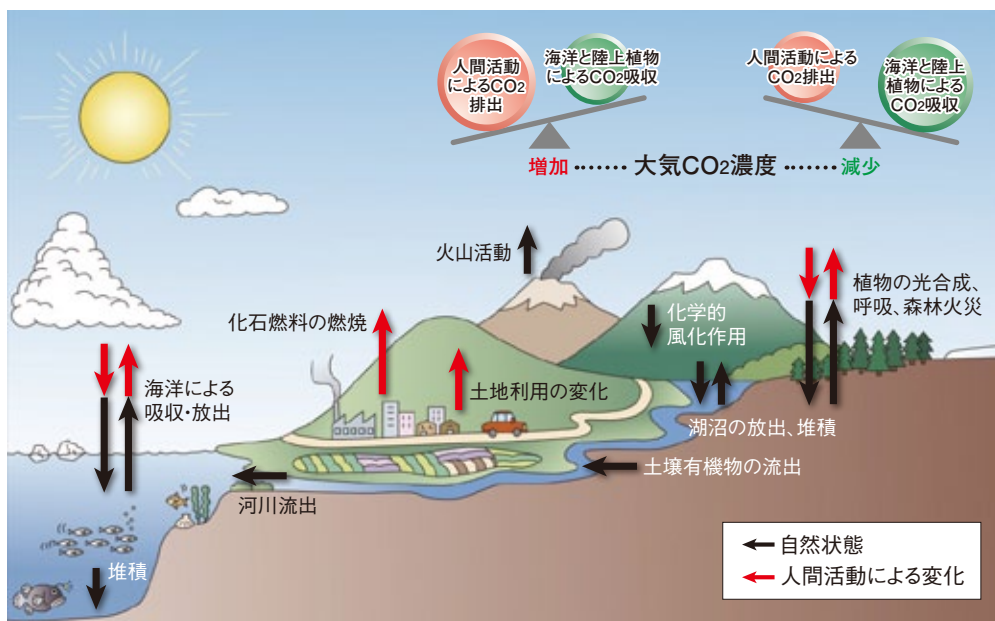




## CO<sub>2</sub>排出削減の長期目標について 現実的な考え方を提案

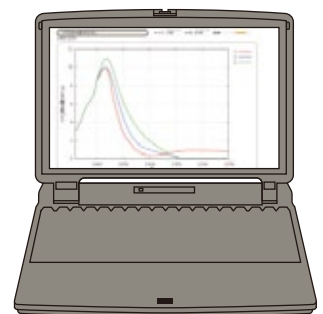


### 地球上の炭素の循環と大気CO<sub>2</sub>濃度の変化



人間活動による大気CO<sub>2</sub>濃度と気温の変化を当研究所開発の簡易気候モデルで計算

当研究所が提案する現実的なCO<sub>2</sub>削減シナリオは、2050年の排出削減量を現状の25%程度に留めるものです。温暖化はある程度進みますが、自然のCO<sub>2</sub>吸収によって長期的に大気中濃度が低下するため、深刻な気候影響は避けられます。



国連の気候変動枠組条約が目指す気候安定化では、産業革命前を基準として世界平均の温度上昇を2℃以下に抑える目標が議論されています。気候予測には不確実な点が含まれますが、2℃目標の達成に必要なCO<sub>2</sub>等の温室効果ガスの排出削減量は、2050年までに世界全体で現状から少なくとも半減、このうち先進国の分担は8割減程度と考えられています。この削減量は相当に厳しいもので、各国の削減計画の数値とは大きな隔たりがあります。この問題に対して電力中央研究所では、気候科学の観点から、より現実的な長期のCO<sub>2</sub>排出削減の道筋を提案しています。

## 2°C目標に対応する大気中のCO<sub>2</sub>濃度

現在、人間活動によって排出されたCO<sub>2</sub>は、約半分が大気に蓄積され、残りは海洋と陸上の生態系に吸収されています。大気中のCO<sub>2</sub>濃度はppmの単位で表されます(1ppmは体積比で0.0001%)。2011年の濃度は391ppmであり、産業革命前の280ppmと比べて40%増加しています。

大気中のCO<sub>2</sub>濃度が増加すると、温室効果によって地表面を加熱する作用(放射強制力)が働きます。CO<sub>2</sub>の放射強制力は、濃度の対数にほぼ比例することが知られています(図-1の赤曲線)。放射強制力に対する温度上昇の大きさは「気候感度」と呼ばれ、濃度が産業革命前の2倍(560ppm)になって気候が平衡<sup>※1</sup>に達した時の温度上昇が標準的な指標に使われます。この気候感度は3°C程度と推定されており、この場合、2°C目標<sup>※2</sup>に対応するCO<sub>2</sub>濃度は450ppm程度となります(図-1)。実際には、CO<sub>2</sub>以外の温室効果ガスなどの寄与があるため、その効果をCO<sub>2</sub>濃度に換算して加えた「等価CO<sub>2</sub>濃度」によって、目標濃度が議論されます。

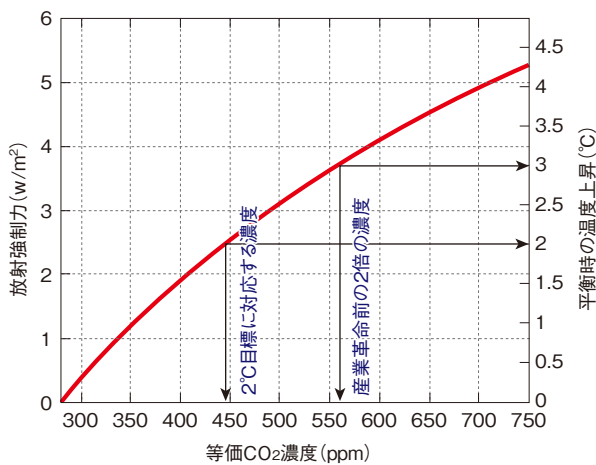


図-1 CO<sub>2</sub>濃度、放射強制力、および温度上昇の関係  
右縦軸の温度上昇は気候感度が3°Cの場合。

自然のCO<sub>2</sub>吸収や、気候感度に関する温度上昇の仕組みは非常に複雑です。このため、温度目標の議論の基礎情報となる将来の気候予測には、スーパーコンピュータで計算する複雑な気候モデルが使われます。

当研究所では、複雑な気候モデルの計算プロセス(排出量、濃度、温度の関係)を模擬できる簡易気候モデル(SEEPLUS)を開発しています(図-2)。SEEPLUSは、最新の気候科学の知見に基づいて、温度目標を達成するための排出削減の検討や、既存の削減シナリオを最新の科学知見に照らし合わせて検討する目的に利用できます。

- ※1 CO<sub>2</sub>濃度が280ppmから560ppmに増加すると、気温は徐々に上昇し、やがて一定の値に達します。そのようにCO<sub>2</sub>濃度と気温がつりあって安定した状態にあることを「平衡」と呼びます。CO<sub>2</sub>濃度が560ppmの一定になっても気温はすぐには一定にならず、平衡に達するまで千年以上かかります。
- ※2 2°C目標の妥当性に議論の余地はありますが、本稿では2°Cの前提で、目標を柔軟に捉える考え方を説明します。温度目標が異なる場合でも、本質的な考え方は変わりません。

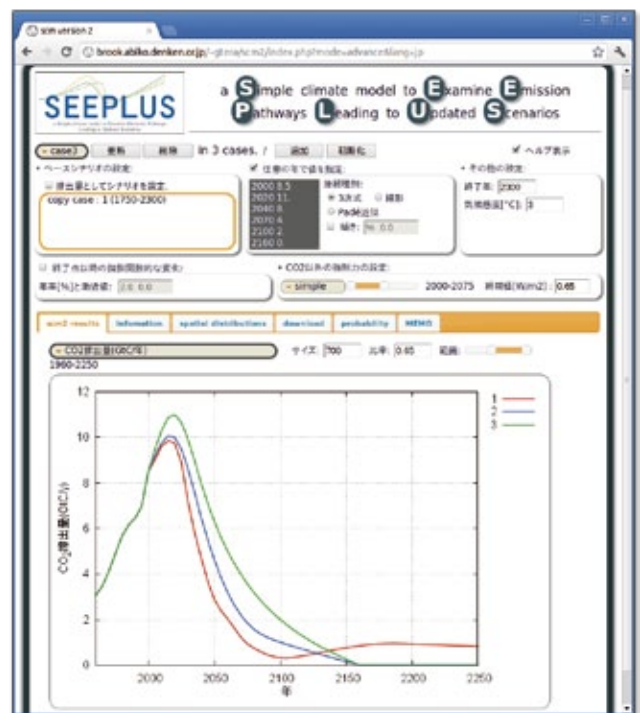


図-2 簡易気候モデルSEEPLUSの利用イメージ

SEEPLUSでは、簡単な操作によって、CO<sub>2</sub>排出量と温度上昇の関係を作図して確認することができます。上の画面イメージは、図-4に示す2つの排出シナリオ(赤と緑の線)と、その中間にあたるシナリオ(青線)を作成して、比較しているところです。



# 2

## 気候安定化の新しい概念

人間活動によって排出されたCO<sub>2</sub>は、現在は半分程度が大気に蓄積していますが、この割合は一定ではありません。自然のCO<sub>2</sub>吸収は、海洋の働きによって非常に長い時間続きます。このため、排出量を自然の吸収量より少なくすれば、大気中のCO<sub>2</sub>濃度はゆっくりと下がってきます。また、海洋は濃度変化に対する温度の応答を遅らせる働きもあり、すぐに生じる温度上昇は、平衡時の6割程度に留まります。平衡状態に達するには千年以上かかるため、濃度が450ppmに達しても、温度上昇が2°Cになるのは遠い先となります。

このような海洋の働きに注目して、独立行政法人海洋研究開発機構の松野太郎博士は、「ゼロエミッション(ゼロ排出)安定化」と称する新しい気候安定化の考え方を提唱しました。ゼロ排出安定化では、自然の吸収量より十分に少ない排出量を実質上「ゼロ」とし、その状態で気候システム<sup>※3</sup>がゆっくりと(千年以上かけて)平衡に向かう過程を考えます。この様子は、SEEPLUSを用いて定量的に詳しく調べることができます。

図-3に従来の安定化とゼロ排出安定化を比較した結果を示します。気候変動枠組条約では濃度の安定化が目

標とされるので、従来は21世紀末頃から目標濃度(図では450ppm)で一定となる経路が検討されていました。この場合、CO<sub>2</sub>排出量は徐々に減少したのち、自然の吸収量とバランスする年間1GtC<sup>※4</sup>程度の排出が継続し、温度は緩やかな上昇が続いて平衡時の値(2.1°C)に近づきます。図-3には、海水の熱膨張による海面上昇も示しています。海洋の深層部に熱が伝わるのに時間がかかるため、熱膨張は千年以上続きます。実際には、温度上昇が続くことでグリーンランド氷床が融解し、海面上昇はさらに大きくなり、加速する懸念もあります。

一方、ゼロ排出安定化では、排出ゼロの下で濃度が徐々に低下し、やがて温度も低下してきます。熱膨張による海面上昇は続きますが、濃度安定化の場合に比べると緩やかになります。また、温度が下がってくるため、グリーンランド氷床融解のような深刻な影響は避けられます。

※3 大気、海洋、陸面、雪氷、生態系といった気候を特徴づける要素の全体を、その要素間の依存関係も含めて、「気候システム」と呼びます。

※4 GtCとは炭素(C)のみで10億トンの単位。CO<sub>2</sub>全体ではその3.7倍。2011年の世界全体の人為起源のCO<sub>2</sub>排出量は約10GtC。

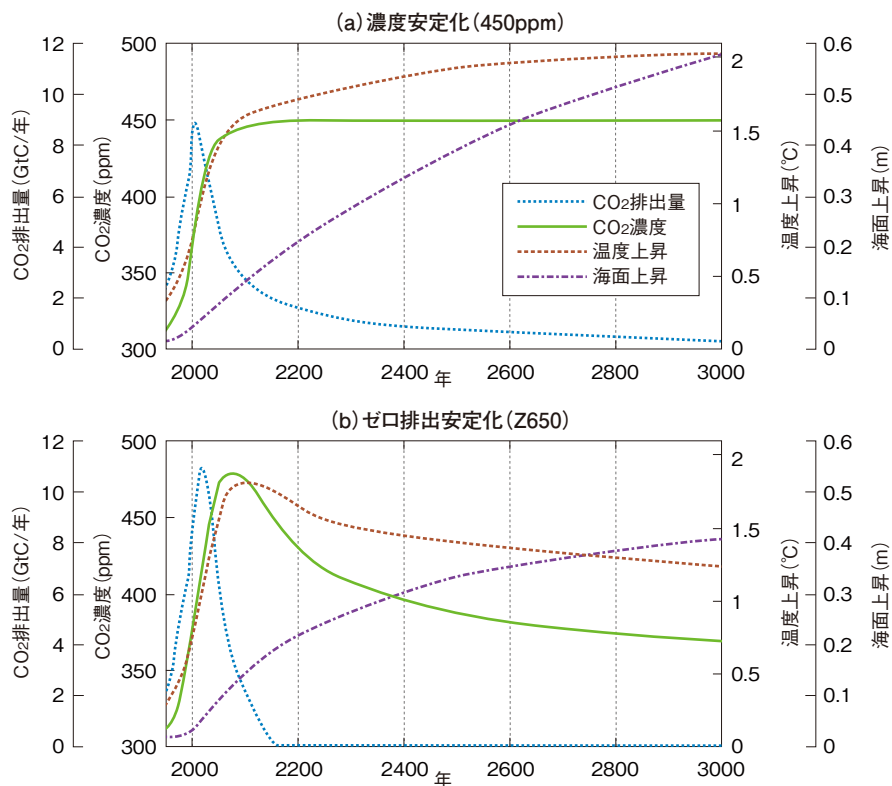


図-3 従来の濃度安定化と新しいゼロ排出安定化の比較



## 実現可能な長期のCO<sub>2</sub>排出削減の道筋

図-3に示したゼロ排出安定化のCO<sub>2</sub>排出量は、実現可能な削減の道筋として、当研究所と松野博士とが協力して考案したZ650と称する排出経路(CO<sub>2</sub>排出量の経年変化)です。Z650は、世界全体の人為起源のCO<sub>2</sub>排出量が2020年にピークに達し、21世紀中の累積量は650GtC程度、22世紀半ば以降ゼロとなる推移を描いています(Zはゼロ、650はGtC単位の排出量を表します)。

Z650と2°Cを目標とする従来の濃度安定化について、CO<sub>2</sub>以外の気候変化要因も考慮してSEEPLUSで比較した結果を図-4に示します。2050年の排出量は、従来の安定化では2000年比34%となります。このような大幅な削減は、22世紀半ばに等価CO<sub>2</sub>濃度を450ppmにするために必要となりますが、温度上昇はその時点では1.8°C程度に留まります。つまり、遠い将来の温度上昇を目標値以下にするために、近い将来に過大な排出削減を強いるこ

とになります。これに対してZ650では、2050年の排出量は2000年比74%であり、削減量は大幅に緩和されます。温度上昇は一時的に2°Cを越えますが、23世紀頃に2°Cを下回るようになり、深刻な気候影響は避けられると期待されます。表-1に従来の濃度安定化とZ650のポイントを比較整理しました。

Z650は、2°C目標を達成する道筋を柔軟に考え直したものと位置づけられ、各国の削減分担において、妥協点を見出せる余地が大きくなります。ゼロ排出の達成には、革新的なCO<sub>2</sub>対策技術が必要となりますが、22世紀半ばまでの猶予があり、超長期の視点で技術開発を進めることができます。CO<sub>2</sub>削減は2050年時点の長期目標が議論の対象ですが、気候科学の観点では2050年は通過点に過ぎません。さらに長期の視点に立つことで、実現可能な道筋を見出せるようになります。

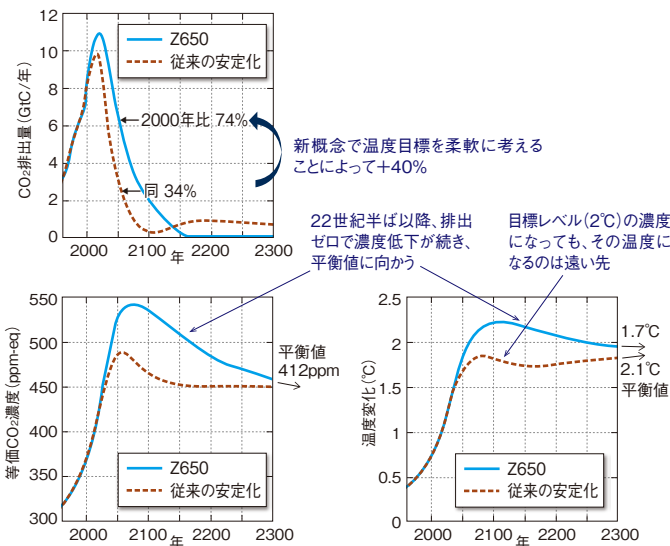


図-4 Z650と従来の2°C目標に対応する濃度安定化の比較

表-1 濃度安定化(450ppm)とゼロ排出安定化(Z650)の比較

	濃度安定化(450ppm)	ゼロ排出安定化(Z650)
概要	大気中の等価CO <sub>2</sub> 濃度を21世紀末頃に450ppm程度に安定化させる。	近い将来はある程度の排出増加を許容するが、22世紀半ばにゼロ排出を達成して、大気中のCO <sub>2</sub> 濃度を低下させる。
450ppmと650GtCの意味	450ppm: 平衡状態で世界平均の温度上昇が2°C程度になる濃度レベル。	650GtC: 21世紀中の累積排出量。450ppm濃度安定化の場合よりも100GtC程度多い。
2050年のCO <sub>2</sub> 排出量(2000年比)	34%	74%
平衡時の等価CO <sub>2</sub> 濃度と温度上昇	450ppm, 2.1°C	412ppm, 1.7°C
問題点	目標温度(2°C)に対して過大な排出削減を強いる。	一時的に目標温度を超過する。

### ひとこと

環境科学研究所 大気・海洋環境領域 上席研究員 筒井 純一

自然のCO<sub>2</sub>吸収や気候感度には大きな不確実性があり、ここで示したCO<sub>2</sub>削減量などの数値は、不確実性の幅の中央付近の値となります。不確実性の幅はなかなか縮まりませんが、その理解は着実に進んでいます。Z650に代表される実現可能な排出経路についても、新しい知見を随時取り入れて改訂していきます。これまでの気候政策の議論では、気候科学の知見が必ずしも適切に反映されていたとは言えないようです。Z650の成果はその状況の改善につながるものであり、今後も気候政策を意識した取り組みを続けていきます。



| 関連する研究報告書 | V12007「新しい気候安定化の概念に基づく現実的なCO<sub>2</sub>排出削減の道筋」

報告書は当所ホームページよりダウンロードできます