

たシナリオにおいては、正味の CO₂ 排出量、及び CO₂ 強制力と同等の複数のガスをゼロにする必要がある。したがって、エネルギー利用における脱炭素化への以降は全てのシナリオで必要なことである。第 2 章で示されたシナリオの全ては、正味のゼロ CO₂ 排出収支を達成する CDR をアプローチとして含んでいる。これらのほとんどは植林に加え CCS を採用している。【p274】

4 地球規模の対応の強化、及び実施

要約

地球規模及び地域の土地利用や生態系移行と、温暖化を 1.5°C に抑えるために求められる行動に関連した変化は、将来的な適応策や、土地ベースの農林業における緩和ポテンシャルを増強させる可能性がある。しかしながら、このような移行は、農業や天然資源に依存した生計へ影響を与える {4.3.2, Cross-Chapter Box 6 in Chapter 3}。緩和目標を達成するための農林業の変化は、現時点の生態系、及び生態系サービスに影響を与え、潜在的に、食糧、水、及び生計の安全保障を脅かす。これは、土地ベースの緩和策の社会的、及び環境的実現可能性を制限する一方で、慎重な計画、及び実施により受け入れを容易にし、持続可能な目標の達成を支える [中程度の証拠、中程度の同意] {4.3.2, 4.3.5}。【p315】

緩和及び適応オプション及びその他の対策

BECCS、及び AR は、技術的、及び地理的な実現可能性はあるが、土地利用に関連した部分的に重複し、未だに異なる制限に直面する。CO₂ 吸収 1 トン当たりの土地フットプリントは、BECCS と比較して AR の方が高いが、現在の低い程度の展開を考慮すると、たとえ、公共での受入れの問題や、経済的なインセンティブの欠落が解消されたとしても、温暖化を 1.5°C に抑制する上で要求される速度や規模は、重大な実施上の課題を引き起こす [高い同意、中程度の証拠]。新規植林の大きなポテンシャルや適切に実行された場合の、生物多様性などの相互利益は、森林が飽和するにつれ、徐々に低減する [高い信頼性]。【p316】

4.3 1.5°C 経路の体系的な変化

4.3.2 土地及び生態系の移行

この項では、土地利用と生態系に関連した緩和策、及び適応策の実現可能性を評価する。土地の移行は農業と食糧、生態系と森林、及び海岸システムにグループ分けされる。【p327】

4.3.2.1 農業と食料

適応策は、十分かつ良い品質の食糧を入手することを助ける。このような選択肢は、農業の保護、改善された家畜管理、灌漑効率の向上、アグロフォレストリー、及びフードロスと廃棄の管理を含む。【p327】

概して、農業－牧畜混合システムを統合した農場戦略が、生産性を向上させ、正の持続可能な成

果を出すことにに関して、[高い信頼性]がある（Havet et al., 2014; Thornton and Herrero, 2014; Herrero et al., 2015; Weindl et al., 2015）。農業－牧畜混合システムへ移行することは、農業の適応策費用を、生産コスト全体の 0.3%まで削減すると推定されている（Weindl et al., 2015）。

【p328】

アグロフォレストリー

樹木、及び低木を作物や畜産システムに統合することは、適切に管理された場合、土壌侵食を制限し、水の浸透を促し、土壌の物理的性質を改善し、極端な事象を緩和する（Lasco et al., 2014; Mbow et al., 2014; Quandt et al., 2017; Sida et al., 2018）。生産性、生計、及び炭素貯留を増強させるアグロフォレストリーの実現可能性には、[中程度の証拠]と[高い同意]が存在しており（Lusiana et al., 2012; Murthy, 2013; Coulibaly et al., 2017; Sida et al., 2018）、これには、地域、アグロフォレストリーの種類、及び気候条件による変化を伴う（Place et al., 2012; Coe et al., 2014; Mbow et al., 2014; Iiyama et al., 2017; Abdulai et al., 2018）土地固有の生産システム（Coq-Huelva et al., 2017）を含んでいる。しかしながら、長期的なアグロフォレストリーの成功を検証した研究は数少ない（Coe et al., 2014; Meijer et al., 2015; Brockington et al., 2016; Zomer et al., 2016）。増加を続ける食糧需要を満たすことが比較的確認されていない一方で、農場レベルのアグロフォレストリーの慣行が行われる範囲は地球規模に展開される可能性がある。アグロフォレストリーの採用は、比較的低く、一律ではない（Jacobi et al., 2017; Hernández-Morcillo et al., 2018）。また設立費用と財政支援の欠落、不安定な土地保有、土地所有者の樹木に対する経験して得た知識の不足、管理慣行の複雑性、異なる食糧や繊維製品への市場の需要と価格の変動、管理へ要求される時間と知識、収入の遅延を相殺する低い中間利益、及び不十分な市場へのアクセスといったものを含む制限を伴っている（Pattanayak et al., 2003; Mercer, 2004; Sendzimir et al., 2011; Valdivia et al., 2012; Coe et al., 2014; Meijer et al., 2015; Coulibaly et al., 2017; Jacobi et al., 2017）。

【p328】

4.3.2.2 森林及びその他の生態系

生態系の回復

熱帯、亜熱帯、温帯、及び亜寒帯のバイオームの現時点のバイオマス蓄積量は、それぞれ 1085、194、176、190 GtCO₂ である。保護、及び回復は、これらの自然な炭素吸収源を増強する（Erb et al., 2017）。近年の研究によって、23GtCO₂ の推定に達する保護、回復及び改善された土地管理の選択肢が探求されている（Griscom et al., 2017）。緩和のポテンシャルは、森林減少率の減少、再植林、及び森林管理が優位を占めており、熱帯地域に集中している（Houghton, 2013; Canadell and Schulze, 2014; Grace et al., 2014; Houghton et al., 2015; Griscom et al., 2017）。多くの文献が制度的な仕組みとして、REDD+に焦点を当てている。しかしながら、回復及び管理活動は REDD+に限定される必要はなく、及び地域的に採用されて実行されることは、コストを抑え、相互利益への投資を叶え、社会経済的な目標との競争を考慮することを確かのものにする（Jantke et al.,

2016; Ellison et al., 2017; Perugini et al., 2017; Spencer et al., 2017)。

推定されているポテンシャルの半分は、100US \$ /tCO₂ 未満で達成することが可能であり、1/3 の費用対効果の高いポテンシャルは、10US \$ /tCO₂ 未満で達成することができる (Griscom et al., 2017)。森林減少からの排出を削減することを目指したプロジェクトにおけるコストの変動は、機会と取引のコストを考慮した際大くなる (Dang Phan et al., 2014; Overmars et al., 2014; Ickowitz et al., 2017; Rakatama et al., 2017)。

しかしながら、森林へ焦点を当てることは、バイオームに渡るリーケージ [中程度の証拠、低い同意] (Popp et al., 2014a; Strassburg et al., 2014; Jayachandran et al., 2017)、及びその他の生態系への侵入の懸念を増加させる (Veldman et al., 2015)。森林減少率を減少させることは、農業と放牧へ利用できる土地を制限し、食、高い収量、及び食糧価格とのトレードオフを伴う (Erb et al., 2016a; Kreidenweis et al., 2016)。森林の回復、及び保護は、生物多様性 (Rey Benayas et al., 2009; Jantke et al., 2016)、及び利用できる水資源と矛盾のないものであり、熱帯地域での森林減少率の減少は、表面気温を下げ (Perugini et al., 2017)、降水を維持する (Ellison et al., 2017)。

新たな地域評価は、アップスケーリングに対して新しい視点を与える。協同、さらなる資金、アクセス、及び支出のポイントを強化することは、2°C 及び 1.5°C 抑制に向けた作用における REDD+ のポテンシャルを増強する (Well and Carrapatoso, 2017)。土地の所有権は正の影響を与えるという指摘がある一方で (Sunderlin et al., 2014)、Wehkamp et al. (2018a) によるメタ分析では、どのガバナンスの改善の側面が保護に協力的かということについて、[中程度の証拠] と [低い同意] があることが示されている。地域的な利益は、特に固有の社会では、土地所有が尊重され、法的に守られている (これが当てはまる場合はほとんどないが) 場合にのみ生じうる (Sunderlin et al., 2014; Brugnach et al., 2017)。森林減少率の低下に資金を投じることは、貧困層への利益になる可能性もあるが、最も脆弱な人々は、制限された同等でないアクセスを持つことになり (Atela et al., 2014)、森林減少から得られるより低い機会費用に直面する可能性もある (Ickowitz et al., 2017)。【p329～330】

4.3.3 都市及びインフラシステムの移行

4.3.3.1 都市のエネルギーシステム

再生可能エネルギーが、日常的な都市の開発地において、灯油、木材燃料、又は炭原料にとって代わる部分で、室内の空気質の向上、火災リスクの減少と森林減少の低下といった相互利益を提供し、これらの全ては、適応能力を強化し、再生エネルギーの需要を高める可能性がある (Newham and Conradie, 2013; Winkler, 2017; Kennedy et al., 2018; Teferi and Newman, 2018)。【p331】

4.3.3.7 グリーンな都市インフラと生態系サービス

イタリアのミランは、計画的な都市緑地を伴った都市であり、1 万 ha の新しい森林や緑地を 20 年以上に渡って植栽してきた (Sanesi et al., 2017)。世界の様々な地域における、非都市部の樹木と相対した都市の樹木の加速化した成長は、樹木の寿命を減少させると推定されている (Pretzsch et al.,

2017)。都市部の生態系に基づく適応、及び緩和への樹木の貢献が、1.5°C 温暖化の世界で維持されることとなった場合、都市の樹木のモニタリング、及びさらなる管理が要求される（Buckeridge, 2015; Pretzsch et al., 2017）。【p334】

Table 4.2 グリーン都市インフラとメリット【p334】

グリーンインフラ	適応策の利益	緩和策の利益	文献
都市緑化、都市公園	ヒートアイランドの減少、精神的利益	セメントの利用低下、エアコンの利用減少	Demuzere et al., 2014; Mullaney et al., 2015; Soderlund and Newman, 2015; Beaudoin and Gosselin, 2016; Green et al., 2016; Lin et al., 2017
透過性表面	水の再供給	セメントの少ない町、生物的貯留、より少ない水供給	Liu et al., 2014; Lamond et al., 2015; Skougaard Kaspersen et al., 2015; Voskamp and Van de Ven, 2015; Costa et al., 2016; Mguni et al., 2016; Xie et al., 2017
森林回復、都市農地	洪水の緩和、健康的な生活スタイル	大気汚染の減少	Nowak et al., 2006; Tallis et al., 2011; Elmqvist et al., 2013; Buckeridge, 2015; Culwick and Bobbins, 2016; Panagopoulos et al., 2016; Stevenson et al., 2016; R.
湿地回復、川辺のバッファゾーン	都市部の洪水、低い技術の仕事の減少、土地の意義	いくつかの生物的固定、水管理における投入エネルギー低下	Cartwright et al., 2013; Elmqvist et al., 2015; Brown and McGranahan, 2016; Camps-Calvet et al., 2016; Culwick and Bobbins, 2016; McPhearson et al., 2016; Ziervogel et al., 2016b; Collas et al., 2017; F. Li et al., 2017
都市の生物多様な生息域	精神的利益、都市内のレクリエーション	炭素固定	Beatley, 2011; Elmqvist et al., 2015; Brown and McGranahan, 2016; Camps-Calvet et al., 2016; McPhearson et al., 2016; Collas et al., 2017; F. Li et al., 2017

4.3.5 適応を支える最重要な適応策

4.3.5.5 在来知識

在来知識は、適応策に非常に重要であり、在来の農業生態学的な森林管理システムの多様性、集合的な社会的記憶、蓄積された経験の宝庫、及びソーシャルネットワークを通じて適応能力を強化するという【中程度の証拠】と【高い同意】がある（Hiwasaki et al., 2015; Pearce et al., 2015; Mapfumo et al., 2016; Sherman et al., 2016; Ingty, 2017）。在来知識は様々な要因に脅かされ、気候変動に対する脆弱性を増加させる結果となる。つまりは、気候政策が、在来世界観への限られた理解に基づいている場合、その脆弱性をより悪化させる（Thornton and Manasfi, 2010; Ford, 2012; Nakashima et al., 2012; McNamara and Prasad, 2014）。【p337】

Cross-Chapter Box 9 北極圏・カリブ海・アマゾン・都市の4つの社会経済システムに渡る持続可能な発展と公平性にむけたリスク、適応策の介入、及び影響

アマゾン

アマゾンのような陸域の森林は、気候における変化、とりわけ、21世紀を通じて強化される（Marengo and Espinoza, 2016）干ばつ（Laurance and Williamson, 2001）に敏感に反応する。【p340】

この地域の最貧困のコミュニティは気候変動の実質的なリスク、及び適応能力の障壁や限界に直面している（Maru et al., 2014; Pinho et al., 2014, 2015; Brondízio et al., 2016）。アマゾンは、ホットスポットとみなされ、上昇する気温・減少した降水・水文学的流動（Betts et al., 2018）、低レベルの社会経済的発展（Pinho et al., 2014）、及び高レベルの気候への脆弱性との相互関係を伴う（Darela et al., 2016）。地球温暖化を2°Cの場合と比較して1.5°Cに抑制することは、特にアマゾン（Bathiany et al., 2018）の食と水の安全を強化し（Betts et al., 2018）、貧困層と持続可能な発展への影響を低減し、適応をより簡単にする（O'Neill et al., 2017）。【p340】

アマゾン地域の多くの国々における気候政策は、炭素吸収源としての森林に焦点を当てている（Soares-Filho et al., 2010）。2009年には、ブラジル気候変動国家政策は、適応策を懸念として認識しており、政府は適応策を公的行政機関に組み入れることを模索していた。ブラジル国家適応策計画は、原則的に、能力開発、計画、評価、及び適応の意思決定を支援するツールを発展させることで、部門的な適応策手法の指針を定めた。適応策は、ブラジルのアマゾン地域において、特に生態系ベースなものとして（Locatelli et al., 2011）緩和的な相互利益を持つものとして増加している（Gregorio et al., 2016）。ペルーにおける気候変動枠組法では、全行政部門は気候条件を経済発展の促進・適応策計画上の潜在的なリスク、及び機会又はどちらか一方であると考えている。【p340】

4.3.6 短寿命の気候強制因子

Table 4.5 短寿命の気候強制因子（SLCFs）の主な性質の要約【p342】

中心的な情報は、Pierrehumbert, 2014とSchmale et al., 2014に基づく。詳細は引用文献を参照。

SLCF成分	大気中の生存期間	年間世界排出量	人為的な主な排出要因	1.5°C温暖化に一貫した排出削減の選択肢	それ以外に特定されない場合、Hanies et al. (2017)に基づいた相互利益の例
メタン	数十年単位	0.3 GtCH ₄ (2010) (Pierrehumbert, 2014)	化石燃料の採掘及び輸送；土地利用変化；家畜及び米栽培；廃棄物及び排水	家畜からの堆肥管理；断続的な田圃の灌漑；放出されたメタンの回収及び利用；食生活の変化；より多くはSection 4.3.2を参照	対流圏のオゾンを減少（Shindell et al., 2017a）；食生活の変化による健康利益；作物収量の増加；飲み水へのアクセス向上
HFCs	ガスによるが、数ヶ月から数十年単位	0.35 GtCO ₂ eq (2010) (Velders et al., 2015)	エアコン、冷蔵庫、構造物素材	エアコン及び冷蔵庫におけるHFCsの代替を利用	より高いエネルギー効率 (Mota-Babiloni et al., 2017)
ブラックカーボン	数日	~7 Mt (2010) (Klimont et al., 2017)	自動車の化石燃料やバイオマス燃料の不完全燃焼（特にディーゼル）、料理ストーブ、灯油ランプ；野焼き及びバイオマス燃焼	より少なくよりクリーンな自動車；農業バイオマスの燃焼を減少；よりクリーンなストーブ、ガス又は電気調理；レンガ及びコークスのオーブンを代替；太陽光ランプ；より多くはSection 4.3.3	より良い大気品質の健康利益；教育機会の増加；現代レンガ窯の石炭消費の減少；森林減少の低減。

4.3.7 二酸化炭素除去 (CDR)

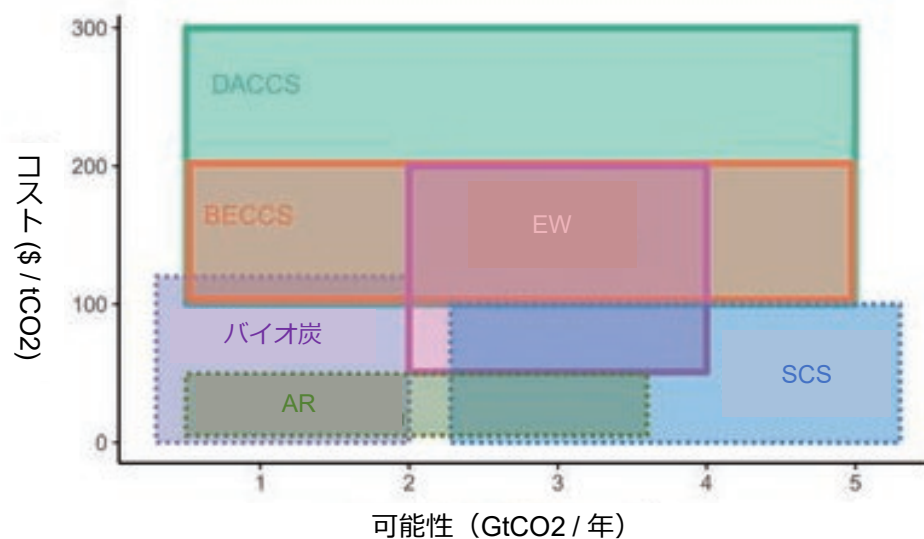
4.3.7.2 新規植林と再植林 (AR)

再植林は人為的又は自然攪乱により、樹冠が 10%以下になった地域に森林を再び定着させることを示し、植林は、長い期間森林ではなかった土地（京都議定書では、50 年以上）に、樹木を植えることを指す。Houghton et al. (2015) は、およそ 500Mha が、以前森林で現在生産的に使われていない土地を、再び森林の定着に利用可能であると推定している。これは、少なくとも数十年に渡って年間 3.7 GtCO₂ を固定することができる。文献全体の範囲は、2050 年において、1~7 GtCO₂/年となっており [低い証拠、中程度の同意]、複数の制限に基づくと 0.5~3.6 GtCO₂/年となっている (Fuss et al., 2018)。コストの減少額は、ほかの CDR 選択肢と比較して低く推定されており、5~50 USD/tCO₂eq となっている [強靱な証拠、高い同意]。しかしながら、養分の正の影響、及び無視できるエネルギー要求はあるが、そのような大きなポテンシャルの実現には、BECCS よりも高い土地フットプリント・水フットプリントを必要とする (Smith et al., 2016b)。Grimson et al. (2017) による 2030 年の推定量は、著しい相互利益を伴いながら、再植林の固定で 17.9 GtCO₂/年である。【p343】

生物貯留は、地質学的な貯留による排出の削減と同程度に永久的なものではない。さらに、森林吸収源の飽和は、地質学的な CO₂ 貯留の残存する数千年の時間と比べて、数十年から数世紀に起こり (Smith et al., 2016a)、干ばつ、森林火災、及び病虫害といった、気候変動により悪化する攪乱に影響を受ける (Seidl et al., 2017)。これらの課題を扱うには、慎重な森林管理が要求される。実用的な AR の経験があり、アップスケールを促しているが、二つの注意を伴う。AR の可能性は不均一に分散しており (Bala et al., 2007)、これは、より反射的でない森林の植栽は、より高い正味の放射吸収、及び高緯度地域の局地的な表面温度化を引き起こす (Bright et al., 2015; Jones et al., 2015)。また、森林ガバナンス構造とモニタリング能力は妨げになり、通常モデルの中に組み込まれていない (Wang et al., 2016; Wehkamp et al., 2018b)。文献の中で考察されている異なる形態の植林により、AR の生態系と生物多様性に与える正の影響には、[中程度の信頼性] がある。つまりは、在来種を伴った、林業やアグロフォレストリーのような森林生態系の回復は、正の社会的・環境的影響を与える可能性がある (uningham et al., 2015; Locatelli et al., 2015; Paul et al., 2016) 一方で、草地生態系、又はモノカルチャー又は外来種を伴った多様化した農園景観への植林は、生物多様性、水資源などに、著しく負の影響を与える可能性がある (P. Smith et al., 2014)。【p343】

その他の政策目標との相乗効果は可能である。たとえば、食の変化による空地は植林 (Röös et al., 2017)、又はエネルギー作物 (Grubler et al., 2018) のために使用される可能性がある。【p343】

Panel A – 推定コストと2050年のポテンシャル



Panel B – コスト、ポテンシャル（2050）および副作用を推定した文献

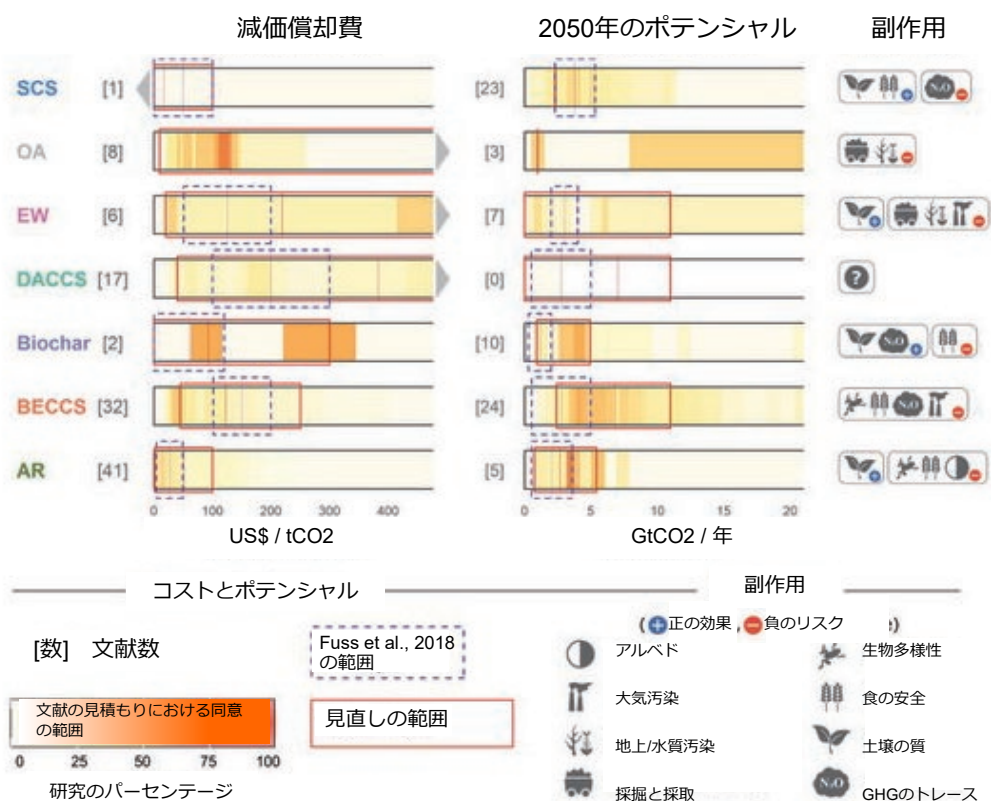


Figure 4.2 CDR の減価償却費、2050 年への展開ポテンシャル及び重要な副作用における証拠【p344】

Panel Aは、ボトムアップの文献（Fuss et al., 2018）の体系的な見直しに基づく推定を示しておりPanel B

の青い点線枠に対応している。点線は、対応する技術の飽和の限界を示している。Panel B は、考慮されたコスト又は潜在的な推定の文献における百分率を示している。すべての潜在的な推定に関連する年は 2050 年である。一方で、2050 年に先立つすべてのコストの推定が含まれる（2030 年と同様に早期で、基準年が定まっておらず比較が不可能な場合、より古い推定は除外されている。）詳細を示すために、範囲は一部を示している（全体の幅は Fuss et al., 2018 を参照）。コストは、減価償却費にのみ言及している。副作用のためのアイコンは、多くの重要な文献が発生を確認している場合にのみ配置されている。

付記：文献については Supplementary Material Table 4. SM.3 を参照。DACCS は理論的に地質学的な貯留能力によって制限され、推定は、アップスケールとコストの課題を考慮している（Nemet et al., 2018）。BECCS の可能性は文献におけるバイオエネルギーの推定（EJ/年）に基づいており、以下の脚注 4 に従い GtCO₂ に変換されている。CDR の選択肢が資源と競合する場合、可能性は追加されない。

4.3.7.3 土壌炭素固定及びバイオ炭

地域スケールにおいて、アグロフォレストリーのような土壌炭素固定（De Stefano and Jacobson, 2018）、荒廃地の回復（Griscom et al., 2017）、又は保護的な農業管理慣行（Aguilera et al., 2013; Poeplau and Don, 2015; Vicente-Vicente et al., 2016）は、農業において相互利益を持つ。多くの手法は、協力的な気候政策なしでも費用対効果の高いという〔強靱な証拠〕がある。【p345】

Cross-Chapter Box 11 自国が決定する貢献、及び 1.5°C シナリオの貢献の間の一貫性
土地利用の選択肢は、多くの国の自国が決定する貢献において、重要な役割を果たす。しかしながら、自国が決定する貢献の多くの分析は、土地利用排出における国の推定を使用せず、モデル予測を用いており、主に国とモデルの間にある人為的な森林吸収源を推定することの大きな差異となる（Grassi et al., 2017）。【p357】

Box 4.7 ブラジルのバイオエタノール：技術革新と技術移転の教訓

Jaiswal et al. (2017) は、バイオエタノールは、大規模にも関わらず、ブラジルの食糧生産と森林に限定された影響を与えると報告し、これは、特定の農業生態学的なゾーニング政策に起因されるとする一方で、様々な研究は、農地による森林の代替を通じたバイオエネルギー産出の悪影響を報告しており（Searchinger et al., 2008）、生物多様性、水資源、及び食糧安全保障にも影響を与える（Rathore et al., 2016）。新世代のバイオ燃料のための、実現性とライフサイクルアセスメントについての研究は、環境、経済、及び社会的要因への影響における情報を提供する（Rathore et al., 2016）。【p371】

4.5 統合、及び変化の実現

4.5.2 緩和策の実施

Table 4.11 1.5°C 温暖化に関連する緩和オプション例の実現可能性評価【p383】

濃い赤は実現可能性の規模における障害が不在であることを示し、中程度の赤は、平均して、規模が選択肢の実現可能性にポジティブでもネガティブでもない影響を与える場合や証拠が混在する場合を示し、薄い赤は、潜在的な障害の存在を示している。白抜き部分は十分な証拠や文献が存在しないことを示す。証拠や同意は選択肢のレベルで引き受けられている。背景の列は、背景上の要因が異なった場合、どのように評価が変化するかを示している。方法と文献の基礎については、Supplementary material 4.SM.4.1 と 4.SM.4.2 を参照。

システム	緩和策	証拠	同意	経済	技術	法令	社会 文化的	環境/ 生態学	地球 物理学	文脈
CDR	BECCS	強靱	中程度							バイオマスの利用可能性、CO2貯留能力、法的枠組み、経済的ステータス及び社会的受け入れに依存。
	DACCS	中程度	中程度							CO2フリーエネルギー、CO2貯留能力、法的枠組み、経済的ステータス及び社会的受け入れに依存。
	AR	強靱	高い							地域、実施の状態、経済及び制度的要因に依存。
	SCS & バイオ炭	強靱	高い							地域、土壌状態、タイムスパンに依存。
	強化風化	中程度	低い							CO2フリーエネルギー、経済的ステータス及び社会的受け入れに依存。

4.5.3 適応策の実施

4.5.3.1 実現可能な適応オプション

土地、及び生態系の移行にとって、農業の保護、効率的な灌漑、アグロフォレストリー、生態系回復、及び森林減少の回避、並びにサンゴ礁の保全と強化の選択肢は、[中程度から強靱な証拠]、及び[中程度から高い信頼性]を伴っている。事例では、火災管理（Colloff et al., 2016a）、氾濫原と湿地管理（Colloff et al., 2016b）、及び森林管理（Chung Tiam Fook, 2017）の移行的な適応策のアプローチが示されており、政策手段の強化、及び気候財政の強化が求められている。【p384】

Table 4.12 1.5°C 温暖化に関連した適応オプション例の実現可能性評価【p385】

濃い赤は実現可能性の規模における障害が不在であることを示し、中程度の赤は、平均して、規模が選択肢の実現可能性にポジティブでもネガティブでもない影響を与える場合や証拠が混在する場合を示し、薄い赤は、潜在的な障害の存在を示している。色がついていない部分は十分な証拠や文献が存在しないことを示す。証拠や同意は選択肢のレベルで引き受けられている。背景の列は、背景上の要因が異なった場合、どのように評価が変化するかを示している。方法と文献の基礎については、Supplementary material 4.SM.4 を参照。

システム	緩和策	証拠	同意	経済	技術	法令	社会 文化的	環境/ 生態学	地球 物理学	文脈
土地と生態系の移行	農業の保全	中程度	中程度							灌漑/貯雨システム、生態系特性、作物の種類、他の農業実践に依存。
	十分な灌漑	中程度	中程度							農業システム、使用技術、地域的法令及び生物物理学的文脈に依存。
	十分な家畜システム	限定的	高い							家畜飼料、飼料実践及び生物物理学的文脈（運搬能力等）に依存。
	アグロフォレストリー	中程度	高い							知識、財政的支援及び市場状態に依存。
	コミュニティーベースの適応策	中程度	高い							田舎地域に集中し、生態系ベースの適応策と連結、都市環境は含まない。
	生態系の回復と森林破壊の忌避	強靱	中程度							既存及び評価されたREDD+プロジェクトに主に集中。
	生物多様性の管理	中程度	中程度							生物多様性が脆弱なホットスポットと高い連結性に集中。
	沿岸の保護と強化	強靱	中程度							第一の適応策としてこれを要求する地域に依存。
	持続可能な養殖	中程度	中程度							リスクにさらされた地域と社会文化的文脈に依存。

4.5.4 適応と緩和策の相乗効果及びトレードオフ

アグロフォレストリーは、森林減少、及び化石燃料消費の減少を通じて GHG 排出量を削減するが、原生林及び二次林と比較して低い炭素固定のポテンシャルをもつ。【p386】

様々な選択肢は、気候変動の緩和・適応策の両方を強化し、2 つの 1.5°C に関係した目標に役立つ：気候変動に関連し適応する一方で、排出を削減する。このような選択肢の例は、再植林、都市及び空間計画、並びに土地・水管理などがある。【p386】

Box 4.10 ブータン：経済成長、カーボンニュートラル性、及び幸福の相乗効果とトレードオフ

ブータンは、総国家幸福指標で非常に有名であり、総国家幸福指標は、精神的幸福、健康、教育、文化・社会の活力、生活水準、生態学的問題、及び良いガバナンスを扱うものである（RGoB, 2012; Schroeder and Schroeder, 2014; Ura, 2015）。ブータンは、回復力、及び適応戦略の一部である水力と森林被覆を通じて現在のカーボンニュートラルな状態を達成している（Yangka and

Diesendorf, 2016)。森林被覆は、相乗効果を維持するのに十分保たれていると推定されている。一番大きな課題は、貨物と人の輸送を電氣化することである (ADB, 2013) 。【p387】

FAQ 4.1 どのような移行が 1.5°C 温暖化を実現化するのか？

持続可能な開発、及び貧困根絶の努力に沿い、1.5°C へ温暖化を抑制するそれぞれのシステム内部での適応・緩和策の選択肢、又は行動の実現可能性には、複数の異なる要因の慎重な考慮が求められる。これらの要因は様々なものがあるが、さらなる要因として知られている、地球物理学的な実現可能性は、選択肢を実行するための物理的なシステムの能力に対処する。例として、大規模の新規植林の実施が、1.5°C 温暖化と一貫して地球物理学的に可能であるかなどがある。【p392】

FAQ 4.2 CDR、及び負の排出とは何か？【p394～】

新規植林・再植林は、自然の CO₂ 吸収源を増強するために CDR の形態として見なされる。いくつかの CDR の種類には、CO₂ 吸収以外の利益のある副作用がある。例えば、森林、又はマングローブは生物多様性を強化し、洪水や嵐から保護する。

5 持続可能な発展、貧困根絶、及び不平等の削減

要約

1.5°C 経路に一貫した緩和策の選択肢を展開することは、持続可能な発展の範囲に渡って様々な相乗効果を生む。緩和策対応の選択肢、及び持続可能な発展の間にある多くの相乗効果は、AFOLU、及び海洋のエネルギー需要供給におけるトレードオフの数を超過する [非常に高い信頼性] 。【p447】

5.3 気候適応及び持続可能な開発

5.3.2 適応選択肢と持続可能な開発の間にある相乗効果及びトレードオフ

1.5°C の気候安定化シナリオの下においても、海岸地域において海面上昇に対する適応策は、必須なものである (Nicholls et al., 2018) 。マングローブ林の植林のような、生態系を回復する海岸域の適応策は、陸地、及び海洋の生活及び生計を向上する SDGs を支える。【p457】

Box 5.1 乾燥地域における生態系、及びコミュニティベースの慣行

アグロフォレストリーのバリューチェーンと市場の展開 (Reij and Winterbottom, 2015) 、及び適応的な計画と管理は (Gray et al., 2016) 、スケールアップを妨げる様々な課題を克服するために必要となる重要な条件に含まれる。その他、女性・社会的弱者への発言権の付与 (MRFCJ, 2015a; UN Women and MRFCJ, 2016; Dumont et al., 2017) 、コミュニティの土地・森林の権利強化 (Stevens et al., 2014; Vermeulen et al., 2016) 、及び異なるスケールの慣行あるコミュニティ間で相互学習の実施 (Coe et al., 2014; Reij and Winterbottom, 2015; Sinclair, 2016; Binam et al., 2017; Dumont et al., 2017; Epule et al., 2017) の包括的プロセスを含む。【p459】

5.4 緩和策及び持続可能な開発

IPCC 第 5 次評価報告書第 3 作業部会は、特定部門のための様々な緩和策のポテンシャルを検証した（エネルギー供給、産業、建築、輸送、及び AFOLU）。気候応答、及び政策を評価するための枠組として、持続可能な開発、及び公平性の側面の解説を提供する。、それぞれ、Chapter 4、7、8、9、10、及び 11 に示されている（IPCC, 2014a）。【p459】

5.4.1 緩和策と持続可能な開発の間にある相乗効果及びトレードオフ

5.4.1.1 エネルギー需要：エネルギー使用量の削減と燃料スイッチを加速するための緩和オプション

建設部門において、エネルギー効率の向上は、様々な SDGs の目標に渡り利益を生じる。例として、料理用ストーブの改善は、燃料の資質をより長くし、そのため森林減少を低減する（SDG15）（Derbez et al., 2014; Lucon et al., 2014; Maidment et al., 2014; Scott et al., 2014; Cameron et al., 2015; Fay et al., 2015; Liddell and Guiney, 2015; Shah et al., 2015; Sharpe et al., 2015; Wells et al., 2015; Willand et al., 2015; Hallegatte et al., 2016; Kusumaningtyas and Aldrian, 2016; Berrueta et al., 2017; McCollum et al., 2018a）。【p460】

5.4.1.3 土地ベースの農業、林業及び海洋：緩和対応策と二酸化炭素除去

行動変容、及び持続可能な消費を達成するために、パワーダイナミックスが重要な役割を果たす（Fuchs et al., 2016）。森林管理においては、責任ある森林製品の調達を奨励し、先住民の土地所有権を確保することは、一定水準の雇用の創出（SDG8）、生物多様性の維持（SDG15）、イノベーションの促進、及び技術の向上（SDG9）、責任ある公正な意思決定の奨励（SDG16）により、経済的利益を増大させる可能性がある〔中程度の証拠、高い同意〕（Ding et al., 2016; WWF, 2017）。最新の証言が示すところによると、厳格な気候目標を達成するために必要とされる将来の緩和策の取り組み、特に新規植林・再植林、及び BECCS などの CDR に関連したものは、食糧価格の上昇、耕地可能な土地の競争、土地の割り当て及び没収を通じて、貧困・脆弱なコミュニティ（SDG1）に大きな制約を与える可能性がある。また農村の貧困層、及び先住民に不相応な負の影響を与える可能性がある〔強靱な証拠、高い同意〕（Grubert et al., 2014; Grill et al., 2015; Zhang and Chen, 2015; Fricko et al., 2016; Johansson et al., 2016; Aha and Ayitey, 2017; De Stefano et al., 2017; Shi et al., 2017）。【p462】

5.4.2 1.5°C、及び 2°C 温暖化経路の持続可能な開発の影響

1.5°C、及び 2°C 経路ではともに、GHG 排出の強度の削減、及び農林業システムと同様のエネルギーの需要供給の大規模な変化が求められている。【p463】

5.4.2.2 食の安全保障と飢餓

「十分に 2°C 以下」又は「1.5°C」目標に沿った厳格な緩和経路は、新規植林及びバイオエネルギー供給又はどちらか一方のような、大規模な土地に関連した手法の展開にしばしば依存している

(Popp et al., 2014; Rose et al., 2014; Creutzig et al., 2015)。これらの土地に関連した手法は、食糧生産と競合を起こし、そのため食糧安全保障の懸念を増加させる (P. Smith et al., 2014)。
【p464】

エネルギー関連の水利用に対する厳格な緩和経路の影響について、異なるモデル間での推定値は不確かになっている。多くの適応策の手段が存在し、電力と関係した水のトレードオフを効果的に削減する可能性がある (Fricko et al., 2016; IEA, 2016)。同様に、灌漑の水の利用は、作物が生産される地域、バイオエネルギーの供給源 (例えば、農業に対して林業)、及び気候政策により引き起こされる食の変化に依存する。【p464】

5.4.2.4 水の安全保障

要約すると、緩和経路の評価は、1.5°C 目標を満たすために、広い範囲の緩和策の選択肢が展開される必要があることを示す。1.5°C を目標とした経路は、人間の健康と大気汚染、森林保護といったような持続可能な開発指標へ向けた高い相乗効果と関連する。一方で求められる変化の急速な速度、及び規模により、特に食糧安全保障のような、他の持続可能な開発指標とのトレードオフの増加するリスクが導かれる。【p465】

5.5 1.5°C 経路の持続可能な開発

5.5.1 適応、緩和策及び持続可能な開発の統合

気候スマート農業及び炭素林業プロジェクト (Lipper et al., 2014; Campbell et al., 2016; Quan et al., 2017) を含む気候適合性の高い開発の稼働は、ガバナンスレベルを超えて「勝者」と「敗者」を含む多段階、及び複数部門のトレードオフを示す [高い信頼性] (Kongsager and Corbera, 2015; Naess et al., 2015; Karlsson et al., 2017; Tanner et al., 2017; Taylor, 2017; Wood, 2017; Ficklin et al., 2018) 。【p467】

5.5.3 気候耐性のある展開経路

5.5.3.3 国とコミュニティの戦略と経験

ブラジルは、森林減少率を低下させる一方で、一人当たりの GHG 排出量の低下、クリーンなエネルギー源、緑化業務、再生可能、及び持続可能な交通を促進している (Brown et al., 2014; La Rovere, 2017)。しかしながら、存続する不平等、生態系の貨幣化、各種緑化プロジェクトへの参加の欠如 (Brown et al., 2014)、及び労働環境、並びにサトウキビエタノール部門における置き換えのリスクへの懸念は未だに存在している (McKay et al., 2016) 。【p471】

FAQ 5.1 産業革命以降に 1.5°C へ地球温暖化を抑制すること、及び持続可能な開発との間にあるつながりは何か？【p447】

1.5°C 温暖化と持続可能な開発の間には相乗効果、及びトレードオフが存在している。相乗効果については、持続可能な森林管理があり、森林減少からの排出を防止することができる。また無理のない

価格で温暖化を減少させて炭素を吸収することができる。これは、食糧（SDG 2）と清潔な水（SDG6）を提供し、生態系を保護する（SDG15）ことにより、他の持続可能な開発指標と相乗効果的に働く可能性がある。

トレードオフの例としては 1.5°C 経路の土地利用が、負の影響を与える場合がある。一つの例として、原生林、農地、又は原住民や地域所有の下にある土地をバイオエネルギー作物のプランテーションに転用することがある。もし慎重に管理されなければ、このような変化は、食糧・水の安全保障、土地の権利をめぐる衝突、及び生物多様性のその損失により、持続可能な開発の指標を蝕む可能性が高い。トレードオフは、効果的な管理が伴った場合に最小化できる。

第 1 章「1.5°C の地球温暖化」の図表（日本語訳）一覧

図

Figure 2.5	2100 年までにおける世界全体の人為的な CO ₂ 排出の展開と細分化
Figure 2.6	2020、2030、2050 及び 2100 年における地球規模の年間排出量の特徴
Figure 2.9	評価のために収集されたデータベースの報告文献における 1.5°C に沿った経路の 2050 年(a)及び 2100 年(b)までの累積 CDR の展開
Figure 2.10	4 つの 1.5°C に沿った経路の累積 CO ₂ 排出量の計上
Figure 2.11	1.5°C に沿った経路ごとの 2050 年と 2100 年における土地利用変化
Figure 2.24	共有された社会経済経路（SSPs）に基づき 2010 年と比較した 2030 年及び 2050 年の土地利用変化の移行の概要
Figure 2.25	変化経路における農業の排出
Figure 3.16	(a) すべての生態系、モデル、地球気候変動モデル及び代表的濃度経路（RCPs）の地球平均気温の結果として、深刻な生態系の変化のリスクにある地球規模の自然植生（管理された森林を含む）のしめす変動。 (b) 産業革命以前のレベルを超えた地球温度の異常値の閾値レベル。
Figure 3.17	全世界と 3 つの緯度地域における気候変動に対する陸域の生産性（総一次生産性）の応答
Figure 4.2	CDR の減価償却費、2050 年への展開ポテンシャル及び重要な副作用における証拠

表

Table 2.1	利用可能なシナリオ数と本章に記載された経路の分類
Table 2.4	AFOLU における 2030 年、2050 年及び 2100 年の 1.5°C 経路と 2.0°C 経路における CO ₂ 排出量と 2010～2030 年、2020～2030 年及び 2030～2050 年における排出量の経年変化

Table 2.9	2°C 及び 1.5°C 経路における土地利用変化の年速度
Table 3.7	様々な地球の気温目標における地域の転換点を超過するリスクの増大
Table 4.2	グリーン都市インフラとメリット
Table 4.5	短寿命の気候強制因子（SLCFs）の主な性質の要約
Table 4.11	1.5°C 温暖化に関連する緩和オプション例の実現可能性評価
Table 4.12	1.5°C 温暖化に関連する適応オプション例の実現可能性評価
Cross-Chapter Box 7, Table 1	土地ベースの CDR 手法の比較