

第 5 章 古気候の記録から得られる情報

概要

温室効果ガスの変動と過去の気候応答

現在(2011年)、温室効果ガス(GHGs)である二酸化炭素(CO₂)、メタン(CH₄)、一酸化二窒素(N₂O)の大気中濃度が、過去 80 万年間の氷床コアの記録による濃度の範囲を超えていることは事実である。温室効果ガスの大気中濃度の過去における変化は、極域氷床コアの記録から**非常に高い確信度**¹で決定される。こうした記録は、第 4 次評価報告書以降、65 万年前までから 80 万年前までに期間が拡大されている。{5.2.2}

二酸化炭素、メタン、一酸化二窒素の大気中濃度の現在の増加率と、それに関連する放射強制力の増加率は、解像度が最も高い最近 2 万 2 千年分の氷床コアの記録には前例が見られないことの**確信度は非常に高い**。観測された温室効果ガス増加の変化率は、解像度がより低い過去 80 万年間の記録と比較しても前例がないことの**確信度は中程度**である。{5.2.2}

大気中の二酸化炭素濃度の変化が氷期-間氷期サイクルにおいて重要な役割を果たしていることについては、**高い確信度がある**。氷期-間氷期サイクルの第一の駆動要因は、太陽を回る地球の軌道が変動することによって決定される入射太陽エネルギーの季節的・緯度的分布(「軌道強制力」)であるが、復元とシミュレーションを合わせて見ると、大気中二酸化炭素濃度とそれに関連する気候フィードバックによる変化を計算に入れなければ、氷期-間氷期における気温と氷の体積の変化の大きさの全てを説明できないことが示されている。前回の退氷期に、世界平均気温が 3°C~8°C 上昇した**可能性が非常に高い**²。世界平均昇温率は千年当たり 0.3°C~0.8°C であった**可能性が非常に高い**が、ある 2 つの期間においては平均よりも高い特徴的な昇温率(千年当たり 1°C から 1.5°C の間であった**可能性が高い**)が見られた。ただし、地域的及びより短期の時間スケールでは、より高い昇温率が現れているかもしれない。{5.3.2}

最終氷期最盛期(2 万 1 千年前から 1 万 9 千年前)の復元とシミュレーションに基づいた平衡気候感度の新たな推定によれば、大気中二酸化炭素濃度の倍増に対し、推定値が 1°C を下回ることと 6°C を超えることの**可能性は非常に低い**。一部のモデルでは、雲のフィードバックの表現が異なるために、温暖気候と寒冷気候とで気候感度が異なっている。{5.3.3}

中程度の確信度で、大気中二酸化炭素濃度が高いことで特徴づけられる過去のいくつかの期間において、世界平均地上気温は工業化以前の水準を大きく上回っていた。中期鮮新世(330 万年前から 300 万年前)には、大気中の二酸化炭素濃度は 350 ppm から 450 ppm の間(**中程度の確信度**)で、世界平均地上気温は工業化以前の気候よりも 1.9°C~3.6°C 高かった(**中程度の確信度**) {5.3.1}。始新世初期(5200 万年前から 4800 万年前)には、大気中の二酸化炭素濃度は約 1000 ppm を超えていて(**中程度の確信度**)、世界平均地上気温は工業化以前の状態より 9°C~14°C 高かった(**中程度の確信度**)。{5.3.1}

過去の気候に対する新しい気温復元とシミュレーションは、大気中の二酸化炭素濃度の変化に**高確信度**で示している。始新世初期(5200 万年前から 4800 万年前)や中期鮮新世(330 万年前から 300 万年前)のような高二酸化炭素濃度の気候と、最終氷期最盛期(2 万 1 千年前から 1 万 9 千年前)のような低二酸化炭素濃度の気候については、海面水温と地上気温の復元とシミュレーションの結果は、大気中の温室効果ガス濃度の変化に対する応答は高緯度のほうが世界平均よりも強くなっていることを示している。{Box 5.1、5.3.1、5.3.3}

過去の温暖期における世界の海面水位の変化

19 世紀末から 20 世紀初頭を始点とした、世界平均海面水位の現在の変化率は、最近 2 千年間における百年規模の変化率に照らして中程度の確信度で異常に高い。百年規模の世界平均海面水位の変動の大きさは、過去数千年間にわたって 25 cm を超えなかった(**中程度の確信度**)。{5.6.3}

最終間氷期(12 万 9 千年前から 11 万 6 千年前)の世界平均海面水位の最大値は、数千年にわたり現在よりも少なくとも 5 m 高かったことの**確信度は非常に高く、現在より 10 m 以上高くはなかったことの確信度は高い**。現在より 6 m 高いというのが最良の推定値である。新しいグリーンランド氷床コアから得た高度変化と整合する氷床モデルシミュレーションによると、グリーンランド氷床は海面水位換算で 1.4~4.3 m の間で寄与した**可能性が非常に高く、中程度の確信度**で最終間氷期の間に南極氷床から世界平均海面水位への寄与があったことを示唆している。{5.6.2}

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)。

中期鮮新世(330 万年前から 300 万年前)のいくつかの温暖期には世界平均海面水位が現在より高かったことについて**高い確信度**があり、極域の氷床量が減少していたことを示唆している。様々な手法から得た最良の推定値の示唆するところでは、グリーンランド氷床及び西南極氷床並びに東南極氷床の一部の退氷により、鮮新世の最も温暖な期間に海面水位は 20 m を超えなかったことの**確信度は高い**。{5.6.1}

間氷期の気候変動という観点での、観測されている最近の気候変動

最終間氷期(12 万 9 千年前から 11 万 6 千年前)で最も温暖な数千年間の気温についての新たな復元とシミュレーションによると、世界平均地上気温は工業化以前に比べて 2°C 以上上回ったことはなかったことが**中程度の確信度**により示されている。数千年の平均による高緯度域の地上気温は現在より少なくとも 2°C 高かった(**高い確信度**)。季節平均及び年平均で高緯度域の昇温がより大きいことは、季節的な軌道強制力に対する雪氷圏フィードバックの重要性を裏付けている。これらの期間においては、大気中温室効果ガス濃度は工業化以前の水準に近かった。{5.3.4, Box 5.1}

20 世紀以降の年平均地上気温の上昇は、北半球(NH)の中・高緯度における過去 5 千年間の長期的な寒冷化傾向(トレンド)から反転していることの**確信度は高い**。大陸規模及び半球規模の年平均地上気温の新たな復元により、過去 5 千年を通じた数千年にわたる寒冷化トレンドが明らかになっている。気候モデルのシミュレーションによると、中・高緯度寒冷化における直近の寒冷化傾向は 19 世紀まで持続しており、原因は軌道強制力にあり得ることの**確信度は高い**。{5.5.1}

復元によると、少なくとも最近 1450 年間に於いて、現在(1980~2012 年)の夏の海水後退は前例がないものについて、**中程度の確信度**がある。20 世紀末より小さい夏季の北極域の海水面積は、復元やシミュレーションにより、軌道強制力に対する応答として、8 千年前から 6500 年前にかけて見られる。{5.5.2}

8 千年前から 6 千年前までの期間における北半球温帯の氷河面積の極小値は、夏の日射量が大きかったこと(軌道強制力)が主な原因だったことの**確信度は高い**。現在の氷河後退は、北半球の氷河成長に有利な軌道強制力の中で起きている。氷河が現在の速度で減少し続けるなら、ほとんどの北半球温帯氷河は、8 千年前から 6 千年前までの間に存在した最小面積まで、今世紀中に縮小するだろう(**中程度の確信度**)。{5.5.3}

北半球の年平均地上気温に関しては、1983~2012 年の期間が最近 800 年間で最も温暖な 30 年間だった**可能性が非常に高く(高い確信度)**、最近 1400 年間で最も温暖な 30 年間であった**可能性が高い(中程度の確信度)**。このことは、測器による気温と、多様な代替データと統計手法から得た複数の復元を、比較した結果によ

て裏付けられており、第 4 次評価報告書と整合している。気候モデルでは、太陽、火山、人為起源の放射の変化にตอบสนองして、北半球における最近 1200 年にわたる数十年規模の気温変化を再現しており、こうした変化は大きさとタイミングにおいて、その不確実性の範囲内で復元とおおむね一致している。{5.3.5}

大陸規模の地上気温の復元によると、中世気候異常期(950~1250 年)の数十年間に、20 世紀中頃と同程度に温暖な地域や、20 世紀後半と同程度に温暖な地域があったことの**確信度は高い**。これらの地域的に温暖な期間は、20 世紀中頃以降の温暖化のようにいくつかの地域にわたって同時に生じたものではなかったことの**確信度は高い**。復元とシミュレーションの比較に基づくと、軌道、太陽、火山による外部強制力だけでなく、内部変動も、中世気候異常期と小氷期(1450~1850 年)の間の地上気温の変化の空間パターンとタイミングに大きく寄与したことの**確信度は高い**。{5.3.5.3, 5.5.1}

最近 1000 年間の干ばつは、多くの地域において 20 世紀初め以降観測されているものより、規模が大きく継続期間が長いことについて**高い確信度**がある。小氷期(1450~1850 年)は中世気候異常期(950~1250 年)に比べて、アジアのモンスーン域においてより大規模な干ばつが発生し、乾燥した中央アジアと南アメリカのモンスーン地域ではより湿潤な状態が卓越していたことの**確信度は中程度**である。{5.5.4, 5.5.5}

北・中央ヨーロッパ、西地中海地域、アジア東部において、過去 5 世紀の間には 1900 年以降記録されているものより大きな洪水が発生した**確信度は高い**。中近東、インド、北アメリカ中部における現代の大洪水が、大きさや頻度において過去の洪水と同程度又は上回ることに**中程度の確信度**がある。{5.5.5}

過去における気候モードの変化

高解像度のサンゴ記録から得た新しい結果によれば、エルニーニョ・南方振動(ENSO)システムが過去 7 千年間一貫して変動が大きかったことの**確信度は高く**、軌道強制力によって ENSO が変調しているという識別可能な証拠は示されていない。このことは、大多数の気候モデルによって再現された完新世中期における ENSO の振幅減少はわずかである(ほんの 10%)ことと整合するが、完新世の前半に ENSO の変化が減少したという第 4 次評価報告書で報告された復元結果とは相反している。{5.4.1}

20 世紀以降観測されている冬季の北大西洋振動(NAO)指数の十年及び数十年規模の変化は、過去 500 年間に例のないものではないことの**確信度は高い**。それぞれ 1960 年代又は 1990 年代から 2000 年代にかけて観測されたものと同様に、冬季の NAO 指数が負位相又は正位相で持続する期間の長さは、少なくとも過去 500 年の NAO 指数の復元に照らす限り異例なものではない。{5.4.2}

1950 年代以降観測されている夏季の南半球環状モードの強さの増加の度合いは、過去 400 年間に照らして異常であることの確信度は中程度である。ニュージーランド、タスマニア、南アメリカでの年輪指標からは、これと同様の空間的に一貫した数十年規模のトレンドは検出されていない。{5.4.2}

急激な気候変動と不可逆性

大西洋子午面循環(AMOC)の間氷期モードは、北大西洋亜寒帯域への短期的な淡水流入から回復できることの確信度は高い。約 8200 年前、北アメリカの氷床融解の最終段階で突然淡水の放出が起こった。古気候の観測とモデルの結果によると、そのような摂動があった後の約 200 年以内に、AMOC の強さに著しい弱化が起こりその後迅速に回復されたことの確信度は高い。{5.8.2}

北大西洋の気候の変化と低緯度域の降水分布との関連性における確信度は、第 4 次評価報告書以降高まっている。新しい古気候復元とモデリング研究によると、AMOC の減少と、それに関連した北大西洋での海面冷却が、大西洋熱帯収束帯の南方への移動を引き起こし、また、アメリカ(北と南)、アフリカ、アジアのモンスーンシステムにも影響を与えたことについて、非常に高い確信度がある。{5.7}

軌道強制力が今後 1 千年間に広範囲の氷期を引き起こすことはできないことはほぼ確実である。古気候記録によれば、軌道配置が現在に近いときには、大気中の二酸化炭素濃度が工業化以前の水準よりもかなり低い場合にのみ氷期が起こっていた。気候モデルの計算によれば、二酸化炭素濃度が 300 ppm を超えたまま持続される場合には、今後 5 万年間に氷期は生じない。{5.8.3、Box 6.2}

世界的に現在よりも温暖だった過去数百万年の期間中に、グリーンランドと西南極の氷床の量が減少したことの確信度は高い。氷床モデルのシミュレーションと地質データの示唆するところによると、西南極氷床は南大洋^{【訳注】}表層の温暖化に極めて敏感であり、中程度の確信度で、大気中の二酸化炭素濃度が数千年間にわたって 350 ppm から 450 ppm の範囲内又はそれ以上の濃度で留まる場合には、西南極氷床は後退する。{5.3.1、5.6.1、5.8.1}

【訳注】原文では“the Southern Ocean”。南極海(“the Antarctic Ocean”)とも呼ばれる。