

Title	「収穫加速の法則」と、「シンギュラリティ」に向けた進化の加速
Sub Title	
Author	齊藤, 元章(Saito, Motoaki)
Publisher	慶應義塾大学工学部
Publication year	2016
Jtitle	人間教育講座：社会を知る自分を知る自分を育てる (2016. ) ,p.67- 94
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Book
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001001-20160000-0067">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001001-20160000-0067</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

---

「収穫加速の法則」と、「シンギュラリティ」に向けた進化の加速

株式会社 PEZY Computing 代表取締役社長

## 齊藤 一元章

さいとう・もとあき 一九六八年、新潟県長岡市生まれ。



研究開発系シリアルアントレプレナー。新潟大学医学部卒業（医師）、東京大学大学院医学系研究科修了（医学博士）。東京大学医学部附属病院放射線科の研修医期間修了後、大学院入学と同時に学外に医療系法人を設立して研究開発を開始。三年後の一九九七年には米国シリコンバレーに医療系システムおよび次世代診断装置開発法人を創業。社員三五〇人を登用して世界の大病院を中心に八〇〇〇超のシステムを納入。二〇〇三年には米国インテル社のアンドリユー・グループ会長とクレイグ・バレット社長兼CEO（当時）の推薦で、日本人初の Computer World Honors（米国コンピュータ業界栄誉賞）を医療部門で受賞。東日本大震災を機に、海外での研究開発と事業経験を日本の復興に活かすために拠点を日本に戻し、医療分野に限定されない自然科学と産業全般の研究開発に方針転換。これまで研究開発系ベンチャー企業一〇社を創業し、累計売上額は一〇〇〇億円を超える。自ら発明して出願した特許は七〇件を数え、現在は次世代スーパーコンピュータ技術を開発する株式会社 PEZY Computing 代表取締役社長、同株式会社 ExaScaler 創業者・代表取締役会長、同 UltraMemory 株式会社創業者・会長を務める。

## 特異点（シンギュラリティ）

みなさん、こんばんは。今日は「『収獲加速の法則』と、『シンギュラリティ』に向けた進化の加速」と題した講演をさせていただきます。

本来は自己紹介から始めるべきなのですが、最近たいへんに驚いたことがありましたのでそちらを紹介させていただきます。とある雑誌で16ページにわたる特集記事が組まれました。見開きには「2017年、人工知能は人類の新しい夢を見るか」という見出しがついており、とてもサイバーな感じがする誌面になっています。最後のほうになると、「人工知能が生み出す人間らしさは？」とあります。16ページにわたって書いてあることは、人工知能の話に加えて、ほとんどがシンギュラリティに関することです。みなさん、どんな雑誌だと思いますか？ 普通に考えると、サイエンス系の雑誌だと思うでしょうが、とても意外な雑誌です。目次を見ると、おせちやアイメーク、皇室の記事なども並んでいます。実はこれは『婦人画報』の2017年1月号です。一一年前に創刊された日本最古の女性誌であるこんな雑誌にも、人工知能やシンギュラリティの話が特集されるようになったのです。すごいことだと思いますか？

私の紹介をさせていただきます。シンギュラリティという言葉が演題にも入っておりますように、特異点論者（シンギュラリアン）を標榜させていただいております。

『The Singularity is Near（特異点は近い）』という本を二〇〇五年にアメリカのレイ・カーツワイル先生が記されました。この本の日本語訳は『ポスト・ヒューマン誕生』としてNHK出版から出ています。

私はこの本に触発されて、シンギュラリティについていろいろと考えるようになりました。シリコンバレーに一四年間いたのですが、最初は二〇〇七、〇八年頃に原著を手にとって読みました。でもその時には何のことだか、さっぱりわからなかつたんですね。それから三、四年前に改めて読み返した時に、「ここに書いてあることはこんなにもすごいことだったのか」と身にしみて感じるようになりました。

シンギュラリティは、一般的に「技術的特異点」と訳されています。私はシンギュラリアンですが、いろいろと考えていくうちに、この技術的特異点の前に、われわれ人間にとってもっと大事なのではないかという、前段階の社会的特異点がもうひとつあるだろうと、プレ・シンギュラリティ（前特異点）というような考え方を提唱・啓蒙させていただいています。詳しくは二年前に出版した『エクサスケールの衝撃』（PHP研究所）という本に書いていますので、もし興味があればお手にとって読んでいただきたいと思います。

### 放射線科医からスバコン開発へ

私はもともと放射線科医をやっていました。大学院を休学して研究開発に取り組んでいたのですが、博士号を論文でとらせていただいて、先生方のご厚意で修了させていただきました。

現場にいた四年間は、放射線科の診断・治療などもやっていたのですが、どちらかというと、診断機器を開発していたと言った方がいいと思います。幼稚園の頃からラジオや無線機を作っていたりしたので、そういうことが好きだったんですね。当時、何かをやるうとした時にソフトでやれることには限り

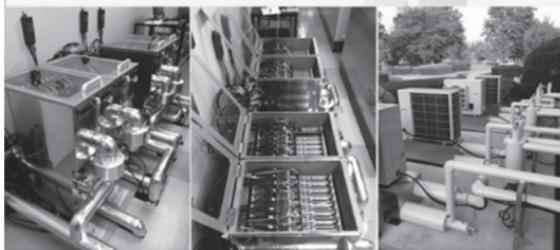
があり、ハードを作らなければいけないわけです。そして世の中にあるハードウェアではほとんどやりたいことができなかつた。ですから、信号処理や画像処理を自分たちでゼロからハードウェアで起こして、システムを組んでやっていました。

二〇年も前のことです。CT装置にしても一回スキャンするのに二〜三秒かかっていました。世界に一〇台しかなかったスライド中のCT装置は、動画を撮れるCT装置、超高速CTと言われるもので、X線管と検出器が回るのではなく、電子スキャンで1秒間に20フレーム近い動画を撮ることができました。ただし、実際に画像処理されるのは1時間以上待たされました。これをリアルタイムで見ることができたら、どんなにいいだろうか。手術の途中や、ガン細胞を取り出してくるようなパイオピシ検査の時に、時折採取し損ねてしまうことがあります。肝心なガンの腫瘍細胞を取って来ることができずに、「一般の組織片しか取れませんでした」というようなことがあります。それが確実にできるようになり。また、血管や神経、リンパ節を針で刺してしまうと、もちろん出血もしますし、神経の場合には麻痺が生じます。一番悪いのが、転移があるリンパ節に針を刺してしまうと、そこからガンが播種・転移してしまうんですね。転移をさらに広げてしまうようなことが起こらないように、断層画像をリアルタイムで見ることができたら、モニターしながら処理をできたら、安全に確実にできるだろうといったことを考えて、画像診断システムを構成しました。これは世界初めての事例でした。

結局、ハードウェアといってもボードレベルではやはりできることが限られていたので、大規模な半導体開発をかなり早い時期から手がけるようになりました。現在、あしかけ二一年目になります。

二〇一四年に経済産業省NEDO様の省エネルギー技術革新プログラムの助成をいただいで開発し

## スーパーコンピュータ開発期(2014年)



国の研究機関、「高エネルギー加速器研究機構(KEK)」のスーパーコンピュータ室の壁際に設置された初代スパコン「睡蓮」(2014年10月)が、1Wの電力で、1秒間に50億回ものスパコンの演算処理を実現

図 1

た「PEZY-SC」は、今われわれが使っているスーパーコンピュータのためのプロセッサです。一個の半導体に搭載しているコア数としては1024コアあります。みなさんが今使われているスマホの中に入っているプロセッサは4コア、8コアで、最近では10コアのものも出てきました。あれと同じような意味合いでのコアを、もうちょつと単純な構成ですが、ちゃんと1024コアを入れ込んでいて、2センチ角、400平方ミリ程度の大きさの半導体で、独立した演算ができるコアです。こういうものを二〇一四年に作りました。

二〇一四年四月からはスーパーコンピュータの開発をさせていただいております。もともとスーパーコンピュータを開発するというものではなかったのですが、途中震災もありました。シリコンバレーから帰ってきて痛感するのは、日本には本当に優秀な研究者、科学者、技術者が民にも官にも学にもたくさんいらっしゃいます。そういう方々にどういった結論が「次世代のスーパーコンピュータ開発」ということで、現在まで三年余り取り組んでいます。

図1は、スーパーコンピュータを開発しようと決めてから7カ月で作った初代のスパコンですが、ス

パソコンには見えません。豆腐屋さんにある豆腐を作るもののように見えるとよく言われるのですが、つくばの高エネルギー加速器研究機構という国立研究機関にあるスーパーコンピュータールの片隅に置かせていただきました。およそ1メートル幅の通路の、IBMのスーパーコンピュータを冷やすためのエアコンのコンソールの裏側にある通路に置かせていただいているので、壁際スパコンと呼ばれていません。特徴は、液体の中に浸してあって、小さなスペースに基板をたくさん詰め込んであります。室外の冷凍機も簡素な汎用機を使っています。

ただ、これが1Wの電力で、1秒間に50億回もの演算処理ができたことで、いきなりGreen500（世界のスーパーコンピュータの電力効率の良さを競うランキング）の2位をとらせていただきました。Green500に入るには、まず世界上位500位のスーパーコンピュータとして認定されなければなりません。先ほどの壁際スパコンは369位に入り、そこで4.95 GFLOPS/Wというエネルギー効率が認定されて世界2位になりました。

明けて二〇一五年、やつぱり1位を取らなくてはいけないということで、全面的にシステムボードから起こして、液浸冷却という、液体に浸すパソコンに完全に最適化した設計をいたしました。四ヵ月で作らせていただいたのですが、性能密度という意味では初代のものから4倍になっています。これがGreen500で1位となり、今、理化学研究所和光の情報基盤センターに置かせていただいています。「Shoubu（菖蒲）」という名がついて、結構記事にも取り上げていただきました。Shoubuは小さな洗濯機が5つ並ぶぐらいの大きさで、計算の理論性能で2 PetafLOPS、京速計算機「京」の5分の1ぐらいの性能がわずかこの大きさで実現されています。

理研の Shoubu と、エネルギー研の Suren と Suren Blue という三台が、日本のスーパーコンピュータとしては初めて、あるいはベンチャー企業が開発したスーパーコンピュータとしても世界で初めて、1位、2位、3位の表彰台を独占させていただきました。これが二〇一五年です。Shoubu に関しては、二〇一五年秋にも1位を取り、理研のニューズレターでも特集を組んでいただきました。二〇一六年六月も1位、2位を取らせていただいて、こちらも世界初の三連覇を実現しています。

このスーパーコンピュータでは、いろいろなことをやっています。スーパーコンピュータでできることは一通りできるのですが、エポックメイキングだったのが、猫の人工小脳をリアルタイムで動かせるところまで実装したことです。来年にはこれを人間の小脳の規模にまで拡張してリアルタイムで動かすようにする計画です。

次世代スパコンの開発とは別に、最近では人工知能エンジンの開発にも乗り出しています。

とにかく「ないものは自分たちで作ろう」というポリシーでやっています。何かやりたいことがあった時に、世の中のIT業界で使うことができるソフトウェア・ハードウェア、あるいはプロセッサも含めて、もし欲しいものがなかったら、みなさんはどうしますか？「ないからしょうがないや」と考えるか、そういうものが出てくるまで待つと考えるかだと思うのですが、ないものは作ってしまうのが一番いいかなと思います。もちろんお金はかかりますし、時間もかかりますし、たいへんなのですが、とにかく「何が無いから前に進めない」という状態が我慢ならぬですね。自分たちで作ることは、茨の道なのですが、これまでそうやってきています。

もうひとつは、「他でやれることは基本的にやらない」ということ。自分たちにしかできない、作れない、

独創的なものだけを作っていたいと考えてやってきました。

### 「ムーアの法則」と「収穫加速の法則」

「ムーアの法則」はたいへんに有名な法則で、みなさんも当然耳にされていらつしやると思います。「収穫加速の法則」という言葉を聞いたことがある方、ちょっと手を上げていただけませんか。3分の1くらいの方が聞いていらつしやいますね。これがレイ・カーツワイル先生の本の中で最も強力に説かれている法則です。

「ムーアの法則」によると、ひとつの半導体に集積されるトランジスタは18カ月ごとに2倍になります。われわれが今使っているコンピュータは、実は半導体1つでは構成されていなくて、たくさん半導体で構成されるようになってきました。今、自動車でも高級車では1台あたり100個以上の半導体が使われています。スーパーコンピュータに至ると、数千個、数万個、数十万個も使われているわけですね。システムレベルでは、実は1年半（18カ月）で2倍ではなく、1年で2倍になっています。

ムーアの法則が最初に提唱されてから何年経っているか、みなさんご存知でしょうか。今年でちょうど50周年です。インテルの創業者のひとりであるゴードン・ムーア博士が提唱してから、ちょうど50年経ちました。これまでに何度もムーアの法則はそろそろ終わると言われていますが、しぶとく、しつこく生き残ってきています。IBMが最近5ナノメートル、3ナノメートルのプロセッサへの半導体を立ち上げるとい話をしていますから、「今回はいよいよ終わるんじゃないか」とも言われていますが、

まだ五〇六年、いや一〇年近くは延びそうですね。

半導体だけでなく、材料、エネルギーなどいろいろな分野でさまざまな技術革新が起こってきています。それが同時に複合的かつ重層的に大きな相乗効果を獲得しながら、その進化がこれからさらに加速していくのですが、それが今後、われわれが目に見えるかたちで、日々感じることができるようなかたちで、重要な意味を持つてくる。そういう大原則が「収獲加速の法則」です。

他方、収獲が加速して効率が高まってくると、何が起こるかということ、物の生産性が急激に高まってくることによる価値の遞減が起こります。最近の書籍では「限界コストゼロ」というような話も出ています。今、物の生産に費用があまりかからなくなつて、いずれゼロになつてくるとすると、「物の価値もゼロになるよね」ということです。こうした方向に向けて大きなドライビング・フォースがあるという認識が必要だと思ひます。

「収獲加速の法則」についてわかりやすい事例を挙げます。日本は今、マイナス金利状態です。昔、日本でも金利が8・5%なんて時代がありました。仮に金利5%で50年間お金を預けておくと、元利の合計は10・9倍です。金利が10%だと117倍になります。20%では9100倍。年で5割の金利は違法な金利なのですが、50%で計算すると、6・4億倍というとてもない大きさになるんですね。金利60%というのはちょっと特別で、先ほどのムーアの法則の1年半で2倍になるといふのはだいたい年利60%に相当します。これで50年間計算すると、160億倍になるんですね。何を意味しているかという、ムーアの法則50周年で、1つの半導体の中に集積できるトランジスタ数は実際に160億倍になつたということ。とてもない数ですよ。

じゃあ、システムだとうなりですか。システムは金利100%の世界です。1年で2倍に性能が上がる。50年経つと、何と1126兆倍というとんでもない数字になります。コンピュータが発明されてから73年経ちました。直近50年間で、1年で2倍の性能向上を確認することができます。これが何を意味するかというと、これまでの50年間でコンピュータの性能が1千兆倍以上になったわけですが、これから50年間でやはり最低でも1兆倍になるでしょう。とてつもない数字です。

みなさんが手にされているスマートフォンですが、これは15年前のスーパーコンピュータの性能に匹敵します。あるいは今、世界一のスーパーコンピュータは中国の「TaihuLight（太湖之光）」という約100 PFLOPS、正確には93 PFLOPSのスーパーコンピュータなのですが、この性能が15年経つと、われわれの手のひらに入ってくる可能性が高いのです。

### 早ければ二〇三〇年頃にシンギュラリティを経験する？

さて、収獲加速の法則をもうちょっと分かりやすく可視化してみたいと思います。

世界で最初のマイクロプロセッサというのはIntel 4004、4ビットのマイクロプロセッサですね。日本の嶋正利さんも大きく関与して、一九七一年に開発されました。

先ほど1年間で2倍にシステムの性能が上がるプロットしましたが、一九八一年には1千倍、一九九一年には100万倍、二〇〇一年には10億倍、二〇一一年には1兆倍になってきているはずですよ。二〇二一年、東京オリンピックの翌年には1126兆倍になるとすると、今日現在われわれのコンピュー

タの性能は、東京オリンピックが終わった翌年に向けて、まだまだ性能が上がり続けます。とんでもない成長速度が指数関数的な曲線でこれから得られるということなのです。

そして、このこととシンギュラリティとはどんな関係になるのでしょうか、ということです。

ホモサピエンスは約二五万年の歴史を持っています。そのうち最初の二三万年間はほとんど何の変化もなかったんですね。ですから直近の二万年間に關して、人類史をプロットしてみたいと思います。その場合のグラフの縦軸は人口であったり、総生産であったり、生産性だったり、何を当てはめてもだいたい同じような話になります。農耕が一万五〇〇〇年前ぐらいに始まりました。そして文明史は五〇〇〇〜六〇〇〇年ぐらい前から確認ができます。近代史は約一〇〇〇年前ですね。科学というのがわれわれ人間の暮らしに寄与するようになったのが、六〇〇年前と言われています。産業革命は二五〇〜三〇〇年前。そして情報通信機革命。コンピュータの発明は七〇年前、インターネット革命は直近の革命で三〇年前です。グラフの曲線は指数関数のように立ち上がっています。

この後、何が起ってくるでしょうか。垂直に立ち上がっていく指数関数の一番上のところがシンギュラリティになるわけですが、それは二〇四五年だとレイ・カーツワイルさんは予測をしています。ただ、私を含めた何名かの日本のシンギュラリアンの人たちは、この時期はもう少し早いだろうと考えています。早ければ二〇三〇年ごろかなという話をしています。もう今から一五年とか三〇年先の話です。ここにいらっしやる理工学部の学生のみなさんは四〇〜五〇歳の間に必ずシンギュラリティを経験することになると思います。

大事なのはそこに至る過程です。農耕が起きました、産業革命が起きました、インターネットが

発明されたというようなエポックメイキングな事象に匹敵する点として、この二〇一六年から次に起こる革命的な事象がディーブラーニング革命ですね。ディーブラーニングが起こしてくるさまざまな革新が新たな点として打たれると思います。

## 人類の寿命と遺伝子解析

一カ月ほど前にこんな話がレポートされました。人類の最高寿命、個々の個体としての人類が生きられる限界は一二五年です。これをみなさん、どう思いますか？

ちょうど一年前、私はアメリカ・メリーランド州ボルチモア市の郊外にあるユダヤ人墓地に眠っているらしい女性のお墓参りに行ってきました。ブルック・グリーンバーグさんとおっしゃって、一九九三年にお生まれになられて、二〇一三年に残念ながら亡くなられた方です。彼女は四姉妹の三番目です。亡くなる直前の家族写真を見ると、彼女は年齢的には二〇歳なのに、まるで乳幼児です。彼女は一歳半の状態で、成長することを、すなわち老化することを止めてしまったんですね。遺伝子的にもまったくなんの異常もなく、先天的な異常もなく、後天的な理由で成長を止めてしまいました。そこから一八年間、新陳代謝はあるものの、いっさい年を取らずに存在したわけです。自然科学的にはこのたった一例の事象をもって、人間が老化をしないという状態を保ちうるということの証拠です。たいへんに重要な事例で、世界に一例しかありません。過去歴史的に見ても、一例しか確認できない貴重な事例なのです。われわれは何をしなればいけないでしょうか。彼女の体はすべて検査がなされているのですが、遺

伝子的な異常はありませんでした。今のスーパーコンピュータで遺伝子の解析は簡単にできるようになりましたが、次に何をやらなくてはいけないかという点、タンパク質の解析です。タンパク質は遺伝子のコーディングによって作られるわけですが、これは遺伝子情報から比べると、100万倍ぐらい複雑です。タンパク質の機能的な表現形である代謝まで解析しようとする点、タンパク質よりもさらに100万倍複雑な解析が必要です。

ですから、今のスーパーコンピュータではまだ足りないんです。では何をやらなくてはいけないかというと、次世代スーパーコンピュータを開発することです。そうすると、タンパク質のレベルか代謝のレベルにある、ブルックさんが後天的な理由で老化を止めてしまった理由が必ず説明できるはずですよ。

### 次世代スーパーコンピュータの定義と必要性

日本でも「京」の後の「ポスト京」が企画されています、1000倍の性能を達成しようとしています。ここで大事なことがひとつあるのですが、1000倍高速なスーパーコンピュータなら計算が1000倍高速にできるというメリットは当然あります。1000年かかっていたものが1年でできる。100日かかっていたものが1日。しかしもっと大切なことは、やはり1000倍複雑な計算ができる可能性があるということです。ネズミの脳を1000倍高速に動作させれば、1000倍速い処理ができるかもしれません、例えばそれが人間の知性レベルまで到達するかというと、1000万倍、1000億倍高速に動かしても到達しないわけですね。どうしたらいいかというと、ネズミの脳の知性を高める、知能レベル

を高めるためには、もつと規模を大きく、複雑にしなければいけないということなんです。したがって、次世代スーパーコンピュータは、1000倍高速だけでなく、1000倍複雑な計算ができるということと、ろに大きな意味がある。こういうことをご理解いただけるかなと思います。

最近、常温核融合も再び見直されてきています。一時、エセ科学と言われたこともあったのですが、これは再現性もあり、100%近くの再現性が確認される事例も増えて来えています。100度未満の発熱でコントロールしやすい熱源ということで、フリーエネルギーに一番効果的な近道なのではないかなと思っています。これも科学的に解明されてはいませんので、次世代スーパーコンピュータで解明して、安全に普及させることができるだろうと言われています。

## 次世代植物工場の潜在性

いろいろな省エネルギーや新エネルギーの技術革新は、実は次世代スーパーコンピュータで何百も起こしうることができます。

植物工場の約八割が今、赤字経営なのですが、それはなぜかというところ、電気代がものすごくかかるからですね。LEDの光源と、LEDのコントローラーを冷やすためのエアコンに莫大な電気代がかかります。これがフリーになってくると、すべての植物工場がタダになってきます。加えて、LED光源の波長のコントロールで促進栽培が可能になり、最大で24倍速でお米が収穫できてしまうという、とんでもないことがわかってきました。2週間に1回、お米が収穫できるという夢のような話ですね。しかも

太陽光の下ですと、一旦の田んぼからは一反のお米しか収穫できないわけですが、LED光源ですから、1階分の高さが1メートルの植物工場を100階建てにして、100メートルのビルを建てるとしたら、毎フロアごとに一反のお米が採れます。100倍の収穫が得られるということですね。二四期作ですから、合計では2400倍の収穫を得ることができるようになります。

先ほど申し上げたように、遺伝子レベルⅡジェノミクスから、タンパク質Ⅱプロテオミクス、そして代謝レベルⅡメタボロミクスの解析まで可能になってくるのですが、そうになると、実際にはスーパーコンピュータというのは実は国力の源泉ではないか、国力の源泉が次世代スーパーコンピュータであるといってもいいような時代が訪れつつあるわけです。ですからスーパーコンピュータの開発を絶対にやらなければいけないとずっと思ってきました。

### 人工知能との組み合わせ

さて、人工知能の話なのですが、人工知能とスーパーコンピュータの組み合わせは、科学技術の最強のドライビング・フォースなんです。何ができるでしょうか。

まず、現在の人工知能のエンジンを想定してはいけなくて、100倍、1000倍に人工知能のエンジンが高速になっていく状況を想定します。そして次世代スーパーコンピュータと組み合わせると、これは仮説の立案と検証をそれぞれに担当させることができるんですね。

仮説の立案を人工知能エンジンができるというのはどうということかとすると、今、人工知能のテー

プラーニングなどでできていることはパターンの抽出です。特徴点と特徴量の抽出にとどまるわけですが、これがさらに高速になってくると、どういふことができるかというところ、複雑な事象の中から人間でも気がつかないような、見い出せないようなパターンを無数に抽出することができるようになってきます。そこで抽出されたパターンの中から、また何か共通のルールや新しいパターンを見い出す。これはメタ・パターンと言ったりしますが、そうした二階建てのパターン抽出ができるようになると、その二階あるいは三段目のメタ・パターンというのは実はもう仮説に等しいわけです。人間が仮説を立案する時には、そういう考え方をしているのです。実はソニーコンピュータサイエンス研究所の北野宏明所長が最近「AIに仮説を立案させましょう」と提唱し始めていらつしやいます。

でも、仮説って結局、検証しないと理論になりません。今はどうしているかというところ、みなさんが研究室でやっていらつしやるように、実験系を作って検証して初めて理論になるといふわけなのですが、今後はそういうふうにはいかなくなるのです。1000倍高速な人工知能が抽出してくれるパターンは膨大なパターンです。そこから立案される仮説もとんでもない数になります。数百万ではなく、数千万、数百万という数が、へたをしたら日にち単位で出てくる。そのそれぞれに対して実際に実物理空間で実験系を作るのは無理でしょう？

また、二〇一六年三月に重力波の検出がなされたとの発表がありました。アインシュタインともうひとつかたの重力波の仮説が検証されてから、100年たつてようやく重力波が検出されたわけですが、これはアメリカに巨大な重力を検出するための施設が作られて、一〇〇〇億円をかけて、ようやく成功したのです。こういった巨大な実験施設を仮説ごとに毎回作ることは当然できません。

例えば誰一人として、地球上のどんな数学者も理解できない圧縮アルゴリズムで作られた画像圧縮処理の数式といった高次元な仮説が生み出された時に、当然、人間がこの検証の実験系を作ることはできないですね。ただ、コンピュータはこれを理解することができます。

ということ、仮説の立案をAIにやらせたら、その検証はもう実物理空間でわれわれが実験系を作るのではなく、次世代スーパーコンピュータ上でバーチャルな空間で検証させてしまう。しかも人間が理解できないような複雑な仮説、あるいは高次元な仮説すら自動で検証できる系を作ってしまうわけです。もちろん仮説は何万個に一個も検証されないかもしれません。100万個に1個かもしれません。ですが、全然かまわないですよ。これを回していくというのが、史上最強の科学技術基盤になってくるということ、です。

北野宏明先生は、これを回して五〇年以内にノーベル賞を自動で取らせるとおっしゃっています、私もその考えに強く同感するのですが、そうではなく、ここから出てくる理論というものはおそらく新しいノーベル賞が何百個も創設されるぐらいのインパクトを持っているのだらうと思います。

そしてシンギュラリティの実現にも、これは使えるだらうと思っています。まず人工知能単体でも新しい産業革命を起こすことが可能です。旧産業革命は動力源でした。人間や家畜の肉体的労働・生産・作業を機械に置き換えましたが、今回の新産業革命は人間の知的な労働・生産・作業を置き換えていくわけです。

## PEZYグループ

さて、今現在私は、グループでベンチャー企業を構成しております。PEZY Computing社がメインで、「PEZY-SSC」というメモリーコアプロセッサを開発しています。ExaScaler社は、液浸冷却の技術を使って、スーパーコンピュータの最終形を作っています。UltraMemory社は、超高速なインタフェースをもった超広帯域で、大容量の積層メモリが欲しいなということ、そういうものを開発しています。そこに加えて、新しい人工知能エンジンを二年以内に、1000倍高速なものを開発するDeep Insights社を立ち上げました。さらに、先ほどの仮説の立案と検証を社会実装したいなと思っていて、新しくもう一社立ち上げているんですね。ガン遺伝子の解析をやりながら、日本独自のキュレーションシステムを作り出して、診断・治療・創薬のプロセスを統合的に変革していきたいと考えています。

その先には、超早期診断であるとか、最適化されたテイラーメイド医療、プレシジョン・メディスンの究極形といったものを取り扱っていきたいと考えていて、初めてのアプリケーション開発を行う新しい会社を、医療を革新するために作ったところです。

## 今後の医療革新に関する予測

医療はすごくわかりやすいので、事例として紹介させていただこうと思います。

まず、AIとスパコンの組み合わせで人間の医師の診断能力を上回るといふシナリオは、二〇一六年

七月に実現してしまいました。人間の医師が誤診していた慢性骨髄性白血病の人を、IBMのワトソンが正しい診断をして、正しい投薬の指針まで出してくれて、それをその通り治療したところ、六カ月で治ったという事例が報告されています。次はドラッグ・リポジショニングです。既存薬の新しい効能が見つかるという事例がいくつか出始めています。人間にはわからなかった新しい薬の効能を見つけてきてくれます。

そうこうしているうちに、病気の診断のための新しい診断基準や診断手法が生み出されてきます。診断の次は当然、治療ですね。治療法や治療薬が開発されてくる。二〇一六年一月一九日の日本経済新聞には、中国でゲノム編集を用いた初の人体応用例、肺ガンの患者さんに治療が施されたという記事が掲載されています。これは究極のプレシジョン・メディスン(精密医療)、究極のテイラーメイド医療です。

この新しい遺伝子治療は医療を激変させます。この意味において、遺伝子治療はまだスタートラインに立ったか立たないかぐらいです。これまでも遺伝子組み換えという言葉をお聞きになつていて、思いますが、食品でも遺伝子組み換え食品はあるわけですね。今回のゲノム編集と、遺伝子組み換えはまったく異なります。まずありがたいのは、組み換えではないので、外来遺伝子の導入が行われません。そして編集の精度と容易さが桁違いに違います。遺伝子組み換えは延々と実験を繰り返して、ようやく幸運にも恵まれて、何か組み換えができるかなという世界なのですが、これは狙った通りの編集ができます。しかも時間があまりかからない。数カ月で回せてしまいます。

つまり、CRISPR-Cas9 (クリスパー = Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) が、遺伝子編集で、確実にノーベル賞を取ると言われていますが、CRISPRという遺伝子配列は、元は日本人

の先生が見つけれられました。そして明らかにCRISPRよりも切れ味の良い遺伝子編集のための遺伝子配列が見つけれられるはずなんです。ただ残念ながら人間には複雑すぎて、この遺伝子配列が理解できない。人間が理解している人間の遺伝子配列はわずか1・5%とか1・8%と言われています。残り98%超の遺伝子の情報の中にもすごく有意な情報が眠っているはずなのですが、人間には複雑すぎて理解できません。これをAIとスパコンの組み合わせで解明していくと、もつとすばらしい遺伝子編集の配列が見つかってくるということです。

さらにはよくよく調べていくと、人間って病気のことをほとんど理解していなかったんだということが明らかになる日がそう遠くないと思います。病気の概念が最構築されます。二一世紀になってまだ生殖・成長・老化・進化についてはわからないことだらけです。もしかしたら人間の知性には、この四つは複雑すぎて理解できないのかもしれないかもしれません。それをAIとスパコンの組み合わせは解き明かしていくだろうと考えています。そしてやがて医療や生命科学をゼロから再構築してくれる可能性もあると思います。そして究極は、われわれの生命体自身をリデザインしてくれる、そんな時代が来るでしょう。

## 中国が席卷するスパコン業界

ちよつとここから中国がすごいというお話しをしなければなりません。みなさんも耳にされているかもしれませんが、今、スパコンの業界は中国が席卷しています。中国は圧倒的な勢いでスーパーコンピュータ開発を進めている。二〇一六年六月、中国の純正のスパコンTainulightが1位を取りました。

しかも日本の京コンピュータの9倍の性能だということが大きなニュースになっています。これまでの中国の天河2号というスーパーコンピュータが、6カ月ごと6回連続、つまり3年連続で世界1位を取っていたのですが、誰もそれについてはあまり言及しませんでした。なぜならば、その中身は全部インテル製だったからです。ところが、Tianjiajiについては、中国がプロセッサから全部独自開発しました。純中国製です。ソフトもすべて中国人が開発したことで、世界が衝撃を受けました。

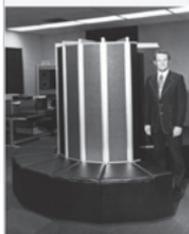
しかも台数がすごいことになっています。二〇一五年六月の時点で、上位500台のうち中国にスパコンは37台しかありませんでした。当然、アメリカがランキングの半分に近い233台でトップでした。1年後、中国が日本を抜き去り、アメリカを抜き去り、1位です。日本は3位で、今日現在日本は4位まで落ちてしまいました。この台数の伸びはおそらくこれからも止まらないと思います。二〇一七年六月には過半数を超えてきて、やがて400台に乗ってきてもおかしくない。

先ほどから次世代スパコンがすごく大事ですよというお話しをさせていただいたのですが、中国はさらに、京の100倍の1エクサフロップス (Exaflops) のスーパーコンピュータを、しかも異なるスーパーコンピュータを3台、同時並行で開発しています。

日本は二〇二〇年を目前に開発をと言っていたのですが、どうやら二〇二二年まで遅れそうだという話です。アメリカでも大統領令が出ており、今、二〇二三年を目指して開発しています。中国では、早ければ1台を二〇一九年に、残る2台を二〇二〇年に立ち上げようとしています。そうすると中国が最高性能のスーパーコンピュータを複数台持ち、いち早く次世代スパコンの導入に成功し、台数も他国を圧倒するという状況が出てきてしまいます。

## 40年前のスパコンと、現在のスパコン

・1976年に開発された「Cray-1」と、京速計算機「京」



規模が巨大になり過ぎ、性能向上の速度が大幅に低下中



図 2

これをなんとかしなければいけないということで、われわれはスーパーコンピュータを、もう一回小型化しましょうという取り組みを進めています。

四〇年前、シーモア・クレイ博士が開発した「Eagle」という近代スパコンの先祖と言えるスパコンは、「世界一高い椅子」とも言われたのですが、人の背丈ぐらいのスーパーコンピュータでした（図2）。中

国の天河2号は八階建てのビル全体を占有する施設になっています。日本の神戸ポートアイランドにある京速計算機「京」も似たような感じで、六階建てのビル+隣の小さな電源系のビルもあります。百名以上の方がオペレーションに携わっていないと動かせません。このように規模が巨大になってしまったがゆえに、開発の速度はどんどん落ちてきています。

これまでずっと対数グラフで、1年間に2倍のラインには載った形で、性能向上が得られてきたのですが、ここ数年間性能の向上が急激に遅くなってきています。これをなんとかしなくてはいけない。日本のポスト京はというと、そのラインから相当外れてしまっているわけです。そこでどうしようかということ、二〇二〇年に5ナノメートルの半導体プロセスが使えるようになると、この業務用冷蔵庫ぐらいのタワーラック864台で構成されている京の、その10倍

## 「PEZY-SC2」メカサンプル

全く新しいIF接合部(合計帯域2TB/s)を持つ、新しい半導体パッケージの試み(現在、熱負荷等試験中)

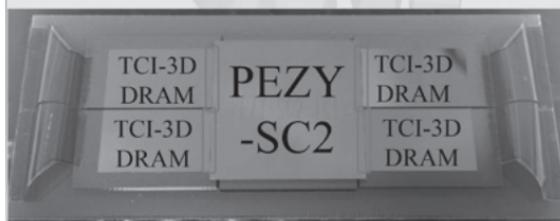


図 3

の性能が 100 PetaFLOPS だったら、今われわれが理研和光において利用している小さな洗濯機 5 台の Shoubu の規模で実現できると。まあ、100 倍だったら、50 台ですね。そうすると、われわれは、1 年間に 2 倍ではなく 4 倍ぐらいの速度で性能を向上させていき、1 ExaFLOPS に到達させたい。このペースでうまく性能を伸ばすことができれば、中国よりも早い二〇一八年一二月期に 1 ExaFLOPS 到達も可能だろうと考えています。

われわれの最小構成のスーパーコンピュータは小さな洗濯機ぐらいの大きさです。これにどのぐらいの性能を詰め込めるか。私どもの最新のスーパーコンピュータは「ZettaScaler-1.8」なのですが、世界で初めて 1 立方メートルの体積で 1 PetaFLOPS という体積効率を実現しました。そしていよいよトップ 5000 の上位を狙っていくこととなります。

図 3 は、開発中の次世代プロセス「PEZY-SC2」のメカニカルサンプルなのですが、実際に半導体シリコンで作って、今、熱膨張や機械的な合力をかけた時にどうなるか、試験をしています。これは実は、慶應義塾大学の黒田忠広教授が開発された「磁界結合」技術を世界で初めて商用機で使わせていただきました。磁界結合とは、超近距離なのですが無線で信号を磁界で飛ばすというもので、高速な通信を可能にしているものです。磁界結合で、4 つの DRA

Mとプロセッサを接続するインタフェースになっています。これが1つあたり512 GB/s × 4チャンネルですから、1つのプロセッサあたりで2 TB/sの超広帯域を実現しています。DRAMの中も積層構造となっていて、磁界結合で上下方向に8積層まで実現しています。これも慶應義塾大学の技術を利用していただいて、こういう新しいシステムを作らせていただいています。

来春には1液浸槽で、少なくとも1.5 PetaFLOPSの性能になり、さらにその1年後には8 PetaFLOPSになります。「京」が10.5 PetaFLOPSですから、ほぼ京がこの中に入ってくるということです。二〇二〇年、5ナノメートルの半導体プロセッサを使うと、20 PetaFLOPSまで行きます。京の2倍の性能がこの中に入ってきてしまいます。そんな時代が後4年で到来する、そんなすごい時代です。

10 PetaFLOPSクラスのを個人で専有使用できるようにすると、世の中は当然変わるわけです。今日現在は、中国も含めて世界の先進国の誰ひとりとして10 PetaFLOPSもの演算性能を個人で専有できていません。これが数年経って、みなさんが研究開発にいそしんでいる頃には実現されているということです。検索・探索・解析・モデリング・シミュレーションなど、日常的にとつてもない性能を使うことができるようになりますし、人工知能のディープラーニングの応用としてのトレーニングやインファレンスなどの用途にも、本当にとつてもない性能を使うことができます。先ほどの最強の科学技術基盤、「仮説の立案と検証のループ」を個人でも回すことができるようになるのです。

## 『Singular、な発想』 「Vision」

その先にわれわれ自身が何を考えなくてはいけないかということ、最後に問題提起させていただいて、今日の講演を終わりたいと思います。

『Singular、な発想』 「Vision」を、これからみなさんにどんどん持つていつていただきたい。若いみなさんにはこういうものを問題意識としてとらえていただきたいなと思つていますが、ちよつといくつか事例を挙げてみたいと思います。

いろいろな社会学者の方がおっしゃられていることなのですが、媒介としてのお金というのは置いておき、これまでの人類史の中で価値を持つてきたものは何であるかという話ですね。物々交換から始まつて長い期間、「物」に価値がありました。近代史になつてくると、一番価値があるものは「物」ではなく、「エネルギー」になりました。石油の争奪戦を見ていただければ明らかです。原子力の話もありますが、エネルギーが価値を持つていたところから、直近、情報通信革命が起こつた後は、一番価値があるものは「情報」だと言われています。これまでは、ですね。

この先、何がくるのでしょうか。物、エネルギー、情報、その次には何がくると思ひますか？ 確実に新しいものがくるはずなんです。私にもわかりません。これをみなさんにぜひ考えていつてもらいたいと思ひます。

続いて、われわれ自身の体の中のことを考えてみましょう。生命体を考えてみると、最初の原始的なものは「脊髄」と「末梢神経」からできています。そしてその上に「脳幹」が乗つてきました。脳幹が

できることによって、心臓や肺といった生命の基本的な維持が効率よくできるようになりました。その次にできてきたのが「大脳辺縁系」ですね。人間の生存欲求であるところのいろいろな感情といったもの、動物的・衝動的な感情といったものは、この大脳辺縁系から生じています。一番最近に作られたのが「大脳新皮質」です。これがわれわれの知性を司っていて、知性の源泉である論理的な思考を含め、あらゆる知的な情報処理はここでなされています。

こうやってみてくると、やっぱりこの先に何か作らないとダメですよという話です。「大脳新皮質」の次のものが生じ得るはず、いや、作り得るはずです。これが何なのかはわからないわけですが、これをぜひみなさん、考えていってくれませんか。

そして、こんなことも言われています。まずわれわれは生きるために「感覚」が必要でした。その後、より効率的に種族として繁栄するために、自然からの脅威に協力して対抗するために、通信のための「言葉」を生み出したわけです。さらにそこから、われわれは今いろいろな葛藤なども含めて、すばらしいものに感動したり、夢などを持つたりしながら、「心」というものを持って生きています。この次は何でしょう。「心」のその先に何かがあるか、今のわれわれにはちょっと理解できないかもしれませんが、これもそろそろ考え始めないといけないタイミングだと思えます。

例えば、センチュウ（線虫）という一番原始的なコネクトームは305個の神経細胞と6000個のシナプス結合によって構成されています。それと比べると、われわれの脳というのは、コネクトームとしてはとてつもない規模を持っています。1000億個の神経細胞と100兆個のシナプス結合からなっているわけですね。「原子コネクトーム」、「人間レベルのコネクトーム」、その先は何でしょう。きつ

とあるはずで。とてつもない知性をわれわれが手にすることもたぶん可能だと思えます。

若いみなさんたちは、とんでもなく奇跡的なタイミングに生きていらっしやいます。私は今、48歳なのですが、みなさんが本當にうらやましくしてしょうがありません。みなさんの時代に生まれていたら、シンギュラリティをこんな早くに若いうちに経験できて、その先のこんなことを考えて、経験できるんだと思うと、本當にうらやましくしてしょうがありません。ぜひこうしたことを考えながら、有意義な学生生活を過ごされて、研究開発に邁進してってください。