

EAJ STI2050 委員会

エグゼクティブサマリー

委員会の目的・目標：

「2050 年に向けて技術の棚卸しを含む現状把握をした上で、2050 の目指すべき将来像に向けて必要な技術、それを実現するための「科学技術・イノベーション」ロードマップを描くこと」を目的とし 2019 年 11 月に、委員会が設立された。国内外で提案されている未来像をレビューして 2050 年あるいは 2100 年の望むべき将来像を定め、その実現に向けて必要な社会の構造的転換を促すために鍵となる技術やニッチ技術を特定すると共に、そうした技術が支える社会イノベーションのロードマップを描き、22 世紀に向けて持続可能な社会を実現するためのアクションプランの提言を目標としている。

解決すべきテーマ選定：

委員会では、解決すべきテーマや課題を特定し、それに向けた必要技術を特定し、そこへ向けたパスウェイを考えていくことを目指し、このロードマップおよびアクションプランの策定に向け、これまで 2019 年 8 月以降 18 回の委員会を開き、UNFCCC COP24 に向けて行われた気候変動対策に関する取組意欲の向上のための「タラノア対話」に倣い、(a) 我々はどこにいるのか? "Where are we?"で、現状を把握し、(b) どこへ行きたいのか? "Where do we want to go?"で、今後目指すべき将来像（目標）を定め、(c) どうやって行くのか? "How do we get there?"で、その達成に向けた行動の具体案を議論するというステップを踏んだ。

COVID-19 による影響が日本でも本格化したことにより、課題選定における議論が変化し、議論を見直し、結果、以下の 3 つに絞られた。

- (1) スマートな都市、快適で強靱な人間居住の実現
- (2) 持続可能で格差のない水・食料・エネルギーアクセスの実現
- (3) 可視化されたエビデンスと多様な価値観の許容に基づくガバナンスの実現

コロナ禍が本格的となったあと、「可視化されたエビデンスと多様な価値観の許容に基づくガバナンスの実現」も多くの議論があった。気候変動対応とも関係するが、デジタル化社会におけるガバナンスのあり方は、持続的な社会を構築するうえで、重要なカギとなるという意見が多かった。

そのため、本報告書では、まず、ガバナンスの実現からはじめ、次に、水・食料・エネルギーのネクサス問題を取り上げ、最後に、豊かさの指向と、トレードオフになりがちな、すべての人々の幸福を実現するための都市の未来像を記載した。以下に、それぞれのサマリーを記載する。

1. 可視化されたエビデンスと多様な価値観の許容に基づくガバナンスの実現

今後、科学技術が、人類社会が直面する問題に的確に対処、応答していくためには、当該問題に関連する事実やデータに基づいて、社会を構成する様々な人々や考えを包摂しつつ、科学技術関係者が政策、研究開発、具体的な対処を体系立てて進めることが必要となる。言い換えれば、社会と強い関係を持つ科学技術は社会の変化に応じて、できる限りの人の希望を如何に叶えるか、を人々が納得できる事実を示し、選択しうる最良の方法とは何かについての選択肢を示すことが求められている。さらに、そのようなプロセスを科学技術だけではなく、人々や社会の参画を得て進めていくことが求められる。科学技術の発展が社会に大きな影響をもたらす以上、このようなプロセスは、科学技術と社会の「関係者がその相互作用や意思決定により、社会規範や制度を形成し、強化し、あるいは再構成していく」ガバナンス（Wikipedia）であり、関係者がプロセスに参画し、行動していく仕掛け、プラットフォームの形成が重要となる。このようなプロセスを経て、いかにして社会と科学技術の間の相互理解、さらに進んで信頼関係（Trust）を構築していくかが重要な要素となる。

そこで本章では、まず科学技術と社会の関係の変化が複雑化の状況を簡単に振り返り、対してAIの活用に代表される今日の最先端の科学技術が状況を可視化し、人々の多様な要請や価値観を把握していく例を示した。その上で、科学技術と社会の関係の一つの重要なプロセスである科学的助言についての国内外での進展を科学技術者と政策立案者、アカデミーと議会と言った視点から示すとともに、世界が直面した問題への科学技術の対応の直近の例として新型コロナウイルスの例を取り上げた。それらを踏まえ、科学技術と社会のよりよい関係を築きながら、事実やデータなどの可視化されたエビデンスの収集と提示、多様な価値観を許容できる社会の構築、及びそれらに基づく体系だったガバナンスの確立に向けて、工学アカデミーとしてとりうる行動を幅広く挙げ、ロードマップの提示を試みる。

1. 地球温暖化など地球規模課題への対応など多様な価値観の許容の展開：社会への働きかけと国際活動への参画

- ① SDGsの目指す将来の意義の社会への普及
シンポジウムなどの公開討論の機会、ウェブなどでの発信
- ② SDGsの実現への活動と達成過程の評価
工学アカデミー会員による検討の継続
工学アカデミー及び会員個人としての国際活動への参画

2. ガバナンスを実現する文化の涵養

- ① 社会と人々：共創に向けての科学の意義の受容と社会の多様な意見の発掘
課題に対する多面性の認識の共有、科学の視点の明確化の必要性（エビデンスを提供する科学）、科学と社会のコミュニケーションの展開
- ② 政策決定者等：政治家、官僚など科学的助言を受けて政策決定に携わる者との交流、政策、行政への要請
- ③ 科学界：社会の多様性の受容、政策の理解についての工学アカデミーとの交流（日本学術会議、科学の非営利団体との協力の下で）

3. ガバナンスのシステム化

- ① ガバナンス、特に科学的助言に関する助言する科学技術者、助言者を受け政策決定者等の立場、関係、責任についてのガイドラインの試案の策定と政府における制定に向けての働きかけ
- ② ガバナンスの対象とするグループの規模とガバナンスの効果の検証（各種政策を対象として）
- ③ ガバナンス、特に科学的助言に関する方法論の深化と関与者の能力向上

4. ガバナンスの効果の評価に資する科学技術の実証

エビデンスの可視化、多様性の許容によりガバナンスがもたらす効果の評価法を試行。

例：科学技術イノベーションの目標の一つとなった人々の幸福を、AI を使って工学的に計測する試み

この提言案で目指す社会、政策決定、科学との関係の将来像は以下の通り。

科学技術は、①それ自身が固有の不確実性を持ち、また科学技術による自然の理解は確率を伴う、②現在の科学技術は発展途上にあり、現在に理解には限界がある、③同じ実、データを基にしても解釈は個々の科学者により異なる場合がある、と言う点がある。

科学界は、社会の中の科学を意識し、多様な価値観を許容し、理解する科学者、技術者からなるコミュニティを目指す。その上で、人間の知的活動としての幅広く奥深い科学の意義を社会に伝え、その日々の研究の蓄積から、地球規模課題など社会が直面する様々な課題について、説明・理解や予測を含む知識や情報を提供し、科学技術的な可能な対策の選択肢を提供するとともに、政策の決定に対してエビデンスを提供しよりよい政策の決定を支援する。

人々や社会は、多様な価値観を許容しつつ、科学の提供する知識や情報を下に、課題に対し感情に加えて、知性にも基づく意思決定を行う社会への深化を目指す。

政策決定者は、人々や社会が持つ多様な価値観を認識しつつ、科学界から提供されるエビデンスを十分に尊重しつつ、他の根拠も踏まえて、自らの責任で決定を行い、その決定に至る過程や根拠を人々、社会や科学界に明確に説明する。

このような関係の構築は、人々と社会、政策決定者、科学界の相互の理解と信頼を増強し、世界が今後直面する新たな事象に柔軟に対応できる知識を基盤とする社会の高度化を実現する。ただし、どの一つの要素が欠けても、科学の社会との乖離、ポピュリズムへの転落、政治の停滞などが起こりうる。

このような知識を基盤とする社会は、新たな事態への様々な挑戦や行動を許容し、規定概念に挑む人々やグループを支援する社会となる。また、このような努力は失敗も含めて今後科学技術イノベーションを基に発展を図る途上国への重要な参考例ともなると考えられる。

2. 持続可能で格差のない水・食料・エネルギーアクセスの実現

2050年の世界のエネルギー・食料・水 NEXUS を追求する
～エネルギーに焦点を当てて～

先進国及び開発途上国・新興国のいずれにおいても、エネルギー・水・食料について、持続可能な社会・地球環境・経済のバランスに配慮しつつ、適切に人々の sufficiency を満たすこと、すなわち「2050年の世界のエネルギー・食料・水 NEXUS」を追求することは、現在の世代にとって極めて大きな課題である。

この3つの要素を個別に見ると、まず、エネルギーは、その供給ネットワーク構築のためには巨大なインフラが必要であり、また需要サイドにおいても、エネルギーの利用形態も様々であり利用者の数が極めて多いことから、供給形態の変化への対応は必ずしも容易ではないとされてきた。確かに、近年、分散型エネルギーシステムが技術的にも経済的にも実現可能となってきているが、全体として見れば、大きな社会・経済システムであることに変わりはない。食料については、その土地の自然条件（気温、降水量、土壌）や居住する人々の食文化が様々であることや、品種改良等には一定の時間がかかることにも留意しなければならない。水については、これまた、自然条件（気温、降水量、河川の状況、地下帯水層の状況等）と地域の農業・生活等の需要パターンや産業構造・汚染の状況にも大きく左右される。また、更に重要なことは、この3者の間の相互のシナジーやトレードオフである。例えば、食料生産・流通には水とエネルギーの投入を必要とする。飲料水の生産や排水の浄化にもエネルギーが必要である。また、エネルギーを得る過程では水を用いることが必要なプロセスも多い。

こうした中で、特にエネルギーの問題は、社会・地球環境・経済のバランスに配慮しつつ、地球環境問題の解決のために、カーボンニュートラルを今世紀半ばまでには実現することが世界の共通認識となりつつあり、各国が密接な協力のもと、地球全体として合理的な形で複雑な諸問題を工学的に解決すべき典型的な課題の一つである。そこで本章ではエネルギーの問題に焦点を当て、以下の検討を行った。

(1) 各国が直面している課題と政策、取り組み状況のレビュー、

(2) 「2050年から遠くない時期」までに、グローバルなカーボンニュートラルを達成し、「2050年までのなるべく早期」に、世界の全ての地域において Energy Sufficiency を達成することための次の5原則の策定

① 先進国と開発途上国・新興国がエネルギー・環境政策のみならず、産業政策、農業・食料政策、都市政策、交通政策、技術政策等を議論する場（仮称：FICNES）を設立すること。

② 特に貧困な後発の開発途上国については、当面の間、Energy Sufficiency の達成を優先させつつ、長期的視点からカーボンニュートラルを目指す政策にシフトするのを許容すること。

③ 開発途上国・新興国のうち、大きな人口（2050年に1億人超）を抱え、既に高い経済成長率を実現しつつある国は、カーボンニュートラルと Energy Sufficiency を同時達成する方策を講じるよう、世界が支援と投資を行うこと。

④ 再生可能エネルギーやエネルギーの貯蔵・運搬インフラについては、地域の特性を活かすとともに複数国間のインフラ構築についても①の FICNES で議論し、国際的な合

意形成と投資促進を行うこと。

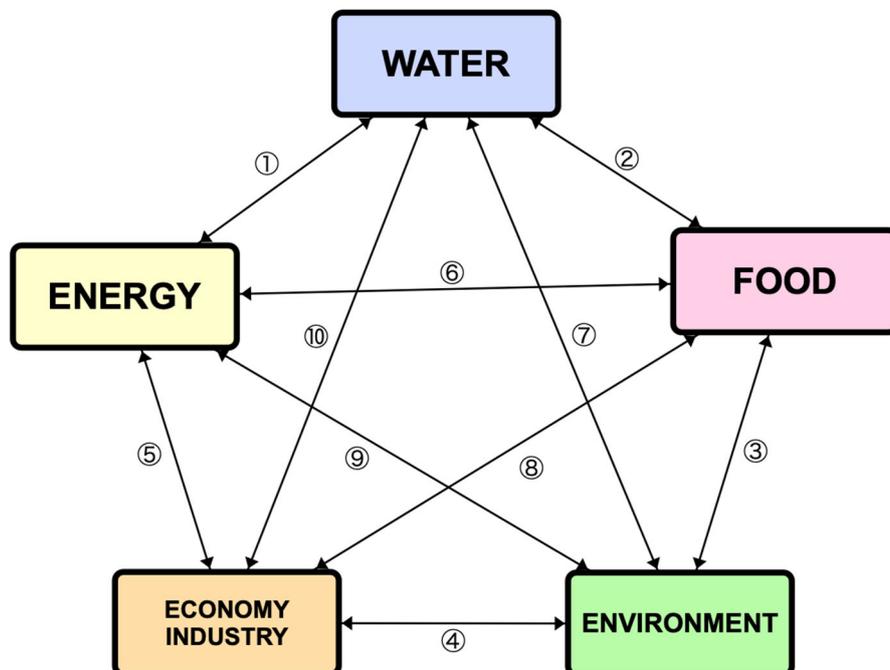
⑤ 世界は、CO2 排出量・吸収量のモニタリング、新技術の円滑な開発・普及の枠組みの設計・構築、原子力の安全確保、過渡的な化石資源の管理、CO2 の吸収メカニズムの解明、こうした分野への優れた人材の確保と人材育成を行うこと。

(3) 5原則に基づき、カーボンニュートラルと Energy Sufficiency の同時達成を目標とすることが求められる具体的な国名を、4 基準を設けて選定、課題解決に向けた協力関係の在り方を考察（この中で、「特に重要な協力対象国」として、インド、ナイジェリア、パキスタン、インドネシア、エジプト、フィリピン、ベトナムの7か国を挙げた。）

(4) 「エネルギー供給」「エネルギー需要」「エネルギー流通」の3側面について現在提唱されている各種技術オプションについて考察を加え、持続可能な社会を作るための工学にとっては重大な課題を抽出、

(5) 個別技術については readiness が明確でなく、絞り込みを行う段階ではないため、「政策・国際協力面」、「人材育成面」、「技術評価システム面」、「投資誘導スキーム面」の4要素を含む『政策枠組みロードマップ』を策定するとともに、タイムスケールと課題を明らかにするため、技術の大枠に関する『技術ロードマップ』を策定した。これらについては、関連するコミュニティによる継続的なアップデートが必要であるとともに、この両者を必ず「一対」のものとして議論を展開していくことが重要である。カーボンニュートラルと Energy Sufficiency の実現には、トップダウンとボトムアップの双方が必要だからである。

(6) 最後に、以上を踏まえた、「エネルギー＝食料＝水」NEXUS の実現に向けた考察をまとめる



5. 快適で強靱な人間居住を実現するスマートな都市

この章では、都市における平時の「人類の安寧とより良き生存」(Human Security and Well-Being)とアウトブレイク時の Decent Living Standards(DLS)を確保するために、AI を含めどのような技術を必要とするか、またそれらをどのようにインテグレートするべきかについて述べている。

なぜ都市が STI による Well-Being の鍵なのか？

都市化率 (Urbanization-rate) は、1900 年に 13% (都市人口 2 億 2000 万人) であったが、1950 年には 29% (同 7 億 3200 万人) となり、2007 年に 50% を超え、さらに 2030 年には 60% (同 49 億人) と予想されている (WUP2018)。増え続ける人口ストレスの下で「人類の安寧とより良き生存」を確保するためには、AI を含めた STI (科学・技術・イノベーション) によるきめ細かな対応が必要となる。

都市に暮らす人間が世代を超えて引き継ぐべきものは何か？

都市に暮らすことができる人間の数については、エネルギーとエントロピーの視座からは、生存が可能な人間数 (環境収容量) としてその上限が決まる。このような時代に必要なのは、多様な生物との共存および多様な人々への共感性であり、それが世代を超えて引き継ぐべき文化や価値観である。

パンデミックは都市とそこに暮らす人間をどのように変えるか？

都市へと集中する人類の活動は同時に人工物 (Human Artefacts) による自然生態系の破壊につながり地球温暖化やパンデミックなどのアウトブレイクを引き起こす主因とされている。パンデミックは文明の発展の中に人間の謙虚さと本来の強い共感性を取り戻す契機となり得る。

マルチ AI をベースにしたニューノーマル時代のニューローカル

日本が高齢化時代を迎えた現在、多くの都市が市街地の縮小やスポンジ化の影響を受けると予想される。高齢化と感染症が日常となるニューノーマル時代、食料、エネルギーの低い自給率が日本の弱点と言われて久しい。このような不安定な状況から脱却し「人々の安寧とより良き生存」を確保するには、マルチ AI によりネットワークされた自立・自律性の高いニューローカル生活圏からの再構築が必要である。

マルチ AI ネットワーク都市はなぜ必要か？

「マルチ AI ネットワーク都市」のコンセプトは、どのようなアウトブレイク下においても都市の全体崩壊を抑止することである。このため、都市を生活圏の集合と捉え、それらをネットワークすることによりアウトブレイクの兆候をいち早く捉え、予防的に制御するための MAWSS (Multi-AI Well-being Survey System) を内包する。MAWSS は日本が直面する人口減少と高齢化、巨大災害の切迫、地球規模の気候変動、水・食料・エネルギーの不安定な供給および感染症に対するレジリエンスを確保するため、平時から人間と AI が連携して生活圏の情報を集積し、アウトブレイク時に備えるシステムである。

MAWSS: Multi-AI Well-being Survey System

自然災害や COVID-19 など感染症拡大に対応し、同時に「人類の安寧とより良き生存」を実現する処方箋のひとつとして、マルチレイヤかつマルチスケールな生活圏/都市圏を提案する。そこには、マルチモーダル AI ネットワークの支援があり、各圏の各レイヤ間の連携、生活圏間の連携が AI により維持される。多くの行政施策においては、マルチアスペク

ト（多元）、マルチスケール（多重規模）、マルチステート（多重立場）で判断すべき性質を持っているため、AI のみで至適に判断することは極めて難しい。AI はこれらの条件における現状をレポートし、多様な価値基準に基づく評価値をリストとして呈示し、人間の判断を助ける能力を有する。

Multi-AI ネットワーク都市 実現に向けた技術ロードマップ

2050 年までの 30 年先を見据えた場合、都市はその経済効率だけではなく、Carbon-Neutral に代表される低環境負荷かつ、便利、快適、安全な機能を併せもつ必要がある。さらに近年、パンデミックや地球規模の気候変動に伴うアウトブレイクが増加し、レジリエンス（=攪乱から回復する能力）であることも重要となっている。「Multi-AI ネットワーク都市」は複数の生活圏ネットワークによりサポートされているが、実際の都市オペレーションに際しては、MAWSS が提示する解決案が個々の生活圏にとって最善とは限らない。なぜならば、MAWSS は個々の生活圏だけでなく、都市全体の well-being も考慮するからである。このため技術ロードマップは単なる技術的な実現プロセスではなく、well-being の測定と分析に基づく新技術に対する社会的なコンセンサスの形成までを対象としている。

地域性を考慮した新興国への技術移転

DC(Developing Country)では、都市変化の速度は、必要な社会改革のペースを上回っている。人口の大部分は、水、衛生、排水、ヘルスケア、学校などに問題を抱える一方、過去 15～20 年間国勢調査が行われていない国も存在する。DC における長期かつ広域にわたる課題として、a)都市ビジョンの作成、b)地域文化の継承、c)農村 well-being の向上、d)都市と農村の共存および e)アウトブレイク対策があり、これらは主に中央政府によるトップダウンに適している。一方短期的かつローカルな課題としては、f)土地登録制度、g)耐久性ある住宅、h)水・衛生インフラ、i)再生可能エネルギーおよび j)都市型小型 EV の整備や普及があり、地方政府や企業によるボトムアップに適している。DC では先進国と異なり、公共交通、電気、上下水などインフラ未整備のエリアが多く、地域の文化や生活習慣を考慮したうえで必要な技術を選択すべきである。ここでは上記 a)-j)の技術を繋ぐ「マルチ AI ネットワーク都市」を先進国に先立ち実現することを提案している。なにより DC の都市人口は 2050 年に向けて倍増し、20 世紀に先進国が辿った経済効率優先の一極集中都市が生まれ続ける可能性が大きい。

まとめ

- 1) 人間を中心に幸福を追求し、平時における快適性と、アウトブレイク時における安全・安心の確保を目的とする「マルチ AI ネットワーク都市」を提案する。
- 2) 「マルチ AI ネットワーク都市」は、現状の都市構造を壊さない自律・自立分散型の生活圏より構成され、どのような状況下においても都市全体の崩壊を抑止し、同時に Human security と well-being を保証する。
- 3) 「マルチ AI ネットワーク都市」は、ネットワークされた生活圏を多様なデータが自由に行きかい、人間と AI が協力して自律的に都市をマネジメントできる MAWSS (Multi-AI Well-being Survey System)を内包する。
- 4) 「マルチ AI ネットワーク都市」は、日本が直面する人口減少と高齢化、巨大災害の切迫、地球規模の気候変動、水・食料・エネルギーの不安定な供給、感染症のアウトブレイク、などに対するレジリエンスを確保するためのサイバー・フィジカル都市である。
- 5) 「マルチ AI ネットワーク都市」は従来の都市計画とは異なり、最初はサイバーな複数の生活圏により都市が多極化し、最終的にフィジカルな自立・自律生活圏を形成するプ

プロセスを内包する。

- 6) マルチ AI ネットワーク都市の実現へ向け、STI(Science, Policy and Society)の視点から世代を超えた目的共有と文化継承の場が都市であるとの認識のもと、この都市構想への社会的な共感とコンセンサスが得られるよう社会への継続的な発信が求められる。