

2025 年 9 月 24 日公開

西森 秀穂 オーラル・ヒストリー

ZEN 大学

コンテンツ産業史アーカイブ研究センター

収録日 : 2024 年 6 月 21 日

インタビューイー : 西森 秀穂

インタビュアー : 遠藤 諭 ・ 大石 和江

インタビュー時間 : 2 時間 15 分 54 秒

著作権者 : ZEN 大学 コンテンツ産業史アーカイブ研究センター

#### 注意

- ・この資料は、著作権法（明治 32 年法律第 39 号）第 30 条から 47 条の 8 に該当する場合、自由に利用 することができます。ただし、同法 48 条で定められるとおり出所（著作権者等）の明記が必要です。
- ・なお、現代では一般的ではない表現や、特定の個人・企業・団体に関する記述を含め、必ずしも元所属組織による事実確認や公式な承認を経たものではない内容についても、ご本人の記憶等に基づく一次資料であるとの意義を重視し、改変や削除などは施さずに公開しています。
- ・西森氏以外の発言は「——」となっています。
- ・はっきりと聞き取れなかった部分や、不明な箇所を「■■」とし、あいまいな部分には「（？）」を付しています。

※2026 年 1 月 20 日 : 注意書きの文言を一部修正しました。

オーラル・ヒストリー

○イントロダクション

——インタビュアーの遠藤諭です。

——大石和江です。

——本日は 2024 年 6 月 21 日です。これから、西森秀穂氏のオーラル・ヒストリーのインタビューをドワンゴ東銀座オフィスにて行います。よろしくお願ひします。

## ○研究のバックグラウンドと量子アニーリング

——先ほど言ったいくつに分けてお聞きするんですけど、1個目は、ご自身の元々の研究のバックグラウンドですかね、どういう分野で、どこでどんなことを学んでみたい。もちろん、可能な範囲でいいですけども。元々どういう研究をされてて、どういう流れでこの統計物理学に行って、そこからさらに量子アニーリングというものが考え出されたのかみたいな、そこを語っていただけだと。元々からですね。

西森：はい。私、大学院に入って研究を始めて45年を過ぎているんですが、ある意味、一貫して統計物理学、統計力学という研究分野にいまして、その中で量子アニーリングというものが出てきたんですが。統計力学、あるいは、もう少し広く統計物理学というのは、物がたくさん集まったときに、小さな要素、原子とか分子がたくさん集まったときに、一つ一つの、例えば、水の分子からは想像できないような奇妙な現象が起きると。それを、たくさんの要素があるものですから、統計的に扱って明らかにする。例えば、今、申し上げた水でしたら、一個一個の水分子は氷でも水でも水蒸気でも全く同じなんですが、たくさん集まったときには全然性質が違うように見えますね。硬さとか、もちろん、温度とか圧力とか。一つ一つは同じなのにたくさん集まると全然違う。それはなぜかというのを明らかにするのが統計物理学、統計力学です。

それで、それを東京大学の大学院の鈴木増雄先生という、その先生の研究室に入りました、統計力学の大家なのですが、そのころ、スピングラスという研究分野が非常に盛んに行われていて、1970年代の後半。スピングラスというのは、 спинのガラス。スピニンというの、スケートなんかでスピニンと言いますね。回転。回転すると、要は、電磁石で電流が流れると磁石になりますよね。これと同じように、一つ一つの原子が非常に大きっぽな意味で回転していると磁石のような性質を持つ。一つ一つの小さな磁石がたくさん集まったときに、我々が目にすると、例えば、くっつく磁石ができる、そのメカニズムを明らかにするというのが統計力学の一つの重要なテーマで。

スピングラス、スピニンのガラス。ガラスというのは、ちょっとそのスピニンとは違うように見えますが、普通の窓ガラスというのは、一見、固体のように見えます。硬いからね。さっきの水、氷、水蒸気というと、氷に相当するような硬さを持っている。ところが、よく見てみると、非常に小さな、我々の言葉で言うミクロなスケールで見てみると、ガラスの中にある原子、シリコンならシリコンの原子の位置がばらばらなんですね。普通の固体の結晶というのは原子の位置が規則的になっている。それが結晶なのですが、ガラスの中の構成要素の位置はばらばら。ばらばらだけど動かない。ばらばらさとランダムさが共存している。これがガラスの特徴なんです。スピングラスというのはその二つを合わせたような性質を持っていて。一個一個の小さな磁石は

たくさんあるんですが、普通のくっつく、強磁性体と言いますが、強磁性体だと、それが同じ方向の例えは N 極が上というふうにそろっていて、全体として、我々の言葉で言うマクロな、目に見える形の磁石になっているんだけど、スピングラスというのはその向きがばらばらに、N 極、S 極があちこち逆転している。そうすると、ランダムにそういうふうに固定しているものですから、全体としては通常のくっつく磁石にはならない。けど、そのばらばらななり方がいろんな、多様な方向があって、それが非常に、ある意味で理論的に、少なくとも物理の理論的に面白い性質を持っている。それはなぜかと、たくさん集まったときになぜそういう奇妙な性質が出てくるかということを明らかにするというのがスピングラスの研究で、それが 1970 年代に非常に活発に研究されていたんですね。

今では若い人は想像しづらいんですが、今の量子コンピューターの研究並みに、みんなが、猫も杓子もスピングラスだったんですね。物理の統計力学、あるいは、物性理論といわれる。社会からは今の量子コンピューターほど注目されてなかつたです。ある意味、何の役にも立たないので。社会に役に立つかどうかという意味からいうと、何も役に立たない。今でも何も役に立つ用途は見つかってないと思います。ただ、理論的に、物理として、ランダムに固定された спинの状態が発生するというのは今までなかつた状況なので、非常に興味を持った人が多くて、みんなが研究した。そのころの研究の成果の一つの結晶が、4、5 年前にノーベル賞をもらったジョルジョ・パリシ（: Giorgio Parisi）という人なんですが、真鍋淑郎さんがもらったときと同じ年なんですね。複雑系の物理の基礎理論を確立したということで、真鍋さんは気象のほうなんですが、ジョルジョ・パリシはそのスピングラスの理論をある方向から確立した。だから、今まで、ずっと影響を持っている話なんです。その分野から、私は物理の研究に入っていった。その研究は今でも続いています。スピングラスというのはあまりにも難しくて解けてない。理論的にきちんとわかったことはほとんどないんですね。今朝も午前中、その研究を自分でしてまして（笑）。このごろずっと、ほとんど在宅勤務なんですが、私の研究、理論研究、基本的に紙と鉛筆なので、大学へ行く必要はなくて、コロナで在宅勤務が認められるようになって非常にハッピーなんですよ。それはちょっと余計なことなんですが。

それをずっとしてまして。それに関連した研究をずっと、大学院の博士論文をそういう研究で書きまして、しばらくアメリカにポスドクで行ってて、日本に帰ってきて、東京工業大学に、それ以来、ずっと勤めているんですが、その研究を続けてまして。その中でいろんなことをやってきたんですが、量子アニーリングの一つの前触れとして、ニューラルネットワーク。日本語で神経回路網という。このごろ、神経回路網という言葉はほとんど聞かれなくて、ニューラルネットワークばっかりになっちゃった

んですが、今の AI につながるような流れ。それが 1980 年代に物理の方面からも注目されるようになってきたんです。物理と情報の境界領域がスピングラスとの関連で 1980 年代の前半に、非常に大きな注目を集めようになってきた。それを開始したのが……。こういうペースでゆっくりしゃべって構わないですか？

——もちろん、もちろん。

西森：何年かちょっと具体的には覚えてないんですが、1980 年代の前半に、ジョン・ホップフィールドというアメリカの、彼も物理学者ですが、が一種のスピングラスの理論的なモデルがニューラルネットワークとほとんど同じ形式で書けるということを言って。ホップフィールド模型という、ホップフィールドモデルと今ではいわれているんですが。そういう形で、我々が持っているスピングラスを統計力学で解析するという手法が、そういう、全然、今まで物理の対象ではなかった情報処理に使えるということを言いたいとして。そのスピングラスの研究があまりにも難しくて、ある意味、行き詰まってたんですね。その人たちが結構そこにうわっと乗り換える雰囲気ができていたんです。1980 年代の前半ですね。

私も、それ、非常に面白いと思って、それに対してある種の論文を書いたんですが、それはまあ、最初のほうの論文はあまり注目を浴びなかったのですが、物理をやっていると、学生のころ、いろんな教育を受けるんですが、量子力学の教育を徹底して受けるんですね。物理学科。量子力学って、なかなかやっぽり難しくて、非常に苦労した。マスターするのに。でも、そのスピングラスというのは、それまで全然量子力学と関係なくて、あの苦労は何だったんだろうと思ってたんです。教養としては身に付いたんだけど使ってない。ふと、そのとき、ホップフィールド模型、量子力学を使ってないニューラルネットワークのスピングラス的な模型に量子力学的な効果を入れるとどうなるだろうと、量子力学と組み合わせてみると何か面白いことができるんじゃないかということを思いついた。1990 年代の半ばだったと思います。

それで、量子力学の効果、我々は横磁場と言っているんですが、先ほど言いました、スピニンというミクロな物体というか、ミクロな自由度という言い方をするんですが、上向きか下向き、N 極が上を向いているか下、上、下、適当に定義していいんですが、それに対して横方向に向けるような磁場というんですが、傾向を入れると、上と下が同時に表現できるようになるんですね。量子力学って非常に不思議な性質で、上と下の二つの状態が同時に横に、ある意味、力を加えると、単に横向きにならなくて、量子力学というのは二つの状態しかとれないときに、横向きというのは上と下の同時の実現だと解釈する。

そういうことを入れてみると、ホップフィールドモデルといわれる、ある種のニューラルネットワークの模型で、それ、記憶の模型なんですが。例えば、ある何か画像があったときに、例えば、私の顔があったときに、私の顔の半分を隠しても誰かわかりますよね。私の顔を元々知つていれば。かなり隠しても、やっぱりわかりますよね。こういう不完全な情報から完全な情報を復元する、連想記憶というんですが、ある意味、ノイズが入った情報からそのノイズを取り除く。このプロセスが、スピングラスで、あまり安定でない状態からより安定な状態にいくという形で表現できるということを言い出したのがホップフィールドなんですね。この不完全な状況、ある意味、不安定な状況から安定な状況にいくのに、ホップフィールドモデルでは、熱揺らぎといって、温度の効果を使うんです。不安定な状況がたくさんあるんですが、一番安定な完全な情報にいくのに、この不安定な情報の山を乗り越えながら、一番安定な情報、正しい情報にいく。これを熱揺らぎといって、熱エネルギーを加えると山を越えることができるようになる。これ、全く、量子力学入つてない話です。こっち行つたり、あっち行つたり、こっち行つたり、ふらふら、ふらふらしてたんです。

私が思いついたのは、私の研究室のポスドクでいた野々村さん（：野々村禎彦）とという人がいるんですが、今、物材研（：国立研究開発法人物質・材料研究機構）にいると思いますが、野々村さんと一緒に、熱力学、古典的な、量子効果が入っていないような熱エネルギーの代わりに量子力学的な動き、こっちとこっちと同時にいることによって、いろんな安定な状態を探すというアイデアを実際に計算してみると何か面白い、つまり、不完全な状態から完全な状態を思い出すというプロセスがもっと、ある意味で、いい形で、つまり、二つの状態、たくさんの状態が同時に探索できるのでうまくいくんじゃないかと、やってみようということになって、彼とやつたんですね。それは非常に膨大な計算で、おそらくノート百数十ページの計算をしたんですが。まだとつてあるかもしれない。それで、やってみたんです。かなり計算は苦労したんですが、できたんですね。

それで、結果を見てみると、ホップフィールドの最初の量子力学を使わない結果とほとんど同じ結果が量子で。古典的な、量子力学を使わない熱揺らぎを使うのと、熱揺らぎを使わずに量子力学的ないろんな探索をするのと全く同じ結果が出たんです。つまり、量子力学的に、ある意味、揺らす、いろんな状態を同時に表現して揺らすのと、量子力学を使わないので熱的にいろんな状態を探索するのと全く同じ効果を持つと。ある限定された問題の範囲の話ですが。そういう結果が出てきて、非常に驚いたんですね。それはもちろん論文にして出して、ある程度、内輪うけはしたんですが、面白いねで終わっちゃったんです。それが 1996 年の論文です。西森・野々村論文といって。

それで、さらに面白いことないかということを考えてまして、大学にいると、学生やらポスドクと研究室、そこそこの人数の研究室を持っているので、常に何か新しいテーマを考えて、何か新しいことをやっていないといけない。ちょっと話飛びますが、今、もう退職して、特任教授という形で残っていますが、研究室なくなって、今年度から学生もいない、ポスドクもいない、たった1人になって、何もデューティーがなくなって、ものすごく気楽です。何してもいい。何しなくともいい。そんなので給料もらっていいのかと私は思っているんですが（笑）。これは、人生、年取ってよかつたと（笑）。若い人に、今、頑張れば、数十年後にパラダイスが待っていますと言いたい。まあ、それは余計なことです。

——そのころは大勢いたと。

西森：ええ。5、6人、7、8人。ちょっと変なたとえなんですが、子どもが5、6人いて、常に何か食べさせなきやいけない。稼ぎ続けないと一家散乱するみたいな感じで、常に何か非常に強いプレッシャーを受けてるんです。それがだから、研究のモチベーションに、一つの強いモチベーションになっているんですが。内的な動機だけで何か研究できたのは、学生の最初のころと今だけです。もちろん、内的な動機はあるんですが、それだけでは足りないものを常に何か補っていかないと研究室の運営ができない。まあ、いい加減なことをやればできないことはないですが、やっぱり、なんらかの意味でフロントランナーになりたいと思うと、常にそういう危機感を持って、危機感を持つだけでなく危機感をバネにして何かアイデアを出して、それを成果にしないといけない。しかも、アイデアを出すだけではなくて、私、そのころ、学生によく言ってたんですが、1000アイデアが出てくると、そのうちうまくいくのは三つぐらいだと。その三つを1000に膨らませて、それを300回繰り返して、333回、1000に膨らませて、うまくいくのは1000あったとして、ものすごくうまくいくのはそのうちの三つだと。千三つの2乗だと。だから、うまくいく秘訣というのは、常にアイデアを出して失敗を重ねることだと、偉そうなことを言ってるんですが、実際、1000分の3かどうかは別として、やっぱり常にアイデアを出していかないとうまくいかない。うまくいく結果が出ないと。つまらない結果は出るんですが、面白くない。

それはともかくとして、そういうホップフィールド模型で量子力学と量子力学を使わない結果が全く同じという結果で非常に驚いて。それとは別の流れがありまして、1980年代の初頭なんですが、IBMのグループが、カークパトリックという人たち、スコット・カークパトリック（: Scott Kirkpatrick）がこのリーダーだったんですが、IBMのワトソン研究所の人たちがシミュレーテッド・アニーリングという考え方を提出

しまして、先ほど言いました、量子力学を使わない古典的な熱エネルギーを使って、いろいろ状態を探索していくって、ある意味、一番いい答えを出すというアイデアを実際に計算機上で実現して、最適化問題といわれる問題を解くと非常にうまくいくという論文を書いた。『Science』だったと思いますが。

——それは純粹にソフトウェア的なものなんですか？

西森：そうです。アニーリングって、元々、鉄の焼きなましという形で、物を作る、なんらかの基準でいい性質を持った、例えば、刀を作ると。熱くしておいて、だんだん冷たくしながら、できるだけ完全な結晶を作ることによって、望む性質をその金属から引き出すというのがアニーリング。それは古くからある技術なんですが、シミュレーテッド・アニーリングというのは、コンピューター上でそれをシミュレーションするんですね。非常に、実際の物を熱くする代わりにこの熱揺らぎを大きくして、いろんな状態を一番安定な状態に向けて探索していく。だんだん温度を低くしていくと熱揺らぎの効果を小さくしていくことによって、最初、上のほう、不安定なところをぐちゃぐちゃしているんですが、だんだん温度を低くしていく、つまり、山を越えるエネルギーを低くしていくことによって、一番安定なエネルギーが低いところに行き着くということを、実際にコンピューター上でやってみると、こんなに具体的な問題をうまく解けますよと。

彼らがやった問題というのは、IBM ですので、IC のチップ上に要素をできるだけ全体の回路が短くなるように配線すると。そういう問題を実際にアイデアを提出した……。

——巡回セールスマントピカルな。

西森：まあ、そうです。その通りです。それを実際にコンピューター上でシミュレーテッド・アニーリング、一種のシミュレーションを実行して、具体的にこううまくいきますよと。

——要するに、組み合わせ的じゃない方法で答えが出ると。

西森：全部、一つ一つ丁寧に探索していくとものすごく時間がかかるんですよ。いろんな可能性を。これをここに置く、これをここに置く。この場合には配線がこのぐらいになる、この場合には配線が……。今まで、彼らがそういうアイデアを出すまではかなり経験と勘で試行錯誤的にやっていたものを、もうちょっと自動的に、システム

ティックに、コンピューター上で温度といわれるパラメーターを、数字をだんだん変えていくことによって、自動的に一番安定な状態、つまり、その例で言うと、配線が短くなる、発熱が一番小さくなつてパフォーマンスが一番良くなる状態を探すということを実際にやってみて、非常に驚くべき結果を出したんですね。うまくいった。

それも、やっぱり統計力学なんですね。たくさんある状態、今の例で言うと、IC 上の一つ一つのトランジスターとか抵抗の位置というのがミクロな細かな状態で、それが多くあると、非常にその一番いい、配線が短くなる状態を見つけるのが難しいと。一つ一つの要素が勝手に独立に関係なく動けるんじやなくて、ある要素がここにあって、ある要素がここにあると、その間に配線がこうなる。関連しあっているんですね。水の例で言うと、水分子同士のエネルギー、相互作用の力が関連、関係性、相互作用というんですが、関連性を規定していて、たくさん集まると非常に難しくなるけど面白い現象ができる。

カークパトリックというのはスピングラスでも非常に有名な結果を出している。そのころ IBM にいて、今はもう退職してイスラエルにいると思うんですが、ユダヤ人の。彼が……。ユダヤ人かどうかわからない。イスラエルにいるんですが。彼がそういうアイデアを出していた。それもよく知られた結果なので、それ、知ってたんですね。じゃあ、その二つを、ホップフィールド模型に量子効果を入れると古典的な熱揺らぎと量子効果が非常に似た、ほとんど同じ性質を持つ。シミュレーテッド・アニーリングで最適化問題を解くというときに、古典的な熱揺らぎを使うとうまくいく。じゃあ、そのシミュレーテッド・アニーリングで古典的な、量子力学を使わない探索方法の代わりに量子力学を使ってみたらどうなるかということを思いついた。それが量子アニーリングにつながっていったんですね。

そういうことを思いついて、その当時の研究室の学生の門脇正史さんという人と一緒に、彼が実際に計算をいろいろやってくれたんですが、試してみた。そうすると、恐ろしくうまくいったんです。そのころのコンピューターの能力って限られているので、大きな問題は解けなかつたんですが、小さな問題で、実際に量子力学の方程式、シュレーディンガーファンダムの方程式というんですが、量子力学の方程式をその考え方方に沿つて解いて、スピングラスの問題、スピングラスは一種の組み合わせ最適化問題の例なんですが、それを解いてみると、量子力学を使わない、カークパトリックたちが提案したシミュレーテッド・アニーリングと同じ方法と、量子力学を使う量子アニーリングの方法を比べてみると、量子アニーリングのほうがずっといい結果を出した。ひどく驚いたんですね。それは門脇さんの博士論文です。それはもちろん、博士論文を確実に出したんですが、それが 1998 年の論文です。

それで、どのぐらい、当時、反応があったかというと、やっぱり、周りでは面白いねと言ってくれる人はいたけど、それなりに。その当時、量子コンピューターというのは全く別の研究分野で、量子コンピューターという概念はできてて、今で言うゲート方式の量子コンピューターの理論的な基盤がかなりどんどん進んでいた時期なんです。1990年代。それとは全く別の話。私は何も知らなかつたんです。量子コンピューターなるものが考えだされて、理論的に、その研究が進んでいるということは全く知らなかつた。ひょっとしたら何かで聞いていたかもしれないけど、少なくとも私の記憶には今はない。で、面白いねで終わつたんです。それが1990年代の終わりです。

そのころとほとんど同時に、日本での動きとして、NECの研究所で、中村さん（：中村泰信）とツァイ（：蔡兆申）さんとペシュキンさん（：Alexander Pashkin）という3人が、今で言う超伝導の量子ビットを初めて開発したんです。1999年ですね。それ、『Nature』に載つて、彼らの論文は非常に大きな反響を呼んだらしいです。超伝導方式で量子ビット、二つの状態を同時に、ある小さな箱の中の、右に電子があるか、左に電子があるか。それを同時に、右と左、同時にあるということを示したんですが、非常に大きな反響を呼んだらしいです。それも全然知りませんでした。今から見るといろんな動きが別々に動いていて。

時々、叱られると言つたら言いすぎかもしれません、なぜ日本でそういう動きを結びつけて、日本で初めての量子コンピューターができなかつたのかと問い合わせられることははあるんですが、そんなこと言われても知らなかつたんだもん（笑）。そういう時代だったんですね。

——コンピューターを作るというジャンルと、そういう統計物理学のジャンルが全く別なテーブルの上だからという、単純にそういうことなんですかね。

西森：ええ。そういうことですね。同時に、2000年（：1999年？）に実はD-Waveという、今、量子アニーリングのデバイスを作つてゐる会社が立ち上がつたんですね。ブリティッシュコロンビア大のスピノアウトなんですが。

——もうそのとき、創業してゐるんだ。

西森：2000年ですね。

——おお。

西森：ジョーディー・ローズ（: Geordie Rose）という、彼も理論物理学で、ブリティッシュコロニア大でドクター取った人らしいんですが。彼らは、最初は、今で言うゲート方式の量子コンピューターを作ろうとしたらしい。

——そうなんですか。

西森：ええ。D-Wave という名前というのは、高温超伝導体の持つ一つの基本的な性質を表しているんですね。そのころ、高温超伝導体というのが 1990 年代から非常に大きな反響を呼んで、すぐノーベル賞をもらったんですが、従来に比べるとずっと高い温度で超伝導になると。それをさっそく使って量子ビットを構成して量子コンピューターを作ろうということを考えだしたらしいんですが、高温超伝導体というのはあんまり性質が良くないので、従来よりも高い温度で超伝導になることは確かなんですが、それをうまく制御して使うという技術は全く確立していなかったんです。現在でもやっぱりそうなんですが、高温超伝導をなかなか、実用に使って何か社会的に大きな役に立つインパクトを持つ製品というのは、おそらく、今、まだないんじゃないかなと思います。理論的にはいろんなこと、もちろん、実験的にはいろんな研究をされている。ですから、わりと早々に、D-Wave の連中はそういう方向は挫折してというか、やめて、今で言う量子アニーリング方式を通常の超伝導体、高温ではない通常の超伝導体で実現しようということに切り替えたらしいんですね。

——先生のところで量子アニーリング的な、元々、だから、ニューラルネットとスピングラスの関係で量子を持ち込むと面白そうだというのをシミュレーテッド・アニーリングのほうにちょっと適用してみたと。うまくいったじゃんみたいな感じで論文も書かれたと。その論文を D-Wave は読んでたということなんですか？

西森：その時点では読んでなかつたらしいです。実は、我々の論文の 1 年か 2 年後に、MIT の連中が、基本的には同じアイデアで論文を書いているんです。エディ・ファーヒ（: Edward Farhi）という人が筆頭著者で、今も彼は Google に行って活躍しているんですが。そのファーヒたちの論文、書き方、ちょっと違って、基本的なアイデアは同じなんですが、まず言葉が違ってて、我々は量子アニーリング、私は量子力学とアニーリングを組み合わせたので量子アニーリングという言葉を造語で作ったんですが、彼らはそれを使わずに、量子断熱計算という言い方をしたんですね。その断熱計算というのはちょっと、物理のバックグラウンドがあるんですが。ただ、基本的には同じ考え方です。その 1999 年に彼らのプレプリント、査読がされていないプレプリントが

アーカイブというプレプリントサーバーにあがって、それは、彼らはその論文を書いたときに我々の論文を知らなかつたと言って、多分、ほんとだらうと思います。それの論文、査読を経たパブリケーションが『Science』に 2000 年（：2001 年？）に出たんですね。2000 年の『Science』の文献欄には、我々の論文がプレプリントとして引用されています。おそらくレフェリーに言われたんじやないかと思いますが。関連した研究としてこういうものがあると、1 行で書いてあるんですね。それ以後、彼らは我々の論文を完全に無視しています。我々は彼らの文を必ず引用しています。まあ、歴史がいろいろ判断すると思いますが。

で、彼らが偉いのは、MIT と東工大の違いとも、今から反省して言えるんですが、そこで終わらなかつたんですね。MIT の中でいろいろ話をしていて、MIT に別にセス・ロイド（：Seth Lloyd）という非常に有名な、ロイドさんという量子物理学の研究者がいるんですが、彼とファーヒたちのグループがいろいろ交流があつて、ロイドさんはファーヒたちの量子断熱計算が物として実現すると非常に面白いと思ったらしいんですね。そういう発想、我々、なかつたんですね。つまり、私が受けた教育のせいにするわけではないですが、私が学生だった 1970 年代の初めから半ばというの、企業と共同研究をする、大学、特に理学部が役に立つものを作るというのは、ある意味、下品だというような雰囲気があつたんですね。大資本に奉仕するという言い方をその当時したんですが。今、全然、雰囲気が違つて、私も時代についていこうとしているんですが。ですから、そういう発想、全く、2000 年ごろなかつた。ところが、MIT はそこら辺は全然違つて、エディ・ファーヒやらセス・ロイドはこれで物を作ると面白いと思ったらしくて、ジョーディー・ローズたちにそういう話を持つていったらしいんですね。カナダのブリティッシュコロンビア、バンクーバーにあるんですが。それが火付け役になつたらしいです。

もう一つ、話がありまして、セス・ロイドは、ロイドさんは、NEC の超伝導量子ビットの開発の話を知つてて、NEC に……。違う。ロイドさんが言ったんじやなくて、D-Wave の連中だ。D-Wave の誰かが、そのロイドさんから話を聞いて、NEC に一緒にやらないかと話を持つていったらしいんですね。2000 年ごろ。ところが、これは聞いた話で、自分で直接確かめていないんですが、NEC は、できたばかりの数人のベンチャーなんですね、D-Wave、その当時。そんなところとはやらないと言つたらしいです。それで話が終わつたらしいです。これも自分で直接確かめた話ではないけど、あるメディアに載つてて、その直接の当事者と思われる人に、私、聞いたんです。そのころ NEC にいた人に。何もコメントしなかつたので。つまり、否定しなかつたので。肯定もしなかつたですが。100% うそではないと思います。ある面での真実みたいなところですね。NEC はそのころ、ものすごい、基礎研究から製品開発まで、世界的な影響力のある大企

業だったんですね。そういうことがありまして、D-Wave で開発が、2000 年ごろから進んでいるという。アニーリング方式でね。アニーリングに切り替えたのは数年後だと思いますが。

### ○ 「D-Wave」と量子コンピュータの開発

——こここの、最初にこの段階を追ってお聞きしますというので、量子アニーリング方式ができるまでのお話は今一通りしていただき……。そのスピングラスに関する計算処理みたいな話からつながっていったということなんですね。伺っていると、今の画像生成に通じる話かなみたいなね。誤差拡散的な話とかちょっと近いのかなとも思ったんですけども、そういう意味じゃ、すごく今っぽい話につながるんだと思うんですけど。じゃあ、その 2 個目の、いよいよ D-Wave が出てきて、要は、商用化が始まると。結構、あっと驚く、僕らコンピューターには、全然、量子コンピューター、よく、ちょっと遠く離れた存在だったので、いきなりできましたみたいのがきてかなり驚いたんですけど、じゃあ、D-Wave ができたころのタイミングに関して、お願ひします。

西森：先ほど、お話したのは、2000 年の最初のほうなんですが、D-Wave が商用化して売り出したのは 2011 年なんですね。その間にずっとやっぱり開発は続けて、時々、プレスリリースをしてたんです。それと並行して、ゲート方式の量子コンピューターの開発も進んだ。ただ、やっぱり、ゲート方式はなかなか難しくて、1 量子ビットとか 2 量子ビットとか、非常に基礎的な研究の段階にとどまっていたんですね。それに対して、D-Wave は、2000 年代の半ばだったと思う、2005 年とか 2007 年とか、16 量子ビットのプロトタイプを作ったというアウンスをしたんですね。それ、何かデモをしたらしいです。それは、非常にたたかれたんですね。そんなのはできるはずがないと。1 か 2 で苦労していると。10 なんてとてもできないと思っているのに 16 量子ビットの一種の量子コンピューターを作ったと。D-Wave はその当時、かなり、秘密主義というほどでもないけど、論文を積極的に書いて技術情報を公開しようとする姿勢がなかったんですね。記者会見で、こんなを作りましたと言って、デモをすると。あれはインチキだという評判が量子コンピューターの研究者に広く行き渡ったんですね。その当時から、実は、今、Google の量子 AI 研究所のヘッドを率いているハルトムート・ネーヴェンという人がいるんですが、彼は深く関わってたんですね。D-Wave の研究開発に。

——Google にいながらということなんですか？

西森：そうだと思います。そのころはまだ、Google、そういうグループなかったので、彼、おそらく1人で、コンピューター量子ビットの開発に興味を持ってて、D-Wave の連中と、ある意味、共同研究していたんだと思います。そういう Google との関わりも実はあるんですね。今、全然違う方向に行っているように見えますが。

そういう流れがあって、技術的な、学術的な中身はわからないけど、何かやっている。ただ、どうも怪しいという雰囲気が 2000 年代の後半に D-Wave に関して、かなり蔓延していたんですね。それで突然、2011 年に物を出した。それをロッキード・マーティンが買って、南カリフォルニア大のキャンパスに置いたということが非常にショックを与えたんですね。それから現在に至るまで……。現在に至るまでということもないな。今はもうだいぶ雰囲気が違う。2010 年代の半ばまで、あれは量子力学を使っていないと、古典的なシミュレーテッド・アニーリングをやっているにすぎないというような一種のたたかれ方をずっとしてきたんですね。あんなの量子力学を使ってない。非常に高いシミュレーテッド・アニーリングのマシンだと。つまり、ある意味での量子計算をするには量子力学的な二つの状態が、あるいは、二つ以上のたくさんの状態が同時に表現されていないと、たくさんの状態を同時に探索できないんですが、それを保つたくさんの状態が同時に存在するのを保つ時間というのをコヒーレンスタイムと言います、コヒーレンス時間がものすごく短い素子を使ってたんです。数十ナノ秒という。ナノというのは 10 のマイナス 9 乗で。それに比べて計算時間はずっと長かった。だから、もう量子効果は死んでいる中で計算しているので、あんなのは量子力学を使ってない、インチキだという評判がずっと立ってた。それにもかかわらず、物を作って売り出して、それを、その当時、日本円にして 10 億円とか 20 億円といううわさが立ってたんです。それをロッキード・マーティンが買った。

——Google も買いましたよね。

西森：はい？

——Google も買ってないですか？

西森：Google はその数年後に買いました。

——ですよね。

西森：それで、やっぱりネーヴェンが中身をよく知ってたからですね。ロッキード・マーティンは Google に比べると一般の社会の名前に対する認知が低いので、それほど一般社会にはインパクトを与えるなかつたんですが、2013 年に Google と NASA が共同で買って、NASA のキャンパスに置いたというので非常に大きなインパクトがあった。ネーヴェンはそれが、ある意味、本物の量子効果を使っているということを知ってたんですね。

ちょっと戻りますが、2011 年に商用化して売っただけではなくて、論文を書いたんです。『Nature』に、彼らのデバイスをいろいろな角度から検証して、実際に量子効果を使っていることを示したデータを『Nature』に発表して、かなりそれもインパクトを与えた、ショックを与えたんですね。ちょっと脇にそれますが、その『Nature』の論文に、我々の論文が、1998 年の門脇・西森の論文が量子アニーリングの最初だということをはっきり書かれていた。。。だから、D-Wave の連中は、最初はその量子断熱計算に刺激を受けて始めたんだけど、その 10 年ぐらいの間にいろんな論文をきちんと読んで、誰が最初に言い出したのか認識したみたいです。

ちょっと戻りますが、2010 年ごろに、私、ある統計力学の大きな国際会議で基調講演を依頼されまして、そのときに、主にはちょっと別の話をしたんですが、その最後に量子アニーリングの話をしたんですね。それで、D-Wave がこの考え方に基づいてデバイスを作っていると。まだ発売されてなかつたと思いますが。ということをちょろつと言つたんですね。その講演が終わった後、ある重鎮が僕のところへ来て、D-Wave と関わると評判を落とすぞと警告していきました。そういう雰囲気だったんですね。

その講演の準備をするときに、D-Wave がいろんなことをやっているということを知つてたので、D-Wave、ジョーディー・ローズという創業者の人なんですが、今、ちょっと D-Wave を離れちゃつたんですが、彼にメールを送つて、最近の発展について教えてくれということを書いたら返事が来て、いろいろ、基本的には知つてることを教えてくれたんですが、ついでに、我々は今、デバイスを作つて、西海岸に設置する予定があると。日本でもそれを実現するような話はないかと言つてきました。私は全然興味がなかつたので、ないと（笑）。もちろん、金もないですね。だから、そういう雰囲気だったんですね。そういうことがありました。それが 2010 年から 2011 年、12 年、13 年ごろの話。

それから、Google が D-Wave を使つた研究をどんどん推進するために、2013 年に D-Wave のマシンを導入したと同時に、大きなグループを、Quantum AI Lab というのをつくつたんですね。そこにたくさんの人を引き入れたんです。主にやっぱりアメリカのいろんな研究者。ゲート方式をやつている人もいるし、アニーリングの研究をやつていた人もいるし、全然、別の分野から来た人もいました。非常に大きなグループを突然つ

くったんですね。当時、20人ぐらいだったんじゃないかなと思いますが。今、もっとだいぶ膨らんでいると思います。だから、そういう大きな動きができるの、大学ではできないんですね。いきなり数十人規模のトップレベルの研究者を集めた研究室をつくるって、大学では絶対できないです。企業じゃないとできない。しかも、非常に大きな資金を持って、何十年先に実現できるかわからないような技術を開発する。それはやっぱり Google みたいな非常に大きな資金と大きな決断と、それから、長期的な視野を持ったグループじゃないとできない。私企業じゃないとできない。それを非常に強く感じました。そのころから、これは絶対かなわないと、私は。今でもそうなんですが。

ちょっと話はそれますが、もう一つ、Google の量子 AI ラボ、Google に限らないかと思いますが、行ってみると、かなりの割合でアメリカ生まれじゃない人なんです。今ではアメリカ人になってるのかもしれないけど、国籍としては。アメリカのネイティブの英語をしゃべる人がどっちかというと少数派じゃないかと。トップのハルトムート・ネーヴェンもドイツ出身ですし、エディ・ファーヒはアメリカ人なんですが。それがやっぱりアメリカの強さ。世界中からアメリカの大学に優秀な人たちが集まって、そのまま居着いて、最先端の研究を支えていると。あそこへ行くと強く感じますね。日本はやっぱり、そこが、お金の問題ではなくて、日本のカルチャー、教育を含めた非常に広い意味でのカルチャー。そういう新しいことをどんどん取り入れていく資金と動きと人材、これがそろわないと、ああいう急激な成長はできないですね。Google、そんなに古い会社じゃないですね。20年、30年ぐらいですよね。

ちょっと、お答えになってない部分もずいぶんありましたが、それが 2010 年から 2015 年ぐらいまでです。

——D-Wave が発売されるというか、そういうふうに出荷されるようになって、現状ってどんな感じになっているんですかね。

西森：D-Wave に関しては、外に物を出す、売るカリースで出すかというのが結構あちこちに、ある意味、着実に顧客は増やしているようです。公開されている範囲内では、実は、Google は撤去しました。Google、NASA は撤去しました。おそらく Google は完全にゲート方式に切り替えたんだと思います。そのほかに、最初はロッキード・マーティンが買って、南カリフォルニア大に置かれたやつは、更新して新しい機種になっています。それに関しても話がありまして、ちょっと話戻りますが、2011 年にロッキード・マーティンが買って、南カリフォルニア大と共同で置いて。南カリフォルニア大に置いた理由というのは、南カリフォルニア大にダニエル・リダーという非常に有

力な教授がいて、彼がアニーリング分野のアメリカのボス、リーダーなんですね。学術的にも政治的にも。彼が飛び抜けてるボスです。彼の研究室から非常にたくさん的学生やポスドクが出てて、Google にもたくさん入っていますし、ほかのところにもたくさん入っています。彼がその研究の中心だったという意味で、ロッキード・マーティンがリーダーさんに協力を求めた。ロッキード・マーティンがなんで買ったかというと、ロッキード・マーティンというのは軍需産業、航空宇宙・軍需産業。

——そうですね。

西森：F-35 なんかを造ってますね。F-35 をいろんなところに売ってるんですよね。カナダにも売っていると。そうすると、アメリカとしては、単純に、F-35、ものすごい高いですので、数十億から 100 億ぐらいすると思いますが、たくさん売るという一方的な関係ってやっぱりやりづらいので、カナダから何か買わないといけない。それでいろいろ探してた。

——ほんとにそんな理由なんですか？

西森：そうらしいです。

——へえ。

西森：それはなぜかというと、これ、聞いただけではなくて、ロッキード・マーティンの人が来て東工大でいろいろ話したんですが、話している途中で、日本に F-35 を売ってるんだけど日本から買うものはないかと、はっきり聞かれたんです。ああ、やっぱりそうかと。そういう世界なんですね（笑）。

——それ、1 個の企業がそういう判断をするという感じなんですか？

西森：いや、政府と絡んでる。

——まあ、軍事系だから、まあ、一緒という感じですかね。

西森：絡んでると思います。やっぱり、なかなか一筋縄ではいかない。

——なるほど。

西森：ロッキード・マーティンはもちろん、見返りだけではなくて、趣味で買ったわけではなくて、研究にもある意味使っていると。それは、彼らの言うには、F-35 というのは非常に膨大なハードウェアのように見えるけど、もちろん、そうだけど、実際はソフトウェアというのも非常に大きいと。1機で飛行して交戦するんじゃなくて、たくさんの機体が同時に通信しながら複数の相手を判断して、どの機体がどういう動きをしてどういう攻撃をするかというのを瞬時に判断しながら、グループとして、ネットワークとして動いているんだと。それ、非常に高度なソフトウェアとハードウェア、コンピューターだと。言ってみればスーパーコンピューターに翼が生えて飛んでいるような。これは私が直接聞いた話です。ロッキード・マーティンのバイスプレジデント。そのソフトウェアの処理というのは非常に膨大な人的資源と財政的資源をかけてる。

——リアルタイムもあるでしょうね。

西森：リアルタイム、もちろん、リアルタイム。開発だけじゃなくて実戦用のソフトウェアを開発する、そのソフトウェアを動かすというのは非常に重要。瞬時に判断しないといけない。そのソフトウェアというのは数百万行の。もちろん、最初作るとバグがたくさんある。そのバグを除くのは非常に膨大な作業なんです。そのバグを検出して、どこを直せばいいかというのは実は組み合わせ最適化問題らしいです。

——ああ。そんな話、初めて聞いたけど、本当ですか？

西森：知りません。

——（笑）

西森：聞いた話で、私も……。

——これはかなり新鮮な話題だと思うんだけど。

西森：ええ。ソフトウェアに限らず、大きなシステム、ハードウェアであれ、ソフトウェアであれ、故障診断というのは、ここが故障しているとするとどういう現象が起きるか。ここが故障しているとするとどういう現象が起きるか。あるところに故障が

あるかないかというイエス、ノーの組み合わせをたくさんエレメントについてイエス、ノーを割り当てて、実際起きている故障の現象をうまく説明すると。それによつてどこが故障しているか、どこが大丈夫かを判断する。

——そこまで抽象化するとなんとなくわかつてきます。

西森：大ざっぱにはこういうことらしいです。そのバグ取りに、組み合わせ最適化問題に特化した量子アニーリングが役に立つんだということを言つていました。

——面白いですね。下水から麻薬患者を探す話とかあるんです。ちょっと似てる話なんですよ。

——数学体験館というか、なるほど科学体験館にも最適化問題の展示があるんですけど。

——そこで下水の話とか。

——今度から……。

——いやいや、ピュアなそれは最適化なんだけど、今のバグの話とか下水の話は結構近いですよね。

西森：具体的な。

——組み合わせ問題とか。ああ、すごい面白い。

——F-35 ね。このままいくと、米国の軍事費、1機で超えちゃうんじやないかみたいなね。オーガスティンの法則だっけ。すごい値段で、ばかみたいな話だったけど、それぐらいおばけな機械だと。なるほど。時期的なものもそういう意味では面白いですね。

——コンピューター産業って、軍需問題……。

——もう常にそう。

——常にというのが。

西森：ええ。日本以外では完全に軍民融合の分野です。

——そうですね。アメリカのコンピューター産業も、もちろん、ソ連もそうなんだけど、ほぼその予算で。

西森：はい。それから、D-Wave が、さっき言いかけたんですが、入っているのは、南カリフォルニア大と、Google は撤去したんですが、ロスアラモス国立研究所。そこはやっぱり、核研究所なんですね。原子力。それから、後、結構いろんなところに入っているらしいんですが、classified。

——日本の企業ユーザーも多いと聞いたんですけど。

西森：クラウドです。それから、もう一つ公開されている、もちろん、D-Wave の本社には何台かありますが、ドイツのユーリッヒにある総合研究機構というところに入っています。それ以外に、アメリカの軍事情報、情報関係の機関、あるいは、それに関連した大学の研究所が結構な数を持っているという話です。非公開です。

——それ、実用……。最適化系の問題なら何でも応用可能なぐらいな勢いなんですか？

西森：原理的にはそうですが、まだやっぱりサイズが、実問題をどんどん解くには小さいので、実際に現場で運用されている例というのは数えるほどしかないです。ただ、あります。ゲート方式で実際に産業現場で応用されている例はないですが、アニーリングに関してはあります。

——それは、材料系とか創薬系とかいろいろ言いますけど、産業的にはどの辺なんですか？

西森：はっきり公開されているもので私が知っているものは二つあります、一つは、SavantX（サバンテックス）というアメリカのベンチャーが開発した、ロサンゼルスのある港、ロサンゼルス港というのは非常に膨大な規模のところなので、その一つのセ

クションというか場所で、船からおろしたコンテナをたくさん積み上げて、それをトラックに載せてアメリカの全土に配送するらしいんですが、どのコンテナをどのトラックに持っていくかと、載せるかと。次にどのコンテナを、どのクレーンを動かしてコンテナをピックアップして、トラックを呼び寄せてそこに積むという作業。どのクレーンをどのコンテナのところへ持っていく、どのトラックを呼び寄せて載せると一番いいかと。これをリアルタイムで最適化して運用しているらしいです。D-Wave を使って。それは、やっぱり、分単位で次の状況を更新して答えを出さないといけないと。それは SavantX という会社が開発したシステムらしいんですが、いろいろテストしたところ、やっぱり、D-Wave はシステムは小さいですが、レスポンスが非常に速いんですね。1回の純粋の計算時間はマイクロ秒、数十マイクロ秒からミリ秒ぐらい。通常のコンピューターで、さっき言ったシミュレーテッド・アニーリングとかほかのアルゴリズムができるんですが、どうしてもレスポンスが現場で要求されるタイムフレームに入らないと。

——なるほど。

西森：そういう意味で、速いので使われている。24 時間、運用されているらしい。そういう例があります。

もう一つ、Pattison (パトソン) というカナダのオンラインの食品配送業者らしいんですが、それがトラックの経路か、運転手のジョブスケジューリングか何か、ちょっと詳細は忘ましたが、それに実用化しているらしいです。それから、数日前にアナウンスがあったんですが、アメリカの、これも軍事関連のソフト会社らしいんですが、これは実用じゃなくて、Davidson Technologies というところが D-Wave をオンプレミスで導入するかしたかというアナウンスがありました。そういう形で、民生用にも公開されている範囲内では数件使われていますし、軍事情報関連では公開されていない範囲でかなり導入しているらしいです。日本でも、ある程度、使っているところはあるらしいですが、それは量子を使ってますという形で、どっちかというと……。

——宣伝という感じですね。

西森：広報的な側面を持ってて、量子を使わなくてもできるけどというところがほぼ全てらしいです。

——それを、量子コンピューターを使った計算をやりますということを看板に掲げたソフトハウスとかありますからね。

西森：あります。

——ゴミ車の回収とか、そういうのを計算をやったりとか。

西森：そういう形でアナウンスしているところはありますが、本当に量子を使わないとできないような計算をやっているわけでは、現状ではないと思います。

——要するに、今のレスポンス性とか、ちょうど合ったところがあるということですね。

西森：はい。ある意味、ニッチなんですね。ニッチな分野があることは。見つかってきたと。もちろん、時間だけではなくてコストもあるんですけどね。公開されているなんらかの範囲で、少なくとも、多少なりとも技術的な側面が公開されている。

——最初の、一つ目の SavantX さんのとかは、ハード的には、マシンはどこかにあるものをクラウドで。

西森：クラウドです。D-Wave の本社にあるやつ。

——リモートというか、クラウドというか。

——本社のものを使っている。

西森：はい。D-Wave の基本的な方針としても、これも聞いた話なんですが、オンプレミスで出荷するよりも……。

——使わせると。

西森：クラウドで使わせるほうに重点を置いています。わりと頻繁に、数年ごとにアップグレードしてますし、メンテナンス、いろんな面から言って、そっちのほうがいいんじゃないのかというような判断ではないかと思います。

——最適化問題がほとんどのニーズなんですか。今回のお話を伺っていると、発端はスピングラスの話があって、ある種、誤差を縮小していくような話だから、もうほんと、さっきもちょっと言いかけましたけど、画像生成とかってまさに誤差を、誤差拡散の逆というんですかね、今、超流行ってる世界って。それとか、それがニューラルネットワークに関係しているんだとすると、脳科学という言葉があるのかどうかわからんないですけれども、脳系のところとか、発端がそこだとすると、必ずしも最適化問題を解く話じゃなくて、そういう画像とか脳科学っぽいところというか、そっちもありそうな気がするじゃないですか。

西森：はい。基本的にはできると思います。Google のハルトムート・ネーヴェン、先ほどちょっと言ったハルトムート・ネーヴェンが、2000 年代の半ばか 2010 年前後に出了論文がありまして、QBoost (キューブースト) といっているんですが、そういうアルゴリズムを発表しまして、人工衛星の画像を解析して、ある部分が例えば森だと、ある部分が地面だと、ある部分が海だということを自動的に判断すると。そういうアルゴリズム、もちろん、非常に重要な問題ですので、通常のコンピューターでもいろんなアルゴリズムは開発されているんですが、それを最適化問題という形で表現して D-Wave でやらせてみるとうまくいきましたということを書いていますね。そういう形で、なんらかの形で AI 的な問題を最適化問題に落とすことができれば、量子アニーリング……。

——かなりまた広がりますよね。

西森：できます。そういう研究はあります。

——必ずしもゲート型じゃなくてアニーリング型でもそっち系のニーズというのは。

西森：あります。あると思います。

——今は統計的な手法で、Midjourney (ミッドジャーニー) とか Stable Diffusion (ステイブル・ディフュージョン) とかやっているわけですけれども、そこは何か飛び越えそうな。要は、問題はまだ広がる。みんな遠すぎるから、使えるとも思ってないみたいなところがちょっとあると思うんですけども。

西森：ええ。おそらく、いろんな人がいろんな現場で持っている問題を、量子アニーリングにのる形で定式化すると。そのバリアが低くなれば、非常に大きな広がりはさらに見せると思います。そこを援助するというか、そこをなんらかの形でサポートするような業界が量子アニーリングのソフトとかミドルウェアとか。量子アニーリングじゃなくても、先ほど言いましたシミュレーテッド・アニーリングでも、必ずしも瞬間でなくてもいい問題なら大規模な問題、シミュレーテッド・アニーリングのほうは通常のコンピューターでできますので、富士通のデジタルアニーラとか、それから、Fixstars（フィックススターズ）という会社が開発しているFixstars Amplifyというシステムがあるんですが、そういうので解けるので、その二つの……。数学的なフォームュレーションは同じなんですね。量子アニーリングにのせるか、通常の、従来の技術での最適化問題の回路にのせるか。イジング模型という物理の問題。

——イジングモデル。

西森：ええ。一種のスピングラスの問題なんですが、そのイジング模型に現場の問題を落とし込むと。そこをサポートするベンチャーは、日本でも外国でもそこそこ立ち上がっています。そういう業界は立ち上がっています。私の研究室の出身者もそういう会社をつくって活躍しています。

——それは、普通だったらこういうふうに解くような問題を、何かライブラリーみたいなのがあって、Pythonか何かで書いて呼び出すみたいな感じなんですか？

西森：ええ。結構そこは。

——その中の部分を作っているという感じですか？

西森：はい。

——ちょっと私も現物のD-Waveを見たことがないのであれなんですけど、最終的には、マイクロ波なのか何なのかわかんないけど、なんらかの効果を与えて変化させていくわけですよね。ちょっとわかってないんですけど。

西森：そこはね、ユーザーは全然知らなくて構わないです。量子力学、全く知識不要です。ユーザー自身は。

——そういう意味じゃ、ライブラリーを扱えればOKということになりますよね。

西森：そうです。ゲート方式の量子コンピューターを使うには、つまりプログラムをするには量子力学の知識が必須なんですが。量子力学をもろ使ってプログラムを組みますので。量子アニーリングはイジング模型、イジング模型というのは元々量子力学と全然関係ない話ですので、イジング模型に落とすことができれば、後は、イジング模型を量子効果で解く部分は全部ハードウェアが、あるいは、ハードウェアに密接に関連した、ハードウェアの上のレイヤーのソフトウェア、あっちのほうでやってくれますので、そういうアドバンテージはありますね。

——なるほど、なるほど。

西森：ただ、ゲート方式に比べると、できる範囲が限られているので、研究者としてはゲート方式のほうが面白いかもしないです。自由度が非常に高いので。いろんなことができる。

——ロジカルなことができるという。

西森：はい。量子力学のいろんなことを試せるんです。そういう意味で、研究人口はずっと多いです。

——なるほど、なるほど。

西森：それから、開発して、実際に物を作っている会社も多いですね。自由度がものすごく高いので。

——ベンチャーとかもありますよね。量子コンピューターを作る。D-Wave 以外にもね。

西森：あります。たくさん。

## ○現在における関連産業の概観

——量子コンピューター産業全体の、たった今、この 2024 年の全体図って、どんな人たちがどのぐらいいて、どんな感じでお金が動いているんですか？産業面だと。この後、研究の話を聞くのでね。

西森：産業、非常に膨大な分野になっちゃったので。

——実は膨大なんですか？

西森：ええ。

——まあ、ああいうイベントが普通に行われるぐらいだから。

西森：もうたくさんあって、論文も山ほど出てて、おそらく特許も山ほど出てて、とても全貌を把握しきれないですね。急速に、質、量ともに伸びていますね。

——だって、量子コンピューターEXPO とかいって、普通にあの辺の……。

西森：そうですね。

——やってるぐらいだから。

西森：4、5 年前、始めたんですが、RX Japan というエキスポをやっている。相談に最初に来られたんですね。「いやあ、量子コンピューターなんて、そんな、まだ、人、集まらないですよ。やめといたほうがいいですよ」と、僕、言ったんですよね。完全に間違ってました。

——ああ、そうなんだ。そんなに集まってるということなんだ。

西森：ええ。AI のエキスポと一緒にやっているので、なかなか切り分けが難しいですが、ものすごく大きなイベントになってますね。

——それぐらい日本にもプレーヤー、結構いるという感じですか。

西森：興味を持っている人もいると。

——興味を持っている人がいる。

西森：はい。ハードを作っているところは非常に限られています。

——いくつも、でも、あるんですか。

西森：主には、やっぱり理研ですね。

——理研。理研がどこかと一緒にやっている。

西森：中村さん、さっき言った、NECにいた中村泰信さんが中心になって、理研でゲート方式の量子コンピューターを開発して、それに富士通が参加して、富士通も独自にやっていると言いますが、技術的には理研と一緒にやっているんだと思います。ハードを作って、ある程度、できているのはそこだけだと思います。

——あ、そういうことなんですか。

西森：はい。量子アニーリング、ちょっと量子アニーリングの元々の形とは違うんですが、広い意味での量子アニーリング方式の量子コンピューターも、NEDO と NEC が開発しています。NEDO って、経産省の。

——はい、はい。

西森：NEDO と NEC が、産総研が中心になって開発している。ただ、まだ、動く形で外には公開できていないです。非常に難しいらしいです。ですから、とにかく、なんらかの形でできているという意味では、理研、富士通は有望。

——ニュースだと、阪大がみたいな話が出てきますけど。

西森：基本的に理研と、理研、富士通と同じ。

——理研とやっているということだ。理研が今でかすぎるんですよね。

西森：あそこが人と資金を吸い上げてしまって、大学にもちょっと回してほしいんですが。

——半分ぐらい持ってるぐらいの。ものすごい大ざっぱな言い方、体感的な言い方だけど、そのぐらいですよね。

西森：ええ。すごい。

——最先端分野に関して言うと。

西森：すごいです。

——理研は和光ですか？

西森：和光です。中心は和光です。

——ホンダの向かいの。

——あそこの。だから、スーパーコンピューターとかの。

西森：スーパーコンピューターは神戸ですよね。

——研究分野だったところがみたいな感じの。

西森：いや、全然別です。

——違う。また別でやつていらっしゃる。

西森：ええ。別です。

——ありがとうございます。

西森：中村さん、東大なんです、東大の教授なんですが、東大と理研を兼任していて、今は理研を主にやっているんじゃないかと。

——そういうパターンが多いですよね。

西森：ええ。

——海外も含めると、どんな感じなんですか？日本はそんな感じ。

西森：海外は、アメリカを中心にたくさんスタートアップが立ち上がっています。大きいところでは、スタートアップじゃないけど、もちろん、Google、それから、IBM、それから……。たくさんあって言いようがないんですが、有名なのは IonQ（アイオンキュー）といって、イオン方式の量子コンピューター。これはメリーランド大学のスタートアップで、IonQ というところがあって。それから、今、非常に勢いがここ数年で出てきたのは、ハーバード大のスピントラップというか、ハーバード大のスタートアップで……。名前はど忘れしたんですが……。

——ちょっと戻ると東大で……。

西森：QuEra（キューエラ）です。QuEra。

——はい。光量子コンピューターみたいな話が東大であって、NTTがお金を出すとかありましたね。あれは何なんですか？

西森：古澤先生（：古澤明）、古澤研で、光方式の量子コンピューターをずっと長い間、開発して。まだ外に……。

——ビジネスというか、今の文脈では出てこないと。

西森：ええ。基礎研究だと思います。なんらかの形で外の人にも使える形で公開できるようになっているのは理研だけだと思います。

——なるほど。戻ると、ワールドワイドだとやっぱりアメリカなんですか。中国は後はどうなんですか？

西森：中国は、ちょっと、情報の公開があまり完全じゃないのでつかみきれないんですが、盛んにやっているらしい。

——しらっとやっちゃってる可能性……。

西森：中国は一番強いのは量子通信という。

——そうですよね。実用化しますよね。既に。

西森：ええ。それはパン（：潘建偉）さんという人がリーダーで、元々、オーストリアで研究をしていて中国に戻ってきたんですが、彼が中心になって、人工衛星を使った量子通信を実用化して。

——どうするみたいなときに、既に動かしていますみたいな。ショックを受けたので。

西森：あっという間に世界のトップに躍り出た。彼もさっき言った意味で、欧米帰りですね。欧米に行って、非常にたくさん、先ほど外国人が多いと言いました、中国人もたくさんいて。その人たちがどんどん中国に戻って。

——まあ、量子通信はちょっとジャンル的にはかなり違う。

西森：ただ、彼は非常に広い見識と、それから、政治的な力を持っていて、彼を中心に量子計算を含めて、非常に大きなグループができています。

——なるほど。

西森：で、企業もやっているみたいですね。

——あ、そうなんですか。

西森：ええ。いろんな企業は、中国の大きな企業は、やってる。

——深圳で10ビットの量子コンピューター、買いました？

西森：きましたね。宣伝きましたね。

——あ、宣伝きました。買ってないですか？

西森：ちょっと心が動いたんですが。

——あれを売ってる会社やった人間はちょっとよく知ってる人間なんんですけど。

西森：そうですか。手が届く微妙な値段なんですよね。

——いくらでしたっけ？

西森：覚えてないですが……。

——買える値段ですよね。

西森：買える値段だったんですよ。

——だって、かつて D-Wave が 1Q ビット、2Q ビットといったときのことを考えたら、机に載るんですよ。

西森：でも、これ、本物かなと（笑）。

——でも、D-Wave もそう言われたわけですよね。

西森：ええ。いや、おもちゃとしては面白いかもしませんが、まあ、ちょっと。

——そんな簡単にできるものなんですか？

西森：今だったら……。

——できちやうかもしれない。

西森：そういう意味だったらできるのかもしれないですね。

——できちゃうかもしれないですね。

西森：はい。

——D-Wave でちょっとお聞きしたいと思った。例の、後藤英一さんの超磁束パラメトロンが組み合わさって使ってるじゃないですか。

西森：はい。

——あの辺って、何のために必要で、どういうあれなんですか？

西森：私はあんまりハード、詳しくないので、正確ではないかもしれないですが、元々、パラメトロン、超伝導パラメトロンという技術は、D-Wave でも使っているらしいです。量子情報の呼び出しに。

——そうなんですよ。呼び出しに使ってるんですか？

西森：呼び出しに使っているらしいです。

——元々、あれ、単体でコンピューターとして作ろうと、まさにやっている最中のころ、僕、取材させていただいたことがあるんですけども、あれ、単体がコンピューターのつもりなんだけども、呼び出しのための部分になってるという感じですかね。

西森：らしいです。

——サブな存在ですよね。

西森：先ほどちょっと言った、NEDO で NEC と産総研がアニーリング方式の拡張版を作っているのは、そのパラメトロンを中心に据えている超伝導で。

——そうなんですか。

西森：日本はその技術でやろうということ。そういう影響も、日本の研究は及ぼしています。

### ○量子コンピュータにおけるアニーリング型

——最初に、三つか四つの段階に分けてお聞きすると言ったんだけど、1個目の、どういうバックグラウンドでどういう経緯で出てきたか。ある種、そこで、偶然というよりは、どっちかというと、アイデアを出して、道を開かれたと思うんですけども、そういったことがあったとか。それから、D-Wave が出てきて、それが応用されて、ちゃんと産業界に入ってきていて、まだまだこれからもいろいろありそうだみたいな。一方、ゲート型という対極の動きもあって、これはまた違った世界ですみたいなことも伺えたので、大体ここまでの中の1と2と、3番目に、開発体制に関してお聞きすると言っていたんだけど、今、ちょっともう出ちゃったし、途中も出てきちゃっているんですけども、そういう新しい技術を、サイエンスですね、どっちかというと、サイエンスを育てたりとか、それを技術として実装していくとか、そういったことに対して何が重要なとか、課題は何かとか、必ずしも否定的な話だけじゃないと思うんですけども、いいところもあると思うんですけども、世界はこうで、日本もこういうことをやったほうがいいんじゃないかみたいなことを伺えるとよろしい。途中でも出てきたんだよね。ちょっと繰り返しつぶくなっちゃうかもしれないんですけど。なぜアニーリング型でうまくいったんですかぐらいから入るといいのかもしれないけど。

西森：それは偶然だと思います。

——偶然なんですか。

西森：ええ。人生、偶然の連続なんですよね。あまり大きなことを言っても始まらないです。量子力学をアニーリングに使ってみようと思いついたのも偶然だし、量子アニーリング、Quantum annealing という言葉そのものもふと思いついた偶然。クォンタムという、もちろん量子力学、Quantum mechanics なので、クォンタム、量子という言葉は知ってましたし、シミュレーテッド・アニーリングということでアニーリングも知ってたんだけど、その二つをアイデアとして組み合わせ、それを Quantum annealing と呼ぶということを思いついたのも偶然で、私、そのときには Quantum annealing という言葉が誰か既に使われているかどうかというのはもちろん調べもしなかったですし、それが英語として適切かどうかということも全く。

——ちょっと微妙ですよね。実は。

西森：ええ。そうなんです。

——アニーリングをあるものに対してやるので、手法として量子が入っているだけであって、量子の世界をアニーリングするわけじゃないじゃないですか。

西森：まあ、そうですね。ちょっとまた歴史の話になりますが、Quantum annealing という言葉は、実は、ほかの研究者が2度ほど前に使っていたということが後で。似ている部分もあるけど、本質的には別の問題。量子力学にヒントを得た、一種の量子を使わない古典的な最適化手法として Quantum annealing という言葉を使っていたということは後からわかりまして、時々彼らの論文を引用するんですが、言葉としてはそういう形で、独立に別々の世界中のいろんな研究者が Quantum annealing という言葉を使っていた。それも面白いことだと思いますが。それから、もう一つ話がありまして、MIT の連中が量子断熱計算、Quantum Adiabatic Computation という別の言葉を使って、本質的には同じアイデアを数年後に出したと言いましたが、その彼らの言葉のほうが、2000年代、2000年ごろから2010数年までは、ほとんど……。

——メジャーだったんですか？

西森：メジャーです。

——へえ。

西森：D-Wave が歴史的な経緯をよく勉強して、我々の Quantum annealing の論文を引用して、それから我々の論文も注目されるようになって、Quantum annealing という言葉はどっちかというとメジャーになってきた。

——D-Wave のおかげじゃないですか。

西森：そうなんです。

——彼らが創業してなかったら、ちょっと違ったかもしれない。

西森：ええ。1998年、面白いねで終わって、私はもう死んでたと思います（笑）。

——死んではいないかも知れないけど、もっと暇してたかも知れない。

西森：ほそぼそと、非常に狭い学術の世界で生きていたと思います。アイデアを起業化することははしたないという考え方で今もいたかも知れないです。そういう雰囲気がやっぱり、今の物理にもあることはあるんです。

——今でもありますかね。

西森：あると思います。役に立たないのが偉いんだという風潮がやっぱりあると思います。それは、必ずしもそではない。役に立つことばかりを念頭に置くよりも、もっと内的な衝動というか、何かを知りたい、自然の原理を知りたいという衝動によって大きなことができるんだというのは、ある意味、正しいと思いますね。

——純粋数学の世界というか。

西森：ええ。

——数学が女王だみたいなね。

西森：数学は全くそうなんですが、物理の中でも、そういう見方はある意味、真実だと思いますね。本当に役に立とうと……。もちろん、工学というのは非常に重要なもので。

——隣り合わせで、工学の人たちはもう実用のほうに。

西森：ええ。工学はそれがもちろん一番重要な、役に立つことをやるというのは重要なんですが、理学のほうは、自然の原理を知りたいという衝動が主なモチベーションにならないと本当に大きなことはできないというのは、ある意味、真実だと思います。ただ、私の場合には非常にラッキーなことに、そういう内的な動機から、つまり、量子力学をある問題に使うという、全く役に立てようと思ってやったことではなくて内的な動機からやったんですが、それが結果的に役に立つ。だから、全く偶然で、そういう世界に入っちゃった。そういう形で社会との接点を持つようになって、私、結果的には非常に視野が広がったと思っています。ですから、これからどうすればいいか

というなかなか大きな課題をいただいたんですが、内的な動機だけでやっている人たちにもなんらかの形で別の見方を、強制するのではなくて、こういう面白いことも社会にはあるよということに接する機会をつくることができれば、何かまた別の発展があるかもしれませんとは思いますね。

### ○我が国における研究状況の特徴と課題

——よく縦割りというか、ジャンルの溝があつて、例えば、AI の世界とロボティクスの世界というのが溝があつて、元々は AI って、画像処理とかロボティクスも全部ごちゃごちゃだったはずなのに、どっちかというと、きれいに分かれちゃっていてみたいなことって起きるじゃないですか。そういう分野による縦割り的なものが日本はどうのみたいなのってないんですか？

西森：日本を全部知っているわけではなくて、外国も全部知っているわけではないので、私の非常に限られた経験の範囲で言うと、やっぱり、日本とアメリカ、ヨーロッパ、カナダを比べると、縦割り的な傾向が強いような気がします。日本は。例えば、物理の中でも、物理の中の細分化された分野の中でそれぞれの研究室が独立にやっているという傾向が強いんですが、アメリカやヨーロッパに行くと、やっぱり、結構いろんな人が違う分野の人たちと日常的な話をしてアイデアを交流しているという……。

——午後の紅茶で会話してたら……。

西森：はい。それありますね。

——数学の問題がこっちの問題と、何だっけ、あれは。フェルマーのなんとかだったかちょっと忘れた。何でしたっけ。有名な問題がそういうのでかなり進んだ話とか、いくつもありますよね。実は。

西森：はい。ティータイムというのは結構重要なディスカッション、アイデアの交流の時間になっていて、日本ではあまりそういう機会はないですね。違う分野の人たちが集まって雑談をするという機会が。日本の大学はそういう余裕がないですね。

——ほんとですか。

西森：私の実感としてはそう思います。なんで欧米の連中はあんなに余裕がある。よくわからないんだけど。

——時間的な余裕なんですか？

西森：時間的、心理的な余裕ですね。

——研究室のマネジメントの問題なんですかね。

西森：思いつくままにいろんな理由を挙げると、重要かどうかはわかりませんが、言うと、まず、会議やら事務処理が結構多いですね。それから、物理とか理学系の人間で言うと、入試の負担がものすごい大きいです。入試問題を作るというのは非常に大きな負担になっていますね。数学、物理、化学、生物。入試問題というのは、もちろん、決して間違ってはいけないですし、完全な無謬性が求められますし、ちゃんと作って当たり前。間違えると徹底的にたたかれると。ものすごく神経、心理的なものだけではなくて、時間的にも負担になっています。ですから、会議にしても、おそらく東工大は……。ほかの大学を私は、学生として東大にいただけなので、ほかの大学の運営の現状というのは知らないんですが、東工大はおそらく、まだ会議は少ないほうだと思う。かなりトップダウンでいろんなことが決まってくるんですね。例えば、医科歯科大学との合併というか統合にしても、上からふってくるような感じで。例えば、ほかの大学だったら、例えば、東大とか京大だったら大騒ぎになってつぶれるというような話なんですね。そういう意味で、比較的、良きにつけ悪しきにつけ、東工大は内部で運営に関する議論を長々とするということがないと思いますが、それでもやっぱりいろんな会議がありますね。

それから、学生に関する処理がやっぱり多いですね。学生の面倒を見ないといけないという言い方は、僕はあまり好きじゃないですが、学生を育てないといけないと。それに関しては、授業があるんですが、授業はそんなに大した負担ではない。少なくとも東工大とかメジャーな大学、毎日授業があるというような状況では。週に1コマ、2コマなんですね。それが重いということはないですが、もちろん、授業の準備というのは一生懸命しないといけない。学生のもちろん、大学院生の指導は個別にしないといけないですし、学生に関するいろんな学務、事務処理、学生の卒業の認定に関する会議やら、いろんな発表の機会に付き合うとか。付き合いという言い方はよくないですが、発表の、教育の場に立ち会うと。そういう教育の負担は結構。

ただ、教育というのはある意味、前向きなので、学生が育っていくので。

——まだいいと。

西森：やりがいはあるんですが、大学の運営に関するいろんな議論というのは、なかなか、こんなことを我々がやるべきことだろうかとか、そういうこと。例えば、これも世間的には、日本では大学の教員の仕事だと思われているんですが、高校に行っていろんな大学の宣伝をするとかね。そういうのは、アメリカではプロがやるんですね。専属の職員がね。そういうような負担はあります。

ただ、アメリカ、あるいは、ヨーロッパでも聞いていると、研究資金の獲得はやっぱり大変なんだ。日本で運営費交付金といわれて、特に申請しなくとも文科省から自動的にくる、人件費に主に使われている費用、国立大学はそれが非常に大きな割合を占めているんですが、それが段々減ってきて、競争的資金といって、何か申請書を書いて個別の研究テーマごとに獲得しないといけないと。それは大変だという声もあるんですが、大変は大変なんですが、アメリカのほうがもっと大変なんですね。研究資金をとるの。膨大な書類を書いて、それから、金が来ても、その処理にかなり膨大な時間。

——レビューイングも厳しいんじゃないですか？

西森：厳しいです。何回か審査をやったことがあります、日本の科研費よりはるかに膨大な、論文に相当するような膨大なエビデンスを含めた計画書が提出されてきて、それをきちんと読んで、論文のレフェリー並みのコメントをしないといけないのでなかなか大変なんです。ただ、彼らはそれがうまいんですよね。プロ的にうまい。そういう訓練を受けてない。我々。

——秘書がいるからとか、そんなことじゃないんですか？

西森：秘書もいますが、例えば、さっきちょっと言った、アメリカの量子アニーリング分野のリーダー的な存在のダニエル・リダーさんって、研究でもトップクラスなんですが、そういう事務処理に関してもものすごい才能があって、超人的な、いつ寝てるんだろうと思うような。そういう人が育っているんですね。我々は……。ちゃんとそういう教育を受けたのか、元々そういう才能を持っているからそういう立場になったのかよくわからないんですが、事務処理能力と研究能力を同時に持っている人というのは日本で見かけないです。

——何なんですかね。

西森：よくわからないです。一つには、ちょっと後ろに下がってみると、彼も元タイスラエルなんですね。やっぱりそういういろんな意味での才能の高い人がアメリカの大学に……。彼は元々カナダにいたんですが、北アメリカの大学に引き寄せられて、そういう人たちが残って、アメリカあるいはカナダの大学の最先端研究、事務処理まで含めた最先端研究を支えていると。それが圧倒的な強みですね。その中にかなりたくさんの中人、非常に多くの中人がいて、その一部が帰ることによって、中国の研究レベルが、ここ10年、20年の間に急速に上がっていって、あっという間に、かなりの分野で日本を超してしまっている。もちろん、資金もあるんですが、資金だけではないんですね。人材。人材の環流、それから、それを支えるシステム。日本は非常に、その辺が保守的。

——日本の大学の話から、今、始まったじゃないですか。

西森：はい。

——日本の大学のそういうシステムの効率に関して、真正面からそれを課題として研究とかされてるんですかね？

西森：それをシステムティックにやっている人はいるのかな。聞いたことないです。

——日本語という問題はあるんですか？

西森：留学生に関してはあると思います。

——日本の研究者にとって、日本語で育って、日本語で普段やっていることとか、研究も日本語で論文書いたりとかしてたりすることに関して、何かないんですか？

西森：論文は全部英語です。

——全部英語ですか。

西森：100%というのは言い過ぎかもしれません。ほぼ、全部英語。ただ、研究発表は日本国内だと日本語。外国人がいると、原則、英語というのはこのごろ定着してきたと思います。

——なるほど、なるほど。

西森：ただ、学部レベルの留学生は、やっぱり、日本語ができないとダメ。そういう意味で、優秀な留学生が来るバリアになっていることは確かだと思う。

——なるほど。

西森：ただ、まあ、それが日本の強みだという人もいて、母国語で高等教育が受けられるというのは世界で非常に限られたところでしか。

——うん。日本とかロシアとか、フランスぐらいとか、言いますよね。

西森：それはあると思います。中国でも……。

——中国はそうですね。

西森：かなり英語らしいです。

——あ、そうですか。

西森：ええ。最先端の話は。

——東工大の中で英語教育にすごく力を入れられて、受験が変わってきたみたいなところも。

西森：東工大は、大学院の授業、原則英語です。学部は違いますけど。学生の英語力は以前より上がっているんじゃないかとは思います。

——ちょっと話を戻すと、大学の先生が研究していく課程において、あまりにも忙しいみたいな話が一つはあるぞという話ですね。

西森：ちょっと、先ほど言いましたように、全部の大学の現状を知っているわけではないのであんまり強いことは言えないんですが、東工大とか東大とか、そういう旧帝大クラスの大学はまだ、まだましなのかもしれないですね。もうちょっと別の地方大学へ行くと、もっと大変だと思いますね。基本的な研究費はほとんどない、運営費交付金として以前は自動的に支給されていた資金がほとんどなくて、競争的資金、科研費なんかをとてこないといけないけど、それもなかなかうまくいかないということで、自発的な、先ほど言いました、理学的な、自分の興味だけに基づいて自然を探求しようというのが非常に難しくなっているというのが事実ではないかとは想像します。昔はよかったですとは言いますが、昔は昔で非効率なことがたくさんあったのは事実なので。昔はよかったですとはもちろん言えないとは思いますが、昔とは質的に変わった。例えば、昔だったら、今だったらもう上からふってくるようなことを延々と教授会で議論していた。聞いた話なんですが、ある大学で、昔は、自転車置き場をここにするか、ここにするかで数時間議論して結論が出なかつたというような。そんなばかなことは今はなくなっていますよ（笑）。

——それは何なんだろう。僕は、もうひとつわかつてないんだけど。

西森：教授会が全ての権限を握ってたんですね。

——すいません。ありがちだと思いました。今。

——地位が多分、みんな偉いわけ。

——まだ議論してるかもしれない。どうしよう。何をどこに置くかというのを。

——皆さん、一家言あるわけだ。

西森：東工大ではなくなりました。教授会はほとんど形骸化しています。年に数回集まって、報告的なことがあるだけで。

——なるほどね。

西森：ただ、かなりの大学ではまだあるのかもしれないですね（笑）。

## ○我が国の量子コンピュータ産業における課題

——研究の場はそうだというんだけど、量子コンピューターで見ると、産業的な部分とかもあるんですが、このあたりで、日本で、今、課題というか、課題になっているようなところってある。どうなんですか？やれる感じですかね？どうなんですかね？

西森：やっぱり世界の現状を基準にすると、なかなか。

——それはハードウェアの話。

西森：ハード的には難しい。もちろん、日本独自の技術を開発するのはいろんな意味で重要なんですが、世界のトップをつかむというのは相当大きなブレークスルーが、新しい方法が出てこない限り、現状の延長ではなかなか難しいんじゃないかとは、横から見てて思います。内部のことをよく知らないので、強いことは言えないんですが。ソフト的にも。例えば、アメリカなんか、ハードもそうなんですが、例えば、GoogleならGoogle、南カリフォルニア大なら南カリフォルニア大、ハーバードならハーバード、MITならMIT、メリーランドならメリーランド、その一つのグループの中にたくさんの中の優秀な人がいて、それがいわゆる山脈をつくっているんです。山脈が連なって、全体として大きなアクティビティなんです。日本でも優秀な人はいるんですが、山脈をつくってないんですね。ポツ、ポツ、ポツと。なかなか、点がつながって線や面になっていない。もちろん、文化としていろんな交流に対してなんらかのバリアがあるということもそうなんですが、人数が絶対的に少ない。やっぱり、規模の問題と。規模の問題はやっぱり人材の問題に行き着く。優秀な人がたくさんいてという問題に行き着くと。ですから、どうしようもないとは言いませんが。それを言っちゃおしまいなので（笑）。

——まあ、でも、テクノロジーの世界だから、ある種、ヒントンみたいに、頑張ってきたものが、あるとき、ビュッと頭出ることもあるから。

西森：可能性は、もちろん、あると思いますが。ちょっと今、それもすぐに見える状況ではない。だから、地道な努力は続けないといけないとは思います。

——量子コンピューターの学会もあるわけですよね。

西森：ないです。

——あ、ないんですか。

西森：特化した学会はないです。いろんなところに分かれています。

——やっぱり何千人規模いないと、なかなか学会という感じにならないですよね。

西森：量子コンピューターを研究している人を集めれば、ゲート方式は……。

——1000人ぐらいにはなるんですか？

西森：なるのかもしないですね。ただ、量子コンピューターを主に研究して、これからもずっとやっていく。例えば、物理学会だったら、物理を主に研究して、これからもずっと……。

——もう一生やるという感じですよね。

西森：そうそう。それが1万人、2万人いるんですが、そういう感じではないですね。

——今、企業では、お前ちょっと使ってこいみたいなぐらいだと。

西森：ええ。そうですね。

——一生という感じにならないですよね。

西森：大学の研究者でも、ずっとこれからやるかどうかはよくわからないということで、量子コンピューター学会みたいなものをつくって、そこを主な活動の拠点にするという雰囲気ではないですね。つくればなんらかの意味のインパクトはあるのかもしれませんけど、規模的にも、運営的にもちょっと違うかなという。

——理論屋さんとハードを作成する側とが、あまりにも違いすぎるというわけではない。

西森：そうでもないですね。

——ない。

西森：逆に、この分野というのは非常に、ある種、難しいので、理論とハードがかなり密接に関連しながら発展しています。完全でないハードしか、今はないんですが、それがどうやると完全になるかということを理論家が一生懸命研究している。その成果をまたハードが取り入れて少し前進して、それをまた理論にフィードバックすると、そういうサイクルは回っています。そういうフィードバックというか、やり取りはわりと、日本でも盛んではないかと思います。

——川崎の IBM のあれを見にいったんですけどね。Q 改め、なんとかって名前変わったんですけど。そのとき、いろいろプレゼンしていただいたんだけど、何かフォーラムができていて、そのフォーラムに加入すると使えるらしいんですけどね。研究会みたいになっているイメージはあったんですけど。

西森：IBM に関して、IBM を使う人たちのグループみたいなのはあるという。

——そのグループに入らないとそもそも使えない。

西森：ええ。あれは、やっぱり商用ですので、なんらかの形で……。

——お金払って。

西森：ユーザーですね。かなりの額だと聞きましたが。

——うん。

西森：私が聞いた数字は驚くような数字だったんです。

——まだ、でも、規模的には全然まだそういう感じではない。

西森：ええ。まだ、ゲート方式は、産業で、現場で使うレベルには達していないので。

——なるほど。人材だとすると、難しいですね。そういう研究室とかが増えれば、でも。物がでなくてなくても。

西森：一つ、私が感じている問題点というのは、大きな資金が、今、日本でも政府から投入されているんですが。

——ですよね。ニュースになってますよね。

西森：理研とか産総研に重点的に投入されます。

——まあ、先ほどの話ですよね。

西森：ええ。理研もおさえますし、産総研もかなり大きな予算をとっていて。大学にそれほど、理研、産総研ほどきてないんですね。やっぱり、人材の育成が長期的に見ると一番重要なので、大学にもっと投入しないといけないと思いますね。大学の研究室を充実させないといけない。

——なんでそうなっちゃってるんですかね。

西森：大学に新たな金を投入して、これで量子計算の分野をつくれと文科省は言うことはできないんですね。文科省は大学の個別の分野に対して指示をするということはなかなかできない。誘導することはできても、指示はできないんだと思います。

——大学側がこういうことをやりたいという構図じゃないんですか？

西森：それはできると思いますが、大学が例えば、概算要求というんですが、文科省に対してこういうことをやりたいので予算をくれと。大学が概算要求をしても文科省はなかなか。

——そう簡単にはいかない。

西森：そう簡単にはいかない。

——まず、大学の中でそれが必要かというのがまず。

西森：それ、議論するんですよね。教授会で延々と。

——いや、それに関するすごい暗い話を昔聞いたので。

西森：そうすると、ほかの分野の人たちが、いや、俺のほうが重要だと。

——そうなんですよ。

——東北大が、かなり大きな。

西森：東北大は、大野総長（：大野英男）がいろいろリーダーシップを発揮して、国際卓越もそうなんですが、量子に関してもかなり充実させています。ああいうことができる大規模大学、東北大だけかもしれないですね。ただ、非常に大きな研究所、例えば、Google の量子 AI 研に相当するような数十人規模の、世界トップクラスの人を集めることはやっぱりできないと思います。

——金がまず、すごい。

西森：例えば、1人 2000 万円の人工費で、理論だけだとしても、20 人だと、20 人で 2000 万円で 40 億円。人工費で 40 億円って絶対できないと思います。東工大の授業料収入が 50 億円ぐらいだったと思いますね。それを全部新たな分野の研究者にはできないですね。でも、何十億円という金が、理研、産総研にはおりてるんですね。それでいろんなことをやって。それはそれで意味があると思いますが、もうちょっと長期的に、人材育成から頑張らないと。

——考えるんだったら大学だと。

西森：大学だと思いますね。

——なるほど。

西森：ですから、大学も大学の固有の問題があって、先ほど言いましたように、大学の中で議論すると、やっぱり分野の間のせめぎ合いがあるという。例えば、これ、聞

いた話なので、自分で直接確かめたわけじゃないんですが、中国に着任した、アメリカから帰ったある有力な人が、その中国のある学科の責任者になったんですが、現在いる人たちを見て、あ、これはダメだと思って、ほとんど全員をクビにして新しい人を入れた。日本では絶対できないですよ。だから、民主主義がいいのかどうか（笑）。

——まあ、民主主義なのか、日本的な。

西森：いや、それは、アメリカでもさすがにできないと思いますね。今いる人をみんなクビに。そういう権限が、いい人に、適切な……。判断の力量を持ってない人がそういう権限を持つと大変なんですが、適切な判断をする力量を持った人にそういう権限が与えられるとものすごく大きな飛躍ができる。

——なるほどね。

西森：だから、中国でここ10年、20年の間に急速に研究が進展して、あっという間に世界のいくつかの分野については世界のトップになったと。中国でできるなら日本でできないわけがないということを言われたことがあります、やっぱり、全然体制が違う。だから、彼らのやり方がいいとは思いませんが、クビになる人は大変なので。

——その中国の人たちとか、インドとかもそうだけど、やっぱりアメリカで活躍していくみたいな話があるじゃないですか。

西森：ええ。

——日本人が外に出ていくことに関してはどうなんですか？

西森：それはやっぱり、外に出て刺激を受けないといけない面はあると思いますね。私もアメリカに2年半いて、ポスドクだったので、そんなに大学の運営なんかの現場に立ち会ったわけじゃないんですが、やっぱりカルチャーというのはすごい感じまして、少なくとも、いろんなことをストレートに言うようになりました。

——なるほど、なるほど。

西森：あるフランス人かな、フランス人と話してて、"I'm not a typical Japanese."、  
「私は典型的な日本人ではない」と言ったら、"Yes." と言われた（笑）。あ、そう  
なのかと。

——なるほどね。

### ○後進への提言と将来への視線

——ちょっと時間もだいぶあれしたので、最後にですね、そうですね、ほぼお聞き  
たいことはお聞きした感じなので。これはこれから的研究者とか学生たちに言ってお  
きたいぞということが。

西森：若い人に対しては、年寄りが何を言っても気にするなど。好きなことをやれと。  
こういうことを言うと目をつけられて、自分がプロモートしてもらうときに何か影響  
するんじゃないかという恐れを抱く人がいるかもしれないけど、そんなことないです。  
まともなところでは、少なくともまともな大学ではそんなことしてないです。まとも  
じゃない大学は知りませんが（笑）。好きにやったほうが絶対いいです。好きにやつ  
て、好きに言って、恐れるよりも恐れさせたほうがいいと思います。

——ああ、いいですね。

西森：自由にやってくださいというのは若い人にぜひ言いたいですね。ビビらない。

——要は何だったかというと、僕はIT産業史の授業を、今、一生懸命つくっているん  
ですけども、世の中に対して、コンピューターができたことで街の風景とか変わった  
わけじゃないですか。橋ができ、ビルが建ち、ロケットが飛ぶみたいな感じで、量子  
コンピューターが実用化したときに、これから、何年かかるかはちょっと簡単には言  
えないみたいなお話をありましたけど、これからもっと、例えば、アニメーリング方式を  
もっと使えるようになると、ゲートのQビットがもつとはるかに増えたりとかして、  
できたときに、何ができるか。それが同時に、量子コンピューターの価値というか重  
要性になると思うんですけども。何ができる、どういうインパクトが出てくるんですかね。全く変わっちゃうようなね。

西森：私は、そうは必ずしも思いません。

——おお、そうですか。

西森：今できていることがもっと効率良くできるようになる。ほんとに驚くような新しいことができるかどうかということで言うと、私はあんまり、それは期待してないです。例えば、さっき言った例で、ロサンゼルスの港のコンテナの動かし方を改良したと。外から見ていると、変わったように見えないです。ただ、それを使っている人から見ると、前よりも何十%かは効率が良くなる。トラックの待ち時間が短くなっている。それから、コストが下がったと。そういう形で前進はしていくと思いますが、例えば、今までの、10年たつと、そのトラックの動きが1万倍良くなるかって、そんなことはないと思うんです。そういう意味で、改良、世の中が良くなっていく可能性はあるとは思いますが、今までできなかつたことが、驚くようなことができるようになるかどうかというのは、私はちょっと予測できないです。予測できないことが実現する可能性はあります。

——よく暗号が解かれてみたいなね。RSA暗号が解かれちゃうので、世の中、ひっくり返るんじゃないかなみたいな議論がありますが。

西森：暗号に関しては、耐量子計算機暗号といって、量子コンピューターでも解読が困難な暗号への切り替えが始まっていますので、RSA暗号が解読できるような、例えば、2000ビットのRSA暗号を解読できるような量子コンピューターが数十年先にできたとしても、それはそういう目的には役に立たないと思います。それに対する対策はもう既に始まっています。ですから、RSA暗号を解くことを目標にして、それを主な目標にして量子コンピューターを開発するというのはなかなかモチベーションになりにくいくらいだと思いますが、現在、暗号化されて保存されている情報を30年後に読むことによって何か利益を得られるとか、そういう問題があれば、ある程度、インパクトはあると思いますが、それが何かわからないんです。例えば、30年前のある人の銀行口座を見たって、多分、しょうがないと思うんです。軍事情報だって、30年たてば、ほとんど価値がないですね。ただ、RSA暗号が2048ビットの、例えば、非常に大きなRSA暗号が10年後に読まれるようになると、10年前のデータというのはなんらかの形で軍事的にも役に立つかもしれない。そういう恐れをもつていろいろ備えている、あるいは、逆に開発しているところはあると思いますが。

——コンテストなんかもありますよね。

西森：それが実現する、10年の中にそういう大規模な安定した量子コンピューターができる可能性は極めて小さいと思います。そういう意味で、暗号はあんまり……。

——それよりは創薬とか材料という感じですかね。

西森：そういうことはいわれていますが、それも暗号と同じぐらいやっぱり難しい。

——あ、そうなんですか。

西森：つまり、非常に大規模でノイズが小さくて安定な量子コンピューターができると、今までの計算機、あるいは、今までの実験でできなかつたようなことが非常に高速にできるようにはならないので、そういうコンピューターが、量子コンピューターが、ゲート方式の量子コンピューターが、例えば、10年スケールでできるとなかなか思いづらいですし、例えば、30年後にできるとして、量子コンピューター以外の技術でそれが、その時点でもできないかどうかというのはわからない。

——それ以外の技術って何なんですか？

西森：想像できないですね。

——大脳オルガノイドだったりしますか？

西森：わからないです（笑）。その言葉は私は初めてなので。

——えー、大脳オルガノイド、めちゃめちゃ匂ですよ。

西森：すいません。私は……。

——画像認識とか始まってますよ。翻訳とかも。

西森：私はもう井戸の中で生きている虫ですので（笑）。

——ああ、そうですか。ものすごい注目分野です。

——コンピューターのものとして、真空管から IC チップ、そして量子コンピューターへというような言い方をされるんですけど、真空管がなくなつて、結局、IC チップでという考え方ではなく、枝分かれ的な。

西森：ええ。量子コンピューターができるることは限られていますので。ゲート方式は今のコンピューターのある意味、上位互換なんですが、特に速くなるものも非常に限られているので、今のコンピューターを量子コンピューターが置き換えるということはないと思います。それこそ、量子シミュレーションの創薬やら、物質開発の量子シミュレーションやら。

——そんなにバラ色ではないんだ。

西森：非常に限られた分野でうまくいく……。

——かもしれない。

西森：かもしれないです。20、30 年後に。メディアでいろいろ大きなことができるという報道、時々ありますが、やっぱりそれは、企業やら大学の研究者が注目を引く、ちょっと変な言い方、注目を引くことによって……。

——予算欲しいしみたいな感じですか。

西森：え？

——予算欲しいしみたいな。

西森：予算もありますし、やっぱり、予算以上に、注目をして自分の研究に対して焦点を当ててほしいという、そういうモチベーションもかなりあると思います。

——Google は、でも、そうやってお金を投入してやっている分には、ちゃんと目標があるんじゃないですか？

西森：かもしれないですね。ただ、Google はちょっと今のところ、停滞している印象はありますね。大きなシステムをどんどん開発するという。

——そうなんですか？

西森：ええ。IBM やほかのベンチャーのほうがかなり先へ行っている。

——そういうことなんですか。

西森：ええ。Google は主要な研究者が数年前、抜けましたし、ちょっと、基礎研究はやっているんですが、実用化に向けてどんどん大きな進歩をしているという感じではなくなっていますね。この先、どう続けていくのか、あるいは、方向転換をするのかというのをちょっとよくわからないですね。

——ちなみに、AI と関係性ってどうなんですか？ディープラーニングとゲート型とか、相性、一見、良いみたいな気もするんですけど、そうでもないですか？

西森：あんまりよく知らないですが、そういう研究はあるのかもしれません。量子AI という分野はあります。

——うん。何かね。

西森：学習を加速するとか、そういう話はあります。

——そうそう。スピードが勝負なので。

西森：ええ。あるいは、学習に要する電力を低減するとかね。電力も非常に深刻。

——そうですね。量子コンピューター、電力が有利ですからね。

西森：それで、かなり実用に近い、あるいは、実際に実用に使われているという例はまだなかなか。

——まだ全然ない感じですかね。

西森：基礎研究だと思います。

——電力の話が今日……。何桁も下がるわけですよね。

西森：同じことをする、超伝導技術ですので、超伝導に冷やすのにはある程度の電力は要りますが、動くこと自体に関しては、基本的に抵抗はないので、ほとんど電力食わない。

——ほとんど電力ない。

西森：例えば、D-Wave のマシンだと、数十キロワットと言いますね。

——数十キロワット。

西森：サーバー数台分が。それでかなり大きいことができる。

——1回、冷やしちゃえば、後はそんなに。

——AI とかって、すごい電力問題って出てきて。

西森：ええ。深刻だと聞いています。

——ですよね。だから、絶対、今ままいったら足りなくなって、という話が出ますよね。

西森：だから、AI で、学習の一番コアの難しい部分をなんとかして量子でやろうという研究はあると思います。ただ、それが本当に実用になるには、やっぱり、その量子コンピューターのほうの規模やらエラーの問題を解決しないといけないので。

——AI のほうもパラダイムが1年ごとに結構変わっているから。最近、1.58ビットとかよくわからない。あるんですよ、これが。要は、精度がほとんど要らなかつたんじゃないかなと。実は。1ビットでいいんじゃないかなという。

西森：1ビットですか。

——1ビット、実は3状態持っているので、バイナリの1ビットじゃないんですけど。三つの状態で表すので1.58ビットと表現しているんですけども、これはまた中国が進んでいるんですよね。全然違うんだけど、精度はだいぶ近づいてきているんですよね。今、要は、何ビットかの整数とかで処理しているわけですけれども。実は、3状態を持つ1ビットでやってもあんまり変わんない。実は。そんなの、何がぴったりかとかもわからなくなってきたよね。

西森：中国にとにかく優秀な人たちがたくさんいます。とにかく驚くような優秀な人たち、何人も知っています。中国人。中国の本土に戻っている。

——なるほどね。それ、人口の問題じゃなくて。

——人口の問題もありますよね。

西森：もちろん、人口はベースにはありますが、それだけではなくて、システム。

——それから、アメリカで学んできて。

西森：そうなんですね。

——わりと大胆にバンバンできちゃうし、しかも、バイドゥみたいなところが金ばんばん出しちゃうから。

西森：金のつけ方やら人事の仕方が、かぎ括弧つきの非民主的なんですね。トップダウンで、バーッとやっちゃうんですね。

——そうですね。

西森：全然違う話なんですが、高速鉄道でも、中国、ものすごい発展してますよね。あつという間に、日本の10倍ぐらいのネットワーク、すぐ造っちゃったと。

——しかも、リニアとかも走らせちゃって。

西森：日本だと、採算を考えて、地元の自治体とも交渉してと。そういうプロセス、全部抜きにして、バーッと造っちゃうんですよね。

——日本でも明治時代に鉄道を全国に引いたのは、実はものすごく大きいという指摘があつて。

西森：そうかもしれません。明治の初めはそれがやられてたんですね。システムが全然確立していないので、政府のトップの人たちがやると決めたら、すぐにできたんですね。

——製鉄とか、ガラスも、関係する会社に聞いたら、やっぱりお雇い外国人を連れてきて。鉄は最初苦労するんだけど、やっぱり例の八幡製鉄の、今も模型が、土台だけ残って、上、模型ですけど、あの高炉の質が良かったからというのはものすごくあるらしいんですけど、あつという間にできるんですね。いっぱい。こんなの、みたいたいな。

西森：そう。制度も法律も整ってないし、人も育ってないので、非常に少数の優秀な人たちで。

——しかも若いんですよね。

西森：そうなんですよね。さっき、若い人たちに上を気にするなということが重要だと言ったんですが、日本の第2次世界大戦後の状況も多分そうだったんじゃないかな。上の人たちが全部いなくなっちゃって、若い人たちが、システムも制度も急に変わって、ホンダとか何かが出てきたんですね。ソニーとかもそうなんですが。ああいうふうに、もちろん、日本のシステムを、今、壊すというのは不可能なんですが、そういう大きな転換点を政治の側でつくらないと、現場の研究者やら一企業ではできる話ではないと思いますね。

——そうですね。

西森：政治が何か大きな力を、非常に大きな見識を持って日本を変えるということをしないと。ただ、日本は居心地がいいので。

——そうなんですよね。

西森：外国から帰ってくるとほっとしますよね。

——（笑）

西森：成田で、「おかえりなさい」と書いてる。ほっとするんですよね。気を抜いて生きていけるんですね。外国へ行くと、ちょっと気を抜くとすられるとかね、だまされるとかね。

——やっぱり教育機会の均等性というか、比較的……。

西森：だから、悪くはないんですよ。

——そうです。悪くはないといわれているし、その成果が実を結んできているのもあると思うんですけども。

西森：ただ、じりじりと貧しくなっていくのかもしれません。

——ポルトガルみたいになっちゃうんですかね。

西森：ポルトガル、僕はいい国だと思います（笑）。

——そうですか。怒られそう。

西森：ゆっくり暮らすというのは一つの選択肢ではあるけど。

——もっと文化で生きていく国になるのかもしれないし、わかんないですけどね。

こんな終わり方でいいの？大丈夫？大丈夫ですかね？だから、逆に、今、彼から、量子コンピューターの産業面における重要性みたいなのを聞いてないんじゃないのというので、ちょっと、もう1回、最後に聞いたんですけど。

——すごい基本的なことを聞いてもいいですか？量子コンピューターの記憶装置というところ。記憶装置という言い方をしない。

西森：普通のコンピューターで言う、演算装置、CPUとメモリが一体になっているんですね。量子ビットの中に状態を全部蓄えて、量子ビットの中で計算するので。

——それがまた冗談のような並び方してるんですよ。

西森：別のところから、メモリから情報を持ってきて処理して戻すということではない。そこが難しいところなんですね。

——あれはなんでああるんですか。子どものころ遊んだケンケンパみたいな図に、量子ビット、並んでて。全く普通のコンピューターの発想と違いますよね。

西森：またその会社によってアーキテクチャーは全然違う。

——何かね、ユダヤのカバラの図みたいなね。何言ってるかわかります？

——昔、和田英一先生が書かれたパラメトロンの計算、論理回路図みたいなのと……。昔、結局……。

——ああいう回路に近いぐらいの感じですよ。並んでいるのは。

——いろんな書き方があったのと同じような、方式によっていろいろ。

西森：超伝導の中でもいろんな並べ方がありますし、今、急速に伸びている中性原子というやり方だと、量子ビットを自由に配置できるんですね。空間の中で。レーザーで動かして、次の計算をする。またレーザーで。そういうのも出てきています。

——先ほど、ちょっと IBM に行って、洗脳されてきたので。

西森：IBM は独特ですよね。

——そうなんですよ。何かね、ほんと、カバラのおまじないの図みたいなね。ほんとかみたいな世界なんですよね。

——もう1回、ちょっと聞きたかった。ニュートラル……。

西森：中性原子です。

——ごめんなさい。ニュートラル……。

——ん？ ニューラルネットワーク。

——ニューラルネットワークというのは情報の伝達という意味ですか？

西森：いや。

——そうではない。

西森：私が直接関わったホップフィールドモデルというのは伝達ではなくて、情報を蓄えてて、その情報を思い出す、連想記憶という言い方をしたんですが、不完全な情報からそれに一番近い、正しい、蓄えられている情報に行き着く、思い出すと。

——パーセプトロンみたいな感じですかね。

西森：パーセプトロンは判断ですね。

——判断だけど、重み付けがあるから、想像できるわけ。

西森：まあ、あれをたくさんつなげて、ある特定の目的に適用したという。パーセプトロン的なもの。

——イメージ的には近いですよね。

西森：ええ。パーセプトロンをたくさん並べたもので、そうです。

——休憩のときに（：西森さんと）郡司さん（：郡司ペギオ幸夫）の話をしていたんだけど、ペンローズ（：Roger Penrose）が脳の仕組みは量子力学を持ち込まないとダメだよみたいな。みんなもう分子レベルで、90年代半ばに、松本元（：松本元）さん

とかは、分子レベルでもうわかったから LSI 化しようとかいって日本でもやったりとかしてたんですけども、同じころ、もうちょっと、本を書かれたのはもっと後。でも、ほぼ同じころですかね。もう量子力学を持ち込まなきや脳の仕組みなんかわかんないんじゃないのみたいなことを言ったわけじゃないですか。あれ、ちょっと、ニューラルネットワークといわれるとなんとなく近い領域なのかなと思うんですけど、全然違う話なんですか？どうなんですか？

西森：ペンローズの本を僕、実際、読んだことがあって、なかなか面白いと。

——皇帝のなんとかの何だっけ、なんとかというすごい有名な。

西森：『皇帝の新しい心』。

——ああ、それですね。

西森：王様が新しい服を着て裸だったというあれをもじったタイトル。『The Emperor's New Mind』とか。面白いとは思ったんだけど、その当時の私の印象は、やっぱり脳というのは量子力学が直接効くような……。量子力学が直接効くのは非常に小さなミクロな世界。脳で情報処理しているのはそれよりずっと大きな単位なので、量子力学が直接効くというのはちょっとあり得ないなとは思った。ただ、最近までの展開を見ていると、あり得ないわけではないのかもしれない気はしてきましたね。脳ではないですが、生物がある種の量子効果を使っていろんな効率的な、効率を上げているという話はポツポツ出てきていますね。

——ああ、そうですか。

西森：光合成で、光のエネルギーを葉っぱが表面で受けて、それをいろんな役に立つものに変えるところまでもっていくのにいろんな量子効果が効いているという話を。先ほど、ちょっと話に出たロイドさん、MIT のセス・ロイドさんがしていて。

——化学的な話じゃないんだ。

西森：はい？

——化学的な話じゃなくて……。

西森：物理です。物理です。

——そういうレベルなんだ。

西森：物理です。

——おお。

——光触媒もそうかもしれない。

西森：そうかもしれない。だから、量子効果が、脳はちょっとまだわからないです。

——脳細胞は、神経細胞はすごくてかいけど、受容体に伝達物質がいくあたりって、受容体の形とか、イオンがはまる分子の形との関係とかで決まってくるらしくて、ものすごい複雑な話ですよね。神経細胞の話がシンプルすぎて、そっちに引きずられているけど。

西森：最後のところで何か量子力学が効いている可能性は否定できないですが、はっきりとした証拠はあがってないと。面白い話だとは思いますけどね。

——光触媒研究センターとかの理論物理学者とかの先生とかと結びつければいいということですよね。

——お茶だよ、お茶（笑）。ほんとに多いんですよ。他分野との関係で新しい道が開けたってね。それが、式が介在しているところが面白いね。式が同じだから一緒だよねという話に大体なる。

西森：そう。私の話もそうなんです。ニューラルネットワーク、元々、スピングラスって物理の話なんですが、全然違う。元々、脳の構造を解明しようとしてて。それから、量子もそうなんですね。量子アニーリングも、量子力学と最適化の問題を結びつけるというのは、元々の物理のターゲットじゃない。最適化問題というのは全然。だから……。

——ある日、本を見てたら、式、一緒じゃんみたいな、そういう感じなんですか？

西森：そうですね。

——へえ。

西森：そうなんですね。

——じゃあ、最後の最後にちょっと伺いたいのは、そういうことって、だから、今の AI とか、LLM とか大得意じゃないですか。要するに、今までデータベースで順番に見てたのでは見つからなかったけれども、まさに連想記憶的に、効率良く、統計的な手法なのに速やかに出てくるのが今の LLM ですよね。トランスフォーマーがすごい、Google がすごかったんだけど。Google とかトロント大学ですか。なんだけど、そうすると、今まで1人の人間が持っている知識の、大脑にある知識のサイズとかを超えて、いろんなものを引っ張ってこれるじゃないですか。そういうのが変わっていくんですかね？超ミーハーなんだけど、わりと本質だと思うんですけど。これから、要は AI が出てきて、学術や研究はどう変わりそうですか？多分、これ、これから毎年変わっていくので、変な予想をしちゃうと外れちゃうかもしれないんですけども、どう感じているかみたいなね。予想じゃなくて。どうなんですか？

西森：研究の補助材料としては結構使えるレベルですよね。少なくとも、いろんなことを調べるのに、今まで Google 検索で、個別のウェブページに表示されるのにあたって、役に立つものを、本物を見分けるということをやっていたんですが、例えば、ChatGPT になると、それをまとめて 10 行ぐらいで教えてくれて、うそも時々言うんですが、非常に効率は良くなつたので、研究のヒント、既にわかっていることを調べるという意味での研究の補助にはかなり実用的。

——もう黙って使ってますよね。絶対ね。

西森：いやいや、使ってると思います。学生がいろんなレポートを書くのに使っているだけではなくて、研究者も使っていると思います。知らなかつた、今まで自分では調べきれなかつたことをまとめて調べて教えてくれるという意味では、非常に有用ですね。ただ、そのまま飲み込むと大変なことになることが。時々、ひどいことを言う。

——それによって研究とか、物の開発とか研究とかの世界は変わるんですかね？僕の分野のコンピューターの世界だと、先ほど、IBMの回路の話、回路なのか、チップ上のデバイスの話かわかんないですけども、コンピューターがすごく、よくムーアの法則とかいうんだけど、ムーアの法則もさることながら、回路設計が自動化されたことがすごくでかいんですよ。90年代以降。チップの中も自動設計されるようになったし、単に CAD って話じゃなくて、新聞のレイアウトすらやっているぐらいなので。それはもう、かなり古いんですけど。コンピューターがコンピューターを設計するようになって、コンピューターというのはなめらかにずっと、90年代以降も進化してきたところがあると思うんですけど。AI が出てきたことで、この純粋な研究の分野が、要するに、圧倒的な道具を得たわけじゃないですか。そういう意味では。それはどうなん……。検索エンジンだけでも、Google Scholar があるだけでも違うと思うんですけども。どうなんですかね？

西森：先ほど言いましたように、既に何がわかっているかということを調べる効率はものすごく良くなりましたね。

——先ほどのアーカイブの話もありましたしね。

西森：それから、僕はまだやったことないんですが、こういうアイデアがあるけど、これをどういう方向に発展させるのがいいかということを聞いて、何かヒントを得るという使い方もあるのかもしれません。

——そうですね。

西森：つまり、大学の教師が要らなくなると。

——おお。また大学の話に戻る。

西森：大げさに言うとね。要らなくなるというのは極論かもしれません、少なくとも、補助はできるようになると。我々が全部やっていたことの一部はそういう形で、教育に関しても、学生の適性に応じたいろんなサジェスチョンができるようになる。

——勉強もあるし、研究もあるかもしれないですね。

西森：ええ。

——ソフトも、開発そのものより、リファクタリングといって、かつて書いたソフトの質を上げるふうに書き換えさせるのがすごく効果があるという。

西森：それはやってるところありますね。

——それみたいなことの話で、研究をアップデートする、この研究で課題は何で、何に改善の余地があるかぐらいの使い方が一番賢い使い方かもしだれません。

西森：それからもっと具体的には、アルゴリズムを行で、文章で書いて、それを実際、コード化するというのもできますよね。

——そうですね。

西森：その辺は、今まで、手作業……。例えば、昔、数値計算を手でやっていたのを電卓でやるぐらいのインパクトが既にありますよね。

——そうですね。わかりました。最後、ちょっと、余談っぽくなってしまいましたが。ありがとうございます。

西森：ありがとうございました。

——いやいや、貴重な話をありがとうございます。