

分野横断型気候シナリオ研究：過去，現在，未来

杉 山 昌 広^{*1}・筒 井 純 一^{*2}・高 橋 潔^{*3}

要 旨

長期の気候変動問題の評価では、不確実な将来を分析するツールであるシナリオが中心的な役割を果たす。シナリオは気候変動自体やその影響と適応、緩和策を分析するために分野横断的に研究され、気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の評価報告書でも重視されてきた。最近では企業や自治体などのステークホルダーからもシナリオへの関心が高まっている。本稿では IPCC 報告書で中心的に扱われてきた代表的濃度経路 (RCP) と共通社会経済経路 (SSP) の枠組みを振り返り、現状と今後の課題の整理を行う。日本ではオープン・ソースへの対応、ステークホルダーとの協業、人材育成、省庁横断的なファンディングなどの課題がある。

1. はじめに

気候変動は持続可能性に関する最大の課題の一つであるが、その特質の一つに長期性がある。温室効果ガスの大気滞留時間は数百年のオーダーであり、現在の政策対応が長期に渡って影響を及ぼす。そのため、長期の気候変動自体および気候政策 (緩和策・適応策) を評価するためには、不確実な将来を分析するツールであるシナリオが中心的な役割を果たす^[注1]。超長期に渡る社会経済を含むシステムの未来については、そのシステムの複雑性ゆえに予測や予報は成立しない。そのため、現在の対応や政策の検討の際に、様々な未来像としてナラティブ (ストーリー) が設定され、それを気候モデルや統合評価モデル、影響評価モデルといった数理モデルで定量化した定量的シナリオが用いられる (Parson 2008)。

ここでいうシナリオとは、一定の蓋然性がある一貫

した (矛盾のない) 未来の描写である。気候科学の観点からは温室効果ガスやエアロゾルの排出量、土地利用変化などに焦点があたるが、その裏には社会や経済の発展の仕方 (持続可能性の進展、地政学的対立の変化、人口動態、新興国・発展途上国の経済発展) を記述したナラティブとそれを定量化したデータがあり、さらに技術イノベーションなどの仮定も含む。社会経済の情報は、影響評価と緩和策評価では必須となる。このようにシナリオは統合的観点で捉えるべきもので、社会経済や政治の大きな不確実性を含む。このため、気候シナリオは予報や (通常の意味での) 予測としては扱えないことに注意されたい^[注2]。

シナリオは、気候変動に関する政府間パネル (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) による科学アセスメントに取り入れられ、国連気候変動枠組条約の取り組みでも参照されてきた (Moss *et al.* 2010 ; O'Neill *et al.* 2020 ; UNFCCC 2022)。近年では国際交渉や国レベルでの政策立案のみならず、企業の温暖化対策立案や自治体の対策の検討の際にも用いられ、多様なステークホルダーが関心を持ち始めている (O'Neill *et al.* 2020)。この背景には、様々なビジネス分野で気候リスクの情報開示が求められ、その方法にシナリオ分析が採用されている (Task force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) 2017) こ

^{*1} (連絡責任著者) 東京大学未来ビジョン研究センター。
masahiro_sugiyama@alum.mit.edu/
masahiro@ifi.u-tokyo.ac.jp

^{*2} 電力中央研究所。

^{*3} 国立環境研究所。

—2023年1月17日受領—

—2023年9月4日受理—

とが挙げられる。

IPCC では、第 6 次評価報告書 (6th Assessment Report, AR6) のサイクルが、2023 年 3 月の統合報告書公表をもって完了し、シナリオに関する振り返りのワークショップも開催された (第 1 表)。日本では、2021 年 3 月改正の地球温暖化対策推進法で正味排出量ゼロ (ネット・ゼロ、政府の用語では「カーボンニュートラル」) の脱炭素社会の実現を旨とする基本理念が法律に書き込まれ、2018 年 6 月公布の気候変動適応法の下で適応策の取り組みが進んでいる。こうした中、日本のシナリオ研究についてレビューし、日本のコミュニティ間のやり取りやシナリオ研究自体についても振り返り、今後の方針を考えることは有意義であろう。本稿は IPCC の新シナリオ・プロセスを起点として始まった分野横断的なシナリオ研究を、国際・国内の動向の観点からレビューし、今後の研究の在り方について報告する。

なお、IPCC の第 1 作業部会 (WG1) および第 2 作業部会 (WG2) に相当する研究者コミュニティと自治体や企業などの利用者との共創については高数ほか (2021) がまとめている。

本稿の構成は以下の通りである。第 2 節では IPCC の AR6 までのシナリオ研究を簡単に振り返る。第 3 節ではシナリオ研究を取り巻くトレンドを検討し、シナリオ研究にまつわる課題をいくつか抽出する。第 4 節では今後の課題をまとめる。

2. 分野横断型シナリオ研究の発展と新シナリオ・プロセスの概観

気候変動に関するシナリオ研究は温室効果ガス排出量、炭素循環、気候感度、地域的な気温上昇、またその気候影響まで広範な分野にまたがる。IPCC でも WG1, WG2, 第 3 作業部会 (WG3) の研究コミュニティが協力し、総合的な分析を行ってきた (第 2 表)。分野間の協力ではシナリオが共通の研究基盤となる。

シナリオとして扱われる要素は、様々な政策のもとでの将来の二酸化炭素などの温室効果ガス (GHG) の排出量、その際の気温上昇といった気候変動自体の計算、またこれに伴う水循環の変化や水資源の変化、食料生産の変化といった様々な気候影響の計算から、政策による気候変動影響の低減の効果、またそれを踏まえての実際の適応策の立案など実に多岐にわたる。

研究基盤としてのシナリオには不確実性の分析ツールとしての側面があり、様々な不確実性を扱う共通の枠組みとなっている。核となるのは各種のモデル相互比較プロジェクト (Model Intercomparison Project: MIP) であり、そこで算出される多数のシナリオに前提条件や数理モデルの違いが反映される (鬼頭 2013)。

IPCC では SA90 (1990 IPCC scenario A), IS92 (1992 IPCC scenarios) や SRES (Special Report on Emissions Scenarios) (森田・増井 2000; Naikicenovic *et al.* 2000) のように、時代に応じて様々なシナリオが用いられてきた (Moss *et al.* 2010)。特に 2000 年に登場した SRES シナリオは、IPCC の複数の評価報告書において重要な役割を果たしてきた。しかし、同時に様々な問題が認識されるようになった。シナリオの様々な要素は、各作業部会を代表する研究コミュニティの間で入出力データとして交換される。このため、情報交換の流れで下流に位置する影響評価のコミュニティは情報遅延の影響を受ける。上流側の情報も、排出シナリオの基準年など、現実の変化に対応して適切に更新する必要がある。さらに、放射強制力や気候情報だけでなく社会経済指標も考慮した上での影響評価など、より統合的にシナリオを扱う必要性も認識されるようになった (藤森ほか 2015)。

こうした問題認識の下、2007 年に IPCC 第 4 次評価報告書が公表された後、シナリオ作りの主体が IPCC から研究コミュニティに移り、IPCC がシナリオ作りを促す (catalyze) 形で、包括的なシナリオの分析の仕方が新たに議論されるようになった (Moss *et al.*

第 1 表 気候変動シナリオ研究に関連する研究コミュニティやプロジェクトと IPCC の作業部会との対応。コミュニティについては Moss *et al.* (2010) が用いた呼称をもとに一部改変した。

作業部会	コミュニティやモデル	国際プロジェクトやコンソーシアムの例
WG1	地球システムモデル (ESM)	結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP)
WG2	影響・適応・脆弱性 (IAV)	部門横断型影響モデル相互比較プロジェクト (ISIMIP)
WG3	統合評価モデル (IAM)	統合評価モデリング・コンソーシアム (IAMC)

2010). そこでは，様々な分野の研究者が参画する International Committee on New Integrated Climate Change Assessment Scenarios (ICONICS) が創設され (<https://depts.washington.edu/iconics/> 2023.9.4 閲覧，以下の web アドレスも同様)，IPCC の作業部会に対応する気候モデリング (Earth system modeling, ESM, WG1)，影響評価 (impact-analysis-vulnerability, IAV, WG2)，緩和 (integrated assessment modeling, IAM, WG3) の成果を整合的かつ素早く提供する

方針が打ち出された (著者の高橋は ICONICS の科学委員として参画している)。

その結果は RCP (Representative Concentration Pathways, 代表的濃度経路) や SSP (Shared Socio-economic Pathways, 共通社会経済経路) (O'Neill *et al.* 2014; 筒井 2016; 藤森ほか 2015)，CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) における Scenario-MIP, ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) でのデータ活用などに結実し，

第2表 シナリオに関連する IPCC や国内外の研究・政策動向のまとめ (Moss *et al.* (2010) および筆者らの情報による)。網羅的でないことに注意されたい。またシナリオ・イニシアティブの毎年の定期会合のようなものは省略した。日本のプロジェクトは環境省 (2020) を参考にしたが包括的でないことに注意されたい。日本国内のものには国内とするしをつけた。

年	国内	シナリオ，報告，会合，プロジェクト等
1992		IS92シナリオ公表 (90年代にわたって気温予測，影響評価，緩和分析で活用) 気候変動枠組条約が国連で採択
1997		京都議定書が国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) の第3回締約国会議 (COP3) において採択
1999		SRES シナリオ公表 (2000年代にわたって気温予測，影響評価，緩和分析で活用)
2005		IPCC シナリオ専門家ワークショップで排出シナリオに関する AR4へのインプット (Davidson and Metz 2005)
2007		IPCC の新シナリオ・ワークショップで並列方式の提案 (Moss <i>et al.</i> 2008) IPCC AR4公表
2010		2007年のワークショップをまとめた Nature の論考 (Moss <i>et al.</i> 2010) が公表される IPCC Workshop on Socioeconomic Scenarios (WoSES) で RCP, SSP, SPA などが深められる
2011		代表的濃度経路 (RCP) の論文特集号が公表される (van Vuuren <i>et al.</i> 2011b)
2012		シナリオ・イニシアティブ発足
2013		IPCC WG1 AR5公表
2014		SSP ナラティブ論文公表 (O'Neill <i>et al.</i> 2014) IPCC WG2 & WG3 AR5公表
2015	国内 国内	UNFCCC 第21回締約国会議 (COP21) においてパリ協定採択 文部科学省 SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラム (2019年度まで) 環境省 S-14気候変動の緩和策と適応策の統合的研究 (2019年度まで)
2016		ScenarioMIP のシナリオ設計論文公表 (O'Neill <i>et al.</i> 2016)
2017	国内 国内	SSP，論文として公表 (Riahi <i>et al.</i> 2017) TCFD 最終提言報告書 (Task force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD) 2017) 文部科学省 TOUGOU 統合的気候モデル高度化研究プログラム (2021年度まで) 環境省地域適応コンソーシアム事業 (2019年度まで)
2018	国内	IPCC1.5°C特別報告書公表 気候変動適応法の公布
2019	国内	第1回 Scenarios Forum 開催 (米国・デンバー) (O'Neill <i>et al.</i> 2020) 国立環境研究所気候変動適応研究プログラム (2021年度まで)
2020	国内 国内	日本，2050年温室効果ガス正味排出ゼロ目標 環境省 S-18気候変動影響予測・適応評価の総合的研究 (2024年度まで)
2021		IPCC WG1 AR6公表
2022	国内	IPCC WG2 & WG3 AR6公表 第2回 Scenarios Forum 開催 (オーストリア・ラクセンブルク) 文部科学省気候変動予測先端研究プログラム (2026年度まで)
2023		IPCC AR6統合表報告書公表 IPCC シナリオ・ワークショップ開催 (IPCC 2023)

IPCC AR6に活用されることになった。

こうした海外の動きに呼応して，日本でも様々な研究プロジェクトにおいて分野横断型シナリオ研究が進められた。また，分野間の協力を促進する試みとして，2012年から「気候変動研究プロジェクト間のシナリオに関する協力イニシアティブ」（略称：シナリオ・イニシアティブ）が立ち上がった（筒井ほか 2016）。IPCCの作業部会に対応するESM, IAV, IAMの研究コミュニティがお互いに関連するようなトピックを持ち寄り，定期的に情報交換をし，研究分野横断的な対応の可能性について議論することとした。年に一度程度研究会を開催したり，日本地球惑星科学連合（立入ほか 2014）やエネルギー・資源学会（筒井ほか 2016）で企画セッションを開催した。

2007年以降の新しいシナリオ作りでは，従来の情報遅延や統合的視点の不足に対応するために新たなシナリオ・プロセスが提案された。そこでは，気候モデリングと緩和モデリングを並行して行うことで（いわゆる並行方式），全体的に整合を保ちつつ評価のスピードを加速することとされた（第1図）。

気候モデリングは緩和モデリングの結果を必要とするが，並行方式では最初に気候モデル計算の入力データとなる代表的濃度経路 Representative Concentration Pathways (RCPs) が作成された。RCPは放射強制力の時間変化が異なる四つの濃度シナリオから成り（van Vuuren *et al.* 2011a），RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5と命名された。RCPの後の数値は2100年頃の大まかな放射強制力（単位は W/m^2 ）を表す。これに基づき将来の気温上昇のシナリオや影響評

価がなされ，第5次評価報告書で報告された。RCPは温室効果ガス等の大気中濃度に焦点を当てているが，その算出過程で得られる各種の排出量や土地利用変化の要素も付随する。

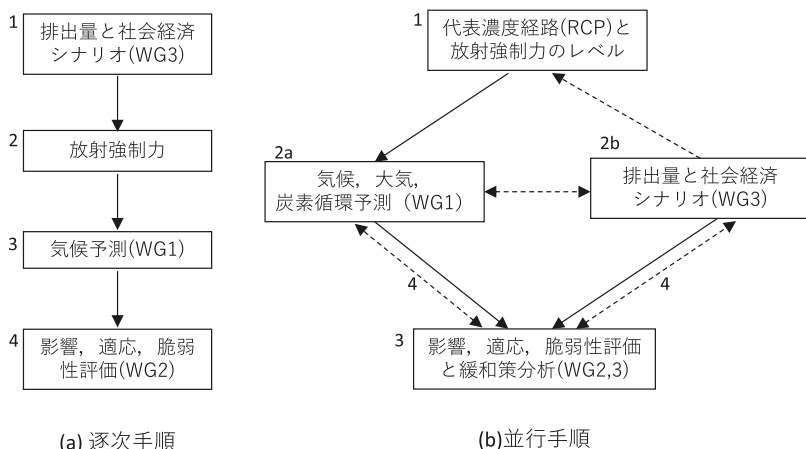
新シナリオ・プロセスでは，RCPベースの気候・影響シナリオ作りと並行して，社会経済要素のシナリオ作りが組み込まれた。RCPは CO_2 等の濃度変化に伴う放射強制力のシナリオであったが，一つの放射強制力を実現する人口動態や国内総生産（GDP），エネルギー消費といったシナリオは一意に決まらない。適応策や緩和策を評価するためにその前提となる社会経済の要素もシナリオとして扱う必要がある。そのために，緩和策の困難さや適応策の困難さについてシナリオ分析を行うことができるように，共通社会経済経路 shared socioeconomic pathways (SSPs) の研究が行われた（O'Neill *et al.* 2014；Riahi *et al.* 2017）。SSPは緩和策と適応策の困難さの度合いで次の五つが提案された（カッコ内は緩和困難度と適応困難度）。

- SSP1 持続可能（低，低）
- SSP2 中庸（中，中）
- SSP3 地域対立（高，高）
- SSP4 格差（低，高）
- SSP5 化石燃料依存型発展（高，低）

この五つのSSPは，社会経済発展の定性的なナラティブであり，それぞれで気候政策のない仮定の下で定量化されたベースラインとしてのSSPシナリオがある（SSPx-ref等と表記される）。

SSPの内容を受け，AR6に向けたCMIP Phase 6（CMIP6）の中の一つのプロジェクトとしてScenario-

MIPが行われた（O'Neill *et al.* 2016）。RCPの下での気候シナリオの前提が4通りの放射強制力に至る緩和策の一例であるのに対し，ScenarioMIPでは異なる放射強制力（RCP）に5通りのSSPが組み合わせられ，所定の放射強制力に至る緩和策に社会経済的要因の違いが反映された。RCPは従来の4通りに $1.5^{\circ}C$ の温暖化レベル（工業化前を基準とする世界平均気温の上昇量）に当たる $1.9W/m^2$ が加わった。SSPとRCPの組み合わせの



第1図 シナリオ構築プロセスの比較。Moss *et al.* (2008) の Figure1に基づく。

うち、ScenarioMIP では SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5 が第一優先 (Tier 1) とされた (第 2 図)．SSPx-y.y の表記で x が SSP の種別，y.y が RCP の放射強制力を表す．

ScenarioMIP の成果は AR6 の WG1 で広範に使われ，WG2 でも限定的ではあるが引用されるに至った．並行方式の新シナリオ作りは時間をかけて一通りのプロセスを終えた形である．

なお，SSP は地球全体のシナリオの枠組みではあるが，地域に絞ったシナリオの研究も行われており，日本では日本版 SSP も作成されている (Chen *et al.* 2020)．

ScenarioMIP は SSP-RCP の枠組みを網羅したものではない．このため AR6 では，気候の強制力と応答の関係を簡易に表現する気候モデルエミュレータを用いて，あらゆるシナリオ空間で温暖化レベルを評価する方法が使われた (Nicholls *et al.* 2021)．エミュレータには ESM のマルチモデルアンサンブルと気候感度などの知見が反映される．これは WG1 分野から WG3 分野への知見供与の方法となり，両分野の知見統合に大きく貢献した．

フルスケールの精緻な ESM とそれを補完するエミュレータという気候シナリオの基盤は，現実の気候政策の分野にも波及している．最近の注目すべき事例として，米国アカデミーズの提言 (National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2017) を受けて開発された，炭素の社会的費用 (Social Cost of Carbon, SCC) を確率論的に算定する新しい枠組みが挙げられる (Rennert *et al.* 2022)．SCC は，世界の排出量が増加する中で，1 トンの追加的な CO₂ 排出がもたらす総気候被害の正味現在価値と定義され，気候関連の政策や行動の動機付けとなる指標である．これは謂わば WG1・WG2・WG3 の知見を統合したもので，WG3 分野の多数の社会経済見通しに対する温暖化レベルを WG1 分野のエミュレータで

評価して，その結果を WG2 分野の被害関数に渡す形になっている．かつて IPCC のシナリオ枠組みは社会経済的な側面について確率的な扱いがないことに批判があったが (Morgan and Keith 2008)，こうした懸念に応えた研究も登場してきている．

なお SSP-RCP 枠組みは全ての課題に对应しているわけではないことに注意されたい．例えば情報下流にある WG2 分野への情報遅延は完全には解決していない．

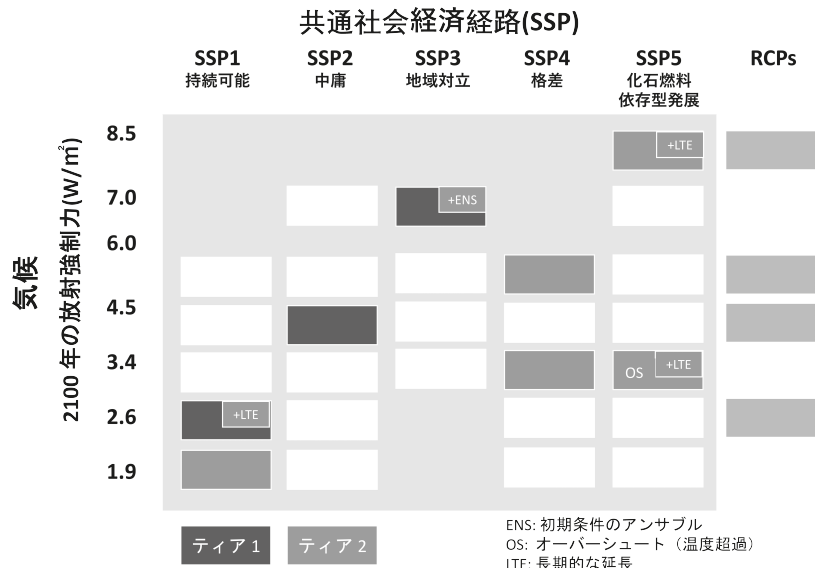
本稿投稿後に IPCC におけるシナリオについて振り返るワークショップが開催され，報告書も公表されている (IPCC 2023)．数ある SSP でも SSP2 の使用頻度が高すぎるなどの多くの課題が指摘されたが，紙幅の都合，議論は割愛する．

3. シナリオ研究のトレンドと課題

着実な進展を遂げてきた気候変動分野横断型シナリオ研究であるが，地球温暖化自体の進展や社会経済の変化などシナリオ研究を取り巻く研究も大きく変化している．ここでは幾つか主要なトレンドを取り上げて，研究課題について議論する．

3.1 科学の大型化とコンピュータ科学の活用

シナリオ研究が分野横断的になるということは，研究内容について相互乗り入れが進むということでもあり，個々のモデルが扱う範囲が大きくなることで



第 2 図 ScenarioMIP のシナリオ行列 (O'Neill *et al.* 2016; Tebaldi *et al.* 2021) に基づく．

もある。さらに上述したように気候変動だけでなく広義の持続可能性に関して重要性が高まっているため、モデルの大型化、複雑化、高解像度化が進み、また旧来の ESM, IAV, IAM をまたがった複数の種類のモデルの統合の傾向が見られる。これについては日本でも多くの取り組みが見られる。

計算機資源を伴う大型化自体は科学の進展にとって必然ではあるが、研究への参入障壁が上がるため世界的に見た時の研究機関の数や多様性が減ってしまう懸念がある。支配方程式が明確でない分野については、モデルの多様性が失われることは未来像の幅を狭める可能性もある。例えば IAM では、太陽光発電について IPCC 参加モデルの幅が狭いという批判がある (Jaxa-Rozen and Trutnevyte 2021)。

もう一つのトレンドはオープン・ソースやオープン・アクセスの流れである。幅広い学問分野で国際的に FAIR (Findable (見つけられる), Accesible (アクセスできる), Interoperable (相互運用できる), Reusable (再利用できる)) 原則 (Wilkinson *et al.* 2016) が浸透し、気候変動分野でも同様の動きが進んでいる。データについては ESM では CMIP, IAV では ISIMIP, IAM では IPCC シナリオ・データベースなどで公開され、モデルコードもオープン化が進んでいる。

ESM では米国大気研究センター (NCAR) の Community Earth System Model といったコミュニティ・モデルに加えて、米国航空宇宙局 (NASA) ゴダード宇宙研究所 (GISS) のモデルや米国海洋大気庁 (NOAA) 地球流体力学研究所 (GFDL) のモデルなどもオープン・ソース化されてきている。IAM では同じく米国の Global Change Analysis Model (GCAM) が従来からオープン・ソースで、最近では国際応用システム分析研究所 (IIASA) の MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impact) モデルやドイツ・ポツダム気候影響研究所 (PIK) の REMIND (Regional Model of Investment and Development) モデルもオープン・ソース化されている。

またオープンになっているのはモデルだけではない。一部の IPCC の報告書 (例えば 1.5°C 特別報告書のシナリオ分析, https://github.com/iiasa/ipcc_sr15_scenario_analysis や AR6 WG1 の一部, <https://github.com/IPCC-WG1>) では作図のためのコードがインターネット上のレポジトリで公開されている。これと並行してモデルの分析やビジュアライゼーションのツール

も開発されてきている。ESM では ESMValTool (Righi *et al.* 2020), IAM では Python の Pyam (Gidden and Huppmann 2019), R の Mipplot (Ju *et al.* 2021) などが挙げられる。

翻って日本のモデリングでも、ESM 用の描画・分析等のツール GTOOL (Ishiwatari *et al.* 2012) や全球水資源モデル H08 (Hanasaki *et al.* 2008a, b) (<https://h08.nies.go.jp/h08/>), 簡易気候モデル MCE (Tsutsui 2020, 2022) (<https://github.com/tsutsui1872/mce>), 影響エミュレーター (Takakura *et al.* 2021) (<https://zenodo.org/record/4692496#.Y7kWPHbP3NQ>) などの試みが見られる。ただ、海外と異なりユーザーコミュニティの広がりが限られ、また大規模なモデルについては、オープン化指向が弱いように見受けられる。オープン・ソースにはコンピュータ科学の人材確保といった資源投入が必要であり、強化が必要である。

3.2 シナリオ研究と他分野・ステークホルダーとの協力

モデルの大型化と拡張に並行して、シナリオ研究が他分野の研究者やステークホルダーと出会う機会が増えている。

シナリオ・イニシアティブが立ち上がった流れもあり、ESM, IAV, IAM の分野を横断したシナリオ研究については一定の成果が日本でも挙がっているといえる。しかし、シナリオの重要性が社会的に高まる中、より広い分野との協業が必要であろう。

例えば、シナリオ研究は緩和・適応の取り組みや金融リスクの観点で ESG (Environmental, Social and Governance) 投資や中央銀行からも参照され (富田ほか 2022), また防災と適応策の観点から国土交通省といった中央省庁や自治体、民間企業からも参照される。言い換えれば、新たなユーザーや仲介者 (コンサルティング会社など) への適切なコミュニケーションと関与が肝要になり、関連する社会科学との接点も重要になってくる。また政策におけるシナリオ研究の位置づけについても、政策科学や科学技術社会論のような観点で批判的に検討することが望まれる。

こうした点について日本のコミュニティの蓄積はさほど多くないと認めざるを得ない。前述した高数ほか (2021) などの取り組みがあるものの、IPCC などでも参照されるような (英文) 査読付き学術論文で公表される事例はさほど多くない。あくまでも 1 事例であるが、代表的な研究コミュニティとして 2022 年の Scenarios Forum を例に見ると、発表者 335 人のうち、名

前から判断した日本人は9人であり、コミュニケーションのセッションでの日本からの発表は0件であった（分野横断型に該当する実現可能性のセッションでは2人が発表）（Scenarios Forum 2022）。

シナリオ研究の政策における位置づけはたびたび批判されてきた。SSP5-8.5のように非常に大きな放射強制力は非現実的（plausible ではない）という指摘や（Pielke and Ritchie 2021）、IAM については限界があるという指摘である（Anderson and Jewell 2019）。国内ではシナリオの社会における位置づけを分析した事例は少ないが、IAMの緩和シナリオの結果を絶対的な締切として解釈する「締切主義」の横行を批判した論考がある（Asayama *et al.* 2019）。ここでいう締切主義とは、2018年に公表されたIPCCの1.5°C特別報告書の結果を「世界を救うまで（2030年までの）12年しかない」と解釈するような英Guardian紙の記事に象徴される態度を指す（Watts 2018）。批判する側、される側どちらにしても、日本の研究コミュニティも何らかの形でこうした国際的な議論により積極的に関与する必要があるだろう。

なお、メディアとの関わりの方では、2009年からの温暖化リスクメディアフォーラムで、シナリオ研究者らと報道関係者が対話する機会が続けられている（前田ほか 2010）。またシナリオ・イニシアティブでは2022年12月21日に（シナリオに限定されないが）WG1からWG3横断で、IPCC 著者とメディアとの対話集会を実施した。こうした努力は継続して行い、対話から得られた知見を形式知としてまとめて蓄積する必要があるだろう。

3.3 人材育成

分野横断的な研究の不十分さと関連するが、分野横断型シナリオ研究者の教育の不十分さも認めざるを得ない。研究面ではICONICSやScenarios Forumなどの議論の場や、各種研究プロジェクトが立ち上がっている。しかし、日本全体での博士課程学生数が2003年のピーク以降緩やかに低減している中（NISTEP 2022）、分野横断的なシナリオ研究に踏み込む博士学生は少ないという印象を著者らは持っている。これと表裏一体ではあるが、優秀な若手の人材獲得は難しいといえる。最近はシナリオ分析への社会的ニーズが高まっている。東京証券取引所のプライム市場ではTCFDにならった情報開示の方向性が示され（東京証券取引所 2021）、自治体で適応計画策定が推進されている状況にある。研究者以外のキャリアも広がる中、

人材育成が追いついていないのは非常に残念といえる。

学生側がこの分野を希望するかどうかを短期的に変えることはできないが、教育プログラムを用意する側には、いますぐにでもできることは複数ある。実際に様々な大学で気候変動関連の取り組みが強化されつつある。

大規模化と関連するが、国際的に見てモデル研究は大学以外の場所が中心になることが多い。モデル開発には専門的な研究者が集中的に時間を割く必要があるため、必然ともいえる。それでは海外ではどのように次世代を育成しているのだろうか。端的に言えば大学と国立研究所等の連携である。例えばIAMのGCAMを開発する米国パシフィックノースウェスト国立研究所（PNNL）はメリーランド大学と連携し、メリーランド大学の学生がモデルにも携わりつつ博士課程取得ができる仕組みがある。日本でも大学と研究機関との協力体制は気候モデリングでは成果がみられるが、影響・適応や緩和分野では、十分に活用されていないと思われる。

3.4 ファundingや研究に関する省庁間の連携の強化

2022年9月26日の日本経済新聞で公表された日本のエネルギー・気候変動政策に関する提案において（日本経済新聞 2022）、首相直轄の異なる省庁を統括する組織の提案があった。政策の内容だけでなく行政の体制についても言及したのが興味深い。気候変動問題とは異なる観点であるが、「環境エネルギー省」の提案もある（未来のためのエネルギー転換研究グループ 2020）。

日本では長年にわたり経済産業省と環境省の意見の違いにスポットライトがあたってきた（Sofer 2016）。この問題は目下の政策案件に限られるものではない。研究プロジェクトについても統合的な視点が求められるだろう。

例えば米国ではGlobal Change Research Program（GCRP）という省庁横断で研究をコーディネートする枠組みがある（<https://www.globalchange.gov/about>）。そこでは、日本で意見対立が多いと思われる緩和について、スタンフォード大学Energy Modeling Forum（EMF）などを通じて環境保護庁（EPA）とエネルギー省（DOE）が分析で協力することもある（Fawcett *et al.* 2014）。日本でもEMFの一プロジェクトからスピナウトした緩和策のモデル総合比較プロジェクトJMIP（Japan Model Intercomparison Project/

Platform)が進められてきたが(Sugiyama *et al.* 2021), 今のところ研究資金は環境省か民間財団に限られている。省庁間で協力する仕組みが必要ではないだろうか。

省庁間協力には国内的な理由に加えて国際的な理由もある。欧米での研究の強化もあって、欧米の研究チームがアジアに入りこんでくる例も多々見られる。研究開発費が伸び悩む中、欧米と競争し日本のプレゼンスを高めるには、日本における研究資源を統合し、世界と競争していく必要があるだろう。

4. 結語

気候変動分野横断型シナリオ研究は、IPCCのWGに対応して、ESM, IAV, IAMの研究コミュニティが連携しながら研究を進め、IPCCなどの科学アセスメントに貢献してきた。その中で日本の研究者も連携を取りながら国際的に一定のプレゼンスを示してきた。

2023年はIPCCでAR6のサイクルが終わり、次のサイクルに向けてシナリオ・ワークショップが開催された。国際的にはScenarios Forumで世界のシナリオ研究の現状の把握(ストックテイキング)を行っている。そうした意味で、シナリオ・イニシアティブのような取り組みや学会を超えた研究会などを、一定の頻度で開催し、交流を促すことは日本でも必要であるといえる。

また個々の分野でのシナリオの位置づけを分野横断的な広い視点から捉え直すことで、第3章で述べた課題の解決につながる可能性がある。例えば、今後に向けて、AR6でWG1分野からWG3分野への知見供与に使われた気候モデルエミュレータが鍵を握るかもしれない。エミュレータは大規模化したESMを補完することに加えて、様々な知見を統合する役割がある。このような情報統合に注力することは、必然的に分野横断的な人材育成と有意義な省庁間連携につながるだろう。

適応については、SSPsの地球規模での定性的なナラティブが国内での適応策評価で広く活用されるように、国内の諸条件を考慮したナラティブの地域化が必要となる。ステークホルダーが関与して、影響部門別に特有の因子をシナリオとして定量化するなど、追加的に取り組むべきこともある。いずれも国内研究コミュニティの連携により、整合性のある影響・適応のシナリオ分析の促進が期待できる。

前述の通り、シナリオ研究の社会からの認識が高まる中、コミュニケーションの役割も増すだろう。個別

の研究プロジェクトからの情報発信も重要であるが、シナリオ・イニシアティブといったコミュニティからの情報発信も有用であろう。また、様々な前提条件やインプット・パラメーターによってシナリオがどのように変化するかといった知見をステークホルダーも含めて共有するために、エミュレータのようなツールの役割も増していくだろう。

謝 辞

杉山は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20212004)およびJSPS科研費JP21H03668, JP20H04395から支援を受けた。高橋は(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20211001およびJPMEERF23S21120)から支援を受けた。また本稿の一部は文部科学省気候変動予測先端研究プログラムJPMXD0722681344から支援を受けた。

後 注

[注1] 地球温暖化問題を議論するとき、英語ではclimate change(直訳は気候変化)とclimate variabilityという二つの言葉が使われ、前者は人間活動に起因する100年スケールの長期的な気候状態の変化を意味し、後者は数年から数十年スケールの自然変動を含む様々な原因によって気候の状態が移り変わる概念を指す。本稿では前者の意味で気候変動を用いる。

[注2] 英語では未来に関するforecast, prediction, projectionが区別されて使われ、シナリオ研究はprojectionとされることもある。しかし邦訳の際にprojectionはpredictionと同様、予測とされることもある(例としてIPCC AR6 WG1 SPMの気象庁による日本語訳)。

参 考 文 献

- Anderson, K. and J. Jewell, 2019: Debating the bedrock of climate-change mitigation scenarios. *Nature*, **573**, 348–349, doi:10.1038/d41586-019-02744-9.
- Asayama, S., R. Bellamy, O. Geden, W. Pearce and M. Hulme, 2019: Why setting a climate deadline is dangerous. *Nat. Clim. Change*, **9**, 570–572, doi:10.1038/s41558-019-0543-4.
- Chen, H., K. Matsushashi, K. Takahashi, S. Fujimori, K. Honjo and K. Gomi, 2020: Adapting global shared socio-economic pathways for national scenarios in Japan. *Sustain. Sci.*, **15**, 985–1000, doi:10.1007/s11625-019-00780-y.
- Davidson, O. and B. Metz, 2005: Meeting Report of IPCC Expert Meeting on Emission Scenarios. <https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/expert-meeting-2005->

- 01.pdf (2023.9.4閲覧).
- Fawcett, A. A., L. E. Clarke and J. P. Weyant, 2014: Introduction to EMF 24. *Energy J.*, **35**, 1-7, doi:10.5547/01956574.35.SII.1.
- 藤森真一郎, 長谷川知子, 増井利彦, 高橋 潔, シェルバエラン・ディエゴ, 戴瀚程, 脇岡靖明, 甲斐沼美紀子, 2015: AIMによる新社会経済シナリオ SSPの定量化とそのシナリオの特徴. *土木学会論文集 G (環境)*, **71**, II_217-II_228, doi:10.2208/jscej.71.ii_217.
- Gidden, M. J. and D. Huppmann, 2019: pyam: a Python package for the analysis and visualization of models of the interaction of climate, human, and environmental systems. *J. Open Source Softw.*, **4**, 1095, doi:10.21105/joss.01095.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen and K. Tanaka, 2008a: An integrated model for the assessment of global water resources — Part 1: Model description and input meteorological forcing. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **12**, 1007-1025, doi:10.5194/hess-12-1007-2008.
- Hanasaki, N., S. Kanae, T. Oki, K. Masuda, K. Motoya, N. Shirakawa, Y. Shen and K. Tanaka, 2008b: An integrated model for the assessment of global water resources — Part 2: Applications and assessments. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **12**, 1027-1037, doi:10.5194/hess-12-1027-2008.
- IPCC, 2023: Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on the Use of Scenarios in the Sixth Assessment Report and Subsequent Assessments. Working Group III Technical Support Unit, Imperial College London. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2023/07/IPCC_2023_Workshop_Report_Scenarios.pdf (2023.9.4閲覧).
- Ishiwatari, M., E. Toyoda, Y. Morikawa, S. Takehiro, Y. Sasaki, S. Nishizawa, M. Odaka, N. Otake, Y. O. Takahashi, K. Nakajima, T. Horinouchi, M. Shiotani, Y.-Y. Hayashi and Gtool development group, 2012: “Gtool5”: a Fortran90 library of input/output interfaces for self-descriptive multi-dimensional numerical data. *Geosci. Model Dev.*, **5**, 449-455, doi:10.5194/gmd-5-449-2012.
- Jaxa-Rozen, M. and E. Trutnevyte, 2021: Sources of uncertainty in long-term global scenarios of solar photovoltaic technology. *Nat. Clim. Change*, **11**, 266-273, doi: 10.1038/s41558-021-00998-8.
- Ju, Y., M. Sugiyama, D. Silva Herran, J. Wang and A. Inoue, 2021: An open-source tool for visualization of climate mitigation scenarios: Mipplot. *Environ. Model. Softw.*, **139**, 105001, doi:10.1016/j.envsoft.2021.105001.
- 環境省, 2020: 気候変動影響評価報告書総説. 環境省, 73p. [https://www.env.go.jp/earth/気候変動影響評価報告書\(総説\).pdf](https://www.env.go.jp/earth/気候変動影響評価報告書(総説).pdf) (2023.9.4閲覧).
- 鬼頭昭雄, 2013: Model intercomparison projects. *天気*, **60**, 197-198.
- 前田芳恵, 三瓶由紀, 江守正多, 2010: 温暖化リスクメディアフォーラム. *天気*, **57**, 919-925.
- 未来のためのエネルギー転換研究グループ, 2020: 原発ゼロ・エネルギー転換戦略: 日本経済再生のためのエネルギー民主主義の確立へ. <http://energytransition.jp/wp-content/uploads/2020/03/ETSreport20200222.pdf> (2023.9.4閲覧).
- Morgan, M. G. and D. W. Keith, 2008: Improving the way we think about projecting future energy use and emissions of carbon dioxide. *Clim. Change*, **90**, 189-215, doi:10.1007/s10584-008-9458-1.
- 森田恒幸, 増井利彦, 2000: 2. 気候変化予測のための排出シナリオ. 日本気象学会2000年春季大会シンポジウム「21世紀の気候変化-予測とそのもたらすもの-」の報告. *天気*, **47**, 696-701.
- Moss, R., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J. F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D. van Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J. P. van Ypersele and M. Zurek, 2008: Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. IPCC, 132pp.
- Moss, R. H., J. A. Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant and T. J. Wilbanks, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, **463**, 747-756, doi:10.1038/nature08823.
- Naikićenović, N., J. Alcamo, G. Davis, B. de Vries, J. Fenhann, S. Gaffin, K. Gregory, A. Grübler, T. Y. Jung, T. Kram, E. L. La Rovere, L. Michaelis, S. Mori, T. Morita, W. Pepper, H. Pitcher, L. Price, K. Riahi, A. Roehrl, H.-H. Rogner, A. Sankovski, M. Schlesinger, P. Shukla, S. Smith, R. Swart, S. van Rooijen, N. Victor and Z. Dadi, 2000: Special Report on Emissions Scenarios. IPCC, Cambridge Univ. Press, 608pp.
- National Academies of Sciences, Engineering and Medicine, 2017: Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide. Natl. Acad. Press, 280pp, doi:10.17226/24651.

- Nicholls, Z. R. J., M. Meinshausen, P. Forster, K. Amour, T. Berntsen, W. Collins, C. Jones, J. Lewis, J. Marotzke, S. Milinski, J. Rogelj and C. Smith, 2021: Physical emulation of earth system models for scenario classification and knowledge integration in AR6. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (V. Masson-Delmotte et al., Eds.), Cambridge Univ. Press, 962-967.
- 日本経済新聞, 2022: 脱炭素・エネルギー安定へ総力戦で挑め 本社提言全文. 日本経済新聞, [https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA093HW0Z00C22A9000000/\(2023.9.4閲覧\)](https://www.nikkei.com/article/DGXZQOUA093HW0Z00C22A9000000/(2023.9.4閲覧)).
- NISTEP, 2022: 3.2高等教育機関の学生の状況. 科学技術指標2022, https://www.nistep.go.jp/sti_indicator/2022/RM318_32.html (2023.9.4閲覧).
- O'Neill, B. C., E. Kriegler, K. Riahi, K. L. Ebi, S. Hallegatte, T. R. Carter, R. Mathur and D. P. van Vuuren, 2014: A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways. *Clim. Change*, **122**, 387-400, doi:10.1007/s10584-013-0905-2.
- O'Neill, B. C., C. Tebaldi, D. P. van Vuuren, V. Eyring, P. Fridelings, G. Hurtt, R. Knutti, E. Kriegler, J.-F. Lamarque, J. Lowe, G. A. Meehl, R. Moss, K. Riahi and B. M. Sanderson, 2016: The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.*, **9**, 3461-3482, doi:10.5194/gmd-9-3461-2016.
- O'Neill, B. C., T. R. Carter, K. Ebi, P. A. Harrison, E. Kemp-Benedict, K. Kok, E. Kriegler, B. L. Preston, K. Riahi, J. Sillmann, B. J. van Ruijven, D. van Vuuren, D. Carlisle, C. Conde, J. Fuglestad, C. Green, T. Hasegawa, J. Leininger, S. Monteith and R. Pichs-Madruga, 2020: Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nat. Clim. Change*, **10**, 1074-1084, doi:10.1038/s41558-020-00952-0.
- Parson, E. A., 2008: Useful global-change scenarios: current issues and challenges. *Environ. Res. Lett.*, **3**, 045016, doi:10.1088/1748-9326/3/4/045016.
- Pielke Jr., R. and J. Ritchie, 2021: Distorting the view of our climate future: The misuse and abuse of climate pathways and scenarios. *Energy Res. Soc. Sci.*, **72**, 101890, doi:10.1016/j.erss.2020.101890.
- Rennert, K., F. Erickson, B. C. Prest, L. Rennels, R. G. Newell, W. Pizer, C. Kingdon, J. Wingenroth, R. Cooke, B. Parthum, D. Smith, K. Cromar, D. Diaz, F. C. Moore, U. K. Müller, R. J. Plevin, A. E. Raftery, H. Ševčíková, H. Sheets, J. H. Stock, T. Tan, M. Watson, T. E. Wong and D. Anthoff, 2022: Comprehensive evidence implies a higher social cost of CO₂. *Nature*, **610**, 687-692, doi:10.1038/s41586-022-05224-9.
- Riahi, K., D. P. van Vuuren, E. Kriegler, J. Edmonds, B. C. O'Neill, S. Fujimori, N. Bauer, K. Calvin, R. Dellink, O. Fricko, W. Lutz, A. Popp, J. C. Cuaserna, S. KC, M. Leimbach, L. Jiang, T. Kram, S. Rao, J. Emmerling, K. Ebi, T. Hasegawa, P. Havlik, F. Humpenöder, L. A. Da Silva, S. Smith, E. Stehfest, V. Bosetti, J. Eom, D. Gernaat, T. Masui, J. Rogelj, J. Streffer, L. Drouet, V. Krey, G. Luderer, M. Harmsen, K. Takahashi, L. Baumstark, J. C. Doelman, M. Kainuma, Z. Klimont, G. Marangoni, H. Lotze-Campen, M. Obersteiner, A. Tabeau and M. Tavoni, 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Glob. Environ. Change*, **42**, 153-168, doi:10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009.
- Righi, M., B. Andela, V. Eyring, A. Lauer, V. Predoi, M. Schlund, J. Vegas-Regidor, L. Bock, B. Brötz, L. de Mora, F. Diblen, L. Dreyer, N. Drost, P. Earnshaw, B. Hassler, N. Koldunov, B. Little, S. L. Tomas and K. Zimmermann, 2020: Earth System Model Evaluation Tool (ESMValTool) v2.0 — technical overview. *Geosci. Model Dev.*, **13**, 1179-1199, doi:10.5194/gmd-13-1179-2020.
- Scenarios Forum, 2022: Scenarios Forum 2022 Program. https://scenariosforum.org/wp-content/uploads/sites/3/2022/06/SF22_Agenda.pdf (2023.9.4閲覧).
- Sofer, K., 2016: Climate Politics in Japan: The impacts of public opinion, bureaucratic rivalries, and interest groups on Japan's environmental agenda. *Sasakawa Peace Foundation USA*, <https://spfusa.org/wp-content/uploads/2016/05/Sofer-Climate-Politics-in-Japan.pdf> (2023.9.4閲覧).
- Sugiyama, M., S. Fujimori, K. Wada, K. Oshiro, E. Kato, R. Komiyama, D. Silva Herran, Y. Matsuo, H. Shiraki and Y. Ju, 2021: EMF 35 JIMP study for Japan's long-term climate and energy policy: scenario designs and key findings. *Sustain. Sci.*, **16**, 355-374, doi:10.1007/s11625-021-00913-2.
- 立入 郁, 河宮未知生, 筒井純一, 2014: 分野横断の連携による総合的な地球温暖化研究に向けて. <https://www2.jpgu.org/meeting/2014/session/M-IS31.html> (2023.9.4閲覧).
- Takakura, J., S. Fujimori, K. Takahashi, N. Hanasaki, T. Hasegawa, Y. Hirabayashi, Y. Honda, T. Iizumi, C. Park, M. Tamura and Y. Hijioka, 2021: Reproducing complex simulations of economic impacts of climate change with lower-cost emulators. *Geosci. Model Dev.*, **14**, 3121-3140, doi:10.5194/gmd-14-3121-2021.
- 高薮 出, 花崎直太, 塩塚秀夫, 石川洋一, 江守正多, 嶋田知英, 杉崎宏哉, 高橋 潔, 仲江川敏之, 中北英一, 西森基貴, 橋爪真弘, 初鹿宏壮, 松井哲哉, 山野博哉,

- 横木裕宗, 渡部雅浩, 2021: 気候変動の予測情報を利用者まで届けるには. 水文・水資源学会誌, **34**, 377-385, doi:10.3178/jjshwr.34.377.
- Task force on Climate-related Financial Disclosures (TCFD), 2017: Final report: Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures, <https://assets.bbhub.io/company/sites/60/2020/10/FINAL-2017-TCFD-Report-11052018.pdf> (2023.9.4閲覧).
- Tebaldi, C., K. Debeire, V. Eyring, E. Fischer, J. Fyfe, P. Friedlingstein, R. Knutti, J. Lowe, B. O'Neill, B. Sander-son, D. van Vuuren, K. Riahi, M. Meinshausen, Z. Nicholls, K. B. Tokarska, G. Hurtt, E. Kriegler, J.-F. Lamarque, G. Meehl, R. Moss, S. E. Bauer, O. Boucher, V. Brovkin, Y.-H. Byun, M. Dix, S. Gualdi, H. Guo, J. G. John, S. Kharin, Y. Kim, T. Koshiro, L. Ma, D. Olivie, S. Panickal, F. Qiao, X. Rong, N. Rosenbloom, M. Schupf-ner, R. Séférian, A. Sellar, T. Semmler, X. Shi, Z. Song, C. Steger, R. Stouffer, N. Swart, K. Tachiiri, Q. Tang, H. Tatebe, A. Voldoire, E. Volodin, K. Wyser, X. Xin, S. Yang, Y. Yu and T. Ziehn, 2021: Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth Syst. Dyn.*, **12**, 253-293, doi:10.5194/esd-12-253-2021.
- 東京証券取引所, 2021: コーポレートガバナンス・コードへ会社の持続的な成長と中長期的な企業価値の向上のために. <https://www.jpex.co.jp/equities/listing/cg/tvdivq0000008jdy-att/nlsgeu0000051nul.pdf> (2023.9.4閲覧).
- 富田基史, 坂本将吾, 筒井純一, 上野貴弘, 2022: 気候変動関連リスクに係るシナリオ分析に関する調査. 一般財団法人電力中央研究所. <https://www.fsa.go.jp/common/about/research/20220412/01.pdf> (2023.9.4閲覧).
- 筒井純一, 2016: 共有社会経済パス (Shared Socioeconomic Pathways, SSP). *天気*, **63**, 575-577.
- Tsutsui, J., 2020: Diagnosing transient response to CO₂ forcing in coupled atmosphere-ocean model experiments using a climate model emulator. *Geophys. Res. Lett.*, **47**, e2019GL085844, doi:10.1029/2019GL085844.
- Tsutsui, J., 2022: Minimal CMIP Emulator (MCE v1.2): a new simplified method for probabilistic climate projec-tions. *Geosci. Model Dev.*, **15**, 951-970, doi:10.5194/gmd-15-951-2022.
- 筒井純一, 杉山昌広, 立入 郁, 黒沢厚志, 森 俊介, 2016: シナリオ・イニシアティブと温暖化シナリオ: パイオマス・土地利用にフォーカスして. 第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, 459-464.
- UNFCCC, 2022: Nationally Determined Contributions under the Paris Agreement: Synthesis Report by the Secretariat. United Nations Framework Convention on Climate Change, 47pp.
- van Vuuren, D. P., J. A. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. J. Smith and S. K. Rose, 2011a: The representative concentration pathways: an overview. *Clim. Change*, **109**, 5-31, doi:10.1007/s10584-011-0148-z.
- van Vuuren, D. P., J. A. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi and J. Weyant, 2011b: A special issue on the RCPs. *Clim. Change*, **109**, 1-4, doi:10.1007/s10584-011-0157-y.
- Watts, J., 2018: We have 12 years to limit climate change catastrophe, warns UN. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/environment/2018/oct/08/global-warming-must-not-exceed-15c-warns-landmark-un-report> (2023.9.4閲覧).
- Wilkinson, M. D., M. Dumontier, I. J. Aalbersberg, G. Appleton, M. Axton, A. Baak, N. Blomberg, J.-W. Boiten, L. B. da Silva Santos, P. E. Bourne, J. Bouwman, A. J. Brookes, T. Clark, M. Crosas, I. Dillo, O. Dumon, S. Edmunds, C. T. Evelo, R. Finkers, A. Gonzalez-Beltran, A. J. G. Gray, P. Groth, C. Goble, J. S. Grethe, J. Heringa, P. A. C.'t Hoen, R. Hooft, T. Kuhn, R. Kok, J. Kok, S. J. Lusher, M. E. Martone, A. Mons, A. L. Packer, B. Persson, P. Rocca-Serra, M. Roos, R. van Schaik, S.-A. Sansone, E. Schultes, T. Sengstag, T. Slater, G. Strawn, M. A. Swertz, M. Thompson, J. van der Lei, E. van Mulligen, J. Velterop, A. Waagmeester, P. Wittenburg, K. Wolstencroft, J. Zhao and B. Mons, 2016: The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship. *Sci. Data*, **3**, 160018, doi:10.1038/sdata.2016.18.

Interdisciplinary Climate Scenario Research in Japan: Past, Present, and Future

Masahiro SUGIYAMA^{*1}, Junichi TSUTSUI^{*2} and Kiyoshi TAKAHASHI^{*3}

^{*1} (*Corresponding author*) *Institute for Future Initiatives, The University of Tokyo.*

masahiro_sugiyama@alum.mit.edu / masahiro@ifi.u-tokyo.ac.jp

^{*2} *Central Research Institute of Electric Power Industry.*

^{*3} *National Institute for Environmental Studies.*

(Received 17 January 2023; Accepted 4 September 2023)

Abstract

Scenarios, a tool for analyzing uncertain futures, play a central role in assessing long-term climate change issues. Interdisciplinary scenario studies have been conducted to evaluate future climate change, possible impacts and adaptation, and mitigation, and these strands of research have been the core of assessment reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Recently, interest in scenarios has been growing also among stakeholders such as companies and local governments. Here, we review the framework of the Representative Concentration Pathways (RCPs) and Shared Socioeconomic Pathways (SSPs), which have been the main focus of the IPCC reports, and summarize the current status and future issues. In Japan, there are issues to be addressed, such as making models open-source, collaboration with stakeholders, human resource development, and inter-agency funding.
