

(案)

提 言

気候危機に対処するための産官学民の総力の結集

－循環経済を活かし自然再興と調和する

炭素中立社会への転換－



令和7年（2025年）〇月〇日

日 本 学 術 会 議

この提言は、日本学術会議循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会が中心となり審議を行ったものであり、日本学術会議として公表するものである。

日本学術会議

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会

委員長	森口 祐一	(第三部会員)	東京大学名誉教授／国立環境研究所名誉研究員
副委員長	城山 英明	(第一部会員)	東京大学大学院法学政治学研究科教授
幹 事	鈴木 朋子	(第三部会員)	株式会社日立製作所専門理事／研究開発グループ技師長
幹 事	野口 和彦	(連携会員)	横浜国立大学総合学術高等研究院次世代工学システムの安全科学研究ユニット客員教授
	大塚 直	(第一部会員)	早稲田大学法学学術院教授
	北島 薫	(第二部会員)	京都大学大学院農学研究科教授
	土井 元章	(第二部会員)	京都大学名誉教授
	北川 尚美	(第三部会員)	東北大学大学院工学研究科研究科長補佐・教授
	岸本 康夫	(第三部会員)	JFE スチール株式会社スチール研究所研究技監
	三枝 信子	(第三部会員)	国立研究開発法人国立環境研究所理事
	辻 佳子	(連携会員)	東京大学環境安全研究センター教授
	橋爪 真弘	(連携会員)	東京大学大学院医学系研究科国際保健政策学教授
	橋本 禅	(連携会員)	東京大学大学院農学生命科学研究科(未来ビジョン研究センター兼任)教授
	松八重一代	(連携会員)	東北大学大学院環境科学研究科教授
	松方 正彦	(連携会員(特任))	早稲田大学理工学術院教授

本提言の作成に当たり、以下の方々に御協力いただいた。

杉山 正和	(連携会員)	東京大学先端科学技術研究センター所長・教授
田辺 新一	(連携会員)	早稲田大学創造理工学部建築学科教授
山末 英嗣		立命館大学理工学部機械工学科教授

本提言の作成に当たり、以下の職員が事務及び調査を担当した。

事務	佐々木 亨	参事官(審議第二担当)(令和6年7月まで)
	新田 浩史	参事官(審議第二担当)(令和6年8月から)
	角田美知子	参事官(審議第二担当)付参事官補佐
	齊藤 美穂	参事官(審議第二担当)付審議専門職(令和7年3月まで)
	野田 太輝	参事官(審議第二担当)付審議専門職(令和7年4月から)
	佐藤 有純	参事官(審議第二担当)付審議専門職付
調査	奥和田久美	上席学術調査員

要 旨

1 作成の背景

気候変動対策に関する国際枠組み「パリ協定」においては、世界の平均気温上昇を産業革命前に比べて 2°C より十分に低く保ち、 1.5°C に抑える努力をすることを目標に掲げ、今世紀後半に温室効果ガスの人為的な排出量と人為的な吸収量を均衡させる「炭素中立（カーボンニュートラル、以下適宜 CN と略記）」を実現するという世界共通の長期目標が定められた。日本政府は2050年に炭素中立を目指すことを2020年に宣言し、2025年2月には2040年度の排出量73%削減という新たな数値目標を国連に提出した。

炭素中立の実現には、かつてない規模の社会の変革が必要である。気候変動への対処と並ぶ環境政策の柱となる「循環経済（サーキュラーエコノミー、以下適宜 CE と略記）」、「自然再興（ネイチャーポジティブ、以下適宜 NP と略記）」と調和の取れた形での炭素中立社会の実現を目指しつつ、持続可能な環境・社会・経済へ移行し、経済安全保障や産業競争力強化にも貢献する道筋を示すことが喫緊の課題である。

2 現状及び問題点

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書（AR6）では、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」とされた。2024年、世界の平均気温は観測史上最高を記録し、我が国においても最も暑い年となった。他方、地政学的に不安定な状況が続き、エネルギー価格の高騰や物価高が国民生活を圧迫しつつあるが、国際的な不確実性が高まる中であるからこそ、気候危機を始めとする環境問題への取組の継続が、我が国にとって一層重要な課題である。地球環境の変化に対する危機感や対応の必要性・切迫性を行政・企業・市民が共有することはむろん重要であるが、危機意識の醸成だけでは対策が進まない現実を直視し、次世代に先送りすることなく地球環境問題に対処することが、将来の国民生活の向上に不可欠であることが実感できるよう、対策加速の処方箋を示すべき段階にある。

3 提言

提言 1 予想より早く進行する気候変動への国内外の対策加速のための危機意識の共有

2024年の世界の平均気温は産業革命以前と比べて 1.5°C 上昇し、頻発する風水害や記録的な猛暑、食料問題など、気候変動の影響が顕在化している。多様な情報が錯綜する状況下では、国民に信頼性の高い情報を提供することが不可欠であり、学术界の果たすべき役割は大きい。

政府は、他国の方針変更に惑わされることなく、国内外に気候変動対策の重要性をより明確に発信し、損害の軽減のためにコストをかけることの意義と必要性を伝え、国民を含む多様なアクターとの間で、我がこととして危機意識を共有することが求められる。

提言 2 2050年目標達成に向けたチェックポイントと実施主体を明示した社会実装計画

炭素中立の達成のためには、削減目標値を提示した中間年等のチェックポイントを強く意識し、実施主体を明確にした上で対策の社会実装を計画的に進める必要がある。

国は、必要な投資水準を示し、財源を確保し、炭素中立社会への公正かつ賢明な移行に必要な社会基盤整備を牽引するとともに、企業活動の環境・社会責任の強化、産業構造の円滑な転換を促す必要がある。企業等の施策の実施事業主体は、具体的なマイルストーンを構築し、国との密接な連携の下、事業の構造転換を進め、市民は、日常の生活・消費活動を通じて、持続可能な社会の構築に必要な行動を選択することが求められる。学术界は、科学的根拠を基に、社会実装の道筋を先導しなければならない。

提言 3 地域に根差し産官学協調の強みを活かした社会実装の支援策

炭素中立達成の目標年までの期間が限られている中では、日本の強みである産官学協調を活かし、地域の特性に応じた対策技術の迅速かつ妥当な規模での実装が必要である。新技術の受容性や地域の産業の公正な移行等の社会的側面も考慮し、多様なステークホルダー間の連携・協調を円滑に進めるための場づくり、調整の担い手が必要である。学术界は率先して地域変革のファシリテータとなること、担い手の育成等、これまで以上に積極的に地域活動に関わるべきである。

提言 4 政策・対策の社会実装における学術の役割

学术界はその社会的役割を再認識し、社会のニーズに合わせた研究の展開が必要である。地球環境問題への対処や新技術の開発・社会実装は、2050年で完了するわけではない。より長期を見据えた技術革新への期待に応えるために多様な基礎研究の継続、新しい学術の創出も当然ながら重要であるが、それと同時に、基礎研究から社会実装への道筋の明確化が求められている。さらに、社会制度の構築や社会と技術の関係性についての共通理解の醸成も重要であり、産業育成に直結する技術開発だけでは、科学技術を活用する社会は構築できないことを明確に意識する必要がある。情報技術の進展を社会転換に活用すること、学際的に多分野の知をつなぐこと、学術と社会をつなぐこと、それらを担う人材を育成することが、学术界が果たすべき重要な役割の一つである。

提言 5 炭素中立と循環経済、自然再興との間の共通利益・相反性の整理に基づく同時達成に向けた戦略

気候変動と同時期に国際条約が締結済みの生物多様性を始め、同時解決を目指すべき環境問題が多くある。欧州発の循環経済、我が国発の3R+renewableは、気候変動、生物多様性、環境汚染等の社会課題を解決する重要な取組であるとともに、産業競争力の強化、経済安全保障、地方創生の向上に資する可能性がある。学术界には、気候変動と同時解決すべき環境問題間の相反性と共通利益の俯瞰的な整理を進め、実現に向けた戦略を示していくことが求められている。その際、環境政策の基本原則・理念を大前提として、今日の環境政策の三つの柱である炭素中立（CN）、循環経済（CE）、自然再興（NP）の同時達成に向けた成功事例を積み重ね、成功の鍵を共有していく必要がある。

提言 6 複合的課題群の俯瞰的整理に基づく複数主体による課題解決策の決定と実施

炭素中立、循環経済、自然再興という環境政策の三つの主要課題に加え、国民生活に直結する課題が山積する中では、課題群を俯瞰的に捉えた上で、複数かつ複合的な課題群の同時解決を目指し、明確な役割分担の下に対応を進めるためのガバナンス体制を政府だけでなく社会全体で構築していくことが求められる。社会に重要な影響をもたらす施策を確実に推進するためには、目標や基本計画を関係主体の参加の下に策定するだけでなく、対策とその実施に当たっての課題を関係主体とともに整理し、課題解決の期間や達成目標を明確にした実行計画の策定とその計画自体のアセスメントを行い、PDCA サイクルの中で施策を着実に推進できるような制度的枠組みを構築するべきである。

提言 7 地球規模と地域レベルでの持続可能性の両立に向けた総力の結集

複数課題・複合的課題の同時解決は世界共通の目標でもある。現在の国際枠組みでは、各国からの直接排出量削減が目標とされているが、真の削減貢献を果たすことが必要である。日本一国の排出削減では気候変動を止めることは不可能であり、炭素中立社会への転換の理念やそれを支える社会システム、知見・技術を、国際的に共有し、互いの経験に学びあいつつ、世界全体の炭素中立に強いインパクトを与えることが、世界の一員としての我が国の重要な役割の一つである。

他方、国内には少子高齢化・過疎化の進展や巨大災害への備えなど、切実な課題が多数あり、地方創生や、災害などへの適応回復力（レジリエンス）強化等の主要施策の中に、気候変動対策の視点を組み入れていくことが必要である。

気候変動に対処するための国内外の総力の結集が、地球規模、地域レベル双方の持続可能性を高めるために求められている。

目次

1	はじめに.....	1
2	気候変動の現状と対策の重要性.....	2
	(1) 気候変動への疑義の議論から気候危機への対処の時代へ.....	2
	(2) 国内外の政策や社会政策上の上位概念における気候変動政策の重要性.....	3
	(3) 緩和策・適応策両面での対策加速のための力の結集と学術界の役割.....	3
3	炭素中立施策を取り巻く状況.....	5
	(1) 世界と日本の GHG の排出源と排出削減目標.....	5
	(2) 資源輸入大国としてのエネルギー安定供給・原材料供給・価格問題.....	6
	(3) 既存産業の継続と産業技術転換、公正な移行の可能性とイノベーション.....	7
	(4) 国内施策における炭素中立施策と他の重要施策との相補性・相乗性.....	8
	(5) 地域連携の事例と学術界の役割.....	9
4	炭素中立の実現性への課題.....	11
	(1) 社会への影響の大きな施策・計画の決定過程への参加とアセスメントの必要性.....	11
	(2) 炭素中立施策に関する実行計画の課題.....	11
	① 施策実施主体による実行計画の策定.....	11
	② 実行計画の要点.....	12
	(3) 炭素中立への官民の投資に関する課題.....	13
	(4) 多岐にわたる実施主体の責任所在に関する課題.....	14
	(5) 炭素中立システム社会実装に関する合意形成の課題.....	14
	① エネルギーシステムの課題.....	15
	② 運輸、生活・消費の視点.....	15
	③ 総合政策の視点.....	15
	(6) 技術開発等の個別の取組の進展と計画的・全体的な取組の課題.....	16
5	炭素中立と循環経済、自然再興の同時達成に関する課題.....	17
	(1) 循環経済と炭素中立の共通利益とトレードオフ.....	17
	① 欧州発のサーキュラーエコノミーと日本の環境政策における「循環」.....	17
	② 非再生可能資源の循環的利用と再生可能（renewable）資源の利用.....	17
	③ 炭素中立と循環経済の共通利益.....	18
	④ 炭素中立と循環経済のトレードオフと課題解決の方向性.....	20
	(2) 自然再興と炭素中立の共通利益とトレードオフ.....	21
	① 気候変動と生物多様性の密接な相互関係.....	21
	② 炭素中立と自然再興の共通利益.....	21
	③ 炭素中立と自然再興のトレードオフ.....	22
	④ 課題解決の方向性.....	23
6	提言の内容.....	25
	(1) 予想より早く進行する気候変動への国内外の対策加速のための危機意識の共有.....	25
	(2) 2050 年目標達成に向けたチェックポイントと実施主体を明示した社会実装計画.....	25

(3) 地域に根差し産官学協調の強みを活かした社会実装の支援策.....	26
(4) 政策・対策の社会実装における学術の役割.....	26
(5) 炭素中立と循環経済、自然再興との間の共通利益・相反性の整理に基づく同時達成 に向けた戦略.....	26
(6) 複合的課題群の俯瞰的整理に基づく複数主体による課題解決策の決定と実施...	27
(7) 地球規模と地域レベルでの持続可能性の両立に向けた総力の結集.....	27
<用語の説明>.....	28
<参考文献>.....	29
<参考資料 1> 日本の温室効果ガス排出量の推移と今後の削減目標・削減経路.....	35
<参考資料 2> 本提言と 25 期カーボンニュートラル連絡会議による俯瞰図との関係	36
<参考資料 3> 審議経過.....	37
<参考資料 4> 学術フォーラム開催.....	41

1 はじめに

2015年に採択された気候変動対策に関する国際枠組み「パリ協定」においては、世界の平均気温上昇を産業革命前に比べて2℃より十分に低く保ち、1.5℃に抑える努力をすること、そのために今世紀後半に温室効果ガスの人為的な排出量と人為的な吸収量を均衡させる「炭素中立¹」を実現するという世界共通の長期目標が定められた。これを受けて、世界の120を超える国と地域が2050年までに炭素中立を目指すことを宣言し、日本政府は2040年度排出量73%削減という目標を2025年2月に国連に提出した。

日本学術会議においては、第25期に「カーボンニュートラル（ネット・ゼロ）に関する連絡会議」を設置し、この課題に関する日本学術会議での審議状況の把握、関係する委員会や分科会の交流、今後の課題や取組について検討を行ってきた[1]。「学術の動向」特集記事への報告[2]において、炭素中立の実現には、エネルギー、建築物、交通を含むインフラ、製造・消費・廃棄・資源回収を含む各プロセスにおいて急速でかつてない規模の社会の変革が必要であり、あらゆる部門の排出削減とそのための相当な投資が必要であることを指摘した。こうした課題の整理を踏まえ具体策の提案に進むことが求められている。

炭素中立実現に向けたこうした取組と同時に、特に欧州を中心に推進されているのが資源の循環的・効率的利用によって経済成長と環境保全の両立を実現しようとする「循環経済（サーキュラーエコノミー）」である[3]。炭素中立の促進のために稀少資源等の新たな資源需要が生ずる一方で、資源循環にもエネルギーを要する等、資源循環の促進と炭素中立の両立は重要な検討課題である[4]。リサイクルに留まらず、製品やサービスの設計・製造段階から、流通、消費、廃棄に至るまでのライフサイクル全体での炭素中立化を見据え、資源の投入量や消費量を減らしつつ経済を活性化し、ウェルビーイングを確保することが求められている。

加えて、社会経済活動による自然資本への過度な負荷を減らし、健全な自然環境を維持、回復するための取組が不可欠である。炭素中立、循環経済の両面から、再生可能資源の活用に期待がかかるが、バイオマス資源の活用や再生可能エネルギーの大量導入が自然環境に負荷を与えすぎない配慮が必要である。そこで、生物多様性の保全を社会経済活動への足枷ではなく機会として捉え、生物多様性の損失を止め、反転させる「自然再興（ネイチャーポジティブ）」と調和の取れた形での炭素中立社会の実現を目指しつつ、持続可能で回復力のある社会[5]へ移行し、経済安全保障や産業競争力強化にも貢献する道筋について検討することが求められる。

炭素中立、循環経済、自然再興は、いずれも多角的な視点から検討すべき課題である。そこで、日本学術会議は第26期に課題別委員会「循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会」を設置し、「2050年炭素中立」の実現という喫緊の課題に対応するため、循環経済及び自然再興との関係性や、必要な施策等の諸課題を明らかにするための集中的な審議を行ってきた。俯瞰的かつ具体的な処方箋の第一歩を示したもので、本提言のみで完結するものではなく、学術からの継続的な発信が必要である。

¹ 国際的にはネット・ゼロという語がより一般的であるが、本文書では同義として扱う。

2 気候変動の現状と対策の重要性

(1) 気候変動への疑義の議論から気候危機への対処の時代へ

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書（AR6）[5]では、「人間の影響が大气、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」とされ、温暖化を産業革命前の水準から 1.5℃に抑えるための緊急かつ抜本的な行動が必要とされている。環境政策の基本理念に照らしても、気候変動対策は、科学的不確実性を理由に対策を延期してはならないという「予防原則」の段階を超え、科学的に証明されたリスクに関して未然に規制を行うという「未然防止原則」の段階に入っている[6]。加えて、気候変動による大雨や猛暑等の極端現象も増加する中、温室効果ガスの排出低減により温暖化を抑制する緩和策と並んで、気候変動の悪影響の深刻化に備えるための適応策の重要性についても、社会全体で共通認識を持つことが不可欠となっている。

2024 年の世界の平均気温は観測史上最高を記録し[7]、世界気象機関（WMO）によれば産業革命前に比べて 1.55℃高く、単年ではあるが既に 1.5℃を超えた。この気温上昇は、大雨、干ばつ、山林火災、台風の大型化等の自然災害の激甚化をもたらし、人の生活環境や食料生産等に対して大きな変化・被害をもたらしている。さらに、生態系にも不可逆的な影響をもたらしている。我が国においても 2024 年は最も暑い年[7]、2025 年夏（6～8月）の日本の平均気温は統計開始以降最高[8]となり、熱中症による死者の増加[9]等、気候変動が実感されつつある。

こうした中、2015 年のパリ協定採択（発効は 2016 年）により、先進国のみならずすべての締約国が、温室効果ガス削減目標として「国が決定する貢献（NDC：Nationally Determined Contribution）」を定期的に提出する義務を負うこととなった。我が国は 2030 年に 46%削減という最初の NDC に続き、2035 年、2040 年の削減目標値を 2025 年 2 月に提出した[10]。削減目標に関して欧州では、非政府団体 URGENDA と市民が提訴した気候変動訴訟において、オランダ最高裁が政府に削減率の上方修正を命じた例[11]、欧州人権裁判所がスイス政府に対して気候変動の目標を再評価し、対処するよう命じた例[12]がある。さらに 2025 年 7 月、国連の司法機関の一つである国際司法裁判所は、国家には気候変動対策を取る義務があるとする勧告的意見を公表した[13]。他方、COVID-19 の世界的流行、ロシアによるウクライナ侵略等、地政学的に不安定な状況が続き、エネルギー価格の高騰や物価高が国民生活を圧迫しつつある中で、米国では第 2 次トランプ政権が発足した。その結果として想定されたパリ協定からの離脱に留まらず、気候科学のみならず学術全般への干渉も見られ、国際秩序や人権、科学に基づく政策といった基本理念すら揺らぎかねない事態も懸念されている。このような国際的な不確実性が高まる中であるからこそ、持続可能な開発の実現に向け、気候危機を始めとする環境問題への取組の継続は、我が国にとって一層重要な課題であることを再認識し、社会全体でその必要性を共有することが求められている[14]。

後述のとおり、気候変動には多くのリソースの投入や産業構造・生活様式的大幅な転換が必要となる。1992 年の気候変動枠組条約の締結（発効は 1994 年）から既に 30 年余が経過したが、気候変動問題への懐疑論、経済社会の大きな変革に関する抵抗感等から

か、この間の対策の進展は十分とは言えず、2050 年までの限られた期間において、対策実行に向けた取組を加速させる必要がある。そのためには、地球環境の変化に対する危機感や対応の必要性・切迫性を行政・企業・市民が共有することはむしろ重要であるが、大災害への備えの例を見ても危機意識の醸成だけでは対策が進まない現実を直視し、次世代に先送りすることなく気候危機を始めとする地球環境問題に対処することが、将来の国民生活の向上に不可欠であることが実感できるよう、信頼できる情報を共有することが必要となる。

(2) 国内外の政策や社会政策上の上位概念における気候変動政策の重要性

気候変動枠組条約と生物多様性条約が採択された 1992 年の国連環境開発会議(UNCED、地球サミット)において持続可能な開発に関するリオ宣言が採択され、翌 1993 年には公害対策基本法に代わり環境基本法が制定されたことで、生物多様性を含む地球環境保全に関する我が国の基本的枠組みが構築された。環境基本法に基づき策定される環境基本計画[15]は、1994 年の第 1 次計画以降、改訂が重ねられてきたが、2012 年の第 4 次計画では、低炭素社会、循環型社会、自然共生社会を統合的に達成すること、その基盤として安全を確保することが基本概念として示された。続く 2018 年の第 5 次計画では、持続可能な開発目標(SDGs : Sustainable Development Goals)の理念を踏まえ、環境・経済・社会の統合的向上を謳い、さらに、2024 年の第 6 次計画[6]では、国連環境総会が示す地球環境の三つの危機(気候変動、生物多様性の損失、汚染)に言及しつつ、経済社会システムをネット・ゼロ(脱炭素)で、循環型で、ネイチャーポジティブ(自然再興)なものに転換(文明の転換:社会変革)することが必要であるとしている。「環境保全を通じた」、「現在及び将来の国民一人一人の生活の質、幸福度、ウェルビーイング、経済厚生向上」、「人類の福祉への貢献」といった高い目標を掲げたことも特徴である[16]。これらの目標は、環境政策の最上位に位置付けられており、本提言が取り上げる炭素中立、循環経済、自然再興は、上位目標である国民の生活の質の向上のための環境政策の重要課題群である。

地球環境の限界を示すプラネタリーバウンダリーズ[17]、地球環境の健全性と人間の健康の相互影響を認識し、両者を同時に高めることを目指すプラネタリーヘルス[18]といった新たな概念も登場しており、地球環境保全が人類の生存・健康の基盤であるという認識が広がりつつある。Gサイエンス学術会議 2025 の共同声明[19]はその端的な例であり、英国では国民健康サービス(NHS)の脱炭素推進の先進事例がある[20]。

(3) 緩和策・適応策両面での対策加速のための力の結集と学術界の役割

持続可能な開発目標では、17 のゴールが掲げられており、ゴール 13「気候変動に具体的な対策を」はほかの多くの達成目標と密接に関連しあっている。例えば、気候変動の悪影響は貧困削減(ゴール 1)や飢餓撲滅(ゴール 2)の達成をより困難なものとする。気候変動が脆弱な立場の人々に影響が及びやすいことによる不公正の拡大は、「気候正義」に反し、人権の観点からも重大な課題である。先進国と発展途上国の利害対立等、

なお多くの難題はあるが、「具体的な対策」を加速し、激甚化する自然災害への対処も含め、より強靱（レジリエント）な社会への移行が急務である[21]。2050年という目標年限までの時間が限られ、対策の加速が求められる中、各主体による個別の対策への取組だけでは不十分であり、主体間の垣根を超えた力の結集が必要な段階に来ている。

政府の地球温暖化対策計画[22]でも、すべての主体が参加・連携することの必要性や官民連携について言及されているが、具体的な記載は主体ごとの役割が主軸であり、その役割が関係主体に我がこととして共有されているとは言い難い。地域主導の取組においては、地方創生で使われる「産官学金労言」（産業界、政府・自治体、学术界、金融界、労働界、言論界）の連携に言及されており、従来からの産官学はもとより、消費者たる「民」を含むより幅広い連携について、学术界が果たし得る役割の明確化も含め、連携強化の重要性の認識を深めていくことが必要である。

3 炭素中立施策を取り巻く状況

(1) 世界と日本の GHG の排出源と排出削減目標

ここまで示した基本認識を共有した上で、具体的な対策を進めるには、できる限り定量的な情報を共有することが、「科学的な根拠に基づく政策立案（EBPM：Evidence-Based Policy Making）」の基本となる。気候変動の原因とされる人間活動のうち、どのような活動が大気中の温室効果ガス（GHG）濃度増加に寄与しているかを知る基本情報が排出・吸収目録（インベントリ）である。国連環境計画（UNEP）の推計[23]によれば2023年の世界全体のGHG排出量は約570億トンであり、日本の寄与は約2%である。GHGの排出内訳は世界全体で見ると化石資源由来のCO₂排出は約2/3で、土地利用変化に伴うCO₂排出やメタン等CO₂以外のGHG排出が残り1/3を占めるのに対し、我が国では化石資源起源（化石燃料のほか、工業プロセス（石灰石等）、廃棄物焼却）のCO₂排出が全GHG排出の約9割を占め[24]、化石資源由来のCO₂に限れば、日本の排出シェアは約3%となる。温暖化係数の高いフロン・代替フロン類（いわゆるFガス）対策を軽視すべきではないが、炭素中立を目指すことは化石資源依存をできる限り減らすこと、やむを得ず化石資源を利用する場合でも、排出された炭素を回収し、再利用や隔離貯蔵により大気中に放出しない技術の導入が鍵となる。排出量低減だけではネット・ゼロの達成は困難と考えられており、植林、土壌や海洋による吸収増進、CO₂を大気中から直接回収する技術の導入等による吸収量の拡大も対策の重要な要素である。

温室効果ガス排出削減の数値目標が国際的に制度化されたのは京都議定書が最初で、我が国については第1約束期間（2008-2012年）に基準年（1990年）比6%削減が目標とされ、達成された。日本は削減義務を負う第2約束期間には参加しなかったが、条約の下で継続的に提出されてきた温室効果ガスのインベントリ²によれば、東日本大震災と福島第一原発事故を受けた原子力発電所の稼働停止により、火力発電への依存度が高まったこと等により、日本のGHG排出量は2013年度にCO₂換算14.07億トンに達した[24]。排出量のピークとなったこの年に通報された2020年目標値は1990年比ではむしろ増加で、その後の中長期的な削減目標の基準年となっている（参考資料1）。表1に示すように、削減率を論じる際には、基準年度が複数回変更されてきたことに注意が必要である。

表1 日本の温室効果ガス排出削減目標の変遷（排出量の単位はCO₂換算 億トン）

目標公表年	設定根拠	基準年度	基準年度 の排出量※	目標年度	排出削減 目標値	1990年度比 でみた目標値		
1997	京都議定書	1990	12.75	2008-2012	-6%	-6%		
2009	コペンハーゲン合意（COP15）			2020	-25%	-25%		
2013	コペンハーゲン合意に基づく新目標の通報(COP19)	2005	13.81	2020	-3.8%	4%		
2015	COP21に向け提出した約束草案（INDC）	2013	14.07	2030	-26%	-18%		
2020	パリ協定に基づく国が決定する貢献（NDC）			2030	-46%	-40%		
2025	パリ協定に基づく国が決定する貢献（NDC）			2035	-60%	-56%		
				2040	-73%	-70%		

※：脚注2記載のとおり、2024年インベントリの報告値。最新の報告書では、2013年度の排出量は13.95億トンである。

² 本提言作成時点では、2025年4月公表版が最新であるが、地球温暖化対策計画が2024年版に基づいているため、本提言でも2024年版の数値を採用する。算定方法は常時改訂が加えられ、過去に遡って排出量の数値は修正される。参考資料1の図は最新値に基づく。

パリ協定が締結された 2015 年の COP21 に向けて提出された最初の約束草案では、2030 年度を目標年に 2013 年度比 26%減とされた。2020 年 10 月の総理の所信表明におけるカーボンニュートラル宣言では、2030 年度の削減目標を 2013 年度比 46%減（1990 年度比では約 40%減に相当）とし、さらに 2021 年 4 月の地球温暖化対策推進本部及び米国主催の気候サミットにおいて 50%削減の高みを目指すとされた[25]。

2030 年度に 2013 年度比 46%削減というこの目標は現時点でも変更はなく、これに加えて、2025 年 2 月に地球温暖化対策計画[22]とともに閣議決定され、条約事務局に提出された新たな NDC では、2035 年度に 60%減、2040 年度に 73%減（いずれも 2013 年比）という削減目標を掲げた。これは、2050 年ネット・ゼロに向け、対象期間ごとの削減量を同じ量とする考え方で、初期には達成が相対的に容易であるが後年度ほど達成が困難になる計画、つまり削減目標は直線的な削減経路の通過点（参考資料 1）であり、現状の達成状況から楽観的な見通しを行うわけにはいかない状況にある。

他国の NDC[26]の例を挙げると、2023 年登録の EU（欧州連合）は 2030 年に 55%削減（1990 年比）としており、2025 年に更新した英国は 2035 年 81%減（1990 年比）を掲げている。米国が 2024 年 12 月に NDC として登録した 2035 年に 61-66%減（2005 年比）は、上記の日本と同様、2050 年ネット・ゼロに向けた直線的な経路であったが、第 2 次トランプ政権は 2025 年時点でパリ協定からの離脱を決定している。

(2) 資源輸入大国としてのエネルギー安定供給・原材料供給・価格問題

日本の化石燃料の輸入依存度が極めて高いこと、また化石燃料消費と密接に関わる材料生産の源となる金属鉱石等の原料の輸入依存度も高いことは、炭素中立施策を論じる上で極めて重要な特徴である。日本のエネルギー自給率は約 13%に留まるが[27]、東日本大震災後の原発稼働停止によって更に低下していた自給率が近年上昇傾向にある要因としては、原発の再稼働とともに太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギーの導入の進展が挙げられる。ロシアによるウクライナ侵略以降のエネルギー価格の高騰は、1970 年代のオイルショックと同様、エネルギーの輸入依存度の高さが経済に与える影響の大きさ、エネルギーの安定供給の重要性を再認識させた。炭素中立社会への移行においては、一次エネルギーの供給源の大きな変化が想定されるが、経済活動や市民生活に必要なエネルギーを安定的に確保するエネルギーセキュリティを担保することが不可欠である。その観点においてもエネルギー基本計画で想定したエネルギー供給構造が、所定の年限までに実現可能となるような実行計画が必要とされる。（4 章参照）

また、為替変動リスクを含めた外的要因によってエネルギー価格の不確実性が高まる中、再生可能エネルギーの導入によってエネルギー自給率を高めることは、貿易収支の改善や価格の安定化にも寄与し得る。なお、現状では太陽光パネル等再生可能エネルギー技術に必要な設備、製品の輸入依存度が高く、リスク回避のため、国産化で優位なペロブスカイト太陽電池も含めた設備の製造・調達先の多極化を進めることの必要性の指摘もある[28]。

(3) 既存産業の継続と産業技術転換、公正な移行の可能性とイノベーション

循環経済と対置される従来型のリニアエコノミーは、大量生産・大量消費・大量廃棄を特徴とする一方通行型の経済であり、産業、特に「ものづくり」産業は、資源やエネルギーの大量消費と密接不可分である。国連環境計画国際資源パネル（UNEP/IRP）は、それらの関係を切り離す「デカップリング」という概念を提案し[29]、日本が G7 議長国であった 2016 年に、炭素中立と循環経済の共通利益を示唆するレポート[30]を G7 に提供している。

我が国のリサイクル施策は、廃棄物の最終処分量の低減には大きな実績を上げてきた一方、原料代替による一次資源の削減効果は限定的であり、経済全体での資源効率を高めなければ炭素中立への寄与は限られる。政府の循環経済工程表[31]において、循環経済への移行により炭素中立への寄与が期待される産業として、材料産業等が挙げられていることは適切であるが、そうした産業の継続・存続を前提とした上で技術的対応を進めるのか、産業構造、業種構成の大幅な転換まで見据えるのかは取るべき施策の大きな分岐点である。後者の立場を取るならば、hard-to-abate 産業と呼ばれる、化石資源への依存度が高く、温室効果ガス排出削減が困難な産業（鉄鋼業、化学産業、セメント業、紙・パルプ業、石油精製業、航空・海運業等）には大きな変革が求められ、我が国が経済成長を目指す上では、化石資源への依存度がより低い産業の育成が必要となる。約半世紀前の炭鉱の閉山は産業の移行が実際に行われた前例であるが、時代背景が大きく異なる点も踏まえる必要がある。

なお、脱「炭素」社会という表現が一般に用いられるが、本質は脱「化石炭素」であり、構成元素として炭素が必須の材料では、バイオマス起源の炭素への転換が求められる。バイオプラスチックはその典型例である。陸上交通に比べて液体燃料からの脱却がより困難な航空業では、SAF と呼ばれるバイオ燃料、海運・造船業についてはバイオ燃料のほか、アンモニアや水素などの代替燃料への転換が進められている。

石油そのものを原料として扱う石油精製・石油化学産業、鉄鉱石の還元のために石炭を用いる鉄鋼業等においては、「脱化石炭素」は当該産業の根幹に関わるものであり、そうした産業の規模が縮小することは、雇用や立地地域の経済に大きな影響を与えかねない。SDGs の理念である「誰一人取り残さない」形で、新たな雇用や地域産業へと転換する、「公正な移行(just transition)」という概念を具体的にどのように実現するかが課題である。日本のようにエネルギー効率の高い生産プロセスを有する国がそうした産業から撤退し、よりエネルギー効率の低い国での生産がこれを代替すると、いわゆるカーボンリーケージが生じ、世界全体での排出量は逆に増加する可能性が高い。こうした産業においては、「脱化石炭素」技術の開発・導入を世界に先駆けて進め、そうした技術を世界に広めていく活動が求められる。

なお、移行、転換を進める際、耐用年数が残る従来技術、設備を使い続ける慣性力が働きがちであることには注意が必要である。例えば、火力発電においてアンモニアを混焼させることは、発電量あたりの CO₂ 排出量を低減させる現実的な対応策であるとしても、国際的に批判の多い石炭火力発電を延命させ、転換を遅らせる懸念がある[32]。一

方で、技術が既に実用化されていても、急速かつ大量に導入するためには、従来の経済合理性に委ねるのみでは不十分であり、強いカーボンプライシング等によって資本調達コストを確保するなど、政府が公正かつ賢明な移行を誘導することが重要であろう。

炭素中立の実現にはこうしたエネルギー・産業部門の構造転換とともに、大胆な投資によるイノベーションの創出の加速が必要である。2021年には関係府省により「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」[33]が策定され、成長が期待される14分野について、研究開発が進められている。また、カーボンニュートラルを冠した競争的研究資金は、文部科学省、環境省等からも提供されている。求められる大幅な排出削減や追加的措置による吸収拡大のためには、実用化済みの技術の普及とともに、イノベーションによる革新的技術の開発が重要な鍵を握っている。その際、個別技術の技術的成熟度とともに、国民にとっての安心感[34]等、社会の受容性も含めた成熟度を高めることが必要である。すなわち、これまで体系化され、確立されてきた学術的方法論によって研究開発を進めるだけではなく、たとえ技術的成熟度が低くても、社会実装までの期間を大きく短縮する新たな方法論の構築と体系化等、学術・技術開発の変革も重要である。

(4) 国内施策における炭素中立施策と他の重要施策との相補性・相乗性

まず、我々が確認すべきことは、日本におけるCO₂排出量の削減は予定どおりに進んでいるとされるが[35]、地球規模の平均気温は目標を超えて上昇しているという事実である。炭素中立施策は手段であり、目標は地球の平均気温の上昇を目標レベルに抑えることであることを確認する必要がある。

また、気候変動が進み、災害の激甚化や農業、健康への影響等、国民生活に直結した悪影響も顕在化しつつあるが、環境問題以外にも対処すべき社会的課題が数多くある中で、気候変動対策の優先度の共通認識は十分とは言い難い。人口減少・過疎化・高齢化が進む中、大都市圏以外の地方の経済・社会を持続可能な方向へ導く地方創生が求められる状況にあるが、慢性的課題の急速な進行への対処の緊急性という点では、気候変動への対処と共通性がある。両者の間では、優先度を競い合うのではなく、持続可能性を向上させる相補的、相乗的な関係を構築することが重要と考えられる。

林地や農地の適切な管理、利用による再生可能資源の利活用促進は、地方創生に貢献する取組であるとともに、後に第5章で詳述するとおり、炭素中立、循環経済、自然再興のすべての軸に合致する取組であり、統合的視点からの政策展開が重要となる。地域資源を活用し、自立・分散型社会として、環境・経済・社会の統合的向上を実現しようとする「地域循環共生圏」[36]はこの方向に沿った環境政策の重要理念である。理念に留まることなく実践を進めるためには、事例を分析し、成功の鍵となる知見を共有するとともに、制度設計や、ステークホルダー間の連携体制等、社会システム上の改善点を明らかにし、戦略的に対応することが重要である。炭素中立を中心とする地域政策も実践されつつあるが、そうした取組においても、炭素中立だけに特化するのではなく、循環経済や自然再興との関係性もより強く意識した包括的な戦略が求められる。

(5) 地域連携の事例と学術界の役割

そうした包括的な戦略の具体化は、地球温暖化対策計画では第3章「目標達成のための対策・施策」の第7節「地方創生に資する地域脱炭素の加速」と特に関わりが深い。ここに、様々な主体が持つ強みをいかした「産官学金労言」の連携が掲げられていることに既に触れたが、財源不足に加え、専門的知識を有する人材の不足が指摘される中で、地域における主体間連携において学術界はどのような役割を果たせるだろうか。

国内外を問わず、産業構造や社会構造は、地域によって異なり[37]、また、時代とともに変化する。したがって、炭素中立施策においては、地域や達成すべき年限を考慮したシナリオ構築が重要となる。例えば、2020年1月にバルセロナ市では、政府と市民が共同で、環境と人に優しい都市として再構築するための取組として、七つのモデル転換を挙げ「気候非常事態宣言 (climate emergency declaration)」を発表している[38]。また、2020年8月に北ドイツのHeide地区では、産学官地域連携プログラム WESTKÜSTE 100 プロジェクトが開始され、地域産業で発生する二酸化炭素削減と航空輸送のグリーン化に寄与することを目指した[39]。

国内においても、環境省が炭素中立の実現を目指すと同時に地域の魅力と暮らしの質を向上させるモデルとなる脱炭素先行地域について選考し、産学官連携の取組を進めようとしている。その一つ、さいたま市では、立地する二つの大学とエネルギー企業が自治体との共同提案に加わり、採択された[40]。また、(公社)化学工学会がファシリテータの役割を果たし、地域のカーボンニュートラル化実現による地域活性化と次世代産業創出を進めている、周南コンビナート（山口県周南市）のカーボンニュートラルプロジェクトが挙げられる[41]。地域産業及び地域コミュニティ連携により、2035年までに二酸化炭素排出量を50%削減し、2050年にはカーボンニュートラル、その先にはカーボンネガティブとするグランドデザインを公表し、実践するためのアクションを個々の企業の枠を超えて実施している。

炭素循環社会の実現には、炭素源・エネルギー源の発生場所と使用場所といった空間的ギャップが課題である。北海道では、再生可能エネルギーに有効な炭素源の一つであるバイオマス資源が豊富に存在するが、産業・都市・空港等が点在するため、拠点間の化学品の移送が無視できないことを踏まえ、炭素自立の絵姿が検討されている[42]。同じく北海道でのバイオマス資源活用具体例として、「興部カーボンニュートラルイノベーション事業」[43]がある。本事例では、バイオガス含有メタンからバイオメタノール・ギ酸の製造技術の開発・国産化に産官学で取り組み、農業分野利用など地産地消による炭素中立化の実現を目指しており、バイオガスプラント普及によるGHG排出低減にも貢献できる。再生可能エネルギー、原子力の両面で電力の脱炭素化が進んでいる九州には、水素利用研究の拠点が置かれ、学際融合によって大学をグリーンイノベーションのハブとする構想が示されている[44]。

このような、地域の特徴を活かしつつ、未来社会のシナリオ構築を行っていくには、全体像を学術に基づいて検討・ファシリテートする中立的な立場の学術界の存在は必須である。また、学術界の橋渡しの下、地域の関係主体と一緒に活動することは、市民全

員が気候変動という課題に対して、自分自身の問題として捉え考えていくことに直接つながっているとと言っても過言ではない。そのためには、学术界と市民をつなぐサイエンスコミュニケーターや、共創の場づくりを支援する NPO などの育成も重要である。大学・大学院、研究所等の高度研究教育機関だけで地域に根ざした対策技術の実装が可能になるものではなく、世代を超えて学術知の共有・実践を加速するための持続可能性科学についての教育プラットフォーム構築が必要である。

むろん、主体間の連携における学术界の役割は、特定の地域での取組に限定されるものではない。大学や国立研究機関等の公的機関がエネルギーやサーキュラーエコノミー（CE）をテーマに事業者との共同ラボを設ける例[45][46]や、多様な業種が参画するコンソーシアムでのつなぎ役となる例[47][48]等の取組も進みつつある。英国王立協会が主要課題の一つとして気候変動と生物多様性を取り上げ、解決策も含め情報発信していることには学ぶべきことが多い[49]。

4 炭素中立の実現性への課題

(1) 社会への影響の大きな施策・計画の決定過程への参加とアセスメントの必要性

前章までに述べたとおり、環境問題以外にも対処すべき社会的課題が数多くあり、炭素中立施策の実施の緊急度、優先度の共通認識が十分とはいえない一方で、目標年限とされる 2050 年までの時間には限りがある。従来のような経済成長を求め続けるのかどうかといった基本的な価値観に立ち戻ることも含め、多様な主体の参加の下、炭素中立達成のための望ましい社会像を描いた上で、バックキャスト的に施策を組み立てる考え方もあり得る。そうした手順の適否自体すら合意は容易ではなく、時間を浪費することは避ける必要があるが、炭素中立実現のための政策の基本的な方向性が、十分な合意を得ないまま決定されれば、次節以降で述べる具体的な対策の実行にブレーキがかかりかねず、基本的な政策の決定過程では、公正さの確保と透明性の向上を図ることが求められる。

炭素中立施策のように社会に重要な影響を与える施策の基本的な方針や計画の決定過程においては、府省庁の審議会等の場での意見聴取やパブリックコメント等の手続きが行われることが通例である。実際、先述の地球温暖化対策計画[22]における削減目標値や削減経路、エネルギー基本計画[50]における将来のエネルギー構成比等については、2025 年 2 月の閣議決定前に実施されたパブリックコメントで多数の意見が寄せられた。また、これらの計画策定を見据え、その前段階で、専門家や非政府団体からあるべき姿を提案する動きもみられた[32]。パブリックコメントでは、「直線的な」削減経路よりも早期の排出削減に踏み込んだ「下に凸」の経路を含め、削減経路（参考資料 1）について多様な意見[51]が寄せられたが、それらがどのように考慮されたかは十分には確認できない。本提言は「産官学民の総力」と題しているが、民主主義における「民」の参加の権利に照らしても、施策を円滑に実行に移す上でも、基本的な方針や計画の決定過程に影響を受ける多様な主体が参加することの重要性の再認識が必要である。

また、政策や計画の効果や影響を事前に評価するプロセスとしての政策のアセスメント、計画のアセスメントは、環境政策における戦略的環境アセスメント導入の重要性が長年にわたり議論されてきていながら[52]、実現されていない。政策すべてに関する制度化は一朝一夕には困難であろうが、国民生活や産業活動への影響の幅広さに照らしても、環境政策の中核たる炭素中立施策については、政策アセスメントに準ずるプロセスを踏むことが、施策の社会実装にとって重要であろう。

(2) 炭素中立施策に関する実行計画の課題

① 施策実施主体による実行計画の策定

炭素中立施策の社会実装においては、その達成目標を設定する基本計画に加えて、いつまでに誰が何をどの程度まで実装するかという実行計画を策定する必要がある。先述の地球温暖化対策計画[22]とエネルギー基本計画[50]は、過去の基本計画と比べても実現手段や実施主体の具体性に乏しく、そこで提示されたエネルギー需給の姿を実現するためには、施策の実施主体毎にいつまでに、何を実現するかという具体的な

実行計画を作成すべきである。

また、炭素中立施策のような達成が必須な長期の計画では、計画に盛り込まれた施策の実施主体を明確にするとともに、5年程度の期間ごとに目標と実際の状況との比較を行い、必要に応じて実行計画を更新・修正する仕組みが不可欠である。

この仕組みにより施策の実現性を確かなものにするためには、施策の実現の期間を含めた最終目標と施策の進展状況を確認し計画の変更の必要性を検討するための一定期間毎の中間的な目標の設定が必要である。観測される温度上昇の動向や気候科学の進展、さらには国際的な削減目標の修正等を踏まえて国としてのCO₂排出削減目標の見直しがなされる可能性も含め、状況の変化に応じて、施策の目標や計画を柔軟に見直していくことが求められる。

炭素中立に関する実行計画を実効性の高い計画にするためには、個別技術に留まらず、複数の技術が連携する「技術システム」の社会実装や、それを支える制度設計に関する課題を整理し、それぞれの課題に対する解決のマイルストーンの設定が必須である。また、炭素中立施策の社会実装には、個々の事業主体毎の検討と同時に、行政による社会として必要な要素事項を体系的に整理し、その達成を期間毎に確実にするための総合的な視点で検討・判断を行うべきである。

② 実行計画の要点

実行計画は、まず、炭素中立に関する技術開発の具体的な計画とともに、ほかの施策との関係も考慮に入れた内容であることが必要である。

まず、施策のキーとなる技術開発の計画では、特定のキーテクノロジーに焦点を当てるだけでなく、そのキーテクノロジーを使用した技術システムとして社会実装に必要・有効な製品化技術や効率化技術等の技術群として整理すべきである。また、発電施設のように立地条件に制約のあるインフラ整備では、行政と事業者の連携も重要となる。

また、事業として既存の製品・施設から炭素中立対応型への転換を図るに当たっては、新たな製品開発・施設整備への支援と並行して、既存施設に対する投資回収支援の仕組みも検討する必要がある。新たな事業展開には、投資の確保も必要であり、事業者自体の計画とともに行政の支援施策の整備と継続的なバックアップの仕組みも構築すべきである。

このような計画の策定においては、策定時の多様な視点からの必要事項の検討に加えて、その期間毎の施策の実現性に関するリスク評価（リスクアセスメント）を行い、計画自体の妥当性を検証するプロセスを組み込むことが重要である。あわせて、施策の具体化や進捗状況を定期的に確認・評価する仕組みの構築が求められる。また、長期にわたる計画では、前提条件の変化や不測事態に柔軟に対応できるよう、PDCAサイクルによる工程管理を行って改善していくべきである。

そして、炭素中立施策の計画では、関連のある循環経済や自然再興との関係性も考慮する必要がある。炭素中立推進が循環経済や自然再興に及ぼす正・負の影響を的確

に把握し、施策間で相乗効果が得られるように計画を構築すべきである。さらに、炭素中立、循環経済、自然再興の3施策の推進を図る場合は、社会が求める経済効果や利便性、受容性、さらに3施策を取り巻く制度的・技術的・社会的条件の関係を総合的に検討する仕組みの構築が必要であり、この検討の視点は、炭素中立単独でも同様である。

(3) 炭素中立への官民の投資に関する課題

施策の達成には、官民共に限られた財政の中で、何時までにどの程度の投資を行うかまたは可能かを検討する必要がある。投資の検討においては、対象施策の視点のみならず、ほかの投資が必要な施策との優先性の中で決定される。将来発生が想定される南海トラフ地震や首都圏直下地震等の甚大な自然災害への備えとしてのインフラ整備・レジリエンス強化も重要な投資対象である。こうした多岐にわたる投資の優先順位や実施時期については、官民での共通認識の下、戦略的に検討を進めることが求められる。

社会としての投資を合理的に行うには、炭素中立施策、循環経済施策、自然再興施策を個々に積み上げて評価するのではなく、三者を包括的に捉えて投資の在り方を検討する方が、より効率的な投資となる可能性がある。そのためには、社会全体でこれら施策の相対的な重要性や投資の必要性について合意を形成する必要がある。この社会的合意の形成においては、日本が直面する人口減少、少子高齢化といった構造的課題への対応も視野に入れることが求められる。さらに、地球温暖化の影響は人間社会に留まらず、生態系やそれを構成する生物群集にも及ぶことから、自然資本の保全という観点も投資判断において考慮されるべきである。

そして、この検討においては、炭素中立施策と、経済等の主要社会施策との関係も議論する必要がある。一定の経済が成立していなければ、環境政策は実現できず、社会が適切な環境状況下になれば健全な経済も成立することは難しい。ただ、環境目標が「気温上昇の抑制」等明確である一方、経済目標の在り方は定まっていないために、結果として短期的な経済合理性という価値観がほかの多くの施策に対して優先され、炭素中立施策が進まない事が無いように注意すべきである。

この投資検討の中には、新システムの開発・運用に必要な投資に加え、既存のシステムから新たなシステムに切り替える際の必要コストや、既存システムへの過去の投資回収の扱いも重要な論点となる。また、事業や社会として運営基盤を維持するための経費との関係も重要であり、官民共に、新たな炭素中立を含む今後の投資需要と収益見通しを踏まえて、現実的かつ持続可能な投資計画を立てる必要がある。さらに、新たなシステムを円滑に運用するための人材育成・教育への投資も必要である。

2023年に「脱炭素成長型経済構造への円滑な移行の推進に関する法律」（通称GX推進法）が制定され、長年の懸案であったカーボンプライシングが実現しつつあることは、官民投資における重要な第一歩である。2025年5月には改正GX推進法が成立し、2026年度から一定規模以上のCO₂排出を行う事業者を対象に、排出量取引制度への参加の義務化が定められたことで、試行段階から法的義務段階へ進みつつある。国の先行投資策

として GX 経済移行債で調達した資金を何に投資するか、移行債の償還のためのプライシングをどのように設計するか、などが当面の重要な課題である。2030 年を念頭においた本格実施だけでなく、2040 年、2050 年といった長期を見据え、透明性の高い形での制度設計も求められる。

こうした政府主導での制度と合わせ、民間企業の ESG (environment、social、governance) 投資が増加し[53]、企業の気候関連や自然関連の情報開示 (TCFD、TNFD) が進むことは、事業者自らの取組の重要な推進力であり、そこでは金融セクターの役割が重要である。

(4) 多岐にわたる実施主体の責任所在に関する課題

我が国では、すべての施策を国・行政が直接統制するわけではなく、民間の企業・機関等、様々な主体によって実装される。そのため、全体計画を策定しても、どの主体が実行の権限・責務を負うかを明確にし、その主体が炭素中立施策を実現する工程について、投資も含めたリソース確保の具体的な計画を示さなければ、社会としての炭素中立の計画の実効性は担保できない。一方で、民間の事業主体には、社会的施策推進のほかにも事業主体自体の事業目的達成という判断基準があり、その調整に関しては、行政と事業者の連携が重要となる。

炭素中立施策の社会実装には、その特徴に応じて、国家レベルでは施策の整合性の確保、業界レベルでは産業としての成立可能性の検討、地域レベルでは地域特性に応じた合意形成と調整が求められる。これらを効果的に推進するためには、自主的取組、情報的手法、経済的手法、規制的手法等に加え、官民連携による実効的な推進体制の構築が不可欠であり、国・業界・地域が連携するために責任主体を明確にした制度的枠組みの創設が急務である。

国はまず国家として炭素中立に向けた明確な方針と工程表を示し、そのマイルストーンを設定する必要がある。これを受け、企業や施策の実行機関は具体的な対応計画を策定し進捗状況を適切に開示すべきである。国は進捗状況に応じて、補助施策の拡充や規制強化等、柔軟かつ的確な支援・調整を通じて、炭素中立の推進を計画どおりに完遂するという細やかな対応が求められる。この炭素中立施策の推進には、地域や消費者の選択や行動も極めて重要な要素である。施策実施の主体たる行政や企業による確実な意思決定と実行に加え、地域住民や消費者の炭素中立に対する理解と支持の醸成が、施策全体の成功に大きく寄与することが期待される。

(5) 炭素中立システム社会実装に関する合意形成の課題

計画や投資について記した内容も含めて炭素中立システムの社会実装には、実施主体の判断だけでなく、消費者・生活者としての市民やその施策によって影響を受ける産業界、さらにはその施策の科学的根拠を支える学术界等の多様なステークホルダーの合意が必要な案件もあり、関係者間の合意形成を支える制度や対話の仕組みを、あらかじめ整備しておくべきである。

① エネルギーシステムの課題

すべてのエネルギーシステムは、何らかの豊かさを社会にもたらすが、個々のシステムの長所・短所を理解した上で、エネルギーシステム全体を俯瞰し、実装が必要な時期、技術や制度の完成状況、地域特性を考慮して、社会実装を図る必要がある。

個別のシステム課題としては、今後炭素中立で一定の役割が期待されている原子力には、安全性に関する地域の合意や社会コストの検討のほかに、使用済み核燃料等のいわゆるバックエンド問題への解決を社会全体で取り組み、一定の合意を得る必要がある。また、原子力防災の実効性の向上等の地域との高度な連携にも改善が必要になるであろう。原子力事業を支える研究開発、運営、支援人材の確保も課題である。

太陽光発電、風力発電、地熱発電等の再生可能エネルギーシステムについては、普及拡大に伴い、発電設備に必要な原材料の調達、生態系や景観への影響、地域住民との合意形成が課題となっている。さらには、環境に影響を受ける発電の出力変動を平準化するための蓄電・需給調整システムがなければ、再生エネルギーの自立性は確保されず、他のエネルギー源への依存からは脱却できない。

さらには、残存する火力発電については、化石燃料等から発生する CO₂ の回収・利用・貯留（CCUS）のシステム開発と社会実装がなされなければ、将来的な利用継続は難しくなる。水素エネルギーは、需給調整機能に加えて、脱炭素化が困難な産業分野における熱源確保の手段としても期待されている。しかし、日本のような地震多発国においては、安全性に関する慎重な検討が不可欠であり、環境負荷の削減効果という観点では、水素の製造過程や海外からの輸送による温室効果ガス排出等、ライフサイクル全体での評価が求められる。

② 運輸、生活・消費の視点

炭素中立施策では、エネルギーの生産・供給に加えて、運輸、生活、消費行動といったエネルギーの需要側の変革も不可欠である。

運輸に関しては、電気自動車や燃料電池車などの電動車両の導入が推進されているが、エネルギー源である電力や水素が、化石燃料によって生産されている場合と太陽光等によって生産されている場合では、炭素中立施策としての評価は異なってくる。また、空飛ぶ車や交通システムの DX 化に関してもエネルギー消費が増加するという課題もある。生活や消費においても、市民自体がどのような生活・消費形態を選択するかによって、エネルギーの需要は大きく変化してくる。

③ 総合政策の視点

これらの施策を実効的に推進していくためには、技術開発等を担う人材のほかにも、炭素中立施策と循環経済、自然再興施策や経済政策等を総合的に議論し制度化していく仕組みを構築し、学术界、産業界、行政がそれぞれの役割をしっかりと果たす必要がある。先に記したように、いかなるエネルギーシステムにも、何らかのリスクが存在するため、社会的合意形成に当たっては、エネルギーシステムの稼働に対するリス

クと同時に、稼働しない場合のリスクについても明示し、社会の意思決定を行うことが重要である。

このような合意形成の仕組みは、行政とエネルギー供給側の事業者による取組だけでは不十分であり、運輸事業者等需要側も含め、産業界全体で協力して検討できる仕組みの構築が急がれる。

また、最終的に市民が各自の生活形態・消費行動について情報に基づいた選択（informed decision）を行えるよう、適切な情報の提供が必要となり、行政・学術の課題である。例えば、電力を始めとするエネルギーの直接消費だけでなく、あらゆる商品、サービスの生産のために資源やエネルギーが消費され、温室効果ガスが間接的に排出されていること（カーボンフットプリント）、消費行動における適切な選択によって、排出削減に貢献できることをわかりやすく伝えていくことが重要である。

(6) 技術開発等の個別の取組の進展と計画的・全体的な取組の課題

炭素中立を実現するエネルギーシステムの社会実装に当たっては、技術開発に加え、運用を担う人材の育成や制度設計等、多方面にわたる要件を確保していく必要がある。技術開発には、製品・システムの構築に必要な基礎技術の開発から応用技術まで多岐にわたる。また、製品・システムの実装には、必要な技術がすべて揃っている必要があり、9割の技術が完成していても、残りの少数の技術開発が遅れば、製品・システムの社会実装は遅れてしまう。

開発研究の推進には、個々の担当や専門家の視点だけでなく、システムの社会実装の視点での計画と実施主体の設定を行うべきである。また、人材確保に関しては、大学等の教育機関や企業の研究開発体制との連携による継続的な育成が重要である。システム個別の課題も明確にして、計画に沿って社会実装が可能かを検証する必要がある。

例えば、原子力の課題としては、新增設等の推進施策が社会的に合意されたとしても、立地選定、環境アセスメント、建設等に要するリードタイムを考慮した上で地球温暖化対応に必要な時期までに必要な発電量を確保できるかという重要な課題を検討する必要がある。再生エネルギーでは、天候等に左右されるエネルギー供給の安定性の問題も存在する。さらに、再生可能エネルギーに関しては、5章(2)で詳述する炭素循環や生態系の持続可能性への留意が必要である。

また、電力エネルギーは、常に需要と供給のバランスを取る必要性があり、その需給変化に対応するための現在の火力の位置付けをどのような仕組みで何時までにどの程度まで代替するかは、炭素中立における重要な課題である。

5 炭素中立と循環経済、自然再興の同時達成に関する課題

(1) 循環経済と炭素中立の共通利益とトレードオフ

① 欧州発のサーキュラーエコノミーと日本の環境政策における「循環」

基本理念や経済社会像としてのサーキュラーエコノミー（CE）という語が広まったのは、2015年12月にEUが発表した循環経済政策パッケージ(circular economy action plan とこれと連動した各種の廃棄物指令の改正) を契機とする EU 主導の政策[3]によるところが大きい。前述の 25 期材料工学委員会報告[4]では、「サーキュラーエコノミーが重要視されている背景には、資源循環の重要性のみならず、多様な環境負荷との関係性、天然資源開発の課題、資源安全保障、廃棄物処理等に至る多岐にわたる現状と課題が存在することを正確に認識する必要がある。」ことを指摘している。

我が国における循環型社会政策は、量・質両面での喫緊の廃棄物問題への対策の基礎という性格が強く、社会のアクターの役割という色彩が強かったが、近年、国際的な用語に合わせて、我が国でも「循環経済」という語が多用されつつある。経済政策、産業政策という色彩を持つ欧州型のサーキュラーエコノミーと同様に、大量生産・大量消費・大量廃棄型の経済社会構造の転換を目指すことは、炭素中立を目指す産業構造の移行と軌を一にし得る。2024 年に民間シンクタンクがまとめた研究・提言レポート[54]では、炭素中立×循環経済の政策融合により、エネルギー・経済安全保障、限界削減費用の低減、国内への付加価値還流が相乗効果として期待されると指摘している。CN・CE 両立型の新産業が、雇用創出や経済安定に寄与するかどうか、エネルギー、資源の効率的利用の技術イノベーションが産業イノベーションを後押しする効果が期待できるかどうか等の観点から、政策のアセスメントが必要な段階にある。

むろん、そうした産業構造の移行を伴う循環経済は一朝一夕には進まないため、既存の産業・技術の枠組みと廃棄物政策を起点とする従来の循環型社会政策の流れの中で、資源の循環的・効率的な利用を更に加速することも重要である。炭素中立と資源循環の間でのトレードオフは従来の「リサイクル」技術・制度の枠組みの中での両者の関係によるところもあり、炭素中立にとってより効果的な「循環」とはどのようなものか、に立ち戻ることが必要である。

② 非再生可能資源の循環的利用と再生可能（renewable）資源の利用

「循環」の概念に関して、上記①で述べた欧州発のサーキュラーエコノミーの概念を表現する際、エレンマッカーサー財団が提案したバタフライダイアグラム[55]と呼ばれる図がよく用いられる。右の羽は枯渇性資源の繰り返し利用、左の羽は、バイオマス等の再生可能な資源の利用を表現しており、経済社会システムと自然システムとの間での物質循環も含めて循環を捉えているという点では、1990 年代初期の我が国の循環型社会概念と共通する。我が国の循環型社会政策の柱となってきたキーワードとして、3R (reduce, reuse, recycle) があり、この 3R という語は G7（当初は G8）等を通じて、世界的にも発信されてきた。

その後、「循環」政策における我が国の国際的なリーダーシップは、東日本大震災後

の国内政策との優先度からやや後退した感もあるが、2022年に制定されたプラスチック資源循環新法で、3R+renewable という概念が明示されたことは重要な一歩である。上述のとおり、欧州発のサーキュラーエコノミーでは、枯渇性資源の循環的利用と、再生可能資源（renewable または regenerative と表現される）が蝶の両羽であり、バイオマスプラスチックは名実ともに circular な材料として理解されやすい例といえる。

再生可能資源の利用拡大は、1994年の第一次環境基本計画[15]以来の環境行政の潮流にある、生産活動における自然の物質循環の活用にも言及した広義の「循環」にも沿ったものである。循環経済で活用が期待される再生可能な資源が炭素中立とみなせるかどうかは炭素中立と循環経済との関係性において、また、その利用拡大が生物多様性の保全、自然再興と両立し得るかは、次節で詳述する炭素中立と自然再興の関係性において、各々重要な課題である。欧州の循環経済政策が産業界にも影響を与える潮流の中で、バイオマス等の再生可能資源の利用が、炭素中立、循環経済、自然再興のすべての観点から適切に行われるようにするための知見の提供が学术界に求められる。

炭素中立社会への移行を目指す上では、化石資源への依存度が高い産業構造の下での原材料の循環的利用を主とする「循環」政策に留まることなく、再生可能資源の利用、ライフサイクル全体にわたる資源効率性の向上等、循環型社会の理念には取り入れられつつも、廃棄物政策を源流とする従来の政策には落とし込み切れていなかった、資源利用の持続可能性を重視した「循環」政策の基本的な枠組みを再構築すべき時期であろう[4]。

③ 炭素中立と循環経済の共通利益

2016年のG7環境大臣会合に提出された報告書[30]では、前年のSDGs、パリ協定と呼応して、5項目の主要なメッセージが出され、その第1で資源効率性の向上がSDGs達成に重要であること、第2で気候変動の目標達成には資源効率性の向上が不可欠であることを謳っていた。また、資源効率性は経済成長と雇用創出の促進に貢献し得ることに触れ、資源の効率的利用が気候変動対策とwin-winの関係にあるという側面を強調した内容であった。

資源効率性（resource efficiency）や物質効率性（material efficiency）は、循環経済政策のキーワードであり、より少ない資源量、より小さな環境影響で、より多くの生産を達成しようとする概念として、デカップリング、資源生産性（resource productivity）といった概念とともに使われてきた。炭素中立の分野で使われる、生産額あたりの炭素排出量（炭素集約度：carbon intensity）やその逆数である炭素生産性（carbon productivity）等の指標や、これと表裏一体のエネルギー集約度（energy intensity）、エネルギー生産性（energy productivity）と考え方は共通である。これらの一連の生産性指標が表現しているのは、いずれもDo more with less、すなわちより少ない負の要素（物的資源投入、エネルギー資源投入、炭素排出）に対してより

多くの産出（量あるいは価値、さらにはウェルビーイング）を得ようとするものである。循環経済における循環はそれ自身が目的ではなく、新たな資源の投入や CO₂ や廃棄物等の負荷の環境への放出を低減させるための手段である。したがって、循環経済による炭素中立との共通利益は、循環の結果として、資源投入や負荷発生をどれだけ減らせたかで評価すべきもので、そこではライフサイクルアセスメント（LCA）や物質フロー分析（MFA）が用いられる。これらの評価において、世界有数の精緻さを持つ産業連関表等の諸統計の存在が日本の強みであった。しかし、産業連関表の物量表の廃止、非鉄金属等需給動態統計調査の中止等の昨今の統計の簡素化等による基盤情報の脆弱化が懸念され、ESG における情報開示や、業種間連携の基礎としても、基盤となる統計情報整備の維持・再強化が望まれる。

いわゆる「重厚長大」産業である重化学工業で生産される鉄鋼やセメント等の材料は、生産時に化石燃料を含む大量の原材料を消費し、CO₂ 排出を伴うことから、これらの産業について、資源、エネルギー、炭素排出から見た生産性を向上させることが、炭素中立と循環経済の共通軸の基本であることはいうまでもない。循環経済は、炭素排出の源にある資源、エネルギーの大量消費自身に目を向けている点では、炭素中立よりも上位概念と見ることもでき、この点において、循環経済と炭素中立の共通利益は明確である。

国の物質フロー指標として報告されてきた建設用鉱物の採掘量の顕著な減少や、蓄積量増加の鈍化にも現れているとおり、我が国においては、社会を支えるインフラの整備は成熟期にあり、新規建設よりも維持管理、更新が主となりつつある。適切に維持管理しながら長くストックを使い続けることは、新規生産時の CO₂ 排出を回避する効果がある。建築物において、新規建築に要する資材生産に伴う CO₂ 排出と、運用時のエネルギー性能の向上による排出低減とのトレードオフ関係はよく知られた課題であるが、電力の低炭素化とあいまって、資材生産時に排出される CO₂（embodied carbon と呼ばれる）が従来以上に重視されるべきことに留意したライフサイクル評価の重要性が高まっていることを日本学術会議の分科会が報告した[56]。建築物のライフサイクル評価の重要性は国土交通省が参加した国際機関の報告でも指摘されている[57]。政府では建築物のライフサイクルカーボン削減に関する関係省庁連絡会議が設置され、躯体への再生骨材やリサイクル材の利用促進は、東京都の建築物環境計画書制度に既に取り入れられている。今後、小規模な事業も含め、炭素排出という観点からの事前アセスメントの制度化が望まれる。

UNEP/IRP の報告[58]によれば、モノの生産に伴う CO₂ 排出が全排出に占める割合は、1995 年の 15%から 2015 年には 23%に増大したとされ、住宅や自動車を例に、資源の効率的な利用により、大幅な低減が可能であることが示されている。CO₂ 排出への寄与が大きい材料がどのような用途に利用され、再生材やほかの材料による代替、長寿命化等により、どの程度の削減が可能かのアセスメントが急務である。

一方、従来からの 3R 政策で主対象とされてきた枯渇性資源の再生利用、効率的利用とともに、バイオマス等の再生可能資源の利用が欧州発のサーキュラーエコノミー

に含まれることを②で述べた。再生可能資源の利用は、概念的には炭素中立と循環経済の共通利益の典型的なものであるが、次節(2)で述べる自然再興との両立に注意が必要であること、土地利用変化や再植林の有無等に伴う大気とバイオマスとの間での炭素収支を考慮せずにバイオマス＝炭素中立とみなすことは必ずしも適切ではないこと[59]、再生可能資源であっても効率的に利用し、3Rを適用すべきことを付言しておく。

④ 炭素中立と循環経済のトレードオフと課題解決の方向性

炭素中立と循環経済のトレードオフとしての大きな課題の一つは、炭素中立のための技術の大量導入に新たに資源、材料が必要であり、その生産のためにエネルギー消費や炭素排出を伴うことだけでなく、廃棄物や汚染、さらには労働等の持続可能な開発に関わる問題がより多面的で相反的な状況にあることである。建築物の新築の事例は既に③で述べたが、鉄鋼やセメント等のいわば古典的な材料もさることながら、炭素中立と循環経済とのトレードオフで特に課題となるのは、金属では鉄よりも炭素中立技術による需要増で改めて重要性が増す銅、ニッケル、コバルトなどの非鉄金属、白金等の貴金属、稀少金属等である。これらはcritical metals/mineralsと呼ばれ、輸入依存度が高いがゆえに、情報も海外依存となりがちである。元素ごとの各論は、材料工学委員会分科会報告[4]等の他の文献に委ねる。

炭素中立に関連する主要技術についての需給予測も国内外で実施されており、発電、自動車部門を中心とする需給調査として国内では資源・エネルギー分野の専門機関の報告[60]がある。国際エネルギー機関(IEA)による報告[61]では、クリーンエネルギーへの移行に伴うcritical minerals需要の主要分野として、低炭素発電技術、電力網、電動自動車及び蓄電池、水素の4分野を挙げている。

このほか、炭素回収・利用技術(CCU)や炭素回収・貯留技術(CCS)(これらを合わせてCCUSと呼ぶ)の大量導入を見込む場合、直接空気回収(DAC)も見据えたCO₂回収プロセスや、CCUのための電解等炭素の分離、変換プロセスが主に化学工学的であるのに対し、CCSは資源工学、土木工学的な色彩が強く、求められる学術的知見はかなり異なる。

なお、CCUにおいて、非常に安定な物質であるCO₂中の炭素のリサイクルには大量のエネルギーを要するため、熱力学的には不利とみなされてきたが、再生可能エネルギー由来の電力が安価かつ大量に利用できる条件が整った場合に、エネルギー収支面やコスト面で成立し得るかどうか、アセスメントが重要である。炭素リサイクルはCE概念に適合するが、それに要するエネルギーや資源の制約が克服できるかどうか次第で、炭素中立との両立の成否が判断される。

炭素中立と循環経済との間に定性的なトレードオフ関係が存在することは否めないが、エネルギーも物的資源も、物理量としての把握が可能である点で、次節で述べる生物多様性や生態系サービスと比べると定量的な表現が行いやすい。サーキュラーエコノミーに関する指標の国際標準化も進みつつあり、材料工学分野の25期成果[4]

とその後継的な検討において、課題解決の方向性が示されつつある。さらに、資源リサイクルにおける環境負荷削減貢献量と同様、事業者の動機付けにとって、CCU や未利用排熱の回収・利用における回収側、利用側への価値配分のルールづくりも重要である。

(2) 自然再興と炭素中立の共通利益とトレードオフ

生物多様性は、自然の恵みである様々な生態系サービスの供給の源であり、人類の福利（ウェルビーイング）を支える基盤でもある。そのため地球規模で急速に進みつつある生物多様性の損失は、中長期的な人類の持続性に負の影響を及ぼすことが強く懸念されている。自然再興は、気候変動分野の「ネット・ゼロ」や「カーボンニュートラル」に相当する生物多様性保全の目指すべき目標として急速に普及しつつある。2021 年 G7 サミット首脳コミュニケの付属文書「G7 2030 年自然協約（nature compact）」は、世界がネット・ゼロを達成するのみならずネイチャーポジティブを達成しなければならないと訴えている。2022 年に合意された生物多様性条約の 2030 年目標「昆明・モントリオール生物多様性枠組」の 2030 年ミッション「自然を回復軌道に乗せるために生物多様性の損失を止め反転させるための緊急の行動をとる」[62]は自然再興を意味している。自然再興は、我が国の生物多様性国家戦略 2023-2030 の 2030 年目標にも位置付けられている。農林水産分野でもこのような国際情勢を踏まえて、農林水産分野の生産性と持続性の両立を実現するためのみどりの食料システム戦略[63]や農林水産省生物多様性戦略[64]が策定されている。

① 気候変動と生物多様性の密接な相互関係

気候変動と生物多様性は密接な相互関係にある。例えば、森林や沿岸・海洋生態系などの自然生態系は、光合成により大気中の二酸化炭素を吸収し、バイオマスを形成する炭素吸収源として機能することで、気候変動緩和に貢献している。生物多様性はまた、洪水調整や土砂崩壊の防止、暑熱緩和や海岸線の保護等を通じて、気候変動の影響の緩和や気候変動への適応にも貢献している。他方で、気候変動による気温や降雨パターンの変化、極端気象の頻度・強度の増加は、種の分布や個体数、生態系機能に影響を与え、種の絶滅リスクを高める[65]。気候変動は、陸や海の利用の変化、直接採取、汚染、侵略的外来種と並ぶ生物多様性の損失を引き起こす直接要因の一つでもある[65]。

② 炭素中立と自然再興の共通利益

近年は、気候変動の緩和や適応等の社会問題の解決に寄与する自然の保全や回復、持続的な管理を総称して「自然を活用した解決策（nature-based solutions、NbS）」と呼んでいる。気候変動対策（緩和・適応）と生物多様性保全の両方に貢献する NbS には、以下に挙げるような例が含まれる[65]。第 1 は生態系の保全と回復である。豊富な炭素貯留量と生物種を擁する陸や海の生態系（例えば、森林や草地、湿地、泥炭地、藻場）の保全や回復は、生物多様性の保全と気候変動緩和だけでなく、気候変動

適応や漁業による食料生産の持続性の担保にも貢献する。海草や海藻の藻場[66]、塩湿地・干潟、マングローブ林等のブルーカーボン生態系は、単位地表面積あたりでは炭素中立と自然再興の両方に大きく貢献するとの期待があり、定量的な効果の評価が学術の重要課題である。第2は持続可能な農業・林業を含む生態系の持続可能な管理・利用の実践である。例えば、生態系の活用や回復、土壌有機物の増加、土壌構造の改善など、土壌と生態系の健全性を重視する再生農業 (regenerative agriculture) や、生態学の原則を農業へ応用するアグロエコロジー等の持続的な農業は、土壌管理や植生による炭素隔離の強化に寄与し、結果として GHG 排出量の削減など気候変動の緩和にも貢献する。植林地と自然林の使い分けと持続性を担保する持続可能な森林管理もまた、森林の炭素貯留を維持・向上させつつ、森林生態系の構造や生物多様性の保全に寄与する。第3は、都市におけるグリーンインフラの導入である。都市公園、街路樹、屋上緑化、都市農地等の都市緑地は、炭素貯留だけでなく、ヒートアイランド現象の緩和、雨水流出の抑制、自然体験、都市の生物多様性の保全にも貢献する。

また、食品廃棄の削減や環境に負荷の少ない食生活やライフスタイルへの移行も炭素中立と自然再興を同時に達成するための有効な対策である[67][68]。世界全体の食料の約1/3が廃棄され、世界で生産される作物の約1/3が家畜の餌として利用される。食品廃棄の削減や動物性食品の摂取量の削減を含むライフスタイルの転換は、農林水産業のための土地や海域の改変を減らし、汚染の低減だけでなく温室効果ガスの排出削減にも寄与する。

③ 炭素中立と自然再興のトレードオフ

このような気候変動と生物多様性の相互関係は、一方の課題への対応が他方の課題へ影響を与えることを意味するが、気候変動と生物多様性の損失はこれまでのところ個別の問題として対応されてきた[67][68][69]。他方、気候変動緩和・適応のみに焦点を当てた対策は、生物多様性や生態系サービスに悪影響を及ぼすことが国際的にも懸念されている[65]。例えば、バイオエネルギー作物の大規模単一栽培が、野生動物の生息地の断片化や消失を通じて生物多様性の損失を引き起こす可能性がある。不適切な場所や方法での植林（例えば、草原生態系のようなもともと森林ではなかった土地に炭素貯留を目的に実施される植林）は、生態系に固有の生物多様性を損なう可能性がある。また、水力発電や太陽光発電、風力発電等の再生可能エネルギー発電施設の整備が、設計や立地によっては意図せず生息地の破壊や断片化、風力発電の場合は保全価値の高い鳥類の衝突を引き起こす可能性がある。このほかに、再生可能エネルギー技術のための資源採掘（例えば蓄電システムのためのリチウム採掘）の過程で、生物多様性に悪影響を及ぼす可能性がある。

とりわけ国内では、急速に拡大し再生可能エネルギー供給の最大シェアを占める太陽光発電施設の建設による森林や農地の喪失、今後拡大が見込まれる風力発電施設の建設による生息地の破壊や保全価値の高い鳥類の衝突等の問題が顕在化している。バイオエネルギー作物の大規模生産や不適切な植林、再生可能エネルギー技術のための

資源採掘が引き起こす生物多様性への影響は国内では大きな問題にはなっていない。しかし、電力の固定価格買取制度（FIT）認定内訳では、バイオマス発電で利用される一般木材等・バイオマス液体燃料の7割以上がパーム油やパーム椰子殻（PKS）等の輸入材[70]、国内で使用されている液体バイオ燃料の大部分を占めるバイオエタノールもほぼ全量が輸入[71]、また国内利用される再生可能エネルギー技術に必要なリチウムやコバルト、レアアースのほぼ全量が輸入されており[72]、原料生産・採掘国における森林破壊や土地劣化、生物多様性の損失への間接的な関与が懸念される。前項に述べた食生活やライフスタイルを含め、我が国の経済・社会活動が引き起こす生物多様性の損失は、日本国内だけに留まる訳ではない点に留意が必要である。

④ 課題解決の方向性

気候変動対策を検討・実施する際には、温室効果ガス排出量の削減量や貯留量、再生可能エネルギーの生産量だけでなく、それらの対策が陸域や陸水域、海域の生物多様性やその他の生態系サービスに与える影響を勘案し、潜在的な負の影響を回避または最小化する対策を同時に講じることが有効である。

例えば、森林クレジットやブルーカーボンクレジット等の認証において CO₂吸収・削減量だけでなく、生物多様性保全や炭素貯留以外の生態系サービスの発揮（例えば、土砂流出の調整、水源涵養、大気浄化など自然がもたらす様々な恩恵）、地域社会・経済への貢献等の非炭素プレミアム価値を訴求することで、炭素中立だけでなく自然再興にも貢献することができる。また、バイオマス発電の燃料や再生可能エネルギー技術に必要な鉱物資源の輸入においては、燃料や資源の調達の持続可能性を証明する第三者認証の活用を徹底することで炭素中立と自然再興との両立が図られる。バイオマス発電燃料の第三者認証では、例えば GGL（Green Gold Label）や RSPO（Roundtable on Sustainable Palm Oil）、再生可能エネルギー用の鉱物資源の第三者認証では、RMAP（Responsible Minerals Assurance Process）、iTSCi（ITRI Tin Supply Chain Initiative）がある。

再生可能エネルギーの導入については、環境影響評価（環境アセスメント）が自然再興との両立において重要な役割を果たす。しかし、環境アセスメントは個別事業ごとの評価が中心で、複数の事業による累積的影響には十分に対応できないという課題がある。こうした累積的な影響には、環境アセスメントの対象とならない小規模な事業の累積も含まれる。小規模事業による影響も含む累積的影響に対処するためには、再生可能エネルギー導入に関する政策や計画の段階で環境影響を評価する戦略的環境アセスメントの導入が有効である。また、環境アセスメントについては、環境影響評価法のほかにも電気事業法や再生可能エネルギー電気の利用の促進に関する特別措置法による環境配慮の規定、地方自治体の条例等が重層的に適用され、手続きが複雑化している点も課題である。

2050 年炭素中立や 2030 年までに自然再興の考えに根ざした国土利用・管理を進める上で、土地利用計画が重要な役割を担っている。このことは第 6 次国土利用計画に

も規定されているが[73]、具体的な土地利用の規制や誘導は、気候変動対策や生物多様性保全の調整を含め、個別法の運用に委ねられている。土地利用計画の立案の際に、炭素中立に求められる温室効果ガスの削減や森林・農地の吸収源強化、再生可能エネルギー導入と、自然再興に求められる保護地域拡大や自然共生サイトや自然を活用した解決策（NbS）の導入等の異なる土地利用のニーズを調整し、競合する利害関係者間の対話と合意形成を図ることが求められる。また、炭素中立策と自然再興対策の調整を効果的に行うためには、部門横断的かつ統合的な枠組みが求められる。このような枠組みの中で、地域脱炭素化促進事業の一環として進められる再生可能エネルギー導入の促進区域の指定が進めば、炭素中立と自然再興との両立はより確実なものとなるだろう。

また、このような部門間の調整を後押しする情報基盤の拡充も求められる。炭素中立対策である再生可能エネルギーの導入支援のために 2020 年に「再生可能エネルギー情報提供システム（REPOS）」が開設され、段階的にアップデートを重ねている。他方で、自然再興対策としての自然共生サイトや生態系ネットワークの拡充を支援するために「生物多様性見える化システム」の運用が始まったが、まだ開発途上にある。これらシステムが充実するだけでなく、地方自治体を含む様々なステークホルダーにより統合的に活用できるような体制を築くことも、部門間の調整の促進における課題である。

最後の課題は多様な利害関係者の協力・協調した取組の推進である。炭素中立対策と自然再興対策の両立は、エネルギー政策と環境政策のような行政内部での部門間の調整や中央官庁と地方自治体の間での調整のようなあらゆるレベルの政府の参画や協働（whole of the government approach）だけではなく、多様な事業者や市民社会組織、一般市民を含む社会全体の参画や協働（whole of the society approach）が不可欠である。

炭素中立と自然再興のトレードオフを低減し、共通利益を促進するために、政府や行政は、長期的な政策の方向性を明確に示す役割を一層強化する必要がある。これには、省庁、例えば、経済産業省、環境省、農林水産省、国土交通省の間での政策調整、民間（産業）や市民に向けたガイドラインやインセンティブの提供、新技術の開発・検証を含む研究開発投資などの社会環境の整備も含まれる。産業界には、サプライチェーン全体での環境負荷の削減、持続可能な原料調達、行政や市民、学術に対する資金提供・技術的貢献が期待される。学術界には、多様な生態系による炭素貯蔵能力や生物多様性保全の検証や、政府や民間、市民による気候変動対策や保全対策の在り方の提示や対策効果の科学的な検証などでの貢献が期待される。

6 提言の内容

(1) 予想より早く進行する気候変動への国内外の対策加速のための危機意識の共有

2024 年は観測史上最も暑い 1 年であり、この年の世界の平均気温は産業革命以前と比べて 1.5℃上昇し、近年頻発する風水害や記録的な猛暑、食料問題など、気候変動の影響が顕在化しているが、危機感の醸成は不十分である。多様な情報が錯綜する状況下では、気候変動やその影響、対策について国民に信頼性の高い情報を提供することが不可欠であり、学術の果たすべき役割は大きい。

政府は、多様な利害があることを認識しつつも、他国の方針変更に惑わされることなく、国内外に気候変動対策の重要性をより明確に発信し、損害の軽減のためにコストをかけることの意義を伝え、国民を含む多様なアクターとの間で、我がこととして危機意識を共有することが求められる。

気候変動が生命と健康を脅かす状況や不公正の拡大は、人権の観点からも重大な課題であり、社会を支える人財たる現世代、将来世代のウェルビーイング向上と環境保全との両立の重要性を共通理解とすべきである。

(2) 2050 年目標達成に向けたチェックポイントと実施主体を明示した社会実装計画

国際的に公約した 2050 年炭素中立の達成のためには、削減目標値を提示した中間年等のチェックポイントを強く意識し、部門、実施主体を明確にした上で対策の社会実装を計画的に進める必要がある。カーボンニュートラル施策の着実な推進のためには、各システムの実装課題を整理し、その課題に対応するための施策案の比較検討を行い、具体的な対応達成の目標年限を明確にする必要がある。

現在の政府計画が採用する排出量を直線的に削減する経路は、技術開発や大量普及に要する時間を考慮すれば合理的である一方で、対前年削減率で見ると目標年に近づくほど大きな値となり、将来世代に重い負担を課すことになりかねない。既に利用可能な対策の大量かつ早急な普及等によって、短期的にもより大きな削減を求めることも考慮すべきである。

国は、施策の支援策として必要な投資水準を示し、税制全般の見直しにより財源を確保し、炭素中立社会への公正かつ賢明な移行に必要な社会基盤整備を牽引するとともに、カーボンプライシング、ESG 投資や情報開示の環境を整え、企業活動の環境・社会責任の強化、産業構造の円滑な転換を促す必要がある。次に、企業等の施策の実施事業主体は、事業の持続的な運営とエネルギー施策転換の両立を目指す具体的なマイルストーンを構築し、国との密接な連携の下、事業の構造転換を進めるべきである。そして、消費者・生活者たる市民も、社会変革の必要性の認識の下、日常の生活・消費活動において、持続可能な社会の構築に必要な行動を選択する必要がある。また、学術界は、これら各主体の取組を支援する学術的根拠を提供し、社会実装の道筋を先導しなければならない。こうした各主体の役割の下、官民連携による実効的な推進体制の構築が不可欠である。

(3) 地域に根差し産官学協調の強みを活かした社会実装の支援策

気候変動対策等の重要政策が、国家主導、先進企業主導、規制主導で進められる国家や地域もあるが、我が国の重要施策は産官学の多様なステークホルダーの協調に特徴付けられる。炭素中立達成の目標年まで残された期間が限られている中では、日本の強みである産官学協調を活かし、地域の特性に応じた対策技術の迅速かつ妥当な規模での実装が必要である。新技術の受容性や地域の産業の公正な移行等の社会的側面も考慮し、多様なステークホルダー間の連携・協調を円滑に進めるための場づくり、調整の担い手が必要である。この際、地域による対策案の選択においては、地域内の価値に基づく選択を超えて、社会全体への影響をも考慮した選択を期待するものである。

事業者や地方自治体の努力に加え、政府は国からの研究支援や実装支援、各種規制等に関する行動計画を明確にすべきである。産官学の役割を明確にし、地域の調整役を担うことが期待されてきた地方自治体に加え、学术界は率先して地域変革のファシリテータとなること、担い手の育成など、これまで以上に積極的に地域活動に関わるべきである。

(4) 政策・対策の社会実装における学術の役割

学术界はその社会的役割を再認識し、社会のニーズに合わせた研究の展開が必要である。地球環境問題への対処や新技術の開発と社会実装は、2050年で完了するわけではない。より長期を見据えた技術革新への期待に応えるために、多様な基礎研究の継続、新たな学術の創出は当然ながら重要であるが、それと同時に、基礎研究から社会実装までの期間の短縮など、その道筋の明確化が求められている。また、産業技術を支えるものとして、社会制度の構築や社会と技術の関係性についての共通理解の醸成も重要であり、産業育成に直結する技術開発だけでは、科学技術を活用する社会は構築できないことを学术界も明確に意識する必要がある。第 25 期に日本学術会議に設置されたカーボンニュートラル連絡会議が作成した俯瞰図（参考資料 2）で「包括的アプローチ、ビジョン、制度設計・政策、人間行動」が中心部に描かれているように、中長期的な視角を持って、学術の諸領域が連携・協働し、総合的、俯瞰的な検討を続けることが必要であり、文理の連携のさらなる推進は必須である。また、情報技術の進展を社会転換に活用すること、学際的に多分野の知をつなぐこと、学術と社会をつなぐこと、それらを担う人材を育成することが、学术界が果たすべき重要な役割の一つである。

(5) 炭素中立と循環経済、自然再興との間の共通利益・相反性の整理に基づく同時達成に向けた戦略

気候変動と同時期に国際条約が締結済みの生物多様性を始め、同時解決を目指すべき環境問題が多くある。欧州発のサーキュラーエコノミー（CE）、我が国発の 3R＋renewable は、一過性の資源消費の最小化や廃棄物の発生抑制等により、気候変動、生物多様性、環境汚染等の社会課題を解決する重要な取組であるとともに、産業競争力の強化、経済安全保障、地方創生の向上に資する可能性がある。自然環境保全との両立の

ための太陽光発電や風力発電の立地適正化、炭素吸収源としての森林の持続可能な利用やバイオマス燃料供給に伴う土地利用変化に端的にみられるように、学界には、気候変動と同時解決すべき環境問題間の相反性と共通利益の俯瞰的な整理を進め、実現に向けた戦略を示していくことが求められている。その際、汚染（公害）の予防・未然防止による国民の健康、安全の確保を始めとする環境政策の基本原則・理念を大前提として、今日の環境政策の三つの柱である炭素中立、循環経済、自然再興の同時達成に向けた成功事例を積み重ね、成功の鍵を共有していくことが必要である。

(6) 複合的課題群の俯瞰的整理に基づく複数主体による課題解決策の決定と実施

炭素中立、循環経済、自然再興という環境政策の三つの主要課題に加え、炭素中立と表裏一体のエネルギー問題、気候変動との複合災害を含む大規模災害への備え等、国民生活に直結する課題が山積する中では、課題群を俯瞰的に捉えた上で、複数かつ複合的な課題群の同時解決を目指し、関係主体が意思決定に向けて連携・協力するとともに、明確な役割分担の下に意思決定の実施を進めるためのガバナンス体制の構築を政府だけに任せるのではなく社会の産官学金労言等の関係主体が自律的に構築していくことが求められる。

社会に重要な影響をもたらす施策を確実に推進するため、社会の産官学金労言等の関係主体は、政府による目標や基本計画の策定過程に参加するだけでなく、対策とその実施に当たっての課題を整理し、政府とともに課題解決の期間や達成目標を明確にした実行計画の設定とアセスメントを行い、PDCA サイクルの中で施策を着実に推進できるような制度的枠組みを構築すべきである。

(7) 地球規模と地域レベルでの持続可能性の両立に向けた総力の結集

持続可能な開発目標（SDGs : Sustainable Development Goals）では、17 のゴールが掲げられており、複数課題・複合的課題の同時解決は世界共通の目標でもある。現在の国際枠組みでは、各国からの直接排出量削減が目標とされているが、ものづくり産業の海外移転やカーボンニュートラル燃料の輸入が海外での排出増を招かないよう、また、脱炭素化に必要な資源の採取が人権等の社会的問題につながらないよう、真の削減貢献を果たすことが必要である。日本一国の排出削減では気候変動を止めることは不可能であり、資源の循環利用や自然との共生を重視する炭素中立社会への転換の理念やそれを支える社会システム、知見・技術を、アジア諸国を始め国際的に共有し、互いの経験に学びあいつつ、世界全体の炭素中立に強いインパクトを与えることが、世界の一員としての我が国の重要な役割の一つである。

他方、国内には、少子高齢化・過疎化の進展や巨大災害への備えなど、切実な課題が多数あり、提言3に留意しつつ、地方創生や、災害などへの適応回復力（レジリエンス）強化等の主要施策の中に気候変動対策の視点を組み入れていくことが必要である。

気候変動に対処するための国内外の総力の結集が、地球規模と地域レベル双方での持続可能性を高めるために求められている。

＜用語の説明＞

気候正義：

Climate Justice の訳語。気候変動の主因とされる化石燃料の大量消費者は先進国や新興国であるのに対し、より大きな被害を受けるのは、化石燃料をこれまであまり消費してこなかった発展途上国やこの問題に責任がない将来世代である。こうした原因者と被害者の間に不均衡があることを問題視し、責任と負担、利益を公平に分担すべきだとする人権的な視点に基づいた概念。

公正な移行：

炭素中立社会の移行を進めるに際し、化石燃料や化石資源への依存度の高い産業の雇用が失われることなど、マイナスの影響をできるだけ小さくすることが政策に期待される。国際社会では、気候変動対策と雇用等における社会的公正を両立させる、“Just Transition” が重要という認識が共有されており、「公正な移行」はその訳語。

資源効率性：

Resource Efficiency の訳語。地球上の限られた資源を、環境影響を最小化しながら持続可能な方法で利用するため、より少量の資源でより多くの価値を生み出すことを目指す概念、またはそれを表現した指標。2015 年の G7 エルマウ・サミットの首脳宣言に資源効率性のための G7 アライアンスの設立や、本文の参考文献[30]の報告作成を国連環境計画国際資源パネルに求めた。2021 年の G7 気候・環境大臣会合で「循環経済及び資源効率性原則」の作成を日本が提案し合意している。ここでいう資源は水資源など天然資源全般を指し、金属鉱物などの工業用原材料に主眼を置く場合には物質効率性(material efficiency) という語も使われる。

物質フロー分析と蓄積量：

循環経済の構築のためには、我々がどれだけの資源を採取、消費、廃棄しているかという経済社会におけるものの流れ（物質フロー）を知ることが第一歩となる。我が国では 1990 年代から環境白書において日本の物質フローが毎年報告され、循環型社会形成推進法の制定以降は、基本法の下で策定される循環型社会形成推進基本計画の指標として位置付けられている。国内資源の採取量と資源・製品の輸入量の和で求められる入口側のフロー量と、輸出量、廃棄物発生や燃焼後の大気への排出量などの和で求められる出口側のフロー量の差分は「蓄積量」として報告され、土木構造物、建築物、耐久消費財など、すぐには廃棄されずに経済活動の中に蓄積されるものの量の推移をとらえている。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議 カーボンニュートラル（ネット・ゼロ）に関する連絡会議、
<https://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/carbon/index.html>
- [2] 高村ゆかり、吉村忍(2023) 「特集の趣旨」ほか11報、特集：カーボンニュートラル
実現に向けた学術の挑戦、学術の動向 2023 年 1 月号 (第 28 巻第 1 号、通巻第 322 号)
https://www.jstage.jst.go.jp/browse/tits/28/1/_contents/-char/ja
- [3] European Commission (2015) First circular economy action plan
https://environment.ec.europa.eu/topics/circular-economy/first-circular-economy-action-plan_en
- [4] 日本学術会議材料工学委員会・環境学委員会・総合工学委員会合同SDGsのための
資源・材料の循環使用検討分科会、報告「資源循環とカーボンニュートラルの両立に
向けた課題と日本が取り組むべきサーキュラーエコノミー対策」、2023 年 9 月 15 日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-h230915-2.pdf>
- [5] IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) (2021-2023) Sixth Assessment
Report
<https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- [6] 環境省、第六次環境基本計画、2024 年 5 月 21 日閣議決定
https://www.env.go.jp/council/content/i_01/000225523.pdf
- [7] 国土交通省気象庁、気候変動監視レポート、2025 年 3 月 18 日
<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/monitor/>
- [8] 国土交通省気象庁、2025 年の梅雨入り・明け及び夏（6～8月）の記録的高温につい
て、2025 年 9 月 1 日
https://www.jma.go.jp/jma/press/2509/01a/summer_temp_20250901.html
- [9] 総務省消防庁、熱中症情報
<https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/post3.html>
- [10] 環境省、日本のNDC（国が決定する貢献）、2025 年 2 月 18 日
<https://www.env.go.jp/content/000291804.pdf>
- [11] Supreme Court of the Netherlands, Judgement Number 19/00135, 20 December 2019
<https://uitspraken.rechtspraak.nl/details?id=ECLI:NL:HR:2019:2007>
- [12] ECHR (European Court of Human Rights) CASE OF VEREIN KLIMASENIORINNEN SCHWEIZ
AND OTHERS v. SWITZERLAND (Application no. 53600/20) Judgment , 9 April 2024.
<https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=001-233206>
- [13] ICJ (International Court of Justice), Obligations of States in Respect of
Climate Change, Advisory Opinion, 23 July 2025.
<https://www.icj-cij.org/sites/default/files/case-related/187/187-20250723-adv-01-00-en.pdf>
- [14] 環境省、浅尾大臣閣議後記者会見録、令和 7 年 1 月 21 日、米国のパリ協定脱退表明
について

- https://www.env.go.jp/annai/kaiken/kaiken_00277.html
- [15] 環境省、環境基本計画、第一次 1994 年 12 月 16 日閣議決定、
第二次 2000 年 12 月 22 日閣議決定、第三次 2006 年 4 月 7 日閣議決定、
第四次 2012 年 4 月 27 日閣議決定、第五次 2018 年 4 月 17 日閣議決定、
第六次 2024 年 5 月 21 日閣議決定
https://www.env.go.jp/seisaku/list/kihon_keikaku.html
- [16] 環境省、第六次環境基本計画の概要（2024 年 5 月 21 日閣議決定）
https://www.env.go.jp/council/content/i_01/000225216.pdf
- [17] Stockholm Resilience Institute, Planetary Boundaries,（この語の初出は 2009）
<https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>
- [18] Sarah Whitmee et al. (2015) Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: report of The Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health, The LANCET, Vol. 386, 1973-2028
[https://www.thelancet.com/article/S0140-6736\(15\)60901-1/fulltext](https://www.thelancet.com/article/S0140-6736(15)60901-1/fulltext)
- [19] Royal Society of Canada (2025) Climate Change and Health Resilience
<https://rsc-src.ca/sites/default/files/Climate%20Action.pdf>
- [20] NHS England (2022) Delivering a net zero National Health Service
<https://www.england.nhs.uk/greenernhs/a-net-zero-nhs/>
- [21] 日本学術会議、提言「第 7 期科学技術・イノベーション基本計画に向けての提言」、
2024 年 11 月 28 日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-26-t376.pdf>
- [22] 環境省、地球温暖化対策計画、2025 年 2 月 18 日閣議決定
<https://www.env.go.jp/content/000291669.pdf>
- [23] UNEP (2024) Emissions Gap Report 2024
<https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2024>
- [24] 国立研究開発法人国立環境研究所、温室効果ガスインベントリオフィス（GIO）編
（2024）日本国温室効果ガスインベントリ報告書、2024 年
<https://www.nies.go.jp/gio/>
- [25] 経済産業省資源エネルギー庁、エネルギー白書 2021 第 1 部第 2 章第 3 節「2050 年
カーボンニュートラルに向けた我が国の課題と取組」
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2021/html/1-2-3.html>
- [26] UNFCCC NDC Registry（随時更新、2025 年 9 月参照）
<https://unfccc.int/NDCREG>
- [27] 経済産業省資源エネルギー庁、日本のエネルギー エネルギーの今を知る 10 の質問、
2025 年 3 月発行
https://www.enecho.meti.go.jp/about/pamphlet/pdf/energy_in_japan2024.pdf
- [28] 牧之内芽衣、太陽光発電サプライチェーンの現状と課題～特定国依存のリスクとセ
キュリティ強化の必要性～、第一生命経済研究所ビジネス環境レポート、

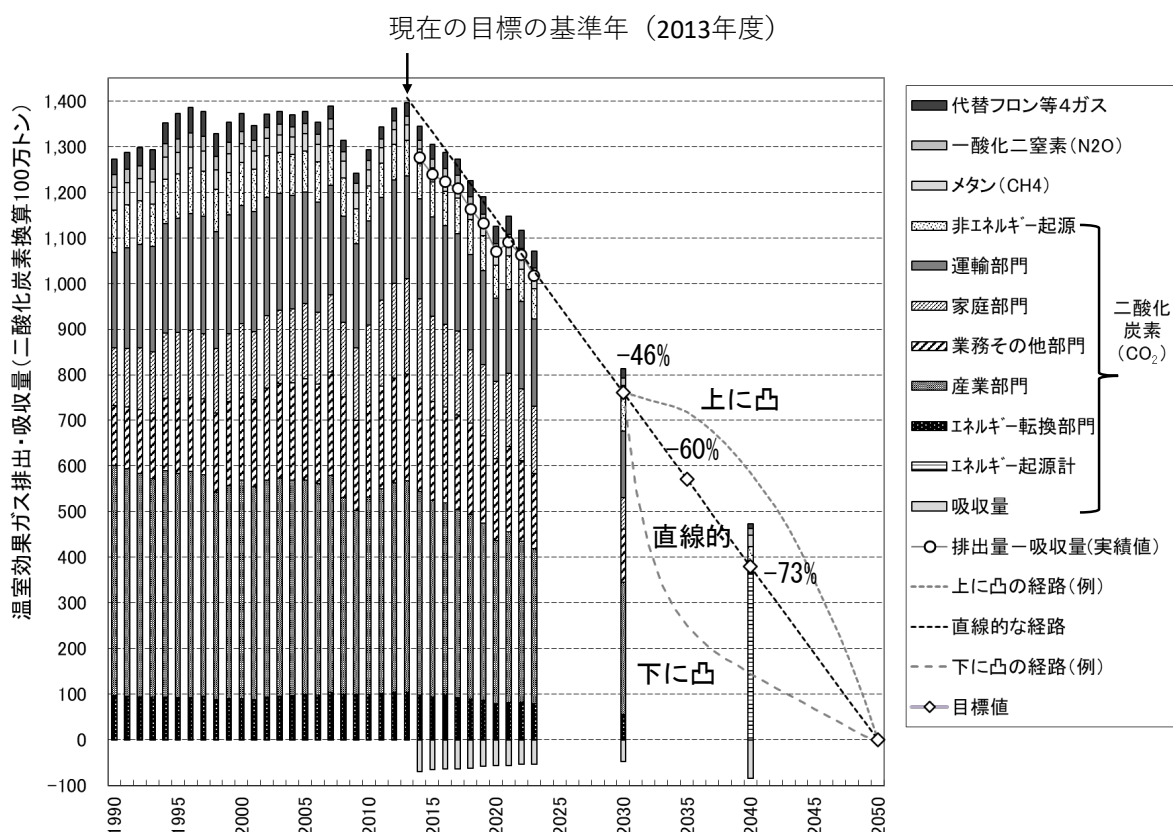
- 2025 年 7 月
<https://www.dlri.co.jp/files/ld/485448.pdf>
- [29] UNEP/IRP (2011) Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth
<https://www.resourcepanel.org/reports/decoupling-natural-resource-use-and-environmental-impacts-economic-growth>
- [30] UNEP/IRP: Resource Efficiency: Potential and Economic Implications、
2017 年 3 月
https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resource_efficiency_report_march_2017_web_res.pdf
- [31] 環境省、第四次循環型社会形成推進基本計画の第 2 回点検及び循環経済工程表の策定について、2022 年 9 月 6 日
https://www.env.go.jp/press/press_00518.html
- [32] 西岡秀三ら編著、まっとうな気候政策へ、地平社、2024 年
- [33] 内閣官房・経済産業省など 10 府省、2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略、2021 年 6 月 18 日
https://www.meti.go.jp/policy/energy_environment/global_warming/ggs/index.html
- [34] 日本学術会議総合工学委員会・機械工学委員会合同工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会、見解「工学システムに対する「安心感」の醸成」、
2023 年 9 月 27 日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k230926-3.pdf>
- [35] 環境省、COP28 について、2023 年 11 月 28 日
https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/gx_jikkou_kaigi/dai9/siryou2.pdf
- [36] 環境省、環境省ローカル SDGs 地域循環共生圏、2018 年
<https://chiikijunkan.env.go.jp/>
- [37] 芦名秀一、地域での技術・政策評価における統合評価モデルの活用：日本での脱炭素に向けたシナリオ検討を例に、日本 LCA 学会誌 17 (3)、150、2021 年
https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/17/3/17_150/_article/-char/ja/
- [38] Barcelona City Council (2020) “Barcelona climate emergency declaration”,
<https://www.barcelona.cat/barcelona-pel-clima/en/barcelona-climate-emergency-declaration>
- [39] Region Heide (2024) Flyer (Integrated Energy Region)
<https://www.region-heide.de/en/>
https://www.region-heide.de/fileadmin/inhalte/downloads/231116_Flyer_Englisch_Homepage.pdf
- [40] 環境省、さいたま市：さいたま発の公民学によるグリーン共創モデル、
2022 年 4 月 26 日

- <https://policies.env.go.jp/policy/roadmap/assets/preceding-region/1st-keikaku-gaiyo-07.pdf>
- [41] 周南コンビナート脱炭素推進協議会、周南コンビナートの脱炭素を産・学・官・民で共創する
<https://sicdpc.com/>
- [42] 公益社団法人化学工学会、カーボンインディペンデンス（炭素自立）ビジョン 2.0：CO₂排出削減が困難な産業の循環経済への変革、2025年3月11日
https://www.cn.scej.org/activity/grand_design_working/
- [43] 興部町、バイオガスの高度利用に向けた取り組み、2023年11月16日
<https://www.town.okoppe.lg.jp/cms/section/kikaku/biomass-methanol.html>
- [44] 佐々木一成、政府の水素政策を踏まえた九州への期待、2023年2月2日
https://www.kyushu.meti.go.jp/seisaku/kankyo/suiso/20230323_2.pdf
- [45] 日立東大ラボ
<https://www.ht-lab.ducr.u-tokyo.ac.jp/>
- [46] 日立-産総研 CE ラボ
<https://unit.aist.go.jp/hitachi-cecrl/>
- [47] 東京大学未来戦略ライフサイクルアセスメント連携研究機構
<https://www.utlca.u-tokyo.ac.jp/>
- [48] 早稲田大学オープンイノベーション戦略研究機構循環バリューチェーンコンソーシアム
<https://cvc.smartcore.jp/>
- [49] The Royal Society, Current Topics, Climate change and Biodiversity. (随時更新、2025年9月参照)
<https://royalsociety.org/current-topics/climate-change-biodiversity/>
- [50] 経済産業省資源エネルギー庁、エネルギー基本計画、2025年2月
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/20250218_01.pdf
- [51] 環境省、「地球温暖化対策計画」(案)にお寄せ頂いた御意見の概要と御意見に対する考え方、2025年2月18日（報道発表資料の添付資料）
<https://www.env.go.jp/content/000291620.pdf>
- [52] 環境アセスメント学会、第六次環境基本計画への提言、2023年7月27日
https://jsia2002.sakura.ne.jp/3_activity/proposal/proposal_230727.pdf
- [53] 日本学術会議環境学委員会環境政策・環境計画分科会、報告「サステナブル投資による産業界のインパクト」、2023年8月18日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/kohyo-25-h230818-abstract.html>
- [54] 三菱総合研究所、【提言】第7次エネルギー基本計画で求められる「CN×CE」の政策融合、2024年6月5日
<https://www.mri.co.jp/knowledge/insight/policy/20240605.html>
- [55] Ellen Macarthur Foundation The butterfly diagram: visualising the circular

- economy、2021 年 2 月 12 日
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>
- [56] 日本学術会議土木工学・建築学委員会・環境学委員会合同脱炭素社会分科会、報告「脱炭素化を取り巻く現状と課題ー住宅・建築分野の対応ー」、2023 年 8 月 25 日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-h230825.pdf>
- [57] OECD、政策ハイライト、都市におけるゼロ・カーボン建築 ホールライフサイクルアプローチ、2025 年 2 月
https://www.oecd.org//content/dam/oecd/en/publications/support-materials/2025/02/zero-carbon-buildings-in-cities_f926bc0b/WLC-Policy-Highlights-JPN.pdf
- [58] UNEP/IRP(2019), Resource Efficiency and Climate Change – Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future –,
<https://www.resourcepanel.org/reports/resource-efficiency-and-climate-change>
- [59] 橋本征二、バイオマスに関する 2 つの誤解、日本 LCA 学会誌、18 巻 1 号、2022 年 1 月
https://www.jstage.jst.go.jp/article/lca/18/1/18_2/_pdf/-char/ja
- [60] 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構、一般財団法人日本エネルギー経済研究所、令和 4 年度カーボンニュートラル実現に向けた鉱物資源需給調査、2022 年 10 月 31 日
https://mric.jogmec.go.jp/wp-content/uploads/2022/11/mineral_rsupply_survey_carbon_202211.pdf
- [61] IEA(2022), The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions
<https://www.iea.org/topics/critical-minerals>
- [62] CBD(2022) CBD/COP/DEC/15/4: DECISION ADOPTED BY THE CONFERENCE OF THE PARTIES TO THE CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY. に記載のある昆明・モントリオール生物多様性枠組みの 2030 年ミッションの書き出し部分「To take urgent action to halt and reverse biodiversity loss to put nature on a path to recovery」の環境省訳。
- [63] 農林水産省、みどりの食料システム戦略、2021 年 5 月
<https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/attach/pdf/index-10.pdf>
- [64] 農林水産省、農林水産省生物多様性戦略、2023 年 5 月
https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/c_bd/bds_maff/attach/pdf/index-49.pdf
- [65] IPBES (2019) Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services
<https://ipbes.net/global-assessment>
(生物多様性と生態系サービスに関する地球規模評価報告書 政策決定者向け要約 (日本語版))
https://www.iges.or.jp/jp/publication_documents/pub/translation/jp/10574/IPBESGlobalAssessmentSPM_j.pdf

- [66] 日本学術会議食料科学委員会水産学分科会、見解「わが国における中長期的な水産資源の利用のあり方」、2023 年 9 月 28 日
<https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-k230926-6.pdf>
- [67] S7 (The Science Academies of the Group of Seven (G7) nations.) (2021) Reversing biodiversity loss – the case for urgent action
<https://g7.utoronto.ca/S7/2021-biodiversity.pdf>
- [68] IAP (The Interacademy Partnership) (2021) Statement on Climate Change and Biodiversity: Interlinkages and policy options
<https://royalsociety.org/-/media/policy/projects/bio-climate-interlinkages/iap-statement-climate-change-biodiversity.pdf>
- [69] IPCC & IPBES (2021) IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change
https://files.ipbes.net/ipbes-web-prod-public-files/2021-06/20210609_workshop_report_embargo_3pm_CEST_10_june_0.pdf
(IGES (2021) 生物多様性と気候変動 IPBES-IPCC 合同ワークショップ報告書: IGES による翻訳と解説)
https://www.iges.or.jp/jp/publication_documents/pub/policyreport/jp/11634/IPBES_IPCC_ws_J_final.pdf
- [70] 経済産業省資源エネルギー庁、今後の再生可能エネルギー政策について、2021 年 3 月 1 日
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/025_01_00.pdf
- [71] 経済産業省資源エネルギー庁、バイオエタノールの導入に関するこれまでの取組と最近の動向、2017 年 12 月 27 日
https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/bio_nenryo/pdf/001_02_00.pdf
- [72] 経済産業省製造産業局、鉱物政策を巡る状況について、2024 年 10 月 28 日
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/mining/pdf/001_03_00.pdf
- [73] 国土交通省、第六次国土利用計画（全国計画）、2023 年 7 月
<https://www.mlit.go.jp/common/001100246.pdf>

<参考資料 1> 日本の温室効果ガス排出量の推移と今後の削減目標・削減経路



解説：

我が国の温室効果ガス排出削減目標は複数回更新され、現在の目標は 2025 年 2 月に閣議決定され、気候変動枠組条約事務局に提出されたものである。この目標は、環境省の中央環境審議会地球環境部会の下におかれた小委員会と、経済産業省産業構造審議会イノベーション・環境分科会の下におかれたワーキンググループとの合同会合で審議された。採用された「直線的な経路」のほか、「上に凸の経路」、「下に凸の経路」が提示され、パブリックコメントで多数の意見が寄せられた。上に凸の経路では、2040 年以降に急速かつ大幅な削減を要し、対策を先送りするのではなく、利用可能な対策の早期普及によって下に凸の経路を採るべきという考え方がある一方、技術革新、大量普及によるコスト低下には時間を要し、下に凸の経路を採ると対策による便益以上の費用を要し、上に凸の経路の方が優位との考え方が提示される中で、これらの中間的な「直線的経路」が採用された。

出典：

国立研究開発法人国立環境研究所、温室効果ガスインベントリオフィス (GIO) 編(2025) 日本の温室効果ガス排出量データ

<https://www.nies.go.jp/gio/archive/ghgdata/index.html>

環境省・経済産業省、2050 年ネットゼロに向けた我が国の基本的な考え方・方向性

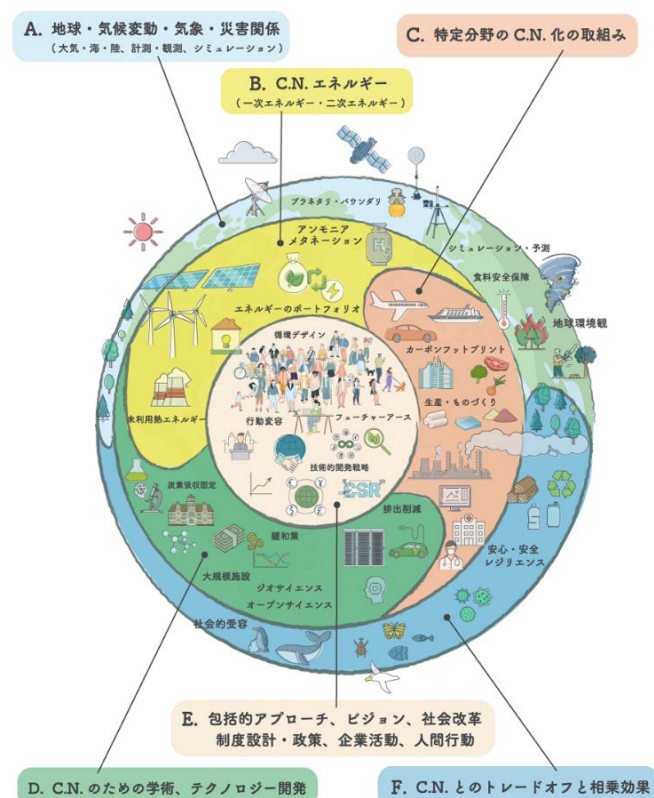
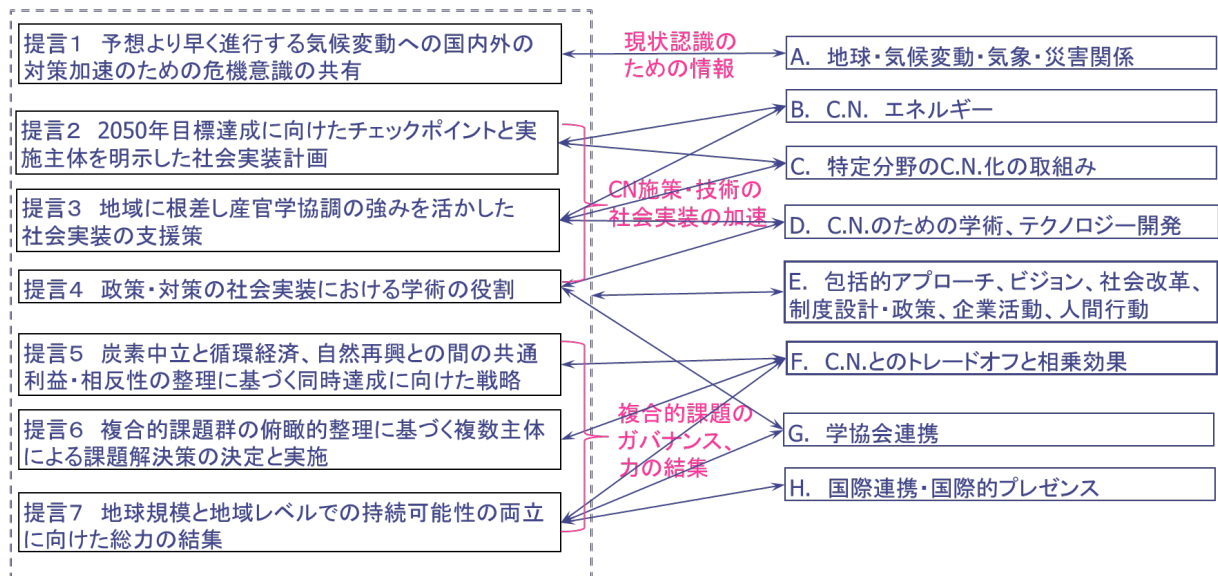
https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/sangyo_gijutsu/chikyu_kankyo/ondanka_2050/pdf/006_s01_00.pdf

を基に作成

＜参考資料２＞ 本提言と25期カーボンニュートラル連絡会議による俯瞰図との関係

本提言の項目（全体として25期のE.包括性およびF.トレードオフと相乗効果を重視）

25期C.N.連絡会議による俯瞰図の項目



出典：日本学術会議カーボンニュートラル（ネットゼロ）に関する連絡会議ウェブサイト
https://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/carbon_n/index.html

＜参考資料３＞ 審議経過

令和 6 年

6 月 21 日

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 1 回）

- 1) 委員会設置の趣旨説明
- 2) 委員自己紹介
- 3) 委員長の選出、副委員長・幹事の指名と承認
- 4) 委員会の進め方

7 月 23 日

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 2 回）

- 1) 第 1 回委員会の議事要旨確認
- 2) 委員の追加について
- 3) 委員会の進め方
- 4) 第 1 回委員会での委員からの意見等に基づく論点整理

8 月 21 日

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 3 回）

- 1) 第 2 回議事要旨の確認
- 2) 参考人からの意見聴取（山末 英嗣 立命館大学理工学部機械工学科教授）
- 3) 第 2 回までの意見に基づく論点整理
- 4) 意思の表出に向けたまとめ方のイメージ
- 5) 今後の進め方

9 月 19 日

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 4 回）

- 1) 第 3 回委員会の議事要旨確認
- 2) 化学工学分野の取り組み（辻委員、北川委員、松方委員）
- 3) 第 3 回までの意見に基づく論点整理
- 4) 意思の表出に向けたまとめ方の方向性
- 5) 今後の進め方

10 月 29 日

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 5 回）

- 1) 説明者からの意見聴取（田辺 新一 早稲田大学創造理工学部建築学科教授）
- 2) 第 4 回議事要旨の確認
- 3) 第 4 回までの意見に基づく論点整理
- 4) 意思の表出に向けたまとめ方の方向性

- 5) 今後の進め方
- 11 月 27 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 6 回）
- 1) 第 5 回議事要旨の確認
 - 2) 第 5 回までの意見、関連分科会との意見交換等に基づく論点整理
 - 3) 意思の表出に向けたまとめ方の方向性
 - 4) 学術フォーラムの開催企画について
 - 5) 今後の進め方、スケジュール
- 12 月 19 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 7 回）
- 1) 説明者からの意見聴取（杉山 正和 東京大学先端科学技術研究センター所長・教授）
 - 2) 第 6 回議事要旨の確認
 - 3) 第 6 回までの意見、関連分科会との意見交換等に基づく論点整理
 - 4) 意思の表出の申出書と骨子案について
 - 5) 学術フォーラムの開催企画について
 - 6) 今後の進め方、スケジュール
- 令和 7 年
- 1 月 29 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 8 回）
- 1) 第 7 回議事要旨の確認
 - 2) 第 7 回までの意見、関連分科会、専門家との意見交換等に基づく論点整理
 - 3) 意思の表出の申出書・骨子の提出について
 - 4) 学術フォーラムの開催企画について
 - 5) 提言本文作成のスケジュール、今後の進め方
- 2 月 21 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 9 回）
- 1) 第 8 回議事要旨の確認
 - 2) 第 8 回までの意見、関連分科会、専門家との意見交換等に基づく論点整理
 - 3) 提言の骨子とメッセージの構成案について
 - 4) 学術フォーラムの開催について
 - 5) 提言本文作成のスケジュール、今後の進め方
- 3 月 26 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 10 回）

- 1) 第 9 回議事要旨の確認
 - 2) 学術フォーラムの開催結果
 - 3) 第 9 回までの意見、学術フォーラムの場を含む関連分
科会や専門家との意見交換等に基づく論点整理
 - 4) メッセージの構成案および提言本文の構成案について
 - 5) 提言本文作成のスケジュール、今後の進め方
- 4 月 16 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 11 回）
- 1) 第 10 回議事要旨の確認
 - 2) 第 10 回までの意見等に基づく論点整理
 - 3) メッセージの構成案、提言本文の構成案および草案について
 - 4) 提言本文作成のスケジュール、今後の進め方
 - 5) 分野別委員会が企画した公開シンポジウムの合同主催について
- 5 月 20 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 12 回）
- 1) カーボンニュートラル連絡会議との意見交換(注)
- (注) 意見交換は 5 月 15 日、21 日を含め計 3 回実施
- 5 月 22 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 13 回）
- 1) 前回までの議事要旨の確認
 - 2) カーボンニュートラル連絡会議との意見交換について
 - 3) 提言本文の草案について
 - 4) 今後の進め方
- 7 月 17 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 14 回）
- 1) 前回までの議事要旨の確認
 - 2) 前回委員会以降の提言案の主な修正事項の報告
 - 3) 査読意見への対応と公表に向けた準備
- 8 月 20 日 循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第 15 回）
- 1) 前回議事要旨の確認
 - 2) 関連する公開シンポジウム等の開催状況
 - 3) 査読意見への対応について
 - 4) 公表時及び公表後のフォローアップに向けた準備について

9月11日

循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会（第16回）

- 1) 前回議事要旨の確認
- 2) 査読意見に対する修正について
- 3) 公表に向けた準備について
- 4) 学術フォーラムの提案等のフォローアップについて

＜参考資料４＞ 学術フォーラム開催

1 名称：循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行

2 日本学術会議以外の共同主催団体等：無し

3 開催日時：令和 7 年 3 月 12 日（水）13:00～17:35

4 開催場所：日本学術会議講堂＋Youtube 配信

5 開催趣旨：

カーボンニュートラル（炭素中立）の実現には、あらゆる部門での排出削減と広範な削減策の導入が必要である。同時に、炭素中立はどのような社会・経済の上に実現し得るのか、自然資本の回復を含む循環型で持続可能な社会のビジョンをいかに作り上げ、共有していくか、それに必要な課題は何かなど、学術の観点から検討すべき課題は多い。

こうした課題の明確化には、中長期的な視点を持って自然科学、人文科学、社会科学を含む学術の諸分野が協働し、包括的で俯瞰的な検討を進めていく必要があり、日本学術会議にはその役割を果たすことが期待されている。そこで第 26 期課題別委員会「循環経済を活かし自然再興と調和する炭素中立社会への移行に関する検討委員会」が中心となり、2050 年炭素中立の実現という喫緊の課題に対応することに焦点を置きつつ、循環型で自然資本を持続可能に活用する社会を構築するための検討を進めてきた。得られた知見は、意思の表出として政策決定者のみならず広く社会に発信する予定である。

この学術フォーラムは、学術、行政、産業界を含む幅広い視点から議論を深め、より総合的・俯瞰的な見地にに基づき最新の知見を取りまとめる機会として開催する。

6 参加人数：

講演者等：11 名 現地一般参加者：18 名

その他の参加者：最大同時視聴者数 197 名