

雪氷圏の危機: 極地の氷融解と海面上昇がもたらす全球的影響の将来予測

Executive Summary

本報告書は、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第6次評価報告書(AR6)を中心とした最新の科学的知見に基づき、地球温暖化の進行に伴う極地の氷(雪氷圏)の融解が地球システムに及ぼす影響を包括的に分析・予測するものである。観測データは、人為起源の温暖化が極地の氷を前例のない速度で融解させていることを疑う余地なく示しており、その影響は全球的な海面上昇、海洋循環の変調、そして世界各地の社会経済システムに対する深刻なリスクとして顕在化しつつある。

主要な結論は以下の通りである。

1. 氷融解の加速と人為的要因の断定: 観測史上、南極およびグリーンランドの氷床は質量を失い続けており、その速度は過去数十年で劇的に加速している。特に西南極氷床は、温暖な深層水の流入によって融解が進行し、不安定化のリスクが高まっている。IPCC AR6は、観測された温暖化が人為的な影響によるものであることを「疑う余地がない」と断定しており、雪氷圏の変化は気候変動の自然な変動の範囲を逸脱している。
2. 避けられない海面上昇とその将来像: 世界平均海面水位は、温室効果ガスの排出シナリオ(SSP)によって21世紀末までの上昇幅が大きく異なる。最も野心的な排出削減シナリオ(SSP1-1.9)でも2100年までに0.38 m(中央値)の上昇が予測される一方、化石燃料に依存し続けるシナリオ(SSP5-8.5)では0.77 m(中央値)の上昇が見込まれる。さらに、南極氷床の不安定性といった「可能性は低い影響の大きい」事象を考慮すると、最悪の場合、2100年までに2 m、2150年までに5 mという破滅的な海面上昇も排除できない。重要なのは、海面上昇は2100年で終わるわけではなく、海洋の熱的慣性と氷床の緩慢な応答により、数百年から数千年にわたって継続することが運命づけられている点である。温暖化を1.5°Cに抑制できたとしても、今後2000年で海面は2 mから3 m上昇すると予測される。
3. 日本および世界の脆弱地域への深刻な影響: 海面上昇は、日本を含む世界の沿岸地域に深刻な脅威をもたらす。日本では、1 mの海面上昇で全国の砂浜の9割以上が消失し、東京や大阪などの主要都市圏の低平地が恒久的な浸水リスクに晒される。経済的損失も甚大であり、高排出シナリオが続いた場合、2030年までに東京だけで約7.5兆円の経済的被害が予測されている。世界的に見れば、ツバルやキリバスといった小島嶼開発途上国(SIDS)や、バングラデシュ、メコンデルタのような人口が密集するデルタ地帯が最も脆弱であり、国土の水没、淡水資源の枯渇、食料安全保障の危機といった存亡に関わる脅威に直面している。

本報告書は、現在の排出経路が地球の未来をいかに決定づけるかをデータに基づいて明確に示す。雪氷圏の融解は、単なる環境問題ではなく、地球の物理システム、生態系、そして人類社会の持続可能性そのものを揺るがす根源的な課題である。残された時間は限られており、即時かつ抜本的な排出削減行動が、将来の被害を抑制し、破滅的な未来を回避するための唯一の道筋であるこ

とを科学的データは示唆している。

第1部 雪氷圏の現状:加速する融解

本セクションでは、極域の氷が失われているという観測的証拠を確立し、その加速の度合いと、各極域で作用している特有の物理的メカニズムを詳述する。人為的影響という疑いのない前提から始め、各極域における具体的な定量的変化へと分析を進める。

1.1. 温暖化に対する人類の疑う余地のない指紋

本報告書の分析の基盤となるのは、IPCC AR6で前例のない確信度をもって示された科学的コンセンサス、すなわち観測されている温暖化の unequivocal(疑う余地のない)な原因が人間活動であるという事実である。この出発点は極めて重要であり、これ以降に詳述する雪氷圏のあらゆる変化が、自然の変動ではなく、人為的な排出の直接的な帰結であることを明確に位置づける。

近年の温暖化の規模は、データによって明確に定量化されている。2011年から2020年までの世界平均気温は、産業革命以前の基準である1850年から1900年の平均値よりも約1.09°C高く、このうち人間活動による寄与の最良推定値は1.07°Cである。この温暖化は一様ではなく、陸域(1.59°C)は海面(0.88°C)よりも大幅に昇温している。

この気温上昇の直接的な駆動要因は、大気中の温室効果ガス濃度の急増である。2019年時点での二酸化炭素(CO₂)濃度は410 ppm、メタン(CH₄)は1866 ppb、一酸化二窒素(N₂O)は332 ppbに達している。これらの数値は、CO₂については少なくとも過去200万年間、その他のガスについては少なくとも過去80万年間で前例のない高さである。このデータは、観測された温暖化傾向とその主要因である人為的排出との間に直接的な因果関係を確立するものである。

さらに、地球システムに閉じ込められた過剰なエネルギーの大部分、約91%は海洋に吸収されている。この貯留された熱は、氷床を下方から融解させる重要な要因であり、たとえ今すぐ温室効果ガスの排出が停止したとしても、地球が長期的な温暖化と海面上昇にコミットしていることを意味する。この海洋の熱的慣性は、気候システムの応答が数世紀から数千年にわたって続くことを保証する、不可逆的な要素である。

1.2. 南極氷床:下方からの不安定化

南極氷床(AIS)は、少なくとも1990年以降、一貫して質量を失い続けており、その減少率は時間とともに著しく加速していることが、複数の衛星観測ミッションと異なる分析手法によって確認されている。

この加速の度合いは、40年以上にわたるデータを解析することで劇的な形で明らかになる。1979年

から2017年にかけての包括的な分析によれば、質量減少率は6倍に増加した。

- 1979-1990年: 年間 40 ± 9 ギガトン(Gt/年)
- 1989-2000年: 年間 50 ± 14 Gt/年
- 1999-2009年: 年間 166 ± 18 Gt/年
- 2009-2017年: 年間 252 ± 26 Gt/年

より最近のデータセットもこの加速傾向を裏付けている。1979年から2023年までの期間を対象とした分析では、平均減少率は107 Gt/年であったが、2010年代には 202 ± 22 Gt/年に達していた。また、GRACE衛星の重力観測データに基づく2002年から2023年の分析では、平均で年間約150Gtの質量が失われていると推定されている。

この質量損失は南極大陸全体で均一に起きているわけではない。その大部分は西南極氷床(WAIS)に集中しており、特にアムンゼン海に流入するパインアイランド氷河やスウェイツ氷河といった主要な氷河で融解と流動の加速が顕著である。この現象の背後にある主要なメカニズムは、地表面の気温上昇ではなく、海洋の温暖化である。暖かく塩分濃度の高い周極深層水(CDW)が大陸棚に侵入し、内陸の氷を支える役割を果たす浮遊氷(棚氷)の底面を融解させている。棚氷が薄くなることで、その「バットレス効果(支えの効果)」が弱まり、内陸の接地氷が海へ流れ出す速度が加速するのである。

一方で、はるかに巨大な東南極氷床(EAIS)は、より複雑な挙動を示している。温暖化に伴い大気中の水蒸気量が増加するため、内陸部では降雪量が増加し、一部では質量が増加している地域もある。しかし、長らく安定していると考えられてきたEAISでも、ウィルクスランドのような海洋に接する一部の領域では、WAISと同様のメカニズムによる質量減少が観測されている。南極半島とWAISにおける甚大な質量損失は、EAIS内陸部でのわずかな質量増加をはるかに上回り、大陸全体としては明確な純減となっている。

この氷の損失は、直接的に世界平均海面水位の上昇に寄与している。1979年から2017年までの累積で、南極からの融解水は海面を 14.0 ± 2.0 mm上昇させた。その内訳は、WAISが6.9 mm、EAISが4.4 mm、南極半島が2.5 mmであった。また、1992年から2020年の期間においては、グリーンランドと南極を合わせた氷床融解が、世界平均海面水位を約19 mm(0.75インチ)上昇させたと報告されている。

南極における氷融解の主要な駆動力が、地表の気温ではなく海洋の熱であることが、データから浮かび上がる。質量損失が西南極のアムンゼン海のような特定のホットスポットに集中している事実は、これらの地域の氷河が海面下の基盤岩に接地する「海洋性氷床」という地理的特徴と密接に関連している。このような氷床は、暖かな周極深層水の侵入に対して極めて脆弱である。この因果関係は、将来の南極の安定性が、大気だけでなく、南極海の水温や循環パターンの変動に深く依存することを意味する。したがって、将来の氷損失を正確に予測するためには、氷と海洋の複雑な相互作用を捉えることができる高度な海洋モデルが不可欠となる。これは、大気による表面融解が主因であるグリーンランドと比較して、より複雑で不安定なシステムであることを示唆している。

さらに、長らく「眠れる巨人」と見なされてきたEAISの一部、特にウィルクスランドで顕著な質量減少(2009-2017年で年間 51 ± 13 Gt)が観測されているという事実は、極めて重大な警鐘である。EAISは、それだけで海面を50 m以上上昇させる潜在力を持つ。EAISが安定しているという従来の認識

は、過度な単純化であったことが明らかになりつつある。WAISと同様に、EAISの一部も海洋性氷床であり、同じ海洋駆動の融解メカニズムに対して脆弱である。この発見は、長期的な海面上昇の潜在的な上限を根本的に引き上げるものであり、気候変動のリスクがWAISの崩壊に限定されるものではなく、はるかに大規模なEAISの一部にも及ぶことを示している。

1.3. 北極の巨大な融解：増幅する温暖化と氷なき未来

北極は、「北極増幅(Arctic Amplification)」として知られる現象により、地球の他の地域よりも速いペースで温暖化が進行している。過去50年間で、北極は世界平均の2倍以上の速度で温暖化しており、この傾向は今後も続くと予測されている。特に、北極における最も寒い日の気温は、世界平均の約3倍の速度で上昇すると予測されており、この極端な昇温が地域全体の劇的な変化の主要な引き金となっている。

この増幅された温暖化の最も象徴的な現れが、北極海氷の急激な減少である。1979年以降、夏の終わり(9月)の最小海氷面積は約40%減少し、現在の海氷の状態は少なくとも過去1000年間で前例がないレベルにまで悪化している。IPCC AR6は、今後どのような排出シナリオを辿ったとしても、2050年までに少なくとも一度は、北極海が夏に「実質的に氷がない」状態(面積100万km²未満と定義)になる可能性が高いと高い確信度をもって結論づけている。より最近の研究では、この「氷なき夏」が2030年代にも到来する可能性が示唆されている。

陸域の氷もまた、急速に失われている。グリーンランド氷床(GrIS)は、南極と同様に質量減少が加速しており、海面上昇の主要な要因となっている。その減少率は、1990年代の年間約250億トンから、現在では年間平均2340億トン、あるいは2002年以降の平均で年間2670億トンへと劇的に増加した。1972年から2023年までの累積では、GrISは合計6,214 ± 467 Gtの氷を失い、これは世界平均海面水位を17.3 ± 1.3 mm上昇させるのに相当する。南極と決定的に異なるのは、GrISの質量損失の主要因が、暖かい大気による地表面での融解である点である。ただし、海洋に接する氷河の分離(カービング)も、特に温暖な海水が流れ込むフィヨルドにおいて重要な役割を果たしている。

北極圏の温暖化は、氷の融解にとどまらず、連鎖的な影響を引き起こしている。広範囲にわたる永久凍土の融解は、そこに貯留されている膨大な量の炭素(メタンやCO₂)を大気中に放出するリスクをはらんでおり、これがさらなる温暖化を加速させるフィードバックループを生み出す可能性がある。また、温暖化は火災シーズンを長期化させ、従来は火災と無縁であったツンドラ地域にまでその範囲を広げている。

北極で進行中の変化は、単に遠い極地の出来事ではなく、地球全体の気候変動の先行指標と見なすことができる。北極増幅という現象は、今世紀後半に世界の中緯度地域で予測されている変化が、すでに北極で現実のものとなっていることを意味する。反射率の高い氷(アルベドが高い)が失われ、より多くの太陽放射を吸収する暗い海面や陸面が露出することで、温暖化が自己増幅的に加速する「氷-アルベド-フィードバック」がこの地域の急速な温暖化を駆動している。北極で観測されている生態系の変化、永久凍土融解によるインフラ被害、そして社会的な混乱は、今後数十年で他の地域が直面するであろう課題の厳しい予兆となっている。

また、両極が温暖化に対して異なるメカニズムで応答しているという事実は、気候予測における重要な示唆を与える。北極の変化は主として大気の温暖化に、南極の変化は主として海洋の温暖化に駆動されている。この違いは、両極の将来を予測するためには、それぞれに特化したモデルが必要であることを意味する。グリーンランドの将来はより直接的に大気温のシナリオに連動する一方、南極の将来は南極海の進化と氷床縁の海洋との相互作用に大きく左右される。南極の海面上昇への寄与に関する予測の不確実性がグリーンランドよりも大きいのは、まさにこの氷-海洋相互作用が、大気による表面融解よりも科学的理解が浅く、モデル化が困難であるためである。これが、南極の将来予測において「低信頼度」シナリオが別途考慮される理由である。

表1: 極地氷床の観測された質量収支 (約1979年～2023年)

地域	観測期間	年間平均質量減少量 (Gt/年)	累積海面上昇寄与量 (mm)	出典
南極(全体)	1979-1990	40 ± 9	-	8
	1989-2000	50 ± 14	-	8
	1999-2009	166 ± 18	-	8
	2009-2017	252 ± 26	14.0 ± 2.0 (1979-2017)	8
	1979-2023	107 (平均)	13.4 ± 1.5 (1979-2023)	11
	2002-2023	150 (平均)	0.4 mm/年 (寄与率)	12
西南極氷床 (WAIS)	2009-2017	159 ± 8	6.9 ± 0.6 (1979-2017)	8
東南極氷床 (EAIS)	2009-2017	51 ± 13 (ウィルクスランド)	4.4 ± 0.9 (1979-2017)	8
南極半島	2009-2017	42 ± 5	2.5 ± 0.4 (1979-2017)	8

グリーンランド 氷床	1990年代	25 (平均)	-	22
	2002-現在	267 (平均)	-	23
	1972-2023	6,214 ± 467 (総 量)	17.3 ± 1.3 (1972-2023)	11

第2部 将来の軌跡：極地の氷損失と世界的な海面上昇の予測

本セクションでは、観測された傾向を、IPCCの共通社会経済経路(SSP)に基づく将来予測へと転換し、今後数世紀から数千年にわたる定量的な予測を提供する。

2.1. 未来のための枠組み：共通社会経済経路(SSP)

将来予測の基盤として、IPCC AR6で採用された共通社会経済経路(SSP)を用いる。これらは未来の「予測」ではなく、社会経済的な選択の違いに基づいた、起こりうる複数の未来の「経路」を示すものである。

主要なシナリオは以下の通り定義される。

- **SSP1-1.9**(非常に低い排出量): 持続可能な経路をたどり、温暖化を産業革命以前比で約1.5°Cに抑制する。2050年頃にCO2排出量のネットゼロ達成を要する。
- **SSP1-2.6**(低い排出量): 温暖化を2.0°C未満に維持する。パリ協定の目標に相当する経路である。
- **SSP2-4.5**(中程度の排出量): 「中庸な道」を進むシナリオ。AR6報告書作成時点での各国の政策レベルに近く、約2.7°Cの温暖化につながる。
- **SSP3-7.0**(高い排出量): 地域的な対立や国家主義が再燃し、追加的な気候政策が実施されない世界。
- **SSP5-8.5**(非常に高い排出量): 化石燃料に大きく依存した開発経路をたどり、2100年までに4.4°C以上の温暖化を引き起こす。

2.2. 避けられない上昇：2100年以降の全球的海面上昇予測

海面上昇はすでに現実のものとなっている。世界平均海面水位は1901年から2018年の間に0.20 m上昇した。その上昇率は、1901年から1971年の年間1.3 mmから、1971年から2006年には年間1.9

mm、そして2006年から2018年には年間3.7 mmへと明確に加速している。2006年以降は、海洋の熱膨張を上回り、氷床と氷河の融解が海面上昇の主要な寄与要因となっている。

SSPシナリオに基づき、21世紀の海面上昇は以下のように予測される(1995-2014年基準)。

- **21世紀の予測(中程度の信頼度):**
 - **SSP1-1.9:** 2100年までに0.38 m(可能性の高い範囲は0.28-0.55 m)
 - **SSP1-2.6:** 2100年までに0.44 m(0.32-0.61 m)
 - **SSP2-4.5:** 2100年までに0.56 m(0.43-0.76 m)
 - **SSP3-7.0:** 2100年までに0.68 m(0.55-0.90 m)
 - **SSP5-8.5:** 2100年までに0.77 m(0.63-1.01 m)
- **南極の不確実性(低信頼度・高影響):** 南極氷床の安定性、特に「海洋氷崖不安定性(Marine Ice Cliff Instability, MICI)」のようなプロセスには、科学的理解が十分でない深い不確実性が存在する。IPCCは、こうした急速な崩壊シナリオの可能性を考慮に入れるため、「低信頼度」の予測を提示している。このシナリオでは、SSP5-8.5の下で2100年までに最大2 m、2150年までに最大5 mの海面上昇が起こる可能性も排除できない。SSP5-8.5の低信頼度予測の中央値は2100年で0.88 m、範囲は0.63-1.60 mとなる。
- **長期的なコミットメント(数千年スケール):** 海面上昇は2100年に停止するわけではない。深層海洋の熱的慣性と氷床の応答の遅さのため、海面は数百年から数千年にわたって上昇し続けることが運命づけられている。
 - 温暖化を1.5°Cに抑制した場合でも、今後2000年間で世界平均海面水位は約2~3 m上昇する。
 - 温暖化を2.0°Cに抑制した場合は、同期間で2~6 m上昇する。
 - 5°Cの温暖化をもたらす高排出シナリオでは、2000年間で19~22 mという驚異的な上昇が予測される。
 - 最も楽観的なシナリオでさえ、2300年までには0.5~3.0 mの上昇が予測されており、南極の不安定性が誘発された場合は最大15 mに達する可能性がある。

AR6で「低信頼度」シナリオが導入されたことは、気候リスクの伝達におけるパラダイムシフトを意味する。これは、最も可能性の高い結果のみを報告するのではなく、物理的に起こりうる最悪のシナリオを公式に認め、定量化しようとする試みである。標準的な気候モデルは、南極のMICIのような十分に理解されていない「ティッピングポイント」の力学を扱うことに苦慮している。これを無視することは、潜在的なリスクの総量を過小評価することになる。この低信頼度シナリオを考慮すると、高排出シナリオ下での2100年までの海面上昇の最大予測値は、約1.0 mから約2.0 mへとほぼ倍増し、2150年までには約1.9 mから最大5 mへと5倍に跳ね上がる。この事実は、沿岸都市、原子力発電所、港湾など、長期的なインフラ計画に関わるすべての主体にとって、極めて重要な意味を持つ。約0.8 mという「可能性の高い」中央値に基づいて設計することは、もはや賢明なリスク管理とは言えない。不確実性は高いものの、物理的に起こりうる2 mの上昇という「ファットテール」リスクを考慮に入れる必要があり、これは緩和策と適応策双方の費用便益分析を根本から変えるものである。

さらに、海面上昇のコミットメントが持つ巨大な時間スケールは、最も深刻かつ、おそらく最も十分に認識されていない知見である。今世紀の人類の行動は、文字通り何百世代にもわたって地球の姿を決定づけることになる。海面上昇が数千年にわたって続くという予測は、2つの緩慢なプロセスに基

づいている。第一に、深層海洋の温暖化である。海洋はすでに莫大な熱を吸収しており、この熱が水柱全体に混合する過程で、数世紀にわたってゆっくりと熱膨張を続ける⁶。第二に、氷床の平衡応答である。氷床が新たな温暖な気候に完全に応答するには数千年を要し、上昇した気温と一致する新たな、より小さな平衡状態に達するまで融解を続ける。これらの予測は、過去の温暖期に関する古気候学的証拠とも整合的である。約12万5000年前、気温が産業革命以前よりわずか0.5~1.5°C高かっただけで、海面は現在より5~10 mも高かった。これは、我々の長期的な未来に対する強力な地質学的類似物を提供する。この視点は、気候変動を21世紀の問題から、地球の恒久的な変容へと転換させる。我々が知る海岸線は、長い目で見ればすでに失われている。残された唯一の問いは、それらがどれほどの速さで消え去るか、ということだけである。

表2: 2100年および2150年の世界平均海面水位上昇予測(IPCC AR6 SSPシナリオ)

シナリオ	2100年 中央値 (m)	2100年 可能性の高い範囲 (m)	2150年 中央値 (m)	2150年 可能性の高い範囲 (m)
SSP1-1.9 (非常に低い)	0.38	0.28 – 0.55	0.57	0.37 – 0.85
SSP1-2.6 (低い)	0.44	0.32 – 0.61	0.68	0.46 – 0.99
SSP2-4.5 (中程度)	0.56	0.43 – 0.76	0.92	0.66 – 1.33
SSP3-7.0 (高い)	0.68	0.55 – 0.90	1.19	0.89 – 1.65
SSP5-8.5 (非常に高い)	0.77	0.63 – 1.01	1.32	0.98 – 1.88
SSP1-2.6 (低信頼度)	0.45	0.32 – 0.79	0.73	0.46 – 1.34
SSP5-8.5 (低信頼度)	0.88	0.63 – 1.60	1.98	0.98 – 4.82

注: 上昇量は1995-2014年の平均値を基準とする。「低信頼度」シナリオは、南極氷床の海洋氷崖不安定性など、科学的理解が限定的なプロセスを含む。

出典: 18

第3部 変容する世界: システミックな影響と全球的な脆弱性

本セクションでは、温暖化と海面上昇がもたらす連鎖的な影響を探り、最も深刻なインパクトと、最もリスクに晒される人々を特定する。

3.1. 地球システムの再形成: 全球的海洋循環の攪乱

地球の気候システムを安定させる上で、全球的な海洋循環、通称「グローバル・コンベヤー・ベルト」は中心的な役割を担っている。この循環は、北大西洋で形成される北大西洋深層水や、南極周辺で形成される南極底層水(AABW)のように、極域で冷却され塩分濃度が高くなった海水が沈み込むことで駆動される、温度と塩分濃度の勾配に基づいた熱塩循環である。

グリーンランドおよび南極氷床からの大量の冷たく淡水な融解水の流入は、この繊細なバランスを根本から揺るがす。淡水は塩水よりも密度が低いいため、極域での表面水の沈み込みを阻害し、循環のエンジンそのものを弱めてしまう。

近年の高解像度モデルを用いた研究では、南極からの融解水が高排出シナリオ下で2050年までに、世界最強の海流である南極周回流(ACC)を約20%減速させる可能性が示されている。ACCの減速は、海洋による熱とCO₂の吸収能力を低下させ、地球温暖化をさらに加速させる可能性がある。また、ACCは他海域からの生物種の侵入を防ぐ自然の障壁としても機能しているため、その弱体化は南極の脆弱な生態系に深刻な影響を及ぼす恐れがある。

同様に、グリーンランド氷床からの融解水は、北大西洋の熱塩循環である大西洋子午面循環(AMOC)にとって直接的な脅威となる。AMOCの大幅な弱体化や崩壊は、ヨーロッパの地域的な寒冷化、熱帯域の降雨帯の移動、そして海洋生態系の広範な攪乱といった劇的な結果をもたらす可能性がある。

3.2. 押し寄せる潮の最前線: 世界で最も脆弱な国々

気候変動に対する脆弱性は、ハザードへの曝露、システムの感受性、そして適応能力の3つの要素の相互作用によって決定される。IPCCの報告によれば、33億から36億もの人々が、気候変動に対して脆弱性が高い「ホットスポット」に居住している。洪水、干ばつ、暴風雨による死亡率は、脆弱性が

非常に高い地域では、非常に低い地域と比較して15倍にも達する。

- 小島嶼開発途上国(SIDS): これらの国々は、その低い標高、限られた土地、そして海面上昇や高潮への高い曝露度により、他に類を見ない脆弱性を抱えている。
 - 存亡の危機: ツバル、キリバス、モルディブといった国々は、国土が完全に水没するという実存的な脅威に直面している。例えば、ツバルの最高標高は海拔わずか4.5~5 mに過ぎない。
 - 差し迫った影響: 国土の完全な水没以前にも、淡水帯水層への塩水侵入、農地の喪失、そして経済を支え防災機能も果たす沿岸インフラやサンゴ礁生態系の破壊といった深刻な問題に直面している。
 - 強制移住と国家主権: これらの国々はすでに国民の集団移住計画を検討しており、これは気候難民や、水没した国家の主権の扱いなど、前例のない国際法上・政治上の問題を提起している。
- 低平な河川デルタ地帯: 人口が密集し、農業生産の要であるデルタ地帯もまた、危機の最前線にある。
 - バングラデシュとメコンデルタ(ベトナム): これらの地域は、沿岸からの海面上昇と、上流からの河川流量の変化という二重の脅威に晒されている。洪水リスクの増大、恒久的な土地の水没、そして数百万人の主食であるコメ生産を脅かす深刻な塩害が懸念される。高排出シナリオが続いた場合、現在バングラデシュとベトナムの人口の3分の1が居住する土地が、満潮位線を下回る可能性があると言われている。

脆弱な地域が直面する脅威は、単一のハザードではなく、複数の気候ハザードが複合的に作用することで増幅される。まず、海面上昇が沿岸の水位のベースラインそのものを引き上げる。これに加えて、地球温暖化は豪雨や熱帯低気圧といった極端気象現象の強度を増大させる。さらにデルタ地帯では、地下水の過剰なくみ上げによる地盤沈下や、上流のダム建設による土砂供給の減少が、問題をさらに悪化させる。より強力になった将来のサイクロンをもたらす高潮が、上昇した海面の上に乗っかり、同時に沈下しつつある沿岸部を襲う。これは、個々の要素の単純な足し合わせをはるかに超える「複合災害」のリスクを生み出す。IPCC AR6が、過去には100年に一度だった極端な高潮が、2100年までにあらゆる沿岸観測地点の半数以上で少なくとも年一回発生するようになると予測しているのは、この複合効果を反映したものである。したがって、適応策の計画は、単一のハザードではなく、複合的なハザードを前提としなければならない。

さらに、これらの物理的な影響は、地政学的な不安定性を増幅させる「脅威増幅因子」として機能する。海面上昇による強制移住(例えばツバルやバングラデシュ沿岸部から)や、塩水侵入による水・食料といった重要資源の枯渇は、社会経済的なストレスを増大させる。これらの圧力は、経済の衰退、生計手段の喪失、そして残された資源をめぐる国内および国家間の競争を激化させる可能性がある。気候変動は既存の緊張関係を悪化させ、新たな難民危機を生み出し、資源紛争を引き起こす潜在力を持つ。本報告書で詳述された物理科学的知見が持つ国家安全保障上の意味は極めて大きく、21世紀の国際関係においてますます支配的なテーマとなるであろう。

表3: 高リスク国・地域の脆弱性マトリクス

脆弱地域の分類	代表的な場所	恒久的浸水リスク	淡水安全保障(塩害)	食料安全保障(農業・漁業)	インフラ被害	人口移動・移住圧力
小島嶼開発途上国(SIDS)	ツバル、キリバス、モルディブ	存亡の危機:国土の大部分が海拔数m以下であり、完全水没の脅威に直面。	危機的:限られた淡水レンズ(地下水)への塩水侵入が深刻化し、飲用水が枯渇。	危機的:農地の塩害、サンゴ礁の白化による漁業資源の枯渇が経済基盤を破壊。	高い:沿岸の集落、港湾、空港が波浪や高潮で破壊されるリスクが増大。	非常に高い:国家規模での国外移住が現実的な選択肢として検討されている。
北極圏の先住民コミュニティ	アラスカ北部、シベリア	高い:海水の減少による沿岸侵食の加速で、集落の移転を余儀なくされている。	中程度:永久凍土の融解が水文学的システムを変化させ、水質に影響を与える可能性。	高い:伝統的な狩猟(海水上のアザラシなど)が困難になり、食料安全保障が脅かされている。	危機的:永久凍土の融解により、住居、道路、パイプラインなどのインフラが崩壊。	高い:生計手段の喪失と居住地の不安定化により、移住圧力が高まっている。
主要な河川デルタ	バングラデシュ、メコンデルタ	非常に高い:海面上昇と地盤沈下の複合効果により、広大な低平地が浸水リスクに晒される。	危機的:河川や地下水への広範な塩水侵入が、飲用水と農業用水を汚染。	危機的:世界の主要な穀倉地帯であるデルタ地帯の農地が塩害で生産性を失う。	高い:人口密集地のインフラが洪水や高潮で繰り返し被害を受けるリスク。	非常に高い:数千万人規模の国内避難民が発生する可能性が指摘されている。

出典:⁵

第4部 国家ケーススタディ: 海面上昇下の日本の未来

本セクションでは、利用者の要求に応じ、日本が直面する多面的な脅威に焦点を当てた、具体的な地域分析を提供する。

4.1. 日本の沿岸の未来: 浸水、侵食、極端現象

将来の予測によれば、日本沿岸の海面上昇は世界平均と同程度になると見込まれている。2°Cの温暖化シナリオ(SSP1-2.6に類似)では、21世紀末までに約0.39 mの上昇が、4°Cの温暖化シナリオ(SSP5-8.5に類似)では約0.71 mの上昇が予測されている。

この上昇は、日本の脆弱な海岸線に深刻な影響を及ぼす。わずか1 mの海面上昇で、高潮や侵食に対する重要な自然の防波堤である全国の砂浜の9割以上が消失すると予測されている。30 cmの上昇でさえ、砂浜の57%が失われる計算となる。

恒久的な浸水のリスクも増大する。日本にはすでに満潮位以下の土地が861 km² 存在し、そこには200万人が居住し、少なくとも54兆円の資産が集中している。海面上昇は、この危険地帯をさらに拡大させる。シミュレーションによれば、1 mの海面上昇で、東京(特に江戸川区、江東区、墨田区、葛飾区)や大阪といった主要沿岸都市の広範な地域が恒久的に浸水するか、あるいは極めて深刻な浸水リスクに晒されることになる。

しかし、最大の脅威は、海面上昇と極端気象との複合効果である。引き上げられた海水位のベースラインは、台風がもたらす高潮や高波の影響を増幅させ、より頻繁で広範囲な沿岸洪水を発生させる。将来の台風の強度は増す可能性が指摘されており、そうなれば東京湾、大阪湾、伊勢湾という日本の三大湾のリスクはさらに高まることになるが、この予測にはまだ不確実性が伴う。

4.2. 日本への社会経済的影響

予測される経済的影響は甚大である。2021年にグリーンピースが公表した報告書は、高排出シナリオ(RCP8.5)が継続した場合、2030年までに極端な高潮事象が東京にもたらす経済的損害は680億ドル(約7.5兆円)に達し、85万人が影響を受けると試算している。

港湾、空港(関西国際空港など)、工業地帯、交通網といった日本の重要インフラは、その多くが低平な沿岸部に集中している。これらの基幹資産は、洪水による機能停止や損壊のリスク増大に直面しており、その影響は国内経済のみならず、グローバルなサプライチェーンにも波及するであろう。

直接的な洪水被害以外にも、影響は多岐にわたる。沿岸の帯水層への塩水侵入、農地の塩害、そ

して沿岸生態系や漁業への悪影響などが挙げられる。農業、林業、漁業、観光といった気候変動に脆弱なセクターでは、すでに経済的損害が検出され始めている。

日本は、高度な技術力と沿岸工学、防災における豊富な経験を持つ国である。しかし、その地理的特性、すなわち人口と経済資産が沿岸の平野部に極度に集中しているという事実は、本質的な脆弱性を生み出している。すでに満潮位以下の土地に200万人が暮らしているという現実 は、この脆弱性の深刻さを物語っている。高排出シナリオ下で予測される0.71 mの海面上昇と、将来的に強化化する可能性のある台風が組み合わさることで、既存の防護施設が想定を超える外力に晒されることになる。過去には「100年に一度」とされた規模の洪水が、数十年、あるいは数年に一度の頻度で発生するようになる可能性がある。日本の将来の安全は、過去の工学的成功に依存するのではなく、根本的に異なる気候を前提として、防護思想を抜本的に見直し、インフラを更新できるかどうかにかかっている。その適応コストは天文学的な額に上る可能性があり、適応の失敗がもたらす経済的打撃は計り知れない。2030年までに東京で7.5兆円という損害予測は、その序章に過ぎないかもしれない。

結論：数千年にわたる遺産と狭まる行動の窓

本報告書で提示された多角的なデータは、一貫した結論を指し示している。すなわち、極地の氷の融解は否定しようのない事実として加速しており、長期的に見れば数メートル規模の海面上昇は避けられず、その影響は地球社会全体に、特に脆弱な地域に不均衡に及ぶということである。

強調すべきは、「コミットされた変化」という概念である。過去および現在の排出により、たとえ今すぐ最も野心的な排出削減策を講じたとしても、未来のある程度の海面上昇はすでに運命づけられている。西南極氷床の崩壊のような変化は、一度起これば人間の時間スケールでは不可逆的であり、その影響は数千年にわたって続くだろう。

しかし、未来は一つに定まっているわけではない。SSPシナリオは、我々の選択が未来を大きく変えることを明確に示している。即時かつ抜本的な温室効果ガス排出削減は、海面上昇の速度を大幅に鈍化させ、破滅的で影響の大きいティッピングポイントが誘発されるリスクを低減させることができる。SSP1-2.6が描く未来とSSP5-8.5が描く未来との差は、管理可能ではあるが非常に深刻な課題に直面する世界と、地球の地図が完全に書き換えられる破滅的な事態に直面する世界との差である。本報告書が提示する膨大な科学的データが発する最終的なメッセージは、緊急性と帰結の重大さである。我々が今下す決断が、数千年続く人類の遺産を決定づけるのである。

引用文献

1. 第282回 IPCC第6次評価報告書で明らかになった気候科学の最新知見(国立環境研究所・江守正多) - EICネット, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.eic.or.jp/library/pickup/282/>
2. IPCC AR6 WG1 SPM 暫定訳 - 気象庁, 9月 24, 2025にアクセス、

- https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_WGI_SPM_JP.pdf
3. Briefing Comments on IPCC AR6 SPM | Columns on Arctic Topics, 9月 24, 2025にアクセス、https://www.nipr.ac.jp/arcs2/e/project-report/2021_ipcc_ar6_spm/
4. Summary for Policymakers - IPCC, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM.pdf
5. IPCC 第6次評価報告書 統合報告書 政策決定者向け要約 中核執筆 ..., 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/IPCC_AR6_SYR_SPM_JP.pdf
6. 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第6次評価報告書第1作業 ..., 9月 24, 2025にアクセス、<https://www.env.go.jp/content/900501858.pdf>
7. Regional fact sheet - Polar Regions - IPCC, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Polar_regions.pdf
8. Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979–2017 ..., 9月 24, 2025にアクセス、<https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1812883116>
9. Ice mass balance of Antarctica using the component method (SMB, on... - ResearchGate, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/figure/ce-mass-balance-of-Antarctica-using-the-component-method-SMB-on-grounded-ice-minus-ice_fig2_330390265
10. (PDF) Four decades of Antarctic Ice Sheet mass balance from 1979 ..., 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.researchgate.net/publication/330390265_Four_decades_of_Antarctic_Ice_Sheet_mass_balance_from_1979-2017
11. Ice sheets - Copernicus Climate Change, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://climate.copernicus.eu/climate-indicators/ice-sheets>
12. Antarctic Ice Mass Loss 2002–2023 - NASA SVS, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://svs.gsfc.nasa.gov/31158/>
13. Mass Balance of the Antarctic Ice Sheet in the Early 21st Century - MDPI, 9月 24, 2025にアクセス、<https://www.mdpi.com/2072-4292/15/6/1677>
14. Ice Sheet Mass Changes over Antarctica Based on GRACE Data - MDPI, 9月 24, 2025にアクセス、<https://www.mdpi.com/2072-4292/16/20/3776>
15. Climate Change Indicators: Ice Sheets | US EPA, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-ice-sheets>
16. グリーンランドや南極の氷は？氷床モデル研究者が解説する現在と未来 | JAMSTEC BASE, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.jamstec.go.jp/j/pr/topics/explore-20250527/>
17. IPCC AR6 Working Group 1: Summary for Policymakers | Climate Change 2021, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/chapter/summary-for-policymakers/>
18. IPCC Sixth Assessment Report (AR6) Release of WG1 Report: The Physical Science Basis of Climate Change, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://iccinet.org/ipcc-sixth-assessment-report-ar6-release-of-wg1-report-the-physical-science-basis-of-climate-change/>
19. Arctic sea ice decline - Wikipedia, 9月 24, 2025にアクセス、
https://en.wikipedia.org/wiki/Arctic_sea_ice_decline

20. Arctic could become 'ice-free' within a decade | ScienceDaily, 9月 24, 2025にアクセス、<https://www.sciencedaily.com/releases/2024/03/240305134203.htm>
21. Arctic Ocean could become ice-free by 2030. Why it matters? - The World Economic Forum, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.weforum.org/stories/2023/06/arctic-ocean-ice-free-by-2030-climate-change/>
22. Greenland's rapid melt will mean more flooding - NASA Sea Level Change Portal, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://sealevel.nasa.gov/news/178/greenlands-rapid-melt-will-mean-more-flooding>
23. Ice Sheets | Vital Signs - Climate Change - NASA, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>
24. Projections of Greenland Ice Sheet Loss by 2100 Using CMIP6 Models for IPCC AR6, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://iccinet.org/projections-of-greenland-ice-sheet-loss-by-2100-using-cmip6-models-for-ipcc-ar6/>
25. Expedition to the North Pole: Polar Researchers Fear an Ecological Collapse in the Arctic, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.spiegel.de/international/world/expedition-to-the-north-pole-polar-researchers-fear-an-ecological-collapse-in-the-arctic-a-640a73ff-0fcc-4593-9ab0-dae85ca146c6>
26. How disappearing Antarctic ice fuels a climate change reaction - Ohio University, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.ohio.edu/news/2024/12/how-disappearing-antarctic-ice-fuels-climate-change-reaction>
27. How does sea ice affect global climate? - NOAA's National Ocean Service, 9月 24, 2025にアクセス、<https://oceanservice.noaa.gov/facts/sea-ice-climate.html>
28. Cross-Chapter Paper 6: Polar Regions | Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability - IPCC, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/ccp6/>
29. Dive Deeper | Future Sea Level - U.S. Sea Level Change - Earth.gov, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://earth.gov/sealevel/us/sea-level-101/future-sea-level/dive-deeper/>
30. The SSP Scenarios - English - Deutsches Klimarechenzentrum, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.dkrz.de/en/communication/climate-simulations/cmip6-en/the-ssp-scenarios>
31. Shared Socioeconomic Pathways Scenario Database (SSP) - IIASA, 9月 24, 2025にアクセス、<https://iiasa.ac.at/models-tools-data/ssp>
32. Shared socioeconomic pathways - NZ SeaRise | Our Changing Coast, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://searise.nz/resources/digging-deeper/shared-socioeconomic-pathways/>
33. Sea Level Projection Tool - NASA Sea Level Change Portal, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>
34. IPCC AR6 Sea Level Projections Regional (Medium Confidence) | Earth Engine

- Data Catalog | Google for Developers, 9月 24, 2025にアクセス、
https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/IPCC_AR6_SLP
35. Sea Level Projection Tool, 9月 24, 2025にアクセス、
https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?psmsl_id=1476&info=true
 36. Sea Level Projection Tool, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool?type=global>
 37. IPCC (専門家)による報告書 | ねりエコ 練馬区地球温暖化対策地域協議会, 9月 24, 2025にアクセス、<https://www.nerieco.com/ondanka/ipccar5.html>
 38. IPCC 第6次評価報告書により更新された気候変動の科学的理解, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://yokosukaclimatecase.jp/wp/wp-content/uploads/2023/07/kou318.pdf>
 39. より精緻な科学的知見を提供－IPCC第1作業部会第6次評価報告書概要, 9月 24, 2025にアクセス、<https://cger.nies.go.jp/cgernews/202111/372001.html>
 40. 気候変動 2021: みんなのためのサマリー - IPCC, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Japanese.pdf
 41. How Melting Arctic Ice Affects Ocean Currents - UCAR Center for Science Education, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://scied.ucar.edu/learning-zone/climate-change-impacts/melting-arctic-sea-ice-and-ocean-currents>
 42. The Hidden Impact of Antarctic Ice Melt on Global Ocean Circulation., 9月 24, 2025にアクセス、
<https://communities.springernature.com/posts/the-hidden-impact-of-antarctic-ice-melt-on-global-ocean-circulation>
 43. Greenland Ice Melt Could Push Atlantic Circulation to Collapse | Hakai Magazine, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://hakaimagazine.com/news/greenland-ice-melt-could-push-atlantic-circulation-collapse/>
 44. Melting Antarctic ice sheets will slow Earth's strongest ocean current, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.unimelb.edu.au/newsroom/news/2025/march/melting-antarctic-ice-sheets-will-slow-earths-strongest-ocean-current>
 45. IPCC 第6次評価報告書(AR6)のうち第2作業部会(WG2)が作成したSPM(政策決定者向け要約 - 環境省, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.env.go.jp/content/000155003.pdf>
 46. IPCC 第5次評価報告書の概要 - 環境省, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5_wg2_overview_presentation.pdf
 47. Effects of climate change on small island countries - Wikipedia, 9月 24, 2025にアクセス、
https://en.wikipedia.org/wiki/Effects_of_climate_change_on_small_island_countries
 48. Climate Change | SIDS - World Bank Blogs, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://blogs.worldbank.org/en/climatechange/four-things-you-should-know--climate-change---small-island-devel>

49. Small Island Nations- Climate Threat and Relocation - Vision of Humanity, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.visionofhumanity.org/small-island-nations-climate-threat-and-relocation/>
50. 影響、適応、脆弱性 - IPCC, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/03/tar-wg2-spm_jp.pdf
51. www.visionofhumanity.org, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.visionofhumanity.org/small-island-nations-climate-threat-and-relocation/#:~:text=Tuvalu%20and%20Kiribati%20are%20two.two%20metres%20above%20sea%20level.>
52. Climate Change - Mekong River Commission, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.mrcmekong.org/climate-change/>
53. Climate change risks drowning Mekong Delta | IHE Delft Institute for Water Education, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.un-ihe.org/news/climate-change-risks-drowning-mekong-delta>
54. Rising Coastal Sea Levels Pose Threat to Cities in Vietnam and Thailand - ReliefWeb, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://reliefweb.int/report/viet-nam/rising-coastal-sea-levels-pose-threat-cities-vietnam-and-thailand>
55. How is Vietnam's Mekong Delta adapting to a changing climate? - World Bank Blogs, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://blogs.worldbank.org/en/eastasiapacific/how-vietnams-mekong-delta-adapting-changing-climate>
56. Assessing the impact of sea level rise due to climate change on seawater intrusion in Mekong Delta, Vietnam | Water Science & Technology | IWA Publishing, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://iwaponline.com/wst/article/77/6/1632/41155/Assessing-the-impact-of-sea-level-rise-due-to>
57. When the sea moves inland: A global climate wake-up call from Bangladesh's Delta | University of Portsmouth, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.port.ac.uk/news-events-and-blogs/news/when-the-sea-moves-inland-a-global-climate-wake-up-call-from-bangladeshs-delta>
58. 日本の気候変動2025について, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://adaptation-platform.nies.go.jp/ccca/conference/2025/0522/pdf/s01-jma.pdf>
59. 海面水位・高潮・高波の観測事実と将来予測 ～「日本の気候変動2020」から～, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/06.pdf>
60. IPCC第2作業部会 第6次評価報告書の注目点について - WWFジャパン, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.wwf.or.jp/activities/data/20220311climate02.pdf>
61. 21世紀末の日本の気候はどうなる? 「日本の気候変動 2020」 - 文部科学省, 9月 24, 2025にアクセス、
https://www.mext.go.jp/content/20210630-mxt_syoto01-000016518_20.pdf
62. 地球温暖化の現状と将来予測, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://chushikoku.env.go.jp/content/000163667.pdf>
63. 日本の気候変動2020—大気と陸・海洋に関する 観測・予測評価報告書, 9月 24, 2025

- にアクセス、https://www.metsoc.jp/tenki/pdf/2021/2021_07_0023.pdf
64. 4 地球温暖化に関する予測 - 環境白書, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://www.env.go.jp/policy/hakusyo/h09/10293.html>
65. 2-2 海面上昇の影響について - JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センター, 9月
24, 2025にアクセス、<https://www.jccca.org/faq/15931>
66. 海面上昇とは？原因・理由と日本や世界への影響は？対策や今後沈む国が出てくるの
かを簡単に解説 - Spaceship Earth(スペースシップ・アース) | SDGs・ESGの取り組み
事例から私たちにできる情報をすべての人に提供するメディア, 9月 24, 2025にアクセ
ス、https://spaceshipearth.jp/sealevel_rise/
67. 2030年の海面上昇による経済的被害、東京は7.5兆円、85万人が被害。アジア都市の
影響被害総額は約80兆円に。グリーンピース東アジアが試算報告書(RIEF) | 一般社団
法人環境金融研究機構, 9月 24, 2025にアクセス、<https://rief-jp.org/ct8/115591>
68. 2030年の海面上昇で、東京は7.5兆円の被害 - グリーンピース調査レポート |
EnergyShift, 9月 24, 2025にアクセス、
<https://energy-shift.com/news/e1399872-828c-402b-b550-1a0d39a8a99d>
69. 「2030年のアジア7都市における極端な海面上昇の ... - Greenpeace, 9月 24, 2025に
アクセス、
https://www.greenpeace.org/japan/wp/wp-content/uploads/2021/09/928f1ca2-20210624_final_report_sealevelrise_jpn.pdf