

5 変化する海洋、生態系及び依存的なコミュニティの強調

要約

沿岸生態系は、海洋及び陸上の人為的活動からの非気候的圧力によって悪化する海洋の温暖化と海面上昇からのストレスの下にあることが観測されている。温暖化に関連して、亜熱帯地域の塩性湿地へのマングローブの侵入は過去 50 年間で観測されている [高い信頼性]。【p451】

塩性湿地、マングローブ林及び砂浜における草木におおわれた砂丘を含む沿岸及び岸周辺の生態系は、海面上昇に対応して、垂直方向への積み上げと水平方向の拡大のための様々な能力を持っている。これらの生態系は、沿岸保護、炭素貯留及び様々な生物相への生息域を含む重要なサービスを提供している [高い信頼性]。植生を持つ沿岸生態系の損失に関連した炭素排出は、0.04～1.46 Gt/year と見積もられている [高い信頼性]。気候影響に適応するための生態系の自然能力は、生息域の断片化や陸地における緩和の制限などの人為的な活動により制限を受ける [高い信頼性]。【p451】

将来的な排出に下で、1.8°C 以上の温暖化への移行において、中程度から高いリスクを伴う生態系は、マングローブ林、砂浜、河口及び塩性湿地である [中程度の信頼性]。これらの生態系では、堆積物の再移動、土壌の増加及び植生の陸地への拡大は、洪水と生息域の消失に対して始めのうちは緩和的になる可能性がある。【p453】

5.2 変化する海洋と生物多様性

5.2.2 物理的及び生物科学的性質の変化

沿岸地域における人間の構造と生態系システムの両方において、高い水位と河口における赤潮の頻度、湾形成、沼地及びマングローブに貢献する、潮の広さに直接的に影響を受ける。

5.3 変化する沿岸生態系と生物多様性

世界の棚海と沿岸海域（以下、沿岸海域）は、海岸線から水深 200m の地点まで広がっている。沿岸海域には、河口、砂浜、コンブ林、マングローブ、珊瑚礁など、多様な生態系が存在している。沿岸域は世界の海洋のごく一部（7.6%）を占めているにもかかわらず、世界の海洋一次産出量の最大 30%を占め、深海に供給される有機炭素の約 50%を占めている（Chen, 2003; Bauer et al. 2013）。沿岸海域には、高い漁業生産量を支えるいくつかの前線及び上昇流域があり（Scales et al. 2014）、湿地帯などの生産的な沿岸生態系が存在する（McLeod et al. 2011）。マングローブ林、海藻地、コンブ林は、高い生物多様性を支える重要な生息地を形成しており、マングローブ林は暴風雨や洪水などの異常気象から物理的に保護しながら（Kelleway et al. 2017a）、気候変動の緩和策と適応策の機会を提供している（Duarte et al. 2013）。多くの沿岸海域の地域特性と生息地の不均質性は、固有の動植物（例：地中海の海藻地）を支えており、多様性の喪失や生態系の構造と機能の変化のリスクが高く、気候変動の影響に対して特に脆弱なものとなっている（Rilov, 2016; Chefaoui et al. 2018）。

近海沿岸の生態系は、地形構造（河口、砂浜、岩礁海岸など）や基盤種（塩性湿地、海藻草原、マングローブ林、珊瑚礁、コンブ林など）によって分類されている。これらすべての沿岸生態系は、海面上昇、温暖化、酸性化、脱酸素化、異常気象によって程度の差こそあれ脅威にさらされている。気候に起因する物理的・化学的変化の検出と帰属が確実な外洋とは異なり、沿岸生態系は地域的な複雑さを呈しており、気候影響の決定的な検出と帰属を不確実なものにしている。生物相に影響を与える沿岸生態系の水文学的複雑性は、陸地（河川や地下水の排出など）、海（循環、潮汐など）、海底構造と基質の間の相互作用によって駆動される（Sharples et al. 2017; Chen et al. 2018; Laurent et al. 2018; Zahid et al. 2018）。【p493】

5.3.2 沿岸湿地（塩性湿地、海藻草地及びマングローブ林）

塩性湿地、マングローブ林及び亜潮間帯の海藻地を含む沿岸の植生湿地は、主な「ブルーカーボン」生息域と見なされている（McLeod et al. 2011）。AR5 のワーキンググループ II と SR15 では、湿地の塩分濃度の変化が大規模な地理的スケールで発生しており【高い信頼性】、水温の上昇が植物種の分布の移動を引き起こし【中程度の信頼性】（Wong et al. 2014b）、海面上昇と嵐が湿地浸食と生息域の喪失を引き起こしており、これらが人為的妨害により加速する【高い信頼性】（Wong et al. 2014b）との結論に至っている。【p494】

19 世紀から、世界全体で産業革命前に存在していた沿岸湿地の面積の 50% 近くが消失した（Li et al. 2018a）。このような、湿地における減少は、灌漑による改変、農業の展開、沿岸地への移住、水循環の変化、及び堆積物供給の減少といった、非気候的要因が原則的な原因となっている（Adam, 2002; Wang et al. 2014; Kroeger et al. 2017; Thomas et al. 2017; Li et al. 2018a）。しかしながら、「自然要因」によるマングローブの大規模な枯死イベントが、1960 年代から発生しており、この喪失の 70% までは、低い頻度ではあるが、強い強度を持ち合わせた、熱帯台風（45%）や干ばつ、海面上昇の変化、熱波などの異常気候のような気象現象の結果で発生している（Sippo et al. 2018）【高い信頼性】。オーストラリアでは、熱波によるマングローブの消失は、世界のマングローブ林のうちの 22% にあたり（Sippo et al. 2018）、生態系の生物多様性とサービスの提供に悪影響を与えている（Carugati et al. 2018; Saintilan et al. 2018）。インド洋－太平洋に渡った、十分な堆積物の供給が伴っている沿岸地域では、垂直方向の増大と根の成長の結果として内陸でのマングローブの拡大が発生しており、現在の海面上昇の速度に追いつくことが可能となっている（Lovelock et al. 2015）。温暖化の結果、熱帯地域のマングローブが亜熱帯地域の塩性湿地へと極方向へ移動していることが、過去半世紀、5 大陸で観測されており（Saintilan et al. 2014; Saintilan et al. 2018）【高い信頼性】、例としてあげられる地域に、テキサス州ガルフコーストがある（Armitage et al. 2015）。草本植物を伴った開けた地域の消失（塩性湿地）は、定住性又は移動性動物の食料と生息域の利用可能性を減少させる（Kelleway et al. 2017a; Lin et al. 2018）。【p495】

小島のマングローブの生息地は、河川がなく、急峻な地形、土砂が不足している地域、地下水の汲み上げ、沿岸開発などがあるため、海面上昇に対して特に脆弱である。マングローブの生態系は、RCP2.6 では 2100 年までの暴風雨と海面上昇の中を生き残ることを予測しているが（Ward et al.

2016)、RCP8.5では、2050年の状況までにしか抵抗力を示していない(Sasmito et al. 2016)。気候への負の影響は、人為的な障壁が植物の内陸への移動を妨げ、土砂の再移動を制限する「沿岸の圧迫」をさらに引き起こす場合には、悪化する【中程度の信頼性】(Enwright et al. 2016; Borchert et al. 2018)。(p496)

結論として、海面上昇による湿地の温暖化と塩分濃度の上昇が、亜熱帯の塩性湿地へのマングローブの侵入【高い信頼性】や低緯度での海藻地の縮小【高い信頼性】など、内陸や極地の植物種の分布の変化を引き起こしていることは、実質的な証拠が、高い信頼性を持って裏付けている。洪水や極端な気温への耐性が低い植物は特に脆弱であり、局所的に絶滅する可能性がある【中程度の信頼性】。(p496)

5.3.7 沿岸生態系に対するリスク評価

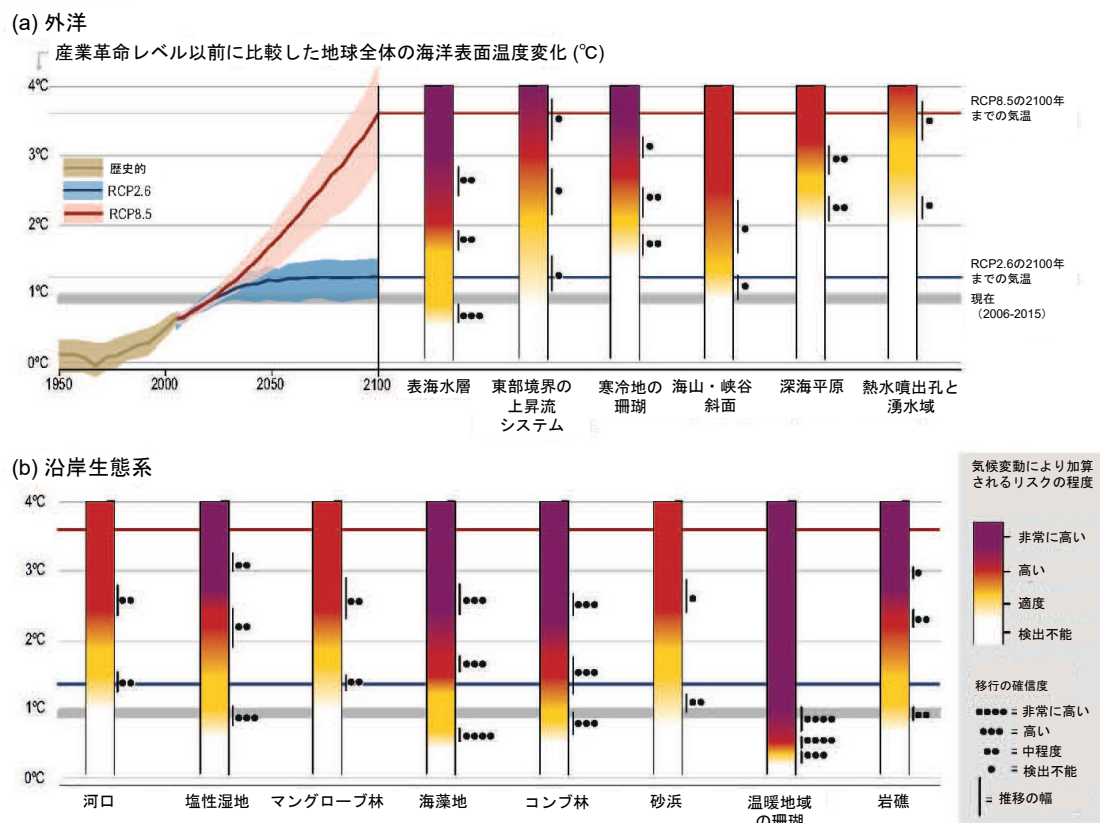


Figure 5.16 観測及び予測された気候への影響に基づく外洋及び沿岸生態系のリスクシナリオ【p501】

グラフの横に示される温度は、海表面温度を示している。赤のラインは、2100年のRCP8.5の場合であり、青のラインは2100年のRCP2.6の場合である。また、灰色のラインは、専門家の判断に基づいた信頼性を伴うリスクの程度間の推移を示している。●の数は信頼性の程度を示しており、マングローブに関しては、RCP2.6の下では、中程度の影響やリスクを伴うことに中程度の信頼性が存在し、2°C 以上の変化で、そのリスクが高く

なることにも中程度の信頼性がある。この部門では、沿岸生態系の持つ生物多様性、構造と機能、及び将来的な地球温暖化の元にあるリスクの程度への気候影響の評価を統合していく。Figure 5.16 に示された、沿岸生態系におけるグラフは、2000 年に比較して 2100 年において海洋が温暖になり、酸化し、脱酸素化し海面上昇と異常気象が発生することによるリスクの上昇を示している。海藻地、温暖珊瑚及びマングローブ林についてのグラフは、SR15 における結果との同意の中にある (Hoegh-Guldberg et al. 2018)。ここで評価されているより近年の文献は、推移の振り分けとそれぞれの生態系にとってのリスクの程度における全体的な信頼性を強化している。塩性湿地や岩礁海岸では、検出不可能なリスクから中程度のリスクへの移行は、地球海面温暖化が $0.7^{\circ}\text{C} \sim 1.2^{\circ}\text{C}$ [中程度から高い信頼性] の間で、砂浜、河口域、マングローブ林では $0.9^{\circ}\text{C} \sim 1.8^{\circ}\text{C}$ [中程度の信頼性] の間で起こる。これらすべての沿岸生態系において、生物多様性や構造と機能の変化の検出と原因究明は、過去数十年にわたって広範囲に研究されてきており、なお、異常気候に対して非常に繊細な、珊瑚、海藻、コンブの生態系ほど強靱なものではない。1970 年以降に観察された一般的な地球規模の反応としては、温暖化によるマングローブ林の極方向の拡大、塩性湿地の干潟化、洪水と塩分濃度の変化に対応した種の構成の変化、河口域の生物相の上流への移動、砂浜における大型底生生物群集の再分布などが挙げられる。

5.3.7 沿岸生態系のリスク評価

将来の排出シナリオで中程度から高いリスクになる生態系は、マングローブ林（地球海面温暖化 $2.5^{\circ}\text{C} \sim 2.7^{\circ}\text{C}$ で中程度から高いリスクに移行）、河口と砂浜（ $2.3^{\circ}\text{C} \sim 3.0^{\circ}\text{C}$ ）、塩性湿地（ $1.8^{\circ}\text{C} \sim 2.7^{\circ}\text{C}$ で中程度から高いリスクに、 $3.0^{\circ}\text{C} \sim 3.4^{\circ}\text{C}$ で高いリスクから非常に高いリスクに移行）である [中程度の信頼性]。マングローブ林と塩性湿地は、植物のバイオマス蓄積、土壌の堆積、土砂の再配置により、初めは海面上昇に対処することができるが、RCP8.5 で予測される海面上昇に耐えられる可能性は低いことが示されている。さらに、沿岸の圧迫と人為的な生息地の劣化が広まり、これらの生態系の持つ気候の影響に対する自然適応能力が低下することになる [高い信頼性]。今世紀末までに予測される温暖化と海面上昇は、底生生物相と遠洋性生物相への影響の高いリスクを伴っている河口の塩析と低酸素化を拡大させ続ける。これらの影響は、RCP8.5 の下では、温帯・高緯度地域のより脆弱な富栄養、浅瀬、微潮河口において、より顕著になる。【p502】

5.4 変化する海洋生態系のサービスと人類の幸福

5.4.1 鍵となる生態系サービスの変化

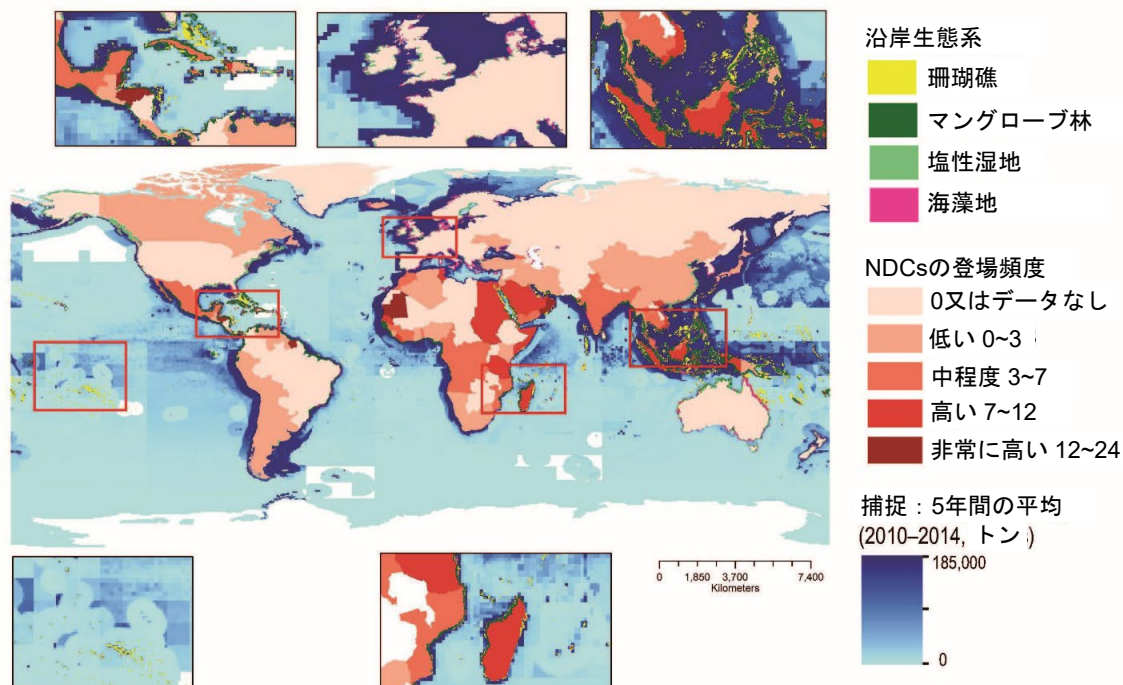


Figure 5.17 漁獲量の世界的分布、海草塩性湿地を含む沿岸生息地、マングローブ林、サンゴ礁並びに各国が発表した NDC に海洋を含めるための指標【p503】

沿岸生息地の分布と、Marine Focus Factor（国家による貢献度決定の中で取り上げられる使われる頻度）である。Marine Focus Factor は色が濃いほど頻度が高いことを示す。マングローブは、熱帯地域に集中しており、どの国においても、Marine Focus Factor は大きい。

Box 5.3 気候変動に対する東部境界流システムの統合された人間－自然の応答

東部境界流システムは、世界で最も生産的な海洋生態系である（Kämpf and Chapman, 2016）。冷たい深層水の上昇流は、沿岸域の湿った空気の凝縮を高め、沿岸の植生や農業に恩恵を与え、森林火災を抑制する（Black et al. 2014）。【p506】

5.4.1.2 規制サービス

沿岸生態系における、生物的に貯留される炭素は「ブルーカーボン」として知られている。マングローブの1メートルあたりの土壌における炭素貯蔵量は、280MgC/ha となっており、長期間の炭素蓄積の割合は、塩性湿地、マングローブ、及び海藻で、18~1,713gC/m²・年となっている（Pendleton et al. 2012）。【p507】

沿岸のブルーカーボン生態系は、その炭素除去及び貯蔵能力を生かして、気候調整サービスを提供する。現在のブルーカーボン生態系の消失速度は、部分的に気候変動によるものだが、その貯蔵された

CO₂ を大気中へ放出することとなっている。しかしながら、炭素貯留の増加もまた可能であり、たとえば、気温が起因となって、塩性湿地がマングローブへと取り変わることで、沿岸湿地の炭素吸収を増加させる可能性がある（Megonigal et al. 2016）。異なる海岸上昇の速度は反対の効果をもたらす。遅い海面上昇率は、炭素隔離を促進するが、速い海面上昇は CO₂ の正味の放出になる。【p507】

マングローブ林、珊瑚礁、塩性湿地などの海岸植生に富んだ生態系は、暴風雨の影響を軽減し、海岸線を浸食から守り、海面上昇、波浪、さらには中規模の津波の影響を緩衝するのに役立つ（Orth et al. 2006; Ferrario et al. 2014; Rao et al. 2015）。したがって、気候変動の下で湿地が失われる場合や劣化する場合、沿岸の人間社会に対するこれらの規制サービスの便益が減少し（Perry et al. 2018）、自然災害による被害や死亡のリスクが増大することになる（Rao et al. 2015）【高い信頼性】。気候によって沿岸湿地の範囲が拡大する場所では、暴風雨対策や栄養塩の貯蔵などの規制サービスが強化される可能性があるが、既存の生態系が他のものに置き換わる（例えば、塩性湿地のマングローブへの置換）と、特定の植生構造を必要とする動物相の生息地の利用可能性が減少し、結果的に他の種類の生態系サービスが欠損する可能性がある（Kelleway et al. 2017b; Sheng and Zou, 2017）。【p507】

5.4.2 気候リスク、脆弱性及び人類コミュニティの暴露

5.4.2.2 文化的及びその他の社会的側面

5.4.2.2.1 文化的及び美的価値

自然地域の美的な認識は、人々をその環境へ関与させる基本的な方法の 1 つである。しかしながら、気候変動により引き起こされる生物多様性と生息域の質低下や喪失は、珊瑚礁、マングローブ、カリスマ種（海洋哺乳類や海鳥）と地理的な特徴（例。砂浜）といった人間コミュニティに現在価値を見出されている生態系の特徴にネガティブな影響をもたらす。映画、文学、芸術、レクリエーションといった心理及び精神的な人々の幸福にとって重要な海洋の生物多様性や生態系の美的及び発想的な価値も存在している（Pescaroli and Magni, 2015）。しかしながら、海洋生態系の美的な重要性を評価することや、気候変動の影響の発見や原因究明することの難しさはこのような評価に低い信頼性をもたらす結果となっている。【p514】

5.5 リスク低減の応答とそのガバナンス

5.5.1 海洋ベースの緩和策

5.5.1.1 ブルーカーボンの背景と概要評価

「ブルーカーボン」は、元来、海洋生態系における生物由来の炭素全般に使われていた。その後もこの用語を使用することで、マングローブ、潮間帯塩性湿地及び海藻地のような比較的管理のしやすい土着植物によって構成される沿岸生態系の炭素蓄積に焦点が当たるようになった。【p520】

5.5.1.2 沿岸海洋における気候緩和

5.5.1.2.2 沿岸植生：マングローブ、塩性湿地と海草の生態系

マングローブ、塩性湿地及び海藻生息域は、幅広く緩和可能性のある「ブルーカーボン」生態系として認識されている（Chmura et al. 2003; Duarte et al. 2005; Kennedy et al. 2010; McLeod et al. 2011）。地球表面のたった～0.1%しか覆っていないが、これらの三つの生態系は、合わせて、地球の海洋生産量の 1～10%を支えていると見積もられている（Duarte et al. 2017）。150 以上の国々が、これらの生態系のうち一つは抱えており、71 ヶ国は全てを抱えている（Herr and Landis, 2016）。そして 74 カ国はこのような湿地をパリ協定の中で国家による貢献度決定として言及している（Martin et al. 2016a; Gallo et al. 2017）。【p522】

これら三つの植生沿岸生態系は、変化はあるものの、面積あたりで、その土壌と堆積物の中に高い有機炭素貯蔵量を示す特徴がある【高い信頼性】。マングローブの土壌以下の有機炭素は、乾燥地域では、たった～50 tC/ha であるが（Almahasheer et al. 2017）、湿度の高い熱帯地域では、とりわけ、500～1,000tC/ha となっている（Donato et al. 2011; Alongi and Mukhopadhyay, 2015; Howard et al. 2017）。このようなブルーカーボン貯蔵の値は、淡水湿地や泥炭地と類似しているが、森林土壌より高いものとなっている（Laffoley and Grimsditch, 2009; Pan et al. 2011）【高い信頼性】。【p522】

沿岸の植生生態系が乱されると、蓄積された炭素の一部が他の温室効果ガスとともに大気中に放出される（Marba and Duarte, 2009; Duarte et al. 2010; Pendleton et al. 2012; Lovelock et al. 2017）。世界的に見ても、過去 100 年の間に、沿岸の農業開発、都市化、その他の人間の攪乱により、植生された沿岸の生息地の約 25～50%がすでに失われることや、劣化することが起こってきている（McLeod et al. 2011）。歴史的に最も高い損失（60～90%）はヨーロッパと中国で発生している（Jickells et al. 2015; Gu et al. 2018; Li et al. 2018a）。現在の損失は、植生の種類と場所によっては、0.2～3.0%/年と見積もられている（FAO et al. 2014; Alongi and Mukhopadhyay, 2015; Atwood et al. 2017）【中程度の信頼性】。関連する地球規模の炭素排出量は、0.04～0.28GtC/年（Pendleton et al. 2012）；0.06～0.61GtC/年（Howard et al. 2017）；0.10～1.46 GtC / 年（Lovelock et al. 2017）；0.007GtC/年（マングローブのみ）（Taillardat et al. 2018）と推定されている。この値の範囲は、生息地喪失の世界的な割合、及び二酸化炭素になった炭素の割合に関する不確実性を反映したものである。【p522】

排出削減を通じた緩和策は、したがって、生息域の保全によって達成される可能性があり、人為的な発端となるマングローブ、塩性湿地、及び海藻生態系の消失を大規模に減少又は終わらせることとなる。このような活動は、国家主導大規模緩和策（化石燃料排出 1%以下など）を生み出す可能性がある。しかしながら、生息地の質低下や喪失により放出される炭素を量的に測定することにはいまだに多くの不確実性があり（Lovelock et al. 2017）、それゆえに排出削減量を定めることも難しい。さらに言うと、この緩和策は、現在生息域の喪失が発生していない地域、例えばバングラデシュのような地域では、利用できない（Taillardat et al. 2018）。沿岸湿地を保護する法的な枠組みは、多くの国で存在しているため、国家規制や、地域特定の MPAs の強化が必要とされる主要な政策になりうる（Miteva et al.

2015; Herr et al. 2017; Howard et al. 2017) 。【p522】

ブルーカーボン沿岸生態系を用いた代替的な緩和手法は、そのような生息域の自然炭素吸収量を増強することであり、生息域の修復や新しい生息域の創造を通じた空間的な範囲の増加だけでなく、既存の生態系の炭素吸収や貯蔵を最大化する管理手法を取ることも必要である。そのような処方の中には、人為的な栄養物や他の汚染物質の投入を減少させるような手法や、潮の流れや堆積物の障壁を取り払うことで、水循環を修復させる手法、及び、捕食者の復活させること（生物攪乱を起こす生物による炭素損失を減少させるため）が含まれている（Macreadie et al. 2017a）。創造された、修復された、又は復興された生息地の単位面積あたりで、このような行動は、高い炭素除去率を示す可能性がある。広く公表されている値は、マングローブでは $226 \pm 39 \text{ gC/m} \cdot \text{年}$ 、塩性湿地では $218 \pm 24 \text{ gC/m} \cdot \text{年}$ 、海藻生態系では $138 \pm 38 \text{ gC/m} \cdot \text{年}$ である（McLeod et al. 2011; Isensee et al. 2019）。【p523】

おおよそ、マングローブに関しては、おおよそ 90 ほどの修復又は復興プロジェクトが示されてきており（López-Portillo et al. 2017）、様々な修復評価法の発達に繋がっている（Zhao et al. 2016a）。しかし、このような行動がもたらす気候的便益を定量化することは容易ではない。炭素埋没率の測定値は、マングローブ（Adame et al. 2017; Schile et al. 2017）、海藻（Lavery et al. 2013）、塩性湿地（Kelleway et al. 2017b）の広範囲な環境要因の影響を強く受け、地点固有の高い変動性を示している。堆積物堆積率の信頼性の高い決定は重要な検討事項であり、関連する不確実性は上記の McLeod ら（2011）の推定値には十分に反映されていない。ブルーカーボン生態系の緩和的な役割のさらなる複雑性を以下に示す。【p523】

- 他の温室効果ガスの排出も考慮に入れる必要がある（Keller, 2019b）。マングローブの生息地からのメタンの放出は、マングローブの気候的便益の規模を 18～22%減少させる可能性がある（Adams et al. 2012; Chen and Ganapin, 2016; Chmura et al. 2016; Rosentreter et al. 2018; Cameron et al. 2019）、亜酸化窒素とメタンを合わせた場合、塩性湿地の CO_2 吸収量を 24～31%相殺する可能性がある（Adams et al. 2012）。亜酸化窒素の排出は、栄養分の負荷に強く影響される（Chmura et al. 2016）。原生のままの状態では、マングローブは供給源ではなく吸収源となる（Maher et al. 2016）。「相殺」の値は、 CO_2 等価を決定するために使用される基準に依存することに注意しなければならない。【p523】
- 植生のある沿岸システムの永久性は、十分に保護されているとしても、将来的な気温状況では担保されない（Ward et al. 2016; Duke et al. 2017; Jennerjahn et al. 2017; Nowicki et al. 2017）。【p523】
- 将来的な海面上昇への応答は、不確実及び複雑である（Kirwan and Megonigal, 2013; Spencer et al. 2016）。しかしながら、影響は必ずしもネガティブなものではないというのも、炭素貯留は、完全に新たな生息地が造られた際やマングローブが塩性湿地に取り変わった時など（Kelleway et al. 2016）、増加する（Barnes, 2017）。【p523】

要約すると、マングローブ、塩性湿地、海藻の生息地の保全と修復の両方を組み合わせることで、これらの生態系が自然に存在する比較的広い海岸線を持つ国々の国レベルでの緩和努力に貢献することができる（Murdiyarso et al. 2015; Atwood et al. 2017）。しかし、関連する炭素貯蔵とフローの定量化における現在の不確実性は、信頼性の高い測定、報告、検証のために問題となることが予想される【高い信頼性】。【p523】

修復コストもまた、大規模な適用のための重要な制約要因となる可能性がある。Bayraktarov ら（2016）は、246 件の観測から得られた公表されたデータに基づいて、マングローブ、塩性湿地、海藻生息地の 1 ha の修復にかかる費用の中央値を、2010 年の米ドルでそれぞれ ~2,508、151,129、383,672 と推定している。【p523】

5.5.2 海洋ベースの適応策

5.5.2.1 生態系に基づく適応

5.5.2.1.3 マングローブやその他の沿岸生態系への適応

マングローブは、極端な暴風雨から沿岸を局所的に保護し、沈降率を高めることでサービスを支援し（Hayden and Granek, 2015）、漁業を支援するための苗木の生息地など、地域社会にサービスを提供するなど、重要な生態系サービスを提供している。マングローブは、適切に管理されていれば、地球規模での排出量削減という点では限定的な炭素削減効果しか持たないが、適切に管理された場合、実質的な雇用創出の副次的利益（例えば、森林伐採や森林劣化からの排出量削減プログラムなど）も供給する。そして、養殖や漁業のインセンティブを支えるための価値についての証拠は存在している（Huxham et al. 2015; Ahmed and Glaser, 2016a）。【p530】

最も一般的に報告されているマングローブの生態系ベース適応策の対応としては、生態系の修復（Sierra-Correa and Cantera Kintz, 2015; Romañach et al. 2018）や、コミュニティ参加型プログラムによるマングローブの再植樹などの管理（Nanlohy et al. 2015; Nguyen et al. 2017; Triyanti et al. 2017）が挙げられる。マングローブの生態系ベース適応策は、海岸の物理的プロセスへの支援の改善という点で、以下のような複数の共益を提供することが報告されている海岸線の安定化（Hayden and Granek, 2015; Nanlohy et al., 2015）、生態系機能の向上（Sierra-Correa and Cantera Kintz, 2015; Miller et al., 2017）、生態系サービスの改善（Alongi, 2015; Nanlohy et al. 2015; Palacios and Cantera, 2017）、炭素緩和、生計の支援（Nanlohy et al. 2015; Nguyen et al. 2017）、及び沿岸インフラの被害と気候変動の影響に対するコミュニティの脆弱性の低減。ガバナンスの改善、財政の創出、土地利用計画を通じた沿岸圧迫に対抗するための管理された撤退は、マングローブが海岸線の輪郭上に、又は緯度勾配の下方に移動することを可能にする（Sierra-Correa and Cantera Kintz, 2015; Ward et al. 2016; Romañach et al. 2018）。したがって、マングローブの生態系ベース適応策への対応は、海岸線の安定化を通じて沿岸生態系サービスを強化し、雇用創出や生態系サービスへのアクセスの改善など、沿岸コミュニティに複数の共益をもたらす可能性がある【高い信頼性】。【p530】

マングローブ及び他の沿岸生態系の修復及び管理は、非気候的な危険性の低減を通じて適用する

ことができる（Gilman et al.2008; Aatur Rahman and Rahman, 2015; Sierra-Correa and Cantera Kintz, 2015; Ahmed and Glaser, 2016a; Nguyen et al.2017; Romañach et al.2018）。湿地の変質及び劣化（Miloshis and Fairfield, 2015; Schaeffer-Novelli et al. 2016; Watson et al. 2017a; Schuerch et al. 2018）、堆積速度に影響を与える物理的プロセスの崩壊（Watson et al. 2017a）と沿岸圧迫は、侵食、洪水、塩水の侵入のような沿岸気候変動の影響を複合的にもたらす（Ondiviela et al. 2014; Miloshis and Fairfield, 2015; Schaeffer-Novelli et al. 2016; Wigand et al. 2017）。これは、これらの生態系が波浪や暴風雨の影響から保護する能力を低下させる一方で、例えば塩性湿地では、炭素の大気中への正味の放出を引き起こす正のフィードバックが発生する可能性がある（Wong et al. 2014）。いくつかのケースでは効果的な介入は、様々な生態系を含む広い空間スケールでの管理を必要とし、例えば、波浪エネルギーと侵食を低減するための海面側の藻場のような生態系といったものがある（Ondiviela et al. 2014）。土砂の堆積量が海面上昇率と一致するところでは、湿地や塩性湿地は効果的な沿岸保護やその他の重要な生態系サービスを提供している【高い信頼性】。【p530～531】

5.5.2.1.4 生態系に基づく適応

生態系ベース適応策の有効性と経済性に関する文献は増え続けている。気候変動に対するレジリエンスの構築に加えて、生態系ベース適応策は様々な副次的利益をもたらすことが期待されている（Perkins et al. 2015; Perry, 2015; Moosavi, 2017; Scarano, 2017）。費用対効果の高い生態系ベース適応策手法は、海洋生態系ごとになっており、たとえば、塩性湿地やマングローブは、波高が半メートル未満の場合、水没防波堤に比べて 2～5 倍の費用対効果があった。生態系ベース適応策のような後悔の少ないウィンウィンのアプローチは文献で支持されているが（Watkiss et al. 2014; Barange et al. 2018）、生態系ベース適応策の背景に応じた実践的な実施から得られた経験の合成や費用対効果の評価は限られている（Narayan et al. 2016）。したがって、生態系ベース適応策は、気候変動に関連した生態系サービスを複数の副次的利益を確保するための費用対効果の高いアプローチとなり得る【中程度の証拠、高い同意】。【p531】

5.5.2.2 人間システム

5.5.2.2.4 沿岸観光

沿岸地域の観光経済は、気候変動に非常に敏感である。ラテンアメリカの沿岸侵食の例がこれを示している。この地域において、海面上昇と砂採掘、不適切な開発、生息地の破壊（例：マングローブ）などの気候変動以外の影響との相互作用により、観光業が減少したのである。【p536】

5.6 相乗効果

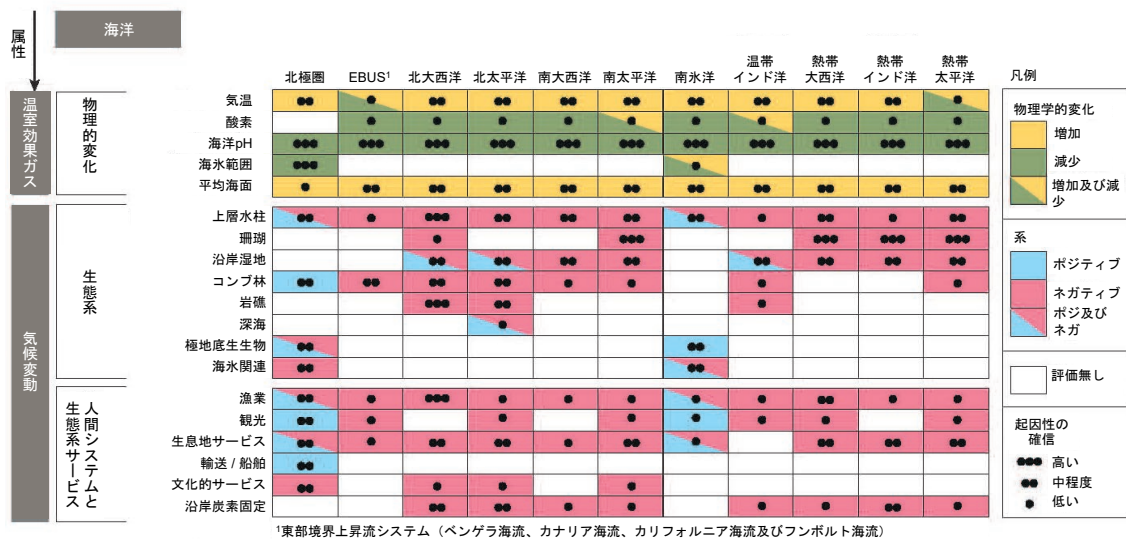


Figure 5.24 特別報告書「海洋・雪氷圏」において評価された海洋で観測された地域の危険と影響の統合【p543】

気候変動が各生態系及び人間活動に与える影響を表す。マングローブは、「Coastal Wetland」に含まれており、多くの地域で、負の影響を受けると予測されている。

6 極端で急激な変化とリスクの管理

6.3 熱帯及び熱帯外のサイクロンの経路、強度、頻度の変化と関連した海表面の動態

6.3.2 影響

影響における急激な変化は、サイクロンの危険性における変化によってだけでなく、例えば、海面上昇によってだけでなく局所テクな暴露により発生する洪水の観点に渡った感度や転換点によっても決定される。珊瑚礁地帯やマングローブ林の消失は、嵐による高波の被害を増加させると言うことも示されてきている (e.g., Beck et al. 2018) 。【p605】

6.5 異常エルニーニョ南方振動 (ENSO) イベントと他の年単位の気候変動の可変性

6.5.2 人間及び自然システムへの影響

異常なエルニーニョ南方振動とインド洋ダイポールの頻度の増加は、地球上の様々な地域において、自然及び人間システムに広範囲の影響を与える可能性を持っている。人間への影響は、管理されたシステムを含んでおり、森林火災の増加 (Christidis et al. 2018b; Tett et al. 2018) 、引き伸ばされたインドネシアの自然火災の結果として起こるインドネシアの大部分やその近隣国家における高濃度のヘイズのような大気汚染 (Kopplitz et al. 2015; Chang et al. 2016; Zhai et al. 2016) とそれに伴う民間の健康への悪影響 (Kopplitz et al. 2015; WMO, 2016) 、地球上の多くの場所における農作物収穫量の減少 (例：太平洋地域の島国の大部分、タイ、東部及び南部アフリカ、及び、他の地域。これらは、

食の安全性を低下させ、特に東部及び南部アフリカは顕著である（UNSCAP, 2015; WMO, 2016; Christidis et al. 2018b; Funk et al. 2018））。【p614】

6.7 海洋循環の急激な変化のリスクと可能性ある結果

6.7.2 気候、自然及び人間システムの影響

潜在的な影響によると、北及び南大西洋の主な海流システムの崩壊はカスケード的な急激な変化をもたらす可能性がある。たとえば、北及び南大西洋の主な海流システムの崩壊は、エルニーニョ南方振動の性質における変化のような原因的な相互位作用を引き起こす可能性があり（Rocha et al. 2018）、アマゾンの熱帯雨林の枯死とシーソー効果による南極氷床の一部で東南極を覆う氷床（WAIS）の減少、熱帯収束帯（ITCZ）の南下と南部海域の温暖化などがある（Cai et al. 2016）。【p623】

6.8 複雑なイベントとそれに連なる影響

6.8.3 生態系への連なる影響

マングローブなどの沿岸湿地の生態系の被害や消失や生態系群集における体制の移行は、全ての生態系の抵抗性を減少させ、それに続いて人間システムにも影響を与える可能性がある。【p625】

6.8.6 転換点の地球規模の影響

Cai et al. (2016) は、5つの相互作用、確率的、可能性のある気候転換点を考慮している：北及び南大西洋の主な海流システムの再組織化；グリーンランド氷床（GIS）の崩壊；南極氷床の一部で東南極を覆う氷床の崩壊；アマゾン熱帯雨林の枯死；より強いエルニーニョへの移行。これらの転換点には、深い不確実性がつきまとい、他の状況へのそれらの依存は専門家の誘出により行われている。【p626】

Box 6.1 複数の危険性、複合的なリスク及びそれに連なる影響

エネルギー部門は、気候強制因子やシステム間依存性により、深刻なカスケード的影響を経験する。干ばつ、火災、洪水及び海洋熱波（MHW）は、農業、林業、漁業及びエネルギー部門の算出を減少させ、タスマニア州の州総生産を1.3%まで減少させた。これは、予想成長の2.5%を十分に下回った。

ケーススタディ 2：珊瑚トライアングル

珊瑚トライアングルは、複合的な脅威の下にある。珊瑚トライアングルは、東南アジアと太平洋における海洋及び沿岸水域の400万マイル四方を覆っており、インドネシア、マレーシア、パプア・ニューギニア、フィリピン、ティモール及びソロモン諸島に囲まれている。その地理的な状況、物理的環境及び生態学的また進化的進行のその保全を可能にする列であることから、これは、世界における最大の沿岸海洋生態系の中心である。マングローブと海藻床、605種の珊瑚（そのうち15種は固有種）を伴って（Veron et al. 2011）、1億人以上の人々にその生態系サービスを提供している。

この豊かな生態系は、観光向けの住居建設、乱獲といった人々の活動を拡大させている。これらの活

動は、海岸の森林破壊、海岸の埋め立て、海洋生物の搾取といったものを伴い、重要な圧力を生態系に与えることには同意が存在している（Pomeroy et al. 2015; Ferrigno et al. 2016; Huang and Coelho, 2017）。結果として、その沿岸生態系では、マングローブと珊瑚礁が過去 40 年で 40%以上消失した。（Hoegh-Guldberg et al. 2009）【p626】

第 3 章「海洋・雪氷圏」の図表（日本語訳）一覧

図

Figure CB2.1	適応を通したリスク削減のオプション
Figure 2.8	過去数十年にわたって 11 の高山地域で観測された物理的変化と生態系及び人間のシステムと生態系サービスへの影響の統合
Figure 3.10	極地域における地球上の氷雪圏によって影響される重要な土地被覆要素
Figure 5.16	観測及び予測された気候への影響に基づく外洋及び沿岸生態系のリスクシナリオ
Figure 5.17	漁獲量の世界的分布、海草塩性湿地を含む沿岸生息地、マングローブ林、サンゴ礁並びに各国が発表した NDC に海洋を含めるための指標
Figure 5.24	特別報告書「海洋・雪氷圏」において評価された海洋で観測された地域の危険と影響の統合

表

Table 4.8	生態系に基づく適応（EBA）のコスト
-----------	--------------------