

Nobel Turning Challenge : Creating the Engine for Scientific Discovery

沖縄科学技術大学院大学 教授  
ソニーグループ株式会社 執行役 専務 CTO  
株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 代表取締役社長  
株式会社ソニーリサーチ 代表取締役 CEO  
特定非営利活動法人システム・バイオロジー研究機構会長

北野 宏明

ご紹介にあずかりました北野です。私は 2010 年の第 1 回研究助成プログラム「理想の追求」に選んでいただきまして、そのときのテーマが『サンゴ共生藻におけるロバストネス・トレードオフと気候変動』。私と、当時 U.C.Merced にいた Monica Medina とメキシコ国立大学の Robert Iglesias-Prieto の 3 人で提案を出して、カンクンの南にあるプエルト・モレノスのマリンステーションを根城にしてサンゴの研究を始めました。なぜサンゴをやったかという、生物は多様なので哺乳動物とは全然違う生物を研究してみたいと思ったからなのですが、これは JST も JSPS では出してくれそうにないので、キヤノン研究助成プログラムに応募したら採択され、大喜びをしまして始めました。私は酵母などの真核細胞、マウスや創薬などのシステム・バイオロジー的な研究はやっていたのですが、マリンバイオロジーの研究は一切やっていなかったもので、普通に出したら、まあ、通らない。プライベートファンディングはいろいろなアングルで審査していただけるので、いただけたのですね。

実際やってみると、マリンバイオロジーの研究って普通のバイオロジーとはだいぶ違っていて、海の下サンゴを採ったり、そのピースを持ってきてラボで環境条件を設定してサンゴの変化を観察するとかの実験はやるのですが、基本的に、気象に大きく影響されません。我々のテーマは、サンゴの環境耐性に関するものなので、白化現象を捉えることが研究の始まりになります。我々が研究していた 2 年目の夏は雨が多くてすごく寒かったのです。そうするとサンゴは白化しない。暑くて太陽がカンカンとなると白化するので、そのあとどうなるか測ることを目論んでいたのに、それが起きない。培養細胞と違って相手が自然なので、何かあるといきなり研究が 1 年間、単純にスリップするという世界を体験しました。論文は Nature Communications、Scientific Reports、Communications Biology に出して、今年も 1 報出しています。ファンディングは使ってしまっていますが、共同研究は続けていて、かなりデータがたまっているのでまだ数報は出せると思います。

## <Nobel Turning Challenge>

今日のテーマは「Nobel Turning Challenge」、副題は Creating the Engine for Scientific Discovery です。AI 自体が研究できるようにするというチャレンジを何年か前から仕掛けていまして、2050 年までに AI システムがかなり自律的にサイエンティフィックな科学研究を行って、ノーベル賞クラスの研究を生み出すようなものが作れるのではないか、ノーベル賞委員会が、それが人間か人工知能かわからないような領域になる、というグランドチャレンジで、いろいろなところでプロジェクトを仕掛けたりワークショップをやったりしています。

1990 年代に始めた RoboCup は 2050 年までに fully autonomous な humanoid team でワールドカップチャンピオンに勝つというプロジェクトです。そこから、かなりロボティクスと AI の研究が進んで、年間、コンスタントに 3,000 人~4,000 人の研究者がこのプロジェクトに関わっていますし、幾つかのアクティビティがあるのですが、その一つがロボカップ・ジュニアという Robo Cup を教育に応用したものです。コロナ前は 1 年間に世界中で 25 万人くらいの子どもたちがその教育プログラムに参加しました。こういうところからスピナウトが出てきて、一番有名なのが Kiva Systems という 2000 年くらいに出てきたものですが、RoboCup のテクノロジーを使って倉庫の中の自動搬送システムをつくったのです。これが 5 年くらいしてから Amazon に買収されて Amazon Robotics になりました。買収額が 7 億 7,500 万ドルですから今だったら 1,200 億くらいの買収です。それ以外にもスピナウトがいろいろ出てきています。

こういうグランドチャレンジをやろうと思っても、一人ではなかなか高度に自律的な AI サイエンティストは作れませんから、グローバルなチームをつくらなければいけない。そのために大きな旗を立てることが必要です。では、今、AI がどういうふうになっているか、お話ししたいと思います。

## <AI の現状>



これは 2022 年 2 月号の Nature の表紙です。プレイステーションの「グランツーリスモ」というゲームですが、人間の世界チャンピオンに勝てる AI エージェントを作るというソニーのプロジェクトです。プレイステーションにはクラスターがあって、実は非常に大きな計算能力をソニーは有しています。それと非同期の分散学習プラットフォームと深層強化学習を開発している。「グランツーリスモ」はものすごく精密な物理シミュレーションです。だからゲームというふうに出していますけれども、中ではこれを“ドライビングシュミレーター”という言い方をしています。『グランツーリスモ』(米) という映画は、「グ

ランツースモ」の世界チャンピオンが実際の車でレーシングドライバーになってル・マンの表彰台に上がったという実話をもとにした物語です。そんなことがなぜ可能になったかという「グランツースモ」は非常に精密なので、そこで細かくスキルをマスターすると非常に早く実際の車でのドライビングを学ぶことができます。人間の世界チャンピオンのドライバーに AI のエージェントがぴったりとカーブで後ろについて入っていくのですが、本当の車でやるとここまでついてコーナーに入っていくのは乱流があるので難しくできないのですが、ログを全部解析していくと、人間に比べて AI のエージェントがはるかに細かく車を制御していることがわかりました。あれだけ細かく制御すると、ぴったり前の車にくっついて、乱流があるところでもコーナーにちゃんと入って安定して走行できるのだということがわかってきます。じゃ、人間ができるか？といったら、こんな細かく steering をコントロールできないので、たぶんどけないですね。あと、カーブのときにどういふコーナーどりをしているかを見ているのですが、普通のレーシングの教科書だと「インにまずついてからアクセスを踏み込みながらコーナーを脱出する」となりますが、AI はあまりインにはつかないで、比較的高速でコーナーに入って急速に回頭する。だいたいドライビングパターンが違う。おもしろいのは AI と人間のチャンピオンと一緒にレースをすると、人間チャンピオンのパフォーマンスはもう如実に上がってきます。なぜかという、AI の車がコンスタントに速いのですが、人間が後ろについていて、あ、こう走ると速くなるというのをすぐ学習するからです。碁や将棋の AI のように turn taking で、全部の情報が目の前にある完全情報ゲームでは、人間を凌駕するものはできていました。しかし real time で、物理的に非常に精密なもので Competitive environment で人間に勝つ AI を作ったのはこれが初めてなんですね。それを初めて実現したということです。

また、おもしろいのは、我々のあとに Science に出た論文なのですが、ボードゲーム「ディプロマシー」で Cicero という AI がチャンピオンになりました。Meta が開発したのですが、これ、外交ゲームなのです。先ほどまでの「人間よりも強い」というやつです。これも確かに人間に勝っていますが、勝つ条件は“仲間づくり”なんですね。外交ゲームなのでいろいろな会話をして一番大きな同盟をつくったところが勝てる。ということはオンラインで自然言語で会話をして、味方を一番巧みにつくったのが Cicero という AI システムだったということで、AI は既に言葉巧みに人間をだますトップレベルの能力を得ているということの意味しているわけです。

さらに、今の ChatGPT とかで話題になっているのが Transformer や Diffusion model です。Transformer は、基本的には Turing Complete に近いと言われているアーキテクチャーですし、Diffusion model は確率拡散型の画像処理の学習のアルゴリズムです。これらすべてシリコンバレーで起きていると思う人が多いですが、例えば Diffusion model はミュンヘン工科大学ですし、Runway というベンチャーはニューヨーク、Stability AI はロンドンということで、いろいろなところでイノベーション、ブレークスルーが起きています。

そして、今、いろいろな会社が Transformer 型 model、要するに ChatGPT 型や言語モデ

ル、大規模モデル、映像生成でいろいろなことをやっています。一番有名なのが OpenAI ですけど、これは Large Language Models を OS みたいにしてプラットフォームにするという方向に動いています。Developers Conference を行って、その上でアプリケーションのマーケットプレースをつくったり、デベロッパーサポートのリソースをどんどん公開したり、今までの OS のレイヤーと同じような地位を AI のシステムが占めるという方向にもう行っています。私の認識は、今は新しい産業革命の非常に早い段階にあって、もういろいろなことに影響を及ぼしている。ただ、技術レベルとしては、たぶんまだ蒸気エンジンで内燃機関になっていないです。たぶん内燃機関は、あと何年かしたら出てくるという、そういう感じだろうと思います。

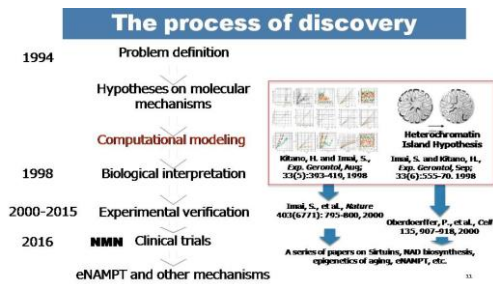
AI の最近の歴史を見ると、2012 年に深層学習が出てきて、画像の認識精度が飛躍的に上がって、それから 5 年後に GAN という Generative Adversarial Network というイノベーションが起きて、これでまたレベルが上がって、その 5 年後に Transformer と Diffusion model がほぼ同時に世の中に出てきていて、その結果として今 ChatGPT などが出てきているので、大体 5 年ごとに非常に大きな技術的な飛躍が起きています。これからしばらくそのくらいのスピードが続くでしょう。こういう AI の能力をたぶん使う必要があって、scientific discovery もたぶん加速するでしょう。ただ、ChatGPT で scientific discovery はあまりできないと思っています。ChatGPT は、原理的にそういう推論があまり高くなく、統計的な予測をして文章を生成しているだけで、仮説空間を作ることができない。次の世代のシステムは、その問題を解決するようなアルゴリズムが投入されることはほぼ間違いないだろうと思います。

#### <AI scientist grand Challenge>

The Nobel Turing Challenge は、チャレンジとクエスチョンによって成り立っています。まず自律的に大きな scientific discovery をする AI システムがつかれるかどうかです。これがチャレンジです。クエスチョンは、そういうシステムができたときに、それが人間みたいに振る舞うのか、それともまったく違うインテリジェンスになるのか。人間のように振る舞うとたぶん区別がつかないので、ノーベル賞委員会が「それ、ちゃんとチェックしなさい」と言ったら我々の勝ちだと思っているのですが、私はたぶん全然違うものになると考えています。

2020 年 2 月にロンドンでの The Alan Turing Institute のワークショップが開催されました。それ以降世界各地でワークショップをずっと続けていて、2023 年 10 月にはスウェーデンの Wallenberg Foundation がストックホルムでワークショップを、その翌々週に National Academy of Sciences が同じトピックでワークショップを開催しています。日本も小さいプログラムをやりますし、シンガポールもかなり大きいプログラムをやりますし、EU も新しいプロジェクトが立ち上がります。

なぜ、こういうことをやろうかと思ったかということ、これは私の自分の研究ですが、老



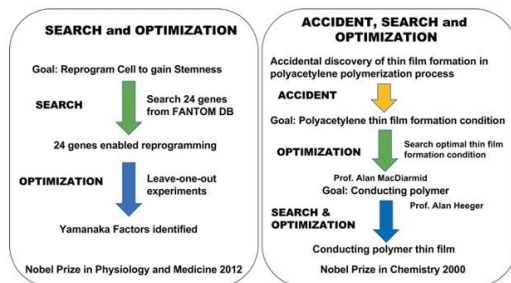
化研究があります。1994年に現在ワシントン大学セントルイス校の今井眞一郎先生と老化の研究を始めました。この研究の流れで、最初のクリニカルトライアルが始まったのが2016年ということで、20年くらいかかるわけです。バイオロジーはこのくらいのスピードで進みます。全プロセスの中で仮説を網羅的に検証した

のは、途中で計算モデルをつくった computational modeling のところだけです。いろいろなデータが数的に全部整合するような数理モデルは何かということはかなり網羅的にやっているのだからカバーしている。ただ、その数理モデルがどういうバイオロジカルリアリティか、どういう分子機構かというのは、人間が「たぶんこうだろう」という解釈をします。それで検証して、その解釈が正しいかどうかは非常にクリティカルなわけです。ただ、すべての解釈をシステムティックに検証するということはほぼやっておらず、“運任せ”部分のところがいっぱいあるのです。これをちゃんとシステムティックに解消するというのが一つのエクストリームな方向のサイエンスだろうと思います。

### <Structure of Biological Discovery>

バイオロジーの研究は何をやっているかということ、バイオロジカルなプロセスの分子メカニズムやどういう分子が関係するかを理解するのがほとんどです。全部とは言いませんけれども、ほとんどのバイオロジーは創薬にしても疾病にしても基礎的な生物学にしても、非常に複雑な構造で何重にもネスティングしたりとかはあるかもしれませんが、基本的にはほとんどこれです。では、これをどうやってコンピュータに解かせるか。

ノーベル賞クラスの研究がどうなっているかという構造を研究されたものをものすごく簡略化します。山中先生の iPS の場合のプロセスは FANTOM プロジェクトのデータベースを使って 24 の遺伝子にリプログラミングできそうなものがあって、それでやったらできたので、Leave-one-out で山中ファクターの 4 つに絞り込んでいるのです。これは SEARCH



Kilano, H., "Nobel Turing Challenge: creating the engine for scientific discovery", *nj Systems Biology and Applications*, 7 Article Number 29, 2021

and OPTIMIZATION のプロセスです。白川先生の Conducting polymer もまず Polymer formation のところがあって、それができてオプティマイゼーションして、今度は Conducting polymer にしているので、このプロセスは SEARCH and OPTIMIZATION を 2 回やっているのです。多くの研究はこういう形で SEARCH

and OPTIMIZATION を実はやっているわけです。ものすごく簡略化していますが、それでカバーできる研究はかなりあるので、その部分は、たぶん AI やロボットを投入するほうが

いいだろうと考えています。

#### <Limits of Human Cognition>

今、論文はバイオメディカルエリアでは1年間に200万本出ています。これ、読み切れないです。重要なやつだけ読むといっても、どれが重要か事前にわかることはほぼ不可能ですし、NatureとかScienceも商業誌なので、話題になる論文のプライオリティが高くなるとか、いろいろな問題があります。これ、もう、人間にはできないですね。そのLimits of Human Cognitionがあるので、scientific discoveryはIndustry revolution以前である、と前から言っているのですね。例えば、ハイスループットのゲノムのシーケンサーであるとか、大規模なomicsのデータはバイオロジーではつくれるようになってきた。だけど、そのデータを解釈するところは、みんな、「ウーン」と考えてやっていて、ずっと変わっていない。インフォマティックのツールがあったとしても、その解釈とかはやっぱり「ウーン」といろいろ考えている。ここを新しくしていく必要がたぶんあるだろうと。

つまり仮説生成のところですが、SerendipityとかBy Accidentとか言いますけれども、これ、悪く言えば行き当たりばったりなわけです。私はシステム・バイオロジーという分野を提案して「システムのなことをやるべきだ」と言ってきましたが、ある程度進んで、どうしても壁にぶち当たる。複雑なシステムで小さいことを理解するのは、わりと人間は得意です。大きなシステムをそれなりに理解して統計的に理解するのもできる。だけど、大きなシステムで複雑なものを精密に理解することはどうしてもできません。なぜかという、人間の認知的な限界や社会システムの限界、あるいは自分のキャリアを考えると、そういうことはできないという話が出てくるのですね。ですから、Power of ComputationやPower of AIで解決する。最近AIのパワーが非常に強くなったりロボティクスなどが出てきたので、オートメーションにする部分と自律的にする部分がかかなりリアリスティックになってきたと思います。

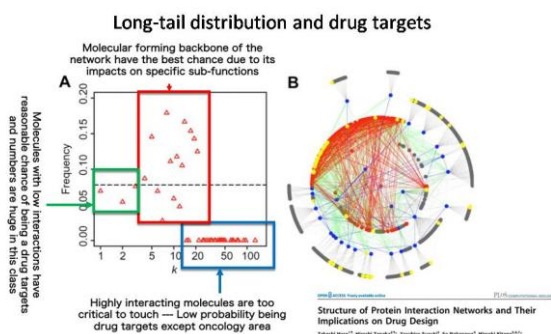
#### <Why Automate?>

なぜオートメーションにするかということですが、実験はほとんどロボティクススペースで完全自動化を目指します。Super-human precisionとLong-tail Coverageがポイントです。Super-human precisionは精度がすごく高くなるということを意味しますし、Long-tailはいろいろなことをしらみつぶしに調べられる。人間は全部できないから重要なところに絞るのですが、重要なところを事前に予測するのは必要に困難であり、悉くサイエンスは重要でないところでdiscoveryが起きているといっても過言ではありません。けれども、「重要じゃないかもしれないけれどもやってください」と言ったら、当然ながら「なぜですか？」という話になるわけです。これは人間にやらせるのは難しいので、機械でやるのがいいだろうという結論に至ります。

実際に、マンチェスター大学にいたRoss King教授は、酵母の遺伝学という分野で、仮

説を自動生成してその仮説を順番に検証するための実験計画を立て、実験の種類は限られているものの自律的に検証するというロボットを作っています。また、産総研の夏目先生は安川電機の「まほろ」を使って色々な実験を自動化しています。例えばPCRですが、平均値は同じになるのですが、マニュアルとロボットでは、ばらつきが全然違います。これが非常に重要で、ばらつきが多いかどうかでシグナルがとれるかどうかが変わってくる場合があります。理研の高橋恒一さんのロボットで高橋政代先生の網膜のiPSのメディカルグレードを誘導したり、カーネギーメロンでクラウドラボという、体育館のようなところに設備がたくさんあって、クリックすると自動化で実験をやってくれるような構想が動いていますし、OISTのMANTA Projectは、腸内細菌やマイクロバイオームの網羅的解析を全部自動化するというものです。今、腸内細菌をやっていますけれども、メタゲノムのプロトコルを非常に細かく定義し、複数のロボティックスを使います。シーケンシングリードを見ると、人がやるとものすごくばらつくのですが、ロボットがやるとかなり安定します。たまに、「ロボットでやったけど、人とあまり変わりませんよ」と言う人がいますが、これはチューニングしていないからです。今後、OISTとイスラエルのワイツマンとオーストラリアのメルボルン大学の3拠点で同じシステムをつくって、実験の再現性とコンパティビリティを見ていこうと思っています。ただ、これはオートノマスじゃなくてオートメーションです。最終的には、実験精度を上げていって、しかもAIが指示したらロボットが動かすということになるので、実験部分が全部自動化されていないとその次に行けませんから、徹底的に自動化するというのを何年かかけてやります。

先ほどのロングテールのところが重要だと言いました。これはだいぶ前に東京医科歯科大学の田中先生と一緒にやったタンパクタンパク相互作用の研究です。インタラクションが多いタンパク質とか遺伝子というのがあって、これはほとんど有名なもので、みんな、研究するのですね。しかも生命を維持するのに非常に重要です。



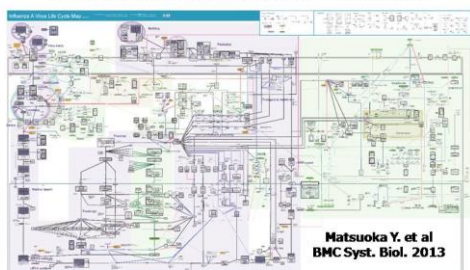
例えば、インタラクションが100とか50あるところ、真ん中くらいの5とか20くらいのところ、さらにもっと少なくてあんまり見つかっていなくて調べられていないようなところがあって、三層構造になっています。この統計分布は、人も線虫も酵母もほぼ同じ構造です。ところが、それらがどのくらいの確率で薬

になっているかを見ると、重要な遺伝子はほぼ薬にならないです。重要なので触るといろいろな副作用があるので薬にできないので、やるとしても抗がん剤くらいしかない。真ん中のセグメントが一つの機能をマスターコントロールしているようなところで、ここはスイートスポットでターゲットにしている薬が多いです。ところが、あまり興味を示されて

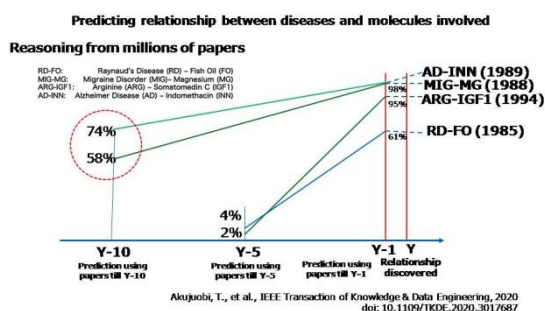
いない、数の一番多いものがある確率で薬になるのですね。ただ、これを探すのは大変です。ものすごい数の中に幾つかポツポツと良い薬が出てくるというターゲットになっているので、ここはやはり機械でやるしかないだろうな、という感じですね。

#### Literature-driven Approach

#### Influenza infection and replication network



しました。グリーンになっているところが AI が自然言語システムでピックアップしたもので 95% ぐらいは抽出できています。さらにいろいろな相互作用が大量に出てくるのですが、論文の中に書いていないけれど、それがあとで論文として報告されているケースが幾つか出てきました。

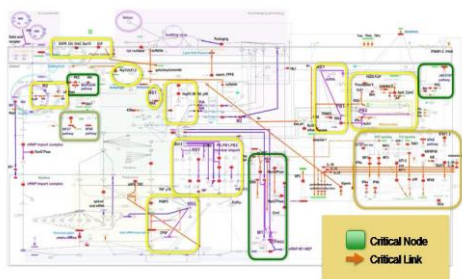


こういうプロセスをやろうとしたときに、相互作用の全体像を把握することは重要です。JST の ERATO のプロジェクトで河岡先生と鳥インフルエンザの抗ウイルス薬の研究を長い間やっていたので、分子の Molecular Interaction 構造を人で解析するのと AI を使って自動的に論文からピックアップしてくるということをや

これ、もしかしたら予測能力があるのかもしれないと思って、ある疾病と化学物質との関係がわかって報告された年を Y として、それよりも前の年までの論文だけで分析させたときの関係性がどのくらい予測できるか、ということをやりました。Y-1、Y-5 とか Y-10 でやると、けっこう予測できます。

ところが、Y-10 で 70% 予測できるのと、Y-5 でも全然予測できないという 2 つに分かれた。例えば Y-2 の予測ができたときに、そこで実験系を組むとけっこう早い段階で予測できるので、数カ月は早く予測できることが大体わかってきたのですね。もし、Y-10 の特徴がつかめれば、たぶん年単位で発見加速できるかもしれません。

#### Network controllability Analysis



それとは別に、このネットワークの構造ができてくるので、それを数理解析して、どういところをターゲットにすればいいかというのは制御理論で決まってきます。これは実験もしないといけないので omics の実験をしてウイルスタンパクとターゲットのウイルスの増殖するプロセスの間に何があるかというのを見つける。さっきのコントロールのターゲットとかぶっているところがドラッグターゲットになるというのは論理的に決まるので、ドラッグターゲットが決まります。ドラッグターゲットが決まると、それにバ

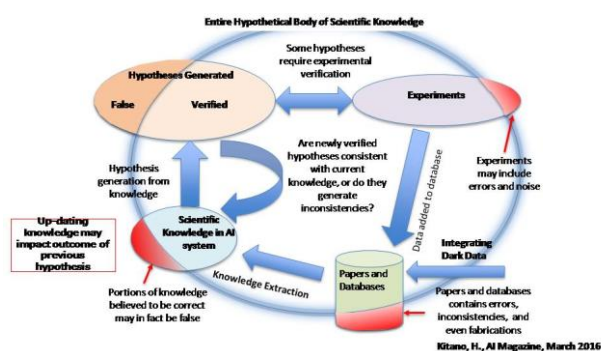


インドする Molecule を見つけたいということで、これはドッキングシミュレーションを機械学習して精度を上げました。細かいことは今日は話ませんが、非常に精度の高いドッキングシミュレーションをある領域の中ではつくることに成功しました。そうするとパスウェイの中のタンパク質すべてと、化合物ライブラリーの化合物すべてのドッキングシミュレーションができて、この中からさっきのネットワーク全体がどう動くかということ推定することができました。今は AlphaFold2 があるので、細胞の中のネットワークすべての立体構造がかなりの精度で予測でき、ドッキングシミュレーション精度も上げられる。全対全の計算をひたすらするということができるようになってきて、そこからネットワーク効果を計算することになります。

ラボがオートメーションになり、そこに今みたいなドッキングシミュレーションやタンパク質フォールディングの AI アシスタントが入るので、ここはレベルが上がっていきます。ただ、オートノミーのレベルをどうするかは、まだオープンクエスチョンです。

### <Entire Hypothetical of Scientific Knowledge>

全体のサイエンスをちゃんとやるためには、いろいろな今までの知識から仮説を生成して、仮説をベリファイする実験を計画して、実験をして、それを検証して知識に加えていくという、このプロセスをグルグル動かさなければいけません。それともう一つの問題は、サイエンティフィックなデータベースとか論文はでたらめなものも結構あります。正しい知識といい加減な知識のハイブリッドの知識体系から仮説をつくるので、そこでの評価が必要ですし、実験をして検証するというプロセスを回すことによって知識の精度を上げていくというプロセスもあるわけです。



「論文をベースにする」と言うと「論文の中にはだめなものがありますよね」「もちろんそうです、それはわかっています。そこから知識獲得して、これを回すことで上げていきます」「でも、精度、悪すぎませんか」となると思います。しかし、サイエンスが unreliable であるならばプロGRESS

は起きていないはずなのに、プロGRESSは起きています。なぜかという、人間はいい加減なことをやりますが、人間のイマジネーションは限界があるので、たぶん嘘も予測可能な嘘しかつけない。論文を通したいから、それっぽい嘘をついても、それがあまり外れていなかったりするわけです。そうすると、いわゆる大数の法則が統計的に効くので、それをベースにしても大丈夫、ということになるのではないかと思います。

Redefining Scientific Discovery という意味では、サイエンスをするのに最も重要なのは「何を問うか」だと言われてきました。これができるとすると、たぶんいろいろな問

いに答えて、その中に正しい答えがある、またはたくさんの答えが出てきて、その中に重要な問いの答えが実は入っているかもしれないという形でだいぶ変わってくるのではないかと思います。Scientific Discovery をスケールするということになります。Asking Right Questions がなぜ重要かという、我々のプロフェッショナルなサイエンティストのキャリアに限界があるからです。30年くらいしかプロフェッショナルにアクティブになれないとすると、その中で大きな発見をしなないと成功しない。使えるリソースは限られていますから、成功するためには Asking Right Questions なのです。そこはギャンブルするしかありません。だけど、AI とオートメーションになると、この制約は、なくなりはいないけれども相当減るので、全然違うタイプのサイエンスができるだろうと思います。

### <Medical Moonshot: Human Rejuvenation>

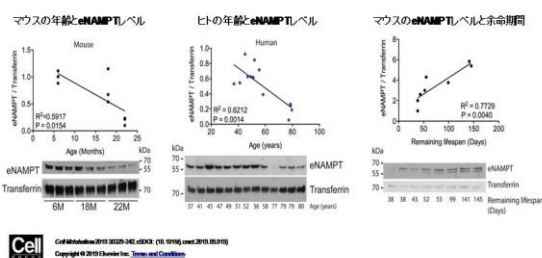
今、医学界のムーンショットは若返りや不老不死です。シリコンバレーの billionaire がお金を使うところは3つと決まっています、一つは「宇宙」、もう一つは「核融合」、3つ目は「不老不死」。宇宙を制覇して、エネルギーを制覇して、死ななくなるようになるという、すごくわかりやすいことをみんなやっているということです。死ぬとか老化するのは当たり前だと我々受け止めますけれども、必ずしもそうではないのですね。



紅クラゲは、死なないんです。Naked Mole (ハダカデバネズミ)は、普通は老化すると死ぬ確率は年齢と比例して高くなっていくのに、これは高くない。コンスタントな確率でしか死なないので、基本的には老化していないというか、数的には老化しているようには見えない。だから、老化や死ぬことは、別に

生物としては不可避ではない。ただ、死ななかつた人間は見たことはないの、なぜかというのは非常に大きなミステリーになります。

### eNAMPTの量と老化に強い関連がある Strong correlation between plasma eNAMPT and aging



私は老化の研究をワシントン大学セントルイス校の今井教授とずっとやっているのですが、最近ではサプリとしてNMNが流行っています。これはNAD生合成系をアップレギュレーションして寿命を延長するというものですが、最近、今井さんの研究の eNAMPT という物質が非常に面白い。マウスの eNAMPT の

血中濃度を測ると、血中濃度と年齢が相関する、ヒトでもそうです。マウスの eNAMPT レベ

ルと余命期間が関連します。じゃ、この eNAMPT を増やしたら寿命は延びるのか？という質問に当然なりますよね。「延びます」というのが非常にはっきりしていて、eNAMPT を投与すると寿命は延びる。たぶんヒトでも同じことが起きると考えられています。ただ、問題は、それでもやっぱり死ぬというのはどうなのか？というのがあって、ここを何とかしなければいけないというのがありますが、だいぶ時間は稼げるので、たぶん大きな話になってくると思います。NMN も同じような構造です。NMN と eNAMPT の 2 つが摂取して寿命を延ばせると知られている物質で、今、NMN が非常に大きなブームになっています。

他にも Aging Control でいろいろなことをやっている人がいて、例えば山中ファクターの 3 つを使ってリプログラミングするというのがありますが、組織によってだいぶばらつきがあるのと、リプログラミングするのは自分でやる気あまりならないですね。あとは Senolytic セラピーという老化細胞が分泌物を出して周りに悪影響を与えているから、老化細胞を除去すると若返るといふのがありますが、老化細胞だらけだったらもう自分自身が残らないので、これもちょっと難ありという感じだなと思っています。

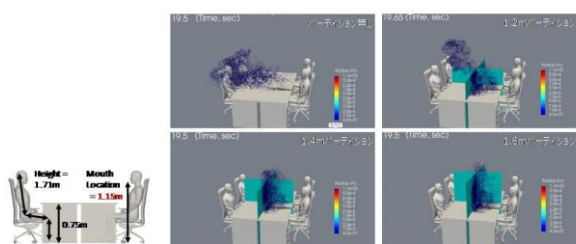
#### <サイエンスと政策決定の連動：コロナ対策について>

(本節の図表は、特記ない限り内閣官房新型コロナ対策室の COVID-19 AI & Simulation Project より <https://www.covid19-ai.jp/ja-jp/>)

私は、コロナが流行り始めた 2020 年 4 月から内閣官房に頼まれて、コロナ対策をやっていました。サイエンスベースでコロナ政策決定のサポートをするということで、数十人の研究者のチームをつくりましたので、その話をしたいと思います。これはなかなかできない経験で、要するにサイエンスと政策がどういうふうに連動するか、という話です。

実は、国に 3 つのチームがありました。一つは専門家委員会で、もう一つは厚労省のアドバイザーボードで、この 2 つは表の顔です。私は、表にあまり出ず、チームをまとめていろいろなエビデンスを出して、それを内閣官房及び官邸に投げ込むという役割で、黒子でした。ミッションは政策決定者の意思決定に貢献するというで、いろいろな科学的なデータに基づいて政策オプションの形成を助けるということをしました。政策決定と政策アクションとそのエフェクトをメジャーして、数理的に次はどういうふうにするのがいいのか、ということをして 2 年半くらい繰り返してやっていました。

**Aerosol spread simulation using Fugaki supercomputer:  
Meetings and dining situation**



いろいろなことをしましたが、喫茶店やレストランなどにパーテーションが突然現れましたね。あれを何cmにするかということを決めなければいけませんでした。何をやったかという、富岳を使ってエアロゾルのシミュレーションをしました。1.4m から 70 cm ぐ

らいだったら、反対側にエアロゾルは行かないけど、50 cmだと行ってしまふ。そして実際にレーザーで実測して、呼気はどうなっているかを測定して、これでイける、ということで、経産省や農林省等のガイドラインに「このくらいの高さが望まれる」と書いてもらいました。あと、会議のときに呼気がどのくらい飛ぶかも調べました。会議を対面でやったときに、反対側の人々がマスクをしていなくて感染していたら、空調が入っていない部屋では反対側の人は一発アウトです。ただ、ホテルなどのロビーでエアボリュームがあって換気が行き届いているところで実測するとエアロゾルはすぐ消えるので、ここではたぶんテーブルごしに対面していてもリスクはすごく少ないだろうということがわかりました。

**可視化と無力化 Visualize and Inactivate**



※Since the specific indoor environment varies depending on the location of the air conditioning, it is desirable to measure each room

理研が紫外線や UV ライトでウイルスを無力化するというのをやりましたが、これはレーザーだということで実用化はなかなか難しかったです。

感染シミュレーションやソーシャルネットワークの解析もしました。東大の大澤先生と筑波大学の倉橋先生のチームが独自に出した結論は

「毎週会っているような人たちで4人までだとリスクはそれほど高くない。しかし、その人数を超えると非線形的にリスクが上がる」でした。2022年12月のこの結果が出たので、年末年始に出かける人が多くなってくるからということで、「静かな年末年始を過ごそう」「飲食は家族、いつもの仲間と」、Stay with your community というキャンペーンを大々的にやりました。レストランのテーブルが全部四人掛けになったのもこれなのですね。

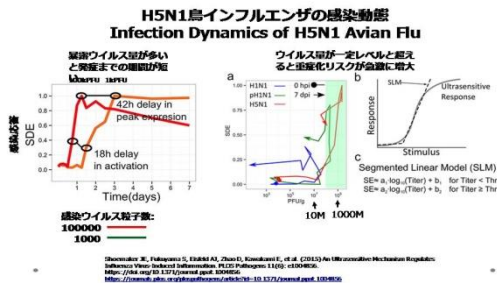
**マスクなしの感染リスクを比較**

■マスクをした状態でエアロゾル透過を測定。不織布マスク等を正しくつけることにより、「つさない」「うつらない」対策が可能。  
 (注) 2.5μm-5μmのエアロゾル中のSARS-CoV-2の感染力は、20分程度経過してはほぼ低下していきませんが、感染防止にはエアロゾルの飛散や拡散の抑制が最も重要である。

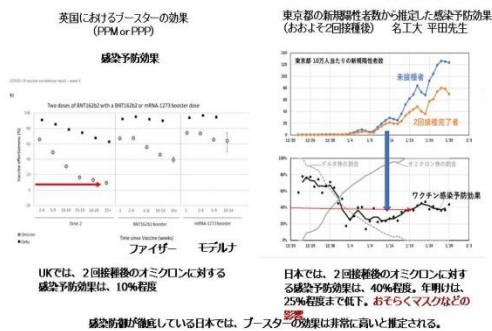


マスクもいろいろな議論がありましたので、実際にエアロゾルのシミュレーションと実測の両方を調べました。マスクなしに比べて N95 はほぼ抑えます。KF94 もまあまあいいし、織布マスクがいいし、布マスクが意外と良かった。ポリウレタンマスクはただの飾りもので全部通してしまうし、ビスコース・レーヨンもだめです。だから、「マスクしていましたが、コロナになっちゃいました」

という人には、「どういうマスクをしていました？」と問わないといけない。あと、鼻だけ出したりしますが、ここが感染経路なのでマスクをしていないのと同じです。



10万だと24時間以内、1000だと72時間かかります。72時間だと免疫が発動してリアクションが始まる。だけど、24時間では免疫が全然応答できないので、思い切り暴れられちゃう。ウイルスは完璧にシャットダウンできないので、この非線形的に症状が重くなる手前のところで抑えるというのが非常に重要で、マスクというのはそれをフィルタリングするから大変重要なのです。「マスクは人に感染させないためには役に立つけど、自分が感染しないためには役に立たない」と言う人がいますが、これは嘘です。これはあるメタスタディの論文の結論ですけど、その論文、間違っています。医療関係者もそれを信じている人がいるので、困ったものです。



「ブースター効果」ですが、UKではオミクロンになったときに、感染予防効果が大きく落ちたんです。ヨーロッパは10%くらいで、オミクロンのときに「ワクチンを打ってもだめだ」ということになったのですが、日本は確かにオミクロンのときは年末年始はだめでしたが、2月以降、感染予防効果が40%まで戻った。なぜかという、イギリスは、このときは既にマスクをしないでバーで飲んでいるんです。日本も年末年始はなんだかんだ人が集まってマスクをしていないですが、それが一段落すると普通の生活に戻るのでマスクをし始める。そうすると、とたんに予防効果が40%まで上がってくるということがあります。これは厳密には検証できませんが、たぶんそれが原因だろうなという感触は持っています。

ここら辺のシミュレーションをどうやったかという、普通のSIRモデルはホモジニアスな場での感染の確率的な展開ですが、今回はエアロゾルだとかドロプレットの局所的で人のネットワークを通じて感染するので、SIRモデルでは合わないのです。なので、複雑系のネットワークをベースにした計算をできる人を集めました。SIRモデルに比べるとヘテロジニアスなネットワーク構造のモデルでは感染者数はかなり小さいところでピークアウトをしていきます。というのは、ネットワークが早めにフラグメンテーションを起こすので、その段階で収束します。ピークアウトして落ちてきて、安心して動き始め

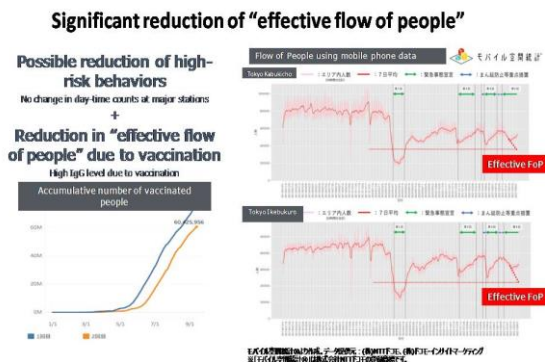
るとネットワークがまたつながり始まるので、そのところでまた広がるという、これを繰り返したというのがこの3年間くらいで、今もたぶんそうだと思います。

#### <ワクチン戦略>

我々が一番世の中に貢献できたというのは「ワクチン戦略」だと思います。いろいろなデータから機械学習を使って、倉橋先生のチームが高齢者の感染源の同定をしました。高齢者の感染源は、半分が同じ高齢者の60歳以上。データの都合で60歳で切っていますが、あと残りの40%が60歳以下。これは何を意味しているかということ、高齢者の感染を減らすためには、高齢者のワクチン接種だけでなく若い人のワクチン接種も加速しなければいけないということです。高齢者は体力がないとか免疫不全だとかいろいろなことが起きるので、まずウイルスにばく露しないことがそもそも重要だということで、若い人にもワクチン接種を加速する。ファイザーとモデルナの phase II clinical trial の結果を見ると非常に強力なので感染予防もあるだろうということは推定されて、実際に2月、3月に出てきたアメリカとイギリスとイスラエルのデータで、ワクチンを打った人と打っていない人のコントロールスタディでワクチンを打った人は明らかに感染率が減っている。これで計算を全部し直して、60歳以上と60歳以下に7対3の割合でワクチンを打つのが新規感染者と死亡者数の両方を最小化するパレート最適の解であることがわかりました。

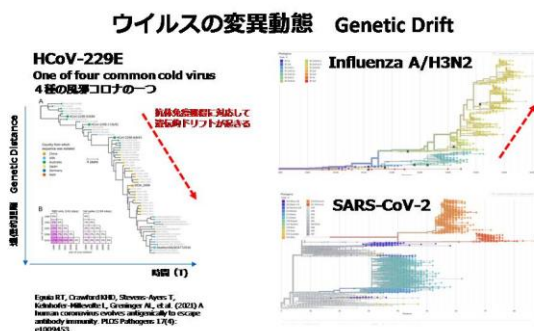
このパレート最適の解のためには、東京で一日10万人のワクチンを打たないといけない。それと同時に速度の問題だとか、どういう人に打つか、あと大都市に早く打ったほうが収束が3カ月早い等、かなり劇的な違いが出ました。その結果、東京と大阪で自衛隊大規模接種会場の設置と職域接種。要するに60歳以下の接種をどうするかというのは大きな問題で、しかも昼間働いている人が多いので、夜か週末になってしまう。これでは医療機関がしんどいので、会社に行ったときに打って帰ってきてもらうようにしようということで職域接種にしました。ファイザーは自治体が使っているので、ファイザーのラインは混乱させたくない。「モデルナがそろそろ認可になる」ということだったので、モデルナを使いましょうという話になりました。モデルナのほうがベクターの数が多いので副反応も強いけれども、強力なので動き回る人や体力ある人にはいい。モデルナを使おうということで、モデルナを夏までに3,500万打ち切ろうという話になりました。

<人流とコロナの感染の相関>



これは歌舞伎町の人流と池袋の駅の人流ですが、オリンピックの前までは、緊急事態宣言が出た直後に劇的に減りました。ところが、このときは緊急事態宣言は出るわ、オリンピックはやるわで、一体何をしたいのかよくわからなくて、みんな、無視していたけれど、毎週少しずつ減っていたんです。駅は減らないけれど、夜の繁華街が減ったの

で、普通に生活している人は減ったように見えていない。さらにワクチンを打っている。このときはデルタですから感染予防効率 95%なので、打った人はほぼかからない。あと、人流とコロナの感染には相関があるかないか、という議論をありましたが、相関がはっきりしているということは、我々は把握していました。東京の例を見ると感染が上がったり下がったりしていますが、上がっているときは正の相関が高いし、降りているときは逆相関です。



「ウイルスの変異動態」についてですが、HCoV-229E は風邪コロナの一つです。これは変異を続けているのですが、大体、階段状になります。インフルエンザもそうです。ところが、COVID-19のコロナは、まだ何か落ちていないような状態です。今回のコロナは、分子生物学がちゃんと浸透し

た初めての大規模なパンデミックです。いわゆる普通の風邪コロナには4つあって、その中の一つのOC43は普通の風邪コロナで、かかっても別になんともない、寝ていればいい。実は1880年のロシア風邪がたぶんこれだと言われていて、今までインフルだと思われていたんですけど、症状とかいろいろなものを見ると、どうもOC43らしい。これが最初に人間界に入ってきたときロシアと中央アジアで何百万人か死んでいるんです。それがどうして今みたいになっているかがわからない。今回、COVID-19がもし普通の風邪コロナの5番目になるのだとすると、そのあとのトレースが全部追えて、これがウイルス遺伝子の変化なのか、我々の免疫系の対応なのか、なぜそこに辿り着くか、たぶん20年30年するとだんだんわかってくると思います。今回、5類になりましたが、「5類だから、風邪と同じでしょ」と言うけど、風邪は何類にもなっていないくて、5類は他にクロイツフェルト・ヤコブ病やHIVなどがありますから、5類自体はだいたいまづいものです。

<Dark Winter>

国が感染症対策統合本部というのを内閣官房につくりました。ジョンズ・ホプキンス大学の health safety では Dark winter というシミュレーションをしています。Dark winter では、極東アジアでの有事のときにパンデミックが起きて、それが広がったときにどうするかということシミュレーションして、実際にサム・ナンなどの大物議員を連れてきて、1 週間くらいかけて全部、図上演習をしました。私は日本もそれをやるべきだと思うし、やるためのシミュレーションは今回の経験でデータを全部出せます。

今回のコロナに関して、ピークは2年ちょっとでしたが、政治と政策とサイエンスの狭間にずっといて、しかも、これはリピート実験ができませんから、one-time-only です。非常に重要な問題は、実験室で反復実験ができないという典型例だと思います。少しはお役に立てたかなと思っています。ありがとうございました。(拍手)

### 一質疑応答一

小早川 ノーベル賞をAIでとれるような新しい発見ができるか、ということでは、人間よりたくさんやれるから発見ができるという面が非常に大きいと思うのですが、もう一つはデータがたくさん出たときに、AlphaFold みたいなものをもっと進歩して効率的にできるみたいなことを併せていくことになると思うのですが、現状でAIが強いというのは、物量作戦というか、人よりたくさんできるからという認識でしょうか。

北野 そこは強みなのでフルに使いたいと思っています。ただ、仮説の大規模生成からプライオリティ付けして、実験計画をつくる方法はまだできていないので、問題空間の定義をちゃんとするとここからはこれからやらなければいけないところだと思います。

小早川 仮説も人が思いつくより何倍も思いつくから勝てるのでしょうか。

北野 思いついたら勝てる、ということにたぶんなると思います。結局は物量勝負。AIの歴史って、「人間のインテリジェンスは物量勝負以上のものがある」と言い続けて、それがそうじゃなかったということが示される歴史です。今回、そこは開き直って、私は「物量勝負する」と言っているんですが、そうじゃないアプローチがあってもいいと思います。

吉川 ノーベルは仮説を立てて、石を破碎するようなダイナマイトが具体的な利用の場面において使えるということを示したわけですね。しかし、それは実は戦争に使われて、人を殺してしまった。そこには非常に大きな倫理的な反省があったわけでしょう。今日の話は、仮説を立てて真理を知ろうという分析的行為ですね。分析的行為というのは、明らかに歴史の積み重ねで努力すればいいものが出るというのは大まかにわかっているが、使ったときに何が出るかというのはまったくわかっていないわけですね。私は、「使う学問」というところが欠落しているのが現在の人類の大問題だと思っているんです。それぞれのゴールに非常に興味があるんだけど、いずれノーベルを超えるものができれば、ああいう災害の原因をつくってしまった、ということにならないのか、予測をお伺いしたい。



**北野** たぶん非常にパワフルなテクノロジーになるはずなので、こういうシステムが本当にできるようになってきたら、これをどう規制するか、という話に当然なると思います。今、AI のレギュレーションの話がたくさん出ていますし、国連でもそういう議論があります。ただ問題は、レギュレーションを人間は破るだろう。そうすると、それを破ったときに対抗するだけの強力な AI を持たないと対抗できないというので、基本的に AI の arms race に突入しているのが現状だと思います。レギュレーションが破られたときに対抗できる技術とサーベイランスネットワークをつくっておかないと、やられます。

今、サイバーテロと Disinformation とバイオテロに AI が使われていると言われてます。特に Disinformation はすごくシリアスな問題です。年明けの台湾から始まって、来年はたしか人類の 7 割が選挙に関わる年です。そこで、これだけパワフルな Disinformation の道具が uncontrollable な状況に放置されていますから、非常に大きなインパクトがあります。戦場で起きている戦争だけでなく情報空間の戦争が既に起きているし、そのところをどうするかというのが最大の問題で、コントロールは全然できていないし、止めるといったって止まらないです。そういうところはちゃんとやっておかないといけないので色々な機関が一生懸命やっているんですけど、やっぱり悪用する人は出てくるので、そのときにどうしますか、という感じではあります。

**吉川** 情報の世界で出てきたことがリアルワールドに転化されることがあるわけですね。例えば原発の事故は計算し尽くされたけれども、何かが問題でリアルワールドで起こる。こういうような問題は、情報の欠落と言っていいのか、それとも予測できない我々の知らないリアルワールドの影響というのも出るんじゃないか、ということも大いにあるわけですね。

**北野** 例えば原発のときは、Regulatory Capture が非常に深刻だったわけですね。サイエンスとしてはいろいろなことがわかっているけれど、それをなぜいろいろな理由をつけて対策を逃したかということと金がかかるからだけど、それをなぜ許したかということ、やっぱり Regulatory Capture なわけですね。AI は、Regulatory Capture になるリスクが高いです。非常にパワフルな AI は、例えば Open AI と Google とか数社しかいなくて、それがインフラになったときに Regulatory side はたぶん中身がわからないです。しかも、それがインフラになったときに「止めましょうか」と言われて、止められたら困るわけです。これ、完璧に Regulatory Capture になる構図です。そうならないためには、オープンソースや代替のパワーをちゃんとつくっておいて、それが分散した勢力で代替がある、ということをしなないといけないですね。ところが、持っている人は「オープンソースをやると誰でもアクセスできるから危ないですよ」と少数のところを全部コントロールしようと。これをやると、Regulatory Capture になるんです。だからすごい矛盾のあるところをこれから 5 年 10 年にわたってどういうふうにコントロールするかという話にたぶんなると思います。

**吉川** それでやや安心するんですけど、歴史的にはいろいろな技術の失敗というのがあって、非常にダメージを与えていますね。前半の話は私はよくわかったけれども、それを悪用し

たときの問題はさらに複雑な問題を起こすのではないかという心配があるのですね。

**司会** こちらの採択された皆様は北野先生の後輩に当たると思うのですけれども、大先輩から皆様に励ましのメッセージをいただけますでしょうか。

**北野** これ、すごくいいプログラムで、第1回に採択されて研究させていただいたのですが、先ほど申し上げたように、JSTとかJSPSに私が同じものを出しても、たぶん通らないです、マリンバイオロジーとかサンゴの研究を一切していなかった人間がやっていますから。そういうトラックがなくて、5,000万円いただいたのですが、あの領域で5,000万円とるのはけっこう大変だと思います。

日本と欧米のサイエンスの違いは、ファンディングソースの複線化がしっかりしているかどうかだと思っていて、日本はほぼ税金なんですけど、アメリカはNSFやNIHがあるし、いろいろなファンデーションがある。多様な見方でファンディングされることがすごく重要だと思っているのですが、日本はほぼ税金なので、計画したり評価する人も同じようなコミティで同じような人になってくる。この多様性のなさが日本のサイエンスの一番の問題だと思うので、キャノン財団みたいところでそれなりのサイズのファンドをいただけるのはすごく貴重だと思います。ぜひ、それをしっかり活かしていただきたいと思うし、成果を上げることでキャノンさんがこの財団をさらに続けて、場合によってはお金をさらに積み増しするとか、そういうことがあるとすごくいいなと思うし、こういうファンデーションがもっとできてくるといいなと思います。成果を上げることでキャノン財団の価値を上げるというのがお金をいただいた人の責任だと思いますので、ぜひこのコミュニティを広げて、もり立てるような結果を出していただければと思います。

**生駒** キャノン財団をつくったのは私的な財団としては遅いほうです。それで特徴を出そうということを最初に相談しました。私、最初の理事長の生駒でございますけれども、まさに、今、北野先生がおっしゃったように、実績がなくても、いいアイデアだったらファンディングする。それから、1件当たりを比較的大きくして、30代40代の地方の大学の若い先生方が自分の研究室をつくるための装置まで買えるようなものにしよう。もう一つは、イノベーションを促進するような研究というファンディングポリシーを設けて、私の知り合いで、ちょっと変わった考え方の持ち主の先生を審査員に選びました。まさに北野先生が第1号で、すごくうまくいきましたね。これは今後もぜひ続けていっていただきたいと思います。

—以上—