

## (第 103 回) KS クラブ議事メモ

開催日	2020 年 2 月 11 日 (火)	出席者 敬称略	坂下勲・西村二郎・山崎博・大谷宏・ 小林浩之・宮本公明・飯塚弘・神田稔 久 (文責)
時間	15:00~17:00		
場所	かながわ県民センター		
資料	マックスウエルの悪魔から次世代コンピューターへ (飯塚弘)		
議題	<p>1. 技術課題</p> <p>マックスウエル悪魔から次世代コンピューターへ</p> <ul style="list-style-type: none"><li>・150 年前にマックスウエルが提唱した思考実験「マックスウエル悪魔」は、熱力学第二法則に反するエントロピーの減少がありうるというものであった。この問題は 1 世紀以上に渡り多くの研究者の頭を悩ました。その過程で熱力学は、登場しつつあったシャノンの情報理論と結びついた情報熱力学に拡張された。それは熱力学がマクロの世界からミクロの世界まで有効であることを示すものであった。そして情報理論は我々が現在使っているコンピューターを生み出した。</li><li>・コンピューターはムーアの法則に則り微細化により性能が指数関数的に増大し、微細化の限界に至り、同時に消費電力の増大を引き起こした。コンピューターの処理速度の向上、ビッグデータの増大などに伴い、10 年程前に人間の脳神経細胞を模したニューラルネットワークを使ったコンピューターが長い雌伏の期間を経て実現し、ディープラーニングを使うことで、将棋や碁の達人に勝つ程に人間並みの認識能を持つこととなった。</li><li>・ニューラルネットワークはコンピューターの構成まで変え、従来の階層型コンピューターの中央演算ユニット (CPU) から単純な計算を同時に行うアクセラターであるグラフィック演算ユニット (GPU) が主役に躍り出、多数のコアを使った並列型コンピューターになった。まさに人間の脳の情報処理である。</li><li>・従来のノイマン型コンピューターの弱点である組み合わせ最適問題を容易に解けることから、量子コンピューターが注目されている。自然界の現象は全て量子力学で説明でき、量子の特徴である「量子の重ね合わせ」「量子もつれ」を使った量子コンピューターは当然の帰結であり、それは原理的に並列処理そのものである。このことから、その演算速度の高速性もさることながら、人間の脳並みの省エネルギーのコンピューターが期待されている。人間を含めた生命体は「ゆらぎの定理」「確率共鳴現象」を上手く使った活動、情報処理を実施していることが分かってきており、様々な分野で生命体を真似た次世代デバイスが期待されている。</li></ul>		

参加者からのコメント

- \* 情報のエントロピーを含めることでエントロピーの法則の合理性が保たれることが**実験的にも証明されている**、という認識は持っていなかった。
- \* 半導体における Moore の法則の終焉・CPU の周波数は上限に到達、などこれまでのコンピューターの性能はほぼ飽和した。一方、AI の急激な進歩、等に伴い、コンピューターの高性能化に対するニーズはますます大きくなっている。そこで、量子コンピューターへの期待が高まっている。量子コンピューターといっても、ゲート方式とアニーリング方式がある。ゲート方式が本命だが、最初は  $N=2$  から始まる(すでに始まっている)といった程度の認識しか持っていなかった。しかし、グーグルの量子コンピューターは、**量子ビット=53**、だとは驚きである。とはいえ、量子状態を維持するのが大変だから(経済性を考えたとき)、ゲート方式が本格化する前にアニーリング方式の時代が来るのだろう。
- \* AI の利用分野が広がるにつれて、AI 演算チップや脳型コンピューターが開発される(アニーリング方式でも同様な動きがあるだろう!)⇒Moore の法則が終わっても**半導体産業は成長産業であり続ける!**
- \* 小生の興味は、①ディープラーニングの階層を増やすことで、何故、精度が上がるか②ベイズ統計が AI にどのように利用されているか、③AI 利用の最前線で使われている指導理念など(量子力学など基礎方程式が存在する分野では、囲碁や将棋のソフトのように、自動的に「利口」になれるのではないか?)利用面に関しても興味がある(しかし、自分では調査していない)。
- \* これからの時代、AI 抜きでは考えられない。企業活動を行う者は、細部に亘る理解はなくても、本質は理解していなければならない(インダストリー4.0 は立ち上がらずに消えてしまった?)。
- \* 飯塚さんが、こうした問題に取り組み、次々に整理して紹介して下さることは、その恩恵を蒙っている一人として、敬意と感謝の念を表させて頂きたい。(西村)

ノイマン型コンピューターでは解けない問題が量子型コンピューターで解ける時代が訪れつつある状況が良く分かり大変参考になった。ただ、飯塚さんの発表を聞きつつ、今後、大変難しい社会が到来するのかもしれないとも思った。確かに、大量の情報意を瞬時に処理できる手段の出現は、創薬その他の分野で人間社会の進歩に大いに寄与することは確かであろう。だが、この技術は社会的にもあまりにもインパクトのある技術ゆえに、この技術の持つ負の側面にも注意が必要ではないだろうか。例えば、中国ではものすごい数の監視カメラが町中に設置されており、既に個人の行動が相当詳細に監視されているという話は良く聞かすが、更にコンピューターの情報意処理能力が飛躍的に上昇していけば、中国は、個人情報秘密などが全くない、恐ろしい管理社会になっていくのかもしれない。近年、中国が、日本はもとより、米国をも凌駕する勢いで技術力を向上させていることに一抹の不安を憶えざるをえない。今回のコロナウイルスについて一部では、中国の生物兵器が不注意で漏れたとのうわさもある。勿論、真相は不明であるし、今回の騒ぎは数か月で収まろうが、量子コンピューターが発展し「巡回セールスマン問題」、「創薬問題」を簡単にこなせるように情報処理技術が発展して行った時、別に中国に限らず、特定国が、いや特定のテロリストが、潜伏期間や毒性の最適な感染性ウイルスを製造し、例えば、日本のどういう場所にどのような時期に、どういう病原ウイルスをばらまけば、パンデミック状況を作り出せるか計算して、実行する・・・という様なテロも出て来るのかもしれない。恐ろしいことである。

飯塚さん

量子コンピューターの今後発展に関し、その応用のプラス面と同時に、マイナス面に関わる議論(そういう議論があるのかどうか不明)も含めて、是非今後とも動向をフォローして、発表していただきたくお願いいたします。(大谷)

大谷様

コメント拝読しました。根源的な問題提起です。人間にとって、政治形態は民主主義の方が良いと小生は考えています。しかし、科学技術発展のためには、独裁大国の方が効率的な場合があります。中国が科学技術で世界を制覇したら、世界はどうなるでしょう。

これを防ぐには民主主義国家が、常に科学技術(その応用である産業分野を含む)において優位に立っていなければなりません。可能でしょうか・・・(西村)

西村二郎様

コメントありがとうございます。

ちょっと量子コンピューターの議論から外れてしまいましたが、中国というのは共産党一党独裁政権ですから人権を無視してやりたいことを何でもやれるという、民主主義体制では考えられないやり方が出来るというメリット(?)がある国です。以前から指摘されてきたことですが、西側世界では絶対許されない生命倫理に関わるような実験も可能だという事です。純粋に、医学関連の科学技術上の発展と言う観点からだけ見ると、これは大きなアドバンテージです。更に厄介なことは中国には 14 億人とも言われる膨大な人口があります。個人情報尊重されることの無い国ですから、膨大な個人情報を収集してそれを党中央が好き勝手に活用し、情報科学技術の発展のために自由に利用出来るという大きなアドバンテージをもっています。

ただ、情報技術の問題に関しては、つい最近までは、米国の GAFA と言われる企業群も世界中の何十億人ものサービス利用者の個人データが収集して、それを自社事業の利益向上の為に無制限に活用することが許されて来ていました。そういう観点からすると、情報技術分野の技術は中国共産党傘下の国営会社と GAFA のみが、世界的に突出していて、この分野での技術覇権を争って来たとも言える状況でした。所が、この 2, 3 年、日本を含む西側社会で GAFA の個人情報の扱い方に制約を加えようとの動きが出て来て、今では、GAFA も個人情報の扱いについて慎重に扱わざるを得ない状況が出て来ています。これは、この分野でも、中国が世界の技術覇権を握るのに益々有利な立場に立ったということを意味しています。

所が、そこに立ち上がったのが、2016 年に選出されたトランプ米大統領です。トランプはまず、米中の貿易不均衡を問題にし、中国に貿易戦争を仕掛けました。しかし、今の米中貿易戦争は、単なる米国の貿易赤字の削減の為だけの戦いではなく、その本質は、中国の技術覇権を阻止するための戦いであり、中国の一党独裁体制でやりたいことが何でも出来る中国共産党政権の体制潰しだと思われます。ただ、これは、容易ならぬ戦いだと思われます。現在までの貿易戦争の第一弾では米国が勝利している様にも見えますし、今回のコロナウイルス騒ぎで、中国は体制の弱点の一部を曝け出しているようにも見えます。しかし、そんな事位で簡単に凹む中国ではないでしょう。それは、我々西側世界で、我々は中国に対して沢山の弱みを持っていることを中国が知っているからです。

例えば、Huawei 問題一つとっても、西側社会が一致団結して Huawei 排除出来るかと言うと、そうはなりません。5G 関連で英国やドイツなど EU 企業はトランプの恫喝にもかかわらず Huawei を使うと宣言しています。日本は Huawei については、5G 基地については米国に協力して排除すると言っていますが、スマホでは Huawei 製品を輸入していますし、トヨタ、日立、パナソニックをはじめ多くの日本企業が中国市場に深く取り込まれており、米国が望むようには中国企業と縁を切ることは出来ない状況にあるからです。

米中貿易戦争が今後どう展開していくのか今の段階では良く分かりませんが、もしかしたら、世界が分断され、日本は中国側につくのか、米国側につくのかの厳しい選択を迫られるような事態になるかもしれません。そうなった場合、日本企業は、どういう選択をするでしょうか？勿論、多くの日本企業は、中国共産党一党独裁のやり方で中国企業に技術覇権を握られることには反対ですが、だからと言って、お金を稼げる中国市場を失うのも嫌かもしれません。金銭的利益を失っても、中国共産党一党独裁による技術覇権は断固阻止すべしとの判断に踏み切れるかどうか？

我々は、この問題について、今後の動向を注意深くフォローしていく必要があろうかと思えます。(大谷)

昨年の研究会・SCE・Net の技術懇談会・そして今回と、三度、飯塚さんの話を聞き、臆げながらですが次世代コンピューターの世界が理解出来るようになりました。一方で、理解しようとする頭がすぐにオーバーヒートを生じてしまいます。人間の脳は、省エネ性が高く情報処理過程においては熱を持つことは少ないはずなのですが・・。

今後のコンピューターの世界は、次世代型がノイマン型を圧倒するのではなく、ノイマン型と次世代型が併存して行くように思います。ノイマン型が一つの限界に達しているように、次世代型もまた、脳の構成を模している限りでは限界があると思います。その限界は、創造と思考(例えば思考)が出来ないことにあると考えます。

それでは、次々世代のコンピューター、創造と思考(例えば哲学)が出来るコンピューターは、現代の情報理論の枠組みの中から発展するものなのか、異なる理論から構成されてくるのかを想像していますが、私の頭では、それを創造することはできません。(神田)

私のコメントは皆様のそれとは少し違うと思えます。どちらかという、このテーマは私の関心から少し外れるのだと思います。私の発表なども皆様にとっては、少しも興味をひかないのだと思います。飯塚さんの発表も感心はするけど同調、共感はできないということでしょうか。ある意味神奈川研究会方式の欠点でもあります。

飯塚さんのプレゼンは熱力学第 2 法則に始まって理論、原理につて展開されているが、部分的には理解できるところもあるが、全体についての理解にはほとんどいたらなかった。申し訳なく感じる。私にとっては考えすぎという印象である。あそこまで、知って理解する必要もないし、関心も小さい。

トータルの性能はハードだけで決まるものでもない。アルゴリズムの進歩もコンピューターの性能を引き出す。並列に使うこと、ノイマン風に使うこと

組み合わせの最適化も労をいとわなければ 20 年も前からやってきたと思う。量子コンピューターもそれを何に生かすかが問題であるが突き詰めると使うのはスピードだけではないか。量子コンピューターが実用する上で、どんな大きくなるかわからないが、あまり多く必然的用途はないように思う。

本テーマについての私の関心は、AIを机上や囲碁、将棋の世界に使う限りは、どんなコンピューターでもよいだろう。もっと、動的なもの、つまり、完全自動運転、自立型ロボット、戦闘機、魚雷などに使うとしたら、IoTの技術、GPSのような人工衛星を使った通信設備、陸海空のロボット技術、コンピューター性能と技術的隘路はどこかということ。(質問したが通じていない)

最後に大谷さんや西村さん中国覇権論について、は確かにそうだがそんなに短期のスパンで考える必要はないと思うし、だからと言って追従できる問題ではない。短期の勝ち負けをトランプのように考えても、仕方がないと思う。中国の体制が未来永劫続いていくことはない。近い将来変わるだろう。争う時代でなく、協調する時代になる。本問題は倫理の問題でもある。核兵器のような存在にはさせない。日本がやるとすれば、できることはこれだけ。(小林)

情報科学から入って、コンピューターサイエンスの最前線まで俯瞰して下さった飯塚さんのお話は今後の私に良い刺激となりました。パソコンが広がり始めた80年代後半に、手続き型のプログラムで人工知能と称したものが流行った時期がありましたが、なぜ、それが行き詰まったのかがよくわかります。そもそも知能が脳の働きそのものであるという点を無視した点に失敗があったのです。逆に、90年代にはニューラルネットという技術が唱えられましたが、多くは大型のコンピューターを必要として、それでも役に立つほど速くはなかったのが今まで待たないといけなかった理由でしょうか。今私が使っているパソコンでさえ初代スパコンより速いことを考えると、このような計算速度の向上が社会のありようを変える可能性も想像に難しくありません。

そこで、議論にも現れた人工知能と社会のありようといった点を考える必要が出てきます。この問題以外でも、プラゴミと環境問題といった問題でも、技術と社会生活との健全な関係という点が重要になってくると感じました。(宮本)

今回は、最先端の情報技術の盛りだくさんな内容を聞かせていただき、大変勉強になりました。神奈川研究会方式の良いところは、おそらく自分では勉強しないような分野に目を開かせてくれるところです。今回は量子コンピューターの分野に興味を持ちました。そこで、この分野の先駆者である東大の古澤明さんの「光の量子コンピューター」(新潮社インターナショナル新書 2019.1)を読んでみました。この本は、「重ね合わせ」と「粒子と波動の二重性」という量子の不可思議な現象から説き起こし、光の量子トランスポート実験の世界初の成功の後、光の量子を使ったコンピューター開発への難題をどのように打開していったかが臨場感をもってわかり易く説かれ、量子コンピューターの開発史として読んでためになりました。

古澤明さんは、汎用型の量子ゲート方式の量子コンピューターは、googleやIBMが絶対温度零度下で作動する超電導型で開発を進めています。超電導型は冷却が大掛かりになるのでモバイル機器に搭載するには不向きで、Cloudと高速通信による利用形態が適しています。量子データ方式も利用形態が異なると思われます。量子コンピューターの最も有望な利用対象は量子化学や創薬の分野と思われますが、スーパーコンピューターの性能では限界に達しつつある地球シミュレーションや人工知能のような分野も有望と思います。なお、最近の大学の理工学部は量子力学の履修に力を入れているようで、授業計画をみると、シュレーディンガーの方程式、摂動論、量子井戸、トンネル効果など量子力学の基本を、演習を含めて学ぶようです。昔は、ニュートン力学で事足りていましたが、これからは量子力学を身につける必要がありそうです。(山崎)

#### 発表者からのコメント

- ご意見等ありがとうございます。今後の調査に生かしていきたいと思えます。深層学習についてはよく理解できない所があり説明を避けました。深層学習で中間層を増やすだけで精度が上がるわけではないようです。それなりの手法が提案されています。誤差逆伝播法により、各入力データの重みづけ係数を如何に効率的に計算の繰り返しによって決められるかだと思います。入力と出力に中間層を入れることで思考することができ、出力層は中間層の結果から最適なものを選んで出力します。人間の脳神経もニューロンの数が多いほど賢いですが、多層化によって具体的にどう結果を導き出していくのかは勉強不足のため分かりません。
- ベイズ統計という言葉は恥ずかしながら、5年程前に若い研究者の研究内容を聞いたときに初めて知りました。人間のように思考して対象者を見つける知的警備ロボットの研究でした。例えば家族でデパートの中で別々に買い物をして、その家族を探すときに、行き当たりばったりで探すのではなく、その家族の嗜好、趣味などから最初に書店から探してみるという例で説明を受けました。またベイズ統計は単なる確率ではなく、確率分布を使っていると聞きました。まさに人間の思考と同じで、持っている情報を活かす手法です。具体的に深層学習にどう生かすか分かりませんが、有効な手段だと感じます。
- 自動運転で最も要となる認知機能には、深層学習を使った NVIDIA の車載用 AI コンピューターが多くの自動車会社で使われているようです。得意の GPU を多用し、320TOPS (1秒当たり 320兆回の演算が可能) と、スーパーコンピューター並みで、完全自動運転レベル 5 にも対応可能とのこと。ただ、例えばブレーキをかけても事故は避けられない場合、被害者を少なくするか、他人を巻き込まないようにするのかの判断など、AI 以前の問題があります。
- 車がクラウドとつながる (IoT) ことで、走行に必要な情報だけではなく多様な情報が得られます。ただ、自動運転のような緊急性を要する場合は、通信遅延を防ぐ意味で、専用のエッジコンピューターがインフラ側 (例えば末端の基地局) に必要になるかも知れません。
- 人工知能、量子コンピューターの負の側面も考えなければというご意見ですが、その通りだと思います。究極はコンピューターが発展して人間の知能を超えるシンギュラリティが 2045 年に到来すると言われていています。量子コンピューターが注目されたのは、1993 年ショアが今のコンピューターの素因数分解をベースとした RSA 暗号が量子コンピューターにより容易に解読されると発表したのがきっかけです。密かにどこかの国・集団が量子コンピューターを実現し、悪用すれば現在の情報化社会が根底から脅かされます。量子暗号通信はそれを防ぐ為です。エネルギーを高密度に貯蔵できるリチウムイオン二次電池は、高密度故に事故の危険性がより高いという負の側面があり、原子力発電も然りです。
- 量子コンピューターの最大のメリットは、東大の古澤明氏によると、処理速度の向上ではなく消費電力の大幅な低減だと言明しています。ノイマン型コンピューターは消費電力の多さが指摘されているからです。量子コンピューターを用途でみると、量子アニーリング型 (アルゴリズム不要) は、ノイマン型が不得手とする組み合わせ最適問題が得意で、機械学習、スケジュールの最適化、気象予測の改善、交通渋滞の解消、新薬開発の期間短縮、資源配分など、用途は幅広く、D-Wave を購入した米ロッキードマーチンは航空機のプログラムにあるバグの検出、NASA はスケジュールの最適化などを目的としています。一方、汎用的な量子ゲート方式はアルゴリズムがどのような用途にも対応できますが、暗号処理以外にはキラアプリがないのが現状だと思います。ただ、グーグル、IBM など米国勢は量子ゲート方式に注力しています。両方式でも分子シミュレーションが注目されており、グーグルは「オープンフェルミオン」というオープンソース・ソフトウェアを公開しています。ちなみにフェルミオンはフェルミ粒子のことであり、その代表は電子です。グーグル以外にも IBM などソフトウェアを公開し、そのマシンを活用した量子化学計算が広ま

	<p>り始めています。</p> <p>2. SCE・Net 人事 今総会を持って、代表幹事が川瀬健雄さんから中尾真さんに交代する予定。 SCE・Net 総会 令和2年4月23日(木) 林野会館</p> <p>3. 今後の予定 3月 西村氏 4月 宮本氏 5月 坂下氏 6月 見学会 7月 大谷氏 8月 小林氏 9月 松村氏 10月 見学会 11月 持田氏 12月 神田氏 1月 山崎氏 2月 猪股氏 3月 飯塚氏</p>
次回日程	<p>2020年3月10日(火) 15:00-17:00</p> <p>1. 技術課題 西村氏 2. その他</p>
次々回日程	<p>2020年4月14日(火) 15:00-17:00</p> <p>1. 技術課題 宮本氏 2. その他</p>