

第 11 章 近未来の気候変動: 予測と予測可能性

概要

本章は、近未来(現在から今世紀半ばまで)の気候の見込みについて述べた科学文献を評価する。特に明記しない限り、本章にいう「近未来」の変化と予測される変化とは、1986~2005 年を基準期間とする 2016~2035 年の変化を指す。2100 年までの大気組成(二酸化炭素以外、第 12 章を参照)及び大気質予測も評価している。

十年予報^[脚注 1]

気候システムには非線形性とカオス性があるため、気候統計量を高精度で予報することには当然の限界がある。モデルに基づく「予測可能性」研究は、こうした限界に探りを入れ、対象とする気候変動の物理的機構を調査するものであるが、それらの研究では、1 年~10 年平均の気温の予報、及びややこれに比べて短期の降水量予報が高精度で実現できる可能性を裏付けている。

地球の中の広い領域及び全世界で平均した気温の予報は、観測に照らし合わせて検証したところ、10 年先まで可能性があることを示す(確信度が高い¹⁾)。いくつかの陸域での降水量についても予報の可能性が見い出される。十年予報は気候科学の新しい試みである。1 年~10 年平均した気候統計量についての予報の品質水準は、初期化された予報と初期化されていないシミュレーション^[脚注 2]の過去気候の再現性能から評価される。{11.2.3、図 11.3、図 11.4}

現在得られている結果では、年平均気温の数年先予報や、より長期的な世界平均地上気温及び北大西洋、南太平洋地域、熱帯インド洋における気温予報を改善するには、観測に基づく初期化を行うことが最も有効である(高い確信度)。予報開始から数年を超えると、年並びに複数年平均した気温と降水量の予測は、主に気候モデルに与えられた放射強制力によって決まる(確信度が高い)。{第 11.2.3 節、図 11.3~11.5}

気候の放射強制力の予測された変化^[脚注 3]

温室効果ガス(GHG)の強制力に関して、新しい代表的濃度経路(RCP)シナリオは、近未来においてはその大きさと範囲について第 4 次評価報告書の「排出シナリオに関する特別報告書」(SRES)シナリオとあまり変わりはないが、エアロゾルとオゾン前駆物質の排出に関しては SRES シナリオより 1.2~3 倍少なくなっている。2030

年までのこれらの排出量に関する RCP シナリオ間のばらつきは、現行法令と技術的に実現可能な最大限の排出削減を考慮したシナリオ間のものよりはるかに(2 倍)狭くなっている。近未来では、SRES シナリオを用いている第 3 期結合モデル相互比較計画(CMIP3)の結果(大気汚染に関する現行法令は考慮されていない)は、RCP シナリオを用いている第 5 期結合モデル相互比較計画(CMIP5)の結果よりも最大で 3 倍多い人為起源エアロゾルを含んでおり(確信度が高い)、したがって CMIP5 の世界平均気温は、SRES のエアロゾル・シナリオの強制力による場合よりも最大 0.2°C 高くなるだろう(確信度が中程度)。{10.3.1.1.3、図 10.4、11.3.1.1、11.3.5.1、11.3.6.1、図 11.25、表 AII.2.16~AII.2.22、AII.6.8}

化学反応性温室効果ガスに対する不確実性を含めると、メタンの濃度は CMIP5 モデルで用いた RCP シナリオでの濃度のもよりも 30% 広くなる(可能性が高い²⁾)。農業・林業・土地利用による発生源からの排出、大気中における寿命、化学フィードバックの不確実性を考慮すると(ただし、自然排出量の不確実性は考慮していない)、2100 年までに、この幅は RCP8.5 シナリオより 520 ppb 上と、RCP2.6 シナリオより 230 ppb 下に広がる(可能性が高い)。{11.3.5}

局所的大気汚染の低減を目指した排出削減は、近未来の気候へ影響を与え得る(確信度が高い)。短寿命の大気汚染物質は、硫酸塩と硝酸塩の降温効果に対し、黒色炭素(BC)エアロゾル、一酸化炭素(CO)、メタン(CH₄)は昇温効果を持つように、真逆の効果を及ぼすものがある。2030 年までの人為起源メタンの段階的排出削減(25%)によって地上オゾンが減少し、2036~2045 年に温暖化が平均で約 0.2°C 抑制されることになるだろう(確信度が中程度)。メタン削減(24%)に加えてさらに黒色炭素及び同時に排出される種の複合的削減(78%)により温暖化はさらに抑制される(確信度が低い)が、不確実性は増す。{第 7.6 節、第 8 章、11.3.6.1、図 11.24a、8.7.2.2.2、表 AII.7.5a}

予測された近未来気候変動

近未来気候予測は地球規模で見ると複数の RCP シナリオ間の違いはあまり大きくはないが、エアロゾルは地球規模と地域規模のいずれについても重要な不確実性の要因となっている。{11.3.1、11.3.6.1}

¹ 本報告書では、利用できる証拠を記述するために、「限られた」、「中程度の」、「確実な」を、見解の一致度を記述するために、「低い」、「中程度の」、「高い」といった用語を用いる。確信度は、「非常に低い」、「低い」、「中程度の」、「高い」、「非常に高い」の 5 段階の表現を用い、「確信度が中程度」のように斜体字で記述する。ある一つの証拠と見解の一致度に対して、異なる確信度が割り当てられることがあるが、証拠と見解の一致度の増加は確信度の増加と相関している(詳細は 1.4 節及び Box TS.1 を参照)。

² 本報告書では、成果あるいは結果の可能性の評価を示すために、次の用語が用いられる。「ほぼ確実」: 発生確率が 99~100%、「可能性が非常に高い」: 発生確率が 90~100%、「可能性が高い」: 発生確率が 66~100%、「どちらも同程度」: 発生確率が 33~66%、「可能性が低い」: 発生確率が 0~33%、「可能性が非常に低い」: 発生確率が 0~10%、「ほぼあり得ない」: 発生確率が 0~1%。適切な場合には追加で以下の用語を用いることがある。「可能性が極めて高い」: 発生確率が 95~100%、「どちらかと言えば」: 発生確率が >50~100%、「可能性が極めて低い」: 発生確率が 0~5%。可能性の評価結果は、「可能性が非常に高い」のように斜体字で記述する(詳細は 1.4 節及び Box TS.1 を参照)。

予測された近未来気温変化

予測された世界平均地上気温の変化は、**0.3~0.7°C**の範囲に収まる**可能性が高い(確信度が中程度)**。この予測は 4 つの RCP シナリオを根拠とするものであり、2035 年以前に大規模な火山噴火や全太陽放射照度の長期的な変化が起きないことを想定している。1991 年のピナトゥボ火山噴火と同様の火山噴火が将来起きれば、噴火の後の年は世界平均地上気温は十分の数°C急降下し、その後数年間で回復するだろう。将来、太陽放射照度が変化し世界平均地上気温の上昇率に影響する可能性があるが、この影響は大気中の温室効果ガス濃度の増加の影響に比べれば小さい**(高い確信度)**。{11.3.6、図 11.25}

2016~2035 年の世界平均地上気温は、どちらかと言えば1850~1900年の平均より1°C以上高く、1850~1900年の平均より1.5°C以上高くなる可能性は非常に低い。(確信度が中程度)。{11.3.6.3}

近未来では、概して、単一の気候モデルで RCP シナリオを変えて予測したときの世界平均地上気温変化のばらつきは、RCP シナリオを変えずに複数の気候モデルで予測したときのばらつきより小さい。例えば、2030 年についての予測結果を見ると、CMIP5 アンサンブルの中央値は RCP シナリオ間で最大 0.2°Cの差となっているが、各 RCP シナリオに対するモデルのばらつき(17~83%の範囲)は約 0.4°Cになる。しかしながら、シナリオ間のばらつきは予測時間の経過とともに大きくなり、2050 年までには 0.8°Cとなる一方で、各シナリオのモデルの開きは 0.6°Cに留まる。地域的に見ると、RCP2.6 と RCP8.5 シナリオ間での地上気温の違いは、北極域で最も大きくなっている。{11.3.2.1.1、11.3.6.1、11.3.6.3、図 11.24a、b、表 AII.7.5}

第 4 次評価報告書の記述と変わらず、人為起源による地上気温の上昇は海洋より陸域のほうが急速に進み、北極域における冬季の人為起源による昇温は同期間の世界平均の昇温よりも大きくなる可能性は非常に高い。自然の内部変動との比で見た季節平均及び年平均気温の近未来の上昇量は、中緯度域よりも熱帯及び亜熱帯地域で大きくなると見込まれる**(確信度が高い)**。{11.3.2、図 11.10、図 11.11}

予測された水循環と大気循環の変化

帯状平均降水量は、**高緯度域と一部の中緯度域で増加する可能性が非常に高く、亜熱帯域ではどちらかと言えば減少する**。地域的な降水量の変化は、おそらく人為起源のエーロゾル排出の影響を受け、自然の内部変動性には大きく左右される。{11.3.2、図 11.12、図 11.13}

陸域の地表面付近の比湿は増加する**可能性が非常に高い**。多くの地域で陸域の蒸発量が増加する**可能性が高い**。予測された土壌水分と地表面流出の変化については、**確信度が低い**。{11.3.2、図 11.14}

ハドレー循環の下降流と南半球(SH)の中緯度偏西風が極方向に移動する**可能性が高い**。南半球の夏季には、予測されている成層圏オゾンの回復と温室効果ガス濃度の増加がハドレー循環の幅と南半球の低気圧経路の南北の位置に対してそれぞれ反対の影響を及ぼす**可能性が高い**。したがって、近未来には南半球夏季におけるハドレー循環の南側下降流と南半球の中緯度偏西風の極方向への移動は、最近数十年と比べればゆっくりとした速さとなる**可能性が高い**。{11.3.2}

北半球での低気圧経路と偏西風が北方向に移動するという近未来予測については、**確信度は低い**〔正誤表参照〕。{11.3.2}

予測された海洋と雪氷圏の変化

世界平均海面水温と鉛直平均水温は近未来に上昇する**可能性が非常に高い**。今後数十年にかけて塩分は熱帯及び(特に)大西洋亜熱帯域で増加し、熱帯太平洋西部では減少する**可能性が高い**。大西洋子午面循環は2050年までに弱まる**可能性が高い(確信度が中程度)**。もっとも、減退の速度と程度は非常に不確実であり、大きな内部変動性のために、数十年間規模で強まる時期もあるかもしれない。{11.3.3}

世界平均地上気温の上昇に伴い、**北極域の海水被覆域の縮小と海氷の厚みの減少がさらに進み、北半球高緯度域では春季の積雪面積と地表付近永久凍土(用語集を参照)の減少が生じる可能性は非常に高い**。RCP8.5 シナリオのように温室効果ガス排出量が多い場合、今世紀半ばまでには北極海は 9 月にほぼ氷がなくなる(海氷面積が少なくとも5年連続で $1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 未満)**可能性が高い(確信度が中程度)**。この評価には、北極域の海氷面積の気候学的平均状態と1979年から2012年にかけてのトレンドを最も現実近く再現したモデル群の予測結果に基づいている。予測された南極域の海氷面積と体積の近未来での減少については、**確信度が低い**。{11.3.4}

予測された極端現象の変化

陸域のほとんどの地域において、**暑い日と暑い夜の頻度は今後数十年間で増加する一方で、寒い日と寒い夜の頻度は減少する可能性が高い**。モデルは、近未来に熱波と継続的な高温の継続時間、強度、空間的広がりが増大することを予測している。これらの変化は、平均状態の温暖化とは異なる速さで進行するかもしれない。例えば複数の研究によれば、ヨーロッパの夏季気温は頻度分布で高いパーセンタイルに相当する気温の方が平均気温よりも早く昇温することが予測されている。{11.3.2.5.1、図 11.17、図 11.18}

陸域の大雨現象の頻度と強度は、近未来では平均的に増加する**可能性が高い**。もっともこの変化傾向は、自然変動に加えて人為起源エーロゾルの影響の可能性もあるため、全ての地域で明瞭に認められるものではない。{11.3.2.5.2、図 11.17、図 11.18}

21 世紀中頃までに、熱帯低気圧(TCs)の強度と頻度が増加するかどうか海域規模で行った予測は、全ての海域について**確信度が低い**。この**確信度の低さ**は、近未来の熱帯低気圧活動を調べた研究の数が少ないこと、熱帯低気圧活動について発表されている予測間に差があること、21 世紀中頃までの熱帯低気圧活動について自然変動と温室効果ガス以外の強制力の役割が大きいことを反映している。北大西洋における熱帯低気圧の強度が増加するという近未来予測については、北大西洋のエロゾル量について予測されている減少が一部寄与していることもあり、**確信度が低い**。{11.3.2.5.3}

予測された大気質の変化

大気質(地表付近の大気中のオゾンや $PM_{2.5}$)について予測された範囲は、物理的な気候の変化よりもむしろ排出量(メタンを含む)によって主に決まる(**確信度が中程度**)。気候に起因する変化への大気質の応答は、排出に起因する変化への応答より**不確実性が大きい(確信度が高い)**。温暖化により、自然界に遍在する(バックグラウンド)地上オゾンは地球規模で減少している(**確信度が高い**)。メタン濃度が高ければ(RCP8.5、SRES A2)この減少は相殺でき、メタンの変化が小さいシナリオ(RCP4.5、RCP6.0)と比較して、2100 年までにバックグラウンドの地上オゾンを平均で約 8 ppb(現在の濃度の 25%)増加させ得る(**確信度が高い**)。大陸規模では、SRES シナリオは大気質に関する法令は考慮されていなかったため、予測された大気汚染水準は、SRES シナリオよりも新しい RCP シナリオでは低くなる(**確信度が高い**)。{11.3.5、11.3.5.2; 図 11.22、図 11.23ab、AII.4.2、AII.7.1~AII.7.4}

観測とモデルが示すところでは、他の全てを同じとすると、汚染地域における局所的に高い地上気温は、オゾンと $PM_{2.5}$ の最大濃度を増加させるような地域規模の化学過程のフィードバックや局所的な排出を引き起こすであろう(**確信度が中程度**)。局所的排出量にバックグラウンドレベルが合わり、さらに汚染の発生と蓄積につながる気象条件と合わされば、局所規模及び地域規模で極端な汚染現象を生み出すことが知られている。こうした極端現象に関連した気象のブロッキングの変化の予測については**確信度が低い**。 $PM_{2.5}$ については、気候変動は、エロゾルの降水による除去過程の変化と同様に、エロゾルの自然発生源(野火、風塵、生物起源の前駆物質)を変化させるかもしれないが、 $PM_{2.5}$ 分布に及ぼす気候変動の全般的な影響に対してはいかなる**確信度**も与えられない。{11.3.5、11.3.5.2、Box 14.2}

【訳注 1】 天気予報のように初期値化した気候モデルによる予測である。従来の温暖化予測と区別するために、ここでは「予報」と訳している。

【訳注 2】 予報は、観測に基づく現実の大気状態による初期化を行うが、気候システムの応答を確認するようなシミュレーションでは必ずしも初期化しない。

【訳注 3】 予測と予報の違いは「よくある質問と回答」の FAQ 11.1 を参照。