

概要

本調査研究は、科学技術予測調査の一環として実施したものであり、科学技術・イノベーション政策において重要と考えられる脳科学研究に焦点をあて、その推進に向けた革新的な計測技術の開発とAI等による解析の方向性について専門家ワークショップにて検討した。

まず、専門家へのインタビューと国内外における脳科学プロジェクトの動向分析により、4つの主要研究開発領域を設定した。それら主要研究開発領域に属する要素技術・システムのうち、2018年時点で実現していないものを対象に今後の研究開発の方向性について検討し、22の科学技術トピックをまとめた。

さらにこの22の科学技術トピックについて、その新規性を分析する目的で、NISTEPが2014～2015年に実施した科学技術予測調査(以下、第10回科学技術予測調査)で取り上げられた科学技術トピックと比較した。

本調査結果は、第11回科学技術予測調査でのデルファイ調査において、科学技術トピック(研究開発課題)を設定する際に活用した(デルファイ調査は、2019年2月20日より実施)。

1. 科学技術・イノベーション政策における脳科学、AI、ビッグデータ解析技術の重要性－世界的動向、日本での課題と取組状況、研究特性の3つの観点から－

超高齢社会を迎えた我が国では、健康寿命の延伸が大きな課題である。健康・医療・介護分野における研究開発とその成果の社会適用が求められており、その中でも脳科学は主要な研究領域の一つとして位置づけられている。その大きな理由として、疾病による社会負担の大きさを示す障害調整生命年(disability adjusted life years, DALY)を指標とした場合、日本を含む先進国では、脳科学の対象である精神・神経疾患が最大の原因となっていることが挙げられる(2009年に発表された世界保健機構(WHO)の統計より)。具体的な例では、認知症やうつ病はがんと異なり死因としては現れにくい、日常生活や労働の質の大幅な低下をもたらしており、健康社会への負のインパクトが高い疾患であることが知られている。

また脳科学は、健康・医療・介護分野はもとより、教育・訓練、事業戦略まで出口が広く、多様な社会貢献が可能であることも、重要視される理由となっている。加えて脳科学は、人間とは何か、心とは何かという人類の永遠の問いに答えられる学問であり、基礎研究として重要な位置づけにあることは論をまたない。さらに脳科学は、Gサイエンス学術会議の共同声明「脳の理解、疾病からの保護、国際的な脳関連リソースの開発」の例にみるように、国際的な科学技術政策において注目されている。

近年の脳科学研究では、米国のBRAIN Initiativeや、同年にEUフラッグシッププロジェクトに採択されたHuman Brain Projectなど、世界的に大型の研究事業が展開されている。我が国でも、2015年に設立した国立研究開発法人日本医療研究開発機構(以下、AMED)では、9つの統合プロジェクトの一つとして「脳とこころの健康大国実現プロジェクト」を推進している。これら脳科学研究事業では、近年の計測技術やICTの進展を見据えて、脳情報の読み出しや制御に関する革新的な技術の開発により高精度な大規模データが蓄積・共有されるとともに、脳の理論や計算機科学を

活用した融合型研究が推進されている。

一方、我が国の科学技術・イノベーション政策の柱となる第 5 期科学技術基本計画に目を向け、サイバー空間とフィジカル空間(現実社会)が高度に融合した「超スマート社会」(Society5.0)を目指して、AI やビッグデータ解析技術等(以下、AI 等解析技術)を強化する取組が進められ、脳科学と AI 研究との連携・融合による次世代 AI の開発が推進されている。総じて、日本の目指す社会の実現に向けて脳科学や AI 等解析技術が大きく貢献すると期待されている。

2. 脳科学研究における計測技術と AI 等による解析に関わる主要研究開発領域の設定

専門家へのインタビューと、欧米をはじめとする海外の脳科学プロジェクトの動向、及び文部科学省がとりまとめた「国際連携を見据えた戦略的脳科学研究の推進方策について一中間とりまとめ」(科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会／学術分科会 脳科学委員会 国際連携を見据えた戦略的脳科学研究推進に関する作業部会、2017 年 8 月 1 日)の情報を参考にして、以下4つの主要研究開発領域を設定した。

- トランスレーショナル・臨床研究
- モデル動物を使った種間比較研究
- 全脳イメージング技術開発
- 脳科学との融合・横断研究、AI 関連研究

3. 専門家ワークショップによる脳科学研究の方向性と研究開発課題(科学技術トピック)の提起

3-1 専門家ワークショップの開催

我が国の脳科学関連学会を代表する組織である脳科学関連学会連合の協賛の下、脳科学における計測技術と AI 等での解析をテーマとして、2018 年 3 月 29 日に NISTEP にて専門家ワークショップを開催した。座長は樋口輝彦氏(国立精神・神経医療研究センター・名誉理事長、文部科学省科学技術・学術審議会研究計画・評価分科会／学術分科会 脳科学委員会 委員長)、副座長は松田哲也氏(玉川大学脳科学研究所／大学院脳科学研究科教授、文部科学省研究振興局学術調査官)に担当いただいた。

専門家ワークショップでは、2. で示した4つの主要研究開発領域の現行事業に参画する専門家、脳科学関連学会連合の専門家に加えて、脳科学研究事業を支援する内閣官房健康・医療戦略室、文部科学省研究振興局ライフサイエンス課、国立研究開発法人日本医療研究開発機構(AMED)の担当者が参加した(総計 36 人の外部専門家等、NISTEP スタッフを除いた人数)。

3-2 主要研究開発領域毎・技術的实现予測時期毎の要素技術・システム抽出

概要図表 1 に示す 12 人の外部専門家からの説明を基に、2. で示した主要研究開発領域毎、及び技術的实现時期毎に要素技術・システムを整理した。技術的实现時期は以下の 3 つに分けた。①2018 年時点で実現済、②専門的観点から、2025 年頃までに実現可能だと考えられる、③実現時期の見当がつかない、あるいは専門的観点から大分先(例えば 2030 年以降)に実現可能だと考えられる。

概要図表 1 主要研究開発領域毎・技術的実現時期毎の要素技術・システムに関する説明

主要研究開発領域	説明タイトル	説明者氏名 (敬称略)	説明者所属・ポジション
トランスレーショナル・臨床研究の動向	脳回路計測技術とAIによる精神科診断と治療の革新	笠井 清登	東京大学大学院医学系研究科精神医学・教授
	変性性認知症の診療に資する脳機能・病態イメージング	樋口 真人	量子科学技術研究開発機構放射線医学総合研究所脳機能イメージング研究部脳疾患トランスレーショナル研究チーム・チームリーダー
モデル動物を使った種間比較研究の動向	マルチモーダル神経画像による比較霊長類脳コネクトーム	林 拓也	理化学研究所 生命機能科学研究センター 脳コネクトミクスイメージング研究チーム・チームリーダー
	脳を理解するとは？スパイク信号から神経回路の動作原理を探る	磯村 宜和	玉川大学脳科学研究所基礎脳科学研究センター・教授
全脳イメージング技術開発の動向の紹介	高精細全脳イメージング技術の開発と応用ー活動神経のアドレス化と定量的構造解析	橋本 均	大阪大学薬学研究科神経薬理学分野・教授
	次世代CUBICによる全脳全細胞解析および将来展望	真野 智之	東京大学大学院医学系研究科・大学院生 ※上田 泰己教授(東京大学大学院医学系研究科機能生物学専攻システムズ薬理学教室)代理
脳科学との融合・横断研究、AI研究の動向	操作脳科学と意識の機能	川人 光男	株式会社国際電気通信基礎技術研究所(ATR)脳情報通信総合研究所・所長
	非線形動力学に基づく次世代AI: DNB理論の応用可能性	合原 一幸	東京大学生産技術研究所・教授
	計算神経科学5.0	石井 信	京都大学大学院情報学研究科システム科学専攻・教授
	神経科学の見解に基づく人工視覚野の開発	岡田 真人	東京大学大学院新領域創成科学研究科複雑理工学専攻・教授
	脳情報の階層性にみる格差問題	池谷 裕二	東京大学大学院薬学系研究科薬品作用学教室・教授
	機械学習研究の現状とこれから	杉山 将	理化学研究所 革新知能統合研究センター・センター長/東京大学 大学院新領域創成科学研究科・教授

3-3 研究開発の方向性と研究開発課題(科学技術トピック)の提起

3-2 の技術的実現時期②と③に該当する要素技術・システムを対象として、今後の研究開発の方向性を以下の 3 つにとりまとめた。①症状・症候と脳神経回路との結びつけ、②脳の構造と機能とを含めたコネクトームの理解、③脳科学と AI 研究との連携・融合によるヒトの脳の理解。

さらに、これら3つの方向性毎に計 22 の研究開発課題(以下、科学技術トピックと呼ぶ)を提起した。方向性①では 9 つ、方向性②では 7 つ、方向性③では 6 つの科学技術トピックが挙げられ、これらの科学技術トピックは、より広く、より横断的にアプローチする科学技術トピック(横断型科学技術トピック:以下「横断型」と記載する、個々人の長期縦断データの取得など)と、より深く、より精緻にアプローチする科学技術トピック(深耕型科学技術トピック:以下「深耕型」と記載する、コネクトーム解析に関わる手法の技術的発展)に大別された。

概要図表 2 専門家ワークショップで提起された 22 の科学技術トピック(研究開発の方向性毎)

研究開発の方向性	研究開発の方向性の内容	科学技術トピックのタイプ	科学技術トピック
①症状・症候と脳神経回路との結びつけ	疾患と健常をどうつなげていくか、回路を結びつけていくかという観点で、AI 等を使った今後の研究が望まれるが、ただ単に患	横断型	科学技術トピック1 ・正常、未病、疾患をラベリングするための技術開発(機能的バイオマーカー等の開発)

	<p>者と健常者を2群に分けて、その違いを AI で分析するのではなく、さまざまなモダリティ（科学的評価手段）のデータを使いながら、疾患と健常の中間領域も考慮に入れつつ、さらに層別化するというアプローチが、今後、精神・神経疾患の理解に重要。</p>	<p>科学技術トピック2 ・時系列的な症状・症候データの取得</p> <p>科学技術トピック3 ・個々人の長期縦断データの取得と疾患との因果関係の解明（正常・疾患を問わず長期縦断データを取得し、ビックデータ解析して正常から疾患に至るまでの遷移を解析して、疾患との因果関係を解明）</p> <p>科学技術トピック4 ・ビックデータ解析のための、臨床症状や環境要因に関するデータの整備</p> <p>科学技術トピック5 ・先制医療に向けた、疾患横断的・疾患非特異的なデータの網羅的な取得とAIでの解析（カテゴリ付与）、データベースの構築</p> <p>科学技術トピック6 ・全体傾向のみならず、個性・個体差を考慮に入れた研究（個人個人の脳の中でどんなことが起きて、それがパーソナリティや心理状態などにつながるのかということを示す科学的に示す研究）</p> <p>科学技術トピック7 ・病態レベルを判断するための指標、治験での被験者を層別化するための指標の設定</p> <p>科学技術トピック8 ・神経変性疾患に対する先制医療に向けた診断・治療に関する研究開発</p> <p>科学技術トピック9 ・ヒトの死後脳の解析や透明化技術の開発、長期全脳活動データが収集可能なウェアラブルデバイスの開発など、ヒトの脳情報を解析していく上での基盤技術や革新的技術の開発</p>
<p>②脳の構造と機能とを含めたコネクトーム理解</p>	<p>神経回路の計測技術がいろいろ開発・活用されていることにより、構造的なコネクトームがわかってきているが、一方で、機能も含めたコネクトームについてはそれほど研究が進んでおらず、今後の課題となっている。</p> <p>脳の構造と機能とを含めてコネクトームを理解する上では、速く、広く、深く、多くのデータをとることが必要であり、脳科学において旧来から使われている電気生理学的手法と、近年著しく進展しているカルシウムイメージングの長所・短所を踏まえつつ、それら技術を発展させ、双方補完的に活用していくことが有効。</p>	<p>深耕型</p> <p>科学技術トピック10 ・電気生理学的手法、カルシウムイメージングで、脳の多領域において長時間計測することで得られた神経活動データと行動との対応付け</p> <p>科学技術トピック11 ・同時多点データの取得が可能な電極を用いた新たな電気生理学的手法の開発</p> <p>科学技術トピック12 ・脳の深部での十分なデータ取得が可能なカルシウムイメージングの開発</p> <p>科学技術トピック13 ・時間解像度と空間解像度の双方を満たす新たなカルシウムイメージングの開発</p> <p>科学技術トピック14</p>

			<ul style="list-style-type: none"> ・普及・安定した技術による(例えば極微細蛍光内視鏡)、大量データの取得
			科学技術トピック15 <ul style="list-style-type: none"> ・いろいろな症状や機能をレギュレートする要の脳細胞の特定
			科学技術トピック16 <ul style="list-style-type: none"> ・回路操作による構造変化を観察して機能をみるアプローチ法の開発
③脳科学とAI研究との連携・融合によるヒトの脳の理解	脳科学とAI研究が連携することにより、ヒトの学習能力の特異性(情報処理が非常に速いことやtransferability(転移できること、転移学習)を有すること等)を解明するための研究が進展する。また新たな脳型アルゴリズムを構築して次世代のAIを開発することにも貢献すると共に、それをヒトの脳の動作原理のより深い理解にフィードバック出来ると期待される。	横断型	科学技術トピック17 <ul style="list-style-type: none"> ・操作脳科学の確立と意識の研究への応用
			科学技術トピック18 <ul style="list-style-type: none"> ・ヒトの高い学習能力の理解とAI開発への応用、計算科学の様々な分野への応用
			科学技術トピック19 <ul style="list-style-type: none"> ・ヒトの脳機能ネットワークの理解
			科学技術トピック20 <ul style="list-style-type: none"> ・イメージングと操作、活動マッピングを統合した新たな実験方法論(パラダイム)の確立
			科学技術トピック21 <ul style="list-style-type: none"> ・過剰適合(オーバーフィッティング)の克服など、ディープラーニングを発展させるための技術開発
			科学技術トピック22 <ul style="list-style-type: none"> ・ヒトの脳の老化に関わる指標の設定

4. 専門家ワークショップで提起された科学技術トピックの分析

—第10回科学技術予測調査で取り上げられた科学技術トピックとの比較—

専門家ワークショップで提起された科学技術トピックの新規性を分析する目的で、3.3 に示した22科学技術トピックが、第10回科学技術予測調査で既出しているかを調べた。

22科学技術トピックのうち13トピックについては、第10回科学技術予測調査^{*}で取り上げられた科学技術トピックと類似する内容であった。これら13科学技術トピックは、専門家の間では以前から研究開発の重要性が認知されていたところを、専門家ワークショップにて改めて提起されたと考えられる。

残る9科学技術トピックのうち、7トピックはコネクトーム解析に関わる手法の直近の技術的発展に関わるものであり、これら科学技術トピックは粒度が細かく深耕型であり、第10回科学技術予測調査には見られなかった。さらに残りの2つの科学技術トピックでは、個性・個体差、及びイメージングと神経回路操作、活動マッピングを統合した新たな実験方法論(パラダイム)といった、今後脳科学研究を推進する上での新たな視点に関わる内容が示された。

これらの結果より、特定専門領域の重要な要素技術・システムを漏れなく抽出するためには、専門家ワークショップによる詳細分析が有効であることが明らかになった。2017年度より実施している第11回科学技術予測調査では、7分野を対象に広範なデルファイ調査を実施する予定であるが(第1回アンケート調査は2019年2月20日より実施)、このデルファイ調査を補完する調査として、本調査のような専門家ワークショップを活用した深掘調査が有益だと考えられる。

以下に研究開発の方向性毎に分析結果を記す。

※第 10 回科学技術予測調査 (NISTEP が 2014～2015 年に実施、NISTEP 調査資料 240 を参照のこと)

当該調査においては、分野別調査として以下の 8 分野を設定し、各分野 10 名程度の専門家により、将来に実現が期待される 932 の科学技術トピックを設定した。その 932 の科学技術トピックに対して、研究開発特性等を質問項目とした専門家アンケート調査を実施し、4,309 名から回答を得た。8 分野は以下の通り。①ICT・アナリティクス、②健康・医療・生命科学、③農林水産・食品・バイオテクノロジー、④宇宙・海洋・地球・科学基盤 (量子ビーム、データサイエンス、計測)、⑤環境・資源・エネルギー、⑥マテリアル・デバイス・プロセス、⑦社会基盤、⑧サービス化社会

4-1 研究開発の方向性「①症状・症候と脳神経回路との結びつけ」の科学技術トピック

9 科学技術トピックの中で 8 トピックが、第 10 回科学技術予測調査における健康・医療・生命科学分野と ICT 分野の科学技術トピックとして採択されていた。概要図表 3 の通り、これらの科学技術トピックは完全に同一ではなく、類似の要素技術やシステムの研究開発を示していた。

この 8 科学技術トピックは、ヒトの症状・症候データや個々人の長期縦断データといった健康・医療・生活に関わるビックデータの取得・解析・利活用に関するもの、神経変性疾患に関するもの、機能的バイオマーカーに関するもの、病態レベルの判断や治験の層別化のための指標に関するもの、ヒトの脳情報を解析するための基盤・革新的技術に関するものに分けられた。これらの科学技術トピックのなかでは、脳情報を含めたヒトの健康・医療・生活全般の計測データに関するトピックが多く取り上げられ、ビックデータ解析の重要性が改めて示唆された。

残る 1 トピックは、個性・個体差の研究に関する科学技術トピックであり、個々人の脳の中で起きることとパーソナリティや心理状態との関係を科学的に示すことを目指したトピックである。この科学技術トピックは、第 10 回科学技術予測調査にはなく、新規トピックである。上記で示したヒトの健康・医療・生活全般の計測データに関する科学技術トピックと考え合わせると、ビックデータ解析で全体傾向を導き出すための研究と、一人一人への個別解を出すための研究とをバランスよく進めていく、言わば脳科学研究全体で「木も森もバランス良く見る」ことが肝要だと考えられる。

概要図表 3 研究開発の方向性「①症状・症候と脳神経回路との結びつけ」の科学技術トピックの比較

専門家ワークショップ	第 10 回科学技術予測調査	
科学技術トピック	分野	科学技術トピック
科学技術トピック 1 ・正常、未病、疾患をラベリングするための技術開発 (機能的バイオマーカー等の開発)	健康 医療 ※1	・予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出 (注) 動的ネットワークバイオマーカー: 個々の単一のバイオマーカーとしての性能は高くなくても、それらのネットワークとしては極めて高機能な、複雑系数理モデル学に基づく新しい概念のバイオマーカー
科学技術トピック 2 ・時系列的な症状・症候データの取得 科学技術トピック 3 ・個々人の長期縦断データの取得と疾患	健康 医療	・ゲノム・診療情報、およびウェアラブルセンサーやスマートデバイスにより得られる生体・行動情報を継続的に収集した健康医療データベース (大規模コホート研究の推進に資する)

<p>との因果関係の解明(正常・疾患を問わず長期縦断データを取得し、ビックデータ解析して正常から疾患に至るまでの遷移を解析して、疾患との因果関係を解明)</p> <p>科学技術トピック 4</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ビックデータ解析のための、臨床症状や環境要因に関するデータの整備 <p>科学技術トピック 5</p> <ul style="list-style-type: none"> ・先制医療に向けた、疾患横断的・疾患非特異的なデータの網羅的な取得と AIでの解析(カテゴリ付与)、データベースの構築 	<p>ICT ※2</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・個人ゲノム情報、臨床情報、生活行動情報、環境情報などの統合による、個人単位での疾病発症・重症化予測、生活習慣改善介入、診断や治療効果判定を可能にする情報システム ・ライフログデータや身体データを大量に蓄積し、個人の日常的なデータの記録・管理・検索・分析する技術(ナチュラルユーザインタフェースで利用できるウェアラブルな外部脳機能システムとして提供される) ・医療・食生活・運動など個人に関するあらゆる健康データを解析し、予測・予防医療を行うサービス
<p>科学技術トピック 6</p> <ul style="list-style-type: none"> ・全体傾向のみならず、個性・個体差を考慮に入れた研究(個人個人の脳の中でどんなことが起きて、それがパーソナリティや心理状態などにつながるのかということを科学的に示す研究) 		<p>該当なし</p>
<p>科学技術トピック 7</p> <ul style="list-style-type: none"> ・病態レベルを判断するための指標、治験での被験者を層別化するための指標の設定 	<p>健康医療</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・神経変性疾患(筋萎縮性側索硬化症(ALS)等)の病態進行を反映するバイオマーカー ・うつ病の脳病態による亜型診断分類に基づく、即効性で再発のない新規抗うつ治療法 ・分子薬理知識や生体分子相互作用および患者ゲノムに関する情報に基づく、医薬品の個人別副作用リスクの知的推論アルゴリズムを実装した情報システム
<p>科学技術トピック 8</p> <ul style="list-style-type: none"> ・神経変性疾患に対する先制医療に向けた診断・治療に関する研究開発 	<p>健康医療</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・脂質、蛋白質等の細胞内蓄積の阻害による、進行性神経筋疾患(ミトコンドリア病等)に対する発症予防及び進行を遅らせるための治療法 ・神経変性疾患(アルツハイマー病等)における細胞内凝集体形成の抑制に基づく、神経変性疾患の発症予防法と治療法 ・神経変性疾患(筋萎縮性側索硬化症(ALS)等)の病態進行を反映するバイオマーカー ・次世代シーケンサーを用いた全ゲノム解析に基づく、神経筋疾患(筋萎縮性側索硬化症(ALS)等)患者の新たな診断・治療法 ・認知症の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防に繋がる先制医療 ・幹細胞移植による、中枢神経回路網の機能不全(パーキンソン病、筋萎縮性側索硬化症(ALS)等)に対する治療法
<p>科学技術トピック 9</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ヒトの死後脳の解析や透明化技術の開発、長期全脳活動データが収集可能なウェアラブルデバイスの開発など、ヒトの脳情報を解析していく上での基盤技術や革新的技術の開発 	<p>健康医療</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・脳機能を細胞レベルで非侵襲的に測定できるイメージング技術

※1 健康・医療・生命科学分野の略、 ※2 ICT・アナリティクス分野の略

4-2 研究開発の方向性「②脳の構造と機能とを含めたコネクトームの理解」の科学技術トピック

7 科学技術トピックのいずれも、第 10 回科学技術予測調査では取り上げられなかった。これらは、電気生理学的手法やカルシウムイメージングなどコネクトーム解析に関する手法の内容を示しており、言わば粒度の細かい深耕型科学技術トピックである。

第 10 回科学技術予測調査の健康・医療・生命科学分野では、広範な専門領域をカバーする目的で、幾つかの手法を包含する粒度の粗い科学技術トピックを採択したため、上記 7 トピックのような粒度のより細かい深耕型科学技術トピックと直接結びつかなかったと考えられる。しかしながら、これら 7 深耕型科学技術トピックは、概要図表4に示す第 10 回科学技術予測調査の科学技術トピックを実現するための要素技術として位置づけられる。

概要図表4 研究開発の方向性「②脳の構造と機能とを含めたコネクトームの理解」の科学技術トピックの比較

専門家ワークショップ	第 10 回科学技術予測調査	
科学技術トピック	分野	科学技術トピック
科学技術トピック 10 ・電気生理学的手法、カルシウムイメージングで、脳の多領域において長時間計測することで得られた神経活動データと行動との対応付け 科学技術トピック 11 ・同時多点データの取得が可能な電極を用いた新たな電気生理学的手法の開発 科学技術トピック 12 ・脳の深部での十分なデータ取得が可能なカルシウムイメージングの開発 科学技術トピック 13 ・時間解像度と空間解像度の双方を満たす新たなカルシウムイメージングの開発 科学技術トピック 14 ・普及・安定した技術による(例えば極微細蛍光内視鏡)、大量データの取得 科学技術トピック 15 ・いろいろな症状や機能をレギュレートする要の脳細胞の特定(疾患やコンテキスト依存的に、比較的少数の脳細胞が要の機能を果たしている可能性あり) 科学技術トピック 16 ・回路操作による構造変化を観察して機能をみるアプローチ法の開発	健康 医療 ※	・記憶・学習、認知・情動など特定の脳機能を支える神経基盤の全容解明 ・神経回路網およびシナプスでの神経伝達物質を介する情報処理機構の全容解明 ・ニューロン-グリア相互作用における分子機構の全容解明 ・神経回路網の発生、成熟、維持、老化における分子機構の全容解明

※ 健康・医療・生命科学分野の略

4-3 研究開発の方向性「③脳科学と AI 研究との連携・融合によるヒトの脳の理解」の科学技術トピック

6 科学技術トピックの中で 5 トピックが、第 10 回科学技術予測調査における健康・医療・生命科学分野と ICT 分野の科学技術トピックとして採択されていた。概要図表 5 の通り、これらの科学技術トピックは完全に同一ではなく、類似の要素技術やシステムの研究開発を示していた。

特に「ヒトの高い学習能力の理解と AI 開発への応用、計算科学の様々な分野への応用」については、第 10 回科学技術予測調査では 6 科学技術トピックが採択されており、専門家の間では以前から研究開発の重要性が認知されていたと考えられる。意識の研究に関する科学技術トピック、ヒトの脳機能ネットワーク、ヒトの脳の老化に関する科学技術トピックについても、第 10 回科学技術予測調査でも類似した科学技術トピックが採択されていることから、専門家の間で重要視されてきたところを専門家ワークショップにて改めて提起されたと考えられる。

一方、科学技術トピック「イメージングと神経回路操作、活動マッピングを統合した新たな実験パラダイムの確立」は、第 10 回科学技術予測調査にはなく新規トピックである。イメージング、神経回路操作、活動マッピングの 3 手法それぞれの開発状況は目を見張るものがあるが、有機的に結びつけるまでには至っていないのが現状であると考えられる。この科学技術トピックは、行動や記憶の過程における神経回路ネットワークの動作原理や精神疾患などの病態解明に関する研究の新たな基盤として期待される。

概要図表 5 研究開発の方向性「③脳科学と AI 研究との連携・融合によるヒトの脳の理解」の科学技術トピックの比較

専門家ワークショップ	第 10 回科学技術予測調査	
科学技術トピック	分野	科学技術トピック
科学技術トピック 17 ・操作脳科学の確立と意識の研究への応用	健康医療 ※1	・意識、社会性、創造性等の高次の精神機能における神経基盤の全容解明
科学技術トピック 18 ・ヒトの高い学習能力の理解と AI 開発への応用、計算科学の様々な分野への応用	健康医療	・記憶・学習、認知・情動など特定の脳機能を支える神経基盤の全容解明
		・神経回路網およびシナプスでの神経伝達物質を介在する情報処理機構の全容解明
		・ニューロン-グリア相互作用における分子機構の全容解明
科学技術トピック 19 ・ヒトの脳機能ネットワークの理解	ICT ※2	・100 億のニューロンと 100 兆のシナプスを有し人間の脳と同等の情報処理を行うことのできるニューロシナプティックシステム
		・脳における知的処理の理論的解明とそのモデル化による、脳の能力の限界の解明
		・エクサ～ゼタバイトスケールの HPC・ビッグデータ処理技術の社会現象・科学・先進的ものづくりなどへの適用による革新(例: 全地球規模社会シミュレーション・病理診断や治療に繋がる脳や人体の機能シミュレーション・通常のシミュレーションの数万倍の大量な計算を要する逆問題を解くことによる設計最適化)
科学技術トピック 19 ・ヒトの脳機能ネットワークの理解	健康医療	・神経回路網およびシナプスでの神経伝達物質を介在する情報処理機構の全容解明
		・ニューロン-グリア相互作用における分子機構の全容解明

科学技術トピック 20 ・イメージングと神経回路操作、活動マッピングを統合した新たな実験方法論(パラダイム)の確立	ICT	該当なし
科学技術トピック 21 ・過剰適合(オーバーフィッティング)の克服など、ディープラーニングを発展させるための技術開発	ICT	・100 億のニューロンと 100 兆のシナプスを有し人間の脳と同等の情報処理を行うことのできるニューロシナプティックシステム
科学技術トピック 22 ・ヒトの脳の老化に関わる指標の設定	健康 医療	・神経回路網の発生、成熟、維持、老化における分子機構の全容解明

※1 健康・医療・生命科学分野の略、 ※2 ICT・アナリティクス分野の略

5. 第 11 回科学技術予測調査への反映

本調査で提起された 22 の科学技術トピックは、第 11 回科学技術予測調査でのデルファイ調査において科学技術トピックを設定する際に活用した(第 11 回科学技術予測調査については下記 URL を参照のこと)。

第 11 回科学技術予測調査(デルファイ調査・第 1 回アンケート)の実施について(2/20-3/22) 7 つの研究分野別分科会を設置し、専門家による議論を経て、2050 年までを見据えた研究開発課題として約 700 の科学技術トピック(7 分野 59 細目)を設定
<http://www.nistep.go.jp/archives/39853>

具体的には、主に「健康・医療・生命科学」分野と「ICT・アナリティクス・サービス」分野において、脳科学と AI の応用に関する科学技術トピックを設定した。概要図表 6 にて、「健康・医療・生命科学」分野の科学技術トピックを示す。

概要図表 6 第 11 回デルファイ調査における脳科学と AI の応用に関する科学技術トピック(健康・医療・生命科学分野)

細目*	科学技術トピック
脳科学と深く関係する科学技術トピック	
脳科学(精神・神経疾患、認知・行動科学を含む)	ニューロン-グリア回路網の発達・維持・老化機構および情報処理機構の全容解明
	記憶・学習、認知・情動等の脳機能および意識、社会性、創造性等の高次精神機能における神経基盤の全容解明
	統合失調症の脳病態解明に基づく、社会復帰を可能にする新規治療薬
	うつ病・双極性障害の細胞レベルの脳病態分類に基づく、即効性で再発のない新規治療法
	依存症(薬物、アルコール等)に共通な脳病態の解明に基づく、予防法・再発防止法
	自閉スペクトラム症の脳病態に基づく、自律的な社会生活を可能とする治療・介入法
	アルツハイマー病等の神経変性疾患の発症前バイオマーカーに基づく、発症予防および治療に有効な疾患修飾療法
	精神・神経疾患に対する深部脳刺激療法、ニューロフィードバック、ウイルスベクター等を用いた神経回路を標的とした治療法
	神経疾患患者にみられる精神症状や睡眠障害の発症機構の解明による、新規治療法
情動等の脳機能解明に基づく、いじめや不登校への対処法	
生命科学基盤技術(計測技術、データ標準化等を	脳機能を細胞レベルで非侵襲的に測定できるイメージング技術

含む)	
医療機器	全ての皮膚感覚の脳へのフィードバック機能を備えた義手 筋委縮性側索硬化症(ALS)患者等の重度な運動機能障害者の日常生活動作を支援するための、脳活動を直接反映させるニューロリハビリ機器
AIの応用に関する科学技術トピック	
医薬品(再生・細胞医療製品、遺伝子治療製品を含む)	医薬品開発の成功確率を現在比で2倍にする、化合物生成・最適化(有効性・安全性・動態予測を含む)のための人工知能・シミュレーション技術
医療機器	病変部位の迅速識別能力の向上と早期発見が可能となる、非侵襲診断機器(画像など)のコンパクト化とAI導入 次世代手術ロボットとAIによる、外科医の熟練によらない標準化された手技
健康危機管理(感染症、救急医療、災害医療を含む)	電子カルテシステム、検査・処方等医療データや様々なウェブデータを活用した網羅的感染症サーベイランスシステムによる感染症流行予測・警報発出システム マスコガザリング災害における、人工知能による重傷者搬送調整システム
情報と健康、社会医学	日常生活(購買・飲食等)から集積されるライフスタイルビッグデータ(匿名加工情報)活用による健康政策 プレジジョン医療の実現や医療の質向上に資する、ICチップが組み込まれた保険証等による病歴、薬歴、個人ゲノム情報の管理システム ゲノム・診療情報、およびウェアラブルセンサーやスマートデバイスにより得られる生体・行動情報を継続的に収集した健康医療データベース(大規模コホート研究の推進に資する) 医療・介護施設及び在宅における安全を保障する行動識別センサーを活用したモニタリングシステム 生活環境のセンシングやライフログセンシングによる、脳血管障害・心筋梗塞・致死的不整脈などの血管イベントの検知に基づいた救急医療情報システム 医療機器・システムの誤操作や患者状態に合わない設定などに起因する医療過誤の解消に向けた、知的アラート・意思決定支援の人工知能を搭載した医療情報システム 分子薬理知識や生体分子相互作用および患者ゲノムに関する情報に基づく、医薬品の個人別副作用リスクの知的推論アルゴリズムを実装した情報システム
生命科学基盤技術(計測技術、データ標準化等を含む)	予防医療・先制医療に資する、動的ネットワークバイオマーカーを用いた疾病発症・病態悪化の予兆検出技術 タンパク質の一次配列情報およびそのタンパク質に作用する物質の立体構造情報から、活性状態のタンパク質の動的立体構造を推定する技術 研究成果の真正を証明するための、研究により生じた全計測データ・全画像データを記録・保存し、原データとして認証・保証するシステム

※科学技術予測調査では、科学技術トピックの枠組みを「細目」と呼ぶ。