでやろうというふうに今考えています。

<まとめ>

large scale で、Universal で、Fault tolerant でというのはあるのですけれども、ここまですべて普通の量子コンピューターなので、All-optical を目指しています。クロックを 10 テラまで上げる。今の量子コンピューターの問題点は、理論上もある特定の問題しか速く解けない。

そんなコンピューター、誰が買うんでしょうか、と言うと、いろいろな人からジロツと睨まれて大変ですけど。

やっぱりあらゆる問題で速いマシンが人類は必要なのだと思います。さらに省エネです。それを満たすのは、やっぱり我々の光量子コンピューターしかないと思って起業しました。
(拍手)

一質問・意見一

<カナダと日本で起業すること>

小早川 カナダに会社をつくってから日本につくったほうがよいというお話をされたのですが、カナダの会社と日本の会社というのはコンフリクトする関係なんですか。量子コンピューターなるものは2つでやるとより良いということなのですか。

古澤 ご質問ありがとうございます。僕の友人の Xanadu は理論家なんです。だから、ソフトウェアには強いんですけどハードウェアはからっきしで、ソフトウェアってハードウェアがないと意味がないので、いやいやハードウェアもやっているという状態です。とりあえず我々はハードウェアの会社をつくったので、そういう意味では協業していこうと思っています。ただ、まあ、飲み込もうとは思っています。

<日本でお金を集める意味>

生駒 久しぶりに難しい話を聞きました。理研でつくられたコンピューターのコンポーネントは何からできているんですか。

古澤 そのコアとなる部分は、NTT 製の量子光生成デバイス、スクイーズが4つ並んでいて、これで量子もつれを作っています。中身は PPLN の導波路です。

生駒 従来言っている量子コンピューターよりはずっと実用化に適しているようなものを考えているんだね。

古澤 はい、というか、もう実用化されたんです。

生駒 されたのね。私が現役のころ、半導体の会議で「量子コンピューター、いつ実用になりますか」って聞いたら、「まだ基礎研究やっているんだ」と答えられたんですね、1995、6年ごろ。

古澤 それから30年くらいたっていますからね。

生駒 そうか(笑)。

古澤 僕が QUIC プロジェクトに参加したころはそんな感じでした。

生駒 方式は全然違うみたいね。

古澤 テレポーテーションの方式ですね。計算機ってフルデジタルだと思っている人が多いんですけど、通信なんかデジタルで送っているけど通信路は完全にアナログなので、マシンはアナログで、情報だけデジタルにしてもいいわけですね。だから、アナログのほうが簡単なんだということに気がついたということですね。

生駒 通信に使えるから。

古澤 ええ、そうなんです。だから、テレポーテーションでやっているということは、通信みたいなものなので、通信応用の量子コンピューターみたいな感じですよ。だから、まったく新しい概念です。一応、その会社はカナダにあるんですけど、彼らはテクノロジーがないので、なぜだかチップに走ったんです。我々はチップなんか要らないというか、チップにすればその分いろいろなイヤなことが現れる。チップって真っ直ぐ走らせる分には理想的ですけど、回路を組むって曲げなきゃいけないじゃないですか。複雑な回路にすればするほど、アンコントロールになってしまうので、我々も 10 年間、テレポーテーションチップを NTT と一緒に研究をしたんですけど、諦めました。始めたときは、チップさえ作ればこれで研究は終わりだと思ったんですけど、地獄の始まりでした。チップにしちゃうと、どこも手を入れられない、という当たり前のことに気づきました。

チップを 10 年やって諦めて、今度はファイバーで作ろうとしたんですけど、ファイバーもやっぱり同じ問題が起きて。結局、光ファイバーって偏光保持ファイバーで 1 本のファイバーだけならもちろん偏光保持ができるんですけど、いろいろなデバイスが途中で当然入るわけじゃないですか。そうなったときに、それぞれの偏光の固有軸ってちょっとずつずれているんですよ。そういうところをつなげていくと、やっぱりカオスになってしまいう、という当たり前のことに気がついて、それを制御する方法はやっぱりないなと。

もう一つ重要なのは高速化するためにはパルスになっていくじゃないですか。そうするとファイバーの非線形分散って気になってくる。だから、高速化する上でもファイバーはあまり良くないなというので、結局、スタートに戻っていきました。

生駒 このベンチャーは幾ら集められたの？

古澤 それはちょっと企業秘密です (笑)。でも、あつという間にユニコーンになると思います。

あともう一つ、日本でお金を集めるというのはとても重要だと思っていました。シリコンバレーで Xanadu の資金調達に付き合ったんですけど、シリコンバレーで資金調達は数百億なんて簡単です。でも、日本で数百億集めるのってけっこう大変です。それを日本でやれないということは、新しい会社は日本につくれないということの意味するので、やっぱり絶対に日本で資金調達してやろうというのはずっと思っていました。それに、日本人の税金で研究させてもらって、それで会社をつくり、その会社がアメリカにできちゃったら、アメリカに税金払うわけじゃないですか。それって、まずいよねと。だから、日本で会社をつくって、そこで利益を出して、日本に税金を払うというのは絶対に正しいやり方なんだというか、やっぱり研究者はそういうふうに期待されているわけで、僕くらいの定年近い年齢になったら、日本で会社をつくって、その会社を大きくして日本に税金を大量に払えば、ちゃんと投資が回ったということになりますからね。

生駒 それは素晴らしい考えですね。

古澤 ありがとうございます。日本で大きな会社をつくるというのがとても重要で、もち

ろん、コケないつもりですけど、仮にコケたとしても、第 2、第 3 の僕みたいな人が現れればいいんだと思います。こういうふうにやれば、でっかい会社がつくれるという方法論を研究している感じですかね、今。おもしろいです。

岡村 僕、ディープラーニングやっているんですけども、すごい電気を使っているんだなと大変反省しているところで、また、先生がニューラルネットワークを目指しているということを知っています。

古澤 一つね、それだけじゃないですけど。

岡村 はい。その量子コンピューターで何ができるのかというのが、僕、わかっていないので、そういうものなんだなと驚いたところなんですけども、Xanadu をある程度批判されつつもユニコーンになっているとおっしゃっているわけですが、Xanadu のコンピューターでは結局に何ができていますか。

古澤 何もできていません。そこがシリコンバレーのダイナミックスの不思議なところで、量子コンピューターって特殊な分野で、夢を売っている輩が多いんですよ。もう一人の友達の Jeremy O' Brien がつくった PsiQuantum はオーストラリア政府から 1000 億円もらいましたね。結局、あれも傾いてきたんですけど、国が救ってくれるんです。だから、ああいう時価総額って全然当てにならなくて、発行株式と株式の数掛ける時価だから、キャッシュがそれだけあるわけではない。ユニコーンだとかそういうのにあまり惑わされないほうがいいですね。だから、何も生んでいない、キャッシュもほとんど使い尽くしているけど株価だけはあるとい状態だと思います。

岡村 期待した答えではなかったのですが、ありがとうございました。(笑)

向井 ハードウェアに興味があるのですけれども、先ほどスクイーズド光生成器を 4 つにというお話でしたけど、これは量子もつれを 4 つで 1 セットになっていることに対応しているというイメージですか。

古澤 はい、おっしゃるとおりです。

向井 そうすると、たくさんあるのは、結局、時間多重でこれだけのものに相当するようになっていると。

古澤 はい。

向井 大きさを変えないでもっと計算規模を上げることができるとおっしゃったのは、波長多重するのではなく時間多重をもっと上げるという話ですか。

古澤 波長多重もやりますけど、とりあえずは、今は時間多重だけやっています。

向井 写真ではスクイーズ 4 つどころじゃない、他のもののほうがいっぱいあると思うのですが、例えば 101 の入力をしているとか、その辺はどういう構造になっているんですか。

古澤 時間をちょっとずつずらして 100 個入れるということなので、同じことだと思いま

す。なぜ 100 なのかというと、100MHz なので、ウェブパケットのサイズが 10 ナノ秒とかそういう話なので、このくらいになっちゃうんですけど、それが例えば 10 ギガになれば 100 倍になるのではという感じですね。最終的には 10 テラまでいくと。だから、100 フェムトのパルスでバーンと並べていって、それを処理していくというイメージです。

<作ったものをまずマーケットに出すこと>

渡辺 チップにする必要がないということと、あとは 4 メートル掛ける 1.5 メートルのサイズの量子コンピューターというようなことで、とんでもないユースケースというか、個人が持ち運べるというようなイメージがあるわけですが、そうではないユースケースというのはどういうことを想定されて将来的な世界イメージを描かれているのでしょうか。

古澤 今、量子コンピューターで考えられているすべてのものはやろうと思っていて、例えば Shor のアルゴリズムであったり、そういうのは全部やろうと思っています。ただ、思うんですけど、こういうのを作っている人たちが何をやるかというのは普通考えなくて、例えばトランジスタを発明したベル研の人たちは、たしか補聴器か何かを作ってマーケットに出した。それ自身はまったく売れなかったんですけど、マーケットでトランジスタとは何かというのを知った人たちが「これって、こういうのに使えるね」ということで、今ではトランジスタスイッチとして使われていて、コンピューターになくってはならないものになっているわけです。

重要なことは、やっぱりマーケットに出して、何に使うかはマーケットが考えるものだ。それはインターネットであろうが全部そうで、まずマーケットに出すことが重要だと。なので、実機を作りました。そういう意味で、これから何に使うかは、皆さんに考えていただく。我々が別に考えるわけではないんですね。

渡辺 ありがとうございます。勇気の出るコメントだと思います。

<日本とアメリカの違いは官尊民卑があるかどうか>

安藤 最近、AI の話はアメリカの大学が強いな、その周りの企業のエコシステムすごいなと思うんですけども、先生が Caltech にいたときの意義と、今、東大で日本の大学の先生をされていますが、どうされようとしているのかなというお話をお伺いしたいと思いました。

古澤 日本とアメリカの決定的な違いは、官尊民卑があるかどうかです。アメリカって、企業の人だからって別に下に見られることはないです。でも、日本って官尊民卑で民間から来たというと、ちょっと一段下に見られます。それを改めない限り、日本はアメリカに勝つことはできないと思います。

今、日本の企業は、アメリカの大学だったら 100 億だったら出すわけじゃないですか。日本の会社には数千万円ですよ。それは日本が官尊民卑だからです。僕はニコンに 15 年もいましたから、キヤノン財団でニコンの話をするのはまずいんですけど (笑)、それはすごく思っていました。企業の一研究者としてアメリカに行って、それまでは官尊民卑で企

業の研究者って一段下に見られていたのに、対等なんですよね。それに自由度がある。これは日本は勝てるわけないや、って思いました。

日本に帰ってきて、東大だけかもしれないですけど、東大の教員は従業員兼業ができません。兼業できるのは役員兼業とか顧問とか上から目線で民間に対してものを言う立場です。こんなの、アメリカじゃあり得ないですよ。官尊民卑をやめない限り、日本はだめです。

安藤 ありがとうございます。

<最先端の研究をするときパテント>

高橋 マーケットに出すというのはものすごく大事ということで、その場合はやはりパテントなどの戦略のコントロールが大変じゃないかなと思うんですが、どういうふうに行われているのでしょうか。

古澤 会社をつくるまではあまりパテントは出しませんでした。というのは、パテントを出してしまうと、それに縛られてしまう。もっとぶっちゃけた話、仮に僕が大量に東大でパテントを出していた場合、それで起業したら、現金はないので「株、寄越せ」と言われます。ユニコーンを目指しているんで、何%とか持っていかれたら何十億か、もっと価値があるので、それってイヤですよ。なので、大学にいる間に特許を出すという戦略はあまり正しくないと思います。一方、特許も何も出さないと他の人にやられてしまうので、論文を出し続けて、公知にしてしまうという戦略をとっていました。もう会社ができたので、特許を出しまくろうと思っています。

—以上—

引用元

※1 The Asahi Shinbun GLOBE : <https://globe.asahi.com/>より

※2 ABC News : <https://www.abc.net.au/>より

※3 Россия 1 「Вести」 : <https://www.1tv.ru/>より

※4 「光の量子コンピューター」著/古澤明 出版元/集英社

※5 「失敗する自由が超越を生む 量子物理学者 古澤明の頭の中」著/真山仁 出版元/小学館

※6 理化学研究所 HP : <https://www.riken.jp/>より