

よくある質問と回答

**FAQ 1.1 | 気候システムに関する理解が進んでいるのなら、なぜ気温予測の幅が小さくならないのであろうか？**

IPCC の気温予測の計算に用いられたモデルは、将来起こり得る世界全体の変化の方向性については一致しているが、そうした変化の大きさについては正確に予測することはできない。将来の温室効果ガス (GHG) の排出率は、可能性のある多くの軌跡のどれを辿ってもおかしくないうえ、基礎となるいくつかの物理過程はまだ完全には理解されていないことから、それらをモデル化するのを困難としている。こうした不確実性は、自然起源の年々の気候の変動性と相まって、気温予測に「不確実性の幅」をもたらしている。

予測された温室効果ガス及びエアロゾル前駆物質の排出量 (これらは将来の社会・経済状況の予測に依存する) の不確実性の幅は、実質的に削減することはできない。とはいえ、理解や気候モデルの改善は、観測に基づく制約とともに、それらの排出量の変化に対する気候の応答に影響を及ぼすいくつかの要素にかかわる不確実性の幅を減少できる可能性がある。しかしながら、気候システムの複雑さのせいで、この歩みはゆっくりしたものになる。(FAQ 1.1 図 1)

雪氷圏、大気、陸域、生物圏及び海洋の各システムにおける測定やデータ解析の改善により、気候科学は前回の IPCC 評価報告書以来多くの重要な進展を遂げている。科学者も、雲、海氷、エアロゾル、小規模の海洋混合、炭素循環や、その他の過程の役割をモデル化するうえで、よりすぐれた理解とツールを手に入れている。観測数が増えたということは、いまやモデルをより徹底して評価することを可能にし、予測をよりうまく制約できるようになった、ということの意味している。例えば、モデルや観測解析が改善するのに伴って、海面水位上昇の予測はより正確となり、現在の海面水位上昇の要因内訳と均衡するようになってきた。

こうした進展にもかかわらず、世界及び地域の気候の将来予測には、いまだにもっともらしさの幅があり、科学者はこれを「不確実性の幅」と呼んでいる。この不確実性の幅は、検討している変数 (例えば、降水量か、気温か) や、空間的・時間的広がり (地域平均か、世界平均かなど) によって異なる。気候予測における不確実性は、自然の変動性、及び将来の排出率やそれに対する気候の応答に関わる不確実性から生じる。また、ある既知の過程の表現がまだ精緻化されていないことや、ある過程がモデルに含まれていないことによっても、不確実性が生じ得る。

気候システムのカオス的性質のため、年ごとの気温をどれだけ正確に予測できるかについては根本的な限界がある。さらに、十年規模の予測は、支配的な条件 (深海の水温など) に敏感であり、それらはあまりよくわかっていない。数十年にわたる自然変動には、海洋、大気、陸域、生物圏及び雪氷圏の相互作用から生じるものもあり、エルニーニョ・南方振動 (ENSO) や北大西洋振動などの現象とも結びついている (気候変動のパターンと指標の詳細については、Box 2.5 を参照)。

火山の噴火や太陽からの放出の変動は、外部からの強制力であって説明可能ではあるが、やはり自然の変動性に寄与している。この自然の変動性は、気候の記録における「ノイズ」の一部として見なすことができ、検出される人為起源の気候変動の「シグナル」に対する背景をもたらしている。

自然の変動性は、大陸や地球規模よりも、地域や局地規模での不確実性に、より大きな影響を与える。これは地球システムに内在するものであり、知識が増えても、これがもたらす不確実性が削減されることはない。とはいえ、例えば、雪氷圏あるいは海洋の状態及び諸過程のような知識の向上を活用することで、特に数年後までの予測については、ある程度の進歩は可能であろう。これは活発な研究の対象となっている分野である。気候変数を十年あるいはさらに長い期間で平均すれば、内部の変動性の相対的重要性が減少し、長期間のシグナルがより明確になる (FAQ 1.1 図 1)。この長期的な観点は、気候の一般的な定義が 30 年平均であることと整合している。

不確実性の第二の要因は、温室効果ガス及びエアロゾル前駆物質の将来の排出率がとり得る様々な軌跡と、土地利用に関する将来の動向から生じている。とはいえ、気候予測はこれらの変数からの入力データに依存する。そこで、これらの推定値を得るために、科学者は将来の人間社会について人口、経済、技術の変化及び政治的選択肢に関する、たくさんの取り得べきシナリオを検討する。そして、各シナリオにおいて可能性が高い排出量を推定する。IPCC は政策立案のための情報を提供するものであり、異なった排出シナリオによる気候予測は有用である。というのは、政策の選択によって気候にどのような結果をもたらされるかを示すことができるためである。これらのシナリオは、気候政策の有無を問わず、現在の科学文献に記載されている排出シナリオの全範囲と整合するよう意図されている。そのようなものとして、将来シナリオの不確実性を抽出するように設計されている。(次ページに続く)

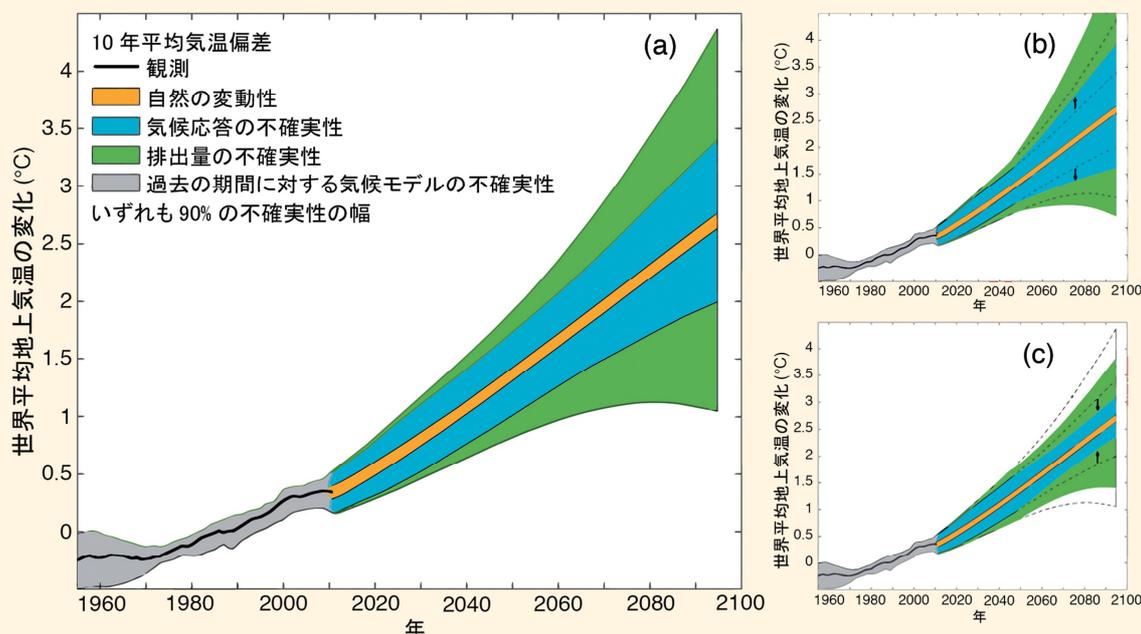
## FAQ 1.1 (続き)

今後数年から数十年についての予測は、エアロゾルやメタンなどの短寿命物質の排出量に敏感である。しかしながら、より遠い将来の予測ほど、長寿命温室効果ガスの排出に関して取り得べきシナリオに敏感になる。このようなシナリオに依存した不確実性は、気候科学の進歩によって減少することはなく、より長期の時間スケール(例えば 2100 年)に対する予測においては支配的な不確実性となるだろう(FAQ 1.1 図 1)。

不確実性の幅についての最後の要因は、将来の人為起源の排出や土地利用の変化に気候がどう応答するのかに関する我々の知識が不完全なことから生じる。科学者は、主としてコンピューターを利用した全球気候モデルを用いてこの応答を推定する。世界中の様々な科学者のグループによって、数十の全球気候モデルが開発されてきた。全てのモデルは同じ物理的原理に基づいて構築されているが、気候システムは非常に複雑なため、いくつかの近似が必要になる。グループによって、大気中の特定の過程、例えば雲などを表現するための近似法について、少しずつ異なったものを選択している。こうした選択が、異なるモデルによる気候予測に差をもたらすことになる。不確実性の幅に対するこのような寄与は、「応答の不確実性」あるいは「モデルの不確実性」と言われている。

地球システムの複雑さは、将来の気候が多様なシナリオをたどる可能性があることを意味するが、それでもなお現在の理解やモデル結果と整合したものであるだろう。観測記録がより長くなり、またモデルが改善されるにつれて、研究者は、自然の変動性の幅の制約の中で、今後数十年間に起こり得る気温の予測幅を狭めることができるはずである(FAQ 1.1 図 1)。また、数年先までについてより良い予測を提示するために、海洋と雪氷圏の現在の状況に関する情報を用いることも可能であろう。

科学の進歩にとまらぬ、新しい地球物理学的過程を気候モデルに加えたり、既に含まれている過程の表現方法を向上させることができる。こうした進展は、気候応答の不確実性についてモデルに由来する見積もりを増加させるように思われるが、そうした増加は、単に、以前には測定されていなかった不確実性の因子が定量化されたことを反映しているにすぎない(FAQ 1.1 図 1)。重要な過程がどんどん追加されるにつれて、定量化されていなかった過程の影響が減少し、予測がより確かなものになると考えられる。



**FAQ 1.1 図 1** | 様々な不確実性の相対的重要性と、その時間的发展を示した模式図。(a) 過去の記録による 10 年平均の地上気温の変化(°C) (黒線)と、過去の期間に対する不確実性の気候モデルによる推定(灰色)、及び将来の気候の予測と不確実性。値は 1961 年から 1980 年までの平均によって正規化されている。自然の変動性(オレンジ)はモデルの年々変動に基づいており、時間によらず一定であると仮定している。排出量の不確実性(緑)は、異なるシナリオによる予測値の差のモデル平均として推定している。気候応答の不確実性(青のべた塗り)は気候モデルの違いによる広がりをもとに、十分にはモデル化されていない過程による付加的不確実性の概算と、炭素循環による不確実性を加えたものに基づく。Hawkins and Sutton (2011) 及び Huntingford et al. (2009) に基づく。(b) 気候応答の不確実性は、新たな過程が関連性があると判明するのに伴って増加するように見えるが、こうした増加は以前には測定されていなかった不確実性が定量化されたことを反映している。あるいは(c) 気候応答の不確実性は、モデルの改良や観測による制約が加わることで減少することもあり得る。90%の不確実性の幅とは、90%の確率で気温がその範囲内に収まると推定されていることを意味する。