

## 第 11 章 地域的な気候の予測

### 概要

信頼性の増した地域気候変化予測が、今や世界の多くの地域について得られるようになった。これはモデリングの進歩と、気候システムの物理過程に対する我々の理解の進歩によるものである。その結果、幾つかの重要な論点が現れてきた。

- 陸上の多くの地域で、温暖化は世界平均よりも大きい。これは陸上が海上に比べ、蒸発により冷却に使える水が少ないこと、また熱容量が小さいことによる。
- 温暖化によって、降水量分布の空間的非一様性が全般に増す。これにより、亜熱帯域の降雨量は減り、高緯度域と熱帯域の一部では降雨量は増加する。明瞭に増加する地域と減少する地域との境界は依然として不確実であり、全球大気海洋結合モデル (AOGCM) の予測も一致しない。
- 亜熱帯高気圧の極方向への張り出しと、亜熱帯域の降水量の減少が相まって、亜熱帯高気圧の極側の縁辺部での降水量が減少すると、特にはっきりと予測されている。21 世紀に降水量が減少すると予測されている地域のほとんどは、これら亜熱帯高気圧の周辺に分布している。
- モンスーン循環そのものは弱まる傾向にあるにもかかわらず、水蒸気収束が強化されるために、モンスーン循環域の降水量は増加する傾向にある。しかしながら、温暖化に対する熱帯の気候の応答の様子は多くの場合不確実である。

AOGCM はなお、将来起こり得る気候の幅についての地域的な情報の主要な源である。モデルの解像度が上がり、また気候変化にとって重要なさまざまな過程についてのシミュレーションが進み、また、シミュレーション数が増加するにつれ、地域気候変化の特徴を明確に描写することが可能となってきた。AOGCM のシミュレーションの結果から、地域規模の確率的な情報を引き出す技術に進歩がみられたが、これらの手法はまだ研究段階にとどまっている。この情報を地域の情報にダウンスケーリングする技術はまだあまり進んでいない。しかし、ダウンスケーリングの技術は第 3 次評価報告書 (IPCC, 2001) で降参達し、その結果一部の地域には限られるが、ダウンスケーリング手法は広く適用されるようになってきた。

ここで提供された地域気候変化予測は、以下の四つの情報源候補から評価される：AOGCM シミュレーション；AOGCM で再現されたデータから、地域的に詳細な情報を引き出す技術を用いてダウンスケールした情報；地域的な応答を支配している過程

についての物理的理解；近年の歴史的気候変化についての情報である。

ここまでの章では、第 3 章で、過去から現在にかけての地域規模の気候変化に関する観測結果が、また、第 9 章で、これらの変化と全球モデルシミュレーション結果の比較が述べられてきた。気温の変化に関するモデルシミュレーション結果を観測と比べることにより、将来の地域的な気温予測の幅を絞り込むことに役立てることができる。降水量変化の地域的な評価は、主に、物理的洞察に沿って、全球モデルとダウンスケーリングモデルから同じ結果が得られることを根拠としている。複数のモデル間で一致した結果が得られ、その結果が物理的な議論によって支持されるならば、—これは中・高緯度で典型的なのだが—そういった要素は、地域的な気候変化の見通しについて明確な見解を示す上での後押しとなる。またある場合には、物理的洞察のみで将来の気候変化の方向を明確に示すこともできる。

可能性の高い地域的気候予測は以下のように要約される。

- 気温予測：予測の規模は第 3 次評価報告書と同程度である。シミュレーションの数と種類の増加、モデルの改良、モデルの欠点をもたらす効果に関するより深い理解、結果のより詳細な解析が進んだことにより、地域的な予測の信頼性が増している。気温上昇（しばしば地球全体の平均より大きい）の可能性は、陸域では非常に高い。
- 降水量予測：変化の全般的なパターンは第 3 次評価報告書と同程度であり、一部地域で予測信頼性は高まっている。より多くの、かつ広い地域で、モデル間の結果が一致してきている。一部の地域では、降水量が変化する可能性が高い、あるいは非常に高いとの予測への根拠が得られている。その他の地域では、変化予測の信頼性は依然として低い。
- 極端現象：極端現象の変化に関する解析結果は大幅に増加した。その結果、ほとんどの地域でより総合的な評価が可能になった。判明したことのあらまは第 3 次評価報告書の評価と同様であり、情報源が増えたことでその信頼性は上がっている。地域的な見解で最も顕著に信頼性が上がったのは、熱波・大雨・干ばつに関するものである。これらの進歩にもかかわらず、一部の地域では、極端現象に関する明確な見解に繋がるような、モデルの個別の解析は依然として得られていない。特に、熱帯の極端現象に関する予測には不確実性が残る。熱帯低気圧の分布の予測の難しさが、この不確実性に輪をかけている。温帯低気圧の変化は、大気循環の地域的な細かな応答に依存しているが、このような応答にも一部依然として不確実な部分がある。

ー21世紀の地域的气候変化の将来予測について明確に予想されることを以下に要約する。11.2～11.9節に根拠が記述されている。これらの気候変化は、モデルの気候感度あるいは温室効果ガス排出シナリオ（SRES B1/A1B/B2間での）の不確実性を考慮に入れた上で、なおかつ、可能性が高い、ないしは可能性が非常に高いと評価されたものである。

ー全陸域：すべての陸上の地域は21世紀に昇温する可能性が非常に高い。

ーアフリカ：アフリカ大陸全土ですべての季節にわたって、昇温は地球全体の平均と比べて大きくなり、乾燥した亜熱帯域での昇温は湿度の高い熱帯域に比べて大きくなる可能性が非常に高い。年降雨量は、アフリカの地中海沿岸地方の大部分と、北部サハラ地域で減少する可能性が大きく、その可能性は、地中海沿岸域に近づくにつれて大きくなる。南アフリカの降雨量は、冬季降雨域と西縁域で減少する可能性が高い。アフリカの東部では、年平均降雨量は増加する可能性が高い。これに対して、サヘル（【訳注】：サハラ砂漠の南縁に位置する草原域）、ギニア海岸、南部サハラの降雨量がどう変わってゆくのかは不明である。

ー地中海地域とヨーロッパ：ヨーロッパの年平均気温の上昇量は地球全体の平均に比べ大きくなる可能性が高い。季節的にみると、一番昇温が進むのは、冬季のヨーロッパ北部と夏季の地中海地域である可能性が高い。ヨーロッパ北部では、冬季の最低気温の上昇量は年平均と比べて大きい可能性が高い。ヨーロッパ南部及び中部では、夏季の最高気温の上昇量は年平均と比べて大きい可能性が高い。年降水量は、ヨーロッパ北部のほとんどの地域で増加、地中海地方のほとんどの地域で減少する可能性が非常に高い。ヨーロッパ中部では、降水量は冬季には増加するが、夏季には減少する可能性が高い。ヨーロッパ北部では、日降水量でみた極端現象が増加する可能性が非常に高い。地中海地方では、年降水日数の減少する可能性が非常に高い。ヨーロッパ中部と地中海地方では、夏季に干ばつが生じる危険性が增大する可能性が高い。ヨーロッパのほとんどの地域で、積雪期間は短くなり、積雪深も減少する可能性が非常に高い。

ーアジア：気温上昇は、中央アジア、チベット高原、アジア北部では世界平均よりもかなり大きく、東アジアと南アジアでは地球全体の平均より大きく、東南アジアでは世界平均並である可能性が高い。冬季の降水量は、アジア北部とチベット高原では増加する可能性が非常に高く、東アジアと東南アジアの南部では増加する可能性が高い。夏季の降水量は、アジア北部、東アジア、南アジア及び大部分の東南アジアでは増加する可能性が高いが、中央アジアでは減少する可能性が高

い。東アジアでは、夏季の熱波／継続的な高温が長引くとともに強さ及び頻度が高まる *可能性が非常に高い*。東アジアと南アジアでは非常に寒い日は減少する *可能性が非常に高い*。南アジアの一部と東アジア域では強い降水が増加する *可能性が非常に高い*。東アジア、東南アジア及び南アジアでは熱帯低気圧に伴う極端な降雨と強風が増大する *可能性が高い*。

ー北アメリカ：ほとんどの地域で、年平均気温の上昇量は、地球全体の平均を上回る。季節的にみると、北部では冬季、南西部では夏季に最も大きく昇温する *可能性が高い*。北アメリカの北部では冬季の最低気温の上昇は平均よりも大きくなる *可能性が高い*。南西部では夏季の最高気温の上昇は、平均よりも大きくなる *可能性が高い*。年間降水量は、カナダと米国北東部で増加する *可能性が非常に高く*、南西部では減少する *可能性が高い*。カナダ南部では、冬季と春季の降水量は増加するが、夏季の降水量は減少する *可能性が高い*。北アメリカの大部分の地域では、積雪期間の長さも積雪深も減少する *可能性が非常に高い*。ただし、カナダの最北部だけは別で、ここでは最大積雪深は増加する *可能性が高い*。

ー中央アメリカ及び南アメリカ：南アメリカ南部での年平均気温の上昇は地球全体の平均と同程度である *可能性が高い*が、他の地域での昇温は地球全体の平均を上回る *可能性が高い*。中央アメリカとアンデス南部で、年降水量は減少する可能性が高いが、大気循環の変化により、山岳地域での降水の応答に大きな地域的な違いがもたらされる可能性がある。フェゴ島における冬季の降水量と、南アメリカの南東部での夏季の降水量は増加する *可能性が高い*。アマゾンの熱帯雨林を含む南アメリカ北部の年平均・季節平均降雨量がどのように変化するのは不確実である。しかしながら、エクアドル、北部ペルーでの降雨量の増加、大陸の北縁とブラジル北東部の南部での降水量の減少といった、一部の地域を対象にした複数のシミュレーションの結果は定性的に一致している。

ーオーストラリア・ニュージーランド：この地域の昇温は周辺の海洋よりも大きいですが、その値は地球全体の平均と同程度である *可能性が高い*。昇温は、この地域の南部で特に冬季に小さい。ニュージーランド南島の気温の上昇は地球全体の平均よりも小さい *可能性が高い*。オーストラリア南部での冬季と春季の降水量は減少する *可能性が高い*。オーストラリア南西部の冬の降水量は減少する *可能性が非常に高い*。ニュージーランド南島の西部では、降水量は増大する *可能性が高い*。オーストラリアの北部と中央部の降雨量の変化ははっきりしない。ニュージーランド南島の、特に冬季の平均風速は増加する *可能性が高い*。オーストラリア及びニュージーランドでの日平均気温が極端に高い日の頻度は増大し、極端な低温の

頻度が減少する *可能性が非常に高い*。平均降水量がかなり減少する地域（冬季と春季のオーストラリア南部）を除き、日降水量の極端現象は増加する *可能性が非常に高い*。オーストラリア南部では干ばつの危険が増大する *可能性が高い*。

—極域：今世紀の北極域の昇温は地球全体の平均よりも大きい *可能性が非常に高い*。昇温は冬季に最大で、夏季には最小と予測される。北極域の年降水量は増加する *可能性が非常に高い*。相対的な降水量の増加は、冬季に最大で夏季に最小である *可能性が非常に高い*。北極域の海氷は面積、厚さともに減少する *可能性が非常に高い*。北極海の循環がどのように変化するのかは不確実である。南極域では、大陸上で昇温するとともに降水量が増加する *可能性が高い*。極域における、気温・降水量の極端現象の起こる頻度変化についてはよく分かっていない。

—島嶼域：カリブ海、インド洋、南北太平洋の島嶼周辺では、今世紀、海面水位は平均として上昇する *可能性が高い*。海面水位の上昇は、地域的に一様とはならない *可能性が高い*が、モデルごとの結果の違いが大きいため、カリブ海、インド洋、太平洋における地域的な予測は不確実である。カリブ海、インド洋、南北太平洋の各地域の島嶼では、今世紀昇温が続く *可能性が非常に高い*。気温上昇量は世界年平均よりも小さい *可能性が高い*。カリブ海での夏季の降雨は、大アンチル諸島の周辺では減少する *可能性が高い*が、この地域の冬季、また、他の地域については不確実である。年間降雨量は、インド洋北部で増加する *可能性が高い*。セイシェル周辺では12月から2月にかけて、また、モルディブ周辺では6月から8月にかけて降水量は増加する *可能性が高く*、モーリシャス周辺では6月から8月にかけて減少する *可能性が高い*。太平洋赤道域では年降雨量が増加する *可能性が高い*が、ほとんどのモデルで、12月から2月にかけて、フランス領ポリネシアの東で減少することが予測されている。

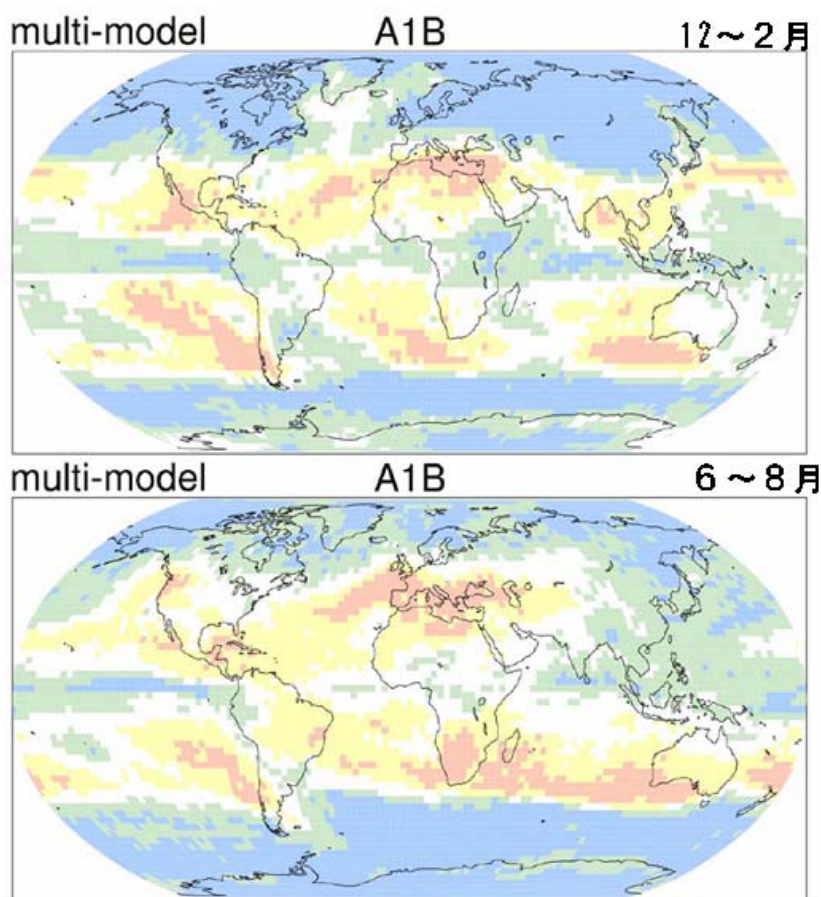
## よくある質問と回答

### FAQ11.1： 予測される気候変化は地域ごとに異なるのか？

気候は地域ごとに異なる。その違いは、場所による太陽加熱の違い、大気・海洋・陸面それぞれの応答、それらの相互作用、また、地域ごとの物理的な特性の違いによって生じている。世界的な気候変化を引き起こす大気組成の変動は、このような複雑な相互作用のある側面に影響を及ぼす。気候に影響を及ぼす人為起源の要素（強制力）には、全地球的なものも、地域ごとに分布が異なるものもある。例えば、温暖化を引き起こす二酸化炭素は、どこに排出源があろうとも地球全体に一様に分布するが、温暖化を部分的に相殺する硫酸エアロゾル（微粒子）の分布には地域的な偏りがある。

さらに、これらの強制力に対する応答の一部は、その強制力が最も強い場所とは異なった地域で働くフィードバック過程に支配されている。従って、予測された気候変化も、地域によって異なっている。

気候変動が地域ごとに異なっていることを考えるのには、まず「緯度」から入るのが良かろう。例えば、温暖化は地球上すべての地域で予測されている一方、予測される昇温量は、北半球では一般に赤道から極に向かい増加する。降水量はもっと複雑であるが、やはりいくばくかは、緯度に従って変化している。極に近い緯度帯では降水量は増加する。一方、熱帯に近い多くの地域では降水量は減少すると予測されている（FAQ11.1 図1 参照のこと）。熱帯の降水量は、雨期（例えばモンスーン期）に増え、また、熱帯太平洋で特に増加すると予測されている。



FAQ11.1 図1 地図上の青と緑の領域は降水量が増加すると予測される地域で、黄色とピンクの領域は降水量が減少すると予測される地域

海洋や山脈の位置関係も重要な要素である。一般的に、大陸内部の昇温は海岸地域の昇温よりも大きいと予測されている。降水量の応答は、大陸規模の地形のみならず、近くの山脈の形と風向に敏感である。モンスーン、温帯低気圧、熱帯低気圧などはすべて、こういった地域ごとの特性にそれぞれ異なる形で影響を受けている。

地域的な気候変化を理解・予測する上で最も難しい点は、大気・海洋循環及びその変動の変化に関係したものである。定性的に同様の気候の地域を包括した一般的な見解を示すことが可能な場合もあるが、どの地域もそれぞれ何らかの独自性がある。特徴的な亜熱帯地中海をとりまく沿岸地域であろうと、メキシコ湾からの水蒸気輸送に依存する、北米内陸部の極端現象であろうと、サハラ砂漠の南端の位置を決める、植生分布・海水温・大気循環相互作用であろうと等しく正しい。

全地球的な要素と地域的な要素の正しいバランスについての知識を深めることは依然として難しいことだが、これらの要素についての理解は着実に進んでおり、地域的な予測の信頼性は高まりつつある。