

IPCC「海洋・雪氷圏特別報告書」の 概要

本資料は、IPCC「海洋・雪氷圏特別報告書」※の政策決定者向け要約(SPM)及び特別報告書本体を基本とし、他に既存文献・資料を参考情報として作成しています。なお、資料中では各情報の出典を明示しています。

また、本資料は可能な限り原語に忠実な表現を用いて作成していますが、必要に応じて[]内に語句を補っています。

※正式名称:「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書」

目次

序		
i. はじめに ······	2	B. 予測される変化及びリスク 50
ii. 海洋・雪氷圏特別報告書のアウトライン ······	3	B1. 地球温暖化による雪氷圏の広範な縮小 ······ 51
iii. 海洋・雪氷圏特別報告書の主なポイント ······	4	B2. 地球温暖化がもたらす海洋の物理的・化学的变化 ······ 60
iv. 海洋・雪氷圏特別報告書の作成方法・執筆者・スケジュール ······	5	B3. 地球温暖化による海面水位の上昇 ······ 72
v. 海洋・雪氷圏特別報告書において重要な中核的概念 ······	6	B4. 雪氷圏の変化が生態系に与える影響 ······ 80
A. 観測された変化及び影響	7	B5. 温暖化による海洋生物種の変化 ······ 82
A1. 地球温暖化による雪氷圏の広範な縮小 ······	9	B6. 温暖化による沿岸域の生態系の変化 ······ 85
A2. 地球温暖化がもたらす海洋の物理的・化学的变化 ······	12	B7. 雪氷圏の縮小が人間社会に与える影響 ······ 88
A3. 地球温暖化による海面水位の上昇 ······	19	B8. 海洋生態系及び生態系サービスの変化により生じる課題 ······ 90
A4. 雪氷圏の変化が生態系に与える影響 ······	29	B9. 沿岸域の気候関連ハザード ······ 93
A5. 温暖化による海洋生物種の変化 ······	35	C. 海洋及び雪氷圏の変化に対する対応の実施 97
A6. 温暖化による沿岸域の生態系の変化 ······	37	C1. 海洋及び雪氷圏の変化に対する対応の実施 ······ 98
A7. 雪氷圏の縮小が人間社会に与える影響 ······	40	C2. 生態系を活用した適応及び統合的水管理 ······ 104
A8. 海洋生態系及び生態系サービスの変化により生じる課題 ······	42	C3. 海面水位上昇への統合的対応 ······ 112
A9. 沿岸域の気候関連ハザード ······	46	C4. 対応を可能にする条件 ······ 118
	48	参考情報 121
i. IPCCの報告書における「可能性」の表現 ······		i. IPCCの報告書における「可能性」の表現 ······ 122
ii. IPCCの報告書における「確信度」の表現 ······		ii. IPCCの報告書における「確信度」の表現 ······ 123
iii. SROCCにおける「高山地域」について ······		iii. SROCCにおける「高山地域」について ······ 124
iv. SROCCにおける「極域」について ······		iv. SROCCにおける「極域」について ······ 125
v. テイッピングポイントと連鎖的な影響 ······		v. テイッピングポイントと連鎖的な影響 ······ 126
vi. 海洋・雪氷圏特別報告書における排出シナリオの利用 ······		vi. 海洋・雪氷圏特別報告書における排出シナリオの利用 ······ 127
vii. ガバナンスのケーススタディ ······		vii. ガバナンスのケーススタディ ······ 128
viii. 海洋・雪氷圏特別報告書に登場する用語の解説 ······		viii. 海洋・雪氷圏特別報告書に登場する用語の解説 ······ 131
ix. 略語集 ······		ix. 略語集 ······ 133

序章

i. はじめに

- 気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、気候変動に関して科学的、技術的及び社会経済的な見地から包括的な評価を行い、5～7年ごとに評価報告書、及び不定期に特別報告書、技術報告書、方法論報告書を作成・公表している。
- 第51回IPCC総会(2019年9月20～24日、モナコ)において、IPCC「海洋・雪氷圏特別報告書」の政策決定者向け要約(SPM)が承認されるとともに、特別報告書本体が受諾された。
- 同特別報告書は、「気候変動に関する国際連合枠組条約(UNFCCC)」をはじめとする、地球温暖化に対する国際的な取組みに必要な科学的根拠を提供する重要な資料となる。
- UNFCCC第25回締約国会議(COP25:2019年12月2～15日、スペイン・マドリード)においても、締約国に対し、UNFCCC補助機関下のすべての議題において、IPCC「海洋・雪氷圏特別報告書」及び「土地関係特別報告書」¹に含まれる情報を活用するよう招請することを含む決定文書が採択された。 [Decision 1/CP.25, para 7]

※「特別報告書」とは

気候変動に関連する特定のテーマに対して、科学的・技術的な評価を行うもの。本文とともに、政策決定者向け要約が作成される。

ii. 海洋・雪氷圏特別報告書のアウトライン

「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関するIPCC特別報告書」

政策決定者向け要約(SPM)

第1章: 報告書の構成と背景

第2章: 高山地域

第3章: 極域

第4章: 海面水位上昇並びに低海拔の島嶼、沿岸域及びコミュニティへの影響

第5章: 海洋、海洋生態系及び依存するコミュニティの変化

第6章: 極端現象、急激な変化及びリスク管理

SPMには内容に関連するアイコン(右記)が示されている。本資料でも、アイコンが示されたSPMの文章を掲載したスライドの右上には、それらの文章に該当するアイコンを併せて掲載した。

内容を示すアイコンの凡例



高山地域の雪氷圏



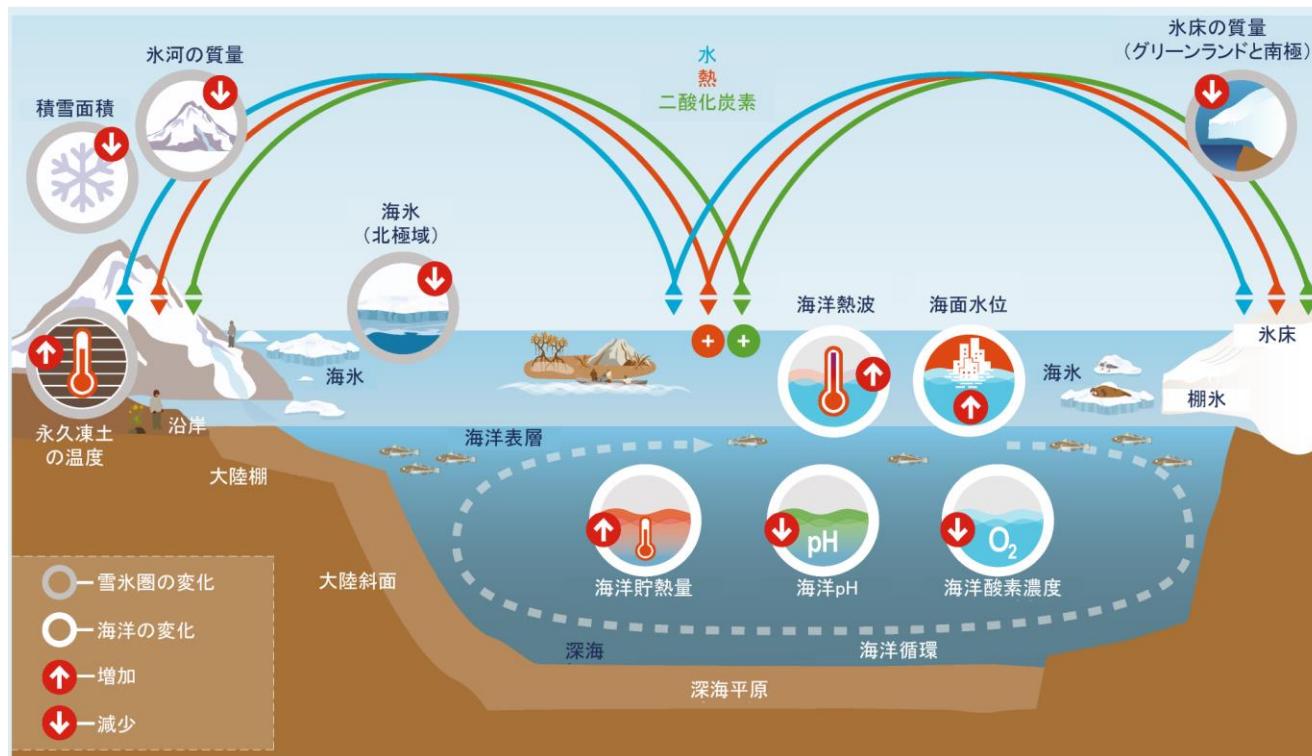
極域



沿岸域及び海面水位上昇



海洋



図：海洋・雪氷圏特別報告書が扱う主要な要素と海洋と雪氷圏の変化、及びそれらと熱(赤線)や水(水色の線)、CO₂(緑色の線)の動きを通した地球システムとのつながり。気候変動は、海面水位の上昇、海の貯熱量や海洋熱波の増加、貧酸素化、及び海の酸性化を進行させる。雪氷圏の減少には、北極海の海水の減少、南極とグリーンランドの氷床の消失、氷河の消失、永久凍土の融解、及び積雪面積の減少が含まれる。

IPCC SROCC 79頁 第1章
Box 1.1 図1

iii. 海洋・雪氷圏特別報告書の主なポイント

政策決定者向け要約 (SPM)

セクションA：観測された変化及び影響

- ・雪氷圏が広範に縮退し氷床及び氷河の質量が減少（確信度が非常に高い）。積雪の深さ、面積及び期間の減少（確信度が高い）並びに北極域の海氷の面積及び厚さの減少（確信度が非常に高い）、永久凍土の温度上昇（確信度が非常に高い）がみられる。（A1）
- ・1902-2010年の世界平均海面水位（GMSL）は0.16 m上昇。2006-2015年の期間のGMSLの上昇率は平均3.6 mm/年。前世紀では例がなく、1901-1990年（平均1.4mm/年上昇）の約2.5倍の速度。氷床と氷河の融解が大きく寄与。（A3.1）
- ・複数の気候に起因するストレス要因が極域の海洋生態系に連鎖的影響を与え、漁業にも影響（確信度が高い）。（A5.2）
- ・20世紀以降の海洋温暖化は、潜在的な最大漁獲量の全体的な低下に寄与（確信度が高い）。（A5.4）
- ・人間活動、海面上昇、温暖化、極端な気候イベントの複合影響により、沿岸湿地のほぼ50%が過去100年間で失われた（確信度が高い）。（A6.1）

セクションB：予測される変化及びリスク

- ・海面上昇についてはRCP8.5シナリオにおける2100年予測が第5次評価報告書（AR5）よりも10センチ上方修正された。（B3.1）数百年単位では数メートル上昇すると予測される。（確信度が中程度）（B3.）
- ・今世紀末までにRCP8.5で食物網全体にわたる海洋生物の生物量は $15.0 \pm 5.9\%$ 減少し、潜在的最大漁獲量は20.5 – 24.1%減少することが予測される（確信度が中程度）。（RCP2.6の3~4倍）（B5.1）
- ・海洋の昇温、酸素の減少、海洋酸性化及び海面から深海への有機炭素のフラックスの減少により、石灰化が阻害され、冷水性サンゴ群集の崩壊が増幅（確信度が中程度）。（B5.4）
- ・暖水性サンゴはすでに高いリスクに曝されており、 1.5°C 上昇でも非常に高いリスクに移行すると予測される（確信度が非常に高い）。（B6）
- ・2100年までに世界の沿岸湿地の20-90%が消失すると予測される（確信度が高い）。（B6.2）

セクションC：海洋及び雪氷圏の変化に対する対応の実施

- ・適応による対応を策定し実施する現在のガバナンスの取り組みは、今後益々困難になり、場合によってはその限界まで追い込まれる（確信度が高い）。（C1）
- ・効果的な対応を実施するための主要な成功要因には、ガバナンスを行う当局の間の空間スケール及び計画期間に協力や調整の強化が含まれる。教育及び気候リテラシー、監視及び予想、全ての利用可能な知識源の利用、データ、情報及び知識の共有、資金、社会的な脆弱性及び衡平性への対応、並びに制度的な支援も重要である（確信度が高い）。（C4）

iv. 海洋・雪氷圏特別報告書の作成方法・執筆者・スケジュール

作成方法

- 基本的に、査読付き論文や公的報告書をレビューして作成される。新聞・雑誌・ウェブ上の記事は原典とされない。

執筆者

- 各国政府等からの推薦を踏まえ、IPCCが約40か国から101名の執筆者を選出。
- 日本からは、下記の4名が主執筆者もしくは査読編集者を担当した。

担当	執筆者(所属)
第1章 報告書の構成と背景	榎本 浩之 (国立極地研究所)
第2章 高山地域	平林 由希子 (芝浦工業大学)
第4章 海面水位上昇並びに低海拔の島嶼、沿岸域及びコミュニティへの影響	阿部 彩子 (東京大学)
第5章 海洋、海洋生態系及び依存するコミュニティの変化	須賀 利雄 (東北大学)

スケジュール

時期	内容
2017年3月 (IPCC第45回総会)	報告書のアウトラインの採択
2017年8月	執筆者決定
2018年5～6月	一次草案に対する専門家レビュー
2018年11月～ 2019年1月	二次草案に対する政府・専門家レビュー
2019年6～8月	最終政府レビュー
2019年9月 (IPCCC第51回総会)	政策決定者向け要約(SPM)承認、報告書本体受諾

v. 海洋・雪氷圏特別報告書において重要な中核的概念

海洋

相互につながっている塩水の水域で、地球の表面の71%を覆い、地球の水の97%を含み、地球の生物学的生息可能空間の99%を提供している。北極海、大西洋、インド洋、太平洋、及び南大洋、並びにそれらの周辺海域と沿岸海域が含まれる。

(IPCC SROCC 693頁 Glossary)

雪氷圏

陸域及び海洋の表面及びその下層で凍結している地球システムの構成要素で、積雪、氷河、氷床、棚氷、氷山、海水、湖水、河水、永久凍土及び季節凍土を含む。

(IPCC SROCC SPM 脚注1)

- 沿岸環境、極域、小島嶼(小島嶼開発途上国(SIDS[Small Islands Developing States])を含む)、及び高山地域と密接な関係にある人間コミュニティは特に、海面水位の上昇、極端な海面水位及び雪氷圏の縮小など、海洋及び雪氷圏の変化に曝されている。
- 沿岸からより離れた内陸のその他コミュニティも、極端な気象現象などを通じて、海洋の変化に曝されている。今日、約400万人の人々が北極域に定住しており、そのうち10%は先住民である。沿岸低平地には、現在約6億8000万人(2010年の世界人口の約10%)が居住し、2050年までに10億人以上に達すると予測される。SIDSには約6500万人が居住する。先住民を含む約6億7000万人(2010年の世界人口の約10%)が、南極以外の大際における高山地域に居住する。高山地域では、2050年までに人口が7億4000万～8億4000万人に達すると予測される(予測される世界人口の8.4～8.7%)。
- 自然及び人為起源の二酸化炭素(CO₂)及び熱の吸収(uptake)及び再配分、並びに生態系のサポートなど、気候システムにおける役割に加え、海洋及び／または雪氷圏が人々に提供するサービスには、食料及び水の供給、再生可能エネルギーの供給、並びに健康と福祉、文化的価値、観光、貿易及び運輸への便益を含む。
- 海洋及び雪氷圏の状態は、国連持続可能な開発目標(SDGs)に反映されている持続可能性の各側面と相互に作用する。

(IPCC SROCC SPM スタートアップボックスより)

v. 海洋・雪氷圏特別報告書において重要な中核的概念(続き)

海洋・雪氷圏の変化は地球上の私たちの生活にどのように影響するのか？

海洋・雪氷圏は、気候と気象を調整し、食料と水を供給し、経済・貿易・輸送を支え、文化を形成し、私たちの福祉に影響を与えており、海洋と雪氷圏に現在起こっている変化の多くは人間の活動の結果であり、全ての人々の生活に影響を及ぼすものである。

- ✓ 海洋は、人間が化石燃料の燃焼から放出してきたCO₂の約3分の1と、地球システム内の余剰熱の大部分(90%以上)を吸収することで、人類や生態系が陸上で経験する温暖化を遅らせている。雪と氷の反射面は、地球が吸収する太陽のエネルギー量を減らす。この効果は雪と氷が融けるにつれて減少し、北極圏全体の温度上昇の増幅に寄与する。また、海洋と雪氷圏は、水資源を提供することで生命を支えている。
- ✓ 現在20億人近くが沿岸域に居住し、約8億人が海拔10m未満の土地に住んでいる。海洋は、これらの人々の食料・経済・文化・福祉を直接支えており、さらに沿岸域に居住していない人々の生計も、食料・貿易・輸送を通じて海と密接に結びついている。一方で海洋は、特に沿岸域の低平地の住民とインフラに、熱帯低気圧・海洋熱波・海面水位の上昇・沿岸洪水・地下水資源への塩水侵入といったハザードももたらす。
- ✓ 高山地域と北極域では、約7億人が雪氷圏と密接に関わりながら生活を送っている。これらの人々(多くの先住民を含む)は、生計・食料と水の安全保障・移動や輸送・文化を、雪や氷河、及び海水に依存している。また、(氷河湖の)決壊洪水・地滑り・沿岸侵食など雪氷圏の変化に伴うハザードにも曝されている。極域及び高山域の変化は、海面水位の上昇や海流によって、世界の他の地域の人々にも広範な影響を及ぼしている。
- ✓ 海洋生態系は、温暖化・貧酸素化・酸性化という気候変動に起因する3つのストレス要因によって世界的に脅かされている。海洋熱波は海洋表層のいたる所で発生しており、海が温まるにつれて、より頻繁に、より激しくなっている。これらは、例えばサンゴ礁や魚の個体群などを危険に曝す疾病や大量死を引き起こしている。海洋熱波は、陸上で発生する熱波よりもはるかに長く継続し、温水域から離れることができない生物にとって特に有害である。



海洋と雪氷圏の変化による将来的リスク及び影響の速度と強度は、今後のGHG排出量に大きく依存する。

- ✓ 排出量を抑制すればするほど、海洋と雪氷圏の変化を遅らせ制限することができ、将来的にリスクと影響が軽減される。

A. 観測された変化及び影響

セクションAの大まかな流れ	項目
観測された自然の(physicalな)変化	A1～A3
生態系に対する観測された影響	A4～A6
人々及び生態系サービスに対する観測された影響	A7～A9

海洋・雪氷圏の変化による観測された地域別影響(まとめ)

海洋で観測された影響

(それぞれの項目の詳細はSROCC SPM セクションA (本資料のスライド12~49頁)参照)

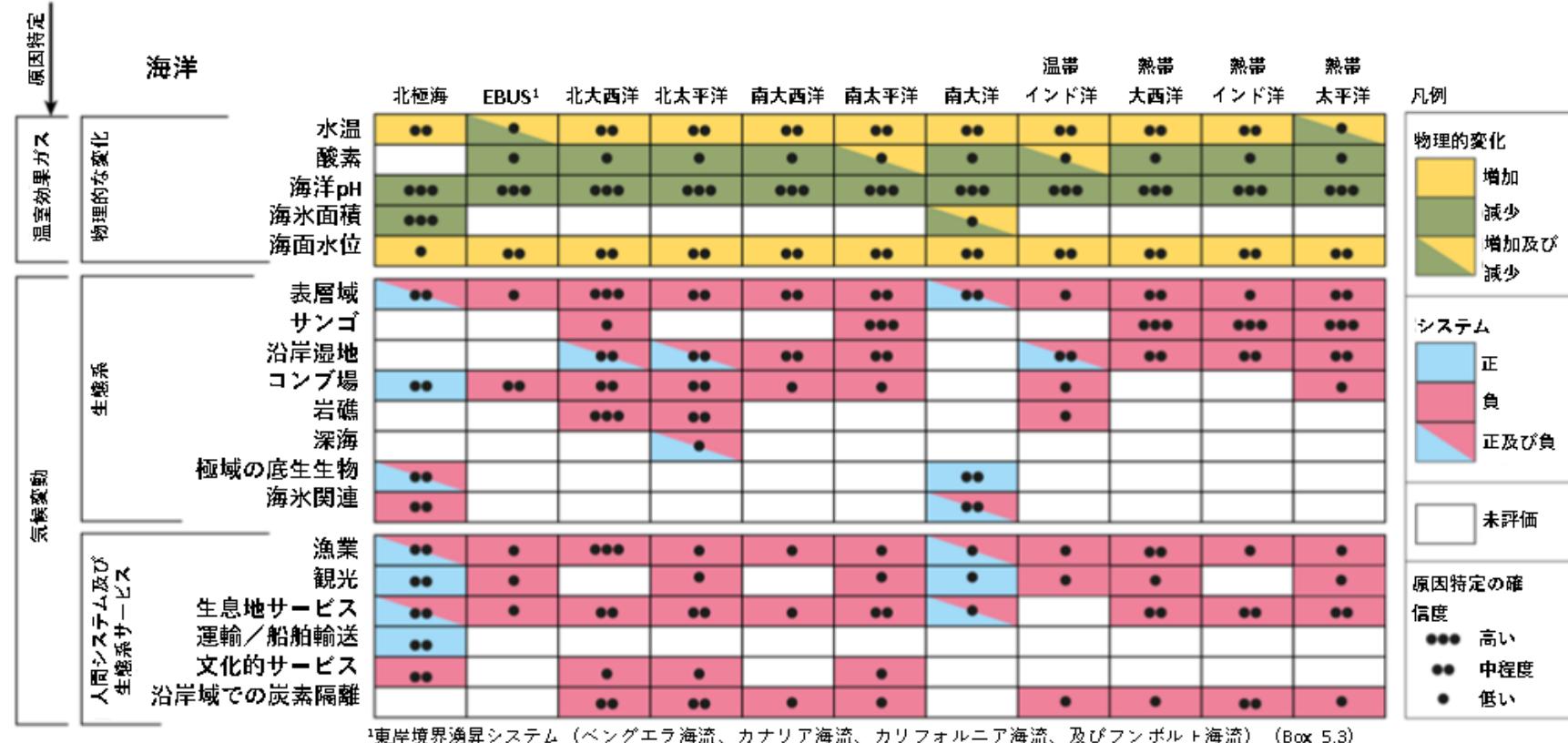


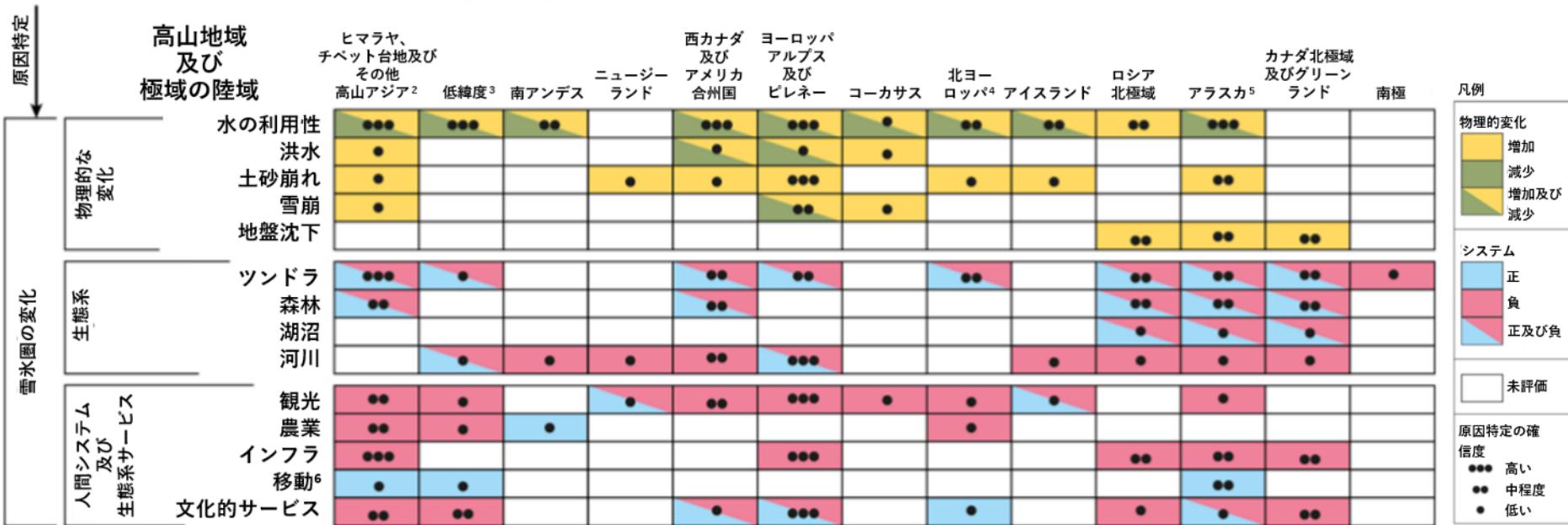
図. 海洋において観測された地域のハザード及び影響の統合。各地域について、物理的な変化について、主要な生態系への影響、並びに人間システム及び生態系の機能・サービスに対する影響を示す。物理的な変化は、黄色／緑色は、測定された変数の数量または頻度の増加・減少をそれぞれ示す。生態系、人間システム、及び生態系サービスに対する影響について、青色または赤色は観測された影響がそれぞれ所与のシステムまたはサービスに対して正(有益な)または負(悪い)の影響であることをそれぞれ示す。「増加及び減少」を示すセルは、当該地域においては物理的变化の増加及び減少の両方が見られるが、必ずしも同等ではないことを示す。「正及び負」の原因特定ができる影響を示すセルについても同様である。その他の各項目の詳細についてはSROCC SPM 図SPM.2の解説参照。

出典: 図, IPCC SROCC SPM 図SPM.2(抜粋)

海洋・雪氷圏の変化による観測された地域別影響(まとめ)(続き)

高山地域及び極域の陸域において観測された影響

(それぞれの項目の詳細はSROCC SPM セクションA (本資料のスライド12~49頁)参照)



²ヒンドゥークシュ、カラコラム、横断山脈、天山山脈を含む。³熱帯アンデス、メキシコ、東アフリカ及びインドネシア、

⁴フィンランド、ノルウェー、スウェーデンを含む。⁵ユーベン準州及びブリティッシュ・コロンビア内の隣接するカナダの地域を含む。

⁶「移動」は、価値の有無ではなく、正味の移動の増減を意味する。

図. 高山地域及び極域の陸域において観測された地域のハザード及び影響の統合。各地域について、物理的な変化について、主要な生態系への影響、並びに人間システム及び生態系の機能・サービスに対する影響を示す。物理的な変化は、黄色／緑色は、測定された変数の数量または頻度の増加・減少をそれぞれ示す。生態系、人間システム、及び生態系サービスに対する影響について、青色または赤色は観測された影響がそれぞれ所与のシステムまたはサービスに対して正(有益な)または負(悪い)の影響であることをそれぞれ示す。「増加及び減少」を示すセルは、当該地域においては物理的変化の増加及び減少の両方が見られるが、必ずしも同等ではないことを示す。「正及び負」の原因特定ができる影響を示すセルについても同様である。その他の各項目の詳細についてはSROCC SPM 図SPM.2の解説参照。



世界中で氷床及び氷河の質量が減少している

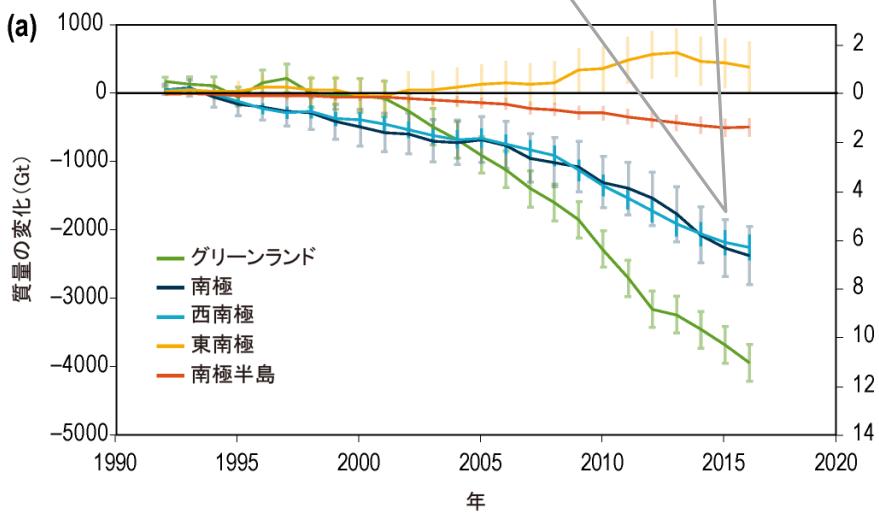
■ 世界中で氷床及び氷河の質量が減少している(確信度が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM A1.1)

- 2006～2015年に、南極氷床は 155 ± 19 Gt／年(世界平均海面水位上昇として 0.43 ± 0.05 mm／年に相当)※の速度で質量が減少しており、それは主に、西南極氷床の流出を招いている、主要な流出氷河の急速な薄化と後退によるものである(確信度が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM A1.1)

*氷360Gtは、世界平均海面水位1mmに相当する。



- 2006～2015年に、グリーンランド氷床※※は 278 ± 11 Gt／年(世界平均海面水位上昇として 0.77 ± 0.03 mm／年に相当)の平均速度で質量が減少しており、そのほとんどは表面の融解による(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A1.1)

※※周縁氷河を含む。

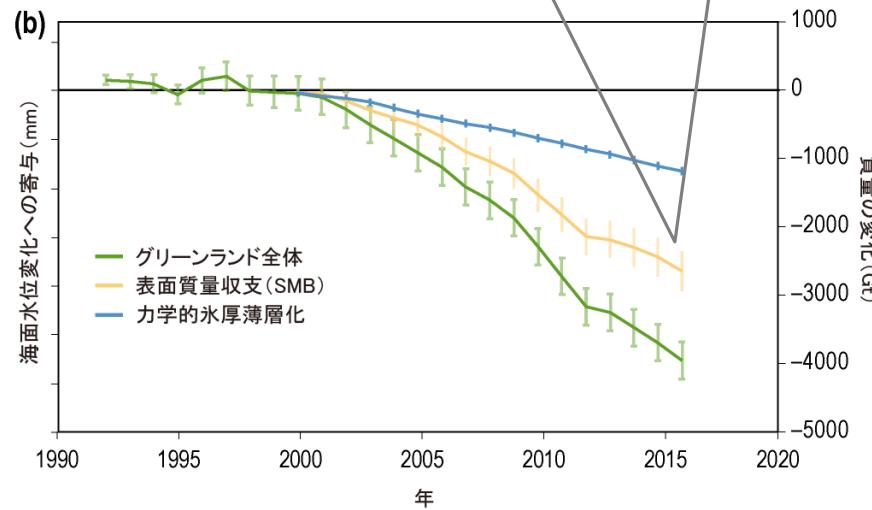


図. (a) 氷床質量の累積変化(1992–2016年)。(b) グリーンランド氷床(GIS)の質量変化とその構成要素(2000年から2016年までの表面質量収支(SMB)(オレンジ色)と力学的氷厚薄層化(青色))。



世界中で氷床及び氷河の質量が減少している(続き)

■ 世界中で氷床及び氷河の質量が減少している(確信度が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM A1.1)

- グリーンランド及び南極を除く世界中の氷河は、2006～2015年に $220 \pm 30 \text{ Gt/年}$ (世界海面水位上昇 $0.61 \pm 0.08 \text{ mm/年}$ に相当)の平均速度で質量が減少した。 (IPCC SROCC SPM A1.1)

表 2006～2015年の氷河の質量収支 (出典: IPCC SROCC (202頁) 第2章 表2A(抜粋))

質量収支	地域	単位面積当たり $\text{kg m}^{-2}/\text{年}$	総量 Gt/年	海面水位換算 mm SLE/年
11の高山域 面積= $251,604 \text{ km}^2$ 体積= $87 \pm 15 \text{ mm SLE}$	アラスカ、カナダ西部及び米国、アイスランド、スカンジナビア、北アジア、中央ヨーロッパ、コーカサス及び中東地域、アジアの高山地域、低緯度域、南アンデス、並びにニュージーランドの11の高山域の合計(SROCC第2章参照)。次頁に詳細。	-490 ± 100	-123 ± 24	0.34 ± 0.07
北極域 面積= $422,000 \text{ km}^2$ 体積= $221 \pm 25 \text{ mm SLE}$	アラスカ、アイスランド及びスカンジナビア(SROCC第2章参照)、並びにカナダ北極域、グリーンランド周縁、ロシア北極域、及びスバルバル(SROCC第3章参照)の合計。	-500 ± 70	-213 ± 29	0.59 ± 0.08
世界 南極とグリーンランドを除く 面積= $483,155 \text{ km}^2$ 体積= $221 \pm 23 \text{ mm SLE}$		-460 ± 60	-220 ± 30	0.61 ± 0.08
世界 面積= $705,739 \text{ km}^2$ 体積= $324 \pm 84 \text{ mm SLE}$		-390 ± 160	-278 ± 113	0.77 ± 0.31

世界中で氷床及び氷河の質量が減少している(続き)

高山域の氷河の減少:

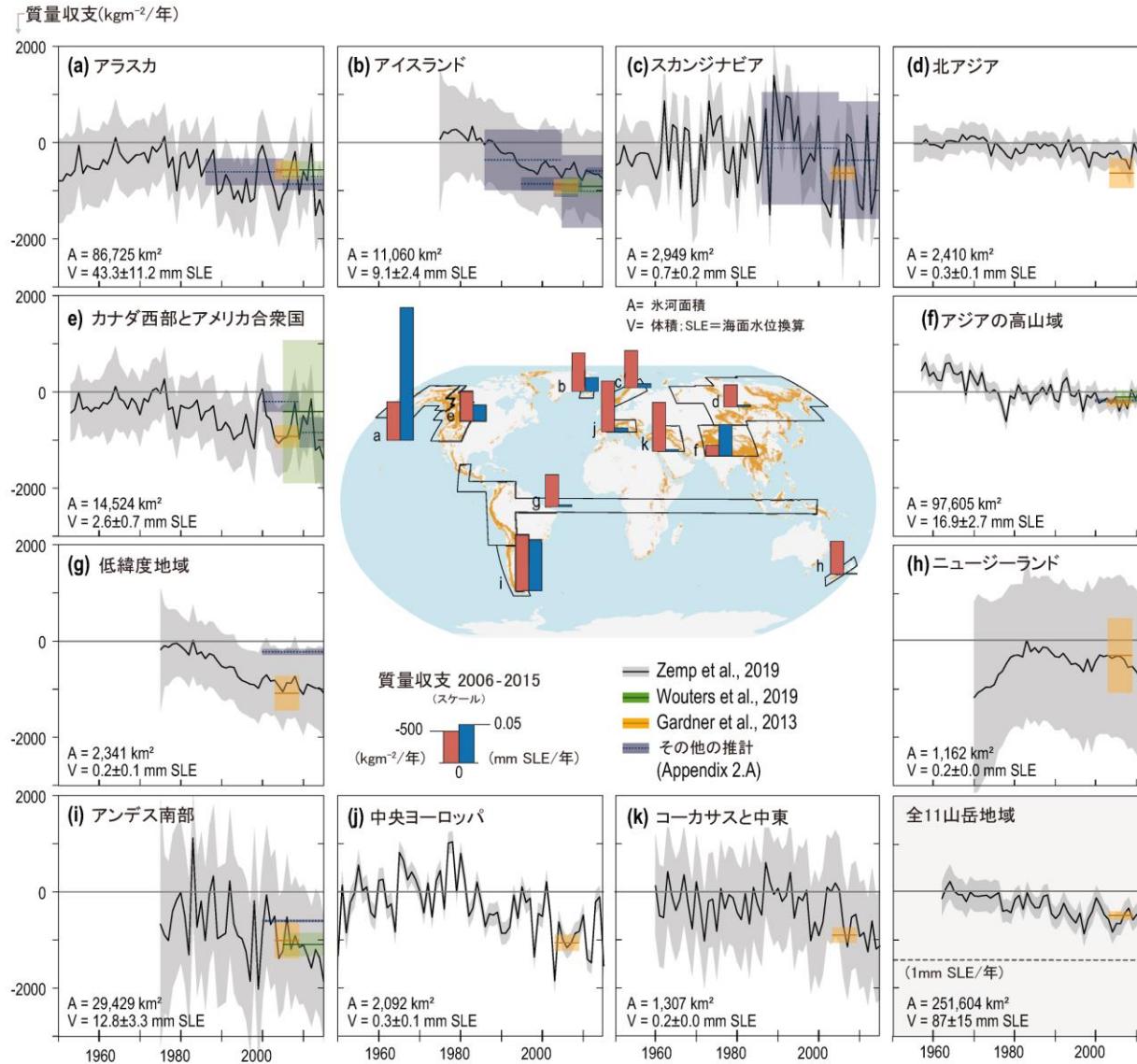


図. 11の高山地域の氷河の質量収支及びその合計。地図上の棒グラフは、各地域の質量収支の2006～2015年の平均値(赤色:単位面積当たり、青色:海面水位換算)。

(参考)

その他の極域の氷河の質量収支については、SROCC 241頁 第3章 図 3.8 参照。

積雪の減少

- 北極域における6月の積雪面積は、主に地上気温の上昇により、1967年～2018年に10年あたり $13.4 \pm 5.4\%$ 減少し、合計約250万km²の減少となった（確信度が高い）。
 - ほぼすべての高山地域において、特に標高の低い地域において、積雪の深さ、面積及び期間は最近数十年の間に減少している（確信度が高い）。
- (IPCC SROCC SPM A1.2)

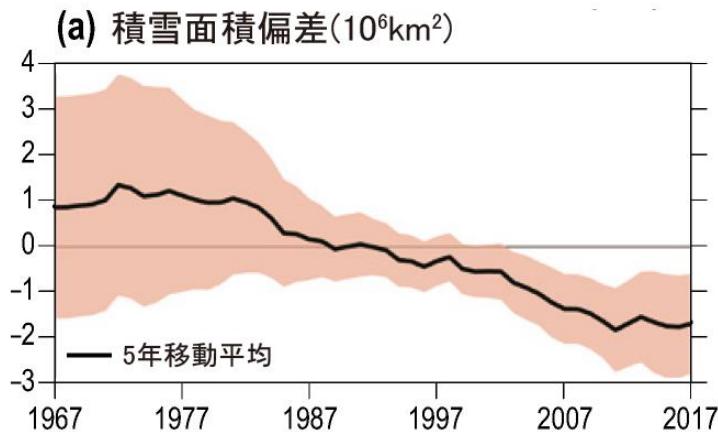


図. 北極域における6月の積雪面積
(1981–2010年の気候値に対する偏差)。

- ・ 観測のまばらさによる不確実性があるにもかかわらず、ここ数十年で北極の陸域全体で地表面温度が上昇し、北極域の積雪面積と期間が減少した（確信度が高い）。

(IPCC SROCC 247頁 第3章 3.4.1.1.3)

- ・ ほぼすべての高山地域、特に標高の低い地域において、積雪の期間が減少し、減少の程度は10年につき5日（可能性が高い範囲は10年につき0～10日）であった。標高の低い地域の積雪の深さ及び面積も減少したが、年ごとの変動が大きい。

(IPCC SROCC 133頁 第2章 エグゼクティブサマリー)

永久凍土の温度は上昇している

- 永久凍土の温度は、2007～2016年に極域及び世界全体の山岳地域において最近 $0.29 \pm 0.12^{\circ}\text{C}$ 上昇したのを含め、1980年代から現在まで記録的に高い水準にまで上昇している（確信度が非常に高い）。

(IPCC SROCC SPM A1.3)

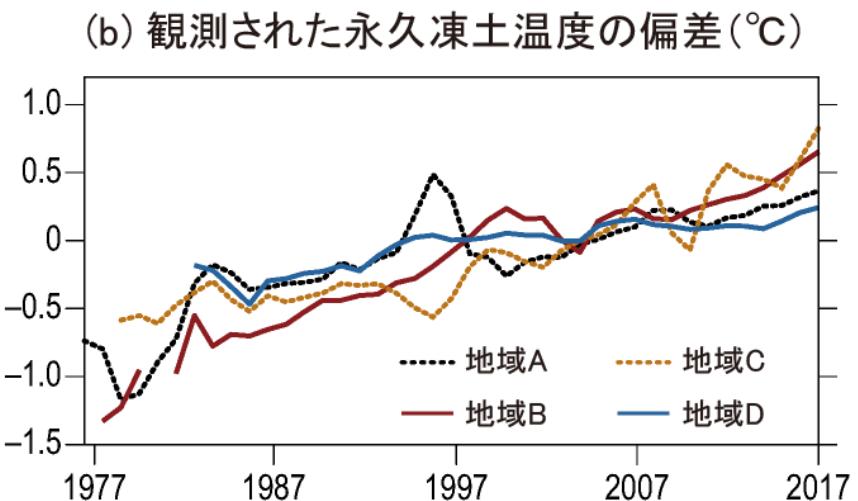


図. 永久凍土の温度偏差。

- 地域A: スカンジナビア、スバルバル、及びロシア・シベリアの連続～非連続永久凍土
 地域B: アラスカ北部、ノースウェスト準州(カナダ)、及びシベリア北東部の低温連続永久凍土
 地域C: カナダ東部及びカナダ極北域の低温連続永久凍土
 地域D: 中央アラスカ及びカナダ北西部の非連続永久凍土

- 北極域及び北方(boreal)の永久凍土は、1460～1600 Gtの有機炭素を含み、これは大気中の炭素のほぼ2倍である（確信度が中程度）。北半球の永久凍土地域が、現在融解によって追加的なメタン及び CO_2 が正味で放出していることについては、証拠が中程度で見解一致度が低い。
- 永久凍土の融解及び氷河の後退により高山の山腹斜面の安定性が低下している（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A1.3)

- 2007年から2016年の間に、北極域及び南極域の連続帶永久凍土の温度は、それぞれ $0.39 \pm 0.15^{\circ}\text{C}$ 及び $0.37 \pm 0.10^{\circ}\text{C}$ 上昇した。
- 永久凍土の変化は、有機炭素の微生物分解によって放出される二酸化炭素とメタンの排出、または閉じ込められていたメタンの放出を通じて、地球の気候に影響を与える。

(IPCC SROCC 206頁 第3章 エグゼクティブサマリー)

地球温暖化係数: 単位質量(例えば1kg)の温室効果ガスが大気中に放出されたときに、一定時間内(例えば100年)に地球上に与える放射エネルギーの積算値(温暖化への影響)を、 CO_2 に対する比率として見積もったもの。メタンの地球温暖化係数は28。

北極海の海氷面積は減少した

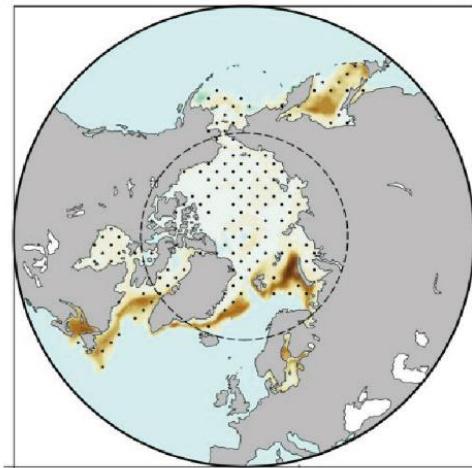
- 1979～2018年に、北極域の海氷面積は1年間のすべての月において減少した可能性が非常に高い。

(IPCC SROCC SPM A1.4)

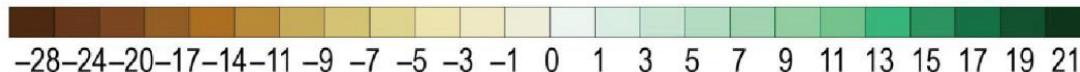
- 9月の海氷は[1979～2018年の間]10年につき $12.8 \pm 2.3\%$ 減少している可能性が非常に高い。9月のこれらの海氷の変化は少なくとも過去1000年の間に前例がない可能性が高い。(IPCC SROCC SPM A1.4)
- 海氷の変化は夏(特に9月)に最も大きく、冬に最も小さい。

(IPCC SROCC 213頁 第3章 3.2.1.1.1)

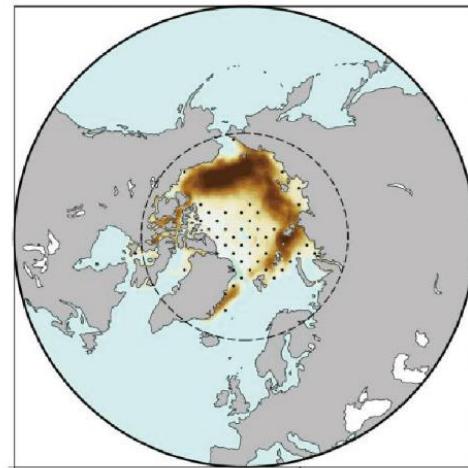
(b) 3月の海氷トレンド
北極域



海氷密接度のトレンド(単位: %/10年)



(d) 9月の海氷トレンド
北極域



- 夏の北極海において海氷の減少が最も顕著なのは東シベリア海(9月のトレンドの22%を占める)、及びボーフォート海、チュクチ海、ラプテフ海、カラ海である。
- 冬の北極海において海氷の減少が最も顕著なのはバレンツ海であり、3月の環北極海氷の減少の27%を占めている。

(IPCC SRPCC 213頁 第3章 3.2.1.1.1)

図. 1982–2017年の北極海の3月(左)及び9月(右)の海氷密接度のトレンド。点描した地域のトレンドは統計的に有意ではないことを示す。

北極海域の名称については、スライド125頁参照。

北極海の海氷面積は減少した(続き)

- 北極域の海氷は薄くなっており、同時に、より若い氷に移行しており、1979～2018年に少なくとも5年を経過した多年氷が占める面積の割合が約90%減少している(確信度が非常に高い)。
- 夏季の海水及び春季の陸域の積雪の減少によるフィードバックは、北極域において拡大する昇温に寄与しており(確信度が高い)、同地域の地上気温が、過去(直近の)20年間で世界平均の2倍以上上昇している可能性が高い。
- 北極域の海氷の変化は、中緯度の気象に影響を与える可能性を有するが(確信度が中程度)、特定の気象の種類に対してこの影響を検出する確信度が低い。※
- 南極の海氷面積全体については、地域間のシグナルの違い及び大きな年々変動により全般的に統計的に有意な変化傾向を示していない(1979～2018年)(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A1.4)

※(参考)

SROCC 第3章 Box 3.2(216頁)には、極域の雪氷圏が中緯度の気象に影響を与える可能性に関する最新の知見がまとめられており、北極域の海氷の変化と東アジアや北米東部の寒波の発生の関連性を示す事例が紹介されている。

- 海氷面積のこれまでの経年変化は、将来予測と共にスライド67頁に示した。



海洋は世界全体で昇温している

- 世界全体の海洋は、ほぼ確実に 1970年より弱まるうことなく昇温しており、気候システムにおける余剰熱の 90%超を取り込んできた(確信度が高い)。1993年より、海洋の昇温率は2倍を超えている(可能性が高い)。

(IPCC SROCC SPM A2.)

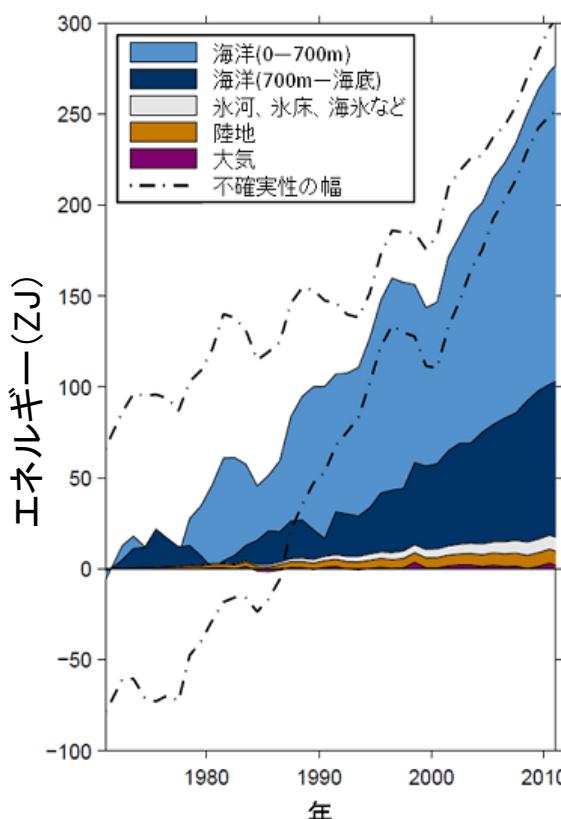


図. 地球の気候システムの各要素に蓄積されたエネルギー量の変化(1971年に対する1971～2010年の値)。

- IPCC 第5次評価報告書(AR5)に記述された海洋の昇温傾向が続いている。
- 1993 年以降、海洋の昇温率、つまり吸収される熱量は、1969～1993 年に $3.22 \pm 1.61 \text{ ZJ/年}$ (水深0～700 m) 及び $0.97 \pm 0.64 \text{ ZJ/年}$ (700 ～2000 m) であったのに対し、1993～2017年に $6.28 \pm 0.48 \text{ ZJ/年}$ (0～700 m) 及び $3.86 \pm 2.09 \text{ ZJ/年}$ (700～2000 m)*と2 倍以上に増加しており(可能性が高い)、人為起源の強制力によるものと原因が特定できる(可能性が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM A2.1)

*ZJはゼタジュールと読み、 10^{21} ジュールに等しい。海洋全体を1°C昇温するのに約 5500ZJ 必要であり、144ZJで上層部100mを約1°C上昇させる。

表. 水深0～700m及び700～2000mの層における海洋貯熱量の増加率(観測結果に基づく推定値)及び可能性が非常に高い範囲。

海洋の熱吸収率、ZJ／年(観測による推定値)				
期間	1969-1993年	1993-2017年	1970-2017年	2005-2017年
0-700 m	3.22 ± 1.61	6.28 ± 0.48	4.35 ± 0.80	5.31 ± 0.48
700 -2000 m	0.97 ± 0.64	3.86 ± 2.09	2.25 ± 0.64	4.02 ± 0.97

出典：表, IPCC SROCC 458頁 第5章 表5.1(抜粋)

海洋は世界全体で昇温している(続き)

- 1970～2017年において、南大洋は、世界全体の海洋の上層2,000m(2,000m以浅)で増加した(得られた)熱の総量の35～43%を占めた(確信度が高い)。その割合は、2005～2017年に45～62%に増加した(確信度が高い)。
- 2000mより下の深海は、1992年以降昇温し(可能性が高い)、特に南大洋において昇温した。

(IPCC SROCC SPM A2.2)

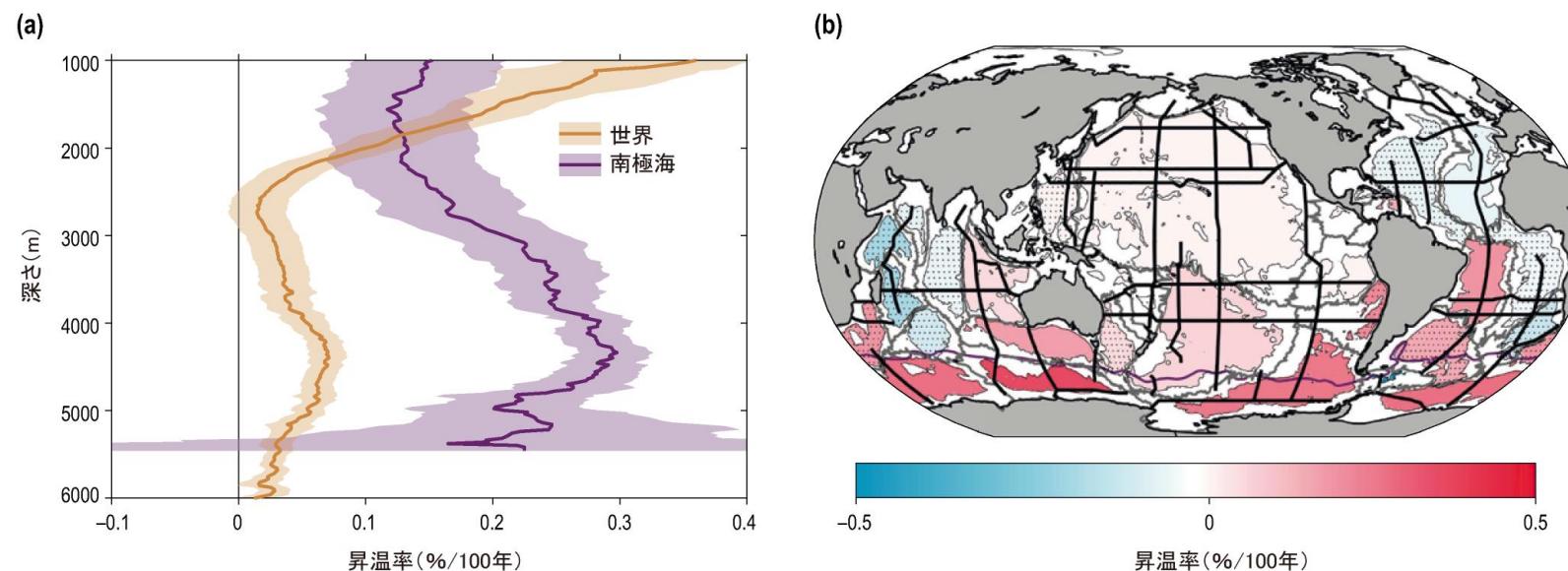
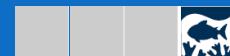


図. 1981～2019年に観測された昇温率。

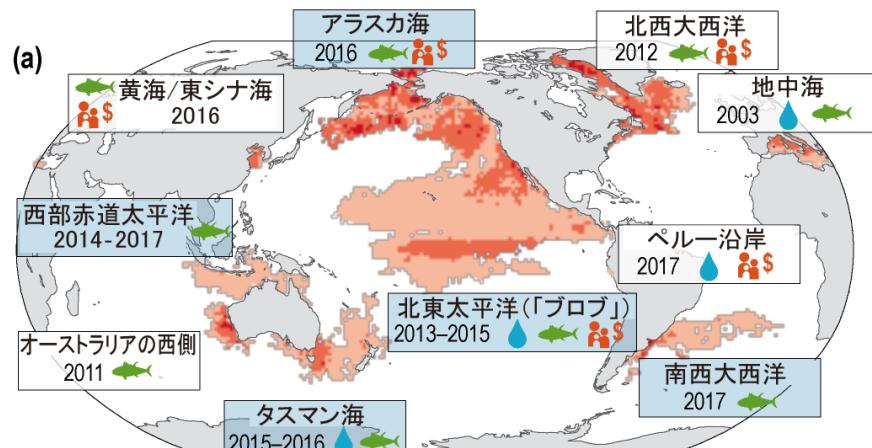
(a) 世界全体(オレンジ色)及び亜南極前線(南緯約55°付近の(b)の紫色の線)の南側(紫色)の水深に応じた昇温率。
 (b) 様々な海盆(境界が灰色の線で示されている)の深海(水深4000m以深)における平均昇温率。点描した地域は有意な変化がない海盆を示す。



海洋熱波の頻度と強度が増大した

- 海洋熱波は、1982年から、発生頻度が2倍に増大した可能性が非常に高く、その強度は増大している（確信度が非常に高い）。

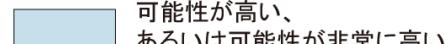
(IPCC SROCC SPM A2.)



海洋熱波に起因する影響
が見られる分野



極端な水温の原因を
人為起源の気候変動に
帰すことができるか



- 世界全体で、海洋における熱に関連する現象が増加している。日平均海面水温が1982～2016年の各地点の99パーセンタイルを超える場合（の現象）と定義される海洋熱波は、その頻度が倍増し、より長い期間にわたって持続し、より強く、より広大になっている（可能性が高い）。
- 2006～2015年に発生した海洋熱波の84～90%は人為起源の昇温に原因特定できる可能性が非常に高い。

(IPCC SROCC SPM A2.3)

図. 過去20年間に観測された海洋熱波の事例と、それらが自然システム、物理的システム、及び社会経済システムに与えた影響。カラーマップは海洋熱波発生時の海面温度偏差の最大値を示している。ここで、海洋熱波は99パーセンタイルを超過している空間的・時間的にまとまつた一連のグリッドポイントとして定義され、99パーセンタイルは1982～2011年の参照期間について（データの季節性を取り除いた後に）求められた。

海洋熱波の頻度と強度が増大した(続き)

表. 観測された海洋熱波の事例



: 海洋熱波



: 干ばつ・降水・海洋熱波による複合的事象

年	地域	深刻なハザード	人為起源の気候変動への原因特定	影響、コスト
1998	西太平洋赤道域, グレートバリアリーフ, オーストラリア	極端な海面温度(SST)	頻度の増加が地球温暖化によるものかは不明。	サンゴの白化
2003	地中海	6-8月の海水温は平均的な気候値を1°C~3°C上回った。	気温の上昇、及び風応力の減少と大気-海洋間の交換の減少。頻度の増加が地球温暖化によるものかは不明。	大型無脊椎動物種の大量死、2003年の中央ヨーロッパにおける熱波の増幅
2010	西太平洋赤道域, グレートバリアリーフ, オーストラリア	極端な海面温度	頻度の増加が地球温暖化によるものかは不明。	サンゴの白化
2011	西オーストラリア	西オーストラリア地域での過去140年間における最も極端な温暖化事象であり、ニンガール(南緯22度)からケープ・ルーイン(南緯34度)の2000km超の海岸線に沿って、海水温が2~4°C高い状態が10週間以上続いた。SSTは最大で平年値を5°C上回った。	極方向に流れているルーイン海流の南半球夏季の昇温が、2010~2011年のラニーニャ現象に関連する海洋と大気のテレコネクションによって引き起こされた。1970年代以降、太平洋10年規模振動の負の状態と人為的な気候変動によってこのような状況は増加した。温帯の海洋生態系の変化は気候が駆動要因であった。	広範囲にわたるサンゴの白化と魚の大量死。 温帯性海藻、固着性無脊椎動物、及び底生魚の生物多様性パターンが変化したことで、生息地を形成する海藻の量が減少した。
2012	北西大西洋	2012年前半、メイン湾からハタラス岬までの海面温度が記録的な値となつた(平年値を1°C~3°C上回った)。	ジェット気流の位置が異常だったことによる大気からの局所的な昇温。頻度の増加が地球温暖化によるものかは不明。	暖水性種の北方向への移動、ロブスターの局所的な移動の時期の早期化。
2013 - 2015	北東太平洋	記録に残っている海洋熱波の中で最大級('プロブ'と呼ばれる)。南カリフォルニア沖の海面温度偏差の最大値は6°Cで、ブリティッシュ・コロンビア州のフィヨルドの深部では中層の高温状態が2018年の初めまで続いた。	北東太平洋全体に強い正の海面気圧偏差(放熱量の低下を含む)をもたらした、北太平洋と弱いエルニーニョ現象の間のテレコネクションへの応答として、2013年に出現。地球温暖化により、地域的な海洋熱波の発生確率が増加した。	海洋の食物網全体に多大な影響。米国西海岸に沿って有毒藻類のブルームが大発生し、漁業に影響を与えた。海鳥の死亡率の増加。米国西海岸全体の干ばつ状態の一因となった。

海洋熱波の頻度と強度が増大した(続き)

表. 観測された海洋熱波の事例(続き)



: 海洋熱波



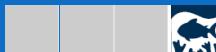
: 干ばつ・降水・海洋熱波による複合的事象

年	地域	深刻なハザード	人為起源の気候変動への原因特定	影響、コスト
2014 - 2017	西太平洋赤道域、 グレートバリア リーフ、オーストラ リア	極端な海面温度(SST) 海洋熱波	地球温暖化により、地域的な海洋熱波の発生確率が増加した。	人為起源の温室効果ガス(GHG)の排出が、海面の異常高温状態と熱ストレスの蓄積を通じて、サンゴの白化のリスクを高めた。
2015 - 2016	タスマン海	海洋熱波が251日間続き、 最大海面温度は1982～ 2005年平均を2.9°C上 回った。	東オーストラリア海流の南向きの輸送 が風応力の増加によって強化された。 海洋熱波の強度・持続期間共に前例 がないもので、明らかに人為起源の 影響を受けたものである。	養殖貝における病気の発生、野生の貝の大量死。複数の種が 以前の記録よりもさらに南で発見された。干ばつとそれに続い た激しい降雨が、タスマニア北東部で深刻な山火事とその後の 洪水を引き起こした。
2016	ベーリング海/ア ラスカ湾	海面温度の最高値が 1981～2010年の気候値を 6°C上回る記録的な高温 状態。	原因は人為起源の気候変動によるものとほぼ断言できる。	アラスカの海洋生態系への影響。例えば、数種類の特定の植物プランクトンに有利な状態になったが、記録上最大規模の有害藻類のブルームの1つが発生し、2015年にアラスカ沿岸に到達した。また、カケマック湾で珍しい麻痺性貝毒が発生し、2015年と2016年にカキ養殖場が閉鎖された。2015～2016年に、ウミガラス等の海鳥種の劇的な死亡事例が確認された。
2016	東シナ海	海洋熱波	昇温の主な原因是、海洋の移流(- 0.18°C, 24%)と正味の熱収支(-0.44°C, 58%)であったとされている。	海洋生物への影響
2017	黄海/東シナ海	海面温度が平年値を2°C ～7°C上回った。	頻度の増加が地球温暖化によるもの かは不明。	海洋生物への影響
2017	ペルシャ湾	サンゴ礁の底部での熱ス トレスが週積算高水温 (degree-heating week) 5.5°Cとなる、湾内の深刻 な昇温。	サンゴの大量死の原因是、海底温度 の上昇によるとされている。	湾内のサンゴの94.3%が白化した。

海洋熱波の頻度と強度が増大した(続き)

表. 観測された海洋熱波の事例(続き)  : 海洋熱波  : 干ばつ・降水・海洋熱波による複合的事象

年	地域	深刻なハザード	人為起源の気候変動への原因特定	影響、コスト
2017	ペルー沿岸部	ペルー北部の沿岸部において、浅い海洋で最大10°Cの大幅な昇温。	頻度の増加が地球温暖化によるものかは不明。	大雨と洪水を引き起こした。カタクチイワシへの影響(脂肪含有量と繁殖戦略としての早期産卵の低下)。
2017	南西大西洋	2017年の2~3月に、南緯32度と南緯38度の間の海面温度がそれまでの最高値を1.7°C上回った。	気温の上昇と風速の低下によって海洋熱波が発生した。頻度の増加が地球温暖化によるものかは不明。	魚の大量死



海洋上層の密度成層が強まっている

- 1970年以降、海洋の上層200m(200m以浅)で、密度成層※が強まっている(可能性が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM A2.4)

*SROCCにおいて、密度成層は、より浅い層とより深い層の間の密度の対比と定義される。成層化の拡大によって熱、塩分、酸素、炭素及び栄養塩の垂直方向の交換を減少させる。

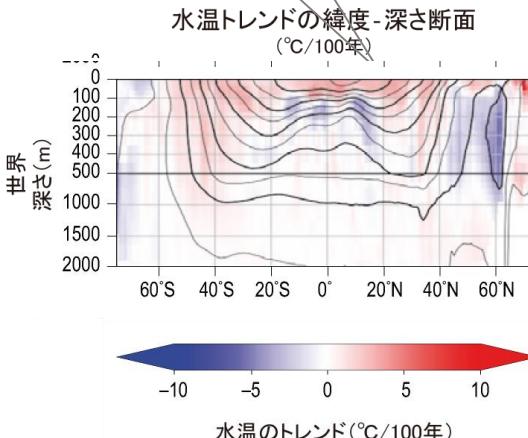
- 観測された表層水温の昇温及び高緯度における淡水の増加により、海洋表層は海洋のより深い層に比べて密度が一層小さくなっている(確信度が高い)、表層水と深層水の混合が抑制されている(確信度が高い)。
- 上層200m(200m以浅)の成層度の平均は1971～1990年の平均と1998～2017年の平均の間で $2.3 \pm 0.1\%$ (可能性が非常に高い範囲)増加した。
- 海洋の温暖化と成層度の増加に応答し、外洋の栄養循環がかき乱されることで、一次生産者に地域ごとに異なる影響を与えており(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A2.4)

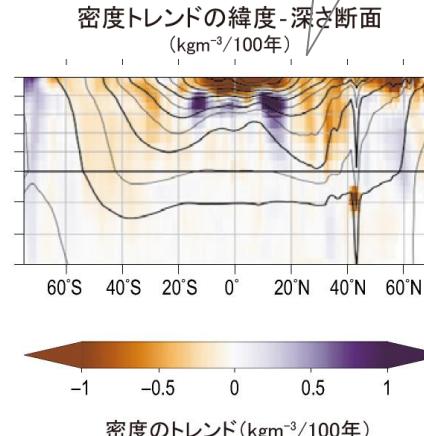
(IPCC SROCC 450頁 第5章 エグゼクティブサマリー)

表層水温の昇温

(a) 観測から推定した(2005-2009)～(2013-2017)のトレンド



海洋表層の密度の低下

密度トレンドの緯度-深さ断面
(kgm⁻³/100年)

高緯度で淡水流入増加

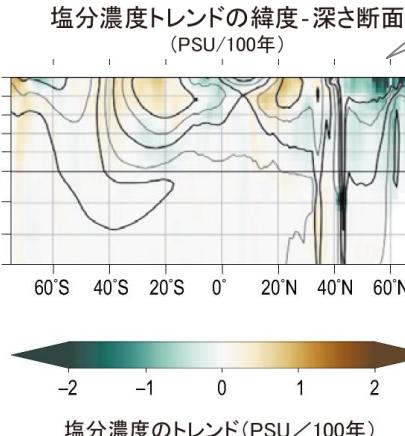
塩分濃度トレンドの緯度-深さ断面
(PSU/100年)

図. 観測から推定された表層2000mの海水・質量特性(左:水温、中央:密度、右:塩分濃度)のトレンドの緯度-深さ断面(2013～2017年平均から2005～2009年平均を差し引いて算定)。大西洋及びインド・太平洋に関する同様の図は、SROCC 第5章図5.3参照。

海洋の酸性化が進行している

- 海洋がより多くのCO₂を吸収することによって、海面(表面海水)の酸性化が進行している(ほぼ確実)。

(IPCC SROCC SPM A2.)

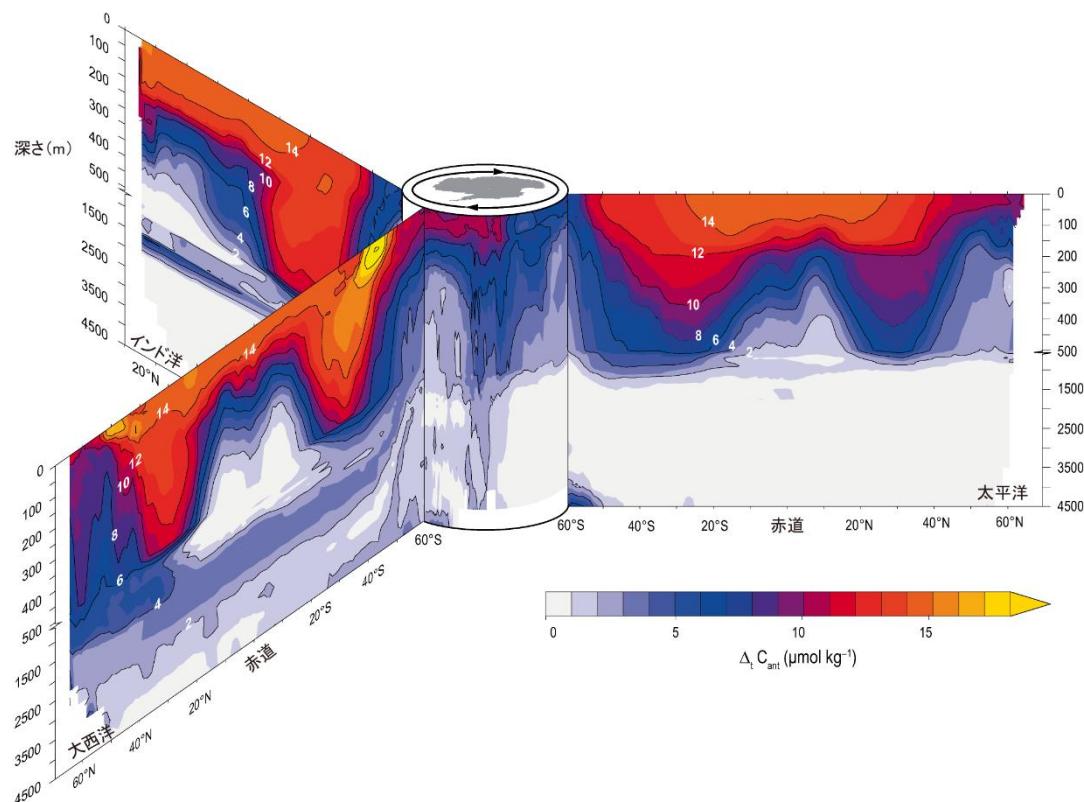


図. 各海盆における、1994年から2007年までの人為起源のCO₂濃度の変化。中央の南大洋の周りに各海盆(太平洋、インド洋、大西洋)における緯度-深さ断面を示してある。表層500mについては拡大表示してある。

- 1980年代以降、海洋は人為起源の二酸化炭素排出総量の20~30%(可能性が非常に高い)を吸収し、さらなる海洋酸性化をもたらしている。
- 外洋の海面のpHは、1980年後半から10年につき0.017~0.027pH値の割合(可能性が非常に高い範囲)で低下しており※、海洋表層のpHの低下は、海洋面積の95%より広い範囲で、背景にある自然変動を超えて生じている可能性が非常に高い。
(IPCC SROCC SPM A2.5)
- 海洋の酸性化は、炭酸イオン濃度の低下をもたらすことで炭酸カルシウムの結晶体の安定性を低下させており、これは特に湧昇及び高緯度地域の海洋で顕著である。

(IPCC SROCC 第5章 エグゼクティブサマリー)

※15年以上に及ぶ現象の記録に基づく。



海洋の溶存酸素の減少

■ 海面から水深1000mまで酸素の減少が起きている(確信度が中程度)。(IPCC SROCC SPM A2.)

- 1970～2010年にわたるデータセットによれば、外洋では水深1,000mより上層(1,000m以浅)で、酸素が0.5～3.3%減少している可能性が非常に高く、それに伴い酸素極小層の体積が3～8%拡大している可能性が高いことが示されている(確信度が中程度)。
- 酸素の減少は主に海洋の成層化の強まり※、ベンチレーション(通気)の変化及び生物地球化学に起因する(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A2.6)

表. 1970－2010年に観測された、海洋の各層の溶存酸素の世界平均の変化。*酸素極小層の変化については、溶存酸素濃度が $80 \mu\text{mol L}^{-1}$ 未満である体積の変化。

層	変化	信頼区間 (90%)
0-100 m	-1.11%	±0.95%
100-600 m	-2.09%	±1.42%
0-1000 m	-1.93%	±1.39%
600 m - 海底	-1.16%	±0.84%
酸素極小層(OMZ)*	5.64%	±2.66%
世界	-1.15%	±0.88%

出典: 表, IPCC SROCC 472頁 第5章 表5.2(抜粋)

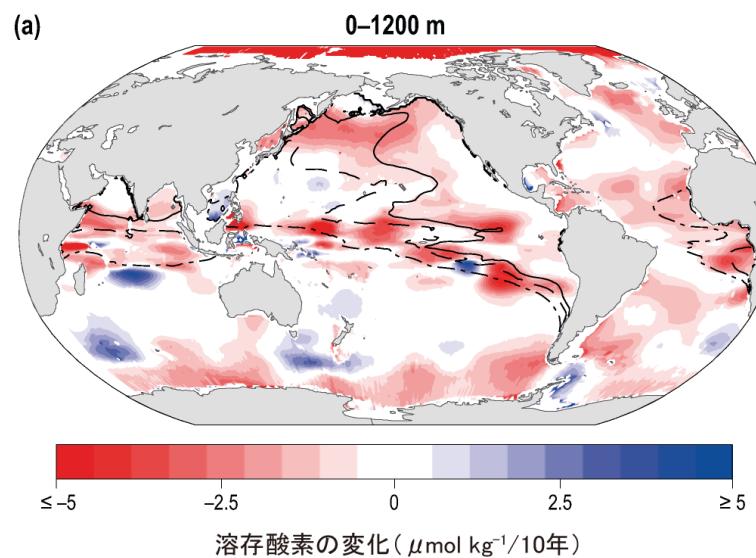


図. 水深0-1200 mの層における1960-2010年の溶存酸素の変化(単位: $\mu\text{mol kg}^{-1}/10\text{年}$)。地図上の線は、水塊内のどこかに酸素濃度 $80 \mu\text{mol kg}^{-1}/10\text{年}$ 未満(一点鎖線)、 $40 \mu\text{mol kg}^{-1}/10\text{年}$ (破線)、及び $20 \mu\text{mol kg}^{-1}/10\text{年}$ (実線)の酸素極小層がある領域の境界を示している。

出典: 図, IPCC SROCC 472頁 第5章 図5.9(抜粋)



大西洋子午面循環(AMOC)の減衰

- 観測(現場観測(2004–2017年)及び海面水温の復元を含む)は、大西洋子午面循環(AMOC)が1850～1900年に比べて弱まっていることを示唆する(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM A2.7)

- 観測記録の長さが限られているため、その[AMOCの]弱化の規模を定量化、または人為起源の強制力が原因であると適切に特定するにはデータが不十分である。
- 原因特定は現在可能でないが、1850～2015年の期間のCMIP5のモデルシミュレーション結果は、平均して、人為起源の強制力によって駆動した場合にAMOCの弱化を示している。

(IPCC SROCC SPM A2.7)

※大西洋子午面循環(Atlantic Meridional Overturning Circulation : AMOC)とは？

大西洋子午面循環(AMOC)とは、南北大西洋における中心的な海流系である。AMOCは、地球規模の海洋循環システムの一部として、暖かい上層の海水を北に、冷たい深層の海水を南に輸送している。AMOCの強度の変化は、気候システムの他の要素に影響を与える。(IPCC SROCC 691頁 Glossary)

古気候の復元から、北大西洋は急速な気候の変化が起こりうる場所であることがわかっている。北大西洋北部で形成される深海水は、大量の熱を北向き(南半球から北半球の方向)に輸送する大規模な循環(AMOC)を誘発している。これは、南北半球間の温度差や、熱帯収束帯(ITCZ)が北よりも位置していることの一因にもなっている。AMOCは、地球の気候システムにとって重要なティッピングポイントになりうると考えられてる。

(IPCC SROCC 618頁 第6章 6.7.1.1)

*これまでのAMOCの強度変化のモデルシミュレーションによる評価は、将来予測と共にスライド80頁に示す。

世界平均海面水位の上昇が加速している

- 世界平均海面水位(GMSL)は、グリーンランド及び南極の氷床から氷が減少する速度の増大(確信度が非常に高い)、氷河の質量の減少及び海洋の熱膨張の継続により、最近の数十年加速して上昇している。

(IPCC SROCC SPM A3.)

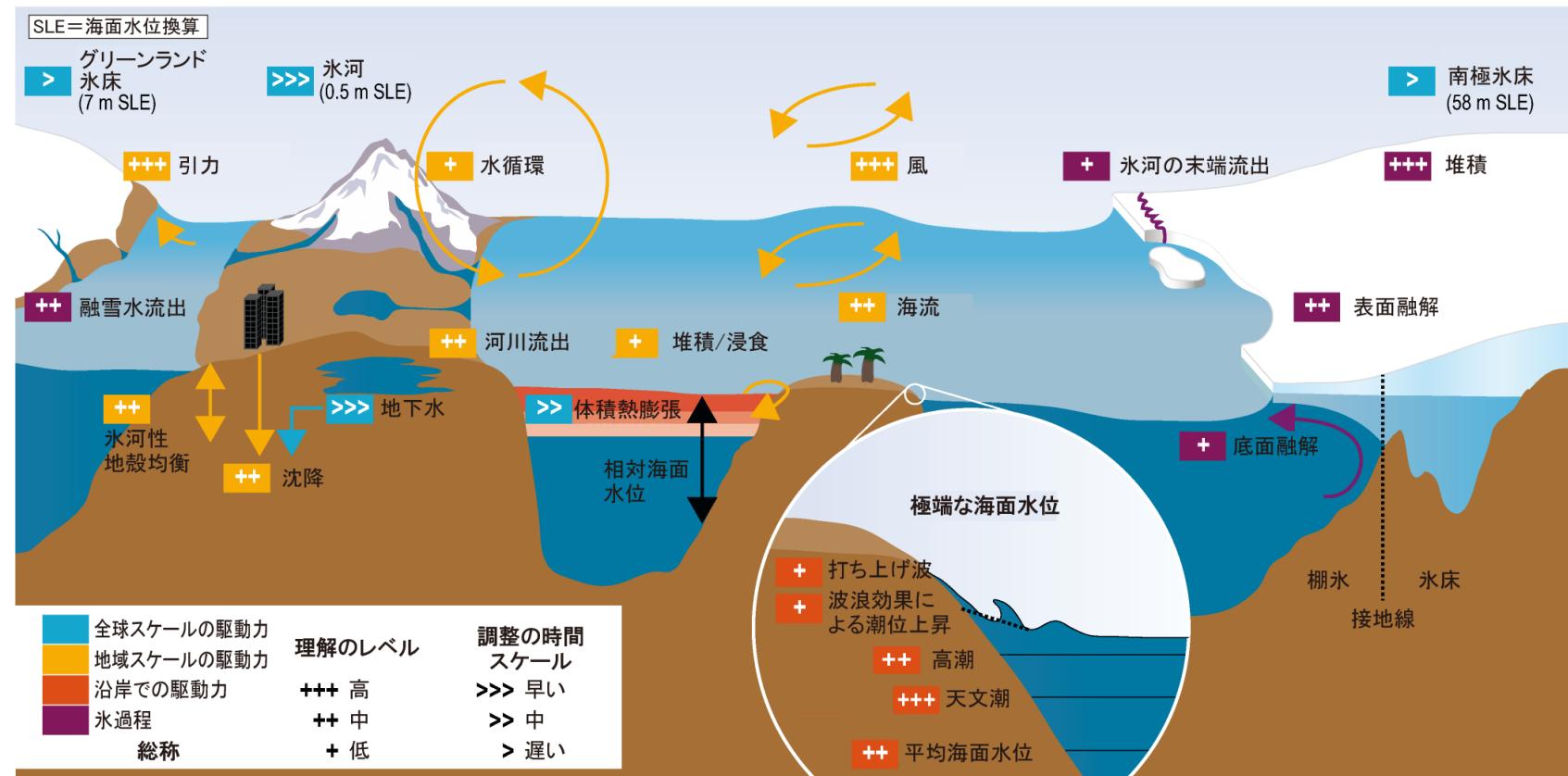


図. 全球スケールや地域スケールの海面水位、及び沿岸の相対海面水位や極端な海面水位の事象に影響を与える気候的及び非気候的プロセスの概略図。主要な氷過程(紫色)及び総称(黒色)も示してある。SLE(海面水位換算)は、言及されている氷が完全に融解して海に流出した場合に予測されるGMSLの増加量を指す。



世界平均海面水位の上昇が加速している(続き)

- 1902～2010年の期間にGMSLは0.16m(可能性が非常に高い範囲は0.12～0.21 m)上昇した。
- 2006～2015年の期間のGMSLの上昇率である3.6mm/年(可能性が非常に高い範囲は3.1～4.1 mm/年)は、直近の100年で例がなく(確信度が高い)、1.4mm/年(0.8～2.0mm/年、可能性が非常に高い範囲)であった1901～1990年の上昇率の約2.5倍である。

(IPCC SROCC SPM A3.1)

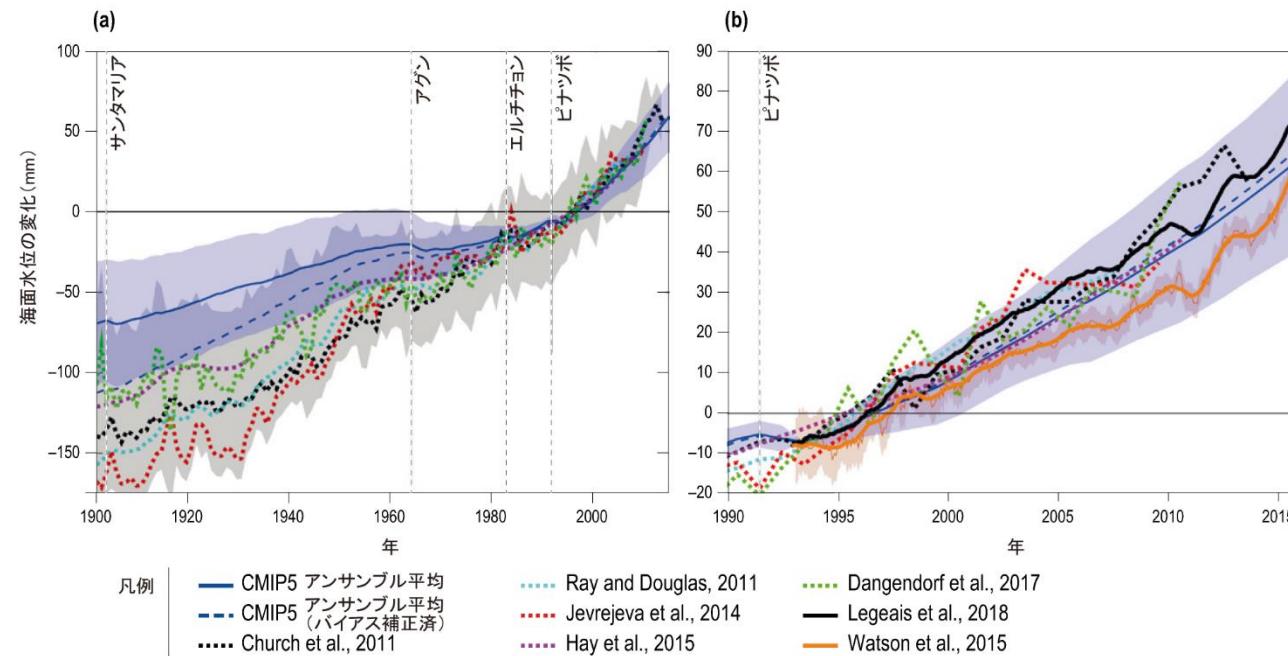


図. (a) 1901年から、及び(b)1993年からの世界平均海面水位の変化(複数の気候モデル(CMIP5)によるシミュレーション結果と観測値の比較)。青色の実線はCMIP5の12のモデルの平均推定値を、青色の破線はCMIP5の平均推定値を1900～1940年の氷河の質量減少とグリーンランドの表面質量収支(SMB)について補正した結果を示す。その他の破線は潮位計記録からの推定値。(b)の実線は衛星高度観測による推定値。縦線は主要な火山が噴火した時期を示す(火山の噴火は一時的にGMSLの低下を引き起こす)。

出典：図、IPCC SROCC 339頁 第4章 図4.5



世界平均海面水位の上昇が加速している(続き)

- 2006～2015年における氷床及び氷河による寄与分の合計は、海面水位の上昇(1.8 mm/年、非常に可能性が高い範囲は1.7～1.9 mm/年)の最も大きな要因となっており、海洋水の熱膨張(1.4 mm/年、非常に可能性が高い範囲は1.1～1.7 mm/年)※の効果より大きい(確信度が非常に高い)。
- 1970年以降の世界平均海面水位の上昇の支配的な原因是、人為起源の強制力である(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A3.1)

- グリーンランド及び南極の氷床の氷の減少の増大により(確信度が極めて高い)、海面水位の上昇は加速している(可能性が極めて高い)。2007～2016年の期間で、南極の氷床の質量の減少は1997～2006年に比べて3倍になった。グリーンランドでは、同じ期間で質量の減少が2倍になった(可能性が高い、確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM A3.2.)

※海面水位の上昇の合計速度は、陸水の貯蔵量の推定値の不確実性により、雪氷圏及び海洋の寄与分の合計より大きい。

表. 世界平均海面水位の上昇への寄与(観測値)。

GMSL: 世界平均海面水位

寄与の源	1901–1990	1970–2015	1993–2015	2006–2015
GMSLの上昇への寄与(観測値)				
熱膨張		0.89 (0.84–0.94) ^a	1.36 (0.96–1.76) ^a	1.40 (1.08–1.72) ^a
グリーンランドと南極以外の氷河	0.49 (0.34–0.64) ^b	0.46 (0.21–0.72) ^o	0.56 (0.34–0.78) ^p	0.61 (0.53–0.69) ⁿ
周縁氷河を含むグリーンランド氷床	0.40 (0.23–0.57) ^c		0.46 (0.21–0.71) ^d	0.77 (0.72–0.82) ^d
周縁氷河を含む南極氷床			0.29 (0.11–0.47) ^e	0.43 (0.34–0.52) ^e
陸水貯留量	-0.12 ^f	-0.07 ^f	0.09 ^f	-0.21 (-0.36–0.06) ^g
海水量				2.23 (2.07–2.39) ^h
寄与の合計			2.76 (2.21–3.31) ⁱ	3.00 (2.62–3.38) ⁱ
検潮器及び高度測量で観測されたGMSLの上昇	1.38 (0.81–1.95)	2.06 (1.77–2.34) ^j	3.16 (2.79–3.53) ^k	3.58 (3.10–4.06) ^k



南極氷床の不可逆的な不安定化が始まっているかもしれない

- 数世紀のうちに数メートルの海面水位の上昇を引き起こす可能性のある、南極における氷の流出及び後退の加速化が、西南極のアムンゼン湾及び東南極のウィルクスランドにおいて観測されている（確信度が非常に高い）。これらの変化は氷床の不可逆的※な不安定化の始まりかもしれない。氷床の不安定化プロセスの始まりに関連する不確実性は、観測が限定されていること、モデルによる氷床プロセスの不十分な表現、並びに大気、海洋及び氷床の複雑な相互作用の理解が限られていることに起因する。

※回復の時間軸は何百年から何千年である。

(IPCC SROCC SPM A3.3.)

接地帯上流[陸側]の地形は複雑だが、概して西南極氷床の中心(図の左奥)の下の海面下2000mの深海盆に向かって傾斜しており、氷床の不安定化に対して脆弱な状態にある。

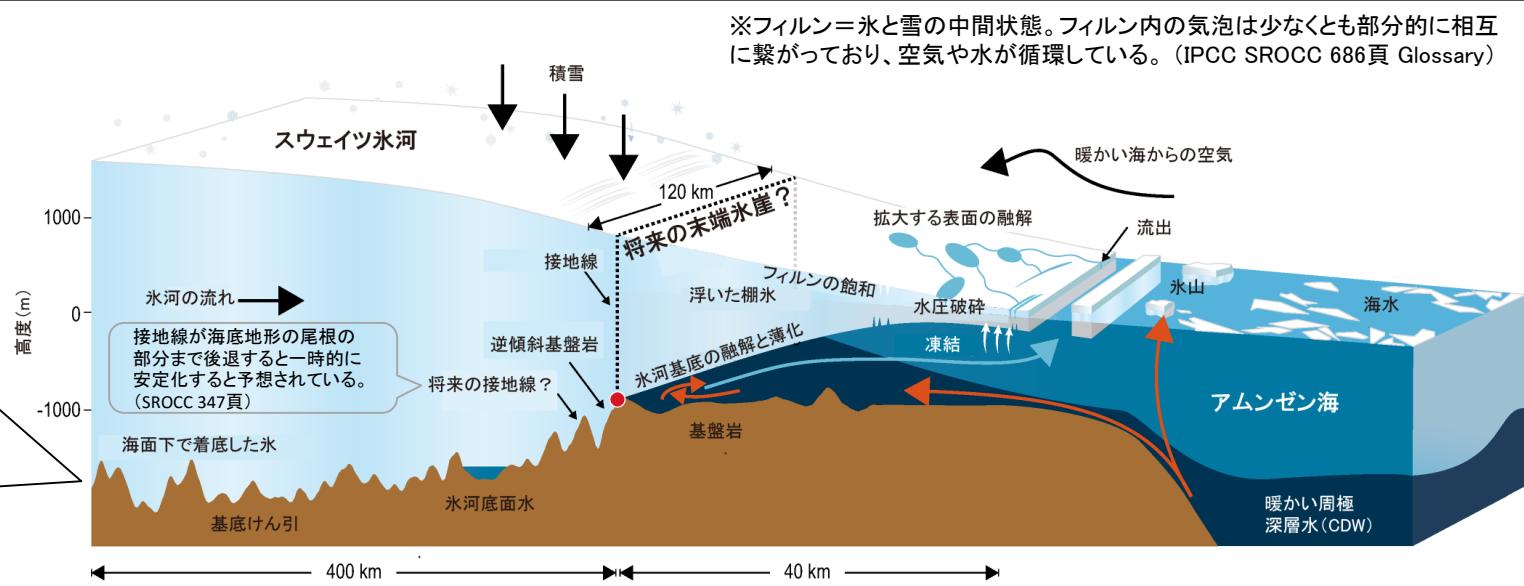


図. 南極・アムンゼン海のスウェイツ氷河に影響を与えるプロセス。接地線は現在、水深約600mの逆傾斜した岩盤上を陸側に後退している。氷河の末端は幅約120kmで、幅は上流[陸方向]に向かって広くなっている。長さ約40kmの棚氷(横断方向に不連続)によって最小限支えられている状態である。暖かい周極深層水(CDW)が棚氷下部へ流入することで、その先の棚氷は薄化しており、その融解速度は接地線付近のいくつかの場所では最大200m/年になる。

海面水位上昇の地域差

■ 海面水位の上昇は世界的に一様ではなく、地域によって異なる。

(IPCC SROCC SPM A3.4.)

- 地域による違いは、世界平均海面水位の上昇の±30%以内であり、陸域の氷の減少並びに海洋の昇温及び循環の変化によって生じる。世界平均海面水位との差は、局所的な人為的な活動によるもの（例えば、地下水の汲み上げ）を含む、急速な土地の上下動がある地域においてより大きくなりうる（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A3.4)

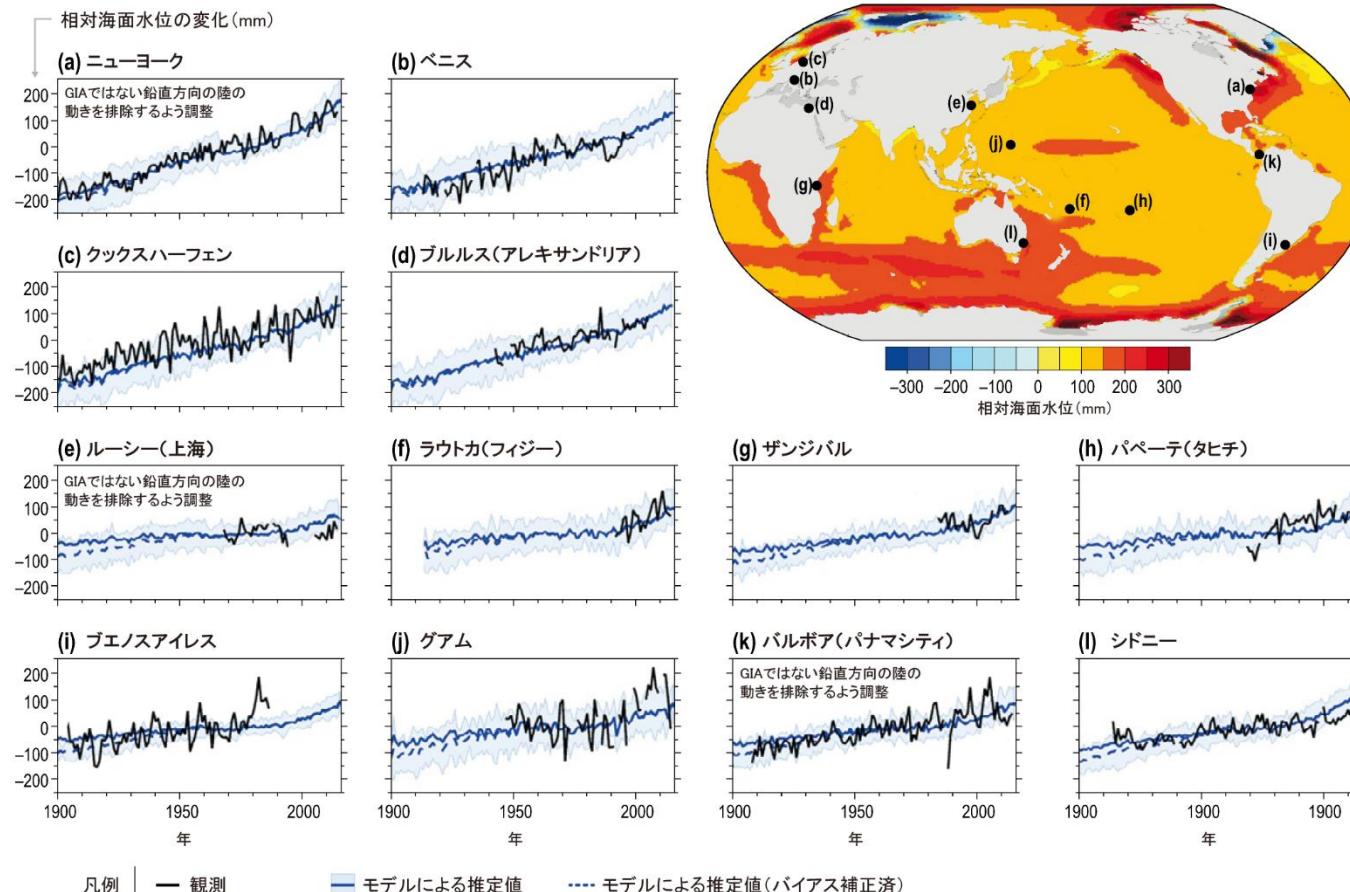


図. グラフ: 各地域の海面水位(シミュレーション結果と潮位計観測による推定値)。マップ: 1901-1920年から1996-2015年の相対海面水位の変化。

海面水位の極端現象と沿岸域のハザード

- 熱帯低気圧による風及び降雨の増大、並びに極端な高波の増加は、相対的な海面水位の上昇と結びついて、海面水位の極端現象及び沿岸域のハザードを悪化させる（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A3.)

- ・ 海面水位の極端現象、沿岸侵食及び浸水（洪水）をもたらす極端な波高は、南大西洋及び北大西洋では、1985～2018年の期間でそれぞれ約1.0cm/年及び0.8cm/年増加した（確信度が中程度）。北極域における海水の減少によっても、1992～2014年の期間で波高が増大している（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM A3.5)

- ・ 人為起源の気候変動は、熱帯低気圧に伴って観測された降水（確信度が中程度）、風（確信度が低い）、及び海面水位の極端現象（確信度が高い）を増大させており、複数の極端現象及び関連する複合的な影響の強度を増大させている（確信度が高い）。
- ・ 人為起源の気候変動は、人為起源の強制力による熱帯域の拡大に関連して、最近数十年の西部北太平洋における熱帯低気圧の最大強度の極側への移動に寄与したかもしれない（確信度が低い）。
- ・ 世界全体でカテゴリー4またはカテゴリー5の熱帯低気圧の年間発生数の全体に占める割合が最近数十年で増加していることについて、新しい証拠が出てきている（確信度が低い）。

(IPCC SROCC SPM A3.6)

- ・ 西部北太平洋において、熱帯低気圧の最大強度が極側へ移動していることが観察されている。これは予期される自然変動とは異なっており、この変化が検出可能な気候変動を示唆していることについての確信度は低い～中程度である。ただし、この観測された変化が、人為起源の強制力による識別可能な影響を受けていることについての確信度は低い。人為起源の強制力による気候の温暖化は、熱帯循環の極側への拡大を引き起こしているとされている。

(IPCC SROCC 603頁 第6章 6.3.1.1)

雪氷圏及び関連する水循環の変化の生態系への影響

■ 雪氷圏及び関連する水循環の変化は、以前は氷に覆われていた土地の露出、積雪の変化、並びに永久凍土の融解によって、高山域及び極域における陸域及び淡水の生物種並びに生態系に影響を与えてきた。これらの変化は、季節行動、生態学的、文化的及び経済的に重要な動植物種の個体数及び分布、生態学的搅乱、並びに生態系の機能発現の変化に寄与してきた。(確信度が高い)

(IPCC SROCC SPM A4.)

- 直近100年にわたって一部の動物種及び植物種は、氷河が後退し、雪のない季節が長期化したことと伴い、個体数が増大し、分布域を移動し、及び新たな地域に定着している(確信度が高い)。
- 昇温とともに低標高の生物種が高標高に移動することで、高山地域における局所的な生物種の豊富さを増大させている(確信度が非常に高い)。
- 一部の寒冷に適応した、または雪に依存する種は個体数を減少させ、絶滅のリスクを増大させており、それは特に山頂付近において顕著である(確信度が高い)。
- 極域及び山岳地域において、特に冬の終わり及び春に、多くの種の季節的な活動が変化している(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A4.1)

(参考)

SROCC第3章のBox 3.4(256~258頁)では、極域において観測された分布域の移動や種の侵入についての事例が紹介されている。最近では、ヘラジカやビーバーといった動物種に加えて、病原体や害虫の分布域も北方向に拡大しているとの報告がある。

雪氷圏の変化が生態系サービスに与える影響

- これらの変化 [雪氷圏及び関連する水循環の変化]は、季節行動、生態学的、文化的及び経済的に重要な動植物種の個体数及び分布、生態学的搅乱、並びに生態系の機能発現の変化に寄与してきた。(確信度が高い)

(IPCC SROCC SPM A4.)

- 森林火災の増加及び急激な永久凍土の融解、並びに北極及び山岳地域の水循環への変化※によって、生態系の搅乱の頻度及び強度が変化している(確信度が高い)。これには植生並びにトナカイ及びサケなどの野生生物に対する正と負の影響も含まれている(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A4. 2)

- 人工衛星による観測は、ツンドラにわたって全体的な緑化を示し、これは植物の生産性の増大を示唆することが多い(確信度が高い)。ツンドラ及び北方林における一部の褐色化が進む地域は、生産性の低下を示唆する(確信度が高い)。これらの変化は、高山地域(確信度が中程度)及び極域(確信度が高い)の両方において、生態系サービスの供給、調整及び文化的な側面に対して負の影響を与えていている。

(IPCC SROCC SPM A4. 3)

※(参考)北極域で観測された水循環への変化の例:

- ✓ 北極域の積雪と湖氷は減少し、6月の積雪面積は1967–2018年に10年あたり $13.4 \pm 5.4\%$ 減少した(確信度が高い)。
- ✓ ユーラシア及び北米の河川の北極海への流出は、1967–2018年に10年あたりそれぞれ $3.3 \pm 1.6\%$ 及び $2.0 \pm 1.8\%$ 増加した(確信度が中程度)。
- ✓ 燃失面積と火災(極端な森林火災や山火事を含む)の頻度は、過去10,000年の間に前例がないものである(確信度が高い)。

(IPCC SROCC 206頁 第3章 エグゼクティブサマリー)

多くの海洋生物種の分布域や季節行動が変化している

- 1950年頃より多くの海洋生物種が、多数の種群にわたって、生息地における海洋の昇温、海水の変化及び酸素の減少などの生物地球化学的な変化に応答し、地理的な分布域の移動(変化)及び季節行動の変化を経ている(確信度が高い)。これは赤道から両極[(北極・南極)]にわたって種の構成、個体数及び生態系のバイオマス(生物量)生産の変化をもたらしている。

(IPCC SROCC SPM A5.)

- 1950年代以降、異なる海洋生物種にわたる分布域の極域へ向けた移動の速度は、表層域(海面から上層200m(200m以浅)まで)及び海底生態系においてそれぞれ10年につき 52 ± 33 km及び 29 ± 16 km(可能性が非常に高い範囲)である。観測される分布域の移動の速度及び方向は、水深、緯度勾配及び経度勾配にわたる局所的な温度、酸素、及び海流によって形成される(確信度が高い)。
- 昇温に起因する生物種の分布域の拡大は、例えば北大西洋、北東太平洋、及び北極海において、生態系の構造及び機能の変化を引き起こしている(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM A5.1)

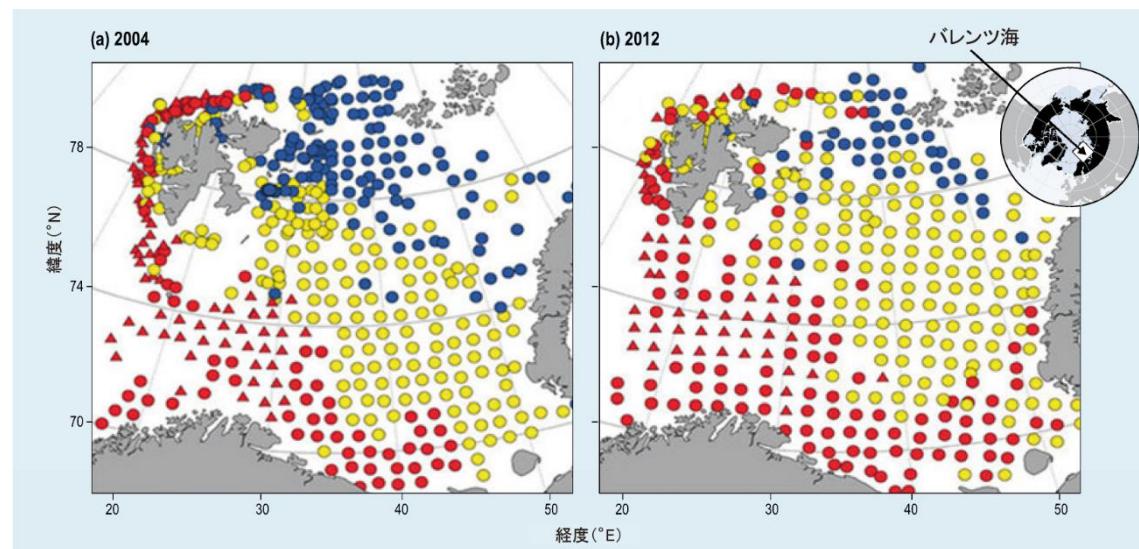


図. (a) 2004年と(b) 2012年にバレンツ海(右上の地図上の四角で囲んだ部分)の底引き網(トロール)漁場で確認された魚群の分布。図上の印の色は、大西洋(赤色)、北極海(青色)、及び中間域(黄色)の魚群を、形は浅海(丸)及び深海(三角)の魚群を意味する。

海洋生態系の構造及び機能変化

- 種の間の相互作用の変化によって生態系の構造及び機能発現に連鎖的な影響がもたらされている(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM A5.)

極域で観測された影響

- 直近数十年の間、北極域の純一次生産は、氷のない水域で増加し(確信度が高い)、海水の変化及び海洋生態系にとって空間的に多様で正または負の影響をもたらす栄養塩(riverine nutrients)の利用性に応答し、春季の植物プランクトンのブルーム(大繁殖)は、一年のより早い時期に起こっている(確信度が中程度)。南極では、そのような変化は空間的に不均一で、氷河の後退及び海水の変化を含む急速な局所的変化に関連して起きている(確信度が中程度)。
- 一部の北極域の動物プランクトンの季節行動、生産及び分布の変化、並びに南大西洋におけるナンキヨクオキアミの個体群分布の南下は、気候に関連する環境変化に関連している(確信度が中程度)。極域では、氷に関連する海棲哺乳類及び海鳥類が海水の変化に関連する生息地の縮小(確信度が高い)及び獲物の分布に対する気候の影響によって生じる採餌の成功率への影響(確信度が中程度)を経験している。複数の気候に関連するストレス要因が極域の動物プランクトンに与える連鎖的影響は、食料網の構造及び機能、生物多様性、並びに漁業に影響を与えている(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A5.2)

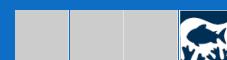
北東太平洋で観察された構造変化

- 東岸境界湧昇システム(EBUS)は、最も生産性の高い海洋生態系の一つである。海洋酸性化及び酸素の減少の増大によって、4つの主要な湧昇システムのうち2つ(カリフォルニア海流とフンボルト海流)が負の影響を受けている(確信度が高い)。カリフォルニア海流の湧昇システムにおける海洋酸性化及び酸素水準の低下はバイオマスの生産及び種の構成に対する直接的な負の影響を伴う生態系の構造を変化させた(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM A5.3)

(参考)

SROCC第5章のBox 5.3(506頁)では、東岸境界湧昇システム(EBUS)の気候変動への応答について、物理的な変化に加え、漁業や観光業との関連も含めて説明されている。



漁業と気候変動が一部の海洋生物種に与える複合的影響

■一部の海洋生態系では、種は漁業及び気候変動の両方の影響を受けている（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM A5.)

- 20世紀及びそれ以降の海洋の昇温は、一部の漁業資源について乱獲の影響と複合して（確信度が高い）、潜在的な最大漁獲量の全体的な低下に寄与している（確信度が中程度）。
- 多くの地域では、地球温暖化の直接的及び間接的影響による魚類及び甲殻類の資源量の減少、並びに生物地球化学的変化が、既に漁獲量の減少に寄与している（確信度が高い）。
- 一部の地域では、海洋の状況の変化は、一部の種について適切な生息地の拡大及び／または個体数の増加に寄与している（確信度が高い）。
- これらの変化は 1970年代以降、多くの生態系において漁獲物の種組成の変化を伴ってきた（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM A5.4)

参考（海洋生態系サービスとしての漁業と乱獲の現状について）

漁業は海洋生態系が担っている重要な供給サービスの1つで、世界中の数百万人の食料、栄養、収入、及び生計を支えている。世界的には、2000年代の総漁獲量は年間80～105Mtにのぼり、800億米ドルを超える直接的利益を生み出している。世界のほとんどの漁場は、乱獲もしくは限界まで漁獲されている状態にあると考えられている。

(IPCC SROCC 502頁 第5章 5.4.1.1参照)



沿岸域の生態系への影響は既に観測されている

- 沿岸域の生態系は、人為的な活動が海洋及び陸上にもたらす不利益な結果(作用)とあいまって、海洋熱波の強化、酸性化、酸素の喪失、塩水流入及び海面水位の上昇を含む海洋の温暖化の影響を受ける(確信度が高い)。
 - [これらの]影響は、生息地の面積及び生物多様性、並びに生態系の機能発現及びサービスにおいてすでに観測されている(確信度が高い)。
- (IPCC SROCC SPM A6.)

沿岸域の生態系で観測された影響

- 植生被覆のある沿岸域の生態系は、海岸線を暴風及び侵食から保護し、海面水位の上昇の影響を低減させる。沿岸湿地の50%近くは、局所的に起こる人為的な圧力、海面水位の上昇、昇温、及び極端な気象現象の影響の組み合わせによって、直近100年の間に失われた(確信度が高い)。
 - 植生被覆のある沿岸生態系は重要な炭素の貯蔵庫(carbon store)であり、それらの消失の結果、現在0.04-1.46GtC/年が放出されている(確信度が中程度)。
 - 升温に応答して、海草藻場及びコンブ場(kelp forests)の分布域は1970年代後半以降、高緯度地域で拡大し、低緯度地域で縮小しており(確信度が高い)、一部の地域では熱波の後に一時的な消失が起こる(確信度が中程度)。
 - 1960年代以降に升温の結果として起こっている大規模なマングローブの消滅は、気温の上昇に関連して起こる亜熱帯域の塩性湿地へのマングローブの分布の拡大によって部分的に相殺され、その結果、それに依存する動物種に食料及び生息地を提供する草本植物に覆われた野原(open areas)が減少している(確信度が高い)。
- (IPCC SROCC SPM A6.1)

- 沿岸生態系に対する海面水位の上昇の影響には生息地の縮小、関連する生物種の地理的な移動、並びに生物多様性及び生態系の機能性の低下が含まれる。影響は、人間による直接的な搅乱によって増幅し、人為的な障壁によって湿地帯及びマングローブは内陸への移動を阻まれる('沿岸の圧迫'という)(確信度が高い)。
- 局所的な地形学上の特質及び堆積物(土砂供給)によって、湿地帯及びマングローブは、現在の平均海面水位上昇と同等またはそれより速い速度で鉛直[方向]に拡大[・成長]しうる(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A6.3)



沿岸域の生態系への影響は既に観測されている(続き)

河口域で観測された影響

- ・ 海面水位の上昇に起因する河口域への海水の侵入の増加によって、海棲生物種の上流側への再分布を招き(確信度が中程度)、河口域の生物コミュニティに適した生息地(ハビタット)の減少を引き起こしている(確信度が中程度)。
- ・ 1970年代以降、人間による集中的な開発及び河川に由来する負荷量による河口域における栄養塩及び有機物負荷量の増大は、海洋の昇温による、細菌の呼吸に刺激をもたらす影響を悪化させ、低酸素地域の拡大を引き起こしている(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A6.2)

暖水性サンゴ礁及び岩礁海岸で観測された影響

- ・ サンゴ、フジツボ及びムラサキイガイなどの固着性で石灰化する(例えば、貝殻及び骨格を作る)生物が支配的に存在する暖水性サンゴ礁及び岩礁海岸は、現在、極端な温度及び海洋酸性化の影響を受けている(確信度が高い)。
- ・ 海洋熱波の結果、既に大規模なサンゴの白化現象がより高い頻度で発生しており(確信が非常に高い)、1997年以降、世界中でサンゴ礁の劣化を引き起こし、発生した場合、その回復は遅い(15年以上)(確信度が高い)。
- ・ 高い環境温度及び生物の干出 [(脱水状態)]が長引くことにより、岩礁海岸の生態系に対して高いリスクを呈する(確信度が高い)。

固着性の潮間帯生物は、干潮時や乾燥状態が長引く時、極端な暑さに曝される可能性があるため、気温の上昇にとりわけ脆弱である。

(IPCC SROCC 498頁 5.3.5)

(IPCC SROCC SPM A6.4)

参考

有害藻類のブルーム(大繁殖)については、スライド47頁及びSROCC 第5章 Box 5.4(510–511頁)参照。

特に先住民は雪氷圏の縮小による負の影響を受けている

- 20世紀半ばより、北極圏及び高山地域における雪氷圏の縮小は、食料安全保障、水資源、水質、生計、健康と福祉、インフラ、交通、観光とレクリエーション、及び人間社会の文化に、主に負の影響を与えており、これは特に先住民にあてはまる（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A7)

- ・ 北極圏の多くの地域において、食料及び水の安全保障は積雪、湖沼及び河川の氷、並びに永久凍土における変化から負の影響を受けている（確信度が高い）。
- ・ これらの変化は、牧畜、狩猟、漁業及び採集の地域の利用可能性及びそれらの地域内の食料の入手可能性を搅乱し、先住民を含む北極域の住民の生計及び文化的アイデンティティに害を及ぼしている（確信度が高い）。
- ・ 氷河の後退及び積雪面積の変化は、ヒンドゥークシュ・ヒマラヤ並びに熱帯アンデスを含む一部の高山地域において農業の収量の局所的な減少に寄与している（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM A7.1)

参考

SROCC 第2章 Box 2.4(164頁)では、ペルーのブランカ山脈(Cordillera Blanca)における雪氷圏の縮小が農業従事者及び現地の人々に与える影響について説明している。ブランカ山脈の氷河の多くは熱帯に位置し、氷河の面積は大幅に減少し続けており、1940年代以降数千人の人々が氷河に関連したハザードで命を落としている。

先住民の知識が適応努力に利益をもたらしてきた

■ 先住民の知識及び地域の知識を含むことは適応の努力において利益をもたらしてきた(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM A7.)

- 北極域では、特に先住民の間で、雪氷圏の変化による人間の健康に及ぼす負の影響として、食品媒介性及び水媒介性の疫病、栄養不良、傷害及び精神面の健康の課題がある(確信度が高い)。
- 一部の高山地域において、融解する氷河及び永久凍土から放出される汚染物質、特に水銀が水質に影響を与えている(確信度が中程度)。
- 北極域における健康に関連した適応の取り組みは、局所的な規模から国際的な規模までの幅があり、その成功は先住民の知識に支えられている(確信度が高い)。

(IPCC SROCC A7.2)

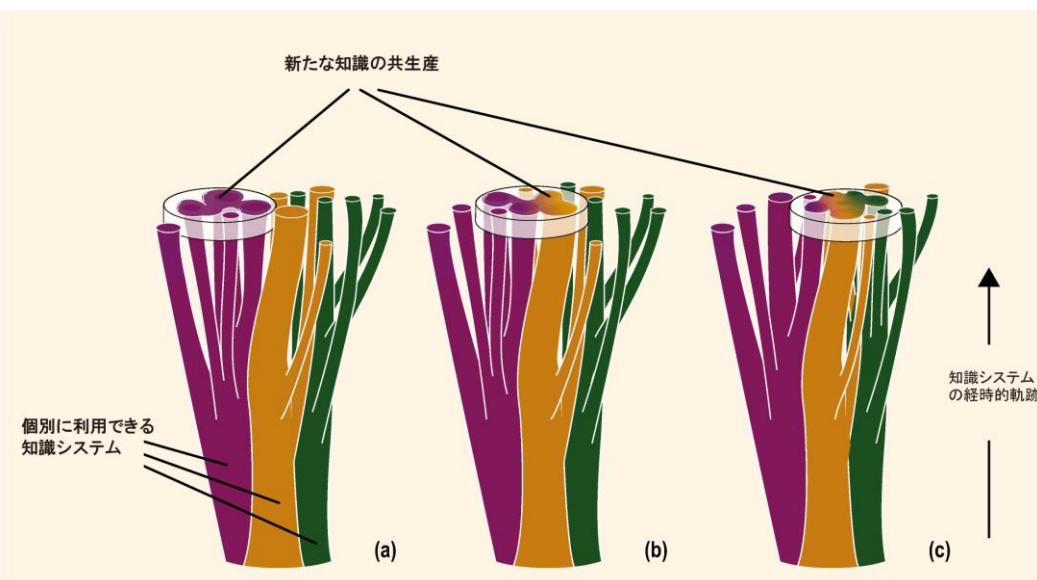


図. 意思決定のための新しい理解を生み出すために、科学的知識、先住民の知識(IK)、及び／または地域の知識(LK)を用いる、知識の共生産の概念図。(a)では1つの知識システム(例えば先住民のIK、農民・漁師や地域住民のLK、もしくは科学的知識)を使って新たな知識が生み出されている(ここで、科学的知識のみを用いた場合、人間的な観点が大きく欠如することになる)。(b)及び(c)では、それぞれ2つ及び3つの知識システムから新たな知識が共生産されている様子を表している。

様々なシステムからの知識を活用することで、関連する知識を向上させることができるのでなく、独自に発展を遂げたり、結び付けて新しい知識を共生産することができます。

参考: SROCC Cross-Chapter Box 4(103–105頁)には、先住民の知識(IK)と地域の知識(LK)がSROCCで果たしている役割や、IKやLKの活用事例が示されている。

コストと便益の不平等な分布

■ コスト及び便益は、人々及び地域にわたって不平等に分布している。 (IPCC SROCC SPM A7.)

- 北極域の住民、特に先住民は、季節性の変化並びに陸上、氷上及び雪の移動の状況に対応するため活動の時期を調整している。
- 自治体及び産業界は、浸水(洪水)及び永久凍土の融解に関連するインフラの不具合に対処し始めており、一部の沿岸域のコミュニティは移転を計画している(確信度が高い)。計画過程に意味のある形で関わるための資金、技術、能力及び制度の各側面での支援が限定期であることが適応の課題となっている(確信度が高い)。

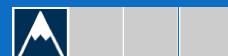
(IPCC SROCC A7.3)

- 北極圏の夏季における船舶による輸送(観光を含む)は直近20年の間に、北極圏の海水の減少と同時に増加している(確信度が高い)。これは、世界貿易及び伝統的な航路に関する経済国に影響を及ぼし、北極域の海洋生態系及び沿岸域のコミュニティに対して、侵略的生物種及び局所的な汚染などによるリスクを呈する(確信度が高い)。

(IPCC SROCC A7.4)

- 直近数十年の間、人口、観光及び社会経済開発の増加により人々及びインフラの自然ハザードに対する曝露が増大している(確信度が高い)。一部の災害は、例えばアンデス、アジアの高山地域、コーカサス及びヨーロッパアルプスなどにおいて、雪氷圏における変化に関連づけられている(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC A7.5)



コストと便益の不平等な分布(続き)

- 積雪が支配的なあるいは氷河融解のある河川流域において、雪及び氷河の変化は、流出及び水資源の量及び季節性を変化させている(確信度が非常に高い)。
- 水力発電設備は、高山地域、例えば、中央ヨーロッパ、アイスランド、米国・カナダ西部及び熱帯アンデスにおいて流入量の季節性の変化及び増加と減少の両方を経験している(確信度が中程度)。しかし、その結果として[水力発電設備の]操作及びエネルギー生産が影響を受けたという証拠は限定的である。

(IPCC SROCC A7.6)

- 高山地域の景観及び文化的側面は、(例えば、ヒマラヤ、東アフリカ、熱帯アンデスにおいて)氷河及び積雪の減少による負の影響を受けている(確信度が中程度)。
- 観光及びレクリエーション(スキー及び氷河観光、ハイキング、並びに登山を含む)も、多くの高山地域において負の影響を受けている(確信度が中程度)。一部の場所では、スキー観光に対する負の影響が人工造雪によって低減されている(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC A7.7)

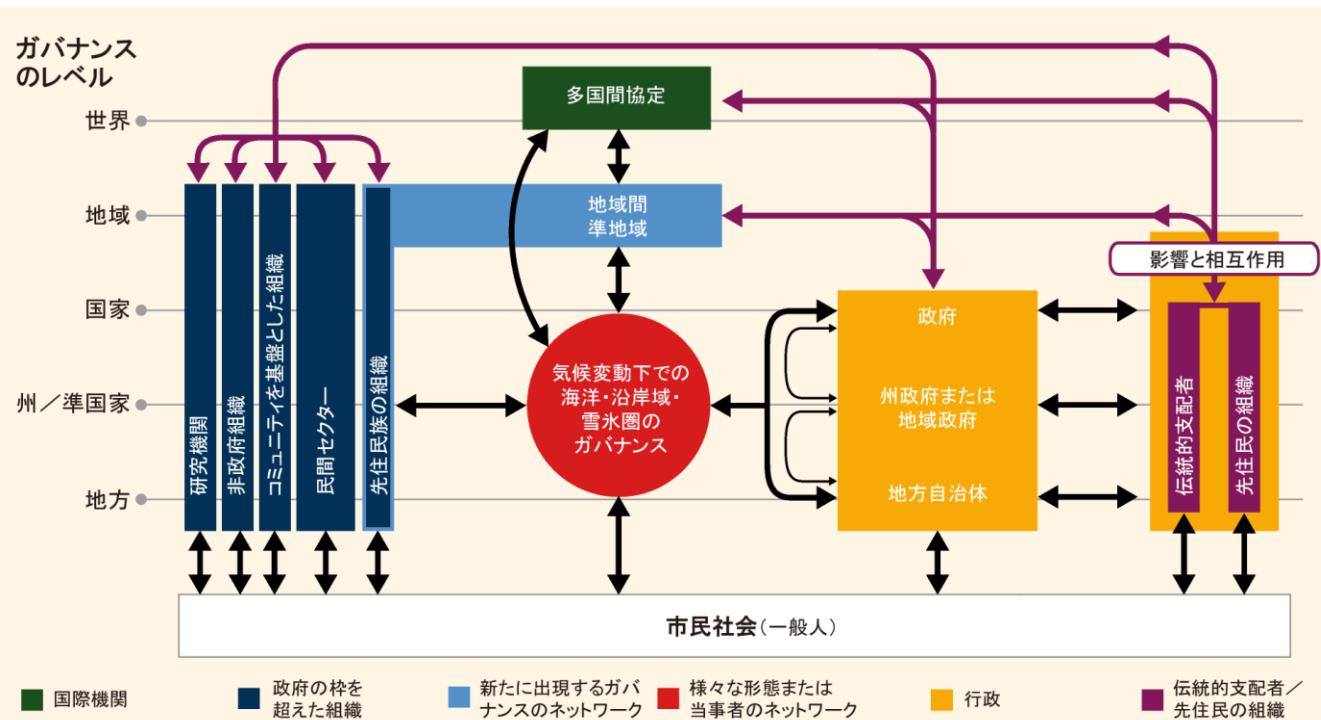
ガバナンスに課題が生じている

- 海洋における変化は、海洋生態系及び生態系サービスに影響を与えてきたが、その結果は地域毎に異なり、ガバナンスに課題を呈してきた（確信度が高い）。
- 漁業（確信度が中程度）、地域の文化及び生計（確信度が中程度）、並びに観光及びレクリエーション（確信度が中程度）を通じて、正負両方の影響を食料安全保障にもたらす。

(IPCC SROCC SPM A8)

- 昇温によって引き起こされた、一部の魚類及び甲殻類の資源の空間分布及び個体数の変化は、漁獲量、経済便益、生計、及び地域文化に正負の影響を与えてきた（確信度が高い）。先住民及び漁業に依存する地域コミュニティにとって負の影響がもたらされる（確信度が高い）。種の分布及び個体数の変化は、北極域、北大西洋及び太平洋を含む地域で、生態系の保全を確保するための漁業規制及び漁業団体間の資源の共有の側面において、国際的及び国内の海洋及び漁業のガバナンスに課題を呈してきた（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A8.1)





脆弱なコミュニティで様々な負の影響がもたらされている

- 生態系サービスへの影響は、健康及び福祉（確信度が中程度）並びに漁業に依存する先住民及び地域コミュニティに対して、負の影響をもたらす（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A8)

- 有害藻類のブルーム（大繁殖）は、気候変動に関する駆動要因及び河川の栄養塩の流出などの気候以外の駆動要因に応答し、1980年代以降、分布域の拡大及び沿岸域の発生頻度の増加を示している（確信度が高い）。
- 有害藻類のブルームについて観測された傾向は、海洋の昇温、海洋熱波、酸素の喪失、富栄養化及び汚染の影響に部分的に原因特定される（確信度が高い）。有害藻類のブルームは、食料安全保障、観光、地域経済及び人間の健康に負の影響をもたらしてきた（確信度が高い）。これらの生物ハザードにより脆弱な人間コミュニティは、有害藻類のブルームに関する持続的なモニタリング制度及び専用の早期警戒システムのない地域のコミュニティである（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC A8.2)

参考

SROCC Box 5.4(510–511頁)に、有害藻類のブルーム(Harmful Algal Blooms、HAB)と気候変動の関係についての観測と予測の実例が紹介されている。有害藻類のブルームとは、海洋環境と関連する生物相に悪影響を及ぼす植物プランクトン(主に渦鞭毛藻、珪藻、及びシアノバクテリア)と大型藻類の増殖のことである。その影響には、水の変色と気泡の蓄積、酸素の欠乏、毒素による魚介類の汚染、食物網の破壊、及び海洋生物群の大量死が含まれる。



沿岸域のコミュニティは気候に関連するハザードに曝されている

■ 沿岸域のコミュニティは、熱帯低気圧、極端な海面水位の上昇及び浸水（洪水）、海洋熱波、海水の減少及び永久凍土の融解を含む、複数の気候に関連するハザードに曝露されている（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A9.)

- 多くの場所において沿岸域で人間が現在受けている影響について、海面水位の上昇に原因を求めるることは依然として難しい。それは、地盤沈下（例、地下水のくみ上げ）、汚染、生息地の劣化、並びにサンゴ及び砂の採掘など、気候以外の人為起源の駆動要因によっても状況が悪化しているためである（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM A9.1.)

- 塩性湿地、マングローブ、植生被覆のある砂丘及び砂浜を含む沿岸域の生態系は、SLRに応答して垂直方向に構築し、水平方向に拡大することができるが、その能力は場所によって異なる（確信度が高い）。これらの生態系は、沿岸域の保護や多様な生物群の生息地といった重要なサービスを提供している。しかし、人間活動によって湿地の生息域が断片化され、陸側への移動が制限された結果、沿岸の生態系は気候に起因する変化に適応し、保護壁としての役割といった生態系サービスを提供する能力を徐々に失っている（確信度が高い）。

(IPCC SROCC 323頁 第4章 エグゼクティブサマリー)

参考

SROCC Box 4.2(368–369頁)には、海面水位上昇及びその影響（沿岸域の氾濫等）への曝露と脆弱性の評価手法に関する最新の知見がまとめられている。

海面水位の上昇に対する対応

- 多様な対応が、主に極端現象が起こった後に世界各地で実施されているが、一部の対応(例えば、大規模なインフラの場合など)は将来の海面水位の上昇を見込んで実施されている。

(IPCC SROCC SPM A9.)

- ・ 堤防(dikes)、胸壁(seawalls)及び防潮堤(surge barriers)などハード面の対策による海岸防護は、多くの沿岸都市及びデルタ地域において広く普及している。生態系ベース(生態系を活用した)及び生態系及び人工のインフラを組み合わせたハイブリッド型のアプローチは、世界中にさらに普及している。
- ・ 「拡張(Advance)」は海に向かって建設することによって新しい土地を造成すること(例、埋め立て)のことで、沿岸域の人口密度が高く、土地が不足しているほとんどの地域において長い歴史を有する。沿岸域の「後退(retreat)」は、沿岸域における人間による占拠が取り払われることを指したり、一般的に小規模の人間コミュニティに限定して観測されるにとどまるが、沿岸湿地のハビタット(生息地)を創出するために起こる。海面水位の上昇に対する対応の効果は図SPM.5において評価される。

(IPCC SROCC SPM A9.2)

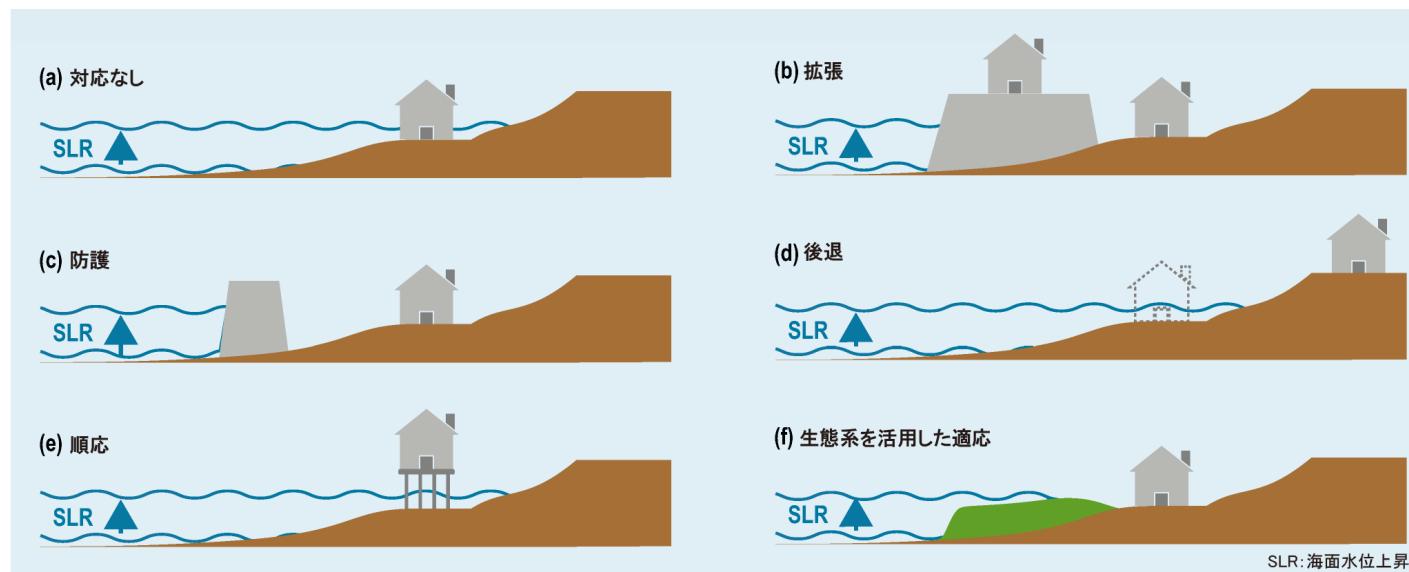


図. 沿岸域のリスクと海面水位上昇への対応策を示す概念図。それぞれの対応策の詳細についてはSROCC (385-386頁)第4章 Box 4.3参照。

参考
SROCC Cross-Chapter Box 9 (665-667頁)には、標高の低い島々や沿岸の低平地において実践されている適応策が紹介されている。

B. 予測される変化及びリスク

セクションBの大まかな流れ	項目
予測される自然の(physicalな)変化※	B1～B3
予測される生態系に対するリスク	B4～B6
予測される人々及び生態系サービスに対するリスク	B7～B9

※SROCCでは主としてRCP2.6及びRCP8.5を次の理由により用いる：これらのシナリオは、同報告書で取り扱う話題について評価された範囲の大部分を示し、評価された文献においてCMIP5に基づいて取り扱われている内容の大部分を示し、予測される変化について一貫性のあるストーリーの提示を可能にする。RCP4.5及びRCP6.0は報告書で取り扱うすべての話題について利用可能ではない。(スライド16頁参照)



氷河の質量減少は継続すると予測される

- 2015年から2100年にかけて予測される氷河の質量の減少(氷床を除く)は、RCP2.6の $18 \pm 7\%$ (可能性が高い範囲)からRCP8.5の $36 \pm 11\%$ (可能性が高い範囲)の幅があり、RCP2.6では海面水位換算 $94 \pm 25\text{mm}$ (可能性が高い範囲)、RCP8.5では海面水位換算値 $200 \pm 44\text{mm}$ (可能性が高い範囲)の海面水位[上昇]への寄与に相当する(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B1.1)

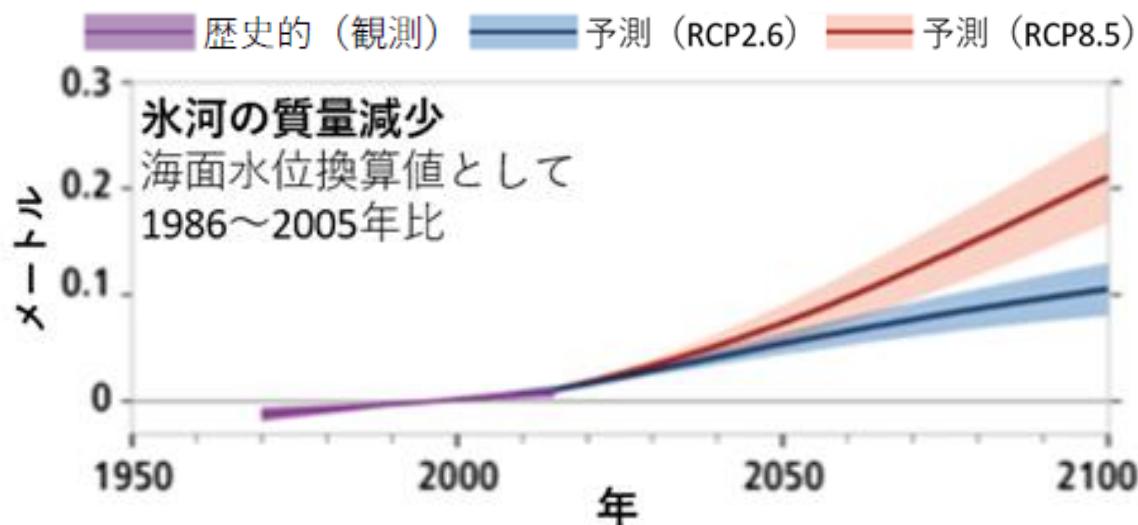


図. 1950年以降の氷河の質量減少と可能性が非常に高い範囲。観測値による実態気候の変化[の結果]、並びに温室効果ガスの低排出(RCP2.6)及び高排出(RCP8.5)のシナリオにおいて予測される将来の変化を示す。

注意:ここでは、グリーンランドと南極の周縁氷河を含む地球上の全ての氷河の質量予測の結果を示している。グリーンランド氷床と南極氷床の予測については、スライド53頁参照。

- RCP2.6では、氷河がより高い標高に後退して新しい平衡状態が訪れるため、[氷河の質量減少による海面水位の]上昇率は2040年頃までわずかに増加し、その後は着実に減少する。対照的に、RCP8.5では、氷河の質量減少による海面水位上昇への寄与は今世紀を通して着実に増加し、最高で 3 mm SLE/年 を超えると予測されている。

(IPCC SROCC 143頁 第2章 Cross-Chapter Box.6)



氷河の質量減少は継続すると予測される(続き)

- 比較的氷河が小さい地域(例、中央ヨーロッパ、コーカサス、北アジア、スカンジナビア、熱帯アンデス、メキシコ、東アフリカ及びインドネシア)では、RCP8.5において2100年までに現在の氷河の質量の80%以上が減少すると予測され(確信度が中程度)、将来の[温室効果ガス]排出量に関係なく多くの氷河が消滅すると予測されている(確信度が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM B1.1)

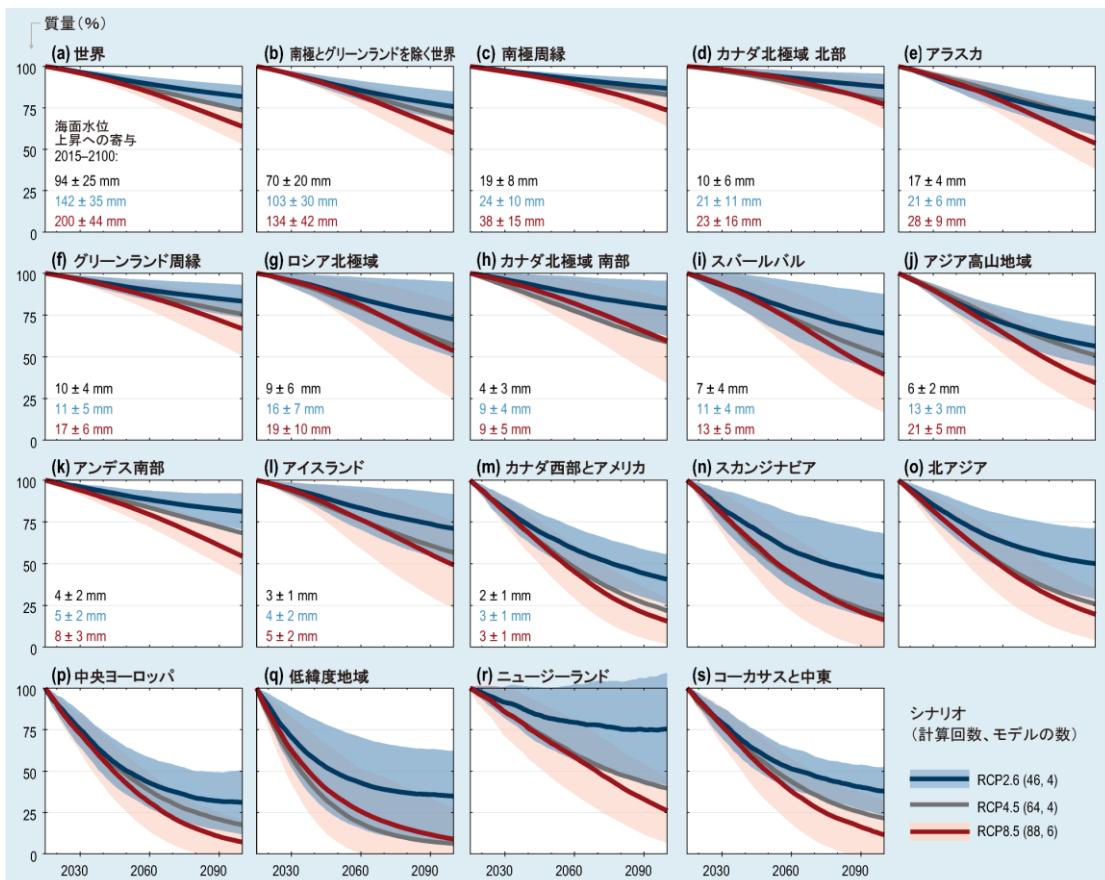


図. 氷河質量の変化予測(2015年を100%として、2100年までの変化を3つのRCP排出シナリオで予測したもの)。2015–2100年の海面水位換算(SLE)が0.5 mmより大きい地域については、3つのRCPについて地域的な海面水位への寄与も記載してある。低緯度地域には、熱帯アンデス、メキシコ、東アフリカ、及びインドネシアが含まれている。アラスカ地域には、カナダのユーティクとブリティッシュ・コロンビアの隣接する氷河も含まれている。

参考

高山地域と南極・グリーンランド周縁の氷河の将来予測については、SROCC Cross-Chapter Box 6 (143–144頁)も参照。

グリーンランドと南極の氷床の将来予想については、スライド次頁に示す。

グリーンランド及び南極氷床の質量減少はさらに加速すると予測される

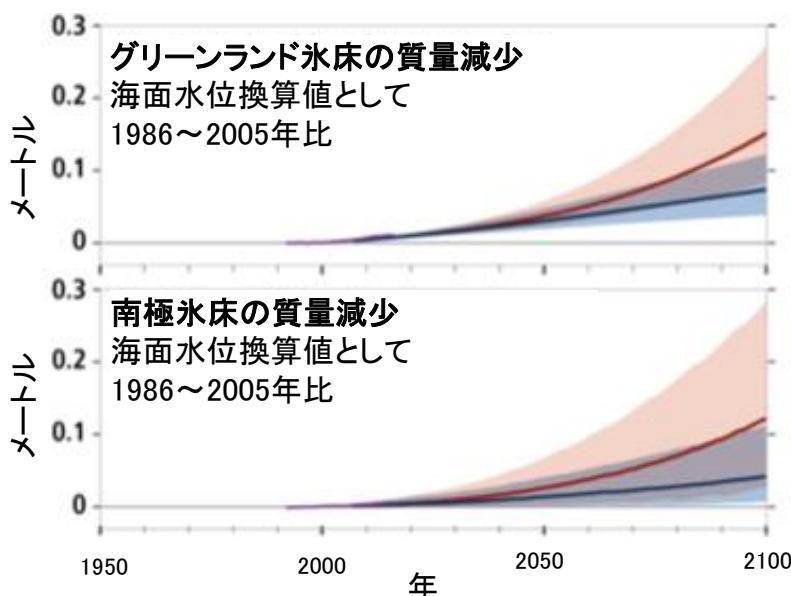
- グリーンランド及び南極の氷床は、21世紀にわたって、またそれ以降も、さらに加速して質量の減少が進むと予測される（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM B1.)

- ・ グリーンランド氷床は、2100年のGMSL の上昇に、RCP2.6では0.07m(0.04~0.12m、可能性が高い範囲)、RCP8.5では0.15 m (0.08~0.27 m、可能性が高い範囲)寄与すると予測される。
- ・ 2100年に、南極氷床はRCP2.6では0.04m(0.01~0.11m、可能性が高い範囲)、RCP8.5では0.12m(0.03~0.28m、可能性が高い範囲)[のGMSL の上昇に]寄与すると予測される。
- ・ 現在、グリーンランド氷床の方が南極氷床よりも海面水位の上昇に大きく寄与しているが（確信度が高い）、[南極氷床の]急速な後退の結果、21世紀末までに南極の方が、寄与が大きくなるだろう（確信度が低い）。2100年以降、RCP8.5におけるGMSLの上昇に対するグリーンランド及び南極のそれぞれの寄与の差が拡大することは、北半球における相対的な海面水位の上昇の速度に重大な影響を与える。

(IPCC SROCC SPM B1.2.)

歴史的（観測） 予測（RCP2.6） 予測（RCP8.5）



参考

SROCC 第3章 Cross-Chapter Box 8 (244–246頁)に、将来（2100年まで及びそれ以降）の海面水位上昇と海洋の氷床の不安定性に関する詳細が説明されている。

- ・ 21世紀及びそれ以降の海面水位上昇に関しての詳細は、スライド72–74頁も参照。

図. 1950年以降のグリーンランド氷床及び南極氷床の質量減少と可能性が非常に高い範囲（海面水位換算）。観測値による実態気候[の結果]、並びに温室効果ガスの低排出（RCP2.6）及び高排出（RCP8.5）のシナリオにおいて予測される将来の変化を示す。

積雪の減少傾向も継続すると予測される

- 北極域の秋季及び春季の積雪は短期的(2031～2050年)に1986～2005年に比べて5～10%減少すると予測され、その後、RCP2.6ではそれ以上の減少はない一方で、RCP8.5では、今世紀末までにさらに15～25%減少すると予測される(確信度が高い)。
- 高山地域では、標高の低い地域における冬季の平均積雪深は、排出シナリオに関係なく、1986～2005年に比べて2031～2050年に10～40%減少する可能性が高いと予測される(確信度が高い)。2081～2100年には、この予測される減少はRCP2.6では10～40%、RCP8.5では50～90%となる可能性が高い。

(IPCC SROCC SPM B1.3)

北極域の積雪の変化:

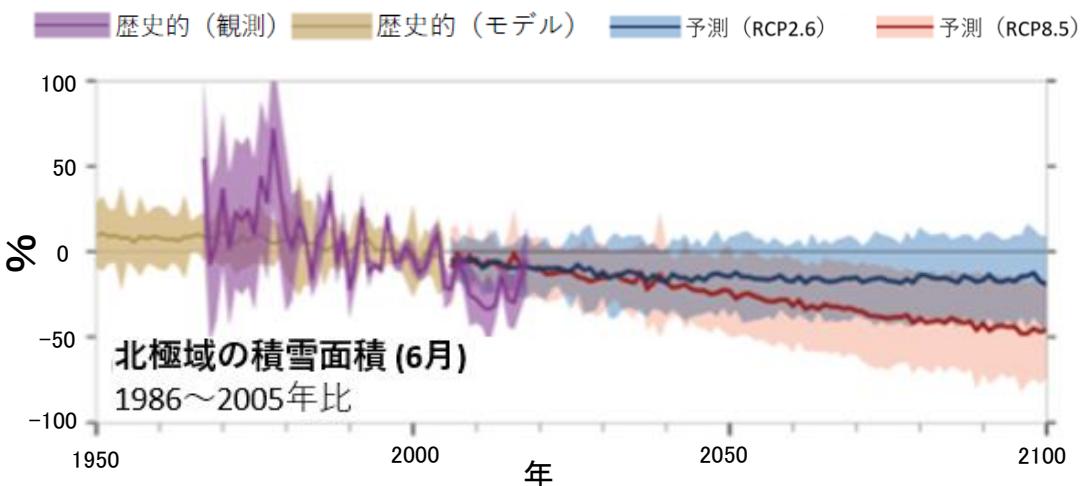


図. 1950年以降の6月の北極域(北緯60° 以北の陸域)の積雪の変化と可能性が非常に高い範囲。観測値とモデリング(再現計算)による実態気候[の結果]、並びに温室効果ガスの低排出(RCP2.6)及び高排出(RCP8.5)のシナリオにおいて予測される将来の変化を示す。

- より多くの水分を含んだ大気と、十分に低い冬季の温度(降水が雨ではなく雪となる温度)が重なった場合、降雪量が増加し、地域的な積雪水量の増加が予測されている。ユーラシア北極圏東部では、RCP4.5とRCP8.5で積雪水量が増加する場所が出現すると予測されている(確信度が中程度)。北米の北極域では、RCP8.5のみで積雪水量が今世紀後半にわずかに増加すると予測されている。
- 北極域の積雪変化が生態系に与える影響を理解するために必要な積雪の特性(密度や層構造等)の変化に関しては確信度が低い。

(IPCC SROCC 251頁 第3章 3.4.2.1)

積雪の減少傾向も継続すると予測される(続き)

高山地域の積雪の変化:

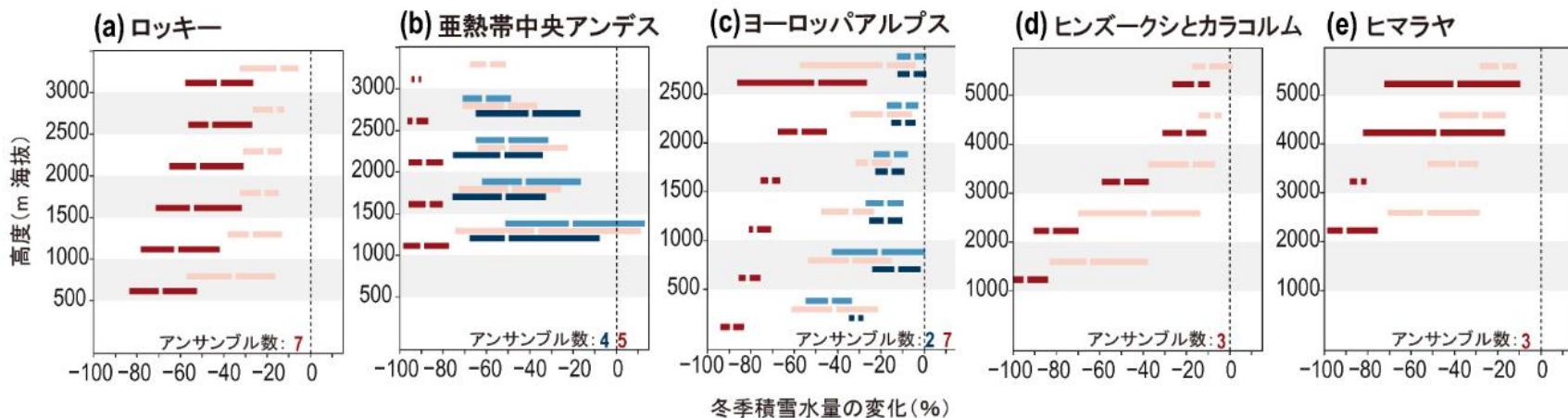


図. 山岳地域における冬季(12-5月、亜熱帯中央アンデスについては6-8月)の平均積雪水量(RCP2.6とRCP8.5における1986-2005年から2031-2050年及び2080-2099年の変化)。

参考:

温暖化による地上気温の上昇と標高の関連性に関する知見が、SROCC 第2章 Box 2.1(138頁)で説明されている。山岳地域では通常、地表面気温は標高が高くなると下がるため、雨ではなく雪として降る降水量に直接影響を与える。したがって、気温の変化が積雪、永久凍土、及び氷河に与える影響は、標高によって異なってくる。

永久凍土の広範囲にわたる融解が予測される

- 永久凍土の広範囲にわたる融解が今世紀（確信度が非常に高い）及びそれ以降に起こると予測される。2100年までに地表面付近（3～4 m）の永久凍土の面積はRCP2.6では $24 \pm 16\%$ （可能性が高い範囲）、RCP8.5では $69 \pm 20\%$ （可能性が高い範囲）減少すると予測される。
- RCP8.5のシナリオでは、2100年までにCO₂*及びメタンとしての永久凍土の炭素の大気への累積放出量が数百億～数千億トンとなり、気候変動を加速させる可能性を伴う（確信度が中程度）。
- より低排出のシナリオは、永久凍土地域からの炭素排出の応答を抑える（確信度が高い）。メタンの寄与は、炭素の追加放出量全体に占める割合は小さいが、その昇温能力がより高いため重要である。植物の成長の増加によって土壤炭素が部分的に補充されると予測されるが、長期にわたる炭素の放出量には満たない（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM B1.4)

*背景として、人為起源のCO₂の年間排出総量は2008～2017年の期間にわたって平均 10.8 ± 0.8 GtC/年（ 39.6 ± 2.9 GtCO₂/年）であった。人為起源のメタンの年間排出総量は2003～2012年の期間にわたって平均 0.35 ± 0.01 GtCH₄/年であった。

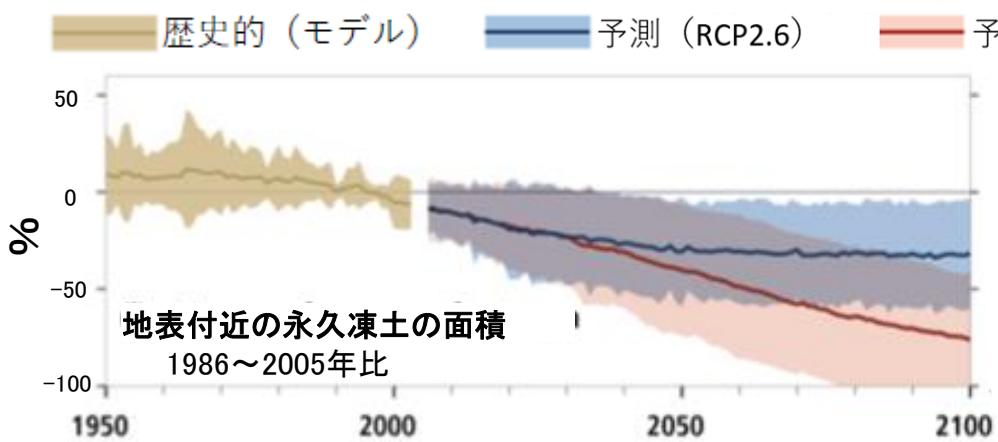


図. 1950年以降の北半球における地表付近（上部3～4m）の永久凍土面積の変化と可能性が非常に高い範囲。観測値とモデリング（再現計算）による実態気候[の結果]、並びに温室効果ガスの低排出（RCP2.6）及び高排出（RCP8.5）のシナリオにおいて予測される将来の変化を示す。

北極海の海氷面積の減少は少なくとも世紀半ばまで続くと予測される

■ 北極域の海水の減少は世紀半ばまで継続し、その後の差異は地球温暖化の規模に依拠すると予測される。1.5°Cの安定化した地球温暖化では、[今] 世紀末までに海水のない9月となる確率は 約1%であり、これは 2°Cの安定化した地球温暖化では10~35%に上昇する(確信度が高い)。南極の海水の予測については確信度が低い。

(IPCC SROCC SPM B1.7)

極域の海面温度と海氷面積の変化:

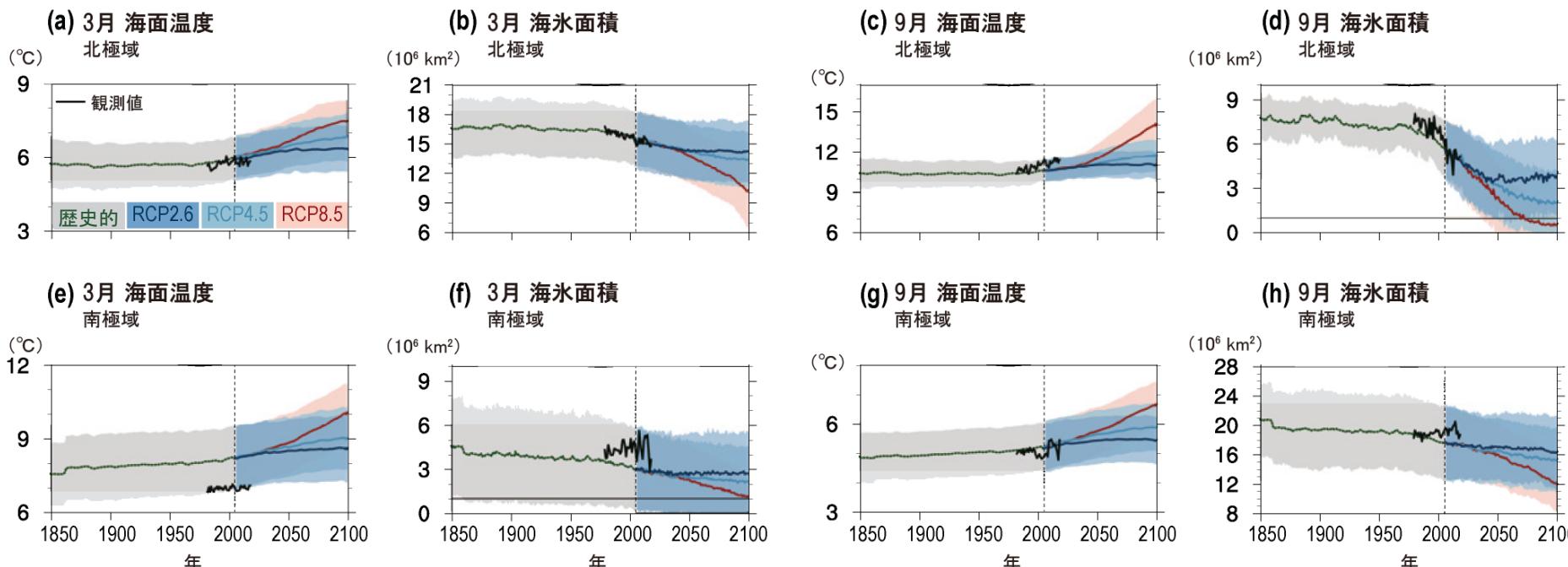


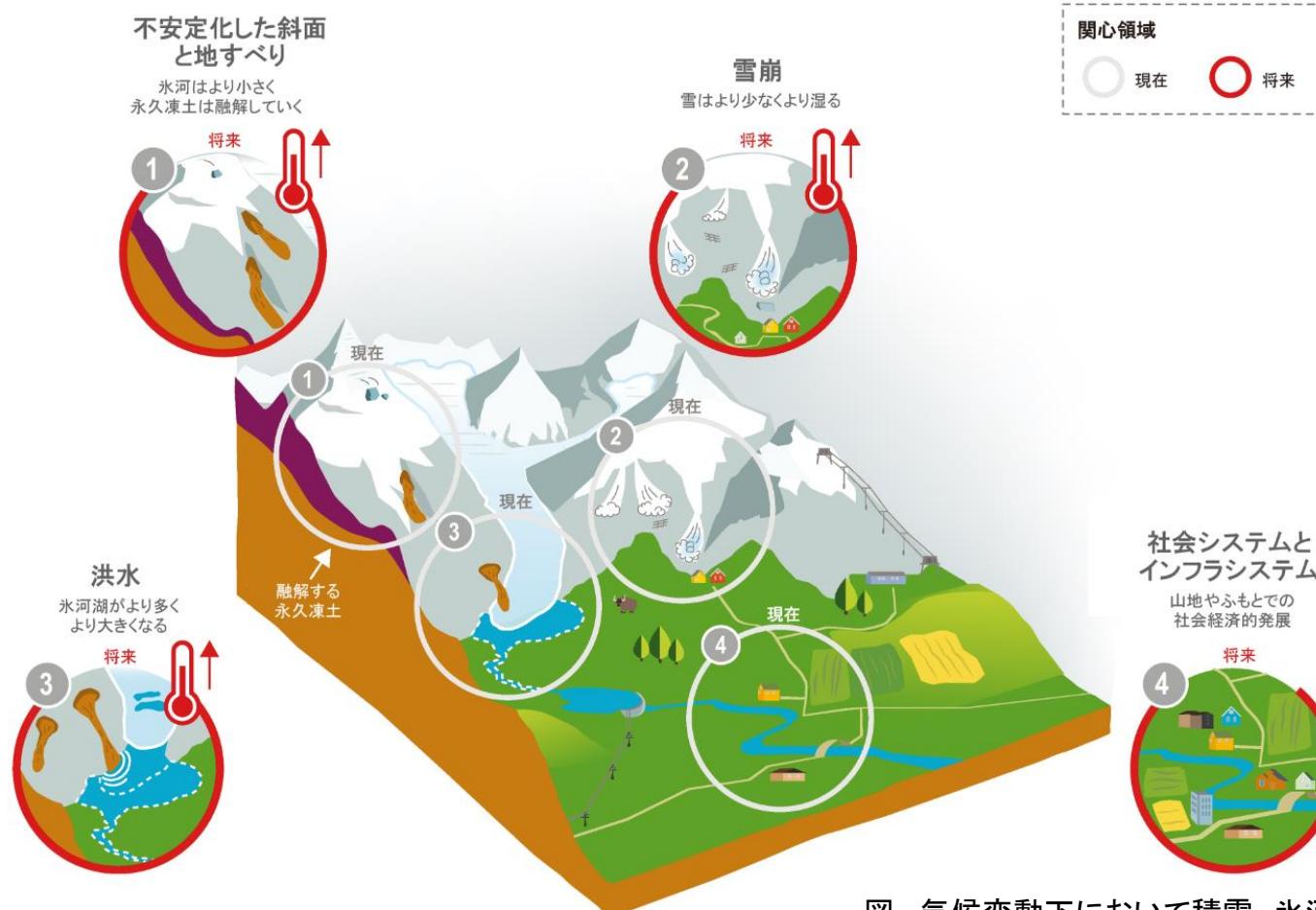
図. 北緯40度以北及び南緯40度以南の海面温度(領域平均)、並びに北極域(北半球)と南極域(南半球)の海氷面積の変化(3月と9月の観測値と予測)。凡例はパネル(a)に示してある。



雪氷圏の縮小がもたらす河川流出とハザード

- 世界全体レベルでの(グローバルな)氷河の質量の減少、永久凍土の融解、並びに積雪及び北極域の海氷面積の減少は、地上気温の上昇によって短期的(2031～2050年)に継続すると予測され(確信度が高い)、河川流出及び局所的な(ローカルな)ハザードに不可避な影響をもたらす(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B1.)



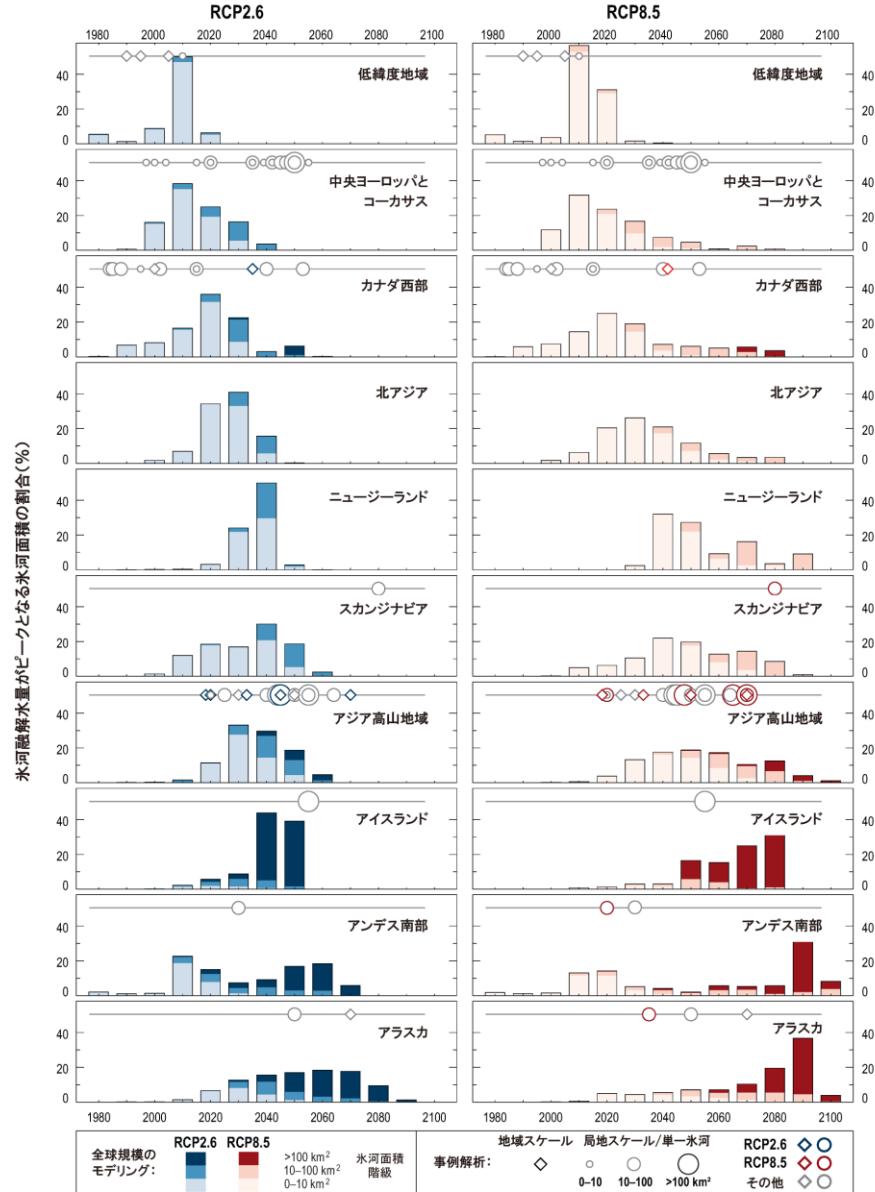
- 多くの高山地域において、氷河の後退及び永久凍土の融解は山腹斜面の安定性をさらに減少させると予測され、氷河湖の数及び面積が増大する(確信度が高い)。
- 氷河湖の決壊または雪の上の降水による洪水、地滑り及び雪崩は、新たな場所または異なる季節においても発生すると予測される(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B1.5)

図. 気候変動下において積雪、氷河、及び永久凍土の変化によって引き起こされる高山地域のハザード。



雪氷圏の縮小がもたらす河川流出とハザード（続き）



- 積雪が支配的な、あるいは氷河融解のある高山流域における河川の流出量は、排出シナリオに関係なく変化すると予測され（確信度が非常に高い）、冬季の平均流出量の増加（確信度が高い）及び春季のピーク流量の早期化（確信度が非常に高い）を伴う。
 - すべての排出シナリオにおいて、氷河からの年間流出量及び夏季の流出量は21世紀末にまたはその前までに（例えば、アジアの高山域では21世紀半ば頃に）ピークに達し（確信度が高い）、その後は減少すると予測される。
 - 氷河の面積が小さい地域（例えば、熱帯アンデス、ヨーロッパアルプス）では、ほとんどの氷河がこのピークを既に過ぎている（確信度が高い）。
 - 2100年（RCP8.5）までに予測される氷河からの流出量の減少によって、いくつかの大規模な河川流域、特に乾季のアジアの高山域において、雪解け期の少なくとも1ヶ月の河川流出量を10%またはそれ以上に減少させうる（確信度が低い）。
- (IPCC SROCC SPMB1.6)

図. 氷河が融解して流出する水量がピークとなる時期（RCP2.6とRCP8.6）。元々氷河に覆われていた領域からの年間流出量が融解によって増加した後、氷河の縮小によって減少し始める年を示している。各棒グラフの色の濃淡は氷河の面積を表しており、面積が大きい氷河の方が水量がピークとなる時期が遅いことがわかる。

参考

SROCC 第2章 FAQ 2.1(151-152頁)では「氷河の縮小は下流域への河川流出にどのように影響するのか？」という問い合わせに答えている。

21世紀にわたって海洋は前例のない状態に移行する

- 21世紀にわたって海洋は、水温の上昇(ほぼ確実)、海洋上層部における成層の強化(可能性が非常に高い)、酸性化の進行(ほぼ確実)、酸素の減少(確信度が中程度)及び純一次生産の変化(確信度が低い)を伴って前例のない状態に移行すると予測される。
- これらの変化の速度及び規模は、温室効果ガスの排出量が低いシナリオにおいてより小さくなる(可能性が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM B2.)

- 表層から深海までの海洋全体において、2090年までに予測されている[以下のような]影響は、高排出シナリオ(RCP8.5)において、低排出シナリオ(RCP2.6)よりも大幅に大規模で広範囲に及ぶ。
 - 水温の上昇(ほぼ確実)
 - 海洋酸性化(ほぼ確実)
 - 炭酸カルシウムの結晶体の安定性の低下(ほぼ確実)
 - 酸素の減少(可能性が非常に高い)
 - 海面付近の栄養塩の減少(どちらも同程度)
 - 純一次生産の低下(確信度が高い)
 - 魚の生産量の低下(可能性が高い)
 - 人間の福祉や持続可能な開発に重要な役割を果たす主要な生態系サービスの損失(確信度が中程度)

(IPCC SROCC 451-452頁 第5章 エグゼクティブサマリーより)



海洋は21世紀を通して昇温を続けると予測される

- 海洋は21世紀を通して昇温を続ける(ほぼ確実)。2100年までに海洋の上層2,000m(2,000m以浅)は、1970年以降観測された海洋による貯熱量と比べて、RCP8.5では5~7倍(またはRCP2.6では2~4倍)の熱を吸収すると予測される(可能性が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM B2.1)

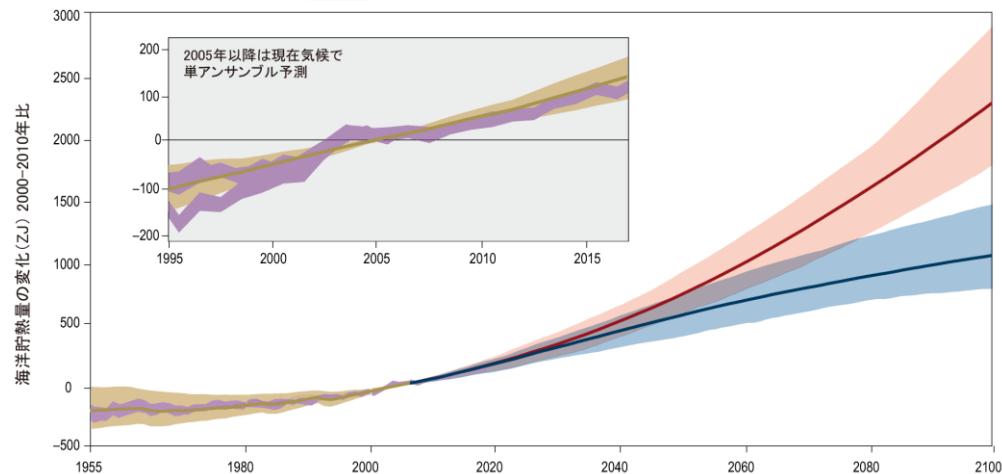
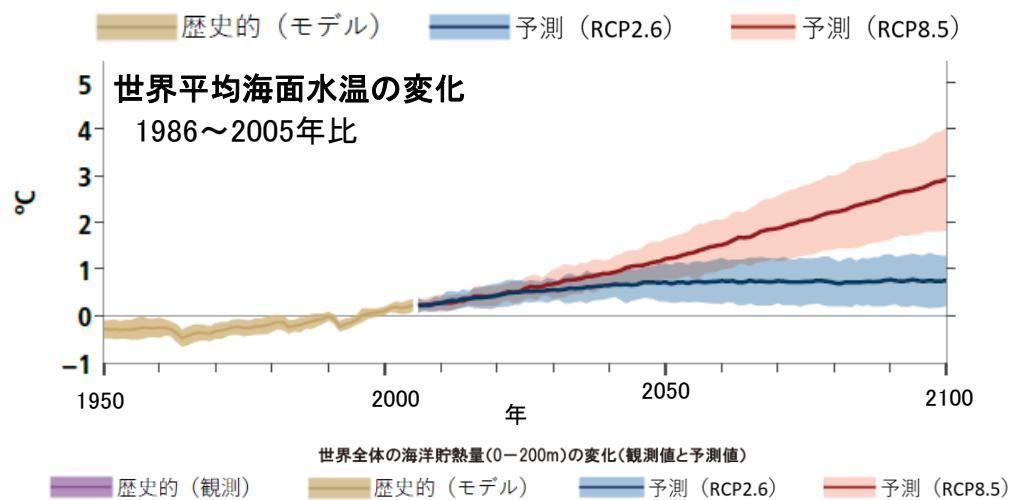
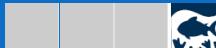


図. (上) 世界平均海面水温の変化(1986年-2005年比)。1950年以降の実態気候(再現計算の結果)並びにRCP2.6及びRCP8.5のシナリオにおいて予測される将来の変化。

図. (下) 世界全体で積算された海洋上層2000mの貯熱量の変化(2000-2010年比)。観測値、再現計算による実態気候、及びRCP2.6とRCP8.5での将来予測。



海洋上層の密度成層は増大すると予測される

- 上層 200m(200m以浅) の 密度成層の年平均(北緯60°と南緯60°の間の平均)は、2081～2100年に1986～2005年と比べて、RCP8.5では12～30%、RCP2.6では1～9%増大し(可能性が非常に高い)、その結果、栄養塩、炭素及び酸素の鉛直方向の流れを抑制すると予測される。

(IPCC SROCC SPM B2.1)

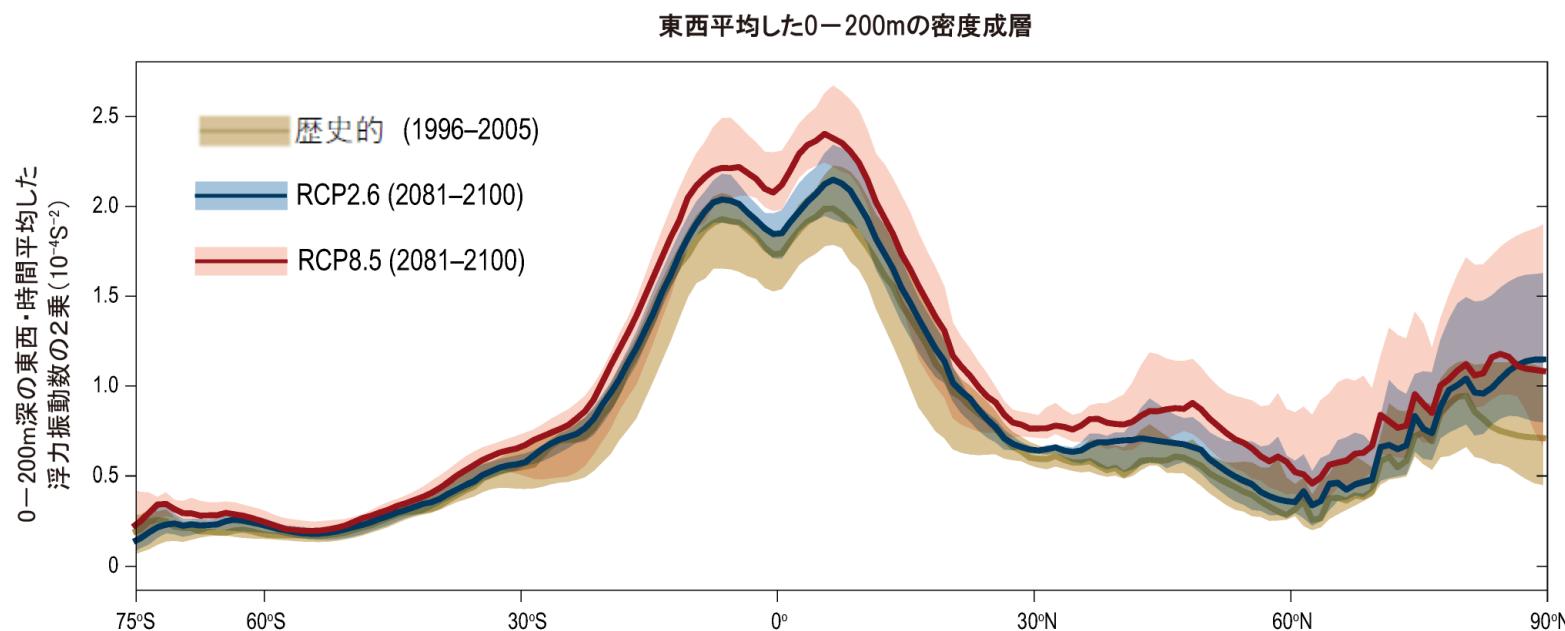


図. 東西平均した海洋表層200 mの密度成層。実態気候(1996-2005年)、及び21世紀末(RCP2.6とRCP8.5での2081-2100年)の将来予測(CMIP5)を示す。本図で示している平均浮力振動数の二乗は、海面と水深200m地点の間の密度差とほぼ線形比例の関係にあるため、海洋表層の密度成層を示す尺度である。



海洋の溶存酸素の減少も継続すると予測される

- 2081～2100年までに RCP8.5では海洋の酸素含有量(確信度が中程度)、海洋上層部の硝酸塩含有量(確信度が中程度)、純一次生産(確信度が低い)及び炭素輸送(確信度が中程度)は世界全体で減少すると予測され、その可能性が非常に高い範囲はそれぞれ 2006～2015年と比べて3～4%、9～14%、4～11%及び9～16%である。
- RCP2.6では、酸素の減少(可能性が非常に高い)、栄養塩の利用性(どちらも同程度の可能性)及び 純一次生産(確信度が高い)について世界全体で予測される変化は、RCP8.5に比べて小さい。

(IPCC SROCC SPM B2.2)

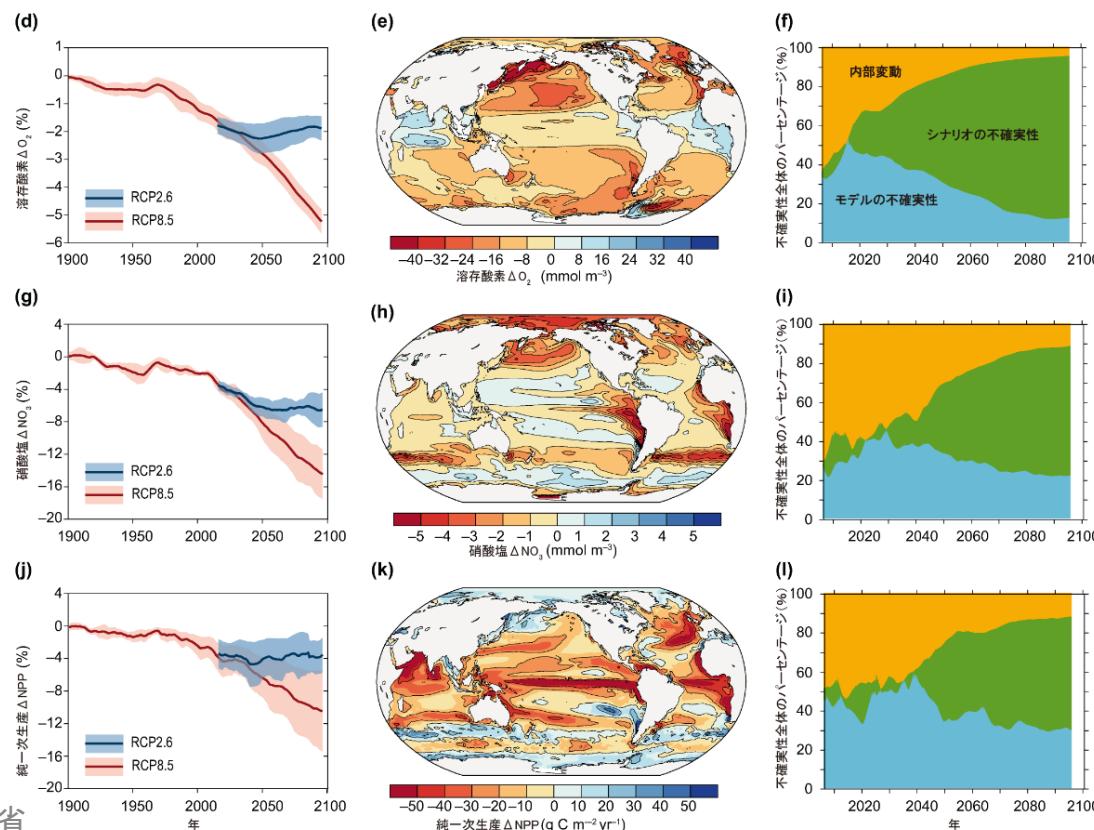


図. 水深100～600 mの溶存酸素濃度(上段)、表層100 mの硝酸塩濃度(中段)、及び表層100 mの総NPP(下段)の、1900～2100年の時系列変化(左)、21世紀末(2081～2100年平均、RCP8.5)の空間的パターン(中央)、並びに年間の世界平均値の不確実性全体のうち、内部変動による不確実性、モデルの不確実性、及びシナリオの不確実性が占める割合の時系列変化(右)。

出典：図 IPCC SROCC 470頁 第5章 図5.8(抜粋) 63



ほぼ確実に海洋酸性化が進むと予測される

- 2100年まで海洋による炭素の吸収が続けば、海洋酸性化を進行させることはほぼ確実である。外洋の海面のpHは、RCP8.5において2081～2100年までに、2006～2015年に比べてpH値が0.3低下すると予測される(ほぼ確実)。RCP8.5では、2081～2100年までに北極域及び亜寒帯において1年を通してアラゴナイトの安定性の閾値を超えることにより、アラゴナイトの殻を形成する中枢種にとってのリスクが高まる(可能性が非常に高い)。RCP2.6ではこれらの状況が今世紀中は回避できる(可能性が非常に高い)が、一部の東岸境界湧昇システムは依然として脆弱になると予測される(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B2.3)

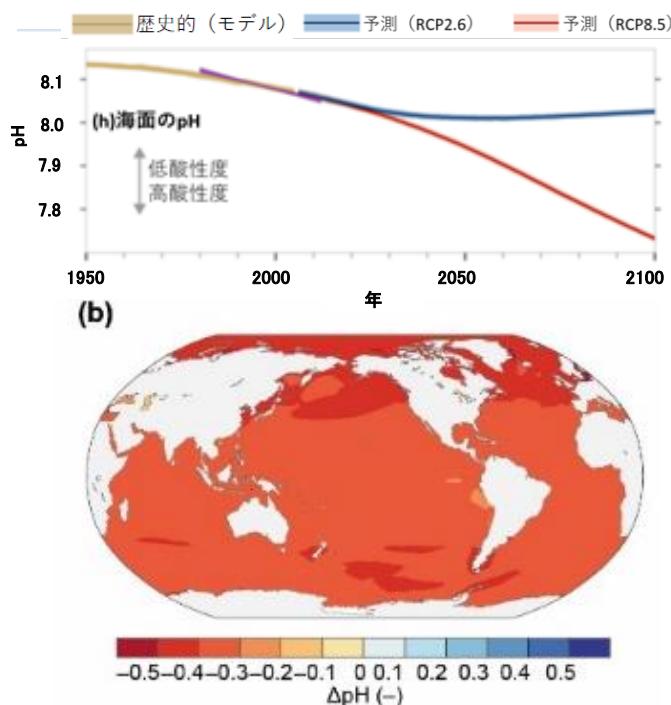


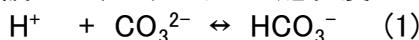
図. (上) 海面のpHの世界平均。(下) RCP8.5での海面pH
環境省 (2081-2100年平均)の空間的パターン(1850-1900年比)。

参考 1:

SROCC 第5章 Box 5.2 (490-491頁)に、気候変動が冷水性サンゴと海綿に与える影響に関する最新の知見がまとめられている。貧酸素化、アラゴナイト飽和度の低下、POC(粒子状有機炭素)フラックスの低下といった、温暖化による複数の気候関連ハザードが現在～2100年までに世界全体の冷水性サンゴに負の影響を与えると予測されている(確信度が高い)。海綿や海綿が形成する生息地は、冷水性サンゴほど脆弱ではないかもしれない予測されている(確信度が低い)。

参考 2:

サンゴの骨格の多くは炭酸カルシウム(CaCO_3)の結晶体としては比較的溶けやすいアラゴナイト(アラレ石)で形成されている。海洋酸性化が進んで水素イオンの濃度が高くなると、式(1)の反応によって炭酸イオン(CO_3^{2-})濃度が低くなりアラゴナイト飽和度が低下すると、アラゴナイト(式(2)の CaCO_3)の形成が阻害される。化学平衡論では、アラゴナイト飽和度が1を下回るとアラゴナイトは溶解する。



参照: <https://www.nies.go.jp/whatsnew/2013/20130109/20130109.html>

出典: 図(上) IPCC SROCC 図SPM1 (h)、図(下) IPCC SROCC 470頁 第5章 図5.8 (抜粋)



海洋生態系へのハザードが顕在化する時期の予測

- 海洋では、工業化以降かつてないほど気候が変化しており、外洋の生態系に対するリスクを高めている。

(IPCC SROCC SPM B2.4)

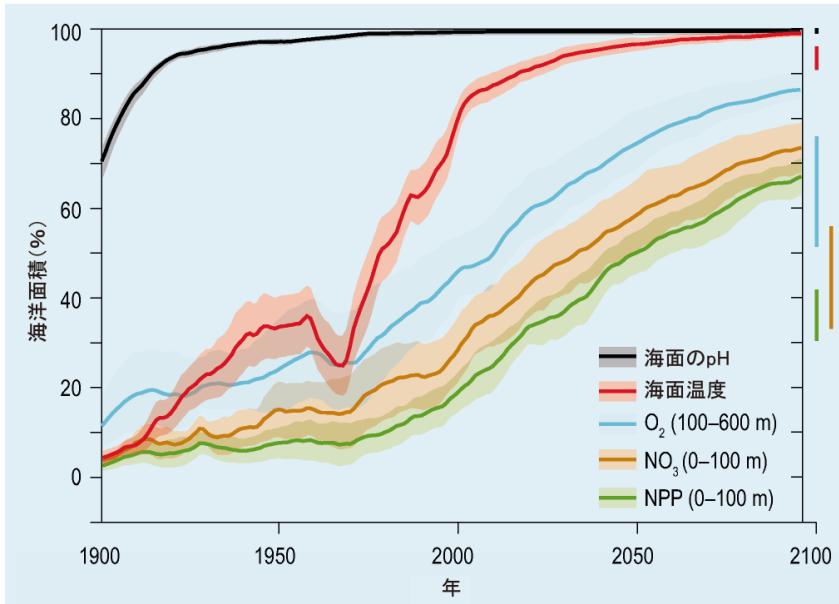


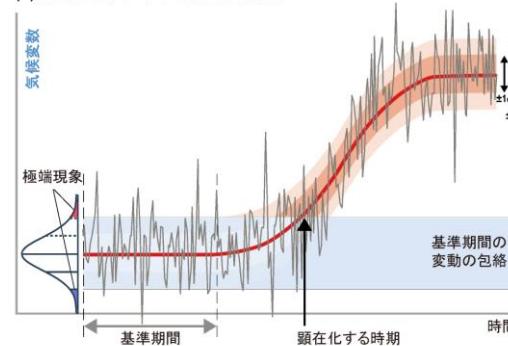
図. 海洋の状態を示す主要な変数(海面温度、海面pH、100–600 mの溶存酸素(O_2)、0–100m の硝酸塩濃度、及び0–100m の総NPP)が顕在化する時期。ここでは、参考期間(1860–1900年)と比較した各変数の平均値が標準偏差を上回った年を「顕在化する年」として、RCP8.5で各気候シグナルが出現する率を、海洋総面積の割合として示している。2100年におけるRCP2.6での各面積予測は、グラフの右端に縦線で示してある。

- ・ 海面の酸性化及び昇温は現在に至るまでの期間において既に顕在化している(可能性が非常に高い)。
- ・ RCP8.5では、2031～2050年までの期間に水深100～600mにおける酸素の減少は、海洋の面積の59～80%において起こると予測される(可能性が高い)。
- ・ 海洋生態系の変化の5つの主な駆動要因(海面の昇温及び酸性化、酸素の減少、硝酸塩の含有量、純一次生産の変化)が顕在化する時期が、RCP8.5では2031～2050年までに60%より広い海域で、RCP2.6では30%より広い海域で、すべて[の駆動要因は]2100年より前に起こると予測される(可能性が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM B2.4)

「顕在化する時期」とは、気候変動に関連する特定の人為起源のシグナルが、特定の地域について、参照期間における自然の気候変動性のバックグラウンドノイズから顕在化するのが統計的に検出される時期のことである。 (IPCC SROCC 699頁 Glossary)

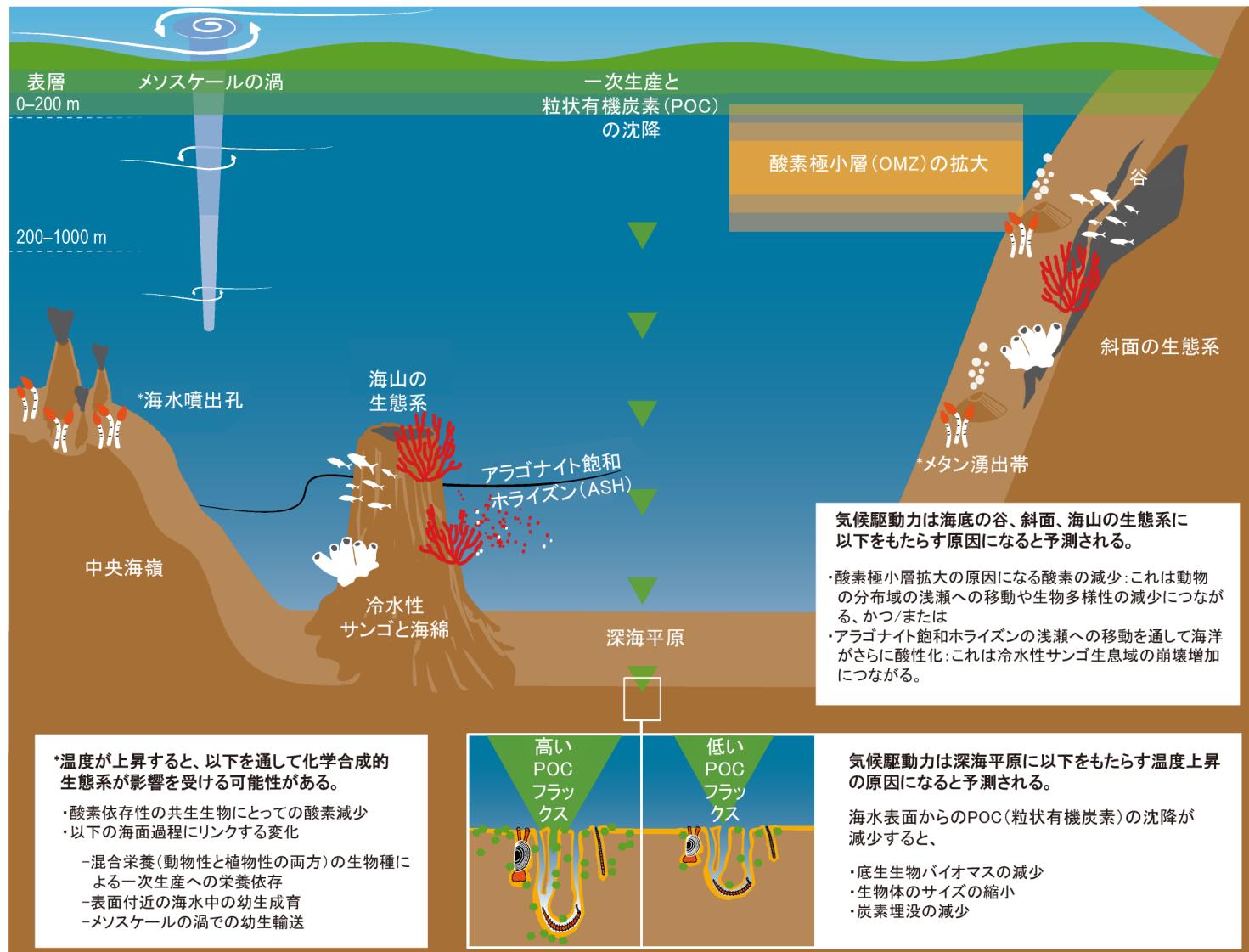
(b) 变動、顕在化する時期、極端現象



出典：図, IPCC SROCC 82頁 第1章 図 1(b)

海洋生態系へのハザードが顕在化する時期の予測（続き）

気候の駆動要因が深海の生態系にもたらす変化の模式図。



海洋熱波は、頻度・持続時間・広がり・強度がさらに増加と予測される

- 海洋熱波は頻度、持続期間、空間的な広がり及び強度(最高温度)に関してさらに増加すると予測される(確信度が非常に高い)。
- 気候モデルは、海洋熱波の頻度が2081～2100年までに1850～1900年に比べて、RCP8.5で約50倍、RCP2.6で20倍増加すると予測する(確信度が中程度)。
- 頻度は、北極域及び熱帯域の海洋で最も大きいと予測される(確信度が中程度)。
- 海洋熱波の強度は、2081～2100年までに1850～1900年に比べて、RCP8.5で約10倍に増大すると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B2.5)

表. 海洋熱波の持続期間及び強度の変化 (SROCC 609頁 第6章 6.4.1.3より作成)

海洋熱波*の指標	1850-1900年	2081-2100年 (RCP8.5)	SROCCで示された可能性
持続期間	8-10日間	126-152日間	可能性が非常に高い
最高強度	0.3-0.4°C	3.1-3.8°C	可能性が非常に高い

*ここでは、日平均海面水温が1850-1900 年の99 パーセンタイルを超える現象が海洋熱波と定義され、最高強度は海洋熱波発生時の最高海面水温偏差である。

海洋熱波は、頻度・持続時間・広がり・強度がさらに増加と予測される(続き)

海洋熱波の頻度と広がりの増加

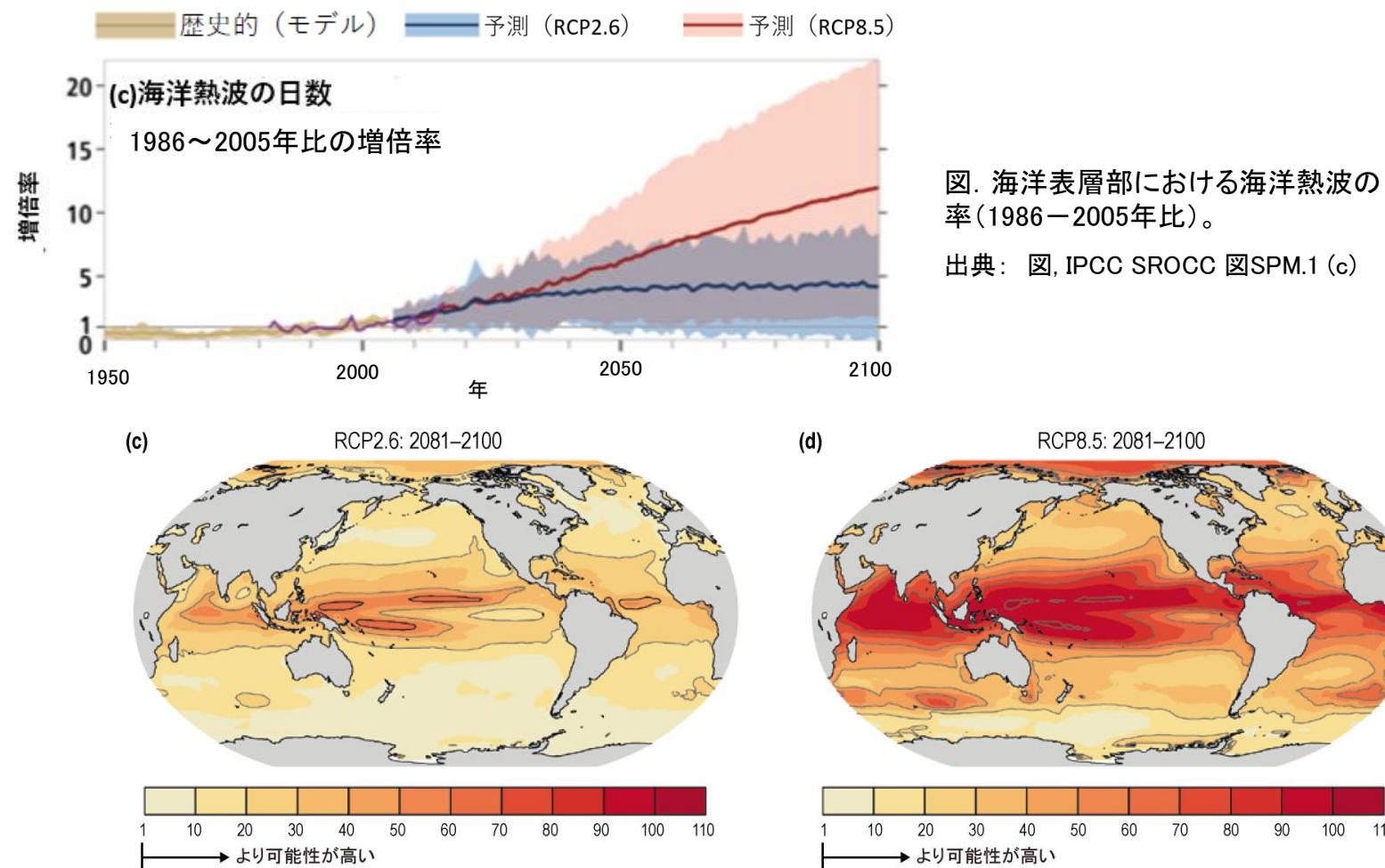
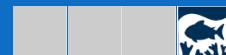


図. 海洋熱波日数の変化の空間的分布。1850–1900年の年間の海洋熱波日数を基準とした2081–2100年の海洋熱波日数の変化割合を示している(左:RCP2.6、右:RCP8.5)。

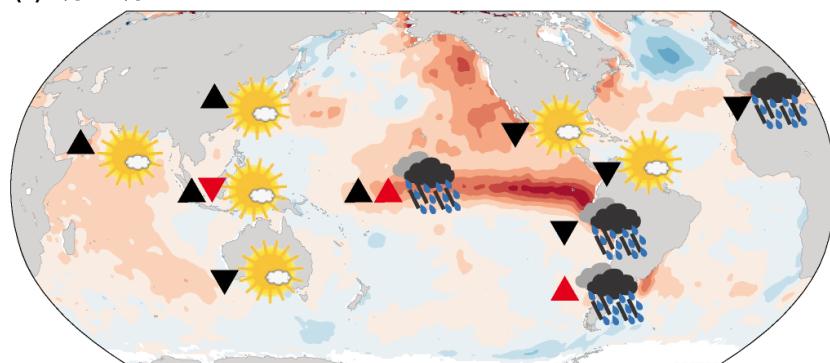


極端なエルニーニョ・ラニーニャ現象の頻度の増大が予測される

■ 極端なエルニーニョ現象及びラニーニャ現象は、21世紀に頻度が増大する可能性が高く、世界のいくつかの地域でより乾燥またはより湿潤な応答を伴うことで既存のハザードを強化する可能性が高いと予測される。21世紀には、RCP2.6及びRCP8.5の両方において極端なエルニーニョ現象が20世紀に比べて2倍発生すると予測される（確信度が中程度）。予測によると、極端な インド洋ダイポール現象も頻度が増加することが示されている（確信度が低い）。

(IPCC SROCC SPM B2.6)

(a) 6月-8月

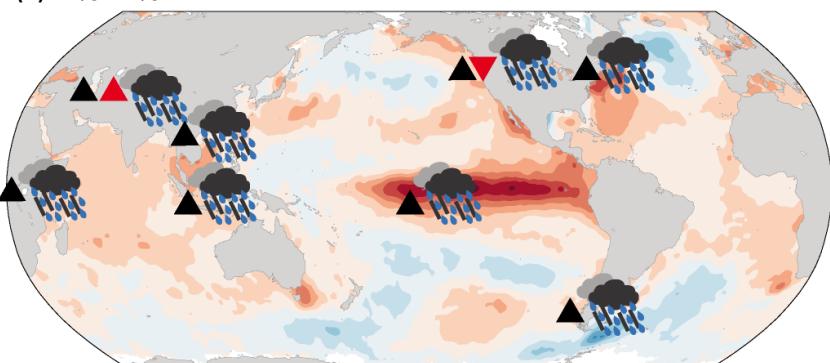


エル・ニーニョ時の
湿潤化もしくは
乾燥化

▼▲
将来の
平均降水量の
変化

▼▲
将来のエル・ニーニョ時の
降水量の変化

(b) 12月-2月



-3 -2 -1 0 1 2 3
海面温度の偏差 (°C)

図.エルニーニョによるテレコネクションの将来的な変化を示す概略図。背景の海面温度偏差は、ここ最近で観測された最も極端なエルニーニョ現象のもので、(a)2015年6月～8月及び(b)2015年12月～2016年2月の平均値である(1986-2005年比)。地図上のシンボルは現在のエルニーニョ現象のテレコネクションを示す。将来の平均降水量の変化についてモデル間に一致した見解がある場合は黒色の矢印で示してある。将来のエルニーニョ時の降水量偏差の変化についてモデル間に一致した見解がある場合は赤の矢印で示してある。矢印の方向が上向きの場合は降水量の増加を、下向きの場合は減少を意味する。3分の2以上のモデルが符号(+もしくは-)について一致した見解を示している場合に有意な変化と判断されている。



AMOCは減衰するが今世紀は停止しないと予測

■ AMOCは21世紀にすべてのRCPにおいて弱体化すると予測されるが(可能性が非常に高い)、停止に至る可能性が非常に低い(確信度が中程度)。 (IPCC SROCC SPM B2.7)

- CMIP5の予測によると、2300年までのAMOCの停止[するかしないか]は高排出シナリオにおいて五分五分の可能性で、低排出シナリオでは可能性が非常に低い(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B2.7)

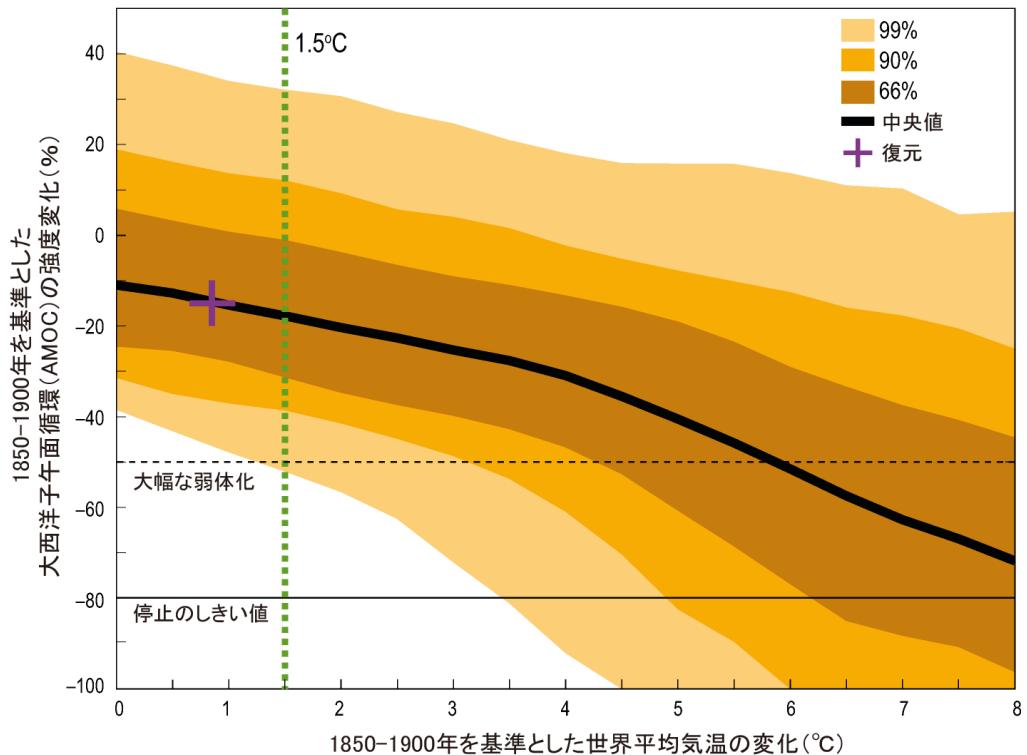


図. 1850–1900年を基準とした世界平均気温の変化に対する、大西洋子午面循環(AMOC)の強度変化。ここでは、北緯26度(水深500m以下)の年間平均AMOC強度の変化(1850–1900年比、単位:%)を、2006–2300年の期間についてRCP4.5で10,000回及びRCP8.5で10,000回の実験[計算]をした結果を示している。年間平均AMOC強度はトランジエント(過渡的)シミュレーションの結果であるため、平衡値ではない。また、ここで示す結果は過去からのシミュレーションではなく将来のものである。そのため、世界平均温度とAMOCの内部変動により、0°Cの温暖化の場合でも弱体化が示されていることに注意が必要。

AMOCの解説についてはスライド28頁参照。



AMOCは減衰するが今世紀は停止しないと予測(続き)

- AMOCの大幅な弱体化が起こった場合、北大西洋における海洋生産性の低下(確信度が中程度)、北ヨーロッパにおける暴風雨(storm)の増加(確信度が中程度)、サヘル地域[（サハラ砂漠南縁部に広がる半乾燥地域）](確信度が高い)及び南アジア(確信度が中程度)における夏季の降水量の減少、大西洋における熱帯低気圧の数の減少、並びに北米の北東部の沿岸における地域的な海面水位の上昇(確信度が中程度)を引き起こすと予測される(確信度が中程度)。このような変化が、地球温暖化のシグナルの上に加わって起こるものである。

(IPCC SROCC SPM B2.7)



自然現象システム

	干ばつ
	海面水位上昇
	海水と雪
	嵐

生物システム

	植生
	海洋生態系
	湿地のメタン

人間システムと管理されたシステム

	農業と食料生産
	生計の悪化による移住圧力

変化の方向

- ▲ 増
- ▼ 減

プロセスの理解における確信度

- 高
- 中
- 低

図. 大西洋子午面循環(AMOC)の停止もしくは大幅な減衰によるテレコネクションと影響を示す解説図。AMOCの変化は大西洋海盆だけでなく、アジアや南極域でも影響を及ぼす。アイコンの右側に付された矢印(三角形)は、アイコンで示されたシステムに関する変化の方向を示している。



海面水位の上昇は加速しながら継続すると予測される

- 海面水位の上昇は加速しながら続いている。
- 高排出シナリオ(RCP8.5)では、南極氷床の寄与が大きく(確信度が中程度)、2100年までに予測される世界全体の海面水位の上昇は、AR5と比べて大きい。

(IPCC SROCC SPM B3)

- RCP2.6 では世界平均海面水位(GMSL)の上昇は、1986～2005年の期間と比べて、2081～2100年の期間に 0.39m(0.26～0.53m、可能性が高い範囲)、2100 年に0.43 m(0.29～0.59 m、可能性が高い範囲)になると予測される。RCP8.5では、対応するGMSLの上昇は2081～2100 年に0.71 m(0.51～0.92m、可能性が高い範囲)、2100 年に0.84m(0.61～1.10m、可能性が高い範囲)になると予測される。
- RCP8.5における2100年の平均海面水位の上昇はAR5に比べて0.1m高くなっている、可能性が高い範囲は、南極氷床の減少がより大きくなるため、2100 年に1m を超えている(確信度が中程度)。21世紀末の不確実性は、特に南極の氷床によって主に決定される。

(IPCC SROCC SPM B3.1.)

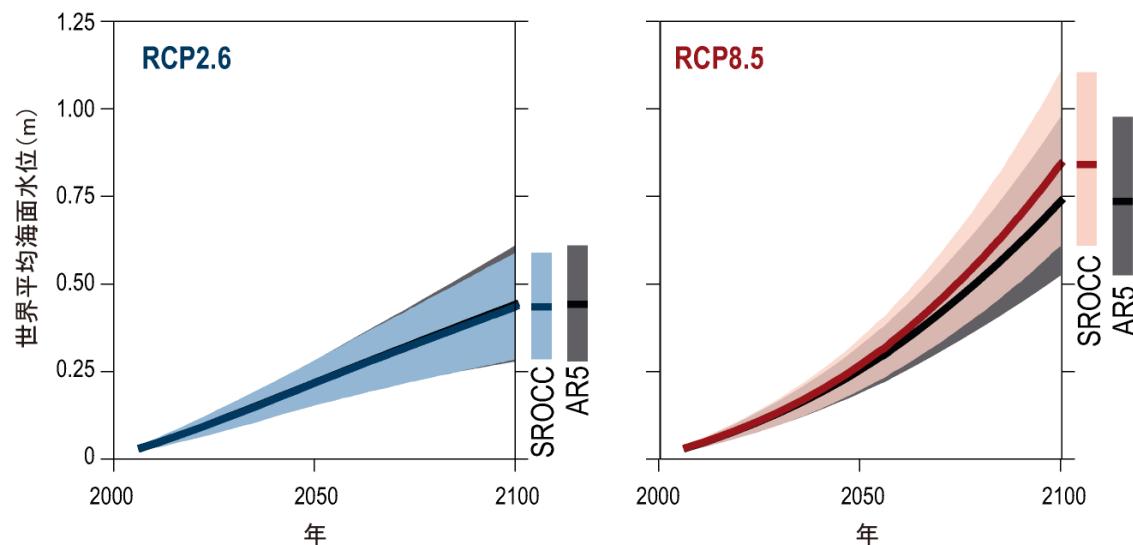


図. RCP2.6とRCP8.5での世界平均海面水位変化(SROCCでの評価及び(参考として)AR5での評価)。南極の寄与以外のすべての構成要素はAR5の結果に基づいた結果である。2081～2100 年の南極の寄与量はスライド次ページの表参照。

海面水位の上昇は加速しながら継続すると予測される(続き)

表. 2081–2100年の世界平均海面水位(1985–2005年比、単位:メートル)とその構成要素。3つのシナリオでの可能性が高い範囲と中央値を示す。加えて、2046–2065年及び2100年の世界平均海面水位、並びに2100年の世界平均海面水位の変化速度も示す。「合計AR5 – 南極AR5」は、AR5 の各構成要素の寄与から南極の寄与量を除いたもので、この値に新たに導出された南極の寄与量を加えて、世界平均海面水位の値が求められた。

	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	コメント
熱膨張	0.14 (0.10–0.18)	0.19 (0.14–0.23)	0.27 (0.21–0.33)	AR5
氷河	0.10 (0.04–0.16)	0.12 (0.06–0.18)	0.16 (0.09–0.23)	AR5
グリーンランド表面質量収支	0.03 (0.01–0.07)	0.04 (0.02–0.09)	0.07 (0.03–0.17)	AR5
グリーンランド力学的寄与	0.04 (0.01–0.06)	0.04 (0.01–0.06)	0.05 (0.02–0.07)	AR5
陸水貯留量	0.04 (-0.01–0.09)	0.04 (-0.01–0.09)	0.04 (-0.01–0.09)	AR5
合計AR5–南極AR5★; 2081–2100	0.35 (0.23–0.48)	0.43 (0.30–0.57)	0.60 (0.43–0.78)	SROCC (AR5に基づく)
合計AR5–南極AR5; 2046–2065	0.22 (0.15–0.29)	0.24 (0.17–0.31)	0.28 (0.20–0.36)	SROCC (AR5に基づく)
南極2031–2050	0.01 (0.00–0.03)	0.01 (0.00–0.03)	0.02 (0.00–0.05)	SROCC
南極2046–2065	0.02 (0.00–0.05)	0.02 (0.01–0.05)	0.03 (0.00–0.08)	SROCC
南極2081–2100	0.04 (0.01–0.10)	0.05 (0.01–0.13)	0.10 (0.02–0.23)	SROCC
南極2100	0.04 (0.01–0.11)	0.06 (0.01–0.15)	0.12 (0.03–0.28)	SROCC
世界平均海面水位2031–2050	0.17 (0.12–0.22)	0.18 (0.13–0.23)	0.20 (0.15–0.26)	SROCC
世界平均海面水位2046–2065	0.24 (0.17–0.32)	0.26 (0.19–0.34)	0.32 (0.23–0.40)	SROCC
世界平均海面水位2081–2100	0.39 (0.26–0.53)	0.49 (0.34–0.64)	0.71 (0.51–0.92)	SROCC
世界平均海面水位2100	0.43 (0.29–0.59)	0.55 (0.39–0.72)	0.84 (0.61–1.10)	SROCC
変化量(mm/年)	4(2–6)	7(4–9)	15(10–20)	SROCC

海面水位の上昇は加速しながら継続すると予測される(続き)

- RCP8.5の下では、今後数世紀にわたって、海面水位は年間数センチを超える速度で上昇し、その結果数メートル上昇すると予測される(確信度が中程度)が、RCP2.6では海面水位の上昇が2300年に1m程度に抑えられると予測される(確信度が低い)。

(IPCC SROCC SPM B3)

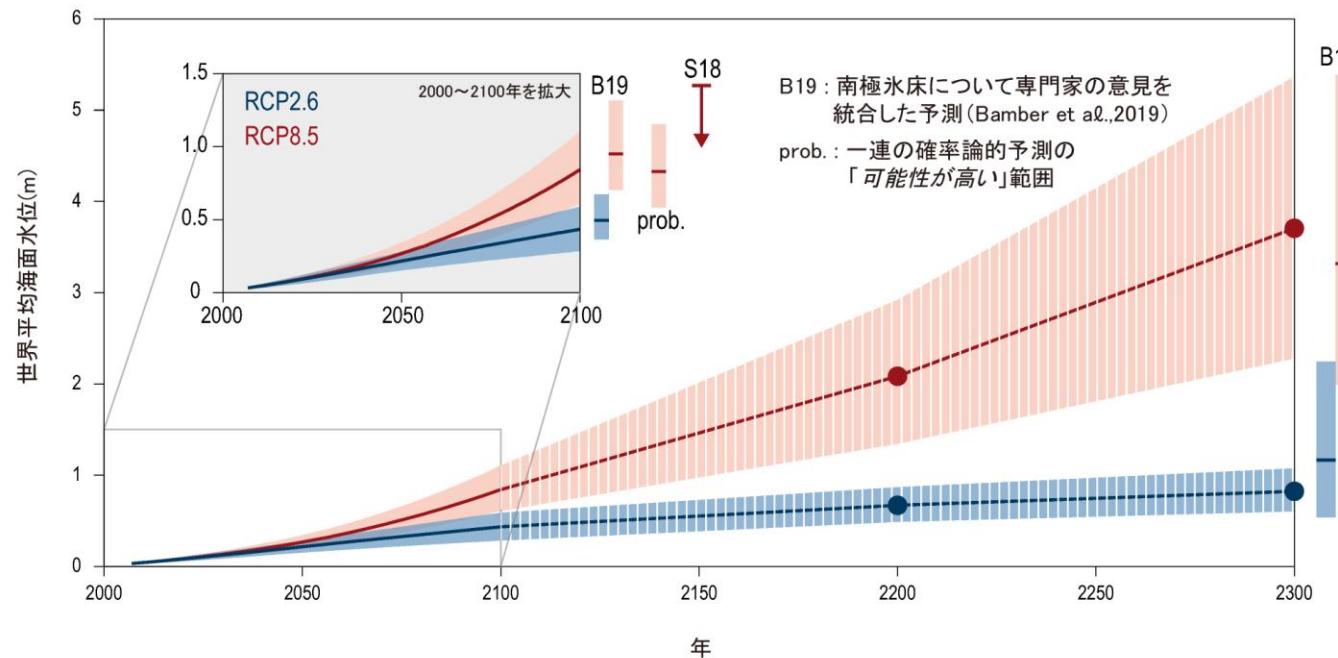


図. 2300年までの海面水位上昇の予測。挿入図は2100年までの予測を拡大表示したもの。縦線の着色域は、2100年以降の海面水位予測の確信度が低いことを反映している。「B19」の2対の縦棒は、専門家の意見を統合した南極の寄与量の予測(Bamber et al., 2019)で、 2°C と 5°C の温暖化において可能性が高い範囲を示している(確信度が低い)。「S18」と示した矢印は、南極氷床モデルによる大規模な感度実験に、海面上昇に関連する他の要素についてはChurch et al. (2013)の結果を組み合わせた結果で、可能性が高い範囲を示している。



海面水位の上昇は加速しながら継続すると予測される(続き)

- 海面水位の上昇の速度は、RCP8.5では2100年に15mm/年(10~20mm/年、可能性が高い範囲)に達し、22世紀には数cm/年を超えると予測される。RCP2.6では、その速度は2100年に4mm/年(2~6mm/年、可能性が高い範囲)に達すると予測される。モデルの研究は、2300年までに海面水位は数メートル上昇することを示し(RCP8.5において2.4~5.4m、RCP2.6において0.6~1.07m)(確信度が低い)、海面水位の上昇を抑えるためには排出削減が重要であることを示唆する。
- 将来の棚氷の減少の時期及び氷床の不安定性の広がりを左右するプロセスは、海面水位上昇に対する南極の寄与を、100年及びより長い時間スケールにおける可能性が高い範囲よりかなり大きな値まで増大させうる(確信度が低い)。南極氷床の部分的な崩壊に伴う海面水位の上昇の結果を考慮すると、この影響力の大きいリスクは注目に値する。

(IPCC SROCC SPM B3.3)

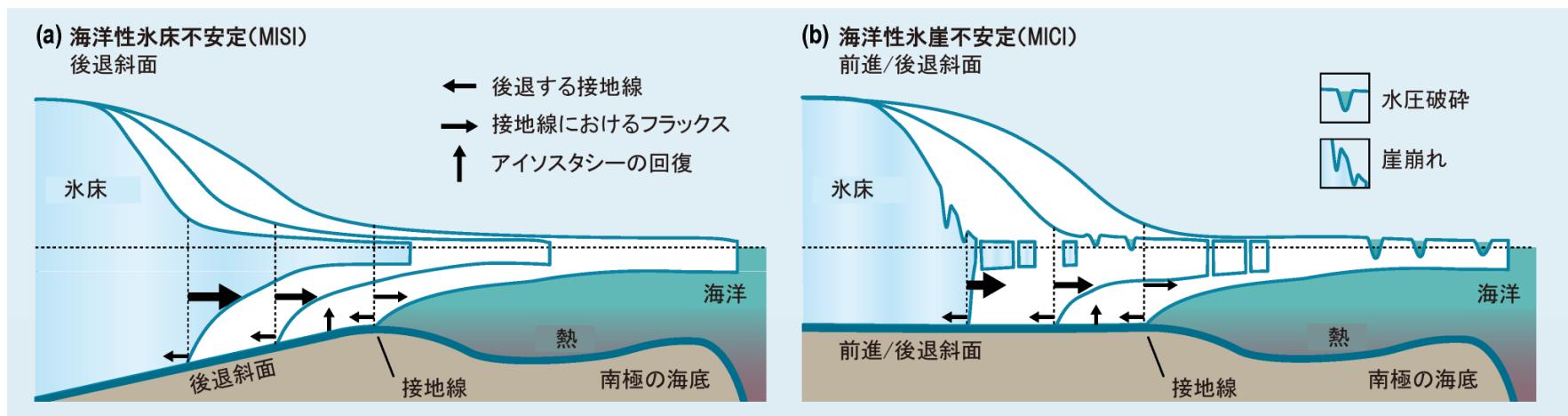


図. (a) 海洋性氷床不安定(MISI)の概略図。支えとなっている(buttressing)棚氷が薄化することで氷床の流れが加速し、海で終わる氷縁が薄化する。氷床下部の海底は氷床内部に向かって下っている後退斜面になっているため、氷が薄くなつて接地線が後退すると、海へと流出する氷の流れ(フランクス)が増加し、氷縁の薄化がさらに進むことになる。

(b) 海洋性氷崖不安定(MICI)の概略図。棚氷下部の融解及び／または水圧破碎による棚氷の崩壊により、氷崖が形成される。この氷崖の高さが高くなる(総氷厚が800 m以上もしくは水面から100mの高さ)と、断崖に氷が耐えうるよりも大きな圧力がかかり、末端流出を繰り返すことで構造的に崖が崩れる。



気候変動以外のプロセスが将来の海面水位変化に与える影響

- 海面水位の予測はGMSLとの地域差を示す。自然のプロセス及び人為的活動によって引き起こされた局所的な地盤沈下など、最近の気候変動によって引き起こされたもの以外のプロセスは沿岸域での相対的な海面水位の変化にとって重要である(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B3.2)

- 海面水位の予測はGMSLとの地域差を示す。自然のプロセス及び人為的活動によって引き起こされた局所的な地盤沈下など、最近の気候変動によって引き起こされたもの以外のプロセスは沿岸域での相対的な海面水位の変化にとって重要である(確信度が高い)。気候に起因する海面水位の上昇の相対的な重要性は時間を経て増加すると予測される一方で、海面水位の予測及び影響には局所的なプロセスを考慮する必要がある(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPMB3.2)

- 海面水位の上昇は世界全体で一様ではなく、地域によって差がある。熱膨張、海洋力学、及び陸域の氷の消失による地域的な海面水位とGMSLとの差は±30%程度になる。地下水のくみ上げといった人為的な要因等によって垂直方向の地盤の動きが急速に進んでいる場所においては、GMSLと地域的な海面水位との差は±30%以上になりうる(確信度が高い)。多くのデルタ地域では現在、人間活動による地盤沈下が相対海面水位変化の最大の要因となっている。気候変動による相対海面水位上昇の相対的な重要性も時間と共に増大するが、このような人為的な地盤沈下の影響を考慮すると、局所的な海面水位上昇の影響を予測するためには、局所的なプロセスの検討が必然的に重要となる(確信度が高い)。

(IPCC SROCC 324頁 第3章 エグゼクティブサマリー)



海面水位の極端現象が、特に熱帯地域でより頻繁に起こると予測される

- 歴史的に稀な(最近の過去100年に一度)海面水位の極端現象が、全てのRCPシナリオで2050年までに、多くの場所において頻繁(1年に一度以上)に、特に熱帯地域において、起こると予測される(確信度が高い)。
- 高海面水位になる頻度の増大により、曝露の度合いによるが、多くの場所で深刻な影響を与える。(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B3)

地域的な海面水位の上昇が予測される極端な海面水位の上昇の現象に与える影響の図解(原寸に比例しない)

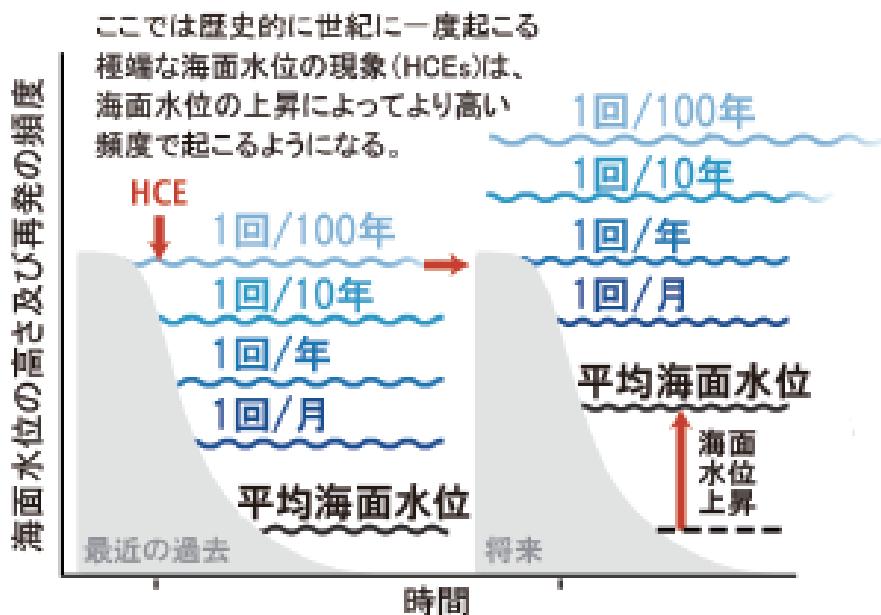


図. 海面水位の極端現象並びに最近(1986～2005年)及び将来における発生回数の平均の模式図。平均海面水位の上昇の結果、歴史的に1世紀に一度起きた(Historical Centennial Events、HCEs)局所的な海面水位は、将来的により高い頻度で繰り返し起こると予測される。

- ・ 世界平均海面水位の上昇によって、ほとんどの場所での海面水位の極端現象の頻度が増大する。
- ・ 歴史的に1世紀に一度[の確率で]発生した局所的な海面水位が、すべてのRCPシナリオでほとんどの場所で2100年まで少なくとも毎年起こると予測される(確信度が高い)。
- ・ 多くの低平地のメガシティ及び小島嶼(SIDSを含む)は、RCP2.6、RCP4.5及びRCP8.5では、歴史的に1世紀に一度の現象を、2050年まで少なくとも年に一度経験することが予測される。
- ・ 中緯度域において歴史的に1世紀に一度の現象が年に一度の現象となる年は、RCP8.5において、最も早く発生し、続いてRCP4.5、RCP2.6で発生する。
- ・ 高海面水位の頻度の増加は、曝露の程度によって、多くの場所で深刻な影響を与える(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B3.4)

海面水位の極端現象が、特に熱帯地域でより頻繁に起こると予測される(続き)

海面水位の極端現象

予測される世界平均海面水位(GMSL)の上昇の結果、歴史的に1世紀に一度起こった(歴史的に世紀に一度の現象:HCEs)局所的な海面水位は、21世紀の間にほとんどどの地点において少なくとも1年に一度起こる現象となると予測される。HCEsの高さには大きな幅があり、曝露の程度によって深刻な影響をもたらしうる。影響は HCEsの頻度の増大に伴って増大し続けうる。

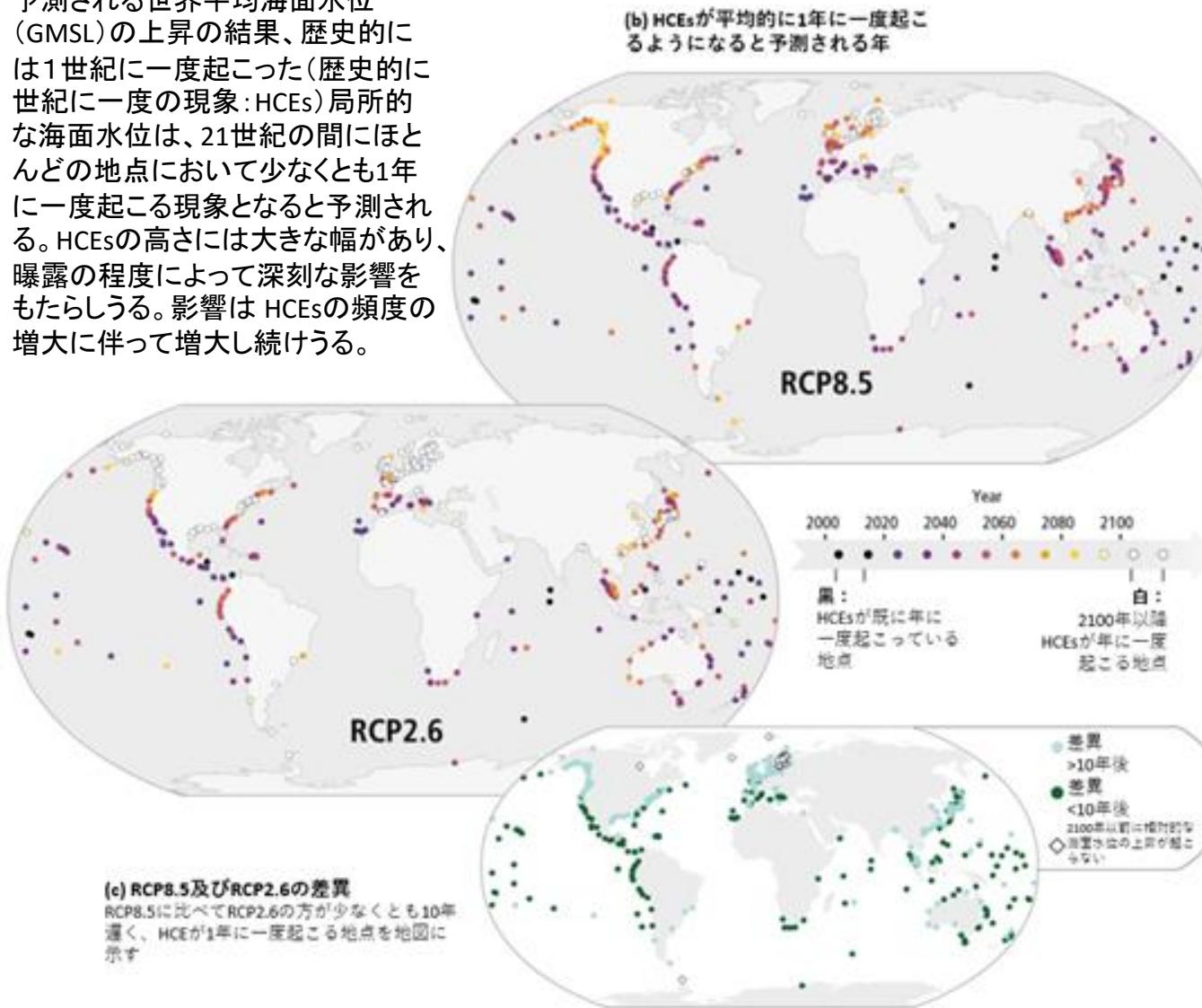


図. 地域的な海面水位の上昇が沿岸域の地点の海面水位の極端現象に与える影響。

(b) 観測記録が十分にある439箇所の沿岸域の各地点において、RCP8.5及びRCP2.6の下でHCEsが平均的に1年に一度の確率で再発すると予想される年。丸がない場合は、データの不足により評価を実施できなかったことを意味し、曝露及びリスクがないことを示すのではない。丸の色が濃い方がこの移行が早く起こると予想されている。この移行が2100年より以前に起こると予想される地点について、可能性が高い範囲は±10年である。白い丸(RCP2.6では全体の33%の地点、RCP8.5下では10%の地点)は、2100年以前にHCEsが1年に一度起こると予想されていないことを示す。

(c) RCP2.6におけるHCEsから1年に一度起こる現象への移行が、RCP8.5より10年遅くなると予測される地点を示す。各シナリオが2050年までに示す差がどの地点においても小さいため、RCP4.5については結果をここで示さないが、海洋雪氷圈特別報告書 第4章において記述されている。

極端な海面水位及び沿岸域のハザードは悪化すると予測される

■ 極端な海面水位及び沿岸域のハザードは、熱帯低気圧の強度及び降水量の増加によって悪化する(確信度が高い)。

■ 波浪や潮汐の予測される変化がこれらのハザードを增幅または低減するかどうかは、場所により異なる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B3)

- 有義波高(波高の高い方から順に全体の3分の1の個数平均)は、RCP8.5では南大洋及び熱帯の東太平洋(確信度が高い)並びにバルト海(確信度が中程度)で増加し、北大西洋及び地中海で減少すると予測される(確信度が高い)。沿岸域の潮位の振幅及びパターンは、海面水位の上昇及び沿岸域の適応策によって変化すると予測される(可能性が非常に高い)。気象パターンの変化によって発生すると予測される波の変化及び海面水位の上昇による潮位の変化の予測により、沿岸域のハザードを局的に強化または改善しうる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B3.5)

- 熱帯低気圧の平均強度、熱帯低気圧全体に占めるカテゴリー4及び5の割合、並びに関連する平均降水量は、世界全体の気温が 2°C 上昇する場合、どの基準期間と比べても増加すると予測される(確信度が中程度)。平均海面水位の上昇は、熱帯低気圧に関連したさらに高い極端な海面水位に寄与する(確信度が非常に高い)。沿岸域のハザードは、熱帯低気圧の平均強度、高潮の規模及び降水量の増加によって悪化する。今世紀半ばから2100年にかけて、RCP2.6よりRCP8.5においてより大幅な増大が予測されている(確信度が中程度)。全球規模での熱帯低気圧が将来発生する頻度の変化については確信度が低い。

(IPCC SROCC SPM 3.6)



雪氷圏の変化は陸域及び淡水の生態系を改変し続けると予測される

- 将来起こる陸域の雪氷圏の変化は、生態系の構造及び機能発現に変化をもたらす種の分布の大規模な移動(変化)、そしてその後に起こる世界全体で固有の生物多様性の喪失を伴って、高山地域及び極域における陸域及び淡水の生態系を改変し続ける(確信度が中程度)

(IPCC SROCC SPM B4.)

- 高山地域では、より低標高の生物種によるさらなる高標高への移動、生息域の縮小及び死亡率の増大により、多くの高山帯の生物種、特に氷河または雪に依存する生物種の個体数の減少を引き起こし(確信度が高い)、局所的に、そして最終的には世界全体における生物種の喪失を伴う(確信度が中程度)。高山帯の生物種の持続性及び生態系サービスの持続は、適切な保全策及び適応策に依拠する(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B4.1)

- 北極域の陸域では、一部の北極圏の高緯度の生物種にとって避難できるレフュージア(避難場所)が限定的であり、それ故温帯域の生物種との競争に負けるため、世界的に固有の生物多様性の喪失が予測される(確信度が中程度)。2050年までに低木及び高木が拡大し、北極圏のツンドラ帯の24~52%を被覆すると予測される(確信度が中程度)。北方林[の分布域]は、北端で拡大する一方で、南端では消滅し、より低層のバイオマスによる森林/灌木地に置き換わると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B4.2)

参考

SROCC 第3章 Box 3.4 (256~258頁)に、気候変動に関する生息域の移動と生物種の侵入が極域の生物多様性に与える影響とリスクについての最新の知見がまとめられている。生息域の拡大には、人間が持ち込んだ外来種が気候変動の影響を受けて定着することで起こるものもある。



永久凍土の融解や雪の減少による将来的な影響

- 永久凍土の融解及び雪の減少は、北極域及び山岳地域の水循環及び森林火災に影響を与え、その結果、植生や野生生物に影響を及ぼす（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM B4. 3)

- 北極域の陸域の永久凍土の約20%は急激な永久凍土の融解及び土壤侵食に脆弱で、RCP8.5において2100年までに小さい湖沼の面積が50%増大すると予測される（確信度が中程度）。
- 降水量の増加、蒸発散及び北極海への河川流出を含む地域の水循環が全体的に強化されると予測されているにも関わらず、雪及び永久凍土の減少は土壤の乾燥を引き起こし、生態系の生産性及び搅乱に影響するだろう（確信度が中程度）。
- 森林火災は今世紀末まで、ほとんどのツンドラ地帯及び北方、並びに一部の山岳地域にわたって増加すると予測され、同時に気候及び植生の移動の間の相互作用によって将来の火災の強度及び頻度が影響を受ける（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM B4. 3)

参考

SROCC 第2章 FAQ 2.1(151-152頁)では「氷河の縮小は下流域への河川流出にどのように影響するのか？」という問い合わせている。気温が上昇すると山岳氷河が融解し、当初は氷河から離れた下流域への水量が増加するが、氷河の縮小が進むにつれて水の供給量は減少する。水の供給量が減少する時期については、スライド59頁参照。

海洋生態系のバイオマス量や種の構成の変化が予測される

- 全ての排出シナリオにおいて、海洋動物の群集の世界全体のバイオマス[(生物量)]の減少、その生産及び潜在的な漁獲量の減少、並びに種の構成の変化が、21世紀にわたって海面から深海の海底にかけて海洋生態系において起こると予測される(確信度が中程度)。
- 減少の速度及び規模は、熱帯域において最大(確信度が高い)となる一方で、影響は極域において依然として多様であり(確信度が中程度)、[影響は]高排出シナリオにおいては増大すると予測される。

(IPCC SROCC SPM B5.)

- 予測される海洋の昇温及び純一次生産の変化は、海洋生態系におけるバイオマス、生産及び群集構造を改変する。食物網全体にわたる海洋生物の世界規模のバイオマスはRCP8.5において21世紀末までに1986～2005年に比べて $15.0 \pm 5.9\%$ (可能性が非常に高い範囲)減少し、潜在的な最大漁獲量は20.5～24.1%減少すると予測される(確信度が中程度)。これらの変化はRCP2.6と比べてRCP8.5において3～4倍大きくなる可能性が非常に高い。

(IPCC SROCC SMP B5.1)

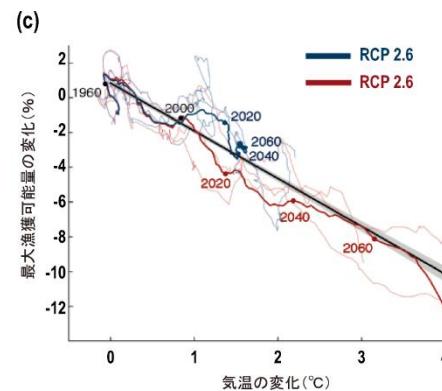
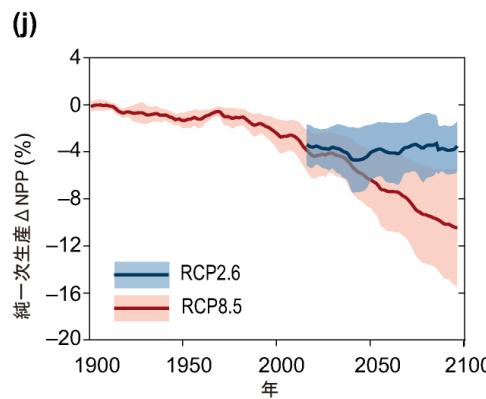
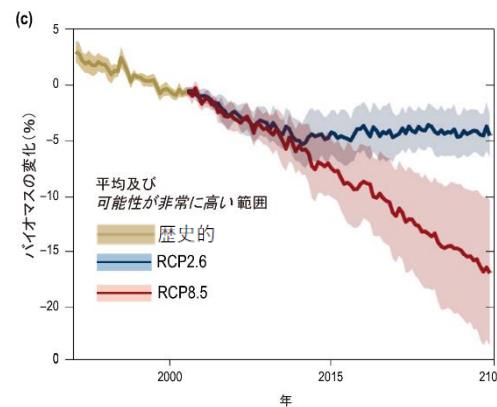


図. (左)バイオマス総量の時系列変化、(中央)純一次生産の時系列変化、(右)最大漁獲量の変化(横軸は世界気温の変化(1950-1961年比))。

出典: 図, (左)IPCC SROCC 484頁 第5章 図 5.14 (c)、(中央) IPCC SROCC 470頁 第5章 図 5.8 (j)、IPCC SROCC 504頁 第5章 図 5.18 (c)

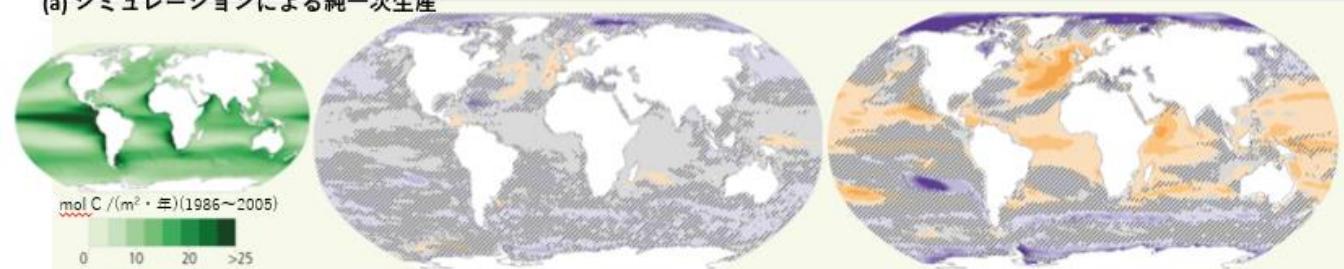
海洋生態系のバイオマス量や種の構成の変化が予測される(続き)

気候変動の結果起こる海洋生態系における変化

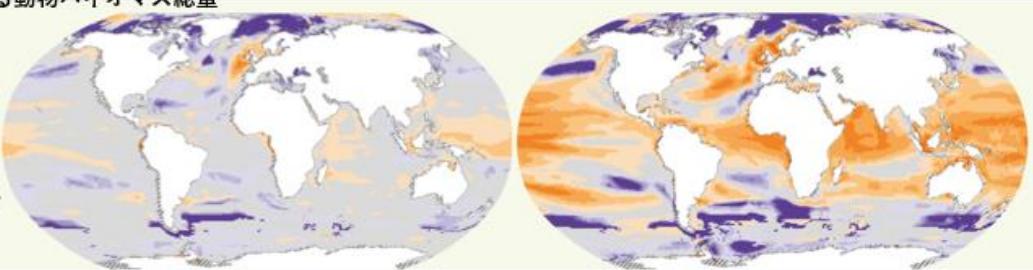
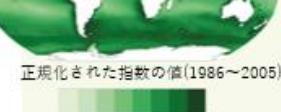
(a) シミュレーションによる純一次生産

RCP2.6

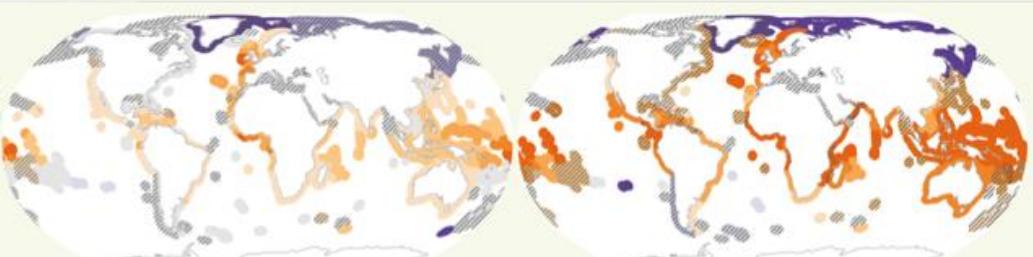
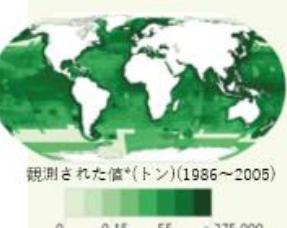
RCP8.5



(b) シミュレーションによる動物バイオマス総量



(c) 潜在的な最大漁獲量



*詳細については図の説明を参照のこと

割合の変化(%)
2081-2100年までの平均 (1986-2005年比)

<-50 -40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40 >50

図. (a)水深で統合された(鉛直方向に積算された)純一次生産(NPP)、(b)動物バイオマス総量(水深で統合、魚類及び無脊椎動物を含む)、及び(c)潜在的な最大漁獲量。

- 成層化が強化されると、RCP8.5において、栄養塩の供給の削減によって熱帯域の海洋の純一次生産が2081～2100年までに7～16% (可能性が非常に高い範囲) 減少すると予測される(確信度が中程度)。熱帯地域では、21世紀に、すべての排出シナリオにおいて、海洋生物のバイオマス及び生産が世界平均より減少すると予測される(確信度が高い)。

- 昇温及び海水の変化によって、湧昇及び成層化における移行による栄養塩の供給が変化し、北極域(確信度が中程度)及び南極周辺で(確信度が低い)の海洋の純一次生産が増加すると予測される。

- 世界全体では、有機物質の海洋上層部から沈下する流量(フラックス)は減少すると予測され、これは純一次生産における変化に関連するところが大きい(確信度が高い)。その結果、RCP8.5において深海(水深3000～6000m)の海底域の95%以上及び冷水性サンゴ生態系は底生バイオマスの減少を経験すると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B5.2)

出典：図, IPCC SROCC 図SPM.3 (a)-(c)



温暖化による海洋生態系への影響を悪化させる要因とリスク

- 海洋酸性化(確信度が中程度)、酸素の減少(確信度が中程度)及び海氷面積の減少(確信度が中程度)並びに気候以外の人間の活動(確信度が中程度)は、温暖化によって引き起こされたこれらの生態系への影響を悪化させる潜在的 possibility を有する。

(IPCC SROCC SPM B5.)

- ・ 昇温、海洋酸性化、季節海水の面積の減少、及び多年氷の継続的な減少は、生息地、個体数及びその生存能力に対する直接的及び間接的影響を通じて、極域の海洋生態系に対し影響を与えると予測される(確信度が中程度)。
- ・ 海棲哺乳類、海鳥類及び魚類を含む、北極域の海洋生物種の地理的生息範囲は縮小すると予測される一方で、一部の亜北極域の魚類の群集の生息範囲は拡大すると予測され、その結果高緯度北極圏の生物種に対する圧力はさらに増大する(確信度が中程度)。
- ・ 南大洋では、ペンギン、アザラシ及びクジラが捕食する主な生物種であるナンキヨクオキアミの生息地が、RCP2.6及びRCP8.5の両方において、南方へ縮小すると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B5.3)

- ・ 海洋の昇温、酸素の減少、海洋酸性化及び海面から深海への有機炭素のフラックスの減少は、石灰化の減少、骨格溶解の増加及び生物侵食の部分的な寄与によって、高い生物多様性を支える、生息地を形成する冷水性サンゴに害を与える(確信度が中程度)。温度と酸素の両条件が当該生物種の耐性の範囲外に達する場所及び時において、脆弱性及びリスクが最も高くなる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B5.4)

参考

SROCC 第5章 Box 5.2 (490-491頁)に、気候変動が冷水性サンゴと海綿に与える影響に関する最新の知見がまとめられている。冷水性サンゴ全体としては海洋酸性化によるアラゴナイトの不飽和状態に耐えることができるが、感度は種によって異なり、骨格は軟弱化する(確信度が中程度)。サンゴの許容限界を超えたアラゴナイトの不飽和状態が、温暖化及び／または溶存酸素の減少を伴うと、石灰化と骨格形成への影響が最大となる(確信度が中程度)。



沿岸生態系はリスク水準の増大に直面する

- 沿岸生態系の生物多様性、[沿岸生態系の]構造及び機能に対する深刻な影響のリスクは、評価される気温を踏まえると、21世紀中及びそれ以降、低排出シナリオよりも高排出シナリオにおいて、より高くなると予測される。
- 予測される生態系の応答には、種の生息地及び生物多様性の喪失、並びに生態系機能の劣化が含まれる。生物及び生態系の調整及び適応する能力は、低排出シナリオにおいてより高くなる（確信度が高い）。
- 海草藻場及びコンブ場などの敏感な生態系においては、気候に関連する他のハザードとともに、地球温暖化が工業化以前の気温より 2°C を超えた場合に、高いリスクが予測されている（確信度が高い）。
- 暖水性サンゴはすでに高いリスクに曝されており、地球温暖化が 1.5°C に抑えられたとしても非常に高いリスクに移行すると予測される（確信度が非常に高い）。

(IPCC SROCC SPM B6.)

- 評価されたすべての沿岸生態系は増大するリスク水準に直面すると予測され、その水準は2100年までRCP2.6において「中程度」～「高い」、RCP8.5において「高い」～「非常に高い」となる（確信度が中程度）。潮間岩礁生態系は、昇温（特に海洋熱波の間の昇温）並びに酸性化、海面水位の上昇、石灰化する生物種及び生物多様性の喪失に起因して、RCP8.5において2100年までに非常に高いリスクに直面すると予測されている（確信度が高い）。海洋酸性化はこれらの生態系を困難に陥れ、石灰化の低減及び生物侵食の強化によって再生を阻むことで、その生息地としての適性をさらに制限する（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM B6.1)



沿岸生態系はリスク水準の増大に直面する(続き)

- ・ 海草藻場及び塩性湿地、並びに関連する炭素の貯蔵庫(carbon stores)は1.5°Cの地球温暖化において中程度のリスクに曝され、さらなる昇温によってリスクが増大する(確信度が中程度)。
- ・ 世界全体で、沿岸湿地の20~90%が2100年までに消失すると予測される。この消失は、特に鉛直方向の生長が堆積物供給の減少によって制限され、内陸への移動が急勾配の地形または人為的な海岸線の改変によって制限されている場所で、予測される海面水位の上昇、地域差及び湿地の種類に依拠する(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B6.2)

- ・ 海洋の昇温、海面水位の上昇及び潮位変化は、河口の塩性化及び低酸素化を拡大させると予測され(確信度が高い)、高排出シナリオにおいて、一部の生物相にとって移動、局所的な絶滅及び生存率の減少を引き起こす高いリスクを伴う(確信度が中程度)。これらの影響は、温帯域及び高緯度域におけるより脆弱な富栄養で、浅い、そして潮位差の小さい河口において明確になると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B6.3)

- ・ 地球温暖化が1.5°Cに抑えられても、ほとんど全ての暖水性サンゴが、大幅な面積の喪失及び局所的な絶滅を経ると予測される(確信度が高い)。残存するサンゴ礁群集は今日のサンゴ礁とは生物種の構成及び多様性において異なると予測される(確信度が非常に高い)。

(IPCC SROCC SPM B6.4)

沿岸生態系はリスク水準の増大に直面する(続き)

気候変動に起因する海洋生態系に対する影響及びリスク

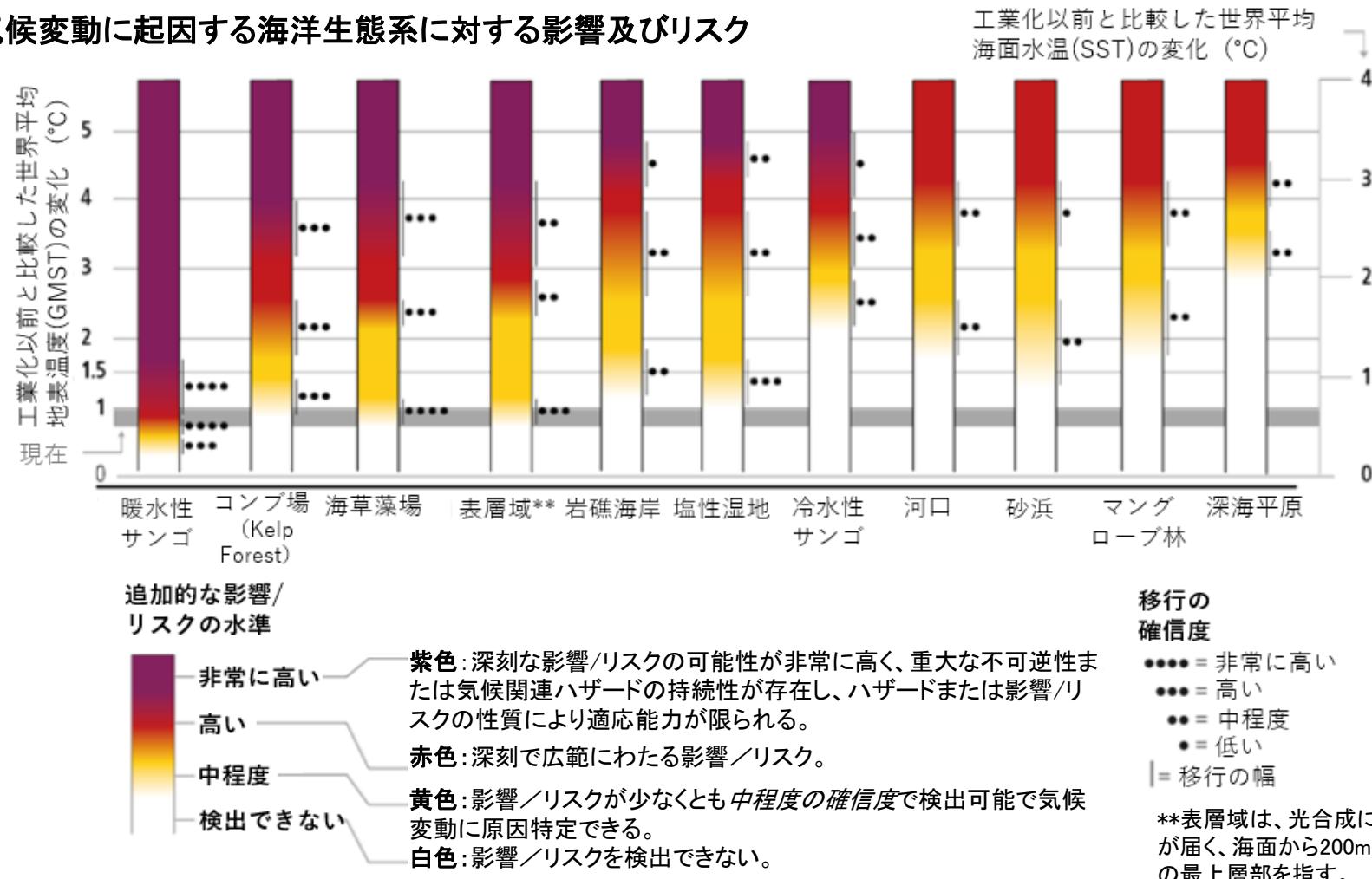


図. 生態系の構造 及び 機能発現 並びに生物多様性に対する、観測された及び予測された気候の影響に基づく沿岸域及び外洋域の生態系のリスク評価。影響及びリスクは GMST の工業化以前の水準からの変化との関連において示される。リスク及び影響の評価は世界平均海面温度(SST)に基づくため、対応する SST の水準も示してある。本評価の手法や根拠となる文献についての追加的な情報は、IPCC SROCC 図SPM.3の解説参照。

雪氷圏の変化は北極域や高山域の災害リスクを増大させると予測される

- 陸域における将来の雪氷圏の変化は、水力発電(確信度が高い)及び高山地域とその下流域における灌漑農業(確信度が中程度)並びに北極域の生計(確信度が中程度)等、水資源[の状況]とその利用方法に影響を与えると予測される。 (IPCC SROCC SPM B7)

- ・ 高山地域及び北極域における人間の居住地及び生計の選択肢への災害リスクは増大すると予想され(確信度が中程度)、それは洪水、火災、地滑り、雪崩、不安定な雪氷の状態、並びに人々及びインフラの曝露の将来の変化による(確信度が高い)。ハザードの性質は変化するため、現在の工学的なリスク低減のアプローチは効果が低減すると予測される(確信度が中程度)。今世紀の間に多くの山岳地域において曝露及び脆弱性が増大しているため、大幅なリスクの低減及び適応の戦略は、山岳地域における洪水及び地滑りのハザードの影響を回避するのを助ける(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B7.1)

- ・ 永久凍土の融解に起因する地盤沈下は、北極域及び高山地域に広がる都市域及び農村域の通信及び運輸のインフラに影響を与えると予測される(確信度が中程度)。北極圏のインフラの大半は、[今]世紀半ばまでに、永久凍土の融解が増大すると予測される地域に位置する。インフラの改修及び再設計は、永久凍土の融解及びその他の気候変動に関連する影響から生じるコストを、2100年までに低減させる潜在的 possibility を有する(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B7.2)

北極圏のインフラの70%は、2050年までに永久凍土の融解と地盤沈下のリスクに曝される地域に位置している。

(IPCC SROCC 207頁 第3章 エグゼクティブサマリー)

高山域の雪氷圏の融解がもたらすリスクの要素については、スライド58頁参照。



高山地域の文化及び観光・レクリエーション資源で予測される負の影響

- 高山地域の文化資産並びに観光及びレクリエーション活動は将来の雪氷圏の変化による負の影響を受けると予測される(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B7.3)

- 特に 2°C 及びそれを超える地球温暖化において、ヨーロッパ、北アメリカ及び日本のほとんどの地域では、現在の人口造雪技術によるスキー観光のリスク低減の効果が低くなると予測される(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B7.3)

- 雪や氷で覆われた多くのUNESCOの世界遺産のような文化財、並びに観光及びレクリエーション活動は、将来の雪氷圏の変化によって多くの地域で負の影響を受けると予測される。年間を通して活動を多様化することは、将来の気候変動への観光業の適応を後押しする。

(IPCC SROCC 134頁 第2章 エグゼクティブサマリー)

- 2050年までに、過去の冬季オリンピックの開催地21か所中、RCP2.6では13か所で十分な雪を確保できるが、RCP8.5ではその数が10か所になると予測されている。2080年までに、その数はそれぞれ12か所と8か所に減少する。

(IPCC SROCC 169頁 第2章 2.3.5)



海洋資源に依存する収入、生計及び食料安全保障において予測される影響

- 気候変動による将来の魚類の分布の移動(変化)、並びにその個体数及び潜在的な漁穫量の減少は、海洋資源に依存するコミュニティの収入、生計及び食料安全保障に影響を与えると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B8.)

- 予測される地理的な移動並びに世界全体の海洋動物のバイオマス及び潜在的漁穫量の減少は、RCP2.6に比べてRCP8.5の方が顕著で、特に経済的に脆弱な地域において、それらに依存する人間コミュニティの収入及び生計に対するリスクを高める(確信度が中程度)。予測される資源及び個体数の再分布は、漁場、当局またはコミュニティ間の紛争のリスクを増大させる(確信度が中程度)。RCP8.5では、漁業ガバナンスの課題が北極域及び熱帯太平洋などの地域的なホットスポットを伴って広範に広がる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B8.1)

- 暖水性サンゴ礁の減少は、食料供給(確信度が高い)、沿岸防護(確信度が高い)、及び観光(確信度が中程度)など、それらが社会に提供するサービスを大きく損なうと予測される。魚介類の入手可能性の低減に伴う、魚介類の食料安全保障に対するリスクの増大(確信度が中程度)は、北極域、西アフリカ、及び小島嶼開発途上国などの魚介類への依存度の高い一部のコミュニティにおける栄養面の健全性に対するリスクを高めると予測される(確信度が中程度)。それらの影響は、社会経済的変化及び陸域の気候変動によって引き起こされる食生活及び食料システムにおける他の転換によるいかなるリスクをも悪化させる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B8.2)



海洋資源に依存する収入、生計及び食料安全保障において予測される影響(続き)

- 地球温暖化は、海洋動植物における難分解性の有機汚染物質及び水銀などの生物蓄積の増加に人間が曝されること(確信度が中程度)、水媒介性のビブリオ属の病原体の蔓延(確信度が中程度)、並びに有害藻類のブルーム(大繁殖)が起こる可能性の高まり(確信度が中程度)を通じて、魚介類の食料安全保障を損なう(確信度が中程度)。これらのリスクは、沿岸域の先住民コミュニティを含む魚介類の消費量が多い人間コミュニティ(確信度が中程度)、並びに漁業、養殖業及び観光などの経済部門(確信度が高い)にとって特に大きくなると予測される。

(IPCC SROCC SPM B8.3)

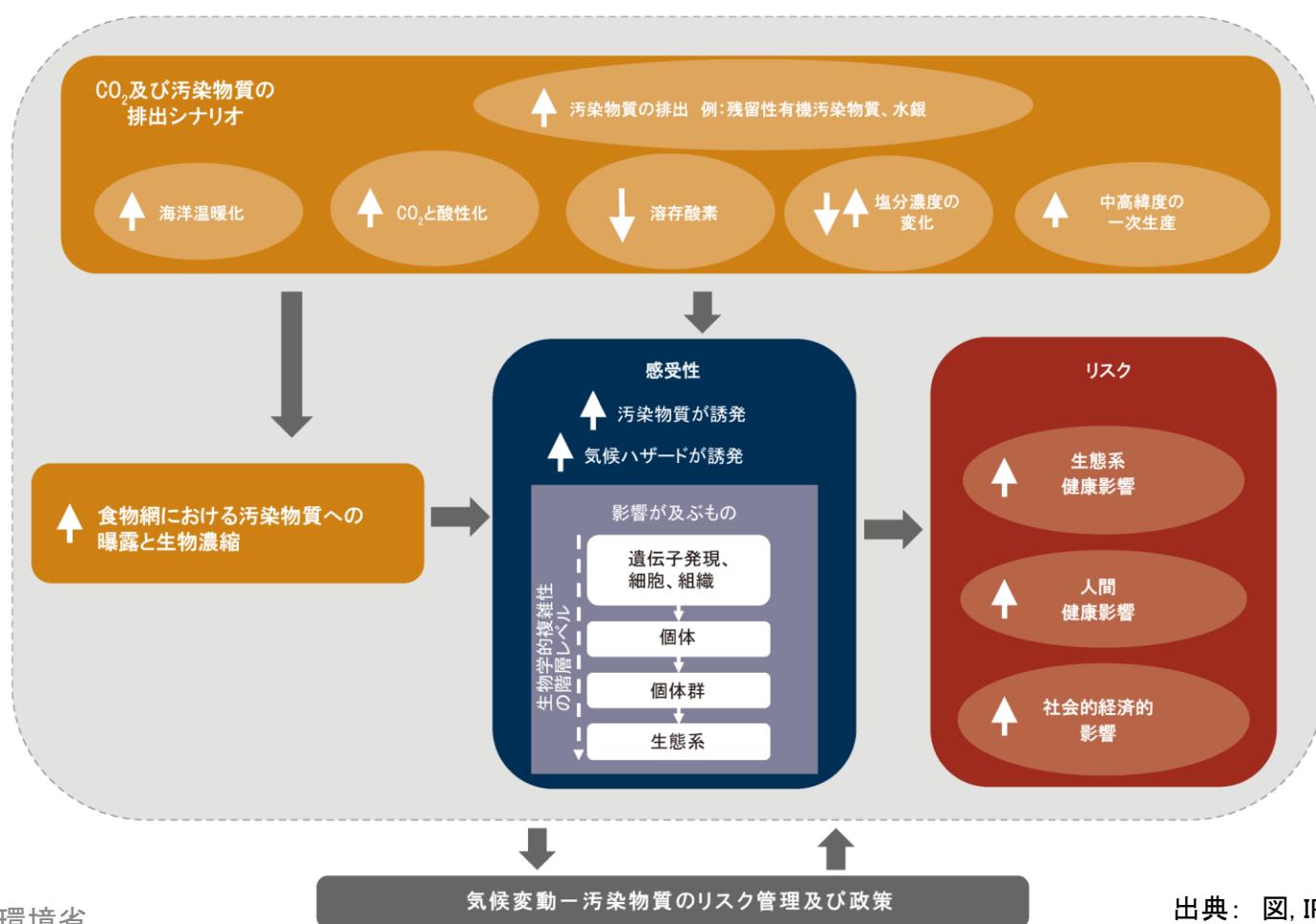


図. 気候ハザード及び汚染ハザード(オレンジ色のボックス)のシナリオとそれらの相互作用が、生物相、生態系及び人々のハザードへの曝露の増加、それらの感受性(青色のボックス)、並びに生態系、人間の健康、及び社会への影響のリスク(赤色のボックス)につながる可能性を示す経路。これらのリスクは気候－汚染物質のリスク管理及び政策と密接に関わり合っている。



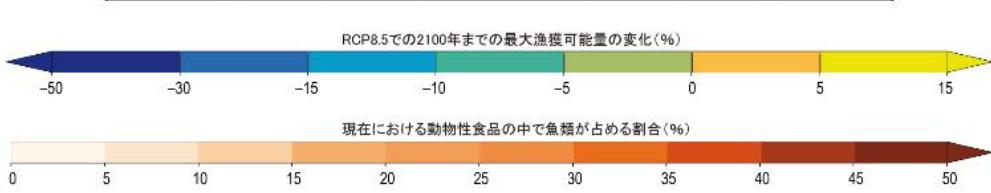
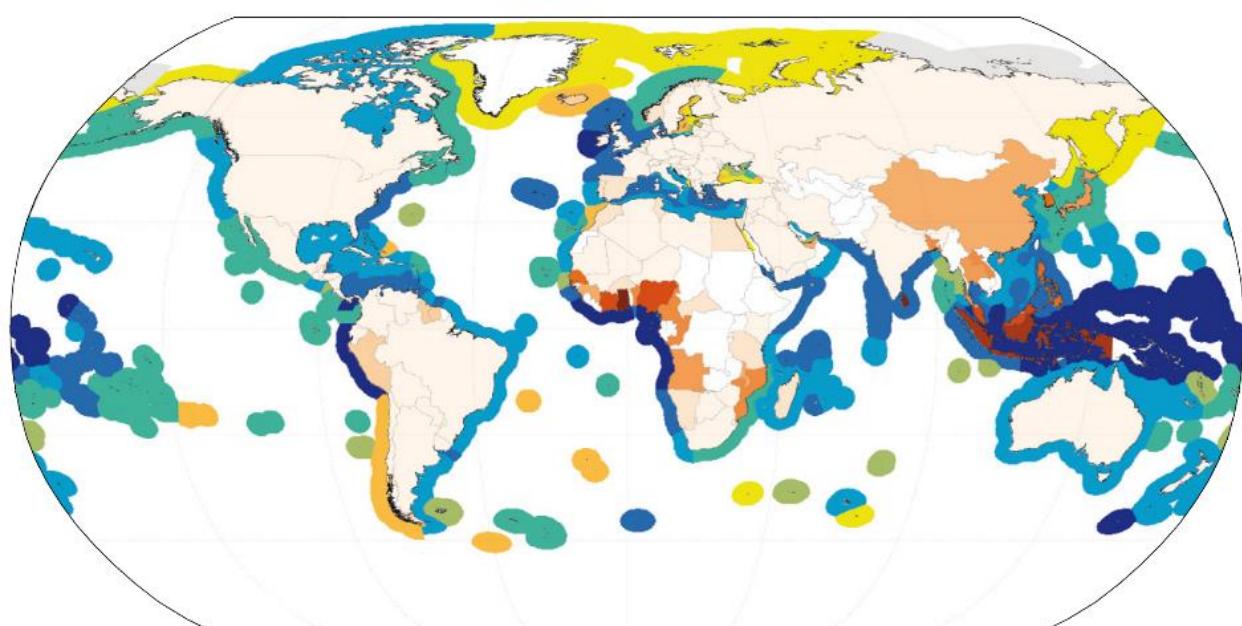
海洋が担っている様々な役割が損なわると予測される

- 海洋生態系の長期的な喪失及び劣化によって、人間のアイデンティティ及び福祉にとって重要な、文化的な、レクリエーションとしての、及び本質的な価値において、海洋が担う役割が損なわると予測される(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B8.)

- 海洋生態系及びそのサービスに対する気候変動の影響は、生活及び生計の主要な文化的側面をリスクに曝し(確信度が中程度)、これには漁獲される種の分布あるいは個体数の変化(Shift)、あるいは漁場ないし獵場へのアクセスの消滅によるものも含まれる。これには、文化ならびに地域及び先住民の知識の潜在的に急速かつ不可逆的な喪失、並びに伝統的な食生活及び食料安全保障、美的側面、海洋におけるレクリエーション活動に対する負の影響も含まれる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM B8.4)



最終的には、これらの負の影響によって人々の文化的アイデンティティや価値観の一部が失われることになり、その損失速度はアイデンティティや価値観を調整したり、新しく取得したりする速度を超えてしまうかもしれない。
(IPCC SROCC 453頁第5章 エグゼクティブサマリー)

図. (海洋)2100年までの最大漁獲量の変化(2000年代比)。(陸域)各国の動物性食品摂取量の中で現在魚類が占める割合。

出典：図, IPCC SROCC 513頁 第5章 図5.21



沿岸の脆弱なコミュニティでは、将来、適応の限界に達する可能性もある

- 平均海面水位及び極端な海面水位は、海洋の昇温と酸性化を伴って沿岸低平地の人間コミュニティにもたらされるリスクを増大させると予測される（確信度が高い）。
- 急速な土地の隆起のない北極域の人間コミュニティ及び都市化した環礁島では、低排出シナリオ（RCP2.6）でさえも、適応の限界に達する（確信度が高い）ことを含め、リスクが「中程度」～「高い」になると予測される（確信度が中程度）。
- 高排出シナリオ（RCP8.5）では、デルタ地域及び資源が豊富な沿岸都市は、現在の適応では2050年以降に中程度から高いリスクを経験すると予測される（確信度が中程度）。

（IPCC SROCC SPM B9.）

- 今日と比べてより野心的な適応の取り組みが無く、かつ沿岸域のコミュニティの曝露及び脆弱性が増大する現在の傾向の下では、平均海面水位の上昇及び極端現象による侵食及び土地の消失、浸水（洪水）、塩性化及び連鎖的な影響などのリスクは、全ての温室効果ガス排出シナリオにおいて、今世紀にわたって大幅に増加すると予測される（確信度が非常に高い）。同じ前提において、沿岸域における浸水（洪水）による年間の被害は2100年までに今日と比べて2、3桁増大すると予測される（確信度が高い）。

（IPCC SROCC SPM B9.1）

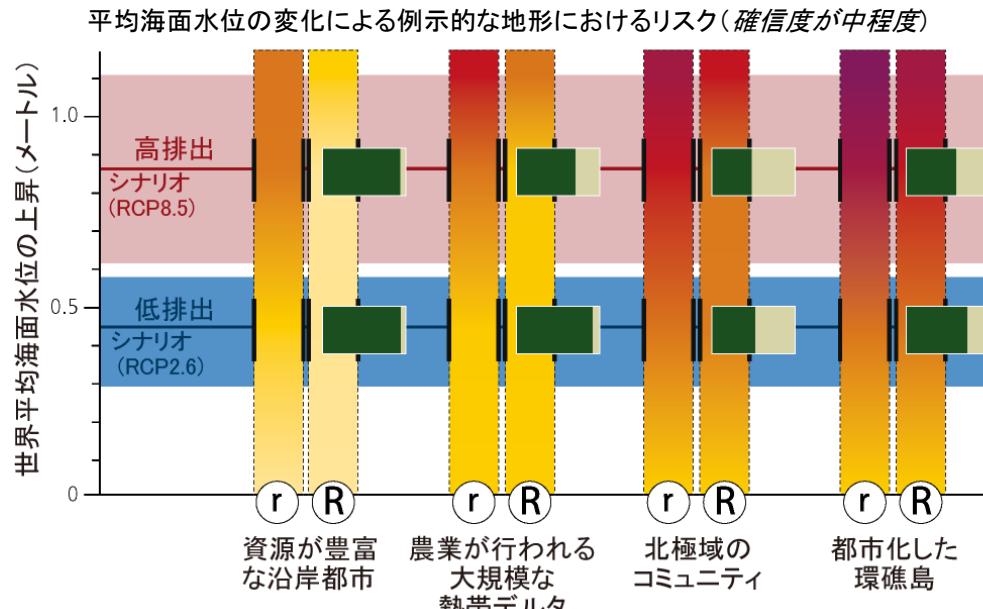
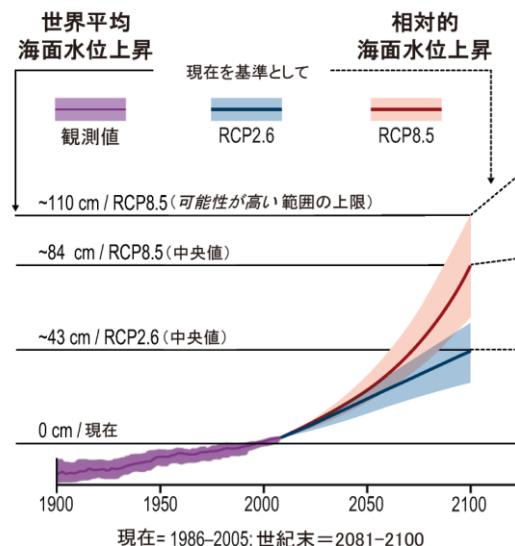
- サンゴ礁の環境、都市化した環礁島及び低平地の北極域の脆弱なコミュニティは、高排出シナリオの場合に今世紀末のはるか以前に、海平面の上昇による「高い」～「非常に高い」リスクに曝される。これは、適応が限界に到達し、適応行動を通じて主体の目的（またはシステムのニーズ）を許容不可能リスクから守ることができない段階である（確信度が高い）。適応の限界（例えば、生物物理的、地理的、財政的、技術的、社会的、政治的及び制度的な限界）への到達は、排出シナリオ及び文脈に固有のリスク許容度に依拠し、海面水位の上昇の長期にわたる継続性により、2100年以降には他の地域にも広がると予測される（確信度が中程度）。一部の島嶼国は、気候関連の海洋及び雪氷圏の変化によって居住不可能になる可能性が高いが、居住適性の閾値は依然として評価することが困難である。

（IPCC SROCC SPM B9.2）

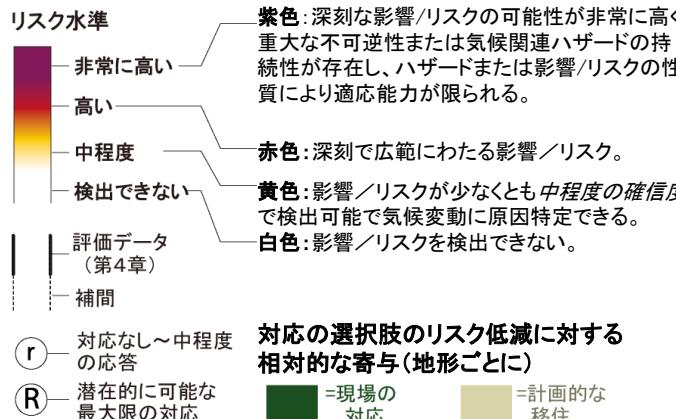
沿岸の脆弱なコミュニティでは、将来、適応の限界に達する可能性もある(続き)

海面水位の上昇及び対応の、異なるシナリオ下での2100年におけるリスク

ここでは、後退(retreat)など一部の応答は適応とみなされないかも知れないため、「適応」ではなく「対応」を用いる。



凡例:



本評価では、「対応」は、海面水位の上昇に対する現場の対応(工学的なハード面の沿岸保護、劣化した生態系の再生、地盤沈下の抑制)及び計画的な移住が含まれる。「計画的な移住」は、積極的な管理された後退(retreat)または再定住(resettlement)を意味し、それらは局所的なスケールに限定され、特定の文脈の特異性(例えば、都市化された環礁島では、当該島内、近隣の島または人工的に造成された島)に依拠する。強制移住及び国際的な移住は本評価では考慮していない。

図. (右) RCP2.6及びRCP8.5、並びに2つの対応のシナリオの下で変化する平均海面水位及び極端な海面水位に起因する沿岸浸水、侵食及び塩性化の2100年における複合的リスクを例示的な地形について示した図。ここでは、平均海面水位の上昇に直接起因する変化を超える極端な海面水位の変化を考慮していないため、例えば低気圧の強度の変化に起因する変化といった、極端な海面水位のその他の変化を考慮すれば、リスク水準が上昇する場合がある。ここでは、世紀にわたって沿岸域の人口密度が比較的安定した社会経済シナリオを考慮している。(左)現在(1986-2005年)を基準とした世界平均海面水位の観測値と予測値。



適応の機会とリスクの低減

■ 変革的なガバナンスを含む野心的な適応によって、リスクが低減されることが期待される（確信度が高い）が、伴う便益はそれぞれの文脈に特有である。 (IPCC SROCC SPM B9.)

- 世界全体で、気候に関連する海洋及び雪氷圏の変化の速度が遅い方が、より大きな適応の機会を与える（確信度が高い）。
- 変革的な変化のためのガバナンスを含む野心的な適応は、多くの場所でリスクを低減する潜在的可能性を有することについて確信度が高いが、そのような便益は場所によって異なりうる。
- 大規模な適応の取り組みによつても、残余のリスク及びそれに伴う損失が起こると予測されており（確信度が中程度）、文脈に固有の適応の限界及び残余のリスクは依然として評価することが困難である。

(IPCC SROCC SPM B9.3)

参考

SROCC 第1章 Cross-Chapter Box 2 (87-90頁)には、リスク、適応、レジリエンス、及び変革の鍵となる概念に関する最新の知見がまとめられている。AR5以降に発表された適応とレジリエンスに関する文献の多くで、効果的な気候変動の緩和（特に経済の脱炭素化）を可能にし、適応を後押しする、変革の重要性が強調されている。既存の緩和と適応のやり方では、リスクと影響を許容可能な範囲に低減させることができない場合において、変革が特に重要になってくる。したがって、変革的適応のためには、政策、政策決定のプロセス、制度、人間の行動、及び文化的価値観等を根本的に変える必要がある。

適応の機会とリスクの低減(続き)

- 世界的な規模において、沿岸防護は21世紀中に2-3桁の規模で浸水(洪水)のリスクを低減しうるが、これは年間数千億米ドルの投資に依拠する(確信度が高い)。そのような投資は、一般的に人口密度の高い都市域にとってコスト効率が高い一方で、一部の小島嶼国にとっては相対的な年間コストがGDPの数パーセントに相当し、農村域及びより貧困の地域はそのような投資を賄うことが困難かもしれない(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM B9.3)

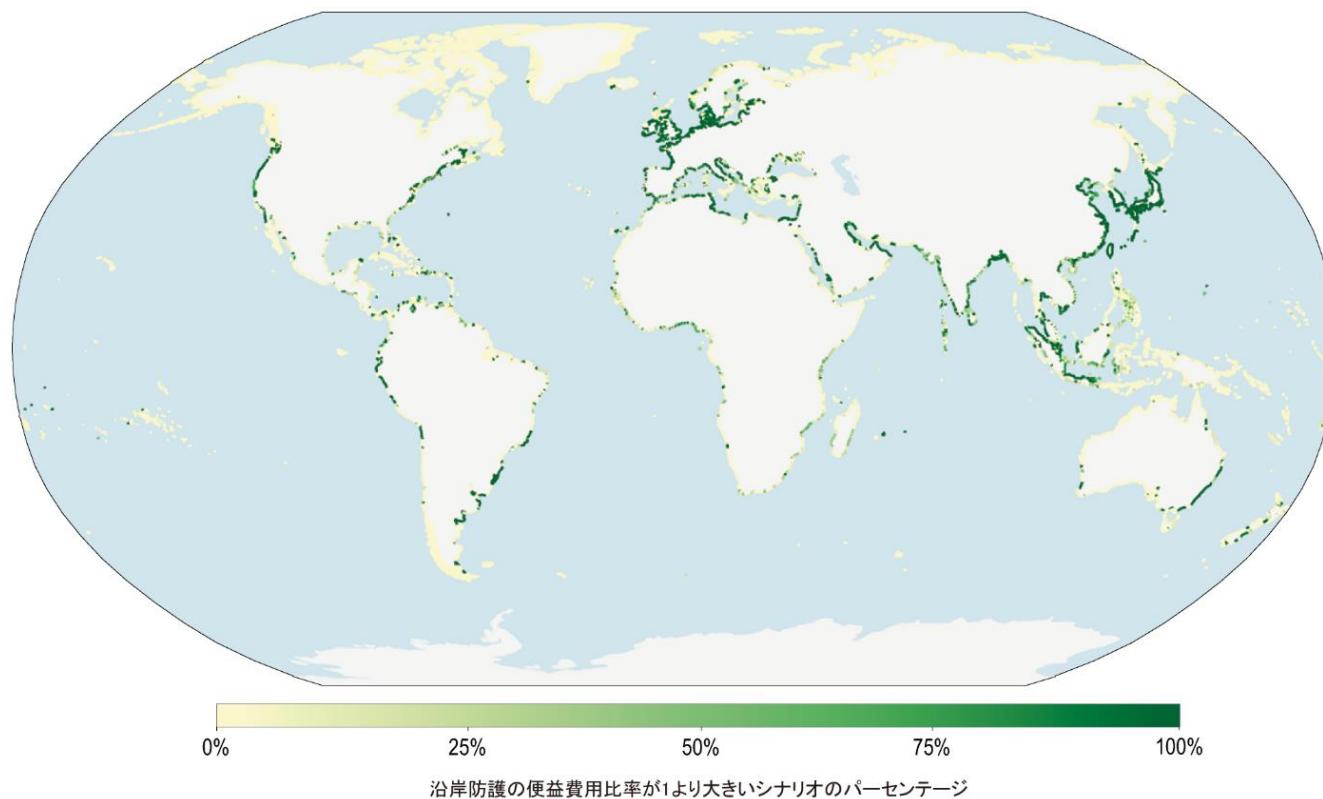


図. 沿岸防護の経済的ロバストネス(頑健性)。0.3-2.0 mの海面水位上昇シナリオの下で5つの共通社会経済経路(SSP)と最高6%の割引率を用いて求められた、沿岸防護の便益費用比率が1より大きいシナリオの割合が示されている。

C. 海洋及び雪氷圏の変化に対する対応の実施

セクションCの大まかな流れ	項目
課題	C1
対応の選択肢の強化	C2～C3
対応可能にする条件	C4

重要な概念：リスク、適応、レジリエンス、変革

- 適応の努力は、既存及び将来の脆弱性と曝露、及び/または(可能な場合)ハザードを減らすことによって、リスクの原因構造にリンクしている。異なるリスク要素(ハザード、曝露、脆弱性)への対処は、政策の選択肢の評価と選択を含んでいる。(IPCC SROCC 第1章 CB Box 2)

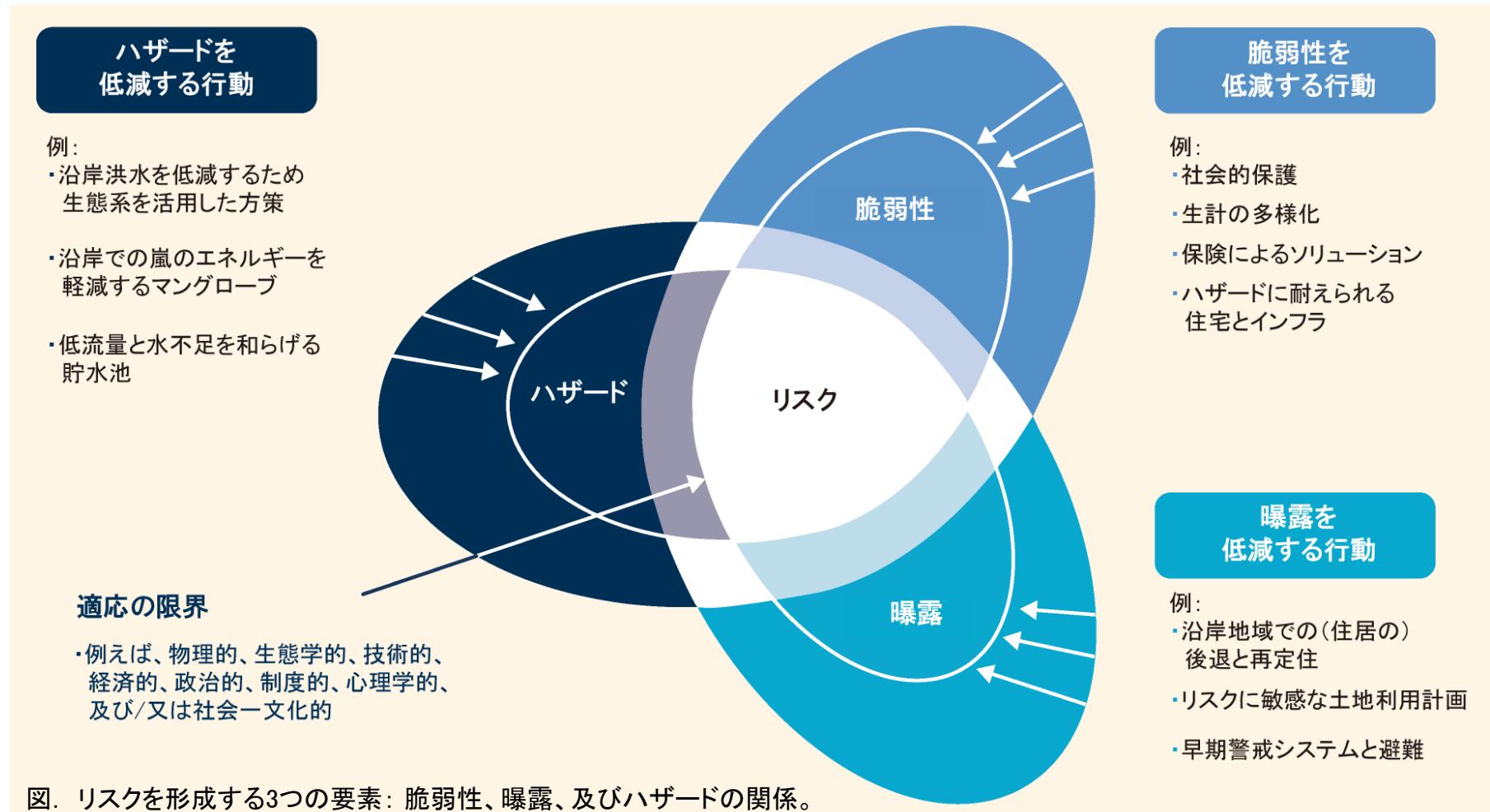


図. リスクを形成する3つの要素: 脆弱性、曝露、及びハザードの関係。



気候変動影響とガバナンスの時間軸の違い

- 海洋及び雪氷圏における気候に関連する変化の影響によって、局所的な規模から世界的な規模において、適応による対応を策定し実施する現在のガバナンスの取り組みは、益々困難になり、場合によってはその限界まで追い込まれる。

(IPCC SROCC SPM C1.)

- 海洋及び雪氷圏における気候変動の影響、並びにそれが社会にもたらす結果の時間スケールは、ガバナンスの取り決め(例えば、計画サイクル、公的及び企業の意思決定サイクル、及び財政手段)より長い時間軸で動いている。
- そのような時間軸の違いは、極端現象の頻度及び強度の変化を含む長期的な変化に対して十分に準備し、対応する各社会の能力に困難をもたらす(確信度が高い)。例えば、高山地域において変化する地滑り及び洪水、北極圏並びに低平地の国、小島嶼国及びその他沿岸域における重要な生物種及び生態系並びにサンゴ礁生態系に対するリスクなどである。

(IPCC SROCC SPM C1.1)

(参考)

SROCC 第3章 (267–268頁) 表3.4には、極域の主要な部門／システム(商用漁業、観光、インフラ、海上輸送等)における気候変動に対する対応について、これまで取られてきた対策、適応や変革の可能性の鍵となる資源や戦略、想定される将来の状況、結果に影響を及ぼし得る気候以外の要因といった項目がまとめられている。

気候変動影響に対処するには断片的すぎるガバナンス

- 海洋及び雪氷圏における気候に関連する変化の影響によって、局所的な規模から世界的な規模において、適応による対応を策定し実施する現在のガバナンスの取り組みは、益々困難になり、場合によってはその限界まで追い込まれる。

(IPCC SROCC SPM C1.)

- ガバナンスの取り決め(例えば、海洋保護区、空間計画及び水管理システム)は、多くの文脈において、海洋及び雪氷圏における気候関連の変化による増大し連鎖するリスクに統合的な方法で対応するには、行政的な境界及び部門などによって断片化しそぎている(確信度が高い)。
- 極域及び海洋地域におけるガバナンスシステムが気候変動影響に対応する能力は最近強化されているが、この進展は、予測されるリスクの増大の規模に適切に対応するには十分な速度又は頑強さではない(確信度が高い)。
- 高山地域、沿岸域及び小島嶼では、様々なスケール、部門及び政策の領域にわたって相互に作用する気候関連または気候以外のリスクの駆動要因(例えば、利用不可能性、人口及び居住の動向、並びに局所的な活動による地盤沈下)のために、気候変動への適応の対応を調整する上で困難がある。(確信度が高い)

(IPCC SROCC SPM C1. 2)

参考

SROCC Box 5.6(第5章、542頁)には、海洋酸性化に対処するためのガバナンスが断片的であるために生じている対策のギャップについての最新の知見がまとめられている。多くの機関が海洋酸性化に关心を持っているにもかかわらず、海洋酸性化に関する条約や法的な取り決めは今日まで作られてこなかった。そのため、海洋酸性化の問題に特化したガバナンス措置は限られている。

気候変動影響に対処するには断片的すぎるガバナンス(続き)

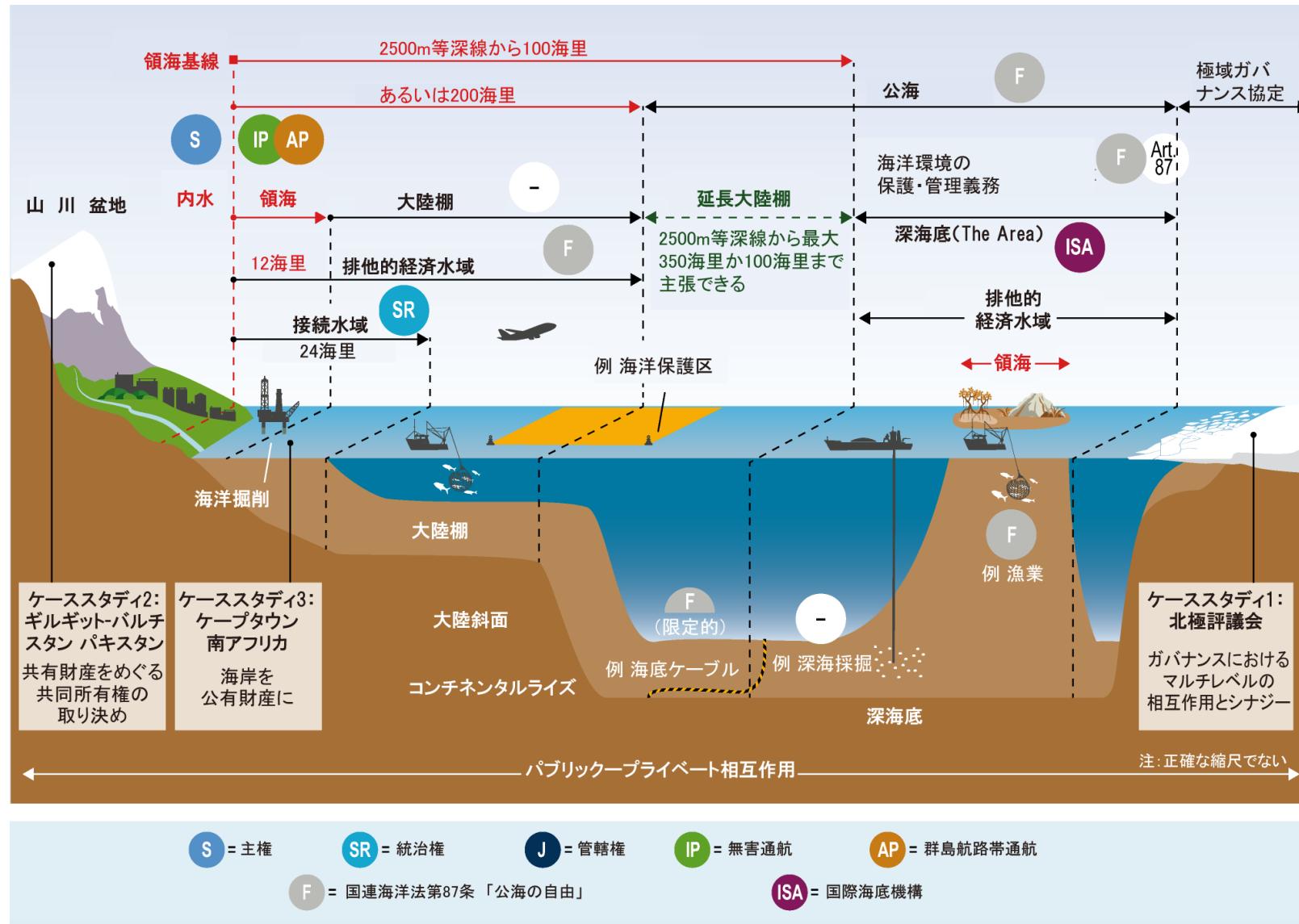


図. 海洋、沿岸域、及び雪氷圏のガバナンスの取り決めの空間的範囲。

図に記載されているケーススタディの詳細
は、本資料の参考情報参照。



生態系における適応の障壁と限界

- 生態系における気候変動への適応において特定された障壁及び限界が幅広く存在する(確信度が高い)。
- 限界には、生態系が必要とする空間、適応の対応の一部として対応する必要のある気候以外の駆動要因及び人間の影響、気候変動による生態系の適応能力の低下、繰り返し起こる気候の影響や技術・知識・財政支援の利用可能性、及び既存のガバナンスの取り決めより遅い生態系再生の速度が含まれる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM C1.3)

沿岸生態系を活用した適応における障壁と限界の具体例

物理的な制約	必要とされる空間的な条件と沿岸の圧迫(coastal squeeze)による物理的な制約。
	生態系の適応限界を気候変動が超えてしまうことによる制約(例:海面水位上昇の速度がサンゴ礁の垂直方向の形成速度を上回った場合。)
生理学的・生態学的な制約	気候変動の影響が生態系の生理学的・生態学的限界を超える場合に起こる制約。自然システムの回復に必要な時間及び生態遷移に必要な時間を凌ぐ速さで気候変動の影響が起こった場合。
	生態系を活用した適応のプロジェクトにおいて、生態系が貧弱な状態にあるために本来の機能が阻害される事例(効率的な実施の重要性を示している)。
知識面での制約と障壁	相反する価値観や競合する価値観に基づいた社会的・文化的規範、気候変動に関する知識の欠如及び情報源への不信感、並びに自然に無関心な人々が増加することで生じる生態系を活用した適応策への制約。
	データ不足、モデル特有の不確実性、沿岸システムの複雑さ。
	科学的なプロセス、コミュニティのプロセス、及び意思決定プロセスの間の隔たりも知識面での障壁となる。

曝露と脆弱性の高い人々は、対応能力が最も低い場合が多い

- 最も曝露の度合いが高くかつ脆弱性の高い人々は、対応する能力が最も低い人々であることが多い（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM C1.)

- 海洋及び雪氷圏における気候関連の変化の現在の及び予測された負の影響に対して対策を講じるには、財政的、技術的、制度的及びその他の障壁が存在し、レジリエンスの構築及びリスク低減の対策を阻む（確信度が高い）。
- そのような障壁が適応の効果を低減し、または適応の限界に相当するかどうかは、文脈に固有の状況、気候変動の速度及び規模、並びに適応能力を効果的な適応の対応に転換する社会の能力に依拠する。適応能力は、コミュニティ内及び社会内、並びにそれらの間で異なり続ける（確信度が高い）。
- 海洋及び雪氷圏の変化に起因する現在及び将来のハザードに対して最も曝され脆弱性が高い人々は、多くの場合適応能力が最も低い人々であり、特に開発の課題を有する低平地の島嶼及び沿岸域、北極域並びに高山地域に見られる（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM C1. 4)

参考

SROCC Box2.4（第2章、164頁）には、氷河の縮小と脆弱性による災害についてのペルーの事例が紹介されている。ペルー・ブランカ山脈の氷河の縮小によってもたらされるハザードに対する人々の脆弱性は、貧困、限られた政治的発言力や資源、限られた教育の機会や医療格差、政府機関の脆弱性といった要素によって条件づけられている。

(IPCC SROCC 164頁 第2章Box 2.4)

生態系を活用した適応力を強化する生態系の管理

- 海洋及び雪氷圏に関する生態系によって提供される、広範に及ぶサービス及び選択肢は、保護、再生、再生可能な資源利用の予防的な生態系ベース(生態系を活用した)の管理、並びに汚染及びその他のストレス要因の削減によって支えられる(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C2.)

- 保護区のネットワークは、炭素の吸収(uptake) 及び貯蔵(storage) を含む生態系サービスの維持を助け、昇温及び海面水位の上昇に応答して起こる、極域への及び高標高への生物種、個体群、生態系の移動を促進することによって、将来における生態系を活用した適応の選択肢を可能とする(確信度が中程度)。
- 地理的障壁、生態系の劣化、生息地の分断化、及び地域協力への障壁は、そのようなネットワークが海洋、高山地域及び極域の陸域における将来の種の移動を支える潜在的可能性を制限する(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C2.1)

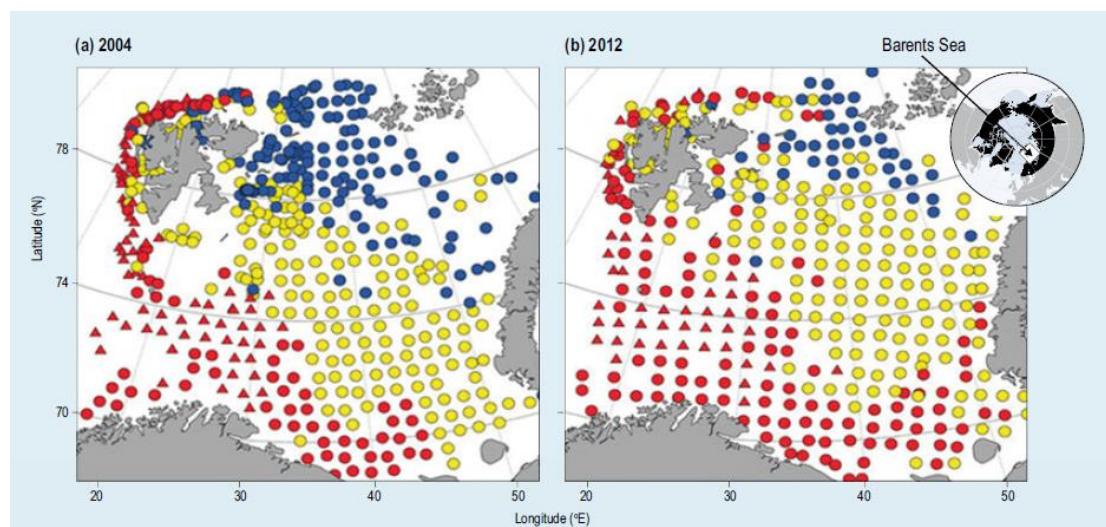


図. (a) 2004年と(b)2012年にバレンツ海(右上の地図上の四角で囲んだ部分)の底引き網(トロール)漁場で確認された魚群の分布。図上の印の色は、大西洋(赤色)、北極海(青色)、及び中間域(黄色)の魚群を、形は浅海(丸)及び深海(三角)の魚群を意味する。

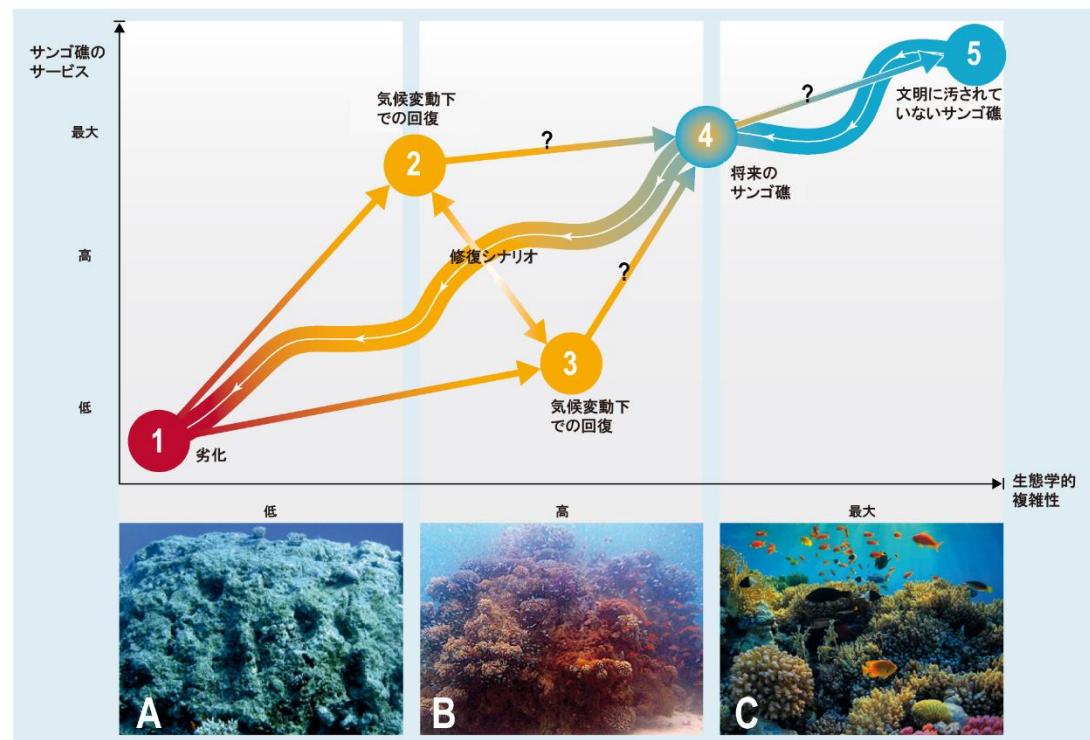


生態系を活用した適応の有効性と制約、限界

- 統合的な水管理(確信度が中程度)及び生態系ベースの適応(確信度が高い)のアプローチは、気候リスクを局的に低減し、複数の社会的便益を提供する。
- しかし、それらの対応には生態学的、資金的、制度的及びガバナンス上の制約が存在し(確信度が高い)、多くの文脈において、生態系ベースの適応は最も低い昇温の程度においてのみ有効である(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C2.)

- ・ 陸域及び海洋の生息地の再生、並びに生物種の移動の援助及びサンゴの栽培などの生態系管理ツールは、生態系ベースの適応の強化において局的に効果がありうる(確信度が高い)。



(IPCC SROCC SPM C2.2)



生態系を活用した適応の有効性と制約、限界(続き)

- それらの対策は、コミュニティから支持があり、地域及び先住民の知識を用いると同時に科学的な根拠があり、気候以外のストレス要因の低減または除去を含む長期にわたる支持があり、かつ最低水準の昇温下である場合に最も成功する(確信度が高い)。例えば、サンゴ礁の再生の選択肢は、現在の昇温の水準において既に高リスク(確信度が非常に高い)であるため、地球温暖化が 1.5°C を超えた場合に効果がないかもしれない。
(IPCC SROCC SPM C2.2)
- 沿岸の生息地の再生と維持にかかるコストは、沿岸域の環境、生息域の種類、及びプロジェクトの条件に依存する。一般的に、単位あたりの再生コストは、マングローブ林で最も低く、次いで塩性湿地とカキ礁で高くなり、海草藻場とサンゴ礁で最も高い(下表参照)。
(IPCC SROCC 391頁 第2章 4.4.2.3.3)

表. 生態系を活用した適応にかかるコスト

対策(手段)の種類	資本コスト	維持コスト
湿地の保全(湿地帯／マングローブ林、海岸林)	データなし	嵐の後の瓦礫の撤去等: マングローブ: 年間 5000 米ドル ha^{-1} (フロリダ)から 年間 11,000 米ドル ha^{-1} 。世界的には、マングローブ林に年間7-85 米ドル ha^{-1} 。ワッデン海の湿地帯は年間25 米ドル m^{-1} 。
湿地の再生(湿地帯／マングローブ林、海岸林)	湿地: 85,000-230,000 米ドル ha^{-1} 、マングローブ林: 9000 米ドル ha^{-1} (中央値)、米国領サモアでは2000-13,000 USD ha^{-1} 、塩性湿地: 67,000 米ドル ha^{-1} 、湿地帯の再生のための下生え(Brushwood)のダムは150 米ドル m^{-1} 。	湿地の保全と同程度の維持コスト。
礁の保全(カキ／サンゴ)	例えば、礁を海洋保護区にするための初期費用は96-40,000 米ドル km^{-2} 。	グレートバリアリーフの海洋保護区で年間12百万米ドル。
礁の再生(カキ／サンゴ)	165,600 米ドル ha^{-1} (中央値)、カキ礁: 66,800 米ドル ha^{-1} (中央値)、英国の人工礁: 30,000-90,000 米ドル 100 m^{-1} 。	礁の保全と同程度の維持コスト。

出典: 表. IPCC SROCC 391頁 第4章 表4.8

漁業における適応

- 乱獲または資源が枯渇した漁業の再構築などの予防的アプローチ及び既存の漁業管理戦略の応答性の強化は、漁業に対する気候変動の負の影響を低減し、地域経済及び生計に対する便益を伴う（確信度が中程度）。
- 将来の生態系の動向評価の情報を受け、長期にわたって定期的に対策を評価及び更新する漁業管理は、漁業に対するリスクを低減するが（確信度が中程度）、生態系の変化に対応する能力は限定的である。

(IPCC SROCC SPM C2.3)

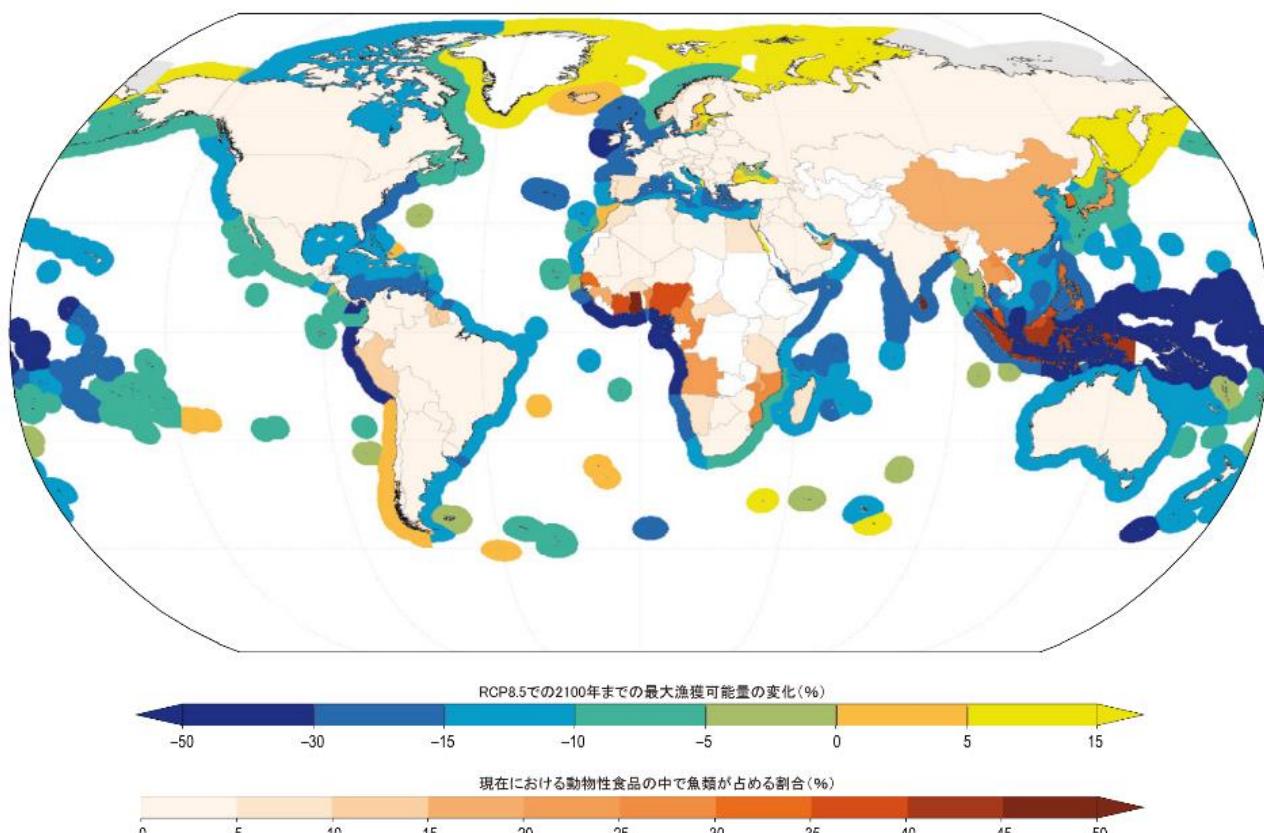


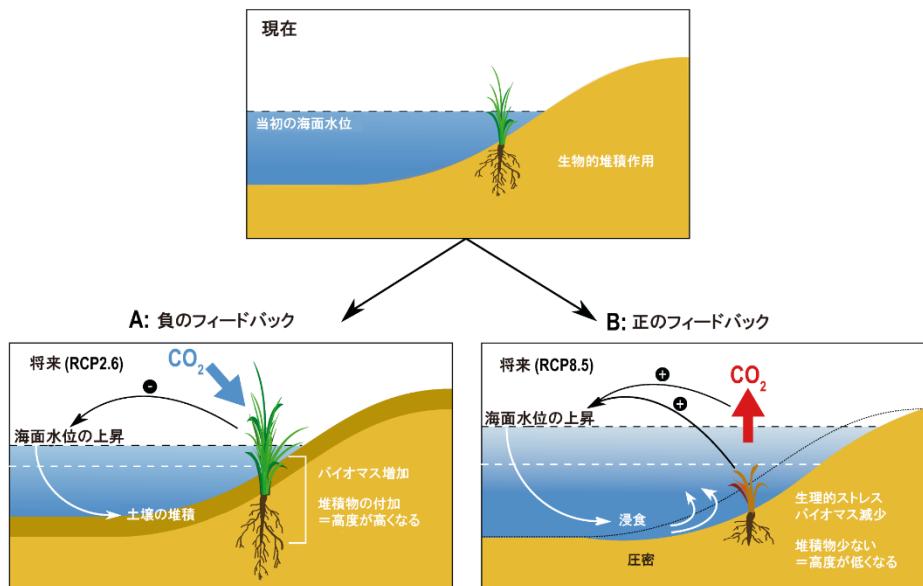
図. (海洋)2100年までの最大漁獲量の変化(2000年代比)。(陸域)各国の動物性食品摂取量の中で現在魚類が占める割合。



ブルーカーボン生態系再生の効果と便益

- マングローブ林、塩性湿地及び海草藻場などの植生被覆のある沿岸域の生態系（沿岸域の「ブルーカーボン」生態系）の再生は、現在の世界の年間排出量の約0.5%に相当する量の炭素の吸収(uptake)と貯蔵(storage)の増加によって、気候変動の緩和を提供しうるだろう（確信度が中程度）。
- 改善された保護及び管理によってこれらの生態系からの炭素の排出量を削減しうる。同時に、これらの行動は、暴風雨からの保護、水質の改善、生物多様性及び漁業への便益など、他の複数の便益をもたらしうる（確信度が高い）。
- これらの沿岸生態系の炭素貯蔵及び温室効果ガスのフラックスの定量化を改善することは、測定、報告及び検証に関する現在の不確実性を低減する（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM C2.4)



- 沿岸域のブルーカーボン生態系は多くの国で緩和に貢献し得るが、世界的にはその効果は限定的である（オフセット効果は現在の排出量の2%未満）（可能性が高い）。
- マングローブ林、塩性湿地及び海草藻場などの沿岸域のブルーカーボン生態系は、複数のコベネフィットを伴って、気候変動のリスクと影響を低減することができる。
- ブルーカーボン生態系の潜在的な気候への便益は温室効果ガス排出量の急速な削減に取って代わるものではなく、その効果は限定的である。

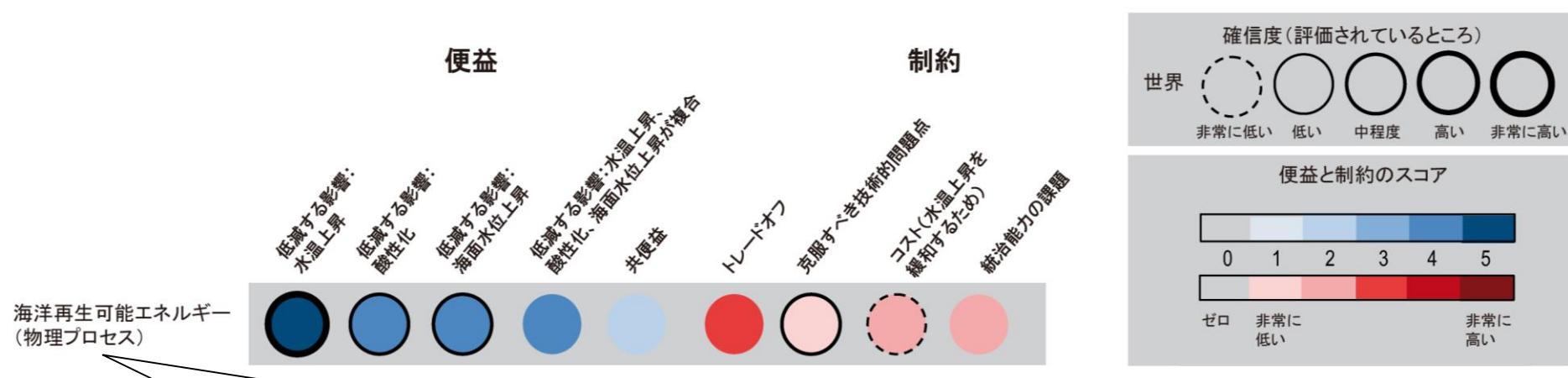
(IPCC SROCC 454頁 第5章 エグゼクティブサマリー)

図. 植生被覆のある沿岸域の生態系の応答を制御する植物のバイオマス、土壤の堆積、及び浸水を伴う生物地形学的な気候フィードバック。

海の再生可能エネルギー

- 海洋の再生可能エネルギーは気候変動の緩和を支えることができ、それは洋上風力、潮流、波力、水温(熱)及び塩分勾配及び藻類由来のバイオ燃料などからのエネルギーの抽出からなる。
- 代替エネルギー資源に対する新しい需要は、海洋再生可能エネルギー部門の経済的な機会を生むことが期待されるが(確信度が高い)、それらの潜在的 possibility も気候変動の影響を受けるかも知れない(確信度が低い)。

(IPCC SROCC SPM C2.5)



ここで「海洋再生可能エネルギー」には洋上風力、潮流、及び波力のみが含まれており、塩分勾配及び藻類由来のバイオ燃料は対象ではない。

(IPCC SROCC 520頁 第5章 5.5.1.1)

図. 海の再生可能エネルギーの修復と保全の潜在的な便益と制約のまとめ。緩和効果は、理論的に最大限実装した場合に想定される気候関連の駆動要因の削減量を仮定し、RCP8.5比で定量化された。



統合的水管理

- 複数のスケールにわたる統合的な水管理は、高山地域における、雪氷圏の変化による影響に対応し機会(選択肢)を活用するときに効果的になりうる。これらのアプローチは、多目的な貯水及び放流の開発及び最適化による水資源管理を支持し(確信度が中程度)、生態系及びコミュニティに対する潜在的な負の影響の対応も伴う。
- 1年間を通しての観光活動の多様化は、高山地域の経済における適応を助ける(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM C2.6)

- 雪氷圏から放出される水を含む水の多目的利用に焦点を当てた統合的な水管理のアプローチは、特にこの水資源に依存して持続しているエネルギー産業、農業、生態系、及び飲料水供給の分野における適応策として重要であることが、AR5以降いくつかの研究によって示されてきた(次ページの図参照)。
- ただし、地域の生態系や生物多様性のホットスポットに対する実際的及び潜在的な負の影響に関する懸念も高まっている。

(IPCC SROCC 157–158頁 第2章 2.3.1.4)

- 気候変動によってもたらされた不利な雪の状態及び／またはそれに伴う人工造雪技術への大がかりな投資の必要性によって、多くのリゾート施設(特に小規模で標高の低い場所にあるリゾート施設)が既に閉鎖された地域がいくつかある。スキーの観光収入の損失を相殺するためには、マウンテンバイク、山岳コースターやスライダー、及び屋内のクライミングウォールやウォーターパークの提供、並びにイベントの開催といった観光資源の多様化が重要な適応策である。

(IPCC SROCC 169頁 第2章 2.3.5)

統合的水管理(続き)

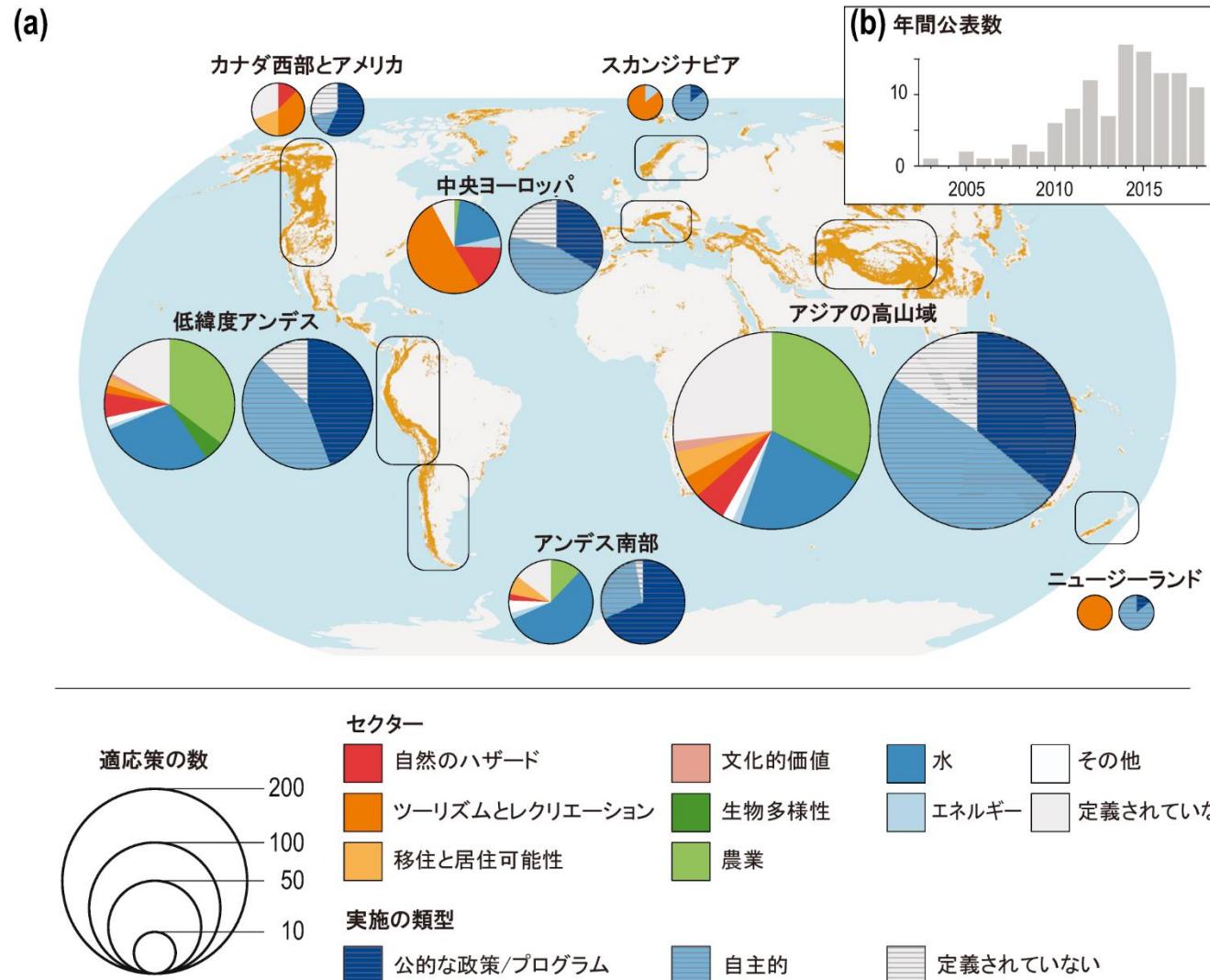


図. (a) 7つの高山域で報告されている個別の適応策の数。円グラフは各セクターの適応策の数と、その実施の類型(公的、自主的、もしくは定義されていない)の割合。(b) 評価された文献に発表された論文の数。1つの論文で複数の適応策が議論されている場合もある。

海面水位上昇への統合的対応は困難な選択を迫られる

- 沿岸域のコミュニティは、利用可能な選択肢のコスト、便益及びトレードオフの均衡を維持しつつ、時間の経過に応じて調整が可能な、文脈に固有で（状況に応じた）統合的な海面水位の上昇への対応を策定するにあたって、困難な選択を迫られている（確信度が高い）。
 - 保護、順応、生態系ベースの適応、海岸線拡張と後退（retreat）を含む、どの種類の選択肢も、それが利用可能ならばどのような場合でも、これら統合的な対応において重要な役割を果たしうる（確信度が高い）。
- (IPCC SROCC SPM C3)

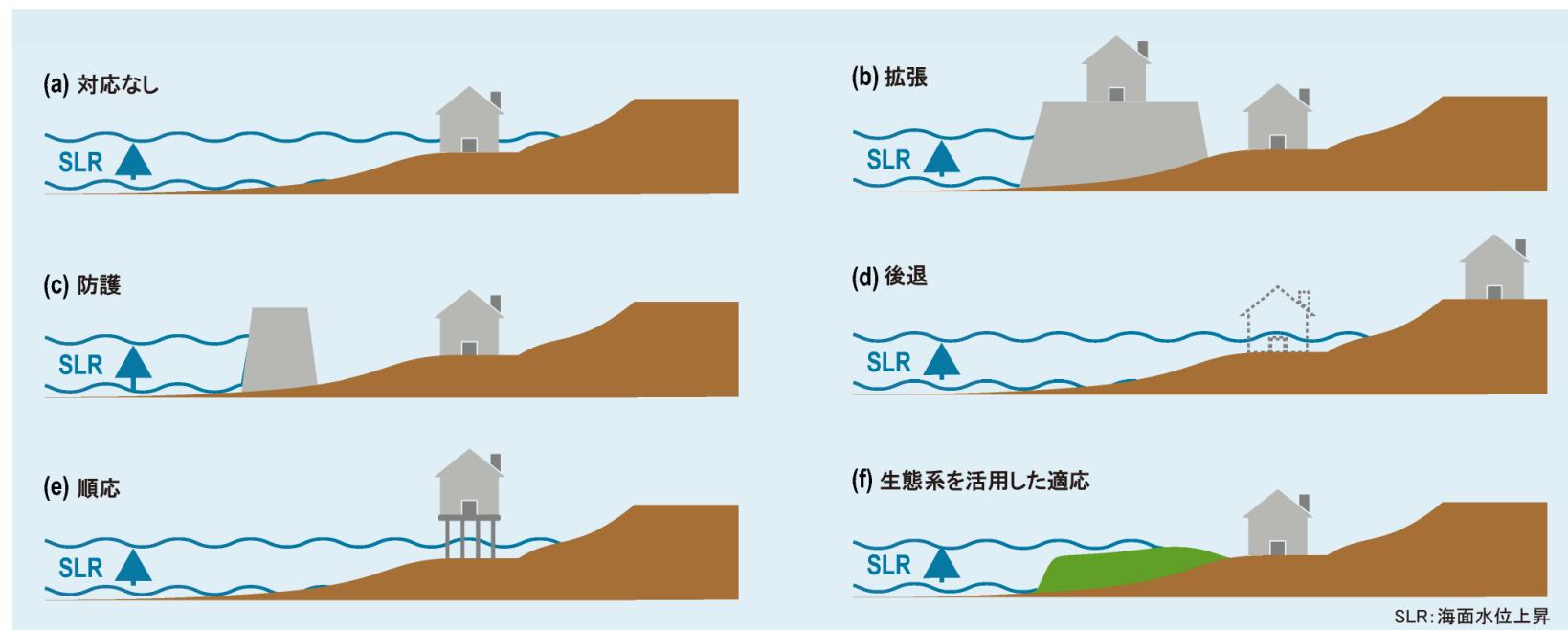


図. 沿岸域のリスクと海面水位上昇への対応策を示す概念図。それぞれの対応策の詳細についてはSROCC (385-386頁)第4章 Box 4.3参照。



海面水位上昇への対応：沿岸防護

- 海面水位の上昇がより高くなればなるほど、沿岸防護はより困難となり、それは技術的な限界よりも、主に経済的、財政的及び社会的障壁による（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM C3.1)

- ・ 今後数十年の間、沿岸域の都市化及び人為起源の地盤沈下など、曝露及び脆弱性の局所的な駆動要因の削減は、効果的な対応を構成する（確信度が高い）。
- ・ 空間的制約があり、曝露されている資産の価値が高い場所（例えば都市）では、ハードインフラによる保護（例えば、堤防）は、文脈の固有性（状況に応じた事情）を考慮し、21世紀の間は費用効率的な対応の選択肢となる可能性が高いが（確信度が高い）、資源が限定的な地域ではそのような投資を負担できないかもしれない。
- ・ [十分な]空間が利用可能な場所では、生態系を活用した適応は沿岸域のリスクを低減することができ、炭素貯蔵、水質の改善、生物多様性の保全、及び生計の補助など、その他複数の便益を提供しうる（確信度が中程度）。

(IPCC SROCC SPM C3.1)

海面水位上昇への対応：沿岸防護（続き）

(c) 平均及び極端な海面水位の上昇に対する応答

本表は、応答とその特徴を説明する。網羅的ではない。ある対応が適用可能か否かは地理的条件及び文脈に依拠する。

確信度の水準（効果について評価）：●●●●●=非常に高い ●●●=高い ●●=中程度 ●=低い

応答		潜在的效果 海面水位の上昇リスクを低減の 効果 (技術的/生物物理的限界)	利点 (リスク低減を 超える利点)	コベネフィット	欠点	経済効率	ガバナンス上の課題
ハード面の保護		数メートルの海面水位上昇(SLR) まで[4.4.2.2.4] ●●●	予想可能な 安全性の水準 [4.4.2.2.4]	レクリエーションまたはその 他土地利用も含む多機能 の堤防[4.4.2.2.5]	沿岸の圧迫、洪水及び侵食による 沿岸漂砂、ロックイン、防護の失敗 による破壊的な結[4.3.2.4, 4.4.2.2.5]	多くの都市化された人口 密度の高い沿岸地域で みられるよう保護される 示唆の価値が高い場合 に高い。[4.4.2.2.7]	多くの場合、より貧困な地域では アフォーダブルではない。目的間 の対立（例えば、安全性、観光）、 公的資金の分配をめぐる対立、資 金不足。[4.3.3.2, 4.4.2.2.6]
堆積物による保護		効果あるが堆積物の利用性に依 拠。[4.4.2.2.4] ●●●	高い柔軟性 [4.4.2.2.4]	レクリエーション/観光向 けに砂浜保存[4.4.2.2.5]	堆積物の供給源の生息地の破壊 [4.4.2.2.5]	観光収入が高い場合に 高い[4.4.2.2.7]	公的資金の分配をめぐる対立。 [4.4.2.2.6]
生態系ベースの 後退	サンゴの 保全	SLR0.5cm/年まで有効●● 海洋の昇温及び酸性化によって 極めて限定的。	コミュニティ参加の 機会[4.4.2.3.1]	生息地の獲得、生物多様 性、炭素貯留、観光による 収入、漁業の生産性の強 化、水の質の改善。食料、 医薬品、燃料、木材及び 文化的な便益の提供 [4.4.2.3.5]	長期的効果は海洋の昇温、反省 か及び排出シナリオに依[4.4.3.5.2., 4.4.2.3.2]	費用便益の割合につい て証拠が限定的。人口密 度及び土地の利用制に 依拠。[4.4.2.3.7]	実施の許認可の取得が困難。 資金不足。保全政策の実施不足。 EBAの選択肢は、短期的な経済利 益、土地の利用可能性を理由に 却下。[4.4.2.3.6]
	サンゴの 再生	多くの場所で1.5°Cの昇温では制 約があり、2°Cでは消失。[4.3.3.5.2, 4.4.2.3.2, 5.3.4] ●●●			安全水準の予測がより難しい。 開 発の便益は実現されない[4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2]		
	湿地の保全 湿地の再生 (沼地、マング ローブ林)	SLR0.5~1cm/年まで有効●● 2°Cで減少[4.3.3.5.1, 4.4.2.3.2, 5.3.7] ●●●			安全水準の予測がより難しい。 大 規模な土地が必要。内陸への生態 系拡大の障壁は除去する必要が ある。[4.4.2.3.5, 4.4.2.3.2]		
沿岸域の前進		数メートルの海面水位上昇(SLR) まで[4.4.2.2.4] ●●●	予測可能な水準の 安全性[4.4.2.2.4]	適応の資金となりうる、土 地及び土地売却収益を生 む。[4.4.2.4.5]	地下水の塩性化、侵食の拡大及 び沿岸生態系・生息地の喪失。 [4.4.2.4.5]	多くの都市化された沿岸 域にみられるように、土 地価格が高ければ非常 に高い。[4.4.2.4.7]	多くの場合、貧困地域ではア フォーダブルではない。新規の土 地の利用可能性及び分配に關す る社会的対立。[4.4.2.4.6]
沿岸域の順応 (建物の洪水対策、 洪水現象に対する早 期警戒システムなど)		小規模の海面水位上昇に非常に 有効[4.4.2.5.4]●●●	成熟した技術。堆積 物によって標高が 押し上げられる可 能性[4.4.2.5.5]	ランドスケープの連続性を 維持 [4.4.2.2.5]	洪水／影響を防止しない[4.4.2.5.5]	早期警告システム及び建 物レベルの対策にとって 非常に高い[4.4.2.5.7]	早期警戒システムには効果的な 制度上の取り決めが必要 [4.4.2.6.6]
後退	計画的移住	代替的な安全な場所があれば有 効 [4.4.2.6.4] ●●●	出発点における海 面水位のリスクは 除去可能[4.4.2.6.4]	改善されたサービス(医療、 教育、住宅)、雇用機会、 経済成長の利用[4.4.2.6.5]	社会的一体制、文化的アイデン ティ及び福祉の喪失。サービス (医療、教育、住宅)、雇用機会、 経済成長の落ち込み。[4.4.2.6.5]	証拠が限定的[4.4.2.6.7]	人々を移住させたことによる出発 点及び目的地における利害關係 の相違和解。[4.4.2.6.6]
	強制移住	出発点での緊急リスクのみ対応	該当せず	該当せず	生命の喪失から生計及び主権の 喪失までの幅がある[4.4.2.6.5]	該当せず	生計、人権及び衡平性に関する 複雑な人道的な疑問の提起 [4.4.2.6.6]



海面水位上昇への対応：対応の選択肢と統合的な対応

- 防護、順応、生態系ベースの適応、沿岸域の「拡張(advance)」、及び代替的な場所が利用可能な場合の計画的な移住を含むすべての種類の選択肢は、そのような統合的な対応において重要な役割を果たしうる（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM C3.2)

- 早期警戒システム及び浸水（洪水）に強い建物など、一部の沿岸域の順応策は、現在の海面水位の下では低コストかつ非常に費用効率が高い場合が多い（確信度が高い）。
- 予測される海面水位の上昇及び沿岸域のハザードの増加の下では、これらの対策は他の対策と組み合わせなければ効果が減少する（確信度が高い）。
- 影響を受けるコミュニティの規模が小さい場合、または災害発生後には、安全で代替的な場所が利用可能であれば、沿岸域からの計画的な移住によってリスクを低減することは考慮する価値がある。そのような計画的な移住は、社会的、文化的、財政的、及び政治的な制約がありうる（確信度が非常に高い）。

(IPCC SROCC SPM C3.2)

参考

SROCC 第4章 FAQ 4.1(411頁)では、「海面水位の上昇が避けられないと沿岸域のコミュニティにどのような課題をもたらし、コミュニティはどのように適応できるのか？」という問い合わせている。海面の上昇は、高潮・暴風雨・洪水と相まって、沿岸域のコミュニティをますますリスクに曝している。堤防や護岸の建設、マングローブやサンゴ礁など自然の特徴の維持、さらには海の埋め立てや建物を洪水に適応させたりして、リスクからコミュニティを守ることが可能である。ただし、すべての対策には限界があり、限界に達した場合は、移転を余儀なくされる可能性も出てくる。協調的な排出削減が間に合わないと、海面水位上昇が加速するにつれてリスクも徐々に増加する。従って、地球全体の気候レジリエンスと持続可能な開発の展望は、沿岸域の国・都市・コミュニティが緊急かつ持続的で地域に適した行動をとって、温室効果ガス排出量 の削減や海面上昇への適応を進めていけるかに大きく依存している。



海面水位上昇への対応：ガバナンスの課題

- 海面水位の上昇への対応及び関連するリスクの低減は社会に対して重大なガバナンスの課題を呈し、これは将来の海面水位の上昇の規模及び速度に関する不確実性、複数の社会目標(例えば、安全、保全、経済開発、世代内／世代間の衡平)の間の複雑なトレードオフ、資源制約、様々な利害関係者の間の利害及び価値観の対立の結果もたらされる(確信度が高い)。
- これらの課題は、長期にわたって状況変化に応じて調整された、意思決定分析、土地利用計画、市民参加、多様な知識システム及び紛争解決アプローチの、局所的に適切な組み合わせを用いることで、緩和しうる(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C3.3)

表. 海面水位の上昇に起因するガバナンスの課題を克服するための成功要因と教訓※

ガバナンスの課題	成功要因と教訓	実例
時間軸と不確実性	時間の経過とともに新しい対応策を模索する選択肢を残しつつ、長期的な視点を持って今すぐ行動を起こす。	<p>参加型シナリオ・プランニング(計画策定)は、例えば、ラゴス(ナイジェリア)、ダッカ(バングラデシュ)、ロッテルダム(オランダ)、香港及び広州(中国)、マクト(モザンビーク)、サントス(ブラジル)、北極域、インドネシア、オランダ・デルタ地帯、並びにバングラデシュにおいて、広範に利用してきた。</p> <p>得られた教訓として以下のものが挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 共通した沿岸域のビジョンの開発[の重要性]。 ・ 異なる価値観、信念、及び文化を尊重し、それらの調和を保つ参加型シナリオ・プランニングの利用[の重要性]。 ・ 権力の不均衡と人類の発達の原則への取り組み[の重要性]。

※SROCC 表4.9には、ここで紹介している項目以外にも、社会的対立や社会的脆弱性といった様々なガバナンスの課題における成功要因と教訓、及びそれらの実例が挙げられている。



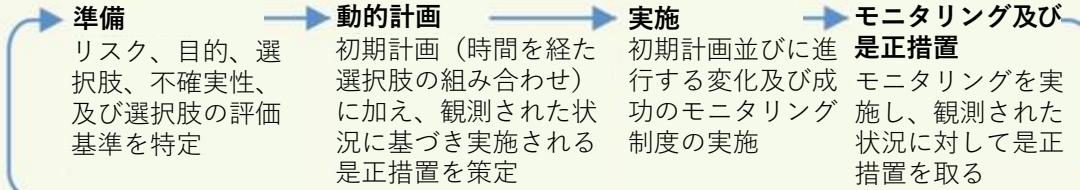
海面水位上昇への対応:長期的対応

- 2050年以降の海面水位の上昇の規模及び速度に関する大きな不確実性にもかかわらず、数十年から1世紀以上の時間を有する多くの意思決定が沿岸域に関して現在行われている。
- これら(重要インフラ、沿岸防護施設の工事、都市計画など)は、相対的な海面水位の上昇を考慮し、早期警戒シグナルのための監視システムに支えられた柔軟な対応(すなわち、時間を経て適応させられるもの)を優先し、定期的に決定を調整し(すなわち順応型意思決定)、強い意思決定のアプローチ、専門家の判断、シナリオ構築、及び複数の知識システムを用いることにより、改善しうる(確信度が高い)。
- 沿岸域の対応の計画・実施にあたって考慮する必要がある海面水位の上昇の範囲は、利害関係者のリスク許容力に依拠する。リスク許容力が相対的に高い利害関係者(例えば、予見できない状況に対して容易に適応可能な投資の計画をしている者)は、予測の可能性の高い範囲を用いることを好む一方で、リスク許容力が比較的低い利害関係者(例えば、重要なインフラ基盤整備に関する決定を行っている者)は、世界及び局所的な平均海面水位について、可能性が高い範囲の上限を超える数字(RCP8.5において2100年までに世界全体で1.1m)や、専門家判断などのように確信度が低いことが特徴である方法による数字も考慮する。

(IPCC SROCC SPM C3.4)

(d) 海面水位の上昇の対応を可能にするための選択

順応型意思決定の一般的な手順



[対応を]可能にする条件

- ・長期的視点
- ・スケール間の協調
- ・脆弱性及び衡平性への対応
- ・開かれた（インクルーシブな）市民参加
- ・複雑性に対処する能力

条件① 緊急で野心的な排出削減

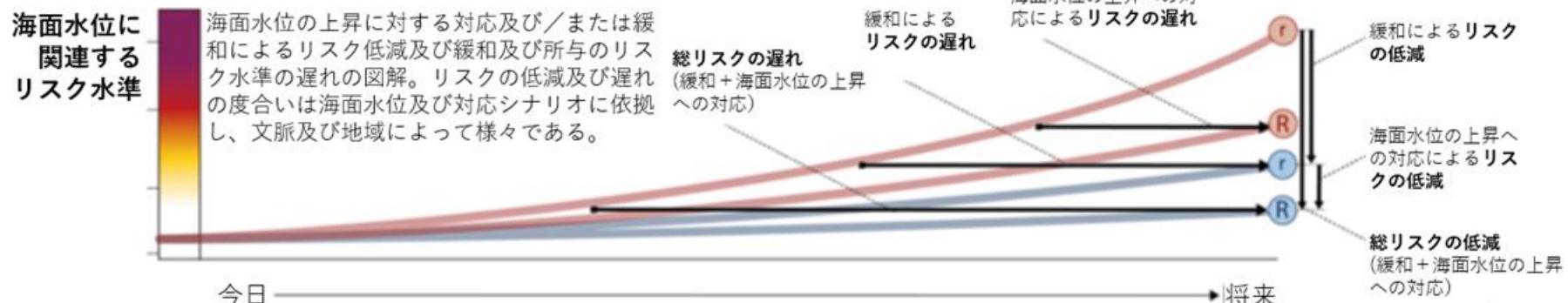
- 気候へのレジリエンス及び持続可能な開発を可能とすることは、調整された持続可能でさらに野心的な適応行動を組み合わせた、緊急で野心的な排出削減に大きく依拠する（確信度が非常に高い）。

(IPCC SROCC SPM C4)

- ・ 海洋及び雪氷圏における観測及び予測された変化を踏まえると、多くの国では野心的な緩和を伴っても、適応の課題に直面するであろう（確信度が非常に高い）。
- ・ 高排出シナリオでは、多くの海洋及び雪氷圏に依存するコミュニティが21世紀後半に適応の限界（例えば、生物物理的、地理的、財政的、技術的、社会的、政治的及び制度的限界）に直面すると予測される。
- ・ 比較として、低排出経路は、今世紀及びそれ以降の海洋及び雪氷圏の変化によるリスクを抑え、より効果的な対応を可能とし（確信度が高い）、同時にコベネフィットも生む。経済及び制度の深く変革的な変化によって、海洋及び雪氷圏の文脈において気候にレジリエントな開発経路を可能とする（確信度が高い）。

(IPCC SROCC SPM C4.1)

(b) 海面水位の上昇への対応及び緩和の便益



出典：図、IPCC SROCC 図 SPM.5 (b)



条件② ガバナンス当局間の協力や調整

- 海洋及び雪氷圏における気候関連の変化に対する効果的な対応を実施するための主要な成功要因には、ガバナンスを行う当局の間の空間スケール及び計画期間にわたる協力や調整の強化が含まれる。

(IPCC SROCC SPM C4)

- ・ 異なるスケール、管轄、部門、政策領域及び計画期間をまたいで当局間の協力と調整を強化することによって、海洋、雪氷圏及び海面水位の上昇における変化に対する効果的な対応が可能となりうる(確信度が高い)。
- ・ 協定及び条約を含む地域協力は適応行動を支えうるが、海洋及び雪氷圏における変化から生じる影響及び損失への対応が、地域的な政策枠組みによって可能となっている範囲は現在限定的である(確信度が高い)。
- ・ 地域コミュニティと先住民コミュニティとの間に多層的な強いつながりを提供する制度的な取り決めは適応に利益となる(確信度が高い)。
- ・ 国内政策及び国境をまたぐ地域政策の間の調整及び補完によって、水及び漁業などの資源の安全保障及び管理に対するリスクに対応する取り組みを支援しうる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM C4.2)

- ・ 今までの経験(例えば、海面水位の上昇、一部の高山地域における水関連のリスク及び北極域の気候変動のリスクへの対応の経験)によって、短期的な決定をおこなうときに、2050年以降の文脈に固有の[(状況に応じた)]リスクの不確実性を明示的に考慮して、長期的な視点を持つこと(確信度が高い)、及び複雑なリスクに対処するためのガバナンス能力を構築すること(確信度が中程度)が成功要因としての効果を持つことを明らかにしている。

(IPCC SROCC SPM C4.3)



条件③ 教育や能力開発への投資や監視・予測等の情報提供

■ 教育及び気候リテラシー、監視及び予測、全ての利用可能な知識源の利用、データや情報及び知識の共有、資金、社会的な脆弱性及び衡平性への対応、並びに制度的な支援も重要である。そのような投資は、能力開発、社会学習、文脈に固有の[(状況に応じた)]適応への参加、並びにトレードオフの交渉への参加及び短期的なリスク低減及び長期的なレジリエンスと持続可能性の構築のコベネフィットの達成を可能にする(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C4.)

- ・ 様々なレベル及びスケールにおける教育及び能力開発への投資は、社会学習並びにリスクを低減しレジリエンスを強化する文脈に固有の[(状況に応じた)]対応を執る長期的な能力を促進する(確信度が高い)。
- ・ 具体的な活動の例として、複数の知識システム及び地域の気候関連情報を意思決定に利用すること、並びに地域コミュニティ、先住民、及び関連する利害関係者を順応的ガバナンスの準備及び計画の枠組みに参画させられることがあげられる(確信度が中程度)。
- ・ 気候リテラシーの推進および地域、先住民および科学的知識の活用は、地域に固有のリスク及び対応の潜在的 possibilityに関する市民の意識、理解及び社会学習を可能とする(確信度が高い)。
- ・ そのような投資は、制度を開発し、多くの場合既存の制度を変革し、情報提供のある、相互作用的な順応的ガバナンスの取り決めを可能とする(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C4.4)

- ・ 海洋及び雪氷圏における変化の文脈に固有な(状況に応じた)監視及び予想は、適応の計画及び実施に対して情報を提供し、短期的及び長期的な利益の間のトレードオフにおけるロバストな決定を促進する(確信度が中程度)。
- ・ 持続的な長期的監視、データ、情報及び知識の共有、より極端なエルニーニョ／ラニーニャ現象、熱帯低気圧、及び海洋熱波を予想するための早期警戒システムを含む文脈に固有の(状況に応じた)予想は、漁業における損失など、海洋の変化による負の影響、並びに人間の健康、食料安全保障、農業、サンゴ礁、養殖、森林火災、観光、保全、干ばつ及び浸水(洪水)に対する悪影響の管理を助ける(確信度が高い)。

(IPCC SROCC SPM C4.5)

- ・ 公正で公平な気候のレジリエンス及び持続可能な開発は、社会的な脆弱性及び衡平性に対応する対策を優先することによって、推進され(確信度が高い)、意義のある市民参加、熟議及び紛争解決のための安全なコミュニティ環境を作ることがその助けとなりうる(確信度が中程度)。

(IPCC SROCC SPM C4.6)

参考情報

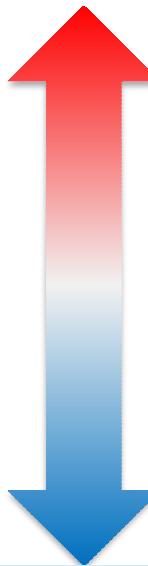
i. IPCCの報告書における「可能性」の表現

- 「可能性」とは、不確実性を定量的に表現する用語であり、観測、モデル結果の統計的解析や専門家の判断に基づいて確率的に表現される。

※ 下記の表現は、IPCC第5次評価報告書と海洋・雪氷圏関係特別報告書で整合している。

※ 本解説資料では、可能性の表現を斜字体で記載している。

可能性が
高い



可能性が
低い

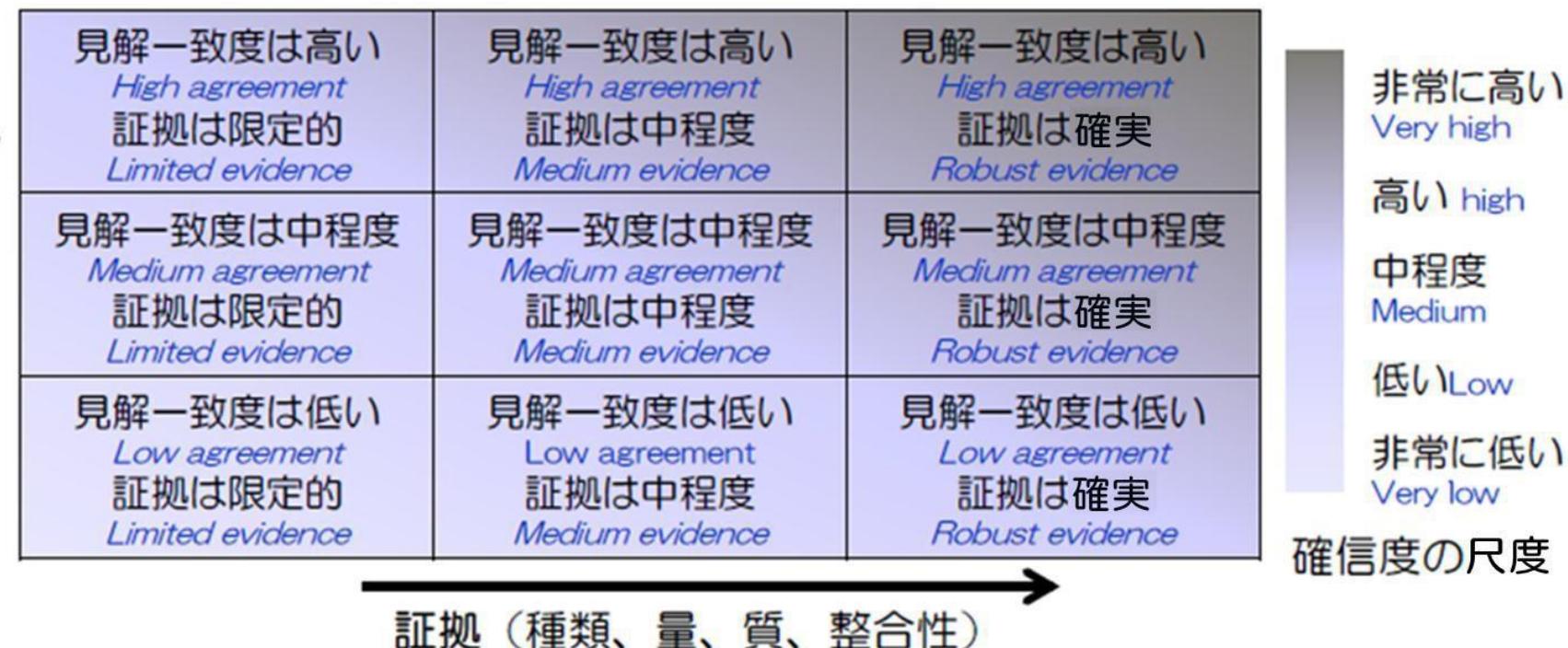
原語	和訳	発生確率
Virtually certain	ほぼ確実	99～100% の確率
Extremely likely	可能性が極めて高い	95～100% の確率
Very likely	可能性が非常に高い	90～100% の確率
Likely	可能性が高い	66～100% の確率
More likely than not	どちらかと言えば可能性が高い	50～100% の確率
About as likely as not	どちらも同程度	33～66% の確率
Unlikely	可能性が低い	0～33% の確率
Very unlikely	可能性が非常に低い	0～10% の確率
Extremely unlikely	可能性が極めて低い	0～5% の確率
Exceptionally unlikely	ほぼあり得ない	0～1% の確率

ii. IPCCの報告書における「確信度」の表現

- 「確信度」とは、メカニズムの理解、理論、データ、モデル、専門家の判断などの証拠の種類、量、質、整合性及び見解の一致度に基づいて、妥当性を定性的に表現する用語である。

※ 下記の表現は、IPCC第5次評価報告書と海洋・雪氷圈特別報告書で整合している。

※ 本解説資料では、確信度の表現を斜字体で記載している。



出典: 図, IPCC AR5 WG2 TS Box TS.3 Fig. 1
(環境省訳)

iii. SROCCにおける「高山地域」について

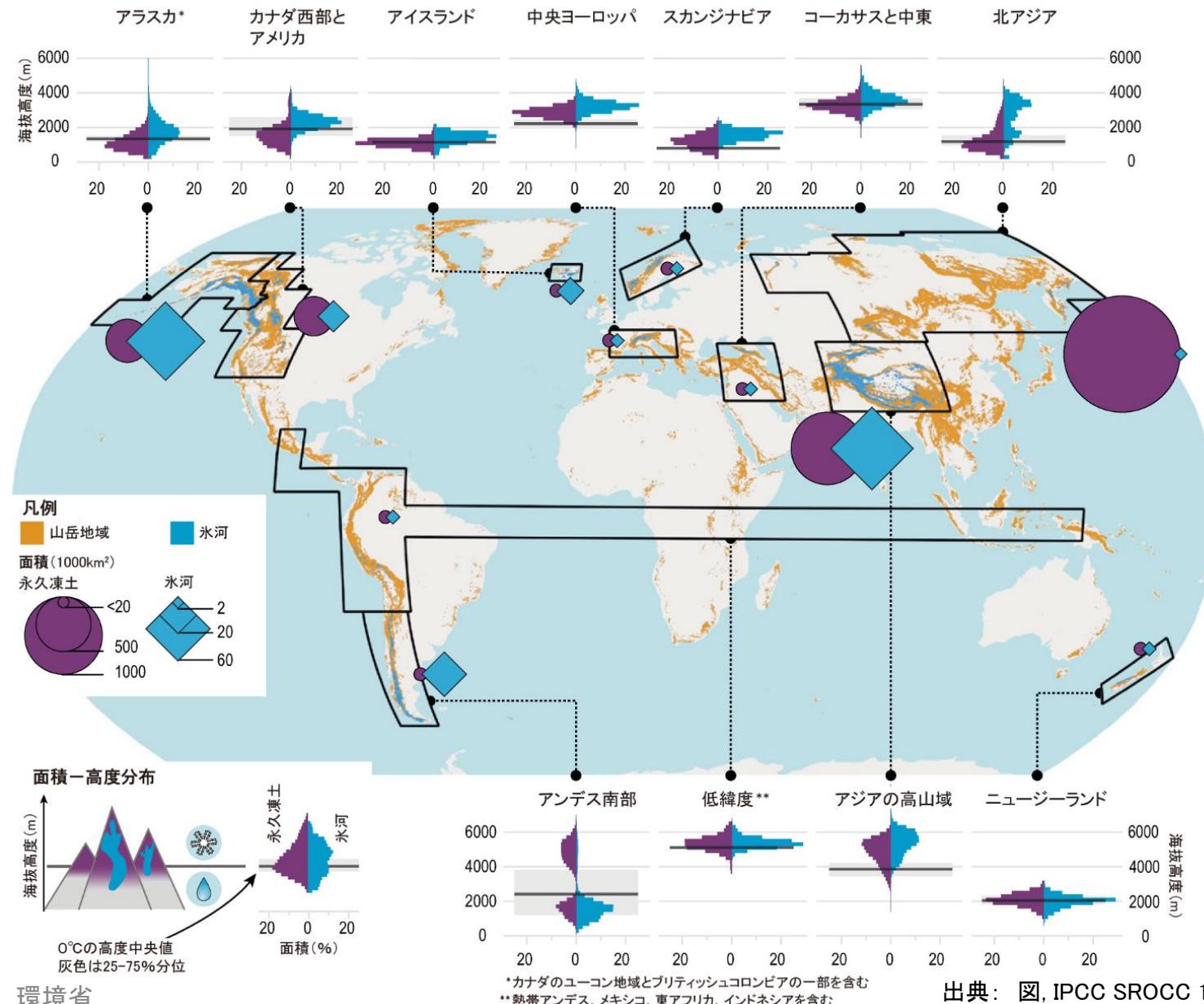


図. 山岳地帯(オレンジ色の濃淡)と氷河(青色)の分布、及び高山地域の氷河と永久凍土の統計結果。ここでは氷河を有する11の地域について概説されているが、SROCCではこれらの地域以外の雪氷圏に関する影響についても議論している。

出典: 図, IPCC SROCC 136頁 第2章 図2.1

iv. SROCCにおける「極域」について

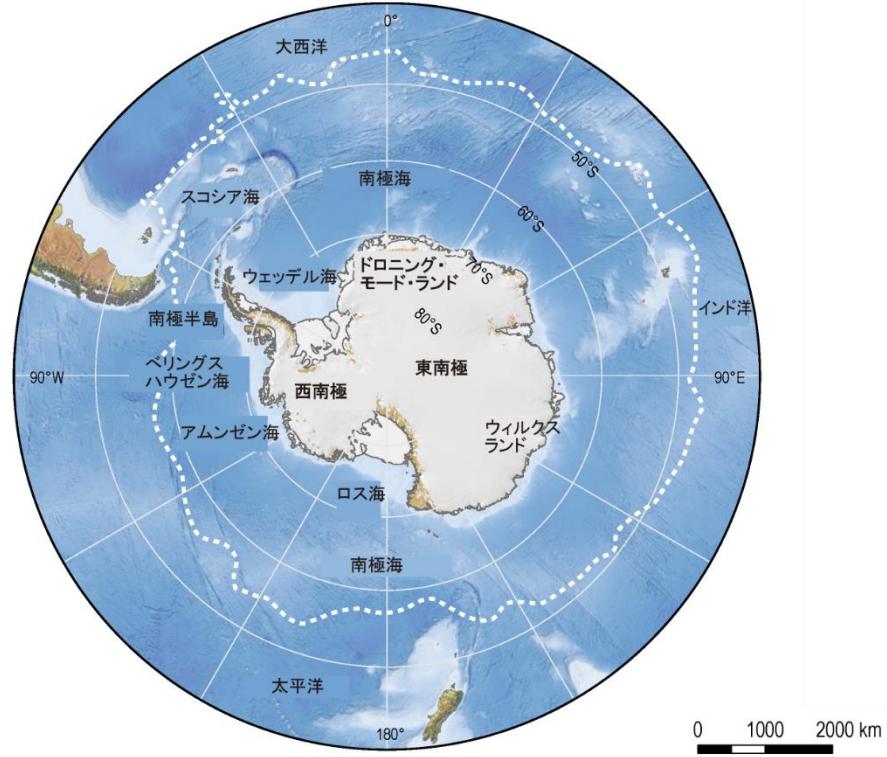
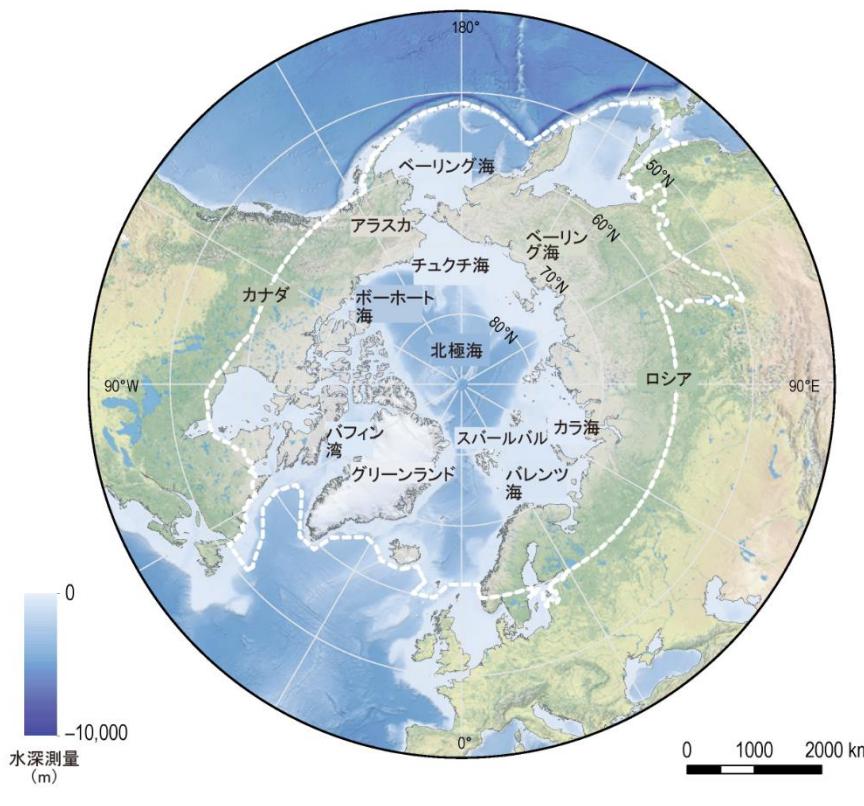
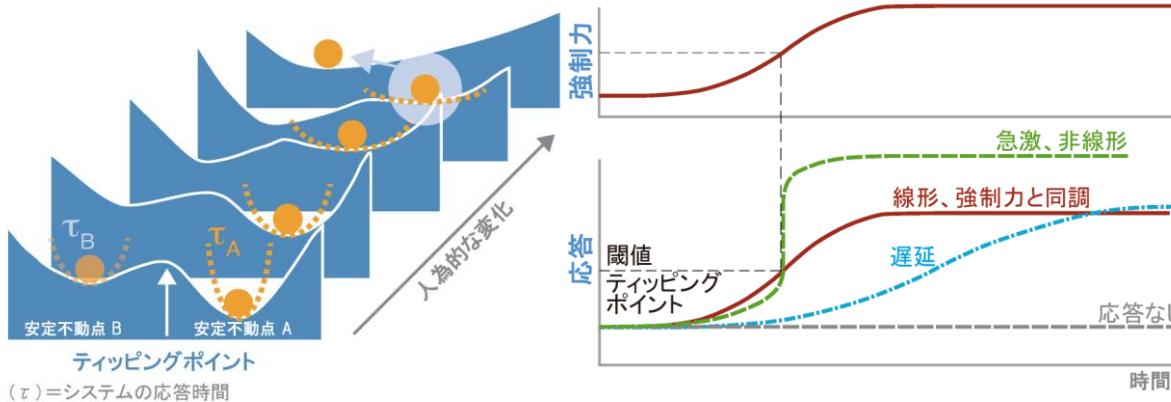


図. 北極域(左)と南極域(右)。図中の破線は極域のおおよその境界線を示している。雪氷圏や海洋の特定の要素もしくは科学分野によって極域の空間的範囲が異なってくるため、SROCCでは意図的に柔軟な区分を使用している。

v. テイッピングポイントと連鎖的な影響

テイッピングポイント: 安定的な状態が人為起源の変化によって不安定化し、「テイッピングポイント」に到達するともう1つの状態に移行する(左)。少しずつ変化する強制力に対するシステムの応答の違い(右)。



連鎖的な影響: システムのある部分の変化が別の部分の状態に影響を与え、これが繰り返されることで最終的にシステム全体の状態に影響が及ぶ。連鎖的な影響がフィードバックを引き起こすことで放射強制力自身が変わる原因ともなりうる。



「テイッピングポイント」とは?

システム特性が変化するレベル(臨界点)のことでのことで、システムが組み変えられ、しばしば非線形的に変化し、変化の要因が緩和されても初期状態には戻らないことがある。気候システムにおいては、地球規模・地域規模の気候がある安定的な状態から別の状態へと移行する転換点を指す。

(IPCC SROCC 699頁 Glossary)

例えば、大西洋の深層大循環の停止や西南極氷床の不安定化による消失、などが挙げられる。

(IPCC SROCC 81頁 第1章 1.3)

「連鎖的な影響(カスケーディング・インパクト)」とは?

異常気象／気候事象による「連鎖的な影響」は、極端なハザードが自然および人間システムに二次的な事象を続発させ、その結果、物理的、自然的、社会的、もしくは経済的な混乱が生じ、それにより、最初の影響よりも著しく大きな影響が生じることで発生する。連鎖的な影響は複雑で多面的であり、ハザードの大きさよりも脆弱性の大きさに関連している。

(IPCC SROCC 680頁 Glossary)

例えば、オーストラリア・タスマニアでは、自然の気候の変動性と人為起源の気候変動の複合的な影響により、2015–2016年に複数の極端な気候の事象(干ばつ、高温、大雨など)が発生し、エネルギー部門、漁業、及び救急業務に影響を与えた。さらに、エネルギー供給量が減少したことにより広範な産業分野に影響が連鎖した。

(IPCC SROCC 626–627頁 第6章 Box 6.1)

vi. 海洋・雪氷圏特別報告書における排出シナリオの利用

- SROCCにおいて予測される将来変化の評価は主に代表的濃度経路(RCP)を用いたCMIP5(第5期結合モデル相互比較計画)¹の気候モデル予測に基づく。RCPはすべての温室効果ガス、エーロゾル及び化学的活性ガスの排出量及び濃度、並びに土地利用/土地被覆の時系列を含むシナリオである。RCPは異なる水準の地球温暖化を引き起こすであろう可能性がある多くのシナリオの中の一組を示すに過ぎない。
- SROCCは、利用可能な文献を反映し、その評価に主にRCP2.6及びRCP8.5用いている。RCP2.6は、CMIP5のシミュレーションにおいて3分の2の確率で地球温暖化を2100年までに2°Cより低く抑える、温室効果ガスの排出量が少なく緩和が大きい将来を示す²。それに対しRCP8.5は、温室効果ガスの高排出シナリオで、気候変動に対処する政策を実施せず、その結果大気中の温室効果ガスの濃度が継続的及び持続的に増加する。すべてのRCPと比較して、RCP8.5は温室効果ガスの排出量が最も多い経路に該当する。

(IPCC SROCC SPM ボックス SPM.1)

表. 4つのRCPにおける2つの期間について予測される1850～1900年からのGMSTの変化³

シナリオ	短期: 2031～2050年		21世紀末: 2081～2100年	
	中央値(°C)	可能性の幅(°C)	中央値(°C)	可能性の幅(°C)
RCP2.6	1.6	1.1 ~ 2.0	1.6	0.9 ~ 2.4
RCP4.5	1.7	1.3 ~ 2.2	2.5	1.7 ~ 3.3
RCP6.0	1.6	1.2 ~ 2.0	2.9	2.0 ~ 3.8
RCP8.5	2.0	1.5 ~ 2.4	4.3	3.2 ~ 5.4

¹ CMIP(結合モデル相互比較計画)は、世界中のモデルグループが共有したモデルのインプットに基づく気候モデルのシミュレーション結果を世界気候研究計画(World Climate Research Programme: WCRP)がまとめ、アーカイブ化した、気候のモデル化の取り組み(SROCC Glossary)。

² RCP2.6より低い程度の昇温の予測に対応するより低排出の経路(RCP1.9)は、CMIP5に含まれてない。

³ SROCCでは、2006～2015年と比較した変化を評価する場合がある。1850～1900年の期間から2006～2015年にかけての昇温は0.87°C(可能性が高い範囲は0.75～0.99°C)。

vii. ガバナンスのケーススタディ

ケーススタディ1

マルチレベルの相互作用と相乗効果：海洋法に関する国連条約(UNCLOS)と北極域の変化

ガバナンスの課題：

気候変動による海面水位上昇は沿岸国の国境や領地を変え、UNCLOSの下で沿岸国の権利が適用される海域を変える可能性がある。問題が深刻な場合には、海面水位上昇による浸水が、領土と主権の喪失、島の消失、海上の権利を主張できる国際海事管轄権の喪失につながりうる。

これらの課題に対する国際法上の救済措置は限られており、国際法の観点から適切な対応がどのようなものであるかは依然として不明である。環境保護のための具体的な法的な取り決めや制度は、地域、準地域、国家レベルで整備されているが、海面水位上昇がもたらす新たな課題に対処するには不十分である。

北極評議会(Arctic Council、AC)や「海洋法」といった、気候変動による地政学的变化への制度的な対応は未だに発展段階にある。多くの国際協定と同様に、UNCLOSの「海洋法」の施行、遵守、監視、及び紛争解決メカニズムの規定は包括的ではなく、多くの場合、当事国家によって権限のある国際機関を通じて行われる、詳細な法の整備に依拠している。

課題解決への取り組みと今後：

従来通りに国家レベルで適用される国際法の慣行から、国家と非国家主体(先住民族を含む)を巻き込んだマルチレベル且つ非公式なガバナンス構造への移行は、これらの課題に対して有効である可能性がある(確信度が中程度)。ACは、新しい形の正式・非公式のマルチレベルでの広域的連携を融合させた、地域に焦点を当てたガバナンス構造である。[ACが]採用しているソフト・ロー(soft law、法的な強制力を伴わない規範)のメカニズムは、世界的、地域横断的、国家的な海洋の気候課題に対応する試みとして、複数の知識システムから得られた最良の実践経験と基準に基づいている(SROCC 3.5.4.2参照)。地域間及び地球規模の新たな問題に対応するために、ACの再構成及び再編成が求められている(確信度が高い)。

既存の枠組みの範疇において、ACは気候変動の影響を受けている北極圏の人々の声を広め、行動を促してきた。国家を超えた主体の影響力が現れつつある。しかし、UNCLOSや極域における国際協力が果たしている役割が示すように、気候変動が生み出す新たな課題に取り組む上で、国が果たす役割は重要なままである(SROCC 3.5.4.2参照)。例えば、海洋環境を保護するための UNCLOS 第 234 条(氷に覆われた地域)及び第 197 条は、「国は、世界的基礎においてまたは適当な場合には地域的基礎において、地域的特性を考慮して、[…]協力するものとする。」と定めている。

vii. ガバナンスのケーススタディ(続き)

ケーススタディ2 山岳地帯のガバナンス：パキスタン北部 ギルギット・バルティスタン州の水管理

気候変動により生じた課題：

パキスタン北部の山岳地帯にあるギルギット・バルティスタン州は乾燥地域である。雪解け水が流れる小川が、農村の生計のために必要な灌漑用水を供給してきた。重力を利用した灌漑用水路の建設や維持管理は重労働であり、伝統的なコミュニティ団体であるジルガ(jirga)によって行われている。気候変動により氷河が後退することで氷河末端の水源が影響を受け、灌漑用水が減少してきた。

課題への対応と残された課題：

灌漑用水の減少に対応するため、村人たちはより遠くの水を灌漑用にするための新しい水路を建設した。アガカーン(Aga Khan)開発ネットワークは、資金を提供し、複数の規模にまたがる新しい種類のガバナンス・ネットワークを開拓し、地元住民をスタッフとして活用し、コミュニティのリソース、トレーニング、及びネットワークを強化することで、この新規水路の建設という大がかりなプロジェクトを支援した。但し、課題も残されている。例えば、降雨量の増加が地滑りを引き起こし、新しい用水路を損傷させる可能性がある。また、パキスタンの水力発電インフラが拡張される可能性があり、実際に拡張されれば水資源はさらに減少し、村落の移転が必要になるかもしれない。地政学的規模では、氷河からの水の供給量の減少は、この地域の水資源をめぐる緊張を悪化させ、インダス川流域の多くの地域の水管理に影響を与える可能性がある(詳細はSROCC 2.3.1.4参照)。

(IPCC SROCC 98頁 第1章 Cross-Chapter Box 3)

vii. ガバナンスのケーススタディ(続き)

ケーススタディ3

沿岸域のガバナンス：南アフリカ・ケープタウンにおける海面水位上昇のリスク管理

気候変動により生じた課題：

海面水位の上昇と沿岸域の氾濫は、ケープタウンの沿岸域における気候適応の取り組みの焦点となっている。ミルナートン海岸線の最高水位線（高潮時の水位を示す非静的な線）は、（海面水位の上昇により）内陸側に移動して私有地の境界と交差し、公共のビーチや砂丘を脅かし、暴風雨の際に私有地や自治体のインフラを危険に曝すことでガバナンスの対立を生み出している。私有地の所有者らは、海面水位の上昇や暴風雨のリスクから資産を保護するために、正式な、その場しのぎの場合によっては違法な、海岸の防波対策を複合的に講じてきており、これらの対策が海岸線の侵食をさらに進めている。

ガバナンスの対応と課題

法的には、ケープタウン市には沿岸侵食の影響を受けた私有地を修復する責任はない。しかし、市の担当者らは、進歩的で複数の利害関係者参加型のアプローチを用いて、共通の利益のための行動を取らざるを得ないと感じている。これには、単に法律主義的で国家中心のコンプライアンスアプローチではなく、対話の機会や、知識の共生産が含まれている。市の行動は、気候変動に関する国際的な枠組みに配慮し、国や州の法律や政策にも対応している。異なる主体者がそれぞれの利益、役割、責任を定義し、交渉する中で、この協議プロセスによって引き起こされるであろう権力闘争をどのように解決していくのか、という大きな課題は残されたままである（SROCC 4.4.3、表4.9参照）。

（IPCC SROCC 98—99頁 第1章 Cross-Chapter Box 3）

viii. 海洋・雪氷圏特別報告書に登場する用語の解説

海面水位の変化

季節毎、毎年、もしくはより長い時間スケールで発生する、世界的及び局所的な海面水位の高さの変化で、(1)（例えば、氷河や氷床の融解による）海水の質量変化の結果生じる海洋の体積の変化、(2)海水の密度変化の結果生じる海洋の体積の変化（例えば、温度上昇による膨張）、(3)海盆の形状の変化、及び地球の重力場や回転場の変化、並びに(4)局所的な土地の沈下や隆起により発生する。局所的な海面水位の変化は、相対的な海面水位の変化である。

(IPCC SROCC 696–697頁 Glossary)

海洋酸性化

長期間（通常は数十年以上）にわたる海洋のpH値の低下で、他の化学的変化（主として炭酸イオンと重炭酸イオンの濃度の変化）を伴う。海洋酸性化の主な原因は大気からの二酸化炭素の吸収であるが、他の化学物質の添加もしくは減少によって引き起こされることもある。

(IPCC SROCC 693頁 Glossary)

海洋の貯熱量の変化

AR5が結論付けたように、大気の放射特性と地球の熱収支への人為的変化の直接の結果として、海洋は温暖化している（可能性が非常に高い）。海洋観測システムでは、過去数十年にわたって海水温の上昇が観測されてきた。観測された温度上昇は、この期間に地球システムに蓄積された余剰熱の90%以上を海洋が取り込んできたことを意味している。熱は海洋の膨張も引き起こし、1970～2015年に観測された世界平均海面水位の上昇の約43%に寄与している。

(IPCC SROCC 457頁 第5章 5.2.2.2.1)

海洋の酸素の減少（貧酸素化）

海洋での酸素[濃度]の減少は海洋の温暖化に起因する。海洋の温暖化により酸素の溶解度が低下し、酸素の消費と成層化が促進されることで、海洋内部への酸素の混合が抑制されるのである。貧酸素化は、沿岸域が栄養過多の状態になることで悪化しうる。

(IPCC SROCC 693頁 Glossary)

海洋熱波

海面温度（海面付近の水温）が極端に温かい状態が続く期間で、数日から数ヶ月に及んで継続し、数千キロメートルにわたって広がりうる。

(IPCC SROCC 691頁 Glossary)

永久凍土

少なくとも2年にわたり継続して0°C以下にとどまる地盤（土壤または岩石、及びそこに含まれる氷と有機物）。永久凍土は氷の有無ではなく温度によって定義され、場合によっては氷がないことに注意が必要。

(IPCC SROCC 694頁 Glossary)

永久凍土の変化として、海洋・雪氷圏特別報告書では「劣化」(degradation)と「融解」(thaw)を以下の通り区別している。

- ✓ 永久凍土の劣化：永久凍土の厚さ及び／または面積が減少すること。
- ✓ 永久凍土の融解：永久凍土内の氷が徐々に失われることで、通常は熱の吸収によって起こる。融解は、永久凍土層全体にわたって、数十年から数百年かかるで起こり得るもので、融解が進行している間にも影響は発生する。融解の進行中は、水の相変化（固体→液体）に熱エネルギーが伝達されているので、温度変動は抑えられている。

(IPCC SROCC 694頁 Glossary)

viii. 海洋・雪氷圏特別報告書に登場する用語の解説(続き)

氷河

雪が堆積し圧縮されることで地表面に発生する多年性の氷や雪の塊で、過去または現在において流れがあることを示す証拠を有するもの。通常、氷河の質量は積雪によって増加し、アブレーション(消耗)によって減少する。大陸サイズ($> 50,000 \text{ km}^2$)の陸域の氷塊は、氷床と呼ばれている。

(IPCC SROCC 686頁 Glossary)

海水

海面で見つかる氷で、海水が凍ることで発生したもの。海水には、不連続な氷塊(氷盤)で、風や海流によって海面上を移動するもの(流水)、または沿岸に固着した静止状態の海水(定着氷)がある。海水密接度とは氷に覆われた海表面の占める割合のことである。1年以上経過していない海水は一年氷と呼ばれる。古い氷とは、少なくとも一夏を経た海水のことで、二年氷と、少なくとも二夏以上経過した多年氷とに分けられる。

(IPCC SROCC 696頁 Glossary)

氷床

大陸サイズの面積を有する、陸域を起点とする氷の塊で、一般的に $50,000 \text{ km}^2$ を超える面積を覆っているものと定義され、雪の堆積と圧縮によって数千年かけて形成される。氷床は、表面の平均勾配が緩やかで、高い位置にある中央の氷の台地から外側に向かって流出している。その縁は急勾配になっていることが多く、ほとんどの氷は流れの速い水流(流出氷河とも呼ばれる)を経て、海や海に浮かぶ棚氷に放出される。現存する氷床はグリーンランド氷床と南極氷床の2つのみである。南極氷床は東南極氷床(East Antarctic Ice Sheet: EAIS)と西南極氷床(West Antarctic Ice Sheet: WAIS)、及び南極半島氷床に分けられる。氷河期には他の氷床も存在していた。

(IPCC SROCC 689頁 Glossary)

棚氷

陸域に端を発し浮遊する板状の氷で、沿岸域から伸び、かなりの厚さを有する(通常、その表面はとても平坦で、水平方向にも大きく広がっている)。もともとは雪の堆積によって形成された氷床の流れから生じたもので、氷床の海岸線の入り江を満たしていることがある。ほぼ全ての棚氷は南極にあり、海洋に放出される氷のほとんどが棚氷を経由して流れている。

(IPCC SROCC 688–689頁 Glossary)

ix. 略語集

AMOC	大西洋子午面循環 Atlantic Meridional Overturning Circulation	GMST	陸域及び海水の表面付近の気温と、海水のない海域の海面水温による世界全体の推定平均値 Global Mean Surface Temperature
AR5	IPCC 第5次評価報告書 IPCC 5th Assessment Report		先住民の知識 Indigenous Knowledge
CDW	周極深層水 Circumpolar Deep Water	IPCC	気候変動に関する政府間パネル Intergovernmental Panel on Climate Change
CMIP5	第5期結合モデル相互比較計画 Coupled Model Intercomparison Project Phase 5		地域の知識 Local Knowledge
EBUS	東岸境界湧昇システム Eastern Boundary Upwelling System	MHW	海洋熱波 Marine Heatwave
GHG	温室効果ガス Greenhouse Gas		純一次生産／純一次生産量 Net Primary Production/ Net Primary Productivity
GIS	グリーンランド氷床 Greenland Ice Sheet	OMZ	酸素極小層 Oxygen Minimum Zone
GMSL	世界平均海面水位 Global Mean Sea Level		代表的濃度経路 Representative Concentration Pathway

ix. 略語集(続き)

SDGs	持続可能な開発目標
	Sustainable Development Goals
SIDS	小島嶼開発途上国
	Small Island Developing States
SLE	海面水位換算
	Sea Level Equivalent
SLR	海面水位上昇
	Sea Level Rise
SMB	表面質量収支
	Surface Mass Balance
SPM	政策決定者向け要約
	Summary for Policy Makers
SST	海面温度
	Sea Surface Temperature