

IPCC

気候変化と生物多様性

2002 年 4 月

目次

序文

エグゼキューティブサマリー

1 . 技術報告書要請の背景と発端

2 . はじめに

- 2 . 1 本報告書の内容での生物多様性の定義
- 2 . 2 生物多様性の重要性
- 2 . 3 人間の活動が生物多様性へ与える圧力
- 2 . 4 影響、適応、緩和に関する IPCC の定義

3 . 観測された気候変化

- 3 . 1 温室効果ガスおよびエアロゾルの大気濃度で観測された変化
- 3 . 2 地球の表面温度と降水量で観測された変化
- 3 . 3 冠雪、海氷と河川結氷、氷河、海面水位で観測された変化
- 3 . 4 気候の変動性で観測された変化
- 3 . 5 極端な気候現象で観測された変化

4 . 予想される気候変化

- 4 . 1 温室効果ガスおよびエアロゾルの大気濃度で予想される変化
- 4 . 2 地球の表面温度と降水量で予想される変化
- 4 . 3 気候の変動性と極端な気候現象で予想される変化
- 4 . 4 冠雪、海氷と河川結氷、氷河、海面水位で予想される変化

5 . 気候変化関連で観測された陸上および海洋生態系の変化

- 5 . 1 (淡水を含めた)陸上の生物種分布、個体数規模、共同体の構成で観測された変化
- 5 . 2 沿岸および海洋系で観測された変化

6 . 平均的気候や極端な気候現象の変化による陸上(淡水系を含む)および海洋生態系での影響予測

- 6 . 1 生態系およびその系での生物多様性に対する気候変化の影響を予測するため用いられるモデル化手法
- 6 . 2 陸上および淡水系の生物多様性で予測される変化
 - 6 . 2 . 1 個体、個体数、種、生態系で予測される変化
 - 6 . 2 . 2 生物多様性と生産性の変化
- 6 . 3 沿岸および海洋生態系の生物多様性で予測される変化
 - 6 . 3 . 1 沿岸地域の生態系で予測される変化
 - 6 . 3 . 2 海洋生態系で予測される変化

- 6.4 脆弱な種と生態系（陸上、沿岸、海洋系）
- 6.5 生物多様性の変化による地域および地球の気候への影響
- 6.6 伝統的な先住民族で予測される変化
- 6.7 地域的影響

7. 生物多様性に対する気候変化緩和行動の影響可能性

- 7.1 生物多様性に対する新規植林、再植林、非森林化回避の影響可能性
 - 7.1.1 生物多様性に対する非森林化削減の影響可能性
 - 7.1.2 生物多様性に対する新規植林と再植林の影響可能性
- 7.2 生物多様性に対する気候緩和目的の土地管理の影響可能性
 - 7.2.1 農林業の影響可能性
 - 7.2.2 森林管理の影響可能性
 - 7.2.3 農業部門緩和行動の影響可能性
 - 7.2.4 草原および放牧地管理の影響可能性
- 7.3 生物多様性に対する変遷エネルギー技術の影響可能性
 - 7.3.1 効率化薪ストーブと調理用バイオガスおよびそれらの生物多様性への影響可能性
 - 7.3.2 バイオマスエネルギー利用増大の影響可能性
 - 7.3.3 水力の影響可能性
 - 7.3.4 風力の影響可能性
 - 7.3.5 太陽エネルギーの影響可能性
 - 7.3.6 炭素貯蔵の影響可能性

8. 適応活動と生物多様性

- 8.1 生態系と生物多様性に対する気候変化の影響を軽減する潜在的な適応オプション
- 8.2 適応活動が生態系や生物多様性に与える影響
- 8.3 生物多様性の維持及びその持続可能な利用と気候変化の相乗性

9. 気候変化に対する適応・緩和行動が生物多様性と持続可能な開発におけるその他の側面に与える影響を評価するのに利用できるアプローチ

10. 特定される情報上のギャップと評価上のギャップ

序文

気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の「気候変化と生物多様性」に関する技術報告書は、IPCC 技術報告書シリーズの 5 冊目であり、国連生物多様性条約の科学的、技法的、技術的助言のための補助機関 (SBSTTA) からの要請に応じて作成された。

この技術報告書は、他の全ての技術報告書と同様、この目的のために選定された代表執筆者により、IPCC 評価報告書および特別報告書で既に承認・受理・採択された資料に基づいて書かれた。同報告書は、同時進行形式で専門家・政府による査読を受けており、さらに最終的な政府査読も受けている。同技術報告書の完成にあたり、代表執筆者たちによる査読コメントの適切な処理を確保するため、IPCC 議長団が編集理事会の役割を担った。

同議長団は、25 回セッション (2002 年 4 月 15-16 日、於ジュネーブ) で会合し、最終政府査読で受けた主なコメントについて検討した。代表執筆者は、同議長団の見解と要請に照らして、技術報告書を完成させた。同議長団は、同報告書の SBSTTA および一般への公開を許可した。

われわれは、代表執筆者 (本報告書に記載) に対し、ひろく時間を提供し、また予定通りに報告書を完成させたことへの多大なる感謝の念を負うものである。また本報告書の作成と編集において、調整役代表執筆者に助力したデビッド・デッケン氏にも感謝する。

R.T. ワトソン
IPCC 議長

N. サンドララーマン
IPCC 事務局長

気候変化と生物多様性

本報告書は、国連生物多様性条約の要請により、IPCC 議長 R.T.ワトソンの賛助により作成された。

調整役代表執筆者

Habiba Gitay (オーストラリア), Avelino Suárez(キューバ), Robert Watson

代表執筆者

Oleg Anisimov (ロシア), F.S.Chapin(米国), Rex Victor Cruz (フィリピン), Max Finlayson (オーストラリア), William Hohenstein (米国), Gregory Insarov (ロシア), Zhigniew Kundzewicz (ポーランド), Rik Leemans (オランダ), Chris Magadza (ジンバブエ), Leonard Nurse (バルバドス), Ian Noble (オーストラリア), Jeff Price (米国), N.H.Ravindranath (インド), Terry Root (米国), Bob Scholes (南アフリカ), Alicia Villamizar (ベネズエラ), Xu Rumei (中国)

寄稿者

Osvaldo Canziani (アルゼンチン), Ogunlade Davidson (シエラレオーネ), David Griggs (英国), James McCarthy (米国), Michael Prather (米国)

エグゼクティブサマリー

人間の活動は地球規模レベルで生物多様性¹の喪失を招いており、また引き続き招くことになり、この原因としては、特に土地管理や土地表面の変化、土壌や水の汚染と劣化（砂漠化も含む）と大気汚染、集約管理された生態系や都市システムへの水の流用、生息地の細分化、種の選択的利用、外来種の導入、成層圏オゾン破壊などがある。現在の生物多様性喪失率は、対比される自然の絶滅率よりも大きい。こういった生物多様性の喪失が、（自然または人為的な）気候変化によりどれだけ促進されるかまたは抑制されるかが、本技術報告書にとり重要な質問である。

気候の変化は、生物多様性に圧力を加えており、またすでに影響が出始めている。温室効果ガスの大気濃度は、主に化石燃料の燃焼や土地利用および土地表面の変化という人間の活動により、産業革命前以来、増加している。これらの増加と自然の力が、20世紀全体の地球の気候変化に寄与している。ここでの気候変化とは、陸上および海上の表面温度の温暖化、降水量の空間および時間規模での分布パターンの変化、海面水位の上昇、エルニーニョ現象の頻度と強度の増加である。これらの変化、特に地域的な気温の上昇は、動植物の繁殖期や動物の季節移動のタイミング、生育時期の長さ、種の分布、個体数規模、有害動植物や感染症発生の頻度に影響を与えている。沿岸部生態系、高緯度生態系、高地生態系の一部も、地域的な気候要素の変化による影響を受けている。

気候変化は、生物多様性のあらゆる側面に影響すると考えられるが、予測される変化では、二酸化炭素（CO₂）の大気濃度上昇を含めた、人類の過去、現在、未来の他の活動による影響も考慮する必要がある。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の広範囲な排出シナリオでは、21世紀末までに地球の平均表面温度が1.4から5.8℃温暖化すると予測されており、陸上は海上より、高緯度は熱帯地方より、温暖化が大きいと予測されている。これに伴う海面水位の上昇は、0.09から0.88mと予測されている。一般に、降水量は、高緯度と赤道地帯で増加し、亜熱帯では減少すると予測されており、豪雨・豪雪現象は増加すると見られる。気候変化は、生物の個体、個体数、種の分布、生態系の構成に、直接的（例、気温上昇や降水量の変化を通して、また海洋や沿岸の生態系では、海面水位や嵐の高波により）および間接的（例、山火事のような自然攪乱要素の強度と頻度を気候が変化させることにより）に影響すると予測されている。生息地の消滅、変化、細分化といったプロセス、そして外来種の導入と拡散は、気候変化の影響に、影響を与える。将来の地球生態系の状況について現実味のある予測をするには、生物の移動による気候変化対応能力に大きな影響を与える、人間の土地や水の利用パターンなどを考慮する必要がある。

人為的な気候変化で予想される一般的な影響は、現在の場所から、極地方向または高高度方向への移動である。気候変化の影響は種により異なる。生物種は、細分化された景観の中をそれぞれ異なる速度で移動するほか、長寿の生物種（例、長寿の樹木種）が優勢な生態系では、変化の実証が遅れる場合が多い。一つの生態系を構成する種が一緒に変化する可能性は低いことから、一番最近の生態系の構成でも変化している可能性が高い。自然の、または人為的な、気候以外の（生態系 訳注）攪乱パターンの変

¹ この報告書で生物多様性という用語は、生物的多様性と同義で用いられている

化が加速されるなら、最も急速な変化がおきると予想される。

攪乱現象の頻度と、強度、範囲、場所の変化は、現存する生態系が新しい植物および動物の集合に置き換えられるかどうか、置き換えられるならどういう形で、またどういった速度で置き換わるかに、影響してくる。攪乱現象は、種の喪失率を上昇させ、新種が根付く機会を与える。

地球規模では2080年までに沿岸湿地の約20%が海面水位上昇で失われる。海面水位の上昇が沿岸の生態系(例、マングローブ・沿岸湿地、海草(訳注:藻類ではなくアマモなどの草類))に与える影響は地域により異なり、また海洋浸食プロセスや、陸地からの堆積プロセスによっても異なる。堆積荷重が大きく、浸食作用が少ない、低高度の島嶼部沿岸地帯マングローブの一部は、海面水位の上昇に特に脆弱性を示さない可能性がある。

すでに脆弱となっている種の多くでは、絶滅の危険性が増す。適応気候範囲が限定され、そして/または生息地条件が限られ、そして/または個体数が少ない種は、絶滅に対して最大の脆弱性を持つのが通常であり、これには例えば、山岳部の固有種、そして島嶼部(例、鳥類)や、半島(例、ケープフローラルキングダム)沿岸地帯(例、マングローブ、沿岸湿地、珊瑚礁)に限定された生物相がある。これと対照的に、広範囲で、連続する生息範囲を持つ種や、長期的な分散メカニズムを持つ種、そして個体数の大きい種では、絶滅の危険性が少ない。気候変化が種の喪失を遅くすることを示す証拠は少ないが、種の喪失が増す可能性を示す証拠は存在する。一部の地域では、通常、種が導入される結果、局地的な生物多様性の増大となる可能性があるが、この長期的な影響結果は予測困難である。

顕著な生態系の攪乱(例、優勢種の喪失、種の大部分の喪失、種の余剰分の多くを喪失)がおきたところでは、少なくともその転換期には、正味の生態系生産性(NEP)が減少する可能性がある。しかし、大半の生態系では一定の余剰分があり、生態系から失われた種による生産貢献度は別な種により埋められる可能性があるため、多様で広範囲な生態系でおきた気候変化を原因とする生物多様性の喪失が、必ずしも生産性の減少を意味しない場合も多い。気候変化の生物多様性への影響とその後の生産性への影響は、地球規模では計算されていない。

気候変化や他の圧力(例、森林火災や森林伐採による変化)に対応する、生態系レベルや景観規模での生物多様性の変化は、地球規模および地域規模の気候に追加的な影響を与えるが、これは、温室効果ガスの固定や放出そしてアルベド(反射能)や蒸発散での変化によるものである。同様に、海洋上層の生物群相における構造変化は、海洋によるCO₂の取り込みを変化させたり、雲の凝集核の前駆体を放出させたりする可能性があり、気候変化にプラスまたはマイナスのフィードバックをもたらす。

気候変化に対応する生物多様性の変化をモデル化することは、ある程度大きなチャレンジ項目となる。将来の生態系での変化や各生物種の地理的分布での変化の範囲と特質を予測するのに必要なデータとモデルは完成されておらず、このことは、こういう影響が部分的にしか数量化できないことを意味する。

気候変化緩和活動の生物多様性への影響は、これら活動の内容、設計、実施により異なる。土地利用と土地利用の変化、林業活動(新規植林、再植林、非森林化回避、森林や耕作地、牧草地の管理手法改善)

再生可能エネルギー（水力、風力、太陽光、バイオ燃料）資源の利用実施は、場所や管理手法の選定により、さまざまな形で生物多様性に影響を与える可能性がある。例えば、

- 1) 新規植林や再植林は、それが置き換える非森林生態系の生物多様性のレベルにより、または検討される規模により、そしてその他の設計上や実施上の問題により、プラス、ゼロ、マイナスの影響を与える可能性がある。
- 2) 異例なほど多様な種や、世界的に稀少である種、または地域固有の種で構成される森林で脅威にさらされているまたは脆弱な森林では、森林伐採の回避または削減により、炭素の排出を回避するとともに、生物多様性にも大きな利益が提供される。
- 3) 高収穫率を生む大規模バイオエネルギー農園は、より高度な生物多様性をもつ系を置換するのであれば悪影響を生むが、劣化した土地または放棄された農地に小規模農園を作るなら、環境上の便益をもたらすだろう。
- 4) 化石燃料に基づいたエネルギーの生成そして/または利用の効率向上は、化石燃料の利用を削減し、これにより化石燃料資源の抽出や、輸送（運送またはパイプライン通過）、燃焼の結果おきる生物多様性への影響を削減する。

気候変化に対する適応活動は、生物多様性の保全と、持続可能な利用を促進し、気候や極端な気候の変化による生物多様性への影響を削減できる。 これら適応活動には、気候で予測される変化を考慮して設計され、相互に関連性を持ち、モザイク状に分散された、陸上、淡水、海洋性の多目的保護地区の設置、そして気候以外からの生物多様性への圧力を削減し、それにより気候変化に対するシステムの脆弱性を少なくする、土地および水の集約管理活動が含まれる。また、これら適応活動の一部は、極端な気候に対する人々の脆弱性を少なくできる。

適応および緩和活動の効果は、より持続可能な開発にするよう設計された、より広範囲な戦略と統合するなら、強化される。 気候の適応および緩和活動（プロジェクトと政策）と、多国間環境条約の目的（例、生物多様性条約における保全と持続可能な利用目的）や他の持続可能な開発要素との間には、環境および社会面での相互作用や相殺作用の可能性が存在する。これらの相互作用および相殺作用は、可能性ある活動の全ての範囲（特に、プロジェクト別、部門別、地域別の環境や社会的な影響の評価を通じた、エネルギーや土地利用、土地利用の変化、森林のプロジェクトと政策において）で評価可能であり、また一定範囲の政策決定枠組を用いた一連の基準や指標と、比較可能である。このためには、緩和および適応活動が生物多様性や他の持続可能な開発要素に与える影響を評価するための現在の手法や基準そして指標を、採用するとともに、さらに発展させる必要がある。

判明している情報のニーズと評価のギャップには、次のものが含まれる。

- ・ 生物多様性や、生態系の構造と機能、細分化景観中での拡散そして/または移動の、相互関係に関する理解を向上
- ・ 気候要素や他の圧力要素の変化に対する生物多様性の反応について、理解を向上
- ・ 適切な暫定解像度をもつ気候変化や生態系のモデルの開発、特に、気候変化が生物多様性に与えるあらゆる規模の影響を、フィードバックを考慮して数値化するため
- ・ 気候変化の緩和および適応活動が、生物多様性や他の持続可能な開発要素に与える影響を評価するため、さらなる評価手法や基準、指標を開発

- ・ 生物多様性を保全し、持続可能な利用を行う活動および政策で、気候変化の適応および緩和オプションに有益な影響を及ぼすものを、明らかにする

1. 技術報告書要請の背景と発端

国連生物多様性条約 (UNCB) の科学的、技法的、技術的助言のための補助機関 (SBSTTA) は、IPCC に対し、次の 3 つの特定題目を網羅する、気候変化と生物多様性に関する技術報告書を、作成するよう正式に要請した。

- ・ 気候変化の生物多様性への影響と、生物多様性喪失の気候変化への影響
- ・ 国連気候変動枠組条約 (UNFCCC) とその京都議定書の下で行われる可能性のある緩和措置が生物多様性に与える影響可能性、そして生物多様性の保全と持続可能な利用に貢献する、可能な緩和措置を明らかにする
- ・ 生物多様性の保全と持続可能な利用が気候変化の適応措置に貢献する可能性

IPCC は、この要請に対し、その第 17 回セッション (2001 年 4 月 4-6 日、ケニアのナイロビ) で協議し、第 18 回セッション (2001 年 9 月 24-29 日、英国のウェンブレー) で承認した。

この技術報告書に含まれる情報は、他の IPCC 技術報告書と同様、承認 / 採択 / 受理された IPCC 報告書から抽出されたものであり、この報告書の場合は特に第三次評価報告書 [TAR、統合報告書 (SYR) を含む]、土地利用、土地利用の変化、森林 (LULUCF) に関する特別報告書、そして気候変化の地域影響 (RICC) に関する特別報告書から抽出されている。これらの報告書は、気候変化と生物多様性の関係について総合的な評価を試みたものではない。(例えばこれら報告書では、生物多様性の将来的な変化が気候に与える影響や、気候変化の遺伝子レベルでの生物多様性に対する重要性、生物多様性の保全と持続可能な利用が気候変化の適応措置に貢献する可能性について、限られた情報しか含まれていない。) このため、読者は、これら過去の IPCC 報告書での資料に存在する限界が、この技術報告書にある資料のバランスにもあてはまることを、認識しなければならない。この報告書に係る資料で、TAR 完成後に公表されたものは、付録 A (この付録の引用文書資料で、本文で検討されたものではない) に記載する。

この技術報告書は、UNCBD の要請に関連する IPCC 報告書中の資料をまとめたものである。3 章と 4 章では、観測および予測される気候変化を、生物多様性との関連で、議論している。5 章と 6 章は、観測および予測される生物多様性への気候変化の影響、7 章と 8 章は、気候変化を緩和および適応する活動が生物多様性に与える影響、9 章は、緩和や適応活動の環境および社会経済的影響を評価するために利用可能な評価手法、基準、指標、10 章は、情報のニーズと評価のギャップで明らかとなったものを、議論している。適切な場合は、特定パラグラフの次に、過去の IPCC 報告書の参照箇所をカッコ内に示す。(用語については付録 C を参照。)

2. はじめに

2.1 本報告書での生物多様性の定義

UNCBD は、生物多様性を「全ての生命源からの生命体、中でも陸上、海洋、その他水系の生態系を含めた生命体における多様性、およびこれら生命体とその一部を構成する生態的な複合システムでの多様

性、これには、種の中での多様性や、種と種の間が多様性、そして生態系での多様性が含まれる」と定義している。また IPCC は、遺伝子、種、生態系レベル(付録 B 参照)という3つのレベルに注目する。気候変化は、直接的には、個体ごとの機能(例、成長や行動)に影響するほか、人口(例、人口規模と年齢構成)を変化させ、生態系の構造と機能(例、分解、栄養分循環、水流、種の構成と種同士の相互作用)そして景観内の生態系の分布に影響を与え、また、例えば攪乱体系の変化などを通して間接的にも影響をおよぼす。この報告書の目的からすると、生態系の構造と機能の変化は、生物多様性の多様な側面における変化と関係するものと想定される。

2.2 生物多様性の重要性

本報告書は、集約的(農業、林業、養殖業)および非集約的²(例、牧草地、原始林、淡水生態系、海洋)に管理される生態系で生じる生物多様性を考察する。また本報告書では、人類のニーズや利益とは関係なく、生物多様性が保有するその本質的な価値を認識する。

生態系は、人間の生存に不可欠な多くの物質とサービスを提供する。特に一部の先住民および農村共同体は、その生活をこれら物質やサービスの多くに依存している。これら物質やサービスには、食料や繊維、燃料とエネルギー、飼料、薬、清浄な水、清浄な空気、洪水/嵐の制御、受粉、種の分散、有害動植物や病気の管理、土壌の生成と維持、生物多様性、文化的、精神的、美的そして娯楽での価値が含まれる。また生態系は、地球システムの機能を強化する生物・地球・化学的なプロセスでも重要な役割を果たす。[WGII TAR セクション 5.1]

2.3 人間の活動から生物多様性への圧力

地球は、人為的なそして自然の圧力、まとめてグローバルな変化と呼ばれる多くの圧力を受ける。これらの圧力には、増大する資源需要からの圧力や、選択的な種の利用と絶滅、土地利用や土地表層の変化、窒素分解率の人為的加速、土壌や水と大気汚染、外来種の侵入、集約管理される生態系や都市システムへの水の取り込み、景観の細分化やユニット化、都市化、そして工業化が含まれる。気候変化³は、生態系やその中の生物多様性、そしてこれらが提供する物質やサービスに対する、追加的な圧力である。地球の生態系に作用する複数のそして相互に作用しあう圧力からすると、気候変化だけの影響を数値化することは、困難である。[WGII TAR セクション 5.1]

2.4 影響、適応、緩和に関する IPCC の定義

気候で予測されている変化には、温度上昇、降水量の変化、海面上昇、そして気候の多様性増加につながる一部の極端な気候現象の頻度と強度の増加が上げられる。これら予測される変化の気候への影響⁴には、生物多様性や攪乱系(例、火災や有害動植物、疾病の頻度と強度における変化)の多くの要素での変化が含まれる。適応措置は、これらの影響の一部を削減できる。もし気候変化にさらされる、そして

² 非集約的管理には、管理されないシステムも入る。

³ IPCC の用語での気候変化は、自然の変動性によるものであり、人間の活動の結果であり、一定時期での気候のあらゆる変化を示している。この用法は、地球の大気構成を変化させるような人間の活動に直接的または間接的に起因し、比較可能な期間を通して観測された自然の気候の変動性に追加的なものを、気候変動とする、UNFCCC の用法とは異なる。付録 B 参照。

⁴ 影響の規模は、気候パラメーター(例、平均的な気候特性、気候の変動性、そして/または極端な現象の頻度と規模)での変化の程度、そしてその気候関連の刺激に対するシステムの感度との数式である。

／またはそれに敏感であるなら、システムは脆弱だ⁵と考えられ、そして／または適応オプションは限られることとなる。緩和は、気候変化から自然や人間のシステムへの圧力を緩和するような、正味の温室効果ガス排出削減のための人為的な干渉と定義される。緩和オプションには、化石燃料の利用削減、生態系での既存の大きな貯蔵源保全による土地起源排出の削減、そして／または生態系による炭素吸収率の上昇が含まれる。

3 . 気候で観測された変化

観測された証拠によると、大気の構成が変化している[例、CO₂やメタン(CH₄)などの温室効果ガスの大気濃度上昇]ことが実証されており、また地球の気候(例、気温、降水量、海面水位、海氷、そして一部の地域では、熱波、豪雨豪雪現象、干ばつを含めた極端な気候現象)も、同様に変化している。これらの観測されたそして可能性ある変化から、生物多様性への変化は次のようにまとめられる。例えば、大気中のCO₂濃度は、光合成と水の利用の両方の速度と効率に影響を及ぼし、これにより植物の生産性と他の生態系プロセスの両方に影響を与えることができる。また気候の要素は、動植物の生産性や他の生態系機能にも影響する。

3 . 1 温室効果ガスおよびエアロゾルの大気濃度で観測された変化

産業革命前以来、温室効果ガスの大気濃度は、人間の活動により上昇しており、1990年代に最高記録に達して、その大半は今でも上昇し続けている。1750年から2000年の間で、CO₂の大気濃度は、化石燃料の燃焼や土地利用および土地利用の変化により、 $31 \pm 4\%$ 上昇しており、これは 1.46Wm^{-2} に相当する(図 1 参照)。19世紀全体および20世紀の大半を通して、地球の陸上生物圏は、大気中CO₂の正味排出源となっていたが、20世紀末前には、例えば、土地利用や土地管理手法の変化、人為的な窒素堆積の増加⁶、CO₂大気濃度の上昇、そして温暖化の可能性も含めた、各要素の組み合わせにより、正味の吸収となった。CH₄の大気濃度は、主に化石燃料の利用や、家畜、稲作、屋外廃棄からの排出により、1750年から2000年にかけて $151 \pm 25\%$ 上昇しており、これは、 0.48Wm^{-2} に相当する。

[WGI TAR3 章と 4 章]

3 . 2 地球の表面温度と降水量で観測された変化

20世紀全体を通して、陸地および海洋表面の両方で、一貫した大規模な温暖化があり(図2参照) また過去50年間にわたり観測された温暖化の大半は、温室効果ガス濃度の上昇に起因する可能性が高い。

⁷ 地球の平均表面温度は、過去100年で0.6 (0.4 - 0.8) 上昇しており、1998年が最も温暖な一年であって、1990年代がもっとも温暖な10年間であった**可能性が非常に高い**。北半球大陸の中緯度から高緯度にかけて最大の気温上昇が発生しており、陸地部分は海洋部分よりも温暖化し、夜間の気温は昼間の気温よりも温暖化が大きかった。1950年以後、海洋表面温度の上昇は、陸地表面の平均気温上昇の半分ほどであり、陸上での夜間最低温度は、平均して10年間で約0.2 上昇しており、これは、対応

⁵ 脆弱性は、気候の変動性や極端な現象を含む気候変化の悪影響に対して、システムがどれだけ敏感であるか、あるいは対処不能かを示す。脆弱性は、システムがさらされる気候変動性の特徴や規模そして速度と、システムの感度および適応能力の数式である。適応能力は、システムが気候変化(気候変動性や極端な現象を含む)に合わせる、または可能性ある損害を緩和する、機会を活用する、あるいはその結果に対処する能力である。[WGII TAR SPM ボックス1]

⁶ 工業、農業、土地利用活動からの窒素の酸化物排出増加による

⁷ WGI TAR の用語によると、信頼度の予想判断を示すため、適切な場合次の表現が用いられている：可能性が非常に高い(確率90-99%)、可能性が高い(確率66-90%)。可能性が高いおよび可能性が非常に高いが斜体で示される場合はこれらの表現が適用される。(脚注文字7をつけるとの表現があるが、訳文では斜体のみとしたのでこの表現は省略 訳注)斜体でなければこれは一般的な表現である。

する昼間の最高気温の上昇率の約 2 倍であった。[WGI TAR2 章と 12 章および WGII TAR SPM]

20 世紀中、降水量は、北半球大陸部の中緯度から高緯度にかけて、5 から 10% 増加した可能性が非常に高い、がこれと対照的に亜熱帯の陸地域の大半では降雨量が平均 3%減少した**可能性が高い**(図 3 参照)。地球平均表面温度の上昇は、降水量や大気湿度の変化につながる**可能性が非常に高い**、これは、大気循環の変化、より活発な水の循環、大気全体の保水能力上昇によるものである。これらは、20 世紀の後半に、北半球の中高緯度での豪雨(24 時間で 50 ミリ)現象の頻度を 2 から 4%増加させている**可能性が高い**。20 世紀中で深刻な干ばつ、またはひどい湿潤を経験した陸地の面積は比較的小さいが増加している。これらの変化での大きな傾向は明らかでないが、多くの地域では、十年あるいは数十年単位の気候変動性による変化が優勢である。[WGI TAR SPM, WGI TAR セクション 2.5、2.7.2.2、2.7.3]

3.3 冠雪、海氷と河川結氷、氷河、海面水位で観測された変化

冠雪と氷の面積は減少した。冠雪面積は、1960 年代後半以後、北半球で平均約 10%減少しており(主にアメリカとユーラシアでの春季の変化により)また北半球の中高緯度での湖および川の結氷は、20 世紀中に約 2 週間分短縮された**可能性が非常に高い**。また 20 世紀中では、極地外の地域で、山岳氷河の広範囲な後退がみられた。北半球の春季と夏季の海氷面積は、1950 年代から 2000 年にかけて約 10-15%減少し、また北極の海氷の厚みは、20 世紀の過去 30 年間、晩夏から初秋にかけて約 40%減少した**可能性が高い**。北極の海氷の総面積は、1978 年から 2000 年にかけての地球の平均表面温度上昇と同時に、何も変化していないが、南極半島部での地域的な温暖化は、1990 年代のプリンス・グスタフの崩壊や、ラーセン氷棚の一部崩壊と合致している。[WGI TAR SPM, WGI TAR2 章]

海面水位の上昇。陸地の垂直移動分を調整後の潮汐計記録によると、年間平均の海面水位上昇は、20 世紀中で 1 から 2 ミリであった。観測された 20 世紀中の海面水位上昇率は(現在の不確実性の範囲内で)、モデルのシミュレーションと一致しており、20 世紀の温暖化が、海水の熱膨張や陸地氷の広範囲な喪失を通して、観測された海面水位上昇に大きく貢献した**可能性は非常に高い**。

[WGI TAR SPM, WGI TAR セクション 2.2.2.3、11.2.1]

3.4 気候の変動性で観測された変化

エルニーニョ南方振動(ENSO)現象の温暖なサイクルは、1970 年代半ば以後、その前の 100 年間と比べて、より頻繁で、長く持続し、強度も強くなっている。ENSO は、熱帯や亜熱帯の大半、そして中緯度地帯の一部において、降水量や気温の地域変動に一貫した影響を与える。

[WGI TAR SPM, WGI TAR 2 章]

3.5 極端な気候現象で観測された変化

一部の極端な天候および気候現象での変化が観測されている。陸地部分のほぼ全域で、より高い最高気温、より多くの暑い日、そして熱インデックスの上昇があった**可能性は高く**、またより高い最低気温より少ない寒い日そして降霜日となった**可能性は非常に高い**。加えて、夏季の大陸性乾燥の増加とこれにともなう干ばつの危険性の増加が一部地域で見られた**可能性も高い**。[WGI TAR SPM, WGI TAR 2 章]

4. 気候で予想される変化

気候での変化は、気候システムの内部変動と、外部要素（自然と人間の活動の両方）の結果として起きる。人間の活動による温室効果ガスおよびエアロゾルの排出は、大気の構成を変化させる。温室効果ガスの増加は、地球の気候を温暖化させる傾向があり、一方エアロゾルの増加は、冷却または温暖化させる可能性がある。CO₂ 濃度や地球平均表面温度、そして海面水位は、21 世紀中に上昇することが予測されている。地球規模の平均的变化と比べると、気候や海面水位の地域的な変化（図 4 と 5 参照）は、大きく異なることが予測されている。気候の変動性や一部極端な現象の増加も予測されている。

WGI TAR では、IPCC 排出シナリオ特別報告書（SRES）での新しい一連の排出シナリオを基に、地球規模での、そしてある程度までは地域的な、気候変化予測の改訂を行っている。SRES シナリオは、気候政策による干渉を含んでおらず、叙述的筋書きをベースにした 6 つのシナリオグループで構成されている。これらのシナリオグループはどれもありうるものであり、内部的に一貫性を持ち、また発生確率は与えられていない。これらシナリオグループは、人口、社会、経済、そして広範囲な技術開発での想定条件を網羅している。（ボックス 1 参照）これらシナリオはそれぞれ、一連の温室効果ガス排出の経路を生む。[WGI TAR SPM, WGI TAR セクション 4.3]

ボックス 1 : SRES シナリオ
[WGI TAR SPM, WGI TAR セクション 4.3. SRES]

A1 : A1 の筋書きとシナリオファミリーは、非常に急速な経済成長と、今世紀半ばに頂点に達し以後減少していく世界の人口、そして新規およびさらなる効率化技術の急速な導入がある、未来世界を描く。その基底にある主題は、地域間での統合、能力向上、文化的および社会的相互交換の増加であり、これに一人当たり所得での地域格差大幅削減が加わる。A1 のシナリオファミリーは、エネルギーシステムの技術革新に関して別々の方向性を描く 3 つのグループに分けられる。この 3 つの A1 グループは、どこに技術面での焦点をおくかで分けられ、化石燃料集約型（A1F1）、非化石エネルギー源型（A1T）、全てのエネルギー源バランス型（A1B）とされ、このうち A1B でのバランスとは、全てのエネルギーの供給や最終用途の技術に同等の改善率が適用されると仮定した場合、一つの特定のエネルギー源に大きく依存しないことと定義される。

A2 : A2 の筋書きとシナリオファミリーは、非常に異質なものの混在する世界を描く。その基底にある主題は、自立性と地方特性の保全である。地域の出生率パターンは非常にゆっくりと一つにまとまるため、人口の増加が継続されることとなる。経済発展は、主に地域単位でおこり、一人当たりの経済成長率や技術革新は、他の筋書きよりも細分化され、速度もゆるやかである。

B1 : B1 の筋書きとシナリオファミリーは、今世紀半ばに頂点に達し以後減少するという A1 の筋書きと同じ世界人口に、物質の原単位削減、そしてクリーンで資源効率の良い技術の導入が伴い、サービスや情報経済へと急速に変革する経済構造を持つ、収束する世界を描く。この筋書きで強調されているのは、経済、社会、環境上の持続可能性に対する世界的な解決策であり、これには公平性の改善は含まれるが、追加的な気候イニシアティブは含まれない。

B2 : B2 の筋書きとシナリオファミリーは、経済、社会、環境上の持続可能性を地方で解決することに力点を置いた世界を描く。これは、A2 よりも伸び率が低く、世界人口は増え続け、経済発展は中間レベルで B1 や A1 の筋書きほど急速ではなく、しかし、技術変革はより多彩な世界である。シナリオは、環境保護や社会的な公平性を志向する一方、地方や地域レベルにも注目している。

表-1: 地球の大気、気候、生物物理システムの 20 世紀中の変化(SYR 表 SPM-1) ^a	
指標項目 / 特性	観測された変化
濃度指標	
CO ₂ 大気濃度 陸上生物圏の CO ₂ 交換	1000-1750 年の 280ppm が 2000 年で 368ppm に(31±4%増) 1800-2000 年では累積で約 30GtC の CO ₂ 排出源。ただし 1990 年代は、約 14±7GtC の CO ₂ 吸収源
CH ₄ の大気濃度	1000-1750 年の 700ppb が 2000 年で 1750ppb に(151±25%増)
N ₂ O の大気濃度	1000-1750 年の 270ppb が 2000 年で 316ppb に(17±5%増)
O ₃ の成層圏濃度	1750 年から 2000 年の間に 35±15%増、地域により差
O ₃ の対流圏濃度	1970 年から 2000 年の間に減少、高度および緯度により差
HFCs, PFCs, SF ₆ の大気濃度	過去 50 年間に地球規模で増加
天候指標	
地球平均表面温度 北半球表面温度	20 世紀中に 0.6±0.2%増、陸地が海洋より温暖化が大きい(可能性非常に大) 20 世紀には過去 1000 年のどの世紀よりも大きく増加、1990 年代は、この千年紀で最も温暖な 10 年間(可能性大)
一日での表面温度範囲	陸地では、1950 年から 2000 年の間に減少、夜間最低気温は、日中最高気温の上昇率よりも 2 倍上昇(可能性大)
真夏日(hot days) / 熱インデックス 真冬日(cold days) / 降霜日	増加(可能性大) 20 世紀中にほぼ全ての陸地部分で減少(可能性非常に大)
大陸部分降水量	北半球では 0 世紀中に 5-10%増加(可能性非常に大) ただし一部地域では減少(例、北アフリカ、西アフリカ、地中海地域の一部)
豪雨・豪雪現象 干ばつの頻度と深刻度	北半球中緯度および高緯度で増加(可能性大) いくつかの地域では、夏季の乾燥とそれに伴う干ばつの発生が増加。アジアやアフリカの一部など、いくつかの地域では、最近の数十年での干ばつの頻度と強度の増加が観測された。
生物指標と物理指標	
地球の平均海面水位 河川や湖沼の氷結日数 北極の海水面積と厚み	20 世紀中に年平均で 1-2mm 上昇 北半球の中緯度と高緯度では 20 世紀中に約 2 週間分減少(可能性非常に大) 最近の数十年では、夏季の終わりから秋の初めにかけて厚みが 40%減少(可能性大)、1950 年以後は春季から夏季の面積が 10-15%減少
極地以外の氷河 冠雪	20 世紀中に広範囲で後退 1960 年代に衛星による地球観測が可能となって以来、面積が 10%現象(可能性非常に大)
永久凍土 エルニーニョ現象 成長期間	極地、準極地、山岳地域の一部で、融解、温暖化、劣化 ここ 20-30 年間にその前の 100 年間より、頻度、持続性、強度が増加
植物と動物の生育範囲 珊瑚礁の白化	北半球、特にとの高緯度では、過去 40 年間に、10 年当たりで 1-4 日延長 植物、昆虫、鳥類、魚類では、極地方向、高高度方向に移動 頻度増加、特にエルニーニョ現象の最中に増加
経済指標	
天候関連の経済損失	過去 40 年間に地球規模でのインフレ調整後損失額が、一桁増加。上昇傾向の一部は社会経済的な要素と、一部が気候要素と結び付けられる

4.1 温室効果ガスおよびエアロゾルの大気濃度で予想される変化

TAR で用いられた排出シナリオは全て、次の 100 年間での CO₂ 大気濃度の上昇という結果を生む。主な人為的温室効果ガスである CO₂ で予想される 2100 年での濃度は、産業革命前の約 280ppm までや、2000 年での 368ppm までと比較して、540 から 970ppm の範囲をとる。社会経済的な想定条件(人口、

^a この表は観測された主要な変化の例を挙げるものであり、これだけというわけではない。人為的な気候変化に帰する変化と自然の変動または人為的な気候変化を原因とする可能性がある変化の両方が含まれる。作業部会 1 で特に評価されている場合には、その信頼

社会、経済、技術)での違いは、温室効果ガスやエアロゾルの大気濃度でも違いを生む。さらなる不確実性、特に現在の陸上除去プロセス(炭素吸収)の継続と陸上生物圏への気候のフィードバックの程度は、それぞれのシナリオにおいて、2100年度の濃度で-10から+30%の変動を生む。このため、2100年での全範囲は、490から1260ppmとなる。(産業革命前の水準より75から350%増)

IPCCシナリオには、化石燃料の利用の程度と、硫黄排出緩和政策による人為的エアロゾルの増加と減少のどちらの可能性も含める。硫酸塩エアロゾルの濃度は、6つの図示的SRESシナリオの全てで、2100年までに現在のレベルよりはるかに少なくなると予測されているが、自然のエアロゾル(例、海の塩、ほこり、そして硫酸塩や炭素系エアロゾル)は、気候の変化の結果、増加すると予測される。IPCCの予測には、自然のエアロゾルの変化が含まれていない。

[WGI TAR SPM, WGI TAR セクション 5.5、SRES セクション 3.6.4]

4.2 地球の表面温度と降水量で予想される変化

地球平均表面温度は、1990年から2100年の期間において、1.4から5.8 上昇すると予測されており、ほぼ全ての陸地域は、地球平均よりも、温暖化がより急速である。予想される地球平均の温度上昇は、20世紀中に観測された温暖化の中心値よりも約2倍から10倍であり、予測される温暖化率が、少なくとも過去1万年中に例のないものとなる可能性は非常に高い。1990年から2025年および1990年から2050年の期間では、それぞれ予測される上昇が0.4から1.1、そして0.8から2.6である。温暖化がもっとも顕著な地域は、北の大規模陸地(例、北米、および北アジア、中央アジア)であり、これらの地域では、各気候モデルとも、地球平均の温暖化を40%以上超えるとなっている。これと対照的に、南および東南アジアの夏季や、南米南部の冬季では、温暖化が地球平均の変化より小さい。(例、図4参照)[WGI TAR セクション 9.3.3と9.3.2]

地球平均の年間降水量は、21世紀中に増加すると予測されており、地域規模では、5-20%が典型的である降水量の増加と減少の両方が予測されている。地球平均の年間降水量、水蒸気量および蒸発量は、21世紀中での増加が予測されている。高緯度地帯では、降水量が夏季および冬季とも増加する可能性が高い。北の中緯度地帯、熱帯アフリカ、そして南極での冬季、および南アジアや東アジアの夏季でも、増加が予測されている。オーストラリア、中央アメリカ、そしてアフリカ南部では、冬季降雨量の一貫した減少が示されている。(図5参照)平均降水量の増加が予測されている地域の大半では、年毎の降水量の変動が大きくなる可能性が非常に高い。[WGI TAR セクション 9.3.1-2、10.3.2]

4.3 気候の変動性と極端な気候現象で予想される変化

モデルの予測では、温室効果ガスの大気濃度上昇は、気温の一日、季節、年間、10年間での変動性での変化を生む。多くの地域で、一日の気温変化範囲の縮小が予測されており、夜間の最低気温の上昇が日中の最高気温の上昇を上回る。大多数のモデルでは、北半球の陸地域で冬季の地表気温の一日での変動性が全般的に縮小し、また夏季の一日での変動性が拡大することを示している。エルニーニョ変動性での将来的な変化は、モデルにより異なるが、現在の予測では、次の100年間でエルニーニョ現象の強度がほとんど変化しないが小規模に増加することを示している。多くのモデルでは、太平洋熱帯地域で

エルニーニョに似た平均的变化が、示されており、太平洋中央と東部の赤道付近では、海面温度が、太平洋西部の赤道付近より温かくなり、これに対応して降水量も平均的に東方向へ移動するとしている。エルニーニョ現象の強度にほとんどあるいはまったく変化がなくても、地球温暖化は、乾燥や豪雨などより多くの極端な現象につながり、多くの多様な地域でエルニーニョ現象による干ばつや洪水の危険性が増す**可能性が高い**。北大西洋振動のようなそのほかの自然発生する大気 海洋循環パターンの頻度や構造における変化に関するモデルでは、意見の明確な一致が見られない。

[WGI TAR セクション 9.3.5-6、WGII TAR セクション 14.1.3]

極端な降水現象の強度と頻度は、多くの地域で増大する可能性が非常に高く、このため、極端な降水現象が再来するまでの期間は短くなると予想される。これは、より頻繁な洪水につながる。夏季での内陸部の全体的な乾燥は、夏季の干ばつを増加させる可能性が高く、また山火事の危険性を増加させる。この全体的な乾燥傾向は、気温の上昇と、降水量の増加とバランスしない蒸発可能性との、組み合わせによるものである。地球温暖化が、アジアの夏季モンスーン降水量の変動性を増大することにつながる**可能性が高い**。[WGI TAR セクション 9.3.6、WGII TAR 4 章と 9 章、WGII TAR セクション 5.3]

高解像度モデル化研究は、一部の地域において、熱帯性台風の最高風速が大きくなる**可能性が高い**としており、これは 21 世紀中では 5-10%大きくなり、降水率も 20-30%増加する可能性があるとしているが、熱帯性台風の位置が変化するとした研究はない。熱帯性台風の頻度での変化については、モデル研究同士で一貫した確証があまり得られていない。[WGI TAR ボックス 10.2]

極めて小規模な現象がどう変化するかについては、十分な情報がない。例えば雷雨、竜巻、降雹、稲妻のような非常に小規模な現象は、地球規模の気候モデルでシミュレーションされていない。

[WGI TAR セクション 9.3]

4.4 冠雪、海氷と河川結氷、氷河、海面水位で予想される変化

氷河や氷冠は 21 世紀中、その広範囲な後退を続けると予測されている。北半球の冠雪、永久凍土、海氷の面積は、さらに減少すると予測されている。南極の氷床は、降水量の増加によりその質量を増す**可能性が高い**が、グリーンランドの氷床は、氷の融解の増加が降水量の増加を上回るため、その質量を失う**可能性が高い**。[WGI TAR セクション 11.5.1]

地球平均の海面水位は、1990 年から 2100 年の間に 0.09 から 0.88m 上昇すると予測されているが、地域的な変動も大きい。1990 年から 2025 年、および 1990 年から 2050 年の期間では、予想される上昇がそれぞれ 0.03-0.14m および 0.05-0.32m である。これは主に、海洋の熱膨張と、氷河や氷冠の質量減少のためである。海面水位の変化で地域的に予想される変動範囲は、海岸線での海面水位が、別な多くの要素（例、大気圧、風圧、サーモクライン深度）により決定されるため、地球規模の平均海面水位上昇値と比較すると大きくなる。複雑なモデルを使った、海面水位変化の地域分布については、その信頼性が低く、これは、モデル研究結果同士にあまり相関性が見られないためである、ただし北極海での上昇が平均以上であること、南の海洋での上昇が平均値以下であることは、ほとんど全てのモデルで予測されている。[WGI TAR セクション 11.5.1-2]

5. 気候変化に関連して陸上および海洋生態系で観測された変化

人間の活動は、多くの地域で、生態系の変化やそれに伴う生物多様性の喪失に結びついてきた。これら生態系での変化は主に、土地利用パターンの変化、土壌劣化や水質および水量での悪化、生息地の喪失、変更そして細分化、種の選択的な利用、外来種の侵入のような要素に依存する。気候や気候変化は、生態系や生態系内の生物多様性に対して、多くの方法で影響を与え（ボックス 2 参照）、十年間の気候変化（内陸水面を含めた）で観測された、陸上および海洋での生態系での有益と有害の両方の変化にも、寄与している。[WGII TAR セクション 5.1-2]

ボックス 2：気候変化と生態系 [WGII TAR セクション 5.5.3, 5.6.4, 6.3.7, 16.2.3.4, 16.2.6.3, WGII SAR セクション A.2]
<p>気候は、地球の植生の構造や生産性、そして植物種と動物種の構成パターンを制御する主要な要素である。多くの植物種は、特定の温度範囲の中でしか、繁殖も生育も十分に行えず、それも特定の降水量や季節的な降水パターンに応じたものであり、他の植物との競争で取って代わられる可能性や、気候が変化すると生存できない可能性もある。また動物も、明確な温度範囲そして/または降水量範囲を持っており、その捕食生物種の持続性が進むかどうかには依存する。</p> <p>平均値や最大/最小値、そして気候変動性の変化が、生態系に対する気候変化の影響を決定づける。気候変動性と最大/最小値は、人間の活動から生じる他の圧力とも相互に作用しあう。例えば、最近のエルニーニョ現象中に、スマトラ南部や、カリマンタン、そしてブラジルの、ピート/沼地林の端に沿って起こったような火災の範囲や持続時間は、気候と人間の活動との間の相互作用が、森林の構造や構成そして土地利用パターンを決定づける上で重要であることを示している。</p>

5.1 (淡水を含めた)陸上の生物種分布、個体数規模、共同体の構成で観測された変化

IPCC は、2500 件の公表研究結果を評価し、気候変化が生物系に与える影響を鑑定した。これら 2500 件のうち約 500 の分類群を含む 44 件の研究は、次の基準を満たすものであった：20 年以上のデータ；気温測定を変動要素の一つとする；研究発表者が生物/物理パラメータおよび測定気温の両方で統計学的に意味のある変化を発見している；気温と生物/物理パラメータの変化との間に統計学的に意味のある相関関係がある。これらの研究の一部では、同じ研究報告の中で、異なる分類群を検討している（例、鳥類、昆虫類）。59 の植物、47 の無脊椎動物、29 の両生類と爬虫類、388 の鳥類、10 の哺乳類のうち、約 80% が、測定された生物学的パラメータ（例、繁殖期の始まりと終わり、移動パターンの変化、動物および植物の分布での変化、体の大きさの変化）で、地球温暖化で予想される形の変化を示している一方、20% は、逆方向の変化を示している。これらの研究の大半は、温帯および高緯度地帯、そして一部高高度地帯で行われている（長期的な研究資金調達決定目的で）。これらの研究では、地域的な気候の変化に特に敏感である一部の生態系が、すでに気候の変化の影響を受けていることが示されている。[SYR Q2.21, WGII TAR セクション 5.2, 5.4]

20 世紀中では、地域的な気候の変化、特に気温上昇により、生物系に明確な影響が見られた。これら生物系で観測された変化は、人為的であれ、自然のものであれ、世界の多くの地域の多様な地点を通して首尾一貫しており、気温の地域的な変化から予想される効果とも方向性が一致している。観測された変化が偶然に予想される方向性をとる確率（規模は問わないとして）は、無視できるほどである。こういったシステムには、例えば、繁殖期や移動現象のタイミング、生育時期の長さ、種の分布、個体数規模が含まれる。これらの観測は、地域的な気候の変化が主要な起因要素であることを意味する。地域的な気候変化や土地利用実践から影響を受ける攪乱要素（例、火災、干ばつ、風害）のタイプや、強度、

頻度では、変化が観測されており、またこれらの変化は、生態系内での生産性や種の構成に影響を与え、特に高緯度や高高度で影響を与える。有害動植物や病気の発生も、特に森林系で変化しており、これは気候の変化と結びつけることが可能である。極端な気候現象や変動性（例、洪水、降雹、真冬日、熱帯性台風、干ばつ）そしてこれらの一部の影響結果（例、地すべり、山火事）は、多くの大陸の生態系に影響を与えてきた。1997年から1998年にかけてのエルニーニョ現象のような気候現象は、多くの陸上生態系の集約管理されたそして集約管理されていない生態系の両方（例、農業、湿地、牧草地、森林）に重大な影響を与え、これに依存する人口にも影響を及ぼした。[SYR Q2.21, WGII TAR 図 SPM-2, WGII TAR セクション 5.4, 5.6.2, 10.1.3.2, 11.2, 13.1.3.1]

生物学的現象のタイミング（季節学）での変化が観測されている。そのような変化は、多くの種で記録されている。[WGII TAR セクション 5.4.3.1, WGII TAR 表 5-3]

例えば：

- ・ 冬季 春季でのより温暖な状況は、一部の寒冷地無脊椎動物種の誕生、成長、繁殖のタイミングに影響する。
- ・ 1978年から1984年の間に、生育北限にあった英国のカエル2種は、2-3週間早く産卵を開始した。こういった変化は、研究の期間中上昇傾向にあった気温とも相関関係を示している。
- ・ ヨーロッパ、北米、中南米での一部鳥類の繁殖期早期化。ヨーロッパでは、過去23年間で産卵が早まっており、英国では、長距離の渡りをする種も含め、65種中20種が、1971年から1995年にかけて、産卵時期を平均8日間早めている。
- ・ 昆虫類や鳥類の季節移動でも変化があり、米国では春の季節移動生物の到着日が早まり、ヨーロッパでは、秋季出発日が遅延、アフリカとオーストラリアでは、季節移動パターンが変化している。
- ・ 鳥類の種（例、Great Tit (Parus Major シジウカラ科の小鳥 訳注)と他の種との繁殖期のミスマッチ、これには食物種も含む。こういった組み合わせのずれは、食物供給が僅少な可能性のある時期でのひなの誕生につながる可能性がある。
- ・ 一部植物の早期開花と生育期延長（例、ヨーロッパ中で1959年から1993年に約11日間）

多くの種が、気候変動要素の変化に伴い、形態学、生理学、行動学上の変化を示している。例えば、ニシキガメは、温暖な年にはより大きく成長し、一連の温暖な年では性的な成熟も早い、北米のモリネズミ (Neotoma sp.) の体重は、過去8年間の気温上昇で減少している、スコットランドの若いアカシカ (cervus elaphus) は、温暖な春により早く成長し、成体の大きさも大きくなる、一部のカエルは温暖な年には、（異性を惹きつけるため）より早く鳴き始めたり、より多く鳴いたりする。[WGII TAR セクション 5.4.3.1.3]

気候要素の変化と結びついた種の分布の変化が観測されている。大半の大陸部分、極地帯、そして動物の主分類（つまり、昆虫類、両生類、鳥類、哺乳類）において、気候と関連する可能性のある動物の生息範囲と密度での変化が見られている。[WGII TAR セクション 5.4.3.1-1, 13.2.2.1] 例えば：

- ・ ヨーロッパや北米での蝶の生息範囲は、気温が上昇するにつれて、極地方向そして高高度へと移動しているのがわかった。ヨーロッパでの、35種の季節移動をしない蝶の研究は、20世紀中にその60%以上が35-240km北方向へ移動していることを示している。中央ヨーロッパの森の蝶や蛾のいくつかの種では、1990年代初めに個体数が増加しており、これはカメムシやトンボ

(Odonata)そしてゴキブリやキリギリス、バッタ(Orthoptera)のいくつかの種で、極地方向に生息範囲が拡大しているのと同様、気温の上昇と結び付けられている。

- ・カオジロガン(Barnacle Geese, Branta Leucopsis)の春季生息範囲は、ノルウェー沿岸に沿って北方へ移動している。南極では、一部の鳥類の生息範囲が極地方向に移動している。コスタリカの熱帯地方雲霧林にいる一部の鳥類の高度範囲も、移動している可能性がある。

気候変化の要素での変化は、有害動植物や感染症の発生の頻度と強度の増加につながっており、これには、有害動植物や病原体の極地方向または高高度方向への生息範囲移動が伴っている。例えば spruce budworm(モミの害虫 訳注)の発生は、その生息範囲内での干ばつそして/または乾燥した夏季の後に起きる場合が多い。有害動植物とその宿主の間の動態は、干ばつにより宿主である樹木にかかるストレスが増加し、また spruce budworm の産卵数が増加(例、25 での spruce budworm 産卵数は、15 のときよりも 50%までの増加となる)することにより、影響を受ける可能性がある。一部の感染症発生は、budworm の食物源である樹木の新芽を枯らす晩春での降雪がない場合、持続する。病原虫による感染症(例、マラリア、デング熱)や食べ物や飲み物を媒介する感染症(例、下痢)の分布、つまりは人間の感染症リスクの分布は、気候要素の変化により影響される。例えば、スウェーデンでは、温暖な冬季の後、ダニが媒介する脳炎の件数が増加し、1980年から1994年にかけての温暖な冬季で頻度が増加した後では、北方へ移動した。[WGII TAR セクション 5.6.2-3, 9.5.1. 9.7.8]

水の流量、洪水、干ばつ、水温、水質での変化が観測されており、またこれらの変化は、生物多様性、および生態系の提供する物質やサービスに、影響を与えている。水の循環要素に対する地域的な気候変化の影響の証拠から、一部地域でのより温暖な気温が、水の循環の強化につながっていることが示されている。最近数十年では、東ヨーロッパ、ヨーロッパロシア、北米の大部分で、最大流量期が、春季から冬季の終わりへと移動している。一部地域での干ばつや洪水の頻度増加は、気候の変動性(例、サヘルでの干ばつ、ブラジル北東部および南部の干ばつ、コロンビアやペルー北西部の洪水)に関係がある。湖水や貯水池、特に世界の準乾燥地帯(例、アフリカの一部)でのそれは、その貯水量を著しく変化させることで気候の変動性に対応しており、多くの場合、完全な干上がりにつながっている。アフリカのサバンナ地帯では、季節的な水流中断の発生件数が増加している可能性がある。降雨頻度や雨量の変化は、流域での土地利用の変化と組み合わせ、土壌浸食や河川の沈泥化につながっている。これは、肥料や化学肥料、殺虫剤、除草剤の利用増大、そして大気中窒素の沈殿もあわせ、河川の化学反応に影響を与えており、その富栄養化につながり、水質や種の構成、漁業に大きな影響を与えている。流量の変化は、これら生態系からの物質やサービス(例、淡水漁業での漁獲高、湿地からの水流)に影響している。水温の上昇は、層状の湖水深部の水で、夏季の酸素欠乏を増加させる原因となっており、生物多様性に影響する可能性もある。冬季の水温上昇は、yellow perch(冷水種)の卵の活性に負の影響を与えることが観測されている。[WGI TAR SPM, WGII TAR SPM, WGII TAR セクション 4.3.6, 10.2.1-1-2, 10.2.5.3, 10.4.1, 14.3, 19.2.2.1, 表 4-6, WGII SAR セクション 10.6.1.2, 10.6.2.2]

北半球の高高度生態系は、地域的な気候変化により影響を受けている。例えば、北極の陸地部分の大きな面積は、カナダ東部、北大西洋、グリーンランドの寒冷化地帯とは対照的に、気温にして最大5 までの温暖化傾向を 20 世紀に示している。アラスカでの農業や林業では、より温暖な気候が生育温度以上の日数を 20%増加させており、また亜寒帯林は、1 当り約 100-150km に等しい速度で北方へと拡

大している。ツンドラ地帯では、植物種構成の変化、特に forbs (広葉の草-訳注) や lichen (地衣類-訳注) の変化が、観測されている。土の温度上昇と季節的な融解の深化は、比較的温暖で非連続的な永久凍土で、サーモカルスト (永久凍土の融解によりできるカルスト台地状の地形 訳注) を発達させている。中央アラスカの亜寒帯林は、サーモカルストにより、20 世紀最後の 2-3 十年間で広大な湿地と化している。北米西部亜寒帯林での年間焼失面積は、この 20 年間で、この地域の温暖化傾向と並行して倍増している。同様な傾向は、ユーラシアの森林でも見られる。[WGII TAR セクション 1.3.1, 5.2, 5.6.2.2.1, 5.9, 10.2.6, 13.2.2.1, 14.2.1, 15.2, 16.1.3.1, 16.2.7.3]

5.2 沿岸および海洋系で観測された変化

珊瑚礁は、海水表面温度の上昇で悪影響を受けている。多くの珊瑚礁が、生育可能温度限界かそれに近いところで、発生している。海水表面温度の上昇は、過去数十年にわたり、熱帯の海洋の多くで記録されている。多くの珊瑚は、あるひとつの季節に、海水表面温度が季節的海水表面温度の平均値を 1 上回るだけで、大きな、ただし部分的には可逆的であることが多い、白化現象を起こしており、3 の上昇では、大規模な死滅がおきる。これは、エルニーニョ現象の最中に起きるのが典型である。例えば、一部の珊瑚の死滅につながる、グレートバリアリーフでの広範囲な白化は 1997-1998 年におきており、これは海水表面温度の異常が過去 95 年間でもっとも極端であった、大規模なエルニーニョ現象に関係していた。1997-1998 年での珊瑚の白化現象は、地理的にもっとも広範囲なものであり、世界中の珊瑚礁が影響を受け、一部の珊瑚の死滅につながった。白化現象はまた、汚染や感染症といった他のストレスとも関係する。[SYR Q2, WGII TAR セクション 6.4.5, 12.4.7]

感染症と毒性が沿岸の生態系に影響している。降水量の頻度や強度、pH、水温、風、CO₂ 溶解度、塩分はどれも、栄養分や有毒物質による人為的な汚染とも組み合わさり、河口部分や海洋水系の水質に影響を与える可能性がある。一部の海洋性病原体や、特に有毒な花を持つものを含めた藻類は、これらの要素の一つかそれ以上により、強い影響を受ける。最近の数十年間で、珊瑚礁や海の草木類に影響するような病気についての報告が増えており、特にカリブ海や温帯の海洋で増加している。エルニーニョ現象に伴う水温上昇は、皮膚病 (原生動物である寄生生物 *Perkinsus Marinus* を原因とする) および米国大西洋岸やメキシコ湾沿岸でのカキでの、未詳多核胞子病 (MSX) と相関関係があると見られる。[WGII TAR セクション 6.3.8, 12.4.7]

海洋システムの変化、特に魚の個体数での変化は、大規模な気候の振動と結び付けられている。気候要素は、海洋生物、特に魚類の個体数や分布に影響する生物や、無生物要素に影響を与える。海洋生物内のバイオマスの量における変動 (10-60 年かそれ以上の周期を有する) は、水温や他の気候要素に依存する。その例には、バレンツ海の気候および水路学体系での周期的な変動が含まれ、この変動は、過去 100 年間の商業漁業での漁獲高変動に反映されている。同様に、大西洋北西部では、1600-1900 年間のタラの漁獲高の記録が、水温と漁獲量の間で明確な相関関係を示しており、これには 50-60 年周期のタラの個体数構造変化も含まれる。北海のタラの短期的な変動は、漁獲過剰と過去 10 年間の温暖化との組み合わせが関係している。エルニーニョ現象のような 10 年以下の周期の現象は、南米やアフリカ沿岸での漁業 (ニシン、イワシ、ピルチャード (Pilchard、イワシ科 訳注) など) に影響し、太平洋での 10 年周期での振動は、北米西岸での漁業の衰退と結び付けられている。1990 年代初めの大西洋北西部で起きた異常に冷たい表層水は、ニューファウンドランド大陸棚での表層魚種の構成を変化させた。

太平洋や北極海西部の一部の海鳥や海の哺乳類の豊かさに、大きな変動のあることが判明しており、攪乱や気候の変動性、極端な現象での変化の体系に関係している可能性がある。気候の持続的な変化は、食物連鎖の生命体の豊穡さに影響し、それにより食物連鎖の頂上にたつ肉食動物の個体数に影響する可能性がある。例えば、アリューシャン列島に沿っては、気候現象や漁獲過剰により魚類の個体数に変動が見られ、これによりシャチや、アザラシの行動や頭数が変化している（この結果ケルブ（海草）の森にも影響が及んでいる。）海鳥の個体数の多さは、特定の魚種に依存しており、特に繁殖期ではそうであり、また気候変動の結果おきるような海洋環境の小さな変化にも敏感である。一部の海鳥類の種の減少と、数種の一般的な海鳥の個体数激増、そして一部の種の生息範囲変更は、現在のシステム（例、カリフォルニアのシステム）での変化と関係している。しかし、個体数パラメーターや生息範囲の変化は、餌魚の数、そして鳥の渡りのパターンの変化により影響を受ける可能性があり、またこのため、海流や気候変化での変化に明確に帰することはできない。太平洋熱帯地域でのエルニーニョやラニーニャ現象への対応に見られるように、海鳥は、個体数の多い一部の種での長寿や遺伝変異により、短期的な環境上の悪影響を克服している可能性がある。しかし、ガラパゴスペンギンなど、個体数が少なく制約された生息地に固定しているものは、悪影響を受ける可能性がある。[WGII TAR セクション 6.3.7]

6 . 平均的気候および極端な気候現象での変化による陸上（淡水系を含む）および海洋生態系での予測される影響

気候変化は、個体や個体数、種、生態系の構成や機能に影響すると予想されており、その影響は、直接的なもの（例、気温の上昇、降水量の変化、そして水系の場合は水温や海面水位などの変化）と間接的（例、気候が山火事のような攪乱要素の強度と頻度の変化を引き起こす）の両方がある。気候変化の影響は、生息地の喪失や細分化（または統合、例えば淡水系でこれまでは別々になっていた独立水系の統合）、そして非原生種の侵入（特に外来種）といったそのほかの重要なプロセスに依存する。

過去、現在、未来の人間による土地や水の利用パターンを考慮しない限り、地球生態系の将来状況について現実的な予測を行うことはできない。人間の利用は、一部の陸上および水生の生態系に危機をもたらし、他の生態系の存続を強化し、生命体が移動により気候変化に適応する能力に大きな影響を与える。気候変化そして土地利用や生物の侵入、汚染といった他の要素が絶滅の危機にある種に与える相対的な影響は、地域により異なる可能性が高い。このため一部の生態系では、気候変化が絶滅の危機や脅威にさらされる種に与える影響が、他の要素による影響よりも少ない可能性が高い。

生態系や希少または絶滅の危機にある種そのものが提供する物質やサービスという理由からも、生物種が希少となるまたは絶滅することへの懸念は、正当な懸念である。生物種が提供する物質やサービスの大半（例、受粉、自然の病害動植物の制御）は、これらの種がシステムの中で果たす役割からくるものである。生物種は、他の貴重なサービスも提供して、生態系の弾性や生産性に寄与する。生物種の娯楽上の価値（例、スポーツハンティング、野生動物観察）は、市場においてもそして市場の外でも大きな価値がある。生物種の喪失は、世界中の人々の文化や宗教上の慣習へ影響する可能性がある。種を失うことは、それにより影響される生態系の構造と機能の変化につながる可能性があるほか、収入の損失や美の喪失にもつながる。生物種や種の集団が生態系サービスの中で果たす役割を理解することは、種の

喪失にともなう危険性や突然の事態の可能性を理解する上で必要である。

6.1 生態系およびその系の中の生物多様性に対する気候変化の影響予測に用いられるモデル化手法

気候変化に対応する生物多様性の変化をモデル化することは、多少大きなチャレンジである。このためには、時空間上で高い解像度を持つ気候変化予測と、気候モデルでは十分予測されない変動要素（例、局地的な降水量や蒸発需要）のバランスに依存する場合が多い。さらに、生物種が相互にどのように関係しあうのか、またこれらの相互作用が、生物種の属する生態系や共同体にどう影響するかを理解することが求められる。加えてこれらのモデル結果は、希少である可能性がある、または特異な生物学的行動を示す特定の種に焦点を当てることが多い。

生態系の変化に関するモデルの大半は、地域的な生物多様性の変化予測には十分適応していない。気候やグローバルな変化に対する生態系の反応のモデル化では、大部の文献が作成途中である。これらモデルの大半は、小規模面積の土地での変化をシミュレーションするもので、生産性や、原産種の優勢性での変化を予測するため用いられる。これらのモデルは、地域的な生物多様性の変化を評価するのに十分適しているとは、必ずしも言えない。別なモデル化の分野は、地域規模や地球規模での気候変化の下で、植生の変化やこれにともなう植物の分布での長期的な変化を取り扱う分野である。これらのモデルは、通常、生態系やバイオマスを取り上げる。[つまり、特定の気候帯の中で、相似した構造を持つが生物種が異なる生態系の集合（例、「温帯林バイオーム」）]。またこれらモデルでは、生態系やバイオームが現在の構成や機能、構造を保持しながら、ただ単に位置だけを移動させると想定するのが通常であるため、生物多様性の変化を予測するには適していない。（ボックス3）特に地域や地球規模での生物多様性の変化のモデル化では、文献が少数しか存在しないが、その数は常に増加している。

[WGII TAR セクション 5.2]

ボックス3：影響予測に用いられたモデル化手法 [WGII TAR セクション 5.2, 5.4, WGII TAR ボックス 5.2]

地域レベルから地球規模までのモデル化研究結果の多くが、IPCC 報告書に紹介されており、このため、この技術報告書は、生態系（したがって生物相）が地球規模の変化にどう対応するかに関する二つの概念的に異なる想定条件を用いて、作成されている。「生態系移動」手法では、生態系が、現在の気候や環境にかなり相似する新しい地点へと比較的乱されることなく移動すると想定される。これは明らかに、実際に起きることの全体的な単純化である。基本的な生態学知識からすると、「生態系移動」のパラダイムが現実起こる可能性は最も低く、これは、生物種同士の遺伝的な多様さや寿命の違い、移動能力の違い、そして侵入種の影響も含め、関係する生物種の気候的許容値が異なるためである。このパラダイムは、気候変化シナリオに基づく生態系の新しい分布を予想するのに、生態系の範囲と現在の気候との関係の十分な実証を適用できるという利点を持つ、理想化された作業パラダイムである。このため、これらのモデルは、可能性のある顕著な影響に関する気候変化のシナリオを選び出すのに役立つ。

別な手法である「生態系の修正」では、気候や他の環境要素が変化するにつれて、種の構成や優勢度に本来の変化が生じると、想定する。これらの変化は、個体数が多かった一部の種が数を減らし、局地的に絶滅する一方で、他の種がその個体数を多くすることで、起きる。個体の寿命、現在の個体数の年齢構造、外来種の侵入は、こういった変化をも変える。その結果、現在われわれが見るものとはまるで異なる生態系のタイプになる。古生態学のデータからは、現在見られる生態系とおおまかに似通った生態系のタイプが、過去にも存在していたことがわかるが、今は観測されていない優勢種の組み合わせも起きていた。

「生態系の修正」手法での問題は、それぞれの生物種の現在の分布状況について、詳細な情報が欠け

ているため、またこれらの生物種がどのような相互作用をするかについてのわれわれの理解が欠けているため、この手法を、可能性ある変化の実際予測に用いるのが非常に困難だということだ。このため、気候変化の影響可能性を評価する地球規模および地域規模での研究の大半は、「生態系移動」手法を利用しなければならなかった。また、これらの研究は、動物の個体数が生態系の植生部分を追いかけるという、暗黙の、そして論拠の薄弱な場合が多い想定をしており、植生分布の変化予測だけに限定される傾向がある。しかし観察研究や実験研究から、動物は、植生で大きな変化が起きるはるか前から気候や環境の変化に対応する場合が多いことが示されている。

各モデルは、気候変化を含めた圧力に対する生態系の反応を捉えるため、該当する景観の中での生態系同士の空間的な相互作用を扱う必要がある。(ボックス3参照) 大半の植生モデルは、いまだに、植生の小規模範囲を個別ユニットのマトリックスとして取り扱っており、各ユニット間では相互作用はそれほどないとしている。しかし、モデル化研究において、景観要素の空間上の相互作用を不適切に処理するならば、植生変化の予測に大きな過誤を生じることが示されている。例えば、火災の広がりや、昔の火災の通り道と、その後の植生の再生により、ある程度決定される。現在のところ、グローバルなまたは地域的な植生の変化を、景観規模でシミュレーションするのは不可能であることから、景観単位での現象を、より粗い解像度でモデルに組み入れるため、その規則条件を見つけたすが、チャレンジとなっている。[WGII TAR セクション 5.2.4.1]

もう一つのチャレンジは、植物や動物の移動に関する現実的なモデルを作ることである。古生態学データ、モデル化データ、観測上のデータから、多くの生物種にとり、種の拡散は、適切な生息地のマトリックスがあまり細分化されていないならば、気候変化への適応上大きな問題にならない可能性があることが、示されている。しかし、地球の陸地表面の多くに存在する、人間活動により細分化された生息地では、移動の機会は限定され、種のプールのごく一部だけに限られる。[WGII TAR セクション 5.2]

6.2 陸上および淡水系の生物多様性で予測される変化

このセクションでは、各生命体レベル、個体数、そして生物種での、気候変化の影響を評価する。その後、生態系への影響をその構造と機能の面から、主に集約管理されていない生態系や景観に注目して検討する。全体として、生物多様性は、将来、複数の圧力要素により、特に土地利用の集約性やこれに伴う自然のあるいは半自然の生息地破壊により、減少すると予測される。生物多様性に対する複数の圧力要素は、気候変化とは独立して発生し、このため気候変化が生物多様性の喪失を、どれだけ促進するのか抑制するのかが、重要な疑問となる。

6.2.1 個体、個体数、種、生態系で予測される変化

このセクションは、個体や個体数、種が気候変化や、人間の活動から生じるいくつかの他の圧力要素により、どれだけ影響されるかの例を示す。行動の変化、豊饒性の減少、種の喪失は、影響される生態系の構造や機能の変化につながる可能性がある。これらの変化は、逆にさらなる種の喪失や、生物多様性への連続的な効果、非固有種の侵入やさらなる攪乱にシステムをさらすことにつながる可能性がある。このため、気候変化の影響や、これらの生物多様性への影響は、生態系のレベルでも評価可能であり、また生態系や、その景観内での分布においても評価可能である。また攪乱や、気候の変動性、極端な現象の体制の変化という枠組の中でも評価されなければならない。

生物多様性は、複数の圧力要素により、気候変化とは別に、将来の減少が予測されており、特に土地利用集約度の増大と、これにともなう自然のまたは半自然の生息地破壊が予測される。もっとも大きな圧力は、生息地の劣化や喪失と細分化（または生息地のユニット化、特に淡水系の場合のユニット化）外来種の導入、および化学処理や機械処理による、生殖、優勢、生存への直接的な影響である。窒素沈積や大気中 CO₂ 濃度の増加は、外来植物種では一般的である、特定の生理学的特徴や一生の歴史での特徴を共有する一群の種に有利に作用することから、これらの種は、地球規模の変化を利用することが可能となる。人間の活動により陸上窒素循環への窒素インプットが 2 倍となることは、生物多様性の喪失を加速化する可能性がある。植物界への窒素沈積の影響は、栄養素の少ない生態系で最大のものとなる可能性があり、そういう場所では、そのような土壌に適応していた原産の植物は、栄養素が限定されなくなった場合、より成長が早い外来種との競争ができない可能性がある。場合によっては、通常、種の導入の結果として、現地の生物多様性が増加する可能性もある、ただし、この長期的な結果を予測するのは困難である。また局地的により集約した土地利用を行うことは、他の場所での集約利用の需要や土地利用の変化への需要を削減する可能性があり、これにより、これらの場所での生物多様性の喪失を削減する。(セクション 7 参照) [WGII TAR セクション 5.2.3、5.7]

気候変化が、種の喪失を遅くさせると示唆する証拠は少ないが、種の喪失を増加させる可能性のある証拠は存在する。古生態学データは、地球規模での生物層が、年に平均して 3 つの新しい種を生んでいるはず（これは現在推定される絶滅率よりも数桁遅い率である）だが、地学的時代の間での平均とは大きな違いがある。種の発生と絶滅現象の脈動は、長期的には、時に気候変化に伴うもののように見えるが、気候の中程度の振動が、種の地理的生息範囲への変化を強制するにもかかわらず、必ずしも種の発生を促進はしない。地球の種の多くは、自然のプロセスや人間の活動から生じる圧力により、すでに絶滅の危険性がある。気候変化は、特に気候上の生息範囲が限られている、そして / または生息上の必要条件に制約のある種にとり、こういった圧力を追加するものである。[WGII TAR セクション 5.2.3、5.4.1]

多くの種で季節学的な変化が起きると予想される。例えば発芽日、孵化、渡りなどの季節学での変化は、多くの種ですでに観測されている。(セクション 5.1) これらの変化は通常、最高気温や最低気温、累積デグリーデー（平均気温偏差日数）といった単純な気候変動要素と密接に結びついており、変化の方向性やおおよその量を予測することは実施可能である。発芽の早まりや開花の早まりなど観測された傾向は、続くことが期待される。しかし生理学上の変化を制御する要素が、合わせて変化しなかったり（例、植物は気温と日照時間の長さの両方の信号に反応する）、一つの種の季節学的反応が、その食餌や肉食種のそれと一致せず、生活段階や行動において重要なタイミングでのミスマッチとなる状況もありうる。ここでの結果を予測するのはより困難である。

[WGII TAR セクション 5.4.3.1、5.5.3.2、WGII TAR 表 5-3]

気候変化の一般的な影響は、多くの種の生息地が、現在の場所よりも極地方向または高高度方向に移動することである。動物の生息範囲や密度における気候関連の転換は、世界の多くの地域で見られており、また動物の主要な分類学上のグループのそれぞれの中でも見られる。(セクション 5.1 参照) 最も急速な変化が期待されるのは、自然や人為的な攪乱パターンの変化によって加速化される場合である。

[WGII TAR セクション 13.2.2.1、16.2.7.2]

集団を形成する種が、共に移動する可能性は低い、種がそれぞれ、大きな時間差や再結成までの期間はあるにせよ、気候や攪乱体制の変化に個別に反応する可能性のほうが高い。これにより、確立された生態系は中断され、より多様性に乏しく、また「雑草」種を多く含む新しい種の組み合わせを作り上げる（つまりより移動性に富み、速やかに根をおろせる種である）。

[WGII TAR セクション 5.2、10.2.3.1、19.1]

長寿の種（例、長寿の樹木）が優勢な生態系は、変化の兆しを示すのが遅く、また気候関連のストレスからの回復も遅いことが多い。気候の変化は、種苗の発育といった一生での脆弱な段階に影響することが多い一方で、成熟した個体間で死亡率を増やす原因となるには、十分ではない。これらのシステムでの変化は、気候変化よりも何年もあるいは年十年も遅れることになるが、個体死につながるかく乱により加速化される可能性もある。同様に適切な新しい生息地への移動は、気候変化から数十年遅れる可能性がある、というのは、現在の生息地から新しい生息地への拡散は、遅い可能性があり、また新しい生息地は、より早く拡散し根付くことができる雑草種で締められている場合が多いからである。有害動植物や病原体を含めた気候関連のストレスが、長寿種の死亡率増加の原因となっている場合、以前の立木に相似した状態への回復は、できるとしても数十年から数世紀かかる可能性がある。

[SYR Q5.8, WGII TAR セクション 5.2.2, 6.2]

森林での生態系は、気候変化から直接に影響を受けるとともに、土地利用の変化といった他の要素との相互作用を通して影響を受ける。生態系および気候のモデルは、温帯植物および寒帯植物種に適した気候帯が、2100年までには200-1200km北方に移る可能性がある（中緯度および高緯度の陸地が2-8温暖化すると予測されていることから）ことを、示している。古生態学的証拠からは、過去において、植物種は、一世紀あたり20-200kmしか移動していないことが示されている、ただし、これはその当時の気候変化の速度により限定された可能性がある。多くの植物種にとり、現在の移動率は、人間の活動による適切な生息地の細分化により、さらに遅くなっている。このため、森林構成種の極地方向への移動は、最後の氷河期の後、多様な樹木種の移動でおきたものと比べ、気温の変化よりも数十年か数世紀遅れる可能性がある。また土壌の構造上の生成が、変化する気候についていけるかどうかも疑問である。永久凍土融解による変化や山火事の頻度および強度の増加も生態系の機能に影響を与える。森林の生物種構成は、変かする可能性が高く、また現在の森林のタイプは、新しい生物種の組み合わせで置き換えられ、それは、より種の多様性に乏しいものである可能性がある。[SYR Q3.7, Q3.12, SYR 図 3-1 から 3-3, WGII TAR セクション 5.2, 5.6, 13.3.3.1, 15.2, 16.2.7, QGII SAR セクション 1.3]

大半の土壌生物相は、比較的広い最適気温範囲を有するため、気温の変化から直接悪影響を受ける可能性は少ない、ただし土壌の機能的なタイプのバランスにおける変化を裏付ける証拠が一部存在する。土壌生命体は、大気中のCO₂濃度上昇により影響され、さらに土壌の湿度状況での変化でも、その変化が土壌への有機物のインプット（例、落ち葉）や土壌中の細根の分布を変化させるものなら、影響を受ける。土壌生物相の個々の生命種の分布は、これらの生命種が特定の植生と関係するものであったり、土地表層の変化率に適應できないものであったりする場合には、気候変化により影響を受ける可能性がある。[WGII TAR セクション 13.2.1.2]

湖や水流での気温による変化の影響は、熱帯で最も小さく、中緯度では中程度、そして最大の気温の変化が予想される高緯度では顕著なものとなる。極端な水温が、生命体を殺す可能性がある一方、より中

程度の水温の変化は、生物学的プロセスを制御する（生理学的な速度や行動実態、生息地の志向にも影響）。中緯度から高緯度での多くの冷水での生物分類にとり、最適温度は、20 以下である。将来は、一部の種にとり、夏季の気温が温度許容値を超える可能性がある。しかし、各生物種は、気温に関して多様な許容値範囲を持っており、このため、気温の動きは、種の構成での変化を生む可能性があり、これは、個々の淡水生態系の全体的な生産性と人間によるその利用にも影響する可能性がある。水流や河川の生態系に対する温暖化の影響は、水流にあまり変化がなく生物の相互作用が生命体の量を制御する多湿な地域において最も強い。（例、大規模な地下水の流れが現在、夏季の最高水温を比較的低いままにしているような場所の小さな水流）より冷たい水の避難所がない水流や浅い無成層の湖や池で夏季の温度が上昇するなら、種の分布のより低緯度の境界線において種の絶滅がおこる。例えば、米国の南部大平原では、すでに 38-40 という夏季の水温が、多くの固有の淡水魚にとっての致死限界に近づいている。予想される気候の温暖化で、河川の魚類の生息地が、寒水および冷水種に関しては、全米で大きく減少する可能性が高い。動物プランクトンの熱帯種の一部は、現在の水温がその生息許容値に近く、このためその分布に影響が出る可能性が高い。秋季の河川水温を上昇（平温の 10 から約 16 に）する実験から、これがカワゲラ（*Soyedina Carolinensis*）の幼虫に対し、99%の致死率を持つことがわかった。高温による微生物の呼吸率上昇は、陸上植生からの季節的に利用可能な破片を摂取する無脊椎動物の食餌が、河川へのこれら破片の流れ込みの後、短期的に増加する可能性があることを、示唆している。しかし、微生物の呼吸率が高いことは、有機物の分解率高め、またこれらの破片を無脊椎動物が利用できる期間を短縮する可能性がある。また湖水の水位における気候関連の変化は、岸辺の生物相の集合に大きな提供を与える、水位が減少することで、湖水は、それを縁取る湿地からより隔離されることになり、このことは一部の種に影響する可能性がある。例えば、早春の完遂したスゲの草原で産卵し、その幼生がふ化後 20 日間ほど草原に残るキタカワカマスは、春季の水位低下で特に影響を受ける。[WGII SAR セクション 10.6.1, 10.6.2.2, 10.6.3.1-2]

気温の上昇は、湖水の熱の循環や、酸素および他の物質の溶解度を変化させ、このため生態系の構造や機能に影響を与える。酸素濃度の削減は、その生態系コミュニティの構造の変化を招く可能性があり、これは、通常は種の減少という特徴を持ち、特に土地利用方法に関係する富栄養化で悪化された場合にそうである。夏季の温暖な温度と無酸素化が、特定の種が必要とする湖での深部冷水避難場所（捕食者からの、または熱的ストレスからの）を侵食した場合、局地的な絶滅の可能性はより大きくなる。高緯度にある湖水では、氷冠の期間と解氷日が、種の構成の決定要素に入っており、特に珪藻類の決定要素であることから、温度の上昇が、冬季の氷冠の喪失を生む。浅い水の層での高温は、摂取可能な植物プランクトンの栄養的価値を減少させたり、植物プランクトンの種の構成において、より栄養価の高い珪藻類を減少させ、栄養価の低いシアノバクテリアや緑藻類を増加させる方へと変化させたりする可能性がある。[WGII TAR セクション 13.2.2.3, 13.2.3.2, WGII SAR セクション 10.6.1]

気候変化は、水のプロセスの変化により、淡水の生態系に顕著な影響を与える。気候変化（例、温度や降水量）と人間の活動による流域および水辺での変化が組み合わさった影響により、多くの淡水生態系の水のプロセスに影響が及ぶと予想されている。水のプロセスの変化が河川の実産性に与える最大の影響は、一部中緯度で予想される河川の流れの現象、冬季降水量や降水の形式の変化と融雪の時期、そして極端な現象（洪水や干ばつ）の大きさや頻度の増加により生じる。河川の流れの減少（降水量の減少そして/または蒸発散量の増加）は、より小規模な流れでの流れの中断の可能性を高める。川床の干上

がり期間延長は、水の生息地を制限することから生態系の生産性を削減する可能性があり、また酸素不足の拡大で水質も悪化し、また生存競争と捕食の激化は、バイオマス量全体を減少させる可能性がある。流れが戻ることによる河川無脊椎動物の回復も遅くなる可能性がある。河川の流れに対する地下水の構成成分が小さく、また減少している場所では、流れの中断の可能性が特に大きくなるかもしれない。気候変化は、水の体制を変化させることで、特に、雨季と乾季の特性や多様性、そして極端な現象の回数と強度を変化させることで、湿地に対して最も顕著な影響を与える。

[WGII TAR セクション 4.4.5.7, 5.8.2, WGII SAR セクション 10.6.2.1]

攪乱の頻度、強度、範囲、場所での変化は、現在の生態系が再組織化されるかどうか、そしてどう再組織化されるか、さらにこれらが新しい植物や動物の組み合わせに置き換えられる速度にも影響をおよぼす。攪乱要素は、種の喪失の速度を速めるとともに、新しい種を確立する機会をも作り上げる。

[SYR Q4.18, WGII TAR セクション 5.2] 例えば：

- **気候変化に伴う攪乱体制の変化には、火災や有害動植物の発生といった攪乱の頻度、強度、場所での変化が含まれる。**火災の頻度は、より温暖な夏季の気温と、引火可能な微細燃料（小さな灌木や草）の成長増加の可能性のため、大半の地域で増加すると予想される。一部の地域では、降水量の増加が、こういった効果を相殺し、攪乱の頻度や強度は変化しないままとなるか、減少する可能性もある。多くの有害生物種の数、そのライフサイクル中での低温期により制限されうが、気候の温暖化は、一部地域での有害生物種の発生増加につながると予想される。[WGII TAR セクション 5.3.3.2, 5.5.3, 5.6.3, WGII SAR セクション 13.4]
- **気候変化と攪乱体制の変化との相互作用の影響およびこれらの生物相互作用への影響は、植生の構成や構造での急速な変化につながる可能性がある。しかし、これらの変化の量的な範囲は、相互作用の複雑性から、予想困難である。**北方森林のモミのメイガ（budworm）は、攪乱や有害生物種、気候変化の相互作用の複雑性を示す例である。モミメイガの発生は、干ばつおよび/または乾燥した夏季の後に頻繁におこり、これら干ばつや乾いた夏は、寄生する樹木へのストレスを増加させ、またモミメイガの産卵数も増加させる。干ばつとより温暖な気温は、霜や寄生樹木、その寄生生物、そしてメイガを捕食する鳥類との相互作用を変化させることで、モミメイガの季節学や動態に影響を与える。モミメイガの北限は、気温の上昇で北へと移動し、これは、もし干ばつの頻度増加を伴うなら、発生の頻度や強度の上昇につながり、ひいては大きな生態的变化をもたらす。その南限では、モミメイガを捕食する多くの小鳥の生息範囲を極地方向へと移動させ、おそらく北緯 50 度以南の緯度からはこれらが失われることになるだろう。もし生物的な抑制メカニズムが、化学的な抑制メカニズム（例、除虫剤）に置き換えられるなら、大規模な除虫剤の散布に関しては経済的そして社会的な両方の面での問題があることから、最終的には、また別な一連の問題につながる可能性がある。気候の変化と攪乱体制の変化との相互関係での別な例としては、季節的な変化の大きい地域（例、雨季と乾季のある熱帯）における雨季の異常に早いまたは遅い始まりがある。例えば、南部中央アフリカのミオンボ樹木帯は、春の雨季の始まりに弁韓であり、火事の発生や放牧からくる負担での変化とともに降雨パターンでの変化があるなら、植物種の優勢度で大きな変化を起こす可能性があり、ひいては動物の個体数でも大きな変化を起こす可能性がある。このようなプロセスから生じる変化を予測する人間の能力は、生物的な反応のモデルを持つと同様、特定の降雨現象の量と強度といった関連する変数を含めた高い解像度を持つ気候シナリオがあるかどうかにより大きく異なる。[WGII TAR セクション 5.5, 5.6.2-3, 10.2.3]

- **攪乱体制の変化は、気候変化と相互作用して生物多様性に影響をおよぼす。例えば、急速で非連続的な生態系の「スイッチ」など。**過去一世紀の間、土地管理の実施に伴う放牧や火災関連の体制の変化は、オーストラリアおよびアフリカ南部での土地面積中の樹木種密度を増加させてきたと考えられている。大規模な生態系の変化（例、サバンナから草地、森林からサバンナ、灌木地帯から草地）が過去（例、アフリカの氷河期や間氷期におきた気候変化の期間）におきたことは明確であるが、多様性の損失は、生物種や生態系が地理学的な変化をとげる時間的余裕を有していたことで、緩和されてきた。これからの数十年間での攪乱体制や気候の変化は、一部の地域で同等の閾値効果を作り出す可能性が高い。[WGII TAR セクション 5.4-5, 10.2.3, 11.2.1, 12.4.3, 14.2.1]

将来の生態系での変化および生物種の地理的分布における変化の規模と特質を予測するのに必要なデータやモデルは不完全であり、このことは、これらの影響を部分的にしか数量化できないことを意味する。CO₂の上昇といった大気中の変化に対する生態系の総合的な反応は、不確実であるが、実験林や草地システムでの個別の種のCO₂上昇に対する対応では、いくつかの研究が行われている。例えば、大気中のCO₂上昇は、草類の種の水利用効率を大きく増加させる可能性があり、このことは、草の燃料負荷を増加させ、深く根を張る樹木種への水の供給を増加させる可能性さえある。サバンナでの樹木/草類の相互作用に関する最近の研究から、大気中のCO₂上昇は、樹木密度を増加させる可能性があり、このような生態系での変化は、草食動物およびその捕食動物に大きな影響をおよぼす。燃料負荷（可燃物 訳注）の増大は、より頻繁で広範囲な火災につながり、樹木種の生存可能性を削減させ、貯蔵炭素を減少させる可能性がある。最終的な結果は、相反する圧力間の正確なバランスに依存し、種の構成のバランスが空間的に、そして時間的にどう変化するかにより異なる可能性が高い。C3植物種での光合成は、C4植物種よりもCO₂の豊饒化により強く反応するものと期待されている。そうであるなら、これは、C3植物種（その多くは樹木種）の地理的分布が、C4の草類の犠牲で、広がることにつながる可能性がある。これらのプロセスは、土壌の特徴や気候の要素、特に挙げるなら気温や降水量そして降霜日数に、依存する。C3とC4の分布の変化率とその期間は、人間の活動（例、より大きな放牧圧力は、より多くのC4の草類の生育地を作る可能性がある）に影響を受ける可能性が高い。

[WGII TAR セクション 5.5-6]

地球規模の植生分布における変化のモデルは、われわれが良く予測できない、そして初期データ（高解像度の細分データ）が不完全なものしかない変動要素（例、水のバランス）にもっとも敏感である場合が多い。一般循環モデル（GCMs）のアウトプットに対応する主要な生物種または生物種の（機能グループ）の年ベース（または季節ベース）での豊富さの変化をシミュレーションするモデルが開発中であり、陸上生物圏の全体的な炭素貯蔵ポテンシャルの評価に用いられる。現在の段階では、特定の生物群系または生態系に関する（モデルの訳注）アウトプットに大きな信頼を置くには時期尚早である。これらの結果は、水の利用の扱いに対する生態系の敏感さを示しており、特に気候変化による水の利用可能性における変化（より温暖な気候での利用可能性減少となる場合が多い）と大気中のCO₂濃度上昇に対する反応（水利用効率の上昇となる場合が多い）の間のバランスに対して敏感である。このことは、モデルのアウトプットが用いるGCMにより大きく異なる可能性を意味する、というのは、これらGCMは、年間降水量の変動値で異なる値を生み出す傾向があり、このため、水の利用可能性も異なるからである。他のチャレンジ事項は、火災や風害、アイスストーム、あるいは有害動植物の襲来といった攪乱や、生物種または生物種グループの新しい土地への移動による、植生の喪失をシミュレーションすることである。

る。他の研究からは、分散に関する想定での各モデルの感度が示されており、したがって各モデルは、移動の能力にも敏感である。IMAGE2 モデルを、無限の分散や、有限の分散、そして分散なしという結果を含めるよう改訂することは、植生変化のパターン、特に、高緯度地域での植生変化のパターンにおいて、大きく異なる結果を生む。[WGII TAR セクション 5.2.2, 5.2.4.1, 10.2.3.2]

6.2.2 生物多様性と生産性の変化

生物多様性の変化とこれらに伴って機能する生態系の変化は、生物の生産性に影響する可能性がある（ボックス4参照）。これらの変化は、人間社会が依存する重要な物質やサービス（例、食料や繊維）にも影響する可能性がある。またこれらの変化は、海洋や陸上生態系での炭素の合計隔離量にも影響する可能性があり、このことは、地球規模での炭素循環や大気中の温室効果ガス濃度にも影響する可能性がある。

ボックス4：生産性とそれに関連した用語 [WGI TAR セクション 3.2.2, WGII TAR セクション 5.2]

生産性は、正味の一次生産性（NPP）、正味の生態系生産性（NEP）、正味の生物相生産性(NBP)を含めたいくつかの方法で計測できる。植物は、陸上生態系の炭素吸収量において、その圧倒的多数を占めている。この炭素の大半は、呼吸、消費（捕食、これには動物や微生物の呼吸が伴う）、燃烧（例、火事）、化学的酸化といった一連のプロセスを通して、大気中に戻される。一次総生産（GPP）は、光合成による吸収の全体量であり、NPP は、植物の生命機能を維持する目的での呼吸やその他の代謝プロセスによる炭素の損失を計算に入れた後の炭素の蓄積率である。動物や、真菌類、細菌による植物性物質の消費（ヘテロトロピック呼吸）は、炭素を大気に戻すのであり、生態系全体の炭素の蓄積率と、季節全体（または他の時間単位）での炭素の蓄積率が、NEP である。一つの生態系においては、一年の大半の期間、NEP がプラスとなり、炭素はゆっくりではあっても蓄積される。しかし、火事や、生物相の多くの構成要素を死滅させるような極端な現象などの大きな攪乱は、通常炭素量よりも大きい量を放出する。広い面積そして/または長い期間にわたる炭素の平均蓄積量が、NBP である。炭素の長期的な隔離（吸収）に基づく緩和対応は、NBP の増加に、依存する。

地球規模では、正味の生物群系生産性は、増大しているように見える。モデル化研究や、在庫データ、および逆分析からは、過去数十年間にわたり陸上生態系が炭素を蓄積してきているとの証拠が出されている。植物は、土地利用や土地管理の実践（例、再植林や棄てられた土地の再生）や、人為的な窒素沈積の上昇、CO₂大気濃度の上昇、そして気候温暖化による変化に対応しているのである。[WGI TAR セクション 3.2.2, WGII TAR セクション 5.6.1.1, LULUCF セクション 1.2.1]

顕著な生態系攪乱が発生する（例、優勢種の喪失や、生物種の高い割合の喪失、それによる余剰分の損失）場所では、転換期での NEP の喪失の可能性もある。多様で広範囲な生態系での生物多様性の喪失は、必ずしも生産性の損失を意味するものではない。グローバルな生物多様性の分布は、他の要素の中でもグローバルな気温や降水パターンと相関関係がある。急激な気候変化は、生態系が変化し改められるにつれて、これらのパターンを少なくとも数十年間から数世紀の期間、中断させる（通常生物多様性の喪失を伴って）と見られる。生産性での変化は、生物多様性でのそれより小さい可能性がある。しかし、生物多様性への気候変化の影響や、それともなう生産性への影響は、地球規模では推測されていない。いくつかの理論や実験研究から、大半の生態系には一定の余裕があることが示されており、生態系から失われた生物種による生産への貢献は、他の生物種（ときには、侵入種であることもある）のそれで置き換えられる場合が多い。[SYR Q3.18, WGII TAR セクション 5.2, 5.6.3.1, 10.2.3.1, 11.3.1,

12.5.5, WGII SAR セクション 1.2]

生態系の構造や機能および生産性を維持する上での生物多様性の役割については、まだあまり理解されておらず、この問題が、IPCC 報告書で直接評価されたこともない。しかし、この分野は、活発な理論研究や実験研究がされている分野であり、その理解における急速な進展が期待できる。

[WGII TAR セクション 13.2.2]

6.3 沿岸および海洋生態系の生物多様性で予測される変化

海洋と沿岸のシステムは、多くの人間の活動（例、沿岸開発、観光、土地区画整理、汚染、一部生物種の過剰な利用）により影響を受けており、特に珊瑚礁、マングローブ、海草、海岸湿地、ビーチでの生態系の劣化につながっている。気候変化は、異なる時間や空間規模において、海洋や沿岸の物理的、生物的、および生物地学化学的特性に影響し、その生態的構造や機能を変化させる。このことは、逆に、気候システムにフィードバックする可能性がある。

6.3.1 沿岸地域の生態系で予測される変化

珊瑚礁は、海面表層温度が、季節的な最大値よりも 1 以上、上昇するだけで、有害な影響を受ける。珊瑚の白化は、2100 年には、海面温度が少なくとも 1 - 2 上昇すると予測されていることから、広範囲に見られるようになる可能性が高い。（珊瑚礁で観測された影響についてはセクション 5.2 参照）短期的には、海面表層温度が 3 以上増加するなら、またこの増加が数ヶ月の期間維持されるなら、珊瑚の広範囲な死滅をよぶ可能性が高い。加えて、大気中 CO₂ 濃度の上昇は、そしてこれによる海洋 CO₂ の増加は、珊瑚礁での植物や動物による石灰骨格（珊瑚礁石灰化）形成能力に影響し、CO₂ 大気濃度の倍増は、珊瑚礁の石灰化を削減し、珊瑚の垂直方向での成長能力、そして海面水位上昇の速度についている能力を削減させる。海面表層温度上昇と CO₂ 濃度上昇の全体的な影響は、珊瑚礁での種の多様性の削減を生み、珊瑚礁システム内での有害動植物や病気の発生頻度をより頻繁にする可能性がある。珊瑚礁生態系の生産性削減が、鳥類や海の哺乳類に与える影響は、相当なものと思われる。[WGII TAR セクション 6.4.5, 17.2.4]

海面水位の上昇や他の気候要素の変化は、低地高地域での一連の淡水湿地に影響をおよぼす可能性がある。例えば、熱帯地域では、低地高の洪水原野やこれに伴う沼地が、海面水位上昇や、より強いモンスーン豪雨、より大きな潮汐や高波の組み合わせにより、塩水生息地に置換される可能性がある。淡水帯水層への塩水の浸入もまた、大きな問題となる可能性を持つ。[WGII TAR セクション 6.4, 17.4]

現在浸食されているビーチやバリアーは、気候が変化し、海面水位が上昇するにつれて、さらに浸食されると予想される。海面水位上昇の加速化以外の理由による沿岸の浸食は、すでに多くの沿岸線で問題となっているが、海面水位の上昇により悪化する可能性が高く、これは、沿岸の生物多様性に悪影響を与える。海面水位の 1m の上昇は、トンガのトンガタブ島の陸地面積を 14%（1030 ヘクタール）失う原因となり、またマーシャル諸島のマジロ珊瑚礁の 80%（60 ヘクタール）を失う原因となると予想され、これに伴い、全体的な生物多様性も変化すると見られる。同様なプロセスは、キューバの固有植物種や、ハワイや他の諸島の絶滅が危惧される繁殖鳥類に影響し、サモアでのトビギツネ（こうもり類 訳注、Pteropus sp.）といった重要な花粉媒介動物の喪失にも影響すると見られる。[WGII TAR セク

シヨン 6.4.2, 14.2.1.5, 17.2.3]

地球規模では、沿岸湿地の約 20% が、2080 年までに失われる可能性があり、これは海面水位の上昇によるものですが、地域により大きく異なる。そのような損失は、主に人間の活動からくる湿地喪失という別な悪い傾向を強化する。[WGII TAR セクション 6.4.4]

海面水位上昇が沿岸の生態系（例、マングローブ、沼沢地、海草）に与える影響は、地位により異なり、海からの侵食プロセスや、陸地からの堆積プロセスに依存する。例えば：

- **マングローブが海面水位の上昇に適應する能力は、地域により異なる。**マングローブは、海からの侵食プロセスと、陸地からの堆積プロセスの対象となっている海と陸の狭間地帯を占めている。このため、気候変化がマングローブに与える影響は、これらのプロセスと海面水位上昇の間の相互作用の方程式である。例えば、堆積負荷が高く、浸食プロセスが小さい、低地沿岸地帯にあるマングローブは、堆積物がマングローブ林のための新しい生息地を作ることから、海面水位上昇により良く対応できる可能性がある。マングローブが海面水位上昇に応じて、内陸部に移動できないような場合には、システムの崩壊となる可能性がある。（例、ジャマイカのポートロイヤル湿地）[WGII TAR SPM, WGII TAR セクション 6.4.4, 14.2.3, 14.3, 17.2.4]
- **一部の地域では、現在の沼沢地高度上昇の速度が、相対的な海面水位上昇を打ち消すには十分でない。**沿岸沼沢地の海面水位上昇に対する反応は、堆積物の供給と沿岸奥地の環境により影響される。一般的には、沿岸沼沢地の増大が、海面水位の上昇と海面水位上昇率での変動を追従するが、増大の持続可能な最大速度は、変化する。体積の供給が小さい地域、または沿岸奥地の環境に固定化された社会構造基盤を含む場合には、沼沢地最前部の侵食が海面水位上昇に合わせて起き、沿岸湿地の広大な損失の原因となる可能性がある。[WGII TAR セクション 6.4.4]
- **裾礁や堡礁の、嵐や堆積物供給の影響を削減する能力は、海面水位上昇により悪影響を受ける可能性がある。**裾礁や堡礁は、沿岸線への嵐の影響削減やビーチへの堆積物供給において、重要な機能を担っている。もしこれらのサービスが削減されるなら、海岸線から陸地に向けての生態系は、より曝露された形となり、このため、変化にいつそう弱くなる。これらの劣化や喪失は、大きな経済的影響をもつ可能性がある。[WGII TAR セクション 6.4.1-2]
- **堆積物供給の利用可能性は、気温の上昇や海面水位上昇の結果としておきる水深の増加とあわせ、海草の生産性と生理学的な機能に悪影響を与える。**これは、海草の底敷きに依存する魚類の個体数にもマイナスの影響を与えると見られている。さらに生計を「安定した」沿岸環境に頼っている場合が多い小島嶼の多くでの経済基盤を損なう可能性がある。

[WGII TAR セクション 6.4.4, 17.4.2.3, RICC セクション 9.3.1.3]

- **堆積物の供給低下、地盤沈下、その他の負荷の結果、劣化しているデルタ地帯は、加速化する氾濫、海岸線後退、湿地の劣化に特に敏感である。**デルタ地帯は、ローヌやエプロ、インダス、ナイルのデルタ地帯に見られるとおり、人為的な堆積供給削減の悪影響を悪化させる海面水位上昇に特に敏感である。地下水のくみ上げは、地盤沈下、そしてタイや中国で予想されているようなデルタ地帯の脆弱性を増加させる相対的な海面水位の上昇を生む可能性がある。局地的な地盤沈下や相対的な海面水位上昇が、堆積物の蓄積とバランスしない場所では、洪水プロセスや海洋プロセスが優勢となり、波の浸食によるデルタ外側の土地の大規模な流失につながる。例えば、予想される海面水位上昇では、アマゾンやオリノコ、そしてパラナ/プラタのデルタ地帯の大きな面積が影響を受ける。

もし堆積物の運搬と、その場での有機物の生産から生じる垂直方向の増大率が、海面水位の上昇に追いつけない場合には、湿地土壌が水浸しになることで、成長しつつある植生の死滅や、地下茎の質量の分解による高度の急速な喪失、そして究極的には水没や下層の浸食につながる。

- [WGII TAR セクション 6.4.1-3]

6.3.2 海洋生態系で予測される変化

21 世紀中、海面表層温度や、風速、栄養物質の供給、そして太陽光で予想される変化もあり、多くの地域の海洋におけるプランクトンや海洋生産性の平均的な分布は、変化する可能性がある。大気中のCO₂濃度上昇は、海水のpHを減少させる。もし海洋での成層が深海から表層水に運ばれる主要栄養物質の供給を削減するなら、表層への栄養物質の供給は、減る可能性がある。深海からの栄養物質の供給に限られる地域では、成層化は、海洋の生産性を削減し、このため生物学的プロセスによる炭素の運び出しの力も削ぐことになり、また一方、光（太陽光 訳注）が限られている地域では、成層化は、海洋生物の光への曝露を高め、これにより生産性を増加させる。[WGII TAR セクション 3.2, 5.5.2.1]

気候変化は、海洋生物相の豊かさと分布には、プラスとマイナスの両方の影響を与える。漁業や気候変化の影響は、魚類や貝類の力学に影響する。海洋システムへの気候変化の影響には、海面表層温度からくる、海洋生物相の地理的な分布での変化、生物多様性での構成上の変化、特に高緯度でのそれが含まれる。影響の程度は、種や集団の特性、そして地域特有の条件により、かなり広い範囲の中で多様な値をとる可能性が高い。予想される気候変化が、太平洋西部および中央部の温暖な水の塊の大きさや位置にどう影響するかは不明だが、もしエルニーニョのような状況がより多く発生するなら、マグロの量的な中心の東方向への移動が、より持続的におきる可能性がある。北太平洋の温暖化は、ベニザケ（*Oncorhynchus nerka*）の分布を抑え、基本的に北太平洋から追い出しベーリング海へと追い込むことになる。太平洋でのアリューシャンの低気圧の強さと位置と商業上重要な魚類の多くにおける生産性傾向との間には、明確なつながりがある。[WGII TAR セクション 6.3.4]

気候変化は、食物連鎖、特に海の哺乳類を含めた食物連鎖に影響を与える可能性がある。例えば、北極での不凍期の延長は、ホッキョクグマの絶食期間を長引かせ、その栄養状態や繁殖の成功、さらに究極的には、アザラシの個体数増加に影響する可能性がある。氷冠の減少とアザラシへのアクセスの減少は、ホッキョクグマやホッキョクギツネの狩の成功を制限し、クマとギツネの個体数削減を生む。北極や南極での海水の削減は、海の哺乳類の季節的な分布や、地理的な生息範囲、移動パターン、栄養状態、繁殖の成功、そして最終的にはその個体数の多さを変化させる可能性がある。

[WGII TAR セクション 6.3.7]

海洋生態系は、気候関連要素により影響を受ける可能性があり、これらの変化は逆に、気候システムへの追加的なフィードバックとなる可能性がある。生物学的な反応での長期予想は、変化する気候体制の下での海洋上層の物理的および化学的条件に関するシナリオの不適切さと、CO₂分圧増加に対する種の生理学的な適応や遺伝的な適応に関する理解が欠けていることが妨げとなっている。一部の植物プランクトン種は、大気中に硫化ジメチルを放出する結果となり、これは、雲の凝集核形成につながるとされる。こういった植物プランクトン種の量や分布での変化は、気候変化への追加的なフィードバックを生む可能性がある。[WGII TAR セクション 3.2.3, 5.2.2]

6.4 脆弱な種と生態系（陸上、沿岸、海洋系）

地球の生物種の多くは、自然のプロセス、そして人間の活動からくる圧力により、すでに絶滅の危険性を持つ。気候変化は、多くの絶滅が危惧される種や脆弱な種へのこれらの圧力に追加することになる。いくつかの生物種にとって、気候変化は、現存圧力の一部を緩和する可能性もある。

一部の生物種は、他の生物種よりも気候変化に敏感である。気候上の生息範囲が限られており、そして / または生息地に関する必要条件が抑制的である生物種は、絶滅に対してもっとも脆弱なものである場合が典型である。多くの山岳地帯では、狭い生息条件を持つ固有種があり、これらは、より高い高度に移動できなければ、失われてしまう可能性がある。島に限定された生物相（例、鳥類）、または半島に限定された生物相（例、南アフリカ南端の fynbos 地域を含めた、ケープ・フローラル・キングダム）は、同じような問題に直面する。さらに、特定の生理学的および季節学的痕跡を持つ生物相（例、ウミガメやワニなど温度に依存して性が決定される生物相や、浸透性の皮膚と卵を持つ両生類）は、特に脆弱である。これらの生物種への気候変化の影響は、直接の生理学的ストレスや、生息地の喪失や変化、そして / または攪乱体制の変化による可能性が高い。生息範囲が制限された場合、生息地が減少した場合、そして個体数が減少した場合、生物種の絶滅する確率は、高くなる。これと対照的に、広範囲な分割されていない生息範囲、急速な分散メカニズム、そして大きな個体数を持つ生物種は、絶滅の危険性が少ないのが通常である。一部の絶滅危惧種にとり、生息地の利用可能性（例、温水魚類種は、寒冷地の浅い湖で、（温暖化の一訳注）恩恵を受ける）は、増大し、脆弱性を軽減する可能性もある。

[WGII TAR セクション 5.4.1, 5.7.3, 17.2.1, 19.3.3.1]

多くの生物種にとり絶滅の危険性は増大し、特に、少数の個体数、制限されたまたは細分化された生息地、気候上の生息範囲限定、低地の島嶼または山頂付近での発生といった要素によりすでに危険性のあるものにとり、増大する。多くの動物種とその個体数は、すでに絶滅が危惧されており、また現在の生息地の一部を不適切なものにする気候変化と、生息地を細分化し、種の移動の障害を作る土地利用の変化との相互作用により、大きな危険性にさらされると思われる。適切な管理がされないなら、急速な気候変化は、他の圧力要素とも結びつき、現在絶滅が大いに危惧されると分類されている多くの生物種や、絶滅が近いとレッテルを貼られているいくつかの生物種を、より希少なものとし、これにより、21 世紀中により絶滅に近くさせる。[WGII TAR セクション 5.4.3, 17.2.3]

地理的に制限されている生態系は、気候の変化に脆弱である可能性がある。地理的に制限された脆弱な生態系の例には、次のものが含まれるが、またこれに限られない：珊瑚礁、マングローブ林や他の沿岸湿地、高山生態系（200m から 300m 以上）、大草原湿地、残された原生草原、永久凍土上の生態系、氷端の生態系。これら生態系の一部に対する特定の脅威に関しては、このペーパーの別な箇所でも精しく論じられている。

気候変化が生物多様性に与える影響での地域的な変動は、生物多様性喪失の駆動要素における多元的な相互作用から、予想されていた。例えば、専門家による評価と定量的なモデル化に基づいたある研究では、地中海気候での生態系と草原生態系が、今世紀中に生物多様性で最大の相対的变化をとげる可能性が高いと結論づけており、これは、生物多様性変化の全ての駆動要素での大きな影響によるものであるとしている。これらの研究では、生物多様性の低下を決定付ける上で最も優勢な要素は、極地帯での気候変化と熱帯での土地利用の変化であると結論付けている。温帯の生態系は、そこでの主要な土地利用

の変化がすでにおきてしまっていることから、生物多様性の変化は最小となると予想されている。
[WGII TAR セクション 3.3.3.3, 5.2.3.1, 6.4, 19.3]

多くの重要な保全システムを、面積的に広げたり、別な保全地域とつなげたりする必要があるかもしれないが、そのような拡大は、一部ではただ単に拡大する場所がないということで、不可能である。多くの生物種が気温の上昇に伴い極地方向または高高度へと移動すると見られ、保全地域の場所も、そのような移動を認める必要があるかもしれない。このことは、より大きな面積を保全するか、分散回路でつなげた適切設計の保全ネットワーク形成を必要とする可能性がある。(セクション 8 参照) こういった努力があっても一部の生物種は保全できない、というのは、現在すでに可能な限り極地方向で最大または高度で最高のところにある、または小島嶼に限定されているからである。

[WGII TAR セクション 3.2.2.4, WGII TAR ボックス 5-7]

6.5 生物多様性の変化による地域および地球の気候への影響

遺伝上のまたは種での生物多様性の変化は、生態系の構造および機能の変化、さらにはこれらが、水や炭素、窒素、その他の主な生物地球化学サイクルとの相互作用の変化に結びつく可能性があり、このため気候にも影響する。気候変化や他の圧力に対応した、生態系や景観規模での多様性の変化が、地域や地球規模の気候にさらなる影響をおよぼす可能性がある。温室効果ガスの大気中での混合は急速であることから、微量気体の流れの変化は、地球規模なら影響をおよぼす可能性が最も高く、一方、水やエネルギー交換での変化から気候へのフィードバックは、局地的、地域的に起きる。

気候変化や人間による攪乱を理由としたコミュニティの構成や生態系の分布での変化は、地域や地球の気候に影響するフィードバックにつながる可能性がある。高緯度地帯では、温暖化に関係したコミュニティ構成および土地表面での変化が、気候へのフィードバックを変化させる可能性が高い。ツンドラは、亜寒帯林よりも冬季のアルベドが 3 倍から 6 倍高くなっているが、夏季のアルベドやエネルギー面での区画は、ツンドラや亜寒帯林の中の生態系同士での違いのほうが、これら二つの生物相であるツンドラと亜寒帯林の間の違いよりも、より大きくなっている。もし表面の温暖化が続くなら、アルベドの減少が冬季のエネルギー吸収を強化し、融雪がより早くなり、また長期的には森林の生育線が極地方向に移動することにより、地域の温暖化にプラス方向でのフィードバックとして作用する。表面の乾燥化や優勢な生物がコケから維管束植物へと変化することは、生育の活発な季節でのツンドラの顕熱フラックスを増進し、地域温暖化を推進する。しかし、亜寒帯林での火災は、火災後の草類や落葉樹林の生態系の方が、火災前の一連の植生よりもアルベドが高く、顕熱フラックスが低いことから、寒冷化を促進する可能性がある。北方湿地は、地球の大気中へのメタン CH₄ 排出では、5-10%を占める。温度や水分、コミュニティ構成が変化するにつれて、そして永久凍土が融解するにつれて、北方湿地からは大量の温室効果ガスが放出される可能性があり、これは気候温暖化にさらなるプラスのフィードバックを与える可能性がある。[WGII TAR セクション 5.9.1-2]

樹木の植生の長期伐採や喪失に結びつくような人間の活動は、大気中の温室効果ガスに寄与するところが大きく、これは引き続きそうである。多くの場合、森林伐採に伴う種の多様性の喪失は、もともとの森林よりも炭素含有量が極端に劣る、野焼きそして / または放牧で管理された比較的 (生物) 多様性の少ない草原への転換を長期的なものにする。森林後退および森林伐採の活動は、1990 年代の温室効果

ガス排出の約 5 分の 1 ($1.7 \pm 0.8 \text{GtC/年}$) を占め、その大半が、熱帯地域の森林伐採であった。1850 年以後、土地の開墾により大気中に放出された量は、全部で $136 \pm 55 \text{GtC}$ であった。

[SYR Q2.4, LULUCF セクション 1-2]

土地表面の変化で作られるものなど、土地表面の特徴における変化は、エネルギーや水、ガスフラックスを変えさせ、大気構成に影響を与えて、局地的な、地域の、そしてグローバルな気候の変化をもたらす。蒸発散やアルベドは、局地的な水のサイクルに影響を与え、このため、植生面積の削減は、局地的な、そして地域規模での降水量削減と、干ばつの頻度および持続期間の変化につながる可能性がある。例えば、アマゾン川流域では、少なくともその降水量の 50% が、流域内からの蒸発散を起源としている。非森林化は、蒸発散を減らし、これにより、降水量を 20% 近く減らして、季節的な乾季を生み出し、局地的な表面温度を 2 上昇させる。このことは、逆に、湿潤熱帯林の面積を削減させ、またそれを、花としては貧弱な干ばつに強い落葉樹、または乾燥熱帯林や林地に置き換えられる結果となる可能性がある。[WGI TAR セクション 3.4.2, WGII TAR セクション 1.3.1, 5.7, 14.2, RICC セクション 6.3.1, WGII SAR セクション 1-4.1]

6.6 伝統的な先住民で予測される変化

伝統的⁸そして先住の民族は、多くの物質とサービス（例、森林、沿岸湿地、草原からの食料や薬品）において、生態系からの多様な資源や生物多様性自体に直接依存している。こういった生態系は、気候変化で悪影響を受けると予想されており、現在すでに数多くの人間活動からのストレスにさらされている。

先住民の生活は、気候や土地利用の変化が、生息地の喪失を含めた、生物多様性の喪失につながる場合、悪影響を受ける。多くの伝統的なそして先住の民族、特に北極でのこうした民族にとり、貴重な食料資源である、カリブーや海鳥、あざらし、ホッキョクグマ、ツンドラ地帯の鳥、その他ツンドラで草を食む有蹄類などの生物種は、悪影響を受けることが予想されている。珊瑚礁の生態系は、多くの物質やサービスを提供しており、これらに気候変化を原因とする変化がおきるなら、これらに依存する多くの人々にも影響をおよぼす。一部の陸上生態系では、適応オプション（例えば、効率的な小規模または庭園用灌漑、効果の高い降雨依存農業、収穫パターンの変更、間作（複式収穫法）そして/または水の要求量の低い作物の利用、保全耕作、燃料用のわい林栽培）が、一部の影響を緩和し、また土地の劣化も低減する。[WGII TAR セクション 5.5.4.3, 5.6.4.1, 6.3.7, 17.2.4, WGII SAR セクション 7.5]

気候変化は、北極地方の先住民が伝統的に行ってきたものに影響し、特に、漁業、狩猟およびトナカイの畜産に影響する。高緯度の海洋漁業は非常に生産性が高い。海水、海流、栄養素の量、塩分濃度、そして海水の温度での気候を誘因とする変化は、さまざまな魚類種の、移動ルートや個体数の構成、そして究極的にはその漁獲量に影響する。気候の温暖化は、畜産手法も変える可能性が高い。動物が飼葉やコケ、草を得られないようにする凍結表面を伴った深雪の存在や、重点的な放牧からくる植生の破滅、温暖な気候により南方からの雑草種のはびこりを助ける土壌の曝露、そしてツンドラでの火災発生回数増加からくる損害の可能性増大も、懸念材料に含まれる。[WGII TAR セクション 16.2.8.2.5-6]

⁸ 「伝統的な人々」とは、ここでは、農村部の生活様式である場合が多い、伝統的な生活様式で暮らす、地方の人々をさす。伝統的な人々は、その地の先住民であるかもしれないし、そうでないかもしれない。

気候変化を原因とする野生生物種の生息時機や範囲での変更は、一部の先住民族の生活の文化や宗教面に影響を与える可能性がある。多くの先住民族は、野生生物種を、その文化あるいは宗教上の儀式に欠かせないものとして利用している。例えば、鳥類は、プエブロ族インディアン（米国）の社会に強く溶け込んだ存在であり、鳥類は、神への使い、霊界との結びつきとみなされている。ズンニ族インディアン（米国）の間では、72 の異なる種の鳥の羽を使った祈祷杖が、霊界への献上物として用いられる。アフリカのサブサハラ民族の多くは、文化や宗教の儀式に、動物の皮や鳥の羽で作った衣装をまとうのであり、首長や司祭はそのようなスカートや頭飾りをつけるなどする。例えば、ボラン族（ケニア）の儀式では、各民族の首長の選ばれたものたちが、ダチョウの羽を必要とする儀式を執り行う。野生生物は、世界の他の地域でも文化上、似たような役割を果たしている。[WGII TAR セクション 5.4.3.3]

海面上昇と気候変化は、他の環境上の変化ともあいまって、沿岸地帯での非常に重要で独自の文化的または宗教的な聖地の全てではないが一部に影響をおよぼし、これによりそこに居住する人々にも影響する。南米の沿岸部の多くにある共同社会は、海面水位上昇や浸水により劣化または破壊される生息特性に関係した美的なそして宗教上のものを含めた伝統的な価値観を確立している。ポリネシアやメラネシア、そしてミクロネシアで千年紀にわたり発展してきた独自の文化は、この地域にある資源が豊かで多様な火山性、石灰性の島々に依存しており、例えば、バヌアツ、フィジー、サモアなどは、気候変化の深刻な脅威にさらされる可能性が低い。その一方で、資源に乏しく、低地の珊瑚礁の島や環礁も、ツバルやキリバチ、マーシャル諸島、モルディブのそれぞれの文化など、何世紀かにわたって同じように特異な伝統的特長を発展させてきたのであり、これは、海面水位の変化や嵐による高波により影響を受けやすく、またこのため、これらの文化的な多様性が、深刻な脅威を受けうる。北極地域の先住民族は、気候の変化に特に影響されやすい。氷の多い永久凍土の融解の結果おこる沿岸の侵食や後退は、すでにこれら共同社会やその伝統的な居住地を脅かしている。[WGII TAR セクション 16.2.8.1, 17.2.10]

6.7 地域的影響

生物多様性は、多くの地域にとり重要な問題であることが認識されている。グローバルな観点からすると、各地域には、異なる量の生物多様性が、それぞれ異なる水準の固有種を持って存在している。各地域での生物多様性への主な影響については、ボックス 5 から 12 にまとめた。生物多様性は、人間が依存するむっ室やサービスの多くの土台となるものであることから、生物多様性への影響が人間の生活に与える影響結果も調査されており、これには、伝統的なそして先住民族への影響も含まれる。

ボックス 5 : アフリカでの生物多様性と気候変化の影響
[WGII TAR セクション 10.1.2, 10.2.3.2.2, RICC セクション 2.3]

地域特性 : アフリカは、地球の陸地面積の約 1 / 5 を占める。この地域では、気候、地形、生物相、文化、経済状況の多様性も大きい。主に熱帯の暑く乾燥した地域であるが、南および北の端と海拔の高いところでは、温帯（涼しい）気候が、面積は小さくても存在する。人口の大半は、準湿潤地帯や準乾燥地帯に住む。南回帰線と北回帰線に合わせて広がっているのが、カラハリーナミブーサハラの大砂漠地帯である。大半のアフリカ諸国の公式、非公式な経済は自然資源に強く依存する、つまり、農業や、放牧、材木の切り出し、エコ観光、鉱山業である。多くのシステム、特に熱帯林や草原では、生物多様性の喪失や陸地および水生の生態系劣化につながるような土地利用システムそして人口からの圧力による脅威にさらされている。

生物多様性での重要な特徴 : アフリカは、世界で知られている植物や、哺乳類、鳥類の全ての種の約

1 / 5、両生類や爬虫類の種の 1 / 6 が存在する。この生物多様性は、いくつかの風土の中心地に集まっている。アフリカ南端の 37000 平米を占めるに過ぎない Cape Floral Kingdom (ケープフローラルキングダム (花の王国岬) 現地ではフィンボスと呼ばれる植生にほぼ対応する) には、7300 種の植物があり、その 68% は、世界のどこにもない種である。これに隣接するアフリカ南部西岸の Succulent Karoo (サクレン・カルー) には、4000 種があり、うち 2500 種が固有種である。

その他の固有植物の主な中心地としては、マダガスカル、カメルーン山岳部、そして 2000m 以上の高度でエチオピアから南アフリカまで広がる島状のアフロマウンテンがある。アフリカの哺乳類における豊かな生物多様性 (特に有蹄類での) は、サバンナや熱帯林に位置する。世界のアンテロープやガゼル類での生物多様性が、アフリカに集中 (世界全体の 80 種のうち、90% 以上) している。大陸の土地面積にして平均 4% まで (国により 0 から 17% と異なる) が、保全地域として正式に宣言されている。この大陸の集約農地転換率は比較的低いことから、アフリカの生物多様性の大部分 (特に中央アフリカや北アフリカ) は、正式な保全区域の外にある。

アフリカ南部に住む鳥類の種の 1 / 5 がアフリカ内での季節による渡りを行い、さらに 1 / 10 は、アフリカと世界のそれ以外の地域の間で毎年渡りを行う。アフリカ全体でも似たような割合と想定される。アフリカ大陸内での主な渡りのパターンの一つが、アフリカ南部で南半球の夏を過ごし、冬季にはアフリカ中央部にいる水鳥である。旧北地域 (Palaeartic) への渡りをする種は、ケープタウン近くの Langebaan 環礁のような場所で南半球の夏を過ごし、シベリアの湿地で北半球の夏を過ごす。

社会経済的なつながり: サヘル、カラハリ、カルーといった準乾燥地帯は、移動により一年中での季節降雨や年間の変動性の大きさに対処する遊牧民社会を、歴史的に支えてきた。遊牧システムは、移動に十分な範囲があり、一定の社会的な安定があるなら、気候の変動や極端な気候 (これに対処するために発展してきたシステムであることからしても) に対し本質的にかなりの強さを持っている。1970 年代以後のサヘル地域の長期的な乾燥傾向は、遊牧民にとり、もっとも湿潤な端にある移動先地域がすでに密度高く利用されていることと、より乾燥した端では持続的な給水点が使えなくなったことにより移動できなくなった場合の、遊牧民グループの脆弱性を実証した。この結果、人命や家畜の喪失が拡大し、社会システムに少なからぬ変化がおこった。

アフリカの生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる:

- 何千もの植物が気候変化の影響を受ける可能性があり、特に、fynbos や Karoo という多様な花をつけ、両方ともこの大陸の南端の冬季降雨地域に生息する植物種は、季節的な降雨の移動による脅威を受ける。(例、冬季の降雨量削減または夏季の降雨量増加は、fynbos の再発生にとり重要である火災体制を変化させる。) 山岳部での生物多様性の中心 (例、東アフリカ山岳部など) は、垂直方向および水平方向への移動の可能性がなく、隔離された個体数であるものが多いことから、気温の上昇の脅威を特に受けやすい。サハラ砂漠の面積拡大は、旧北区 (Palaeartic) に向かう渡り鳥により長い移動距離を押し付けるため、その生存にマイナスの影響を与える可能性がある。
- 21 世紀で予想される気候の変化は、アンテロープ種 (訳注: ブラックバック属?) の分布を変化させる可能性がある。
- 主要な河川は、気候の変動性に特に敏感である。アフリカの地中海沿岸や南部の諸国では、平均的な流量や水の入手可能性が減少すると予想され、これら諸国での生物多様性に影響する。プランクトンを食べる沖合淡水魚の漁では、減少予測の可能性が指摘されている。
- アフリカにはいくつか、地球規模でも重要な湿地帯が存在する (例、Okavanga Delta (オカバンガ・デルタ)。流量の減少は、これらの資源面積の削減につながる可能性がある。
- 感染症媒介動物の生息範囲は拡大する可能性があり、一部の野生生物種に影響を与えかねない。媒介昆虫や病気の季節学は変化すると見られ、農業や林業で損失の増加を生む可能性があるほか、多くの生態系に未知の影響を与える可能性がある。
- 干ばつや洪水その他の極端な現象の増加は、多くの生態系にとり、追加的なストレスとなる。
- 平均降雨量の減少や平均蒸発要求量の増加は、砂漠化を悪化させ、そのどちらかまたは両方とも、特にアフリカ南部、北部、西部での、流量や土壌湿度の削減につながると見られる。
- 主要な生物多様性喪失の危険性が特に高いのは、平地や広大な景観地域に住み、移動が限定される植物および動物であり、これらの地域では、降雨体制の季節性が変化する可能性があったり (例、ケープタウン南部) 樹木と草のバランスが CO₂ の状況そして / または気候変化に敏感であった

り、火災 / 他の攪乱体制が変化する可能性があったりする。

- 気候変化に特に脆弱な生態系としては、Fynbos や一部の草原地帯 (Karoo を含む) 温帯降雨林 / 山岳森林、そして乾燥地帯 / 準乾燥地帯にある湿地 (特に水辺の) が含まれる。
- アフリカの人々にとり重要な資源である場合が多い植物種や動物種が、局地的に顕著にそして地球規模で絶滅することは、農村の生活や観光、遺伝資源に影響すると見られ、予想される。

ボックス 6 : アジアでの生物多様性と気候変化の影響

[WGII TAR セクション 11.1.4, 11.2.1, RICC セクション 7.3, 10.2, 11.2.3]

地域特性 : アジア地域は、広範囲な気候上および地理学上の特徴に基づき、4つの地域内地域に分けられる：亜寒帯、乾燥地帯および準乾燥地帯、温帯、そして熱帯のアジアである。この地域の一部では、長年にあたる人間の活動が、その景観に大きな変貌をもたらしてきた。亜寒帯林を除いた多くの森林が伐採されるか劣化している。広大な平野部は、所によっては何千年もの間、耕作や灌漑が行われており、放牧地 / 草原は、家畜の放牧に利用されてきた。アジアの淡水生態系は、植物相、動物相とも高い多様性を有している。

生物多様性での重要な特徴 : アジアの温帯林は、その風土固有性が高く、また生物多様性も大きいことから、地球規模でも重要な資源である。熱帯アジアは、生態系としても生物多様性に富んでおり、これには、現在の作物種やその先祖そして熱帯林の生物種での多様性が含まれる。この地域の一部は、世界のこの地域を原産とする非常に多くの作物種や、そのほかの経済的に重要な植物の生物多様性の中心地と目されている。アジアの森林には、世界の陸上植物種や動物種の 50%以上が生息しており、東南アジアの雨林だけでも、世界の植物相多様性の約 10%を含んでいる。熱帯の多湿林や森林地帯は、一部の国にとり、燃料となる木材の大半を提供する重要な資源地帯である。ヒマラヤには、世界で知られている高高度植物種や動物種の 1 / 10 が生息する。高緯度や中緯度地域の一部も、多くの作物種や果樹種の原産地であり、そのため、その野生近親種の重要な遺伝子資源である。

社会経済的なつながり : 主な淡水生態系は、土地利用や土地表面の変化、娯楽活動、汚染によりストレスを受け、主要河川の流れも、河口を含めた川下での工業開発プロジェクトや、水力発電により影響を受けている。また水中生息地の変化は、低い渓谷やデルタ地帯での漁業に影響し、栄養分の豊富な堆積が無いことは、魚類の生産性に有害な影響を与える。低い渓谷の集水部の流量減少も、富栄養化や水質劣化という結果をもたらしている。

アジアの準乾燥地帯の多く (主に中央アジアでのそれ) は、放牧地 / 草原と分類される。人間や家畜は、この地域での放牧に大きく依存しており、国内家畜頭数のほぼ 2 / 3 が放牧地に支えられている。放牧地のうち約 10%は、土壌に一定の制約がある地域と分類されており、これらの地域は、顕著な土壌劣化か、砂漠化の進行を示している。モンゴル草原の約 70%は、劣化に直面している。高高度地帯の一部では、土地の劣化や資源の過剰利用により、生物多様性が喪失されるか絶滅の危機にあるとされている。(例、1995 年には、ヒマラヤで知られている生物種の約 10%が「絶滅が危惧される種」に記載されている。)

現在の急速な都市化や工業化、そして経済発展は、汚染増加や、土地および水の劣化、そして生物多様性の喪失を生んでいる。

アジアの生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- 高高度生態系の生物種は、より高い高度に移ると予想される。高度の高い地域では、植生の変化率が緩慢であると予想され、集団生息地が作られるかどうかは、ヒマラヤ山岳部の高度に分画化された険しい地形などでの侵食の進行や地表水流により、制約される。生態学的許容度の大きい雑草 / 外来種は、他よりも優位性を持つ。温帯アジアでは、生物種が極地方方向に移動する可能性が大きく、亜寒帯林の生物種は、次の 50 年間で大幅な移動 (400km まで) を示すと予想される。
- 中国北東部の針葉樹林は減少する可能性があり、中国東部の広葉樹林は数百 km まで北方に移動する可能性がある。亜寒帯林での森林火災や有害動植物の発生の頻度そして強度は、増加する可

能性が大きい。アジア亜寒帯の森林生態系は、洪水や、流量の増加、そして永久凍土の融解の影響を受けると予測される。

- 中国の河口デルタ地帯の生態系は、海面水位上昇により、悪影響を受ける可能性がある。海面水位上昇は、海岸線に沿った淡水湿地への大規模な浸水や、平らな沿岸生息地の後退 / 喪失の原因となる可能性がある。
- 気温の上昇と降水量の減少が予測されることから、水質悪化の可能性がある、富栄養化も悪化する可能性がある。(例、日本のいくつかの湖)
- マングローブ(例、Sundarbans のマングローブなど)や珊瑚礁は、気候変化に特に脆弱となる。Sundarbans は豊かな野生生物多様性を支えており、海面水位の上昇により大きなリスクを負う。これらの沿岸マングローブ林は、ベンガルタイガー、インドカワウソ、まだらジカ、野生イノシシ、河口ワニ、シオマネキ (fiddler crab)、ノコギリガザミ (mud crab)、3種のウミトカゲ、5種の海亀などの生物種を支えている。海面水位が 1m 上昇すると、Sundarbans は、消滅し、ベンガルタイガーやその他の野生生物が消滅する運命となり、現地の人口にも悪影響を与える可能性がある。
- 気候変化は、生産性を減少 (40-60%) させると予測されることから、放牧地への新たなストレスとなる可能性が高く、また多くの人々の生活にも影響する。気候変化と人間の活動の両方は、カスピ海やアラル海の水位にさらなる影響をおよぼし、生物多様性や人々にも影響を与える。

ボックス7：オーストラリアとニュージーランドでの生物多様性と気候変化の影響
[WGII TAR セクション 12.1, RICC セクション 4.3]

地域特性： この地域は、オーストラリア、ニュージーランド、そしてその沖合にある熱帯および中緯度の島々で構成される。全体の陸地面積は、800 万平方キロである。オーストラリアは、熱帯から中緯度にいたる大きくて比較的平坦な大陸であり、栄養価の乏しい土壌と、非常に乾燥した内陸地帯、そして大きく変動する降雨量を持つ。ニュージーランドははるかに小さくて山が多く、割合に湿気がある。この地域の生態系は、200 年前のヨーロッパ人の移住の前も後も、顕著な人間の影響にさらされてきた。両国のどちらも、一般に経済状況や健康状態が低水準な先住民族が、多数存在している。

生物多様性での重要な特徴： オーストラリアやニュージーランドの、隔離された進化の歴史は、非常に高レベルの固有性を生んだ。(例、哺乳類の 77%、鳥類の 41%、植物種の 93% が固有であり、これには多くのユーカリ種が含まれる。) ニュージーランドは、世界の生物多様性における 25 大「ホットスポット (注目場所)」の一つと見られる。西オーストラリアや北クィーンズランドでのこういったホットスポットは、高い固有性レベルを持つ。オーストラリアは、世界最大の珊瑚礁 (つまり、グレートバリアリーフ) を有する。オーストラリアは、12 の「メガ多様性」国として認められた諸国の一つであり、広く利用されているユーカリ属 (Eucalyptus) の原産地である。新規のより適応した生物種の拡散可能性を削減する効果を持つ、森林の分画化が進んだ場所では、森林構成の攪乱が起きる可能性が最も高い。面積的には小さいとはいえ、高山地帯は、絶滅が危惧される生物種のリストに記載されている植物種や動物種の多くにとり重要な地域である。

社会経済的なつながり： この地域の大半は、人間の大きな影響を受けてきており、特にヨーロッパからの移住後の影響が大きく、広範囲な植生の消滅や、管理手段としての火災の利用、そして非原生種の植物や動物の流入といった影響を、特に受けてきた。数百万年間もの隔離が存在したことで、この地域の生態系は、外来種 (例、羊、牛、ウサギ) の導入や、有害動植物、病気や雑草に対し、極めて脆弱である。人間の活動は、多くの生態系での生物多様性喪失 (そして一部の生態系では全体として雑草種の増加) 生態系の細分化、そして二次的な塩水化をもたらしてきた。

オーストラリアでは、放牧地が国土の 3 分の 2 を占め、肉や羊毛の生産で重要であるが、うさぎなどの外来種導入や、不適切な管理があり、家畜生産向けの人間活動によるストレスを受けてきた。これらのストレスは、土地の劣化や、塩化、木質雑草の侵入という問題を引き起こした。

オーストラリアでは、ヨーロッパからの移住当時にあった森林面積の 50% は現在も残っているが、約

半分は伐採された。当然ながら、土地の開墾が、植林を上回り続けているが、これは地域により大きく異なり、主に林地で上回っている。オーストラリアの一部の州における最近の森林保護関連の法規制により、そして炭素隔離に対する関心の増大につれ、森林や林地全体への圧力は減少する可能性が大きい。ニュージーランドでは、原生林面積の 25% が存続しており、その 77% は保全区域に、21% が民有地に、そして 2% が国有地にある。原生林の木材生産に関し法的規制があることで、現在はほんの 4% ほどが生産用に管理されているに過ぎず、再生をしない伐採は、ほぼ止まっている。

湿地は、ラムサール条約や世界遺産の指定を受けたにも拘らず、引き続き脅威を受けている。その多くは、貯水や、水力発電および灌漑計画、ダムや堰そして河川管理作業、沈み木の取り除きや水路建設、流れや水位そして熱システムの変化、毒性汚染、幼生の生育域や産卵そして繁殖区域の破壊、湿地の農地利用で、破壊されている。

グレートバリアリーフは、過剰な開拓やエルニーニョ現象に伴うことの多い珊瑚の白化、そして堆積物や、肥料、防虫剤、除草剤による沿岸水系の汚染増加および汚濁に、直面しているが、依然、世界の他の多くの珊瑚礁よりも（被害の一訳注）程度は小さい。珊瑚の開拓を、生態系として確実に持続可能なものにするという点では前進が見られた。

両国とも、先住民（つまりオーストラリアのトレス海峡諸島のアボリジンや、ニュージーランドのマオリ族）は、伝統的な食事や物資の材料として、そしてその文化的、精神的な意味合いにおいて、多くの陸上、沿岸、海洋の生態系に依存しており、このため、気候変化から悪影響を受ける可能性が高い。オーストラリアの先住民は、特に気候変化に脆弱であり、これはこれらの民族が、一般に気候災害や熱的なストレスにさらされやすい遠隔地農村部、そして水や昆虫の媒介する病気の流行が増加する可能性がより高い地域に、生活しているからである。

オーストラリアとニュージーランドの生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- この地域の大半で予測される乾燥傾向と、より多くのエルニーニョ様状態が平均的となる変化は、多くの生態系、特に準乾燥地帯のそれに影響を与える可能性が大きい。
- 豪雨現象の強度増大や、熱帯性台風の頻度での地域特有の変化は、洪水や高波、風害により、生態系に影響をおよぼす。
- 多くの生物種が適応可能であるが、気候変化は、個々の生態系での全体的な生物多様性を削減させると予想される。
- 気候変化を原因とする降霜や林地構成の変化は、森林や林地の分画化によって、新しく適応した生物種の移動可能性が削減される場所で、おきる可能性が高い。
- 気候変化に対し特に脆弱な生態系には、珊瑚礁や、オーストラリア南西部および内陸部の乾燥地帯および準乾燥地帯生息地、沿岸の淡水湿地、そして高山の山岳部が含まれる。
- ニュージーランドの生態系の一部は、外来種に対し脆弱となる。

ボックス 8：ヨーロッパでの生物多様性と気候変化の影響

[WGII TAR セクション 13.2.2, RICC セクション 5.1.2, 5.3.1.6, WGII SAR セクション 3.2.3]

地域特性：ヨーロッパの大半はもともと森林に覆われていたが、自然の植生パターンは、人間の活動、特に集約農業や都市化を含めた土地利用や土地表面の変更などにより、変えられてきた。最北端の山岳部や、ヨーロッパロシアの北部、東部、中央部の森林地域だけが、人間の活動の影響を比較的受けなかった。しかし大陸の相当な面積は、いったん伐採された土地への植林や再生による森林/林地におおわれている。北ヨーロッパの北極海沿岸地域や、最も高い山岳部の上部傾斜地は、主に地衣類やコケ類、草や灌木で彩られている。北欧の内陸部は、温暖な、それでも涼しい気候であり、針葉樹がある。大西洋からウラルまで大陸の中ほどを貫いている、ヨーロッパ最大の植生地帯は、広葉樹林と針葉樹林の混合地帯である。ヨーロッパ大平原の大部分は、背の高い草で覆われており、さらに東のウクライナでは、背の低い草が生える平坦で比較的乾燥した地域が特徴となっている。地中海地方は、一般に乾燥した温暖な気象条件に適応した植生でおおわれており、地中海盆地の南部や東部では、自

然の植生がより疎らなものとなる傾向がある。

生物多様性での重要な特徴： ヨーロッパは、過去には、鹿やヘラジカ、バイソン、イノシシ、オオカミ、熊といった多様な野生哺乳動物の種類がいた。多くの動物種や、少なくとも局地的には絶滅しているか、個体数が大幅に減少している。しかし一部の脊椎動物種は、局地的に絶滅した後、20世紀になって、再度導入され、一部は、保護や湿地のような生息地の再生により回復してきている。山岳地帯固有の動物種は、その生息地への人間の侵入からも生き残り、シャモアやアイベックスは、ピレネーやアルプスの高山で見られる。ヨーロッパには、依然として多くの小さな哺乳類や、固有の鳥類が残っている。生き残った、高い保全価値を持つものの半自然の生息地は、その大部分が、保護地区の中にあり、このことは、絶滅が危惧される生物種の避難地として特に重要である。自然保全地区は、他の土地利用が圧倒的な景観の中に、生物種生息の「島」を作る傾向があり、ヨーロッパ全体を通して重要な保全投資を形成する。

社会経済的なつながり： 現在のヨーロッパは、高度に都市化された景観の中に細分化された自然の、または半自然の生息地がある地域が圧倒的である。ヨーロッパの大部分は、農業が行われ、面積の1/3は耕地であり、作物は穀物が圧倒的である。自然の生態系は一般にやせた土壤に限られており、農業が、より肥沃な土壤を占めている。ヨーロッパの森林は、気候に敏感である重要な経済部門だが、高い窒素や硫黄の堆積率により影響を受ける。主要な環境上の圧力は、生物多様性、景観、土壤、土地、水の劣化に関係するものである。(主に汚染による劣化)

ヨーロッパの生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- 生態系は、その構成や構造そして機能が変化すると予測されており、一部の生物種の生息範囲は極地方向および高高度方向に伸びる。永久凍土は減少し、樹木や灌木は、北方のツンドラ地帯にまで伸び、広葉樹林が針葉樹林に進出する可能性がある。亜寒帯林の南方では、広葉樹の種が同時進行で増加することから、針葉樹の種が減ると予想される。
- 多くの気候変化シナリオでは、亜寒帯林に適した気候帯が、2100年までに全体として数百メートル北方に移動する可能性を示唆している。
- 山岳部では、高い温度が、生物相や寒帯の高高度方向への移動を生み、また水の循環を攪乱する。生育期間の延長と高い温度の結果、ヨーロッパアルプス地帯は、樹木種の高高度移動により、縮小する。生物種の再分布が行われ、場合によっては、移動が追いつかないまたは気候帯が存在しないことから高高度への移住可能性がなくなるため、絶滅が危惧される。
- 洪水による被害は、ヨーロッパの大部分で増加し、洪水により侵食が進む沿岸地帯では、リスクが大きく、沿岸湿地の喪失を生む。2080年代までで予想される沿岸湿地の喪失は、大西洋沿岸では0-17%だが、バルト海沿岸では84-98%、地中海沿岸では81-100%であり、残った湿地も大きく変貌する可能性がある。このことは、ヨーロッパでの生物多様性、特に越冬する岸辺の鳥(シギやチドリなどー訳注)そして海の魚類個体数に深刻な影響をもたらす。
- 重要な生息地(湿地、ツンドラ、隔離された生息地)の喪失は、希少種/固有種、そして渡り鳥を含めた一部生物種を脅かすことになる。融雪が主体の流域では、河川や湖沼において、春季の最大流量が早まり、また夏季の流量や水位が減少する。これは水の生態系に影響を与える。
- 地中海型の生態系をもつ地域では、気候の乾燥が進むと、植物種の豊富さが減る可能性がある。
- 冬季の気温上昇は、一部の外来種(例、イギリスでの *Nothofagus procera* (ナンキョクブナ属))の分布範囲を拡大させる可能性がある。
- 生物種の生息範囲がすでに細分化されている地域では、さらに細分化が進み、地域での生物種が、持続、適応、移動ができない場合、その消滅を生む可能性がある。
- 気候変動によって、保護地域内の貴重な群落や群れが切り離され、生物種がどこにも行けない状態となる可能性がある。現在、その生息地が温度上の最大限界値近くにある生物種個体数は、気候がこれらの限界値を超えて上昇するなら絶滅すると見られる。気候変化の結果として、自然保全コミュニティは、可能性のある新しい生物種が群落や群れを作るよりも早く生物種が失われ、多くの保全地区では、長期にわたる不毛を生む。このため、自然保全地区での生物学的多様性は、急速な気候変化からの脅威にさらされる。移動をやすくするためには、生息地や生息地回廊(corridor)のネットワークが求められる。

ボックス 9 : 中南米での生物多様性と気候変化の影響
[WGII TAR セクション 14.1.2, RICC セクション 6.3.1, 6.3.3]

地域特性 : 中南米地域は、気候、地形、生態系、人口分布、文化伝統において、きわめて多様性に富む地域である。中南米地域の表面面積は、約 19.93 百万平方キロである。山岳部や平原が、気候帯や水の循環だけでなく、生物多様性を決定付ける上でも重要な役割を果たしている。アマゾン川は、その流域面積で世界でも例のない最大の大河であり、南米の多くの地域で、その水の循環や水のバランスに重要な役割を果たす。土地利用の変化は、生態系での変化の主な駆動力になっている。多くの生態系が、気候変化から予想される追加的なストレスがなくても、すでにリスクにさらされている。この準大陸には、約 5 億 7 千万の動物ユニットがあり、その 80%以上が草原で育つ（訳注：5 億 7 千万頭の動物があり、その 80%以上が放牧地で育つともとれる）。中南米や、世界の耕作地の約 23%を占めるが、他の地域とは対照的に、非集約型管理の生態系が高い割合を保っている。コロンブス以前の文化は、中南米の先住民族社会の大部分が未だに定住している高原地帯での、いくつかの共同社会農業活動から、発展してきた。

生物多様性での重要な特徴 : 中南米は、アマゾンの熱帯雨林や、温帯降雨林、アンデスの Paramos（パラモ）牧草地、灌木地、砂漠、草原、湿地にいたる非常に多様性に富んだ生態系を持つ。牧草地は、中南米陸地面積の約 1 / 3 を占める。森林は地域の約 22%を占め、地球の森林面積の約 27%を代表する。中南米は、陸上および海洋の生物多様性における地球で最大の集中地のいくつかがあるところとして知られており、その遺伝上の多様性は世界でも最も豊かなところの一つである。世界最大の多様性を持ち最も絶滅が危惧されるものの地域のうち、7 つまでが中南米およびカリブ海地方にある。

山岳地帯は、大河の源流地帯であり（例、アマゾンや Orinoco（オリノコ）盆地の支流）生物多様性にとり重要である。アマゾンの雨林は、中南米で最大数の動物種や植物種が生息している。この地域の温帯および乾燥地帯では、多くの作物種の野生や耕作の遺伝型という意味で、重要な遺伝子資源を含んでいる。

沿岸や内陸部の湿地は、非常に高い動物種の生物多様性を持ち、またこの地域の遺伝子上の多様性にも貢献している。世界の珊瑚礁でも最大級の一つが、カリブ海西部の沖合いを占めている。沿岸の林、主にマングローブは、年に約 1%の割合で失われており、魚類や貝類の幼生生育場所や避難場所の減少につながっている。

社会経済的なつながり : 多くの生態系（例、珊瑚礁、マングローブ、そのほかの湿地）がすでに人間の活動により、リスクを負っており、気候変化は追加的なストレス要素となる。多くの先住民族が現地社会は、その生存のための生活と文化的な価値を、多様な生態系（例、森林、サバンナ、沿岸湿地）に依存している。

中南米の生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- 生物多様性の喪失率が増加する
- 温帯（雲霧）林、熱帯の季節的に乾燥した（落葉樹の）森林や灌木地帯、低地の生息地（珊瑚礁やマングローブ）および内陸湿地に悪影響をおよぼす
- 氷河の消失や後退は、氷河の融解を重要な水源とする地域での、流量や水の供給に悪影響をおよぼし、これにより、Paramos（パラモス）の礁湖のような生物多様性に富んだ生態系の季節性にも影響する
- 洪水や干ばつの頻度が増加し、洪水は堆積物を増加し、一部の地域では水質の劣化を生む
- マングローブの生態系は、年 1-1.7%の海面上昇率で劣化するか失われ、一部の魚類の個体数減少を招く
- 気候変化は、山岳地帯農村部ですでに限界近くにある食料生産や水資源の利用可能性を変化させ、また先住民族にとり重要である生物種の多くの生息地を変化させることで、これら山岳農村部の生活様式を破綻させる可能性がある。

- 気候変化は、淡水の魚類や水生生物には、一部有益な影響を及ぼす可能性があるが、種によっては、そして現地レベルでの特定の気候変化によっては、大きなマイナスの影響がありうる。

ボックス 10：北米での生物多様性と気候変化の影響

[WGII TAR セクション 5.6.2.2.1, 6.3.6, 15.1.2, 15.3.2, RICC セクション 8.3]

地域特性：北米地域は、地理、生態系、気候、社会経済的に多様な構造を持つ。高度に都市化され工業化された地帯、集約管理された農業、森林、そして再生可能でない資源の抽出といった全てが、大規模で高度に冠知れた資源と、人間の支配する生態系を示している。しかし、この点からすると、あまり集約管理されていない生態系の大きな面積を占めている。この地域の気温の極限は、-40 から +40 の範囲である。大平原（カナダの大草原を含む）や米国南東部は、世界の他のどの地域よりも厳しい天候（例、雷雨、竜巻、ひょう）を経験している。北米の中の実質上全ての部門では、気候変化に対し、一部の準地域での一定範囲の脆弱性がある。

生物多様性での重要な特徴：森林以外の陸上生態系は、北米で最大（51%以上）の単一土地表面特性を示す。これらの生態系は、極めて多様性に富み、非潮汐湿地（bogs（泥炭性湿原）fen（河口などの沼地）swamp（低湿地）marsh（葦原、沼沢地））、ツンドラ、放牧地（草原、砂漠、サバンナ）そして農地（耕地と牧草地）が含まれる。森林以外の生態系は、大平原西部や、北米の最北端地域では、表面水流や帯水層への再貯水への水源となっている。北米には、世界の森林の 17%までが含まれており、これらの森林は、世界の陸上生物圏炭素の約 14-17%を含んでいる。中緯度地帯では、気候変化や CO₂ の豊饒効果よりも、土地固有の条件や歴史、人間による管理、大気汚染、そして生物の影響（例、草食動物による）が、森林の生産性や分解、そして炭素バランスを支配する、はるかに強い要素となっている可能性がある。カナダは、地球全体の湿地の 24%以下を保有している。高緯度では、顕著な温暖化がおきている強力な証拠が存在する。亜寒帯林は、1 あたり 100km に等しい速度で北方へ拡大しており、比較的温暖で分断された永久凍土での地表温度の上昇とより深い深度までの季節的な融解は、過去数十年の間に、アラスカ中央部で一部の亜寒帯林を、広大な湿地に変えており、またツンドラ地帯では、植物種の構成（特に広葉草本や地衣類）が、変化した。

北米の陸上野生生物の状況は、生物の形態や生息地の関係により、地理的にさまざまである。表 2 に絶滅の危険性がある生物種の数に関する最少数の推定値を示す。北米地域は、（他の地域と比べて）比較的固有種が少ないが、水鳥など一部の渡り生物種では大きな個体数が存在する。最近の研究から、一部の蝶や鳥、即物の分布で気候に関連した変化があり、また鳥の渡りや、産卵、そして植物の季節学や、冬眠する哺乳類が出てくるタイミングでも、移行が見られる。

社会経済的なつながり：中緯度の湿地帯は、過去 200 年間にわたる多様な人間の活動により、大きな影響を受けてきた。米国に本来あった湿地のうち 50%以上は、農業や、家畜囲い、道路建設、その他の活動で破壊され、残された湿地の多くも、伐採や放牧、汚染、水性学的な変化、そして外来種の侵入により、変化している。高緯度の湿地は、人間による攪乱の程度がかなり低かった。牧草地は、飼料や水、野生生物や家畜のための生息地を含めた、多様な物質とサービスを提供し、また娯楽活動のためのオープンスペースも提供する。森林関連の娯楽活動は、北米のあらゆる森林地域での所得と雇用に貢献する。消耗または非消耗の野生生物の利用は、北米の地方経済に何十億ドルもの金額をもたらしている。多くの先住民族社会は、生活のため、狩猟、漁業、その他の資源に基づく活動を行っており、野生生物捕獲の機会や、給与ベースでの雇用における変化によりすでに影響を受けている。気候変化は、野生生物の個体数（特に渡りを行う生物種）や、生息地に影響するものと予想されており、このため、伝統的な野生生物捕獲のパターンに影響を与え、伝統的な生活様式は、消滅の危機にいたるだろう。大陸のツンドラは、イヌイット族の人口の大半が住むところである。また、この地域は、各種渡り鳥の繁殖および営巣地でもあり、カナダ最大のカリブーの群れにとっても主要な夏季生息地域であり、出産地でもあると同時に、先住民族の生存生活にとり欠かせないいくつかの植物種や動物種の生息地でもある。大陸のツンドラは、大幅に縮小すると予想されており、このため、先住民族にも影響を与える（ボックス 11 も参照）

北米の生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- 北米西部の融雪を主体とした流域は、春季の最大流量が早くなり、夏季の流量が減少して、水生の生態系に影響を及ぼす可能性がある。
- 生物種の地理上の範囲は、北方へ、そして高高度方向への移動を続けることが予想されるが、多くの生物種は、気候で予想される変化と同じくらい急速に地上を移動できず、そして/または生息範囲の移動に障壁がある可能性がある。渡りや他の季節現象のタイミングも、変化し続ける可能性が高い。気候変化の速度が速ければ速いほど、生態系の崩壊や種の絶滅が起こる可能性が大きくなる。
- 温度の上昇は、準水生の生態系を削減する可能性がある。渡り鳥や哺乳類の繁殖地や捕食物の生息地の消滅が、大陸からは消滅に近いものと予想されているタイガ/ツンドラ地帯で起こる可能性がある。この地域の一部は、先住民族の生存生活に不可欠な植物種や動物種を支えている地域である。
- 海面水位の上昇と嵐による高波の頻度増加は、沿岸の浸食や、沿岸の浸水、そして特にルイジアナやフロリダおよび米国大西洋岸の大半での沿岸湿地の消滅を拡大する結果となる。北米の沿岸湿地の約 50%が、水浸しとなる可能性がある。一部の地域では、湿地が、上昇してくる海面と工学的な構造の両方の力で、押しつぶされる可能性がある。
- エルニーニョ現象は、北米西岸の漁獲減少と結び付けられており、鮭の生息海域の生産性が減少し、漁獲量の減少につながる可能性もある。
- 川魚の生息地は、米国全体を通して、低温の水では 47%、準低温の水では 50%、温かい水では、14%、削減すると予測されている。
- ツンドラや、一部の沿岸塩水草原、大草原湿地、乾燥地帯や準乾燥地帯の景観、そして冷水生態系といった、集約管理されていない固有の生態系は、脆弱であり、効果的な適応の可能性も少ない。
- 気候変化は、森林地域で一部の攪乱要素（例、火災、害虫の発生）の性質や、規模の変化をもたらす可能性がある。北米西部で年間の消失する亜寒帯林の面積は、感知や消火努力が改善されたにもかかわらず、この地域の温暖化とほぼ同時平行する形で、過去 20 年間に倍増してきている。また気候変化は、一部の昆虫の季節的な変化を加速しているようである。いくつかの有害な昆虫の生息範囲や、発生頻度での変化が、予測されている。これらの変化は、一部森林地帯での基本構造や、生物種の構成を変化させる可能性があり、これには、付随した生物多様性の変化の可能性もある。
- 外来種は、増えることが予想されており、これにより現在の生態系の脆弱性も増すと見られる。

ボックス 11：極地帯での生物多様性と気候変化の影響
[WGII TAR セクション 16.2.3.4, 16.3.1-2, RICC セクション 3.2, 3.4]

地域特性：北極と南極は、世界の陸地面積の 20%を占める。両極地は、多くの点で似たところがあるが、北極が、陸地に囲まれた凍結した海洋であるのに対し、南極が、海洋に囲まれた凍結した陸地である点が異なっている。(IPCC の報告書では、この地域に、南極近辺諸島も含まれている)この極地帯には、非常に多様な景観が含まれており、多くの生物種にとり生息限界に近い地帯である、しかし多くの生物は、その陸上および海洋の生態系で成長している。南極は最も乾燥し、最も低温の大陸であり、木が生えていない。北極には、亜寒帯森林や草の茂みおよび灌木地帯が含まれる。

生物多様性での重要な特徴：北極も南極も、あざらしや鯨といった、海の哺乳類、そして多くの渡り鳥類にとり非常に重要な地域である。ホッキョクグマや、カリブー、ジャコウウシは、北極に特徴的な陸上動物であり、またペンギン類は南極に特徴的な動物である。南極の陸上生態系は、非常な低温の吹きさらしの陸地による制限を受けて、比較的単純なものとなっている。南極の地表で氷に覆われていないのは、2%に過ぎない。いくつかの微小な植物が、主に吹きさらしの岩の割れ目やくぼみに見られ、薄い土壌は、最近や藻類、酵母その他の菌類、地衣類、そしてコケ類の孢子(通常休眠状態であるが)に生息の隠れ場所を与えている。海岸地帯は、地衣類やコケ類の植生に特に住みやすい場となっている。この地域での融水は、草を含めた草木類の生存を助けている。南極の半島や、南極近辺の島々では、一部の無脊椎動物の種が、超寒冷化や無水生活メカニズムにより、厳しい環境に耐えている。Dry Valleys は、世界でも最も極端な乾燥地帯である。

社会経済的なつながり：北極の人口は比較的少ないが、大半の先住民族社会は、伝統的な生活様式を守っており、その生存を生物多様性に大きく頼っている。海や陸の動物の分布や量の豊富さでの変化は、現地社会の伝統的な生活様式にマイナスの影響を与える。他方、気候が改善するなら、漁業や農業の北方への拡大に有利な条件となり、その結果、人口や居住地域が拡大する。伝統的な生活様式に従っている先住民族の社会は、気候変化への適応能力が低く、そのためのオプションも数少ない。

極地帯の生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- 極地帯への気候変化(特に北極での)は、地球上のどの地域よりも大きいものとなると予想され、大きな物理的、生態学的影响をもたらす
- 気候変化は、21 世紀中に北極の多くの生態系に対し、変化を生む結果となる可能性が高い。ツンドラは 3 分の 2 縮小し、亜寒帯林は、さらに北方に進む可能性があり、北方の湿地やPEAT 地帯は、乾燥化する可能性がある一方、水生学的な変化や排水状況の変化により、別なものが登場する可能性がある。
- 鯨や海鳥など、長距離の季節移動をする動物は、移動途中での食料の入手可能性が変化することで、影響を受ける可能性がある。世界の岸辺の鳥類や、他の極地の生物種では、その多くが、北極のツンドラ地帯で繁殖するが、生息地の分布が変化することで影響を受ける可能性がある。この地域での野生動物の移動は、可能な生息地が、限定されることになる。
- 現在は底まで凍結する水流の一部は、氷の下に水の層を保持することになり、これは、無脊椎動物や魚類の個体数に利をもたらす。表面氷の層が薄くなることは、その下の水まで届く太陽光が増えることになり、このため、光合成による酸素の発生が増加し、冬季の魚類の死滅を減少させる。しかし、凍結しない時期が長くなることは、水の混合がある深さも増すことになり、酸素濃度の低下と、低温生物へのストレスの増加につながる。温暖化は、氷結時期を短縮させ、氷の積み重なりによる洪水を減少させて、河川による洪水平野近辺にある多くの北方地域社会に利益をもたらす。これと対照的に、北方の水辺の生態系、特に定期的な洪水が、河川に接する湖沼の存続に重要であることが示されている、高度な生産性を持つ河川デルタ地帯には、氷の積み重なりによる洪水の頻度や強度の減少は、深刻な影響をおよぼす。
- 永久凍土は、温められ、2050 年までには、12-22%減少する可能性が高い。季節的な融解がより深くなることで、排水状況も改善され、土壌栄養分の生物相への放出のきっかけにもなる。永久凍土の融解と排水に伴う乾燥化または湿潤化は、コケ植物門分楽を削減(乾燥化)すると予想され、または排水が妨げられた場合には、その頻度が増加することになる。コケ類、地衣類、草の群落の平衡状態の移動も予想される。
- 海水面積の減少は、極地帯の海洋生物にとり主な生息地になっている氷端を削減する。
- 海水の面積と厚みが減少することは、海の哺乳類の分布や、年齢構成、個体数の大きさを変化さ

せることになる可能性がある。北極では、氷を休息場所として利用するアザラシの種類や、アザラシを捕食するホッキョクグマで、特にリスクが大きい。南極では、海氷に依存するカニクイアザラシや皇帝ペンギンが不利となる。対照的に、開かれた海に生息するヒゲアザラシは、個体数を増やす可能性がある。季節的な海氷面積とオキアミまたはサルパ (salps) の豊富さには密接な関係があることから、鯨やアザラシといった海の哺乳類および海鳥など、オキアミに依存するものは、不利となる。オキアミは多くの食物連鎖にとり重要であることから、海洋生態系の食物ネットワーク全体が、気候変化や、紫外線 B (UV-B) 放射レベルの増加により、悪影響を受ける可能性がある。

- 極地帯は、気候変化にきわめて脆弱であり、適応能力も低い

ボックス 12：小島嶼国での生物多様性と気候変化の影響
[WGII TAR セクション 117.1-2, RICC セクション 9.3]

地域特性：ここで小島嶼国とされるのは、主に熱帯や亜熱帯に位置する国である。これらの小島嶼国は、太平洋、インド洋、大西洋、そしてカリブ海や地中海の海域に広がっている。これら諸島の多くは、現在の海面水位平均を 3-4m 以上超えるものもまれであり、高度のある島でも、その居住や経済活動、社会基盤構造、そしてサービス場所の大半が、沿岸が沿岸近くにある。このため、これらの島々は、多くの共通した特徴（つまり、大きな広がりを持つ海洋に囲まれた物理的に小さな面積、限られた自然資源、自然災害や極端な現象の起こりやすさ）を持ち、このことは、気候変化で予想される影響に対するこれら諸島の脆弱性を明確に示している。

生物多様性での重要な特徴：小島嶼は、海洋、沿岸、陸上生態系が異なっている。一部の島は豊富な多様性を持つ。たとえば、珊瑚礁は、海洋生態系でもっとも生物多様性が大きく、珊瑚礁で記録された生物種は、91000 種余りである。陸上植物種での固有性は、フィジー (58%)、モーリシャス (46%)、ドミニカ共和国 (36%)、ハイチ (35%)、ジャマイカ (34%) で、高くなっている。対照的に、低い珊瑚礁の島のような、他の島々の生態系は、生物多様性と固有性の両方が低くなっている。絶滅の脅威があることが知られている植物種の 3 つに 1 つは、島固有の種であり、鳥類では、地球の鳥類個体数の 11% が絶滅の脅威を持つのと比べ、島々の鳥類では、23% 以下が絶滅の脅威を持つ。

社会経済的なつながり：珊瑚礁やマングローブ、そして海の草木は、多くの小島嶼にとり、重要な生態系であり、これら諸国の多くにとっては、経済資源のベースにも大きく貢献している。何十年間もの居住で、多くの小島嶼諸国は、大規模な土地の開墾が行われてきたが、一部の島々のかなりの面積（例、ソロモン諸島、ヴァヌアツ、ドミニカ、フィジーでは全体の土地の半分）が森林やその他の林地で覆われている。また森林は、材木や燃料、そして多くの木製品以外の産物の資源として、社会経済的な重要性が大きい。生物種や、マングローブのような生態系が、気候変化に応じて、その範囲や位置を移動させる能力は、現在の生息地を細分化してきた土地利用手法により妨げられる。

小島嶼国の生物多様性および脆弱な生態系への気候変化の影響

気候変化で予想される影響には次のものが含まれる：

- 珊瑚礁は、白化や、石灰化率の低下によりマイナスの影響を受け、多くの珊瑚礁関連の社会や生物種の喪失を生む可能性がある。この結果、観光や漁業といった主要な産業部門からの収入の損失がおこると見られる。

- マングローブや、海の草木生息地、その他の沿岸生態系と、それに伴う生物多様性は、温度の上昇と海面水位上昇の加速化で、悪影響を受ける。
- 淡水の生息地への海水の浸入は、淡水生態系の生物多様性に影響する。
- 台風 / ハリケーンの頻度や風速が増加することは、一部の生息地にマイナスの影響を与える可能性がある。
- 島々での高さの低い森林地帯の浸水や洪水は、一部の固有鳥類を失うことになりかねず、これは絶滅の脅威のある鳥類の大半が森林生息地に見られるからである。こういった生物種への気候変化の影響は、火災のような攪乱体制の変化を印とする直接的な生理学的なストレスや、生息地の変化 / 喪失によるものである可能性が高い。
- 海面水位の上昇は、環礁の農林業に深刻な影響を与え、多くの島々の地域社会にとり重要であるタロイモのくぼ地への植え付けにも深刻な影響を与える。海岸線の侵食による変化は、人口（個体数）を乱させ、淡水が失われることと、嵐による高波が増えることが組み合わさった場合の影響は、淡水植物にストレスを与え、干ばつに対する脆弱性を増加させる。

地域別および国別の研究が少ないことから、資料には限界があるが、セクション 6.2 や 6.3 に提示された影響は多くの地域に適用可能であり、これは生態系が相似していることが理由の大半である。（例、珊瑚礁や草原への影響は、世界中の多くの地域で非常に似通っている。）

最近の推定値では、世界の哺乳類の 25%（1125 種くらいまで）そして鳥類の 12%（1150 種くらいまで）が、世界的な絶滅への深刻な危機にさらされている。この問題の大きさに関する一つの尺度は、絶滅の危機にある種がどれだけ早く規定されるかである。例えば、危機にあるとされる鳥類の種数は、1994 年以來ほぼ 400 種近く増加しており、現在の個体数規模や傾向からすると、このリストに 600-900 種がすぐにも追加される可能性がある。（絶滅の危機にさらされている動物の数は、地域により異なる。（表-2 参照）多様性全体のグローバルなパターンは、各地域での絶滅の危機にある種の数に反映されており、全体の種の数が多い地域ほど、危機にあるものの数も多い可能性がある。

表 2：世界の野生脊椎動物の一部に関する状況。この表では、各地域での絶滅の危機にある / 絶滅の危機が懸念される / 脆弱な種の数を示す。（WGII TAR 表 5-5）

地理的地域 ^a	合計	両生類	爬虫類	鳥類	哺乳類
アフリカ	102/109/350	0/4/13	2/12/34	37/30/140	63/63/163
アジア太平洋	148/300/739	6/18/23	13/24/67	60/95/366	69/163/283
欧州と中央アジア	23/43/117	2/2/8	8/11/10	6/7/40	7/23/59
西アジア	7/11/35	0/0/0	2/4/2	2/0/20	3/7/13
中南米	120/205/394	7/3/17	21/20/35	59/102/192	33/80/150
北米	38/85/117	2/8/17	3/12/20	19/26/39	14/39/41

適応オプションは、気候変化の影響の一部を最小限にする可能性があり、これらはセクション 8.1 で検討される。

7. 気候変化緩和のために行われる行動の生物多様性への影響可能性

緩和とは、温室効果ガスの排出源を削減する、または吸収源を強化するための、人為的干渉として定義される。温室効果ガス排出正味量を削減する行動は、気候変化の予想される規模と速度を削減し、これにより、気候変化による自然および人間のシステムへの圧力を軽減する。このため、緩和行動は、気候変化を原因とする損害を遅らせ、削減して、環境上や社会経済的な（生物多様性も含めた）利益をもたらす。

^a 各地域に含まれる国名の詳細は、WGII TAR セクション 5.4.1.1 参照、またはもともとの参照先である UNEP2000 年度、地球環境概要 2000 年、国連環境計画、ケニア、ナイロビを参照。

らす。そのような活動の一部は、それが気候システムへ与える影響とは別に、生物多様性へもプラスの、またはマイナスの影響を与える。[SYR SPM, SYR Q6, Q'7, WGIII TAR 用語集]

このセクションでは、気候変化緩和活動が生物多様性に与える影響を取り上げている。より広範囲な環境および社会的な影響はセクション 9 で議論される。これらの活動には、京都議定書の 3.3 条と 3.4 条で規定されたものを含めた土地管理活動による炭素隔離と排出削減、エネルギー効率または発電効率の向上、バイオマスエネルギーや太陽光、風力、および水力といった低炭素または非炭素エネルギーシステムの利用増加、海洋での生物的吸収が、含まれる。土地利用、土地利用の変化、森林に関する IPCC 特別報告書は、土地利用や京都議定書関係の問題に焦点を当てたものであり、これは、このセクションでの主要な情報源である。第三次評価報告書への作業部会 3 の寄与は、緩和活動に関する議論の主な情報源であるが、これには、あまり生物多様性に関する情報が含まれていない。

森林、農地、その他の陸上の生態系は、土地利用の変化（つまり、新規植林および再植林）非森林化回避、また農地や放牧地、森林管理を通して、大幅な炭素吸収緩和の可能性を提供する。生物的緩和オプションの地球規模での可能性に関する推定値は、2050 年までで、100GtC 単位（累積）であり、これは、この期間で予想される化石燃料排出の約 10-20%に相当するが、この推定値には大きな不確実性が伴っている。もっとも生物的可能性が高いと予想されているのは、亜熱帯および熱帯地域である。[SYR SPM, SYR Q6, Q7, WGIII TAR 用語集]

温室効果ガス相殺の発生は、生態系が生産する多くの物質やサービスの中に組み入れられるべきである。物質やサービスへの人間の需要は、生物多様性への圧力の中に置かれる。温室効果ガス相殺は、他の生態系利用や生物多様性保全と、競合するか、補足しあうかの映画ある。[WGIII TAR4 章 ES]

7.1 新規植林、再植林、非森林化回避の生物多様性への影響可能性

1990 年以後の新規植林および再植林、そして非森林化遅延の活動による地球規模の緩和ポテンシャルは、1995-2050 年の間で、700Mha にわたり 60-87GtC であると予想されており、その 70%が熱帯林、25%が温帯林、そして 5%が亜寒帯林である。[WGII SAR セクション 2.4.4.2.2, WGII SAR 表 24-5]

新規植林、再植林および非森林化プロジェクトで、適切な管理と、選択基準、そして現地社会の参加があるものは、生物多様性の保全と持続可能な利用を促進することができる。炭素隔離と生物多様性の相互作用を実現する管理オプションとしては、より長期的な輪作期間の採用、伐採単位の変更、エッジの長さ変更、多様な樹齢の立ち木のモザイクづくり、下生え植生を取り除くための削減または除去措置、あるいは原生種を含めた混合種の植林策利用などの管理オプションが存在する。

[LULUCF セクション 2.5.1,1]

新規植林、再植林、非森林化回避のプロジェクトは、生物多様性への影響を含め、相殺型の結果を招く恐れがある。例えば、農地向けに非森林化される予定となつたはずの森林を保全することは、農業従事者をプロジェクトの境界外の土地へと追いやることになる可能性がある。これは「リーケッジ」と呼ばれる。また、プロジェクトは、技術の普及や生物的に多様な自然林への圧力削減を通して、プロジェクトの境界外での新しい土地管理手法の採用といった現地外での便益をもたらす可能性もある。

[LULUCF セクション 5.3.3]

7.1.1 非森林化を削減することの生物多様性への影響可能性

非森林化そして/または森林劣化を遅らせることは、気候変化緩和という利益に加えて、大きな生物多様性上の利益も与えることができる。熱帯の一次林には、推定で全ての陸上種の 50-70%が含まれている。熱帯林は、現在大幅な非森林化率（平均して 1980 年代では年間 15Mha、排出は $1.6 \pm 1.0\text{GtC/年}$ ）をみている。熱帯の非森林化と森林の劣化は、地球規模での生物多様性喪失の主な原因である。またこれらの活動は、生息地の利用可能性も減らし、各地での種や個体数、遺伝上の多様性における減少の原因となっている。熱帯での非森林化遅延率の緩和ポテンシャルは、1998-2040 年の間に、138Mha で、約 11-21GtC になると推定される。

[WGIII TAR セクション 4.3.2, LULUCF セクション 1.4.1, 2.5.1.1.1, WGII SAR セクション 2.4.4.2.2]

生物的に多様性があり生態系としても重要な森林で、危機にさらされているあるいは脆弱な森林の非森林化を回避するプロジェクトは、生物多様性にとり特に重要である可能性がある。非森林化や森林劣化を遅らせるプロジェクトであればどれも生物多様性の保全に役立つが、特に生物種に富み、地球規模でもまれなあるいは特定地域に固有の森林で危機にさらされる/脆弱な森林でのプロジェクトは、最大限の生物多様性での利益を提供できる。主要な流域で、土地の転換や劣化から森林を保護するプロジェクトは、土壌の侵食を大幅に遅延し、水資源を保護し、生物多様性を保全する。炭素オフセットとして、影響削減型伐採を促進するように作られたプロジェクトは、各現地レベルでの森林保護（つまり伐採なし）でよりも生物多様性上の副次利益が少ない可能性があるが、現地の所有者への社会経済的利益は大きい可能性があり、また特に、現地社会がその生活の糧を森林に大きく頼っている場合には、有効性の高いオプションであることが証明される可能性がある。最も危機にさらされている生態系を保護することは、必ずしも最大限の炭素での便益を与えるものではない。例えば、ブラジルでは、最も保護が薄く、最も危機にさらされている森林のタイプが、アマゾン地方の南限を縁取っており、この地域では、保全林の指定も比較的成本がかかり、また森林自体、アマゾン中央部ほどのバイオマス（炭素）は含んでいない。また、森林保護は、現地の人口の移住、所得削減、森林からの製品の流れ縮小といった社会的にマイナスの影響もある可能性がある。自然システムの保護と他の機能との対立は、適切な土地利用とか景観と、適切な立ち木管理、そして環境アセスメントや社会アセスメントの活用により、最小限にすることができる。[LULUCF セクション 2.5.1.1.1, 5.5.1, WGIII TAR セクション 4.4]

非森林化や森林の劣化を削減することで排出を回避するよう設計されたパイロットプロジェクトは、顕著な環境上および社会経済的な副次利益を生んでおり、これには生物多様性の保全や、流域の保護、森林管理の向上と、各地の能力向上、そして現地企業での雇用が含まれる。副次的な生物多様性での利益を持つ非森林化回避プロジェクトの例は、IPCC 土地利用と土地利用の管理、そして森林に関する特別報告書のボックス 5.1 と表 5.2 に示される。（例、ベリーズでのリオブラボ保全および管理プロジェクト）[LULUCF セクション 5.5.1, LULUCF ボックス 5.1]

7.1.2 新規植林と再植林の生物多様性への影響可能性

京都議定書の 3.3 条の規定では、新規植林、再植林はともに、他の用途であった土地の森林への転換をさす。新規植林は、少なくとも 50 年間、森林でなかった土地を、植林、蒔種、そして/または自然の

芽生えを人為的に促進することにより、森林地へと直接人為的に転換することと定義される。再植林は、森林であったが、その後非森林地に転換された土地で、植林、蒔種、そして / または自然の芽生えを人為的に促進することにより、森林地へと直接人為的に転換することと定義される。京都議定書の第一約束期間 (2008-2012 年) において、再植林活動は、1989 年 12 月 31 日以後、森林を含んでいなかった土地でおきた再植林活動に限定されている。

新規植林と再植林のプロジェクトは、その転換された非森林生態系での生物多様性のレベル、考慮される規模 (例、立ち木対景観) そして他の設計上および実施上の問題 (例、非原生種対原生種、単一種対複数種) に、依存する。 原生の非森林生態系 (例、種に富んだ原生種の草原) を非原生種またはどの地域でものひとつまたは少数の生物種で置き換える新規植林や再植林活動は、現地の生物多様性を削減する。これらの景観や地域規模での生物多様性への影響は、その内容や設計、そして実施により、プラスまたはマイナスとなる可能性がある。新規植林と再植林は、生物多様性において劣化していた土地利用を置き換える場合、あるいは原生種の植物や動物の個体数の回復、存続、拡大を促進する場合には、生物多様性を増加する、その利益になる、または中性である可能性がある。新規植林または再植林が、劣化した土地を回復させるために行われる場合も、侵食の削減や、塩水化の制御、流域の保護といった他の環境上の利益をもたらす可能性が高い。[LULUCF セクション 2.5.1, 2.5.2.2, 3.5, 3.6.1, 4.7.2.4]

現在の植生よりも水の利用が大きくなる新規植林は、流量の大幅な削減を生む可能性があり、これは、河川中、岸辺、湿地、および洪水原野の生物多様性にマイナスの影響を与える可能性がある。 例えば、南アフリカでの集水池での水の量は、松やユーカリの木を植えると、大きく削減される。

[WGIII TAR セクション 4.4.1, LULUCF セクション 4.7.2.4]

植林地は、自然林よりも生物多様性が少ないが、林業製品の提供元となることで、自然林への圧力を減らし、これにより、生物多様性や他の環境上のサービスに、より大きな面積を残すことになる。 現地レベルでは、植林地は、豊かな種を持つ原生草原、湿地、ヒース地帯、灌木地を置き換えるなら、生物多様性にマイナスの影響を与えるが、非原生種や原生種による植林は、自然林の保護や回復を促進するようにすることで、生物多様性を強化するように、設計できる。例えば、南アフリカの Mpumalanga 州では、商業植林地 (ユーカリ属の各種および松) の拡大が、草原での鳥類のうち、固有のそして危機にさらされているいくつかの種や、地上植物種の抑制に結びついている。一般に、少数の種の植林は、特にそれが非原生種である場合、原生種の森林の立ち木の場合よりも、動物相および植物相とも限られたものとなる可能性が高い。多種で、十分間隔をとった植林 (持続可能な森林管理があるとしてだが) が、生物多様性に乏しい土地に行われた場合には、生物多様性を富ませることができる。加えて、熱帯や亜熱帯地方での単一種の樹木植林 (例、Eucalyptus grandis) は、適切な間隔があげられるなら、木陰を作り、ミクロな気候を変化させることで、多様な原生の下生え種の繁茂を可能にする。

「 WGIII TAR セクション 4.4.1, LULUCF セクション 2.5.1.1.1, 4.7.2.4, 5.5.2 」

7.2 気候緩和目的での土地管理の生物多様性への影響可能性

温室効果ガス排出をオフセットするための土地管理行動は、土壌の質や侵食、水質、大気の状態、野生生物の生息地を含めた、全体的な環境の質に影響をおよぼす可能性があり、その結果、陸上および水生の生物多様性にも影響する可能性がある。

7.2.1 農林業の影響可能性

農林業活動は、炭素を隔離し、生物多様性に有益な効果がある。農林業（つまり複合的で多種の生産システムを作るため樹木と農産物を組み合わせること）は、年1作しかされていない土地または劣化した土地から転換された土地で、炭素貯蔵量を増加できる。農林業活動の副次的利益には、食料安全保障の増大、農業所得の増加、土壌浸食の減少、地上および地下の生物多様性の回復および維持が、含まれる。自然林から農林業へと転換された場所では、生物多様性が失われるのが普通である。しかし、農林業は、多くは以前の非森林化の結果として劣化された場所では、生物多様性を強化するのに用いられる。農林業システムは、通常の耕作地や、劣化した草原または牧草地よりも生物的に多様である傾向があり、これに続いて二次林の初期となる。このため、可能な限り非森林化を回避し、回避できない場合には、現地の知識と種を用いて、農業従事者にも、また現地の植物相および動物相にも多様な価値を提供する農林業生息地を創造することが、チャレンジ事項である。[LULUCF ファクトシート 4.10]

7.2.2 森林管理の影響可能性

地上および地下のバイオマスでの炭素の隔離および土壌中の有機炭素の隔離に用いられる森林管理活動は、生物多様性に、プラスまたはマイナスの影響をあたえる可能性がある。そのような活動の例としては、再生補助、肥沃化、火災管理、有害動植物管理、収穫の計画化、影響の少ない収穫作業が挙げられる。(ボックス 13 参照) [LULUCF 表 4.1]

ボックス 13：森林管理活動

再森林化の改善は、自然におよび人工的に一通常以前の立ち木または森林が取り除かれる前、その間、または直後に、若木を植えることで、樹冠の更新を行うことをいう。森林の再生には、人間が手を貸した自然の再生、肥料を加える植林、森林のあるサバンナでの放牧削減、樹木の出所 / 遺伝または樹木種の変更による樹木密度の変更などの手法がある。再生の技法は、種の構成や、供給、密度に影響を与え、生物多様性を増加または減少する可能性がある。[LULUCF ファクトシート 4.12]

肥沃化は、生育速度を増すためまたは土壌栄養分の不足を克服するために、栄養素を加えることであり、最適な形で行われないう限り、環境上プラスの利益をもたらす可能性は少ない。場合によっては、いくつかの環境上マイナスの影響を与える可能性がある（例、亜酸化窒素(N₂O)、窒素酸化物(NO_x)の大気、地中、および水中への排出増加、そして土壌プロセスの変化)[LULUCF ファクトシート 4.13]

森林火災管理 これは、火災による森林のバイオマスのリサイクルを制御し、森林の健全な生態系を維持し、温室効果ガス排出を削減するために用いられてきたものであるが、火災が継承サイクルに欠かせない生態系もあることから、その環境上の影響を一般化することは困難である。近い過去の火災被災箇所を回復させることは、持続可能な林業にとり重要な要素であるだろうが、間接的に有毒な環境影響を作ることになりかねない森林へのアクセス（道路建設）などの手法が、求められる可能性もある。[LULUCF ファクトシート 4.14]

害虫管理は、害虫の個体数を、許容範囲に抑える戦略の適用である。殺生物剤を用いて害虫を制御しているところでは、この活動が生物多様性の削減を生む可能性がある。他方、害虫管理が、大規模な森林の枯死を防ぐ場合には、景観や娯楽、水の流域その他の利益を増すことができる。[LULUCF ファクトシート 4.15]

伐採の量とタイミングには、プレ商業用、商業用の間伐や、選択間伐、明らかな収穫伐採が含まれ、材木生産の量と質に影響し、炭素の貯蔵量や生物多様性にも影響を与える。収穫の日程は、生物多様性や娯楽、そして景観の管理に、プラスまたはマイナスの影響を与えることができる。[LULUCF ファクトシート 4.16]

影響の少ない伐採は、土壌の攪乱や残った植生への損害を最小限にし、大半の場合は、生物多様性や娯楽および景観管理に関して環境上プラスの影響をもたらす。[LULUCF ファクトシート 4.17]

7.2.3 農業部門緩和行動の影響可能性

温室効果ガス排出を削減し、炭素の隔離を増加するための、農業部門での活動およびプロジェクトは、持続可能な農業を促進し、農村部の開発を進めることが可能であり、また生物多様性を強化または減少させる可能性がある。土壌中に炭素を隔離するためにもち利荒れる農業管理活動は数が多い。(強化増大、灌漑、保全耕作、侵食管理、米作管理、ボックス 14 参照) これらの活動は、それが適用される手法と内容により、生物多様性にプラスまたはマイナスの効果を与える可能性がある。これらの活動には、農業従事者中心の参加アプローチや現地や先住民族の知識および技術への慎重な配慮を採用すること、低インプット農業システムで、有機物質の循環や利用を促進すること、そして現地に適応した作物種の利用や作物の多様化をなどの農業 生物多様性を利用することが含まれる。土壌中の有機炭素を強化または保全するための農業手法は、CH₄ や N₂O の排出の増加または低減に結びつく可能性が高い。[LULUCF セクション 2.5.1.1, 2.5.2.4.2, LULUCF 表 4-1, LULUCF ファクトシート 4.1-4.5]

7.2.4 草原および放牧地管理の影響可能性

放牧地での活動やプロジェクトは、炭素の隔離を増加でき、また生物多様性も強化または低減する可能性がある。土壌中の炭素を隔離するために用いられる草原の管理活動には、放牧管理、草原の保護地区や休牧地、草原の生産性向上、火災管理が含まれる。(ボックス 15 参照) 大半は生物多様性を促進するが、肥沃化などは、その場の生物多様性を減少させる可能性がある。[LULUCF 表 4.1]

ボックス 14：農業管理活動

農業強化手法は、生産と植物起源の残滓の土壌への混ぜ込みを強化するものであり、輪作や、裸の休耕地の削減、間作、高収率種、総合害虫管理、適切な肥料やり、有機的な改善、灌漑、地下水面管理、各地別の管理を用いることが含まれる。これらには、食糧生産の増加、侵食管理、水の保全、水質改善、そして漁業や生物多様性に利をもたらす、貯水池や水路の沈泥化削減などの副次的利益が無数にある。しかし、土壌と水の質は、化学物質の投入や灌漑水のむやみな利用により悪影響を受け、窒素系肥料の利用増大は、化石エネルギーの利用を増やし、N₂O の排出を増加させる可能性がある。[LULUCF ファクトシート 4.1]

灌漑は、世界に多い季節的な降雨量が大きく変化する地域で広く用いられており、水の量で限られる農業システムでのバイオマス生産を強化することができるが、塩化のリスクが増し、河川の水や洪水の流れを変えさせて、河川や洪水平野の生物多様性に大きな影響を与える場合が多い。[LULUCF ファクトシート 4.2]

保全耕作は、土壌内の有機炭素を保全するため、チゼルプラウ (chisel-plow)、畦耕起 (ridge-till)、縦長耕起 (strip-till)、根覆い耕起、不耕起を含めた広範囲な耕作手法を表す。保全耕作の採用は、水や風による侵食の制御、水の保全、保水能力の増加、圧密度の削減、化学品の混ぜ込みに対する土壌の回復力改善、そして漁業や生物多様性での利点を伴う貯水池や水路の沈泥削減など、無数の副次便益がある。一部の地域 (例、オーストラリア) では、保全耕作による保水力の増大による滲出の増加のため、下り坂での塩化が見られる可能性がある。[LULUCF ファクトシート 4.3]

侵食管理手法 これには、水の保全構造、岸辺管理用のろ過地帯としての植生の帯、風食管理のための防風林が含まれ、年に 0.5GtC の範囲と推定される土壌侵食により奪われた土壌有機炭素のグローバルな合計量を削減することができる。これには、生産性の工場や、水質の改善、肥料 (特に窒素酸化物) の利用量削減、水路の沈泥減少、CH₄ の排出削減、関連する洪水のリスクの削減、水生システム、防風林、岸辺地帯での生物多様性の増加を含めた無数の副次的利益や共同影響がある。[LULUCF ファクトシート 4.4]

米作管理戦略 これには、灌漑や、施肥、作物残渣管理が含まれるが、CH₄ 排出や炭素貯蔵量にも影響する。温室効果ガス緩和米作活動が生物多様性に与える影響に関しては、情報が限られている。
[LULUCF ファクトシート 4.5]

7.3 変化するエネルギー技術の生物多様性への影響可能性

生物多様性に影響する可能性がある、エネルギー部門での緩和オプションには、エネルギー源としての燃料用木や炭の効率利用促進、バイオマスエネルギーや風力、太陽光発電、および水力といった再生可能エネルギー利用促進、そして地下貯蔵庫や深海への CO₂ 注入が含まれる。発電での、または化石燃料をベースにしたエネルギーの利用で効率を上げることは、化石燃料の利用を減らし、それにより、化石燃料の採掘、抽出、輸送、燃焼による生物多様性への影響を削減することになる。

7.3.1 効率性薪ストーブと調理用バイオガスおよびそれらの生物多様性への影響可能性

効率的な料理用ストーブやバイオガスといった燃料木の保全策は、森林への圧力を減らし、これにより生物多様性を保全する。多くの地域では、燃料木が、森林から得られるバイオマスの中心的存在であるのが伝統であり、これは生物多様性に大きな意味を持つ。森林からのもので利用される燃料木は、主に調理のような生活の一部のためである場合が多く、改良された薪ストーブや、より効率の良い炭焼き技術で、大きく削減される。木は工業用途向けの炭作りでも利用される。(例、ブラジル) 熱帯地方の国での燃料木と炭の消費は、2050年までに1991年の13億立方メートル(0.33GtC/年)から、34億立方メートル(0.85GtC/年)に増加すると予想される。収穫物からの廃棄物や牛糞を嫌気分解することで得られるバイオガスは、家庭やコミュニティレベルでの燃料の代用物となる可能性がある。このため、調理や暖房用の燃料木の利用を、効率改善(改良型ストーブやバイオガス)により削減することを目的とした緩和活動は、森林への圧力を大幅に削減でき、これにより生物多様性の保全に寄与する。

[WGIII TAR セクション 3.8.4.3.2, WGII SAR セクション 15.3.3, 22.4.1.4]

7.3.2 バイオマスエネルギー利用増大の影響可能性

現代のバイオエネルギー技術で可能な緩和や社会経済的な利益は、大きいですが、適切な立地場所の選択や管理手法がないなら、生物多様性が脅かされることになる。農園からのバイオマスエネルギーや既存の森林の残滓利用や間伐の利用は、化石燃料の利用の代替となることで、CO₂の排出を削減できる。プラスの環境上の影響には、大気への汚染物質の排出削減、劣化された土地の開墾、さらに森林への圧力削減の可能性もあり、この場合、そのような資源から得られた燃料木が他のエネルギー資源に置き換えられる程度まで削減される可能性がある。しかし、大規模なバイオ燃料生産による短期的なそして長期的な環境影響や社会経済影響が懸念され、これには、土壌や水質の劣化、単一耕作地の弾性低下、そしてバイオ燃料の生物多様性や持続可能性、そして快適環境への影響がある。集約農業に似た生産システムで、高い収率を上げる大規模バイオエネルギー農場は、生物の多様性が高いシステムから置き換わった場合には、生物多様性に悪影響をもたらす。しかし、劣化された土地または耕作放棄された農地での小規模農園は、環境上の利益がある。少数の生物種しかない農園は、管理でも収穫でも最も高い収率と最大の効率を達成するのが通常であるが、優れた農園設計には、原生種の植物相や動物相の区域や、別なクローンそして/または種のブロックが含まれる可能性がある。オプションとしては、材木やパルプの生産とともに森林管理に組み入れられた形で生産されるバイオ燃料がある。間伐や倒木処理など、さまざまな収穫作業からの収穫残滓は、バイオ燃料の生産に重要な役割を果たす。生物多様性への影響は、

こういった管理手法がどう行われるかにかかってくる。バイオ燃料農園での生物種の種類は、自然林と年作物の間のものである。多種の農園や管理戦略および貯水池や自然林の区画そして緩和の経路を守るための慎重な土地利用計画は、生物多様性の問題の扱いも助ける。食料の供給や各地コミュニティーの土地へのアクセスに関する懸念は、コミュニティー規模の農園を通して解決することが可能である。そのような農園は、小規模な転換技術への供給を行い、現地の燃料や材木のニーズを満たし、農村部において、雇用や電力そして液体燃料製品を供給する。コミュニティー規模のバイオ燃料システムに対する障壁には、外国投資家の炭素クレジット優先よりも、現地のニーズを満たすバイオ燃料プロジェクトを確保するための組織的そして人材面での資本がないことがあげられる。バイオマスエネルギーの現地での影響には、その地の林業における環境および社会経済的な利益のほか、バイオエネルギープロジェクトのエネルギー生成部門があげられる。[WGIII TAR セクション 4.3.2.1, WGIII TAR 表 3.31、LULUCF セクション 4.5.3, 4.5.5, 5.5.3, WGII SAR セクション 25.5]

7.3.3 水力の影響可能性

大規模水力の開発は、生物多様性や土地の喪失、洪水に見舞われた植生からの CH₄ の発生、地方コミュニティーの移動といった、環境上および社会上のコストがかなりかかる可能性がある。水力発電は、エネルギー生産での温室効果ガス集約度削減に大きく寄与できる。現在、世界の電力の 19% くらいまでが水力から得られている。ヨーロッパや北米での水力の可能性はその大部分がすでに捕捉されている一方で、開発途上国では、その大きな可能性の小さな部分だけが捕捉されている。大半の水力発電プロジェクトから生じる温室効果ガス排出は比較的レベルであるが、唯一の重要な例外は、おそらく、植生の密度が高い熱帯地域にあり、腐敗した植生からの排出が非常に多い、大きくて浅い湖でのものであろう。各事例別の水力開発の社会的および環境上の影響に関する評価は、必要のない影響を最小限にすることができる。例えば、ダムによる貯水池は、土地の喪失を生み、このことは、その土地の陸上生物多様性の喪失を生む可能性があり、またダムは、魚類の移動（一部の魚類にとってはそのライフサイクルの欠かせない部分である）を妨げ、水流をせき止め、また水のタイミングや、流れ、洪水の干満、そして酸素含有量や堆積物の含有量を変化させることで、淡水や陸上の生物多様性を減少させる。熱帯地方での淡水生態系を攪乱することは、間接的な環境上の効果を生む可能性があり、例えば、病原体やその媒体の増加は、マラリアや住血吸虫病、フィラリア、黄熱病といった人間の病気の増加を招く可能性がある。優れた設計の設備（例、水をいくつかの小さなダムや発電所を通してカスケード式に落とす現代技術を利用）は、システムの環境上の悪影響を削減する可能性がある。小規模またはマイクロ規模の水力発電計画は、通常環境への影響が低い。

[WGIII TAR セクション 3.8.4.3.1, WGII SAR セクション 19.2.5.1]

7.3.4 風力の影響可能性

風力発電は、緩和ポテンシャルを持っており、適切な場所に設置されれば、野生生物への影響も限られたものとなる。風力に対する一般の受け入れは、その騒音や、景観に対するビジュアルな影響、野生生物(鳥類)の攪乱などで影響される。タービンの野生生物への影響に関する証拠が限られていることは、これが一般的に低く、種に依存していることを示唆しているが、事例ごとの分析が望まれる。

[WGII SAR セクション 19.2.5.3]

7.3.5 太陽エネルギーの影響可能性

太陽熱による発電技術における主な環境上の配慮は、土地利用、水の消費、砂漠の生物種との共存、美的な問題である。大規模な発電所は、砂漠地域が最善の立地であることから、水の消費が、最も深刻な環境上の配慮となる可能性が高い。[WGII SAR セクション 19.2.5.4.2]

7.3.6 炭素貯蔵の影響可能性

排気ガスや燃料ガスからのCO₂を捕捉する技術は利用可能であり、CO₂は、その後、石油や天然ガスの空井、岩塩帯水層、深海に貯蔵される。岩塩帯水層に関する環境上の主な問題は、CO₂が抜けること、周りの岩の溶解、鉱物資源の不毛化、地下水への影響などがある。海へのCO₂貯蔵における環境上の影響については、あまり知られているところがない。(例、海洋生物への影響) 予備的な研究からは、生態系の攪乱が、CO₂放散区域にとどまることが示されている。

[WGIII TAR セクション 3.8.4.4, WGII SAR セクション 19.2.3.3]

7.4 海洋での生物学的吸収の強化が与える影響可能性

海洋生態系は、大気中からCO₂を除去する緩和機会を提供する可能性があるが、生物多様性の可能性と影響は十分理解されていない。栄養価に富んだしかし鉄分に乏しい地域(例、南方洋)に鉄分を加える実験では、植物プランクトンの増殖を生み、1週間にわたり表層水へのCO₂取り込みを増加させた。より長期の大規模な鉄分の投入が生む結果はまだ不確実である。これら努力に伴う懸念としては、多様な藻類への差異のある影響、表層水のジメチル硫黄濃度への影響、そして深層に無酸素層ができる可能性であり、このどれもが、生物学的な多様性にマイナスの影響となる可能性が高い。

[WGIII TAR セクション 4.7]

8. 適応活動と生物多様性

気候変化が発生しており、それが生態系及びその生物多様性に影響を与えていることが観測されている。このことは、気候変化の影響を回避するには緩和オプション(セクション7参照)だけでは不適切であるということの意味している。そこで、気候変化の影響低減のために特に策定された適応活動(プロジェクト及び政策)を緩和オプションとともに考えていく必要がある。適応オプションは、集約管理型及び非集約管理型どちらの生態系に対しても適用可能である。適応活動は、生物多様性に悪影響ないし好影響を与える可能性がある。

気候変化にかかわらず、生態系と生物多様性の維持とその持続可能な利用計画(正式な保護区外のものを含む)は世界中の多くの場所で実施されている。このような計画は、現在及び予想される気候変化を考慮に入れていない可能性があり、そうしていくことを考える必要がある。

また、生物多様性を維持し生態系を持続可能な形で利用していくための現行の試みが、予想される気候変化の進度と規模に悪影響を与える可能性もある。

8.1 生態系と生物多様性に対する気候変化の影響を軽減する潜在的な適応オプション

IPCC 報告書に列記されている適応活動の多くは、本セクションに反映されるとおり、非常に概要的である。残念ながら、列記された適応オプションの影響はほとんど考慮されてはいない。一部の生態系に対しては(珊瑚礁や高緯度及び/ないし高高度地域など)それが繊細であり、気候変化に対して無防備なことから、限定的な適応オプションしか存在しない。このようなシステムの一部に対しては(珊瑚礁など)その他のプレッシャー(汚染や堆積物流出など)を減らしていくことも適応オプションに含まれ

る。保護区域では生物多様性の維持が熱心に追求されているが、適応オプションはこのような区域以外でも効果的でありうる。適切なモニタリング・システムは、生物多様性の潜在的な変化傾向の検知に役立ち、適応的な管理の計画にも役立つ[WGII TAR Section 14.2.1.5]。

保全計画においては、気候変化の影響により特定の区域ないし地域では特定の遺伝子型、種、生態系がもはや維持不可能であるということを認識することが必要であり、そのため以下のように将来の気候変化に対して生物多様性の弾性を高める行動に向けた努力が必要である。

- **移動経路をつなげた保護区ネットワークにより、動植物の分散・移動ルートが提供される。**保護区（海洋保護区・沿岸保護区を含む）や保護区域の設置及び管理には、これらの保護システムを今後も最大限に活かしていくために、潜在的な気候変化を考慮に入れていく必要がある。オプションの中には、移動のポテンシャルを提供することによって現在分散している保護区や景観地を結ぶ経路や生息地マトリクスが含まれる。[WGII TAR Section 5.4.4]
- **自然の保護区の弾性を高めるための策定機会は他にもいくつか存在する。**そのような措置の中には、環境傾度（緯度・高度傾度、や土壌水分傾度など）にあわせて手付かずの天然植生を維持すること、保護区の周囲にバッファ・ゾーンを設けること、生息地分散化や道路建設を最小限にすること、自然種内部及び自然種間の遺伝的多様性を維持することなどが含まれる。主な生物多様性の「ホットスポット」を保護することにより現在の及び予想される大量絶滅の大半を防ぐことはできようが、それも気候変化により危うくなっている。移行帯は遺伝的多様性の宝庫となる。したがって、このような地域における追加的な生物多様性維持とは適応措置なのである。[WGII TAR Section 19.3]
- **動物の飼育繁殖、植物の現地保全、移転プログラムは、一部の危機に瀕した、あるいは影響を受けやすい種の強化・再生に利用できる。**飼育繁殖と移転は、生息地の回復とあわせて行えば、小・中程度以下の気候変化における重要種のうち少数の絶滅を防ぐのに役立つかもしれない。種の生息範囲の一部ないし全てにわたって既存の生息地が失われたり大幅に改変されたりするなど、環境条件が大規模に変化するような劇的な気候変化のもとでは、再導入及び移転のための飼育繁殖はそれほど成功しない可能性が高い。また、飼育繁殖は技術的に難しく、費用が高いことも珍しくない。また、その種の基本的な生物学や行動様式についての知識がないとうまくいかない可能性がある。[WGII TAR Section 5.4.4]
- **野生種により行われる天然の害虫防除、受粉、種の散布の中には代替が可能なものもあるが、その代替措置には費用がかかるであろう。**土壌の安定化、受粉、害虫防除など、生態系の営みを行うために種が導入されるという例は数多くある。天然の生物学的な制御種の損失も、殺虫剤や除草剤の使用で補うことが可能であろう。このような行為の代替が技術的に可能な場合もあるが、それには費用もかかるし、他の問題の引き金となる可能性もある。例えば、受粉媒介生物や害虫防除生物の導入によってそれ自身が害虫となってしまうたり、殺虫剤の使用により土壌や水質の汚染を招く可能性もある。また、生物地球化学的循環などの場合には、そのような機能は代替が非常に難しい [WGII TAR Section 5.4.4 and 5.7 and WGII SAR Section 25.4] 。

8.2 適応活動が生態系や生物多様性に与える影響

気候変化に対する適応活動の中には生物多様性に対して好影響と悪影響の双方を与えうるものがあり、地域によってそれは異なる。潜在的な適応活動の中には効果的ではあるものの、生物多様性の維持とその持続可能な利用に対して悪影響をもたらすものが数多くある。適応活動によって、生物多様性は

直接的（生息地の破壊などにより）または間接的（新種の導入や管理手法の変更などによって）に脅かされることもある。総合的な土地・水管理によって多くの適応活動が可能になる。適応措置とそれが生物多様性に対して与える潜在的な影響について、いくつかの例が以下に挙げてある。

- **総合的土地・水管理（あるいは景観地管理）**のオプションには、生物多様性の損失やその持続可能でない利用を招くような政策的歪みを取り除くこと、人類のニーズを満たすことと維持及び持続可能な利用という目標のトレードオフを吟味することのできる方法論を開発・確立すること、広範な土地管理プログラムの設定、土地・水質劣化を防ぐための植樹、侵入種の管理、原生種の遺伝的変異性の一部も有する野生の食用・薬用種の栽培、疾病、害虫、侵入種が移転してきていないかということや、生態系の機能やプロセスが失われたり悪影響を受けてはいないか、そして動物が気候帯の変化に応じた然るべき移動ルートを有しているかということを確認するための、地域社会を組み込んだモニタリング・プログラムなどがある。[WGII TAR Sections 4.4.2, 4.6.2, 5.4.4, 5.5.4, 5.6.4, 6.5.1, 10.2.1.5, 11.3, 12.4.8, 12.5.10, 12.8, 14.1.3.1, 14.2.1.5, 15.3, 16.3.2, and 1.7.3, WGII TAR Figure 5-1, and SYR Q7.8 and 8.4]
- **水産養殖、海洋牧場の導入など、沿岸漁業管理に対する総合的なアプローチによって、一部の沿岸漁業に対するプレッシャーが低減される可能性がある。**沿岸漁業に対する影響への対応として海洋牧場や水産養殖を進めることは、潜在的な適応オプションである。水産養殖及び海洋牧場は残存する沿岸システムへの影響を低減するが、気候変化下における沿岸管理に対する総合的なアプローチの一環として考慮されれば実施が最もうまくいくであろう。しかし、水産養殖や海洋牧場が海の浅瀬、湖、河川、それに依存する人間社会における局地的な生物多様性に悪影響を与えているという事例もある。[WGII TAR Section 6.6.4, and WGII SAR Section 16.1]
- **持続可能な農業の強化と農村開発を同時に目指した総合的なアプローチにより、生物多様性の気候変化に対する耐性が高まる可能性がある。**持続可能な農業を達成するための具体的な土地利用活動には、農業生産システムの適切な管理、十分な休閑期を置いた高度な移動耕作、耕作システムの多様化、継続的な土地被覆管理、養分回復、樹木や草本性植生と農作物をさまざまに組み合わせたアグロフォレストリー・システムがある。このような活動により、数多くの農業経営上・環境上・社会経済上の便益がもたらされ、温室効果ガス排出量が減り、生物多様性が維持されるであろう。[WGIII TAR SPM, LULUCF Section 2.5, and LULUCF Fact Sheet 4.11]
- **変化する気候帯に適応するための種の移動には、科学的な不確実性が多い。**散布の少ない種や、特別種、個体数の少ない種、生息範囲の限られた原生種、周辺個体(peripheral populations)、遺伝的に弱い種、重要な生態系機能を持つ種に対して、特別な配慮がなされることであろう。天然の移動経路を提供することによって（南北方向に保護区を拡大するなど）これらの種を当面の間は補助することができるであろうが、気候変化に伴って適切な生息地が移動するスピードに追いついていくために、最終的には多くの種が移動の補助を必要とするようになるであろう。侵入生物の影響がどのようなものであるかは予想がつかない。多くの予想もつかないことがおこるであろう。水系では、外来種を使っての管理により魚介群の不安定性が増し、魚介管理上の問題が発生して、多くの予想外の結果を招いたというケースがある。地域の生物相に新規の生物相を導入することでそれ自体が気候温暖化以外にも問題を増やすことになるという事態は、問題のある適応ということになりそうである。[WGII TAR Section 5.7.4 and WGII SAR Section 1.3.7]
- **新しい有害種に対抗して殺虫剤や除草剤の使用を増やすと、既存の動植物群、水質、人間の健康にダメージを与える可能性がある。**気候変化は、捕食種とその餌食、寄生種とその宿主を分かつこと

によって、これらのシステムの多くに悪影響を与えうる。北米の研究では、森林、草原地、農業生態系において害虫を餌にしている生物種の一部で、分布とサイズの縮小が見られると予想している。気候変化に対する人間の応答も、既存のプレッシャーに対して相乗的に働く可能性がある。例えば、新種の害虫の大量発生に対して殺虫剤の使用を増やすことで対応すると、対象外の種が気候と汚染の双方が組み合わさったストレスに耐えなければならなくなる可能性があるのである。また、対象外の種には他の害虫の自然捕食種が含まれることもあり、なお一層の問題を生むことになる。

[WGII TAR Sections 5.4.2, 5.4.3.3, and 5.4.4]

- **予想される社会経済的状況の変化と気温上昇による水使用に対する需要の増加** また一部の地域における降水量の低下により一層悪化する により、水の機会費用が高まり、野生や非集約的な管理の生態系に行き渡る水の量を減らしてしまう可能性がある。しかし、多くの地域において、水需要における気候原因の変化に対する適応戦略の一つが水利用の効率を高めることであるが、これは実施が難しいであろう。[WGII TAR Section 5.3.4]
- **現在の気候変動（高波や洪水など）に対処するための適応措置として作られた物理的バリアが、局地的な生物多様性の損失を招き、将来の気候変化に対する間違った適応となってしまう可能性がある。** 沿岸保護のための建設材入手のために、小さな島々が破壊されるというケースがある。天然の防壁の強化や保全（マングローブの再植林や珊瑚礁の保護など）、人工養浜などソフトなオプションの使用、沿岸村落の地面の高さを高くするなど、他にも実施可能な潜在的オプションはある。このような高度な防御の具体的な形として、人工湿地の戦略的設置もありうる。他にも、「予防的」アプローチの適用 建設制限、土地利用規制、建設基準、保険カバレッジの強化といったものや、伝統的で適切な対応（高床式の建築や、膨張性があり容易に入手可能な地元の建材を使うことなど）などのオプションがあり、これらは過去において多くの地域で効果的な対応であることが証明されている。[WGII TAR Sections 17.2.3 and 17.2.8]

8.3 生物多様性の維持及びその持続可能な利用と気候変化の相乗性

気候変化以外の理由で生物多様性を維持し、それを持続可能な形で利用するためにとられる行動は、気候変化の量ないし進度と気候変化に対する人間の適応能力に主として好影響を与える。その具体的な例は以下のとおり。

- **生物多様性維持のために割り当てられた区域は、長期的な炭素貯蔵庫となる。** 通常、維持目的には比較的成熟した生態系が好まれ、そのような生態系は擾乱の可能性を低減するように管理されて、貯蔵された炭素を放出するような人間活動を最小限にすることが普通である。それゆえ、維持区域は、森林伐採や植生伐採の回避という形を取っている。[LULUCF Sections 2.3.1 and 2.5.1]
- **生物多様性の維持はより大きな遺伝子プールの保護につながり、変化した気候及び環境的条件に適応した栽培・家畜種及び野生種双方の新しい遺伝子型がそこから生まれる可能性がある。** 維持区域は多様な遺伝子プールの維持に寄与しうが、農地や牧草地で成長する原生種による寄与も大きい。[WGII TAR Sections 5.3.3, 6.3.7, 1.4.2.1, and 19.3.3]
- **生物多様性の維持には自然の擾乱が必要であるが、最大限の炭素貯蔵を行う管理では擾乱を避ける傾向がある。** できるだけ広範囲の生態系の維持には、天然生態系のダイナミクスを継続させることが必要である。それゆえ炭素含有量の高い生態系の中には擾乱を許されているものがあり、その結果炭素を大気中に放出している。また、炭素含有量の低い生態系も維持されるべきである。一方、最適な炭素隔離には、成長の早い種を植えたり、火事などの擾乱をなくすことが必要な場合もある。したがって、生物多様性の維持及びその持続可能な利用は、高い炭素貯蔵という目的と同じ場所で

同時には両立しないことも多い。[LULUCF Section 2.5.1]

9. 気候変化に対する適応・緩和行動が生物多様性と持続可能な開発におけるその他の側面に与える影響を評価するのに利用できるアプローチ

気候変化関連の適応行動及び緩和行動（プロジェクト及び政策）と、UNCBD の維持及び持続可能な利用という目的、また持続可能な開発におけるその他の側面には、潜在的な相乗性と相反性がある。気候変化を緩和しそれに適応するための活動による持続可能な開発への寄与に影響を与える重要要因の中には、ガイドラインや手順を開発し実施する制度的・技術的能力、開発・実施・便益分配における地元共同体の参加の規模と効果、技術移転と適応が含まれる。多くの国々で適用されている既存のプロジェクト・レベル、部門レベル、地域レベルの環境及び社会的影響評価は、生物多様性と持続可能な開発におけるその他の側面に対する緩和及び適応行動の影響を評価するために改作・利用することができる。[WGIII TAR SPM, LULUCF, SPM para 90, and LULUCF Sections 2.5 and 5.6.4]

気候変化の適応・緩和行動の環境的・社会経済的影響は、プロジェクト・レベル及び戦略的レベル（部門及び地域）の環境的・社会的影響評価によって評価が可能である。参加プロセスを盛り込んだ環境的・社会的影響評価の優良事例は、プロジェクトや政策変更の潜在的な環境的・社会的リスクと影響について、また代替案や緩和措置の検討にあたり、意思決定者にオプションを与える。既存の評価方法には、気候緩和・適応行動全般を評価できるように改作が必要であろうが、生物多様性問題や持続可能な開発におけるその他の側面 雇用、人間の健康、貧困、平等など を含めていくことが可能である。[LULUCF Section 2.5]

気候変化の適応・緩和行動の評価に幅広い決定分析枠組みを利用することが可能であるが、それはほとんど使用されていない。幅広い一連の決定分析枠組みには、決定分析、コスト便益分析、コスト効果性分析、政策執行アプローチが含まれている。決定分析には、いずれも同じ理論枠組みを根拠とするある種の特色（連続的意思決定及びヘッジングなど）、特定のバージョン（マルチクライテリア分析など）、固有の機能（リスク評価など）、基本的要素（多属性効用理論）がある。決定分析は、部門別及び地域別の適応評価には特に魅力的であろうと思われるが、シングルでもマルチプル・クライテリアでも実行が可能であり、多属性効用理論が後者の概念的根拠となっている。決定分析は、技術的・社会的・環境的危険の管理に適用されており、リスク評価の一部となっている。

[WGII TAR Section 1.1 and WGIII TAR Section 2.5]

国家の持続可能な開発目標と合致したクライテリア及び指標は、生物多様性及び持続可能な開発におけるその他の側面に対する適応及び緩和行動の影響の評価と比較のために開発・利用が可能である。理想的な一連の指標には、理想的な会計システムと同じ一般的特質の多く、すなわち透明性、一貫性、比較可能性、完全性、正確性が備わっている。気候変化の適応ないし緩和のために使用される一連の政策措置のために、このような特質を備えた包括的な指標集は現在存在しないが、適応及び緩和行動が生物多様性や持続可能な開発におけるその他の側面に対して与える影響を評価するために国家が適応できるいくつかのアプローチが当該目的のために開発されているところである。[LULUCF Section 2.5] 例えば、

- **国際的に認められた持続可能な開発の原則及び指標との比較可能性と、国ごとに定義された持続可能な開発及びないし国別の開発目標との一貫性** 政府は、気候変化の適応及び緩和行動が国家の

持続可能性目標と合致し、それを支援するようにしてかまわない。国連の持続可能な開発委員会(UNCSD)の手配のもとで開発されている広範な国別指標は、そのような一貫性を評価する指標を開発したいとしている政府には有益であろう。UNCSDは、「Driving Force-State-Response」枠組みの中で社会的・経済的・環境的指標を開発しており、国家がそれらの指標の中からLULUCF政策措置や生物多様性と特に関連のあるもの(森林伐採防止など)脆弱な生態系の管理、砂漠化と旱魃の防止、生物多様性の維持など一連のプログラム分野におけるそれぞれの国家的優先性、目的、目標に見合った指標を選ぶという理解のもと、それぞれに国家レベルで使用するための方法論が備わっている。経済協力開発機構(OECD)は、同様の「pressure-state-response」モデルを用いて、森林資源、土壌劣化、生物多様性など数多くの問題に対し、政策的影響、分析的健全性、評価可能性にもとづいて中心的な環境パフォーマンス指標集を開発している。ヨーロッパ連合(EU)も、気候変化、生物多様性の損失、資源枯渇などの分野に対して、環境に影響を与える人間活動のための一連の指標を開発している。UNCSD、OECD、EUの国別・部門別指標集がどの程度適応・緩和行動の実施評価に適用・実施できるかということが、重要な問題である。

- **持続可能な森林経営及び農業のための国際的に認められたクライテリア及び指標との一貫性**
持続可能な森林(ヘルシンキ、モントリオール、タラボタ、国際熱帯木材機関など)及び農業(食料農業機関など)のためのクライテリア及び指標開発について、複数の政府間の取り組みが始まっている。このようなクライテリア及び指標は、局地レベルでまたさまざまな地域における農業・林業経営手法についてよりよいガイダンスとなるべく、改作と一層の開発が必要である。一般的にこのようなクライテリア及び指標は、木材その他の商業用林産品、食料、飼料の生産性に対する狭義の視点から離れ、(i)生物多様性の維持、(ii)森林生態系の健全性と活力の維持、(iii)地球の炭素循環に対する森林・牧草地・農地の貢献の維持、(iv)移動耕作及びアグロパストラル・システム、(v)総合的土壌・水管理、(vi)社会的ニーズ充足のため、森林及び農地からの長期的で数多い社会経済的便益の維持及び強化といった持続可能性の生態系的・社会的側面を取り入れていくようになってきている。

国家の適応・緩和行動の実施能力は、気候政策を経済的・社会的・環境的側面を含めた国家開発政策と統合することによって高まる可能性がある。 局地的・地域的・全地球的な環境問題間を連携させ(生物多様性の維持とその持続可能な利用を含む)、それと人類のニーズの充足を関連付けることで、対応策の開発と気候変化に対する脆弱性の低減において相乗効果を狙える機会が生まれるものの、問題同士には相反性も存在するであろう。温室効果ガスの緩和・適応オプションの実施を成功させるには、技術上・経済上・政治上・文化上・社会上・行動様式上・制度上のバリアを克服することが必要であろう。

[SYR SPM and SYR Q7 and Q8]

10. 特定される情報上のギャップと評価上のギャップ

これらのカテゴリーは、生物多様性に対する気候変化の影響・適応・緩和オプションと、気候変化に対する生物多様性変化のフィードバックというコンテキストの中に存在する。

生物多様性に与える気候変化の影響と、気候変化に与える生物多様性変化の効果はどんなものか という問いに応えるために：

- 適切な空間・時間解析を備えた、複数プレッシャー対応型の、景観地内部の生態系同士の空間的相互作用を含む、過渡的生態系モデルと併せ地域規模気候モデルを実施すること。
- 生態系における変化とその内部の生物多様性の変化を検知し、その変化が気候変化によるものであ

ることの検知を補助すべく、**multiple taxa** を用いたモニタリング・システムを開発すること（非気候的なプレッシャーの影響がほとんど無い保護区域内でのモニタリングが特に重要であろう）。

- 生物多様性、生態系の機構及び機能、分散化した景観地間の散布や移転の関係性について理解を深めること。
- 気候変化と生物多様性、及びその他のプレッシャーについて扱った関連する全ての文献を評価すること。
- 脆弱性分析における詳細かつ信頼に足る気候変化の地域シナリオを開発し、それを使用すること。

気候変化に対する緩和・適応活動が生物多様性に与える影響は何か という問いに答えるために：

- 生物多様性に対する緩和（海洋環境及び炭素隔離プロジェクトにおけるものを含む）及び適応プロジェクトを扱ったケース・スタディ（経験入手のため）を評価すること。
- 生物多様性の維持とその持続可能な利用が気候変化に与える影響を評価すること。
- 生物多様性の維持及びその持続可能な利用の行動が気候変化に与える（局地的、地域的、またおそらくは全地球的な）潜在的影響に対して根本的な理解を深め、そのための政策を開発すること。

生物多様性の維持とその持続可能な利用が気候変化適応措置に対して寄与する可能性 という問いに答えるために：

- 気候変化への適応・緩和オプションに好影響を与える生物多様性維持及びその持続可能な利用の行動と政策を特定すること。

ツール、指標、アプローチを開発するために：

- プロジェクト・レベル、部門レベル、地域レベルの環境的・社会経済的評価ツールの適応と、気候変化に対する適応・緩和オプションと持続可能な開発との相乗性及び相反性を（量的・質的に）評価するためのクライテリア及び指標集をさらに開発していくこと。

謝辞

An van den Borre と Xuehong Wang には最近の文献について支援いただいたこと、Sandy MacCracken にはさまざまなレビューについての手配をしていただいたこと、そして IPCC の執筆者諸氏及びそのご家族と諸機関には、本ペーパーの完成について感謝申し上げます。