

第5章 観測結果：海洋の気候変化と海面水位

概要

- ・ 海洋は温暖化している。海面から700m深までの世界の海水温は、1961～2003年にかけて0.10℃上昇した。同じ期間に、海面から3000m深までの世界の海洋貯熱量も増加しており、これは世界の全地表面で平均して $0.21\pm 0.04 \text{ W/m}^2$ の割合でエネルギーを吸収したことに相当する。このことは第3次評価報告書の記述と整合している。このエネルギーの3分の2は海面から700m深までの層で吸収されている。観測結果によれば、世界全体の海洋貯熱量には、より長期の変化傾向に重なって、数年及び数十年規模のかなり大きな変動がみられる。1961～2003年の期間に比べて1993～2003年の期間の方が昇温の割合が高いが、2003年以降はいくらか降温した。
- ・ 亜寒帯緯度帯での低塩分化和熱帯・亜熱帯域表層の高塩分化を特徴とする、大規模で一貫した塩分の長期変化が1955～1998年にかけて観測されている。太平洋で低塩分化がみられる一方、大西洋やインド洋ではほぼ全域にわたって塩分が増加している。これらの長期変化傾向は、降水量の変化と整合しており、低緯度から高緯度への、また、大西洋から太平洋への大気水輸送量の増大が推定される。全世界で平均した海洋塩分の変化については、観測結果からはまだ信頼できる推定ができていない。
- ・ 海洋の主要な水塊に変化が起こっているものの、海洋循環が変化しているという明白な証拠はない。南大洋モード水や上部南極周極流深層水は1960年代から2000年頃にかけて昇温した。北大西洋の湾流及び北太平洋の黒潮のモード水にも、程度は小さいながら同程度の昇温パターンが観測されてきた。北大西洋亜寒帯循環と中央北太平洋では長期にわたる低温化が観測されている。1995年以来、北大西洋亜寒帯循環上部は高温・高塩分化している。大西洋子午面循環が、年々から十年規模で、20世紀の終わりまで有意な変化をしてきた可能性は非常に高い。過去50年にわたって、大西洋子午面循環の強さに長期傾向があるかどうかについて一貫した証拠は得られていない。
- ・ 海洋の生物地球化学過程が変化している。海洋の全無機態炭素含有量は産業革命直前(1750年頃)から1994年までの間に $118\pm 19\text{GtC}$ 増加しており、さらに増加し続けている。二酸化炭素排出のうち海洋が吸収した割合は1750～1994年の $42\pm 7\%$ から、1980～2005年の $37\pm 7\%$ にどちらかといえば減少した。このことは、海洋の炭素吸収速度として推定される値と整合しているが、この推定には不確実性があるため、確実には結論付けられない。海水中の全無機態炭素の増加により、炭酸カル

シウムが溶解する深さが浅くなったとともに、海洋の表面水中 pH が、1750 年以降今日まで、平均で 0.1 だけ減少した。過去 20 年の、データが取得できる長期観測点における、pH の直接観測結果でも、10 年当たり 0.02 の割合で減少する傾向が現れている。1970 年代の初めから 1990 年代の終わりにかけて、ほとんどの海盆における水温躍層（100～1000m）内で、酸素濃度の減少を示す事実がある。この酸素濃度の減少は、水温躍層内における水の更新速度が減少したことによる可能性が高い。

- 地球全体の平均海面水位は上昇を続けている。1961～2003 年にかけての海面水位の平均上昇率は 1.8 ± 0.5 mm/年だった。20 世紀では、平均上昇率は 1.7 ± 0.5 mm/年 であって、第 3 次評価報告書で推定した $1 \sim 2$ mm/年 と整合している。海面水位上昇率が 19 世紀中頃から 20 世紀中頃にかけて大きくなったことについては信頼性が高い。海面水位の変化は空間的に極めて不均一で、世界全体で平均した海面水位上昇率より数倍大きな上昇率を示す海域もあれば、海面水位が下降している海域もある。高潮に伴う高極潮位の発生が世界的に増加していることを示す証拠がある。そしてこの期間の極値の変動が、平均海面水位の上昇や地域的な気候の変動と関係付けられている。
- 世界平均海面水位上昇にはかなり大きな十年規模変動が伴っている。1993～2003 年にかけての海面水位上昇率は、衛星高度計による観測から 3.1 ± 0.7 mm/年 と推定されており、この値は平均上昇率より有意に高い。潮位計の記録によれば、10 年ごとに区切ったとき、同様に大きな上昇率を示す期間が、1950 年以降過去何度か起きていることが分かる。1993～2003 年の大きな上昇率が十年規模の変動によるものか、もっと長い変化傾向が加速したことによるものかは不明である。
- 海面水位変化への寄与の推定にはまだ不確実性が残るものの、近年はずっと理解が進んできた。1961～2003 年にかけての期間で平均すると、海面水位上昇への熱膨張の寄与は 0.4 ± 0.1 mm/年 である。第 3 次評価報告書で報告した通り、この期間の海面水位上昇への既知の寄与をすべて合わせても観測された海面水位上昇よりは小さい可能性が高いため、海面水位上昇の原因となっている諸過程を十分評価することはできない。しかし、1993 年から 2003 年にかけては観測システムがずっと良くなっていて、熱膨張の寄与（ 1.6 ± 0.5 mm/年）に、氷河・氷帽やグリーンランド氷床及び南極氷床の質量減少による寄与を合わせると 2.8 ± 0.7 mm/年 となる。この期間では、気候が、既知の誤差内で一致している海面水位収支に寄与する主要な要素となっている。
- この章で記述されている、世界の海洋貯熱量、塩分、海面水位、熱膨張、水塊の変

化、及び生物地球化学的パラメータについての変化に関する観測結果のパターンは、観測された海面の変化や大規模な海洋循環の既知の特性とおおむね整合している。

よくある質問と回答

FAQ5.1：海面水位は上昇しているのか？

その通り。世界の海面水位は、西暦0～1900年にかけてほとんど変化しなかったが、20世紀に徐々に上昇し、その率を上げながら現在も上昇している。今世紀には海面水位の上昇はさらに加速すると予測されている。世界の海面水位上昇をもたらす二大要因は、海洋の熱膨張（水は暖まると膨張する）と融解が進むことによる陸氷の減少である。

世界の海面水位は最終氷期の終わり（約2万1000年前）に続く数千年の間に120m程度上昇し、3000年前から2000年前にかけて安定した。海面水位の指標によれば、その後19世紀末まで、世界全体の海面水位は有意には変化しなかったことが示唆される。近年の検潮記録によると、19世紀の間に海面水位の上昇が始まったという証拠が示されている。20世紀には、世界平均海面水位は約1.7mm/年の割合で上昇したと推定されている。

1990年代初めに始まった、新しい人工衛星による観測はほぼ世界全体をカバーし、より正確な海面水位データを提供している。この10年にわたる衛星高度計データによれば、海面水位は1993年以来約3mm/年の割合で上昇していて、その前の半世紀の平均より有意に高い。沿岸の潮位計観測は同程度の水位上昇が数十年前から起きていることを示しており、この観測結果を裏付けるものとなっている。

気候モデルの結果でも示される通り、衛星データと海洋観測データによって、海面水位上昇は世界中で一様に起こっているわけではないことが明らかになっている。世界平均海面水位上昇率より数倍大きな上昇率を示す海域もあれば、海面水位が下降している海域もある。海面水位変化率にかなりの空間変動があることは海洋観測からも推測される。海面水位変化率の空間変動は、主に水温・塩分の不均一な変化に起因し、海洋循環の変化と関連がある。

近年利用できるようになった、ほぼ世界全体の海洋の水温データセットを使うと、熱膨張を直接計算できる。1961年から2003年にかけては、平均すると、観測された海面水位上昇の約4分の1が熱膨張による一方、陸氷の融解の寄与は半分以下と考えられている。従って、第3次評価報告書でも述べられた通り、この期間に観測された海面水位上昇の全体の大きさをこれらのデータセットでは満足に説明できない。

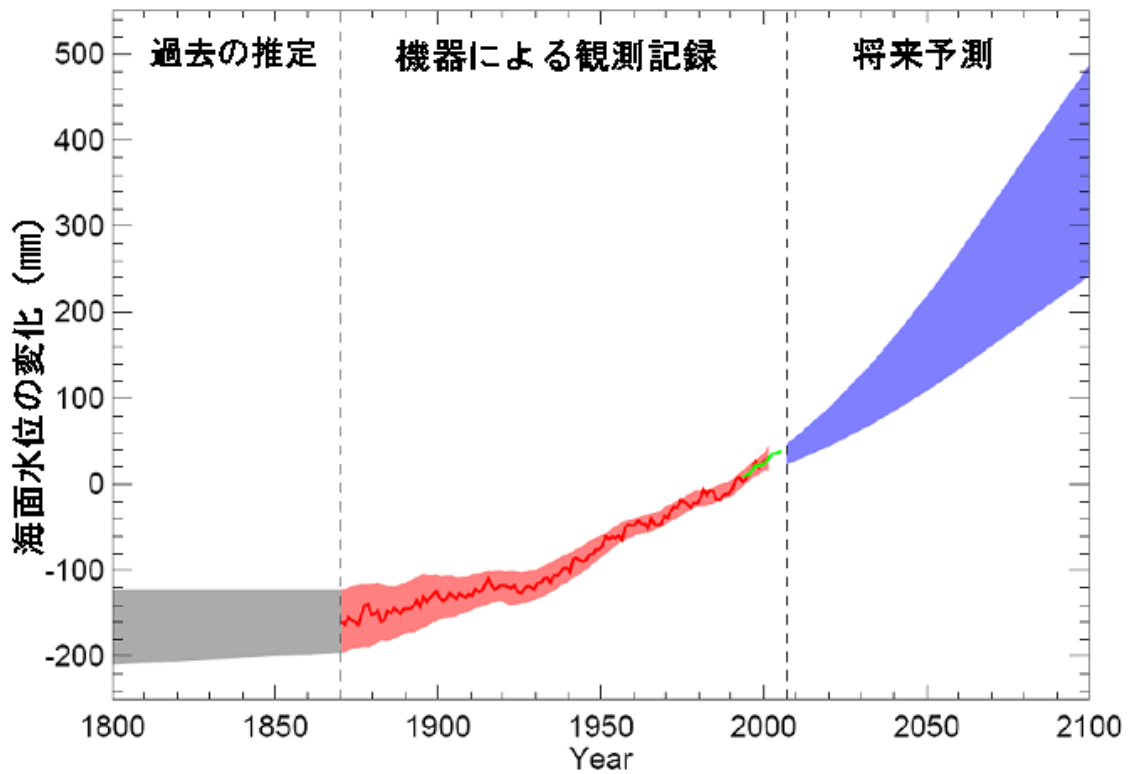
近年（1993～2003年）では、観測システムがずっと良くなり、その推定には幾分不確

実性が残っているものの、熱膨張と陸氷の融解が、観測された海面上昇のそれぞれほぼ半分であると評価される。

最近では、海面水位上昇率の観測結果は、熱膨張と陸氷損失を合わせた量とよく合っている。このことは、相対的に理解が不足している、陸水の貯水量の変化の規模の上限を示唆する。モデル結果によると、陸水の貯水量には、気候変動に起因する正味の長期変化はないが、大きな年々変動や十年規模の変動はあることが示唆されている。しかしながら、1993～2003 年の近年では、海面水位上昇の観測結果と既知の寄与の総和の間にある小さな違いは、人為起源でかつ定量化されていない過程（例えば、地下水の汲み上げ、貯水池の貯水、湿地の排水、森林破壊等）によるものかもしれない。

全世界の海面水位上昇率は、21 世紀には 1961～2003 年より大きくなると予想される。SRES A1B シナリオによると、例えば 2090 年代半ばまでには、地球全体の海面水位は、1990 年に比べて 0.22～0.44m 上昇し、年当たり約 4mm の割合で上昇する。過去と同様に将来の海面水位変化も地理的に一様ではなく、代表的なモデルによると、平均値に最大 $\pm 0.15\text{m}$ 程度の地域差があるだろう。平均的な水位上昇の半分以上は熱膨張による寄与となることが予想されるが、陸氷の減少は今世紀中加速度的に進むだろう。不確実性のうち重要なものとしては、近年観測されている氷の流れの加速の結果、氷床からの氷の流出が引き続き増えるかどうかがある。もしそうであれば、これは海面水位上昇をさらに加えることとなるが、関連する諸過程についての理解が不足しているため、信頼できる定量的な見積もりはできていない。

図は世界平均海面水位について、過去の推移と SERS A1B シナリオに基づく 21 世紀の予測を示す。



FAQ5.1 図1 世界平均海面水位の過去及び将来予測における時系列。1870年以前は、海面水位の地球全体における観測データがない。灰色で示した陰影は、海面水位の長期的な推定上昇率の不確実性を表す。(第6章 6.4.3)。赤線は、潮位計による世界平均海面水位を再構成したものであり(第5章 5.2.1)、赤い陰影は平滑化された曲線から算出された変動範囲を示す。Y軸は、1980~1999年の平均をゼロとしている。緑色の線は、人工衛星の高度計によって観測された世界平均海面水位である。青い陰影は、SRES A1Bシナリオに対する、1980~1999年を基準としたモデルによる21世紀の予測範囲であり、観測データからは独立して計算された。2100年以降の予測は、さらにシナリオに依存する。他のシナリオに対する海面上昇予測に関する議論は、10章を参照。数世紀もしくは千年を超える期間で、海面水位は数m上昇し得る(第10章 10.7.4)。