

Title	AI関連技術を活用したクローズアップ科学技術領域の抽出
Author(s)	蒲生, 秀典; 小柴, 等; 重茂, 浩美
Citation	年次学術大会講演要旨集, 34: 122-127
Issue Date	2019-10-26
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/16484
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

AI 関連技術を活用したクローズアップ科学技術領域の抽出

○蒲生秀典, 小柴等, 重茂浩美 (文部科学省科学技術・学術政策研究所)
gamo@nistep.go.jp

1. はじめに

新たな未来を切り拓き、種々の課題を解決していくための科学技術イノベーションが世界的に推進される中で、複数の学問分野を横断・融合する科学技術領域が改めて注目されている。その理由として、世界的な地球環境問題、人口動態変化への対応、エネルギー・食料・資源の確保など、これまでに専門化、細分化を進行させてきた学問だけでは対処しきれない社会的課題が顕在化し、それらの解決が必要とされていることが挙げられる。さらに、例えば最先端計測技術と高度情報処理技術との融合により、これまで捉えられなかった物理現象や生物現象を明らかにすることも可能になりつつあるなど科学的課題の解決や、異分野間の知的な触発や融合による新たな知の創造あるいは価値創造も期待されている。

科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) では、将来に向けた科学技術の発展の方向性を検討する科学技術予測調査を 1971 年より約 5 年ごとに実施している。2017 年から 2020 年にかけて実施中の第 11 回科学技術予測調査では、我が国の科学技術イノベーション政策に資することを目的に、2050 年までを展望した科学技術の未来像と社会の未来像の両面から検討を進めている^{[1][2]}。今回の調査では、上述のような背景をふまえ、科学技術の未来像をより分野横断・融合的な観点から検討を加えた。具体的には、科学技術予測調査の一環として実施したデルファイ調査^aにおいて、科学技術 7 分野の専門家によって選定された全 702 の科学技術トピックを基に、科学技術イノベーション政策の観点から取り上げるべき 16 のクローズアップ科学技術領域を抽出した。その手法として、近年進展が著しい AI 関連技術^bと専門家による評価 (エキスパートジャッジ) とを組み合わせたことが特徴である^[3]。

本報では、クローズアップ科学技術領域の抽出手法とその概要、ならびに各領域についてデルファイ調査のアンケート^cから得られた科学技術的および社会的実現時期を示し、科学技術イノベーション政策への示唆について検討する。

2. クローズアップ科学技術領域の抽出方法

2.1. 科学技術トピックの設定

クローズアップ科学技術領域の抽出フローを図 1 に示す。第 11 回科学技術予測調査の一環として実施したデルファイ調査で選定した科学技術トピックを、クローズアップ科学技術領域の抽出の基礎データとして用いた。デルファイ調査では科学技術 7 分野を設定し、分野ごとに設置した産学官の専門家 (各分野 10 名程度、計 74 名) からなる分科会での検討を経て、2050 年までを見据えた研究開発課題として計 702 の科学技術トピックを選定した^{[1][2]}。ここで 7 分野は、①健康・医療・生命科学、②農林水産・食品・バイオテクノロジー、③環境・資源・エネルギー、④ ICT・アナリティクス・サービス、⑤マテリアル・デバイス・プロセス、⑥都市・建築・土木・交通、⑦宇宙・海洋・地球・科学基盤である。(科学技術トピックの記述例は表 2 を参照)

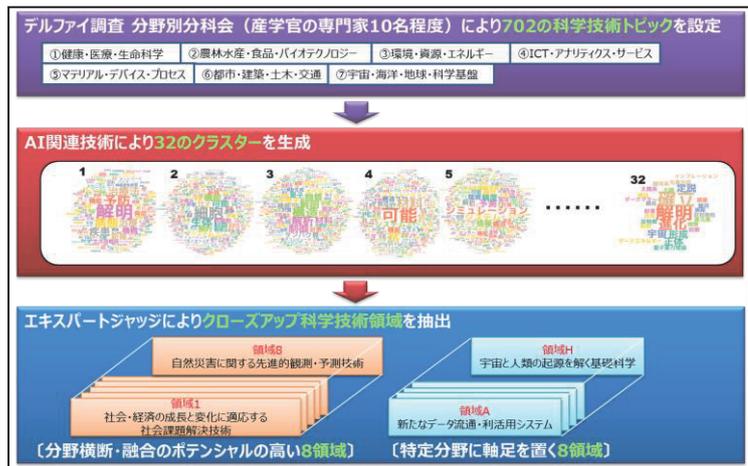


図1 クローズアップ科学技術領域の抽出フロー

a 多数の人に同一内容の質問を複数回繰り返し、回答者の意見を取れんさせるアンケート手法。

b ここでは、メディア等で AI として語られること多い機械学習と自然言語処理を中心とした人工知能及び関連技術を指す。

c 産学官の専門家に対する Web アンケートによって、それぞれのトピックについて重要度、国際競争力、技術的・社会的実現時期、政策手段などについての回答を得た。デルファイ調査結果のデータの詳細は、2019 年 10 月に NISTEP ホームページで公表予定である。

2.2. AI 関連技術を活用した科学技術トピックのグループ化（科学技術トピッククラスターの生成）

上記で設定した 702 の科学技術トピックの中で、表現が類似するトピック群を意味的・科学的に関連するものとみなし、科学技術トピッククラスターとしてグループ化を行った。はじめに、702 科学技術トピックそれぞれを形態素（意味を持つ最小単位）に分割し、名詞句のみを抽出した。次に、これらの名詞句に基づいて科学技術トピックのベクトル化を行った。ここでは、大規模なデータセットを用いて別途算出しておいた 300 次元の単語分散表現をベースに、各名詞句の分散表現を線形加算した総和を正規化して各トピックの特徴量（ベクトル）とした^[4]。この科学技術トピックの特徴量に対して、階層的クラスター分析（最遠隣法、ユークリッド距離）を適用し、類似するトピックをグループ化した。階層的クラスター分析のクラスター数については、2、4、8、16、32、64、128 など複数のレベルで分割し、それぞれのレベルで人間の解釈の容易性や意味の妥当性を考慮して 32 分割を採用した（以後、階層クラスター分析での 32 分類それぞれを科学技術トピッククラスターと言う）。また、クラスターごとに科学技術トピックについて名詞句の出現数をカウントし、出現数と文字の大きさを対応づけたワードクラウドとして出力し可視化した。（ワードクラウドは図 2 参照）

2.3. 科学技術トピッククラスターを基にしたクローズアップ科学技術領域の抽出

AI 関連技術により機械的に生成した 32 の科学技術トピッククラスターについて、それぞれのクラスターに属する科学技術トピックを専門家の視点で分析し、下記の 1)～4) に示す指針に基づいて内容が近似するクラスターを統合するなどの再構築を行った。

- 1) デルファイ調査の少なくとも 2 分野以上の科学技術トピックを 10 程度以上含み、分野横断・融合のポテンシャルが高いと考えられる科学技術領域を主対象とする。
- 2) デルファイ調査の 1 ないし 2 分野のトピックを 10 程度以上含む領域は、特定分野に軸足を置く科学技術領域として考慮する。
- 3) 科学的・社会的課題を解決する上で重要な科学技術領域を対象とする。
- 4) 科学技術領域全体を見た上でのバランスを考慮する。

最終的に、分野横断・融合のポテンシャルの高いクローズアップ科学技術 8 領域と、特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術 8 領域を抽出した。これら計 16 のクローズアップ科学技術領域に名称と概要を付与するとともに、領域ごとに代表的な科学技術トピック（10 程度）を選定した^[3]。

3. クローズアップ科学技術領域の概要

3.1. 分野横断・融合のポテンシャルの高い科学技術領域

まず、デルファイ調査における 7 分野のうち、複数の分野の科学技術トピック群から構成される、分野横断・融合のポテンシャルの高い科学技術 8 領域を設定した。それぞれの領域名、概要、科学技術トピック数を表 1 に、全体像とワードクラウドを図 2 に示す。AI 関連技術によりクラスターを生成した結果、頻出ワード「社会」につながる技術・システム群と、情報とその活用に関する「システム」及びエネルギーとインフラに関する「システム」に関連する科学技術トピックで構成される、社会課題解決技術関連（領域 1）が抽出された。また、「観測・システム」、「回収・エネルギー」を頻出ワードとするサーキュラーエコノミー・モニタリング・評価関連（領域 6, 7）、「予測・発生」を頻出ワードとする自然災害・観測・予測関連（領域 8）など、デルファイ調査で設定した分野を超えて「人間・社会」あるいは「地球・環境」に関係する、幅広い社会課題に対応した領域が抽出された。例えば最も多くの科学技術トピックを有する、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」では、複雑な社会現象をモデル化・シミュレーションすることにより理解し、現象の制御につなげる、情報処理技術と数理科学的アプローチが中核となる。一例として領域 1 の主な科学技術トピックリストを表 2 に示す。

さらに、「細胞・生体」を頻出ワードとするバイオモニタリング・バイオエンジニアリング関連（領域 2）、「構造・解析」、「シミュレーション・予測」を頻出ワードとする計測・情報科学ツール関連（領域 3）、「可能・材料」を頻出ワードとする材料・システム創成関連（領域 4）、「量子・ゲート」を頻出ワードとする電子・量子デバイス関連（領域 5）など、基礎科学・基盤技術から応用・実用まで幅広い分野に及ぶ科学技術トピックから構成される「基盤的科学技術（基盤 S&T）」からなる領域が抽出された。これらは、共通基盤技術あるいはプラットフォームとして、今後顕在化する社会課題解決にとどまらず、将来の経済・社会に大きな影響を及ぼす、新たな価値創造を担う科学技術領域として位置づけられる。

表 1 分野横断・融合のポテンシャルの高い科学技術 8 領域

領域 No.	領域名	概要	トピック数
1	社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術	社会的インフラストラクチャー、都市建築空間、教育、医療、金融などの多様な社会的共通資本のサービス・ソリューションに向けたAI、IoT、量子コンピューティング、ELSI(倫理的・法的・社会的課題)対応、認知科学・行動経済学など、複雑な社会現象(ラージ・ソーシャルコンプレックスシステムズ)が抱える課題を解決する科学技術領域	152
2	プレジジョン医療 [※] をめざした次世代バイオモニタリングとバイオエンジニアリング	完全非侵襲・高感度・高精細・リアルタイムモニタリングにより、人の個体から組織・臓器、細胞、分子レベルにわたり生命現象を捉えることで、バイオエンジニアリングによる再生・細胞医療や次世代ゲノム編集技術による遺伝子治療のような高度医療の技術開発につなぐ科学技術領域	53
3	先端計測技術と情報科学ツールを活用した原子・分子レベルの解析技術	量子ビーム応用などの先端計測や、シミュレーション・インフォマティクス・AIなどの情報科学ツールを活用した、構造・機能材料、高分子、生体分子などの構造や状態の解析・解明・予測、農作物や医薬品の開発・品質管理に関する科学技術領域	89
4	新規構造・機能の材料と製造システムの創成	材料から構造物、環境、医療に関わる要素技術まで生活環境向上に寄与する、シミュレーションとデータ活用による材料の構造・物性予測や、材料・デバイスの実用化のための先進製造・流通システムやコスト低減に関する科学技術領域	87
5	ICTを革新する電子・量子デバイス	ICT革新に寄与する、高速・高密度・低消費電力の電子・情報デバイス、高効率パワーデバイス、高コヒーレンス量子デバイス(量子コンピューティング・センシング)に関する科学技術領域	19
6	宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術	地球環境・資源を地上や人工衛星から複合的にモニタリング・評価し、数理モデルで予測することにより、人間活動がもたらす地球環境の変化や自然災害への対処、エネルギー、地下・海洋資源や農林水産資源の探索に寄与する科学技術領域	70
7	サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術	資源の循環と持続可能な生産に向けた、CO ₂ や廃棄物の再資源化技術、バイオマス利用技術、高レベル放射性廃棄物処理技術、レアメタルの回収・利用技術、環境循環の中での有害化学物質等の管理技術に関する科学技術領域	52
8	自然災害に関する先進的観測・予測技術	豪雨や地震・火山噴火等の自然災害とそれらが及ぼす被害の先進的観測・予測技術と防災・減災技術、および山地や海岸線等の国土変化予測による国土保全、長期的な環境保全・維持管理を統合した河道設計等に関する科学技術領域	22

※遺伝子、環境、ライフスタイルに関する個人ごとの違いを考慮した疾病の予防・治療

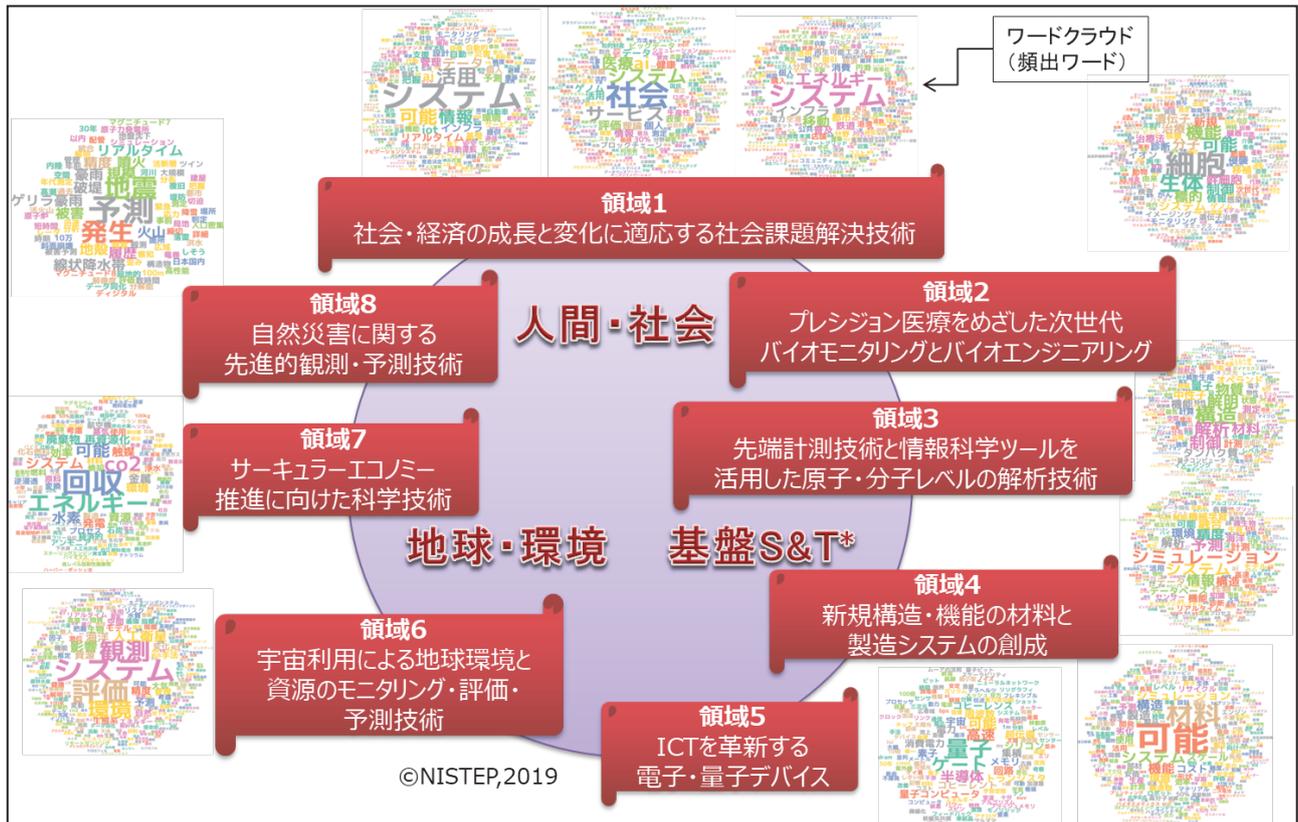


図 2 分野横断・融合のポテンシャルの高い科学技術 8 領域の全体像とワードクラウド

表2 主な科学技術トピックリスト〔領域1の例〕

〔領域1〕社会・経済の成長と変化に適應する社会課題解決技術

デルファイ調査の分野名	主な科学技術トピック
ICT・アナリティクス・サービス	社会基盤としてブロックチェーンが広く用いられたときに最適なコンピュータアーキテクチャ
	モノとの二分論によるサービスの定義が完全に過去のものとなり、個人や社会に対して価値をもたらす行為全般との認識が浸透した上での、Service Dominant Logicなどをより発展させた新理論
	法規制のもとで社会・経済的インパクトの推定を可能とする、個人や集団が置かれている状況把握のリアルタイム化を含む、適切な助言やリスクの提示を行うシステム(政策助言システム、高度医療助言システムなどを含む)
	社会実装前のサービスシステムを、経済的・技術的・社会的な観点から、定性的/定量的にシミュレーションする技術
	教育にAI・ブロックチェーンが導入され、学校法人の枠を超えた学習スタイルが構築され、生涯スキルアップ社会の実現
健康・医療・生命科学	すべての国民がITリテラシーを身につけることによる、誰もがデジタル化の便益を享受できるインクルーシブな社会の実現とIT人材不足の解消
健康・医療・生命科学	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
農林水産・食品・バイオテクノロジー	フィールドオミクス、フェミクスなどから得られたビッグデータとAIによる育種の超高速化(テラーメイド)
環境・資源・エネルギー	情報技術(IoT、AI、ビッグデータ等)を用いた暑熱リスクのリアルタイム監視・警報システム
都市・建築・土木・交通	フィジカル・サイバー空間のシームレス結合によるインフラのモニタリング、予測、制御技術

3.2. 特定分野に軸足を置く科学技術領域

次に、デルファイ調査における1又は2分野程度の主要な科学技術トピックから構成される、特定領域に軸足を置く科学技術8領域を設定した。それぞれの領域名、概要、科学技術トピック数を表3に示す。これら特定領域に軸足を置く領域は、デルファイ調査の各分野において将来に向け特に重要視された科学技術の方向性として捉えられる。ICT・アナリティクス・サービス分野を中心とする、“情報”、“ロボット”、“通信”が頻出ワードとなる「情報・サービス」関連が最も多く、“情報・画像”を頻出ワードとするデータシステム関連(領域A)、“ロボット・自然”を頻出ワードとするロボット技術関連(領域B)、“通信・システム”を頻出ワードとする次世代通信関連(領域C)の3領域が抽出された。また、「社会・産業・生活インフラ」関連として、“システム・無人”を頻出ワードとするヒューマンエラー防止関連(領域D)、“解明・予防”を頻出ワードとするライフコース・ヘルスケア関連(領域E)、“作物・植物”と“生産”を頻出ワードとする農林水産業システム関連(領域F)、“水素・発電”を頻出ワードとするエネルギー技術関連(領域G)が抽出された。さらに、「基礎科学」として“解明・確立”を頻出ワードとする宇宙と人類の起源関連(領域H)が抽出された。

表3 特定分野に軸足を置くクローズアップ科学技術8領域

領域No.	名称	概要	トピック数
A	新たなデータ流通・利活用システム	産業・医療・教育に係るデータ、個人情報や研究データといった多種多様で大量の情報を、適かつ効果的に収集・共有・分析・活用するための科学技術領域	21
B	人間社会に溶け込みあらゆる人間活動を支援・拡張するロボット技術	人間社会に溶け込み、ものづくり・サービス、医療・介護、農林水産業、建設、災害対応などの多様な社会・産業活動や、運動・記憶などの個人の能力を自然な形で支援・拡張するロボットに関する科学技術領域	12
C	次世代通信・暗号技術	光・量子通信と量子暗号に代表される、超高速・超大容量、超長距離・超広帯域、超低遅延・超低消費電力、多数同時接続、かつセキュリティの高い通信に関する科学技術領域	20
D	交通に関するヒューマンエラー防止技術	鉄道、船舶、航空機での無人運転・運航・操縦に代表される、陸・海・空の各運輸モードでのヒューマンエラーを防止するための支援技術・システムに関する科学技術領域	8
E	ライフコース・ヘルスケアに向けた疾病予防・治療法	人の発達過程における環境と疾病との関係性の解明、老化・機能低下のメカニズム解明やその制御、加齢性疾患の予防・診断・治療法開発など、人の胎児期から乳幼児期、就学期、就労期、高齢期までを連続的にとらえた生涯保健に関する科学技術領域	29
F	生態系と調和した持続的な農林水産業システム	動植物、微生物、環境、人間の相互作用(生態系)に着目した、農林水産業における生産性や品質の向上と効率化、環境への負荷低減や生産環境の保全、遺伝資源の保存と利用のための資源管理などに基づく新しい持続的生産システムの構築に関する科学技術領域	40
G	持続可能な社会の推進に向けたエネルギー技術	エネルギー源の多様化によるエネルギー安全保障の強化や低炭素社会を実現する、太陽光・風力発電などの再生可能エネルギー技術や直流送電システム、超伝導技術、ワイアレス給電技術などの次世代電力ネットワークに関する科学技術領域	15
H	宇宙と人類の起源を解く基礎科学	太陽系・銀河系の形成、軽元素・重元素合成の進化過程、ダークマター・ダークエネルギーの正体、量子重力理論、インフレーション仮説等、宇宙の謎の解明、定説の確立など、宇宙と人類の起源に関する科学技術領域	8

4. 各領域の科学技術的および社会的実現時期^d(デルファイ調査のアンケート結果より)

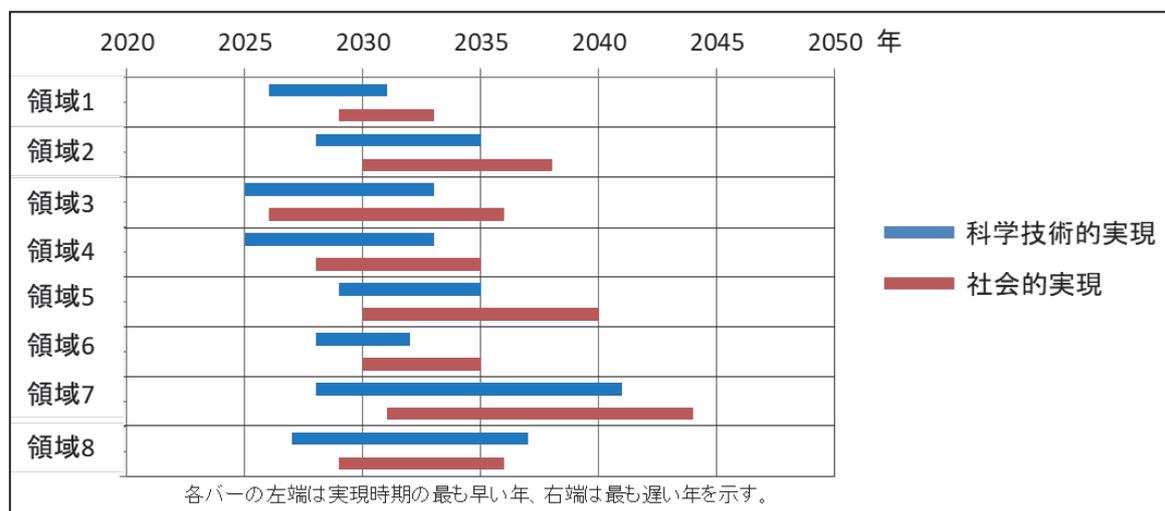
抽出された各領域に含まれる主な科学技術トピック(10トピック)^[3]のうち最も実現時期が早いと見込まれるトピックと最も実現時期が遅いと見込まれるトピックの実現時期の幅(実現期間)について、デルファイ調査のアンケート結果を図3(a)、(b)に示す。以下に示す実現年と実現期間は、あくまでアンケート回答者の見通しであることに留意されたい。

分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域(図3(a))では、科学技術的実現の実現期間が最も短い

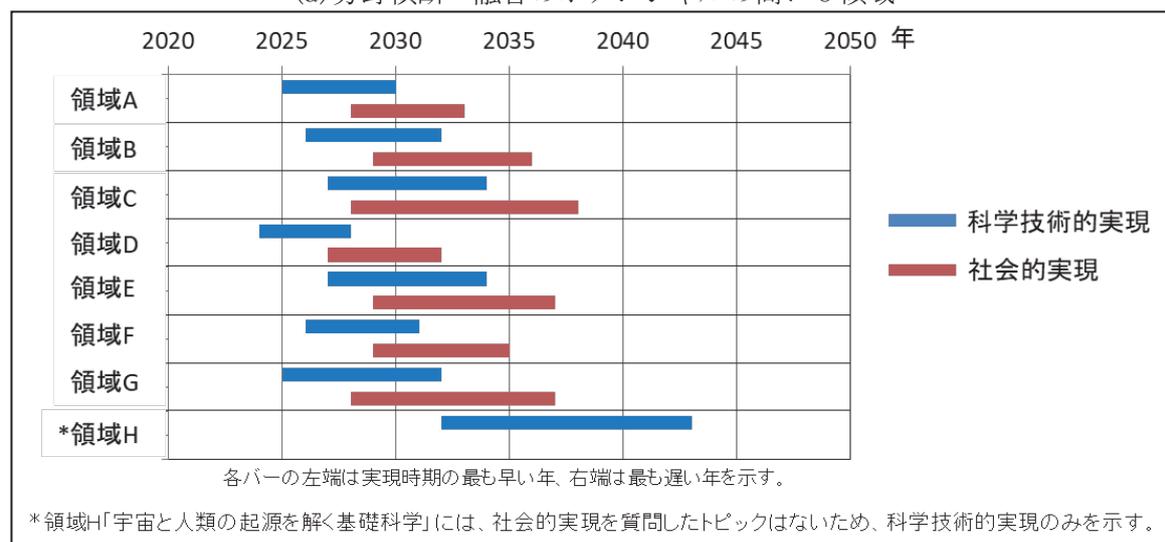
^d ここで示す実現時期は中央値(1/2値)であり、アンケートの回答にはトピック毎に概ね前後4~6年、計8~12年程度の幅(1/4-3/4値の幅)がある。

のは、領域6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、社会的実現の実現期間が最も短いのは、領域1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」で、いずれも4年である。これら領域6および領域1は、それぞれ社会的実現、科学技術的実現の実現期間も5年と短く、領域1は2033年、領域6は2035年といずれも比較的早い時期に主な科学技術トピックのすべてが社会的に実現する。一方、領域7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」は、科学技術的実現、社会的実現ともに、実現期間が13年と長く、主な科学技術トピックすべてが社会的実現するのは、2044年と全領域の中で最も遅い。ついで、領域5「ICTを革新する電子・量子デバイス」が、社会的実現の実現期間が10年と長く、主な科学技術トピックすべてが社会的実現するのが2040年と遅い結果となった。

一方、特定分野に軸足を置く8領域では、科学技術的実現の実現期間が最も短いのは、領域D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」の4年で、主な科学技術トピックのすべてが、全領域中最も早く2028年に科学技術的実現をする。領域D社会的実現の実現期間も5年と最も短く、社会的実現も全領域中最も早い2032年に主な科学技術トピックのすべてが実現する。続いて、科学技術的実現、社会的実現の実現期間がいずれも5年と短い領域A「新たなデータ流通・利活用システム」の主な科学技術トピックのすべてが、2030年に科学技術的に実現、2033年に社会的に実現する。一方、科学技術的実現の実現期間が11年と最も長い領域H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」は、全領域中最も遅い2043年に科学技術的に実現する。社会的実現の実現期間が最も長いのは、領域C「次世代通信・暗号技術」の10年で、社会的実現も全領域中最も遅い2038年となった。



(a) 分野横断・融合のポテンシャルの高い8領域



(b) 特定分野に軸足を置く8領域

図3 科学技術的および社会的実現時期と実現期間（デルファイ調査アンケート結果）

5. まとめと科学技術イノベーション政策への示唆

AI 関連技術による機械的なデータ処理とエキスパートジャッジとを組み合わせることにより、科学技術イノベーション政策の観点から、今後推進すべきと考えられる 16 のクローズアップ科学技術領域を抽出した。近年、社会の様々な場面で活用が検討されている AI 関連技術を、科学技術領域の抽出に活用することで、社会システムや資源循環、災害関連など社会的側面からのクラスターや、融合・基盤技術に関する科学技術的側面からのクラスターが生成され、エキスパートジャッジを加えることで、社会的・科学的課題解決あるいは新たな価値創造に関わる各領域を抽出することができた。

2050 年までの将来社会を展望し、領域全般にわたり特に推進すべき科学技術として、IoT の普及やビッグデータの利活用が今後急速に進展する中で、現状の計測・センシングを越えた、より高精度、高速、高性能な先端的な計測・観測技術、その進展によるモニタリング、イメージング技術、さらにその活用による評価・予測技術の高度化が挙げられる。さらに、量子技術などの従来の電子・光デバイスを超える膨大なデータ量を扱うことを可能とする、コンピューティング・シミュレーションなどの計算科学や、インフォマティクス・AI 活用などのデータ科学の、人間・社会や地球・環境などへの適用と、医療や材料・製造などの要素技術開発への適用が挙げられる。

領域別にみると、デルファイ調査による実現時期の予測結果より、主な科学技術トピックのすべてが比較的早く実現するとされた、領域 6「宇宙利用による地球環境と資源のモニタリング・評価・予測技術」、領域 1「社会・経済の成長と変化に適応する社会課題解決技術」及び領域 D「交通に関するヒューマンエラー防止技術」は、社会課題解決へのニーズが高い領域群であり、科学技術トピックの早期の実現が期待される。一方実現期間の長い、領域 7「サーキュラーエコノミー推進に向けた科学技術」、領域 5「ICT を革新する電子・量子デバイス」及び領域 H「宇宙と人類の起源を解く基礎科学」の領域群に関わる科学技術トピックは、特に中長期に渡って持続的な研究開発が求められる。今後、これらの領域の科学技術トピックについて、デルファイ調査アンケート結果における実現のための政策手段等を分析し、具体的な戦略を検討すべきと考えられる。

謝辞

本調査研究を実施するにあたり、第 11 回科学技術予測調査デルファイ調査分野別分科会の座長及び専門家の方々には、クローズアップ科学技術領域抽出に多大な御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 横尾淑子、赤池伸一、「ST Foresight 2019 (速報版) の概要—人間性の再興・再考による柔軟な社会を目指して—」、STI Horizon、Vol. 5 No. 3(2019)；<https://doi.org/10.15108/stih.00185>
- [2] 科学技術・学術政策研究所 科学技術予測センター、「第 11 回科学技術予測調査 ST Foresight 2019 (速報版)」(2019 年 7 月)；<http://doi.org/10.15108/stfc.foresight11.101>
- [3] 重茂浩美、蒲生秀典、小柴等、「第 11 回科学技術予測調査[3-1] 未来につなぐクローズアップ科学技術領域—AI 関連技術とエキスパートジャッジの組み合わせによる抽出の試み—」、文部科学省科学技術・学術政策研究所 DISCUSSION PAPER No. 172 (2019 年 7 月)；<http://doi.org/10.15108/dp172>
- [4] 小柴等、森川想、議事録を用いた我が国における議会・行政の関係性分析手法、人工知能学会論文誌 34 巻 5 号、p.E-J47_1-10 (2019 年 9 月)；<https://doi.org/10.1527/tjsai.E-J47>