

第 13 章 海面水位の変化

概要

本章は、世界平均海面水位、地域の海面水位、海面水位の極端現象、そして波浪の変化について考察する。世界平均海面水位の上昇予測についての確信度は、海面水位変化をもたらす個々の要素についての物理的理解の進展、諸過程に基づくモデルと観測の整合性の改善、氷床の力学的変化を考慮したことによって、第 4 次評価報告書 (AR4) 以降高まってきている。

過去の海面水位の変化

過去 300 万年間の温暖期における海面水位の古記録は、世界平均気温が工業化以前よりも最高で 2°C 高かった時代には (中程度の確信度)¹、世界平均海面水位が現在を 5 m 上回っていたことを示している (非常に高い確信度)。最終間氷期 (およそ 12 万 9 千年前～11 万 6 千年前) に数千年にわたって、世界平均海面水位の最大値が現在より少なくとも 5 m 高かったことの確信度は非常に高く、現在よりも 10 m 以上高くなかったことの確信度は高い。これは、グリーンランドと南極氷床がかなり寄与したことを示唆している。この海面水位の変化は地球の軌道要素が現在と異なることによる強制力のもとで起こり、高緯度域の地上気温は数千年にわたる平均で現在より少なくとも 2°C 高かった (高い確信度)。{5.3.4、5.6.1、5.6.2、13.2.1}

海面水位の代替データと測器によるデータは、19 世紀末から 20 世紀初頭にかけて、過去 2 千年間にわたる比較的小さな平均上昇率から、より高い上昇率に移行したことを示している (高い確信度)。世界平均海面水位の上昇率は 20 世紀初頭以降増加し続けている可能性が高く²、世界平均海面水位上昇の加速率の推定値は 0.000 [-0.002～0.002] mm/年² から 0.013 [0.007～0.019] mm/年² の範囲にわたっている。世界平均海面水位の平均上昇率は、1901 年から 2010 年の期間で 1 年当たり 1.7 [1.5～1.9] mm であり、総海面水位上昇量は 0.19 [0.17～0.21] m だった可能性が非常に高い。1993 年から 2010 年の期間で上昇率はさらに高くなり、1 年当たり 3.2 [2.8～3.6] mm であった可能性が非常に高い。1920 年から 1950 年の期間には、1993 年から 2010 年の期間と同程度の高い上昇率となっていた可能性が高い。{3.7.2、3.7.4、5.6.3、13.2.1、13.2.2、図 13.3}

海面水位の変化に関する理解

海洋の熱膨張と氷河の融解は、20 世紀の世界平均海面水位の上昇の主要な原因だった。1971 年以降の観測結果によると、観測された上昇の 75% は熱膨張と氷河 (氷床周辺の南極氷河を除く) によって説明される (高い確信度)。1990 年代初頭からグリーンランドと南極の氷床による寄与が増えているが、その一部は、直接隣接する海洋の温暖化に誘発されて流出が増えたことによる。自然及び人為起源の陸域の貯水量の変化による寄与は、ごくわずかである。地下水の減少率による寄与は増えており、現在では貯水池による貯水率による寄与を上回っている。海面水位変化の全ての原因の観測結果が利用可能になった 1993 年以降は、これらの寄与の合計と観測された世界平均海面水位上昇は不確実性の範囲内で等しい (高い確信度)。{第 3、4 章、13.3.6、図 13.4、表 13.1}

熱膨張とグリーンランドの表面質量収支についての予測には高い確信度があり、氷河の質量損失と南極の表面質量収支についての予測には中程度の確信度がある。氷床のモデリングについては、特にグリーンランド氷床をはじめとして大幅な進歩があった。海洋の熱膨張、氷河の質量損失、グリーンランド氷床の表面質量収支による過去の海面水位変化への寄与を諸過程に基づいてモデル計算した結果は、これらの寄与について利用可能な最近数十年間の観測による推定値と整合している。氷床の流線のモデリングにより、グリーンランド氷床において観測された主要な流出氷河の加速を再現できているので、21 世紀の力学的応答の推定値を得ることができ (中程度の確信度)。終端が海洋にある氷河と南極氷床の海洋を基部とする部分の力学的応答に対する諸過程に基づく予測には、かなりの課題が残っている。他の手段による南極氷床の寄与の予測 (統計的枠組み内での外挿及び十分な情報に基づいた判断) では、可能性の高い範囲において中程度の確信度がある。南極氷床の海洋を基部とする部分において大規模な接地線の不安定化がおこることの予測について、現在確信度は低い。{13.3.1～13.3.3、13.4.3、13.4.4}

第 5 期結合モデル相互比較計画 (CMIP5) の全球大気海洋結合モデル (AOGCMs) によって再現された熱膨張、CMIP5 の気候変動シミュレーション結果を用いた全球氷河モデルによって計算された氷河の質量損失、及び陸域の貯水量の推定値の合計は、観測された 1901～1990 年の世界平均海面水位の上昇の 65% と、1971

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)。

～2010年及び1993～2010年の上昇の90%を説明できる(高い確信度)。氷河モデルに観測された気候パラメータを使用すると、氷河モデルでは20世紀前半におけるグリーンランド周辺の氷河による寄与が(気候モデルによるパラメータを使った場合に比べて)更に大きくなり、その結果、熱膨張、氷河の質量損失、陸域の貯水量、及び小規模な継続的南極氷床の変化の寄与を合わせると、20世紀全体の観測結果の20%以内に収まる。モデルに基づく海洋熱膨張と氷河の寄与の推定値によると、1993年以降の世界平均海面水位の上昇率の高まりは放射強制力(人為起源と自然起源の両方)と氷床質量損失の増大への応答であり、自然の周期的変動の一部ではないことを示している(中程度の確信度)。(13.3.6、図13.4、図13.7、表13.1)

地球のエネルギー収支

気候システムの実効放射強制力、観測された蓄熱、及び地上気温の上昇の独立した推定を合わせると、地球のエネルギー収支は不確実性の範囲内で収支は合っており(高い確信度)、可能性の高い気候感度の範囲と整合している。最近数十年間に気候システムにおいて蓄熱量が最も増加したのは海洋においてであり、このことは気候変動の検出と原因特定のための非常に有力な観測結果となっている。(Box 3.1 及び 13.1)

世界平均海面水位上昇の予測

海洋の温暖化と氷河及び氷床の質量損失の増大により、全ての RCP シナリオについて、21世紀中の世界平均海面水位の上昇率は1971～2010年に観測された上昇率を上回る可能性が非常に高い。海面水位上昇の予測値は第4次評価報告書の予測値よりも大きい。これは主に、陸域の氷の寄与に関するモデリングの向上に起因する。1986～2005年を基準とした、2081～2100年の世界平均海面水位上昇は、諸過程に基づくモデルによる予測の5～95%の信頼幅で、RCP2.6シナリオで0.26～0.55 m、RCP4.5シナリオで0.32～0.63 m、RCP6.0シナリオで0.33～0.63 m、RCP8.5シナリオで0.45～0.82 mの範囲となる可能性が高い(中程度の確信度)。RCP8.5については、2100年までの上昇量は0.52～0.98 mで2081～2100年の上昇率は1年当たり8～16 mmとなっている。さらに水位が高くなる予測について証拠を検討したが、可能性が高いと評価された範囲を上回るような特定の水位になる可能性を評価するには、現在のところ証拠は不十分であるとの結論に至った。現在の理解に基づく、世界平均海面水位の上昇が21世紀において可能性の高い範囲を大幅に越えて引き起こされ得るのは、南極氷床の海洋を基部とする部分の崩壊が始まった場合のみである。この考え得る追加的寄与については正確に定量化できないが、中程度の確信度で、21世紀中の海面水位上昇は数十cmを超えないだろうと見込まれている。(13.5.1、表13.5、図13.10、図13.11)

半経験的モデルには、諸過程に基づいたモデルによる可能性の高い範囲と重なる範囲を予測しているものもあれば、諸過程に基づくモデルの約2倍の大きさの中央値と95パーセンタイルを予測するものもある。ほぼ全てのケースにおいて、半経験的モデルの95パーセンタイルは、諸過程に基づくモデルの可能性の高い範囲より高い。観測された20世紀の海面水位記録に対する半経験的モデルの較正と評価はうまく行われているにもかかわらず、その信頼性については科学界における合意が無く、故に半経験的モデルに基づく予測については確信度は低い。(13.5.2、13.5.3、図13.12)

熱膨張に起因する海面水位上昇が何世紀にもわたって継続するため、2100年以降も世界平均海面水位が上昇しつづけることはほぼ確実である。より長期的な海面水位の上昇幅は、将来の排出量に依存する。2100年以降の予測結果が利用できる少数の諸過程に基づくモデル予測によると、RCP2.6シナリオのように温室効果ガス濃度がピークに達した後減少し二酸化炭素換算で500 ppm未滿を維持するような場合には、工業化以前と比べた2300年までの世界平均海面水位の上昇は1 m未滿であることが示されている。RCP8.5シナリオのように2100年において^[正誤表参照]二酸化炭素換算濃度が700 ppmを超えるが1500 ppmには達しない場合に相当する放射強制力の下では、予測された水位上昇は1 mから3 m以上である(中程度の確信度)。この評価は、中程度の確信度のモデル化した熱膨張からの寄与と、低い確信度のモデル化した氷床からの寄与に基づいている。海洋の熱膨張の量は地球温暖化とともに増加する(1℃当たり0.2～0.6 m)が、氷河の寄与率は時間の経過とともに氷河自体の体積(現在は海面水位換算で0.41 m)が減少するので、減少する。長期的な氷床の質量損失により数メートルの海面水位上昇が生じ得る(より高温の期間には海面水位がより高いとの古気候データの観測結果と整合)が、このような予測の確信度は低い。温暖化が数千年間続く場合、1℃昇温するごとに1～3 mの海面水位上昇が予測されている(低い確信度)。(13.5.4、図13.4.3、図13.4.4)

利用できる証拠は、工業化以前に比べて世界平均気温の上昇が特定のしきい値を超えて持続した場合、千年あるいはさらに長期間をかけたグリーンランド氷床のほぼ完全な損失を招いて、約7 mに達する世界平均海面水位の上昇をもたらすだろうということを示している。氷床の地形を固定させた研究では、そのようなしきい値は、工業化以前に比べて世界平均地上気温の上昇として、2℃を超えるが4℃より低いとされている(中程度の確信度)。力学的な氷床モデルを含めた一つの研究では、そのしきい値は、工業化以前に対する世界平均気温の上昇として約1℃より大きい(低い確信度)とされている。可能性の高い範囲を定量化することはできない。グリーンランド氷床の質量損失による減少が不可逆的か否かは、しきい値を超える期間の長さや程度による。南極氷床の海洋を基部とする部分の気候強制力に対する潜在的な不安定性により、急激かつ不可逆的な氷の損失が生じ

る可能性はあるが、現在の証拠と理解は、定量的な評価を行うには不十分である。{5.8、13.3、13.4}

地域的な海面水位変化の予測

21 世紀及びそれ以降において、海面水位変化は強い地域パターンを示す可能性が非常に高く、場所によっては、局所的・地域的な海面水位変化が世界平均の変化からかなり大きな偏差となる。十年規模の期間にわたり、気候の変動の結果生じる地域的な海面水位変化率が、世界平均変化率からその 100%以上異なることもあり得る。21 世紀末までに、世界の海洋の約 95%において、地域的な海面水位上昇は正となる可能性が非常に高く、海面水位が低下するであろう地域のほとんどは現在及びかつての氷河と氷床の近くに位置している。世界の海岸線の約 70%で、世界平均の海面水位変化の±20%以内の大きさの海面水位変化が起こると予測されている。{13.6.5、図 13.18~13.22}

21 世紀の海面水位の極端現象と波浪の予測

一部の地域では、**2100 年までに、海面水位の極端現象の発生が有意に増加する可能性が非常に高く、21 世紀初頭に増加する可能性が高い。**この増加は、主に平均海面水位の上昇の結果であり(高い確信度)、一部の地域では 21 世紀末までに著しい海面水位の極端現象が起きる頻度が 1 桁あるいはそれ以上増加する。荒天やそれに伴う高潮について地域を特定した予測の確信度は低い。{13.7.2、図 13.25}

風速が速くなる結果、南大洋^{【訳注】}で有義波高の年平均値が上昇する可能性が高い(中程度の確信度)。南大洋で発生したうねりは、隣接する海域における波の高さ、周期、向きに影響する可能性が高い。北極海では、海水域が縮小する結果、波高と波の高い期間の長さが増加する可能性が非常に高い。熱帯及び温帯低気圧に関する予測の確信度が低いこと、並びに粗い解像度の気候モデルから将来の風の分布をダウンスケーリングすることが難しいため、一般に地域を特定した予測の信頼度は低い。{13.7.3; 図 13.26}

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