

3.6.3.2 経済の多様化による政策対応

商業的農業の拡大や灌漑システムへの投資等。詳細は省略。【p288】

3.6.4 適応策の限界、不適応、及び緩和策への障壁

砂漠化や気候変動への適応策及び緩和策が多数利用可能である一方で、それらの対応が不適切な場合もある。【p291】

たとえば、薪の収集・販売と炭の生産をするという生計の多様化は、森林減少をさらに引き起こす可能性がある（Antwi-Agyei et al., 2018）。砂漠化を回避、削減、逆転させることで、土壌の肥沃度が高まり、土壌及びバイオマスの炭素貯留が増加し、土壌から大気への炭素排出が減少する（Cross-Chapter Box 2）。しかし特定の場所では、土壌炭素固定とその他の水利用間のトレードオフにつながる可能性がある（Cao et al., 2018）。たとえば、新規・再植林プログラムは、砂嵐の減少と乾燥地域の炭素吸収源の増加に貢献する可能性がある一方（Chu et al., 2019）、乾燥した場所でのアグロフォレストリー（森林農業）の実施は、水不足によって制約される可能性もある（Apuri et al., 2018）。したがって、解決策が利用できる場合でも、社会・経済・制度的な制約が、解決策の実施において障壁となる可能性もある。【p292】

4 土地の劣化

要約

本章では、非乾燥地域に焦点を当てて、気候変動が土地劣化にどのように影響するか、また土地劣化が気候変動にどのように影響するかについての科学的理解を検証する。乾燥地域における土地劣化については、「第3章 砂漠化」で説明した通りである。【p347】

4.1 はじめに

4.1.3 土地劣化の定義

本報告書では、土地を「自然資源（土壌、地表近くの空気、植生及びその他の生物群系、並びに水）、生態学的プロセス、地形、及び人による開発地・インフラ圏を含む、生物圏の陸域部分」として定義している（Henry et al., 2018; FAO, 2007; UNCCD 1994）。【p349】

また、土地劣化の定義は文献によって異なり、生物多様性、生態系機能、及び生態系サービスのいずれかに重点を置いて、多様に定義されている（例、Montanarella et al., 2018）。本報告書では、土地劣化を「気候変動を含む、直接的又は間接的な人為起源のプロセス（生物生産性、生態学的十全性、又は人類への価値、のうち少なくとも1つが長期的に低減又は喪失すること）によって引き起こされる土地条件の負の傾向」として定義される。【p349～350】

この定義は、森林及び非森林地にも適用される。森林劣化は、「転用のない森林地で発生する土地劣化」であり、森林減少は、「森林被覆の喪失と土地利用の変化を伴う、森林から非森林への転用」を指す。土壌劣化は、「土壌に直接影響を与える、土地劣化プロセスの一部」と定義される。国際的に認

められている森林の定義（FAO, 2015; UNFCCC, 2006）には、森林の再成長が見込まれる、攪乱や伐採により森林被覆が一時的に失われた土地も、森林とされている。したがって、このような一時的な森林被覆の喪失は、森林減少ではない。【p350】

4.1.5 持続可能な土地管理（SLM）と持続可能な森林経営（SFM）

持続可能な土地管理（SLM）とは、「変化する人間のニーズに応えるための、土壌、水、動植物、含む土地資源を管理・利用すると同時に、これらの資源の長期的な潜在生産能力及び環境機能の維持力を確保すること」と定義される（WOCAT n.d.）。【p351】

持続可能な森林経営（SFM）とは、「森林の管理及び利用を、地域・国・世界レベルで関連する生態系や経済・社会的機能を損なうことなく、森林の生物多様性、生産性、再生能力を将来にわたり維持する方法」とされる（Forest Europe 1993; Mackey et al., 2015）。欧州森林保護閣僚会議によって SFM が定義されて以来、国連食糧農業機関（FAO）によっても採用されている。これらの持続可能性基準を満たさない森林管理は、土地劣化の一因となるおそれがある。【p351】

SLMとSFMの定義は非常に似ており、統合することができるが、定義上のわずかな違いを維持するために、本報告書では両方を用いている。これらの用語は、本セクションで使用されているが明示的に定義されていない他の用語とともに、専門用語の解説で定義されている。【p351】

林分の純生態系生産は中間の林齢において最も高いため、既存の管理されていない森林に適用されたランドスケープレベルの SFM は、通常、最初に平均的な森林炭素蓄積を減らした上で、大気から CO₂ が吸収される速度を向上させる（Kurz et al., 2013; Volkova et al., 2018; Tang et al., 2014）。大気への正味の影響は、炭素蓄積の削減や、収穫されたバイオマスの利用方法（例、製品の利用期間の長さなど）、再成長率に依存する。したがって、森林ランドスケープにおける過去の炭素貯留減少といった指標においては、SFM の影響は負になる可能性があり、別の指標（例、現在の森林生産性と大気からの CO₂ 吸収率）に対する影響は、化石燃料の排出を回避するため、正の影響となる。持続的に管理された森林は、管理されていない森林よりもバイオマスの密度が低くなる可能性がある一方、若い森林は成長速度が速い可能性があるため、老齢林よりも大きな炭素吸収源となる（Trofymow et al., 2008; Volkova et al., 2018; Poorter et al., 2016）。【p351】

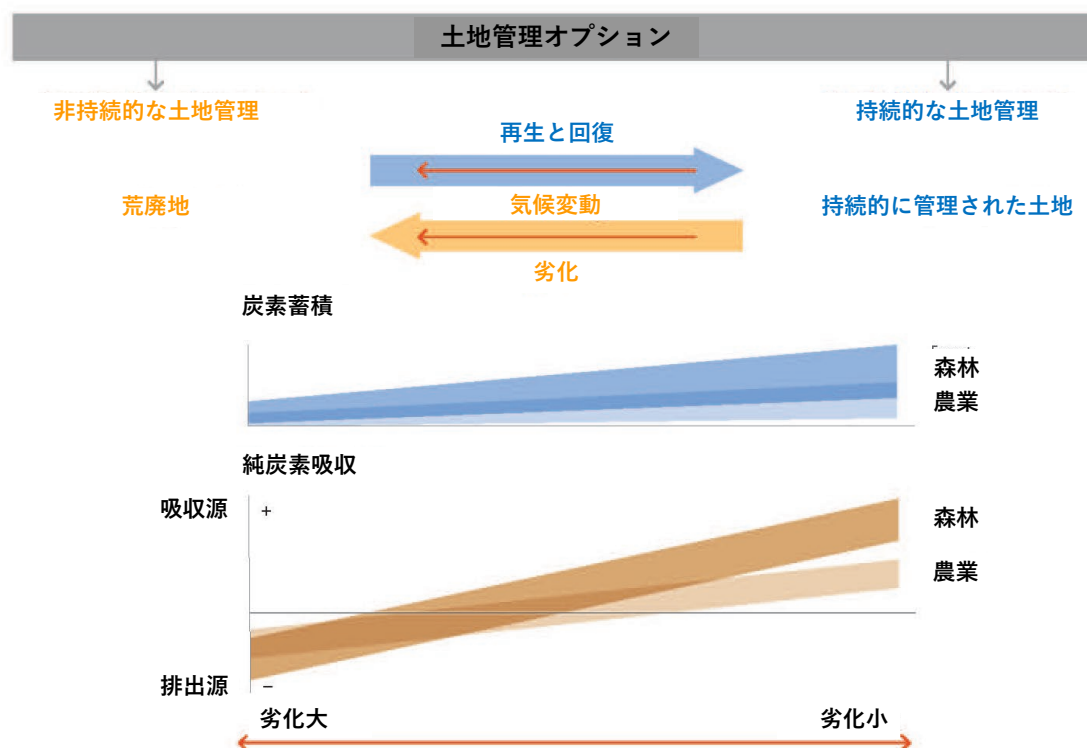


Figure 4.1 気候変動の影響が土地管理と相互作用して、持続可能なまたは悪化した結果を決定することを示す概念図【p352】

択伐及び間伐は、残された林分に十分な注意を払い、森林の再成長率を超えない強度と頻度で実施することで、森林の生産性を維持・強化し、コベネフィットを達成できる（Romero and Putz., 2018）。対照的に、持続不可能な伐採は、林分レベルでの劣化につながる可能性がある。例えば、択伐により貴重な大径木を伐採した際、損傷又は病気、非商業的、その他の生産性の低い木を残すことは、炭素貯留を減少させ、その後の森林回復に悪影響を与える。このような場合、森林劣化となる（Belair and Ducey, 2018; Nyland, 1992）。【p351～352】

前述の通り、SFM はいくつかの基準を使用して定義されるため、SFM の実施には通常、これらの基準間のトレードオフが含まれる。例えば、原生林を持続可能な方法で管理された森林生態系に転用すると、関連する経済的及び社会的、その他の機能が向上する一方で、生物多様性に悪影響を与えることがよく起こる（Barlow et al., 2007）。林分を置き換える自然攪乱が稀にあるか、全くない地域では、管理された二次林で収穫されたヘクタールあたりの木材収量は、通常、原生林での初回の収量よりも減少する（Romero and Putz, 2018）。【p352】

収量の持続可能性は、過去に森林管理の強化が行われ、森林成長量及び伐採率が増加し、又は過剰に伐採されていた温帯林及び北方林において達成された（Henttonen et al., 2017; Kauppi et al., 2018）。しかし、森林の生産性を高めるための森林管理の強化は、生物多様性の低下をもたらす可能性がある。例えば、定期的に間伐を行い、競争によって枯死する樹木を除去することで生産性を向上させる一方で、間伐により生息地となる倒木や粗い木片といった枯死有機物量が減少し、生物多様

性（Spence, 2001; Ehnström, 2001）及び炭素貯留（Russell et al., 2015; Kurz et al., 2013）を低減する可能性がある。高収量林業が及ぼす生物多様性への悪影響の認識は、可変保持伐採（variable retention logging）や継続的な森林被覆管理、また火入れの再導入等を通じて（Roberts et al., 2016）、生息地の有用性を高める森林管理の向上へつながる（Allen et al., 2002）。生物多様性の損失は、樹種の多様性が非常に高い傾向のある熱帯地域の原生林から、管理林への移行時にも見受けられる（Barlow et al., 2007）。実際にアマゾン地域では、約 16,000 の樹種が存在すると推定されている（ter Steege et al., 2013）。【p352】

森林認証スキームは、一連の基準と指標を評価し（Lindenmayer et al., 2000）、SFM の結果を示すために使用されてきた（Rametsteiner and Simula, 2003）。認証された森林の多くは、温帯及び北方の国々で見られるが（Rametsteiner and Simula, 2003; MacDicken et al., 2015）、熱帯地域では SFM によって森林の状態を改善できることも示されている。例えば、択伐は熱帯における年間の温室効果ガスの 6%を排出するため、伐採方法を改善することで、木材生産を維持しながら排出量を 44%削減できる（Ellis et al., 2019）。コンゴ盆地では、影響の少ない伐採（RIL-C）を実施することで、木材の収量を減らすことなく排出量を半分に減らすことができる（Umunay et al., 2019）。SFM 実施の判断は、社会経済的及び政治的状況に依存し、実施の効果は主に、報告と検証に依存する（Siry et al., 2005）。【p353】

SFM を成功させるには、より確実に森林減少や違法伐採、放火等、SFM の原則に反する活動をなくすために十分に確立された機能的なガバナンス、モニタリング、及び強化されたメカニズムが必要である（Nasi et al., 2011）。さらに、人為的及び自然攪乱に続いて、再植林、森林のリハビリテーション又は天然更新を通じて森林の再成長を確保する必要がある。攪乱後に森林が再成長しなければ、森林面積、森林被覆、炭素密度、森林生産性、及び陸上の炭素吸収源が長期的に減少する（Nasi et al., 2011）。【p353】

SLM と SFM の定義のすべての基準を達成することは、生物群系の変化や攪乱の増加等の気候変動の影響が生物多様性に悪影響を及ぼし、森林劣化の要因となると予測される場合、より課題を含んだ野心的な目標である（Warren et al., 2018）。そして、土地の吸収源を強化するための土地管理には、空間的・時間的・社会的な評価が必要なトレードオフが含まれている。【p353】

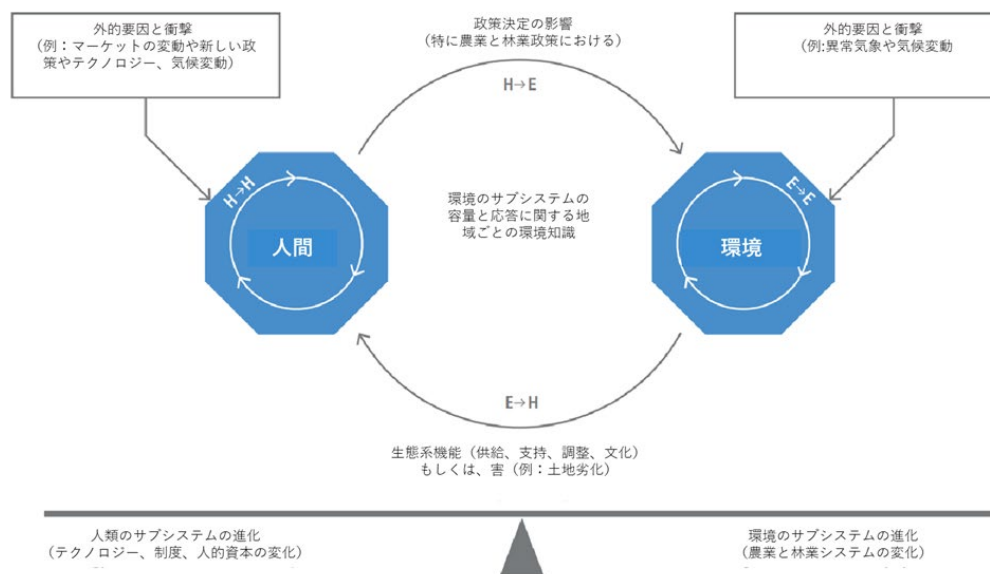


Figure4.2 政策決定と生態系機能の重要な要素間の連結部【p360】

政策決定と生態系機能を重要な要素間の連結部（地域と科学的な知識の効果的なシステムに基づき調整されている）とした土地システムにおける人間（H）と環境（E）の要素の相互関係を表した Figure。この Figure は、変化速度とこれらの連結部がどのように広域で、要素の機能的な共進化のために均衡が保たれるべきかを表している。Stafford Smith et al.（2017）より許可のもとに修正。

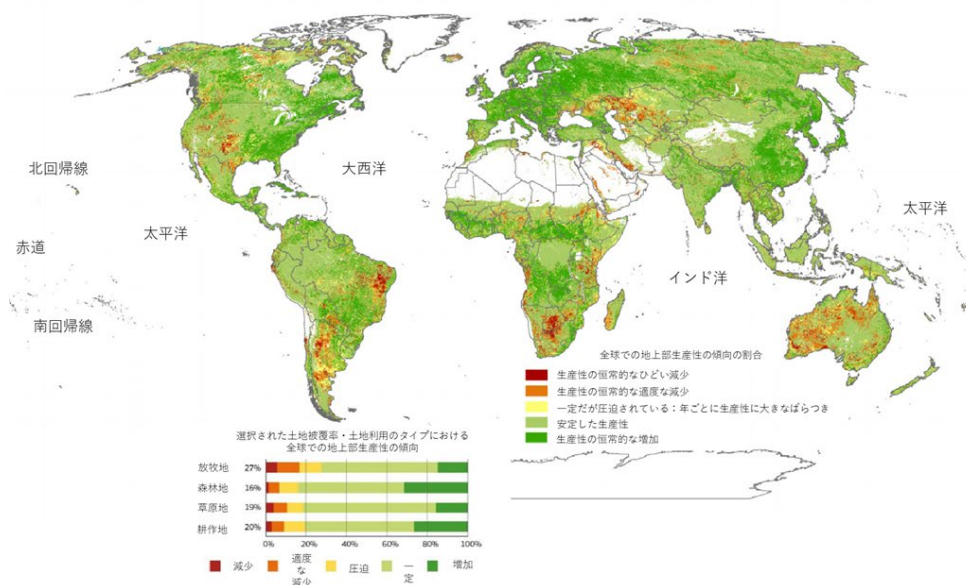


Figure4.4 選択された土地被覆/土地利用分類ごとの世界の地上部生産性の傾向の割合【p366】

農地は耕作可能な土地、永久作物、50%以上が作物の混合された分類を含む；草地は天然草地と管理された牧草地を含む；放牧地は、低木地、草本とまばらな植生の土地を含む；森林地は全ての森林のカ

デゴリー、及び混合された分類を含み、樹木被覆が 40%を超える場所を含む。

データ：Copernicus Global Land SPOT VGT, 1999～2013, (Cherlet et al., 2018)

4.3 土地劣化の状況と現在の傾向

4.3.2 森林劣化

森林劣化を定量化することは困難であることが証明されている。リモートセンシングを基にしたインベントリの方法は、生物学的生産性の低下や生態学的十全性の喪失、人類への影響等の測定と比べて、林冠被覆や炭素貯留をより簡単に測定することができる。森林劣化の一貫した定義の欠如は、森林劣化の速度又は影響の推定値を確立する際の障壁となっている（Sasaki and Putz, 2009）。【p367】

46 か国から提供された経験的データに基づくと、森林減少の主な原因は商業的農業であり、森林劣化は主に木材の採取及び伐採に起因していた。これらの原因は、アフリカ、アジア、ラテンアメリカで類似している（Hosonuma et al., 2012）。また、2001～2015年に起きた世界的な森林攪乱は、商業伐採（27±5%）、林業（26±4%）、焼畑農業（24±3%）、森林火災（23±4%）に起因していることが分かっており、残りの 0.6±0.3%は、都市部の拡大が原因とされる（Curtis et al., 2018）。【p367】

世界の先進国及び発展途上国は、森林移行のさまざまな段階にある（Kauppi et al., 2018; Meyfroidt and Lambin, 2011）。したがって、SFM は、森林減少と劣化の削減、森林保全、森林回復、森林管理の強化、及び森林と収穫された木材製品の炭素貯留の強化を通じて、大気中の炭素目標に貢献する可能性がある（Griscom et al., 2017）【中程度の証拠、中程度の合意】。【p367】

4.8 気候変動対策における土地劣化への取り組み

4.8.1 土地劣化に対処するための実地行動

Table4.2 人間と気候の相互関係【p382】

人間と気候の駆動要因の相互関係は砂漠化と土地の劣化を悪化させる。気候変動は、いくつかのすでに起こっている土地の劣化と砂漠化の過程の速度と強度を悪化させる。人為起源の土地劣化と砂漠化は農地面積の増加、農業施業、森林管理を含む。同様に、土地劣化と砂漠化は温室効果ガスの排出、炭素吸収量の減少、そして、将来の炭素吸収源としての役割を持つ生態系機能の減少により、気候変動の駆動要因ともなる。気候変動の影響は温暖化（赤）、又は寒冷化（青）である。

問題・事態	気候変動の影響	人為起源	気候起源	土地管理の選択肢	参照	Human driver	Climate driver
農地の 土壌流出	CO ₂ , N ₂ O 排出			土壌有機物増加、不耕 起栽培、多年作物、侵 食防止、アグロフォレ ストリー、食生活変化	3.1.4, 3.4.1, 3.5.2, 3.7.1, 4.8.1, 4.8.5, 4.9.2, 4.9.5	放牧圧	温暖化
森林伐採	CO ₂ 排出			森林産物、持続的森 林管理、食生活変化	4.1.5, 4.5, 4.8.3, 4.8.4, 4.9.3	農業 施工	異常 気温
森林劣化	CO ₂ 排出 炭素源減少			森林保護、持続的 森林管理	4.1.5, 4.5, 4.8.3, 4.8.4, 4.9.3	農地面 積増加	乾燥 傾向
過放牧	CO ₂ , CH ₄ 排出 アルベド増加			放牧のコントロー ル、牧草地管理	3.1.4.2, 3.4.1, 3.6.1, 3.7.1, 4.8.1.4	森林 伐採	異常 降水量
薪・炭の 生産	CO ₂ , CH ₄ 排出 アルベド増加			清潔な料理（特に女 性や子供への健康）	3.6.3, 4.5.4, 4.8.3, 4.8.4	木材 燃料	降雨シ フト
頻度と強 度の増加	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O排出 エアロゾル排出 アルベド増加			薪管理 火災管理	3.1.4, 3.6.1, 4.1.5, 4.8.3, Cross-Chapter Box 3 in Chp 2		台風の 強化
熱帯湿地 土壌の劣化	CO ₂ , CH ₄ 排出			泥炭地再生、新色管 理、泥炭土壌使用制 限	4.9.4		海面 上昇
永久凍土溶解	CO ₂ , CH ₄ 排出			定住地とインフラ の再配置	4.8.5.1		
海岸流出	CO ₂ , CH ₄ 排出			湿地と海岸再生、マ ングローブ保全、長 期的な土地利用計画	4.9.6, 4.9.7, 4.9.8		
砂嵐と 風化	エアロゾル 排出			植生管理、新規植 林、防風林	3.3.1, 3.4.1, 3.6.1, 3.7.1, 3.7.2		
灌木侵食	CO ₂ 吸収 アルベドの減少			放牧地管理、 火災管理	3.6.1.3, 3.7.3.2		

4.8.1.3 アグロフォレストリー

アグロフォレストリーは「木本の多年生植物（樹木、低木等）が草本植物（作物、牧草地）及び/又は家畜と、空間的に配置、ローテーション、又はその両方で成長する土地利用システムの総称」として定義されている。アグロフォレストリーは、木材エネルギー、木材、非木材製品から収入を生み出しながら、土壌と気候条件を改善する可能性を秘めている。気候変動の適応策と緩和策の相乗効果を生むものとして提示されることもある（Mbow et al., 2014）。【p383】

アグロフォレストリーは、単一栽培と比較した場合、追加の生態系サービスを提供できるという強い科学的合意がある（Waldron et al., 2017; Sonwa et al., 2011, 2014, 2017; Charles et al., 2013）。アグロフォレストリーは、焼畑農業を使用して収穫量を維持する必要がなく、同じ土地面積で高い生産性かつ継続的な生産を可能にすることにより、持続可能性の強化を可能にする（Nath et al., 2016）。これは、農業生産への高まる需要と、一次林や二次林等の隣接する生態系の保全との間の最適なバランスを見つけるという地域的な要件がある場合、特に関係がある（Mbow et al., 2014）。【p383】

しかし、アグロフォレストリーの正の効果はこれまでに多く実証されているにもかかわらず、実施数は少なく、導入スピードは比較的遅い（Toth et al., 2017; Pattanayak et al., 2003; Jerneck and Olsson, 2014）。リスクの認識と、導入から利益の創出までのタイムラグが焦点になる場合も多い（Pattanayak et al., 2003; Mercer, 2004; Jerneck and Olsson, 2013）。【p384】

4.8.3 森林減少と森林劣化の減少、及び植林の増加

熱帯地域における森林減少と森林劣化による年間 GHG 排出量の推定値の幅は広いが（0.5～3.5GtC/年（Baccini et al., 2017; Houghton et al., 2012; Mitchard, 2018）、GHG 排出量削減の大きなポテンシャルがある。発展途上国における森林部門の活動は、2030 年に 9GtCO₂ の技術的緩和の可能性があると推定された（Miles et al., 2015）。これは、森林減少の削減（3.5GtCO₂）、森林劣化の削減と森林管理（1.7GtCO₂）、及び新規植林と再植林（3.8GtCO₂）に分割される。【p385】

二次林の自然回復は、世界の炭素収支における炭素吸収源を強化する（Chazdon and Uriarte, 2016）。地上バイオマスの炭素蓄積量は熱帯で減少すると推定されているが、温帯及び北方林の蓄積量の増加により、世界的には増加しており（Liu et al., 2015b）、世界の陸域における炭素吸収源の観察結果と一致している（Le Quéré et al., 2013; Keenan et al., 2017; Pan et al., 2011）。

REDD+や自主的な炭素市場に関連するさまざまなプロジェクトは、後悔のない投資と見なされることによくある（Seymour and Angelsen, 2012）。しかし REDD+については、社会的及び生態学的影響（カンクンセーフガードで特定されたものを含む）を慎重に検討する必要がある。2018 年には、34 カ国が REDD+の森林参照レベル及び/又は森林参照排出レベルを国連気候変動枠組条約（UNFCCC）に提出した。これらの REDD+の参照レベルのうち、95%には「森林減少を削減する活動」が含まれ、34%には「森林劣化を削減する活動」が含まれていた（FAO, 2018）。5 か国が REDD+の結果を隔年更新報告書の技術付属書を提出し、2006～2015 年の間に、合計 6.3 GtCO₂ の排出削減を達成したとしている（FAO, 2018）。【p385】

熱帯林における生態学的十全性の観点から、炭素貯留と樹木被覆に焦点を当てた政策は、生物多様性（特に動物相等）や、森林生態系の他の側面までを考慮しないと、問題になる可能性がある（Panfil and Harvey, 2016; Peres et al., 2016; Hinsley et al., 2015）。他の懸念としては、自主的な炭素市場の下での森林ベースのプロジェクトがはらむ潜在的な負の社会経済的影響（Edstedt and Carton 2018; Carton and Andersson 2017; Osborne 2011; Scheidel and Work 2018; Richards and Lyons 2016; Borrás and Franco 2018; Paladino 及び Fiske 2017）、及び準国レベルでのリーケージ（ある場所での森林減少又は劣化を減らしても、他の場所において排出量を増やすための介入が行われること）があげられる（Atmadja and Verchot, 2012; Phelps et al., 2010; Lund et al., 2017 ; Balooni and Lund, 2014）。【p386】

4.8.4 持続可能な森林管理（SFM）及び二酸化炭素除去技術（CDR）【p386】

森林減少と森林劣化の削減は、緩和目標の達成に直接的に役立つ可能性がある。一方で、木材、繊維、バイオマス、非木材資源の提供を目的とした SFM は、地域コミュニティに長期的な生計を提供し、森林を非森林用途（開発地、耕作等）に転用するリスクの軽減や、土地の生産性を維持し土地劣化のリスクを軽減する（Putz et al., 2012; Gideon Neba et al., 2014; Sufo Kankeu et al., 2016; Nitchou Tchidje et al., 2016; Rossi et al., 2017）。【p386】

森林の成長率や純一次生産性、純生態系生産性は林齢に依存し、大気からの CDR の最大速度は、若い森林から中年の森林でみられ、その後低下する (Tang et al., 2014)。北方林の生態系では、炭素貯留と炭素フラックスの推定により、老齢林は通常、小さな炭素吸収源又は炭素排出源であることが示されている (Gao et al., 2018; Taylor et al., 2014; Hadden and Grelle, 2016)。熱帯林では、森林回復の最初の 20 年間の炭素吸収率は、老齢林の吸収率の 11 倍であった (Poorter et al., 2016)。しかし、樹木による炭素の吸収率は林齢だけでなく、多くの生物物理的要因や人間の活動によっても制限される (Bernal et al., 2018)。また、多種を含む非同齢林における生態系では、炭素貯留と吸収源の関係を定量化するのはより困難で、費用がかかるとされている。【p386】

森林の伐採とバイオマスの使用が大気中の正味の炭素削減に貢献しているかは、森林の再成長率、排出量の多い製品を木質製品に置き換えることで達成される削減量、伐採中及び伐採後の炭素損失、及び木材の使用と炭素保持 (例、製品の寿命) に依存する (Lemprière et al., 2013; Lundmark et al., 2014; Xu et al., 2018b; Olguin et al., 2018; Dugan et al., 2018; Chen et al., 2018b; Pingoud et al., 2018; Seidl et al., 2007)。さらに緩和策においては、大気の影響の経時的なダイナミクスも考慮する必要がある。これは、一部の緩和行動には即時の利益がある一方で (例、森林減少の回避)、他の行動では数十年又は数世紀にわたって正味の炭素削減としての利益が得られない場合があるためである。例えば、バイオエネルギーに木質バイオマスを使用することの気候的な利益は、バイオマスの供給源や代替エネルギーの種類、伐採された森林の成長率等、いくつかの要因に依存する (Laganière et al., 2017; Ter-Mikaelian et al., 2014; Smyth et al., 2017)。一般的に、伐採木材製品 (HWP) が長い炭素保持時間等を持つ製品に使用される場合、より大きな緩和効果が達成される。【p386】

森林の炭素貯留を最大化することと、森林生態系の炭素吸収源を最大化することの明確なトレードオフは、負の排出量達成のための最適な管理戦略について進行中の議題である (Keith et al., 2014; Kurz et al., 2016; Lundmark et al., 2014)。【p387】

4.9 ケーススタディ

4.9.4 泥炭土壌の劣化と管理

泥炭地は地球の陸地の 3~4% (約 430Mha) を覆い (Xu et al., 2018a)、推定される世界の土壌有機炭素 (SOC) の 26~44% を貯留している (Moore, 2002)。それらは北アメリカ、ロシア、ヨーロッパといった、北半球の高緯度地域で最も豊富である。低緯度地域において、最大の熱帯泥炭地は、インドネシアやコンゴ盆地、泥炭湿地林のアマゾン盆地にある (Gumbricht et al., 2017; Xu et al., 2018a)。世界の泥炭地地域の 80~85% は依然として大部分が自然の状態にある一方で、炭素密度の高い生態系である劣化した泥炭地 (陸地の 0.3%) からの年間の CO₂ 排出量は、人為起源の CO₂ 排出量の 5% を占めっていると推定されている (年間 0.9~3GtCO₂) (Dommain et al., 2012; IPCC, 2014c)。【p397】

20 世紀における泥炭地の劣化の主な要因は、農業のための排水、泥炭の採取、植林等の活動 (例、火入れ、過放牧、施肥) に関連しており、既存の様々な資源に応じて影響の規模と重大度が