

調査レポート

現在の地球環境と自然を生かした気候変動緩和の取り組み

社会インフラチーム 上席主任コンサルタント
 渋木尚

2023年の夏は、東京で最高気温が30℃以上となる真夏日の日数が最多記録を更新するなど、記録的な暑さとなり、地表面気温が上昇傾向にあることが実感された。実際に温暖化現象がどの程度進んでいるかを観測データにより振り返るとともに、ブルーカーボン、OECMといった自然生態系を活用した気候変動緩和の取り組みを紹介する。

1 はじめに

地球温暖化、気候変動という言葉が定着した現在、大気中のCO₂の世界平均濃度は415.7[ppm] (2021年)と400[ppm]を超えている。しかしながら、過去の地球ではどのような濃度変化が起きていたのか等、過去、現在、未来の観点から、地球環境の状態を示すデータを総合的に把握される機会は多くない。

大気中へ排出されるCO₂量の将来動向を手始めに、CO₂濃度、地表面温度、海面温度の経年変化の傾向について整理して、温暖化現象がどの程度進んでいるかを示す。次いで、人類が地球に与える影響を明快に示している、地球圏・生物圏国際協同研究計画(IGBP: The International Geosphere-Biosphere Program)が発表した、「大加速」を紹介する。¹⁾最後に、自然生態系保護を通じた気候変動緩和の取り組みに触れ、将来の地球環境を改善する方策を考えるきっかけとしたい。

2 CO₂排出量の動向

全世界でCO₂の排出量はどの程度なのか、排出量の将来シナリオはどうなっているかについては、国際エネルギー機関(IEA)の「Net Zero by 2050 Roadmap for the Global Energy Sector」という報告書が参考になる。

以下に示す図1において、NZEは2050ネットゼロシナリオに基づく、CO₂排出量の想定推移を示している。このNZEシナリオは国際的な協力が良好に進むことを前提としたものであるが、国際的な協力が

低レベルとなる可能性があるため、その場合についてCO₂排出量の推移を想定したのが、図1中のLow International Co-operation Caseである。2050ネットゼロ(NZE)シナリオと比較して、CO₂の排出量が正味ゼロとなるのが40年遅くなると想定している。

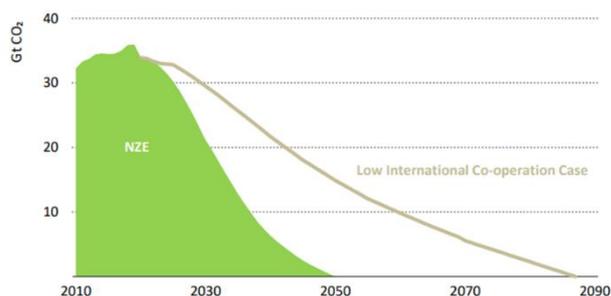


図1 CO₂排出量シナリオの例。²⁾

国内の動向については、2021年度の温室効果ガスの正味の排出量は11.2億トンCO₂換算(1.12ギガトンCO₂換算)であった。世界のエネルギー関連CO₂排出量が363億トンであるから、全世界の排出量の3.1%が日本から排出されていることになる。また、2020年度の比較では2,150万トンCO₂換算の増加であるが、基準年の2013年度比では20.3%の減少となっている。図2に示すように、2030年度目標の達成及び2050年度のカーボンニュートラル実現に向けてはその計画に近い推移を示しており、日本国内の取り組みについては一定の進捗が見られると評価されている。

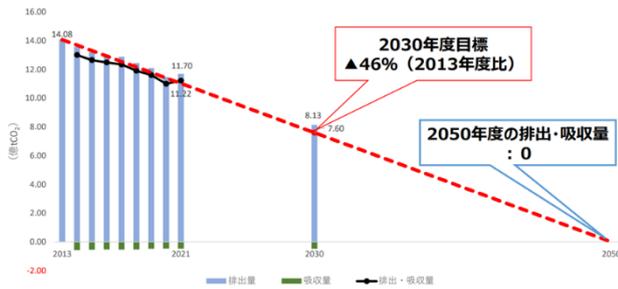


図 2 国内の温室効果ガスの排出量実績と 2030 年度・2050 年度目標。³⁾

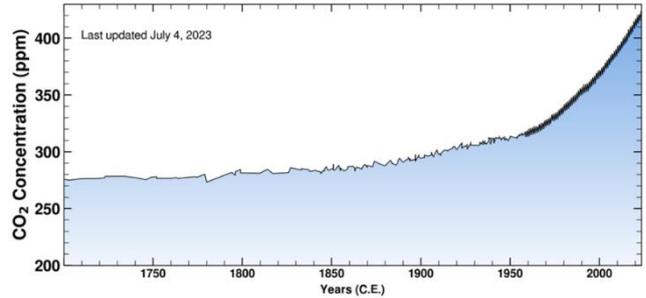


図 4 1700 年から現在までの大気中 CO₂ 濃度の推移。⁴⁾

3 地球環境を示す観測量の推移

地球環境を示す観測量のうち、我々になじみのある大気中 CO₂ 濃度、世界の年平均気温の長期変化を示すとともに、地表面側を暖めるとされる赤外放射の観測データの現状を示す。

・大気中 CO₂ 濃度の長期推移

過去 80 万年前まで遡った、大気中 CO₂ 濃度の長期推移を図 3 に示す。急激な変化を示す現代 (1960 年以降) を除くと、数万年単位で 180[ppm] から 300[ppm] までの範囲で変動していることがわかる。

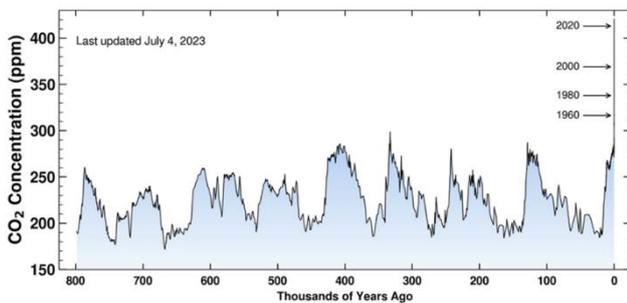


図 3 大気中 CO₂ 濃度の長期推移。⁴⁾

次に、産業革命以前 (1700 年) から現在までに限定した大気 CO₂ 濃度の推移を示す (図 4)。1850 年以降に微増のトレンド始まり、1960 年以降は顕著な大気 CO₂ 濃度の増加を確認できる。

・世界の年平均気温偏差の経年変化 (1891~2022 年)

大気中 CO₂ 濃度は 1960 年以降に顕著な増加を示すが、世界の年平均気温はどのような応答をしているかを次に述べる。

1891 年以降の世界の年平均気温の推移を図 5 に示す。世界の年平均気温は、陸域における地表付近の気温と海面水温の平均から算出している。ここで注意が必要なのは、世界の年平均気温についてはその値ではなくて、基準値 (現在は 1991 年から 2020 年までの 30 年平均値を使用する。) からどの程度ずれているかを表わす偏差で表現する点である。最新のデータである、2022 年の世界の平均気温の基準値からの偏差は +0.24℃ である。

図 5 の赤色の直線で示されている通り、長期的なトレンドは 100 年間で 0.74℃ の割合で上昇している。1990 年代半ば以降の世界の平均気温偏差はこの長期的なトレンドを示す赤色の直線より上側にプロットされているので、近年は高温傾向にあることが確認できる。

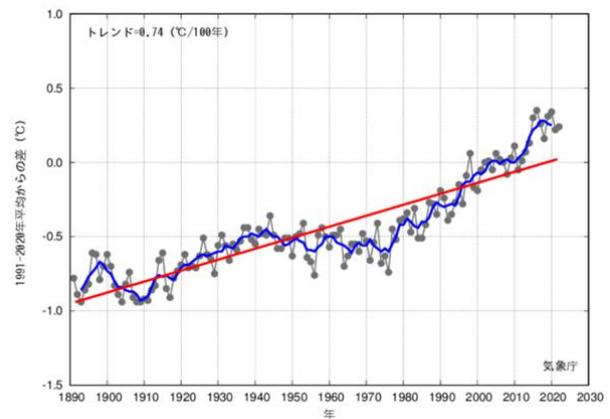


図 5 世界の年平均気温偏差の経年変化。⁵⁾

・海面水温の長期変化

地球の表面積の 70% を占め、地球温暖化への影響が大きいと考えられる、海面水温の変化を以下にまとめる。

海面水温の 2022 年の年平均海面水温 (全球平均) の年差は+0.17°Cで、統計を開始した 1891 年以降で 6 番目に高い値となっている。ここで、年差は 1991 ~2020 年の 30 年平均で求めた平年値との差である。

図 6 に示すように、年平均海面水温 (全球平均) のグラフは数年から数十年の時間スケールの海洋・大気の変動や地球温暖化等の影響が重なり合って変化するが、100 年程度の長期的な傾向は 100 年あたりで 0.60°Cの上昇となっている。(図 6 では、各年の観測値は黒い実線で結び、5 年移動平均値を青い実線で結び、長期変化傾向を赤色の直線で示している。)

この傾向は陸域における地上気温の変動とも概ね同じ傾向を示しているが、陸上気温の長期的な変化率は、1880 年から 2022 年までの期間において 100 年あたり 0.87°Cの上昇 (世界の年平均気温 (陸上のみ) の経年変化) となっているので、海面水温の上昇率の方が地上気温の上昇率よりは小さいことになる。

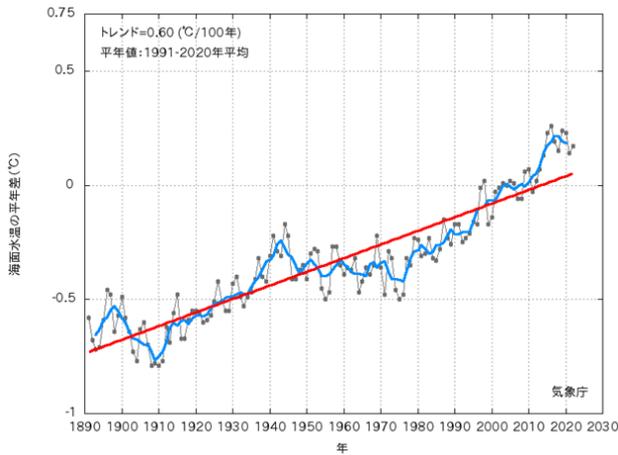


図 6 世界の年平均海面水温偏差の経年変化。⁶⁾

・地表面に向う方向の赤外放射量の観測

大気 CO₂ 濃度が増加傾向にあること、また、地球の平均気温や海面水温の観測値も上昇傾向にあることを観測データから確認した。

次に、CO₂をはじめとする温室効果ガスは地球の温暖化への程度関係しているかを調べるデータとして、赤外放射量の観測データを紹介する (図 7)。

CO₂をはじめとする温室効果ガスは赤外線を吸収しやすいと同時に、地表面側と大気圏の外側に赤外線を放出していることを利用して、地表面に向う方向の赤外放射量を観測することができるが、意外なことに公開されているデータが少なく、国内ではつくばの観測データにより、最近の 50 年ほどの変化を示すデータが存在する程度である。

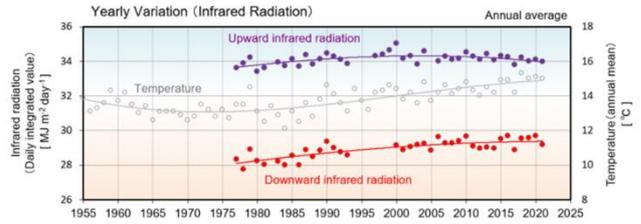


図 7 つくばにおける赤外放射量年平均値の長期変化傾向のグラフ。⁷⁾

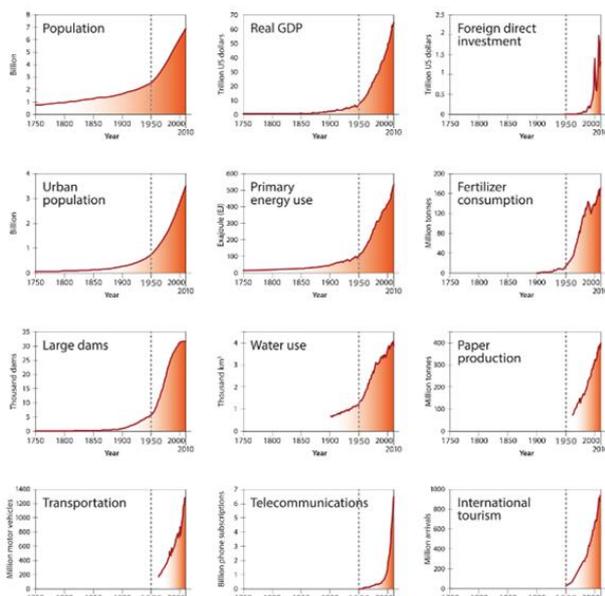
CO₂ 濃度、地球の平均気温のデータと異なり、地表面に向う方向 (下向き) の赤外放射量の観測データは最近 50 年分しかなく、濃度が年々増加している大気中の CO₂ が地球をどの程度暖めていることに影響しているかについては、現時点はまだはっきりしない。さらなる観測データの蓄積が待たれるところである。

4 人類が地球にもたらしている影響

近年の大気 CO₂ 濃度の増加には、人類の活動が大きく寄与していると言われるが、地球圏・生物圏国際協同研究計画 (IGBP) が発表した、「大加速 (Great Acceleration)」という資料では、その人類の活動が加速的に増大していることを明快に示している (図 8)。

この資料からは、社会経済的な傾向 (人口、実質 GDP、海外直接投資、都市部の人口、一次エネルギーの利用量、化学肥料の消費、大ダム数、水使用量、紙生産量、移動、通信、海外旅行) と地球システムの傾向 (CO₂ 濃度、窒素酸化物濃度、メタン濃度、成層圏内のオゾン濃度、地表面温度、海洋酸性化度、海洋漁獲量、エビ養殖量、沿岸域での窒素フラックス、熱帯雨林の損失量、家畜用地の増加量、陸域生態系の劣化) について、1950 年以降に単純な増加ではなく、指数関数的に「大加速」していることがわかる。わずか 70 年という短期間で、人類の経済活動が地球に大きなインパクトを与えているのである。

Socio-economic trends



Earth system trends

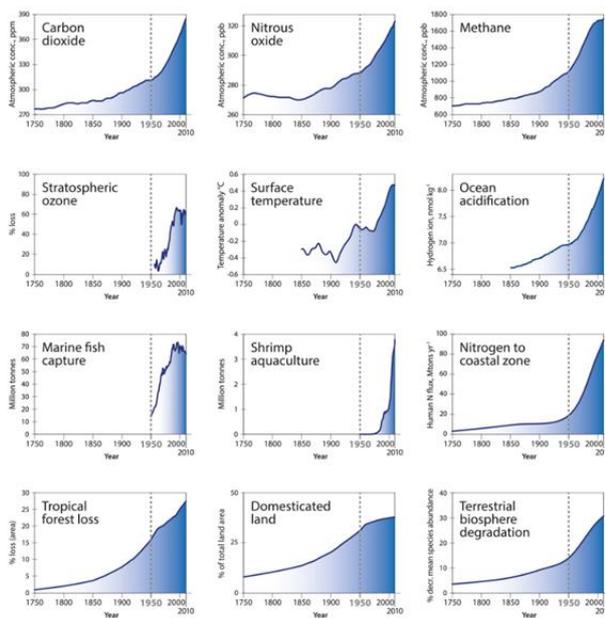


図 8 大加速 (Great Acceleration) を示すグラフ. 8)

・新しい地質年代「人新世」

2023年7月に、人類の痕跡が残る地質年代を区分するとして、図9に示すように、新たな地質年代「人新世」を設けることが国際地質科学連合の作業部会から提案された。

地質年代では、地磁気の逆転を示す地層(約77万年前から始まるとされる)として「チバニアン」が選定されたことが記憶に新しいが、この人新世の開始時期は1945年から1950年頃としている。1945年の

マンハッタン計画での人類初の核実験以後、1950年代に急増した核実験によるプルトニウム等の人工放射性物質が大気中に拡散し、世界中の地層に含まれるようになった。加えて、「大加速」のデータが示しているように、プラスチックのような難分解性の利用量も指数関数的に増え続け、地質学の年代史に刻まれるほどに、人類の物質消費活動は広がっている。

IUGS/ICS time scale with possible modifications

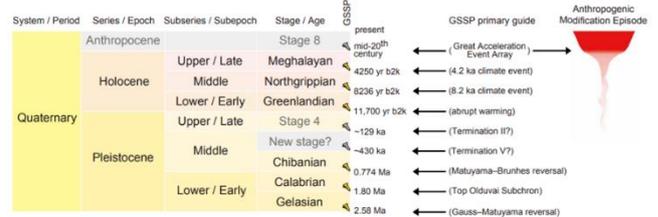


図 9 人新世を含めた第四紀の層序年代表. 9)

なお、人新世を標準的な地層としては、カナダのオンタリオ州にある「クロフォード湖」が候補地として選ばれた。この湖は水深が深く、海流の影響も少ないため、人為的な環境の変化を年単位で調べることができる。化石燃料を燃やした際の発生する球状炭素粒子が湖底の堆積物中で1950年以降に急増していることが確認されている。

5 自然生態系を活用した気候変動緩和の取り組み

温室効果ガスを削減させる取り組みは、人類の生産活動や消費活動に着目しているが、速効性はないものの自然生態系を活用した取り組みも進んでいる。

・ブルーカーボンに取り組む生態系

2021年度の温室効果ガスの吸収量は、4,760万トンCO₂換算(排出量の0.4%に相当する)であり、4年ぶりに増加している。吸収量の増加は森林整備の着実な実施や、木材利用の推進等が主な原因とされている。また、我が国として初めて、ブルーカーボンに取り組む生態系の一つであるマングローブ林による吸収量2,300トンを計上した。

ブルーカーボンの仕組みは、図10に示すように、海水中に溶け込んだCO₂を、海草、海藻、マングローブが光合成により炭素を吸収したり、干潟などで貝類の殻形成に炭素を取り込むことで行われる。そして、海草や海藻はやがて海底に沈み堆積していき、炭素が地下深くに固定されることになる。

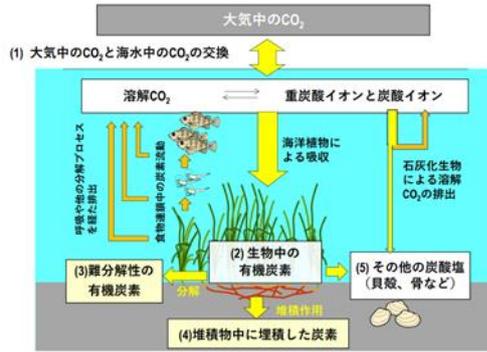


図 10 大気 CO₂ を海底の堆積物に固定するしくみ。¹⁰⁾

2021 年度に初めて吸収量を計上したマングローブ林の他、湿地・干潟、海草藻場・海藻藻場についても、2013 年に作成された IPCC 湿地ガイドラインも踏まえつつ、ブルーカーボン生態系の排出・吸収量の算定・計上に向けた検討が進められている (図 11)。

<p>1. 海草藻場</p> <ul style="list-style-type: none"> 海草や、その葉に付着する微細な藻類は、光合成でCO₂を吸収して成長する。 海草の藻場の海底では、「ブルーカーボン」としての巨大な炭素貯留庫となる。 瀬戸内海の海底の調査では、3千年前の層からアマモ由来の炭素が見つかった。 	<p>3. 湿地・干潟</p> <ul style="list-style-type: none"> 湿地・干潟には、ヨシなどが繁り、光合成によってCO₂を吸収する。 海水中や地表の微細な藻類を基盤に、食物連鎖でつながる多様な生き物が生息し、それらの遺骸は海底に溜まり、「ブルーカーボン」として炭素を貯留。
<p>2. 海藻藻場</p> <ul style="list-style-type: none"> 海藻は、ちぎれると海面を漂う「流れ藻」となる。 潮から栄養をとらない海藻は、ちぎれてもすぐには枯れず、一部は寿命を終えて深い海に沈み堆積する。 深海の海底に貯留された海藻由来の炭素も「ブルーカーボン」。 	<p>4. マングローブ林</p> <ul style="list-style-type: none"> マングローブ林は、成長とともに樹木に炭素を貯留する上、海底の泥の中には、枯れた根や根が埋積し、炭素を貯留。 日本では、鹿児島県と沖縄県の沿岸に分布。

図 11 ブルーカーボン生態系の例。³⁾

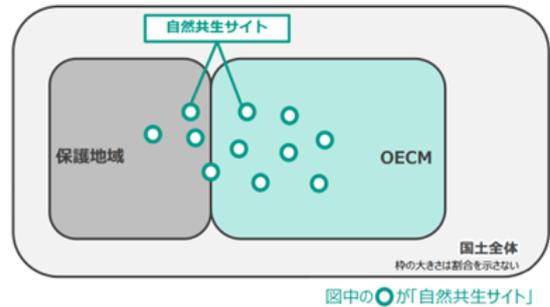
・ OECM

生態系の保護は、いわゆる「保護地域」において、動植物の保護等の活動を行うこととイメージするが、生物多様性の長期的な域内保全に貢献する地域には、「保護地域」に加えて、「OECM (Other Effective area-based Conservation Measures)」という地域もある。OECM とは、2018 年の生物多様性条約第 14 回締結国会議 (COP14) で、「保護地域以外の地理的に確定された地域で、付随する生態系の機能とサービス、適切な場合、文化的・精神的・社会経済的・その他地域関連の価値とともに、生物多様性の域内保全にとって肯定的な長期の成果を継続する方法で統治・管理されているもの」と定義された地域のことである。

日本では、「民間の取組等によって生物多様性の保全が図られている区域」を「自然共生サイト」として認定した上で、保護地域との重複を除いた区域を、OECM の国際データベースへ登録する仕組みを取っている。つまり、国立公園などのような保護区域以外

に、民間や地域の取り組みによって生態系が保護されている区域を図 12 のように OECM と認定することで、自然環境エリアを広げようとしている。そして、2030 年までに、陸域、海域ともに 30%まで保護区域を広げるという、「30by30」を達成することを目標としている。

2022 年度における、「自然共生サイト」の認定制度 (申請・審査) 試行 (前期 23 サイト、後期 33 サイト) を経て、2023 年度に 35 都道府県の 122 か所を「自然共生サイト」として認定した。122 か所の合計面積は約 7.7 万 ha であり、これは国土の約 0.2%、東京 23 区を超える面積である。¹¹⁾



国土全体	
生物多様性の長期的な域内保全に貢献する地域	貢献しない地域
生物多様性保全が主目的	生物多様性保全が主目的でない
保護地域	OECM

※四角の大きさは割合を表さない

図 12 保護地域・OECM・自然共生サイトのイメージ (上) と日本における OECM の考え方 (下)。¹²⁾

6 おわりに

CO₂ 濃度の将来予測に関して、最新の IPCC 第 6 次評価報告書 (AR6) では、図 13 に示すように 2100 年の CO₂ 濃度は約 400[ppm] (SSP1-1.9) から 1,100[ppm] 以上 (SSP5-8.5) と評価されている。ここで、SSP は、「Shared Socio-economic Pathway (共有社会経済経路)」である。

気候変動の予測を行うためには、放射強制力 (地球温暖化を引き起こす効果) をもたらす大気中の温室効果ガス濃度やエアロゾル量がどのように変化するかシナリオを必要とする。例えば、SSP1-2.6 では、気候予測シミュレーションにおいて 3 分の 2 の確率で地球温暖化を 2100 年までに 2℃より低く抑える、

温室効果ガスの排出量が少なく気候緩和が期待される将来シナリオである。SSP5-8.5は、温室効果ガスの高排出シナリオで、気候変動に対処する政策を実施せず、その結果大気中の温室効果ガスの濃度が継続的及び持続的に増加するシナリオである。

このグラフで注目したいのは、温室効果ガスを今後可能な限り抑制しても、2100[年]に約400[ppm]であり、産業革命前の280[ppm]へは戻らないことである。この400[ppm]という濃度はその先の将来も続くCO₂濃度であり、地球は少なくとも過去80万年の間に経験したことの無い高濃度のCO₂濃度の世界となる。

現在と同レベルの400[ppm]程度の大气CO₂濃度が安定的に持続されるとき、世界の気象がどうなっているかの想像は困難であるが、自然生態系を活用した気候変動緩和の取り組みを含めた、温室効果ガスを削減させる取り組みを促進させることが予防措置として一層望まれているのは確かである。

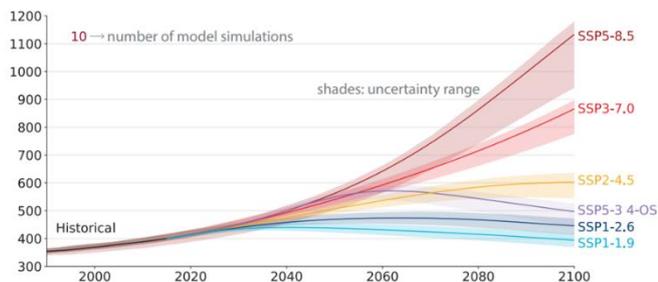


図 13 大気CO₂濃度の将来予測。 ¹³⁾

引用文献

- 1) 平 朝彦: 人新世 — 科学技術史で読み解く人間の地質時代—, (講談社, 2022) 401pp.
- 2) IEA, Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector, <https://iea.blob.core.windows.net/assets/ad0d4830-bd7e-47b6-838c-40d115733c13/NetZeroby2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector.pdf>, (参照 2023-10-25)
- 3) 環境省, 国立環境研究所, 2021 年度温室効果ガス排出・吸収量 (確報値) 概要, <https://www.env.go.jp/content/000128749.pdf>, (参照 2023-10-25)
- 4) Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, The Keeling Curve, <https://keelingcurve.ucsd.edu/>, (参照 2023-10-25)
- 5) 気象庁, 世界の年平均気温, https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html, (参照 2023-10-25)
- 6) 気象庁, 海面水温の長期変化傾向 (全球平均), https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/data/shindan/a_1/glb_warm/glb_warm.html, (参照 2023-10-25)
- 7) 気象庁高層気象台, 赤外放射観測, https://www.jma-net.go.jp/kousou/obs_third_div/rad/rad_ir.html, (参照 2023-10-25)
- 8) IGBP, Planetary dashboard shows “Great Acceleration” in human activity since 1950, <http://www.igbp.net/news/pressreleases/pressreleases/planetarydashboardshowsgreataccelerationinhumanactivitysince1950.5.950c2fa1495db7081eb42.html>, (参照 2023-10-25)
- 9) 齋藤 文紀: 地質年代区分の国際基準 (GSSP) と人新世, 学術の動向, 27 (2022) 11_78-11_81.
- 10) 堀 正和: ブルーカーボンを用いた CO₂ 吸収源対策と今後の展望, https://www.jfa.maff.go.jp/j/seibi/attach/pdf/r1_isoyaketaisakukyougikai-9.pdf, (参照 2023-10-25)
- 11) 環境省, 令和 5 年度前期「自然共生サイト」認定結果について, https://www.env.go.jp/press/press_02179.html, (参照 2023-10-25)
- 12) 環境省, OECM の設定・管理に関するこれまでの成果について, <https://www.env.go.jp/content/000147427.pdf>, (参照 2023-10-25)
- 13) IPCC, IPCC 第 6 次評価報告書(AR6)第 1 作業部会 (WG1)報告書 技術要約(TS), https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_TS.pdf, (参照 2023-10-25)