

FAQ 12.1 | 気候変動を予測するのになぜこんなに多くのモデルやシナリオを使うのか？

将来気候は、将来の温室効果ガス排出、エアロゾル、その他の自然起源及び人為起源の強制力の大きさによって一部は決定される。こうした強制力は気候システムの外部のものだが、気候システムのふるまいを変える。将来気候は、気候システムに内在する内部変動に加えて、こうした強制力に対する地球の応答によって形作られる。科学者は将来の排出の大きさとペースについてのある幅を持った仮定を利用し、気候モデル予測の前提となる幾通りかの排出シナリオを策定する。一方、異なる気候モデルは、こうした強制力に対する地球の応答と自然の気候変動を異なって表現した選択肢を提供する。全体として、モデルのアンサンブルは、異なるシナリオの幅に対する応答を計算し、ある幅を持った起こり得る将来を詳しく描くことで、我々がその不確実性を理解する助けとなる。

社会経済的発展の予測は、物理システムの変化の予測よりもさらに難しいと言えよう。社会経済的発展の予測は人間の行動、政策の選択、技術の進歩、国際的な競争と協調の予測を必要とする。通常のアプローチは、もっともらしい将来の社会経済的発展のシナリオを用いることである。温室効果ガスやその他の強制力要因の将来の排出量はこのシナリオから導き出される。個別の強制力シナリオに定量的な可能性を振り当てることは、一般にはできない。そうではなく、可能性を一定の範囲に広げるために一連の選択肢が用いられる。異なる強制力シナリオから得られた結果は、考慮すべき選択肢と起こり得る将来の幅を政策立案者に提供する。

気候の内部変動は、大気や海洋などの構成要素間の相互作用によって自発的に生み出される。近未来気候変動においては、こうした内部変動が温室効果ガスの増加のような外部摂動による効果を覆い隠すかもしれない(第11章を参照)。もっとも、より長期になると今度は外部強制力の効果が卓越することが見込まれる。気候モデルのシミュレーションは、将来の人為起源の温室効果ガスとその他の強制力要因についての異なるシナリオ、及びそれに対する気候システムの応答が、数十年後に世界平均気温の変化に異なった影響を及ぼすことを予測する(FAQ 12.1 図 1 左図)。したがって、こうした様々なシナリオの結果や応答を評価することは、とりわけ政策決定が関わっている場合には、何にもまして重要である。

気候モデルは、地球の気候システムを支配する物理的原理と経験的理解を土台として構築され、過去と将来における気候と気候変動をシミュレートするために必要な、複雑で相互に作用する諸過程を表現する。将来は必ずしもこれまで我々が見てきたものが単純に続いていくものではないため、過去の観測からの類似形や、最近の変化傾向からの外挿では、予測を生み出す方策として不十分である。

大気と海洋の挙動を決定する流体運動の方程式を書くことは可能だが、航空工学が似たような種類の方程式の数値シミュレーションに頼っているのと同様に、コンピューターによるモデルシミュレーションを通じて数値アルゴリズムを用いることなしに、それを解くことは不可能である。また、雲過程のような多くの小規模の物理・生物・化学過程はそういう方程式では記述できない。それは我々にそうした過程を直接再現するのに十分な高解像度でシステムを表現する計算能力が欠けているか、あるいはまだそうした過程を駆動するメカニズムについて部分的な科学的理解しかないためである。そこでこれらの過程は、気候モデル内でいわゆるパラメータ化によって近似する必要がある。パラメータ化を通じて、多くの場合は観測された挙動に基づいて、直接表現された数量と近似された数量との数学的関係を確立するのである。

与えられた計算と観測の制約のもとで、気候システムをモデル化する数値表現、解、近似には、同程度にもっともらしい様々な選択肢がある。この多様性は、気候モデル界の健全な側面と考えられており、世界及び地域規模で一定の幅をもつ妥当な気候変動予測を生み出している。この幅が予測における不確実性を定量化する根拠を与えるが、モデルの数が比較的少なく、また公開アーカイブへのモデル結果の提供も自主的なものであるため、起こり得る将来のサンプリングは系統的でもなく包括的でもない。また、全てのモデルに共通して多少の不十分さは根強く残る。それぞれのモデルによって強みも弱点も異なる。観測によって評価できるシミュレーションの質のどの面を、将来のモデルシミュレーションを評価する際の指針とすべきかまだはっきりしない。(次ページに続く)

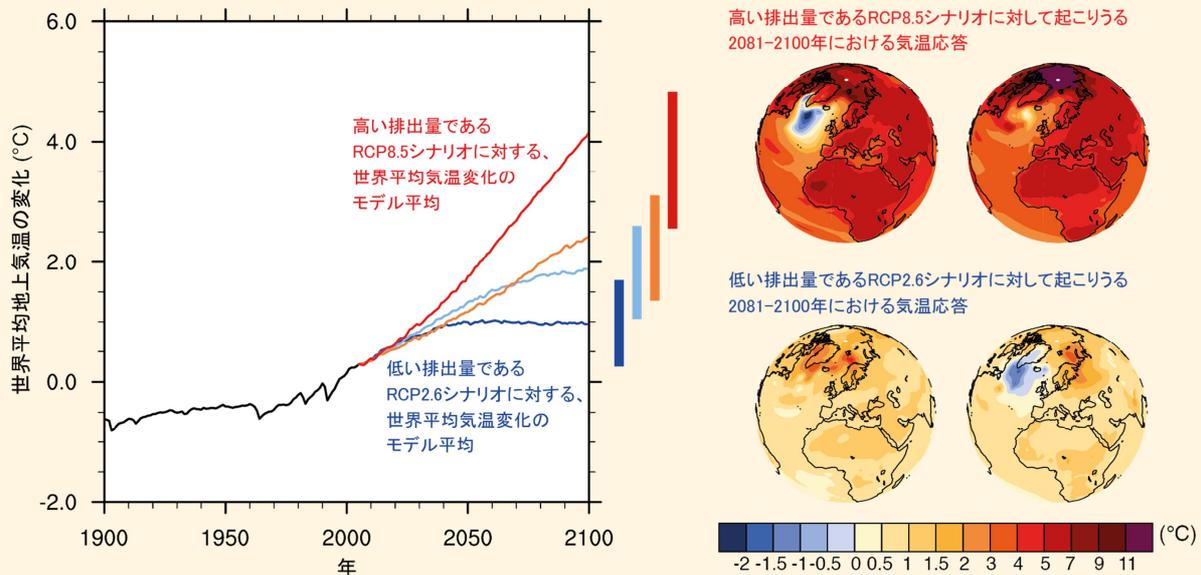
FAQ 12.1 (続き)

予測対象の問題が異なれば、普通用いられるモデルの複雑さも様々に異なる。数世紀に及ぶ長期のシミュレーションが求められる場合や、複数の再現化が必要な場合は、低解像度でより速く実行できるモデルや、一部の気候過程について簡素化したモデルを利用してもよいかもしれない。簡素化モデルは、世界平均気温などの大規模な平均量を適切に表現することができるが、地域的降水量のように細かい事柄は、複雑なモデルでしか再現できない。

モデル実験と、結合モデル相互比較計画(CMIP)、世界気候研究計画及びその気候モデルに関する作業部会などのグループによる作業成果を調整することで、科学界はモデルの過去及び現在の気候再現能力を評価し、将来の気候の変動予測を比較するための取り組みを強化した。この「マルチモデル」のアプローチは、今や気候科学界が特定の気候変数の予測を評価するために用いる標準的な手法になっている。

FAQ 12.1 図1の右図は、2個の例示的モデルと排出量が最高及び最低のRCPシナリオについて、21世紀末までの気温応答を示している。モデルは地表面の大規模な温暖化パターンに関して、例えば陸域が海洋よりも温暖化が速く進み、北極域は熱帯域よりも速く温暖化することで一致している。しかし、同一シナリオに対する地球規模の応答の大きさ、及び小さな規模では、応答の地域的側面について、両モデルはいずれも異なっている。例えば、北極域での増幅の大きさは異なるモデル間でばらつきがあり、一部のモデルは、深層水形成の減少と海流の移動の結果として、北大西洋における弱めの温暖化又はわずかな寒冷化を示している。

将来の外部強制力と、それに対する気候システムの応答においては、避けられない不確実性があり、それが内部で生じる変動によってさらに複雑化している。複数のシナリオとモデルの利用は、不確実性を評価して特徴付けるための標準的な選択肢となっており、これによって将来地球の気候に生じ得る幅広い変化を説明することが可能になる。



FAQ 12.1 図1 | 代表的濃度経路(RCP)シナリオについて第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)の全モデルで平均した世界平均地上気温の変化(1986~2005年との比較)。RCP2.6(濃い青)、RCP4.5(薄い青)、RCP6.0(オレンジ)、RCP8.5(赤)の4シナリオに対しそれぞれ32、42、25、39個のモデルを使用。21世紀末までの世界平均地上気温の変化の**可能性の高い**範囲は縦のバーで表示している。これらの範囲は二つの20年平均値の差(1986~2005年に対する2081~2100年)に適用されることに注意。バーの中心が年変化の線の終点より小さい値になっているのはこのためである。例示図では、排出量が最も高い(RCP8.5)シナリオと最も低い(RCP2.6)シナリオについて、2個のCMIP5モデルに対する21世紀末の地上気温変化(1986~2005年と比較した2081~2100年)を表している。これらのモデルはかなり広い範囲の応答を示すために選んでいるが、このセットがモデル応答の不確実性の尺度を代表するものではない。