

ムーンショット型研究開発制度に係る

戦略推進会議（第8回）

令和5年3月24日

内閣府科学技術・イノベーション推進事務局  
（未来革新研究推進担当）

ムーンショット型研究開発制度に係る戦略推進会議（第8回）

議事概要

- 日 時 令和5年3月24日（金）10：00～12：05  
○ 場 所 中央合同庁舎第8号館6階623会議室（ウェブ会議）  
○ 出席者  
〈座長〉

星野 剛士 科学技術政策を担当する内閣府副大臣

〈有識者〉

江田麻季子 世界経済フォーラム日本代表

梶原ゆみ子 富士通（株）執行役員 EVP CSu0

一般社団法人産業競争力懇談会実行委員

総合科学技術・イノベーション会議議員

須藤 亮 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局政策参与  
SIPプログラム統括

波多野睦子 総合科学技術・イノベーション会議議員

東京工業大学工学院電気電子系教授・学長特別補佐

福井 次矢 東京医科大学茨城医療センター病院長

NPO法人卒後臨床研修評価機構専務理事

〈関係府省〉

奈須野 太 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局統括官

坂本 修一 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局審議官

長野 裕子 内閣府健康・医療戦略推進事務局次長

阿蘇 隆之 文部科学省大臣官房審議官（科学技術・学術政策局担当）

木村 直人 文部科学省大臣官房審議官（研究振興局及び高等教育政策連携  
担当）

伯野 春彦 厚生労働省大臣官房厚生科学課長

山田 広明 農林水産省農林水産技術会議事務局研究総務官

田中 哲也 経済産業省大臣官房審議官（産業技術環境局担当）

田中 一成 経済産業省商務・サービス政策統括調整官

〈オブザーバー〉

上山 隆大 総合科学技術・イノベーション会議常勤議員  
元政策研究大学院大学教授・副学長

〈FA〉

中島 英夫 JST ムーンショット型研究開発事業部部長  
山田 宏之 NEDO 新領域・ムーンショット部部長  
綱澤 幹夫 BRAIN 総括研究開発監  
澄川 雄 AMED 研究開発統括推進室次長

〈PD〉

萩田 紀博 目標1 PD  
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  
祖父江 元 目標2 PD  
愛知医科大学理事長・学長  
福田 敏男 目標3 PD  
名古屋大学未来社会創造機構客員教授  
北川 勝浩 目標6 PD  
大阪大学大学院基礎工学研究科教授  
平野 俊夫 目標7 PD  
量子科学技術研究開発機構理事長  
三好 建正 目標8 PD  
理化学研究所計算科学研究センターチームリーダー  
熊谷 誠慈 目標9 PD  
京都大学人と社会の未来研究院准教授

〈事務局〉

龍澤 直樹 内閣府科学技術・イノベーション推進事務局未来革新研究推進  
担当参事官

○ 議事概要

午前10時00分 開会

○龍澤参事官 定刻になりましたので、ただいまよりムーンショット型研究開発制度に係る戦

略推進会議第8回を開催いたします。

本日は御多忙の折に会議に御参集いただき、誠にありがとうございます。内閣府参事官の龍澤でございます。よろしくお願いいたします。

本日は参考資料7に記載のとおり、星野副大臣、有識者の皆様、関係府省、研究推進法人、プログラムディレクター、オブザーバーの皆様に御出席いただいております。

中野大臣政務官は、御公務により御欠席でございます。また、郷治委員は御都合により御欠席でございます。

本会議はYouTubeでライブ配信しております。録画やスクリーンショット等は御遠慮ください。

本日の会議は、前回第7回のステージゲート評価とは異なり、年次の自己評価となっております。本会議の位置づけや進め方等につきましては、資料1として配付しておりますので御参照ください。

本日は時間の都合上、質疑時間を区切らせていただきますが、時間内に頂けなかった御意見、御質問は、お伺いして後日回答させていただきます。

それでは、開会に当たりまして、座長の星野副大臣に御挨拶いただきます。星野副大臣、よろしくお願いいたします。

○星野座長 皆さん、おはようございます。座長を務めます内閣府副大臣の星野剛士です。

本日は、御多忙の折に第8回戦略推進会議に御参加を頂き感謝申し上げます。

本日は、JST及びAMEDが担当するムーンショット目標に関して、進捗状況と自己評価、今後の方向性について報告をしていただきます。これらの目標は、来年度以降、研究開始から3年目の外部評価及びステージゲートを行う予定でありまして、これから先1年余りが非常に重要な期間となります。既に多くの研究成果が出てきているとお聞きをしておりますが、社会情勢や世界の科学技術開発動向の変化も踏まえて、極めてチャレンジングな研究開発であるムーンショットとしてふさわしい道筋を描けるかについて、多くの見地から皆様のお知恵を頂戴し、議論ができればと思っております。本日の議論が目標の達成とHuman Well-beingの実現につながることを祈りまして、私の挨拶といたします。どうぞよろしくお願いいたします。

○龍澤参事官 ありがとうございます。

それでは、今後の進行は星野副大臣にお願いいたします。

○星野座長 それでは、目標1、3、6における進捗、自己評価の報告について、三つの目標

を続けて説明をしていただいた後、まとめて質疑の時間を取ります。

それでは、JST から説明をお願いいたします。

○中島部長 JST ムーンショット型研究開発プログラムの中島でございます。よろしくお願いいたします。

では、早速ですが、目標1の概要、進捗、今後の方向性について、プログラムディレクターの萩田先生より御説明いただきます。萩田先生、よろしくお願いいたします。

○萩田PD おはようございます。萩田でございます。

それでは、目標1について発表させていただきます。

目標1については、社会領域で急進的イノベーションで少子高齢化時代を切り拓くというミッションを頂いております。PD としましては、目指す社会像として、生産性向上を生み出すためにサイバネティック・アバターというものを開発する。それが災害とか感染症などにも強靱な生産性を維持することにも役立つんだという、二つ目です。三つ目は安全・安心で健康な日常生活を維持すること、非効率かもしれないけれども、余暇とか精神的な豊かさとかゆとりのバランスを保つことにも役立つという、三つの社会問題を解決しようというふうに思っております。

ムーンショット目標、内閣府にも書いてございますが、誰もが多様な活動に参加できるというものを満たさないといけません。ですので目標として人が身体、脳、空間、時間の制約から解放された社会を実現するために、二つのターゲットが設定されております。

サイバネティック・アバターの基盤の方は、2030年頃までに1人で10体以上のアバターを操作できる。これは皆さん方がPCですとかスマートフォンですとかタブレット端末とか、今3台ぐらいお使いになっている方が、同時にいらっしゃるかもしれません。それが10体まで拡張できるようなネットワーク基盤も含めたものを作ろうと思っています。

もう一つはサイバネティック・アバター生活でございます。これは身体的能力、認知能力、知覚能力を強化することによって、自分が今までできなかったことができる、ただ、そのときは社会全体がどうなるかという社会通念を踏まえて生活様式を考えなきゃいけないよという、二つのターゲットがございます。

今現在、今日お話しするのは、1年度、2年度終わっております石黒PMには空間、時間の制約から解放する対話行動CA、南澤PMには身体の制約から解放する体験共有CA、金井PMには脳の制約から解放する思いどおり操作CAという、この三つのCAを開発してもらっております。それ以外に今年度中に体内CAサービスですとか社会受容基盤という新たな新PMも

入っておりますが、今日のお話はこの三つの PM についてです。

2023 年までに各 PM が開発する CA について、新たな就労、保育、教育分野へ適用できる可能性を示すということと、それができたら 2025 年には自分に合った CA で能力拡張できるような日常、就労、医療、保育、教育分野に拡大していく。この後に 2030 年までもし研究が続けられたとしましたら、こういった異なる種類の CA で、今までみんなで助けに行けなかったような大規模な遠隔互助で、災害ですとか感染症に対応するものに拡大していきたいというふうに思っております。

その基本となる技術はメタバースとかいうのがございますけれども、あれは遠隔操作者が 1 人で、このアバターが 1 体というものが、現実的な使われ方ですけれども、我々は生産性を向上するために、1 人の遠隔操作者で N 体を作って CA サービス利用者 N 人にサービスを提供する方式ですとか、こちらの  $M \times 1$  の方は、複数人の遠隔操作者が互いに技を共有し合って 1 体の CA を操作することによって提供できる新しいサービスを生もうと、この制御というところが基本的なコア技術になります。

世の中の動向は、先ほどもお話がありましたが、石黒 PM については世界一を走っております。

南澤 PM についても、この Orihime という分身ロボットカフェが、障害の重い方についても仕事の創出の可能性が出ているという意味で、ヨーロッパでも高い評価を得始めてきていますので、順調にできていると思います。

金井 PM については、スタンフォードで手術を要する侵襲型で、1 分間に 90 文字だとか 62 単語を入れられるとか、そういうものが出ておりますので、我々としてはそれに対して、これに深く関わっている先生を課題推進者に入れる予定をしておりますし、それで一方、手術が不要でという一つの見込みとして、Stentrode というアプローチの先生を入れております。

まず各論でそれぞれの PM の成果を簡単に説明いたしますと、石黒 PM については、仕事の時間が確保できないような空間と時間の制約のある主婦・主夫、それとか働けるうちはいつまでも働きたいという高齢者、これらに対して新たな社会活動に参加できるという複数の対話行動 CA を開発しております。1 年目の段階でもう既に  $N = 5$  をやっておりますが、これは我々が勝手にやっているわけではなくて、サービスとか IT の企業が一緒になってやっております。2 年間は何かと申しますと、1 年目は短期で実験してはございましたが、長期実験に行って、本当に会社としてこういうことをやっていって、これからの生産性を向上できるのかということ、今、調べてもらっております。それとは同時に、このデジタル大臣

のアバターなども作って、新たな、人が苦手な所作を超えるようなものも実際の渋谷で実証実験などを行っております。様々な CA ができておりますが、これを共通化して動かせるようなプラットフォームも今現在作り上げております。

南澤プロジェクトは、もう新聞等で御覧になっている方も多いと思いますが、分身ロボットカフェというのを日本橋に作って、これは障害者の方を含めて 70 人ぐらいの方が遠隔から仕事を始めております。この仕事が本当に疲れないのかとか、1人で1体の仕事をしているというものから、このサイバネティック・アバターの自ら障害者の方が複数体動かしたいというような要求がありまして、6月に4体を動かすというような実験ですとか、2人の障害者が一緒になってここにいますようなパンケーキを作るようなサービスをやってみるというのを、11月にやったりして、世界的な芸術祭であるところで最優秀賞を取って、EUの方には非常に興味を持って、これはすばらしい新しいアートであるということをおっしゃっております。

金井 PM につきましては、頭に思い浮かべた言葉や行動ということで、リアル空間ですと障害がある・なしと言いますけれども、新しい PLUG という非侵襲型の BMI を作って、障害のある方とない方の高校生たちが一緒に集まって、メタバース空間の「フォートナイト」という対戦ゲームで自ら、あるアバターをあるゴールまでに行かせるというやつをやりましたけれども、非常にお互いがサイバー空間だとそういう差がなくなるんだねということ、実感していただいております。あとは侵襲型の BMI では、マーモセットを使いますと、(過去の行動から予測しますと) 台の上に上がっていたものがそろそろ(次の行動をある程度予測が) できますよということが分かってきております。

あとは国際連携としては、国際アドバイザリーボードを9月に立ち上げていろいろな視点、国際連携強化、サイエンス強化の視点を頂いております。我々としては、コンソーシアムも順調に上がって、近寄ってくる企業が増えております。目標3との連携でも、今後標準化を見越してどちらでも使えるような共通化技術を作ろうと思っております。現実的に海外の課題推進者も入れて進めようと思っております。

少し延びましたが、以上でございます。中島部長、お願いいたします。

○中島部長 1枚目に総括しておりますので、こちらで説明さしあげます。

目標1の総合評価としては、マイルストーンの達成あるいは達成への貢献が期待どおり見込まれて成果が得られていると評価しております。

評価のポイントを黄色ハイライトと緑ハイライトにしておりますが、今後の課題として緑

のところだけ述べさせていただきます。取り扱う技術分野としてはムーンショットの研究期間は2030年までとなっておりますが、2030年を研究開発のゴールとするのではなく、50年に目標とする社会を実現するために必要な長期的なインパクトを与える学術的成果は何かという視点で、研究内容を絶えず点検・修正していくことが重要であると考えます。また、ChatGPTのように研究進展が著しい分野でありますので、常に研究分野の動向を捉え、現在の延長線上の技術だけではなく新しい技術の芽を生み出すことも必要と考えています。

今年度、社会との対話を行う機会が種々設けられましたが、本目標で考える社会像を議論して公表し、社会に問うような取組を継続して行っていくこと、さらに、ロボットとCAの役割分担、関連して、目標3、目標9との関係をより明確にしながらプログラムを進めることが重要と考えております。

以上の点を留意して、萩田PDとプログラム運営を進めていきたいと思っております。

続きまして、目標3の概要、進捗、今後の方向性について、PDの福田先生から御説明いただきますと思います。福田先生、よろしくお願いいたします。

○福田PD 福田です。よろしくお願いいたします。

早速ですが、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の実現について話させていただきます。

まず1、目指す社会像ですが、目標3が目指す社会像というのは、人とロボットが共生する世界である。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する。すなわち、今現在我が国が面している人口減、人口が減る、あるいは高齢化、介護の問題、労働力不足、そういういろいろあります。それらを見据えて2050年までに、そういうふうな生産性及び安心・安全な豊かな社会を作っていくことを目標としております。

Society 5.0は、①、一人一人の多様な幸せが実現できる世界、②、価値創造の源泉となる知の創造、③、持続可能で強靱な社会、こういうことを目的としております。それで目標3ではターゲット1、ターゲット2、ターゲット3を作り、それぞれ、人生に寄り添うAIロボット、科学発見を行うAIロボット、難環境で活動するAIロボットを、それぞれ研究開発することを目指している。人との共生、自律した行動ということが重要なところである。

2番目の解決すべき課題としましては、ターゲット1、ターゲット2、ターゲット3のそれぞれ、課題1は、様々な形態で様々な環境に対応できる身体（ロボット）、それから課題2は、人を理解し共生する知能（AI）、3番目には、無人環境で自律できる知能（AI）と、これらがそれぞれ目標となるものであります。



そこにありますように、現在その要素技術がそれぞれ2年間でできつつあり、スマートロボット、それからマイクロ環境に向けた実験ロボットのプラットフォーム、それから災害対応ロボット、それぞれの基本要素ができつつあります。

プログラムの構成にいきます。過去2年間に三つのターゲットに対して4名のPMを採用させていただきました。既存のPMに、更にAIの強化と研究の加速を目指すこと、それから難環境の場の拡張のために、令和4年に、昨年度7名のPMを新規に採択させていただきました。ここで申しますターゲット1、ターゲット2、ターゲット3ですが、ここはそれぞれ菅野PMには大武PMを、平田PMには下田PMを、原田PMには牛久PMを、永谷PMには森島PMをそれぞれ充てまして、それぞれのAIの強化と加速を行うということを目指しております。難環境の場は、この國井PM、吉田PM、上野PM、月におけるものでありますが、その研究途中の成果は地上における災害救助と、そういうところに使えるものを目指しております。

次にプログラムの進捗、成果でありますけれども、ターゲット1に関しましては、ここは菅野PM、人間協調ロボット、これは家事作業を実行可能とする研究を行う。もう一つは平田PMの、こちらの適応自在ロボットの研究をしています。菅野PMの方は、少数の学習でも多様な作業に対応するAI技術を環境変化に対応するように拡張しておりまして、深層学習制御を行う。これは世界的に見ましても、この研究は論文賞を国際会議を含めて既に3件も取っており、高く評価されているところであります。平田PMの方は、体格、障害、動作意図等の人の個別性に適応する世界最初のハードウェアを構築しております。

次にいきまして、ターゲットの2、ターゲット3は、ターゲット2は科学発見を行うAIロボット、ターゲット3は難環境で活動するAIロボットであります。原田PMの科学発見ロボットは、科学者の補助作業を得ながら自律的な科学実験を可能とするもので、いろいろなAIとロボットによる知識探求ループの実現ということで、新しいディスカバリー、解決方法を見いだすものであります。まず仮説生成AIというのを作りまして、それからその目的に応じた、今回の場合は植物を環境変化に強くするバイオスティミュラントの候補の探求でありますけれども、候補を選定し、実験を科学者としての実験を行い、ロボットが実験することによって、その結果をもう一度解釈するAIを用いて、それで仮説を修正するというふうなループを描くということをやっている。ここは圏論AIということの特徴にし、圏論AIは、これは他の人がやっていませんので、ここで一番世界的にも良いと見られているものであります。右の方の永谷PMの方の動的協働ロボットは、災害地を走行可能な双胴柔軟クローラの開発ということをいろいろ研究しております。この要素技術を開発しております。特

に災害現場の将来予測を可能とする高速・少量データ学習可能な言語化 AI の開発を行い、これは従来のいろいろなデータから予測する、そこをやって新しい AI の分野を開いております。

次、プログラムの進捗・成果でありますけれども、ここはまず要素技術を今まで開発しました。ここは前半5年間で行うところであります。それで、これはそれぞれの四つのプロジェクト PM にて行いまして、さらに、次の後半5年間で目指す社会像の実現された際の顧客・提供価値を更に具体化していくためにシステム化を行う。要素技術のシステム化を行うということで、共進化と自己組織化というキーワードに基づいて研究しております。それで2050年に持っていくということで、今まで2050年から従来の目的を2040年、2030年、バックキャストしたそこにちゃんと着地するように研究を進めております。

次、プログラムマネジメントの状況でありますけれども、ここは私のPDによるプログラムマネジメントとしましては、国際的な視点での評価ということで、国際アドバイザリーボードを設けている御意見を頂いて評価をしていただいております。もう見ていただきました。中間評価における評価基準の明確化ということで、既存のプログラムに対するサイトビジットを行いながら、マイルストーンの達成の状況を逐次検証・評価して細かく見ております。さらに、新たなPMの作りこみでは、難環境対応のサブPDの任命、アドバイザー3名を追加することにより、アドバイザリーボードを強化しております。まず既存PMとの連携の具体化とか挑戦的マイルストーンの策定を、いろいろその都度オンラインでいろいろリアルタイムで修正しております。

国際連携に関しましては、日欧ワークショップの開催をやりました。NSFのワークショップもいろいろやっております。それからその他、大学附置高等研究院連合のUBIASとの連携も、いろいろ研究を共にやっております。

次に、プログラムマネジメントの状況でありますけれども、広報・アウトリーチ活動では、ここでは国際会議 ICRA、IROS というワークショップでデモとか、そういうことをやって皆さんに周知しております。このためにいろいろなところから是非参加したいといういろいろ反響があり、大変内外の研究者からによるいろいろな研究応募もあり、目標3のプレゼンスを高めております。

産業界との連携につきましては、ここでは永谷プロジェクトには土工に係る企業3社がPIとして参画しており、新規の牛久PMは企業の研究者であります。平田プロジェクトに関しては、介護ロボットの評価検証を行うリビングラボを核に20社と連携を図っております。

す。

ELSI に関しましては、特にこの IEEE P7017 を核にしたそういう作業部会を設立し、活発にやっております。それから医療機構関係では ISO の 13482 のための準備会を作っております。

今後の方向性に関しましては NSF 以外、この Japanese-European Workshop にも来年 5 月に、昨年の 9 月に引き続き今年の 5 月にやる予定でおります。中間評価は 6 月から 8 月。それから新規 PM のステージゲート評価を 11 月に行い、七つの評価を行っていろいろ取捨選択してやっていこうと思っています。

目標達成に向けた対応方針としましては、マイルストーン、今のことを踏まえまして、社会実装におけるシステム統合化の明確化を行うという。それから難環境への取組ということで、今現在やっているような宇宙関係も含めまして、それらの災害対応への対応を外出しすることを検討しております。プロジェクト関連では、それぞれの四つの研究プラス三つの宇宙関連を含めまして AI、ROS（ロボットの基盤ソフトウェア：Robot Operation System）、ELSI を強化して、プロジェクトを相互に研究を行っております。また、目標 1 等との連携も図り、現在、過去 2 回、共同でワークショップを開きました。

以上です。

○中島部長 福田先生、ありがとうございました。

目標 3 の総合評価としては、マイルストーンの達成あるいは達成への貢献に対して一定の進捗は見られるものの、見通しが十分ではないと、そのためプログラム運営の改善に向けて新たな手段、工夫が必要と評価いたしております。

今後の課題ですが、技術開発、国際連携などを精力的に進められて着実に研究成果は出ているのですが、目標達成に向けた PD のビジョンをどのように社会解決に向けてチャレンジしているのか、その道筋と併せてより明確にしていくこと、さらに、これを新規採択した PM を含む目標 3 の関係者間で共有し、絶えず議論することで、これを洗練、見直しをしていくこと、これによって PM 間の連携を更に進めることが重要と考えております。ターゲットごとの留意点はこちらに書いてありますが、これらの課題への対応については、福田先生の御発表の中で今後の方向性の中で触れられていまして、これを福田 PD と事務局でしっかりと意識をして今後プログラム運営を進めていく所存でございます。

続きまして、目標 6 の概要、進捗、今後の方向性について、PD の北川先生から御説明いただきたいと思います。北川先生、お願いいたします。

○北川 PD おはようございます。北川です。

それでは目標 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ーの開発の実現について、報告させていただきます。

まず、量子コンピューターの使い道というのはたくさんあるわけですが、その中で特にムーンショットにふさわしいといいますと、地球規模の社会課題を解決できるようなそういう用途というのを、一つ代表的な例としてここでは紹介させていただきます。目指す社会像、解決すべき課題、プログラムの構成、プログラムの進捗・成果、プログラムマネジメントの状況、今後の方向性、自己評価について報告させていただきます。

まず量子コンピューターの使い道はたくさん想定されるわけですが、その中でムーンショットにふさわしい地球規模の社会課題を解決できるなという例を、ここでは紹介させていただきます。

まず窒素固定といいますのは、アンモニアなど窒素肥料を作るための工業的な生産、人類は全消費エネルギーの 2%前後を使っていると言われてはいるわけですが、それは工業的な生産方法としてはハーバー・ボッシュ法が使われているからでありまして、これ例えばマメ科の植物に寄生するような細菌が、根粒菌がやっているような生物的な窒素固定だと、これは常温・常圧で非常に効率的にできると、また光合成、これは炭素固定と言われますけれども、これも同様に非常に効率的に自然界が行っていると、ただ、これらは例えば電子が 50 個とか 70 個とか、非常にたくさんの電子が関与する酵素反応でありまして、この量子化学的な計算というのは、現在のスパコンをもってしても全く歯が立ちません。それに対して量子コンピューターでは、そういう生物の中と同じような量子状態を実際に量子コンピューターの中で作ることによって、厳密な計算ができるというわけです。それによってこういうことを解明して、更にまねすることができれば、エネルギー問題や食料問題、環境問題を一気に解決するという、そういう切り札になるというふうに期待されています。

ところで、そういう大型の量子コンピューターを作るためには、量子ビットをたくさん増やして誤り訂正を行うということが必要なんですが、量子ビットを増やすこと自体が非常に難しいので、量子ビットを通信でつないで増やすということも想定しなければなりません。そこで、このムーンショット目標 6 では、ハードウェアと通信ネットワークとそれからその上で誤り訂正を行い、誤り耐性を持たせるという、その三つのカテゴリで研究を進めています。2030 年には一定規模の NISQ 量子コンピューターの開発と量子誤り訂正の有効性を実証し、2040 年には分散型で、そして 2050 年には大型化を達成して誤り耐性型汎用量子コン

コンピューターを実現するという目標になっております。

現在の、ここ今 12 のプロジェクトがあるんですけども、黒い部分が 2020 年当初に発足した七つのプロジェクト、そして赤い部分が本年度新たに追加募集して採択したものです。今回は量子ビットをたくさん増やせるという意味で固体系と原子系のハードウェアを追加で三つ採択し、かつ、つなげていくという部分で、大規模に量子コンピューターをつなげるといふ部分で量子ネットワークのプロジェクトを一つ採択し、そして大規模に誤り訂正を行うという部分の実際のシステムを作ると、構築するといふプロジェクトを一つ採択しております。これらの連携によって目標達成しようと考えております。

現在量子コンピューターは、まだ数百、せいぜい 400 量子ビット程度のもので、しかも誤りが非常に多くて一瞬で計算が破綻してしまうという、そういうものしか存在しません。私たちはこれを非常に量子ビットを増やして、かつ誤り訂正を行って、そして誤り耐性閾値と呼ばれる閾値をクリアすることによって、半永久的に計算できるようなものを目指しています。

実際に成果は着々と出ておまして、例えば光の量子コンピューターというのは、これは日本のオリジナルなんですけれども、これに関して非常にこれは NTT の技術も用いまして、光通信の技術を用いまして、世界最高レベルの誤り訂正にして使えるような技術を既に達成しております。

また、半導体におきまして、これはシリコンの量子ビット数を、まだ 3 ではあるんですが、この状態で理化学研究所の成果で誤り訂正というのを世界で初めて実現しております。

また、通信の方では、光と超伝導（量子ビット）のマイクロ波をつなぐというインターフェースを作っているんですけども、そこの全く中核となる部分、ダイヤモンドの量子メモリーの部分で非常に大きな成果、進歩が出ておまして、今この絵、右側と左側の部分をやっているというところです。

それから誤り耐性に関しましては、実は誤り耐性量子コンピューターは非常に複雑なシステムなんですけれども、これを実現するためには、いろいろなレイヤーがあるのを、それを全てモデル化して、いろいろな超伝導とイオンとか光とかそういうものを比較する必要がある、あるいは組み合わせる必要があると、そういう理論をやっておまして、超伝導に関して最低限のモデルを作って、そういうところまで進捗しております。

そして国際連携につきましては、量子科学技術イノベーション拠点などと協調しまして、Quantum Innovation という国際会議を開催しております。また、BILATERAL でオランダ大

使館と量子ベンチャーのスタートアップ等との交流、ムーンショットの紹介もさせていただきました。また、研究員の海外への派遣等も熱心に行っております。

産業界との連携・橋渡しに関しましては、既にこのムーンショット目標6の中でいろいろ産業界の10社以上が参画しているわけですが、企業としては非常にたくさん参画しているわけですが、その中で実際に国研と大学とそれから企業が連携して製品化、例えば光検出器の製品化であるとか、あるいは企業の方で希釈冷凍機を開発しているということをやっております。

又は広報・アウトリーチ活動といたしましては、今回のシンポジウム以外に特に若手の育成ということで、Q-LEAP 量子技術教育プログラムと協力してサマースクールを共催しております。この中で3分の2の講師がムーンショット関係者ということで、若手の育成に取り組んでおります。

また、数理からの新たなPIを受け入れました。

そして、この分野に関しては非常に海外との競争が激しいわけですが、今現在グーグルや IonQ など、2028年から2029年に向けて量子誤り訂正に関する野心的な目標を掲げておりますけれども、まだこの部分に関してはどこも技術的な根拠があるわけではなくて、我々と同様に同じような挑戦をやっているという状況でございます。その中で我々もその先頭グループの一翼として競争に参画していくということで、今回いろいろ強化を行っております。

また、大規模化に向けた産学官の協力ということで、来年度から Q-STAR（量子技術による新産業創出協議会）との連携セミナーを行ってまいります。また、今年の7月には国際シンポジウムを開催いたします。

サマースクールにつきましては今後も連携していく予定です。

以上です。

○中島部長 北川先生、ありがとうございました。

目標6の総合評価としましては、マイルストーンの達成あるいは達成への貢献が期待どおり見込まれ、成果が得られていると評価いたしました。北川先生の御説明にありましたとおり、研究成果が想定以上に出ているものもございます。

今後の進め方で主要なところとしましては、これも先生の御説明にありましたが、競争が激しい分野ですので、技術の進展状況に応じて柔軟に研究体制や研究資源の最適な活用を行うマネジメントを引き続き行っていくことが、重要と考えております。また、量子コンピュ

ーターの実現が社会にもたらす影響、便益を広く社会に理解してもらうための情報発信も、これまで以上に行うことが必要と考えております。これらに留意して北川 PD とプログラムを運営してまいりたいと思います。

目標 1、3、6 についての御報告は以上となります。

○星野座長 ただいまの説明について有識者の皆様から御意見ををお願いいたします。

それでは、須藤委員、お願いします。

○須藤委員 どうもありがとうございました。

度々この場で、国際連携を重要視するプロジェクトなので、その辺を考慮してほしいというのを、私は申し上げてきたのですが、今日の御発表の中にきちんと国際連携を進めているという報告がありましたので、非常に安心しましたし、いいなと思いました。ただ、もう少し具体化してほしい、ワークショップをやったとかそういうだけではなくて、実際に研究の中に海外の研究者が入り込んで情報交換できるというようなところまで、本来は持っていくべきだと思いますので、なお一層国際連携をこれからも重要視して進めていただきたいと思います。

それからもう一点、目標 3 の AI とロボットのところ、人に寄り添うロボット、菅野 PM のところだと思いますけれども、SIP の中でも全く同じような人共創ロボットというのがスタートする予定になっていまして、この辺は少し連携した方がいいのかなと思いますので、是非考慮していただきたいと思います。

以上です。

○星野座長 それでは、梶原委員、お願いいたします。

○梶原委員 御説明大変ありがとうございました。

須藤委員がおっしゃったように、私も国際連携の点が必ず入っている要素として認識いただきながら進めていただければと思います。まだワークショップを実施する段階のところにつきましても、須藤委員と同じ印象を持ちました。

良いと思ったところは目標 6 のサマースクールについてです。量子の若手人材を今後育成していくという点で実施している象徴的な取り組みに見えたので、それを是非継続していただきたいと思いました。ちなみに、このサマースクールは何人ぐらい参加されたのでしょうか。ハイブリッドで実施するよりも、現地で実施されたようですけれども、ここは全国から参加できるようなことが重要だと思いますので、多様な地域の若い人たちが量子というものの技術に関心を持って触れていけるというところに期待したいと思います。場合によっては、

アーカイブで配信できるなども工夫していただければ更によろしいかと思って聞いておりました。

それから、目標3の11ページで知財の規約の改定を必要とするというような表現があり、そういった意味でプロジェクト横断的な活動が十分できない部分・要素が少し阻害されているということであれば、そこは早々に解決されて、プロジェクトの運営を円滑にさせていただきたいと思います。知財周りの観点でいいますと、恐らくこれはムーンショットプロジェクト全体に共通的な課題だと思いますので、もし同じような課題を持っているケースがあれば、それは横展開していただきながら進めていただければと思います。

最後に、目標1と3はやはり相互に連携するような感じも見て取れますので、目標1の方からは3と連携したいという表現をされていましたがけれども、目標3の方も目標1についての関心を寄せていただき、相互にその認識を持っていただければと思います。

以上です。ありがとうございました。

○星野座長 ありがとうございました。

今のサマースクールの特長についてはお答えできますか。

○北川PD 北川です。

サマースクール、実は現地は、高校生1名を含む大学生・大学院生と研究員等50名が現地参加いたしました、受講生としては。実はハイブリッドでやっております、全国から大学生や高校生などが、あるいは高専生などがオンラインで参加しています。

ただ、どうしても現地でのグループワークと、そういうものが非常に有効であったということで、今回、コロナぎりぎりだったんですけれども、ハイブリッドであまねく広く、もちろん巻き込んでいくことも重要ですが、やっぱり現地でかなり濃密な時間を1週間過ごすというのは非常に重要なことというふうに感じました。

どうもありがとうございます。

○星野座長 それでは、江田委員、お願いいたします。

○江田委員 ありがとうございます。御丁寧な説明、感謝いたします。

私も国際連携の部分、どんどんと具体的な例がもっと出てくるといいなというふうに思っております。

質問の一つとしては、目標1のCAのところですが、能力を拡張、人間の能力を拡張していく、非常にユニークなプロジェクトであるということで、グローバルに見ても唯一無二という感じの評価がありました。このアセスメントのところ、実証実験を日本以外の



ところでもやっていく必要があると書いてあって、私も正にそう思っているんですね。人間の能力を、生産性を上げるために上げていくというのは、ひょっとしたら日本独自の考え方もかもしれないというのがふとございまして、是非海外の実証実験を通じて、その受容性、社会受容性みたいなところも見ただけでいいと思います。海外からの評価がアートの分野であったとは聞いておりますけれども、その辺り、先に行くことはとても大切だと思いますが、同時にグローバルで使えるものになっていただきたいという思いでコメントしております。

あと、目標3のところのロボットですけれども、全体的な評価、JSTさんの評価、見通しが定かでないという評価についても、もうちょっと補足を頂けるといいなと思いました。よろしく願いいたします。

○星野座長 補足願えますか。

○中島部長 JST事務局です。ありがとうございます。

目標3に関しましては、ちょっと難しいというか、ターゲットが三つから構成されておられて、それぞれが独立している部分もございまして、研究プロジェクトとしては着実に研究開発は進んでおります。ただし、2050年の社会の実現に向かってどういうふう目標全体で研究開発を進めているかというのが対外的にややもすると分かりにくく、ほかの研究プログラムでやっている研究開発とどこが違うんだというところをよく聞かれます。そのために、2050年の目標に向かって進んでいるというところをしっかりと説明していくことが必要だと考えております。

○星野座長 ありがとうございます。

それでは、続きまして福井委員、お願いいたします。

○福井委員 ほかの先生方が指摘されたようなことしか指摘できませんが、私も目標との連携が取れる余地のあるテーマがかなりあるのではないかと思います。

それから、目標3の評価が目標1と6に比べてやや低いような文章になっているんですけども、私もその理由がよく理解できなかったというのが正直なところです。

それから、目標1につきましてはマスメディアなどでも報告されたりして、私も見たことがございますし、特に若い人たちが強く興味を持ってくれるようなテーマのようにも思いまして、教育的な意味でも、サマースクールなどいろいろなことを今後とも是非やっていただきたいと思いました。

それから最後に、目標1で手術不要BMIのお話もございましたが、医療関係のところにも

もっと入り込んでいただきたいと思います。

以上です。

○星野座長 それでは、続きまして波多野委員からコメントを頂きたいと思います。

○波多野委員 ありがとうございます。御説明ありがとうございました。的確な御説明いただきました。

まず、目標1に関しましては、分身ロボットカフェのOrihimeで活躍されている心臓の疾患をお持ちの方とお話ししたことがありまして、ダイバーシティ&インクルージョンの社会が実現できるのでは、と期待しています。これが国際的に広がる可能性も感じました。具体的には、社会に貢献している、つながっているという実感を持ってカフェの支援をされていて、それも幾つものカフェを支援していらっしゃる。世界ともつながっていくのは容易であり、高齢者含めて新たな働き方、社会的な貢献につながると思いましたの。更に総合知的な考えも含めてどう展開していくか、国際的に日本発のこの技術をどう展開していくかというところを発展させていただきたいと思いました。

目標3は皆さんおっしゃったとおりです。

目標6の量子ですが、今の御説明によりますと、七つのキュービットの候補があり、このムーンショットの最初の区切りは5年ですけれども、そこでのマイルストーンが設定されているのか、一旦スクリーニングするか、その場合どういう判断するのか。さらにその後2050年に向けてどのように進めていかれるのか、短中長期のお考えを伺いたいです。例えば知財といっても、20年後はもう切れているわけで、その知財戦略をどう考えていらっしゃるのか伺いたいです。また、横断してシステム化につながる共通のテーマ、特に古典とつなぐところや通信とつなぐテーマは重要ですが、人材が不足している課題もございますので、分野を横に広げていく必要もあると思います。よろしくお願いします。

○星野座長 今の御質問に対して御回答ございますか。

○北川 PD 目標6ですけれども、ステージゲートといいますか、今七つって言いますけれども、七つのプロジェクトが、ハードウェア、走っているんですけども、もちろんこれは、どれが勝つか分からないというのは、今世界中、誰に聞いても、どれが勝つか分からないわけです。それで、ムーンショット目標6の戦略は、この小芦 PM の理論のプロジェクトの先ほどのクロスレイヤーモデル化というのに、こういういろんなハードウェアを当てはめていて、そして、それぞれのハードウェアを実際に科学的に比較できるようにするというのが一つ、私の構想に入っています。そういうことをして初めて将来的にどれが優位になってい

くかということが議論できるので、今の状態では量子コンピューターとして動いているのは超伝導とイオントラップだけだと、あと光が一部動いていますということしか言えないわけですね。

それで、その同種のもの同士は比較的比べやすいので、ただ、恐らく同種のもの、例えば半導体同士とか中性原子とイオンとかは恐らく比較は可能だと思うんですけども、非常に異質なものを、超伝導とイオンと光と半導体と原子と、こういうものを比較するためにはちゃんと科学的な裏付けが必要ということで、そういうことを考えてやっていきたいというふうに考えています。

○波多野委員 こちらのハードウェアそれぞれに対しては、予算額が他の分野に比べて大きいので、変化が激しい海外とのベンチマークも行いながら、しかし科学的な裏付けに基づき適切に時期に適切に判断して、さらに進展することを期待していますのでよろしくお願ひします。

あと、知財はどうでしょうか。

○北川 PD 知財戦略ですけども、例えば RSA の公開鍵暗号のことを考えていただければいいんですけども、あれはかなり昔なんで、その知財自体は、その15年なり20年で切れちゃうわけですけども、基本的には、その周辺特許をどんどん取っていくという戦略で大体ああいうものって成り立っているんで、量子コンピューターに関しては、まだまだブレークスルーがたくさん必要なので、その部分を、知財を次々に取っていくということで、もちろん非常に有効なコアとなる特許があれば、その周辺を固めるという形でその知財を長生きさせるという戦略は通常の工業所有権の考え方と同じだと思います。

○波多野委員 分かりました。ありがとうございます。

○星野座長 それでは、上山議員から、何かコメントがありましたらお願いいたします。

○上山オブザーバー このムーンショットプロジェクトを最初から見てきていて、最初ものすごく海外の人からの「これ何をやるんだ」みたいな質問とか問合せは多かったのが、最近だんだん、少なくなってきたと感じています。各国同じような、ハイリーミッションオリエンテッドなプロジェクトを走らせるようになってきていて、日本のムーンショットプロジェクトの特徴、海外への比較との政策上の違いみたいなのが見えにくくなっているなという気がしています。このミッション性があるということは、すなわち、論文がいろいろ出てきているとか、あるいは連携やっているとか、そういうことじゃなく、それだけじゃなくて、インパクト性が高いアウトカムが常に明示的に出てくるようなことが求められていくんでは

ないかなというふうには思っております。

そういう意味で、例えば国際アドバイザーボードの話も何回も出てきましたけれども、外国の研究者からアドバイスをもらうという場所というよりは、むしろ外国の研究者に対して、日本のムーンショットのプロジェクトがいかにハイリスクでありながらも高いところを目指しているということが伝わっていくような、そういう場であるべきじゃないかなと思っています。今のお話を聞いた段階だと、それが余り見えないなど。何か普通の研究の評価を受ける場所みたいな感じに見えてきているということが一つあります。

それからもう一つは、是非とも全体としてお聞きしたいなと思っているのが、このプロジェクトの走らせ方によって、我が国における研究の在り方や、あるいは研究のメソドロジーや、あるいは研究の場がどんなふうに変わってきているのかということが、やっぱり政策をやっている側としては非常に知りたい。これをやったから、いかにも新たな研究の方法論や、あるいはチームメーキングや、あるいはマネジメントが大きく変わってきているという、こういうようなフィードバックを是非ともどこかで頂きたいなど、これは各 PD の方というより、むしろ JST の方なのかもしれませんが、そういうことをちょっと考えながらお話を聞いていたということでございます。

○星野座長 ありがとうございます。質疑を終了させていただきたいと思えます。

本日の有識者からの意見も踏まえて研究開発を着実に推進していただきますよう、お願い申し上げます。

それでは、目標 8、9、2 における進捗、自己評価の報告について、三つの目標を続けて説明していただいた後、まとめて質疑の時間を取ります。

それでは、JST から説明をお願いいたします。

○中島部長 ありがとうございます。

それでは、目標 8 から、概要、進捗、今後の方向性について、プログラムディレクター、三好先生より御説明いただきます。三好先生、よろしくをお願いいたします。

○三好 PD よろしく申し上げます。

目標 8 ですけれども、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するということで進めております。

まず、目指す社会像ですけれども、極端風水害の脅威というのが増えております。これに対して被害が生じるわけですけれども、被害というのは、このハザード、今の場合ですと極端風水害という現象、これに対して社会が暴露され、脆弱（ぜいじゃく）性を持っているの

で被害になるということで、これまでの対応というのは、このハザードに対して予測をして備えるということでした。このプロジェクトでは、このプログラムでは、このハザード自体を、自然現象自体を人の力で変化させるということによって、減らしていくという新しいアプローチを築きたいということです。そのために、災害の予測と制御方法を検討し、まず社会の中で合意を取るということ。それによって、このような人為的に何か介入をしていくと。自然に対して介入をしていって気象を変化させるという制御を実施する。こういうことをこの目標の中では取り組んでおります。

2050年に掲げる社会を実現するために、まず、2030年には、この気象制御の実現可能性を具体的に示すということが必要になってくる。主にシミュレーションの中で、どのような制御手法を適用したらこのような気象がこれだけ変化させられるという実現可能性、こちらをまずは示していこうというところで取り組んでおります。

そのために、今年度開始したわけですけれども、プロジェクトを、まずコア研究三つを採択しました。それに加えて要素研究ですね。これらは様々なアイデアを取り込んだ新しい取組ですので、2050年からバックキャストしたような研究というのがすぐに開始できるということが難しいと考えまして、それを実現するために必要な要素である要素研究、これを当初3年間で行うということで取組を始めております。具体的には、台風を対象とするようなコア研究が二つ、あと、都市豪雨、ゲリラ豪雨や線状対流系豪雨を対象とするコアプロジェクトが一つということになっております。

具体的な進捗ですけれども、気象制御の実現可能性を数値シミュレーション上で早期に示すために、基礎技術の開発に注力しております。

具体的には、ここに示しておりますようなモデルのシミュレーション、台風ですね。台風で、強く発達する台風について水蒸気を減らすような操作をすると、これ、5%水蒸気を減らすということをモデルの中で試してみたところ、明らかに弱くなるということが分かりました。ただ、水蒸気を5%、この大気の中から取り除くという操作は、現実的であるとは今のところ考えにくいので、今後、現実的なエネルギーで制御するように取り組んでいく必要があるというふうな状況です。

ほかにもいろいろありますけれども、帆船を用いて台風のエネギー吸収する、これによって台風の発達を抑えるですとか、あるいは、極端気象の予測精度を高めるようなモデル開発、あと、台風の下で観測する、このような2メートルぐらいの船を造って、海上ドローンと呼んでいますけれども、台風の制御の効果を判定するための計測装置のようなものにも取

り組んでいるところです。

この研究開発プログラムを取り巻く状況ですけれども、気象の制御を目的とした大規模プロジェクトは、現時点ではほかに見られない。ただ、人工降雨などについては世界的にも取り組まれていたりですとか、あるいはジオエンジニアリング、これは気候変動、特に地球温暖化の抑制を目的とするようなものですが、これについても世界で検討が行われているところです。このプロジェクトは気象を制御することを目的としていますけれども、関係する考え方や手法があるというふうに思いますので、適切に連携していくということを考えております。

マネジメントの状況ですけれども、目標8全体として取り組むべき課題、特に ELSI や数理科学に関わる部分ですけれども、横断的な取組を行う。また、このプログラムに関わる科学者・研究者がお互いにコミュニケーションを取り、一丸となって取り組んでいくような仕組みを複数構築しております。

国際連携としましては、まず、気象制御という概念を、私たちがこれから作っていくという状況だというふうに認識しております。このために、気象制御研究の世界的な潮流を作っていくというためのアクティビティを開始しております。

産業連携に向けた取組というのも行っておりますし、知的財産を必要に応じて確保していくと。オープン・クローズ戦略を機動的に推進するという考え方で進めております。

ELSI ですけれども、これらは目標全体、要するに気象制御を行おうと思ったときに生じる共通的な、俯瞰的な整理というのを今行っております、ここに書かれているような整理をしております。

数理科学につきましては、今持っている技術の進展の継続では達成できないボトルネックを解決するために先端的な数理科学を取り組んで、そういうふうに位置づけておまして、コア研究では必ず取り組む必要があるというふうに認識しております。数理研究者と気象・工学研究者のマッチングを行うようなアクティビティというのを実施しております。

広報・アウトリーチにつきましては、今後、市民対話などを含めた双方向コミュニケーションの活動を企画している段階です。

今後ですけれども、制御によって被害を軽減可能なことを早期に実証するとともに、広く社会との対話・協調を図っていくということで、特に今、今年度開始したところですが、まだ足りていない研究開発項目があるというふうに考えておまして、ここを補充するための新たな公募というのを、今ちょうど実施しているところであります。

私からは以上になります。

○中島部長 三好先生、ありがとうございます。

目標8の総合評価としましては、マイルストーンの達成あるいは達成への貢献が期待どおり見込まれ、成果が得られていると評価いたしました。

三好PDの説明にありましており、目標8は今年度がPMの採択となりまして、特に研究開発体制の構築が順調に行われました。一部のプロジェクトから研究成果も見られたところでございます。

今後ですが、本目標については国内外との連携というのが必須でありますので、目標独自の立ち位置を見極めつつ、ほかとの連携体制を築いていくことが重要と認識しております。

また、様々な操作手法の有効性を費用対効果の観点も含めて明らかにして、必要に応じて適宜研究計画の見直しも行っていくことが重要と考えております。

制御方法だけでなく気象予測も含め、本目標で必要となる技術を考えて上で、本プログラムでカバーする研究領域、よそで進められている研究領域を整理してポートフォリオを考えて、目標達成のための研究開発が総体として実現されるようなマネジメントを行うことが必要と考えております。

以上に留意しながら、三好PDとプログラムを運営してまいりたいと思います。

続きまして、目標9の概要、進捗、今後の方向性について、PDの熊谷先生から御説明いただきたいと思います。熊谷先生、お願いいたします。

○熊谷PD よろしくお願いたします。目標9のプログラムディレクター、熊谷でございます。

目標9は、2050年までに、心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するという目標でございます。

一言で言えば、今のCPSとかもろもろの技術を活用しまして、人々の心の幸せを増大させる、そういった技術を開発していくということでございますけれども、ただ、幸せといいますが、十人十色ということで、全てに対応することは困難ですので、二つの側面に分けております。一つはネガティブ状態の抑制、もう一つはポジティブ状態の増進という、その二側面に沿った研究開発をしてございます。

その技術が開発された後にどういった社会が実現されていくかということですが、情報社会ということで、心の情報についてもシェアできる、安心かつ安全な形でシェアできる。そうすると、今言葉でコミュニケーションしておりますけれども、言語に頼らないコミュニケ

ーションについてもテクノロジーサポートができる。あとは、心、これは己で鍛えるといったところがありますが、そういったところが苦手な方にもテクノロジーでサポートができる。とはいえ、心とはこうあるべきものだとは画一的なものではなくて、多様な価値観を持つ、そういった社会が実現していく。そうなるべくと争いも減っていくとは思いますが、いざ争いが起きたときにも分断悪化せずに協力できる、インクルーシブかつレジリエントな社会を実現していくというのがこの目標のゴールというところでございます。

マイルストーンでございますけれども、3年目には、今実験室レベルで研究を進めておりますが、そのコンセプト検証が行われまして、5年目には一部実環境下でコンセプト検証が行われると。あとは、技術のよしあしを判断するためのスケール、その指標を開発中でございます。目標9、MS9 幸福増進指標というものを策定中でございます。それを5年目に確定させていくと。10年目には、それに基づいて技術を開発して、小規模で実証していきまして、2040年には自治体レベルにそれを搭載し、それでうまくいけば2050年に世界に展開していくということで、個人・集団・社会というものがトリプルウィンを達成するような社会の実現に向けて研究開発を進めております。

とはいえ、仮にいい方向であっても、心を動かされるのが不安だという方も当然おられますので、国民の皆様方としっかりと議論をしながら社会受容基盤を整えるべく、ELSIの議論は当初から進めております。こちら、プログラムの構成ですが、目標9のELSI全体検討会というものを設置してございまして、ELSI分科会等から助言いただきながら研究開発を進めております。

あと、国際連携も、ドイツのライプニッツレジリエンス研究所がこころのレジリエンス研究に関しては先行しておりますけれども、むしろ我々の方はポジティブ増進の方で先行しておるといふことと、あとは子どものこころを取り扱っているということ、あとはサルを対象とした研究を行っているというのも我々の方で先行しているといったところが、これは情報共有の中で分かってきまして、今連携を進めておるところでございます。

あとは、目標9の中だけで閉じずに、どんどんこれを社会へとオープンにしていくためのオープンイノベーションプラットフォームを構築しまして、学術、産業界、さらには市民の皆様方と協力しながら、新しいテクノロジーを社会へと実装していくといった体制も整えつつあります。

主役はこの12人のPMということでございます。アドバイザリーボードの助言の下、研究開発を5月末から順次開始いたしまして、実験体制が整いまして、今データを集めていると



いったところでございます。

進捗に関しましてですけれども、この 12 のプロジェクト、トピックはばらばらのように見えるかもしれませんが、例えばデバイスとか共通するもの、MRI とかを使っていたりとかありますので、ばらばらにやるのではなくて、お互いに近しい技術とか手法に関しては情報共有しながら目標 9 全体で進めていくといった中で、「こころの可視化技術・遷移技術」の開発を進めております。主観調査をここについても共有しております、生体情報計測、脳・神経活動の計測、さらに、データベースの構築についても議論をしております、どういったデータが共有できそうかといったところを今議論しております。あとは、ヒトのこころを扱っていく上で、やはり人間の侵襲的な研究というのが難しいところがありますので、マウス、げっ歯類や、あとはサルを用いた侵襲的な研究との比較の中で、ヒトの研究も比較しながら進めて、「こころの可視化」のみならず「こころの状態遷移」技術、ニューロフィードバック、フィードバックの技術についても開発中といったところでございます。

具体的な成果は幾つかございますけれども、今水先生のプロジェクトは、これまで四つの脳状態というものを定義できていたということですが、それを八つに拡張することができたということと、あとは、その八つの脳状態の遷移の動きの更新速度を 50 ヘルツで捉えることができるようになりました。10 ヘルツの場合ですと 0.1 秒に 1 回の速度で更新するものが、50 ヘルツになると 0.02 秒でより高速に更新でき、脳状態の動きをより高速に把握することができるようになったといった成果も出ております。内匠先生はマウスの研究をする上で VR を、人間ではなくマウス研究に導入されまして、よく VR では視角をイメージされますが、そこに触覚や嗅覚も加えまして、マルチモーダル化を実現することができまして、最先端のマウス研究ができることになったといったところでございます。

あと、ベンチマーク的なところですが、既に国内外で幸福度指標が出ておりますけれども、それらはおおむね主観的な満足度であったりとか、あとは行政で、例えば疾患であったり寿命であったり年収とか、そういったものがベースとなっておりますけれども、目標 9 は、そこにさらにバイタルのデータを組み合わせていくということが大きな特徴でございます。

あと、脳科学の研究については既に海外で大きなプロジェクトが進んでおりますけれども、それらの目的はおおよそ脳の構造や機能の全容解明であったり、疾患の治療への応用といったところが目標ですが、目標 9 は、そうした技術を用いながら社会を変えていくということが目標でありますので、その方向性が異なります。相互に補完的なところはありますが、進むべき道筋が違うというところがございます。

あと、プログラムマネジメントにつきましては、プロジェクト数が当初から多かったということもありますので、とにかく各 PM 間を越えた横連携というものを進めておりまして、例えば「マウスの会」と題して、マウスを対象に研究をしている研究者がプロジェクトを越えて情報共有する、そういった会も出来上がりますし、そういった横連携をどんどん進めております。

あと、国際連携を、特にドイツのライプニッツレジリエンス研究所と連携を進めております。お互いの情報共有というところからのスタートですけれども、どの辺りで目標 9 が先行しているかというところも見えてきましたので、こちらから情報を頂くだけではなくて、むしろこちら側から情報をどんどん出していくと。向こう側から目標 9 側に教えていただきたいといった要望も出ておりますので、相互発展的に、さらに、別の国々とも連携を広げていきたいと思っております。

産業界との連携、これはオープンプラットフォーム構想を今進めておりますし、広報・アウトリーチ活動、ELSI についても先ほど申し上げました。データについても、こういったデータが共有できるかといった辺りも PM と情報交換をしながら、データベースの構築等々に向けて議論を進めております。

目標 9 は「ワンチーム」というふうに申しております、統合的な成果創出、そして社会実装を目指して、これからも進めてまいりたいと思っておりますが、1 点補足であります、PM を追加公募することになりました。「子どもを対象としたこころのネガティブ抑制」を対象とする。今ポートフォリオから欠けておる状態でしたので、そこを追加公募するといったところで、一致団結してこの目標を進めていきたいと思っております。

ということで、以上で私の方からは報告を終わります。

○中島部長 熊谷先生、ありがとうございました。

目標 9 の総合評価としては、マイルストーンの達成あるいは達成への貢献が期待どおり見込まれ、成果が得られていると評価しております。

熊谷先生の御発表にありまして、また、目標 8 と同様に目標 9 は今年度 PM の採択を行った目標でありまして、主には目標全体の体制構築、プロジェクトの作り込みを行って参りました。

今後の進め方。熊谷先生の御発表にありましたが、幸福増進指標などの評価方法の検討においては、アンケートの主観的な方法だけではなく、脳科学など定量的・客観的なデータと組み合わせていくということが目標 9 の中では極めて重要と考えております。

また、目標 9 で考える社会像、方向性について、これを社会に押し付けることなく、悪用されないために ELSI をしっかりと考えていくこと。あるいは、社会実装をしていくために自治体・民間企業と組織的な協力体制を構築し、データプラットフォームも作っていくことが重要であると考えており、こちらは現時点から具体化を進める必要がございます。

また、「目標 9 はワンチーム」という言葉がありましたが、目標関係者全体で議論を進めながら、目標 9 が目指す社会というものをより明確にしていきながら、それをフィードバックしてプログラムマネジメントを進めるということが重要と考えております。

以上を踏まえつつ、熊谷 PD とプログラムを運営してまいります。

続きまして、目標 2 の概要、進捗、今後の方向性について、PD 祖父江先生から御説明をお願いいたします。先生、よろしくをお願いいたします。

○祖父江 PD どうも御紹介ありがとうございます。

私ども目標 2 は、「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」ということでございます。

目次はここに御覧になるようなものですが、各項目で話しますので、次へいきます。

これは目指す社会像を示しておりますが、左側は、人生を通じていろんなフェーズでデータを取っていく。右側は、日々の暮らしの中で、いろんな暮らしの状態があるわけですが、そこでデータを取って、これを生体シミュレーターに入れて、そこから疾患発症予防につなげていきたいということでございます。

これはポンチ絵でございますが、解決すべき課題としては、今までの医学というのは疾患が発症した後に対応するという治療対応を行っていたんですが、私どもの考え方では、例えばがん、健常から未病、これはちょっとネットワークが変化して未病状態、ここにちょっと黄色いのが出ていますが、それで、がんの早期、それから発症と、こういう順番に行くんですが、この未病の状態が各疾患によってかなり構造が違っているということがございますので、それを見極めた上で予防法を立てていくと。下に認知症、糖尿病、ウイルスなどありますが、それも個々にやっていこうということでございます。これは 10 年、20 年のタームで、この未病状態が潜行するというものもあるというふうに考えます。

それで、これがプログラムの構成でございますが、四つのアンメットニーズの高い疾患と、この目標 2 の特徴としては、バイオと数理科学の連携、融合をやって更に高いものを見いだそうということございまして、がん、糖尿病、認知症、感染症、四つのグループは独立して動いてございますが、その個々の中に生物系、バイオ系、数理系の PI が混在していると。

それと別に、合原先生のグループに全体を統括していただけるということでございます。

それで、データベースのところが非常に重要でございまして、藤原・山地グループが NII の GakuNin というものを利用して今動き出しているところでございます。

それからもう一つ、先ほど申し上げた数理モデル化ということに関しては二つのモデル化が出てきております。

今まで合原先生のグループの DNB 理論がずっとあったんですが、これは、未病状態はいろんなものの揺らぎが起こると。例えば遺伝子発現の揺らぎが起こって、これ、健康状態では安定しているんですが、揺らぎが起こってそのあと一定期間で病気の状態に入るということです。

それと似たところもあるんですが、最近、松浦グループから深層生成モデル理論というのが出てまいりまして、これは、シングルセルの RNAseq をベースにして、アンプライズとスプライズのメッセンジャーRNA の比率を指標にして、揺らぎあるいは細胞遷移状態をダイナミクスに捉えていこうというものでありまして、実際にウイルス感染で成果が、PoC が得られているという状態まで来ております。

ここでは成功例を一つだけお示しします。これはメタボリック症候群の例で、合原先生らのグループでございますが、7、8週で発症するメタボリック症候群のマウスモデルというのがございますが、5週目に147の遺伝子の揺らぎがばーっと上昇するわけです。ここに上昇していますね。それをいろんな取組をやって、防風通聖散というものでこの揺らぎを抑えてやると発症が止まったというような事実が見いだされました。さらに、最近、この147の遺伝子の中で、制御理論、数学の理論でございまして、これを使って、この147のうち二つの遺伝子に絞り込むことに成功しています。この遺伝子を扱うことによって全体を止めることができるかどうかというのは現在検討中でございます。

さらに、がんなどの慢性疾患についても、この DNB 理論が未病状態の検出に有効であるということを見いだしておりますし、それから、肺がんの形質転換、特に腺がんから扁平上皮がんですが、この場合は DNB 理論が使えるということを見いだしております。非常に幅広い場面でこの DNB 理論は使えるんじゃないかと、数理的なモデルとしてですね、ということでございます。

さらに、現在、この DNB 理論の応用拡張ということを行っております。例えば、非常に長い経過を取るものでは、健常から発症に至るまでに、この多段階の形質転換というようなものがあるんじゃないかということがだんだん分かってきておりますので、この前、前、前

に未病状態が存在すると、これを数理的に見いだしていくということでございます。これは臓器別に多分違っているだろうということでありまして、それから、先ほどの制御理論で見いだした遺伝子のターゲットを絞り込んで、介入に結び付けるということも今進めているところでございます。

それから、これが世界のあるいは国内の研究動向、ベンチマークでございますが、今、世界的に Human Cell Atlas、Human Brain Project あるいは Brain Initiative というのが欧州・米国を中心に動いておりますが、これらは主に健常状態の細胞の遺伝子発現を計測していこうということでございまして、同じ未病のコンセプトのプロジェクトは世界的に見当たらないというのが現状でございます。中国で少し動きがございまして、世界的には日本が非常にリードしているということだというふうに考えております。

それで、二つのポイントが今エンカレッジして進めようとしているところでございまして、一つは、先ほど来申し上げている未病を取り囲むデータセットを非常にたくさん、多臓器・多時点で高精度に取っていくことによって数理モデルに変換する。このプロセスをどんどん加速していこうというのが一つの大きな PoC の獲得に結び付くものだと考えております。

それから、もう一つは大規模データデポジットの構築でございますが、これは、現在はこのグループの中で共有していますが、将来的には未病データセットバンクというようなものを構築して、これは、先ほど申し上げたように、世界で類を見ないデータバンクになると思っております、未病についての。世界的にあるいは国内的に大いに利用していただくということを今進めているところでございます。

個々のものは今日御紹介なかなかできませんが、時間の関係で、二つだけ御紹介しますと、こちらは合原グループでございまして、これは先ほど申し上げたメタボリック症候群の、更に多臓器・多時点でのサンプリングを行っていきます。非常に多数の点を検討します。それから、ヒトへの展開ということも同時に行っていこうというふうに考えております。

それから、もう一つは松浦グループでございまして、多種類のウイルスの感染のモデルの確立に成功しておりまして、今 12 種類ぐらいウイルス感染についてやっております。先ほどのような、DNB 理論、深層生成モデル理論などで数理化モデルに落とし込む。さらに、ヒトについてもデータがそろってきておりまして、DNB 理論をやっていこうということでございます。

それから、データマネジメントについては、先ほどちょっと触れましたけれども、データベース作りというのは非常に重要でありまして、データ格納・利用の推進と倫理に関する合

意形成ということをやっておりますし、それから、統合データベースの構築に向けての運用を、それぞれデータベースマネジメント支援チームとして、山地先生を中心にするチームを作っておりますし、こちら ELSI についても飯島先生を中心にするチームで対応しているところでございます。

それから、プログラムマネジメントの状況、国際連携でございますが、先ほど申し上げたように、幾つかのものが世界的にあります、コンセプトが違っておまして、未病というものが、これは、もともとアジアのコンセプトでございますので、世界的には類似のものはなかなかないということでございますが……これですね、済みません、知財との関係で、できれば非常に展開していきたいというふうに思っております。

それから、産業界との連携・橋渡しということも非常に積極的に行っておりますし、広報・アウトリーチ活動も積極的にやっております。例えばタレントの田村さんとの会談などユーチューブなんかもたいへん利用されているところでございます。

今後の方向性でございます。これは先ほどと同じスライドでございます、一番下に書いてございますが、さらに 10 年後にはどういう状態になるかという、未病の形が明らかになってくると、介入予防の方策がきちっと見えてくると、ヒトへの展開が明らかになると、方法、PoC が明らかになると、それから、国内外で利用可能な、世界にユニークな未病データベースセットが構築されるということでございます。

以上でございます。どうも。

○中島部長 祖父江先生、ありがとうございました。

目標 2 の総合評価は、マイルストーン達成あるいは達成への貢献が期待どおり見込まれ、成果が得られているという評価となります。

未病及び超早期の疾患予測・予防を実現するための要素技術の研究開発が順調に進んでおります。

今後ですが、目標 2 では数理的解析と生物学的解析の連携が重要となりますので、これを更に重層的に深めて、データを用い未病マーカー遺伝子を同定するなど、予備的解析データをどんどんと出していくことが期待されます。今後の研究開発に当たっては、疾患予想・予防に向けて、実現できる疾患を優先的に解析し成果を出していくこと、あるいは、DNB 理論を拡張した疾患統一的な理論構築を進めていくことが重要と考えております。

以上に留意して、祖父江 PD とプログラム運営をまいります。

JST 担当する目標 8、9、2 の報告は以上となります。

○星野座長 ただいまの説明につきまして、有識者の皆様から御意見をお願いいたします。

それでは、福井委員、お願いいたします。

○福井委員 それでは私から、最初に祖父江先生にお伺いします。未病という概念そのものに対して、人によって、必ずしも同じコンセプトを持っているというわけではないと思いますが、その中で、最初の方に示された解決すべき課題のところのがんや認知症、糖尿病、ウイルス感染の図は恐らく正しいと私も思っています。これを示すような、健常時から前がん状態、がん化超早期、発症に至るプロセスを実際のヒトのデータを用いた実証を、おそらくビッグデータが必要になるように思いますけれども、どこかでやっていただければ素晴らしいと思います。私もこの未病状態は同定できるだろうとは思っていますが、実際のデータとしては余り見たことのないものですから、もし可能でしたら、お願いできないかというのが一つの意見です。

次に、目標9は、私も非常に重要な、また興味深いテーマで、是非進めていただきたいと思っています。その中で一つ、最初の解決すべき課題のスライド4枚目のところの、2027年までに幸福増進指標の提示というのがございまして、この指標を何に取るのかによって、このプロジェクトの方向性とか評価が大きく異なってくるのではないかと思います。最終的に全ての人々が生きがいを持って生活できる新たな社会は、そもそもがどういう指標で表されるのかということも最終的には考える必要があり、その指標をどうするのか。臨床現場では非常に細かい指標はたくさん開発はされているんですけども、ここで言う「幸福増進」に関わる指標というのはどういうものなのかがクリティカルではないかと思いました。

最後に、目標8につきましては簡単に。気象制御研究の中で、気象制御という概念が国際的にもあまり認知されていないというお話だったと思いますけれども、全体的には温暖化の中で起こっている事柄であり、温暖化に関わる様々な学会やプロジェクトの中で、この目標8はどのような扱いになるのか、知りたいと思いました。以上です。

○星野座長 ありがとうございます。

今の御質問に対するお答え、よろしいですか。

○祖父江 PD 目標2の祖父江から。ありがとうございます。非常に重要なポイントを突いていただきまして。

ただ、未病というものはどういう構造をしているのかということを見ていくということ自体が非常に大きなこの目標2のテーマになっております。つまり、世界の人で、先生おっしゃるように、あの図のような形が部分的には今あります。例えば、がんとか認知症では、例

えば認知症でAベータ蛋白質が沈着して神経細胞が変化するというようなプロセスが、10年、20年前からあるだろうということは分かりつつあるんですが、実際にそれが時系列でどう動いているのか、あるいは、神経障害とのディテールがどうなっているのかというのは全く分かってないんですね。

ですから、それを見極めていくということ自体が非常に大きなテーマになるというふうに思っております、非常に重要なポイント、最も大事なポイントで、そこが分かってくれば、かなりの部分が解決できるというふうに思っております。ありがとうございます。

○熊谷 PD 続きまして、熊谷の方から回答させていただきます。

先ほど先生がおっしゃったとおりで、この指標というものが社会に大きな影響を与える可能性があるということで、まず、1点気を付けないといけないのは、この指標ができたときにそれが画一的なものになってしまうとよくないということで、要するにこの指標に沿うものが善であって、沿わないものが悪であるというふうに決めつけてしまうという形になるのはよくないので、その点は気を付けないといけないと思っております。私どもが今、打ち出している軸としては、ポジティブ状態の増進のクラスター、ネガティブ抑制クラスター、この二つについては現時点で確定しているというところです。

その中に様々な要素があると思います。例えば今前向きというワードが出ているんですけども、それと例えば楽観というものが、どの部分がどう同じで違うかといったところも今、検討中でありまして、そうした中で幸せの全ての要素をカバーするというよりは、その中で確実にサイエンティフィックに動かせる、可視化できる、動かせるといったところを重点的に見ながら、ポジ増進、ネガ抑制の両面から提示していきたい。そのように考えておりますし、5年目で出したものを確定的なものとするのではなくて、そこからまたいろいろクリティカルな意見が出ると思っていますので、また国ごとによっても解釈変わると思っていますので、そういったところも順次、フレキシブルに修正していきたい、そのように思っております。

引き続きよろしく願いいたします。

○三好 PD 目標8の三好です。

温暖化の研究の中で気象制御がどのように扱われているかという御質問だったかと思えますけれども、温暖化に関しましては、気候が永続的に変わっていくような現象、人為起源で温室効果ガスを排出したために温暖化が今起こっている。それに対してジオエンジニアリングというアプローチで、例えば成層圏に微粒子をばらまいて日射を防ぐことによって温暖化を防ごうと、あるいは温暖化に対して寒冷化させるようなことを人為的に何かしようとい



うような考え方はありまして、実際にそのような研究や、あるいは企業がそのようなことに取り組むということもされ始めているというふうに聞いています。

ただ、私たちのこの研究は、気象を永続的に変えていくという、気候自体を変えていくというものではなくて、変わっていく気候の中で、このような激しい現象が起りやすくなってきた。その現象を、気候を永続的に変えるのではない方法によって、気象の自然変動の範囲内で制御していこうという考え方で、このような考え方に基づいた気象制御という研究は、雨を増やそうというような人工降雨みたいなアクティビティはこれまでもありますけれども、私たちは数理科学に基づいて、特にカオス性をうまく使うことによって制御をできる範囲を広げようというふうな考え方をしております、こういう考え方で今行われているような研究というのはこれまで新しいものであるというふうに理解しております。

○星野座長 ありがとうございます。

それでは、須藤委員、お願いいたします。

○須藤委員 ありがとうございます。

1点だけお聞きします。目標8ですけれども、台風のような大きなものの制御というのは夢があって、また何となく目指している方向も分かりますが、もう一つ、今日説明のあった小さなスケールの気象制御ということで、線状降水帯とか都市の豪雨というものは、これを実際に制御するということがちょっとイメージがつかみづらいです。具体的にこういった線状降水帯のようなものを制御するというような、まだその可能性を調べている段階なんでしょうけれども、こういったものが本当に制御可能なのかどうか、その辺の見通しを、もしあったら教えていただきたいです。

○三好PD ありがとうございます。

例えばですけれども、線状降水帯が起こることが予測されたときに、その場所を少し動かすですとか、あるいは都市域で起りそうだったものを被害が起こらないような場所、例えば海上で降らせてしまうことで陸上にやってくる水蒸気などを減らしつつとか、そういったようなことは可能性があるのではないかなと思って研究を進めているところです。

○須藤委員 分かりました。興味あります。期待していますので、よろしくお願いします。

○三好PD ありがとうございます。

○星野座長 それでは、梶原委員、お願いいたします。

○梶原委員 どうもありがとうございました。

目標2の祖父江先生のプロジェクトですけれども、未病というテーマで人の健康に非常に

重要な取組になるわけですが、人のことを考えると、やはりこの領域は、ジェンダード・イノベーションと言われてるような性による差だとか、もしかすると人種による差みたいなどころも考慮すべきかもしれませんので、その辺を確認したいです。そういう意味では、この領域に携わる研究者の女性の割合といいたいでしょうか、今どのくらいの女性がこの領域に携わっているのかを伺えればと思いました。

それから、目標8ですけれども、気象を制御する、自然を制御するというようなことで、総合知的な要素で人がどのように、社会はどのように受け止めるかというところもあるかと思っています。じっくり見ていくと、気象制御というのはすごく壮大な印象を抱く一方で、気象を制御するという表現は、言葉の機微として違和感を感じてしまうところもあり、異常気象の緩和みたいに言っていただくと私は個人的に受け入れやすいです。そういう意味では、海外の研究者の方々は英語でこれを何と言ってるのか気になりますが、最終的に社会に受け入れられるような認知がされるような取組をしていただくということをお願いしたいと思います。

以上です。

○祖父江 PD それでは、祖父江の方からまずはお答えさせていただきます。

ありがとうございます。今後の実装化に向けて非常に重要な御指摘だと思います。

性差、人種、あるいは様々な背景によって、未病の在り方、それから、発病するかどうかというところが違ってるんじゃないかというお話だと思います。正に私どもそういうことを考えておまして、一つには、6名のグループからなる日本のオピニオンリーダーの方々に集まっておきまして、ELSI の関係のことを今、同時並行で進めております。

そういうような社会的な問題、例えばもっと言うと、将来あなたは何かの病気に何%でなるよということ自体を拒否する人とか、いろんな方々がおられる可能性があるんで、これをサイエンスベーストの形でどういうふうに展開していくかということをやっつけていかないと、恐らく実装化できないんじゃないかというふうに私ども考えておまして、そこは非常に重要なポイントで今進めているところでございます。

それからもう一つは、遺伝子が非常に多様、人は動物モデルと違って非常に遺伝子背景が多様ですので、そういうことも関係してる。恐らく、それは食生活とかいろんな文化とかいろんなものが関係してるんだと思いますが、そういうものも、特に生物学的なところが重点になりますけれども、同時に人の場合はどうかということも今、並行して調べ始めたところでございますので、また御報告できると思います。どうぞよろしく願いいたします。

○三好 PD 気象制御という言葉について御指摘どうもありがとうございます。気象を制御するというとおっしゃるとおり誤解を招くことが十分想像できるというふうに考えておりました、特に一般の方々、専門外の方々に正しく理解していただくためには、どんな気象でも好きに変えられるというような誤解は是非避けるべきだと思いますので、異常気象の調節、あるいは緩和といった分かりやすい説明を丁寧に繰り返していく必要があるかなというふうに認識しております。どうも御指摘ありがとうございます。

○梶原委員 ありがとうございます。

○星野座長 ありがとうございます。本日の有識者からの意見も踏まえて、研究開発を着実に推進していただきますようお願い申し上げます。

それでは、目標7における進捗、自己評価の報告について、AMED から御説明をお願いいたします。

○澄川次長 ありがとうございます。

目標7を担当させていただいております。それでは、目標7、各プロジェクトの進捗・成果につきまして、まずは、PD の平野先生の方から御説明をさせていただきたいと思います。

○平野 PD 目標7のプログラムディレクターを務めています平野でございます。

この目標7は、2040年度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サステナブルな医療・介護システムを実現を目指すということでございます。

そして、このスライドにありますように、三つのターゲットがあります。このターゲットが相互関連して行われているわけでありまして。これは日本の不健康時間、すなわち平均寿命と健康寿命の差を示しています。青色が平均寿命で赤色が健康寿命ですが、そこには差となる不健康時間が存在します。健康寿命とは活動制限なく自覚的健康、介護の必要なし、慢性疾患なしなどの健康な状態で生存する期間です。この不健康時間は大体、男女差ありますけれども、平均すると10年ぐらいということになっています。これを限りなくゼロに近づけるというのが、本目標の最終であります。

加齢に伴って関節リウマチのような自己免疫疾患とか、あるいは、アルツハイマーとか2型糖尿病、あるいは心臓疾患、腎炎などの炎症性疾患、あるいは肺がんとか肝臓がん、様々ながんが起こってきます。これらの加齢に伴う疾患のベースには、慢性炎症が非常に重要であるということが最近言われていまして、その慢性炎症を引き出す原因としては、感染であるとか、あるいは老化そのもののようなものに加えて、例えば肥満とかストレスとか喫煙の

ような生活習慣、そういうものが密接に関係しています。

先ほどの目標2は、恐らく未病というのは、このじわじわしたまだ発症しない慢性炎症状況を多分示してるんだと思います。これが全てでないとしても。目標2ではここのところを数理的に解明するという先ほどのお話でしたけれども、我々はどちらかといえば、こういう未病状態、あるいは慢性炎症状態を引き金とする老化であるとか肥満とかストレス、こっちの方向から攻めていくというような形で、ちょっと違いがあるような気がしました。

これは全体像であります、慢性炎症をキーワードとして現在、微小炎症制御であるとか睡眠制御であるとか、あるいはミトコンドリア制御、老化細胞制御、リプログラミングというこの五つのPMが既に走ってしまっていて、今回報告するのはこの5人のPMの話であります。

さらに、本年度は新規に腸内細菌制御で本田 PM、それから、どこでも炎症制御という南学 PM、これは日米がん連携であります、発がん予防・がん免疫制御ということで西川 PM、がん細胞を正常細胞へで古関 PM を追加して、全体で9PMで進めています。

本日はこの赤のところを主に説明いたしますが、例えば阿部 PM ですが、ミトコンドリアを制御するというので、この1年の成果の一つは、開発中である MA-5 というミトコンドリア治療薬がありますが、これの鏡像異性体である R 体にもそういう効果があるということを見付け出して、実際に老化マウスで効果があるということを見だし、特許も出願しました。これは、元の MA-5 に比べて副作用も弱いということで、創薬に向けて有効ということでもあります。

もう一つは、創薬に向けてのバックアップ化合物として、MA-5 に加えて五つの構造体にミトコンドリアを活性化し、ATP を増加作用がある、あるいは長寿関連遺伝子の発現量を増やすということが判明し、PCT 出願しています。

栗田 PM ですが、これは組織胎児化によって、例えば手足が生えるようなという野心的なプロジェクトであります、そうは言ってもなかなかうまくいきません。しかし、最近、ここにありますように、内部組織の構造が何となく見えるようなところまで来ています。骨ができるとか、そういうところまではまだ行ってませんし、まだまだゴールには行っていません。ただし、このアデノ随伴ウィルスベクターを新規開発し、また非常に有効なドラッグデリバリーキャリアシステムを開発したという成果があります。

それから、中西 PM。これは、先ほど言った老化細胞そのものを取り除くということです。老化細胞というのは若いときからあるのですが、それがどんどん年取っていくと増えてきます。それは慢性炎症の元になるということは分かっているのですが、これをいかに取り除く

かにはいろんな方法があります。がん免疫療法の一つであるチェックポイント療法で使われる PD-1 抗体が有名であります。こういう免疫のブレーキを壊すことによって免疫が老化細胞を除くということを示しました。また、かねて彼らが開発していた GLS-1 阻害剤によって、実際、老化細胞が除けるということを示していますが、今回、その老化細胞を除くことによって、マウスの慢性腎炎モデルでこれの予防効果があったというようなことを実際に示しています。

さらに、村上 PM でありますが、これは病気につながる微小炎症を早期に発見し、それをニューロモデュレーションによって病気の芽を摘むという、未病の状態を摘むということがあります。この1年の成果としては、様々な自己免疫疾患である全身性エリテマトーデスの患者さんの血液を解析して、免疫細胞の状態を解析することによって、未病状態であるか、発現または病気になる直前であるか、あるいは、どの部位で病気が起こりそうかが分かる、という基礎的な情報を得ることができたということです。

もう一つは、関節リウマチというのは左右対称というのが非常に特徴的ですが、この右側に起こった関節炎が左にも起こるというのが、どうも介在ニューロンを介しているということを実験的に同定いたしました。これは、これ自身が非常に興味ある結果であります。将来、これはニューロモデュレーションの一つの標的になるということも、このデータから分かってきます。要するに、こここのところの神経を操作することによって、右の病気が左に行くことを防ぐというような、そういうイメージです。

もう一つ、柳沢 PM ですが、これは睡眠制御であります。一つの大きな成果は、彼が最近見付けたものは、睡眠の質は大脳皮質で、睡眠の量というのは視床下部で制御されることです。それぞれの興奮性ニューロンが制御していて、その中に SIK3 という酵素を含むシグナルパスウェイがあるということと同定しました。これは結構世界的にも注目されているものであって、これは標的の SIK3 という酵素が同定されているので、これが今後、睡眠の質・量を制御する創薬にいくであろうということになります。

それからもう一つは、普通、熊は冬眠しますが、ネズミとか人間は冬眠しません。しかし、ネズミでも冬眠できるんだということです。冬眠するのを誘導する Qニューロンとこのを見付けました。実際にその Qニューロンを光操作することによって、ネズミに冬眠を起こさせるようなことができるということを発見しています。

このように、まだ開始2年で、しかもこれは 2040 年までの長期プロジェクトですが、今言いましたように、少しずつ著しい成果が出つつあります。

今後の方針であります。今言いましたように、各プロジェクトの進捗状況、予算状況を踏まえて、長期的な観点から最終的な社会実装に向けて国際連携、あるいは企業との連携をより推進していくとともに、臨床応用、実用化に向けて進めていきたいと思っております。

それからまた、栗田 PM はフィージビリティスタディなので、これは来年度、中間評価で今後どうするかということを決めなければならないということになります。また、先ほどの目標 2、祖父江先生のグループであります。目的はかなり似てるとは思うんですね。ただし、アプローチが少し違うというのは先ほど言ったとおりであります。今後、目標 2 と連携した合同の技術交流会を 6 月に予定しています。それからまた、国際連携に関しては国際シンポジウムを 7 月に予定しています。実際の研究者がお互い意見交換して、連携の加速に向かっていきたいと思っております。

ということで、時間の関係で非常に早く説明いたしました。これから以降、自己評価に関して、AMED の澄川次長から説明をいたします。

○澄川次長 平野先生、ありがとうございました。

それでは、AMED 澄川の方から説明をさせていただきます。

自己評価に関しまして、研究に関しましては、平野 PD から御説明いただきましたとおり、それぞれ研究は順調に進捗をしているというような評価をしております。これによりまして、各プロジェクト間の連携も生まれておりますし、将来の社会実装に向けた企業との連携、ベンチャーとの連携というのも始まってございます。

本目標における強みとしましては、まず、慢性炎症をキーワードとして、プログラムが運営されることによって連携というもの、例えば今年度は技術交流会なども行ってございまして、こういったものを契機としながら、プロジェクト間の相乗効果が表れているものと考えております。

一方で弱みとしましては、社会実装に向けた更なる取組、あるいは ELSI への対応、こういったものを挙げさせていただいております。社会実装につきましては、今後に向けてより社会実装を実現していくための相談の窓口のようなものを AMED に設け、PM を支援するような仕組みを入れていきたいということを考えております。また、ELSI への対応につきましては、来年度、各プロジェクトに ELSI 担当者の配置をお願いしておりますので、そういった方との間で交流会という連携の仕組みも導入をしていきたいということを考えてございます。

あとは、個別の評価項目、次ページ以降またがっておりますが、1 点だけ、おめくりいた

だきまして13 ページ中ほど、2-2、国際連携による効果的かつ効率的な推進というところで、先ほども国際シンポジウムですとか国際連携を進めているというのに加えて、実務的には、海外分担機関の機関数で申しますと4機関が今入っております。こういったところも取組をしっかりと進めておりますということを御説明させていただきまして、自己評価の御報告とさせていただきますと思います。

ありがとうございました。

○星野座長 それでは、ただいまの説明について有識者の皆さんから御意見をお願いしたいと思います。福井委員、お願いします。

○福井委員 平野先生がおっしゃいましたように、祖父江先生のところとの連携を是非密接に取られるとよいと思いました。例えば、先ほど私が祖父江先生に質問させていただいた点ですけれども、明らかにがんそのものが見える、細胞レベルなのか遺伝子レベルなのか分子レベルなのか分かりませんが、それと健常な状態との間に何かしら、いわゆる未病とか前がん状態があることと似たようなことが慢性炎症も平野先生がおっしゃったとおり、そういうところの病態を指すために使われている言葉だと思いますけれども、この慢性炎症自体が細胞レベルの変化のことを言っているのか、遺伝子レベルの変化のことを言っているのか、分子レベルの変化を言っているのがちょっと分からないところがございます。具体的に、我々臨床医は熱感があつて発赤があつて腫脹があつて痛みがあれば炎症という言葉を使いますが、ここで言う慢性炎症というのが何を指すのか。祖父江先生のところと連携を取られることで、病態生理学的により分かりやすい言葉で記述できればいいなと思いました。

個々の研究については非常に順調に進んでいて、新しい知見も得られてきているようですので、すばらしいと思っています。

コメントだけです。以上です。

○星野座長 ありがとうございます。

どうぞお答え、お願いできますか。

○平野 PD 福井先生、どうもありがとうございます。

先生おっしゃったように、要するに、いわゆる教科書的な急性炎症です。発赤があつて腫脹がある。あれは基本的には微生物がウイルスとかいろいろ入ってくると、それで免疫応答が起こる。それで自然免疫の一つの反応としてあのような急性炎症は起こりますし、組織損傷だと今度は組織を修復しなければならないということで、こちらに関してもやはり炎症は起こるわけです。このような炎症は正にコントロールされて、ちゃんとしかるべきときに起

こって、しかるべきときにちゃんと収束してハッピーエンドになるわけです。

ところが、私たちが今考えている慢性炎症というのは、結局、多分行われていることはプレーヤーは一緒です。例えばオーケストラでバイオリンがあつて太鼓があつて、それがコンダクターの下に非常に制御正しくいい音楽を奏でているのが急性炎症だとすれば、慢性炎症というのは、指揮者は関係なくもうめちゃくちゃにそれぞれのバイオリンが鳴ったり太鼓が鳴ったり、それがあちこちでじわじわじわじわ起こってる、そういう状況だと、私は分かりやすく言えばそうなんだと思つていまして、これは制御されないじわじわ炎症であると思つます。制御されてない炎症は、じわじわと起こっています。それが長年続くと、結果としてがんとかこういう病気になるわけですが、さっきの祖父江先生で言うと、これは未病状態ということになると思つます。それは多分、引き金が何かということで、かなり未病状態というのは変わってくると思つます。祖父江先生のグループはデータベースでやっておられますけれども、でも、それは何が引き金になつてる未病状態なのか、例えば老化細胞が引き金だったのか、肥満が引き金だったのか、あるいは睡眠負債であるとか不眠が引き金、あるいは、例えば COVID-19 のような感染症の後遺症も感染症が引き金になる。感染症といつても、新型コロナウイルスとインフルエンザじゃまた違つます。

しかし、だから中身は少しずつ違つと思つます。その辺、一概に未病状態といつても非常に多様性が富んでいる。これは多様性が富んでいるから、未病状態の中で、ある人はがんになって、ある人はアルツハイマーになって、ある人は関節リウマチになるわけで、ここは決して未病状態といつても一概でないということです。

だから、ここに書いてある慢性炎症といつても、一概、みんな同じじゃない。それは恐らく引き金が何かによって多様性があると思つます。

だから、祖父江先生の話を知っていると、どうも慢性炎症というか、未病状態をデータベースで解析しようというのが主のように思つました。我々はどちらかと言えば引き金をどうしようと考えます。例えば老化細胞そのものを取つてしまふとかいうのは、正に引き金を取つてしまふという話です。あるいは微小炎症をニューロモデュレーションで摘むというのは、それも慢性炎症の引き金を取つてしまふということです。あるいは睡眠を制御することによって微小炎症、慢性炎症の引き金を取ることです。

もちろん目標 2 とは非常に相補的です。6 月に早速、技術交流会を開催する予定ですので、またよろしくお願ひします。

○星野座長 続きまして、梶原委員お願ひします。



○梶原委員 どうもありがとうございました。

ムーンショットプログラムはデータを登録していくということがマストになっていると理解していますが、JST 側のプログラムの発表のところでメタデータの件数がございましたけれども、こちらのプログラムの方で、どういった状況になっているかを別途で構わないので教えていただければと思います。

○星野座長 波多野委員、お願いできますか。

○波多野委員 波多野です。ありがとうございました。

今、梶原委員がおっしゃったことと同じくデータに関してです。目標 2 と連携するとしても、一番重要で効率的であるのは、データを介した連携と思いました。平野先生のリーダーシップの下、慢性炎症という切り口で 2030 年から社会実装が進んで最後のゴールに到達するという壮大な目標ですが、国際連携するとしても、その目標 2 と連携するとしても、データが重要だと思いましたので、またその辺を御計画いただければと思いました。

以上です。

○星野座長 1 点だけ私からお伺いをします。

10 ページで睡眠の質と量を制御するというお話をお伺いしました。睡眠の質は脳皮質の興奮性ニューロンが制御する。そして、睡眠の量は視床下部の興奮性ニューロンが制御するということが明らかになったという御報告を頂きましたが、これがこの睡眠を改善するというか、その目標に向かうためにどういうところで効果を発揮するのでしょうか。

○平野 PD 私も睡眠の専門家じゃないので、間違ってるかもしれませんが。これは今おっしゃったように、こういう部位が分かったということです。しかも、部位が単に分かっただけじゃなくて、そこにあるシグナル伝達パスウェイ、ここに酵素 SIK3 が中心と書いてありますけれども、その SIK3 が中心的な役割を果たしているということが分かったということが重要で、そのことは逆にこの酵素の発生を薬剤とかいろんな方法でモデュレーションすることによって、例えば睡眠の質を深くするとか、睡眠の量を多くするとかということが可能になる、その道筋が見えたというふうに理解したらいいんじゃないかと思っています。

○星野座長 はい、ありがとうございます。大変参考になりました。

それでは、閉会の議事に移りたいと思います。

本日は長時間にわたりまして御議論を頂き、ありがとうございました。最後に事務局から今後のスケジュール等について説明をお願いします。

○龍澤参事官 長時間ご議論いただき、ありがとうございました。

本日の議事概要につきましては、後日、確認をさせていただきます。また、本日、時間の関係で回答できなかった件につきましては、後日メールでお答えしたいと思いますので、何とぞよろしくお願いいたします。

最後に、目標 8、9 に関しまして、新たな課題に対応する PM を公募するという話がございました。また、前回、戦略推進会議では目標 5 についても、ステージゲートを踏まえた新たな PM を公募するという説明もございました。

これらにつきまして、現在公募を実施しておりますが、また採択前に有識者の皆様には書面等で報告させていただきたいと思っておりますので、よろしくお願いいたします。詳細については、追って事務局よりお知らせいたします。

以上でございます。

○星野座長 ただいまの説明について御質問はございますか。よろしいですか。

それでは、会議を終了いたします。

本日は活発な御議論を頂きまして、誠にありがとうございました。

午後 0 時 0 5 分 閉会