

基礎研 レター

シナリオから見た気候変動問題

気候変動のシナリオ数は増加を続けている

保険研究部 主席研究員 篠原 拓也
(03)3512-1823 tshino@nli-research.co.jp

1—はじめに

気候変動問題への注目度が高まりつつある。現在、国内外のさまざまな研究機関、組織で気候変動の影響調査や対応策の検討が進められている。特に、気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)は30年以上、この問題に関する国際的な議論をリードしてきた。

IPCCは、これまで数年ごとに、議論の内容を評価報告書の形に取りまとめて公表してきた。直近では、昨年から今年にかけて第6次評価報告書の公表が3つの作業部会で完了しており、今年9月にはそれらをもとにした2022年版の統合報告書が公表される予定となっている。

報告書では、毎回、気候変動の見通しについて、複数のシナリオが示されてきた。それらのシナリオには、気候変動問題に対するそのときどきの考え方が映し出されている。本稿では、これまでのIPCCのシナリオの変遷をみることを通じて、この30年あまりの気候変動問題を振り返ることとしたい。

2—IPCC

まず、シナリオに入る前に、IPCCとこれまでに公表された報告書の概要について見ておこう。

1 | IPCCは気候変動に関する科学的知見の評価を提供する

IPCCは、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)によって1988年に設立された政府間組織だ。2021年8月現在、195の国と地域が参加している。IPCCの目的は、各国政府の気候変動に関する政策に科学的な基礎を与えることとされている。世界中の科学者の協力を得て、出版された文献や科学誌に掲載された論文等に基づいて、定期的に報告書を作成し、気候変動に関する最新の科学的知見の評価を提供している。2007年には、気候変動問題に関する活動を受賞理由として、ノーベル平和賞を受賞している¹。

2 | IPCCには3つの作業部会がある

¹ 地球温暖化への警鐘を鳴らしたことなどの功績により、元アメリカ副大統領のアル・ゴア氏とともに受賞。

IPCCには、3つの作業部会と1つのインベントリータスクフォースが置かれている。第1作業部会(WG1)は、気候システムと気候変動の自然科学的根拠についての評価。第2作業部会(WG2)は、気候変動に対する社会経済と自然システムの脆弱性、気候変動がもたらす好影響・悪影響、気候変動への適応のオプションについての評価。第3作業部会(WG3)は、温室効果ガスの排出削減など気候変動の緩和のオプションについての評価を、それぞれ行う。また、インベントリータスクフォース(TFI)は、温室効果ガスの国別排出目録(インベントリー)作成手法の策定や普及などの役割を担っている。²

日本では、WG1は気象庁(国土交通省)、WG2は環境省、WG3は経済産業省が担当している³。

3 | IPCCは数年ごとに報告書を公表してきた

IPCCは、これまでに第1次から第5次の評価報告書、統合報告書を公表してきた。現在は、第6次評価の途中段階にある。第1次評価報告書は1990年に公表されたが、その後1992年に内容の増補が行われている。またこれらとは別に、IPCCはタイムリーに特別報告書の公表も行っている。⁴

図表 1. IPCCの評価報告書、統合報告書

報告書	公表時期	概要
第1次評価 (FAR)	1990年	気候変動が地球規模の影響をもたらす、国際協力を必要とする課題として重要であることを強調。地球温暖化を減らし、気候変動の結果に対処するための主要な国際条約である「国連気候変動枠組条約(UNFCCC)」の創設において決定的な役割を果たした。
	(増補) 1992年	FARのシナリオ等を増補した。
第2次評価 (SAR)	1995年	1997年の京都議定書の採択に向けて政府の決定を引き出す重要な資料を提供した。
第3次評価 (TAR)	2001年	気候変動の影響と適応の必要性に焦点を当てた。
第4次評価 (AR4)	2007年	温暖化を2°Cに制限することに焦点を当てるポスト京都議定書の基礎を築いた。
第5次評価 (AR5)	2013-14年	パリ協定への科学的インプットを提供した。
第6次評価 (AR6)	2021-22年	パリ協定の下で要請された「1.5°C特別報告書」、「土地関係特別報告書」、「海洋・雪氷圏特別報告書」の公表を経て、続く年の、世界的な実績調査に間に合うように、2022年に最終公表される予定。

※ “About History of the IPCC” (IPCCのHP, <https://www.ipcc.ch/about/history/>) をもとに、筆者作成

3—各報告書でのシナリオ

本章では、報告書ごとのシナリオを見ていこう。

1 | FAR: 4つのシナリオを設定

FARでは、気候変動が地球規模の影響をもたらす、国際協力を必要とする課題であることが強調された。そこでは、4つのシナリオが示された。温室効果ガスの排出が続く「従来通り (business as usual)」のケースをシナリオAとし、排出量を削減した場合のシナリオB~Dが設定された。各シナリオは、放射強制力 (radiative forcing) の増加により定量的に表示された。ここで、放射強制力とは、二酸化炭素やエアロゾルの濃度の変化など、何らかの要因により地球気候系に変化が起こったときに、その要因が引き起こす放射エネルギーの収支の変化量として定義されるものだ。単位面積当たりのワット数 (W/m²) で表される⁵。

² 「IPCCとは」(気象庁HP)より。 <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/index.html>

³ TFIは、環境省と経済産業省が担当している。

⁴ 例えば、2018年には「1.5°C特別報告書」、2019年には「土地関係特別報告書」「海洋・雪氷圏特別報告書」「温室効果ガスインベントリに関する『2019年方法論報告書』」が公表されている。

⁵ 放射強制力の厳密な定義にはいくつか種類がある。IPCCでは、「成層圏調整後放射強制力 (stratospheric-adjusted

図表 2. FAR の 4 つのシナリオ

シナリオ	放射強制力の増加 (W/m ²)					21 世紀の 10 年間当たり 世界平均気温上昇
	1765-2000 年	1765-2025 年	1765-2050 年	1765-2075 年	1765-2100 年	
シナリオ A (従来通り)	2.95	4.59	6.49	8.28	9.90	約 0.3°C
シナリオ B (低排出)	2.77	3.80	4.87	5.84	6.68	約 0.2°C
シナリオ C (制御政策)	2.74	3.63	4.49	5.00	5.07	やや 0.1°C を上回る
シナリオ D (加速政策)	2.74	3.52	3.99	4.22	4.30	約 0.1°C

※ “Climate Change—The IPCC Scientific Assessment” (IPCC) をもとに、筆者作成

2 | FAR (増補) : シナリオ A 近辺で 6 つのシナリオを設定

FAR では、シナリオ A と、B~D との間の乖離が大きかった。このため、シナリオ A 近辺で追加のシナリオを設定して詳細な分析を行うことが求められた。FAR の増補では、6 つのシナリオが示された。これらは、FAR のシナリオ A のアップデート版とされている。IS92a と IS92b はシナリオ A より排出量がやや減少、IS92c と IS92d は明確に減少、IS92e と IS92f は増加するシナリオとなっている。

各シナリオは、人口、経済成長などの要素について前提を置いたうえで、設定されている。温室効果ガスの排出については、CO₂ の年間排出量などいくつかの切り口で示されている。

図表 3. FAR (増補) の 6 つのシナリオ (主な項目)

シナリオ	前提 (主なもの)			CO ₂ 年間排出量 (GtC)		1991-2100 年の CO ₂ 累積排出量 (GtC)	2100 年の世界平均気温上昇 (産業革命前比)
	人口 (2100 年)	経済成長率 (上段 1990-2025 年 / 下段 1990-2100 年)	エネルギー供給	2025 年	2100 年		
(参考) シナリオ A	105 億人に接近	OECD 諸国 2-3%* / 東欧・途上国 3-5%*	石炭に集中	11.4**	22.3**	—	約 2.5°C
IS92a	113 億人	2.9% / 2.3%	12000EJ*** 在来油、13000EJ 天然ガス。太陽エネルギー価格は 1 キロワット時 0.075\$、バイオ燃料 (191EJ) は 1 バレル 70\$ に下落	12.2	20.3	1500	約 2.5°C
IS92b	113 億人	2.9% / 2.3%	(IS92a に同じ)	11.8	19.0	1430	約 2.5°C
IS92c	64 億人	2.0% / 1.2%	8000EJ 在来油、7300EJ 天然ガス。核エネルギー費用は毎年 0.4% ずつ下落	8.8	4.6	770	約 1.5°C
IS92d	64 億人	2.7% / 2.0%	在来油と天然ガスは c に同じ。太陽エネルギー価格は 1 キロワット時 0.065\$、バイオ燃料 (272EJ) は、1 バレル 50\$ に下落	9.3	10.3	980	約 1.5°C
IS92e	113 億人	3.5% / 3.0%	18400EJ 在来油。天然ガスは a に同じ。核エネルギーは 2075 年までに停止	15.1	35.8	2190	約 3.5°C
IS92f	176 億人	2.9% / 2.3%	在来油と天然ガスは c に同じ。太陽エネルギー価格は 1 キロワット時 0.083\$ に下落、核エネルギー費用は 1 キロワット時 0.09 ドルまで上昇	14.44	26.6	1830	約 3.5°C

* シナリオ A の人口は 21 世紀後半、経済成長率前提は 21 世紀の当初 10 年のもの。図表 2 の参考資料の Annex より。

** “CO₂ EMISSIONS FROM ENERGY, CEMENT PRODUCTION AND DEFOERESTATION” のグラフをもとに、数値を読み取り

*** EJ は、エクサジュール (10¹⁸ ジュール) を表すエネルギーの単位。

※ “Climate Change—The IPCC 1990 and 1992 Assessments” , “IPCC Second Assessment—Climate Change 1995” (いずれも IPCC) をもとに筆者作成

radiative forcing) と呼ばれる定義を用いている。「この定義では、瞬時放射強制力を計算した後に、成層圏とその上層が放射平衡になるように気温場を調整する。そのように成層圏の温度構造を調整した上で、再び産業革命以前と現在の二酸化炭素が引き起こす対流圏における放射収支の変化を計算し、その変化を対流圏界面で算定したものを放射強制力と呼ぶ。」(「放射強制力」中島映至・竹村俊彦(日本気象学会 新用語解説, 2009 年 12 月)より引用)とされている。

3 | SAR：二酸化炭素排出量が安定するシナリオが5つ設定された

SARでは、地球温暖化が起こりつつあることが明らかにされた。たとえば、FARのIS92aシナリオのもとで温室効果ガスが増え続けると、2100年の世界平均気温は1990年に比べて約2°C上昇するとされた。そのうえで、温室効果ガスがある水準に安定化した場合について論じられるようになった。

そこで、CO₂年間排出量がIS92aシナリオのように増大し続ける代わりに、ある時点以降減少に転じて安定化するケースのシナリオが設定された。具体的には、2つのプロファイルについて、炭素集中度が安定化する水準での二酸化炭素濃度に応じて、S450～S1000の5つのシナリオが設けられた。

図表4. SARの5つの安定化シナリオ（主な項目）

シナリオ	1991-2100年のCO ₂ 累積排出量 (GtC)	
	排出量がIPCCの炭素循環モデル*に従う場合 (プロファイルA)	少なくとも2000年までIS92aに従う場合 (プロファイルB)
S450	630	650
S550	870	990
S650	1030	1190
S750	1200	1300
S1000	—	1410

* 炭素が分布する大気、海洋、地圏などを貯蔵庫とみなし、それらの間を炭素が移動する循環モデル。

S750とS1000では、2100年までに炭素集中度は安定化しない。

※ “IPCC Second Assessment—Climate Change 1995” (IPCC)をもとに、筆者作成

4 | TAR：人間社会の将来について2つの軸の方向性を提示して、6つのシナリオを設定

TARは、気候変動の影響と適応の必要性に焦点を当てている。気候変動をとらえるうえで前提となる人間社会の将来については、2つの軸の方向性を提示している。①経済発展を重視するか、それとも、環境との調和を重視するか？ ②経済はグローバル化が進むか、それとも、地域主義で多元化が進むか？ の2つだ。①で経済発展、②でグローバル化とするA1シナリオについては、エネルギー源について、さらに3つのシナリオに細分化している。こうして、TARでは、6つのシナリオが設けられた。

図表5. TARの6つのシナリオ（主な項目）

シナリオ	①経済発展 or 環境との調和	②グローバル化 or 地域主義化	エネルギー源	CO ₂ 年間排出量 (GtC)		2001-2100年のCO ₂ 累積排出量 (GtC)
				2050年	2100年	
A1B	経済発展	グローバル化	全エネルギーをバランス	16.4	13.5	1415
A1T	経済発展	グローバル化	非化石エネルギー中心	12.3	4.3	985
A1FI	経済発展	グローバル化	化石エネルギー中心	23.9	28.2	2105
A2	経済発展	地域主義化	—	17.4	29.1	1780
B1	環境との調和	グローバル化	—	11.3	4.2	900
B2	環境との調和	地域主義化	—	11.0	13.3	1080

※ “Climate Change 2001 - Synthesis Report” (IPCC)をもとに、筆者作成

5 | AR4：安定化レベルとして6つのカテゴリーを設定

TARでは、気候変動に対する緩和策を講じずに、成り行きをシナリオとして示していた。これに対して、AR4では、緩和策を講じた場合のシナリオを設定した。緩和策によって目指す安定化のレベルとして、6つのカテゴリーを設けて、TAR以降に研究された177個のシナリオを各カテゴリーに分類し

た。ただし、分類の結果、産業革命前から世界平均気温が 2-2.4°C 上昇するカテゴリー I には、6 つのシナリオしか入らなかった。

図表 6. AR4 の 6 つのカテゴリー (主な項目)

カテゴリー	安定化後の CO ₂ 濃度 (ppm)	安定化後の温室効果ガス濃度 (CO ₂ 換算) (ppm)	CO ₂ 排出ピーク (年)	2050 年の CO ₂ 排出量 (2000 年比) (%)	産業革命前からの気温上昇 (°C)	研究されたシナリオ数
I	350-400	445-490	2000-2015	-85 ~ -50	2.0-2.4	6
II	400-440	490-535	2000-2020	-60 ~ -30	2.4-2.8	18
III	440-485	535-590	2010-2030	-30 ~ +5	2.8-3.2	21
IV	485-570	590-710	2020-2060	+10 ~ +60	3.2-4.0	118
V	570-660	710-855	2050-2080	+25 ~ +85	4.0-4.9	9
VI	660-790	855-1130	2060-2090	+90 ~ +140	4.9-6.1	5

※ “Climate Change 2007—Synthesis Report” (IPCC) をもとに、筆者作成

6 | AR5 : “目的主導型”の経路を 4 つ設定

AR5 では、気候変動に対する緩和政策を前提として、将来の温室効果ガスをどの程度の水準に安定させるかという視点から、代表的濃度経路 (Representative Concentration Pathways, RCP) が設定された。これは、対応や比較を行うための社会・経済シナリオは別途用意することとし、行き先の姿を示す “目的主導型” の経路設定といえる。1 つの放射強制力に複数の社会・経済シナリオを対応させることで、多様な将来像を仮定することができる。

その設定にあたっては、各経路が明確にかけ離れていること、経路の数が偶数個であること (奇数個だと中位の経路が実現可能性が高いとの誤解を与えかねない)、放射強制力が高/低の 2 通りでないこと、多すぎないことの 4 点が考慮されたという⁶。4 つの経路のうち、RCP2.6 は、産業革命前に対する世界平均の気温上昇を 2°C 未満に維持する可能性が高くなることを目指すシナリオを代表するものである。そして、この経路に沿って、大学や研究機関等で合計 1184 個のシナリオが研究された。

図表 7. AR5 の 4 つの代表的濃度経路と放射強制力等 (主な項目)

代表的濃度経路	2100 年の安定化後 CO ₂ 換算濃度 (ppm)	放射強制力 (W/m ²)	2050 年の CO ₂ 排出量 (2010 年比) (%)	2100 年の CO ₂ 排出量 (2010 年比) (%)	産業革命前からの気温上昇が 2°C 未満にとどまる可能性	研究されたシナリオ数**
RCP2.6	430-480	2.3-2.9	-72 ~ -41	-118 ~ -78	可能性が高い	126
—	480-530*	2.9-3.45	-57 ~ -42	-107 ~ -73	どちらかといえば可能性が高い	535
—	530-580*	3.49-3.9	-47 ~ -19	-81 ~ -59	どちらかといえば可能性が低い	
RCP4.5	580-650	3.9-4.5	-38 ~ +24	-134 ~ -50	どちらかといえば可能性が低い	163
	650-720	4.5-5.1	-11 ~ +17	-54 ~ -21	可能性が低い	
RCP6.0	720-1000	5.1-6.8	+18 ~ +54	-7 ~ +72	可能性が低い	158
RCP8.5	1000-	6.8-	+52 ~ +95	+74 ~ +178	可能性が低い	172

* 安定化後 CO₂ 換算濃度の「480-530」「530-580」の区分は、上限水準へのオーバーシュートがない場合。

** この他に、研究されたシナリオで区分が N/A とされたものが 30 個ある。

※ “Climate Change 2014—Synthesis Report” (IPCC), “Next steps in uncertainty analysis for the IAM community” Bas van Ruijven (NCAR) をもとに、筆者作成

⁶ 「異常気象レポート 2014」(気象庁, 平成 27 年 3 月) より。

7 | AR6：将来の社会・経済の発展を仮定した経路を5つ設定

AR6 では、将来の社会・経済の発展について仮定した共有社会経済経路(Shared Social-economic Pathways, SSP)が、放射強制力と組み合わせて、5つ設定されている。AR5 と同様に、対応や比較を行うための具体的な社会・経済シナリオは別途用意することとし、行き先の姿を示す“目的主導型”の経路設定といえる。SSP1-1.9 は、産業革命前に対する世界平均の気温上昇を1.5°C未満に抑える政策を導入して、21世紀半ばに二酸化炭素の排出を正味ゼロとする見込みとされている。⁷

図表 8. AR6 の共有社会経済経路（主な項目）

共有社会 経済経路	概要	産業革命前からの気温上昇（20年平均）(°C)		
		2021-2040年	2041-2060年	2081-2100年
SSP1-1.9	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする21世紀末までの昇温(中央値)を概ね(わずかに超えることはあるものの)約1.5°C以下に抑える気候政策を導入。21世紀半ばにCO ₂ 排出正味ゼロの見込み。	1.5	1.6	1.4
SSP1-2.6	持続可能な発展の下で、工業化前を基準とする昇温(中央値)を2°C未満に抑える気候政策を導入。21世紀後半にCO ₂ 排出正味ゼロの見込み。	1.5	1.7	1.8
SSP2-4.5	中道的な発展の下で気候政策を導入。2030年までの各国の「自国決定貢献(NDC) ⁸ 」を集計した排出量の上限にほぼ位置する。工業化前を基準とする21世紀末までの昇温は約2.7°C(最良推定値)。	1.5	2.0	2.7
SSP3-7.0	地域対立的な発展の下で気候政策を導入しない中～高位参照シナリオ。エーロゾルなどCO ₂ 以外の排出が多い。	1.5	2.1	3.6
SSP5-8.5	化石燃料依存型の発展の下で気候政策を導入しない高位参照シナリオ。	1.6	2.4	4.4

* 「概要」は、「IPCCの概要や報告書で使用される表現等について」(気象庁、令和3年8月9日付報道発表資料別添3)の【AR6で使用されている主なシナリオ】からの引用。「産業革命前からの気温上昇(20年平均)」は、1850-1900年(参照期間)に対する気温上昇。
 ※ “Technical Summary”(IPCC WG1)、「IPCCの概要や報告書で使用される表現等について」(気象庁、令和3年8月9日付報道発表資料別添3)などをもとに、筆者作成

これらの経路に対して、大学や研究機関等で研究されたシナリオのうち1202個が審査に合格した。温暖化のレベルに応じて、C1～C8に分類されている。

図表 9. AR6 のシナリオ（主な項目）

共有社会 経済経路	種類	温暖化のレベル	温暖化の確率	審査合格 シナリオ数
SSP1-1.9	C1	オーバーシュート無または限定的可能性のもとで1.5°C未満	ピーク時1.5°C未満の確率33%以上 かつ今世紀末1.5°C未満の確率50%超	97
—	C2	オーバーシュートの高い可能性のもとで1.5°C未満	ピーク時1.5°C未満の確率33%未満 かつ今世紀末1.5°C未満の確率50%超	133
SSP1-2.6	C3	2°C未満の可能性が高い	ピーク時2°C未満の確率67%超	311
—	C4	2°C未満	ピーク時2°C未満の確率50%超	159
—	C5	2.5°C未満	ピーク時2.5°C未満の確率50%超	212
SSP2-4.5	C6	3°C未満	ピーク時3°C未満の確率50%超	97
SSP3-7.0	C7	4°C未満	ピーク時4°C未満の確率50%超	164
SSP5-8.5	C8	4°C超	ピーク時4°C超の確率50%以上	29

※ “Climate Change 2022—Mitigation of Climate Change”(IPCC WG3)をもとに、筆者作成

⁷ 経路に沿って、大学や研究機関等で3131個のシナリオが研究された。当初の選別と品質管理で2266個に絞られ、実績の反映可否で1686個に絞られた。さらに、2100年までの予測可能性などを踏まえて、1202個が審査に合格している。これらは、気候エミュレータ(FAIR、CICERO-SCM、MAGICC)を用いてC1～C8に分類されている。

⁸ パリ協定(2015年12月採択、2016年11月発効)では、温室効果ガスの排出削減目標を「自国決定貢献(Nationally Determined Contribution, NDC)」として5年ごとに提出・更新する義務が、すべての国にある。

4—おわりに（私見）

本稿では、これまでの IPCC 報告書におけるシナリオの設定を振り返りつつ、気候変動問題への取り組みについて概観した。シナリオの設定を見るだけでも、各報告書ごとに、検討された方法や項目がさまざまに異なっていることがわかる。

特に、AR5 以降は、IPCC の作業部会が経路を示して、それに応じて、大学や研究機関が複数のシナリオを設定するという、経路設定とシナリオ作成の分業化が図られている。シナリオの数は、社会・経済のさまざまな想定を反映して、増加している。

間もなく、AR6 の統合報告書が公表される予定となっている。共有社会経済経路とシナリオとともに、気候変動の見通しについて、引き続き、注視していくこととしたい。

（参考資料）

- “About History of the IPCC”（IPCC の HP） <https://www.ipcc.ch/about/history/>
- “Climate Change—The IPCC Scientific Assessment”（IPCC）
- “Climate Change—The IPCC 1990 and 1992 Assessments”（IPCC）
- “IPCC Second Assessment—Climate Change 1995”（IPCC）
- “Climate Change 2001 - Synthesis Report”（IPCC）
- “Climate Change 2007—Synthesis Report”（IPCC）
- “Climate Change 2014—Synthesis Report”（IPCC）
- “Technical Summary”（IPCC WG1）
- “Climate Change 2022—Mitigation of Climate Change”（IPCC WG3）
- “Next steps in uncertainty analysis for the IAM community” Bas van Ruijven (NCAR)
- 「IPCC とは」（気象庁 HP） <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/index.html>
- 「放射強制力」中島映至・竹村俊彦（日本気象学会 新用語解説，2009 年 12 月）
- 「IPCC 第 4 次評価報告書 第 3 作業部会報告書 概要（公式版）」（環境省，2007 年 5 月 22 日）
- 「異常気象レポート 2014」（気象庁，平成 27 年 3 月）
- 「IPCC の概要や報告書で使用される表現等について」（気象庁，令和 3 年 8 月 9 日付報道発表資料別添 3）