

# MOONSHOT

RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

2021年度版  
特別編集

プログラムディレクターに聞く

ムーンショットがつくる未来



サイバネティック・  
アバターで実現  
身体、脳、空間、時間の  
制約から解放



数理モデルやセンサー駆使  
病気になる前に  
「治療」を



AIロボットが  
暮らしを支える相棒に  
人と共に成長し、  
自律的に学習・行動



快適で暮らしやすい  
未来に向けた挑戦  
地球環境の回復と  
文明発展の両立へ



生物の機能を活用した  
食料生産と食品ロス・ゼロで  
食料供給と地球環境保全が  
両立する世界に



誤り耐性型  
量子コンピュータを開発  
経済・産業・安全保障の  
飛躍的発展へ



慢性炎症に注目し  
疾患を予防・克服  
健康寿命を延伸し  
最後まで人生を楽しむ

## 小林科学技術政策担当大臣メッセージ

岸田内閣の成長戦略の第一の柱は、「科学技術立国の実現」です。私は、科学技術政策担当大臣として「科学技術が社会構造の変革の鍵」になると考え、これまでの発想に捉われることなく、大胆で柔軟な政策に取り組んでいきたいと考えています。

そのひとつである「ムーンショット型研究開発制度」では、約30年先の未来を見据えて、我が国発の破壊的イノベーションを創出し、解決困難でも実現すれば大きなインパクトが期待される重大な社会課題を解決することにより、「Human Well-being(人々の幸福)」の実現を目指しています。

その達成に向けては、今までにない全く新しい技術が開発されるだけでなく、国民が望む方向で研究が進められていくことや、安心してそれらの技術が社会で使われるための倫理・法律・社会面での幅広い議論が一緒に行われることが重要です。

今回、日本科学未来館科学コミュニケーターが、ムーンショットの各目標を統括するプログラムディレクターに、これらの研究が私たちの未来の生活にどのように関わるのか、という目線でインタビューをしています。我が国が目指す未来像について、皆様も一緒に考えてみていただければ幸いです。

「ムーンショット型研究開発制度」に関わる研究者をはじめ、国民が力を合わせて、1人ひとりが豊かな生活を送ることができる明るい未来を切り開いていきましょう。



科学技術政策担当大臣  
小林鷹之



内閣府が主導する「ムーンショット型研究開発制度」は、超高齢化社会や地球温暖化問題など重要な社会課題に対し、人々を魅了する野心的な目標(ムーンショット目標)を国が設定し、挑戦的な研究開発を推進するものです。

### ムーンショット目標 1

サイバネティック・アバターで実現  
身体、脳、空間、時間の制約から解放

p 3

「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」



秋田 紀博

### ムーンショット目標 2

数理モデルやセンサー駆使  
病気になる前に「治療」を

p 5

「2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」



祖父江 元

### ムーンショット目標 3

AIロボットが暮らしを支える相棒に  
人と共に成長し、自律的に学習・行動

p 7

「2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現」



福田 敏男

### ムーンショット目標 4

快適で暮らしやすい未来に向けた挑戦  
地球環境の回復と文明発展の両立へ

p 9

「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」



山地 憲治

### ムーンショット目標 5

生物の機能を活用した食料生産と食品ロス・ゼロで  
食料供給と地球環境保全が両立する世界に

p 11

「2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出」



千葉 一裕

### ムーンショット目標 6

誤り耐性型量子コンピュータを開発  
経済・産業・安全保障の飛躍的発展へ

p 13

「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」



北川 勝浩

### ムーンショット目標 7

慢性炎症に注目し疾患を予防・克服  
健康寿命を延伸し最後まで人生を楽しむ

p 15

「2040年までに、主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむための持続可能な医療・介護システムを実現」



平野 俊夫

p 17

アンバサダーからの応援メッセージ

# サイバネティック・アバターで実現 身体、脳、空間、時間の制約から解放

目標1「2050年までに、人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現」を紹介する。そのカギを握るのは「サイバネティック・アバター」とよばれるロボットや3D映像などを示すアバターだ。1人で複数体のアバターを駆使することにより、身体などの制約を受けずに自己実現の達成が可能になるという。プログラムディレクターの大阪芸術大学芸術学部アートサイエンス学科の萩田紀博教授に、日本科学未来館科学コミュニケーターの廣瀬晶久がその未来像を聞いた。

<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal1/>



ひろせ あきひさ  
**廣瀬 晶久**  
日本科学未来館 科学コミュニケーター

## 身体や認知能力を拡張 移動の概念がなくなる

**廣瀬** 目標1では人がさまざまな制約から解放された社会を目指していますが、なぜでしょうか。

**萩田** 現在の日本では少子高齢化が進み、労働力不足が懸念されています。介護や育児を担う人や高齢者は、意欲はあっても制約が多く、自由に活動するのは難しいですね。それ以外にも、さまざまな背景や価値観を持った人々が、自らのライフスタイルに応じて多様な活動に参画できるようにすることが重要です。そのために制約をなくすのです。

**廣瀬** そのカギを握るのがサイバネティック・アバター（CA）ですね。映画などでも描かれている世界をイメージしましたが、実際にはどんな技術でしょうか。

**萩田** 人の身体的能力や認知能力、知覚能力を拡張するICTやロボットの技術を含む概念です。簡単にいうと、どこにでも移動できる自分の分身となるロボットです。地球にいながら宇宙

空間で活動したり、複数のCAを使いこなしていくつもの会社を経営したりすることができるかもしれません。ハンディキャップをもった方も、CAを使っただけで自分の能力を拡張してスポーツができるようにしたいと思います。

**廣瀬** すでにさまざまなロボット技術の開発が進んでいますね。どのような特徴があるのでしょうか。

**萩田** CAの特徴は、メガネやグローブといったウェアラブルデバイスを身に付けて身体や認知などの能力を拡張するだけでなく、他の人の感覚も共有できるようになることです。プロ野球選手の时速160キロメートルの投球や人間国宝の技能を、自分のペースで体験してほしいと思います。また、サイバー空間と現実世界の違いが気にならないCAも開発したいです。最近増えてきたオンライン会議では、会議中にひそひそ話はできません。そこで、あたかも隣に座っているかのように振る舞えるCAを開発します。つまり自分がそこにいることと変わらなくなるのです。

**廣瀬** そうなると「移動」という概念がなくなりそうですね。

**萩田** コロナ禍で人が移動すること

は激減し、物を運ぶことは増えました。CAが導入されると、人が移動する方法も時間の使い方も大幅に変わってくると思います。

## CAの遠隔操作に必要な 場を読み動く技術

**廣瀬** 目標1の研究開発では、具体的に何を実現していくのでしょうか。

**萩田** 大きく分けると2つあります。1つ目は、誰もが多様な社会活動に参画できるようにするために、多数のCAを動かせる基盤を作ること。2つ目は、望む人は誰でも、身体的・認知・知覚能力を拡張したCAでの生活ができるようにすることです。

**廣瀬** 技術的な課題は何でしょうか？

**萩田** 仮に複数体のCAを動かそうとしたとき、忙しそう人には声をかけないといった「場を読む」技術で、そのCAは遠隔操作から自律的な対応に切り替えます。一方、1体のCAが1つの仕事をするとき、CAのいろいろな部位を複数人の遠隔操作者に分担してどのように動かすかも技術的な課題です。

**廣瀬** どのような体制で研究開発を進めていますか。

はぎ た のり ひろ  
**萩田 紀博**  
大阪芸術大学 芸術学部  
アートサイエンス学科 学科長・教授  
2020年よりムーンショット型研究開発事業  
目標1 プログラムディレクター

**萩田** 3人のプロジェクトマネージャー（PM）と一緒に進めています。大阪大学の石黒浩教授は、利用者の反応を見て、自立的にホスピタリティとモラルのある対話行動ができる技術。慶應義塾大学の南澤孝太教授は、多様な人々の多彩な技能や経験を共有して新しい体験共有を生み出す技術。国際電気通信基礎技術研究所の金井良太担当部長は、脳の情報を読み取るブレイン・マシン・インターフェース（BMI）を利用して自分が思っただけでCAが話したり、行動したりできるようにするための技術を研究します。技術を実現させるための研究開発も大事ですが、CAを使う場合の倫理的、法的、社会的、経済的課題も考慮しなければなりません。

## 使われ方を想定し課題を検証 ストレス無く使うための工夫も

**廣瀬** どんな社会的な課題が生じると考えられているのでしょうか。

**萩田** 例えばSNSはとても便利なツールですが、誹謗中傷で自殺に追い込まれるなど、開発当初は想定していな



萩田さんならCAで何をしますか？

私は世界中の人と一緒に演奏したいですね。



かったことが起きています。私たちのプロジェクトでは、研究の最初から法律や倫理の研究者が参加しています。これから起こるかもしれないさまざまな課題が、個人や社会にどんな行動変容や影響を与えるか、客観的にとらえようとしています。今後は認知科学や心理学、経済学などの研究者とも一緒に進めていきたいです。

**廣瀬** 自分の分身が増えると、プライベートをうまく切り替えられなくなりそうです。

**萩田** 演劇が生まれて、俳優という職業ができました。俳優が医者や探偵など、色々な役柄を演じているように「アバター優」のような新たな職業ができるかも知れません。気持ちの切り替えがうまくできる人が活躍するのではないのでしょうか。ただ、プロの俳優でも、俳優としての顔と家に帰ってきたときの顔との切り替えがストレスになることもあるようです。ストレスをためずにプライベートとの切り替えができるようにする研究も、一緒にやっていく必要があると考えています。

**廣瀬** CAを使わない人も出てきそ

ですが、使わないことで不利益が生じる場面が出てくるようにも思います。

**萩田** 技術なので、どう使うかはそれぞれの個人が決めることになります。私たちの世代のCAの使い方と今の若者たちの使い方は、同じにはならないんじゃないかと思っています。各人各様でさまざまなCAから何を選ぶか、どう使うかは、個人に考えてもらいたいですね。

## 人工的でもほっとする CAでつくる「里山」社会

**廣瀬** 前職が教員だったので、教育に与える影響も興味があります。

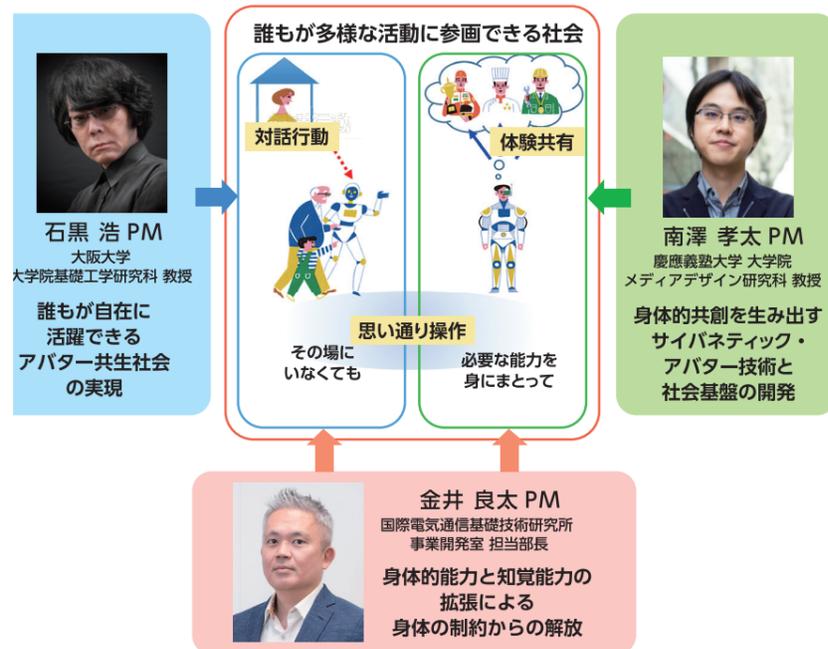
**萩田** いろいろなものが、人とのインタラクションという体験型になっていくと思います。歴史の授業であれば、年表を見ながらではなく、歴史上の人物、例えば織田信長のCAとの対話を通じて学ぶといった変化が起こるかも知れません。そうすると発想力や論理的思考力をどう養うのが大事になりますね。

**廣瀬** 確かに体験できれば、学ぶモチベーションも向上しそうです。

**萩田** 他にも体験しないと伝わらない社会参画活動はたくさんあります。誰でもプロの方とサッカーをしたり、1つの大きな芸術作品を作ったりできるでしょう。

**廣瀬** 私を含め一般市民は、2050年に向けて何ができるのでしょうか。

**萩田** CAは開発して終わりではありません。みんなに使ってもらって、改良していく仕組みづくりが重要です。例えば里山。人間が造りあげた人工的な風景なのに、訪れるとほっとしますよね。一番大事なのは地球環境や自然環境、社会とのバランスを考えながら作ったり、使ったりすることです。CAでも里山のように、人工的でも暮らしになじみ、ほっとできる社会をつくっていけるといいですね。



ムーンショット目標1の研究開発プロジェクト

# 数理モデルやセンサー駆使 病気になる前に「治療」を

目標2「2050年までに、超早期に疾患の予測・予防をすることができる社会を実現」を紹介する。プログラムのカギを握るのは、健康状態の不安定化を予見するための「全身ネットワークシミュレーター」だ。体内の複雑な臓器間・組織間のネットワークを解明し、数理モデルやセンサーを駆使することで、病気の予測や病気になる前の「治療」も可能になるという。プログラムディレクターの愛知医科大学の祖父江元理事長・学長に、日本科学未来館科学コミュニケーターの寺村卓朗が聞いた。

<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal2/>



## がんや糖尿病などを対象に 体内ネットワーク異常を検知

**寺村** 目標2では、難治性がん、糖尿病、認知症、ウイルス感染症の4つを中心に、超早期の予測・予防を掲げています。なぜこれらを選ばれたのでしょうか。

**祖父江** がんは日本国民全体の死亡原因の4分の1ほどを占めています。糖尿病患者は予備群を含め約2,000万人、高齢者に多い認知症は患者数が約600万人にのぼります。新型コロナウイルス感染症のような感染症は急に現れ、多くの人の健康を害する脅威です。このように早期診断、予防・治療が強く望まれており、健康寿命を延ばすために優先的に解決すべきとされる病気を選びました。

**寺村** 病気の早期発見の重要性はこれまでも指摘されていますね。

**祖父江** 病気には、症状が現れるまでに時間がかかるものもあります。例えば認知症では発症の30年近く前から、病気の進行は始まっていることがわかっています。しかし今までは、発症までのプロセスが明らかになっていないので、発症してから治療していました。この目標2では、病気にならないうちに発見し、元の健康な状態

に引き戻す「治療」の確立を目指しています。

**寺村** 遺伝子検査などでも病気のリスクがわかるようになってきました。

**祖父江** 確かに遺伝子の変異が原因で生じる病気は予測しやすくなりました。しかし、遺伝子に変異があっても、すぐに発症するわけではありません。生物の体はとても複雑で、常に状態を一定に保とうとする仕組みがあります。どこかの臓器で異常が発生すると、別の機能がそれを補うように働きかけ、元の状態に戻ろうとします。

**寺村** どのようにして体内の異常が他の臓器にも共有されるのでしょうか。

**祖父江** 臓器間にはネットワークが形成されていて、ホルモン物質や神経伝達物質など、さまざまな手段で情報を共有しています。こうしたネットワークは細胞や分子レベルでも存在します。一方、このようなネットワークがあるため、どこかに異常が生じると、他の所でも病気を発症する可能性が高くなります。だからこそ、異常を早急に検知し、早く健康な状態に戻していくことが重要です。そのために体の中で起きている現象を網羅的に捉え、体内のネットワークを解明する必要があります。

## 体内を行き交う膨大な情報 日常的に計測し解析に生かす

**寺村** すでに生体情報から予測できる病気もあるのでしょうか。

**祖父江** 動物の事例ですが、8週間ほどでメタボリック症候群を発症するモデルマウスを解析したところ、発症の2~3週間前に、100を超える遺伝子の発現に通常の時とは異なるゆらぎが見られました。このことから、遺伝子発現のゆらぎを把握できれば、発症前の状態変化を捉えることができると考えられます。

**寺村** 人の場合でも同じようにわかっているのでしょうか。

**祖父江** 相関があることがわかってきた病気もありますが、まだ十分とはいえません。マウスであれば健康な状態から病気になるまで観察し続けられますが、人間ではそうはいきません。またデータが得られたとしても、体内でやりとりされている膨大な生体情報の中からどの異常が何の病気と相関があるかを丁寧に解析する必要があります。

**寺村** まずは健康な時から生体情報を正確に計測するところからですね。

**祖父江** 日本国内にも、数万人規模で健康診断の情報などを集めたコホート研究があります。毎年同じ人のデータを提供いただき、蓄積してきた貴重なものです。

**寺村** 最近では、時計などのウェアラブルデバイスで血圧や体温を計れます。

**祖父江** それらを使えば、より多くの生体情報が得られますね。異常を検知し、病気の超早期予測にもつながれるかもしれません。私たちは体内ネットワークと病気の関係を明らかにし、日常的に計測できる生体情報から病気の予測や予防ができる「全身ネットワークシミュレーター」を実現したいと考えています。



寺村 卓朗  
日本科学未来館  
科学コミュニケーター

**寺村** どのくらいの精度で予測できるようになるのでしょうか。

**祖父江** 昔の天気予報は、観測データが少なく予測の精度も低かったですね。しかし今では豊富なデータを基にした数理解析で、格段に精度が上がりました。私たちの目指す「全身ネットワークシミュレーター」も徐々にデータを蓄積していき、いずれは多くの病気を高い精度で予測できるようになるはずですよ。

**寺村** 研究はどのような体制で進められていくのでしょうか。

**祖父江** 4つの疾患ごとのチームとそれらを横断する数理解析チームに分かれます。順天堂大学の犬野茂男特任教授は難治性のがん、東北大学の片桐秀樹教授は糖尿病を研究しています。また京都大学の高橋良輔教授は認知症を、大阪大学の松浦善治特任教授は感染症を研究しています。これら4つの研究を横断して、数理解析に取り組むのが東京大学の合原一幸特別教授です。

## 欠かせない市民の協力と理解 倫理的な課題にも取り組む

**寺村** 臨床データの取り扱いにはどのようなルールがあるのでしょうか。

**祖父江** 日本ではいくつか臨床データを集約している機関があり、利用の

仕方や管理方法なども法律で非常に厳しく制限しています。しかし、これらのデータを使わないと、私たちは研究

ができません。そこで重要になるのが、インフォームド・コンセントです。データ提供の際に、どういう意図で、何のためにデータを活用するのかを説明し、納得した上でデータを提供いただきます。その後、私たち研究者は臨床データを扱う機関と共同し、研究を進めていくことになります。

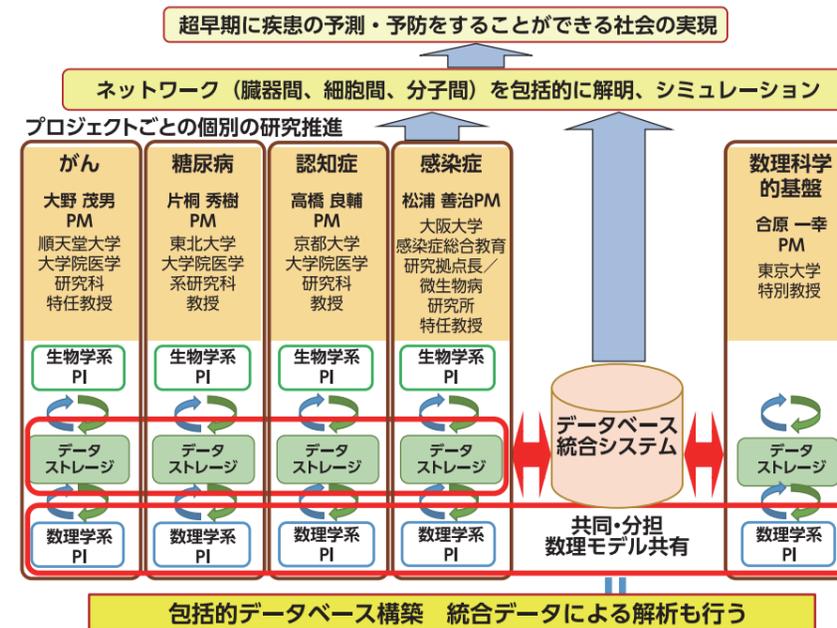
**寺村** データを提供する私たち市民の協力が欠かせないですね。一方で、研究には協力したいが、個人情報の扱いが心配という方も多いと思います。

**祖父江** 臨床データには、個人が特定できるデータと、特定できないデータがあります。例えば、ゲノム情報は個人を特定できるのに対し、遺伝子発

現の情報は置かれている状況ごとに異なるので、特定しづらいという違いがあります。以前は特定しづらい情報でも扱うべきではないという風潮もありました。しかし、病気という脅威に立ち向かうためには、安全に生体情報を扱う仕組みを整えて、研究に活用していくことが必要です。そのため、今回のプロジェクトにも倫理的・法的・社会的課題を扱う専門家チームが入り、さまざまな課題を相談しながら進めていきます。

**寺村** リスクと有用性をしっかりと把握した、実用的な仕組みづくりが重要ですね。最後に今後、このプロジェクトのどこに注目してほしいですか。

**祖父江** 今までの医療では、病気になってから克服するという考えが主でした。しかし、これからはそれぞれの病気は連動しており、発症前に予測・予防することが大切であるという認識に変わりつつあります。研究者側だけでなく、読者の皆さんの認識も研究の進展に注目していただく中で、そう変わっていただければ、少しずつ医療のあり方も変えていけると思います。そして、2050年には病気の超早期の予測・予防ができる未来を応援いただければと思います。



PM=プロジェクトマネジャー、PI=課題推進者

# AIロボットが暮らしを支える相棒に 人と共に成長し、自律的に学習・行動

目標3「2050年までに、AIとロボットの共進化により、自ら学習・行動し人と共生するロボットを実現」を紹介する。鍵となるのは、人と共に成長し、自律的に学習・行動するAIロボットだ。少子高齢化が進む中、災害復旧などの危険を伴う現場で働いたり、科学的原理・解法を自動的に発見したり、あらゆる面で人の暮らしを支える相棒として、AIロボットを活用する社会を目指す。プログラムディレクターの名城大学大学院理工学研究科の福田敏男教授に、日本科学未来館科学コミュニケーターの松谷良佑が聞いた。

<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal3/>



## データにないことも対処 連想力で「賢さ」鍛える

**松谷** 目標3では、AIロボットを活用する社会を目指しています。こうした考えは以前からありましたが、実現にはどんな課題があるのでしょうか。

**福田** 今のロボットは、知能は人に及びませんが、早く動いたり、絶対に物事を忘れなかったりといった特徴があります。人とロボットでは持つ能力が異なるので、一緒に過ごすと違和感が生まれます。人と共生するためには、いかにロボットが人と同じように考えて動けるかが、重要な課題です。

**松谷** そもそも、AIロボットの研究はいつ頃から始まったのでしょうか。

**福田** 1980年代、アメリカの計算機科学者のクリストファー・ラングドン博士が、人工生命を提起したのが始まりです。その後、名前を変えながら現在の研究につながっていきます。産業用ロボットであればプログラム命令に応じて動くだけで問題ありませんが、社会で活動するためにはより生物的に動く「賢いロボット」であることが重要です。

**松谷** 「賢いロボット」とは具体的にどんなロボットなのでしょう。

**福田** 人は経験していないことでも、過去の経験から連想して対処できます。

同じように、データにないことでも過去の学習データから連想でき、新しい環境でも、「こうかな?」と選択肢を出せるのが賢いロボットです。

**松谷** 連想力を生み出すのがAIですね。AI研究についても、教えてください。

**福田** いわゆるAI研究は1950年代に始まりました。その後、1980年代に人の脳の神経細胞であるニューロンが互いに情報をやりとりする仕組みをまねたニューラルネットワーク(NN)が本格登場し、複雑な問題を扱えるようになりました。さらに2006年、認知心理学者で計算機科学者でもあるジェフリー・ヒントン博士が、ディープラーニング(DL)を提唱しました。

**松谷** NNとDLは、どう違うのでしょうか。

**福田** NNは、特徴量を前もって設計した上である値を入力すると、人があらかじめ定めた一定のルールで答えを出力します。DLは、特徴量を前もって設計しなくても、コンピューターが試行錯誤してルールを作り、答えを出力します。

**松谷** DLはデータを大量に学習させて、精度を上げますね。

**福田** その学習にかなりの時間と労力がかかることが問題になっています。しかもDLでは、与えられた入力値と出力値をみて、その

間にある関係性は推測できますが、そこから外れた未知の入力値を扱うのは苦手なのです。

## 人と環境との「三位一体」 身体機能を拡張する感覚

**松谷** 社会でロボットが活躍するには、新しいAI学習法が必要そうですね。

**福田** 例えば、物理を学ぶ場合、人は中学、高校、大学と段階的に内容を深める「追加学習」をします。AIロボットも追加学習が重要だと考えていますが、従来のDLでは、新しい学習を行う時に入力値と出力値の関係性を一から再構築する必要があるため、新しいことを追加で学ぶことは難しいです。目標3では世界に先駆けてロボットの追

加学習や類推する転移学習を実現しようとしています。

加学習や類推する転移学習を実現しようとしています。

**松谷** 学ぶ内容も幅広くなりそうです。

**福田** 例えば自律的に土木工事を行うロボットであれば、人と同じように言葉で書かれた説明も図面も、両方理解できる必要があります。

**松谷** ロボットは、図面がどんなルールで描かれているか、学習できるのでしょうか。

**福田** 設計図などの専門的な資料は、ルールを教えてもらわないと人も読めません。同様に、ロボットに教える必要があるでしょう。できるようになれば、説明を書き加えたり、物の配置を変えたりする工夫も提案できるはずですよ。

**松谷** ロボットは実体があるので、その場の状況を物理的に変えられますね。

**福田** 私は30年前にロボットに最適なルートを探させる研究をしていたのですが、障害物を避けるルートを見つけるのではなく、手足のあるロボットに障害物を移動させ最短ルートを作らせていました。ロボットにとって邪魔なら、おそらく人にとっても邪魔ですよ。ロボットと人が相互に学習し合い、持ちつ持たれつ関係にある。これこそ共生です。

**松谷** ロボットを使う環境や人との関係を俯瞰して見ていく必要がありますね。

**福田** 私たちは人とロボットと環境の「三位一体」で考えています。ロボットが環境に働きかけながら情報を得る「アクティブセンシング」を開発し、ロボッ

トが人と環境と相互作用しながら、学んだことを他の場でも応用できるように一般化できれば良いと思います。

**松谷** その一般化を行う時に重要なものが、AIなのですね。

**福田** 「共進化」と呼んでいます。AIとロボットが相互作用し合いながら賢く発展していき、やがてAIロボットがどんどん自ら学び、行動できるようになると考えています。ロボットの知能レベルが上がると、人が「水が欲しい」と思ったら、状況を察してさっと持って来るとも可能になります。ロボットの機能そのものは変わらないのに、自然に流れるように人の意図をくみ取って動くので、まるでロボット自体が自分の体の一部のように感じられるかもしれませんね。

**松谷** これなら、人とロボットが寄り添う関係になれそうです。

**福田** しかし、まだ課題はたくさんありますので、今回は4名のプロジェクトマネージャー(PM)を迎えて研究を進めていきます。早稲田大学の菅野重樹教授は、家事・接客はもとより福祉や医療などの現場で人と一緒に活動できる汎用型AIロボット、東京大学の永谷圭司特任教授は人の代わりに月面や被災現場を含む難環境において、作業を行うことが可能な協働AIロボット、東京大学の原田香奈子准教授は科学者と対等に議論しながらサイエンス実験を行い、自ら科学的原理・解法の発見を行うAIロボット、東北大学の平田泰久教授は利用者に合わせて形状や機

能が変化し、適切なサービスを提供する適応自在AIロボットといった具合に、それぞれが使う場面に応じたロボットを開発していきます。

## 社会需要の鍵は安全性 課題解決を世界へ提案

**松谷** 実現できれば世界は変わりそうですが、AIロボットを悪用する人も出てきそうです。

**福田** 人による悪用だけでなく、ロボット自身が善悪の判断をできるようにしたり、ロボットを動かすシステムなども世界共通にしたりする必要があります。さらにロボットにも、車の車検のような検査システムを設けるといった議論も進んでいます。ムーンショット目標1とも連携し、共通する法的、倫理的な課題等の解決策を考えていきたいです。

**松谷** 法律や考え方は国によってもずいぶん違います。社会に受け入れられる鍵は何でしょうか。

**福田** 以前から自動運転の研究はありますが、40年以上たってもまだ実現していません。技術的に可能であっても、万が一事故を起こしてしまえば、普及は一気に遅れます。ヒューマンエラーは100回に2回くらい起きると言われますから、2パーセント程度のエラーがあります。これと同程度の技術レベルでは、社会には決して受け入れてもらえません。システム工学的には地道ですが、小さな課題でも漏らさず解決して99.9999パーセントの安全性を確立し、社会に安心して受け入れてもらえるAIロボットを確立していきます。

**松谷** 最後にこれから未来を担う世代へのメッセージをお願いします。

**福田** ムーンショットは、2050年の未来を目指しています。若い研究者にこそこの分野に入ってもらい、未来を作る研究をしてほしいです。

2050年までに、人が違和感を持たない、人と同等以上の身体能力をもち、人生に寄り添って一緒に成長するAIロボットを開発する。

**菅野 重樹PM**(早稲田大学 理工学術院 教授)  
「一人に一台一斉寄り添うスマートロボット」

**平田 泰久PM**(東北大学 大学院工学研究科 教授)  
「活力ある社会を創る適応自在AIロボット群」

2050年までに、自然科学の領域において、自ら思考・行動し、自動的に科学的原理・解法の発見を目指すAIロボットシステムを開発する。

**原田 香奈子PM**(東京大学 大学院医学系研究科 / 大学院工学研究科 准教授)  
「人とAIロボットの創造的共進化によるサイエンス開拓」

2050年までに、人が活動することが難しい環境で、自律的に判断し、自ら活動し成長するAIロボットを開発する。

**永谷 圭司PM**(東京大学 大学院工学系研究科 特任教授)  
「多様な環境に適応しインフラ構築を革新する協働AIロボット」

ムーンショット目標3の研究開発プロジェクト



まつや りょうすけ  
**松谷 良佑**  
日本科学未来館  
科学コミュニケーター

ふくだ としお  
**福田 敏男**

名城大学 大学院理工学研究科 教授  
2020年よりムーンショット型研究開発事業  
目標3 プログラムディレクター



研究の上で、一番の目標は何ですか?

どんどん環境を住みやすくしてくれるロボットを実現することです。



# 快適で暮らしやすい未来に向けた挑戦 地球環境の回復と文明発展の両立へ

目標4「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」を紹介する。プログラムのカギとなるのは、これまでとは違う資源循環の考え方。環境中に排出された物質を、いかに回収して資源として再利用するか。あるいは環境中に排出されたときに、いかにして分解・無害化させるか。人間による消費活動を継続しつつ、地球環境の再生を目指す。プログラムディレクターの地球環境産業技術研究機構の山地憲治理事長・研究所長に、日本科学未来館科学コミュニケーターの清水裕士が聞いた。

[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100161.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html)



## これまでのリサイクルと違う 環境中含めた資源循環の実現

**清水** 資源循環の実現がテーマになっています。今までとは何が違うのでしょうか。

**山地** 資源循環といえば私たちの社会の中で回収・再利用するリサイクルのイメージではないでしょうか。一方で今回チャレンジするのは、環境中に排出してしまったものを循環させることです。

**清水** どのあたりがターゲットになるのでしょうか。

**山地** 3つの領域が対象です。1つ目は、地球温暖化の原因とされている二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)などの温室効果ガスです。これをDAC(Direct Air Capture)という方法で大気中から回収し、有用物に変えます。2つ目は、海洋プラスチックです。海洋に流出してから適切に分解される技術を開発していきます。3つ目は、窒素化合物です。濃度が非常に低い状態から回収し、無害化あるいは有用物質に変えます。

**清水** 窒素化合物は、他の2つと比べてあまり話題になっていません。

**山地** 窒素化合物というより、まず窒素ですね。窒素は大気の主成分ですが、それをアンモニアに固定して肥料を作る技術が開発され、食料の大量生産を可能にしました。食料危機が回避される良い面もありますが、一方で自然の窒素循環に多大なる影響を与えています。肥料(窒素化合物)が環境中に流出して、水域の富栄養化や大気汚染を引

き起こしたり、温室効果ガスである一酸化二窒素の排出につながったりしています。

**清水** 大きな問題になっているのでしょうか。

**山地** 「プラネタリーバウンダリー」という概念があります。これは、もともと地球が持っている環境の容量に対して、気候変動や生物多様性などの項目ごとに負荷の度合いを示すものですが、その中で窒素化合物が一番突出しています。一般の人にその話題が届いていないこともあり、このテーマを取り上げることは重要だと思っています。

## 3領域・13テーマを いかに組み合わせるのか

**清水** 具体的にどのようなテーマがあるのでしょうか。

**山地** 目標4には13件のプロジェクトがあり、CO<sub>2</sub>で7件、海洋プラスチックで3件、窒素で3件です。CO<sub>2</sub>の回収方法は、物理的に吸着する、化学物質を使って吸収する、膜を使って分離するなどが提案されています。回収したCO<sub>2</sub>を有用物に変える一例としては、コン

クリートに吸収させるプロジェクトがあります。CO<sub>2</sub>を廃棄予定のコンクリートに吸着させ、炭酸カルシウムという鉱物に変えて利用します。他にも化学品にする、燃料にするなどの活用方法があります。海洋プラスチックでは、使用されている間は十分な強度を持ち、海洋中に流出するとスイッチが入って分解されるプラスチックを開発しようとしています。そのスイッチとして、光を使う方法、微生物を使う方法などがあります。窒素については、回収した窒素化合物をアンモニアに変換して利用するなどです。

**清水** たくさんテーマがありますね。

**山地** プログラムディレクターとしては、研究者のさまざまなアイデアをうまく組み合わせたり位置づけを変えたりして、全体を最適な状態に管理して運営していこうと考えています。まずチャレンジ重視で広めにテーマを採択し、その中から良いものを選んでいく方針です。選ばれなかったテーマに対しても、どのような成果があったのかをしっかりと評価し、それを生かせるようフォローしていくことが大事です。



しみず ゆうじ  
**清水 裕士**  
日本科学未来館 科学コミュニケーター



目指しているのは、  
どのような社会ですか。

私たちの暮らしがより快適になると、  
持続可能であることの両立です。



## 生活の質を向上させた上での カーボンニュートラルの実現

**清水** 私たちの暮らしは変わりますか。  
**山地** 温室効果ガスの排出量と吸収量が釣り合う「カーボンニュートラル」を目指す国の政策にも関わりますが、経済と環境の好循環が重要です。カーボンニュートラルにチャレンジすることにより、経済を成長させていく、それで国民の生活を良くしていくことが求められるわけです。その一部をこの目標が担っています。例えば、今までの燃料は、そのほとんどが化石燃料でした。化石燃料には炭素が含まれていますが、同様に大気中のCO<sub>2</sub>にも炭素は含まれているので、今度は大気から燃料を作る可能性が出てきています。もちろんその時に使うエネルギーは、新たにCO<sub>2</sub>を排出しないものです。回収した窒素化合物もアンモニアに変換できれば燃料として使用できます。地球温暖化対策になると同時に、今まで使ってきた設備・機器を環境にやさしく使い続けることができます。今までは環境対策というと、我慢して省エネという考えが多かったですが、そうではないのです。

**清水** 我慢ではなく、より良い生活とカーボンニュートラルを両立するための目標、ということでしょうか。

**山地** その通りです。楽しく生活する中で実現していくという視点は非常に大事だと思っています。イノベーションは、人間生活の質を向上させることが重要です。研究開発として具体的な成果が必要にはなりますが、そこは意識していきたいです。

**清水** 若い研究者や学生に向けて、メッセージをお願いします。

**山地** 10年という長いプロジェクトなので、ぜひ若い人にもチャレンジして、入っていただきたいです。そのチャレンジと成果から好循環が起ることを期待しています。

研究開発を進める主体は大学になりますが、社会実装面では企業との連携も非常に重要だと考えています。そうした経験をやる場にもなりますから、ぜひこの機会にチャレンジしてその楽しさを味わう、良い経験をしていただければと希望しています。



やま じ けん じ  
**山地 憲治**  
地球環境産業技術研究機構  
理事長・研究所長  
2020年よりムーンショット型研究開発事業  
目標4 プログラムディレクター



藤川PM



杉山PM



児玉PM



福島PM



則永PM



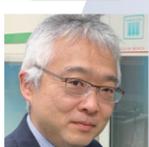
野口PM



加藤PM



伊藤PM



粕谷PM



南澤PM



脇原PM



川本PM



金子PM

# 生物の機能を活用した食料生産と食品ロス・ゼロで食料供給と地球環境保全が両立する世界に

目標5「2050年までに、未利用の生物機能等のフル活用により、地球規模でムリ・ムダのない持続的な食料供給産業を創出」を紹介する。プログラムのカギとなるのは、「生物機能の活用」と「食品ロスのゼロ」だ。世界的な人口増加や地球環境への悪影響など、現在の食料システムのさまざまな問題点が指摘されるなか、全人類への食料供給と地球環境の保全を両立できる世界を目指す。プログラムディレクターの東京農工大学の千葉一裕学長に、日本科学未来館科学コミュニケーターの遠藤幸子が聞いた。

[https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/moon\\_shot/](https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/moon_shot/)



## 全ての人がおいしいものを食べられる世界へ

**遠藤** 現在、どのような問題があるのでしょうか。

**千葉** 食料というと、みなさん農業を思い浮かべると思うのですが、太陽エネルギーのみを利用したときに生産できる食料は、10億人分くらいです。残りの部分は、化石燃料を使って生産していることとなります。これから20、30年で世界の人口は今の約79億人から、90億人近くになるといわれています。また、生活レベルも上がることを考えると、将来的に食料生産を今の1.7倍増やさなくてはならない。その一方で、今、年間13億トンもの食料が廃棄されています。これは決して見逃せない量で、ここでも石油を消費しています。このような食料と化石燃料のムダを止めない限り、地球温暖化は止められないし、人類の生存も危ういというくらい深刻な状況です。

**遠藤** 2050年にどのような世界となることを描いて、プログラムを進めているのでしょうか。

**千葉** 一言でいうと、2050年に「おいしいものを“みんな”が食べられて、健康でいられる世界を迎える」ということ。

この目標に向かって科学者だけではなく産業界なども含めて、社会全体がしっかりと歩調を合わせて進んでいくことが重要です。理想的な姿は、自然の機能を維持して、その力を最大限人類に使わせていただいて、みんながおいしいものをほどよく食べる、つまり一部の人がすごくおいしいものをたくさん食べるというのではなく、ほどよくみんな喜びを分かち合っていくというスタイルです。基本的には自然の姿を大事にしていくところに、最先端のサイエンスを投入し、社会とつなげていくという考え方で進めていきたいと考えています。

## 植物や微生物を利用し生物そのものを大事に

**遠藤** どのような研究、技術開発に注目されていますか。

**千葉** まず「生物の機能を使う」というのが大事です。生物は40億年近い進化の過程で、人類には成し得ない、さまざまな能力を蓄積しています。これは素晴らしいことです。そういう植物や微生物の力を借りながら、うまくそれらを利用し、生物そのものも大事にしていくことが、

これからやるべきことだと思っています。例えば土壌。土壌は微生物の宝庫です。人間でいうと腸と同じ。腸では、微生物が食べ物を消化し、人間にとって都合のよいかたちになっています。土壌においても、肥料を与えたときに、微生物が都合のよいかたちにして植物に渡すわけです。そのような微生物の機能を完全に解明し、どの国、どの土壌でも、微生物が植物に対して最高のパフォーマンスができるようにしていく、そういう根本的なところからの取り組みをやっていこうと思っています。植物にとって最高にいいコンディションをつくりだすにはどうしたらいいのかを突き詰めていくと、次の新しい産業技術にもなっていきます。そういうことを、ひとつひとつやっていこうということです。

**遠藤** どのような体制で進めていますか。  
**千葉** 全10名のプロジェクトマネージャー（PM）とともに、食料生産と消費の両方の視点からこのプログラムを進めています。食料生産については、食料供給の拡大と地球環境保全の両立を目指し、6名のPMが研究に取り組んでいます。例えば、早稲田大学の竹山春子教授は、先ほどお話しした土壌微生物の機能の解明を通して、食料増産を目指しています。食料消費についても、4名のPMが食品ロス・ゼロの食料システムの構築のため、各課題に取り組んでいます。筑波大学の中嶋光敏特命教授は、消費されずに余ってしまった食材を使って、おいしく、健康的な食品を作り出す、3Dプリンティングシステムの開発を進めています。このように、生産と消費の両面から徹底的に取り組むことで、ムリとムダのない食料システムの実現を目指しています。

**遠藤** 研究開発とともに、社会実装のことも重視されているのですか。

**千葉** まだこの研究開発は始まって1



えんどう さちこ  
**遠藤 幸子**  
日本科学未来館  
科学コミュニケーター

年ですが、最初から社会実装を同時に進めていきたいと考えています。「ここまでは研究者の仕事」「ここからは社会実装や事業をやる人の仕事」と分けることが、目標達成に向けた大きなブレーキになると感じているからです。ですから、学術的な企画をした段階でもいいですし、ちょっと結果がでたところでもいいので、「それはどうやったら世の中に広まりますか」ということを、あらゆる立場の人と意見交換していきます。

**遠藤** 3Dプリンタを用いた食品生産など、新しい「食」のかたちがいくつも提案されています。

**千葉** 例えば、昆虫食。コオロギは、人の口に入らなかった食べもの、残飯や農産物として売り物にならなかったものなども食べてくれます。そのコオロギを人間が食べるようにできれば、非常に効率が良い。あと20億人分くらいのタンパク質は賅えそうだと、計算上です。でも、本当にコオロギを生産し続けられるのか、みなさんが一定量のコオロギをタンパク質として食べてくれるのか、というのは別の次元の話になりますよね。だから、それについても徹底的に検証し、これらが社会に受け入れられやすくする取り組みも行っています。将来的には、別のかたちでタンパク質を補うようになる可能性もあるのですが、そのときにもこの社会実装についての検証経験は、全部役に立ちます。

## 日本の強みを活かして「食」にイノベーションを

**遠藤** 目標5に懸ける思いをお聞きできますか。

**千葉** 次の本当のイノベーションは、この食料関係のところで起こるし、日本が中心になって起こさなくてはならないと思っています。日本はそれを起こすうえで、本当に適した国です。まず、自然環境に恵まれています。さらに重要なのは、この狭いところで、みんなで共有し分け合って生きていこうという日本人特有の倫理観、社会的な価値観です。江戸時代には、ものを捨てずすべて再利用していました。理想的な姿です。その考え方は今の世界に必要とってきているのですが、それを江戸時代に祖先はやっていた。それは日本人の強み。そういう考えや経験をもった日本



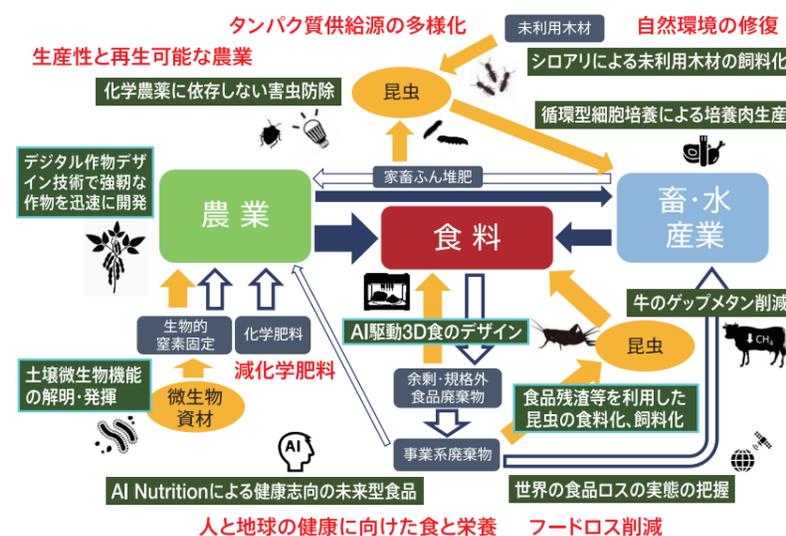
ちば かずひろ  
**千葉 一裕**  
東京農工大学 学長  
2020年よりムーンショット型研究開発事業  
目標5 プログラムディレクター

だからこそ、世界を先導していけるのではないかと思います。このイノベーションは、お金がドーンと入ってくるのではなく、そこそこのお金のほか、豊かな自然とか、みんなの幸せ度の向上をリターンとしてもたらすものだ。これを、日本が中心となって進めていけばと思っています。

**遠藤** 食料の問題は、私たち一般の人にとっても身近な問題。私たち個人ができることはなんですか。

**千葉** 食べるということに関しては、すべての人にその判断が委ねられています。薬だったら、お医者さんがこれ飲みなさいと言ったら飲みますけど、食べ物の場合は、これを食べたいからと食べています。選ぶこと自体が楽しいし、生きがいなわけですね。そういった食べ物に対して、「ムダにしない」という考え方が家庭内で広まるだけでも相当違ってくると思います。また、実際に消費をしているみなさんから、こういうふうになればいいんじゃないのっていう「食」に関わることを提案してもらうことも、すごく大事だと思っています。

## 90億人がおいしく食べ続けられる社会を創る



ムーンショット目標5の研究開発プロジェクト



目標達成のため、大事にされていることは。

サイエンスと世の中の流れをつくることを一緒に進めていくことです。



# 誤り耐性型量子コンピュータを開発 経済・産業・安全保障の飛躍的発展へ

目標6「2050年までに、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させる誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現」を紹介する。量子コンピュータは従来の0と1の組み合わせではなく、物質を形作る量子の性質を利用することで、短時間での膨大な計算やより複雑な課題の解決を可能にする。本格的な実用化には、処理の途中で起こる誤りを自動で検知し修正しながら正確な計算を行う、誤り耐性の実装が鍵になるという。プログラムディレクターの大阪大学大学院基礎工学研究科の北川勝浩教授に、日本科学未来館科学コミュニケーターの本間英智が聞いた。

<https://www.jst.go.jp/moonshot/program/goal6/>



## 地球規模課題の解決に糸口も 量子コンピュータの可能性

**本間** 目標6では、量子コンピュータを使って、経済・産業・安全保障を飛躍的に発展させることを目指していますが、具体的にはどのようなことに利用できるのでしょうか。

**北川** さまざまな用途がありますが、代表的なものは化学反応のメカニズムの解明です。例えば光合成やマメ科の植物に寄生する根粒菌が行う窒素固定など、生物はとても効率の良い仕組みを持っています。しかしこれらの反応には非常に複雑な量子状態が関わっているため、メカニズムはまだ完全に

は解明できていません。反応に関わる酵素や物質は大体わかっているので、量子コンピュータを使えば解決できるだろうと考えています。

**本間** 人工光合成などが実現できれば、さまざまな地球規模課題の解決につながりそうですね。

**北川** 私たちは量子コンピュータを使ってさまざまな課題を解決し、将来的には人々の暮らしをより豊かにすることに貢献していきたいと考えています。

**本間** 量子コンピュータはいつ頃から研究が始まったのでしょうか。

**北川** もともと物質の状態を正確に調べるための道具として考えられました。それまでの古典力学とは異なり、量子力学では物質の状態は1つに決まらず、いろいろな状態を同時に取り得ると考えます。すると簡単な化学反応

であっても、それぞれの原子や電子ごとに無数の状態が存在し、1つ1つを調べていくと大変な計算量になります。

そこで1982年に米国の物理学者リチャード・ファインマンが、量子力学的に物質を研究したいなら、計算機自体を量子力学的にすれば良いと考えたんです。

**本間** すごい発想の転換ですね。

**北川** その後、1994年に物質とは関係ない問題も、普通のコンピュータより早く解けることがわかりました。これが有名な「ショアのアルゴリズム」で、素因数分解が早く解けるというものです。この発表後、量子コンピュータの注目度は急速に高まりました。

**本間** インターネット通信の暗号にも素因数分解が使われていますね。それが量子コンピュータを使えば、簡単に解けるようになるのでしょうか。

**北川** その通りです。現在使っている公開鍵暗号はいずれ量子コンピュータが解いてしまうことが明らかになったため、今世界中で量子コンピュータにも解読できない新たな暗号技術の開発が進んでいます。

## 新たな発想で世界をリードオールジャパン体制で挑む

**本間** 量子コンピュータが本格的に実用化するまでにはまだ時間がかかりそうですが、どんな課題があるのでしょうか。

**北川** 量子コンピュータの最も大きな課題は、エラーが生じた時にそれを検知して直す「誤り訂正」技術を開発することです。この技術自体は以前からあり、スーパーコンピュータなどでも使われ



ほんま ひでとも  
**本間 英智**  
日本科学未来館  
科学コミュニケーター

ています。一般的にコンピュータは外部からの影響で、さまざまなエラーが発生してしまうものなのですが、例えばエラーが出たとしても訂正する機能が備わっていれば、問題なく使うことができます。

**本間** 誤り訂正できないと、間違っただけのまま処理が進み、出てきた結果も大きくずれてしまうということですね。

**北川** 量子コンピュータは、量子の状態の重ね合わせで情報を保持していますから、どこにどのようなエラーがあったのかを検知する仕組みが従来のコンピュータとは異なります。さらにエラーを修正して元に戻すのにも、新しいやり方が必要になるのです。1995年に先ほどのショアが量子コンピュータで誤りの訂正を行えることを示し、2014年にある符号で誤りを訂正し続けることができる性能の超伝導量子回路が実現しました。

**本間** 複雑な計算を行うようになると、何度も誤り訂正を行う必要がありそうですね。

**北川** しかし、まだ常に誤りを訂正し続けることはできておらず、20~30年はかかるだろうと言われています。そこで目標6では誤り耐性型汎用量子コンピュータを実現しようと考えました。

**本間** 研究体制はどのようになっているのでしょうか。

**北川** ハードウェア、通信ネットワーク、ソフトウェアの3つの領域に分けて、研究開発を進めようとしています。量子ハードウェアは、4つの方式を並行して研究しています。超伝導方式は

日本電気の山本剛主席研究員、イオントラップ方式は沖縄科学技術大学院大学の高橋優樹准教授、光量子方式は東京大学の古澤明教授、半導体方式は日立製作所の水野弘之主管研究長が担当しています。

**本間** どの方式が本当に有効なのか分からない中での研究なので、一極集中ではなく、可能性の高い4つの方式全てでレベルを上げていく必要があるのですね。

**北川** 超伝導量子ビットと通信用光子をつなぐ量子メモリや量子インターフェースの開発は横浜国立大学の小坂英男教授が行っています。大阪大学の山本俊教授は、複数の中小規模量子コンピュータを接続したネットワーク型量子コンピュータの構築を目指しています。誤り耐性実現のための理論とソフトウェアは、東京大学の小芦雅斗教授が担っています。

**本間** まさにオールジャパン体制で研究開発に挑んでいるんですね。

**北川** こうした研究開発を一体的に行うことにより、部分的な研究要素だけでは生まれにくい新しい発想が得られ、それも取り込みつつ誤り耐性量子コンピュータの開発を目指すことで、世界をリードできると期待しています。

## 5~10年で先頭集団の一員に 次世代の参入にも大きな期待

**本間** 世界中で開発が行われていますが、今後の動向や日本の位置づけをどのようにご覧になっていますか。

**北川** 今の研究業界では、誤り耐性型汎用量子コンピュータの実現が重要な課題であることは共通認識です。日本も30年後の国の目標として宣言しましたが、国としてここまで踏み込んだのは日本が最初です。タイミング的にはギリギリでしたが、このムーンショット事業が始まって良かったと思います。研究の進みは非常に速いですが、この5年から10年で、少なくとも先頭集団に入らなければいけません。一度トップから離れてしまうと、追いつくのは非常に難しくなります。

**本間** 応用範囲が広いだけに、後れを取らないようにすることが重要ですね。

**北川** 量子コンピュータの計算能力を生かすことで、化学や物理学を始めとする科学・工学全般が進歩します。その成果が産業、ひいては経済に波及し社会の役に立ちます。

**本間** 若い世代の読者にもメッセージをお願いします。

**北川** 今高校生の人たちも、30年後には指導的な立場に立っていることでしょう。大学などで量子力学やコンピュータサイエンスを勉強して、この分野を担ってほしいですね。量子はなかなかわかりにくい分野ですが、面白さやすごさを積極的に発信し、若い人たちが興味を持って参入してくれるようにするのが、私たちの務めだとも思っています。

**本間** 研究者だけでなく、多くの人たちに影響を与えそうですね。

**北川** 30年前には限られた人しか使えなかった当時のスーパーコンピュータが、今ではタブレット型コンピュータになり、目の前にあります。同じように30年後には量子コンピュータも誰もが使えるようになります。ですからさまざまな課題を考えるときに、今は解けなくても量子コンピュータなら解けるかもしれません。何を実現したいかがはっきりしていれば、あとは量子コンピュータがやってくれる、そんな世界がきっと訪れるでしょう。

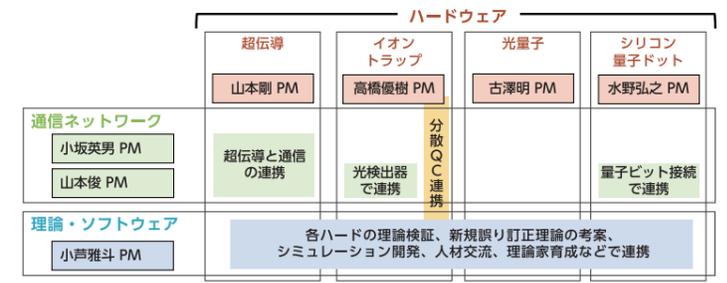


計画中の企画があれば教えてください。



分野外の若手研究者も参加できるサマースクールをやりたいですね。

プロジェクトマネージャー (PM)	研究開発プロジェクト			
山本 剛 (日本電気)	超伝導量子回路の集積化技術の開発			
高橋 優樹 (沖縄科学技術大学院大学)	イオントラップによる光接続型誤り耐性量子コンピュータ			
古澤 明 (東京大学)	誤り耐性型大規模汎用量子コンピュータの研究開発			
水野 弘之 (日立製作所)	大規模集積シリコン量子コンピュータの研究開発			
小坂 英男 (横浜国立大学)	量子計算網構築のための量子インターフェース開発			
山本 俊 (大阪大学)	ネットワーク型量子コンピュータによる量子サイバースペース			
小芦 雅斗 (東京大学)	誤り耐性型量子コンピュータにおける理論・ソフトウェアの研究開発			



ムーンショット目標6の研究開発プロジェクト

# 慢性炎症に注目し疾患を予防・克服 健康寿命を延伸し最後まで人生を楽しむ

目標7「2040年までに、主要な疾患を予防・克服し100歳まで健康不安なく人生を楽しむための持続可能な医療・介護システムを実現」を紹介する。プログラムのカギとなるのは、老化にともなって増える「慢性炎症」を検知・制御するシステムだ。日常生活の中で主要な疾患を早期に発見・予防し克服することで、平均寿命と健康寿命の差が限りなくゼロになることを目指す。プログラムディレクターの量子科学技術研究開発機構の平野俊夫理事長に、日本科学未来館科学コミュニケーターの佐野広大が聞いた。

<https://www.amed.go.jp/program/list/18/03/001.html>



さの ひろだい  
**佐野 広大**  
日本科学未来館 科学コミュニケーター

## 健康寿命を延ばすことの意義 「2回目」の人生を送る

**佐野** 目標のねらいは何でしょうか。  
**平野** 日本人の平均寿命は確かに延びましたが、問題なのは健康寿命です。介護してもらう必要もなく、加齢にともなう慢性疾患などを抱えず健康でいられる「健康寿命」と平均寿命の差が約10年もあります。極端なケースでは、死ぬまでの10年間寝たきりで過ごすとか、あるいは認知症などで不健康な状態で過ごすこととなります。従って、「生活の質」に重点をおきながら病気を治す医療、不健康な状態にならない予防医学が重要になっています。「100歳まで健康不安なく」というのは、言い換えれば平均寿命と健康寿命の差を限りなくゼロに近づけることです。

**佐野** 大きな影響がありそうですね。  
**平野** 社会へのインパクトは大変大きいと思います。例えば国の予算を考えても、もし平均寿命と健康寿命の差がなくなれば、莫大な医療や福祉の費用が激減します。これを教育や科学技術、あるいは社会インフラ整備など、「未来」に向かった投資に回すこと

ができ、それがまた好循環を生む、そんな明るい未来につながる目標なのです。

**佐野** 個人の人生も大きく変わりそうですね。

**平野** 人生観もまた変わりますよ。今は定年退職しても、新たにチャレンジingなことはなかなかできないですね。仮に100歳まで健康で生きられるようになったら、最初の人生とは全く違う2回目の人生を送ることも可能となります。

**佐野** 2回目の人生があったらやってみたいことはありますか。

**平野** 国際的な視点に立ち中長期的ビジョンを持った企業経営者や政治家として人類社会に貢献したり、小説家として人生を送ったり、考えるとワクワクしますね。私は免疫学が専門ですが、生命の根源や、老化や寿命などまったく異なる研究をするのも面白そうですね。この10~20年でこの分野の研究がとてつもなく進んでいます。



ひらの としお  
**平野 俊夫**  
量子科学技術研究開発機構  
理事長  
2020年よりムーンショット型研究開発事業  
目標7 プログラムディレクター

## キーワードは「慢性炎症」 加齢に伴う疾患を制御する

**佐野** どのように研究を進めますか。

**平野** 成果を最大化するために共通のキーワードが必要だと思い、私は、加齢に伴う病気である、さまざまながん、動脈硬化、糖尿病、認知症などを引き起こす主たる原因である「慢性炎症」を選びました。年を取ると、肥満や喫煙などの生活習慣などにより慢性炎症が生じます。また、細胞やDNAなどへのさまざまなダメージの積み重ねによって老化細胞が増えてきます。この老化細胞はIL-6などのサイトカインという物質を放出することで慢性炎症を引き起こすことがわかっています。慢性炎症はさらに老化細胞を増やします。

**佐野** 慢性炎症への対処が健康につながるのですか。

**平野** 慢性炎症をキーワードに集まったのが5人のプロジェクトマネージャーです。東北大学の阿部高明教授はミトコンドリアの機能低下を検知して再び活性化させること、東京大学の栗田昌和助教は組織を胎児化させることによって欠損した手足の再生を可能にすること、東京大学の中西真教授は老化度を測定し老化細胞を除去する



よい研究に必要なことは、

堀の周りをいくら回っても本丸には到達しません。危険を冒してでも、堀に飛び込み、石垣に登らなければなりません。物事の本質を究めることが重要です。



ことで多様な老年病を予防・改善すること、北海道大学の村上正晃教授は局所の微小炎症を量子技術で検出しニューロモデュレーション法を用いて除去すること、筑波大学の柳沢正史教授は加齢にともなって乱れやすい睡眠を制御し人工冬眠技術まで実現することを、それぞれ目指しています。

**佐野** 再生医療や睡眠も関わりますか。

**平野** 老化細胞はさまざまなサイトカインを出して炎症を起こし、周辺の細胞に老化を誘導しますが、一方で、サイトカインが周辺の細胞を若返らせる、すなわち細胞のリプログラミング(初期化)を起こすことがわかってきました。怪我をしたときと同じ種の修復機構です。睡眠については、睡眠が短いと慢性炎症にともなう病気が増えます。睡眠障害が直接、慢性炎症を引き起こしている可能性があり、このチームで連携をすれば明らかになると思います。

**佐野** 慢性炎症をキーワードにする

意義ですね。

**平野** 計測技術に関わる研究も必要だと感じています。かつて光学顕微鏡が発明され、生命科学が分類学から細胞生物学へパラダイムシフトしました。今、量子科学技術が進歩していますが、こうした技術を応用すれば、今まで観測したことのない現象を見ることができるようになります。まずは、量子科学技術によって炎症状態や老化細胞、あるいはミトコンドリアの機能などをもっと感度良く測定したいと考えています。

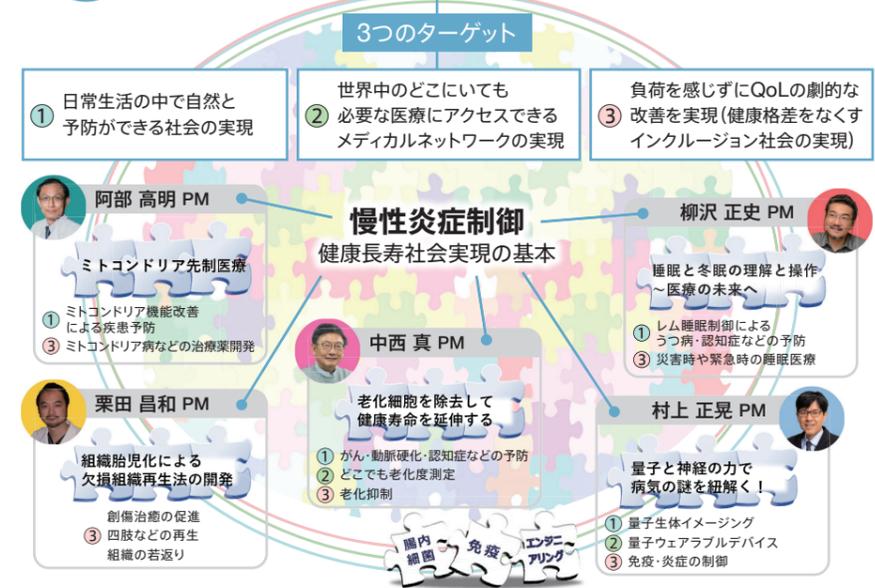
## サプリのような予防医療を 人生の選択肢が増える未来へ

**佐野** 社会は受け入れられるでしょうか。

**平野** 考えようによっては、サプリメントと似ています。ミトコンドリアを活性化したり、老化細胞や慢性炎症を取り除くカプセルを飲むような話です。だから自然に受け入れられていくのではないのでしょうか。そうすると、保険適用をどうするかという話になりますが、莫大な医療費や介護費が減少していくと、こうした予防医療に投資できるのではないのでしょうか。社会がどこまで受け入れられるかというのは、もちろん研究者も市民の一人として考えますが、研究者だけで考えても解決しない問題です。だから、我々ができることは市民向けにシンポジウムを開くなど常に情報発信し続けることです。

**佐野** 若い世代にメッセージをいただけますか。  
**平野** 人生最後まで楽しんでほしいです。人生は「最後の瞬間までいかに生きるか」に尽きると思います。死ぬまで自分の人生を前向きに明るく生きることに、このプログラムが少しでも役に立てばいいなと思います。病気が寝たきりになった場合でも選択肢が多様に持てるようになっていくとよいですね。

## 目標7 2040年までに主要な疾患を予防・克服し、100歳まで健康不安なく人生を楽しむための持続可能な医療・介護システムを実現



ムーンショット目標7の研究開発プロジェクト

# アンバサダーからの応援メッセージ



おちあい よういち  
**落合陽一**      メディアアーティスト

ここから生まれる新しい手法や技術や概念や発見が、人々の世界の見方に刺激的なスパイスを与えてくれることに期待しています。2050年の人間社会や地球環境など大きな問題に向き合うために、新しい価値の作り方、生活のあり方をプロトタイプする必要があると思います。願わくばそういった試作が新しい表現や体験、多文化共生のための相互理解につながっていくように皆様と協働していけるよう、自分も頑張っていきたいと思っています。



にしぐち なおひろ  
**西口尚宏**      一般社団法人 Japan Innovation Network 代表理事

より良い未来を創ること以上に尊い仕事はありません。なぜならば、これは次世代への最高の贈り物だからです。しかし、そのプレゼントは、簡単に買えるものではありません。どこにも売ってはいないのです。あなたの心と頭から生まれたアイデアが多くの人の助けを得て実現していきます。人類は次世代に、より良いプレゼントを引き継ぐことで、文明の発展を続けてきました。あなたは、どんなプレゼントを用意されているのですか？



むらき かずみ  
**村木風海**      学者 兼 発明家、一般社団法人炭素回収技術研究機構 (CRRA) 代表理事・機構長、ポーラ化成工業株式会社 フロンティアリサーチセンター特別研究員、株式会社 Happy Quality 科学技術顧問

第一線の研究者が、破壊的イノベーションを起こすムーンショット型研究開発制度。どれも目標は非常に胸躍りますが、僕は一人のCO<sub>2</sub>の研究者として、特に目標4に期待せずにはられません。実現すれば空気中のCO<sub>2</sub>を回収し気候変動を回避するだけに留まらず、CO<sub>2</sub>が資源となり、空気から身の回りのもの全てを生産する世界も夢ではありません。高度に発達した科学は魔法と見分けがつかない…その言葉がいよいよ現実になるのをとても期待しています！



くろだ ありさ  
**黒田有彩**      宇宙タレント、株式会社アンタレス代表

科学の歴史を辿ると、世界を変えるような発見・発明は、意外にもエラーから生まれています。ムーンショット型研究開発制度にもそんな「最高のエラー」を期待してしまうのです。それが生まれるには、遊び心と呼ぶべき「余白」が必要なのではないでしょうか。私たちの応援が、科学者の方の豊かな発想を後押しするような環境整備に繋がりますように。2050年の未来に向けて、勇気あるトライアンドエラーが行われることを応援しています！



まつしま みちあき  
**松島倫明**      『WIRED』日本版 編集長

哲学者ニーチェはかつて、「過去が現在に影響を与えるように、未来が現在に影響を与える」と言っています。つまり2050年の未来を思い描き、その実現に取り組む研究者たちは、その未来に生きる人々にとっての現在をつくるだけでなく、いまを生きるわたしたちの「いまここ」をもかたちづくっています。ムーンショットとはつまり、未来への大きな跳躍であると同時に、わたしたち自身の日々の跳躍だと言えるでしょう。

## ムーンショットアンバサダーとは

ムーンショット研究開発制度の趣旨や研究内容・成果を研究者のみならず、幅広く多くの方々に向けて、わかりやすく伝えていただくために支援をいただいています。

## 〈主な経緯〉

- 2018年 6月 ● 第39回総合科学技術・イノベーション会議  
▶ムーンショット型研究の必要性について、CSTI有識者議員から提言。
- 2019年 3月 ● 目標決定に向けたビジョナリー会議開催  
～7月 ▶ビジョナリー委員による目標設定に関する議論。  
▶一般の方々から解決を期待する社会課題や実現すべき未来像を募集。
- 2019年 12月 ● ムーンショット国際シンポジウム開催  
▶今後の制度運営及びムーンショット目標について議論。
- 2020年 1月 ● 第48回総合科学技術・イノベーション会議  
▶ムーンショット目標1～6を決定。
- 7月 ● 第30回健康・医療戦略推進本部開催  
▶ムーンショット目標7を決定。
- 2021年 1月 ● 新たな目標検討のための調査研究実施  
～7月 ▶次代を担う若手研究者を中心に、コロナ禍による経済社会の変容を踏まえた新たな目標を検討するための調査研究を実施。
- 9月 ● 第57回総合科学技術・イノベーション会議  
▶ムーンショット目標8、9を決定。
- ※総合科学技術・イノベーション会議(CSTI: Council for Science, Technology and Innovation)

## 〈新たなムーンショット目標〉

目標8 「2050年までに、激甚化しつつある台風や豪雨を制御し極端風水害の脅威から解放された安全安心な社会を実現」

PD 三好 建正 理化学研究所／計算科学研究センター チームリーダー

地球温暖化の進行等により激甚化している極端風水害による被害を、台風や豪雨の強度・タイミング・発生範囲などを変化させる気象制御技術により大幅に軽減することを目指しています。研究開発では、シミュレーションを活用した制御理論、人工的に大気に擾乱を与える制御技術、基盤となる数理やELSIに関するテーマをマッチングし推進していきます。

目標の実現に向け、人類の夢であった気象の制御を人類共通の開かれた技術として作り上げるため、PDとしてリーダーシップを発揮したいと思います。



目標9 「2050年までに、こころの安らぎや活力を増大することで、精神的に豊かで躍動的な社会を実現」

PD 熊谷 誠慈 京都大学／こころの未来研究センター 准教授

本目標では人々の「こころ」に安らぎと活力を届けるための、幸せのテクノロジーの実現を通じ精神的に豊かで躍動的な社会を目指します。

目標実現に向けては、こころの機序を解明し、その成果を活かし、こころの状態を遷移する技術を社会に実装することが必要と考えます。自然科学と人文社会科学等との異分野融合による総合知の創出も含め研究開発を推進していきます。

全国の志のある研究者とともに科学力を結集させ、PDとして目標達成に向けて挑戦をしていきたいと思っています。



## 【制度について】

 内閣府 ムーンショット型研究開発制度  
<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/index.html>

## 【研究推進法人・ムーンショット目標について】

 国立研究開発法人  
科学技術振興機構  
Japan Science and Technology Agency

■ムーンショット目標1、2、3、6、8、9  
<https://www.jst.go.jp/moonshot/index.html>

 BRAIN 生物系特定産業技術研究支援センター

■ムーンショット目標5  
[https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/moon\\_shot/index.html](https://www.naro.go.jp/laboratory/brain/moon_shot/index.html)

 NEDO 国立研究開発法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構

■ムーンショット目標4  
[https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100161.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html)

 国立研究開発法人  
日本医療研究開発機構

■ムーンショット目標7  
<https://www.amed.go.jp/program/list/18/03/001.html>