

「日本の展望 2020（仮称）」の各論統合版 Ver.1 に対する哲学委員会からの意見

- ・ コンテンツ 4
- ・ コンテンツ 5
- ・ コンテンツ 6
- ・ コンテンツ 7
- ・ コンテンツ 8

コンテンツ 4 関係

4-1 (1) については、少子化対策として生殖補助医療の推進、とくに年齢を引き下げての治療の実施を勧めるものと思いますが、データの取り上げ方を含めて、やや一方的な議論の進め方に思われました。

「データの取り上げ方が一方的」というのは、第一段落で論じられているのは日本で 17 人に一人（2017 年）、デンマークでは 10 人に一人（2018 年）が ART で生まれている、そして 2015 年までに累計 870 万人が ART で生まれていると述べられて、これだけで世界的に増加していると結論付けるわけです。しかし日本で 2018 年はどうか、デンマークで 2017 年はどうか、あるいは他の国はどうか、また 870 万人という数字の意味というものは何かと比較してみないと判断はできないと思います。執筆の文字数制限があるとしても、この論じ方は印象操作の疑いをもちました。

4-2 (1) について、「分子生物学では、生命は分子で造られた分子機械であり、その中心に遺伝子・ゲノムがあると考えます」ということなのですが、他方でその生命とはそれぞれ「私」のことであるわけです。もし生命＝分子機械という考え方にそってゲノム医療が進んで行けば、「私」という存在の身体的条件の一切が対象化されてしまい、知られてしまうことになります。しかしそれは生命の尊厳を冒すことにならないかと懸念します。

また (4) ではゲノムデータの社会活用が論じられています。遺伝情報が特段にプライバシーに関わるものでないことと、これを個人を超えて社会活用することでより精度の高い治療法が確立するということですが、そのような功利的な考え方にアブナイものを感じます。情報の集中化、一元化は便利かつ有効であるかもしれませんが、どこか民主主義に反するものを感じました。

5 知識社会と情報

5－1 知の創造と知的社会基盤 高橋委員、徳田委員、喜連川優（連携会員） 4000

（1）知の創造

（2）知の多様性とオープンサイエンス

（3）学術情報を支える知的社会基盤

5-2 知識社会と人材育成

(1) 初等中等教育における情報学教育 徳山 豪（第三部会員） 1400

現代社会に必須である情報利活用人材を育成する上で、一貫した情報学の教育が非常に重要であり、初等中等教育からの情報学教育の実施は国際的な潮流です。現代の情報社会では、市民の一人一人が情報技術に関する知識を背景として、**情報社会の制度や情報倫理に関する見識（←市民の情報リテラシーの中身としてはちょっと足りないように思います。以下を付け加えたらどうでしょうか？）** **およびデータに基づいて議論をする姿勢、そして情報を批判的に取捨選択し読み解く力（情報社会における批判的思考力）**を有していなければいけません。したがって、すべての個人にとって、早期からの情報学教育は必須であると考えられます。また、すべての学術や産業は情報を取り扱い、利活用するといって過言でなく、諸科学や産業の発展、さらに Society 5.0 以降の社会構築のためにも、情報学教育は重大な課題です。

そのため、初等中等教育においては、その後の高等教育につながる情報学教育の枠組みのなかで、情報の一般的なスキルを取得するとともに、情報社会の推進や情報科学技術につながる情報の知識や理解を身につけることが望まれます。2018 年度に告示された学習指導要領では、小学校教育から、プログラミング等の情報に係わる教育が、既存の教科および総合的学習の時間において行われることを定めています。

初等中等教育における情報学教育では、情報とコンピュータの仕組みの基礎、プログラミングの体験、情報の整理や作成、データの理解や扱い、情報コミュニケーションや情報メディアの理解、情報社会における情報の倫理と活用法などが重要な項目です。

情報とコンピュータの仕組みの理解とプログラミングでは、課題を論理的に組み立てて、コンピュータで処理して解決する成功体験が重要であり、これは情報学に対する理解と関心を与えるとともに、論理的な思考能力の育成につながります。

情報の整理や作成やデータの取り扱いにおいては、国語の読み取りや要約による言語情報の整理や作成の学習が基盤的な訓練になり、数式・論理・図表などの理解では算数の学習が基盤となっています。また観察や実験の計画やまとめ、統計を平易に表現するグラフや表などの作成や、そこに内在する情報の読み取りにおいては、理科や地理などの教科と関連します。このように、他教科での教育と連携しながら、コンピュータによる大規模データ処理につながる教育を行います。

インターネットやスマートフォンなどの身近なメディアによるコミュニケーションや、コンピュータゲームや画像・映像ソフトなどのアプリケーションがどのような仕組みであるかを理解することは、情報科学技術への理解と関心を与えると共に、情報セキュリティやプライバシー保護などを含めた情報活用のリスクの理解に必要です。

これらの教育は、現代社会においてすべての市民に必要とされる、情報機器を賢く用いた行動選択やコミュニケーション能力の習得のための基盤であり、さらに AI やビッグデ

ータを用いたデータアナリシスなどの、近い将来汎用的に必要な情報スキルの土台となります。

このように、初等中等教育を基盤にして、大学における一般教養教育や専門教育に有機的につなげる情報学教育を設計し、実施することを目指しています。その指針として、学術会議では情報教育の参照基準を作成しています。参照基準には狭義の情報工学的知識にとどまらず人文・社会科学系の知識・素養も重要な要素として盛り込まれています。それに基づいて、大学等で新たな情報学教育組織がつくられたり、カリキュラム改革が進められつつあります。このような一貫した体系的な教育により、情報スキルを持った職業人になるための国際水準の学識と技術を、すべての国民に与えるとともに、情報社会を推進する優れたアイデアを有する人材の育成が期待されます。

(2) 百寿社会におけるリカレント教育 土井美和子（第三部連携会員） 1400

(3) 人材と雇用のマッチングに関するイノベーション 徳田／萩田（第三部会員） 1400

5－3 サイバーセキュリティと安全保障 徳田委員 4000

- (1) 日本におけるサイバーセキュリティ
- (2) サイバーフィジカル空間の安全性と信頼性
- (3) サイバーセキュリティと人材育成
- (4) サイバー攻撃と安全保障

5－4 プライバシーとデータ戦略 東野輝夫（第三部会員）、徳田委員 4000

（１）プライバシー保護と一般データ保護規則

（２）データポータビリティの実現

（３）データ利活用の未来とリスク

5-5 AI, ロボットの進化の影響 萩田紀博（第三部会員）、土井美和子（連携会員）、徳田委員 4000

- (1) AI/ロボットの進化
- (2) 人とAI/ロボットとの共生
- (3) AI ガバナンスとリスク

(1) AI/ロボットの進化

AI とロボットは、深層学習（ディープラーニング）によって、機械学習に大きなブレイクスルーが生まれ、音声認識、画像認識、言語理解の性能が飛躍的に向上しています。あらゆる種類のデータを入力して高精度に学習できるため、AI とロボットは、産業応用、科学技術、交通、物流、金融、災害対策・予防、気象予測、宇宙産業、農水業、医療・介護などに幅広い分野に適用されつつあります。その進化の鍵を握る主な技術として、コンピュータの高性能化・小型化、電池の長寿命化、無線通信の高速化、これらに伴うビッグデータ処理が挙げられます。

コンピュータの高性能化・小型化は、Moore の法則に基づいて、シリコンチップによる計算速度の高速化とサイズの縮小化に限界がでてきたという意見がある一方で、それに代わる単原子記憶計算チップのように新しい発想と研究によって、Moore の法則かそれ以上の性能を研究する動きもあります。2029 年には、AI の高性能化が進み、人間並みの知性を持ち、チューリングテストをクリアし、2033 年～2044 年の間には、血球サイズのスーパーコンピュータが出現するというカーツワイル氏の予測もこれらの技術開発の進展に依存しています。電池の長寿命化では、2020 年代の実用化を目指して、充電するたびに自己修復する電極や全固体電池の実用化によって、発火の心配がなく、電池交換が不要な電気自動運転車、災害対策ロボット、宇宙ロボットの実現が期待されています。無線通信の高速化では、5G 通信を凌駕する低遅延、大容量通信が可能で、先読みによって遅延を感じさせない通信技術が実現すれば、たとえば、通勤せずに、家に居ながらにして、工場のアバターを遠隔操作することによって、生産性を向上する新たな労働環境が実現でき、子育て支援や高齢者の就労に関わる社会問題を解決するブレークスルーになる可能性があります。これらの進化は同時に並行して進むことによって、今まで、想定外として諦めていた災害を未然に防ぐ地球規模の問題解決や、無数に点在する星の中から生命のいる惑星を探す宇宙の生命科学に至るまで、科学技術に変革を起こすことができます。災害時に、時々刻々収集される災害やその予兆データを用いて災害拡大回避策をシミュレーションすることによって、災害、二次災害などを未然に回避できる可能性が出てきます。しかしながら、この予測だけでは、実際の災害は防ぎきれないこともあります。もし、災害が起こった場合には、現場に駆けつけ、被災者を救助し、二次災害に拡大しない対策も必要になります。救助者・世界中にいる多くの協力者（個人的なボランティアだけでなく企業の大規模な協力までも含む）と AI/ロボットとが協働して、AI やロボット・クラウドソーシングシステ

ムがレスキューロボットによる瓦礫（がれき）撤去や人命救助、安否確認などの問題を集団で解決するサバイバル・クラウドソーシングシステムを実現できるようになります。

カーツワイル氏によれば、2030 年代には、これらの知能が脳の中にどう送り込めるかの技術が考案され、人間の記憶力を AI/ロボットが人体・細胞レベルでも助けるようになる、これに関して、脳の機能を調べる計算脳科学の研究やオプトジェネティクス（光遺伝学）研究が進展していき、外的な刺激によって我々の記憶へ干渉・制御する技術も開発されています。ナノロボットとして、ミクロンレベルやナノレベルの体内や細胞に複数の極小バイオリットが介入し、ネットワーク制御による新たな治療法の基礎実験も始まる可能性があります。光駆動ナノロボットやバクテリアの鞭毛を人工物に結合したサイボーグバクテリアなどの研究も進められています。そもそも体内に入った複数のマルチロボットシステムを外部から目的に応じて誘導・操縦すること自体、まだ多くの技術的・医学的課題だけでなく、倫理的・法的・社会的・経済的(ELSE)課題を設計段階から考えて行く必要があります。（←この書き方ですと、ELSE はナノロボットについてだけ必要みたいに読めてしまいます。以下のように書き換えたらいかがでしょうか。また、設計段階から考えること、そこに文系研究者が最初から参入することの重要性を強調させていただきたいと思います）

以上のような新技術の開発のためにはまだまだ多くの技術的・科学的課題を解決していかなければなりません。さらに、開発された技術を社会に実装し、幸せな人類社会を構築していくためには、倫理的・法的・社会的・経済的(ELSE)課題も考慮する必要があります。ここで重要なのは、新技術が現れてしまってから事後的に、ELSE 課題を考慮して新技術を規制するのではなく、そもそも新技術の開発段階から、人文・社会系の研究者が開発研究に参画し、設計段階から ELSE 課題の解決を新技術に反映していく、プロアクティブなアプローチをとることです。実際、多くの研究開発がこうした手法を取り入れつつあります。一方、異種で多数の AI/ロボットシステムがクラウド上で複数結合して生まれる大規模システム(System of Systems)をどのように運用していくかも今後の重要な研究課題になります。

2030 年に向けて、ナノレベルから社会レベルまで、並列処理、分散処理、マルチプロトコルによる通信制御など新しいシステム・アーキテクチャ概念を提案していく必要があります。

（２）人と AI/ロボットとの共生

現在、ロボットは、産業用ロボットをはじめ、自律走行車、ソフトロボティクス、研究開発用ロボット、生活ロボット、医療支援ロボット、海中ロボット、宇宙ロボット、インフラ保守・建設ロボット、災害対応ロボットなど幅広い分野で実用化が進んでいます。この中で人と AI/ロボットとの共生という視点から自律走行車、ソフトロボティクス、研究開発用ロボットを紹介します。

まず、自律走行車の開発では GPS（Global Positioning System）やレーダー、カメラといったセンサの小型化や精度向上により、自動運転は、人（運転手）と車（システム）が担う

運転動作の比率や技術到達度、走行可能エリアの制限などによって、次のようにレベル0からレベル5の6段階に分類されています。レベル0～2は人間ドライバーが主体ですが、レベル3～5はシステムが主体になります。現在の自律走行車の多くはレベル1あるいは2であり、レベル3が中心で、最近になり、レベル4（特定の場所でシステムが全てを操作）の自動運転試験走行も始まっています。2030年までに販売される新車のうち、最大15%が完全な自律走行車（レベル5で完全自動運転。場所の限定なし）という予測もありますが、人を主体にするかAI/ロボットのシステム側を主体にするかにおいて、制度的課題を段階的にクリアしていくことが重要になります。

次に、これまでのロボットは硬い身体をイメージしますが、人とロボットの共生を実現するためには、柔らかい素材で効率良く力をだせるソフトロボティクスの研究が重要になります。ソフトロボティクスは、生物の細胞や組織のような弾性や流動性を持つ柔軟材料に特有の機械的・電気的・化学的性質を積極的に利用したロボットシステムに関する分野で最近急速に進展しています。ロボットがすべき計算の一部を材料にアウトソーシングする斬新な考えや自己修復機能なども考えられています。このような柔軟素材を用いたロボットのアクチュエータ技術は主に物体把持や移動に焦点が当てられてきましたが、介護現場などでロボットが人に優しく、社会的なインタラクションを行う場合に、この研究は重要になります。

研究開発用ロボットは技術開発ライフサイエンス分野では質量分析計と次世代シーケンサー等の高感度・ハイスループット解析機器を用いた大規模で網羅的な解析のために、膨大なサンプル数をハイスループットに、かつ正確に処理する操作があります。この操作を人手による人海戦術には限界があり、ロボットが高速に自動化に人が研究に注力という新しい共生的 symbiotic な関係が生まれてきます。このように、AI/ロボットは、人に類似した能力（対話能力や介入方法）だけでなく人の能力を超える（顔認識、自動解析処理）も持ちつつあります。我々も脳の記憶だけに頼らずにスマートフォンやパソコンを使ってインターネット上にある知識をあたかも自分の第2の脳として利用することが当たり前になっています。ロボットのセンサ技術やアクチュエーション技術が進歩し、AIの機械学習が益々進歩することによって、AI/ロボットが人間の視聴覚だけでなく、触覚・嗅覚・味覚などのセンサ能力を超えていくと、スマホに頼る我々の生活様式と同様に、AI/ロボットのこれらの機能に頼る生活様式・文化が生まれてくる可能性があります。たとえば、冷蔵庫の食品ロスをなくす計画的で、自分の健康状態に合った魅力的な食事を料理してくれるなどが進化した食文化がうまれてくる可能性があります。人とAI/ロボットとの共生は、個々人が不足している能力を補完するという意味で多様な利用形態が生まれていきます。しかしながら、AI/ロボットはネットワーク環境と接続されていますから、人々の意に沿わないデータ収集・利用や人々への余計な介入、それらの履歴データをネット上で情報共有すること等も技術的には可能になってしまいます。商業施設の監視カメラはその典型例ですが、この履歴データが倫理的・法的・社会的・経済的(ELSE)課題という意味で今後とも大きな社会

問題を起こす可能性を秘めています。これを防ぐために、人と AI/ロボットとの間には共生的 symbiotic な関係だけでなく、何かしらの調和的 harmonious な関係を築くことに注意を払う必要があります。AI/ロボットの介入の仕方も、人に応じて、どの程度まで介入すべきか、介入のために事前にどのようなデータを使って学習し、介入した結果に対して、どのようにトラブルを想定・回避していけるかなど、高度な設計指針が要求されます。人間自身も AI/ロボット技術が進化することによって、身体との違和感が少ないサイボーグ化や、あたかもその場で自分の手で操作しているかのように感じられるアバターによる遠隔操作が当たり前になって、AI/ロボットと共生する新しい学び・教え・働きなどの生活スタイルが生まれて行きます。たとえば、1人で100台以上のアバターやロボットを操作することが可能な AI/ロボットが生まれると、食糧確保のための農業や工場での労働力確保と生産性向上が図れ、緊急性を要する災害対策だけでなく未然に防ぐ予防対策を含めて安心・安全な社会基盤を構築できるようになります。

次に、人と AI/ロボットと共生する社会が進化することで、ネットワーク上に集約された人と AI/ロボットとの膨大なインタラクションデータや知識（集合知性）を利用して、個人レベル、集団レベルで複数の選択肢の中から一つを選択する「意思決定」と、全ての AI/ロボットにおいて意思の統一を図る「合意形成」が必要となると考えられます。もはやパターン認識を中心としてきた機械学習から一歩進んで、意思決定や合意形成のための AI が重要になってきます。フェイクニュースが社会問題化しつつある複雑社会において、合意形成の過程では、多様な価値観が混在・対立し、個人・集団が主体性や納得感を持って意思決定できるような支援技術の確立が求められます。意思決定プロセスは Herbert A. Simon（1978 年ノーベル経済学賞受賞）氏が指摘した、通常人がすべての可能性を考えて意思決定することに限界がある（限定合理性）と言われてきました。人間の判断・行動が必ずしも合理的になり得ないことを踏まえ、行動経済学が発展し、その中で Daniel Kahneman（2002 年ノーベル受賞）は、人間には直観的な「速い思考」と論理的な「遅い思考」があると主張しています。AI/ロボットとの共生が進むとこれらの人の判断・行動過程も AI/ロボットの性能と連携しながら、共生的でかつ調和的に新しい意思決定や合意形成ができるようになるかもしれません。

（3）AI ガバナンスとリスク

人と AI/ロボットとの共生で述べた倫理的・法的・社会的課題を解決するために、国として次のような指針がでています。内閣府の「人間中心の AI 社会原則検討会議」が 2019 年 3 月 29 日に発表した「人間中心の AI 社会原則」では、少子高齢化、人手不足、過疎化、財政支出増大等、成熟型社会の直面する社会課題に最初に直面する国として、AI はこれらの問題の解を導き、SDGs (Sustainable Development Goals) で掲げられている目標を達成し、持続可能な世界の構築するための鍵となる技術と考えられています。その中で、「AI も社会に多大なる便益をもたらす一方で、その社会への影響力が大きいがゆえに、適切な開発

と社会実装が求められます。AI を有効に活用して社会に便益もたらしつつ、ネガティブな側面を事前に回避又は低減するためには、我々は AI に関わる技術自体の研究開発を進めると共に、人、社会システム、産業構造、イノベーションシステム、ガバナンス等、あらゆる面で社会をリデザインし、AI を有効かつ安全に利用できる社会を構築すること、すなわち「AI-Ready な社会」への変革を推進する必要がある」と述べられています。

たとえば、秘密鍵を利用者が管理できないという問題を解決するために、暗号資産のブロックチェーン技術が考案され、安全性を技術的に解決しようとしたましたが、実際の社会に導入すると、交換業者がサイバー攻撃の犠牲となり、安全性が損なわれてしまうという事態が起きました。AI-Ready な社会への変革を推進するには、技術的課題だけでなく制度的課題も同時に考えた社会のリデザインが不可欠になります。そのリデザインは予想外に多方面にわたり、しかも根底的なものになると思われます。たとえば、仕事を通じた自己実現、消費と所有を通じた自己表現といった従来の価値観は大きな変更が必要となるでしょう。また、AI に倫理的・道徳的判断をさせることの是非、AI の倫理的判断に人間がしたがるべきか否か、AI/ロボットが事故や犯罪を犯したときの責任のありかなどについて、根本的な考え直しが必要になるでしょう。もしかしたら、「責任」概念を核として構築されてきた、私たちの倫理・法システムを根底からリデザインする必要性が生じるかもしれません。したがって、AI-Ready な社会への変革のための作業には、人文・社会系研究者も全面的に参画する必要があります。この点も踏まえて、基本理念として、(1) 人間の尊厳が尊重される社会(Dignity)、(2) 多様な背景を持つ人々が多様な幸せを追求できる社会(Diversity & Inclusion)、(3) 持続性ある社会(Sustainability)を挙げ、AI がこれらの理念を前提に、社会が AI を受け入れ適性に利用するため社会が留意すべき基本原則 (7 原則) に基づく研究開発が求められます。

- [1]人間中心の原則:AI は人間の基本的人権を侵さない
- [2]教育・リテラシーの原則:誰もが AI を利用できるよう教育を充実
- [3]プライバシー確保の原則:個人情報を慎重管理
- [4]セキュリティ確保の原則:AI セキュリティーの確保
- [5]公正競争確保の原則:公正な競争環境の維持
- [6]公平性、説明責任、及び透明性 (FAT) の原則:AI を利用した企業に決定過程の説明責任)
- [7]イノベーションの原則:国境を越えてデータを利用できる環境を整備

6 国土の保全と資源管理

6-1 人口減少・防災減災と国土利用のあり方 米田委員 5600

(1) 災害外力の増大と人口の減少

我が国は災害外力の増大と人口の減少という大きな二つの変化に直面している。この課題に向き合い、国土利用のあり方を考察する。

はじめに災害外力を考える。地球温暖化の影響により気象災害が増大している。日本近海が温暖化し、大気中の水蒸気量も増えつつある中、豪雨や台風の発生頻度が高まりその規模も大きくなる傾向にある。近年は深刻な豪雨災害が毎年起きており、日本中どこでも小さな町でも大きな都市でも、地形や河川の特長、土地利用によって、洪水氾濫や浸水、土砂崩れや土石流などの危険性が高まってきている。

日本列島は4つのプレートの衝突部にあり、世界の地震の10%、世界の火山の7%が日本周辺に集中している。北アメリカプレートとユーラシアプレートの下に、太平洋プレート、フィリピン海プレートが沈み込んでおり、2011年東北地方太平洋沖地震は、太平洋プレートの沈み込みで発生した。この地震に連動して、現在、南海トラフ大地震の発生と津波被害が危惧されている。さらに日本列島には、多くの活断層があり、首都直下地震をはじめ甚大な被害をもたらす内陸型地震が懸念されている。口永良部島、桜島、霧島、阿蘇山、三宅島、御嶽山などが噴火し、西之島という火山島もできつつある。日本中のどこでも大地震が起きる可能性があり、火山活動による影響を受ける地域も多い。

さらに、気象災害の頻度の高まりとともに、豪雨災害の後の地震、大地震の後の豪雨、台風の時に地震が重なるなど、被害が拡大しがちな複合的な災害に備える必要性が高まっている。

つぎに、人口の歴史的変遷を振り返る。縄文時代の人口は約60万人、1192年鎌倉幕府成立時は約800万人となり、1603年江戸幕府成立時は約1300万人、1868年明治維新時は3300万と推定されている(国土庁「日本列島における人口分布の長期時系列分析」1974年)。明治以降は人口が激増し、2008年には約1億2800万人でピークを迎えた。それが一転して高齢化・少子化という時代になり、2100年には高位推計で6500万人、中位推計で5000万人に減少すると予測されている。(国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口」2012年)

日本の総人口は、今後100年で100年前(明治後半)に戻っていく可能性がある。明治以降の人口の激増と現代の人口の激減は、日本の歴史上、類を見ない変化である。国土利用の方向を根底から見直す必要がある。

(2) 国土利用の変遷と今後の方針転換

日本の面積は38万km²、そのほとんどが山地などであり人々が安心して住める平地は少ない。歴史を振り返ると、縄文時代には、人々は不安定な臨海部を避けて、安定的に

コメントの追加 [A1]: 削除。削除の理由: 世界の活火山の7%が日本国内にあるため。

暮らせる丘、台地に集落を作った。海や川を利用せずに暮らしは成り立たなかったが、河川の河口や海岸地域は洪水、高潮、津波など自然条件が厳しいため、臨海部に居住することは不可能であった。その後、稲作が始まると、山裾からでる水を利用するために、山裾沿いに集落を作り定住した。

その後、人口が増加すると共に、人の力で平地を造りはじめた。東京は、江戸であった時代から、治水と埋め立てを延々と続けてきた世界でも珍しい都市である。江戸幕府の最初の仕事は、利根川の流れを土木工事で変えて、湿地で水害の常襲地帯であった関東平野に町を作ったことである。その後、浅瀬や低湿地を埋め立てて町を拡げ続けた。江戸だけではない。全国の津々浦々で、埋め立てにより農地や町を拡げていった。

明治維新時の 3300 万人から平成ピークの 1 億 2800 万人に、9500 万人もの人々が増えた。増加する人々の居住地と産業用地を確保するために取られた政策も、海面の埋め立てであった。戦後の土木技術の発展は、大規模な工事を短時間でを行うことを可能にした。東京湾、大阪湾、伊勢湾、瀬戸内海を埋め立て、臨海工業地帯を造り、団地を造り、全国から就業者を集めた。レジャー施設も造られた。増えた人口の大半が、縄文時代に海であった所に住み着いたのが、20 世紀の国土構造の特色である。

ただし、戦前には居住が禁止されていた洪水の常襲地帯が、戦後に居住が解禁されたことは深刻な問題である。人口が急増し、地価は暴騰し、土地取得の大変な時に、治水がある程度整った地帯を市街化する要望は強かった。例えば、東京、名古屋、大阪のゼロメートル地帯である。ダムや遊水池を配置し、河川堤防、海岸堤防を作り、治水技術を駆使して海面より低い場所に人が住める状態を作った。

大都市だけでなく、中小の都市も同様である。人口の急激な増加とともに、自然災害の起こりやすい危険な土地に人々が暮らすようになった。治水、埋立、地盤改良、施設の基礎工事などの土木・建築技術が進んだことが、居住域を拡大した。その結果、軟弱地盤、遊水池、旧河川地域、斜面の造成地など、戦前では居住できなかった場所に、今では多くの人が住み、産業が誘致された。

しかし、地球温暖化が進み、2018 年西日本豪雨、2019 年台風 19 号など、河川行政が想定した雨量や水量を上回る気象災害が発生するようになった現在、これまでの想定は見直さざるを得ない。首都直下地震、南海トラフ大地震などの大地震が起こったときには、このような地域は軟弱地盤による大きな揺れ、津波の到来などにより深刻な被害を受ける。

巨大な地震が発生すると、自然はもとの姿に戻ろうとする。西洋の近代的土木建築技術は自然を克服することを前提にしてきた。しかし、近年の自然災害の激化は、その限界を知らしている。さらに温暖化が進んで海面が上昇する時に、土木・建築技術だけで支えきれぬのかという問題もある。技術開発は必須であるが、国土利用のあり方を見直す必要がある。

日本列島のキャパシティという面では、1億2800万人は過剰であったかもしれない。1億2800万人の人間が、6500万や5000万に減る時に、日本列島のどこへ住み着くかという新しいテーマが出てきた今、台地などの安全な地域に住むことを提案する。

将来の構想として、100年後に5000万人の安全で安定した居住地を作ろうという姿勢が大切である。これから人口が減少するときに、自然災害の危険性の少ない地域へと、国の大方針を変えるべきである。

（3）自然回帰型の土地利用制度の創設

今後の人口減少社会においては、これまでの人口増や経済成長下の状況において前提としてきた土地利用の圧力が低下し、利用目的のなくなる土地が発生し、その対応が必要となる。

政府は「国土のグランドデザイン2050」で、地方創生のための「コンパクト＆ネットワーク」を打ち出し、小さな拠点づくりと拠点間の公共交通の整備を進めようとしている。居住地を集約し、生活の質を維持しつつ行政コストを抑制するとしている。これは重要な施策であるが、これに次の4つの提案を加えるべきと考える。

①前節でも述べたように、防災の視点から、安全な地域へのコンパクト化の実現が必要である。近年多発する自然災害は、住宅地や産業立地を自然災害を受けやすい地域に広げてきたことに大きな原因がある。

②従来の開発型ではなく、自然回帰を推進する土地利用制度の創設が必要である。例えば、コンパクト化対象外の地域は、山奥にあった家を除去し森林や農地に戻すなど、廃村に近い集落を森林に戻すことが必要になる。従来は、農地→宅地、森林→工業用地という開発型の変更が主流であったが、今後は、宅地→農地・森林、工業用地→農地・森林、農地→森林などの自然回帰型の変更が生じるが、日本には未経験な取組であり、これらを奨励する制度が必要である。

③産業の衰退が続く過疎地では、森林や農地などの自然資本の活用が重要である。自然資本の多面的機能の発揮に加えて、自然資本から産物を得る農林水産業や、自然資本を使った観光・健康・福祉・レクリエーション等のサービス業を振興することができれば、地域の持続的な発展につながる。市街地のコンパクト化を進める一方で、対象外となる自然資本についても、積極的な姿勢でマスタープランをたてるべきである。

④人手をかける地域、自然に還す地域に分ける。人口の減少で「人手」にも限りがあるため、農地・森林を優良な農地や人工林のように「人手をかける地域」、あまり人手をかけずに「自然に還す地域」に分けて誘導することを提案する。

農地においては、次の4つの形を提案する。

1) 優良な農地：農業経営に向けた農地を選び、公的助成を投入して集約化をすすめ、農業の生産性を向上させる。農地と拠点にある住居を結ぶ道を確保し、通い農業を実現

コメントの追加 [A2]: 集約化、生産性向上は20世紀型農業です。人口が減少する時代には、肥料・農薬・エネルギーの使用を最小限に抑え、安全で安心な農業を目指すべきです。多品目少量生産の、身の丈にあった農業でゆったりと暮らすことが、健やかな社会を作ります。

する。2) 拠点周辺の農地：通常の農業に加え、家庭菜園、福祉型農業などの多様な担い手の農業を奨励する。3) 自然に還す農地：耕作に不向きな農地は草地・自然林に戻す。4) 公用地等を農地に転用：拠点化の対象外で廃止となった学校・グラウンド・庁舎・公民館の跡地を、農業施設・野菜工場・加工場・森林バイオマス利用施設等に変更し、近代的な農林業の基地とする。

今後の森林についても、次の4つの形を提案する。

1) 優良な林地：人工林経営に向けた林地を選択し、公的助成を投入し、境界明確化、集約化、作業道の整備を進め、林業の生産性を向上させる。2) 半自然的利用を推進する里山等：自然の回復力を利用した森林資源の循環利用を推進する。例えば、里山二次林の場合、20年-30年程度の周期で伐採し、自然萌芽により植生を回復させる。伐採した樹木はバイオマスやチップの原料にできる。3) 自然に還す林地：人工林経営に不向きな林地は自然林等に還す。例えば戦後の拡大造林で植林された奥山や急斜面を針広混交林に誘導する。4) 自然林：地域の自然に調和させ、あまり人手をかけずに多面的機能を発揮するよう誘導する。

このように、従来の農地・林地のすべてを人手をかけて維持するのではなく、適地を選び、不適な場所は自然に還すことが今後は重要になる。なお、自然に還す方法にはいろいろな段階があり、半自然的利用、例えば「草地」の再生も重要である。戦後の農地開拓や拡大造林等で草地は急減したが、畜産振興、獣害の抑制、生物多様性の保全のために、草原の回復が望まれる土地は多い。さらに、「自然に還す土地」では、野生動物との共生、生物多様性の復活がめざされるべきである。

コメントの追加 [A3]: 「萱場」という語も加えていただけるといいと思います。

（４）自然に還す地域における土地の公有化

所有者不明の土地を公有化する制度の整備が必要である。所有者が分からないために、農地や林地の集約化の難航、防災・災害復旧の事業への支障、周囲の土地の自然環境の悪化や経済的価値の低下など、様々な問題が発生している。遺産の分割相続による土地の細分化と未登記の増加で、この問題は急速に深刻化しつつある。

自然的土地を健全に維持するためには、次の方法が考えられる。

- ① 土地の所有者の管理の義務を強化する。
- ② 土地の所有者が、土地の管理を放棄した場合には、固定資産税を強化する。
- ③ 土地の所有者・相続人が、自治体等への寄附や低価格な譲渡を行いやすい仕組みをつくる。
- ④ 所有者への連絡が困難な土地（所在が不明、相続人が多数で登記未了等）は、一定の公告などをへて、所有権と利用権を分離し、利用権を自治体等の管理下におく。

⑤ 自治体が所有者を捜し出せず、一定期間公告しても権利者が現れない場合、所有者不明の土地を公有地とする。ただし、公有地とする際に、その地価担当分を基金としておき、一定の期間内（例えば 10 年間）に所有者が判明した場合には、土地を返却もしくは補償できるようにする。

⑥ 所有者不明の土地は、いったん自治体の管理下におき、取得時効（10 年または 20 年）をもって、**公有地化する**。

⑦ 土地の登記の義務づけを強化する。

これらのうち、⑤と⑥は新しい提案で、この他はこれまで検討されてきた方法である。日本は土地の所有権が比較的強い国であり、従来の常識では⑤や⑥の公有地化は困難とみなされることが多い。ここで留意したいのは、今後増える「自然に還す土地」の管理である。農地や林地（人工林）と異なり、その土地からの直接的収益が期待されない。ここでは公有地化への促進が重要になる。

現代の問題は、自然的土地の所有権をもつ個人が、地域を離れ、その管理を放棄しているところにある。自治体が防災上の措置を講じたくとも、所有者を探し出せないことが多い。

歴史を振り返ると、明治 6 年（1873 年）の地租改正により、日本に初めて土地に対する私的所有権が確立した。封建領主による領主権や村などの地域共同体による共同保有という封建的な土地保有形態が崩壊し、土地に個人の所有権が認められた。測量技術が未熟で、また地租を少なくするために、面積の過小申告をした者も多く、「団子図」という不正確な公図が作られた。現在の日本では、2015 年度の地籍調査によると森林の地籍は 44%しか確定しておらず、56%は「団子図」のままである。戦後に植えられた人工林の境界は比較的明確だが、それ以外の自然に近い森林の境界は、昔から今日に至るまで不明確なままのものが多くと推測される。

このようにして、明治以降に、野や山の所有権は徐々に「地域から個人」に移行してきた。自然的土地を地域が管理する体制は、明治時代に私的所有権が生まれてからも、長子相続が行われていた戦前までは維持されてきたが、戦後の分割相続の導入とともに、構造的に維持しがたくなっている。

「自然に還す土地」の管理については、所有権のあり方にさかのぼって考える必要がある。「自然に還す土地」を、個人所有から地域の公有に移行させる⑤や⑥の方策が、国土保全、森林保全のために、財産権のタブーをこえて議論されるべき時に来ている。

「後は野となれ、山となれ」と言葉にあるように、温暖で湿潤な日本は、手をかけずに放っておけば草地や森林になる地域が多い。不要になった施設を撤去し、危険箇所には土砂崩壊防止の措置を行いながら、**あまり人の手をかけずに、多面的な機能を発揮できるように誘導していく仕組みが、人口減少化の日本にふさわしい。**

コメントの追加 [A4]: 非常に重要な論点だと思います。所有者の明確化だけでは問題は片付かず（墓地や家屋でも既に問題が起こっている）、さらに固定資産税未納の物件には同じような措置を行うべきではないでしょうか。

コメントの追加 [A5]: そのとおりで、そのためにも、上述されていた危険な空間にすまない方向に移行することが重要でありと考えます。

これまで述べてきたように、日本の人口は 2008 年に約 1 億 2800 万人をピークに減少が始まり、100 年後には明治後期の 5000 万人程度になると言われている。明治以降、狭い国土で人口増加に対応するために、埋め立て、土地造成など多くの開発行為が行われてきたが、人口が減少する時代には、自然災害の危険性の少ない地域を活用すると共に、自然還元型の土地利用の創設が大切である。人口の増加から人口の減少へと大きくベクトルが変わる今、国土利用の大方針を変えるべきである。

6-2 農業・農村・農産物の展望 澁澤委員・小田切徳美（第二部会員） 2800

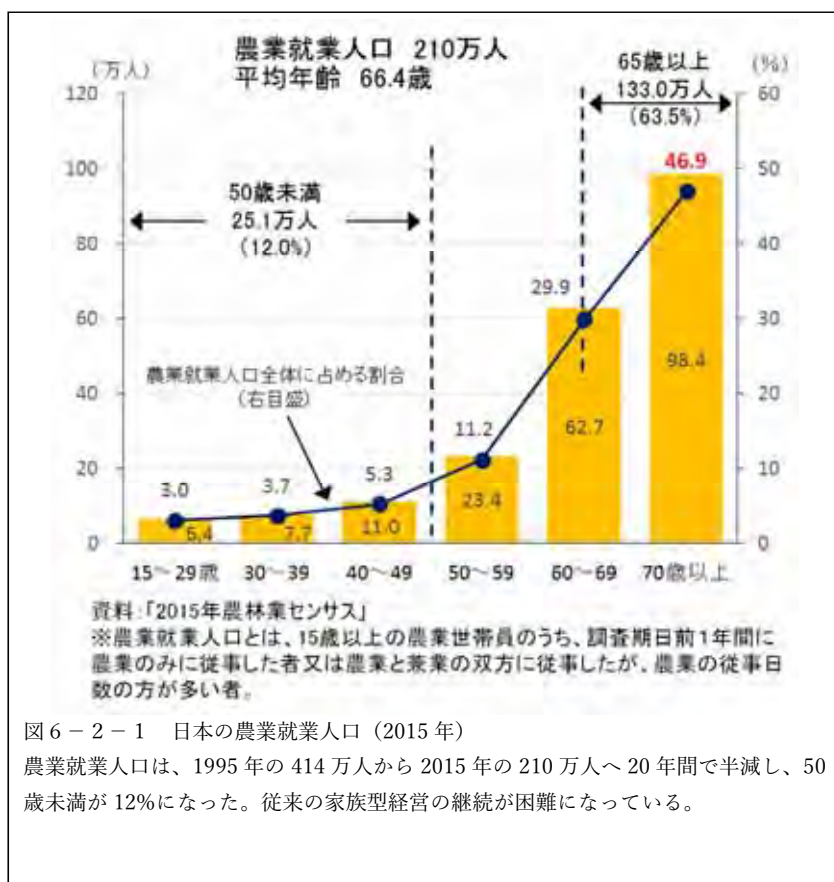
6-2 農業・農村・食市場の展望 （澁澤委員・小田切徳美第二部会員）

（1）2030年の展望

人口・食料・資源・土地利用（農村）において、従来からの均衡が崩れ、農業や食料の需給状況（食市場）、都市と農村の関係が大きく変化する。

- 1) 毎年 60 万人近い人口減に伴い国内食市場は 3 千億円ほど縮小し続け、2020 年に 60 兆円の市場規模が 2030 年には 57 兆円程度まで減少する。このように、国内では生産額 10 兆円弱の 1/3 に相当する消費市場が縮小する一方で、世界では人口増に伴い毎年 30 兆円規模で食市場が拡大する。そのため、低価格・大ロット出荷をめざす輸出志向の農業事業体が国内にも現れるなど、国際市場規模の 890 兆円(2015)から 1360 兆円(2030)への拡大が食と農の国際化を加速化する。
- 2) 農業生産分野では、農業就業人口の高齢化と毎年数十万人規模の離農により（図 6-2-1）、家族型経営では 2015 年の農業者 200 万人規模が 2030 年には 20 万人規模に減少するが、企業的法人数型経営などの参入機会が拡大する。現状の生産性を維持するには一人あたり 5 倍以上の生産性向上が必要となり、従来の家族型経営を主体にした農業生産の組織と技術体系の刷新が求められる。それに伴って、ゲノム育種やスマート農業および食の流通と安全の担保や労働安全などの農業技術開発と運用の仕組みの革新への国民の期待が急速に高まる。
- 3) 農産物市場では、国内の健康志向・未病対策の食膳やライフスタイルの変化に対応した機能性農産物のニーズが高まり、また国際市場への参入をめざす農業事業体も現れる。それに対応して、大小様々な生産・流通・販売を一体的に扱う多角的食農クラスターの潮流が支配的になる。一方、リスク管理とトレーサビリティの担保された農産物へのニーズも高まり、緻密に管理できる（小規模）農場や流通システムの価値も見直される。
- 4) 先行事例としては、近隣の 50 軒を超える離農した農家の小規模水田 500 枚 40ha をわずか三人の構成員による農業法人が、情報を活用する精密農業により標準的経営と同等の土地生産性を維持しているケースがある。一人あたりの生産性では 10 倍以上である。地域の離農した農家（地主）と密接な関係に基づく信頼関係を最も重視し、消費者への全量直売により、農業補助金なしに優良経営を実現している。ここにおける経営革新はテクノロジーだけではなく、奥深い哲学（価値観）により支えられている。
- 5) 情報通信技術の利活用によって、人間の管理できる空間範囲が拡大し、かつ、明瞭になる。それにより、農地や集落（居住地域）の再配置が進み、野生動物との共存という課題を克服した自然共生型農業が登場する。
- 6) 食料・農業・農村をめぐる、情報の創成と流通の信頼性、農村集落が持続する存在

意義と集落消滅，農産物の集配と輸送，消費の公平性における都市の役割，山林のビジネス化と生態系保全・水資源の持続性，などの諸課題が国土のあり方を巡るトレードオフ問題として先鋭化し，それぞれの事項への明確な回答が求められる時代になる。



（2）2050年の展望

日本は、1960年前後の人口規模（？千万人）になり、農村部の地方自治体のネットワーク化や再配置など、現行社会システムの崩壊と新たな模索が至るところで繰り広げられる。

- 1) 人工知能ネットワークが普及し、熟練経験知の多くが人間の手を離れ、各種の情報処理や判断文脈構成が機械的に行われる。人工知能システムの利便性を管理し、享受する人々とこの利便性から置き去りにされた人々との間の格差が極端に拡大し、社会的経済的な地域差や階層差などの格差が深刻な社会的問題となる。
- 2) 農業分野でも、農産物流通の問題が顕在化する。基幹流通に必要な長距離トラックの（日本人）運転手がいなくなり、集配拠点を結ぶ新たな輸送システムの再構成が必要になる。鉄道、自動車、フェリー、航空などの組み合わせや、ターミナルマーケットなどの集配拠点の再配置や整備が計画的あるいは自然発生的に進められる。それに伴い、消費地の集配システムの脆弱化が 800 万人の「買い物難民」（この現象をフードデザートともいう）を生み出し、生活習慣病人口の拡大をもたらすなど、基幹流通の脆弱化は生活と産業の動脈の喪失に匹敵する社会課題になる。
- 3) 農業生産地域では、過疎化と担い手の刷新および地域コミュニティ崩壊のため、まず、生活拠点の新たなまちづくりからはじまる。数年に一度の大災害に見舞われる災害社会が続き、さらに数回の大規模自然災害とそれからの復興を経験することにより適正規模の生産拠点とまちづくりが進められる。

（３）スマート農業の展望

スマート農業の構想は、Society5.0 の実現に向けたサブシステムであるスマート生産システムおよびスマート・フードチェーンシステムの政策展開として位置づけられる。このスマート農業は、ロボット技術や ICT などの先端テクノロジーを活用し、超省力・高品質生産を実現する新たな農業のスタイルである。GPS 自動走行システム等を利用した農業機械の自動走行、重労働を軽労化するアシストスーツ、除草などの作業を軽労化するロボット等の利活用が、労働力不足や経済のグローバリゼーション、生態系保全や消費嗜好の多様化など、複雑で多様な課題を同時に実現する農業技術体系として期待されている。

育種・生産・加工・消費にわたるフードチェーン全体の収益管理とリスク管理のデータ・情報が共有され運用されるとき、スマート農業と接続したスマート・フードチェーンシステムが現実のものとなる。フードチェーンを構成する様々な事業者が産業クラスターを構成することにより、グローバリゼーション時代の農業競争力の担い手が明瞭になる（図 6-2-2）。

しかし、技術は豊富だが、利活用が貧困であることは、第 4 の農業革命といわれる 2000 年代の精密農業の世界的展開から警告され続けており、スマート農業でも同じ問題に直面する。問題はマネジメントの不在である。そのマネジメントの対象は、組織の再編等の意思決定の仕組み革新、資金調達方法の刷新、在庫管理の改良、評価方法の改善、マネージャーやプレイヤーの変更、そして農地や農作業スタイルの変化にまで及び、技術の開発主体と運用主体が同時に改革を迫られることになる。つまり、かつて経験したことのない農業のシステム転換に直面している。

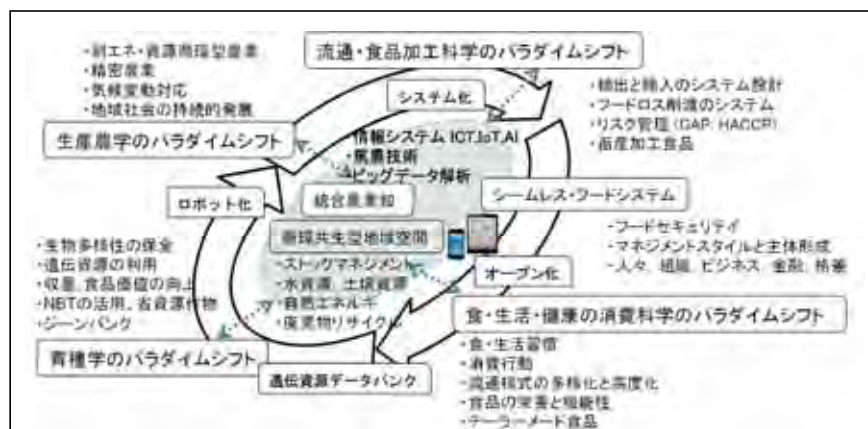


図6-2-2 SDGs実現をめざしたスマートフードシステムの研究展望

SDGsの実現をめざす社会のニーズを、育種、生産、加工・流通、品質管理等に反映させ、農林水産物・食品を提供する循環共生型のシステムイノベーションを狙う。(2019 農学委員会・食料科学委員会)

6-3 森林環境と林業の展望 丹下委員 2800

日本の森林率は66%と高く、スギやヒノキなどの人工林が森林面積の40%を占めている。森林資源量は、この50年間でおよそ2.8倍に増加しており、その増加のおよそ80%が人工林によるものである。森林は、木材生産機能に加え水源涵養や土砂災害防止、地球温暖化の防止、生物多様性の保全などの多面的機能を有している。地球温暖化に伴う気候変動は、人類社会の持続性を危うくする環境問題であり、地球温暖化対策のための国際的な協定であるパリ協定では、二酸化炭素などの温室効果ガスの排出を今世紀後半には実質ゼロにすることを目指しており、省エネ技術の革新によって排出量の削減を進めるとともに森林吸収源の強化が求められている。樹木は大気二酸化炭素を光合成によって固定し、樹体に長期にわたって貯留する機能を有している。森林から生産される木材は、大気二酸化炭素を固定したものであるため、石炭や石油などの化石資源とは異なり、燃焼させても大気二酸化炭素濃度を増加させないカーボンニュートラルな資源である。2015年に国連が採択した2030年に向けての持続可能な開発目標（SDGs）においても、気候変動への具体的な対策を講じることがあげられており、大気二酸化炭素濃度の上昇を抑えるために、森林資源の増大とともに、化石資源の代替資源としての木材利用の促進とを両立させる持続可能な森林経営を求めている。

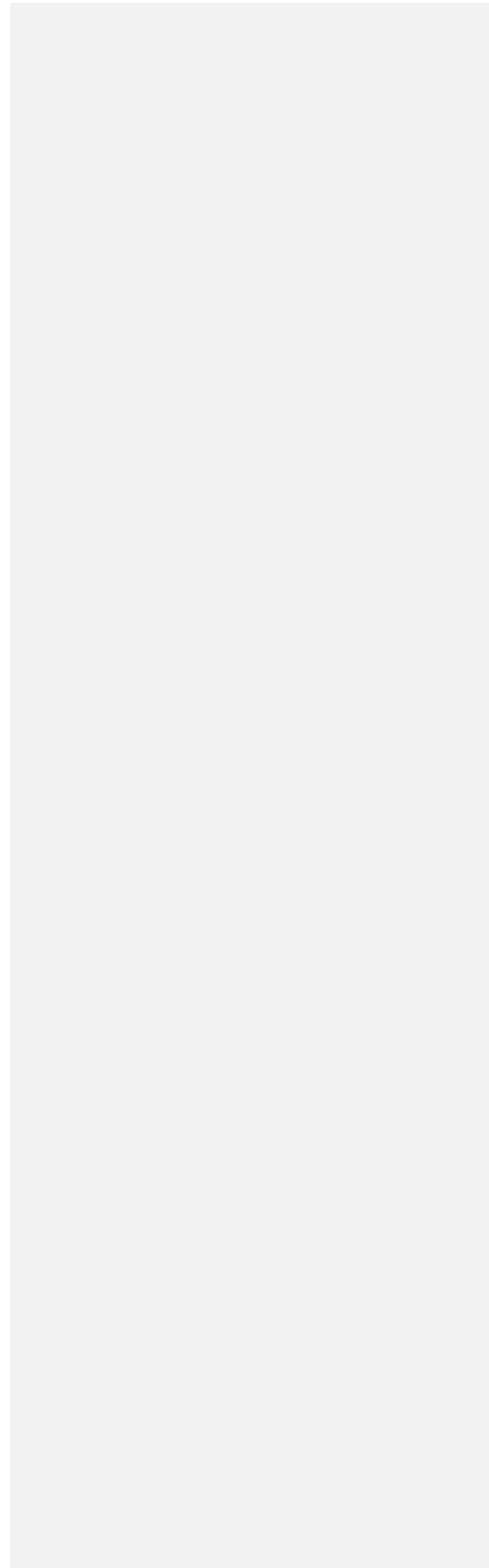
日本の木材需要は、2000年頃までは1億m³を超えていたが、バブル崩壊に伴う住宅需要の低迷等により2009年度には6480万m³まで縮小した。その後の景気回復やバイオマス発電需要の増加、木材輸出の増加などによって、2018年度には8248万m³までに回復した。国産材供給量も、2009年度の1827万m³から2018年度の3020万m³に1200万m³程増加しており、その半分以上がバイオマス発電用燃料材として供給された人工林間伐材供給の増加である。木材の自給率も、2002年度の18.8%を底に2018年度は36.6%に上昇しているが、多くの木材を海外に依存する状況は変わっていない。人工林の木材資源は、現在は年5千m³程度増加しており、国産材の年供給量を5千万m³程度まで高めることは可能な状況にある。一方で、木材価格の低迷による林業の採算性の悪化から、伐採後に再造林が必要ない択伐や間伐（抜き伐り）による木材生産が多く、また皆伐後に再造林されない人工林が増えてきている。最近の年人工林造成面積は、2万haに達しておらず、1960年代の30分の1程度となっている。現在は、伐採利用可能な人工林が広く存在しているが、幼齢人工林面積の著しい減少が将来の森林資源造成の課題となっている。

政府は、木材生産に適さない人工林を広葉樹林化や針広混交林化するなどして天然更新可能な森林に戻し、人工林面積を現在の2/3程度に縮小するとともに、残した人工林での林道網の整備による高性能林業機械の導入や流通コストの削減などによる林業の成長産業化の方針を示している。人工林面積を減少させるにあたっては、造林作業の機械化などの育林作業効率の向上に向けた人工林配置の再構築を、地形や林道網などの条件を考慮して検討・実践することが必要である。また農業分野では、農地面積が1960年の607万haから

2018 年の 442 万 ha に減少している。減少した農地面積のおよそ半分が宅地等、他の土地利用への変換であり、残りの半分が耕作放棄された荒廃農地となっており、荒廃農地での森林化も進んでいる。将来の農林業のあり方に基づく土地利用の再構築が必要な時期に来ており、それを踏まえた人工林配置の再構築が必要である。素材生産の生産性を高めるための林地の集団化を可能とするために森林経営管理法を 2019 年 4 月に施行し、森林の環境保全機能発揮の促進のために 2019 年 4 月から森林環境贈与税を森林環境税に先んじて導入するなど、森林の資源利用と環境保全機能発揮の両立を実現するための基盤が整い、これからの 10 年で実践するための態勢を整備し、30 年で確実なものにすることが期待される。林業の成長産業化への取り組みは、成熟した人工林資源の利用促進に重点が置かれており、その結果として林業の採算性が向上し、森林資源の再造成の推進につながることが期待されている。現状では人力による作業が多く、機械化が遅れている人工林造成をより低コストで行うための技術開発や人材育成の推進が、今後 10 年の重要な課題であろう。

持続可能な環境を実現するためには、化石資源から木材などの生物資源への転換を積極的に進めるとともに、これまでの大量生産・大量消費の生活スタイルから環境性能の優れたものを長く使う生活スタイルへの変更が必要である。木材の主要な用途である建築物については、建築基準法の改正によって中高層木造建築物の建築が可能になり、大判で厚型の木質構造用材料である CLT（直交集成版）や鋼材を内蔵させることで耐火性能を高めたハイブリット集成材などが使用可能になるなど、中高層木造建築物の建築のための技術的基盤が整いつつあり、都市の建築物で使われる木材がもっと増える可能性がある。廃棄プラスチックによる海洋汚染が環境問題として取り上げられ、生分解性プラスチックが注目されている。またセルロースナノファイバーや改質リグニンなど、高機能な植物由来素材の開発研究も活発になっている。木材からの新たな素材の開発は、化石資源の使用量削減による温暖化対策としても期待されているが、生産コストの高さが普及の課題となっている。生産時の二酸化炭素排出量によって消費者が購入時に商品を比較することができるようにして、木材の用途と需要の拡大と国民の環境に対する意識の向上により、林業の採算性が向上し、環境保全と持続可能性の高いライフスタイルに貢献する森林経営が広まることを期待している。

地球温暖化防止対策として持続可能な森林管理の重要性は、SDGs やパリ協定でも取り上げられるなど、国際的な認識は広がっているが、1990 年から 2015 年までの 25 年間に世界の森林面積は 1.3 億 ha 減少し 40 億 ha となっている。森林減少は熱帯地域の途上国や新興国で起きており、経済発展と人口増加に伴う土地利用の変化が原因となっている。森林の重要性を訴えるだけでは解決せず、持続可能な森林経営を行うことが経済的な利益を生む社会システムが必要である。日本の森林面積は 2500 万 ha であり、日本の森林を保全するだけでは地球温暖化防止への効果は限定的である。2030 年に向けた SDGs や今世紀後半に向けたパリ協定の達成のために、日本がリーダーシップをとって熱帯林保全に向けた国際協働を進める時である。



6-4 海洋環境と水産資源管理の展望 古谷研（連携会員）、和田時夫（連携会員） 2800

海洋は、熱や二酸化炭素などを大気と交換しながら循環させることにより気候を安定化させるとともに膨大な生物を養っています。しかし、前世紀の後半以降、地球温暖化や海洋酸性化、海洋脱酸素化が深刻な問題となりました[1]。それらに対処するために生態系を含めた海洋の科学的理解が従来にも増して重要になっています。

地球温暖化による水温上昇は海洋生物の分布や回遊をはじめ生態に大きな影響を及ぼし、また、海面水位の上昇を引き起こして沿岸部での人間活動や居住を困難にしていきます[脚注1]。海洋酸性化は「もう一つの二酸化炭素問題」とも呼ばれ[2]、大気中の二酸化炭素が海洋に溶解して海水のpHが低下する現象です。これによりサンゴや貝などの多くの海洋生物が炭酸カルシウムの骨格や殻を作ることができなくなりますが、その影響で海洋の食物連鎖や漁業がどう変化するかについてはほとんど分かっていません。海洋の脱酸素化は、水温上昇により海水への酸素の溶解度が低下する現象です。昇温により海面付近の海水が軽くなると下層と上下に混ざりにくくなるので、酸素濃度低下の影響は深い層にも及んでいきます。また、沿岸域では人為的富栄養化による貧酸素水の形成[脚注2]が問題となっています。こうした溶存酸素濃度減少の影響は単に生物だけではなく、炭素や窒素、リン循環などの広汎な生物地球化学的過程に及びますが、その実態解明はこれからの課題です。これらの問題に加えて海洋プラスチックごみが新たな課題となっています[3]。プラスチックごみはそれ自体が海洋生物の生存を脅かすだけでなく、分解して微粒子化し、表面に吸着した有害汚染物質とともに海洋生物に取り込まれ、さらに私たちの食卓に上る危険性が明らかになってきました。



図1. 北太平洋の大気-海洋システムの周期的変動とプランクトン食の水産資源の水揚げ量の変動。
太平洋10年規模振動指数は気象庁資料。魚種別水揚げ量は農林水産省「漁業・養殖業生産統計年報」に基づく。

生態系内では食物連鎖を基軸とした様々な種間関係を介する物質循環により無数の化学物質が変質しながら生物に利用され、生態系が維持されています。私たちはその生物を食料として頂き、様々な生活素材や医薬品を得るばかりでなく、排泄物は浄化され、有害物質は無害化され、大気の成分が調節されています。これらの生態系の諸機能を人類は海の恵みとして享受していますが、上に述べた環境問題を含め人間活動の影響で海洋の生物多様性は低下し続けています。多様性が減少すると種間関係のネットワークが脆弱になり、海の恵みは劣化します。生物多様性を保全することの重要性はここにあります。

海の恵みの代表が水産資源です。わが国周辺の海洋環境は変化に富み、多様な生物種が水産資源として利用されています。その一方で、繁殖や分布・回遊は様々な時間・空間スケールでの気候変動の影響を受け、量的な変動が大きい特徴があります。特に、マイワシ、サバ類、サンマ、スルメイカなどのプランクトン食の表層回遊性資源は、北太平洋の海洋－大気の循環システムの周期的な変動に対応し数十年規模で大規模な変動を繰り返してきました[4,5]（図1）。近年はこうした周期的変動に加え、地球温暖化の影響が顕在化しつつあります。ブリ、サワラ、スルメイカなどでは、分布・回遊の北偏により漁場や漁期が変化し漁業にも影響を及ぼしています[6]。遡河性魚類であるサケでは成魚の回帰が減少していますが、原因としてわが国沿岸やオホーツク海の水温上昇に伴う餌料環境の変化や回遊経路の制約により稚魚や幼魚の生残率が低下した可能性が指摘されています[7]。また、造礁サンゴの白化や分布の北上、藻場の構成種の変化、南方性の生物種の進出と定着など、沿岸域の生物相の変化も観察されています[6,8]。さらに、環境依存性の高い貝類養殖や藻類養殖の生産にも影響を及ぼすことが予想されています。既に陸奥湾におけるホタテガイ養殖では夏季の高水温による斃死が[9]、有明海のノリ養殖では冬季の水温上昇による収穫時期の遅れや生産の不安定化[10]が生じています。

このような環境変化に伴う変動に加え漁獲の影響も無視できません。わが国は、1997年以来、わが国周辺の約50種80系群（資源評価の単位）の水産資源について毎年資源量や漁獲の影響を評価し、マイワシ、サバ類、マアジ、サンマ、スケトウダラ、スルメイカ、ズワイガニについては年間の漁獲量の上限を定めて管理を行ってきました。しかしながら、現在も、評価対象の半数近くの資源が低位水準にとどまっており[11]（図2）、漁獲量や漁獲努力量を抑えて、持続可能かつ最大限の漁獲量[脚注3]が期待できる水準にまで資源量を回復させる必要があります。このため2018年末には70年ぶりに漁業法が改正され、漁獲量規制の強化や資源評価の拡充が図られることになりました[12]。

マグロ類など公海や各国の排他的経済水域に跨って分布・回遊する資源は、関係国で構成される国際機関によって管理されており、太平洋のクロマグロなどでは資源量が回復に向かっています[13]。一方、わが国周辺の公海域や近隣諸国との共同管理水域における外国漁船の操業の活発化やIUU漁業[脚注4]の跳梁は資源の持続可能な利用にとっての障害であり[14,15]、科学的な資源評価に基づく管理の実行と衛星情報も活用した漁業活動の国際的な監視や規制が必要です。

国連の持続可能な開発目標(SDGs)においても、海洋生物資源の保全が目標の1つ(SDG14)として掲げられています。わが国周辺水域の生物多様性を維持し水産資源の持続可能な利用を図ることは水産国であるわが国の責務です[16]。

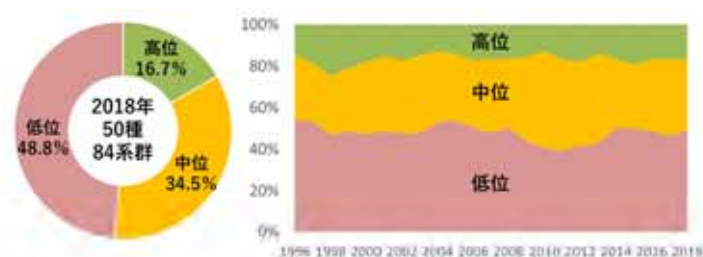


図2. わが国周辺の資源水準の動向。
水産庁・（国研）水産研究・教育機構による「我が国周辺水域の漁業資源評価」に基づき作成。
低中位、中高位と評価されれているものが数例あるが、いずれも中位に含めた。

以上から、私たちがこれから取り組まなければならない課題を整理します。

1. 海洋環境と生態系が直面する地球規模の問題について科学的知見を集積して将来予測の精度を高め、影響評価、緩和策の立案に資する学術を推進することが急務です。物理、化学、生物などの諸分野が協力して総合科学である海洋研究を進めるとともに、国内外の研究者の連携が不可欠です。わが国はこれまでの蓄積を基盤として中西部太平洋の海洋研究を推進することが重要な国際貢献となります。
2. 人類を含め地球上の生物にとって海洋がもたらす恵みは生存に不可欠です。わが国の海洋立国にとって海洋の理解を図ることが重要であり、初等中等教育における海洋の機能に関する科学教育の充実が強く望まれます。
3. 水産資源は生物資源であり自律的な再生産を通じた持続的な利用が可能です。このため、資源の変動特性に応じた維持すべき資源量水準を明らかにし、適切な管理措置を講じることが必要です。また、持続可能な資源利用を促進する上でエコラベル等を通じた消費者への啓発活動も重要です。
4. 水産資源管理には継続した資源や漁業のモニタリングと信頼性のある評価が重要です。特に公海域の資源管理やIUU 漁業対策には国際的な協調、連携が不可欠です。
5. 沿岸域～沖合域の温暖化影響に対し、漁業や養殖業の実行面における適応（漁期、漁場、対象種、手法の選択、切替等）が必要です。ここでも海洋環境と生態系のモニタリングと予測が鍵となります。

脚注1：海水温の上昇による海水の膨張や陸上の氷の融解による淡水の流入が原因。

脚注 2：人間活動によりもたらされる窒素やリンによって海洋の有機物生産が過剰に高まり、その有機物が分解される過程で引き起こされる現象。

脚注 3：最大持続可能漁獲量（Maximum Sustainable Yield; MSY）と呼ばれ、国際的な水産資源管理の目標。

脚注 4：違法・無報告・無規制（Illegal, Unreported and Unregulated）に行われている漁業。不正確あるいは過少報告を行う漁業、国籍不明の漁船による漁業、国際的に規制されている水域における無許可漁船による漁業を含む。

- [1] IPCC 2019 : The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
https://report.ipcc.ch/srocc/pdf/SROCC_FinalDraft_FullReport.pdf
- [2] Raven, J. et al. 2005 : Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide.
The Royal Society Policy document 12/05, pp.68.
- [3] 日本学術会議（2019）海洋生態系への脅威と海洋環境の保全－特に気候変動及び海洋プラスチックごみについて－。
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-s20jp2019-1j.pdf>
- [4] 川崎健・花輪公雄・谷口旭・二平章（編著）、2007：「レジーム・シフト：気候変動と生物資源管理」成山堂、216 p.
- [5] Takasuka A, 2018 : Biological mechanisms underlying climate impacts on population dynamics of small pelagic fish. In Fish population dynamics, monitoring, and management (eds. Aoki I, Yamakawa T, and Takasuka A), p19-50. Springer.
- [6] 水産総合研究センター編、2009：「地球温暖化とさかな」成山堂、182 p.
- [7] 帰山雅秀・荒木仁志・宮下和士・永田光博・佐々木義隆・浦和茂彦、2018：気候変動下における日本系サケの持続可能な保全管理のあり方とその研究課題、海洋と生物 238、459-465.
- [8] 国立環境研究所、2014：サンゴ礁の 過去・現在・未来 環境変化との関わりから保全へ、環境儀 53、14p. <http://www.nies.go.jp/kanko/kankyogi/53/02-03.html>
- [9] 青森県、2011：平成 23 年度陸奥湾ホタテガイ高水温被害対策専門家委員会報告書。
<https://www.pref.aomori.lg.jp/soshiki/nourin/sshinko/files/H23hotateiinkai.pdf>
- [10] 川村嘉広、2006：有明海奥部のノリ養殖：影響する環境要因と自然環境への影響、海洋と生物 167、603-610.
- [11] 水産庁、2019：第3章平成 29 年度以降の我が国水産の動向、第1節水産資源及び漁場環境をめぐる動き、（1）我が国周辺の水産資源、イ 我が国周辺水域の水産資源の状況、平成 30 年度水産白書、p80-81.
https://www.jfa.aff.go.jp/j/kikaku/wpaper/h30/attach/pdf/30suisan_3-1.pdf
- [12] 水産庁、2018：漁業法等の一部を改正する等の法律の概要について、11p.
<https://www.jfa.aff.go.jp/j/kikaku/kaikaku/attach/pdf/suisankaikaku-19.pdf>

- [13]水産庁・水産研究・教育機構、2019：クロマグロ太平洋、平成30年度国際漁業資源の現況. http://kokushi.fra.go.jp/H30/H30_04.pdf
- [14]Oozeki Y, Inagake D, Saito T, Okazaki M, Fusejima I, Hotai M, Watanabe T, Sugisaki H, and Miyahara M : Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images、Marine Policy 88, 64-74.
- [15]宮原正典、2019:IUU 漁業の撲滅にむけて ～研究機関の取り組み～、Ocean Newsletter 452. https://www.spf.org/opri/newsletter/452_1.html?latest=1
- [16]日本学術会議(2017)わが国における持続可能な水産業のあり方ー生態系アプローチに基づく水産資源管理ー. <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t248-2.pdf>

索引用語候補案

地球温暖化

海洋酸性化

海洋脱酸素化

海洋プラスチックごみ

海の恵み

水産資源変動

養殖

最大持続可能漁獲量

IUU漁業

持続可能な利用

6-5 野生動物等の管理 鷲谷いづみ（連携会員） 2800

人新世の野生動物管理問題

現代は、「人新世」という地質時代の名称が提案されるほど、人間活動に起因する大きな環境変動を特徴とする時代です。土地利用やインフラ整備により改変され、毒物や栄養塩で汚染された環境は、野生動物の個体群動態、空間分布、生物間相互作用、適応進化などへの影響を通じて、多様で甚大な生態的・進化的な変化をもたらしつつあります。

絶滅のリスクを高める種が地球規模でも日本国内でも増加する一方で、ヒトが意図的・非意図的にもたらす非生息地域への生物の導入は、生物多様性や生態系機能への影響を介して、あるいは病原生物を随伴導入することを通じて、経済的被害や健康・生命への被害を含む、さまざまな問題を生じさせます。

ペットとして飼われていた動物が遺棄されて野生化することによる「外来生物」問題も深刻です。野良ネコやノネコ（野生化したネコ）が捕食を通じて生物多様性にもたらす甚大な影響が世界各地から報告されており、沖縄やんばる地域や奄美大島もその例外ではありません。ペット由来のアライグマが野生化し、農業被害を含む多様な被害をもたらしていますが、人獣共通感染症のリスクにも留意が必要です。

一方で、都市への人口集中の進行とともに、かつては自然性の高い地域に生息が限られていた在来の動物が都市に住み込み、都市環境に適応しつつある事例が世界各地から報告されています。その中には、ロサンゼルスやサンパウロに生息するようになったピューマなど、ヒトに危害を及ぼす可能性のある大型の捕食者も含まれます。日本でも最近、ヒグマが都市に出現するなどのニュースが頻繁に報道されるようになりました。

このようにさまざまな新しい問題が顕在化ようになった現代の野生動物管理には、1) 絶滅リスクの高い在来動物の保全、2) 自然資源としての動物の持続的利用のための管理、3) ヒトとの軋轢が大きい動物の被害防止や個体群管理、4) 生物多様性・生態系や人間活動に大きな影響を及ぼす外来動物の根絶を含む排除・抑制など、目的や手法の異なるさまざまな領域が含まれます。対象とする動物の生態・進化、生息空間の生態系変化、ヒトとの関係の変容、将来予測など、科学が解明すべき課題が多いものの、問題が比較的新しいため、問題解決に直接寄与する応用科学分野は未だ発展途上で、社会の要請に必ずしも十分に応えることができていません。問題は深刻化しつつあり、今後はいっそう複雑で難しい問題が生じることが予想されることから、当該分野の速やかな発展が望まれます。

日本学術会議が提案した「人口縮小社会における野生動物管理のあり方」

世界に先駆けて人口縮小が進行している現在の日本では、社会経済的な理由による一次産業の衰退と都市への人口集中、耕作放棄農地の急増、狩猟人口の減少と高齢化が急速に進み、地方における土地の利用・管理圧が低下しつつあります。農山村の「むら」の空洞化と集落機能の脆弱化の一方で、ニホンジカ、ニホンイノシシ、ニホンザル、ツキノワグ

マなどの大型野生動物の増加と分布拡大による農林業被害や生態系への影響など、ヒトと野生動物との軋轢が目立つようになりました。とくに、ニホンジカ、イノシシなどによる農林業被害は深刻で、人口縮小・高齢化が進んだ地域において地域社会を持続させる上での重大な障害の一つとなっています。被害は、自然環境と社会経済環境のいくつかの要因が絡まりあって生じており、対策は、それらに広く目を向け、野生動物の個体群の時空間的な動態やヒトを含む生態系における多様な生物との複雑な相互関係を十分に理解した上で進めなければなりません。

日本学術会議は、平成30年6月に環境省自然環境局長から「人口縮小社会における野生動物管理のあり方の検討に関する審議」の依頼を受けました。検討を依頼されたのは、

- 1) 有効な科学的野生動物管理を行うにあたっての現行制度の問題と解決のための方策、
 - 2) 科学的野生動物管理システムの具体的なイメージとシステム構築にあたっての要件、および
 - 3) その担い手となる人材、特に、現場における科学的な判断・実践、データの収集・活用、などを担う人材の養成システムについてです。
- 日本学術会議は、課題別委員会「人口縮小社会における野生動物管理のあり方の検討に関する委員会」を設置して、この問題を検討しました。毎回の委員会には関連省庁の担当者や有識者を参考人として招聘し、公開講演会で広く意見交換を行うなど、外部に開かれた審議を1年余りにわたって行い、2019年8月に、回答「人口縮小社会における野生動物管理のあり方」をとりまとめて公表しました (<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-k280.pdf>)。

回答に記された主要な提案の概要は次の通りです。

(1)野生動物の有効な統合管理のために、省庁間施策を連携させることと基礎自治体の専門組織力の強化。とくに、市町村と都道府県が計画・実施・モニタリングにおいて緊密に連携し、また、それらの業務を担う専門職員として市町村に鳥獣対策員、都道府県に野生動物管理専門員を配置し、農政・林政担当職員と協働するしくみを構築すること。

(2)捕獲した野生動物を地域資源として持続利用するためのルールとしくみの整備。食肉等として安全に、持続的に利用するには、捕獲から消費に至るまで、衛生管理とフードチェーンシステムの構築することが必要。

(3)管理放棄地も含む包括的土地利用計画のための科学と基礎自治体並びに地域コミュニティの役割の強化。利用・管理が放棄された耕作地や里地・里山の植物資源採集地など、野生動物の餌場や隠れ場所となる未利用地や低利用地の適切な活用。再自然化を含めて、幅広い選択肢を基礎自治体と地域コミュニティが主体的に検討・選択できるようにすること。

(4)科学的データの集積と運用のための市民に開かれた学術研究のしくみの構築の必要性。野生動物個体群の科学的情報に基づく順応的管理として実施するために、「生息動向(分布・個体数)のデータベース」や「捕獲個体等の試料バンク」を局所・広域・国土レベルの空間階層性に応じた空間サンプリングデザインのもとに構築すべきこと。これらのデータ蓄積の基盤を整備したうえで、分析・予測・評価を担う広域科学委員会（国公設試験研究機関・大学等が参加）をブロック単位での整備。

(5)地域に根差した野生動物管理を推進する高度専門職人材を養成する教育プログラムの創設。(1)～(4)の課題に関し、科学的研究の推進と人材の養成は喫緊の課題。特に、野生動物管理と地域社会の諸問題を統合的に捉えて、現場で解決するための科学的な計画立案、実践、モニタリングを担える人材（野生動物管理専門員）の養成が強く望まれる。

7 エネルギー・環境問題

7-1 長期的・世界的視野に立った気候変動・エネルギー政策（3E+S、パリ協定など） 鈴置保雄（第三部会員）、山地憲治（連携会員）、秋元圭吾（連携会員）、疇地宏（連携会員） 3000

7-2 エネルギー・環境分野の科学・技術（エネルギー・環境イノベーション戦略などを含む） 3000

7-3 社会の変容とエネルギー需要（デジタル化の進展による大幅なエネルギー需要削減の可能性） 3000

7-4 エネルギー・環境教育（総合性、リスク認知、情報リテラシーなど） 3000

7章 エネルギー・環境問題

本章では、エネルギー・環境問題において、現代社会が大規模なエネルギー利用なくしては成立しなくなっている中、それをよく理解しながら、2050年やそれ以降に向けて、地球規模の環境問題をいかに解決していく必要性があるかについて論じます。

7-1 長期的・世界的視野に立ったエネルギー・気候変動政策

本節では、まず現代社会がエネルギーの進展とどう結びついて発展してきたかを振り返りながら、現在、顕在化してきているエネルギー・気候変動問題の状況、特徴、そして政策動向を踏まえ、2050年に向けて展望します。

（1）エネルギーと経済成長の歴史

18世紀初頭にニューコメンにより鉱山の排水用に作られた蒸気機関は、1765年にワットが蒸気機関から復水器を独立させたことを始めとする多くの技術的改良の結果、能力が著しく増大し、エネルギー効率が大幅に改善され、革命的な動力源へと昇華し、産業革命に大きく寄与しました。これは英国に大量に存在した、比較的安価に採掘可能な石炭の後押しによるものです。また、同時に鉄製品の需要が格段に大きくなりました。それまでは木炭を利用して鉄を製造していましたが、石炭からコークスを作って鉄を生産するコークス製鉄法が生まれ、大量の鉄を生産できるようになり、産業革命を後押ししました。ここでも石炭は重要な役割を担いました。英国のステューブソンは、1814年には石炭輸送のための蒸気機関車を設計し、その後、実用化させました。米国では1807年、フルトンが蒸気船を実用化させました。これらを契機に鉄道や海運の交通網が発達していき、大量の物資や人員を短時間でさまざまな場所に輸送できるようになっていきました。

電磁気学も発展しました。電磁気学の基本法則と呼ばれているクーロンの法則が、クーロンによって発表されたのは1785年です。1827年にはオームがオームの法則を発表し、電気回路が進展することとなりました。1831年にはファラデーが電磁誘導の法則を発表しました。19世紀後半になると、エジソンは1870-80年頃に蓄音機や電話機、白熱電球、発電機などを次々と実用化させていきました。また、テスラは交流電動機などの電気機器を発明

コメントの追加 [A1]: 全体に、環境技術で環境問題を乗り切ろう、そこで一番問題になるのは経済的な要素、という論調である。原子力発電所事故後に起こった国民的議論も取り上げられておらず、原子力発電に関する書き込みが不十分であると感じられる。

コメントの追加 [A2]: 頭から「大規模エネルギー利用」を肯定する態度に問題はないか。「エネルギー節約は重要な課題であるが、社会生活の維持のためには適正なエネルギー供給を図ることは不可欠である中」というようなスタンスが必要ではないか。

コメントの追加 [A3]: 「環境問題を解決する」という表現はどうでしょうか。そもそも「解決」できるようなものではないように思いますが。

し、発電、送配電に大きな影響を与えることとなりました。

ペリーが浦賀に来航したのが 1853 年、明治元年は 1868 年です。ワットの蒸気機関から 100 年程度が過ぎた頃で、日本も産業革命の影響を急速に受けることとなりました。産業革命は急速な近代化、経済成長を多くの国でもたらすこととなりました。人もしくは馬などが主要な生産要素だった社会から、機械設備やエネルギーを主要な生産投入要素とする社会へと変わっていきました。それによって、新たな資本とエネルギーを作り出し、その循環を作り出すことで、加速的な経済発展が実現していきました。

化石エネルギー利用は農業分野にも劇的な変化をもたらし、1906 年、ドイツのハーバーとボッシュは、化学肥料（窒素肥料）を生成するハーバー・ボッシュ法（空気中の窒素からアンモニアを合成）を開発しました。このプロセスでは大量のエネルギーが必要でした。そして、これによって農作物の収穫量は飛躍的に増加しました。人類の食料需給制約を大幅に緩和し、乳幼児死亡率の低下¹、人口の増大につながり、経済成長を後押しすることとなりました。また産業革命によって、社会の形も大きく変化していきました。鉱工業に従事する労働者の数が大幅に増えたことで、都市に多くの労働者が集まるようになり、都市化も進展していききました²。

1885 年には、ダイムラーとベンツがそれぞれ内燃機関であるガソリンエンジンを取り付けた自動車を製作しました。同じ頃、石油開発技術も進展してきていたため、石炭利用の蒸気機関から、石油利用の内燃機関への大きな変化が起こり始めたのです。20 世紀に入ると、世界は経済成長の原動力として、石油というエネルギーの争奪を行うことにもなっていました。

このような歴史でみられるように、産業革命以降の経済成長は、科学技術の発展によって、エネルギーとりわけ大量の化石エネルギーを効率良く安価に利用できるようになったことと密接な関係があります。そして、ある科学技術が、他の科学技術の革新を生み出しながら、「共進」して発達してきました。つまり、エネルギー効率を向上させ、安価にエネルギーを動力として利用することが可能になりました（ワットの蒸気機関など）。そして製造時に消費されるエネルギー量や直接的なエネルギー消費量も低減することで（コークス製鉄法など）、さまざまな製品やサービスが実現してきました（鉄道、船舶、自動車など）。またそれらを通して資本を蓄積し、それが生産能力を大きく拡大させてきました（鉄道、電力システムの発達など）。同時にエネルギー採掘技術の発展はエネルギー利用をさらに安価なものとし、経済の好循環を生み出してきた歴史がありました（石油開発技術など）。図 7.1 は世界経済における一人あたり GDP の推移ですが、人類の歴史において、それが急速な増大を始めたのはまさに産業革命以降でした。経済の好循環が起こる中で、一人当たりエネルギー消費量も急速に増大していきました（図 7.2）。今もエネルギー消費量と経済成長の正の相関は基本的には続いており、特に、近年は、GDP と電力消費量との強い正の相関が見られて

¹ 無論、食料だけではなく、医療の発達も大きく貢献しました。

² 農業の機械化、生産性の向上が、必要な農業従事者を低減させたことも重なって都市化は進展してきました。

います（図 7.3）。2050 年に向けても、少なくとも世界の電力消費量については、世界 GDP との正の相関は継続すると見るべきでしょう。

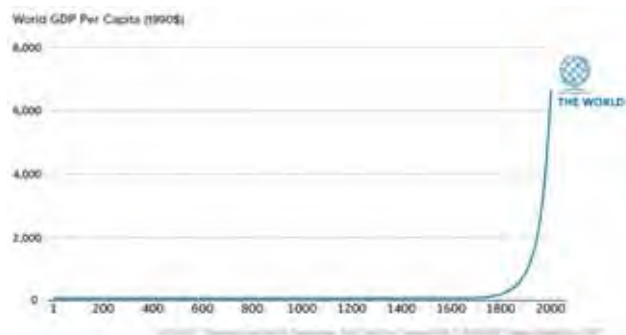


図 7.1 世界の一人あたり GDP の推移

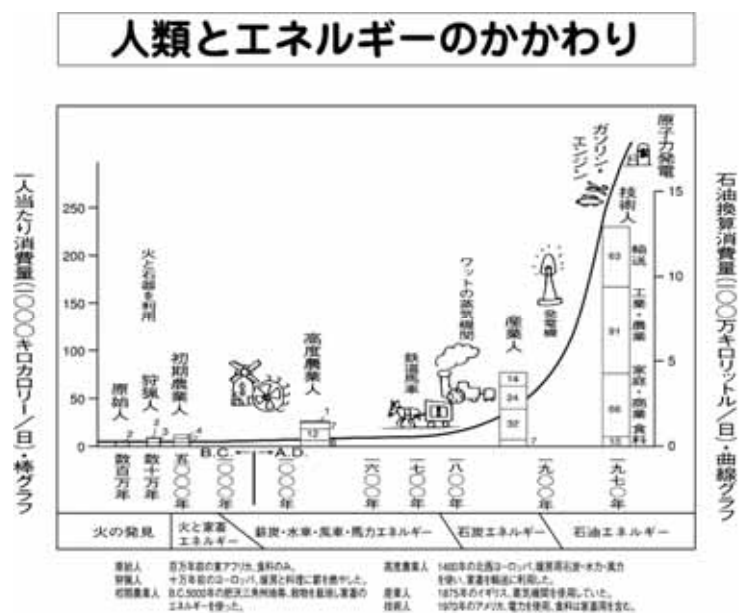


図 7.2 世界の一人あたりエネルギー消費量の推移（出典：総合研究開発機構、「エネルギーを考える」、1979 年）

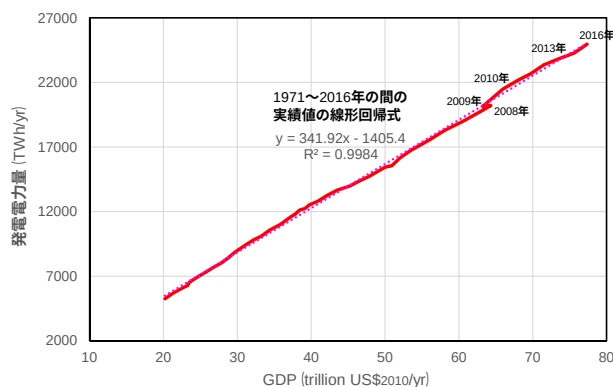


図 7.3 世界の GDP と発電電力量との関係（1971～2016 年）（出典：国際エネルギー機関 World Energy Balances より作成）

（2）エネルギーと気候変動問題

産業革命以降の長期にわたる成長の過程において、経済成長に伴って様々なリスクを低減してきた一方で、様々な環境問題も生じてきました。今、化石燃料の大量消費などによって、CO₂排出による温暖化問題が大きな問題として立ちふさがってきています。

気候変動影響は、時間スケールが長く、そのため、世代間の負担の問題も生じます。また、全球的に影響が及ぶが、影響度合いは地域によって差異が生じます。例えば、アフリカや小島嶼国など、元々、人間にとって生活が厳しい国々の環境がより厳しくなる可能性があります。そして、影響が及ぶ分野が広範です。一方で、気候変動緩和（排出削減）の面においては、経済活動の基盤として化石エネルギーに依存した構造となっているため、エネルギーを利用すれば必然的に CO₂ が排出されるので、大幅な削減は容易ではありません。まず、先述のように、安価なエネルギーを利便性高く利用できるようになったことで、様々なリスクから人類は開放されてきたことを踏まえる必要があります。その上で、気候変動影響被害によって新たに大きなリスクに晒される可能性が見えてきた訳です。温暖化対応のために、エネルギー利用に高い費用が必要となったり、エネルギー利用の制限をすることとなれば、過去、経済成長を伴って、食料アクセス、高い乳幼児死亡率など、人類が直面していたリスクを、大きく低減することに成功してきたリスク低減傾向を停滞させるか、もしくは再び上昇させてしまうことにもなりかねません。リスクとリスクのトレードオフ（相反）に留意した対応が必要です。

国際的な気候変動対応を振り返ると、1994 年に国際連合気候変動枠組条約（UNFCCC）が締結され、1997 年の第 3 回締約国会議（COP3）において京都議定書が採択されて、温室効果ガスの排出削減の具体的な取り組みに向けて世界が協力する枠組みができました。そして、京都議定書は 2005 年に発効しました。しかし、京都議定書は先進国にのみ実質的な

排出削減を求める枠組みであり、2000 年に入ってから、途上国の急速な排出量の上昇が起
こる中で、世界の温室効果ガス（GHG）排出量の増加はむしろ加速しました。そこで、す
べての国が実質的に排出削減に取り組む枠組みとして、2015 年の COP21 において、2020
年以降の気候変動対応の国際枠組みとしてパリ協定が合意され、2016 年 11 月に発効しま
した。パリ協定では、2030 年頃に向けた中期の各国目標の提出（国別貢献 NDCs: Nationally
Determined Contributions）および検証するプロセスに合意するとともに、長期気温目標と
して「世界的な平均気温上昇を産業革命前に比べて 2℃より十分低く保つとともに、1.5℃
に抑える努力を追求する。」とされました。そのため、「長期目標を達成するよう、世界の温
室効果ガスの排出量が最大に達する時期をできる限り早くするものとし、その後、迅速な削
減に取り組み、今世紀後半には、温室効果ガスについて人為的起源排出と吸収源による除去
量との間の均衡を達成する。」ともされました。また、COP21 の招請を受け、気候変動に関
する政府間パネル（IPCC）は、1.5℃特別報告書（SR15）を作成し、2018 年 9 月に公表し
ました。そこでは、1.5℃上昇を抑えるには、2050 年頃に世界の CO₂排出量を正味でほぼゼ
ロにする必要性が指摘されました。また、IPCC 第 5 次評価報告書（AR5）の評価では、CO₂
の累積排出量と気温上昇との間には線形に近い関係が見られることが示されています。す
なわち、気温を安定化させようとすれば、気温上昇の水準に依らず、その時点では世界の正
味 CO₂排出量をほぼゼロにする必要があるとされています。世界では、欧州を中心に 2050
年までに GHG 排出量を実質ゼロにする脱炭素化を目指す動きが加速しています。

前項で述べたようなエネルギーの歴史と状況を踏まえると、エネルギー安全保障・安定供
給、経済性、環境性、そしてその大前提としての安全性の 3E+S のバランスを図ることがエ
ネルギー政策の基本であり、この概念自体は、2050 年に向かっても普遍的な基本方針とな
るでしょう。一方で、近年、気候変動対策の重要性は高まっており、2℃目標や正味排出ゼ
ロ（脱炭素化）に向けた取組が求められています。日本政府は、2018 年 7 月に第 5 次エネ
ルギー基本計画を閣議決定しましたが、そこでは、2050 年に向けて、野心的な目標（80%
削減、そしてさらには脱炭素化を目指す）を示した上で、多くの不確実性に対応して、「複
線シナリオ」で対応していくとしました。そして、G20 大阪サミット前の 2019 年 6 月には
「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」を策定しました。そこでは、「最終到達地
点として『脱炭素社会』を掲げ、それを野心的に今世紀後半のできるだけ早期に実現するこ
とを目指す」とした上で、非連続なイノベーション等を推進し、環境と経済の好循環を実現
するとしています。また、第 5 次エネルギー基本計画に沿って、エネルギー安全保障・安定
供給、経済性、環境性および安全性（3E+S）、SDGs 達成を目指す方針が示されました。気
候変動対策は、喫緊の課題ですが、気候変動対応を持続可能なものとするためには、3E+S
や SDGs の同時達成が不可欠であり、「複線シナリオ」でリスクを管理しながら、脱炭素社
会を実現するエネルギーシステムの構築を目指す必要があります。

7-2 エネルギー・環境分野の科学・技術

(1) エネルギー・環境分野の技術オプション

気候変動対応としては、総合的にリスク管理することが重要であり、主たる対策は、気候変動緩和（排出削減）ですが、気候変動緩和策のみならず、気候変動適応策、気候工学的手法といったオプションを検討の俎上に載せておく必要があると考えられます（図 7.4 は気候変動対応の構造）。気候変動緩和には、エネルギー生産性の向上（省エネルギー）、エネルギーの低炭素化・脱炭素化（CO₂原単位の改善）に加え、社会構造・ライフスタイルの変化といった対応があり、すべての対応を検討し、費用対効果を見極めて実施していくことが必要です。



図 7.4 気候変動対策の基本構造（出典：山地憲治, 2006：「エネルギー・環境・経済システム論」、岩波書店に加筆）

そして、現時点では、3E+S すべてを満たしたり、もしくは SDGs の同時達成を実現する万全なエネルギー対策は存在しないので、破壊的イノベーションを含む、エネルギー・温暖化対策技術関連の様々なイノベーションが不可欠です。

例えば、IPCC 第 3 作業部会の第 5 次評価報告書（AR5）も、IPCC の 1.5°C 特別報告書（SR15）でも、2°C や 1.5°C、正味ゼロ排出を達成するには、技術の漸進的な進展を想定し、さらに世界の CO₂ 限界削減費用が均等化し費用最小となる状況を想定したとしても相当大きな削減費用が必要と報告しています。例えば SR15 では、2050 年に 2°C 目標のうち排出高位の場合でも 45～1050 US\$/tCO₂（中央値 130 US\$/tCO₂ 程度）、1.5°C 未満では 245～14300 US\$/tCO₂（同 2800 US\$/tCO₂ 程度）としています。排出削減費用が高いということは、その目標を達成しようとするれば、同じエネルギーを使うのに、より大きな費用が必要ということであり、その分、社会保障など他の対応にお金を費やすことができなくなるということになります。また、産業においては、同じ製品を作るために、より大きな費用が必要と

なり、気候変動対応の国際協調ができなければ、安価な製品が選択されやすくなり、気候変動対策をとった企業は国際的な競争に負けてしまうということにもなりかねません。CO₂排出に伴う気候変動影響は、世界のどこで排出しても基本的に効果は同じであるため、このように産業のリーケージが起これば、気候変動対策の効果は無くなってしまいます。このような難しい地球環境問題特有の課題を踏まえると、2°Cや 1.5°C目標実現が、現在 IPCC 等で示されているようなシナリオで現実世界の対策として機能する可能性は高くないと考えられます。

イノベーションによって気候変動対策のコストを下げることは、気候変動対策が SDGs の達成とシナジーを生むためにとても重要です。日本政府は、国によるコスト等の明確な目標、官民のリソースの最大限投入、投資額を含めた長期にわたるコミット、国内外における技術シーズの発掘や創出、ニーズに基づく課題設定、革新的なテーマに失敗を恐れず挑戦することへの柔軟な制度による支援、ビジネスにつなげる支援の強化、各事業を一体として推進・フォローアップする体制整備等を含み、技術が実際に事業化し、世界の排出削減に貢献できるようにしています。候補となる技術分野として、次世代太陽光発電、次世代地熱発電、**革新的原子力**、次世代蓄電池、水素モビリティの電動化・水素化、CO₂ニュートラル燃料、革新的製造プロセス、省エネ、VPP (Virtual Power Plant) 等のエネルギーマネジメント、CCUS (CO₂ Capture, Utilization, and Storage) 等を挙げており、これら技術は重要な役割を果たす可能性があると考えられます。

しかしながら、これらの現在想像可能な範囲の技術だけで十分かは明確ではないと言った方が良いでしょう。実効ある気候変動対策のためには、非連続なイノベーションが不可欠であり、それには現在ほとんど想像できていないような技術も必要かもしれません。そして、その実現のためには、基礎的な技術の充実も欠かせないと考えられます。日本学術会議による「第6期科学技術基本計画に向けての提言」においても、長期的視野から腰を据えて基礎研究に取り組む環境が急速に失われ、学術の裾野を形成する研究者の活動が弱体化していることに懸念を示し、このような状況では、SDGs や Society 5.0 等に示されるような世界及び日本の諸課題の解決への期待に応えることは難しいとしています。そして、予測困難な変化に迅速かつ適切に対応するためには、幅広い分野における多様な学術研究、とりわけ短期的視野にとらわれない基礎研究の分厚い蓄積と、それを可能にする継続的な投資の努力が不可欠であるとしています。気候変動対策技術は応用技術の側面が強いと考えがちですが、幅広い非連続的イノベーションの誘発なくして、パリ協定で要請されているような、2°Cや 1.5°C目標、そして脱炭素化の実現は、現実的には不可能です。そして非連続的イノベーションのためには基礎的研究の幅広い充実が必須です。

非連続的なイノベーションを誘発するために政府の支援が必要ですが、予算は限られており、費用対効果の検証を的確に進めながら支援しなければなりません。リスクマネジメントの視点からも、複数の技術を追求してリスクヘッジすることは必要ですが、費用対効果を適宜検証しながら、無駄な支出を抑制していくことが、より良いイノベーションを生み出す

コメントの追加 [A4]: この並びに、原子力があるのは違和感があります

ために重要です。効率化を図りながら、一方で、気候変動対策の視点からも、短期的には評価が難しい基礎的な研究にも研究資金の厚みを増すべきと考えられます。

（２）脱炭素化に向けたエネルギーシステムとその実現に至るリスクマネジメント

脱炭素化においては、最終エネルギーは、原則として、使用時に CO₂ を排出しない電気か水素とする必要があります。ただし、一部、バイオエネルギーおよび太陽熱等の直接熱利用、また、CO₂ フリー水素と回収 CO₂ によって合成（メタネーション）したメタンでの利用などは可能です。IPCC 報告書等でも示されているように、大きな排出削減を目指すほど、電力化率の向上が求められます。そして、脱炭素化を実現するには、電気と水素製造においても、脱炭素化（再生可能エネルギー、原子力、CCS）が必要です。なお、産業用高温熱など完全な脱炭素化は現実的ではないので、正味ゼロ排出においても、ある程度の排出は許容し、植林、バイオエネルギーCCS（BECCS）、DACS（直接大気回収・貯留）等の負の排出技術（NETs）活用はあり得るし、対策オプションとして費用対効果やその他の視点から検討していくことが必要です。

なお、脱炭素化の実現は目指すべきですが、その実現は現状では費用が高いため、脱炭素化に至る過程では、低炭素化を進めながら、イノベーションを加速していくべきでしょう。

（３）再生可能エネルギーへの期待と課題

脱炭素化を目指す上で、再生可能エネルギー（再エネ）の果たす役割は大変大きいと言えます。国内外で再エネ、特に風力発電と太陽光発電のコスト低減が急激に進んできています。世界平均値で見ると、陸上風力発電の LCOE（均等化発電原価）は、2010 年の 0.085 US\$/kWh から 2018 年には 0.056 US\$/kWh へと 35%低下しました。要因としては、技術開発により高効率かつ大型の風車が可能になったことで、利用率及び 1 基あたりの発電電力量が増加したこと、ウィンドファームが大規模化して建設コストの効率化が図られたこと、などが挙げられます。太陽光発電については、大規模設備の LCOE の世界平均値が 2010 年 0.37 US\$/kWh から 2018 年の 9 年間で 0.09 US\$/kWh へと 77%低下しました。要因として、大量生産による生産コストの低下、入札による価格競争の影響などが挙げられます。しかしコスト低下には地域差が見られます。太陽光発電の設置費用は世界平均で 2010 年の 4,621 US\$/W から 2018 年には 1,210 US\$/W へと 74%、前年比で 13%低下していますが、日本では 2018 年の太陽光発電の設置費用は世界最高レベルの 2,101 US\$/W で、これは前年比 3%の低下に留まります。2050 年に向けても、コスト低減の程度については不確実性が大きいですが、太陽光発電を中心に再生可能エネルギーのコスト低減は少なくとも一定程度は進展すると見られ、今後一層、再生可能エネルギーの重要性は増していくでしょう。

ただし、とりわけ日本国内では、太陽光や風力発電のような変動性再生可能エネルギー（VRE）導入が進むにつれ、調整力の確保に加えて系統制約の克服が大きな課題となってきました。小規模で分散しているという VRE の特徴に加えて、地域的な VRE 導入の進捗

コメントの追加 [A5]: 「ある程度の」は「やめをえない最小限の」といった表現に変えてはいかがでしょうか。

コメントの追加 [A6]: この項に限らず、コストの低減、コストパフォーマンスに力点が置かれた叙述であると感じます。風力・太陽光発電とも、我が国においては「大規模化」「大量生産」による生産コストの低下が最上の策であるとは思えません。再生可能エネルギーを導入しないことによる環境喪失の数値化を行うことも重要です。また、小水力発電の可能性は小さくありませんし、波力発電についても触れるべきではないでしょうか。

が電力需要および系統の規模と一致しておらず、一部の電力系統では系統制約が顕在化しているためです。電源コストに加えて電力ネットワークに伴うコストを含めた再エネ電源主力化に伴うトータルコストの削減に向けて、需要側資源の活用など更なるイノベーションが必要です。

（３）持続的なエネルギーインフラの構築・維持に関する政策

我が国においては、送配電設備の老朽化が今後進み、更新が必要な設備が増大してくるに加え、今後、日本では人口低下に伴い、地方の過疎化が進展すると見られます。それに伴って、過疎地域における送配電設備の維持、投資回収が難しくなり、その負担が大きくなっていく可能性があります。過疎地域における電力、石油、ガス等のエネルギーインフラの維持費用が増大する可能性があり、持続可能なエネルギーインフラを今後どのように維持していくべきかは喫緊の検討課題です。一方、途上国ではエネルギーアクセス（現在のクリーンエネルギー利用）の課題が残っている国々が存在しており、我が国はSDGsの視点から国際貢献を行っていくことも重要です。

低炭素化、脱炭素化対策は、基本的に資本費が高いことが一般的です。電力自由化の下では、無駄の削減といった効率化を促しますが、短期の効率性が追求された結果、初期設備費が小さく、短期的に投資回収が可能な投資に向かいやすい傾向があります。つまり、長期的な視点での必要な投資が過小化する危険性があります。また、再生可能エネルギー拡大のためにも、電力ネットワークへの投資が必要ですが、これも電力自由化の下では大規模な投資が難しい状況にあり、送配電事業者に投資のインセンティブを与える制度の再構築を行うことが、2050年に向けた持続可能なエネルギーインフラ構築のために必要です。更には、昨今、一部、気候変動影響に起因すると見られるような自然災害が増加してきています。そのためのレジリエンス強化も必要となっていており、これらを統合的に検討し、持続可能なエネルギーインフラを構築していく必要があります。

7-3 社会の変容とエネルギー需要

エネルギー供給技術については、従来は規模の経済を働かせて費用を低減し、安価なエネルギー供給を実現してきました。しかし、大規模なエネルギー供給技術は、一般的に寿命が長く、技術進展のサイクルが緩やかです。それに対して、エネルギー需要サイドに近い技術は、規模が小さく、寿命も短く技術進展が速い傾向があります。ただ、従来は情報不足や個別状況への細かな対応などの「隠れたコスト」が普及障壁になってきました。しかし、情報技術によってその「隠れたコスト」を低廉な費用で除去できる可能性がでてきています。また、情報技術によって、分散したエネルギー供給技術や需要サイドの技術を連携することが可能になっていることも、この技術動向を後押ししつつあります。大規模なエネルギー供給技術は引き続き重要な役目を果たすと見られますが、分散型エネルギー供給技術の役割の増大は強まっていくでしょう。

エネルギーは、そのものを消費することが目的ではなく、最終目的である製品やサービスに伴って付随的に利用されるものです。一方、エネルギーは、特に最終利用に近いところで本当に必要な製品、サービスの提供を大きく超えて消費されています。それは、エネルギーを削減すると相対的に大きな機会費用が必要だったりしているためです。例えば、こまめに照明を消すことに機会費用が生じるためだったりします。また、自家用車のように稼働率が低いものが保有されているのは、使いたいときに、タクシーがすぐに利用できなかったり、レンタカーを借りに行かなければならない機会費用が生じるなど、「隠れた費用」が存在しており、それを避けるために車を保有する傾向が強いのが現状です。

デジタル化技術の進展によって、社会厚生を減じることなく、シェアリングエコノミーやサーキュラーエコノミーといった社会変容を促し、その結果、エネルギー需要における高効率化を実現し、低エネルギー需要社会を実現していくことが重要です。これは、経済自律的に、もしくは低費用でエネルギー消費を大きく減らす可能性を有しており、また、モノの稼働率を増すことで、モノの量を減らし、資源利用を減じる可能性を有しています。そのため、気候変動対策のみならず、多くの SDGs の達成にも寄与する可能性を有しています。

例えば、運輸部門については、自動運転、カーシェア・ライドシェアリング、EV の組み合わせによって、乗用車部門からの GHG 排出削減を大幅に減らすことができる可能性が生まれてきています。大幅な排出削減が可能になるのは、自動運転、カーシェア・ライドシェア、低炭素の電源を前提とした電化の 3 つの技術の相乗効果に依ります。これらをつなぐ、コネクティングが加わり、CASE (Connected, Autonomous, Sharing/Service, Electric) がキーワードになってきているところです。そして、これまでの乗用車を保有することから、Mobility as a Service (MaaS) へと、新しいビジネスモデルが生まれつつあります。自家用車の稼働率は通常低く 5%前後です。CASE によって、利便性を大きく損なうことなく、効率よく、低廉にサービスが提供できるかもしれません。

このように、大きなエネルギー消費の削減、CO₂ 排出削減が期待されるのは、IoT 等のデジタル技術などの進展が、特定部門のエネルギー消費の低減をもたらすだけでなく、部門横断的に他部門にも波及し、社会の大きな変化、社会イノベーションを実現する可能性があるためです。現在の社会では、モノは本当に必要なサービスを提供するために必要な以上に製造され、またエネルギーサービスも必要以上に供給されています。最終的なサービス提供に近いところで、エネルギーは有効に利用されず、無駄に消費されています。IoT 等の進展とその活用は、企業は製品を売るだけでなくサービスを売ることが出来るようになることで、ライフサイクルベースで見たエネルギー・資源効率の向上に寄与できる機会が生まれつつあり、2050 年に向けて大きな進展が期待できます。

また、気候変動影響被害への懸念の高まりは、欧州を中心に一部において CO₂ 削減を目的に航空機移動を避ける「フライトシェイム」など、モビリティ選択に影響を与えつつあります。更に、欧州のみならず、日本においても自動車免許証の取得率は低下してきており、カーシェア・ライドシェアリングを後押しする可能性があります。それと革新的な技術変化

が結び付いて、大きく社会変化を引き起こす可能性があり、その誘発を様々な方面で支援していくことが重要と考えられます。

7-4 エネルギー・環境教育

近代社会におけるエネルギーが果たしている大きな役割を認識し、そして、将来にわたってのより良いエネルギー需給と地球温暖化問題へのより良い対応の重要性を認識することは重要です。またエネルギーや気候変動対応の意思決定は専門家のみで行えるものでもないし、行うべきものでもないことを踏まえれば、多くの人がエネルギーをより良く理解することが重要と考えられます。エネルギーは、システムとしての理解が重要であり、また自然科学、工学、経済学、政治学、社会学など、学問領域を超えた総合的な理解が求められます。更に、地球温暖化問題のようなエネルギーと表裏一体で生じている環境問題を理解する際にも、エネルギーを含めた総合的な理解が重要と言えます。しかし、総合的な理解は、多くの知識をベースにしなければならないこと、全体構造と因果関係を包括的、論理的に捉える能力が求められます。ところが、現在の教育体系ではこれに対応できるような体制ができていません。

例えば、藤本の調査によると（藤本、学術の動向）、我が国では、我が国を科学技術先進国と感じ、資源・エネルギー問題や環境問題等の課題が、科学技術の発展により解決されると期待されています。しかし、科学技術の発達がIT犯罪や地球温暖化などの地球環境問題に影響を与えると不安視もしています。これに対して、そのような問題や懸念を解決していく次世代の子どもたちの学びについては、理科や数学の授業が科学的センスを育てるのに役立っていると思っている被験者は43%程度と高くありません。エネルギーや科学技術を学校教育の中で学ぶ場面が、理科を中心に、社会、技術・家庭といった教科に点在しているためと考えられます。当然のことながら我が国の学校教育では、子どもの発達段階と、各教科の教育観を踏まえて作られた学習指導要領とそれをベースにした教科書を用いて授業が行われており、エネルギー教育や科学技術教育の教育体系で編成がなされていません。一方で、学校は、地域性等を踏まえて独自の教育課程を編成することが求められており、ここにカリキュラムマネジメントを通じてエネルギー教育や科学技術教育の学びを入れ込む余地があると考えられます。ところが、この学びの場を作る管理職、教員、家庭、地域といったステークホルダーが、エネルギーや科学技術の必要性は知っていても、その教育的な価値に気づいていないことが多い状況です。

エネルギー・環境問題では、例えば、原子力安全問題をはじめ、将来のエネルギー選択、地球温暖化対策など、社会的に見解が一致しないエネルギー問題には普遍的な唯一の解がないことが多くあります。自然科学の法則や歴史的な事実のように客観的で正確な知識を習得した上で、それだけでは答えが出せない問題があることを理解できる体験が大切です。それは、2050年に向けた社会において、エネルギー・環境問題をを超えて、今以上に社会の問題解決能力の醸成のために重要となると考えられます。例えば、情報が氾濫する現代社会

コメントの追加 [A7]: 環境哲学・環境倫理学は不可欠です。特に p4C（philosophy for children：子どものための哲学）は重要です。環境学委員会の環境思想・環境教育分科会の成果『学術の動向 2016 年 7 月号』（特集特集:Let's Co-Produce! 一繋がる環境教育―）にも言及していただきたいところです。

コメントの追加 [A8]: ここに以下のような文章を挿入してほしいところです。「それはエネルギー・環境問題は公共政策に関わる事柄であり、将来世代にも及ぶ社会のあり方を考えることでもあるからです。さまざまなステークホルダーや市民参加による口論形成が欠かせません。そこでは、社会を動かしている政治的な力やそこに反映しているさまざまな価値観について理解を深めることも欠かせません。科学技術を人間が統御していくための倫理的基盤は何かについての討議が深められる必要があります。そして、科学者自身が社会リテラシーを深めていくという自覚をもち、そのような機会を増していくべきでしょう。」

における教育の意味を考える必要があります。インターネットを通して検索すれば、エネルギー・環境問題を考える上で必要なほぼ全ての情報が得られますが、その中には誤った情報も含まれています。よって、正しい知識の習得というエネルギー・環境教育の目的を実現するには、知識そのものの教育よりも、情報を理解できる能力や玉石混交の情報から正しいものを選ぶ能力の育成の方がより重要性が高いと言えます。もちろん、情報の理解や選択のためには、エネルギー・環境に関する基本的事項は教育しておく必要があります（山地、学術の動向）。

総合的なエネルギー・環境教育は、現状の教育システムでは十分ではなく、リスクを総合的により良く認識できる能力を育成し、情報リテラシーを向上する教育システムの構築を志向していくことが求められます。

7-5 水資源の確保 澁澤委員 3000

(2500 字 + 図 3 枚 = 3000 字相当)

(1) 水資源の偏在と需給バランスの危機

約 14 億 km^3 の水に地球表面の 70% が覆われている。その 97.5% が塩水、淡水は 2.5%、淡水の 70% が氷河・氷山として固定され、30% の大半が土中あるいは地下帯水層にある。人間の利用可能な水は淡水の約 0.4% (地球上のすべての水の 0.01%)、そのうち約 10 万 km^3 が、持続的利用可能な状態、すなわち水資源である。(環境白書、平成 22 年、環境省)

水資源分布は自然条件に依存し、時間的空間的に偏在する。需要も人間の社会システムに依存して時間的空間的に偏在する。最近 30 年程度の需給バランスをみると需要が供給を上回り、世界の大半の文明国が水不足になると予測されている (図 7-5-1)。用途別の需要予測では、2025 年には農業が全体の 7 割を占める。1995 年から 2025 年の増加率で見ると、農業用水 126%、工業用水 155%、および生活用水 182% の見込みである。(「世界の灌漑の多様性」農林水産省、2003)

2007 年では、世界人口の約 20%、12 億人余りが安全な水にアクセスできない状況にあり、2030 年頃には、その数が 20 億人以上に倍増すると推定されている。洪水や高波による被害も今後さらに増加すると予測され、感染症も水の汚染を通じて拡大することが多い。また、約 8 億人が食料不足にさらされているが、農業用水が不足しているために農耕を営めないことがその最大の要因である。特に、国際河川や湖沼の水管理問題が絡む時は、国際協調が必須の課題になる (CRDS-FY2007-SP-11)。

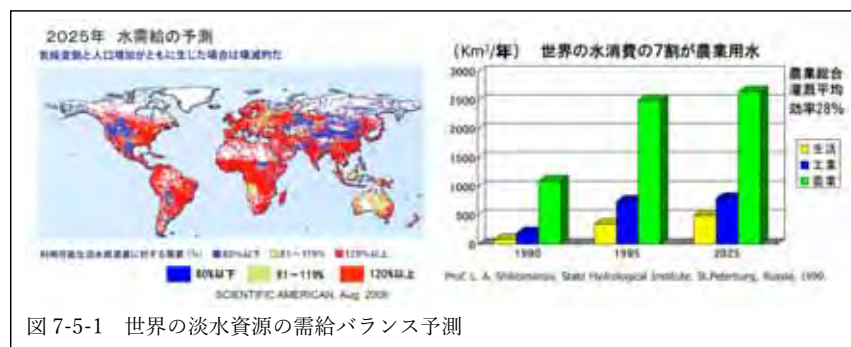
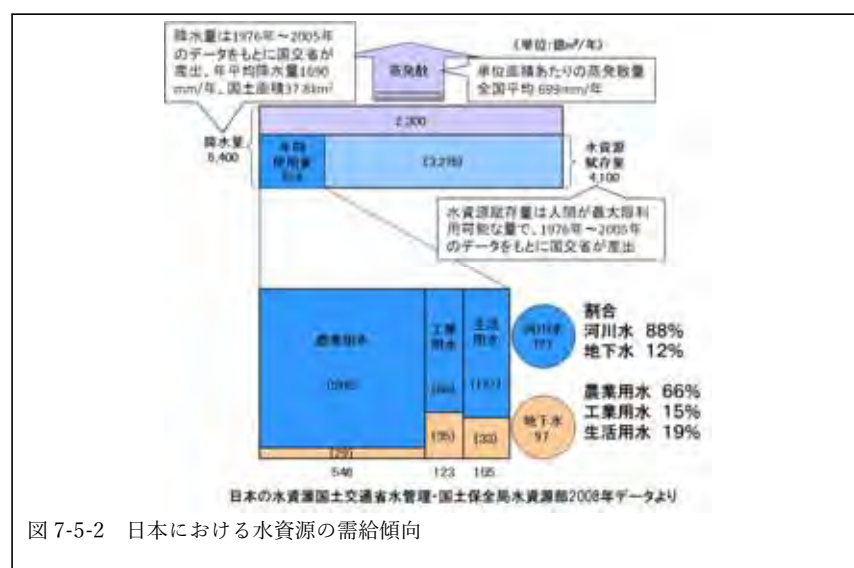


図 7-5-1 世界の淡水資源の需給バランス予測

(2) 日本における水利用

日本の水資源は 4 千億 $\text{m}^3/\text{年}$ と見積もられ、その大半が河川水に依存し、また農業用水の需要が高い (図 7-5-2)。1 人当たりの水資源量で見ると、世界平均 9 $\text{km}^3/\text{人} \cdot \text{年}$ に対して日本はおよそ 3 $\text{km}^3/\text{人} \cdot \text{年}$ で世界 23 位に位置し、必ずしも水資源の豊かな国ではない (FAO AQUASTAT2003 をもとに国土交通省作成)。

日本においては、水の不足や汚染、治水についての国民的理解や対策が進展し、一時より問題が沈静化しているが、極端気象による渇水や集中豪雨・洪水の被害が頻繁に発生し都市域も含めた治水対策の強化が問題となっている。特に治水・用水施設の老朽化や地域社会の脆弱化は深刻な社会問題である。また、河川・湖沼・地下水の汚染や地下水汲み上げによる地盤沈下等の問題は依然として残っており、安全で良質の飲料水への欲求、工業用水の確保、都市の緑化等のための新たな用水の需要も高まってきている（CRDS-FY2007-SP-11）。



（３）水資源利用の公平性と SDGs

2015 年の第 70 回国連総会で採択された「我々の世界を変革する：持続可能な開発のため持続可能な開発 2030 アジェンダ（SDGs）」では、目標 6 に「すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する」ことを掲げ、8つのターゲットを定めた。

具体的には、安全で安価な飲料水の普遍的かつ平等なアクセス、適切かつ平等な下水施設・衛生施設へのアクセス、汚染の減少と投棄廃絶および有害な化学物質放出の最小化による水質改善、水利用効率の大幅改善と淡水の持続可能な採取及び供給を確保し水不足の大幅減少、国境を越えた適切なあらゆるレベルでの統合水資源管理の実施、水に関連する生態系の保護・回復、集水や海水淡水化および水の効率的利用や排水処理およびリサイクル・再利用技術などによる開発途上国における水と衛生分野の国際協力と能力構築支援、水と衛生に関わる地域コミュニティの支援・強化、などである。

(4) 総合的・統合的な水資源管理をめざして

限られた水資源を有効に活用するため、地域の各国が協力したり、流域単位で調整したりする総合的・統合的な水管理が必要である。2002 年のヨハネスブルグ・サミットにおいて、「各国政府は、総合水資源管理 (IWRM) 計画を作成すること」が合意され、ユネスコを中心に「河川流域における総合水資源管理 (IWRM) のためのガイドライン」がまとめられた。日本ではアジア水環境パートナーシップや日中水環境パートナーシップなどが進められており、国際規模での協力体制の推進が期待される。

技術開発の面では、水の偏在を是正する技術、水質の転換・処理技術、自然水をコントロールする技術（治水）は日本が貢献すべき課題である（CRDS-FY2007-SP-11）。例えば、JST CREST「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」（2010-2016）では17の研究チームにより、革新的な水処理技術や水資源管理システムによって、水供給、排出、再利用、資源回収における、水の質と量の統合的な最適化を行い、エネルギー、コスト、環境

負荷、健康・環境への安全性、地域社会の状況などの観点からもっとも合理的で持続可能な水資源の利用システムを提起する研究で、かつ、実社会への適用性を十分に配慮した研究を推進した。

特に農業用水に対する考え方の転換は重要であり、多様でローカルな利害関係者間の流域ガバナンス（協働協治）、科学的知見にもとづくグローバルで普遍的な問題解決、良好な環境維持に貢献するための「環境流量」や「小規模発電」に必要な水問題対応、の3類型にわたる包括的な課題解決が期待される（提言「変貌する農業と水問題 一水と共生する社会の再構築へ向けて―」、日本学術会議水問題分科会、2008）。

7-6 地球温暖化、気候変動、気象災害 中村尚（第三部会員） 3000

我が国も貢献している世界気象機関（WMO）の現場観測ネットワークに拠れば、全球平均した地表付近の大気中の二酸化炭素（CO₂）濃度は2018年現在約408ppmで、産業革命以前（1750年）の水準より47%も増加し、依然増加中です（図7.6.1）[1]。CO₂は水蒸気とともに代表的な温室効果気体として知られており、太陽放射で暖められた地表面から射出される赤外放射を効率よく吸収し、宇宙空間に向けてのみならず、下向きにも赤外線を射出して地表を暖めます。この温室効果が無ければ、現在約15℃ある全球平均の地表気温は理論上約33℃も低下するとされています。つまり、今日の豊かな社会生活の基盤となる森林などの自然環境や農業・林業・水産業などは温室効果に支えられているのです。しかし、産業革命以降、人類は石油・石炭など化石燃料を大量に消費してCO₂を排出する一方、その吸収源である森林を伐採してきた結果、CO₂濃度が増加しています。その増加は1950年代以降特に際立っており、その主因が化石燃料の燃焼によるCO₂排出の急激な増大であることは、観測される炭素同位体C13比の減少により裏付けられています（図7.6.1）。さらに、CO₂に次いで重要な温室効果気体であるメタン（CH₄）濃度も2018年には1.87ppmと過去最高値を更新し、産業革命以前の水準の約2.6倍にも達しました。こうして温室効果が強化され、その指標である放射強制力は1990年以降43%も増加しており、地球温暖化問題が現在深刻化しています。

対応して、全球平均の地表気温も顕著な上昇傾向を示しています。例えば、2015年までの10年平均値は19世紀後半の平均値よりも0.87℃ほど高くなっています（図7.6.2）[2]。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書[3]では、全球平均の上昇量がCO₂の累積排出量に概ね比例することが示されたのに加え、多数の全球数値気候モデルによる検証から、過去50年間に観測された温暖化は温室効果の人為的強化がなければほぼ説明できないことも高い確度で示されています。こうして、人為起源の温暖化が10年当たり約0.2℃（0.1～0.3℃）もの気温上昇を近年もたらしていると評価されています[2]。ただし、最先端の全球数値気候モデルであっても、地球の気候システムを構成する複雑な過程の全てを正確に表現するのは困難です。中でも、自然起源・人為起源のエアロゾル（大気中の微粒子）のはたらきは複雑で、殆どの種類のエアロゾルによる太陽放射の散乱を通じた冷却効果や黒色炭素による太陽放射吸収といった直接効果に加え、雲核としてもはたらくエアロゾルからの雲の太陽放射反射率への影響や、雲の寿命に及ぼす影響、さらには雪氷面に付着した黒色炭素による反射率低下などの複数の間接的な影響を考慮する必要があるため、数値気候モデルによる近現代の気候状態の再現や将来予測に不確実性をもたらす主因の1つとなっています。観測研究などに基づき、数値気候モデル内のエアロゾルや雲などに関わる過程の改善が急務となっています。

温室効果気体の人為的な排出増加への応答としての気温上昇は、気候システム内のさまざまな過程の変化を通じて現れているもので、その中には進行中の温暖化をさらに増幅す

るフィードバック過程が含まれています。例えば、気温上昇に伴う飽和水蒸気圧の増大を反映して、温室効果気体である水蒸気の量も増加傾向にあります [3]。フィードバックが特に顕著なのが北極域で、近年は全球平均気温に比べて 2 倍以上の速さで急激に気温上昇が進み、1990 年までの 30 年の平均値に比べ約 3°C もの温暖化が観測されています [4]、これを反映して西部シベリア沖のバレンツ・カラ海やオホーツク海などで海氷被覆面積が今世紀に入って顕著な減少傾向を示しており、北極域全体の海氷面積はここ 40 年で約 40% も減少しました [5, 6]。こうして、北極海が暖候期に以前より太陽放射の吸収量の増えた北極海では海水温も上がり、その熱が秋から冬に大気へと放出されて、水蒸気が増加とともに気温上昇を加速させるようはたらいっています。また、温暖化に伴う積雪域や積雪期間の長期的な減少傾向も、太陽光の反射を減じて温暖化の加速に寄与しています。そして、もしこのまま温暖化が続けば、北極域の永久凍土の融解に伴い、凍土中のメタンが大気中に放出され、温室効果を一層強化させる恐れがあります。

一方、これまでの温室効果の強化によって海洋表層に蓄えられる熱量も着実に増加し、それが海水の膨張を引き起こしています。2015 年までの約 100 年間に観測された全球平均の海面水位の持続的上昇は約 16cm に及び [7]、その大部分は海水膨張によるものと評価されています。ただし、既に進行中の大陸氷河の融解に加え、北極域の急激な温暖化に伴ってグリーンランド氷床の融解も海面水位上昇に寄与しつつあり、将来の温暖化の進行によって南極氷床の融解がさらに進めば海面水位上昇が一層加速される恐れがあります。一方、大気中に放出された CO₂ の主要な吸収源でもある海洋は、その酸性化も懸念されています。産業革命以降、全球平均した表面付近の海水 pH 値は 0.1 程度低下しており、今後さらなる低下が予測されています [3]。酸性化が進行すると海水による CO₂ の吸収能力が低下し、それが大気中の CO₂ 濃度を増やす方向にはたらくことが懸念されています。また、海洋の酸性化は水温上昇と相俟って、サンゴの白化に加え、動植物プランクトンや貝類・甲殻類などの海洋生態系に広く影響を与える懸念が指摘されています [7]。

IPCC 第 5 次評価報告書 [3]によれば、今後の温暖化の進行に伴い、世界各地で異常高温の頻度が増加する一方、異常低温の頻度は低下する傾向が予測されています。また、温暖化に伴う水蒸気量の増加や地表面からの蒸発の増大は、大気中の水蒸気輸送を変化させて、乾燥地域の乾燥化を助長する可能性がある一方、現在でも降水の多い地域や高緯度域の降水量を増加させると予測されています。特に、中緯度陸域や湿潤な熱帯域の殆ど地域では極端な降水の強度の増大やその頻度の増加が見込まれています。一方、アフリカなどの乾燥地域では、干ばつの増加と砂漠化の拡大により食糧生産と地域の人々の生命が危機に晒されることが危惧されています [8]。なお、熱波や寒波、暴風、豪雨・豪雪や干ばつなどの異常気象は、我が国を含む中高緯度域では、上空の偏西風ジェット気流の蛇行などの自然変動によって、温暖化が顕在化する以前から起きていました。また、熱帯・中緯度域では、以前から台風など熱帯低気圧が暖候期に豪雨や暴風をもたらし、エルニーニョなど熱帯域の自然気候変動が熱波や多雨・干ばつをもたらしています。こうした自然変動に温暖化シグナルが重

畳することで、過去に例を見ないような異常高温や豪雨などが既に起きつつあるのです。例えば、ここ 40 年間で日本域の夏季地表気温は 1°C 近くも上昇しており [9]、この温暖化の寄与がなければ 2018 年夏の東日本・西日本の記録的猛暑はほぼ起こり得なかったことが全球大気モデル実験から確認されています [10]。また、過去 100 年余り日本近海は全海洋平均の約 2 倍ものペースで温暖化しており [11]、気温上昇とも相俟って、日本上空の夏季の水蒸気量もここ 40 年で約 10% 増加させ [12]、それに伴い豪雨強度も増大傾向にあります [13]。実際、2018 年 7 月上旬の「西日本豪雨」の雨量も 7% ほど増加させたことも確認されています [12, 14]。さらに、温暖化の進行とともに、所謂「スーパー台風」の個数は将来増えるとの予測もあります [3]。こうした強い台風が日本に接近すると、高い水温によってその勢力が衰え難く、海水位上昇とも相俟って、沿岸域が甚大な浸水被害に見舞われる恐れがあります。

今後の温暖化の進行は、世界的な異常気象の頻発やそれに伴う自然災害の甚大化のみならず、水の確保や食糧問題の深刻化など、人間社会に広範な影響を及ぼすことが懸念されます。因みに、地球の長い歴史の中で今日よりも温暖な時期があったことは事実ですが、気温上昇は地質学的な長い時間をかけて極めて緩やかに起きました。現在の人為起源の温暖化は 100 年といった遥かに短い時間スケールで起きており、この急激な変化に生態系や人類社会が対応できない危険性が高まっているのです。現在のまま温室効果気体の排出が続く温暖化が進行すれば、産業革命後の全球平均の地表気温の上昇は遅くとも 2050 年頃までには 1.5°C に達し、地球気候に深刻な影響をもたらされるとされています [2]。これを防ぐには 2050 年頃までに CO₂ 排出量を正味でゼロにまで抑制するなどの大胆な社会の変革が必要とされています。それでも、海洋に蓄えられた熱エネルギーによって暫く温暖化が続くため、その緩和策とともに適切な適応策の準備も不可欠となっています。

参考文献

- [1] WMO, 2019: WMO Greenhouse Gas Bulletin No.15 (気象庁訳)
http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-15_j.pdf
- [2] IPCC, 2018: Global Warming of 1.5° C: An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
- [3] IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Stocker, T.F., et al. Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

- [4] ArCS, 2029: これからの北極. <https://www.arcs-pro.jp/>
- [5] AMAP, 2017: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA) 2017. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. 269 pp.
- [6] 気象庁, 2019:
http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_1/series_okhotsk/series_okhotsk.html
- [7] IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. in press.
- [8] IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. in press
- [9] Shimo, A. et al. 2019: Primary factors behind the heavy rain event of July 2018 and the subsequent heat wave in Japan, SOLA, 15A, 13-18.
- [10] Imada, Y., et al, 2019: The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming. SOLA, 15A, 8-12.
- [11] Wu, L., et al., 2012: Enhanced warming over the global subtropical western boundary currents. Nature Clim. Change, 2, 161–166.
- [12] Takemura, K., et al., 2019: Extreme moisture flux convergence over western Japan during the heavy rain event of July 2018. SOLA, 15A, 49-54.
- [13] Fujibe et al., 2015: Relationship between interannual variations of extreme hourly precipitation and air/ sea-surface temperature in Japan. SOLA, 11, 5-9.
- [14] Kawase, H. et al. 2020: The heavy rain event of July 2018 in Japan enhanced by historical warming. Bull. Amer. Meteor. Soc. Special Report on “Explaining Extreme Events in 2018 from a Climate Perspective”.

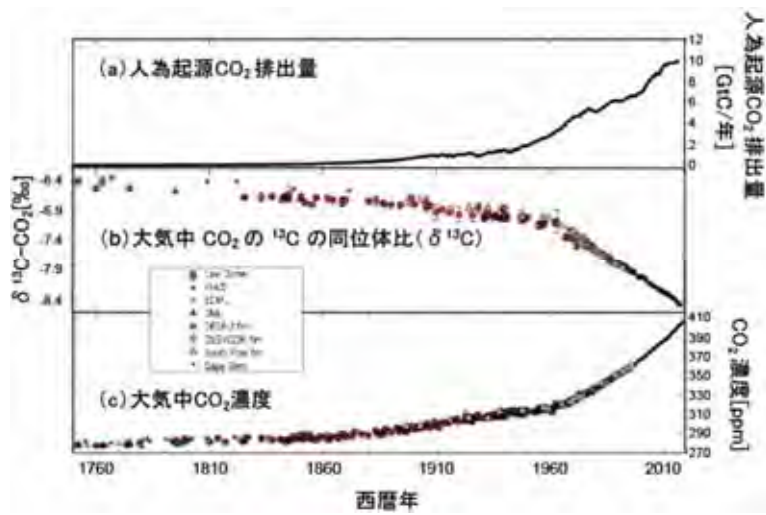


図 7.6.1 [1]より

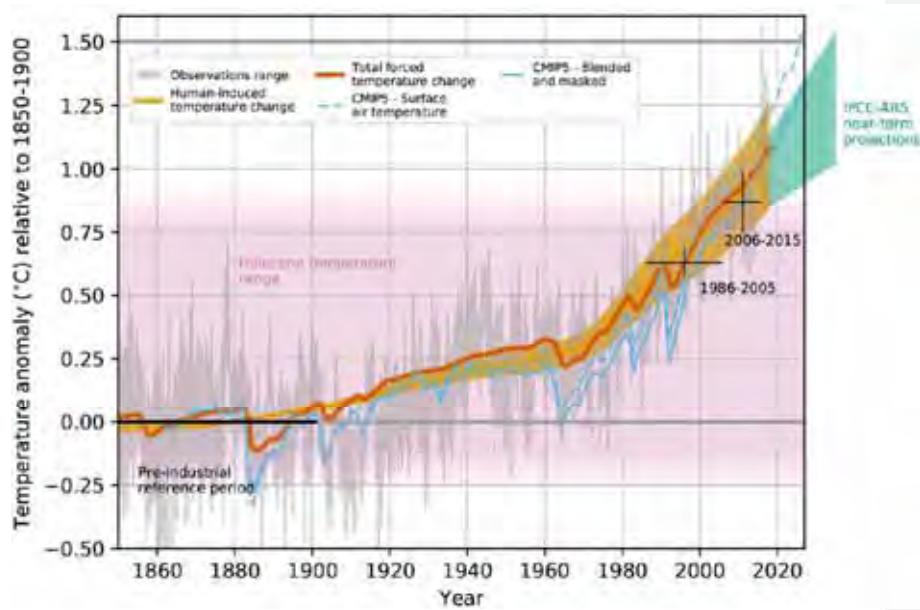


図 7.6.2 [2]より

8 日本の学術が世界の学術に果たす役割

8-1 世界の学術界の発展と日本学術会議の役割—国際学術会議の意義と日本学術会議の果たすべき役割を中心に 武内幹事、新福洋子（特任連携会員） 4000

8-1 世界の学術界の発展と日本の学術界の果たすべき役割（約4700文字）

2018年に世界の学術界で画期的とも言える大きな動きがありました。それまで独立であった国際科学会議（ICSU）と国際社会科学協議会（ISSC）が合併して、自然科学と社会科学の両分野を統合した非政府組織である国際学術会議（International Science Council, ISC）が誕生したのです。ISCは、40の連合や協会、140以上のアカデミーや研究評議会を含んだ国や地域の学術組織を取りまとめています [1]。グローバルな社会に公共的に貢献するためには、科学的知見、データ、専門知識を世界中どこでもアクセス可能にし、その利益を世界中に共有するための、文理の融合が必要だと考えられたのです。ISCは、科学の実践および科学教育と能力構築が包括的かつ公平となることを目指して活動をしています。

日本の学術界を代表する日本学術会議は、日本の学術界を代表する組織として、このISCのメンバーとなっています。そもそも日本学術会議は、その創設以来、社会科学と自然科学のみならず、人文科学と工学をも包摂した学術組織として活動を展開してきました。そうした観点からみると、ISCは、学術の統合化に向けた第一歩を踏み出したに過ぎないと評価することもできるのではないかと思います。いま、世界の学術界は、細分化された専門分野を中心とした学術体系を統合することによる学際研究（interdisciplinary research）の推進を大きな旗頭とするようになっていきます。また、先に述べたフューチャー・アースに代表されるような学術と社会の連携を積極的に進め、超学際研究（transdisciplinary research）を模索する動きや、UNESCOなどが推進しようとしている科学、政策、社会を結びつけるインターフェースの強化といった方向が模索されています。

とくに、持続可能な開発のための2030アジェンダ（SDGs）に示されるような、気候変動対策、生物多様性の保全、貧困の解消など、地球規模課題の解決のためには、学術と社会が連携して取り組む超学際的アプローチが不可欠です。同時に、問題が地球的規模に広がっていることから、1国で対応することは難しく、国際的な連携を深めていくことにより、課題解決に向けた取り組みをさらに進めていく必要があります。我が国の学術界は、これまで欧米の学術界との緊密な関係をもとに、最先端の科学技術の先端的知見を蓄積してきました。

またアジア太平洋地域の各国学術界とは、地理的な近さと問題の共通性などを背景に研究連携を深め、アジア太平洋全体として、また各国の問題解決に貢献してきました。とくに2000年に創設されたアジア学術会議は、日本学術会議の発案で発足したものであり、

いまでも日本学術会議が事務局を務めています。2018年には日本学術会議において「社会のための科学」をテーマに、また2019年にはミャンマーのネピドーにおいて「アジアにおける持続可能な開発のための研究とイノベーション」をテーマに討議がなされ、地球持続性の鍵を握るアジアにおけるSDGs推進のための学術界からの貢献のあり方が活発に討議されました。

このような社会と学術界の潮流の中で、ISCをはじめとする世界の学術組織は、政策を通じた科学研究の社会貢献への促進、また学術の自由を守るため、科学者が分野を超えて共通課題を議論し、自身のイニシアチブやプログラムの実施、国連の活動への参加、科学関連のプログラムへの助成を行っています。とくに近年では、持続可能性や包括性を高めた議論を行うため、未来の担い手である若手科学者の積極的な参加が期待されています。持続的に若手科学者が国内外の議論に参加し、その声を届ける新たな仕組みとして、各国で若手アカデミーが設立されてきました。2019年現在、世界41か国で若手アカデミーが、10か国以上で若手アカデミーとは異なる位置付けの若手科学者の団体が存在しています [2]。

日本学術会議は、こうした動きをいち早く掴み、2010年の「日本の展望—学術からの提言2010」の中で、若手アカデミーを「若手研究者が自ら俯瞰的視点から学術の社会に対する課題に取り組むことを支援するシステム」として着目し、次世代のためのこのようなシステムを検討すべきと提言していました [3]。22期には、若手アカデミー委員会若手アカデミー活動検討分科会を設置し、2011年9月に日本学術会議提言「若手アカデミー設置について」を公表し、10月より若手アカデミー委員会が始動しました。23期には、部と並立の独立した若手アカデミーが設置されました。日本学術会議の会員および連携会員の中で45歳未満の若手研究者と、能力に応じて入れられる研究者（特任連携会員）60名程度で構成されています。3期目となった24期は、国際会議における若手とシニアの科学者のコラボレーションが進められました。

各国の若手アカデミーの創設には、Global Young Academy (GYA)が支援を続けています。GYAは、2010年2月に設立された、200名の若手科学者からなる団体で、世界中の若手科学者の声を届けることをミッションにしています。5年を任期に若手科学者が毎年世界から40名程度選定され入れ替わり、卒業後も間接的直接的に参加を持続する形で83か国までネットワークが広がっています。多様性や包括性を重要視しており、メンバー以外の国へのアウトリーチ活動や、紛争国などで機会を得られない科学者への支援を行うAt-risk Scholarプログラムも実施しています。2019年4月、GYAはInterAcademy Partnership (IAP)総会にて、正式にIAPメンバーとして認められました。これまでシニアの科学者が担ってきた国際的な学術組織と若手科学者との実質的な連携が開始されるようになったのです。

こうしたダイナミックな世界の学術界の動きに対して、いま国内的に大きな話題となっているのが、世界の学術界における日本の学術界の相対的地位の低下の問題です。その理由としては、とりわけ博士課程を含む若手研究者の研究環境の悪化や、研究資金の絶対的不足

コメントの追加 [A1]: 日本学術会議も年齢構成としてシニアに偏った団体であるため、ジェネレーションギャップを埋めるために若手の声を入れることが海外と同様に重要である、という説明を入れていただくとよさそうです。

や特定の研究者への偏在などが取りざたされています。現在日本学術会議や総合科学技術・イノベーション会議では、若手アカデミーから提出された若手科学者の意見を反映した政策提言やシステム改革が進められていますが、今後の日本の学術界が目指すべきことは、日本の科学技術の歴史的背景を踏まえ、日本が得意とする特定研究分野での国際的プレゼンスは維持する一方、これまでとは異なる学際研究や超学際研究の評価、研究の量的拡大から質的向上を目指す目標への転換ではないかと思います。国際的にどのような目標転換が進められているのかの検討や国際会議での議論を行い、日本に合った客観的評価指標の提示と、それを用いた目標設定が必要なのではないかと考えられます。

対外的には日本の学術界はその信頼と尊敬を積み上げてきました。これまでもアジア太平洋地域を中心に研究連携を深め、地域や各国での科学技術の進展に協力してきました。今後は、中東、アフリカ、南米などにも視野を広げ、積極的に科学技術外交を展開していくべきではないかと考えられます。とくに、大学・研究所が必要なインフラや基礎教育の体制を含む知識生産基盤が十分整備されておらず、論文生産等の実績が十分あがっていないアフリカの学術界と強固に連携し、アフリカの研究者が着目した研究課題、得ているデータや知識と、日本が持つ技術や分析力を用いた共著論文などで共同研究の成果を世界の学術界に発信していくことは、希少性の高い知見の創出につながり、アフリカのみならず日本の学術界にとってもその基盤強化につながると考えられます。世界から信頼と尊敬を維持、向上するような、日本の学術界のポテンシャルを最大限生かす科学技術外交の展開が強く望まれます。この点で、国際的な学術界でリーダーシップを発揮できる能力をもった人材（とくに女性研究者や若手研究者）の発掘と育成が重要であると考えられます。

2021年には日本での GYA 総会の開催が予定されています。日本の若手科学者が国際的な学術界でリーダーシップを発揮する重要な機会であり、日本の科学者が世界の中でどのような役割を持ち、どのように若手科学者がその未来を築いていくのかを議論する、日本の科学技術の未来に「光を照らす」象徴的な大会となることが期待されます。科学者以外にも科学技術政策に関わる政治家や行政官、民間企業に加え、一般市民の方々も参加できるように、そして科学に関わりたい人がもっと関わりやすくなるような社会の実現に向けた提言やアクションプランを公表する予定です。

国際社会は、グローバル化が急激に進展する一方で、各国や各地の独自性を維持しようとする強い動きもみられ、それがしばしば経済摩擦や地域紛争の勃発にもつながっています。世界平和度指数（Global Peace Index）によると、2019年は前年より世界の平均的な平和度は改善傾向にあるものの、10年前と比較すると平和度は低いと言われます^[4]。テロリストの増加や中東の紛争の深刻化、また難民の増加や欧米の政治的な緊張の高まりがその要因であるとされています。2019年のレポートでは気候変動と平和についても分析され、平和度が低い国と気候ハザード（温暖化、洪水、干ばつ、熱波、火災など）のリスクの高さが合致するとの報告もありました。こうした複雑化する国際社会に対し、日本を含む世界の学術界はどのように対処していけばよいのかについて考えておく必要があるので

コメントの追加 [A2]: 若手ならではの特徴は何か書いていただくとよいと思いました（例えば、より強く未来志向であるのか、など）。

はないかと思います。具体的には、世界が共通して挑んでいく地球的課題と、地域的に固有の問題解決が求められる課題の識別と、それぞれの地域でのグローバルな視点とローカルな視点の融合、一方で世界に共通の統合的な戦略を目指すことと、それぞれの地域に固有な戦略の構築や、それを可能とするダイバーシティの尊重が必要なのではないかということです。そのためには、SDGsが目指すような、環境、経済、社会、の統合的向上という大きな目標に加えて、地域の自然・文化の活用や、新たな価値の創造をめざした社会づくりを学术界が支えていくことが望まれます。

引用文献

- [1] International Science Council. (2019) International Science Council. [Online]. <https://council.science/about-us/>
- [2] Global Young Academy. (2019) National Young Academies. [Online]. <https://globalyoungacademy.net/national-young-academies/>
- [3] 日本学術会議, "日本の展望—学術からの提言 2010," in 学術研究の人的基盤. 東京: 日本学術会議, 2010, pp. 28-29.
- [4] Institute for Economics and Peace. (2019) Vision of Humanity. [Online]. <http://visionofhumanity.org/app/uploads/2019/07/GPI-2019web.pdf>

8-2 持続可能な開発目標（SDGs）の国際展開に対する学術界の貢献と日本学術会議の役割—科学が生み出すイノベーションを中心に 渡辺副委員長 4000

（4000 字⇒3900 字）

2015 年 9 月、ニューヨークの国連本部で開催された「国連持続可能な開発サミット」において、150 を超える加盟国の参加のもとその会議の成果文書として、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための 2030 アジェンダ」が採択され、このアジェンダが「持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals website：SDGs）」として公表されました。SDGs は世界に 196 あると言われている国の多くの合意を得て、2030 年までに達成すべき世界中の共通の課題を 17 の目標と 169 のターゲットという形でまとめられ、「誰ひとり取り残さない」ことを目指しています。

日本政府は「SDGs 推進本部」を設置し、国内実施と国際協力の両面で率先して取り組む体制を整え、日本の取り組みの指針となる「SDGs 実施指針」を決定、さらには 2019 年 12 月に「SDGs アクションプラン 2020」を決定しました。日本企業の多くも、積極的に SDGs の解決を企業の努力目標に掲げるようになりました。このように国内の様々な機関で SDGs に積極的に取り組まれるようになりましたが、これら掲げられた目標達成のためには、学術の貢献が必須です。

日本学術会議では第 23 期に公表された提言を中心に、これまで出された数々の提言が SDGs のどの目標と関連するかをホームページ上で示し、課題解決に学術の力が貢献していることを示しました。これを行う過程で、日本学術会議は SDGs についてどのような姿勢で取り組むべきか、議論を重ねてきました。その議論において、積極的に進めるべきという意見と共に、批判的であるという意見もありました。積極的に進めるべきという意見の根拠は、「社会との対話」を第 24 期の方針として掲げている学術会議は世界共通の課題に取り組む必要があること、地球規模の課題に取り組む際の共通言語として使用できること、研究が社会にとってどういう意味があるかが問われる現在、その意義づけとして使用できること、研究者が研究の意義を考え語るための手段と捉えることなどでした。一方批判的であるべきという意見は、SDGs であれば誰も文句を言えなくなるような方向を懸念すべき、学術が学術以外のものに縛られるのは問題という懸念によるものでした。このほか、学術会議の SDGs 取り組みに対する提案もたくさん寄せられました。日本らしいものや日本らしいやり方を提言できるとよい、芸術やスポーツなど 17 の目標に該当しない課題に取り組むべきではないかという意見もありました。これらの意見をもとに、学術会議としては批判の姿勢を持ちながら推進し、できるだけ日本らしい取り組みを目指すこととなりました。また、学術会議が SDGs に貢献するとともに、SDGs の観点から学術会議の体質改善を図ることも方針として掲げました。

日本らしい提言を考え、学術会議の体質改善も図るために、現在の日本の SDGs 取り組

コメントの追加 [A3]: この意味がよくわかりませんでした。補足が入るとありがたく存じます。一般的には、SDGs の方向性は十分に理解しうるものであり、学術の方向性とも一致するように思います。

みが世界の中でどのような状況にあるか、まずは知ることが必要です。SDSN（Sustainable Development Solutions Network：持続可能な開発ソリューション・ネットワーク）とドイツのベルテルスマン財団が共同で、2016 年より毎年各国の取り組み状況を“SDG Index and Dashboards Report”[1]にて公表し、これまでに 4 回報告が出されました。SDGs の 17 目標に対して、各国の取り組み状況を「達成済み」、「近づきつつある」、「課題多い」、「達成までほど遠い」の 4 段階で評価しています。日本に対する評価は、4 年間を通して若干の変化がありますが、大きくは変化していません。日本に対する評価結果として最も高い評価の「達成済み」と最も低い「達成までほど遠い」を図 8-2 に示します。2016 年から毎年、日本が「達成済み」とされているのは唯一「目標 4：すべての人々への、包摂的かつ公正な質の高い教育を提供し、生涯学習の機会を促進する（教育）」です。最新の 2019 年度版で、この教育に対する「達成済み」の評価が得られたのは経済協力開発機構（OECD）加盟国 36 ヶ国の内 3 ヶ国のみ、カナダとフィンランド、そして日本だけです。つまり、SDGs の観点からすれば、日本の教育は世界に誇るべき素晴らしいものだということです。「達成済み」と評価された要因には、初等中等教育の普及率に加え、高等教育の普及率や OECD による 15 歳の生徒の学習到達度調査（PISA）結果などがあります。初等教育から高等教育まで、幅広く多くの人々に質の高い教育の機会を提供し普及していることは、日本にいと当然のように思われますが、世界の常識ではないことがわかります。私たちは、この日本の教育を強みとして、社会の課題解決に活用することができます。

2030 年は、SDGs が達成される目標の年です。“SDG Index and Dashboards Report”の 2019 年度版で、「主要な 17 の目標すべてを達成するための軌道に乗っている国は 1 つもない」と指摘されていることを考えると、2030 年には SDGs の目標すべての達成には至っていない状態にあると予想されます。その反省のもと、達成できなかった目標に対して新たな手法を取り入れながら継続的に目標達成を目指すとともに、SDGs とは異なる目標設定がなされることが考えられます。SDGs は経済、社会、環境の 3 つの側面から、さまざまな課題を統合的に解決することを目指していますが、これらは現世的利益を前面に出したものと捉えることができます。2030 年に国際社会で議論になるのは、このような現世的利益だけではなく、むしろ人々の精神的充足や幸福感をどのように得ることができるかが重要になるでしょう。SDGs の「誰一人取り残さない」という理念の達成に向かうためには、世界中の人々がよい状態にあると感じること、充足感や幸福感を得ることが重要になるでしょう。人々がどの状態を持ってよい状態と感じるかは、地域や属性、立場などによって異なります。大事なことは、一人ひとりがよい状態であると感じることであり、それは同じ価値を皆にあってはめるのではなく、一人ひとりが自分のよい状態を得る手段を考え、実行し、それが達成できるような社会であることと言えます。この達成のためには、今ある人類の英知を結集することが必要です。地球規模での人々の幸福を追求し、そのための課題をさまざまな分野の科学者が英知を集めて設定し、その課題の現状把握を継続的に進め、分析し、その結果が導く対応を繰り返し行うことが必要です。そして、それは科学者だけに閉じるものではなく、

コメントの追加 [A4]: これについては、日本に住まいながら日本語教育についていけず学校からドロップアウトしている多くの移民の子どもたちがいることを課題として触れていただくとありがたく存じます。インクルーシブな教育といった際に重要な論点であるとの指摘があります。

--毎日新聞

<https://mainichi.jp/articles/20200123/ddm/003/040/128000c>

日本に住民登録している外国籍の子ども約 2 万 2 0 0 0 人が小中学校に通っているか分からない「就学不明」となっていることを受け、文部科学省は就学促進について、国にも積極関与を求める報告書骨子案をまとめた

あらゆる地域と立場の人々との対話から得られた意見を反映するものでなければなりません。

このような新たな地球規模の課題は 2030 年の設定に始まり、2050 年頃を目標に進められることとなると予想されます。その実現のためには、すべての人に包摂的かつ公正な質の高い教育を提供できるわが国が世界に率先して進める責任がありますし、その実行により世界を牽引することができます。2050 年には地球温暖化に代表される地球規模の環境変化が恒常化し、変化し続ける自然との共生が大きな課題となるでしょう。一方、ICT の更なる進展の成果としての人工知能（AI）との共生も社会課題となり、人類は自然と AI との共生を求める環境の中で、人々の幸福感を追求することが必要となります。自然を AI の対立項目とは考えず、またそれらを人間の対立項目とも捉えず、すべてを適切に組み合わせ、人間と自然と AI が共生する社会を目指すことになります。それは、自然を神として崇拝し、人間とともに生きる人型ロボットを未来の象徴として受け入れ開発してきた日本だからこそ、追求できることです。自然と AI と共生する人間は、経済的価値など現世的価値だけを追求するのではなく、あくまでもすべての人のよい状態や幸福感をも追求する存在です。これを先導するのは科学であり、それを実現するためには科学にも新たな進展が必要となります。

このようなことを実現するためには人々のよい状態や幸福感を科学として考えるだけでなく、人々の間、人間と自然と AI との共生を進めるための共感をも視野に入れた「共感のための科学」を日本の学術として取り組み、世界に展開することが考えられます。科学は客観性を重視することが基本であり、客観的判断のための手段でもあります。科学を多くの人と真に共有するためには、主観に基づく共感が不可欠となります。自然と AI との共存を目的として共感のあり方を科学的に考えるためには、人間の精神的充足感を得ることの研究として芸術の力を取り込み、科学と芸術の融合を進めることも始まるでしょう。生命科学と理学・工学が人文・社会科学と融合するだけでなく、芸術をも取り込んだ新しい科学が進められ、人間の心を満たすことが科学の要素として組み入れられるようになります。

このような科学の進展が実現されれば、世界の産業そのものにも変化が現れるようになるでしょう。経済的価値を追求する現在の形態の産業を主たる生活基盤と捉えるのではなく、すべての人々のよい状態や幸福感を追求することも組み込まれた新たな産業が生まれる可能性もあります。それは、現在の宗教とも異なり、自然と AI と共生する人間の存在を追求する生活基盤です。2050 年には新たな科学の進展とともに、このような新しい生活基盤の追求も具体的な形として始まることが考えられます。

コメントの追加 [A5]:「神として崇拝し」は言葉を変えたほうがよさそうです。自然を尊重し、など。

コメントの追加 [A6]:「共感」は科学目標とするほどに強い善であるのか疑問を持ちます。差別意識が共感されることはどう考えるとよいのでしょうか。

コメントの追加 [A7]: 科学の見方もまた文脈により多様です。ここでいう「科学を多くの人と真に共有するためには」は、科学的な物の見方を共有するという内容に拝読しましたが、理系では 1 本化できても人文社会からは多様な見方が産まれます。これを目標に置く共感は正当化しにくいと感じます。

コメントの追加 [A8]: 宗教はカットがよろしいかと存じます。対比させるには非常に複雑な説明が必要と思われます。

	達成済み	達成までほど遠い
2016	  	         
2017	  	         
2018		         

図 8 - 2. SDG Index and Dashboards Report 2016-2019 における日本の達成状況評価

結果

コメントの追加 [A9]: 上記に示したように、日本にも外国人の子供が取り残されていることを課題として付していただけると幸いです。

[1] The Sustainable Development Solutions Network (SDSN) and the Bertelsmann Stiftung, SDG Index & Dashboards 2016-2019

8-3-1 学術研究の国際ネットワーク 野尻委員 1500

先端的な学術における国際協力の取り組みの多くは、各国の研究者同士のネットワークから生まれています。科学が発展するにつれて、一機関、一国の研究者だけで閉じた研究ではなく、多くの国の研究者が協力して研究成果を共有し、国境を越えた枠組み提案されるようになりました。世界的な科学者の団体である IRC(International Research Council =ISC の前身団体の一つ) が設立されたのが 1 世紀前の 1919 年で、日本はアジア唯一の強国として参加しました。幾多の戦争の経験を経て、現在、さまざまな学術の国際団体は NGO として、国や特定の政治勢力と独立して運営されています。単位や標準の決定、データベースの運営、発展途上国への支援など、団体の活動は多様です。日本の貢献も広く認知されており、例えば、2019 年は国際周期表年の記念閉会式は国際純正・応用化学連合によって、新元素ニホニウムを発見した日本で行われています。現在、中国やインドなどが経済的に発展し、このような枠組みにはさらに多様な国の人たちが活発に参加するようになっています。今後も科学を発展させるためには、国際協力がより重視され、研究のための人の往来や、データ・研究経費のやり取りが公正なルールに基づいて迅速に行えることが重要です。複雑する国際社会のルール作りを支援することも学術の国際団体の大切な仕事の一つです。

日本は、国際的な研究を国内で行い、海外の多くの研究に参加しています。国際宇宙ステーションや国際核融合炉実験炉など政府間の協定に基づく国際研究はよく知られています。それ以外にも、日本にノーベル賞をもたらした B ファクトリー実験は現在 26 の国が参加する国際実験、ニュートリノ観測実験も 10 カ国が参加する実験です。日本の装置が海外で運用されるケースも多数あります。天文学ではハワイに設置されたすばる望遠鏡が大規模な国際共同観測を主導し、宇宙の暗黒成分の性質とその存在量の決定に大きな成果を挙げています。さらに、ALMA や TMT, SKA などの海外の観測プロジェクトに参加して、新たな宇宙の姿を明らかにしていく予定です。重力波を手がかりとする新しい天文学の時代において、多波長時間領域天文学に関する国際協力が積極的に貢献しています。地球環境の観測では、通常の地上観測や衛星観測のほか、とくに中間圏や電離圏などの高度領域の大型レーダー観測 (PANSY, EISCAT_3D) を南極や北欧で推進しており、日本の深海掘削船「ちきゅう」は 20 カ国が参加する国際研究プロジェクトの一部でもあります。

自然を探究する最先端の研究は、今後ますます国際協力のもとで計画立案されることになるでしょう。8-3-3 で議論する Future Earth のような政府や企業の参加する取り組みも、国際的な共同研究によって地球規模の問題解決を行なっていくことを目指しています。国際的な研究の立案と実行の中でリーダーシップを発揮していく経験は、若い世代にとって、真の国際人となるための貴重な経験となります。

コメントの追加 [A10]:

コメントの追加 [A11R10]:

コメントの追加 [A12]: B ファクトリーに合わせてスーパーカミオカンデ実験などがよろしいかと拝見しました。(T2Kではなく)

コメントの追加 [A13]: 日本がハワイに設置した(すばるは日本の望遠鏡)

コメントの追加 [A14]: ALMA、TMT は海外のプロジェクトというより建設時より国際プロジェクトなので、以下のようにいかがでしょうか。(TMT は特にハワイでは予定できるかも厳しそうです。)
「さらに他国と共に施設を建設し、すでに ALMA では大きな成果を挙げています。一方で TMT はハワイに建設予定だったが、地域社会との協働にさらなる努力が必要です。」

学術の飛躍的な進展にともない、研究プロジェクトの大型化と国際化は不可避です。国際協力の国際的な研究プロジェクトを安定して運営していくには、研究計画の立案、執行を他国に歩調を合わせて行わなければなりません。科学技術予算が伸びない中で、国際計画への参加が遅れるケース、また実験・観測の予算が不足するケースも出てきました。また、国外の研究に参加する予算が、多くの場合競争的資金で賄われているために、バランスの取れた計画実現が難しくなるケースも目立っています。日本が国際共同研究においてその責任と貢献を確実に果たしていくためには、タイムリーで安定的な予算の確保が本質的です。そのためには、各学術コミュニティの意見を早くから集約し、日本が参加するプロジェクトの意義を、国民に理解してもらうことがますます必要となっています。また研究者の意見が適切に反映される予算決定プロセスが強化されることが必要です。

コメントの追加 [A15]:「国民や地域社会はもちろん、国際社会の支持を得ることが（理解というのは上からの言葉になるので）などはいかがでしょうか。」

コメントの追加 [A16]:「同時に、研究者は地域や社会の声に耳を傾け、対話を継続することが重要です」などが入った方がよいと思いました。」

8-3-2 生命科学の国際協力の枠組みと課題 武田委員 1500

2019 年 7 月 30 日オスロの由緒あるアカデミーの講堂で集まった国や国際学術団体の代表者を前に第 33 回国際生物学連合（以下 IUBS, International Union of Biological Sciences）の総会初日に開会のスピーチを行った。この総会は、IUBS 発足 100 年を記念したものでもあり、幸運にも私は IUBS 会長として臨むこととなった。IUBS は、100 年前の 2019 年、第一次世界大戦終了直後に、生物学のすべての分野を代表する非政府組織として Brussel（ベルギー）で産声をあげた。生物学の国際組織（ユニオン）としては最初のもので、同じ年に自然科学全体に関する国際的な学会連合をまとめる国際科学組織（ICSU、International Council for Science；2018 年 International Science Council (ISC), 「国際学術会議」へ改組）が誕生している。興味深いことに IUBS の創設に関わった 12 の国の一つが日本であった。以来長きにわたり、第二次世界大戦の中断をはさんで、日本は主要な加盟国として活動を支えている。IUBS の活動は、嘗ての博物学・分類学の国際プラットフォーム構築から、時代とともに変遷し、現在は Unifying biology through diversity（多様性を通した統合的生物学）を掲げ、現代社会が直面する地球規模の課題に関する科学プログラム、例えば、気候変動の生態系への影響の観測と解析や、気候変動の影響に関する教育アプリケーションの作成・普及、などがある。特に重視しているのが地域性であり、アジア、アフリカでの観測、や教育アプリケーションの多言語化を進めている。前者は IPBES を通した活動（後述）が、一方後者は UNESCO との連携を通した国際展開が今後重要となる。

地球規模の環境問題である、生物多様性、生態系の保全に関しては、国連の地球環境保全条約の国連生物多様性条約（CBD、Convention of Biological Diversity、1993 年）事務局が主導している。2 年ごとに開催される条約締約国会議は COP（Conference of the Parties）とよばれ、名古屋議定書（Nagoya Protocol）が採択された 2010 年の COP10 は有名である。一方、条約や政府の政策から独立した科学者集団による国際連携は重要で、2012 年に設立された「生物多様性及び生態系サービスに関する政府間科学政策プラットフォーム（IPBES）」が科学的に中心的役割を担っている（生物多様性版 IPCC）。IPBES は賛同する国（日本も含む）、団体等からの資金で運営され、地球規模の観点で、課題ごとに世界中から科学者を集め、生物多様性、生態系からくる恩恵（サービス）、その変動を科学的に評価し、政策提言を含む報告書を作成している。2019 年フランスで開催された第 7 回 IPBES 総会（4/29-5/14）では、地球規模の生物多様性及び生態系サービスを評価した報告書が受理され、2030 年までの作業計画が決定された。IUBS は、IPBES のメンバーとなっており、参画する科学者の推薦、COP での科学フォーラムを IPBES と共同開催している。

名古屋議定書は、生物多様性の保全だけでなく、遺伝資源の取得の機会（Access）とその利用から生ずる利益の公正な配分（Benefit-Sharing）、即ち ABS、生物多様性の重要課題の一つとして定めている。最近一部の国からから、名古屋議定書の適応対象（「遺伝資源」及

び「遺伝資源に関わる伝統知識」)にゲノム配列であるデジタル配列情報を含めるべきという主張がなされており、これが学術の発展に負の影響を及ぼすと懸念されている(学術会議提言「生物多様性条約及び名古屋議定書におけるデジタル配列情報の取扱いについて(2018)」参照)。COP15(2020、中国)において採択予定の「ポスト2020」は、今後の多様性保全とABSの重要な枠組みとなる。少なくとも科学的には、IPBESやIUBSなどの学術ユニオンからの報告が参照されるべきである。

日本学術会議は主として、国際学術団体(ISCなど)や国際科学ユニオン(IUBSなど)への支援を通して、科学者の国際連携を支えてきた。特にこれまでの日本の支援は、国の政策に左右されず、中立的であり、しかも長期間継続していることから、世界の科学者コミュニティから尊敬を得ている。国益が対立する国際条約の場であればなおさら、中立的な科学データが重要となる。日本として将来にわたり科学者の国際協力の枠組みを支える努力が必要である。

8-3-3 Future Earthの取り組み 春日文字（連携会員） 1500

Future Earth は、持続可能な地球社会のための国際研究プログラムです[1]。学術の分野を超えた連携と社会のステークホルダーとの協働を基本とし、研究とイノベーションによる、持続可能な社会への転換の加速を使命としています。2015 年、5ヶ国に分散した国際事務局グローバルハブならびに地域事務局が発足し、本格稼働しました。Future Earth は国際学術会議（International Science Council: ISC）の研究プログラムの一つであるとともに、ISC と国連機関、STS forum、Belmont Forum*によって構成される評議会（Governing Council）と、科学者やビジネス界の代表から成る諮問委員会（Advisory Committee）から、活動や予算に関する承認や助言を受けています。Future Earth は、国連気候変動枠組み条約、IPCC、IPBES などにおいて、公式なパートナーやオブザーバーの立場を持ち、国際的に学術と政策を繋ぐ役割も果たしています。

Future Earth には、様々な専門分野で先端的な学術活動を担う 20 のグローバル研究プロジェクトと、社会との連携をより強化した 9 つの「知と実践のネットワーク」があり、それらの統合的な活動の柱として、1）社会のニーズを踏まえた、学術的知見の統合による新たな知識価値の創造、2）社会のより多くの人々に地球環境変化の現実を伝えるための広報出版活動、3）幅広い学術コミュニティと社会のステークホルダーからの参画を促す仕組み作りを推進しています。特に、SDGs や地球の限界（Planetary Boundaries [2]）などの数値的理解や目標設定に対して、広範な学術的エビデンスを収集、整理し、わかりやすく提供することによってサポートする Earth Targets の取り組みは、Future Earth の新しい活動として、2019 年、グローバルからローカルまで多様なスケールで開始されたところです。

日本には国際事務局グローバルハブの一つとアジア地域センターに加え、企業や官庁も参加するフューチャー・アース日本委員会が置かれています。さらに、日本政府から Future Earth に対する国際拠出金も支出されています。日本学術会議の Future Earth の推進と連携に関する委員会は、2016 年 4 月、提言「持続可能な地球社会の実現をめざして -Future Earth（フューチャー・アース）の推進-」[3]を発出しました。また 2019 年 9 月には、同委員会、FE・WCRP 合同分科会、地球環境変化の人間側面（HD）分科会、フューチャー・デザイン分科会、地球・人間圏分科会と国際事務局日本ハブとアジアセンターが、日本学術会議会長談話『「地球温暖化」への取組に関する緊急メッセージ』[4]の発出に協力しました。日本委員会主催による「Future Earth 日本サミット」や企業との共催によるフォーラムやシンポジウムの開催、金融セクターとの対話プロジェクト等も進められています。また、SDGs 実施指針、第 5 期科学技術基本計画をはじめ、複数の政府の指針や計画の中で、Future Earth は役割を果たすべき研究プログラムとして位置づけられています。

2030 年には、日本の学術がアジアの学術と協力して、世界の学術としての責任を先導的に果たしていることが望まれます。Future Earth はその道筋の一つとして、複合的な問題への俯瞰的、またシステム思考によるアプローチ、さらに社会の様々な立場の人々との対話と

相互理解によって、地球環境の危機に対して正面から取り組み、2050年には、脱炭素化の推進による地球温暖化の抑止、特に1.5℃目標*達成と適応との併用に貢献し、土地利用の変化と生物多様性の減少、環境汚染と健康被害、人口移動と都市問題、気候災害と紛争など、多くの環境・社会問題の解決に貢献していることを期待します。

[1] <https://futureearth.org/>

[2] Steffen, W. et al., Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 13 Feb 2015, Vol. 347, Issue 6223, 1259855, DOI: 10.1126/science.1259855

[3] <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t226.pdf>

[4] <http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-d4.pdf>,
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-24-d4e.pdf>

* Belmont Forum：地球の環境変動研究を行う研究助成機関の国際組織。日本からは、文部科学省と国立研究開発法人 科学技術振興機構（JST）がメンバー機関として参加。

* 1.5℃目標：2015年の国連気候変動枠組条約 COP21 パリ協定において、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2℃より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」と合意。その後2018年、IPCCによる「1.5℃目標」に関する特別報告書の中で、気温上昇のペース予測や 2℃上昇と 1.5℃上昇とで起こることの違い、1.5℃上昇に抑えるための CO₂ 排出量削減目標などが示され、世界の環境科学専門家をはじめとする多くのコミュニティにおいて、1.5℃上昇に抑える目標が重視されるようになった。

8-4 環境・防災を中心とした国際研究ネットワークに果たす日本の学術の役割ーアジア・太平洋地域を中心に 丹下委員、小池俊雄（第三部会員）、澁澤委員、米田委員 4000

8-5 国際政治フォーラムにおける学術界の役割と日本学術会議の貢献—G7 アカデミックサミット、サイエンス 20 (S20) への貢献を中心に 武内幹事 4000

8-5 国際政治フォーラムにおける学術界の役割と日本の学術の貢献—G7 学術会議、サイエンス 20 への貢献を中心に (約 4300 字)

学術界が社会と連携しながら、地球的課題をはじめとする政策に貢献するという役割は、ますます高まっています。世界の教育、科学、文化分野での交流を促す国連機関である UNESCO においても、今世紀になって台頭した超学際科学としてのサステイナビリティ学のアプローチにおいては、科学、社会、政策間の効果的な対話を促すメカニズムの構築が重要であるとしています[1]。実際、UNESCO などの主導によって 2012 年に発足した「生物多様性と生態系サービスに関する政府間科学-政策プラットフォーム」(IPBES)でも、その名が示すように、科学と政策の対話を通じて、世界全体、各地域、各国、**方**政府、企業などさまざまなステークホルダーに対して、科学的根拠に基づいた政策の提言と実施が求められています。

いま国際政治の場では、2015 年に国連総会で持続可能な開発目標(SDGs)が採択されて以降、その達成に向けた取り組みが進められています。これに先立ち国連が推進してきたミレニアム開発目標(MDGs)が開発途上国を対象としていたのに対して、SDGs は先進国、新興国、途上国共通の目標として定められたものです。先進国と途上国の関係についても、これまでのような ODA(政府開発援助)などを通じた支援・被支援国の関係から、対等なパートナーシップとして両者の連携を深め、相互の持続可能な発展を期そうとする動きが盛んになっています。

SDGs の推進は、日本を含む世界の学術界のあり方に対しても大きな影響を及ぼしています。学術界、官界、産業界、NGO 等が、SDGs という共通言語で対話を促進することができるようになったことは、画期的な出来事でした。毎年、ニューヨークの国連本部で開催されるハイレベル政治フォーラム(HLPF)の場合は、各国が SDGs の進捗状況をレビューするとともに、さまざまなステークホルダーが意見を交換する貴重な場となってきました。また、最近では、気候変動枠組条約が推進するパリ協定、生物多様性条約がその達成を目指す 2020 年までの愛知目標およびポスト 2020 年目標、また防災・減災に関する仙台フレームワークといった個別の地球環境的課題と SDGs を相互に関連づけ、政策の相乗効果と、人的・資金的資源の有効活用を目指す統合的アプローチの機運も高まっています。

SDGs への学術界からの貢献、IPCC や IPBES の学術的成果を政策に反映させるための「政策決定者へ向け要約」(Summary for Policymakers: SPM)への科学者の貢献に見られるように、国際政治に対して学術界の果たす役割はますます高まっています。こうした取り組みに対して、学術界が守るべき立場として強調されているのが、「政策

コメントの追加 [A17]: 各?

策定に有用な情報の提供を行うが、自らは政策策定に参加しない(policy-relevant but not policy prescriptive) 」という大原則です。こうした大原則を維持しつつ、いかに日本学術会議を含む日本の学界が、長期にわたって国際政治フォーラムでの議論に貢献できるかを考えることは、「日本の展望」にとっても極めて重要な課題であると考えられます。

現在、日本学術会議が参加している国際政治への貢献を目指す取り組みとしては、2005 年より始まった G サイエンス学術会議があります。これは G7 参加国（2013 年までは G8 参加国）に所属する学術組織（アカデミー）が、6 月に開催された G7 首脳会議に先立って、学界からの提言を共同声明にまとめ、G7 首脳に手交し、G7 での議論に役立ててもらうことを意図した取り組みです。2018 年 3 月には、G7 議長国であったカナダのオタワにおいて、カナダ王立協会の主催で開催され、1) グローバルな北極、2) デジタルフューチャーについて討議が行われ、共同声明が取りまとめられました。この共同声明は G7 首脳に各アカデミーから手交されましたが、日本でも 5 月に山極会長から安倍総理に手交されました。

2019 年 3 月には、G7 議長国であるフランス科学アカデミーで開催され、1) 科学と信頼、2) 人工知能と社会、3) インターネット時代のシチズンサイエンス、について討議され、共同声明文にまとめられました。この会合には、日本学術会議の若手アカデミーから 2 名が参加しました[2]。日本学術会議が若手科学者を派遣したことは、他国の科学アカデミーにも大きな刺激となりました。会合の場で若手科学者に注目が集まり、各国の若手育成の取り組みを議論することにつながりました。この共同声明文についても、フランスのビアリッツで開催された G7 サミットに先立ち、8 月に山極会長から安倍総理に手交されました。

G サイエンス学術会議で討議されたシチズンサイエンスの課題を、若手科学者間、更に市民と議論するために、若手アカデミーが 2019 年 10 月に G7 参加国から GYA メンバーをつくば市で開催された第一回筑波会議に招待し、市民が参加できる公開セッションを開きました[3]。シチズンサイエンスは、市民がそれぞれの関心に基づいてデータ収集や分析に関わることができるだけでなく、科学と社会をつなぐツールとして、科学への信頼の醸成に対しても重要であることが話し合われました。参加者のほとんどが科学者であったことから、まだ今回は多くの市民にこうした議論を届けるには至りませんでしたが、今回の学びも含めて更なる試みを 2020 年以降も継続し、市民の方々と科学の距離の近い未来を築いていく必要があります。

2020 年 3 月には、G7 議長国であるアメリカ合衆国のワシントン DC において G サイエンス学術会議が開催される予定です。1) デジタルヘルス、2) 基礎科学の重要性、3) 昆虫の減少と生態系サービスの劣化、のテーマに対し、若手アカデミーから 3 名の専門家を派遣することを予定しています。こうした試みは、ますます高齢化が進む世界のアカデミーの現状を大幅に改善するための一石を投じることになるのではないかと期待

しています。

日本学術会議の国際政治フォーラムへの貢献を目指した取り組みとして、もう一つサイエンス 20 (S20) の取り組みがあげられます。S20 は、G20 サミットに対する学術界からの提言を取りまとめるために、G20 各国を代表するアカデミーが一堂に会して議論するための会議であり、2017 年 3 月にはドイツのハレで「世界の健康を改善する」、2018 年 7 月には、アルゼンチンのロサリオで「食料と栄養の安全保障」をテーマに開催されました。

これらに続いて、2019 年 3 月に、日本学術会議で「サイエンス 20 Japan 2019」が開催されました。会議のテーマは、近年大きな国際政治上の課題となっている「海洋生態系への脅威と海洋環境の保全—特に気候変動及び海洋プラスチックごみについて—」でした。共同声明では、気候変動による海洋温暖化、海洋酸性化及び海洋貧酸素化、また海洋プラスチックごみの集積といった科学が取り組むべき喫緊の課題を明らかにし、問題解決に向けた提言を取りまとめました。共同声明文は、山極会長から安倍総理、原田環境大臣にそれぞれ手交されました。共同声明の反響は大きく、新聞各紙でも取り上げられたほか、長野県軽井沢町で開催された「G20 持続可能な成長のためのエネルギー転換と地球環境に関する関係閣僚会議」の場で S20 の共同声明を報告する機会が与えられました。

先に述べた筑波会議では、若手アカデミーによる SDGs に関するセッションも設けられ、日本学術会議が主催した S20 で主要な話題として議論された「海洋プラスチック問題」が取り上げられ、科学者がすべき SDGs への貢献と科学的助言について話し合われました。ここでの議論は、2019 年 11 月にハンガリーのブタペストで開催された World Science Forum (WSF) [4] のサイドイベントにも継続され、若手科学者の中で、SDGs 達成のために分野を超えて議論することの意義と発展性の理解が深まったと同時に、シニアの科学者から若手への信頼と期待が高まる機会にもなりました。以後も 2 年毎に開催される WSF や、その他の国際会議の場で、若手科学者が活躍できる体制を整える必要があります。

日本の学術界としては、現在、SDGs に関する取り組みに力を入れていることから、今後は国連本部で毎年開催されている SDGs に関するハイレベル政治フォーラム (HLPF) への学術界からの貢献を世界の学術アカデミーと連携しつつ行っていく必要があると思われます。また国連では、SDGs を中心に、気候変動枠組条約のパリ協定、生物多様性条約のポスト 2020 目標、自然災害の防災・減災に関する仙台フレームワークなどとのシナジーを高めていく必要が指摘されており、そうした面での学術界からの貢献も大いに期待されます。学術と社会の連携を基礎としつつ、俯瞰的な立場から地球的課題の解決への貢献を目指すサステナビリティ学やその国際連携による取り組みとしてのフューチャーアースは、そうしたシナジーを高めるための学術的観点からの具体策を提示することが期待されています。

- [1] UNESCO. (2017) Guidelines on sustainability science in research and education. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000260600>
- [2] 日本学術会議, "G7 サミット参加各国と共に G サイエンス学術会議共同声明を公表," *学術の動向*, vol. 24, no. 9, p. 7, Sep. 2019.
- [3] 筑波会議. (2019, Oct.) Sessions. [Online]. <https://tsukuba-conference.com/sessions>
- [4] World Science Forum. (2019, Nov.) Programme. [Online]. <https://worldscienceforum.org/programme/2019-11-20-implementation-of-the-s20-recommendations-scientific-solution-to-keep-a-balance-between-promotion-of-industrial-science-and-warning-from-environmental-science-157>