

技術要約

TS

技術要約

暫定訳（2023年3月9日版）

統括執筆者：

Paola A. Arias (Colombia), Nicolas Bellouin (United Kingdom/France), Erika Coppola (Italy), Richard G. Jones (United Kingdom), Gerhard Krinner (France/Germany, France), Jochem Marotzke, (Germany), Vaishali Naik (United States of America), Matthew D. Palmer (United Kingdom), Gian-Kasper Plattner (Switzerland), Joeri Rogelj (United Kingdom/Belgium), Maisa Rojas (Chile), Jana Sillmann (Norway/Germany), Trude Storelvmo (Norway), Peter W. Thorne (Ireland/United Kingdom), Blair Trewin (Australia)

執筆者：

Kyle Armour (United States of America), Govindasamy Bala (India/United States of America), Rondrotiana Barimalala (South Africa/Madagascar), Sophie Berger (France/Belgium), Josep G. Canadell (Australia), Christophe Cassou (France), Annalisa Cherchi (Italy), William Collins (United Kingdom), William D. Collins (United States of America), Sarah L. Connors (France/United Kingdom), Susanna Corti (Italy), Faye Cruz (Philippines), Frank J. Dentener (EU/The Netherlands), Claudine Dereczynski (Brazil), Alejandro Di Luca (Australia, Canada/Argentina), Aida Diongue Niang (Senegal), Francisco J. Doblas-Reyes (Spain), Alessandro Dosio (Italy), Hervé Douville (France), François Engelbrecht (South Africa), Veronika Eyring (Germany), Erich Fischer (Switzerland), Piers Forster (United Kingdom), Baylor Fox-Kemper (United States of America), Jan S. Fuglestad (Norway), John C. Fyfe (Canada), Nathan P. Gillett (Canada), Leah Goldfarb (France/United States of America), Irina Gorodetskaya (Portugal/Russian Federation, Belgium), Jose Manuel Gutierrez (Spain), Rafiq Hamdi (Belgium), Ed Hawkins (United Kingdom), Helene T. Hewitt (United Kingdom), Pandora Hope (Australia), AKM Saiful Islam (Bangladesh), Christopher Jones (United Kingdom), Darrell S. Kaufman (United States of America), Robert E. Kopp (United States of America), Yu Kosaka (Japan), James Kossin (United States of America), Svitlana Krakovska (Ukraine), June-Yi Lee (Republic of Korea), Jian Li (China), Thorsten Mauritsen (Sweden, Denmark), Thomas K. Maycock (United States of America), Malte Meinshausen (Australia/Germany), Seung-Ki Min (Republic of Korea), Pedro M. S. Monteiro (South Africa), Thanh Ngo-Duc (Vietnam), Friederike Otto (United Kingdom/Germany), Izidine Pinto (South Africa/Mozambique), Anna Pirani (Italy), Krishnan Raghavan (India), Roshanka Ranasinghe (The Netherlands/Sri Lanka, Australia), Alex C. Ruane (United States of America), Lucas Ruiz (Argentina), Jean-Baptiste Sallée (France), Bjørn H. Samset (Norway), Shubha Sathyendranath (UK/Canada, United Kingdom, Overseas Citizen of India), Sonia I. Seneviratne (Switzerland), Anna A. Sörensson (Argentina), Sophie Szopa (France), Izuru Takayabu (Japan), Anne-Marie Treguier (France), Bart van den Hurk (The Netherlands), Robert Vautard (France), Karina von Schuckmann (France/Germany), Sönke Zaehle (Germany), Xuebin Zhang (Canada), Kirsten Zickfeld (Canada/Germany)

執筆協力者：

Guðfinna Aðalgeirsdóttir (Iceland), Lincoln M. Alves (Brazil), Terje Berntsen (Norway), Sara M. Blichner (Norway), Lisa Bock (Germany), Gregory G. Garner (United States of America), Joelle Gergis (Australia), Sergey K. Gulev (Russian Federation), Mathias Hauser (Switzerland), Flavio Lehner (United States of America/Switzerland), Chao Li (China), Marianne T. Lund (Norway), Daniel J. Lunt (United Kingdom), Sebastian Milinski (Germany), Gemma Teresa Narisma (Philippines), Zebedee R. J. Nicholls (Australia), Dirk Notz (Germany), Sophie Nowicki (United States of America/France, United States of America), Bette Otto-Bliesner (United States of America), Brodie Pearson (United States of America/United Kingdom), Adam S. Phillips (United States of America), James Renwick (New Zealand), Stéphane

Sénési (France), Lucas Silva (Portugal/Switzerland), Aimee B. A. Slangen (The Netherlands), Thomas F. Stocker (Switzerland), Claudia Tebaldi (United States of America), Laurent Terray (France), Sabin Thazhe Purayil (India), Andrew Turner (United Kingdom), Steven Turnock (United Kingdom), Carolina Vera (Argentina), Cunde Xiao (China), Panmao Zhai (China)

査読編集者 :

Valérie Masson-Delmotte (France), Gregory M. Flato (Canada), Noureddine Yassa (Algeria)

この技術要約の引用時の表記方法 :

Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, 2021: Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.

訳注 :

本資料は最終版ではなく、更なる編集が行われる。

本資料は、IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書の技術要約 (TS) を、IPCC 公式ウェブサイトから 2022 年 5 月に取得した原文*に基づき、文部科学省及び気象庁が翻訳したものであり、IPCC の公式訳ではない。

*https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf

目次

| | | | |
|--|----|--|-----|
| はじめに..... | 6 | TS.3 気候システムの応答の理解と地球温暖化抑制への示唆..... | 58 |
| Box TS.1 本報告書の中核的な概念 | 7 | TS.3.1 放射強制力とエネルギー収支..... | 58 |
| TS.1 変化する気候 | 11 | TS.3.2 気候感度と地球システムのフィードバック..... | 61 |
| TS1.1 変化する気候の背景..... | 11 | TS.3.3 気温の安定化、正味ゼロ排出、及び緩和..... | 65 |
| Box TS.2 古気候 | 13 | Box TS.7 共通社会経済経路における短寿命気候強制因子に対する気候と大気質の応答 | 71 |
| TS.1.2 気候科学の進歩..... | 15 | Box TS.8 太陽放射変化に対する地球システムの応答 | 72 |
| TS.1.3 将来の気候変動の評価..... | 20 | Box TS.9 不可逆性、ティッピングポイント、急激な変化 | 74 |
| TS.1.4 影響とリスクの評価のための地球規模から地域規模の気候情報..... | 25 | TS.4 地域規模の気候変動 | 75 |
| Cross-Section Box TS.1 : 世界平均気温の変化 | 27 | TS.4.1 地域規模の気候変動情報の生成と伝達..... | 75 |
| TS.2 広域的な気候変動：平均気候、変動性、極端現象 | 31 | Box TS.10 イベントアトリビューション ... 76 | |
| TS.2.1 地球規模の気候システム全体の変化 | 31 | Box TS.11 気候サービス | 79 |
| TS.2.2 気候システムの駆動要因の変化..... | 35 | Box TS.12 地域規模の気候変動を評価するための複数系統の証拠とインタラクティブアトラス | 79 |
| TS.2.3 上層の気温と大気循環..... | 38 | TS.4.2 地域規模の気候の変動性及び変化の駆動要因..... | 81 |
| Box TS.3 可能性が低くとも大幅に温暖化するストーリーライン | 40 | Box TS.13 モンスーン | 86 |
| TS.2.4 海洋..... | 42 | TS.4.3 地域規模の気候変動、及び極端な気候と気候影響駆動要因に対する影響..... | 88 |
| TS.2.5 雪氷圏..... | 44 | Box TS.14 都市域 | 112 |
| Box TS.4 海面水位 | 45 | | |
| Box TS.5 炭素循環 | 47 | | |
| TS.2.6 生物圏と極端現象を含む陸域の気候 | 50 | | |
| Box TS.6 水循環 | 53 | | |
| インフォグラフィック TS.1 気候の将来 | 56 | | |

はじめに

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第6次評価報告書 (AR6) 第1作業部会 (WGI) 報告書は、気候変動の自然科学的根拠を評価する。本技術要約 (TS) は、同報告書の一部として、本編各章の包括的な評価と政策決定者向け要約 (SPM) との間の橋渡しを目的としている。本TSは主に各章とアトラスの概要 (Executive Summaries) から構築され、複数系統の証拠 (例えば、観測結果の解析、モデル、古気候の情報、並びに物理的、化学的、及び生物学的プロセスと気候システムの構成要素の理解) に基づく主要な知見を統合したものである。ここで示す知見と図表は全て本編各章に遡ることができ、関連する章の節が波括弧内に示されている。

本技術要約を通して、評価された主要な知見は IPCC の標準的な不確実性の表現を用いて報告される (第1章 Box 1.1)。主要な知見の確実性の程度を伝えるために以下の二つの標準的なアプローチが用いられ、これらは根拠となる科学的理解の執筆陣による評価に基づく。

- 1) 確信度¹は、知見の妥当性を示す定性的な尺度であり、証拠 (例えば、データ、メカニズムの理解、理論、モデル、専門家の判断) の種類、量、質、及び整合性、並びに見解一致度に基づく。
- 2) 可能性²は知見の確実性の定量的な尺度であり、確率的に表される (例えば、観測結果又はモデル結果、あるいはその両方の統計的解析、及び執筆陣による専門家の判断又は専門家の見解に関する正式な定量的調査、あるいはその両方に基づく)。

科学的な確信が十分にある場合、知見は事実の表明として、不確実性の表現を伴わずに記述される。全ての IPCC 報告書を通して、標準的な表現は斜体で記されることで明瞭に識別される。

気候科学の文脈と進展 (TS.1) の後に、世界平均気温の変化に関する Cross-Section Box TS.1 が続く。TS.2 は、気候

システムの全ての構成要素における過去と将来の広域的な変化に関する情報を提供する。TS.3 は、気候強制力、気候フィードバック、及び気候応答に関する知識と理解を要約する。Infographic TS.1 では、将来ありうる気候に関する知見を統合するために、ストーリーラインの手法が使用される。最後に、TS.4 は、地域規模の気候情報を統合的に提供する³。WGI 報告書で使用される略語の一覧は Annex VIII にある。

この文のように、節の冒頭で左方に青色の縦棒が付された濃青色の文章は、その節で議論される知見の要約である。

AR6 WGI 報告書は、科学的なデータの FAIR 原則 (Findable (発見可能)、Accessible (入手可能)、Interoperable (相互運用可能)、Reusable (再利用可能)) の採用などを通して、追跡可能性と再現可能性のベストプラクティスを推進している。各章の図表の作成に使用された入力データとコードを記載した表が、その章の補足資料 (Supplementary Material) にある。加えて、本報告書で使用されたデータとコードの集成は、長期的なアーカイブを通してオンラインで無償で利用可能である⁴。

これらの FAIR 原則は、WGI のインタラクティブアトラス⁵の中核を成す。インタラクティブアトラスは過去の気候変動、観測された気候変動、及び予測される気候変動に関する情報の空間的及び時間的に柔軟な解析を提供することで、WGI 報告書を補完するオンラインツールである。これは、本報告書の多くの章を裏付ける地域的な情報の要素と、技術要約及び政策決定者向け要約を裏付ける地域的な統合的評価の要素から成る。

地図上で確実性と不確実性を表現するために AR6 で選択された方式⁶は、第5次評価報告書 (AR5) で使用された方式とは異なる。この選択は、不確実性の可視化に関する新たな研究と利用者調査に基づく。

¹ 本技術要約において、利用可能な証拠について記述するための要約表現として「限定的」、「中程度」、「確実」が、見解一致度については「低い」、「中程度」、「高い」が使用される。確信度の水準は「非常に低い」、「低い」、「中程度」、「高い」、「非常に高い」の5段階で表され、例えば「確信度が中程度」のように斜体で記される。所与の証拠と見解一致度に対して異なる確信度が与えられるが、証拠と見解一致度の水準の向上は確信度の向上と関連する (詳細は第1章 Box 1.1 を参照)。

² 本技術要約において、ある結果について評価された可能性の程度を示すために「ほぼ確実 (99-100%の確率)」、「可能性が非常に高い (90-100%)」、「可能性が高い (66-100%)」、「どちらも同程度 (33-66%)」、「可能性が低い (0-33%)」、「可能性が非常に低い (0-10%)」、「ほぼあり得ない (0-1%)」が使用される。適切な場合、追加的な用語として「可能性が極めて高い (95-100%)」、「どちらかと言えば可能性が高い (>50-100%)」、「可能性が極めて低い (0-5%)」も使用される。評価された可能性は例えば「可能性が非常に高い」のように斜体で記される (詳細は第1章 Box 1.1 を参照)。WGI 報告書を通して、特に明記しない限り、不確実性は 90%信頼区間を用いて定量化される。90%信頼区間は角括弧を用いて [x~y] の形で報告され、推定対象の値を 90%の可能性で含むと推定される範囲を示す。この範囲は中央値を包含し、推定対象の値が範囲の下限 (x) より小さい可能性と上限 (y) より大きい可能性は合わせて 10%であると推定される。多くの場合、可能性の分布は対応する最良推定値について対称であると考えられるが、必ずしもそうとは限らない。本報告書において、評価された 90%信頼区間を「可能性が非常に高い範囲」と呼ぶ。同様に、評価された 66%信頼区間を「可能性が高い範囲」と呼ぶ。

³ TS.4 で統合されている評価された知見が記述された場所を地域ごとにたどった表が、第10章の補足資料 (Supplementary Material) にある。

⁴ データアーカイブは <https://catalogue.ceda.ac.uk/uuid/3234e9111d4f4354af00c3aaecd879b7> から利用可能である。

⁵ <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>

⁶ AR6 の図においては次の手法のうちのいずれかが使用されている。観測結果については、「x」という記号がない場合は統計的に有意な領域を、「x」がある場合は統計的に有意でない領域を示す。モデル予測については、AR6 の方式は複雑さの異なる二つの手法が用意されている。より単純な手法では、見解一致度が高い場合 (≥80%) は模様なしで示され、見解一致度が低い場合 (<80%) は斜線 (///) で示される。より高度な手法では、模様のない領域はシグナルが確実である (モデルの≥66%が変動の閾値よりも大きい変化を示し、かつ全てのモデルの≥80%が変化の符号に関して一致している) ことを表し、逆向きの斜線 (\\) は確実なシグナルがないことを示し、交差した斜線は相反するシグナル (すなわち、有意な変化であるが見解一致度が低いこと) を示す。Cross-Chapter Box Atlas.1 は、地図上で確実性と不確実性を可視化するための AR6 の方式に関するより多くの情報を提供している。

Box TS.1 | 本報告書の中核的な概念

Box TS.1 は AR6 WGI の評価に関連する主要な概念を、技術要約 (TS) と政策決定者向け要約 (SPM) での用法に着目して簡潔に記述する。用語集 (Annex VII) に、本報告書で使用される他の多くの重要な用語及び概念の定義と併せて、これらの概念に関するより多くの情報が含まれている。

気候変動の評価の特徴

地球温暖化：地球温暖化とは、用途に応じた基準に対する世界平均気温の変化を指す。1.5°C、2°C、3°C、又は4°Cなどの特定の地球温暖化の水準は、1850～1900年（十分な地理的範囲で信頼できる観測が存在する最も早い時期）を基準とした世界平均気温の変化として定義される。これらは、世界規模及び地域規模の変化を評価し、それらに関する情報を伝達するために使用され、第2作業部会 (WGII) 及び第3作業部会 (WGIII) における評価のための共通基盤として使用される。(TS.1.3, Cross-Section Box TS.1) {1.4.1, 1.6.2, 4.6.1, Cross-Chapter Boxes 1.5, 2.3, 11.1, 12.1, Atlas 3～11, Glossary}

顕在化：顕在化とは、所与の地域における特定の気候変数に関するこれまでにない状態の経験又は出現を指す。この概念はしばしば、気候変数の変化をその変数の自然の変動の振幅で割った比（しばしば「信号対雑音比 (SN比)」と呼ばれ、この比が定められた閾値に達することで顕在化したとされる）として表される。顕在化は、これまでにない状態が出現する時点又は地球温暖化の水準によって表され、観測又はモデルシミュレーションを用いて推定される。(TS.1.2.3, TS.4.2) {1.4.2, FAQ 1.2, 7.5.5, 10.3, 10.4, 12.5.2, Cross-Chapter Box Atlas.1, Glossary}

累積二酸化炭素 (CO₂) 排出量：人間活動の結果として大気中に排出された CO₂ の正味の総量。累積 CO₂ 排出量と世界平均気温の上昇量との間のほぼ線形の関係を考慮すると、累積 CO₂ 排出量は過去と将来の CO₂ 排出量が世界平均気温にどのように影響を及ぼすかを理解するのに適している。関連する用語として、残余カーボンバジェットは、地球温暖化を特定の水準 (1.5°C など) に抑えながら人間活動によって将来排出しうるであろう CO₂ の正味の総量を記述するために使用され、CO₂ 以外の強制因子による温暖化への寄与も考慮に入れる。残余カーボンバジェットは最近の特定の日付を起点として表される一方で、総カーボンバジェットは工業化以前の期間を起点として表される。(TS.1.3, TS.3.3) {1.6.3, 5.5, Glossary}

正味ゼロの CO₂ 排出：人間活動によって大気中に排出される CO₂ の量と人間活動によって大気中から除去される CO₂ の量が一定期間にわたって等しい状態を指す。正味負の CO₂ 排出とは、人為的な除去量が人為的な排出量を上回る状態を指す。(TS.3.3) {Box 1.4, Glossary}

気候システムに対する人間の影響

地球のエネルギー不均衡：安定した気候において、地球が太陽から受け取るエネルギーの量と太陽光の反射及び熱放射の形で宇宙空間に失われるエネルギーの量はほぼ均衡している。温室効果ガス又はエアロゾルの増加などの「気候駆動要因」はこの均衡を妨げ、系によるエネルギーの得失を引き起こす。気候駆動要因の強さはその有効放射強制力 (ERF) によって定量化され、W m⁻² を単位とする。正の ERF は昇温を、負の ERF は降温をもたらす。そのような昇温又は降温は、多くの正 (増幅) 又は負 (減衰) の気候フィードバックを通してエネルギー不均衡を変化させる。(TS.2.2, TS.3.1, TS.3.2) {2.2.8, 7.2, 7.3, 7.4, Box 7.1, Box 7.2, Glossary}

要因特定：要因特定とは、気候変数 (例えば、世界平均気温、世界平均海面水位) に観測された変化、あるいは極端な気象又は気候関連現象の発生に関する複数の要因の相対的な寄与を評価するプロセスを指す。特定される要因には、人間活動 (温室効果ガス濃度及びエアロゾルの増加、又は土地利用の変化など) 又は自然の外的駆動要因 (太陽及び火山活動の影響)、及び場合により内部変動が含まれる。(TS.1.2.4, TS.2, Box TS.10) {Cross-Working Group Box: 第1章の Attribution; 3.5; 3.8; 10.4; 11.2.4; Glossary}

避けられない変化、長期的なコミットメント：過去、現在、及び将来の人間活動の結果として生じる気候システムの変化は、温室効果ガス排出量が大幅に削減されたとしても将来 (数百年から数千年) にわたって長く継続する。陸域生物圏、深海、及び雪氷圏を含む気候システムのいくつかの側面は、温室効果ガス濃度の変化に対して地表気温よりもはるかに緩やかに応答する。結果として、過去の温室効果ガスの排出に関連して既に大幅な変化が避けられない。例えば、たとえ将来の CO₂ 排出が正味ゼロまで削減されて地球温暖化が停止したとしても、過去の排出による余剰なエネルギーが深海に伝播し続け、氷河と氷床が融解し続けるのに伴って、世界平均海面水位は何千年にもわたって上昇し続ける。(TS.2.1, Box TS.4, Box TS.9) {1.2.1, 1.3, Box 1.2, Cross-Chapter Box 5.3}

地域規模の気候変動とリスク評価のための気候情報

蒸留：利用者の背景と価値観を考慮に入れた上で、様々な情報源から得られた複数系統の証拠から気候変動に関する情報を統合するプロセス。気候情報の利便性、有用性、及び関連性の向上をもたらし、利害関係者からの信頼を高め、気候サービスで使用される証拠の基盤を拡大する。意思決定を支援するために地域規模の気候情報を共同制作する文脈において特に意味を持つ。(TS.4.1, Box TS.11) {10.1, 10.5, 12.6}

(気候変動) リスク：リスクの概念は、人間システム又は生態系に対する悪影響の潜在的可能性について、これらの系に関連する価値観及び目的の多様性を認識した上で、IPCC が評価して意思決定者に伝達する方法の主要な側面である。気候変動の文脈において、リスクは気候変動の潜在的な影響及び気候変動に対する人間の対応からも生じうる。WGI は、気候影響駆動要因及び可能性が低くとも影響が大きい結果を含む、関連する気候情報の評価を通して、IPCC 共通のリスクの枠組構築に貢献している。(TS.1.4, TS.4.1, Box TS.4) {Cross-Chapter Boxes 1.3, 12.1, Glossary}

気候影響駆動要因：人間システム又は生態系への影響に直接関連しうる物理的な気候システムの状態（例えば、平均、現象、極端現象）は、その影響が有害であるか（すなわち、気候変動リスクの文脈におけるハザードとして）潜在的な機会を提供するかは問わず、「気候影響駆動要因 (CIDs)」として記述される。部門又は用途に関連する気候影響駆動要因の特性は様々な指標によって捉えられることがあり、特定された許容範囲の閾値の超過を反映しうる。(TS.1.4, TS.4.3) {12.1~12.3, FAQ 12.1, Glossary}

ストーリーライン：ストーリーラインという用語はシナリオ（将来の排出経路又は社会経済発展に関する）に関連付けて、あるいは気象及び気候の状態又は現象の蓋然性の高い経路、特に高水準のリスクに関する経路を記述するために使用される。気候の変化と気候の自然変動における不確実性を探求するため、統合された文脈に関連する地域規模の気候情報を開発して伝達するため、そして可能性が低くとも影響が大きい結果を含む大きな不確実性⁷を伴う問題に取り組むため、AR6 では物理的な気候のストーリーラインが導入されている。(TS.1.4, Box TS.3, Infographic TS.1) {1.4.4, Box 10.2, Glossary}

可能性が低くとも影響が大きい結果：発生する確率が低い又は（不確実性が大きいという意味で）よくわかっていないものの、それによる社会及び生態系への潜在的な影響が大きくなりうるであろう結果/現象。このような可能性の低い結果は、その帰結が最もありそうな結果を代表するとは限らないものの、非常に大きな影響を伴い、したがって重大なリスクになるかもしれない場合、リスク評価と意思決定により良く情報を提供するために考慮される。(TS.1.4, Box TS.3, 図 TS.6) {1.4.4, 4.8, Cross Chapter Box 1.3, Glossary}

AR6 サイクルの一環として、IPCC は 2018 年と 2019 年に「1.5°Cの地球温暖化に関する特別報告書 (SR1.5)」、「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する特別報告書 (SROCC)」、及び「気候変動と土地に関する特別報告書 (SRCCL)」という3つの特別報告書を作成した。

AR6 WGI 報告書は、これまでの評価報告書とこれらの特別報告書を踏まえつつ、より長期間にわたる観測データセット及び新たなシナリオとモデルによる結果を含む、最近の科学文献⁸から得られた新たな情報と知見を考慮した、気候変動の自然科学的根拠に関する全面的かつ包括的な評価を提供する。

AR6 WGI 報告書の構成は、知識の発展の可視性を高め、複数系統の証拠の統合を促進することで、知見の確信度を向上させるように設計されている。本報告書は科学界及び各国政府によって査読されている（専門家査読者の一覧は Annex X にある）。第1章での実質的な導入に続

いて、第一群の章（第2~4章）は大規模な気候に関する知識を扱い、観測と古気候による証拠、観測された変化の要因、及び予測を網羅する。これらは第11章で大規模な極端現象の変化について補完される。第二群の章（第5~9章）は気候システムの主要な構成要素とプロセスの理解を中心に扱い、地球規模の炭素循環、エネルギー循環、及び水循環、短寿命気候強制因子及びそれらの大気質との関連、並びに海洋、雪氷圏、及び海面水位の変化を含む。最終群（第10~12章及びアトラス）は亜大陸規模から局所規模（都市気候を含む）の複数系統の証拠による地域規模の気候情報の評価と蒸留を扱い、平均的な気候、極端現象、気候影響駆動要因における最近の及び予測される地域規模の変化に注目する。新たに導入されたオンラインのインタラクティブアトラスは、利用者が地図、時系列、及び要約統計量を通して、更新された一連の WGI 参照地域の気候情報を柔軟な形でやりとりすることを可能にする。本報告書は一般読者向けの 34 の

⁷ 「大きな不確実性」は WGI 報告書の中核的な概念ではないが、本技術要約において次の意味で使用される。「不確実性が大きい状態は、(1)システムにおける主要な駆動力の間の関係を記述する適切な概念モデル、(2)主要な変数及びパラメータに関する不確実性を表すために使用される確率分布、及び/又は(3)望ましい代替的な結果に対する重みづけと評価の方法について、専門家又は利害関係者が知らない又は同意できない場合に存在する」(Lempert et al., 2003). Lempert, R. J., Popper, S. W., and Bankes, S. C. (2003). Shaping the next one hundred years: New methods for quantitative long-term strategy analysis (MR-1626-RPC). Santa Monica, CA: The RAND Pardee Center.

⁸ 本報告書の評価は 2021 年 1 月 31 日までに出版を受理された科学文献に基づく。

よくある質問とその回答も含む

(<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/faqs>)。

総じて、本技術要約及び本編各章は AR5 WGI 報告書以降の知識の進歩の包括的な描像を提供することを目的としている。人間の影響により気候が変化していることが、複数系統の科学的証拠によって裏付けられている。過去の変化、現在の変化、及び将来起こりうる変化を理解する能力の重要な進歩は、より良い情報に基づく意思決定をもたらすはずである。

AR5、SR1.5、SRCCL、及び SROCC と比べて、本報告書における新たな結果及び主要な知見に関する主な更新の一部が以下に要約されている。更なる詳細を含む、関連する技術要約の節は各項目の後の括弧内に示されている。

AR5 以降の主な更新及び/又は新たな結果

- **気候システムに対する人間の影響⁹は確立された事実である**：2007 年の第 4 次評価報告書 (AR4) は「気候システムの温暖化には疑う余地がない」と述べ、2013 年の AR5 は「気候システムに対する人間の影響は明瞭である」と述べた。この知見は気候システム全体にわたる証拠を合わせることで強化されている。工業化時代における大気中の二酸化炭素 (CO₂)、メタン (CH₄)、及び一酸化二窒素 (N₂O) の増加は人間活動の結果であり、人間の影響が大気、海洋、雪氷圏、及び生物圏に観測された多くの変化の主要な駆動要因¹⁰ であることには疑う余地がない。(TS.1.2, TS.2.1, TS.3.1)
- **これまでに観測された地球温暖化**：観測記録が改善されたことと、AR5 以降に非常に高温な年が続いたことにより、これまでの地球温暖化の水準の推定値が大幅に上昇した。観測値に関する理解における AR5 と AR6 の間の変化による寄与だけで、1850～1900 年以降の昇温の推定値が約 0.1°C 上昇した。2011～2020 年の 10 年間について、世界平均気温は 1850～1900 年以降 1.09 [0.95～1.20] °C 上昇したと評価されている¹¹。それに応じて、地球温暖化の水準を超過する時期の推定値と残余カーボンバジェットの推定値も更新されている。(TS.1.2, Cross-Section Box TS.1)
- **古気候の証拠**：AR5 は、1950 年代以降に観測された多くの変化が数十年から数千年の間にわたって前例のないものであると評価した。この評価は最新の古気候の証拠によって強化されている。過去数十年間にわたって、気候システムの主要な指標が過去数百年から数千年の間に見られなかった水準にますます達するようになり、少なくとも過去 2000 年間で前例のない速度で変化している。(Box TS.2, TS.2)
- **最近の温暖化の最新の評価**：AR5 は、1998～2012 年の期間における GMST [陸域及び海氷の表面付近の気温と海氷のない海域の海面水温に基づく世界全体の推定平均値]の上昇速度が 1951 年以降について計算された上昇速度よりも小さいと報告した。1998～2012 年の変化傾向を以前の推定値よりも大きく示す最新の観測データセットに基づく、1998～2012 年の世界平均気温の観測された変化傾向が気候モデルシミュレーションのアンサンブルと整合することについて**確信度が高い**。また、この期間に観測された世界平均気温の緩やかな上昇速度は、この期間の人為的な昇温傾向が内部変動と自然起源の強制力に駆動された変動によって部分的に相殺されたことで生じた一時的な現象であった一方で、海洋の貯熱は増加し続けていたことについて**確信度が非常に高い**。2012 年以降大幅な昇温が観測されており、過去 5 年間 (2016～2020 年) は少なくとも 1850 年以降の測器記録において最も高温な 5 年間であった (**確信度が高い**)。(TS.1.2, Cross-Section Box TS.1)
- **気候システムの応答の大きさ**：本報告書において、大幅な進歩 (例えば、雲フィードバックに関する不確実性の幅が 50% 低減)、及び古気候の情報を含む複数系統の証拠の統合の改善により、平衡気候感度 (ECS) 及び過渡的気候応答 (TCR) などの、放射強制力に対する気候システムの応答を定量化する指標について長年の課題であった不確実性の範囲を低減することが可能になっている。有効放射強制力 (ERF)、気候システムの放射応答、及び過去 50 年間に観測された地球システムのエネルギーの増加の定量化が改善されたことで、気候駆動要因、複合的な気候フィードバック、及び観測されたエネルギーの増加の独立した推定の間の整合性が AR5 と比較して改善されている。(TS.3.2)
- **将来の気候変動予測における制約の改善**：IPCC 報告書で初めて、シナリオに基づく予測 (AR5 が着目したものに)、過去の温暖化のシミュレーションに基づく観測による制約と、最新の平衡気候感度 (ECS) 及び過渡的気候応答 (TCR) の評価を組み合わせることで、世界平均気温の将来変化の評価が整合的に構築されている。加えて、2019～2028 年の期間については初期値化された予測が使用されている。これらの複数系統の証拠を含めることで各シナリオの評価の不確実性が低減されている。(TS.1.3, Cross-Section Box TS.1)
- **大気質**：AR5 は、大気質の予測が主に CH₄ を含む前駆物質の排出量に左右されると評価した。新たなシナリオは将来の大気汚染管理における多様な選択肢を検討している。AR6 は、これらの前駆物質排出の一部につ

⁹ 気候システムに対する人間の影響とは、地球のエネルギー収支の摂動 (人為起源の強制力とも呼ばれる) により気候システムに変化をもたらす人間による活動の帰結を指す。人間の影響は、温室効果ガス、エアロゾルと対流圏オゾンの前駆物質、及びオゾン破壊物質の排出、並びに土地利用変化の結果として生じる。

¹⁰ 本技術要約を通して、「主要な駆動要因」とは変化の 50% を超える部分の要因であることを意味する。

¹¹ WGI 報告書を通して、特に明記しない限り、不確実性は 90% 信頼区間を用いて定量化される。90% 信頼区間は角括弧を用いて [x~y] の形で報告され、推定対象の値を 90% の可能性で含むと推定される範囲を示す。この範囲は中央値を包含し、推定対象の値が範囲の下限 (x) より小さい可能性と上限 (y) より大きい可能性は合わせて 10% であると推定される。多くの場合、可能性の分布は対応する最良推定値について対称であると考えられるが、必ずしもそうとは限らない。本報告書において、評価された 90% 信頼区間を「可能性が非常に高い範囲」と呼ぶ。同様に、評価された 66% 信頼区間を「可能性が高い範囲」と呼ぶ。

いて地理的分布が最近急激に変化していることを報告しており、AR5 の知見を裏付け、大気汚染が最も深刻なシナリオにおいて短寿命気候強制因子の昇温効果がより大きくなることを示している。(TS.1.3, TS.2.2, Box TS.7)

- **短寿命気候強制因子の地球温暖化への影響**：AR5 は排出された組成の放射強制力を評価した。AR6 はこれを拡張し、エアロゾル-雲相互作用も考慮して排出量に基づく ERF を評価している。二酸化硫黄 (SO₂) 及び CH₄ の排出に起因する ERF の最良推定値は AR5 よりも大幅に増加した一方で、ブラックカーボンのそれは大幅に減少している。また、ブラックカーボンの排出に起因する ERF の不確実性の大きさは AR5 と比較して低減されている。(TS.3.1)
- **地球規模の水循環**：AR5 は、1960 年以降地球規模の水循環が人為的な影響を受けている **可能性が高い**と評価した。AR6 で水循環を扱う章 (第 8 章) において、エアロゾルと温室効果ガスの変化に対する応答の理解の向上に伴い、人為起源の気候変動が 20 世紀半ば以降地球規模の水循環に検出可能な変化を引き起こしていると **高い確信度**で結論されている。さらに、AR6 は世界のほとんどの地域において、全ての排出シナリオの下で水循環の変動が増大すると **高い確信度**で予測されている。
- **極端現象**：AR5 は、極端な気候の変化の一部に人間の影響が検出されていると評価した。AR6 で極端現象を扱う章 (第 11 章) において、人為的な温室効果ガスの排出が 1850 年以降、一部の気象と気候の極端現象、特に極端な気温の頻度及び/又は強度の増加をもたらしていることは確立された事実であると結論されている。AR5 以降、いくつかの種類の極端現象、特に極端な降水、干ばつ、熱帯低気圧、及び複合的な極端現象 (火災が発生しやすい気象条件を含む) について、観測された変化と人間の影響への要因特定の証拠が強化されている。(TS.1.2, TS.2.1, Box TS.10)

AR5 及び SR1.5 以降の主な更新及び/又は新たな結果

- **地球温暖化が 1.5°C を超過する時期**：SR1.5 と本報告書とで少々異なる手法が使用されている。SR1.5 は、温暖化が一定の速度で継続すると仮定して、(30 年平均で)地球温暖化の水準が 1.5°C に達する **可能性が高い**範囲は 2030~2052 年であると評価した。AR6 は、これまでの地球温暖化の推定の上方修正と、考慮された全てのシナリオに対する気候応答の評価を合わせて、(20 年平均で)地球温暖化の水準が 1.5°C を超過する中央推定値は、大きな火山噴火がないと仮定した場合、SR1.5 で評価された **可能性が高い**範囲の初期にあたる 2030 年代初頭に生じるとしている。(TS.1.3, Cross-Section Box TS.1)
- **残余カーボンバジェット**：AR5 は、累積 CO₂ 排出量に対する過渡的気候応答 (TCRE) は、1000 GtC (1 GtC

= 1 PgC = 3.664 GtCO₂) あたり 0.8°C~2.5°C の範囲である **可能性が高い**と評価しており、この範囲は SR1.5 でも使用された。AR6 の評価では、複数系統の証拠に基づき **可能性が高い**範囲が 1000 GtC あたり 1.0°C~2.3°C と狭くなっている。これは方法論の改善と最近の観測とともに、残余カーボンバジェットの推定の更新に取り入れられている (TS.3.3.1 項を参照)。(TS.1.3, TS.3.3)

- **短寿命気候強制因子が今後数十年間の地球温暖化に与える影響**：SR1.5 は、地球温暖化を 1.5°C に抑える経路において、降温効果を持つエアロゾルの排出削減は 20 年から 30 年にわたって温室効果ガスの排出削減の効果を部分的に打ち消すと述べた。AR6 の評価はエアロゾルの正味の降温効果に関する AR5 の評価を更新し、全てのシナリオにおいて今後 20 年間に短寿命気候強制因子の変化が更なる昇温を引き起こす **可能性が非常に高い**ことを確認している。(TS.1.3, Box TS.7)
- **COVID-19**：COVID-19 流行抑制対策に伴う 2020 年の一時的な排出削減は、正味正の小さな放射効果 (昇温効果) をもたらした。ただし、一時的な性質の排出削減のため、この強制力に対する地球規模及び地域規模の気候応答は、気候の内部変動を超えて検出されていない。(TS.3.3)

AR5、SRCCL、及び SROCC 以降の主な更新及び/又は新たな結果

- **大気中のメタン濃度**：SRCCL は、大気中の CH₄ 濃度が 2007 年以降再び増加していると報告した。AR6 は、2014~2019 年の増加が急速になっていると報告し、2007 年以降の増加の大部分は化石燃料及び農業 (主に家畜) 部門からの排出によって引き起こされたと評価している。(TS.2.2)
- **陸域と海洋の炭素吸収源**：SRCCL は、陸域吸収源の持続性は気候変動により不確かであると評価した。AR6 の知見によると、陸域と海洋の炭素吸収量は大気中の CO₂ 濃度の増加に伴い 2100 年まで増加し続けるが、排出のうち陸域と海洋に吸収される割合は CO₂ 濃度の増加に伴い減少し、陸域吸収源について不確実性の幅がはるかに大きくなると予測される。AR5、SR1.5、及び SRCCL は二酸化炭素除去 (CDR) の選択肢とシナリオを評価した。AR6 の知見によると、炭素循環の応答が排出又は除去のパルスについて非対称である。すなわち、CO₂ 排出が大気中の CO₂ 濃度を増加させる効率は、CO₂ 除去が大気中の CO₂ 濃度を減少させる効率よりも高いだろう。(TS.3.3, Box TS.5)
- **海洋の成層の強化¹²**：AR6 での利用可能な観測データの精緻な解析により、表層 200 m における世界全体の成層の強化速度は、SROCC で 1970 年から 2018 年までについて推定されたものの 2 倍であると再評価された。(TS.2.4)

¹² 成層が強まると、熱、塩分、酸素、炭素、及び栄養塩の鉛直混合が弱まる。成層は海洋循環の重要な指標である。

- **予測される海洋の貧酸素化**：WGI AR6 で評価された新たな予測における将来の海面付近の酸素の減少は、2080～2099 年について SROCC で評価されたものよりも大幅に大きい。(TS.2.4)
- **氷河と氷床の氷の減少**：SROCC 以降に地球規模で氷河の変化が解明されたことで、過去 20 年間の氷河の質量減少の推定が改善され、グリーンランド氷床と南極氷床の減少の推定が 2020 年まで拡張されている。(TS.2.5)
- **観測された世界平均海面水位の変化**：SROCC 以降に公表された観測に基づく新たな推定値により、1901 年から 2018 年までの海面水位上昇の推定値について、個々の構成要素の合計と整合的で、地球のエネルギー収支が閉じることとも整合的な評価が得られている。(Box TS.4)
- **予測される世界平均海面水位の変化**：AR6 の世界平均海面水位の予測は海洋の熱膨張と陸氷の寄与の推定に基づき、評価された ECS 及び評価された世界平均気温の変化と整合的である。これらの予測は、新たな陸氷モデルの相互比較と、将来の南極の氷の減少に関する大きな不確実性を特徴づける *確信度が低い* プロセスの考慮によって支持されている。新たなモデルと手法に基づく AR6 の予測は SROCC の知見とおおむね整合的である。(Box TS.4)

TS.1 変化する気候

本節 (TS.1) は、気候変動の自然科学的根拠に関する AR6 の評価を紹介し、この評価が行われた気候的な文脈、気候科学の最近の進展、並びに影響とリスクの評価における地球規模及び地域規模の気候情報の関連性を提示する。本報告書全体にわたって評価を統合するために使用される将来の排出シナリオと地球温暖化の水準を紹介し、それらの将来の気候予測への応用にも簡潔に触れる。古気候の科学は、過去 150 年間に観測された気候の変化及び 21 世紀以降に予測される変化について、長期的な文脈を提供する (Box TS.2)。本報告書を通して使用される標準的な基準期間及び参照期間¹³と比べた過去、現在、及び将来の世界平均気温の変化の評価は Cross-Section Box TS.1 に要約されている。

TS1.1 変化する気候の背景

本報告書では、圧倒的な人間の影響によって急速に気候システムが変化している世界についての新たな科学的証拠を評価する。1990 年以降の 5 回の IPCC 評価サイクルは、変化する気候システムについて急速に蓄積する証拠を包括的に一貫して提示してきた。2007 年の第 4 次評価報告書 (AR4) において、気候システムの温暖化は疑う余地がないと初めて結論付けられた。気候システムの全ての主要な要素、すなわち大気、陸域、雪氷圏、生物圏、及び海洋に持続的な変化が報告されている (TS.2)。近年の大規模な気候変動は数千年規模で前例のないものであり、反応の遅い気候システムの要素にとって、これらの変化は数千年の時間スケールで避けることができず、世界的に継続する氷の減少、海洋貯熱量の増加、海面水位上昇、及び海洋深層の酸性化をもたらすことを複数系統の証拠が示している (Box TS.2; TS.2)。{1.2.1, 1.3, Box 1.2, 2.2, 2.3, 図 2.34, 5.1, 5.3, 9.2, 9.4~9.6, Appendix 1.A}

地球の気候システムは何百万年もかけて変化しており、自然の記録からの証拠は、観測された変化と今後数百年にわたって予測される変化について、長期的展望を提供する。このような過去の気候を復元した情報は、複数の時間スケールにわたる様々なプロキシ (代替指標) 記録からの証拠 (Box TS.2, TS.2) に基づいて、大気中の CO₂ 濃度と世界平均気温が強く連動していることも示している (図 TS.1)。どの排出経路を辿るかによっては、数百万年にわたってみられない地球温暖化の水準 (Core Concepts Box を参照) に、2300 年までに達しうだろう (TS.1.3)。例えば、本報告書で用いた中程度のシナリオ¹⁴では、2300 年までに世界平均気温は 1850～1900 年より [2.3°C～4.6°C] 上昇し、約 320 万年前の中期鮮新世の温暖期 [2.5°C～4°C] と同程度となる一方で、CO₂ 排

¹³ 本報告書を通して、いくつかの基準期間又は参照期間が整合的に使用されている。基準期間とは、それに対する偏差 (すなわち、基準期間の平均値からの差) を算出するための期間を指す。例として、1750 年基準 (人為起源の放射強制力について使用される)、1850～1900 年基準 (地球温暖化の水準を算出するための工業化以前の世界平均気温の近似)、1995～2014 年基準 (多くの気候モデルの予測において使用される) が含まれる。参照期間は、様々な統計値を計算するための期間を示す (例えば、短期の参照期間は 2021～2040 年)。古気候の参照期間は Box TS.2 に記載されている。{1.4.1, Cross-Chapter Boxes 1.2, 2.1}

¹⁴ 本報告書で用いた気候変動シナリオの概要については、TS.1.3.1 を参照。

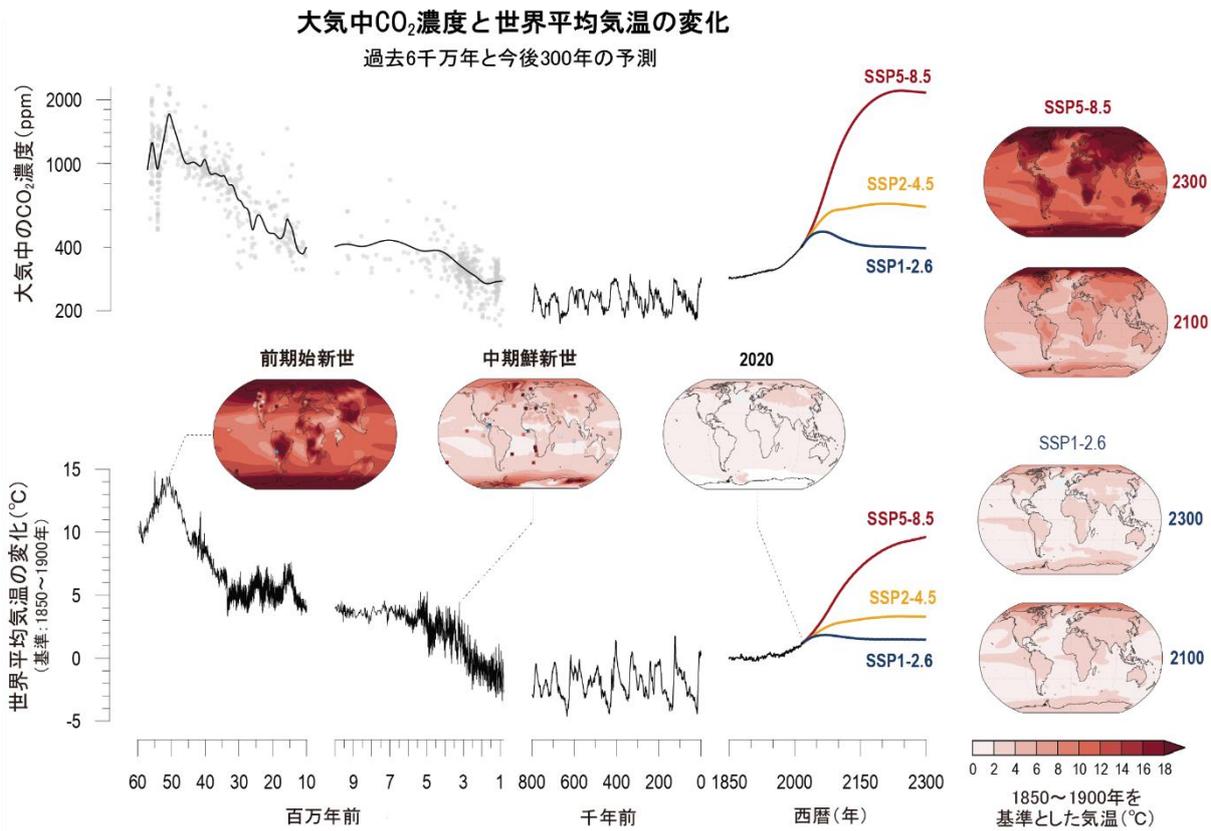


図 TS.1 | 遠い過去から今後 300 年までの大気中の CO₂ 濃度と世界平均気温（1850～1900 年との比較）の変化。この図の意図は、過去と将来の両方において CO₂ 濃度と気温が連動して変化すること、また、予測される CO₂ 濃度と気温は何百万年も前のものと同じ水準にはならないことを示すことである。数百万年前以降の CO₂ 濃度は、複数のプロキシ記録から復元されたもの（灰色の点は 2.2.3.1 のデータ、図 2.3 を三次スプライン曲線とともに示す）。80 万年前から 20 世紀半ばまでの CO₂ 濃度は極域の氷に閉じ込められた空気から、最近の値は大気の直接測定から得られたもの。1850 年以前の世界平均気温は、海洋の酸素同位体（古気温を評価するために本報告書で使用されている複数の証拠の一つ）から推定されている。過去 170 年間の気温は、AR6 で評価された平均値。CO₂ 濃度及び世界平均気温の将来変化は、評価された世界平均気温を基準に較正された地球システムモデルのエミュレータを用いて、西暦 2300 年まで 3 つの共通社会経済経路（SSP）シナリオについて示されている。これらのなめらかな変化曲線は、将来起こりうる火山噴火に対する過渡的応答を含む、年々変動から数十年規模の変動は考慮されていない。2 つの古気候の参照期間における全球分布図は、第 6 期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）及び CMIP6 以前の複数モデル平均に基づき、比較のため地点レベルのプロキシデータも示されている（四角と丸はそれぞれ海洋と陸域）。2020 年の分布図は、1850～1900 年以降に観測された昇温量の推定値である。グラフの右側にある分布図は 2100 年（2081～2100 年）と 2300 年（2281～2300 年）における 2 つの SSP シナリオ下の昇温を示す（分布図は CMIP6 モデルによる、気温は 4.7.1 で評価されたもの）。過去の世界平均気温の変化に付随する主要な気候強制力の簡単な説明は、Cross-Chapter Box 2.1 参照。（TS.1.3、図 TS.9、Cross-Section Box TS.1、Box TS.2）{1.2.1.2；図 1.14、図 1.5；2.2.3；2.3.1.1；2.3.1.1.1；図 2.4、図 2.5；Cross-Chapter Box 2.1 図 1；4.5.1；4.7.1；Cross-Chapter Box 4.1；Cross-Chapter Box 7.1；図 7.13}

出が多い SSP5-8.5 シナリオでは 2300 年までに [6.6°C～14.1°C] となり、約 5000 万年前の前期始新世気候最適期 [10°C～18°C] と重なることについて確信度が中程度である。{Cross-Chapter Boxes 2.1, 2.4, 2.3.1, 4.3.1.1, 4.7.1.2, 7.4.4.1}

気候システムの基本的要素に関する理解は確固として十分に確立されている。19 世紀の科学者達によって、気候システムに影響を及ぼす主要な自然起源の要因が特定された。彼らはまた、化石燃料（石油、石炭、天然ガス）の燃焼によって排出される二酸化炭素(CO₂)に起因する人為起源の気候変動の潜在的可能性についての仮説を立てた。入射する太陽放射、火山活動、軌道周期の変化を含む主要な自然起源の気候変動駆動要因、及び地球全体の生物地球化学的循環の変化は、20 世紀初頭以降、体系的に研究されている。大気中のエアロゾル（微小な固体

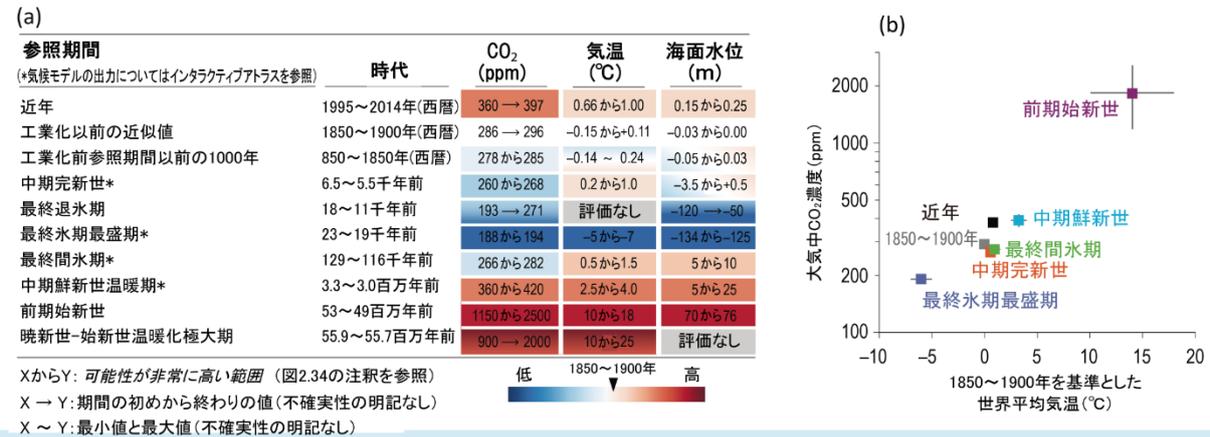
粒子又は液滴）、土地利用変化、及び非 CO₂ 温室効果ガスなど、他の主要な人為起源の駆動要因は、1970 年代に特定された。体系的な科学的評価が 1970 年代に始まって以来、気候システムの温暖化に対する人間活動の影響は、理論から確立した事実へと発展している（TS.2 も参照）。近年の気候変動に対する人間の影響を示す証拠は、1990 年の IPCC 第 1 次評価報告書から 2013/14 年の IPCC 第 5 次評価報告書にかけて強化され、本評価では一層強まった（TS.1.2.4、TS.2）。地域規模の気候と極端現象の変化を含む、気候システムのより多くの構成要素にわたる変化について、人間の影響が要因として特定されるようになっている（TS.2 及び TS.4 を参照）。{1.3.1～1.3.5, 3.1, 11.2, 11.9}

Box TS.2 | 古気候

古気候の証拠は、気候システムをより完全に理解するために、WGI 報告書全体にわたって複数系統の証拠の中に統合されている。古気候の証拠は、気候変数及び気候駆動要因の測器に基づく観測を過去にさかのぼって拡張し、近年の変化及び潜在的将来変化がどの程度異例かを測るのに必要な長期的文脈を提供する(TS.2, 図 TS.1)。工業化以前の気候状態は、気候システムの応答の遅い構成要素が数百年から数千年(避けられない気候変動の時間スケール)にわたってどのように作用するかについての経験的証拠とともに、過去の地球温暖化の水準での気候特性について現実世界での例を提供することによって、気候モデル予測からの証拠を補完する(Core Concepts Box, Box TS.4, Box TS.9)。十分な記録がある古気候の参照期間における気候システムの状態に関する情報は、気候強制力に対する地球の感度の評価全般において、不確実性の幅を狭めるのに役立つ(TS.3.2.1)。{Cross-Chapter Box 2.1, FAQ 1.3, FAQ 2.1}

古気候の参照期間。地球の気候の長い変化の中でもいくつかの期間は、独特の気候状態及び急速な気候の変遷を示す例として広く研究者の関心を集めている(Box TS.2 図 1)。このような古気候の参照期間は、現地質時代(新生代、過去 6500 万年間)を代表し、工業化以前の気候変動の評価の構築を容易にするために、全ての章にわたって使用されている。Cross-Chapter Box 2.1 では、基準期間について、それらの気候強制力の簡単な説明と合わせて解説し、各基準期間が他の章のどこで議論されているかを列挙している。Cross-Chapter Box 2.4 は、基準期間の一つである中期鮮新世の温暖期に関する情報を要約している。インタラクティブアトラスには、4つの古気候基準期間について、世界気候研究計画の第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)のモデル出力が含まれている。

全球の気候について選択した3つの指標は、複数の古気候参照期間にわたって同様に変化している



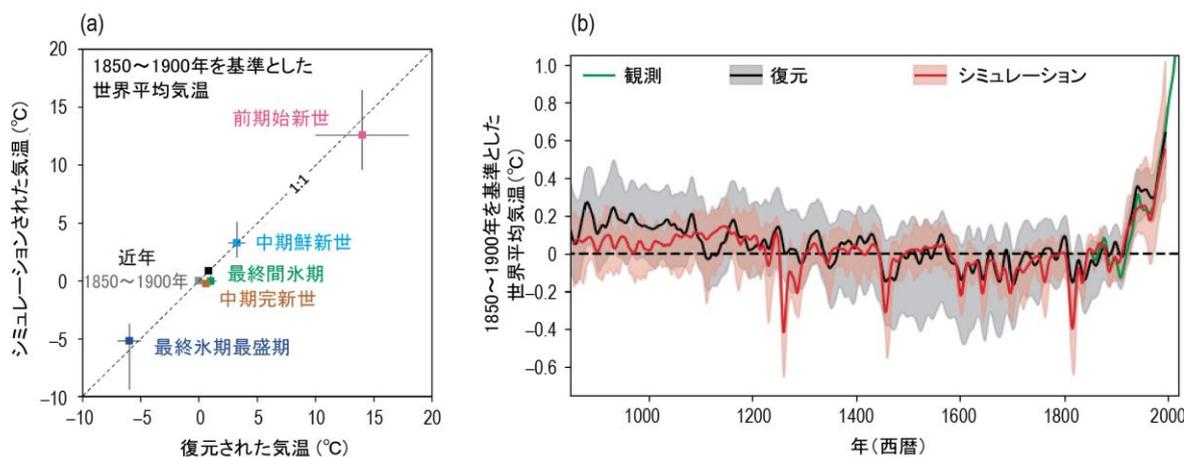
Box TS.2 図 1 | 古気候及び近年の参照期間、並びに選定された主要指標。この図の意図は、本報告書で使用される古気候の参照期間を列挙し、3つの主要な地球規模の気候指標を要約し、複数の期間におけるCO₂濃度と世界平均気温を比較することである。(a)第2章の評価に基づく大規模スケールでの3つの気候指標(大気中のCO₂濃度、1850~1900年を基準とした世界平均気温、及び1900年を基準とした世界平均海面水位)。確信度が低いから非常に高いまでである。(b)複数の参照期間における世界平均気温(1850~1900年比)と大気中のCO₂濃度(対数スケールで表示)の比較(中央値と5~95%の範囲)。(2.2.3, 2.3.1.1, 2.3.3.3, 図 2.34)

古気候モデルと復元。第1次評価報告書以降、古気候の参照期間を対象とする気候モデルはIPCCに取り上げられている。CMIP6-PMIP4(古気候モデリング相互比較プロジェクト)の枠組の下で、複数の古気候の参照期間についてモデル相互比較のための新しいプロトコルが開発されている。このようなモデリングの努力は、地球の公転軌道及びプレート運動の変化、太陽放射照度、火山活動、氷床の規模、及び大気中の温室効果ガスを含む様々な外部強制力に対する気候応答の理解向上につながっている。同様に、古気候シミュレーションと比較されるプロキシ記録による気候変数の定量的復元も、調査地点の数及びプロキシの種類が拡大するにつれて、またこれらの記録が地域規模及び地球規模の新しいデータセットに蓄積されるにつれて、改善されている。(1.3.2, 1.5.1, Cross-Chapter Boxes 2.1, 2.4)

世界平均気温。AR5以降、気候強制力の更新、モデルの改良、増え続ける数々のプロキシ記録の長所と短所に関する新たな理解、年代特定の向上、及びより強固なプロキシデータプロダクトによって、モデルと復元結果の一致度が向上している。世界平均気温については、AR6で評価した範囲の中間値とモデルがシミュレーションした中央値の間には5つの参照期間にわたって平均0.5°Cの差がある。これら(復元値とシミュレーション)は、5つの基準期間のうち4つで90%の範囲で重なっており、合わせると1850~1900年を基準として最終氷期最盛期の約6[5~7]°C寒冷から前期始新世の約14[10~18]°C温暖の範囲に及ぶ(Box TS.2 図 2a)。複数の強制力に応答した緯度別の気温の変化は、極域増幅(高緯度における昇温が全球平均より大きいこと)が複数の気候状態にわたる気候システムの顕著な特徴であることを示しており、過去の温暖な気候においてこの極域増幅をシミュレーションするモ

デルの能力が AR5 以降向上している（確信度が高い）。過去千年間、特に西暦 1300 年頃以降の世界平均気温偏差のシミュレーション結果は、強制力に関する異なるデータセット間で不一致のある大規模な火山噴火直後の短い期間を除いて、復元結果の不確実性の範囲内に十分収まっている（確信度が中程度）（Box TS.2 図 2b）。{2.3.1.1, 3.3.3.1, 3.8.2.1, 7.4.4.1.2}

プロキシ及びモデルシミュレーションに基づく世界平均気温の推定値は、複数の参照期間にわたって整合している



Box TS.2 図 2 | プロキシ記録（復元）と気候モデル（シミュレーション）から推定された世界平均気温。この図の意図は、古気候基準期間における世界平均気温についての観測とモデルの一致度を示すことである。(a) 個々の古気候の参照期間の推定気温。(b) 過去 1000 年間の推定値と測器による気温観測値(AR6 で評価した平均値、10 年で平滑化)。(a)と(b)におけるモデルの不確実性は複数モデルアンサンブル平均の 5~95%の範囲、復元の不確実性は (a) 中間値と (b) 複数モデルアンサンブルの中央値の 5~95%の範囲（確信度が中程度）である。{2.3.1.1, 図 2.34, 図 3.2c, 図 3.44}

正味ゼロの CO₂ 排出。人間活動によって大気中に排出される CO₂ の量と人間活動によって大気中から除去される CO₂ の量が一定期間にわたって等しい状態を指す。正味負の CO₂ 排出とは、人為的な除去量が人為的な排出量を上回る状態を指す。(TS.3.3) {Box 1.4, Glossary}

平衡気候感度。古気候データは、平衡気候感度 (ECS¹⁵) を推定するための証拠を提供する (TS.3.2.1)。AR6 では、古気候の参照期間における古気候データが精緻化されたことより、ECS は 1.5°C より大きい可能性が非常に高く、4.5°C より小さい可能性が高いことが示された。これは他の一連の証拠とほとんど整合的であり、ECS の評価全体の不確実性の範囲を狭めるのにも役立っている。ECS が高い (>5°C) 又は低い (<2°C) 値をとる CMIP6 気候モデルのいくつかは、最も寒冷な基準期間と最も温暖な基準期間のプロキシ記録に基づく復元結果の範囲を逸脱して、過去の世界平均気温変化をシミュレーションしている。AR5 以降、過去の温暖期及び氷期-間氷期サイクルのプロキシ記録を含む独立した多方面の証拠によると、強制力に対する感度は気温上昇とともに増加する (TS.3.2.2)。{7.4.3.2, 7.5.3, 7.5.6, 表 7.11}

水循環。水文気候の新たな復元結果とモデルデータの比較により、モンスーンの変動性及び変動モードを含む、大気循環及び海洋循環の長期変化の原因と影響について理解が向上した (Box TS.13, TS.4.2)。気候モデルは、プロキシ記録によって知られている過去の大規模干ばつ（メガドラウト）の深刻度、持続期間及び空間的広がりを含む、干ばつの十年規模の変動性を大きな地域規模で再現できる（確信度が中程度）。ただし、初期完新世（過去 11,700 年）におけるアフリカモンスーンに伴う降水量の規模などに、長年にわたる不一致がいくつか残っており、知識ギャップが続いていることが示唆されている。古気候の証拠から、鮮新世のように比較的二酸化炭素濃度の高い気候では、赤道太平洋上でウォーカー循環が弱まることが示されており、21 世紀末までにウォーカー循環が弱まるという確信度が高いモデル予測を裏付けている。{3.3.2, 8.3.1.6, 8.4.1.6, 8.5.2.1, 9.2}

海面水位と氷床。過去の地球温暖化と将来の地球温暖化ではその強制力が異なるにもかかわらず、古気候記録とモデリングからの証拠は、氷床質量と世界平均海面水位 (GMSL) が数千年にわたって動力学的に反応したことを示している（確信度が高い）。この証拠は、地球温暖化に対する避けられない GMSL の応答の推定値を制約するのに役立つ (Box TS.4)。例えば、中期鮮新世の温暖期のように、1850~1900 年を基準とした地球温暖化の水準が [2.5°C ~4°C] 程度であった時代は、海面水位は 1900 年より [5~25m] 高く（確信度が中程度）、前期始新世のように地球温

¹⁵ 本報告書では、大気中の二酸化炭素 (CO₂) 濃度を工業化以前の状態から 2 倍にしたときの地表気温の平衡状態（定常状態）での変化を、平衡気候感度 (ECS) と定義している。

暖化の水準が[10°C~18°C]であった時代は、地球は実質的に氷がない状態であった（確信度が高い）。これらの過去の温暖期による制約と、物理的な理解、氷河学、及びモデリングを組み合わせることで、1 万年以上にわたる長期的な世界平均海面水位の上昇が避けられず、地球温暖化のピークが 2°C で持続する場合には約 8~13m、5°C の場合は 28~37m に達し、AR5 の推定値を上回ることが示されている。{2.3.3.3, 9.4.1.4, 9.4.2.6, 9.6.2, 9.6.3.5}

海洋。AR5 以降、古海洋学的データとモデリングの統合が改良されたことに加えて、過渡的変化の解析が高解像度化されたことによって、長期の海洋プロセスの理解が向上している。最終氷期最盛期の低緯度の海面水温は、これまでの推定よりも低く、AR5 で指摘されたいくつかの矛盾が解決された。この古海洋学的文脈は、現在進行している海洋貯熱量（OHC）の増加が長期的な不可避性（Core Concepts Box を参照）を呈し、人間の時間スケールでは基本的に不可逆であるという評価を裏付けている（確信度が高い）。過去の全球 OHC 推定値の変動は、概して南極周辺における海面水温の推定値を追随しており、深層水温の調節における南大洋プロセスの重要性を浮き彫りにしている。古気候データは、氷期-間氷期の変化に関する他の証拠とともに、昇温した間氷期に南極周極流が強化されていたことと、南極底層水のベンチレーション（通気）が加速したことによって、深海に蓄積されていた CO₂ の大気への放出が促進されたことを示している。古気候の証拠は、温かさがピークに達した時期において融解水の流入に伴う深海のベンチレーションが著しく減少したことを示唆している。{2.3.1.1, 2.3.3.1, 9.2.2, 9.2.3.2}

炭素循環。過去の気候状態は、大気を含む様々な炭素貯留のインベントリにおける大きな違いと関連していた（TS.2.2）。AR5 以降、これまでになかった堆積物のプロキシと極域の氷に閉じ込められた空気の安定同位体分析が開発されたことで、炭素ストックの定量化が改善した。最終氷期最盛期に陸域の炭素貯留量は 300~600 PgC も著しく減少し、岩石圏及び海洋堆積物との相互作用を考慮すると 850 PgC 減少した可能性もある。これは、従来の推定より大きな減少量で、気候がより寒冷で乾燥していたためである。同時に、海洋内部での再石灰化炭素の貯留量は 750~950 PgC ほど増加し、これは大気からの炭素除去量（200 PgC）と陸上生物圏の炭素貯留量の合計のバランスをとるのに十分である（確信度が高い）。{5.1.2.2}

TS.1.2 気候科学の進歩

TS.1.2.1 観測に基づくプロダクトとその評価

AR5 以降、観測能力は全体として改善と拡大を続けており、気候の駆動要因、複合的気候フィードバック、及び観測されたエネルギー増加と海面水位上昇に関する独立した推定値の間の整合性向上を可能にしている。衛星観測による気候記録と改良された再解析は、地球規模及び地域規模での変化を評価するための追加的な多方面の証拠として使用されている。ただし、一部の観測データが網羅する範囲の縮小、又はデータの連続性低下、及びデータポリシー上の問題からアクセス制限も生じている。熱帯域の氷河などの自然自体に記録された過去の気候アーカイブも（部分的には人為起源の気候変動によって）消失の危機にさらされている。{1.5.1, 1.5.2, 10.2.2}

地球システムの観測は、気候変動の理解を向上する上で欠かせない要素である。物理的気候システムを観測する能力は全体として改善と拡大を続けている。海洋観測ネットワーク及び遠隔測定システムにおける改善が特に顕著である。近年推進されているいくつかの衛星測定技術で得られた記録は、気候を評価するのに十分な長さの期間が現在揃っている。例えば、上部対流圏と成層圏における気温と湿度の高解像度鉛直プロファイルの全球分布は、全球測位衛星システムを用いて 2000 年代初頭から得られるようになっており、最近の大気の昇温の推定値更新につながっている。海洋貯熱量、陸域地表面の昇温、氷床質量減少、及び海面水位変化の測定が改善されたことにより、AR5 と比較して、全球エネルギー収支と海面水位収支の整合性が向上した。地上観測と気球観測のネ

ットワークについては、データポリシーの問題、データの収集整理/提供の課題、及び観測の実質的中止という事情の組み合わせによって地域データが見かけ上減少しているが、他の部分での改善によってある程度相殺されている。極端現象の観測記録が限られていることと空間的データギャップによって、観測された地域規模の気候変動の評価が現時点では限られる場合もある。{1.5.1, 2.3.2, 7.2.2, Box 7.2, Cross-Chapter Box 9.1, 9.6.1, 10.2.2, 10.6, 11.2, 12.4}

自然の中に記録されたアーカイブから復元された新たな古気候情報によって、過去の気候変動の時空間的パターンを複数の時間スケールにわたってより確固として復元することが可能になった(Box TS.2)。ただし、熱帯の氷河などの古気候アーカイブと、較正に利用される現代の自然の記録（例えばサンゴ及び樹木）は、気温上昇を含む多くの負荷のために急速に姿を消しつつある（確信度が高い）。陸域及び海洋の両方における気象変数及び他の気候変数の過去の測器観測記録はかなりの量があり、既存のデータセットのギャップを埋めうるだろうが、デジタル化されていないか、アクセスできない状態である。これらの記録には、19 世紀まで遡った温度（大気及び海面）、降雨量、地上気圧、風向と風速、日射量、及び他の多くの変数の測定値が含まれる。{1.5.1}

再解析は、データ同化技術を用いて観測とモデル（例えば、数値気象予測モデル）を組み合わせ、進展する気候状態を説明する複数の変数について、空間的に欠けがなく力学的に整合した推定を提供する。AR5 以降、解像度の向上、記録の拡張、より整合的なデータ同化、及び不確実性推定の可用性増大などの様々な組み合わせで、大気と海洋についての再解析データが新たに開発されている

る。一方で、例えば、水循環に対する地球規模の変化を再解析でどのように表現するか、については課題が残っている。領域再解析は、地域の観測データ及び全球再解析からの境界条件によって制約された高解像度領域モデルを使用している。領域再解析は、降水、地表気温、及び地上風の極端現象の頻度と変動性を、全球再解析よりもよく表現し、力学的ダウンスケーリングの手法よりも個々の観測とより良く整合する推定を提供することについては**確信度が高い**。{1.5.2,10.2.1.2, Annex I}

TS.1.2.2 気候モデルの性能

本報告書では、世界気候研究計画の第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)に参加している気候モデルの結果を評価している。これらのモデルは物理的、化学的、及び生物学的プロセスの新たなより良い表現を含み、これまでのIPCC評価報告書で考慮された気候モデルと比べてより高い解像度を持つ。これにより、ほとんどの広域的な気候変動指標の最近の平均状態、及び気候システム全体にわたる他の多くの側面に関するシミュレーションが改善された。地域的な降水パターンなどについては、依然として観測との差異がある。これまでのIPCC評価報告書及び他の研究によって予測された世界平均気温の上昇、温暖化の空間パターン、及び世界平均海面水位の上昇は、特に予測に用いられた放射強制シナリオと実際に生じた放射強制力との差を考慮に入れば、その後の観測とおおむね整合する。

本報告書で評価したCMIP6の過去シミュレーションでは、世界平均気温変化のアンサンブル平均と観測との差は過去の期間のほとんどで 0.2°C 以内に収まっており、観測された昇温は、CMIP6アンサンブルの**可能性が非常に高い範囲**に収まっている。ただし、いくつかのCMIP6モデルでシミュレーションされた昇温は、観測された昇温の**可能性が非常に高い範囲の上又は下のいずれかに外れている**。モデルが過去の温暖化をどの程度正確にシミュレーションしているかという情報は、観測と理論から得られる他の知見と同様に、地球温暖化予測を評価するために利用される(Cross-Section Box TS.1を参照)。全球気候モデルの水平解像度を上げることで、日降水量の小規模の特徴と統計値が改善される(**確信度が高い**)。追加的な生物地球化学的フィードバックが組み込まれている地球システムモデルは、これらの追加的フィードバックを考慮せず、より複雑度が低い同等の全球気候モデルと、多くの場合同程度の性能を示している(**確信度が中程度**)。{1.3.6, 1.5.3, 3.1, 3.5.1, 3.8.2, 4.3.1, 4.3.4, 7.5, 8.5.1, 9.6.3.1}

世界気候研究計画の第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)の一環として調整及び収集された気候モデルシミュレーションは、前期プロジェクト(CMIP5)の様々な結果によって補完されたうえで、本報告書を裏付ける一連の主要な証拠となっている。最新世代のCMIP6モデルでは、これまでの世代と比べて物理プロセスの表現が改善され、さらに、より広範な地球システムモデルが生物地球化学的循環を表現するようになってい

る。より小さなスケールのプロセスをより良好に捉えることができる高解像度モデルも、気候変動研究においてますます利用可能になっている(図TS.2 パネルa及びb)。統合地域気候ダウンスケーリング実験(CORDEX)などの組織化された領域気候モデリングのイニシアチブから得られた結果は、特に複雑な地形帯、沿岸域及び小島嶼、並びに極端現象に関して、CMIP全球モデルを補完して価値を高める。{1.5.3, 1.5.4, 2.8.2, FAQ 3.3, 6.2.2, 6.4, 6.4.5, 8.5.1, 10.3.3, Atlas.1.4}

これまでのIPCC評価報告書及び他の研究によって予測された世界平均気温の上昇及び温暖化の空間パターンは、特に、予測に用いた放射強制シナリオと実際に生じた放射強制力の違いを考慮に入れば、その後の観測とほぼ整合的であった(**証拠が限定的、見解一致度が高い**) (図TS.3)。AR5とSROCCによる2007~2018年の世界平均海面水位(GMSL)の予測によると、観測されたGMSL及び潮位計の観測データの地域加重平均の変化傾向と整合する。{1.3.6, 9.6.3.1}

広域的な気候変動指標のほとんどについて、本評価の基礎となるCMIP6のモデルでシミュレーションされた最近の平均気候は、AR5で用いられたCMIP5のモデルと比較して改善されている(**確信度が高い**)。これは、3世代のモデル(CMIP3、CMIP5、CMIP6)間でシミュレーションされた大気及び陸域に関する18の広域的な気候変動指標について、再解析データ及び観測データを基準として評価したときの性能を見れば明白である(図TS.2 パネルc)。生物地球化学的フィードバックの追加を特徴とする地球システムモデルは、多くの場合、これらのフィードバックがなく、より制約され複雑度がより低い関連モデルと少なくとも同等の性能を発揮する(**確信度が中程度**)。{3.8.2, 10.3.3.3}

1850~1900年から2010~2019年にかけての世界平均気温の変化に関するCMIP6複数モデル平均は、観測された昇温量の最良推定値に近い値である。ただし、いくつかのCMIP6モデルでシミュレーションされた昇温は、評価された**可能性が非常に高い範囲の上又は下に外れている**。CMIP6モデルは、激しい火山活動があった時期の後に生じた降温を含む、過去1000年にわたる地表付近の気温の変動も再現している(**確信度が中程度**)。上空の気温については、CMIP5モデルとCMIP6モデルのほとんどが、熱帯上部対流圏の昇温を、1979~2014年について10年あたり約 0.1°C 過大評価し続けている(**確信度が中程度**)。一方で、成層圏全体の世界平均気温変化のシミュレーションと改善された衛星による推定値との間の差異は減少した。{3.3.1}

いくつかのCMIP6モデルには、雲の表現の改善がみられる。CMIP5モデルによる負の短波の雲放射の効果は、現在気候において弱すぎるものが多かった。この誤差は、十分な数の過冷却液滴をより現実的にシミュレーションしたことと、それに伴って雲の光学的厚さが増加したことにより、特に南大洋上で低減された。地上の昇温にตอบสนองした雲の光学的厚さの負のフィードバックは、氷から

液体への雲粒の活発な相変化を通して雲が「明るくなる」（雲の短波放射効果が増大する）ことによって生じることから、CMIP6 モデルにおける熱帯以外の負の雲の短波フィードバックは以前よりも小さくなり、結果的に観測による推定値との一致度が向上した（*確信度が中程度*）。CMIP6 のモデルは概して、前世代の気候モデルよりもエアロゾル-雲相互作用を駆動するプロセスをより多く表現しているが、それによってエアロゾル-雲相互作用の放射強制力のシミュレーションの精度を向上させていることについては*確信度が中程度*に過ぎない。{6.4, 7.4.2, FAQ 7.2}

CMIP6 モデルによる降水パターンのシミュレーションには、特に熱帯海上においてまだ不十分なところがある。全球気候モデルの水平解像度を上げることで、日降水量の小規模の特徴と統計値が改善される（*確信度が高い*）。高解像度の全球モデル、領域モデル、及び水文モデルは、地形、植生、及び土地利用の変化を含む、地表付近のより良い表現を提供し、陸域の水循環における地域的変化のシミュレーションの精度を向上させることについての*確信度が高い*。{3.3.2, 8.5.1, 10.3.3, 11.2.3}

気候モデルは、変化傾向の大きさは異なるかもしれないものの全世界及びほとんどの地域で最近観測された極端な気温の平均状態及び総体的昇温傾向を再現しうることについて、*確信度が高い*。陸域における極端な降水の大規模スケールの空間分布を捉えるモデルの能力については*確信度が高い*。極端な降水の強度と頻度をシミュレーションする際の CMIP6 モデルの性能全般は、CMIP5 モデルの性能と同程度である（*確信度が高い*）。{Cross-Chapter Box 3.2, 11.3.3, 11.4.3}

複数モデル平均の海水温バイアスの構造と大きさは、CMIP5 と CMIP6 との間で大きくは変わらない。（*確信度が中程度*）。AR5 以降、海洋上層(< 700 m)における貯熱量変化の近年の観測推定値とモデルシミュレーションとの間の整合性が向上した。南大洋の平均的な東西方向の循環及び南北方向の子午面循環、並びに北大西洋の平均的な南北方向の子午面循環（大西洋子午面循環、AMOC）は、CMIP5 及び CMIP6 モデルでおおむね再現されている。{3.5.1, 3.5.4, 9.2.3, 9.3.2, 9.4.2}

CMIP6 モデルは人為的な CO₂ 排出に対する北極海の海氷面積の感度をより良くシミュレーションしており、衛星観測による北極海の海氷減少の時間変化をより良く捉えている（*確信度が高い*）。AR5 以降、氷床プロセスをモデル化する能力は大幅に向上した。その結果として、不安定性がない場合の氷床表面の質量収支と接地線（接地した氷床と棚氷の接合部で、氷が浮き始める箇所）の後退に関連する主要プロセスの表現について*確信度が中程度*である。ただし、氷床の不安定性、棚氷崩壊、及び底面融解のシミュレーションは、海洋強制力の不確実性と、

境界条件及びパラメータの不確実性の両方に対して感度が高いため、*確信度が低い*ままである。{1.5.3, 2.3.2, 3.4.1, 3.4.2, 3.8.2, 9.3.1, 9.3.2, 9.4.1, 9.4.2}

CMIP6 モデルは、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) 及びインド洋の海盆モードとダイポールモードにおける変動の空間的構造と分散のほとんどの側面を再現できる（*確信度が中程度*）。ただし、CMIP6 ではわずかに改善されたものの、いくつかの基本的プロセスの表現はまだ不十分である。南半球環状モード (SAM) と北半球環状モード (NAM) において観測された空間的な特徴と分散は、モデルによって非常によく再現されている（*確信度が高い*）。夏季の SAM の変化傾向の再現性は良好であり、特に CMIP6 モデルは CMIP5 モデルよりも優れている（*確信度が中程度*）。対称的に、NAM が正位相に向かう変化傾向の原因はよく理解されていない。大西洋東西モード及び南北モードを包含する大西洋熱帯域については、モデル化された平均状態と変動性に大きなバイアスが残っている。十年規模変動のモードに関連する海面水温偏差の再現において、モデルの性能は、CMIP5 から CMIP6 にかけて改善されたものの、依然として限られている（*確信度が中程度*）(TS.1.4.2.2、表 TS.4 も参照)。{3.7.3~3.7.7}

地球システムモデル (ESM) のシミュレーションによる世界平均陸域炭素吸収量は、観測に基づく推定値の範囲内にある（*確信度が高い*）が、地球規模の一致が地域規模の大きな不一致を覆い隠している。また、1990 年代における海洋への全球正味 CO₂ フラックスの弱まりと、2000 年以降のフラックスの強まりを ESM がシミュレーションしていることについても*確信度が高い*。{3.6}

温室効果ガス (GHG) 濃度の変化に対して気候システムがどのように応答するかを推定するために用いられる重要な数値として、平衡気候感度 (ECS) と過渡的気候応答 (TCR16) の 2 つがある。CMIP6 のモデルアンサンブルは、CMIP5 よりも ECS と TCR の値の範囲が広い（評価された範囲については TS.3.2 を参照）。このように感度の値がより大きいことは、いくつかのモデルにおいて熱帯以外の雲フィードバックが変更されたことに帰着させる（*確信度が中程度*）。CMIP6 モデルからの証拠と、ECS と TCR の独立した評価を組み合わせるために、本報告書全体を通して様々なエミュレータが使用されている。エミュレータは、世界平均気温及び海面水位の予測などの気候システムの主要な特徴を表現するために複雑な ESM の挙動を再現する、簡易気候モデル又は統計的手法を幅広く示す名称である。AR6 におけるエミュレータの主な用途は、ESM と観測値に基づく制約から得られる洞察を外挿し、より多くの排出シナリオに基づく予測を作成することであり、これはエミュレータの計算効率によって達成される。このようなエミュレータによる予測は、WGIII のシナリオ分類にも使用されている。{Box 4.1, 4.3.4, 7.4.2, 7.5.6, Cross-Chapter Box 7.1, FAQ 7.2}

¹⁶ 本報告書では、大気中の二酸化炭素 (CO₂) が 1%/年で増加する仮想的なシナリオで、大気中の CO₂ 濃度が工業化以前のものから 2 倍になるまでの地表気温の応答を、過渡的気候応答として定義している。

の内部変動に起因する予測の不確実性をより良好に定量化することが可能になった。{1.4.2, 1.5.3, 1.5.4, 4.2, 4.4.1, Box 4.1, 8.5.2, 10.3.4, 10.4}.

気候の自然変動が人為起源の気候の変化を十年規模の時間スケールで一時的に強める又は目立たなくしうるが、地域規模の気候の変化は検出される。人為起源の強制力は、一部の地域で、数十年単位の平均降水量の変化に寄与するが、内部変動は、多くの陸域で降水量の長期変化において人為起源のシグナルが顕在化するのを遅らせる（確信度が高い）。{10.4}

平均気温と極端な高温は、ほぼ全ての陸域で自然変動の幅を上回って顕在化している（確信度が高い）。地域規模の気温、生育期間の長さ、極端な高温、及び霜などの気温に関連した変数の変化は既に生じており、これらの変化の多くが人間活動に要因特定できることについて確信度が中程度である。影響に関連するいくつかの変化はまだ自然変動の幅を超えて顕在化していないが、排出シナリオに応じて今世紀中に遅かれ早かれ顕在化する（確信度が高い）。北極海で海氷の減少が顕在化しているのと同様に、海洋酸性化と貧酸素化は世界のほとんどの海域で既に顕在化している（確信度が高い）。{9.3.1, 9.6.4, 11.2, 11.3, 12.4, 12.5, Atlas.3~Atlas.11}

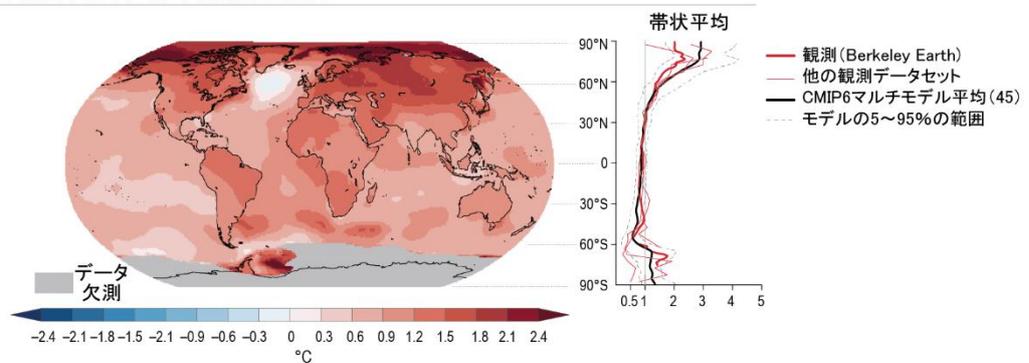
TS.1.2.4 人間の影響の理解

近年の気候変動に対する人間の影響に関する証拠は、IPCC 第2次評価報告書から IPCC 第5次評価報告書にかけて次第に増強されており、地域規模の現象及び極端現象についての証拠を含め、本評価では一層強固になっている。IPCCにおいて、人間の影響とは、気候応答を引き起こす、又は気候応答に寄与する人間活動を指す。例えば、人為的な温室効果ガス排出は、大気放射特性を変化させ、結果的に大気、海洋及び陸域の気候システム構成要素の昇温を引き起こす。気候に影響を及ぼす人間活動には他に、エアロゾル及び他の短寿命気候強制因子の排出及び都市化などの土地利用変化が含まれる。人間の影響に関する我々の理解は、より長期に及ぶ観測データセット、改善された古気候情報、AR5以降の昇温シグナルの増大、並びに気候モデル、物理的理解、及び要因特定技術から得られる（Core Concepts Boxを参照）。AR5以降、より広範に及ぶ気候変数と気候影響駆動要因（CIDs、Core Concepts Boxを参照）について、人間の影響に対する要因特定が可能になった。複数系統の証拠に基づく新しい技法と分析により、地域規模の極端な気象と気候の変化の要因を人間の影響に特定する際の確信度が向上している（確信度が高

地表気温の変化の顕在化

年平均気温の変化、及び年平均気温の年々変動に対する変化

(a) 1°Cの地球温暖化の水準における気温の変化



(b) 1°Cの地球温暖化の水準における年々変動の大きさに対する気温の変化の割合

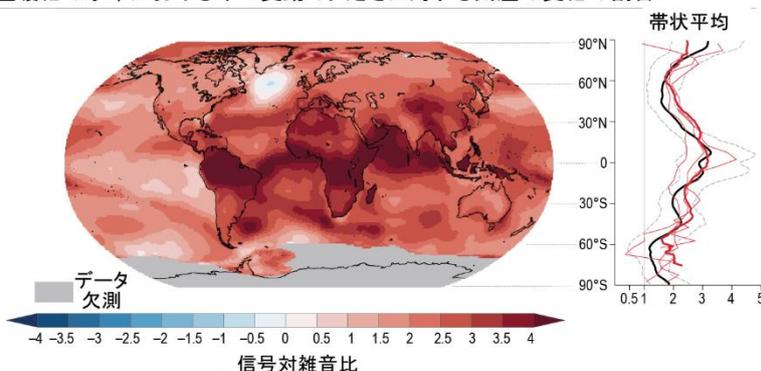


図 TS.3 | 過去の期間における気温変化の顕在化。この図の意図は、観測された気温の変化がどのように顕在化しているか、そしてその顕在化のパターンのモデルシミュレーションとの一致を示すことである。1°Cの地球温暖化の水準で観測された気温の変化 (a)、及び Berkeley Earth のデータを用いた信号対雑音比（地球温暖化の水準が1°Cのときの気温の変化を、年々変動の大きさと割ったもの (b)。右のパネルは当該の地図の帯状平均を示し、様々な観測データセットからのデータ（赤色）、及び観測データと同じ方法で処理した第6期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）のシミュレーション（黒色、5~95%の範囲付き）を含む。{1.4.2, 10.4.3}

い)。{1.3, 1.5.1, Appendix 1.A, 3.1~3.8, 5.2, 6.4.2, 7.3.5, 7.4.4, 8.3.1, 10.4, Cross-Chapter Box 10.3, 11.2~11.9, 12.4}

気候システム全体からの証拠を組み合わせることで、観測された気候変動に対する人間の影響への要因特定の確信度の水準が上がり、単一の変数に基づく評価に付随する不確実性が低減される。{Cross-Chapter Box 10.3}

AR5 以降、地球システム内のエネルギーの蓄積は、年々から十年規模の時間スケールで地球規模の気候変動の速度を測る強固な指標として確立されている。エネルギーの蓄積速度は地球のエネルギーの不均衡と等価であり、世界の海洋の熱吸収、大気の上昇、陸域の上昇、及び氷の融解を含む、気候システムの全ての構成要素についての地球のエネルギーインベントリにおける変化によって定量化される。世界平均気温の変化と比べて、地球のエネルギーの不均衡 (Core Concepts Box を参照) は変動性がより小さいため、より正確な変化傾向の特定と推定が可能になる。{Box 7.2, 7.2}

エネルギー収支に対する人為起源の寄与要因を特定は、地球の気候変動に対する人間の影響について暗黙の推定を提供する (TS.2 及び TS.3.1)。{Cross-Working Group Box: Attribution in Chapter 1, 3.8, 7.2.2, Box 7.2, Cross-Chapter Box 9.1}

地域規模の気候変動は、土地利用及び土地被覆の変化、又はエアロゾル濃度及び他の短寿命気候強制因子 (SLCFs) による地域規模の強制力によって緩和又は増幅される。例えば、都市とその周辺で観測された昇温傾向の違いは、部分的に都市化に要因特定される (確信度が非常に高い)。確立された要因特定の手法は、大規模な気候変動 (TS.2 で詳述) に対する人間の影響の評価に信頼性を与える一方で、AR5 以降に開発された新しい手法は個々の現象の要因特定を含み、極端な気候の変化を気候変動に要因特定する上での信頼性を向上させた (Box TS.10)。複数の要因特定手法によって、一部の地域の数十年平均降水量の変化への人間の影響の寄与が裏付けられている (確信度が高い)。観測ベースのデータセットの改善、プロセスのより良い物理的理解、様々な系統の証拠を組み合わせた科学文献の割合の増加、及び異なるタイプの気候モデルへのアクセス性の向上により、極端な気象と気候の過去と将来の変化に関する理解が増している (確信度が高い) (TS.2 及び TS.4 を参照)。{Cross-Working Group Box: Attribution in Chapter 1, 1.5, 3.2, 3.5, 5.2, 6.4.3, 8.3, 9.6, 10.1, 10.2, 10.3.3, 10.4.1, 10.4.2, 10.4.3, 10.5, 10.6, Cross-Chapter Box 10.3, Box 10.3, 11.1.6, 11.2~11.9, 12.4}

TS.1.3 将来の気候変動の評価

将来の気候変動を評価し、WGI、WGII、及び WGIII にまたがる気候変動評価の知見を統合するために、様々な枠組が利用される。これらの枠組には、(i) シナリオ、(ii) 地球温暖化の水準、及び (iii) 累積 CO₂ 排出量が含まれる (Core Concepts Box を参照)。後者 2 つは、将来予測を評価するにあたって、シナリオと経路に依存しないアプローチを提

供する。例えば、変化を評価する共通の参照期間と時間窓に関する追加的選択肢は、WGI 報告書全体及び AR6 全体にわたる統合を促進するのに一層役立ちうる (TS.1.1 を参照)。{1.4.1, 1.6, Cross-Chapter Box 1.4, 4.2.2, 4.2.4, Cross-Chapter Box 11.1}

TS.1.3.1 気候変動シナリオ

本報告書では、共通社会経済経路 (SSP) に基づく 5 つの中核的例示シナリオ (SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, 及び SSP5-8.5) を一貫して用いている。これらのシナリオは、以前の WGI 報告書で評価されたシナリオよりも広範な温室効果ガスと大気汚染物質の将来を網羅しており、気候変動緩和策を伴わない CO₂ 排出が多い経路、及び CO₂ 排出が少ない新たな経路を含む (図 TS.4)。これらのシナリオでは、大気汚染対策の違いと気候変動緩和策の厳しさのバリエーションとが、人為的な SLCFs 排出の経路に強い影響を及ぼす。AR5 で使用された代表的濃度経路 (RCP) に依拠したモデリング研究は、例えば地域規模において、SSP シナリオに基づく評価を補完するために用いられる。

CMIP6 でシミュレーションされた昇温の CMIP5 に対する増加幅の約半分は、CMIP6 ではより気候感度が高いモデルが多いことに起因し、残りの半分は、名称が対応するシナリオ (例えば、RCP8.5 と SSP5-8.5) において放射強制力がより大きいことに起因している (確信度が中程度) ことが、RCP を用いた CMIP5 のシミュレーションと SSP に基づく CMIP6 のシミュレーションの比較によって示されている。個々のシナリオの実現可能性及び蓋然性は、広範な排出シナリオに対する気候応答に注目した本評価の対象ではない。{1.5.4, 1.6, Cross-Chapter Box 1.4, 4.2, 4.3, 4.6, 6.6, 6.7, Cross-Chapter Box 7.1, Atlas.2.1}

気候モデルを用いた気候変動予測には、温室効果ガス、エアロゾル、及びオゾン破壊物質の将来の排出量又は濃度、並びに土地利用の経時変化に関する情報が必要である (図 TS.4)。この情報を提供しうるのがシナリオであるが、ここでいうシナリオとは、21 世紀にわたって社会経済システムがどのように進展しうるかという仮定に基づく、相互に整合するこれらの変数の予測のことである。海洋と陸域の生物圏などの自然の放出源からの放出は、通常一定とするか、あるいは人為起源の強制力の変化又は予測される気候変動に応答して変化するものと仮定されている。過去の太陽放射照度の変化及びこれまでの火山噴火などの自然起源の強制力は、過去の時代を網羅するモデルシミュレーションにおいて表現されている。本報告書で評価した将来のシミュレーションは、太陽放射照度の変化予測、及び火山の強制力の長期平均をバックグラウンドとして考慮しているが、個々の火山噴火については考慮していない。シナリオは、起こりうる将来を体系的に分析する手段として、また人為的な排出から、大気中濃度の変化、地球のエネルギーバランス (強制力) の変化、地球の気候の変化、そして最終的には地域規模の気候と気候影響駆動要因の変化に至るまでの因果の連鎖を辿る手段として、IPCC において長い歴史を持っている (図 TS.4, TS.2, Infographic TS.1)。

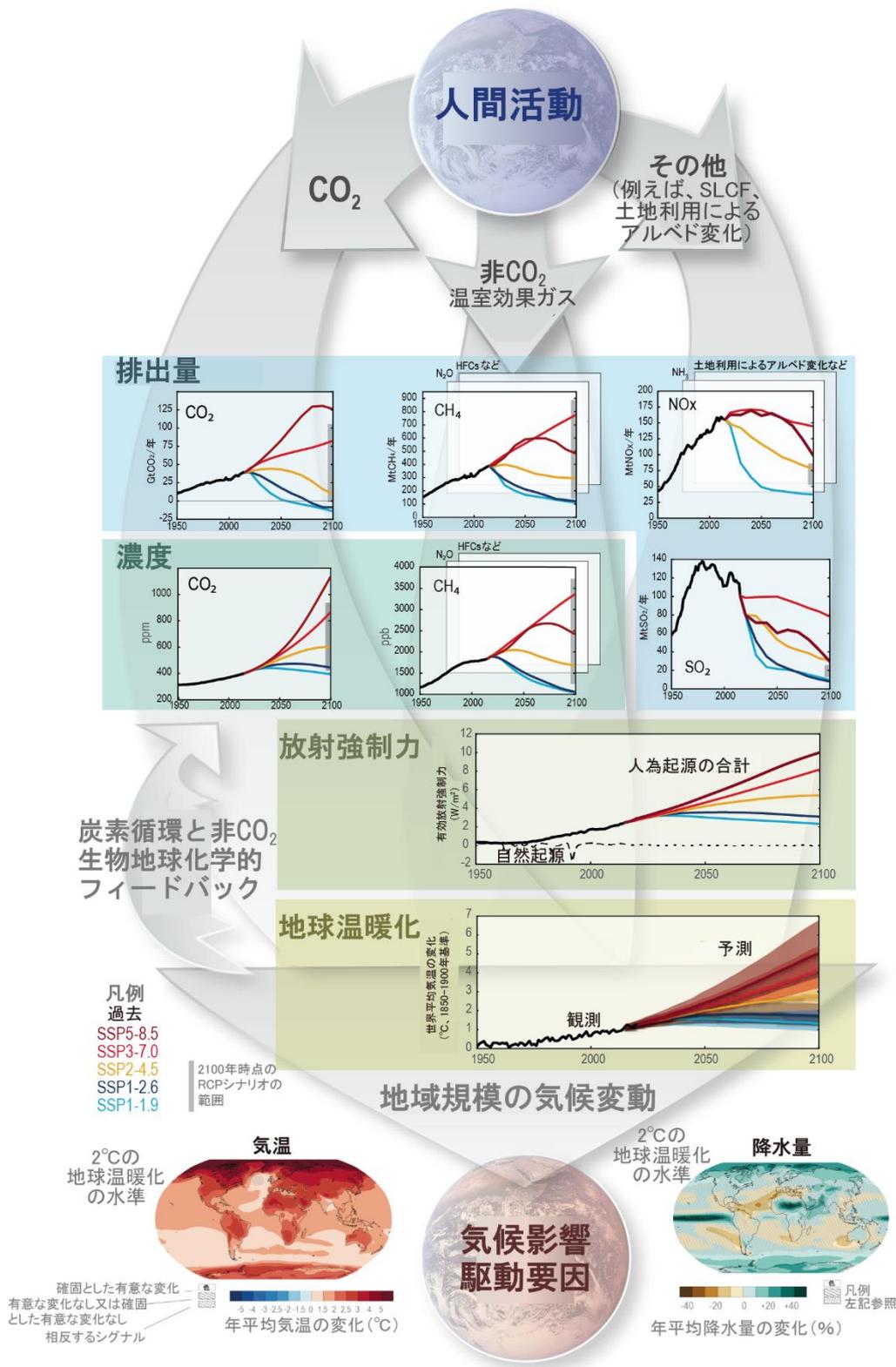


図 TS.4 | 気候変動の因果の連鎖。 この図の意図は、人為的な排出から始まり、大気中濃度の変化、地球のエネルギー収支（強制力）の変化、地球の気候の変化、そして最終的には地域規模の気候と気候影響駆動要因の変化に至るまでのプロセスの連鎖を説明することである。5つの中核的共通社会経済経路（SSP）シナリオのセットと、これまでの代表的濃度経路（RCP）シナリオにおける2100年時点の排出量と濃度の範囲を示している。二酸化炭素（CO₂）排出量（GtCO₂/年、パネル上段左）、メタン（CH₄）排出量（中央）、二酸化硫黄（SO₂）及び窒素酸化物（NO_x）排出量（全て Mt/年、右上）。大気中のCO₂濃度（ppm）及びCH₄濃度（ppb）（2段目左と右）。人為起源及び自然起源の強制力についての有効放射強制力（W m⁻²）（3段目）。1850～1900年を基準とした世界平均気温の変化（°C）（4段目）。1850～1900年を基準とした地球温暖化の水準が2°Cの時の気温変化予測（°C、左）及び年平均降水量の変化予測（%、右）の分布図（図TS.5も参照）（下段）。炭素循環及びCO₂以外の生物地球化学的フィードバックも、人為的な排出に対する最終的な応答に影響を与える（左側の矢印）。
{1.6.1, Cross-Chapter Box 1.4, 4.2.2, 4.3.1, 4.6.1, 4.6.2}

{1.5.4, 1.6.1, 4.2.2, 4.4.4, Cross-Chapter Box 4.1, 11.1}

社会経済の選択可能な将来を評価することによって生じる気候変動予測の不確実性、いわゆるシナリオの不確実性は、シナリオセットを使用することによって探求される。これらのシナリオは、将来起こりうる状況を幅広く網羅するように設計されているが、実際の将来の出来事の展開の仕方に一致させることは意図しておらず、気候変動が社会経済経路に与える影響も考慮されていない。気候変動予測は、シナリオの不確実性に加えて、気候応答の不確実性（すなわち、主要な物理プロセスについての我々の理解に関連する不確実性と気候モデルの構造的な不確実性）及び内部変動に付随する低減不可かつ内在的な不確実性にも左右される。予測の空間及び時間スケール、及び関心のある変数によって、これらの異種の不確実性の相対的重要性は大幅に変化するかもしれない。{1.4.3, 1.6, 4.2.5, Box 4.1, 8.5.1}

AR6 のシナリオは、AR5 で検討されたものよりも広範な将来の排出経路を網羅しており、気候変動緩和策を伴わない CO₂ 排出が多いシナリオと、今世紀半ば頃に正味ゼロの CO₂ 排出（Core-Concepts Box を参照）に達する CO₂ 排出が少ないシナリオを含む。本報告書では、21 世紀中及びそれ以降の気候変動を探求するために、中核となる 5 つの例示的シナリオセットを用いている（TS.2）。これらのシナリオは、SSP1-1.9, SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5¹⁷ と呼ばれ、2100 年における広範な放射強制力水準を網羅している。これらは 2015 年から始まり、CO₂ 排出量がそれぞれ 2100 年と 2050 年までに現在の約 2 倍の水準になる温室効果ガス（GHG）排出が多いシナリオ（SSP3-7.0）と非常に多いシナリオ（SSP5-8.5）、CO₂ 排出が今世紀半ばまで現在の水準で推移する GHG 排出が中程度のシナリオ（SSP2-4.5）、及び CO₂ 排出が 2050 年頃又はそれ以降に正味ゼロになり、その後はそれぞれ異なる水準で CO₂ 排出が正味負になる GHG 排出が非常に少ないシナリオ（SSP1-1.9）と少ないシナリオ（SSP1-2.6）を含む。これらの SSP シナリオは、ESM によるシミュレーションにこれまでになく詳細な入力データを提供し、汚染物質の時間変化、排出量、又は土地利用及び土地被覆の変化などのいくつかの側面が、AR5 で用いられていた RCP よりも SSP シナリオの方がより広範囲にわたっていることに特に起因して、気候駆動要因と応答についてのより包括的な評価を可能にしている。RCP を用いたモデリング研究は、例えば地域規模で、SSP シナリオに基づく評価を補完する（TS.4）。シナリオの延長は、2100 年以降を考慮していない社会経済動態モデリングから独立した、排出量又は放射強制力の 2100 年以降の進展に関する仮定に基づいている。大気汚染又は所与の温暖化の水準からの一時的なオーバーシュートなどの特定の側面を探求するために、中核となるシナリオセットに加えて、同類型で仕様の異なるシナリオが使用されている。{1.6.1, Cross-Chapter Box 1.4, 4.2.2, 4.2.6, 4.7.1, Cross-Chapter Box 7.1}

SSP1-1.9 は、2100 年時点の温暖化を 1.5°C 未満にし、21

世紀中の気温のオーバーシュートを限られたものにする将来排出経路の下端を表している（図 TS.6 を参照）。その対極にあるのは SSP5-8.5 で、文献から得られる将来の排出経路の中でも非常に高い昇温の上端を持つ。SSP3-7.0 は、SSP5-8.5 よりも GHG の総排出量は少ないが、例えば、CO₂ 排出量は 2100 年までに現在の水準からほぼ倍増する。SSP2-4.5 と SSP1-2.6 は、より強い気候変動緩和策を伴っており、GHG 排出量がより少ないシナリオを表している。SSP1-2.6 は、温暖化を 2°C 未満に抑えるよう設計された。Infographic TS.1 は、各 SSP に付随する気候の将来を叙述的に説明している。本報告書で評価されたシナリオには可能性は付記しておらず、現在の変化傾向との関連における特定のシナリオの実現可能性についての最良の情報源は AR6 WGIII 報告書である。シナリオに関する文献では、RCP8.5 又は SSP5-8.5 などの CO₂ 排出量の多いシナリオの妥当性が、エネルギー部門の最近の開発に照らして論争になっている。ただし、RCP8.5 又は SSP5-8.5 で達する濃度の水準及びそれらに対応してシミュレートされた将来気候の特徴を排除できないため、これらのシナリオによる気候予測は依然として有用でありうる。これは、名目上排出量がより少ない経路において、モデル予測を駆動するために典型的に用いられる中央の濃度水準よりも高い濃度を予測する結果となりうる、炭素循環フィードバックの不確実性のためである。{1.6.1; Cross-Chapter Box 1.4; 4.2.2, 5.4; SROCC; Chapter 3 in WGIII}

SSP に基づくシナリオの基礎となる社会経済の叙述には、シナリオで想定されている大気汚染対策の水準に差がある。この差異は、気候変動緩和策の厳しさのバリエーションとともに、その一部が大気汚染物質でもある人為的な SLCFs 排出の経路に強く影響を及ぼす。SSP1 と SSP5 は、強力な汚染対策を想定し、オゾン前駆物質（メタン（CH₄）を除く）、及びエロゾルとその前駆物質のほとんどについて世界規模での排出量が中長期的に減少すると予測している。SSP1-1.9 又は SSP1-2.6 のように顕著な脱炭素化を想定したシナリオでは、大気汚染対策による削減が一層強化されている。SSP2-4.5 は、大気汚染物質の排出量が現在の変化傾向を維持する中程度の汚染対策を伴うシナリオであり、SSP3-7.0 は、21 世紀にかけて大気汚染物質の排出量が大幅に増加する緩い汚染対策のシナリオである。SSP に基づくシナリオにおいて、メタン排出量は気候変動緩和の全体的な厳しさによって異なり、SSP1-1.9 と SSP1-2.6 では急速に減少するが、SSP5-8.5 では 2070 年以降のみ減少する。SSP の経路は、RCP シナリオで考慮された大気汚染物質の排出経路より広範に及び（図 TS.4 を参照）、想定される汚染対策に大きな地域差がある可能性を反映している。これらが気候及び大気汚染に及ぼす影響は、Box TS.7 で評価している。{4.4.4, 6.6.1, 図 6.4, 6.7.1, 図 6.19}

RCP の名称も各 RCP が 2100 年に達する放射強制力の水準によって決められているため、原理的には AR6 の中核的なシナリオセットと関連付けられうる（図 TS.4）。ただ

¹⁷ 本報告書全体を通して、シナリオは SSPx-y と表記する。ここで、「SSPx」はシナリオの基調となる社会経済的傾向を表す共通社会経済経路（SSP）を、「y」は 2100 年にそのシナリオがもたらすおおよその放射強制力の目標水準（単位：W m⁻²）を指す。

し、RCP と SSP に基づくシナリオは直接比較できない。第一に、気体対気体の構成が異なる。例えば、SSP5-8.5 シナリオは、RCP8.5 と比較して CO₂ 濃度が高いが CH₄ 濃度は低い。第二に、予測される 21 世紀の経路は、2100 年までに同一の放射強制力をもたらすものであっても様々あるかもしれない。第三に、有効放射強制力 (Core Concepts-Box を参照) 全体が異なるかもしれない、成層圏温度調整後の放射強制力のラベルが名目上同一の RCP と比較して、SSP の方が高い傾向にある。RCP で駆動した CMIP5 の予測と、SSP に基づくシナリオで駆動した CMIP6 の予測 (Cross-Section Box TS.1) の間の差異を比較すると、シミュレーションされた昇温幅の差異の約半分は CMIP6 では気候感度がより高いモデルが多い事に起因しており、残り半分は名称が対応するシナリオ (例えば、RCP8.5 と SSP5-8.5) において ERF がより大きいことに起因している (確信度が中程度) ことを示している (TS.1.2.2 を参照)。SSP1-2.6 及び SSP2-4.5 でも、昇温の範囲の変化の約半分が ERF の変化によって説明される (確信度が中程度)。SSP5-8.5 について、CMIP5 の RCP8.5 よりも CMIP6 で予測された昇温の上端が高くなった主な要因は気候感度が高くなったことである (確信度が中程度)。AR6 では、様々なシナリオの下で世界平均気温を評価するために、CMIP6 の結果だけでなく複数系統の証拠も用いていることに留意されたい (評価の詳細については、Cross-Section Box TS.1 を参照)。

地球システムモデルは人為的な CO₂ 排出量を与えることで駆動されうる (「排出量駆動」実験) が、この場合は大気中の CO₂ 濃度が予測される変数になる。あるいは、時間変化する大気中濃度を与えることでも駆動されうる (「濃度駆動」実験)。排出量駆動実験では、気候の変化が炭素循環にフィードバックし、各 ESM で予測される CO₂ 濃度を相互作用的に変化させるため、気候変動に対する炭素循環応答の不確実性が予測に追加される。濃度で駆動したシミュレーションは、炭素循環のフィードバックの中央推定値に基づいている一方で、排出量で駆動したシミュレーションは、フィードバックの不確実性の役割を定量化するのに役立つ。同じシナリオについて排出量駆動実験と濃度駆動実験の両方が利用可能な数少ない ESMs 間における差異は小さく、Cross-Section Box TS.1 と TS.2 で議論されている世界平均気温予測の評価には影響を及ぼさない (確信度が高い)。排出量で駆動したシミュレーションは、濃度で駆動したシミュレーションよりも 21 世紀末までに平均で約 0.1°C 低くなるが、これは排出量で駆動した ESM が一般的に低い CO₂ 濃度をシミュレーションしていることを反映しており、その推定幅は、CO₂ 濃度のシミュレーションの幅を反映し、約 0.1°C 大きい。ただし、これらの炭素循環-気候フィードバックは、累積 CO₂ 排出量に対する過渡的気候応答 (TCRE¹⁸) に影響を及ぼし、その定量化は、ESM によってシミュレーションされた地球温暖化の水準と整合する残余カーボンバジェットを評価するために重要である (TS.3 を参照)。{1.6.1, Cross-Chapter Box 1.4, 4.2, 4.3.1, 5.4.5, Cross-Chapter Box 7.1}

TS.1.3.2 地球温暖化の水準と累積 CO₂ 排出量

1850~1900 年を基準として 1.5°C 又は 2°C 高い水準などの様々な地球温暖化の水準において気候変動の地理的応答パターンを定量化することは、平均的な気候、極端現象、及び気候影響駆動要因の変化を特徴付けるのに有用である。本報告書における地球温暖化の水準は、所与の温暖化の水準に達する時期及び温暖化をもたらす排出シナリオから独立した統合された次元として使用される。多くの気候変数では、所与の地球温暖化の水準に対する応答パターンは、異なるシナリオ間で整合的である。ただし、氷床と氷河の質量減少、海洋深層の昇温、及びそれに伴う海面水位上昇などの応答の遅いプロセスについては、この限りではない。これらの変数の応答は、所定の地球温暖化の水準に達するまでの時間に依存し、また、過渡的な昇温状態で達するか、又はその温暖化の水準を一時的にオーバーシュートした後に達するのかが異なり、地球温暖化が安定化した後でも数百年から数千年の間進行し続ける。それぞれの地球温暖化の水準は特定の累積 CO₂ 排出量と密接に対応しており、これは地球温暖化の水準が世界平均気温とほぼ線形の関係にあるためである。本報告書では、1850~1900 年比で 1.0°C、1.5°C、2.0°C、3.0°C、及び 4.0°C 高温な状態を地球温暖化の水準の主要なセットとして用いている。{1.6.2, 4.2.4, 4.6.1, 5.5, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-chapter Box 12.1}

季節平均、年平均、及び極端な地表気温と降水量などの多くの気候変動の指標について、それらの変化の地理的パターンは、温暖化を引き起こした排出経路の詳細、あるいは所定の温暖化の水準に達する時期とは独立に、地球温暖化の水準によって良好に推定される。したがって、1850~1900 年平均を基準として、例えば 1.5°C 又は 2°C の世界平均気温の上昇として定義される地球温暖化の水準は、特定のシナリオ又は期間から独立して気候情報を統合するための有用な手法である。{1.6.2, 4.2.4, 4.6.1, 11.2.4, Cross-Chapter Box 11.1}

地球温暖化の水準を使用することにより、地球温暖化の変化による寄与と気候応答の地域的側面を切り離すことが可能になる。これは、所与の地球温暖化の水準における応答パターンのシナリオによる違いが、モデルの不確実性及び内部変動よりも小さいことが多いためである。地球温暖化の水準と応答パターンの関係は線形であることが多いが、極端な高温の頻度のような非線形の変化についても情報を統合しうる。そのためには、地球温暖化の水準との関係がシナリオと放射強制因子の相対的寄与に大きく依存しないことが必要条件である。{1.6, 11.2.4, Cross-Chapter Box 11.1}

地球温暖化の水準で気候情報を統合する手法にも、いくつかの限界がある。気温と降水量 (極端現象を含む)、海面面積、永久凍土、及び積雪面積のように温暖化に素早く応答する変数は、所与の地球温暖化の水準においてシナリオ

¹⁸ 単位累積 CO₂ 排出量 (通常 1000GtC) あたりの過渡的な地表気温の変化。

にほとんど依存しない一方で、氷河と氷床の質量、海洋深層の昇温、及びこれらの海面水位上昇への寄与などの、ゆっくりと応答する変数は、所与の地球温暖化の水準に達するまでに辿る温暖化経路に大きく依存する。また、長寿命の温室効果ガス及びSLCFの排出などの人為起源の強制因子間のバランスが異なっても、所与の地球温暖化の水準に達しうするため、応答パターンはこのバランスに依存するかもしれない。最後に、気温関連の変数であっても、所定の地球温暖化の水準に急速な昇温の過渡的状態で達したのか、あるいは海陸の昇温コントラストがより少ない時に平衡状態で達したのかによって、その応答には違いがある。SSP1-1.9 シナリオは、21 世紀末までに（比較的）短時間で安定化した後で約 1.5°Cの地球温暖化の水準に対する応答の評価が可能になる。{4.6.2, 9.3.1.1, 9.5.2.3, 9.5.3.3, 11.2.4, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1}

地球温暖化の水準は、科学分野と社会経済的アクターを横断的に統合する次元として非常に重要であり、パリ協定における「世界平均気温の上昇を、工業化以前より2°C高い水準を十分に下回るように保つとともに、気温上昇を工業化以前より1.5°C高い水準に抑制する努力を追求する」という長期目標が動機となっている。気温水準による集約的な影響の推移も広く利用され、IPCC WGII の評価に組み込まれている。これには、IPCC WGII における「懸念材料」(RFC) 及び他の「パーニングアンバー」の図が含まれる。SR1.5、SROCC、SRCCL において、RFC の枠組は、0.5°C異なる地球温暖化の水準の間の影響の差異と、様々な社会経済的仮定についてリスクの推移を明示的に検討すること

で、一層拡張されている。{1.4.4, 1.6.2, 11.2.4, 12.5.2, Cross-Chapter Box 11.1, Cross-Chapter Box 12.1}

SR1.5 は、「気候モデルは、現在と 1.5°Cの地球温暖化の間、及び 1.5°Cと 2°Cの [地球温暖化の] 間には、地域規模の気候特性に明確な違いがあると予測している」と結論付けている。本報告書は、気候予測、影響、適応の課題及び気候変動緩和の課題を、3つの作業部会それぞれで、また作業部会間で、1850~1900 年を基準として統合しうる、共通の地球温暖化の水準のセットを採用している。本報告書の中核的な地球温暖化の水準のセットは、1.0°C（現在の状況に近い）、1.5°C、2.0°C、3.0°C、4.0°Cである。{1.4, 1.6.2, Cross-Chapter Box 1.2, 表 1.5, Cross-Chapter Box 11.1}

シナリオと地球温暖化の水準の関連付け

本報告書では、シナリオに基づく気候予測は、特定の地球温暖化の水準における ESM モデルの応答をシナリオ横断的に集約することによって地球温暖化の水準に変換されている（図 TS.5 及び図 TS.6 を参照）。個々のシミュレーションが所与の地球温暖化の水準に達する時期前後の 20 年間における気候応答パターンは、その地球温暖化の水準に達する全てのモデルとシナリオにわたって平均されている。ただし、特定のシナリオの下で所与の地球温暖化の水準に達する時期（又は「地球温暖化の水準を超過する時期」）の最良推定値及び可能性が高い範囲は、CMIP6 の出力だけでなく、現在までに観測された昇温、CMIP6 の出力及び追加的な一連の証拠を考慮した複合的評価に基づい

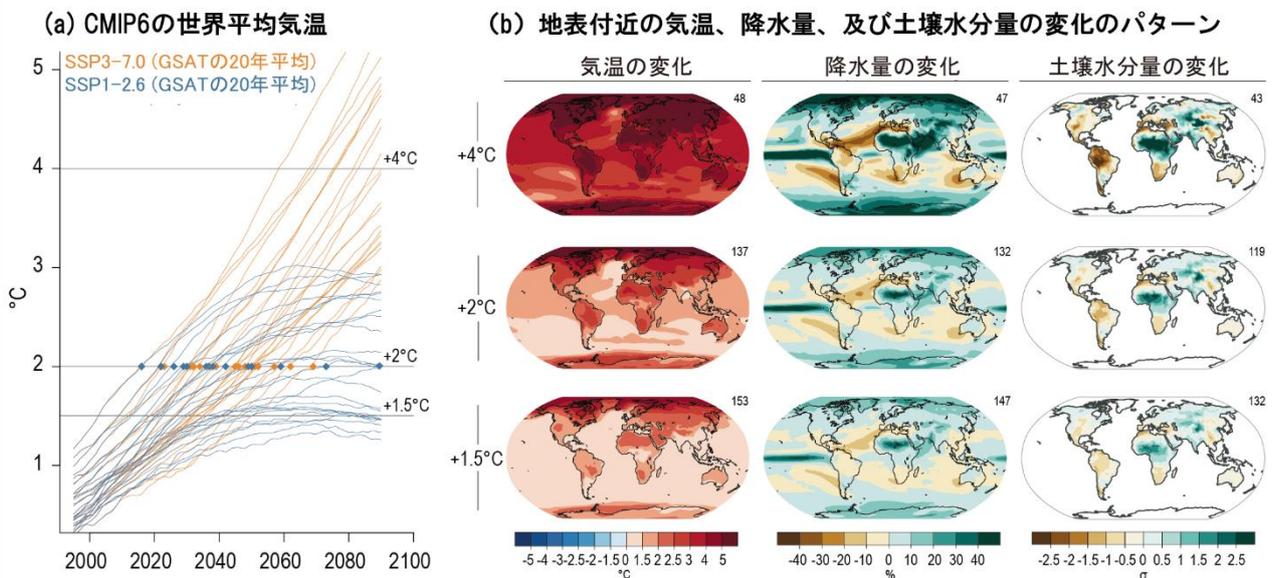


図 TS.5 | シナリオ、地球温暖化の水準、及び変化のパターン。この図の意図は、シナリオがどのように地球温暖化の水準とリンクしているのかを示し、地球温暖化の水準に伴う変化パターンの進展の例を提供することである。(a) 制約をしていない第6期結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP6) のシミュレーションでの、2つの例示的シナリオ (SSP1-2.6 と SSP3-7.0) についての人為的な排出に対する世界平均気温の応答として定義した地球温暖化の水準の具体例。所与のシミュレーションが 1850~1900 年を基準として、特定の地球温暖化の水準 (例えば+2°C) に達する時期は、20 年移動平均の中央年が最初にその温暖化の水準に達する時期としている。+2°Cの点と、全てのシミュレーションが全ての温暖化の水準に達しているわけではないことに注目されたい。ある地球温暖化の水準に達する時期の評価には、追加的な多方面の証拠が考慮されており、Cross-Section Box TS.1 で議論されている。(b) 3つの地球温暖化の水準における、地表面付近の気温、降水量 (変化%で表示)、土壌水分量 (年々変動に対する標準偏差で表示) の変化の応答パターンについての複数モデル、複数シミュレーションの平均。パネル右上の数字は平均に用いたモデルシミュレーションの数で、5つの共通社会経済経路 (SSPs) のいずれかにおいて、対応する地球温暖化の水準に達する全てのモデルを含む。考察については TS.2 を参照。{Cross-Chapter Box 11.1}

ている（Cross-Section Box TS.1 を参照）。{4.3.4, Cross-Chapter Box 11.1, Atlas.2, Interactive Atlas}

地球温暖化の水準は、累積 CO₂ 排出量（及び場合によっては CO₂ 換算の累積排出量）と密接に関連している。本報告書は、累積 CO₂ 排出量とそれが引き起こす世界平均気温の上昇との間にほぼ線形の関係が存在するという AR5 WGI 報告書及び SR1.5 の評価を再確認している（TS.3.2）。これは、CO₂ の排出が継続されると、更なる昇温及びそれに伴い気候システムの全ての構成要素における変化が引き起こされることを意味する。累積 CO₂ 排出量が減少する（すなわち、正味負の排出量が達成される）場合、水循環などのいくつかの構成要素についてこの関係性は弱まる。WGI 報告書は、シナリオ間で気候応答を比較するために累積 CO₂ 排出量を用い、WGIII における排出経路の評価とのリンクを提供している。累積 CO₂ 排出量を用いる利点は、それが例えば ERF 及び TCR の不確実性のような、排出から気温変化までの因果の連鎖の不確実性に左右されるシナリオに基づく予測の結果ではなく、排出シナリオ固有の特性であるということにある（図 TS.4）。累積 CO₂ 排出量は、緩和の選択肢を評価するための関連性も提供しうる。累積 CO₂ 排出量には非 CO₂ 排出量についての情報は含まれないが、特定の排出メトリックを用いて CO₂ 換算の排出量を推定することで、非 CO₂ 排出量を含めうる（TS.3.3）。{1.3.2, 1.6, 4.6.2, 5.5, 7.6}

TS.1.4 影響とリスクの評価のための地球規模から地域規模の気候情報

AR6 WGI 報告書は、統合された領域気候モデルアンサンブル予測の利用可能性の増大、並びに全球及び領域気候モデルの精巧さと解像度の向上に支えられ、地域規模の情報への焦点を拡大した（確信度が高い）。複数系統の証拠は地球規模から地域規模までの気候情報の構築に使用されうる上に、ユーザーのニーズを満たすための共同製作プロセスによって更に蒸留されうる（確信度が高い）。リスク評価をより適切に支援するため、AR6 では3つの作業部会全てに共通するリスクの枠組が導入され、WGI では物理的な気候のストーリーラインを用いて可能性が低くとも影響が大きい結果を明示的に扱っている（Core-Concepts Box を参照）。

気候影響駆動要因は、社会又は生態系の要素に影響する物理的な気候システムの状態（例えば平均、現象、極端現象）である。これらは、その影響が潜在的機会をもたらすのか、それとも有害（つまり、ハザードと同様）なのかに関する先入観のないリスクの枠組に対する WGI の貢献である。多くの地球規模及び地域規模の気候影響駆動要因は、地球温暖化の水準と直接的な関係にある（確信度が高い）。{1.4.4, 1.5.2-1.5.4, Cross-Chapter Box 1.3, 4.8, 10.1, 10.5.1, Box 10.2, Cross-Chapter Box 10.3, 11.2.4, 11.9, Box 11.2, Cross-Chapter Box 11.1, 12.1~12.3, 12.6, Cross-Chapter Boxes 12.1 and 12.2, Atlas.1.3.3~1.3.4, Atlas.1.4, Atlas.1.4.4}

気候変動は地球規模の現象だが、地域によってその様相は

異なる。気候変動の影響は一般的に、局所規模、国家規模、及び地域規模で経験され、これらの規模は意思決定が行われる典型的な規模でもある。影響とリスクの評価のための確実な気候変動情報が、地域規模でますます利用できるようになっている。TS.4 で使用されている通り、AR6 の地理的地域は、気候情報の背景によって、亜大陸地域又は海洋域などの大きな地域、又はモンスーン地域、沿岸域、山脈、又は都市などの類型的な地域を指すことがある。新しい標準的な AR6 WGI の参照地域も本報告書に含まれている（図 TS.6、パネル下段）。{1.4.5, 10.1, 11.9, 12.1~12.4, Atlas.1.3.3~1.3.4}

全球気候モデル及び領域気候モデルは、地域規模での気候情報の重要な情報源である。AR5 以降、統合された領域気候モデルアンサンブル予測の利用可能性が増したことで、全球気候モデルと領域気候モデルの精巧さと解像度の水準が向上したことにより、地域規模での様々な気候変数の過去と将来の進展のより包括的な評価が可能になっている。これは、例えば、影響に関連する許容の閾値について、情報を提供する観測、要因特定及び部門別脆弱性の研究によって補完されている。{10.3.3, 11.9, 12.1, 12.3, 12.6, Atlas.3~Atlas.11}

TS.4.1.1 及び TS.4.1.2 で詳述しているように、観測、モデルシミュレーション及び他のアプローチから得られた複数系統の証拠を用いて地域規模の気候情報を構築しうる。現象及び特定の状況によって、これらの情報源及び方法論は、地域規模での気候に関連するプロセス、駆動要因及びフィードバックの理論的理解；複数のデータセットから得られた観測データの変化傾向；並びにこれらの変化傾向の特定の駆動要因の要因特定を含む。さらに、異なるモデルの種類（全球気候モデルと領域気候モデル、エミュレータ、統計的ダウンスケーリング手法などを含む）と実験（例えば、CMIP、CORDEX、及び異なる初期条件による単一モデル大規模アンサンブルシミュレーション）、要因特定の方法論、並びに他の関連するローカルな知識（例えば、先住民の知識）も利用されている（Box TS.11 を参照）。{1.5.3, 1.5.4, Cross-Chapter Box 7.1, 10.2~10.6, 11.2, Atlas.1.4, Cross-Chapter Box 10.3}

気候情報は、直面している問題の具体的な背景、基礎となる価値観、及び異なるコミュニティ間のコミュニケーションの課題を考慮したうえで、利用者、利害関係者、及び気候情報の製作者を巻き込んだ共同製作プロセスの中で、複数系統の証拠から蒸留されうる。共同製作プロセスは、TS.4.1.2 で議論されている気候サービスの本質的な部分である。{10.5, 12.6, Cross-Chapter Box 12.2}

AR6 では、局所規模又は地域規模での意思決定に情報を提供することを目的として、共通のリスクの枠組が実行されている。地域と利害関係者の事情に合わせて、影響とリスクにより関連した気候変動情報を構築するための方法論が開発された。複数系統の証拠に基づく気候情報を作り上げるために物理的ストーリーラインの手法が使用されており、この手法はリスク評価において考慮すべき物理的に妥当性のある、可能性が低くとも影響が大きい結果と、気

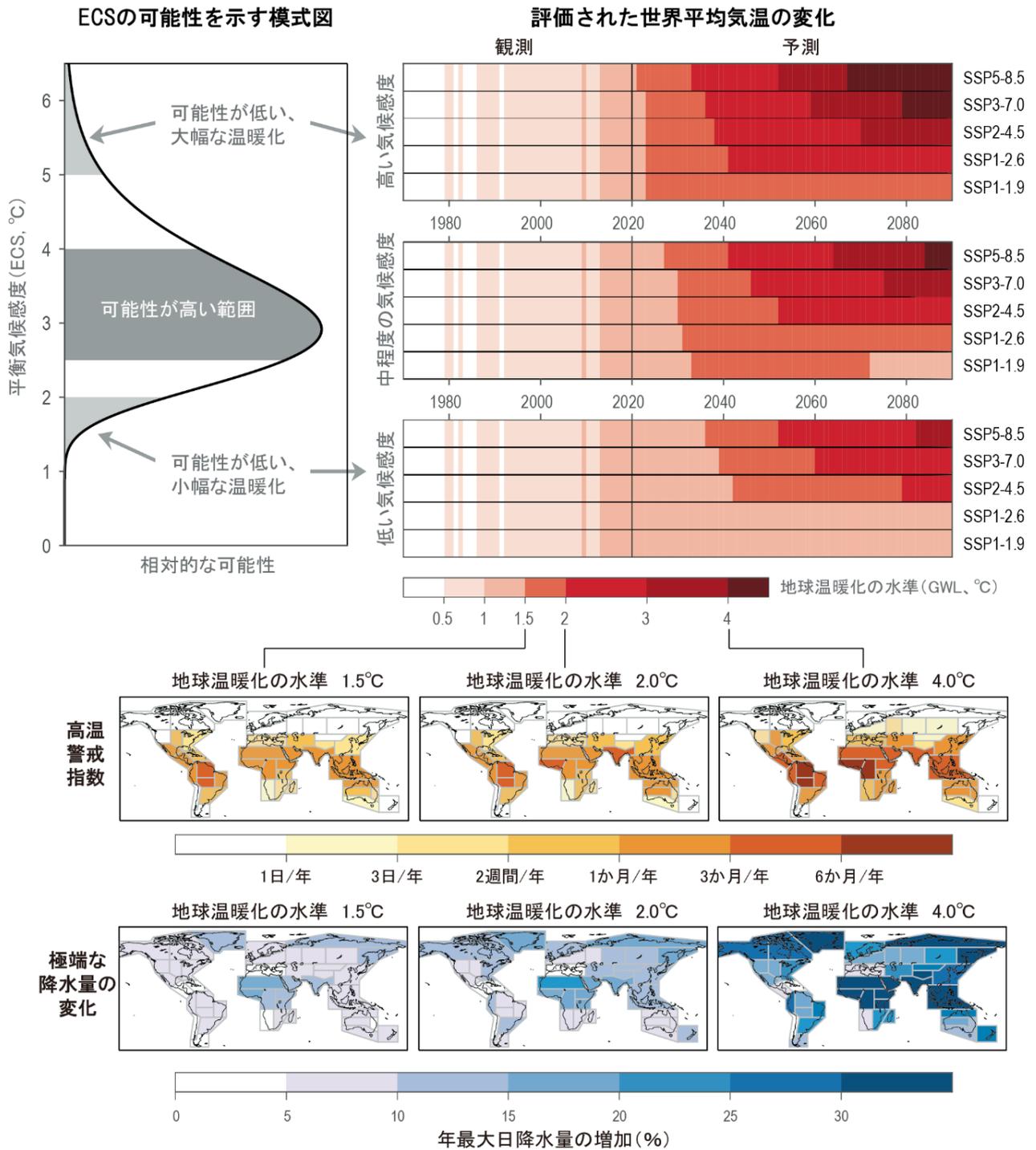


図 TS.6 | 技術要約の主要な側面の模式図。この図の意図は、観測及び予測された世界気温の変化、並びに、それに伴う影響とリスクの評価に関連する気候影響駆動要因 (CIDs) の地域規模の変化と関連した、本技術要約の多くの様々な側面を要約することである。左上: AR6 の評価と整合する平衡気候感度 (ECS) の可能性 (の範囲) を示す模式図 (第 7 章及び TS.3 参照)。5°C 以上及び 2°C 未満の ECS の値は、それぞれ可能性が低い大幅な温暖化 (LLHW) 及び可能性が低い小幅な温暖化と呼ばれている (Box TS.3)。右上: 観測された世界平均気温 (Cross-Section Box TS.1 参照) 及び予測される世界平均気温の変化。評価された 95% (上段)、50% (中段)、5% (下段) の可能性での時系列を用いて、1850~1900 年を基準とした地球温暖化の水準として示されている (第 4 章及び TS.2 参照)。下段のパネルは、第 6 期結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP6) により予測された 2 つの気候影響駆動要因 (CIDs、TS.1.4 参照) の中央値を、AR6 の陸域の地域単位で 3 種類の地球温暖化の水準 (1.5°C、2°C 及び 4°C の列) について示した分布図 (第 1 章、10 章、Atlas、及び TS.1.4 参照)。高温警戒指数は、米国海洋大気庁 (NOAA) に従い、人間の健康に対して「危険」とされる水準の高温警戒が発出されるであろう年間日数を地域ごとに平均したもの (NOAA HI41、第 12 章及び Annex VI 参照)。極端な降水量の変化の分布図は、それぞれの地球温暖化の水準に到達したときの、1 年で最も雨の多い日 (Rx1day、1995~2014 年を基準とした相対値、第 11 章参照) の降水量の変化%を地域ごとに平均したもの。他の CIDs については TS.4 で詳述する。{1.4.4, Box 4.1, 7.5, 11.4.3, 12.4}

候の変動性に関連する不確実性とに明示的に対処しうる (図 TS.6)。(Cross-Chapter Box 1.3, 4.8, Box 9.4, 10.5, Box 10.2, Box 11.2, 12.1~12.3, 12.6, Glossary)

AR6 で開発された気候影響駆動要因の枠組は、部門別の影響とリスクの評価に関連する、変化する気候条件の評価を裏付ける。気候影響駆動要因 (CIDs) とは、社会又は生態系の要素に影響する物理的気候システムの状態 (例えば平均、極端現象、現象) であり、したがって、気候情報を提供する際の潜在的優先事項である。例えば、米国海洋大気庁 (NOAA) が高温警報の発表に使用する暑熱指数 (HI) は、暑熱ストレスによる人間の健康への悪影響に関連付けられうる CID 指数である (図 TS.6 を参照)。CIDs とその変化はシステムの許容範囲に応じて、相互に作用するシステム構成要素、地域及び部門にわたって、有害 (例えば、リスクの枠組におけるハザード) にも有益にも中立にも、又はそれらが混合した状態にもなりうる (WGII 第2~8章の部門ごとの章に合致)。各部門は複数の CIDs による影響を受け、各 CID は複数の部門に影響を及ぼす。気候変動

は、既に CID の様相を変化させ、関連する指標の大きさ、頻度、期間、季節性及び空間的範囲に変化をもたらしている (確信度が高い) (地域別詳細は TS.4.3 を参照)。(12.1~12.4, 表 12.1, 表 12.2, Annex VI)

極端現象を含む、地球規模及び地域規模の CIDs の多くは、地球温暖化の水準 (GWL) と直接的な関係にあるため、AR6 WGII で評価された「代表的な主要リスク」及び「懸念材料」のハザード要素に情報提供しうる。これには、平均及び極端な暑さ、寒さ、湿潤、及び乾燥のハザード、雪氷圏のハザード (積雪面積、氷面積、永久凍土)、並びに海洋のハザード (海洋熱波) が含まれる (確信度が高い) (図 TS.6)。特定の GWL と転換点 (ティッピングポイント) 及び不可逆的動態との間の関連性を確立することは、モデルの不確実性及び観測データの欠如のために困難は多いが、それらが発生する可能性を排除できず、それらの発生確率は一般的に温暖化の水準とともに増大する (Box TS.1, TS.9)。(11.2.4, Box 11.2, Cross-Chapter Boxes 11.1 and 12.1)

Cross-Section Box TS.1 : 世界平均気温の変化

この Box では、過去、現在、及び将来の世界平均気温の評価結果をまとめる。陸域及び海水の表面付近の気温と海水のない海域の海面水温に基づく世界全体の推定平均値 (GMST) と表面付近の気温に基づく世界全体の平均値 (GSAT) は、IPCC 報告書において地球温暖化を推定するために使用される世界平均気温の2つの主要な指標である。GMST は (海水のない) 海面水温 (SST) と陸域及び海水域の表面付近 2m の気温を合わせたもので、古気候、過去、及び現在の観測による推定のほとんどで使われている。GSAT は全ての表面付近 2m の気温を表す指標で、一般に気候モデルで診断に用いられる。GMST と GSAT の時間変化は、正負いずれかの方向に最大で 10% の差異がある (確信度が高い) が、モデルと直接観測に相反する証拠があることに加えて、理論的な理解の限界もあって、長期変化傾向の差の符号についての確信度が低い。したがって、GMST と GSAT の長期変化は、GSAT の推定値の不確実性が拡大したこともあり、現時点では同一であると評価されている。そのため、TS と SPM の文中では、両方の変数に対して「世界平均気温 (global surface temperature)」という用語を使用している。(Cross-Chapter Box 2.3)

世界平均気温は、1850~1900 年から 21 世紀最初の 20 年間 (2001~2020 年) までに 0.99 [0.84 ~1.10] °C 上昇し、1850~1900 年から 2011~2020 年まででは 1.09 [0.95~1.20] °C 上昇した。直近 10 年間 (2011~2020 年) の気温の高さは、現間氷期について復元された最も温暖な百年規模の期間である約 6500 年前の範囲 [0.2°C ~1°C] を上回っている (確信度が中程度)。その一つ前の温暖期は最終間氷期中の約 12 万 5000 年前であり、この期間の数百年規模の気温範囲 [0.5°C~1.5°C] に 2011~2020 年の値が含まれている (確信度が中程度)。1850~1900 年を基準とした 2010~2019 年の世界平均気温における人為起源の変化の可能性が高い範囲は 0.8°C~1.3°C、その中央推定値は 1.07°C である。この範囲が同期間中に観測された温暖化の最良推定値 1.06°C とその可能性が非常に高い範囲 [0.88~1.21°C] を含む一方、自然起源の強制力に要因特定される変化の可能性が高い範囲は -0.1~+0.1°C にすぎない。

1850~1900 年と比べた 2081~2100 年の世界平均気温は、CO₂ 排出が非常に少ないシナリオ (SSP1-1.9) では [1.0°C~1.8°C]、CO₂ 排出が非常に多いシナリオ (SSP5-8.5) では [3.3°C~5.7°C] 高くなる可能性が非常に高い。SSP5-8.5 以外のここで評価された全てのシナリオにおいて、世界平均昇温の 20 年平均中央推定値が 1.5°C の水準を超える時期は 2030 年代初頭であり、これは SR1.5 で評価された可能性が高い範囲 (2030~2052 年) の初期にあたる。SSP1-1.9 においては、1850~1900 年を基準とした世界平均気温は 21 世紀を通して 1.6°C 未滿で推移する可能性がどちらかと言えば高く、1.5°C の地球温暖化を 0.1°C 未滿だけ超える一時的なオーバーシュートの可能性を示唆している。ここで考慮されている全てのシナリオにわたって、世界平均気温が 1850~1900 年を基準として 1.5°C を超える可能性は、2030 年までのどの単年においても 40~60% である (確信度が中程度)。1850~1900 年を基準とした世界平均気温の上昇量は、SSP5-8.5 では 2°C を超過するだろうが、SSP1-1.9 では 2°C を超過する可能性が極めて低い。十年規模の時間スケールで世界平均気温の変化傾向が抑制される期間及び増強される期間は 21 世紀の間に発生し続ける (確信度が非常に高い)。強力な緩和策が世界平均気温の 20 年平均の変

化傾向に及ぼす影響は、大規模な火山噴火が起こらないと仮定すると、短期（2021～2040年）のうちに顕在化するであろう**可能性が高い**（図 TS.8, Cross-Section Box TS.1 図 1）。{2.3, 3.3, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 7.3}

過去の世界平均気温

データセットの革新、特に極域の表現がより包括的になったことと、新しいデータセットを利用できるようになったことで、AR5 で報告された直接的に同等な推定値と比較して、より大きい世界平均気温変化という評価につながった。1850～1900年から1986～2005年までの気温変化の評価において、AR5 と AR6 の間の観測に関する理解の変化による寄与だけで 0.08 [-0.01～0.12] °Cと推定される。世界平均気温は、1850～1900年から1995～2014年の間に 0.85 [0.69～0.95] °C、1850～1900年から21世紀の最初の20年間（2001～2020年）の間に 0.99 [0.84～1.20] °C、そして1850～1900年から直近10年間（2011～2020年）の間には 1.09 [0.95～1.20] °C上昇した。最近40年間のうちどの10年間も、それに先立つ1850年以降のどの10年間よりも高温であった。1850～1900年以降、気温は海上よりも陸域でより速く上昇し、2011～2020年までの昇温は陸域で 1.59 [1.34～1.83] °C、海上で 0.88 [0.68～1.01] °Cであった。{2.3.1, Cross-Chapter Box 2.3}

放射強制力は、人為起源の影響の始まりとして1750年を基準としていることを認識しつつ、AR5 及び AR6 特別報告書との整合性のために、1850～1900年の世界平均気温を工業化以前の近似値として使用している。1750年を基準とした1850～1900年の正味の人為起源の強制力は 0.0～0.3 W m⁻²であった**可能性が高く**（**確信度が中程度**）、1750年前後から1850～1900年の間の世界平均気温の変化は 0.1°C前後（**可能性が高い範囲は-0.1～+0.3°C**、**確信度が中程度**）で、そのうち 0.0～0.2°C（**可能性が高い範囲**）が人為起源の要素であった（**確信度が中程度**）。{Cross-Chapter Box 1.2, 7.3.5}

世界平均気温は地質学的な時間の経過とともに変化している（図 TS.1, Box TS.2）。世界平均気温は約6500年前を起点として概ね低下し、後氷期（およそ7000年前以降）で最も寒い数百年の期間（約1450～1850年）に至っている（**確信度が高い**）。過去50年間にわたって観測された世界平均気温の上昇速度は、少なくとも過去2000年に前例のないものであった（**確信度が高い**）。直近10年間（2011～2020年）の気温の高さは、現間氷期について復元された最も温暖な百年規模の期間である約6500年前の気温の範囲 [0.2～1°C] を上回っている（**確信度が中程度**）。その一つ前の温暖期は最終間氷期中の約12万5000年前であり、この期間の数百年規模の期間の気温の範囲 [0.5～1.5°C] に2011～2020年の値が含まれている（**確信度が中程度**）（Cross-Section Box TS.1 図 1）。330～300万年前頃の中期鮮新世の温暖期には、世界平均気温は 2.5～4°C高かった（**確信度が中程度**）。{2.3.1, Cross-Chapter Box 2.1 and 2.4}

現在の温暖化

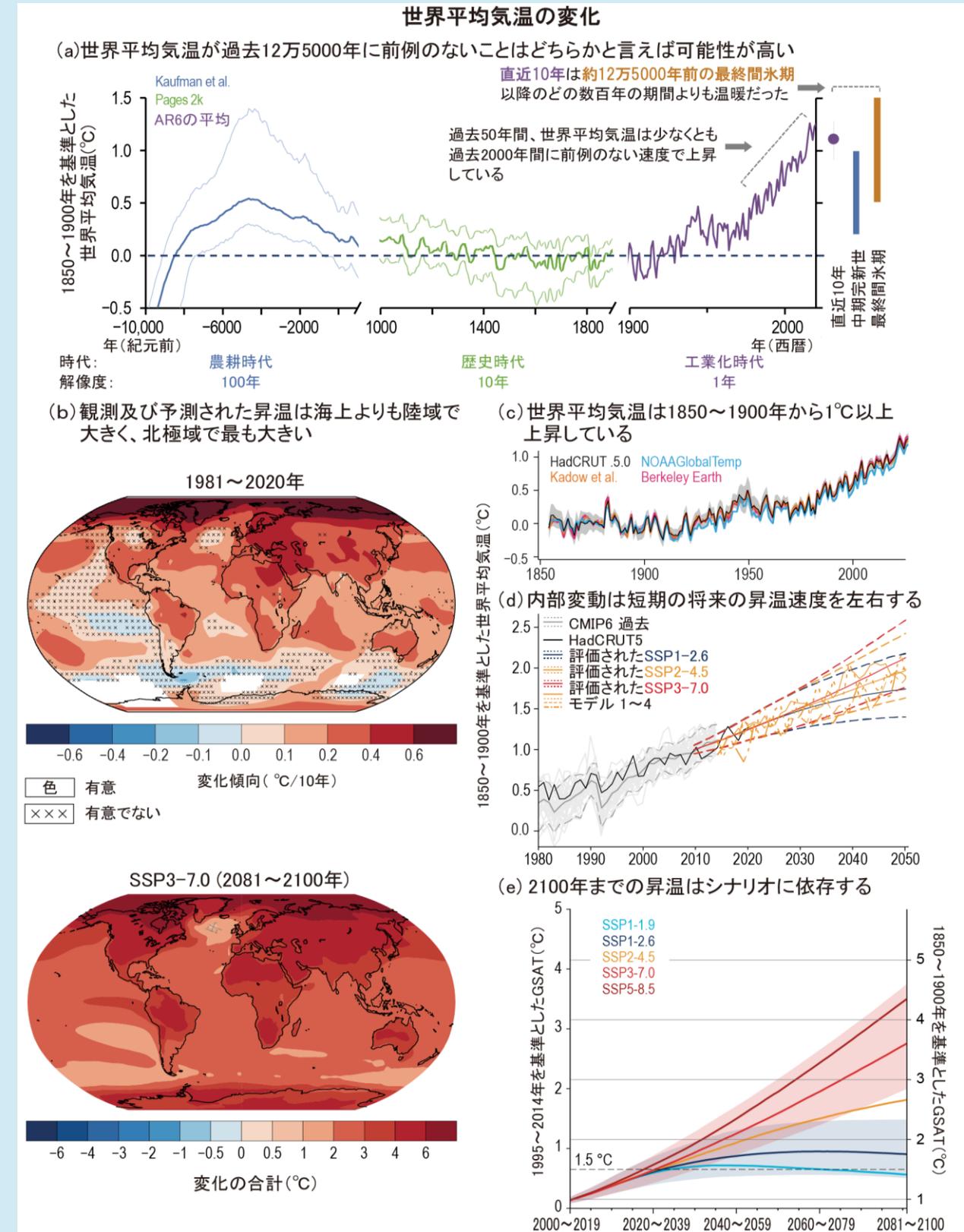
CMIP6 モデルアンサンブルは、1850年以降に観測された世界平均気温の変化傾向と変動性を、人為起源の温暖化の検出と要因特定を可能にするのに十分小さな誤差で再現していることについて**確信度が非常に高い**。CMIP6 複数モデル平均による1850～1900年と2010～2019年の間の世界平均気温の上昇量は、観測された昇温の最良推定値に近い値だが、いくつかのCMIP6 モデルでシミュレーションされた昇温は**可能性が非常に高い**と評価された観測値の範囲の外側にある。{3.3.1}

1850～1900年を基準とする2010～2019年の世界平均気温の人為起源の変化の**可能性が高い範囲は0.8～1.3°C**、中央推定値は 1.07°Cであり（Cross-Section Box TS.1 図 1）、この期間の観測された昇温の最良推定値である 1.06°C（**可能性が非常に高い範囲は[0.8°C～1.21°C]**）を含んでいる一方、その期間に自然起源の強制力に要因特定可能な変化の**可能性が高い範囲は-0.1～+0.1°C**にすぎなかった。この評価は、大気上端への摂動（有効放射強制力）の範囲の評価を基に気候応答のフィードバックのメトリック（平衡気候感度及び過渡的気候応答）を用いて推定された世界平均気温の人為起源の上昇量と整合的である。同期間において、よく混合された温室効果ガスによる強制力は世界平均気温を 1.0°C～2.0°C上昇させた**可能性が高い**一方で、エアロゾル及び他の人為起源の強制力は世界平均気温を 0.0～0.8°C降温させた**可能性が高い**。{2.3.1, 3.3.1, 7.3.5, Cross-Chapter Box 7.1}

1998～2012年の期間に観測された、（その前後の期間と比較して）緩やかな世界平均気温の上昇は、「ハイエイタス」と呼ばれることもあり、一時的な現象であった（**確信度が非常に高い**）。また、1998～2012年の期間の世界平均気温の上昇は、AR6 の評価で使用されたデータセットの方が AR5 時点で利用可能だったデータセットよりも大きくなっている。これらの最新の観測データセットを用いて、世界平均気温のシミュレーション値と観測値を同等の条件の下で整合的に比較した結果、1998～2012年の観測に基づく変化傾向の推定値は全て、CMIP6 による変化傾向の**可能性が非常に高い範囲**に収まっている。さらに、この期間中も気候システムの加熱は継続しており、これは、この期間中も世界の海洋の温暖化が継続していたこと（**確信度が非常に高い**）及び陸域の極端な高温が上昇し続けていたこと（**確信度が中程度**）に反映されている。2012年以降、世界平均気温は大幅に上昇しており、過去5年間（2016～2020年）は1850年から2020年の間で最も高温の5年間であった（**確信度が高い**）。{2.3.1, 3.3.1, 3.5.1, Cross-Chapter Box 3.1}

世界平均気温の将来変化

AR6ではIPCC報告書としては初めて、SSPシナリオの新しい予測に、過去の温暖化のシミュレーションに基づく観測による制約と、AR6で更新された平衡気候感度と過渡的気候応答の評価を明示的に組み合わせ、世界平均気温の将来変化の評価が構築された。さらに、2019~2028年の期間については、観測された気候状態を初期値とした気候予報も用いられている。追加的な多方面の証拠を取り入れたことにより、各シナリオについて評価された不確実性の幅が低減されている（Cross-Section Box TS.1 図1）。{4.3.1, 4.3.4, Box 4.1, 7.5}



TS

Cross-Section Box TS.1 図1 | 地球の表面気温の過去と将来、及び主要な知見 (各パネル内に記載)。この図の意図は、完新世から現在に至るまでに観測された世界平均気温の変化、及び予測される変化を示すことである。(a) 完新世の世界平均気温を、(i)12000~1000年前(紀元前10,000年~西暦1000年、100年の時間ステップで示す)、(ii)西暦1000~1900年(10年で平滑化)、及び(iii)西暦1900~2020年(パネル(c)の4つのデータセットの平均)の3つの時間スケールに分割したもの。太線は複数の手法による復元結果の中央値であり、アンサンブルメンバーの5パーセンタイルと95パーセンタイル(細線)とともに示されている。縦棒は最終間氷期と中期完新世の世界平均気温推定値の5~95パーセンタイルの範囲を示す(確信度が中程度)(2.3.1.1)。気温は全て1850~1900年を基準としている。(b) (上図)1981~2020年のHadCRUTv5データを空間的に解像した変化傾向(°C/10年)、及び(下図)SST3-7.0シナリオにおける1995~2014年から2081~2100年までに予測される変化の複数モデル平均(変化合計)。観測された変化傾向は、最初と最後の10年間の両方、及び期間内の全年の70%以上のデータが存在する場合、通常の最小二乗法を用いて計算された。有意性は自己回帰AR(1)モデルの補正で評価されており、有意でない領域が×印で示されている。下図の網掛部は、変化の有意性についてモデルの証拠が相反する領域を示す。(c)2.3.1.1.3(本文参照)で評価した4つの世界平均気温データセットの年間に解像した平均値を含む、1850~2020年の測器データによる気温。灰色の着色域はHadCRUTv5の推定値に付随する不確実性を示している。気温は全て1850~1900年を基準としている。(d)1850~1900年の参照期間を基準とした近年及び2015~2050年の年平均世界平均気温変化の進展。HadCRUTv5(黒色)、第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)による過去シミュレーション(2014年までを灰色、アンサンブル平均を実線、5パーセンタイルと95パーセンタイルを破線、個々のモデルを細線で示す)、及び評価された平衡気候感度の中央値に近い値を有する4つのモデルによるSSP2-4.5シナリオの下でのCMIP6の予測(黄色の太線)。色付きの細い実線は3つのシナリオの下での2015~2050年の世界平均気温の20年変化の中央推定値を、色付きの細い破線は対応する5%と95%の分位値を示す。(e)5つのシナリオにおいて評価された世界平均気温の20年移動平均の変化予測(中央推定値を実線、SSP1-2.6とSSP3-7.0の可能性が非常に高い範囲を着色域で示す)。基準年は1995~2014年(左縦軸)及び1850~1900年(右縦軸)。右側の縦軸は(左側の縦軸と比較して)0.85°C上方にずれており、この値は1850~1900年を基準とした1995~2014年の観測された昇温の中央推定値である。(e)の右側の縦軸は、(d)の縦軸と同様である。{2.3, 4.3, 4.4}

短期の将来(2021~2040年)に、世界平均気温が1850~1900年を基準として1.5°C上昇することは、SSP5-8.5シナリオでは可能性が非常に高く、SSP2-4.5及びSSP3-7.0シナリオでは可能性が高く、SSP1-1.9及びSSP1-2.6シナリオでは可能性がどちらかと言えば高い。ここで、ある温暖化の水準を超える時期とは、世界平均気温の20年平均値がその水準を超える最初の20年間の中間点として定義されている。SSP5-8.5以外の評価されたシナリオ全てにおいて、1.5°Cの水準を超える中央推定値は2030年代初頭にある。これは、SR1.5において、その当時の昇温率が継続すると仮定して評価された可能性が高い範囲(2030~2052年)の初期にあたる。なおこの昇温率はAR6で確認された。この差のうちおよそ半分は、AR6では過去の昇温量がより大きく診断されたことによる。またAR6では、気候感度の中央推定値に対し、ほとんどのシナリオで、SR1.5における「現状」の評価より大きな短期の昇温を示すことが残りの半分を説明する(確信度が中程度)。線形外挿の代わりにSSP1-1.9と似たシナリオを考察すると、SR1.5における1.5°Cの地球温暖化を超える時期の推定値は本報告書での中央推定値に近くなる(Cross-Section Box TS.1表1)。(2.3.1, Cross-Chapter Box 2.3, 3.3.1, 4.3.4, Box 4.1)

SSP1-1.9においては、1850~1900年を基準とした世界平均気温は21世紀を通して1.6°C未満であり続ける可能性がどちらかと言えば高く、1.5°Cの地球温暖化を0.1°Cより超えない一時的なオーバーシュートの可能性を示唆している。気候感度が、可能性が非常に高いと評価された範囲の下端付近の値をとれば、SSP1-1.9及びSSP1-2.6のシナリオにおいて1.5°Cの温暖化の閾値を超えることが避けられる(確信度が中程度)。20年平均とは対照的に、ここで考慮されている全てのシナリオにわたって、1850~1900年を基準とする世界平均気温が1.5°Cを超えうる可能性は、2030年までのどの単年においても40~60%である(確信度が中程度)(Cross-Section Box TS.1表1)。(4.3.4, 4.4.1, Box 4.1, 7.5)

21世紀中に1850~1900年を基準とした世界平均気温の2°C上昇を、SSP5-8.5とSSP3-7.0の下では超過、SSP2-4.5の下では超過する可能性が極めて高いが、SSP1-2.6では超過する可能性が低く、SSP1-1.9では超過する可能性が極めて低い。中期(2041~2060年)の期間については、この2°Cの地球温暖化の水準を、SSP5-8.5では超過する可能性が非常に高く、SSP3-7.0では超過する可能性が高く、SSP2-4.5では超過する可能性がどちらかと言えば高い(Cross-Section Box TS.1表1)。(4.3.4)

十年規模の時間スケールでの世界平均気温の上昇傾向及び下降傾向の現象は、21世紀において発生し続けるが、百年規模の温暖化には影響を及ぼさない(確信度が非常に高い)。SSP1-1.9のシナリオに反映されているような強力な緩和策が2020年以降実行された場合、緩和を想定しないSSP3-7.0又はSSP5-8.5などのシナリオと比べて、短期(2021~2040年)のうちに世界平均気温の20年平均の変化傾向にその影響が顕在化するであろう可能性が高い。1.5°C水準の超過に関する全ての記述は、短期の間に大規模な火山噴火が生じないことを前提としている(Cross-Section Box TS.1表1)。(2.3.1, Cross-Chapter Box 2.3, 4.3.4, 4.4.1, 4.6.3, Box 4.1)

1850~1900年と比べた2081~2100年の世界平均気温は、CO₂排出が非常に少ないシナリオ(SSP1-1.9)では[1.0°C~1.8°C]、CO₂排出が非常に多いシナリオ(SSP5-8.5)では[3.3°C~5.7°C]高くなる可能性が非常に高い。SSP1-2.6、SSP2-4.5、及びSSP3-7.0の各シナリオに対応する可能性が非常に高い範囲は、それぞれ[1.3°C~2.4°C]、[2.1°C~3.5°C]、及び[2.8°C~4.6°C]である。2081~2100年の期間の不確実性の範囲のうち、平衡気候感度(ECS)及び過渡的気候応答(TCR)の不確実性が大部分を占め続けている(確信度が非常に高い)(Cross-Section Box TS.1

表1)。{4.3.1, 4.3.4, 4.4.1, 7.5}

CMIP6 モデルによる世界平均気温の変化の予測の範囲は、評価された範囲よりも広く（確信度が高い）、さらに、CMIP6 の世界平均気温の上昇幅は、CMIP5 よりも大きい傾向にある（確信度が非常に高い）。{4.3.1, 4.3.4, 4.6.2, 7.5.6}

Cross-Section Box TS.1 表1 | 複数系統の証拠に基づく、20年平均した世界平均気温の変化に関する評価結果。1850～1900年の参照期間を基準とした特定の期間の気温（°C）（最初の3行）、及び1850～1900年を基準とした特定の水準を世界平均気温変化の平均値が超える最初の20年間（最後の4行）として、変化を示す。各項目には、中央推定値、及び括弧内に可能性が非常に高い（5～95%）範囲の両方が示されている。「n.c.」は、2021～2100年の間に当該の地球温暖化の水準を超過しないことを意味する。

| | SSP1-1.9 | SSP1-2.6 | SSP2-4.5 | SSP3-7.0 | SSP5-8.5 |
|-------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--|--|--|
| 短期、 2021～2040年 | 1.5 [1.2 から 1.7] | 1.5 [1.2 から 1.8] | 1.5 [1.2 から 1.8] | 1.5 [1.2 から 1.8] | 1.6 [1.3 から 1.9] |
| 中期、 2041～2060年 | 1.6 [1.2 から 2.0] | 1.7 [1.3 から 2.2] | 2.0 [1.6 から 2.5] | 2.1 [1.7 から 2.6] | 2.4 [1.9 から 3.0] |
| 長期、 2081～2100年 | 1.4 [1.0 から 1.8] | 1.8 [1.3 から 2.4] | 2.7 [2.1 から 3.5] | 3.6 [2.8 から 4.6] | 4.4 [3.3 から 5.7] |
| 1.5°C | 2025～2044年 [2013～2032年から n.c.] | 2023～2042年 [2012～2031年から n.c.] | 2021～2040年 [2012～2031年から 2037～2056年] | 2021～2040年 [2013～2032年から 2033～2052年] | 2018～2037年 [2011～2030年から 2029～2048年] |
| 2°C | n.c. [n.c.から n.c.] | n.c. [2031～2050 から n.c.] | 2043～2062年 [2028～2047年から 2075～2094年] | 2037～2056年 [2026～2045年から 2053～2072年] | 2032～2051年 [2023～2042年から 2044～2063年] |
| 3°C | n.c. [n.c.から n.c.] | n.c. [n.c.から n.c.] | n.c. [2061～2080年から n.c.] | 2066～2085年 [2050～2069年から n.c.] | 2055～2074年 [2042～2061年から 2074～2093年] |
| 4°C | n.c. [n.c.から n.c.] | n.c. [n.c.から n.c.] | n.c. [n.c.から n.c.] | n.c. [2070～2089年から n.c.] | 2075～2094年 [2058～2077年から n.c.] |

TS.2 広域的な気候変動：平均気候、変動性、極端現象

このセクションでは、観測及び予測された大規模の気候変動（変動性及び極端現象を含む）、駆動要因及び観測された変化の人間活動への要因特定に関する知識を要約している。ここでは、気候システムの主要な構成要素である大気、海洋（海面水位の変化を含む）、陸域、生物圏及び雪氷圏、並びに炭素循環、エネルギー循環及び水循環に関連する観測及び予測された広域的な変化について記述する。各サブセクションにおいて、復元された過去の変化、観測及び要因特定された最近の変化、並びに平均気候、変動性、極端現象に関する短期及び長期の変化予測を、可能な場合には統合して示した。予測に用いたシナリオについてはTS.1.3.1を参照されたい。

TS.2.1 地球規模の気候システム全体の変化

世界平均気温（Cross-Section Box TS.1）に加えて、気候システムの全ての構成要素にわたる広範な指標が急速に変化しており（図 TS.7）、その多くは数千年間にみられなかった水準にある。観測された変化は、温暖化する世界の首尾一貫した姿を提供し、その多くの側面は

人間の影響であると現在正式に要因特定され、気候システムの大気、海洋、陸域の構成要素に対する人間の影響は、IPCC 評価報告書において初めて、疑う余地がないと評価されている（表 TS.1、図 TS.7）。

世界の GHG 排出の急速かつ大幅な削減により、世界平均気温の上昇とそれに伴う変化を抑制できることはほぼ確実である。GHG を排出し続けることは、地球の気候システムにおける潜在的に不可逆な変化の可能性（Box TS.9）を、特に全球海面水位変化に対する氷床の寄与に関して（確信度が高い）、大幅に増加させる。{2.3, 3.8, 4.3, 4.6, 4.7, 7.2-7.4, Cross-Chapter Box 7.1, 9.2-9.6}

1850 年以降の過去の期間についての地球システムモデル（ESM）シミュレーションは、人為起源の強制力が含まれる場合のみ、主要な気候指標において観測された変化を再現できる（図 TS.7）。更に広範な指標と理論的理解にわたる数多くの本格的な要因特定研究と合わせて考えると、このことは観測された大気、海洋、及び陸域の昇温が、疑う余地なく人間の影響に要因特定されることを裏付けている（表 TS.1）。{2.3, 3.8}

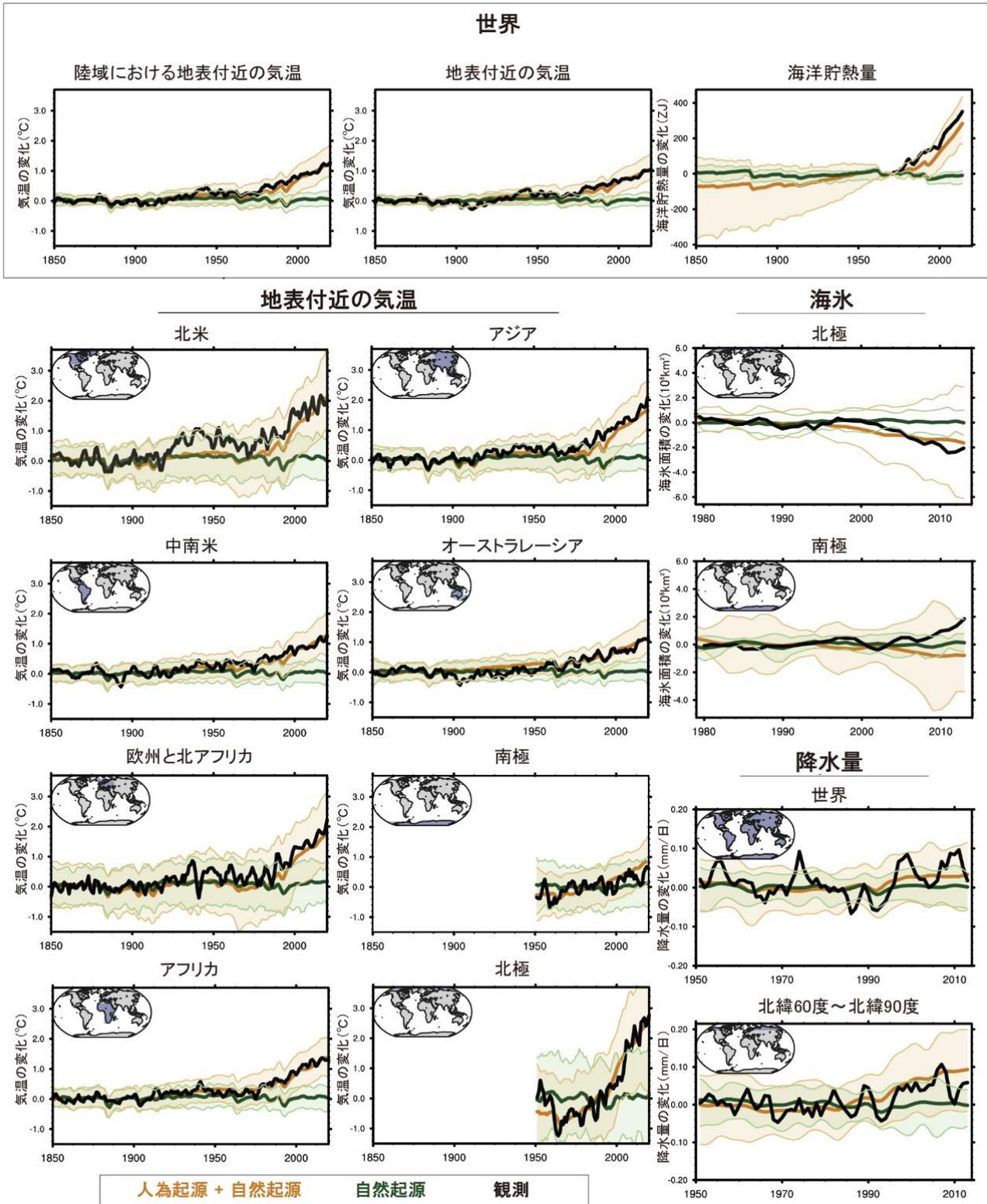


図 TS.7 | 大陸、大洋及び世界における、気候システム全体にわたる気候変動の主要な大規模の指標についてのシミュレーションと観測値の1850～1900年平均を基準とした2014年までの変化。この図の意図は、過去の期間における様々な変数と地域について、観測された変化とシミュレーションされた変化を人為起源の強制力の有無によって比較し、その要因を特定することである。黒線は観測値、オレンジ色の線と着色域は第6期結合モデル相互比較プロジェクト（CMIP6）の人為起源の強制力と自然強制力を含む過去シミュレーションの複数モデル平均と5～95パーセンタイルの範囲、緑色の線と着色域は自然強制力のみでのCMIP6の対応するアンサンブル平均と5～95パーセンタイルの範囲である。CMIP6の過去シミュレーションは2014年までであるため、2014年以降の観測値は示していない（例えば南極海氷面積については、その後の大幅減少により1979年以降全体として有意な変化傾向がみられない）。観測値の時系列は全て3年移動平均により平滑化されている。{3.8, 図3.41}

表 TS.1 | 気候システムの構成要素全体にわたる大規模の平均気候指標について観測された変化の評価、及びそれらの人間の影響への要因特定。色分けは、利用可能な場合、駆動要因又は主要な駆動要因¹⁹（その場合、主要な駆動要因は特定される）として評価された人間の寄与の確信度/可能性を示す（色分けの凡例を参照）。それ以外の場合、白地のセルに説明文が記載されている。より詳細な情報がある関連章のセクションは、表中の各セルに示されている。

| 指標における変化 | 観測された変化に対する評価 | 人間の寄与の評価 |
|--|--|---|
| 大気と水循環 | | |
| 1850～1900年以降、表面付近の気温に基づく世界全体の平均値の上昇 | [2.3.1, Cross-Chapter Box 2.3] | 人間の寄与の 可能性が高い範囲 (0.8℃～1.3℃)は、観測された昇温範囲(0.9℃～1.2℃)を包含する [3.3.1] |
| 1979年以降、対流圏の昇温 | [2.3.1] | 主要な駆動要因 [3.3.1] |
| 下部成層圏の降温 | 20世紀半ば以降 [2.3.1] | 1979～1990年代半ばの主要駆動要因 [3.3.1] |
| 1979年以降、大規模の降水量と上部対流圏の湿度の変化 | [2.3.1] | [3.3.2, 3.3.3] |
| 1980年代以降、帯状平均ハドレー循環の拡大 | [2.3.1] | 南半球[3.3.3] |
| 海洋 | | |
| 1970年代以降、海洋貯熱量の増加 | [2.3.3, 2.3.4, 9.2.1, Cross-Chapter Box 9.1] | 主要な駆動要因 [3.5.1] |
| 20世紀半ば以降、塩分変化 | [2.3.3, 2.3.4, 9.2.2] | [3.5.2] |
| 1971年以降、世界平均海面水位の上昇 | [2.3.3, 9.6.1] | 主要な駆動要因 [3.5.3] |
| 雪氷圏 | | |
| 1979年以降、北極海の海氷減少 | [2.3.2, 9.3.1] | 主要な駆動要因 [3.4.1] |
| 1950年以降、北半球春季の積雪の減少 | [2.3.2, 9.5.3] | [3.4.2] |
| 1990年代以降、グリーンランド氷床の質量減少 | [2.3.2, 9.4.1] | [3.4.3] |
| 1990年代以降、南極氷床の質量減少 | [2.3.2, 9.4.2] | <i>証拠は限定的、見解一致度は中程度</i> [3.4.3] |
| 氷河の後退 | [2.3.2, 9.5.1] | 主要な駆動要因 [3.4.3] |
| 炭素循環 | | |
| 1960年代初頭以降、大気中CO ₂ 濃度の季節サイクルの振幅増大 | [2.3.4] | 主要な駆動要因 [3.6.1] |
| 世界の海洋表層部の酸性化 | [SROCC, 5.3.2, Cross-Chapter Box 5.3] | 主要な駆動要因 [3.6.2] |
| 陸域の気候（極端現象、表TS.12参照） | | |
| 1850～1900年以降、陸域の地上2mの平均気温の上昇（世界平均の昇温より約40%大きい） | [2.3.1] | 主要な駆動要因 [3.3.1] |
| 総合 | | |
| 工業化時代以降、世界の気候システムの温暖化 | [2.3.5] | [3.8.1] |

本文の記述参照
 確信度が中程度
 可能性が高い/確信度が高い
 可能性が非常に高い
 可能性が極めて高い
 ほぼ確実
 事実

大気圏、雪氷圏、海洋、及び生物圏の様々な指標にわたる将来の気候変動は、将来の排出経路に依存する。様々な指標の変化は、異なる SSP 間で 21 世紀を通して次第に分岐する (TS.1.3.1、図 TS.8)。海洋深層と氷床の遅い応答のため、この分岐は 2100 年以降も続き、21 世紀の排出の選択は、数百年から数千年にわたり GMSL の上昇に影響を及ぼす。さらに、21 世紀に少なくとも 1 回の大

規模な火山噴火が発生する **可能性が高い**。このような噴火は、世界平均気温を数年間低下させ、陸域の降水量を減少させ、地球規模と地域規模の両方でモンスーン循環及び極端な降水量を変化させるだろう。{4.3, 4.7, 9.4, 9.6, Cross-Chapter Box 4.1}

¹⁹ 本技術要約において、「主要な駆動要因」とは、変化の 50%を超える要因となっていることを意味する。

気候システムの四つの主要な指標における最近及び将来の変化
 気温、海洋貯熱量、北極海の夏の海水、及び陸域の降水量

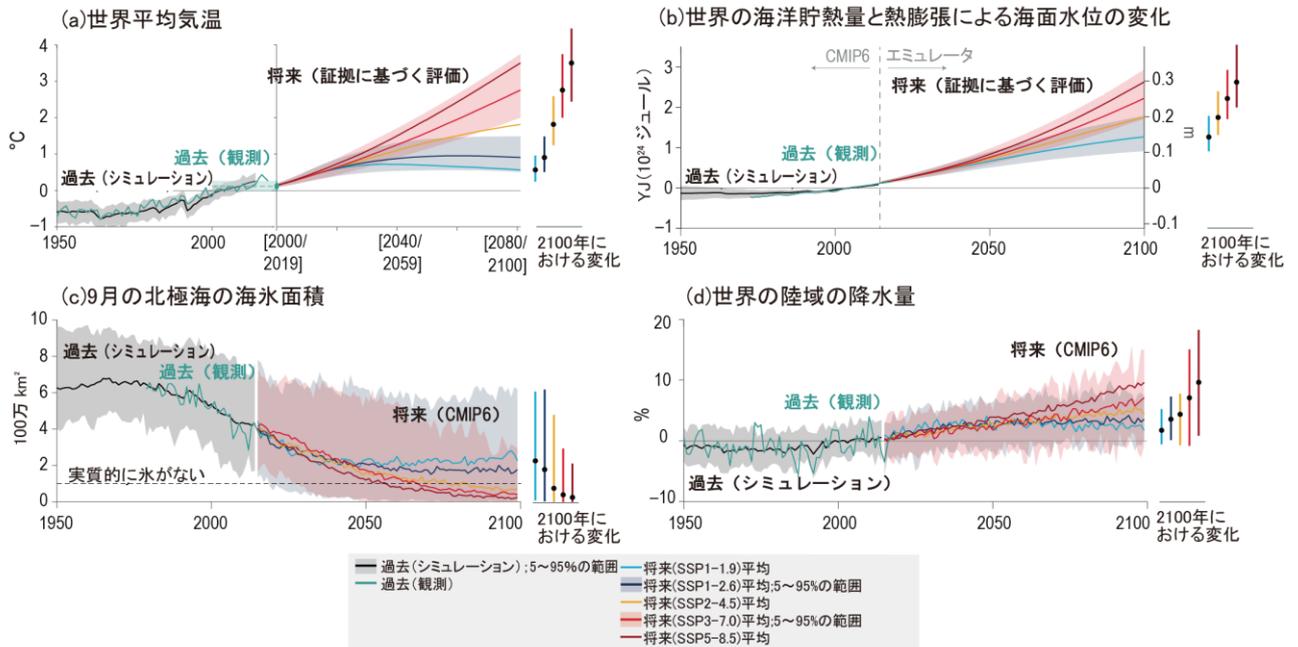


図 TS.8 | 気候システムの4つの主要指標についての観測値、シミュレーション値、及び予測値の1995～2014年平均を基準とした共通社会経済経路 (SSP) シナリオ別の2100年までの変化。この図の意図は、将来の排出の選択が、主要かつ象徴的で大規模の指標にどのように影響を与えるかを示し、我々の社会全体の選択が重要であることを強調することである。過去シミュレーションは、第6期結合モデル相互比較プロジェクト (CMIP6) の複数モデルアンサンブルに基づく。将来予測は、(a) 世界平均気温 (Cross-Section Box TS.1) 及び(b) 気候モデルエミュレータ (Cross-Chapter Box 7.1) による世界の海洋貯熱量とそれに伴う熱膨張による世界平均海面水位の変化への寄与 (右側の軸) については複数系統の証拠に基づく評価範囲に基づき、(c) 9月の北極海の海水面積及び(d) 世界の陸域の降水量については CMIP 6 シミュレーションに基づく。SSP1-1.9 と SSP1-2.6 の予測は、温室効果ガス排出削減により、21世紀にわたり世界平均気温、北極海の海水面積、世界の陸域降水量が安定化することを示している。SSP1-2.6 の予測は、排出削減により、21世紀にわたる海洋貯熱量の増大と熱膨張による海面水位上昇を大幅に低減できる可能性があるが、ある程度の増加は避けられないことを示している。パネル(a)のx軸の括弧内は評価された20年平均の期間を示す。{4.3, 図 4.2, 9.3, 9.6, 図 9.6}

観測記録は、気候システムに対する人間の影響に関連付けられた広範にわたる気候の極端現象の変化を示している (表 TS.2)。多くの場合、極端現象の頻度及び強度の将来変化は、将来予測される昇温の大きさと直接的に関連づけることができる。極端現象の変化は、1950年代以降、陸域で広くみられ、極端な気温の世界的な増加 (ほぼ確実) と極端な降水の世界規模の強化 (可能性が高い) を含む。人間の影響が、高温 (低温) の極端現象の可能性と深刻度に観測された増大 (減少) に主に寄与している

可能性が極めて高い (表 TS.2)。現在の気候における気温及び降水の極端現象の頻度は、温暖化にともなって変化し、高温の極端現象がより頻繁になり (ほぼ確実)、低温の極端現象の頻度が少なくなり (可能性が極めて高い)、ほとんどの場所で降水の極端現象がより頻繁に起こる (可能性が非常に高い) だろう。{9.6.4, 11.2, 11.3, 11.4, 11.6, 11.7, 11.8, 11.9, Box 9.2}

表 TS.2 | 世界規模と大陸規模において、1950 年以降（別途記載がある場合を除く）に観測された極端現象の変化とその要因特定、及び +1.5°C、+2°C、+4°Cの地球温暖化で予測される変化に関する要約表。極端な温暖/高温の増加とは、ほとんどの陸域で、暑い昼と夜及び継続的な高温/熱波がより高温及び/又はより頻繁になることを指す。極端な低温の減少とは、ほとんどの陸域で、寒い昼と夜及び継続的な低温/寒波がより高温及び/又はより少なくなることを指す。干ばつは、陸域で卓越する面積割合を基準としている。熱帯低気圧については、観測された変化とその要因特定はカテゴリ3~5 を、予測された変化はカテゴリ4~5 を対象としている。表 11.1 と表 11.2 は、この表のより詳細なバージョンで、特に地域規模での情報を含んでいる。一般に、確信度の水準が温暖化の水準に依存せず、この表が地球規模での感度を明示的に定量化していない指標については、温暖化の水準が高いほどその指標について予測される変化もより強いことを意味している。Box TS.10 も参照。{9.6, Box 9.2, 11.3, 11.7}

| 指標における変化 | 観測された変化 (1950年以降) | 要因特定 (1950年以降) | 各地球温暖化水準(°C)における予測 | | |
|---------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| | | | +1.5 | +2 | +4 |
| 極端な温暖/高温: 頻度又は強度 | ↑ | ✓ 主要な駆動要因 | ↑ | ↑ | ↑ |
| 極端な低温: 頻度又は強度 | ↓ | ✓ 主要な駆動要因 | ↓ | ↓ | ↓ |
| 大雨: 頻度、強度及び/又は降水量 | ↑ 観測カバリー範囲が 良好な陸域の 大部分において | ✓ 陸域で観測された 大雨強化の 主要な駆動要因 | ↑ 陸域のほとんどで | | ↑ 陸域のほとんどで |
| 農業及び生態学的干ばつ: 強度及び/又は頻度 | ↑ 一部地域で | ✓ 一部地域で | ↑ より多くの地域で 観測された 変化に比べ | ↑ より多くの地域で 1.5°Cの 地球温暖化に比べ | ↑ より多くの地域で 2°Cの 地球温暖化に比べ |
| 熱帯低気圧に伴う降水量 | ↑ | ✓ | ↑ 増加率 +11% | ↑ 増加率 +14% | ↑ 増加率 +28% |
| 熱帯低気圧: 強いものの割合 | ↑ | ✓ | ↑ 10% | ↑ 13% | ↑ 20% |
| 複合的な現象: 熱波と干ばつの 同時発生 | ↑ (頻度) | ✓ (頻度) | ↑ (温暖化に伴い、頻度と強度が増加) | | |
| 海洋熱波: 強度と頻度 | ↑ (1900年以降) | ✓ (2006年以降) | ↑ 熱帯と北極海で最も強い | | |
| 極端な海面水位: 頻度 | ↑ (1960年以降) | ✓ | ↑ (21世紀のシナリオに基づく評価) | | |

確信度が中程度
可能性が高い/
確信度が高い
可能性が
非常に高い
可能性が
極めて高い
ほぼ確実

TS.2.2 気候システムの駆動要因の変化

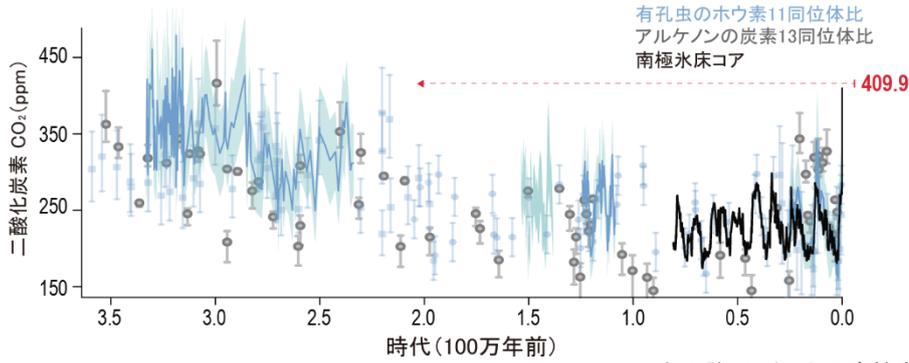
1750 年以降、気候システムの駆動要因の変化は、大気中の温室効果ガス濃度の増加による昇温効果と、エアロゾルによる降温効果に支配されており、これらはどちらも人間活動に起因する。これに比べると、太陽活動と火山による長期的影響は無視できる。CO₂、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)の濃度は、少なくとも過去 80 万年で前例がない水準まで増加し、現在の CO₂ 濃度は、少なくとも過去 200 万年間経験がないことについて確信度が高い。人為起源エアロゾルの世界平均濃度は 20 世紀末にピークを迎え、その後、南アジアと東アフリカで増加を続けているものの、北半球中緯度地域ではゆっくりと減少している(確信度が高い)。1750 年を基準とした 2019 年の人為起源の有効放射強制力(ERF)は合計で 2.72 [1.96~3.48] W m⁻²(確信度が中程度)であり、1970 年代以降、増加率が高まっている可能性が高い。{2.2, 6.4, 7.2, 7.3}

1900 年以降の太陽活動は活発ではあったが、過去 9 千年間と比べて例外的なものではなかった(確信度が高い)。

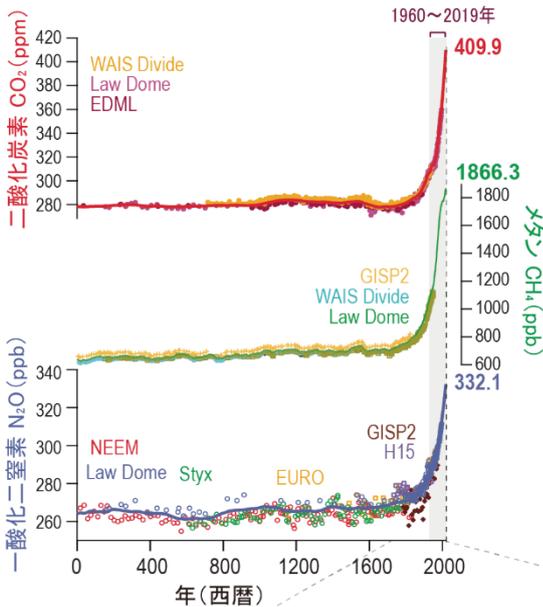
1900 年以降の火山性エアロゾルの影響の平均的な規模と変動性は、少なくとも過去 2500 年間と比較して異例なものではなかった(確信度が中程度)。しかし、散発的な強い火山噴火は、2~5 年続く世界平均気温の一時的な低下につながりうる。{2.2.1, 2.2.2, 2.2.8, Cross-Chapter Box 4.1}

大気中の CO₂ 濃度は数百万年の間に大きく変化している(図 TS.1)。現在の大気中の CO₂ 濃度の水準は、少なくとも 200 万年間経験したことがない(確信度が高い、図 TS.9a)。1750 年から 2019 年の間に、CO₂ は 131.6 ± 2.9ppm (47.3%) 増加した。1850 年以降の CO₂ の 100 年あたりの変化率は、少なくとも過去 80 万年間で前例がなく(図 TS.9)、過去 5600 万年間で最も大きかった変化率でも、1900~2019 年と比べると大きくても 4 分の 1(確信度が低い)であった。いくつかのネットワークによる高精度地上観測は、CO₂ 濃度が 400ppm を超え、2019 年に 409.9 (±0.3) ppm に達したことを示している(図 TS.9c)。2019 年の CO₂ による ERF は(1750 年を基準として) 2.16 W m⁻²であった。{2.2.3, 5.1.2, 5.2.1, 7.3}

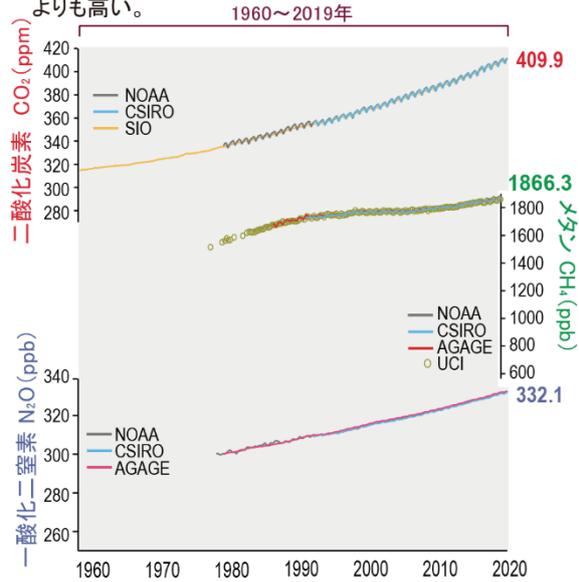
(a) CO₂濃度が現在と同程度に高かった最後の時期は少なくとも200万年前。



(b) 複数の氷床コアからの情報は、19世紀以降のCO₂、CH₄、N₂Oの大きな増加を示している。



(c) 1960～1980年以降、いくつかの高精度な地球規模の観測網により、CO₂、CH₄、N₂Oの地表付近の濃度が測定されている。現在の濃度は、氷床コアから測定された過去80万年間の濃度よりも高い。



(d) 19世紀後半以降の有効放射強制力(ERF)の増加は主に、昇温効果を持つ温室効果ガスと降温効果を持つエアロゾルによって引き起こされている。1970年代以降、ERFはより急速に変化している。

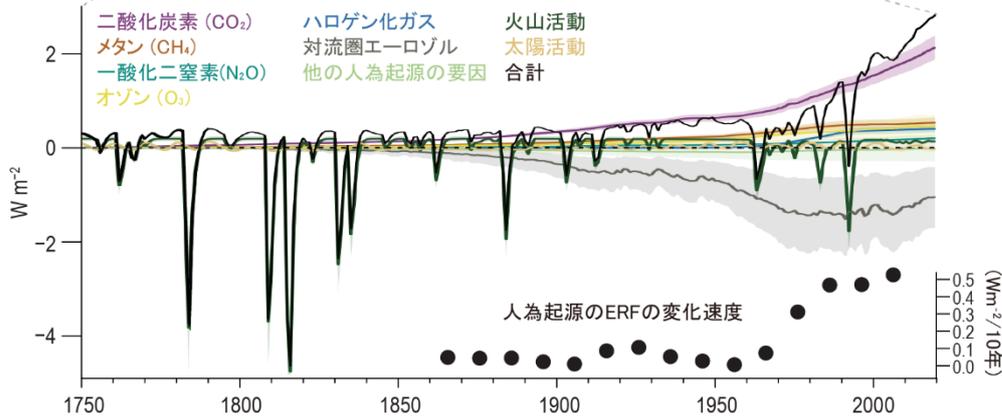


図 TS.9 | よく混合された温室効果ガス (WMGHG) 濃度と有効放射強制力 (ERF) の変化。この図の意図は、工業化時代にわたる気候システムの主要な駆動要因の変化が、長期的な文脈では例外的であることを示すことである。(a) 過去 350 万年間のプロキシ記録による二酸化炭素 (CO₂) の変化。(b) 氷床コアの記録から得られた 3 つの WMGHG の西暦紀元にわたる変化。(c) 20 世紀半ば以降に直接観測された WMGHG の変化。(d) 1750 年以降の ERF とその構成要素の変遷。データソースと処理方法に関する詳細は、関連する FAIR データ表を参照されたい。{2.2, 図 2.3, 図 2.4, 図 2.10}

2019年までに、CH₄の濃度は1866.3(±3.3) ppbに達した(図 TS.9c)。1750年以降の1137±10ppb(157.8%)の増加は、過去80万年の複数の氷期-間氷期移行期における範囲をはるかに超えている(確信度が高い)。1990年代、CH₄濃度は横ばい状態だったが、2007年頃から平均7.6±2.7ppb/年(2010~2019年; 確信度が高い)の割合で再び増加し始めている。この最近の増加は、化石燃料の採掘、家畜、及び廃棄物からの排出が主因であり、ENSOが湿地とバイオマス燃焼による排出の数年規模変動の駆動要因であることについて確信度が高い。2019年、CH₄によるERFは0.54 W m⁻²であった。{2.2.3, 5.2.2, 7.3}

1750年以降、N₂Oは62.0±6.0ppb増加し、2019年には332.1(±0.4) ppbの水準に達した。1750年以降の増加は、過去80万年の氷期-間氷期の変動と同程度の大きさである(図 TS.9c)。1980年以降のN₂O濃度の変化傾向の大部分は、世界の農業の拡大及び集約化による30%の排出増加によって駆動されている(確信度が高い)。2019年までにそのERFは0.21 W m⁻²となった。{2.2.3, 5.2.3}

ハロゲン化ガスはクロロフルオロカーボン(CFCs)、ハイドロクロロフルオロカーボン(HCFCs)、ハイドロフルオロカーボン(HFCs)及び他のガスを含み、その多くは成層圏オゾン破壊し、大気を昇温させる。オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書とその改正によって義務付けられた製造と消費の規制を受け、ほとんどのCFCsの大気中の存在量はAR5以降、減少し続けている。また、主要なHCFCsの増加は近年鈍化しているものの、CFCs及びHCFCsの代替となるHFCsの存在量は増加している(確信度が高い)。2019年のハロゲン化ガスによるERFは0.41 W m⁻²であった。{2.2.4, 6.3.4, 7.3.2}

対流圏エアロゾルは、直接的には太陽放射を反射し、間接的には雲の反射率を高めることによって、主に気候システムを降温させるように作用している。氷床コアは、1700年以降、北半球中緯度帯にわたってエアロゾルが増加し、20世紀末期から減少していることを示している(確信度が高い)。衛星と地上の放射計から得られたエアロゾルの光学的厚さ(AOD)は、2000年以降、南アジアと東アフリカで増加している以外は両半球の中緯度の大陸で減少している(確信度が高い)。AODの変化傾向は、人為起源の寄与が特に大きいサブミクロンエアロゾルにより顕著に現れている。世界の炭素質エアロゾルの収支と変化傾向は、観測が限られているため特徴がまだよく分かっていないが、昇温効果のあるエアロゾル成分であるブラックカーボン、北半球のいくつかの地域で減少している(確信度が低い)。1750年を基準とした2019年のエアロゾルの合計ERFは-1.1[-1.7~-0.4] W m⁻²(確信度が中程度)で、20世紀末以降、負の程度が小さくなった可能性がどちらかと言えば高く、矛盾する証拠のために2014年以降の変化の大きさについて確信度が低い(TS.3.1)。{2.2.6, 6.2.1, 6.3.5, 6.4.1, 7.3.3}

対流圏オゾンは、オゾン前駆物質(窒素酸化物、一酸化炭素、非メタン揮発性有機化合物、メタン)排出の人為

起源の変化に応じて1750年から増加していることについて確信度が高いが、観測による証拠が限られ知識のギャップがあるため、この変化の大きさについて確信度は中程度である。20世紀半ば以降、対流圏オゾンの地上濃度は北半球全体で30~70%増加した(確信度が中程度)。1990年代半ば以降、自由対流圏のオゾンは、ほとんどの北半球中緯度地域で10年あたり2~7%、熱帯の調査地域では10年あたり2~12%増加した。地上オゾン濃度の将来変化は、気候変動よりもむしろ前駆物質排出の変化に主に駆動される(確信度が高い)。

成層圏オゾンは1964~1980年から2014~2017年にかけて南緯60°~北緯60°間で2.2%減少し(確信度が高い)、1980~1995年に最も大きく減少した。南半球の春季の南極大陸上空では成層圏オゾンの最も強烈な減少(オゾンホール)の発生が続いているが、2000年以降は回復の兆しが顕在化している。成層圏と対流圏のオゾンを合計した1750~2019年のERFは0.47[0.24から0.71] W m⁻²で、対流圏オゾンの変動が支配的である。{2.2.5, 6.3.2, 7.3.2, 7.3.5}

ヒドロキシル(OH)ラジカルの全球平均存在量、すなわち「酸化能」は、多くのSLCFの寿命を科学的に調節することで、CH₄、オゾン、二次エアロゾル、及び多くのハロゲン化物の放射強制力を制御する。モデルによる推定は、1850年から1980年まで酸化能に有意な変化がないことを示唆している(確信度が低い)。ESM及び炭素循環モデルによって計算された1980~2014年の約9%の増加は、観測値で制約した逆モデルでは確認されず、1980年代以降OHが安定又は正の変化傾向にあることは全体として確信度が中程度で、OHが最近観測されたCH₄増加の主要駆動要因ではないことを示唆している。{6.3.6、Cross-Chapter Box 5.2}

土地利用と土地被覆の変化は、生物物理学的及び生物地球化学的效果をもたらす。1750年以降の土地利用の変化による生物物理学的効果、特に地球規模のアルベドの増加は最も顕著で、気候を全体的に降温させた一方、生物地球化学的效果(すなわち、温室効果ガス及び揮発性有機化合物の排出又は吸収源の変化)が正味の昇温をもたらしたことについては確信度が中程度である。土地利用と土地被覆のERFは全体で-0.2[-0.3から-0.1] W m⁻²と推定される。{2.2.7, 7.3.4, SRCCL 2.5}

1750年を基準とした2019年の人為起源の合計ERFは2.72[1.96~3.48] W m⁻²(図 TS.9)で、GHGs(正のERF)が支配的で、部分的にエアロゾル(負のERF)により相殺されている。ERFの変化率は、主にCO₂濃度の増加とエアロゾルERFの負の程度の減少により、1970年代以降増加している可能性が高い(TS.3.1)。{2.2.8, 7.3}

TS.2.3 上層の気温と大気循環

人為起源の気候変動の影響は、気温と大気循環のいくつかの側面について観測で明確に特定されており、これらの影響は将来強まる**可能性が高い**。対流圏の昇温と成層圏の降温は、温室効果ガスの正味の排出が続く限り続くことは**ほぼ確実**である。大気循環のいくつかの側面は、20世紀半ば以降変化している**可能性が高く**、人間の影響は、南半球のハドレー循環に観測された極方向への拡大と南半球夏季の亜熱帯ジェット気流に観測された極方向への移動に寄与している**可能性が非常に高い**。CO₂高排出シナリオでは、2100年までに南半球のストームトラックの強化とともに中緯度のジェット気流が極方向に移動し強まる**可能性が高い**。過去40年間に強い熱帯低気圧の割合が増加している**可能性が高く**、これは自然変動では全てを説明できない。両半球の温帯低気圧の総数において観測された最近の変化については、**確信度が低い**。強い熱帯低気圧の割合は増

加が予測されるが**(確信度が高い)**、世界全体の熱帯低気圧の総数は減少するか変化しないままであると予測される**(確信度が中程度)**。{2.3, 3.3, 4.3, 4.4, 4.5, 8.3, 8.4, 11.7}

対流圏は少なくとも1950年代から昇温しており、成層圏が降温していることは**ほぼ確実**である。人為起源の温室効果ガスの増加が、1979年以降の対流圏の昇温の主要な駆動要因であった**可能性が非常に高い**。GHG濃度の増加とオゾン層破壊物質による成層圏オゾンの破壊の両方から来る人為起源の強制力が、1979年以降の上部成層圏の降温の主要な駆動要因であった**可能性が極めて高い**。大気中のCO₂濃度がより高いシナリオでは、全球平均の成層圏降温がより大きい**可能性が非常に高い**。熱帯域では、少なくとも、新しい技術により確実な定量化が可能になった2001年以降、上部対流圏は地表付近よりも速く昇温している**(確信度が中程度)**(図TS.10)。CMIP5及びCMIP6モデルの多くが、熱帯の海面水温上昇の過大

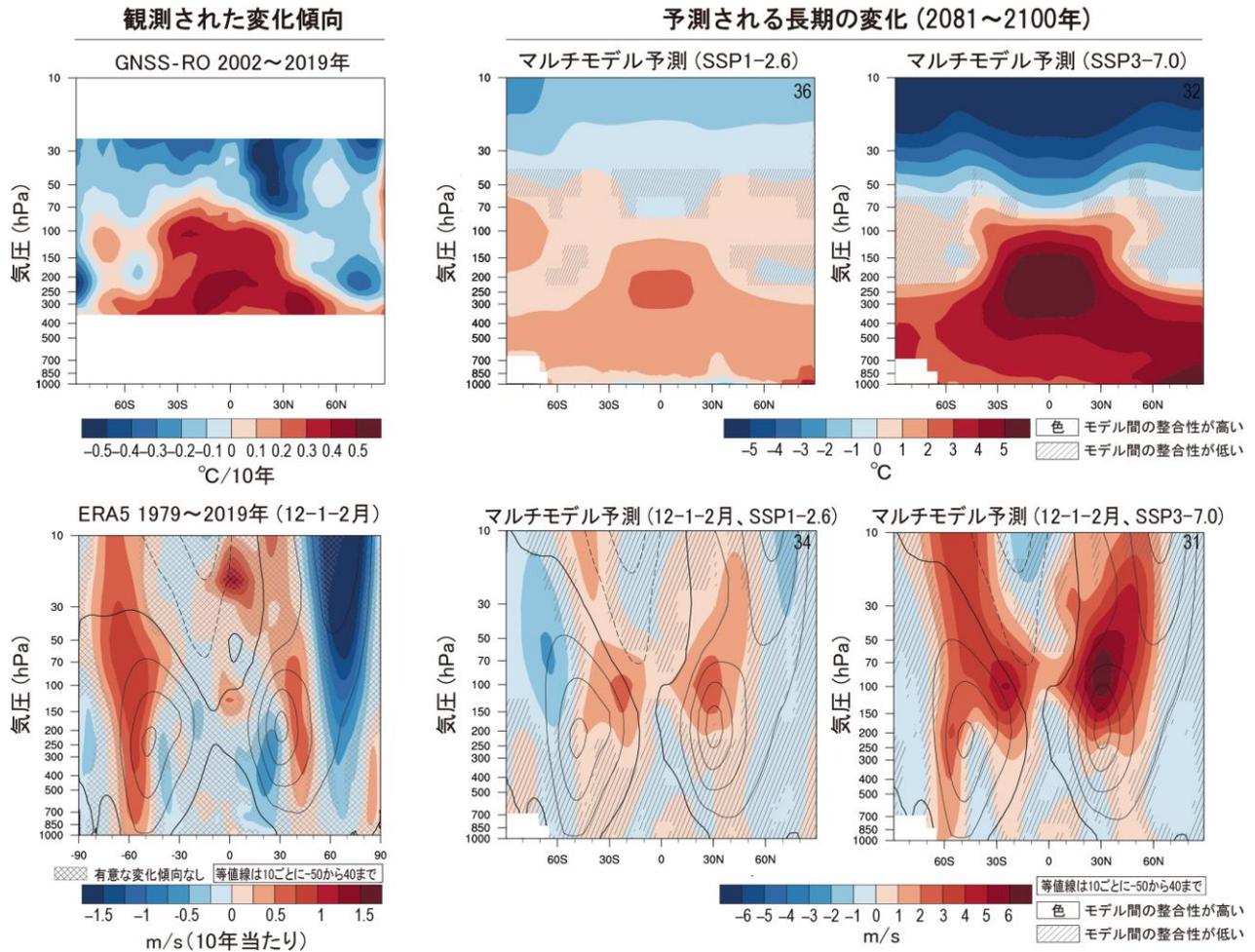


図 TS.10 | 上層の気温と循環の変化についての観測と予測。この図の意図は、上層の気温と循環の変化、および観測と予測の変化の類似性を可視化することである。上段：(左) ROM SAF 電波掩蔽観測データセットによる上部対流圏の2002年から2019年の気温変化傾向の帯状平均断面図。(中) 第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)の36のモデルによるSSP1-2.6での1995~2014年を基準とした2081~2100年の年平均帯状平均気温(°C)の変化。(右) 32のモデルによるSSP3-7.0での同様の図。下段：(左) ERA5の12-1-2月(DJF)の帯状平均東西風の長期平均(細い黒線)と線形変化傾向(色付)。(中) CMIP6の34のモデルに基づくSSP1-2.6での1995~2014年を基準とした2081~2100年の年平均帯状平均風(m/s)の複数モデル平均の変化。1995~2014年の気候値は10m/s間隔の等値線で示す。(右) 31のモデルに基づくSSP3-7.0での同様の図。{2.3.1; 図2.12と図2.18; 4.5.1; 図4.2.6}

評価が1つの原因となり、1979～2014年の期間に観測された上部対流圏の昇温を過大評価していることについては確信度が中程度である。将来の熱帯上部対流圏の昇温は、熱帯の地表より大きくなる可能性が高い。{2.3.1, 3.3.1, 4.5.1}

ハドレー循環は、少なくとも1980年代以降、主に北半球で拡大した可能性が高いが、その変化の程度については確信度が中程度にとどまっている。これは、北半球のハドレー循環の強まりを伴っている（確信度が中程度）。1980年代以降、人間の影響が南半球の帯状平均ハドレー循環の極方向への拡大に寄与した可能性が高く、地球温暖化に伴い更に拡大すると予測される（確信度が高い）。北半球で観測された極方向への拡大が内部変動の範囲内であることについては確信度が中程度である。{2.3.1, 3.3.3, 8.4.3}

1970年代以降、陸域では地表面付近の平均風は弱まっている可能性が高い。海上では、1980～2000年にかけて海面付近の平均風は強まった可能性が高いが、その後は、推定値のばらつきが大きいと、確信度が低い。温帯低気圧のストームトラックは、1980年代以降、極方向に移動した可能性が高い。北半球中緯度ジェット気流とストームトラックの極方向への移動の予測については、モデルシミュレーションの内部変動性と構造的な不確実性が大きいと、確信度が低い。SSP3-7.0及びSSP5-8.5シナリオの下で、2081～2100年における北半球冬季のグリーンランド及び北太平洋における大気ブロッキングの頻度が減少すると予測されることについては、確信度が中程度である。南半球のストームトラックとそれに伴う降水量は、南半球環状モード（SAM）（TS.4.2.2）がより正の位相に向かう傾向と、南半球の夏季における南半球中緯度ジェットの強化及び南方への移動と関連して、特に南半球の夏季及び秋季に最近数十年は極方向に移動していることについては確信度が高い。長期（2081～2100年）では、SSP5-8.5シナリオの下で、SAM（TS.4.2.2）の増大に伴い、1995～2014年と比較して南半球中緯度ジェット気流が極方向に移動し、強まる可能性が高い。SSP5-8.5

では、南半球のストームトラックで温帯低気圧に伴う風速が強まる可能性が高い。北極域の昇温及び海氷の減少が過去又は予測される中緯度大気の変動性に及ぼす潜在的役割については、確信度が低い。{2.3.1, 3.3.3, 3.7.2, 4.3.3, 4.4.3, 4.5.1, 4.5.3, 8.2.2, 8.3.2, Cross-Chapter Box 10.1}

過去40年間に、強い（カテゴリ3～5の）熱帯低気圧（TC）の割合と急激な熱帯低気圧の発達事象の頻度が増加した可能性が高い。北太平洋西部では熱帯低気圧の風速-強度がピークに達する平均位置は1940年代以降、極方向に移動した可能性が非常に高く、また米国本土では1900年以降、熱帯低気圧の前進移動速度が遅くなった可能性が高い。北太平洋西部の熱帯低気圧の極方向への移動と地球規模での熱帯低気圧の強度の増大は、自然変動だけでは全てを説明できない可能性が高い。熱帯低気圧の平均ピーク風速とカテゴリ4～5の熱帯低気圧の割合が温暖化に伴い増加し、最も強い部類の熱帯低気圧のピーク風速が増加することについては確信度が高い。熱帯低気圧が最大風速に達する平均位置は、北太平洋西部では極方向に移動する一方、世界全体の熱帯低気圧の総発生頻度は地球温暖化の進行に伴って減少するか変化しないままとなることについては、確信度が中程度である。{11.7.1}

両半球の温帯低気圧の総数について観測されている近年の変化についての確信度は低い。北半球では、特に衛星時代以前は、年々～十年規模の変動が大きく、大気再解析における同化データの量と種類に時間的及び空間的な不均質性があったため、最も強い温帯低気圧の数と強度の過去100年間の変化傾向については確信度が低い。南半球では、1979年以降、中心気圧の低い（<980hPa）温帯低気圧の数が増加した可能性が高い。強い温帯低気圧の頻度は減少すると予測される（確信度が中程度）。強度の変化予測は、気候モデルの解像度に依存する（確信度が中程度）。温帯低気圧に伴う風速が、ストームトラックの変化にしたがって変化することについては確信度が中程度である。{2.3.1, 3.3.3, 4.5.1, 4.5.3, 8.3.2, 8.4.2, 11.7.2}

Box TS.3 | 可能性が低くとも大幅に温暖化するストーリーライン

評価された可能性が非常に高い範囲を超える将来の地球温暖化は排除できず、社会と生態系にとって最も高いリスクに結びつく可能性がある。このような可能性が低くとも大幅に温暖化するストーリーラインは、地域の乾燥と湿潤の強度が複数モデル平均よりもかなり大きな変化を示す傾向がある。可能性が非常に高い範囲内の温暖化の水準であっても、降水量の大きな変化、氷床崩壊に伴う追加的な海面上昇（Box TS.4 を参照）、又は急激な海洋循環の変化などの可能性が低い結果が、世界的及び地域的に生じるかもしれない。大西洋子午面循環（AMOC）が 2100 年以前に突然の停止を経験しないことについては確信度が中程度である一方、もしそれが起これば、地域の気象パターン及び水循環に急激な変化を引き起こす可能性は非常に高い。このような可能性が低い結果の発生確率は、地球温暖化の水準が高くなるにつれて増加する。もし、地球の実際の気候感度が評価された範囲の最も高いところにあった場合、所与の排出シナリオで可能性が非常に高いと予測された範囲から大きく外れた世界規模及び地域規模の変化が生じる。地球温暖化の進行に伴い、過去及び現在の気候においては可能性が低い一部の非常に稀な極端現象及び一部の複合現象（多変量又は同時発生的な極端現象）がより頻繁になり、観測記録に前例のない事象が発生する可能性が高くなる（確信度が高い）。最終的に、SSP に基づく地球システムモデル（ESM）予測と比べて、21 世紀の気候の経路を大きく変える可能性がある、非常に大きな火山噴火の連続によって、可能性が低くとも影響が大きい結果事象も生じるかもしれない。{Cross-Chapter Box 4.1, 4.3, 4.4, 4.8, 7.3, 7.4, 7.5, 8.6, 9.2, 9.6, Box 9.4, Box 11.2, Cross-Chapter Box 12.1}

過去の IPCC 報告書は評価の重点を主に、予測される将来の地表の昇温及び関連する気候変動の可能性が非常に高い範囲に置いた。しかしながら、包括的なリスク評価では、社会及び生態系にとって潜在的に最も高いリスクを伴う、可能性が低い又は可能性が非常に低いが起こりうる、物理的気候システムにおける潜在的により大きな変化も考慮することが求められる（図 TS.6）。AR5 以降、温暖化の水準の高い物理的気候ストーリーラインの作成は、IPCC の可能性が非常に高い範囲の予測の外側にある将来のリスク空間を探索するための有用なアプローチとして浮上している。{4.8}

平衡気候感度（ECS）と過渡的気候応答（TCR）の真の値の不確実性は、中程度から強い排出シナリオの下での将来の温暖化予測における不確実性を支配する（TS.3.2）。評価された可能性が非常に高い範囲（2°C～5°C）より実際の ECS が大きかった場合、エアロゾルによる過去の強い降温及び/又は海面水温パターンの変化にリンクした正のフィードバック（パターン効果）によってより強い温暖化に向かう傾向が必要となるが、これらは強い正の雲フィードバック及び古気候復元における大きなバイアス—それぞれ、可能性が低い又は可能性が非常に低いとの評価であるが排除されていない—と結びついている。CMIP6 には、将来の地表の昇温について評価された可能性が非常に高い範囲の上限を超えるいくつかの ESM が含まれているので、可能性についての定量的評価がない場合でもこれらのモデルを使用して、可能性が低くとも大幅に温暖化するストーリーラインを開発し、リスクと脆弱性を探ることができる。{4.3.4, 4.8, 7.3.2, 7.4.4, 7.5.2, 7.5.5, 7.5.7}

地表の昇温が可能性が非常に高い範囲の上限の外又はそれに近い CMIP6 モデルは、全てのシナリオで、複数モデル平均とは大きく異なる広範囲に及ぶ気温と降水量の変化パターンを示している。SSP5-8.5 では、昇温幅の大きいモデルは、ほとんどの温帯陸域とアマゾンの一部で広範囲にわたって 6°C以上の昇温を示している。北極域では、年平均気温が現在を基準として 10°C以上上昇し、これは最良推定値より約 30%高い昇温に相当する。SSP1-2.6 でも、昇温の大きいモデルは、ユーラシアと北米の大部分で現在を基準として平均 2°C～3°Cの昇温（最良推定値より約 40%昇温）、2081～2100 年の北極域では現在を基準として 4°C以上の昇温を示す（Box TS.3 図 1）。このような大幅に温暖化するストーリーラインは、2°Cの地球温暖化と整合する残余のカーボンバジェットが、評価された可能性が非常に高い範囲より小さいことを意味する。別の言い方をすれば、たとえ温暖化を 2°Cに抑える可能性が高いカーボンバジェットが満たされたとしても、可能性が低くとも大幅に温暖化するストーリーラインでは、2.5°C以上の温暖化がもたらされるだろう。{4.8}

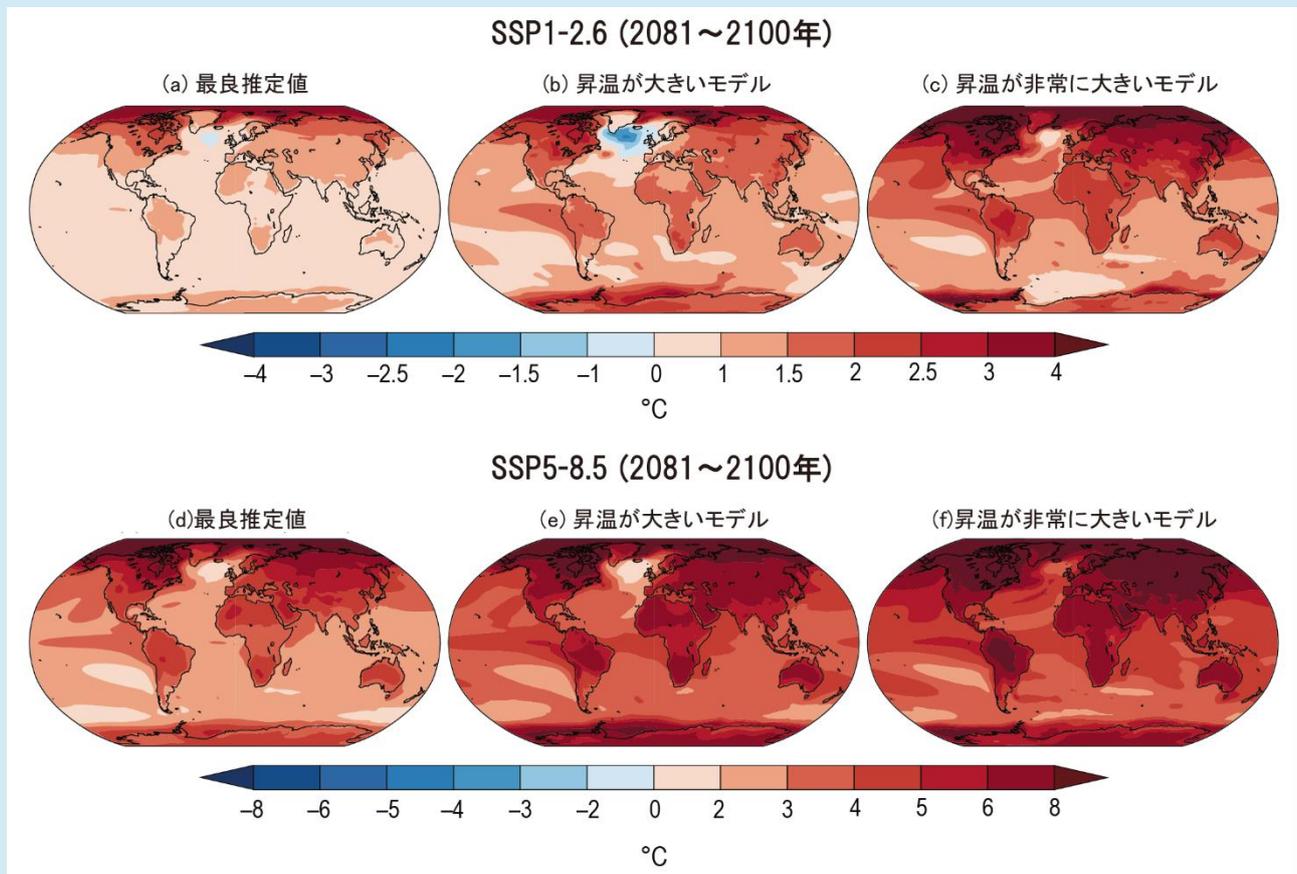
可能性が非常に高いと評価された範囲の上限に近い地球温暖化を示す CMIP6 モデルは、地域規模の乾燥と湿潤の強さについて複数モデル平均より大きい変化を示す傾向がある。さらに、これらのモデルの予測は、複数モデル平均よりも乾燥の面積が大きく、強い降水の増加割合が大きい傾向がある。しかし、地域規模の降水の変化は、熱力学的過程と力学的過程の両方から生じるので、最も顕著な地球温暖化の水準が、必ずしも最も強い降水の応答に関連するとは限らない。水循環に対する急激な人為起源の変化は排除できない。植生とダストが関与する陸域地表の正のフィードバックは、乾燥度の急激な変化に寄与しうるが、そのような変化が 21 世紀中に現われるという確信度は低い。アマゾンの森林減少が継続し、温暖化する気候と組み合わせると、この生態系が 21 世紀中に乾燥状態へのティッピングポイントを越える確率が高まる（確信度が低い）。(Box TS.9 も参照)。{4.8, 8.6.2}

予測される AMOC の衰退（TS.2.4）に 2100 年以前の突然の停止は含まれないことについては確信度が中程度であるが、グリーンランド氷床からの想定外の融解水の流入がそのような停止の引き金となるかもしれない。仮に

AMOCの停止が起こった場合、熱帯降水帯が南方へ移動するなど地域的な気象パターン及び水循環に急激な変化を引き起こす可能性が非常に高く、アフリカとアジアのモンスーンの弱化、南半球のモンスーンの強化、及び欧州の乾燥をもたらすだろう。(Box TS.9 と Box TS.13 も参照)。(4.7.2, 8.6.1, 9.2.3)

非常に稀な極端現象及び複合現象又は2018年の北半球の同時多発的な熱波などの同時現象は、しばしば大きな影響と関連している。変化する気候の状態は、十年規模の干ばつ及び極端な海面水位などの極端な事象の可能性を既に変化させており、将来の温暖化の下でも変化させ続けるだろう。複合的な事象及び同時発生する極端現象は、可能性が低くとも影響が大きい結果の確率を増大させることに寄与し、地球温暖化の進行に伴ってより頻度が増加する(確信度が高い)。より高い温暖化の水準は、観測記録上過去に例のない事象の可能性を増加させる。(9.6.4, Box 11.2)

最終的に、可能性の低いストーリーラインが、人間が引き起こした気候の変化に必ずしも単独に関連する必要はない。過去2500年の歴史的な前例と整合する、可能性が低くとも影響が大きい結果の一つとして、SSPに基づく地球システムモデルの予測と比較して21世紀の気候の経路を大きく変化させようであろう複数回の大規模火山噴火が挙げられるだろう。(Cross-Chapter Box4.1)



Box TS.3 図1 | 大幅に温暖化するストーリーライン。 この図の意図は、大幅に温暖化するストーリーラインをCMIP6複数モデル平均と比較して示すことである。(a) 1995~2014年を基準とした2081~2100年のSSP1-2.6で評価された世界平均気温の最良推定値に線形スケールした第6期結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP6)複数モデル平均、(b) 評価された可能性が非常に高い範囲の上限に最も近い世界平均気温変化を持つ昇温が大きい5つのモデル間平均、及び、(c) 評価された可能性が非常に高い範囲よりも大幅な世界平均気温の変化を伴う、昇温が大きい5つのモデル間の平均。(d-f) (a-c)と同じだが、SSP5-8.5について。(a-c)と(d-f)でカラーバーが異なることに注意。(4.7, 図4.41)