

第 1 章 IPCC 特別報告書「1.5°C の地球温暖化」：森林関連記述の抜粋

本章は、IPCC（2018）「1.5°C の地球温暖化」：気候変動の脅威への世界的な対応の強化、持続可能な開発及び貧困撲滅への努力の背景における、工業化以前の水準から 1.5°C の地球温暖化による影響及び関連する地球全体での温室効果ガス排出経路に関する IPCC 特別報告書（Full Report）¹の森林に関連する記述の抜粋、仮訳である。文章中の見出し番号は原文の通りで、【p 数字】は原文（英文）のページ数を示す。

1 構成と背景

1.3 1.5°C の影響及びそれ以降

1.3.2 影響の要因

システムや地域によって、変化している要因の受けやすさが異なる。森林やサンゴ礁といった多くの生態系は、時系列での環境変化への回復の度合いが変化することにより特徴づけられる、長期的な遷移プロセスを経る。生物や生態系は、ある程度まで環境の変化に適応し得る。生態系内の大規模な変化は、水及び炭素のフラックスへの影響を変化させる点で、地域スケールから大陸スケールにかけての大気の変化を加速又は鈍化させる可能性がある。炭素吸収源として重要な役割を果たす世界のほとんどの森林と海藻の生態系の応答は、特別な懸念事項である（Settele et al., 2014; Marbà et al., 2015）。【p69】

1.4 地球規模での対応の強化

1.4.1 対応選択肢の分類

緩和策（Mitigation）は、温室効果ガス排出の抑制や、吸収の強化を意味する（IPCC, 2014b）。緩和策は、新しい技術、クリーンエネルギー源、森林減少の低減、持続可能な農業手法、個別的、及び集団的な行動の変化を必要とする。上記の緩和策とは区別され、緩和策が温室効果ガス排出を削減することに焦点を当てている一方で、二酸化炭素除去（以下 CDR）は、すでに大気中存在する温室効果ガス濃度を減少させることを目的としている。CDR には、再植林などの手法も含まれるが、多くの技術を用いた大規模な実行性には未だ疑問がある（IPCC, 2014b; Leung et al., 2014）。【p70】

¹ IPCC（2018）IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

Cross-Chapter Box 4 持続可能な開発、及び持続可能な開発目標（SDGs）

気候変動は、SDGs の中でも、目標 13 以外にも関連している。その他の SDGs に取り組みに、UNFCCC は、エネルギー、輸送、産業、農業、林業、及び廃棄物処理部門を含む、全ての部門から、人為的に排出される温室効果ガスを調整し、削減し、又は防止する。また、バイオマス、森林、及び海洋の生態系等の保全、及び強化をしている。【p73】

2 持続可能な発展の潮流における 1.5°C 温暖化緩和の経路

要約

CDR の大規模展開は、明らかになっておらず、そのような技術に依存することは、1.5°C 温暖化に向けた主なリスクとなっている。CDR の必要性は、エネルギー効率の増強と低い需要を伴う経路においては高くない。温暖化を 1.5°C 以内に抑える経路（以下 1.5°C 経路）ごとに、どの CDR をどの程度の規模で展開するかは、持続可能な開発目標を達成する上での重要度ごとに、異なっている【高い信頼性】。バイオエネルギーと二酸化炭素の回収・貯留（以下 BECCS）に頼る経路も存在する一方で、再植林に頼る道筋も存在しており、これらの CDR 手法は、土地、エネルギー、水、及び投資の需要の増加を通じて、他の持続可能な目標とのトレードオフが発生する。【p96】

1.5°C 経路のどれを達成する場合でも、地球規模及び地域で土地利用変化が起こる。森林面積は、2010 年と比較して、2050 年までに 2 百万 km² の消失から 9.5 百万 km² への拡大が起こると予測されている【中程度の信頼性】。【p97】

2.1 緩和経路、及び持続可能な開発への導入

2.1.3 IPCC 第 5 次評価報告書以降の新たなシナリオ情報

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【p100】

それぞれの級の定義は AR5WG III に同一化したセットアップの中でのモデルである MAGICC に由来する (Clarke et al., 2014)。

経路のグループ	経路の階級	経路選択の基準と記述	シナリオの数
1.5°C経路、又は1.5°Cに一貫した経路	1.5°C以下	21世紀中にピークの温暖化が1.5°C以下に収まる経路で、その可能性が50-66%であるもの。	9
	低い程度のオーバーシュート有り 1.5°C経路	温暖化の中央値が、2100年時点に収まる経路で、50-67%の確率で一時的オーバーシュートが発生する。ピークの温暖化は1.5°C以下経路より0.1°C以下高くなる。	44
	高い程度のオーバーシュート有り 1.5°C経路	温暖化の中央値が、2100年時点に収まる経路で67%以上の確率で一時的オーバーシュートが発生する。ピークの温暖化は、1.5°C以下経路より0.1-0.4°C高くなる。	37
2°C経路、又は2°Cに一貫した経路	2°C以下の経路	21世紀中にピークの温暖化が2.0°C以下に収まる経路で、その可能性が66%より高いもの。	74
	2°C以上の経路	21世紀中にピークの温暖化が2.0°C以下に収まる経路で、その可能性が55-66%であるもの。	58

2.3 1.5°C 緩和経路の概要

2.3.1 1.5°C 経路の背景にある仮定の範囲

2.3.1.2 1.5°C 経路の緩和オプション

社会と経済を生物圏と大気と合わせて一つの枠組にする統合評価モデルは、CDR の手法を一部しか含んでおらず、そのほとんどが再植林と BECCS である (Chen and Tavoni, 2013; Marcucci et al., 2017; Strefler et al., 2018b) 。【p111】

2.3.2 1.5°C 経路の主な特徴

1.5°C 経路は、CO₂、その他の温室効果ガス、及び気候強制因子の大幅な削減を基に成り立つ。これらは、エネルギー、産業、輸送、建築物、そして、農業・林業・その他の土地利用 (AFOLU) 部門における変革によって達成される。【p112】

2.3.2.1 1.5°C 経路の下でのシステム変更のバリエーション

エネルギー、輸送、建築物、産業、又は AFOLU 部門のためのものであれ、文献には、厳しい排出削減を追求するために、これらの各部門で複数の選択肢と選択が利用可能であることが示されている (Section 2.3.1.2, Supplementary Material 2.SM.1.2, Chapter 4, Section 4.3) 。経路の下での全体の排出量は、地球物理学的な炭素収支により制限を受けるため (Section 2.2.2) 、ある部門に置ける選択は、他の部門から要求される取り組みに影響される (Clarke et al., 2014) 。エネルギー最終利用部門において発生する CO₂ 全体量を減らすことに集中し、AFOLU 部門による CDR の限られた貢献を活用する場合 (afforestation and reforestation, S1 and LED pathways in Figure 2.5)

(Grubler et al., 2018; Holz et al., 2018b; van Vuuren et al., 2018)、又は CO₂ 排出量により寛大になり BECCS のような技術的な CDR に依存する場合 (S2 and S5 pathways in Figure 2.5) (Luderer et al., 2018; Rogelj et al., 2018) などのケースから、排出量は、部門にまたがり異なって配分される可能性がある。これらの経路は、緩和策と CDR の展開の観点からだけではなく (Section 2.3.4 and 2.4) 結果的な気温のオーバーシュートの観点からも異なっている。さらに、これらは、持続可能な開発目標の達成のためにと非常に異なった影響がある。【p112】

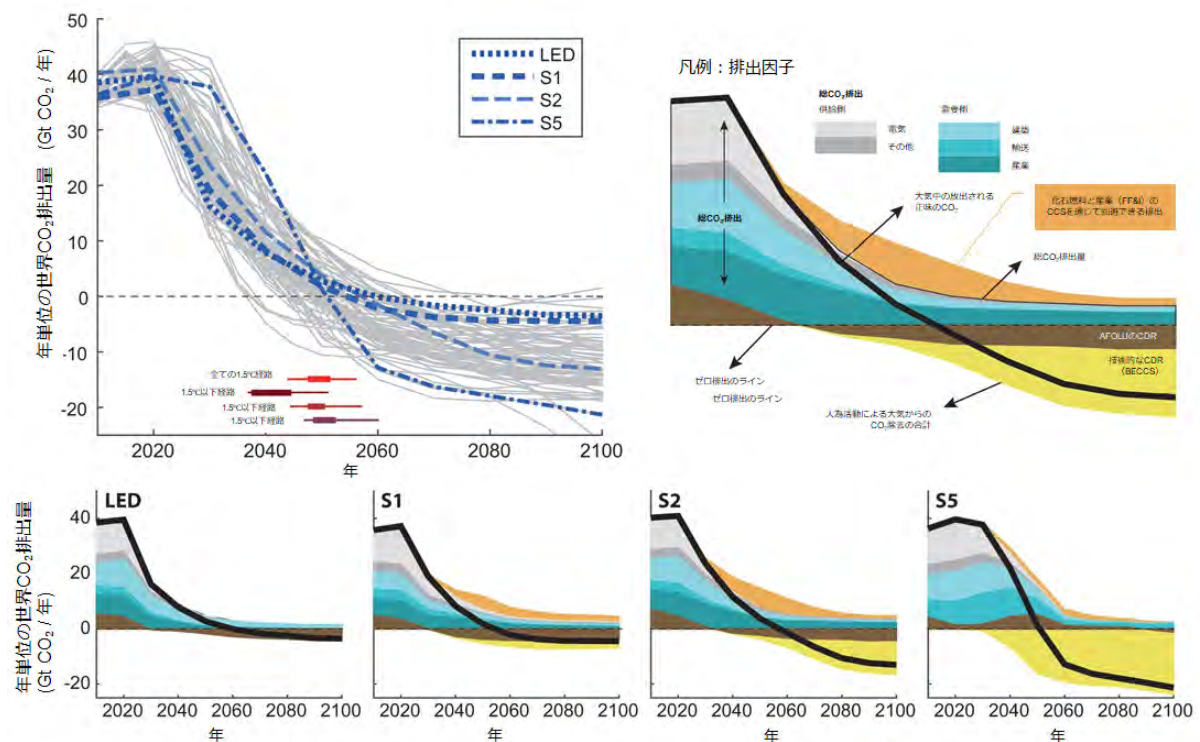


Figure 2.5 2100 年までにおける世界全体の人為的な CO₂ 排出の展開と細分化【p113】

左上に示された図は、1.5°C 以下経路、低い程度のオーバーシュート有り 1.5°C 経路、高い程度のオーバーシュート有り 1.5°C 経路であり、第 2 章で強調されていた 4 つの経路 (LED, S1, S2, S5) とともに示している。左上の図中の底に示された幅は、経路の級ごとの世界全体の CO₂ 排出量が正味ゼロになる時の 10~90 パーセンタイルの幅 (細い線) と四分位範囲 (太い線) を示しており、これは、級により結合された全ての経路を対象にしたものである。右上の図は、世界全体の CO₂ 排出の要因となる体系的な全ての CO₂ 排出を示している。底に示された複数の図は、4 つの輸送経路でどのように排出の推移が異なるかを示している。なお、S5 は建築と産業の排出を統合して示している。なお、青緑のエリアは、輸送と統合化された建築及び産業を示している。

2.3.2.2 1.5°C 未満の温暖化をキープする経路又は一時的なオーバーシュート

温暖化を 1.5°C 以内に抑制できるかどうかは、21 世紀にかけた累積 CO₂ 排出量を残余の炭素収支を以下に抑制できるか次第である。【p114】

残余炭素収支と併せて、化石燃料の燃焼及び産業プロセスの数値と比較するために、AFOLU についての排出も考慮する必要がある。ほとんどの 1.5°C 経路の中で、AFOLU の排出量は、今世紀中頃までにゼロになり、それからはマイナスの値になる。このことは、人類の土地利用変化が植物や土壌に大気中の炭素を蓄積することを促す。なお、人為的な AFOLU の CO₂ 排出と自然界の土地による CO₂ 吸収とは区別する必要がある。また、国家と国際的な評価の間にある人為的な吸収源の違いを考慮すると（Grassi et al., 2017）、AFOLU における CO₂ の推定値は国レベルと地球規模レベルを直接的に比較できる必要はない。AFOLU 由来の排出が化石燃料の燃焼及び産業プロセスと合わせて、ゼロになるまでの累積排出量はオーバーシュートがないか、又は制限されている中での 1.5°C 経路で 2018 年から 2100 年の間で、650-1270 GtCO₂ になる。この幅の下限値は、2020 年から 2050 年までの間の 10 年ごとの CO₂ 排出量を半減するシナリオからの結果に近い（Rockström et al., 2017）。Kriegler et al. (2018b) は、仮説的な感度分析の下限値を含めた場合に 75 Gt の AFOLU の CO₂ 排出量を、全 575 GtCO₂ 総排出量に追加されると仮定した。しかし、これらのすべての推定値は、オーバーシュートなしで 1.5°C 以下の温暖化に抑制する 50% の可能性で残余炭素収支を超えている。CO₂ 総排出量が、温暖化を 1.5°C に抑える 50% の可能性で残余炭素収支に収まる事例はほとんど存在せず、また地球物理学の反応とその不確実性に関する近年の理解に基づいているため、有用な証拠は 1.5°C 温暖化のオーバーシュートの回避には、例として正味負の AFOLU の CO₂ 排出量といったような、広い意味での何らかの CDR が必要となることを示唆している〔中程度の信頼性〕。【p114】

正味の CO₂ 排出量は、CDR が考慮される場合、CO₂ 総排出量以下になる可能性がある。様々な研究では、地球温暖化を 1.5°C に抑えるための戦略を確立するために、緩和策と CDR を組み合わせが行われている（Sanderson et al., 2016; Ricke et al., 2017）。CDR は、正味負の AFOLU を含むこともあり、この評価へ利用可能なすべての 1.5°C 経路において展開されているが、その手法の適用は様々であり、いまだに大規模な CDR 技術展開されておらず、そのポテンシャル、実現可能性、持続可能性には懸念がある（Smith et al., 2015; Fuss et al., 2018）（see Sections 2.3.4, 4.3.2 and 4.3.7 and Cross-Chapter Box 7 in Chapter 3 for further discussion p114, 2, 3.2.2）。CDR は、1.5°C 経路において、2 つの異なる機能をもつ。前者は、21 世紀上半期に展開されると、正味ゼロ CO₂ 排出量を達成する前に、残余 CO₂ 排出量を年ごとに打ち消し、大気中の CO₂ 蓄積を緩やかにさせていく。この場合、炭素収支の中に留めることで、オーバーシュートを避けるように機能する。後者は、カーボンニュートラルが成立した後に CDR が 21 世紀下半期に展開される場合、他の部門からのいくつかの残余排出量を打ち消すようにも使われる。しかし、1.5°C 温暖化以下のレベルまで累積 CO₂ を積極的に引き下げる正味負の排出を作り出す働きも持つ。この場合、一時的なオーバーシュートは許容されている。CDR のアップスケーリングの強い制約や持続可能性の制限が指摘されており（Fuss et al., 2018; Minx et al., 2018; Nemet et al., 2018）、今世紀半ばまでにどれだけの CDR が利用可能であるかについては、大きな不確実性がある。【p114】

2.3.3 1.5°C 経路における排出の進展

2.3.3.1 超寿命の気候強制因子の排出量

長寿命気候強制因子は、大半が CO₂ であり、僅かな部分を N₂O やその他のガスが占める（Myhre et al., 2013; Blanco et al., 2014）。経路内の全体の正味 CO₂ 排出は、様々な人為的な要因の組み合わせにより生じ（Clarke et al., 2014）、主に、(1)化石燃料の燃焼及び産業工程からの排出、(2) AFOLU 部門における排出及び吸収、(3)化石燃料の燃焼及び産業工程からの二酸化炭素の回収・貯留（以下 CCS）、(4)BECCS や AFOLU に関連した CDR などの技術的手法による CO₂ 除去、などがある。Figure 2.6 は AFOLU 部門における CO₂ 排出量である。【p116】

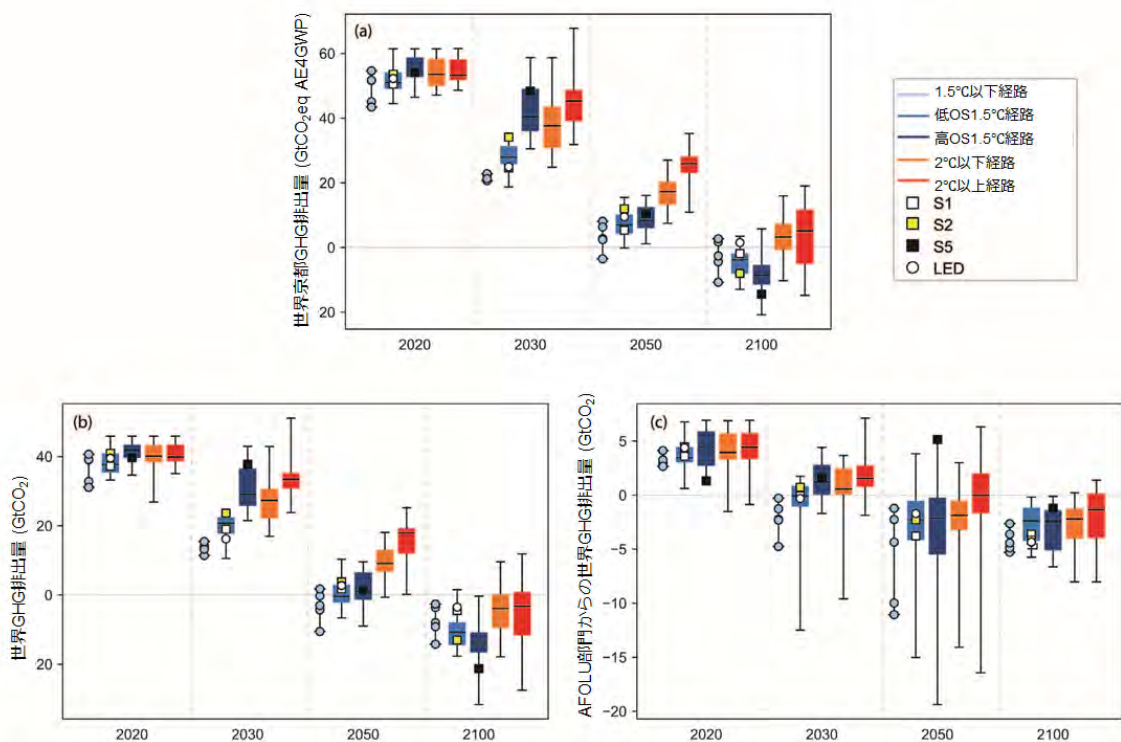


Figure 2.6 2020、2030、2050 及び 2100 年における地球規模の年間排出量の特性【p117】

(a) 京都 GHG 排出量、(b) 地球規模の CO₂ 排出量及び(c) AFOLU 部門の地球規模の CO₂ 排出量。水平線は中央値、箱は四分位範囲、ひげ部分は最小と最大の幅を示している。アイコンは、この章で使われた 4 つの経路の典型を示している。一つの分類において、7 個以下のデータしか得られない場合、最大と最小の幅とデータ点の両方が示されている。京都 GHG は、IPCC 第 4 次特別報告書の GWP-100 で集合させられた排出量であり、CO₂、CH₄、N₂O、HFCs、SF₆ を含んでいる。NF₃ は特に統合評価モデルの中で報告されていない。IPCC の IPCC 第 5 次評価報告書第 3 作業部会において評価された幅以外の 2010 年の京都 GHG 排出量のシナリオは除外されている（IPCC, 2014b）。

2.3.3.2 短寿命の気候強制因子の排出量及びフッ素化ガス

メタンガスは、温室効果が非常に高いという事実があるにも関わらず、2050 年までに、大量の排出が起これと予測されている。AFOLU 部門は今世紀半ばまでの残余メタンガス排出の大きな要因となっている。AFOLU からのメタン排出は、2010 年には、50 %以下だったものが、2030 年には 55～70 %、2050 年には 60～80 %のメタン排出を占めると予測されている。なお、AFOLU 部門から排出されるメタン排出についての詳細な評価は行われていない。【p118】

2.3.4 1.5°C 経路における CDR

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 CO₂ 排出量と 2010～2030 年、2020～2030 年及び 2030 年～2050 年における排出量の経年変化 【p119】

() 内の数字は各シナリオ内の上限値と下限値を示し、数値は中央値を示している。なお、2010 年における AFOLU 由来の CO₂ 排出量は 5 GtCO₂/年と見積もられている。国家と国際で、「人為的な貯蔵」の見積もりには差があることから、この報告書で報告されている値は、必ずしも国家的な見積もりと比較することはできない。

分野	カテゴリ	文献 番号	年間のCO ₂ 排出量/固定量 (GtCO ₂ /年)			年変化の絶対量 (GtCO ₂ /年)		
			2030	2050	2100	2030	2050	2100
AFOLU からの CO ₂	1.5°C以下経路	5	-2.2 (-0.3, -4.8)	-4.4 (-1.2, -11.1)	-4.4 (-2.6, -5.3)	-0.3 (-0.2, -0.4)	-0.5 (-0.4, -0.8)	-0.1 (0, -0.4)
	低い程度の オーバーシュート有 1.5°C経路	37	-0.1 (0.8, -1.0)	-2.3 (-0.6, -4.1)	-2.4 (-1.2, -4.2)	-0.2 (-0.2, -0.3)	-0.4 (-0.3, -0.5)	-0.1 (-0.1, -0.2)
	オーバーシュートが 限られたもしくは 存在しない1.5°C経路	42	-0.1 (0.7, -1.3)	-2.6 (-0.6, -4.5)	-2.6 (-1.3, -4.2)	-0.2 (-0.2, -0.3)	-0.4 (-0.3, -0.5)	-0.1 (-0.1, -0.2)
	高い程度の オーバーシュート有 1.5°C経路	36	1.2 (2.7, 0.1)	-2.1 (-0.3, -5.4)	-2.4 (-1.5, -5.0)	-0.1 (-0.1, -0.3)	-0.2 (-0.1, -0.5)	-0.2 (-0.0, -0.3)
	2°C以下の経路	54	1.4 (2.8, 0.3)	-1.4 (-0.5, -2.7)	-2.4 (-1.3, -4.2)	-0.2 (-0.1, -0.2)	-0.3 (-0.2, -0.4)	-0.1 (-0.1, -0.2)
	2°C以上の経路	54	1.5 (2.7, 0.8)	-0.0 (1.9, -1.6)	-1.3 (0.1, -3.9)	-0.2 (-0.1, -0.2)	-0.2 (-0.1, -0.4)	-0.1 (-0.0, -0.1)

2.3.4.1 CDR 技術及び 1.5°C 経路の展開レベル

能動的に大気からの CO₂ を除去する取り組みは多く議論されている (Minx et al., 2018) (see also Chapter 4, Section 4.3.7)。現在検討されている手法の中に、新規植林・再植林といった、植物や土壌を通じて、陸上の炭素貯留量を増強することが含まれている。

IPCC 第 5 次評価報告書の中に登場する緩和策は、ほとんど BECCS と、より限られた範囲で、新規植林・再植林を含んでいた。それ以降、いくつかの 2°C、及び 1.5°C 経路には、大気中二酸化炭素直接回収・貯留 (以下 DACCS) (Chen and Tavoni, 2013; Marcucci et al., 2017; Lehtilä and Koljonen, 2018; Streffer et al., 2018b) や土壌炭素固定 (Frank et al., 2017) のような追加の

CDR が利用可能になった。【p121】

土地管理は陸上の炭素蓄積に多大な影響を与えるのにもかかわらず（Erb et al., 2018）IAM は、CO₂を大気から除去するための土地転用、回復、管理の選択肢を十分に調査できていない。統合評価モデルは、様々な CDR 手法を説明する中で発展しているのにもかかわらず、1.5°C 経路は、BECCs と新規植林・再植林に CDR を頼る形になっている。しかしながら、明確な空間的土地利用モデリングを併せた統合評価モデルは、陸上の生物圏と土壤に蓄積された炭素からの土地利用変化による排出量を全て含んでいる。土地利用変化による新規植林・再植林に限らないAFOLU部門における正味のCDRは、同一のモデル及び研究から得られる基準となるシナリオと1.5°C 経路におけるAFOLUの排出量との比較により推測される。しかしながら、ベースラインとなる AFOLU の CO₂ 排出量は、AFOLU 部門の CDR による削減のみでなく、森林減少の削減や土地の炭素蓄積を保護することで削減され得る。この評価におけるベースラインを下回る正味負の AFOLU の CO₂ 排出量は、保守的な近似値として AFOLU の CDR の概算のように受け取られる。なぜなら、この中には正味ゼロの AFOLU の CO₂ 排出量を達成する前に展開された CDR は含まれていないため、緩和政策に関連した要因を全て含んだうえで、この近似値は AFOLU 部門による陸上 CDR の下限となる。【p121】

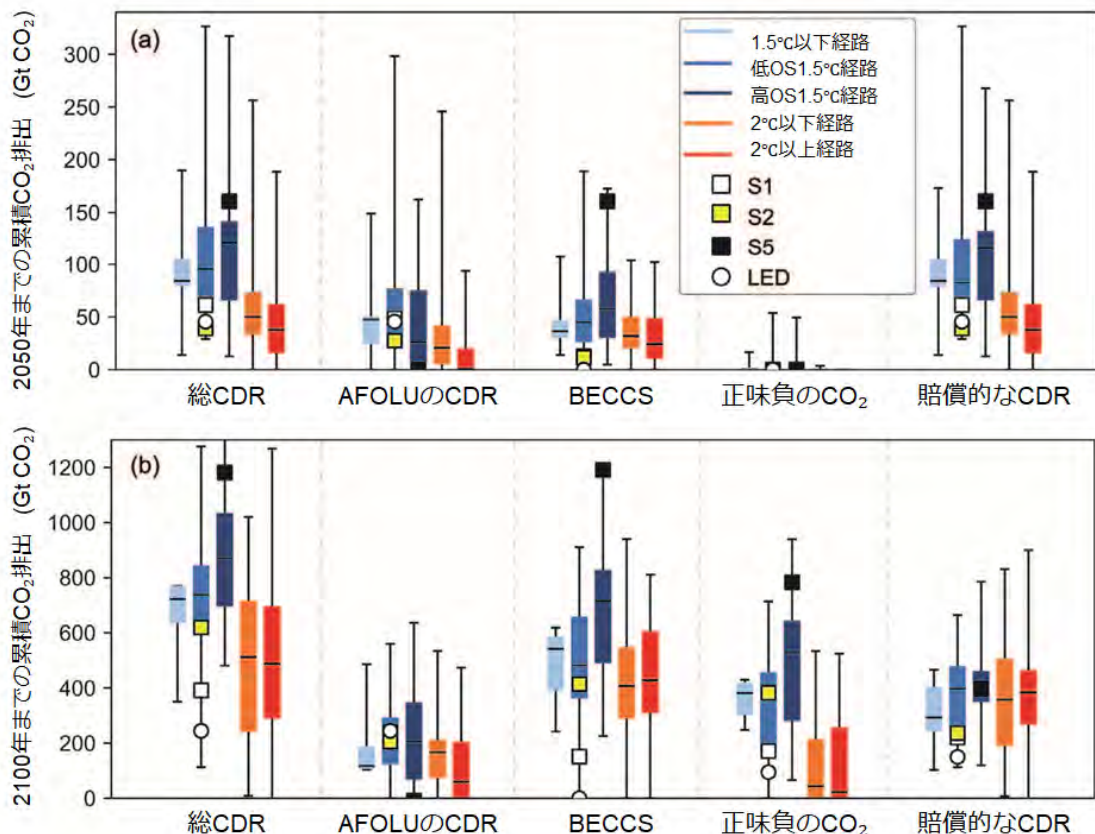


Figure2.9 評価のために収集されたデータベースの報告文献における 1.5°C に沿った経路の 2050 年 (a)及び 2100 年(b)までの累積 CDR の展開【p122】

全 CDR は、すべての形態の CDR から成り立っており、この中には AFOLU の CDR と BECCS、及びいくつか

の経路において DACCS のような CDR 手法が含まれている。この中には、化石燃料と結びついた CCS (CO₂を大気から能動的に除去しないために CDR 手法ではない) は含まれていない。AFOLU の CDR は、直接的に報告されていない。またベースラインシナリオと比較された AFOLU 部門における正味負の CO₂排出量として、概算手法により報告されている。「賠償的な CO₂」は、同時発生する残余 CO₂排出量を打ち消すように使われる CDR の累積量を表す。「正味負の CO₂」は、一度 CO₂排出量が打ち消された場合、正味負の CO₂排出を作り出すために使われる CDR の追加量を表す。それぞれの経路において、この 2 つの量が全 CDR に追加されている。

BECCS (オーバーシュート無し又は限られたオーバーシュートの 1.5°C 経路において、480 [0~1,000] GtCO₂) と新規植林・再植林を含んだ AFOLU の CDR 手法は (オーバーシュート無し 1.5°C 経路において、210 [10~540] GtCO₂)、重要な役割を果たすが、全く役割を果たさない場合もある。これは、一度選択肢のポートフォリオが利用可能になれば、それぞれの CDR 手法の間で、置き換えが起りやすいことを示している。CDR 展開の幅の上限は、BECCS を大規模に展開していく S5 (Kriegler et al., 2017) のような、高いオーバーシュートの経路に占められている。対照的に、その幅の下限は BECCS をほとんど又は全く利用せず、21 世紀にわたり 100~200 GtCO₂ に制限する CDR を伴う、少数の経路によって占められている。このような経路は、化石燃料利用の早期脱却と BECCS と CCS の利用を除外する排出プロセスを容易にする非常に低いエネルギー需要を伴うものか (Grubler et al., 2018)、及び新規植林・再植林に十分な土地を残した状態で持続可能な食糧消費に早期に移行したものの、又はどちらか一方である (Haberl et al., 2011; van Vuuren et al., 2018)。いくつかの経路は、BECCS も新規植林も用いないが、今世紀中頃までの AFOLU 部門のかかなりの正味負の排出量を通じた CDR に依存したものである (Holz et al., 2018b)。IPCC 第 5 次評価報告書以降、CDR の中心的な BECCS の役割は、以下の 3 つの要因により縮減したと結論付けられている。すなわち、社会経済的要因 (Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018)、関連するエネルギー (Grubler et al., 2018)、及び食糧需要 (van Vuuren et al., 2018) ; 緩和策及び CDR 手法の巨大なポートフォリオの具体化 (Marcucci et al., 2017; Grubler et al., 2018; Lehtilä and Koljonen, 2018; Liu et al., 2018; van Vuuren et al., 2018) ; 及び、バイオエネルギーの利用可能性 (Bauer et al., 2018)、CCS (Krey et al., 2014a; Grubler et al., 2018)、及び新規植林 (Popp et al., 2014b, 2017) を含む CDR 手法展開の限界の目的分析 (Holz et al., 2018b; Kriegler et al., 2018a; Strefler et al., 2018b) である。【p122】

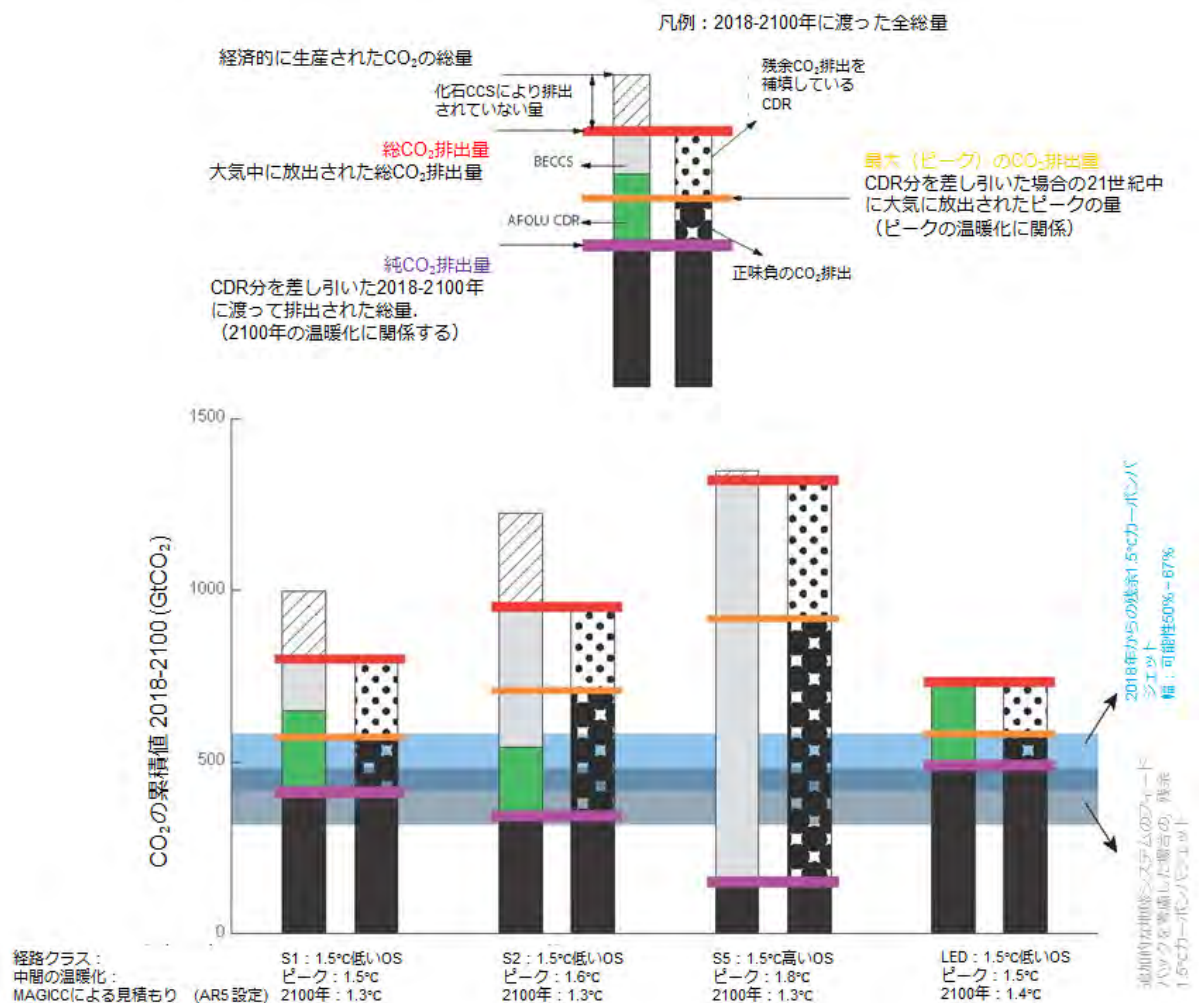


Figure 2.10 4つの1.5°Cに沿った経路の累積CO₂排出量の計上【p123】

全CDRは、2018年から2100年にわたる総累積CO₂排出量（赤い水平なライン）と正味のCO₂排出量（紫の水平なライン）の差であり、BECCS（グレー）とAFOLUのCDR（緑）の合計と同値になっている。正味負の累積排出量は、ピーク（オレンジの水平なライン）と正味（紫）のCO₂排出の差である。青く塗られた部分は、1.5°C以下にとどめることに対し、2/3~1/2の可能性を持つ残余の炭素収支の推定された範囲を表している。グレーに塗られた範囲は、追加で地球システムのフィードバックを計上した場合の範囲である。

1.5°C経路において、AFOLU分野の正味のCDRは2050年に僅かに低いレベルに達し、2100年まで、一定に留まり続ける。オーバーシュートなし、又は限られたオーバーシュートのある1.5°C経路において、AFOLUのCDRの総計は、2030年、2050年、2100年それぞれに対して、0~5、1~11、1~5 GtCO₂/年となる。BECCSとは対照的に、AFOLUのCDRはオーバーシュートのない中でより強く展開される。これは、カーボンニュートラルの時期が、1.5°C経路に達したときに、BECCSが今世紀後半に展開すると予測されるのに対し、植林が今世紀半ばまでに展開するからである。これは、BECCSはコストがかかり、未熟な技術であるのに対し、新規植林は、利用可能なCDRとしてすでに着手可能であるという事

実を示している。【p123】

Box 2.1 IAM におけるバイオエネルギーと BECCS の展開

バイオエネルギーは、統合評価モデルにおいて、様々な部門で用いられる。統合評価モデルは、バイオエネルギーの大部分は、ポプラのようなセルロース繊維の多い作物や農業残渣、森林残材といった、二次発生型のバイオマスストックから供給されると仮定している。【p124】

2.3.4.2 1.5°C 経路における CDR 展開の関連事項

それぞれの CDR 手法は、異なる性質を持ち、それゆえ、それぞれの持続可能な展開において、異なるリスクを伴っている（Smith et al., 2015）。新規植林のような手法は、直接的に、その他の土地利用と競合を起こすため、農業と食糧システムに甚大な影響を与える（Creutzig et al., 2012, 2015; Calvin et al., 2014; Popp et al., 2014b, 2017; Kreidenweis et al., 2016; Boysen et al., 2017a; Frank et al., 2017; Stevanović et al., 2017; Strapasson et al., 2017; Humpenöder et al., 2018）。現在議論されている CDR 手法のほとんどは、大規模に展開された場合、土地、エネルギー、水又は栄養分に重大な影響をあたえる（Smith et al., 2015）。しかしながら、実際のトレードオフは、様々な要因に左右される（Haberl et al., 2011; Erb et al., 2012; Humpenöder et al., 2018）。その中には、CDR 展開の様式（例、耕作の限界地 VS 生産力のある土地）（Bauer et al., 2018）、社会経済的な発展（Popp et al., 2017）、食の選択（Stehfest et al., 2009; Popp et al., 2010; van Sluisveld et al., 2016; Weindl et al., 2017; van Vuuren et al., 2018）、収量増加、家畜の生産性、又は他の農業技術の進歩（Havlik et al., 2013; Valin et al., 2013; Havlík et al., 2014; Weindl et al., 2015; Erb et al., 2016b）、土地政策（Schmitz et al., 2012; Calvin et al., 2014; Popp et al., 2014a）、及び土地利用のガバナンス（Unruh, 2011; Buck, 2016; Honegger and Reiner, 2018）が含まれている。【p125】

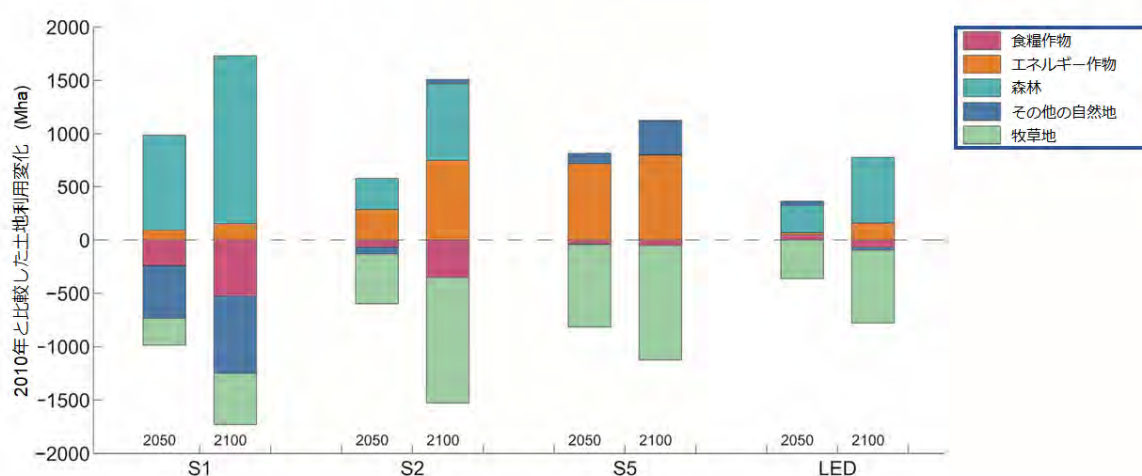


Figure 2.11 1.5°C に沿った経路ごとの 2050 年と 2100 年における土地利用変化 (et al., 2017;

Fujimori, 2017; Kriegler et al., 2017; Grubler et al., 2018; Rogelj et al., 2018) 【p126】

2010 年時と比較した、食糧作物、エネルギー作物、牧草地及び他の自然地の変化。

Figure2.11 は、1.5°C 経路における、持続可能な発展のパラダイムに則った、LED (Grubler et al., 2018) と S1 (Fujimori, 2017; Rogelj et al., 2018) を含んだシナリオごとの、2050 年、2100 年に置ける土地需要を示している。森林は、エネルギー作物とは異なり、炭素貯留を安定させるために収穫する必要がないため、BECCS に加え、大規模な新規植林を見込むシナリオにおいては、新規植林のための土地需要が、BECCS よりも大きくなる可能性がある (Humpenöder et al., 2014)。もし、伐採木材やそれに次ぐ加工や埋土が考慮される場合、この見込みは変わる可能性がある。また、記載された経路に反映されていない様々な土地利用の相乗効果も存在する。樹木は、農地においても成育可能であり (Zomer et al., 2016)、伐採木材は、BECCS とともに使用され、熱分解システムの中で利用されることもできる (Werner et al., 2018)。これらの経路では、現行の地球規模における農地面積の程度により、二つの CFR 手法を組み合わせた際のまさに実質的な土地需要が示されている。これは、家畜生産システムの集約化や、牧草地の集約化及び需要の変化又はいずれか一方により解放された牧草地の転用によって (Weindl et al., 2017) 統合評価モデルの中で達成される。さらに限られた範囲においては、自然な土地への拡大に加えて食糧生産のための農地の転用によっても達成される。しかしながら、このような土地利用における大規模な変化を追い求めることは、とりわけ、土地利用、土地需要の減少に対する食生活の変化の関連、及び他の持続可能な開発目標を伴うコベネフィットが完全に認識されない場合、多大な食糧供給、環境的とガバナンスの課題、及び土地管理と土地保有の両面における懸念を引き起こすことになる (Unruh, 2011; Erb et al., 2012, 2016b; Haberl et al., 2013; Haberl, 2015; Buck, 2016)。陸上の炭素は、土壌劣化、森林害虫の発生、及び森林火災などの様々なメカニズムにより、10 年単位の時間スケールで大気に放出される可能性がある。そのため、例として森林で炭素貯留の管理をする際には、慎重な政策枠組の考慮が必要である。【p125】

2.4 全システム変化の解説

1.5°C 経路の特性をより詳細に見るために、本節では、AFOLU 部門における、エネルギーの需要と供給及びその変化について重点的に扱う。【p129】

2.4.4 農業部門における土地利用の移行と変化

AFOLU 部門の下にある農業と土地システムは、1.5°C 経路において重要な役割を持つ (Clarke et al., 2014; Smith and Bustamante, 2014; Popp et al., 2017)。今世紀に渡って、その排出を抑制する必要がある一方で、AFOLU システムには、食糧と飼料生産に加え、パルプや建築に向けた木材生産、バイオマス燃料の生産、CDR、及び供給サービスではない生態系サービスの提供において責任が伴っている (Smith and Bustamante, 2014)。したがって、すべての需要に応えるためには、農業、及び林業の慣行とともに、土地利用変化が必要となる (Smith and Bustamante, 2014; Popp et al., 2017)。【p144】

このセクションでは、共有された社会経済経路（SSPs）の定量化に基づき、1.5°C 温暖化経路において明確な土地利用の展開を報告している IAM から得られる経路を主に利用することで、AFOLU システムの変化を評価する（Calvin et al., 2017; Fricko et al., 2017; Fujimori, 2017; Kriegler et al., 2017; Popp et al., 2017; Riahi et al., 2017; van Vuuren et al., 2017b; Doelman et al., 2018; Rogelj et al., 2018）。SSPs は、AFOLU 部門（Popp et al., 2017; Riahi et al., 2017）を含んだ緩和策の課題を多様化させるために意図されており（O'Neill et al., 2014）、経路全体を利用することで、技術的・社会経済的な側面を考慮しながら、1.5°C 温暖化の気候変動緩和の潮流における、AFOLU の変化を体系的に探索する事が可能となる。AFOLU の戦略を決定した際、食糧安全保障、家畜、及び生物多様性などのその他の考慮も重要となるが、現在、このような項目は SSPs でごく一部しかない。さらなる AFOLU の緩和策の評価は、土地利用特別報告書（SRCCL）等において解説されている。【p144】

土地利用変化に伴う緩和策は、食糧、及び飼料生産のための農地の犠牲により成立する。森林減少の削減は、農業の拡大を抑制し、森林減少の削減、及び新規植林・再植林による 1.5°C 及び 2°C の経路における森林被覆は、気候変動を考慮しない政策のベースラインの範囲で比較して、大規模に拡大する可能性がある。しかしながら、森林被覆がどの範囲で拡大するかは文献ごとのモデルにより異なっており、いくつかのモデルで、森林被覆は一定又は僅かながら減少すると予測されている。これは、新規植林・再植林が、これらの経路、及び相互作用において緩和技術として含まれているかどうかによる。【p144】

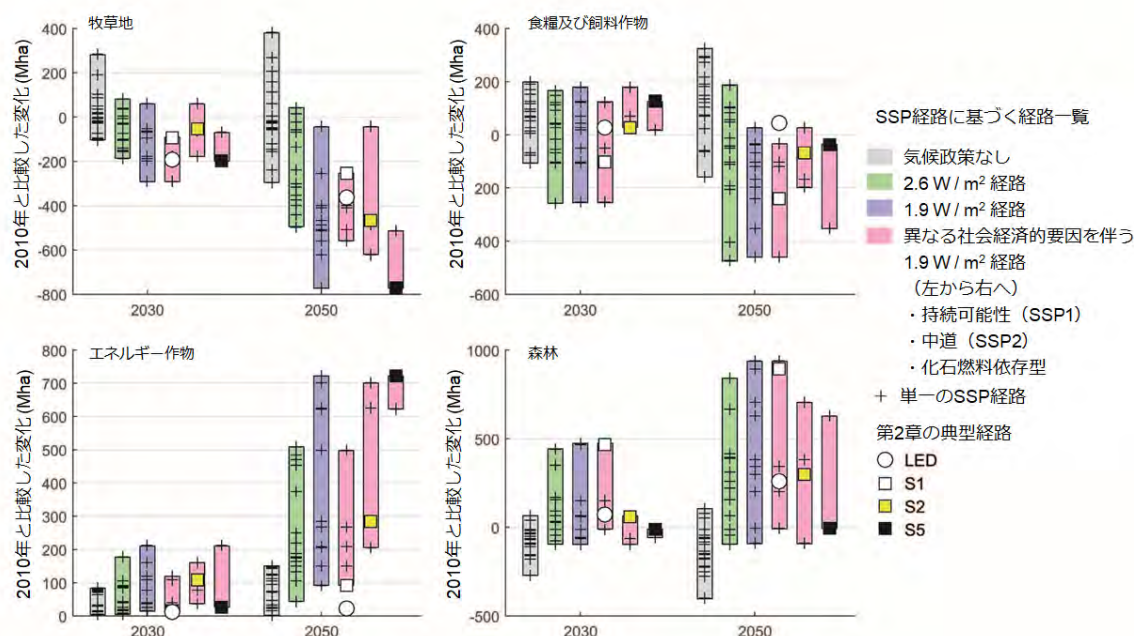


Figure 2.24 共有された社会経済経路（SSPs）に基づき 2010 年と比較した 2030 年及び 2050 年の土地利用変化の移行の概要（Popp et al., 2017; Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018）【p145】

グレー：気候変動政策の存在しないベースライン。

緑：2.6W/m² 経路。

青：1.9W/m² 経路。

ピンク：社会経済的推測の下集合化された 1.9W/m² 経路（左から、SSP1 持続可能性、SSP2 中間の経路、SSP5 化石燃料による発展）。

範囲は、共有された社会経済経路（SSPs）にわたる最大と最小を示している。単一の経路は+のサインで示されている。実例となる典型経路は異なるアイコンで強調されている。それぞれのパネルは異なる土地タイプにおける変化を示している。1.9W/m² 及び 2.6W/m² 経路はそれぞれ 1.5°C 経路と 2.0°C 経路の概算である。2.6W/m² 経路は、2°C 以下又は 2°C 以上の経路分類とほぼ一致している。1.9W/m² 経路は、低いオーバーシュートを伴う 1.5°C 経路（おおよそ SSP1 及び SSP2）と高いオーバーシュートを伴う 1.5°C 経路（SSP5）と一致している。2010 年には、牧草地は約 3～3.5 10³ Mha、食糧・飼料作物は約 1.5～1.6 10³ Mha、エネルギー作物は約 0～14Mha、森林は約 3.7～4.2 10³ Mha と推定された（Popp et al., 2017）。

Table2.9 は、経路ごとの森林面積の年変化率〔最小/最大〕を表している。今後数十年で、予測される土地の移行は、1.5°C 経路と、気候変動緩和をしないベースラインシナリオでは大きく異なっている。2030～2050 年での草原の減少と森林の大幅な増加は、歴史的及びベースラインの傾向に逆行する動きとなる。このことから、森林の増加を達成するためには、明確な政策と管理手法が必要となる。【p145】

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【p146】

2.6W/m² は、おおよそ 2°C 以下又は 2°C 以上の経路級に一致した経路である。1.9W/m² は、おおよそ低い OS（おもに SSP1 と SSP2）もしくは高い OS（SSP5）を伴う 1.5°C 経路に一致した経路である。ベースラインの予測は気候政策が不在の場合の SSPs に基づいた IAM を反映した土地利用開発を反映したものである（Popp et al., 2017; Riahi et al., 2017; Rogeli et al., 2018）。数値は SSPs のシナリオに渡ったすべての幅を示している。国連の FAO によると（FAOSTAT, 2018）、49 億ヘクタール（おおよそ土地表面の 40 %）は 2005 年には農耕に使われている。

土地利用変化の年速度 [Mha/年]					
土地タイプ	経路	時間の幅		歴史的	
		2010-2030	2030-2050	1970-1990	1990-2010
森林	1.9W/m ²	[-4.8/23.7]	[0.0/34.3]	データなし Forest (FAO)	-5.6 Forest (FAO)
	2.6W/m ²	[-4.7/22.2]	[-2.4/31.7]		
	ベースライン	[-13.6/3.3]	[-6.5/4.3]		

AFOLU 部門の森林分野に置ける変化は、主に、需要の変化、生産効率、及び政策の仮定の 3 つの要因がきっかけとなる（Smith et al., 2013; Popp et al., 2017）。パルプや建築材のための林産物の需要は消費パターンに影響される（Lambin and Meyfroidt, 2011; Smith and Bustamante,

2014)。林産物の生産効率は、林業の慣行に置ける改善、生産量の増加に関連する（Havlík et al., 2014; Weindl et al., 2015）。政策の仮定は、土地保全、食糧廃棄の扱い、緩和策のタイミング（早 VS 遅）、緩和策として、新規植林・再植林といった土地ベースのものを緩和策として採用するかどうか、他部門との兼ね合い（Popp et al., 2017）、及び貿易（Schmitz et al., 2012; Wiebe et al., 2015）といったものに関係している。

Stevanović et al. (2017) は、生産側（森林減少の削減と組み合わせた農作物生産対策）、及び消費側（食品廃棄の低減を組み合わせた食の変化）の対策はともに、2100 年に、ベースラインの 40% のオーダーで GHG を削減できる可能性があることを報告している。2050 年までの家畜由来の生産物の消費低下は、森林減少と累積炭素損失を実質的に減らすことができる（Weindl et al., 2017）。このように、多くの研究が、AFOLU 部門に置ける GHG 排出量の減少、又は陸上の炭素蓄積の増加のため、農業集約化が可能であることを強調している（Valin et al., 2013; Popp et al., 2014a; Wise et al., 2014）。また、森林減少が特に関わる土地に関連する GHG 排出量を十分に削減するための迅速、かつ地球規模の土地利用規則の重要性についても、多く報告がなされている（Calvin et al., 2017; Fricko et al., 2017; Fujimori, 2017）。

厳重な緩和への経路では、AFOLU 分野の一般的な GHG の動向が示されている。まず、森林減少による CO₂ 排出は、他の地域での移転効果や炭素密度の高い種類の土地利用を避けることができれば（Calvin et al., 2014; Popp et al., 2014a; Kriegler et al., 2017）、比較的低い炭素価格でも、緩和できる可能性がある（Calvin et al., 2017）。しかしながら、森林減少を削減するための効率、及びコストは政府のパフォーマンス、行政機関、マクロ経済などの要因に強く依存している（Wang et al., 2016）。次に、CO₂ 削減とは別に、土地システムは、BECCS、新規植林・再植林、又はそれらの組み合わせを通じた CDR の取り組み全体において重要な役割を果たす（Rogelj et al., 2018）。また AFOLU 部門では、土地回復、森林・農地管理の改善（Griscom et al., 2017）、又はバイオ炭の適用を通じて（Smith, 2016）、さらに能動的な陸上の炭素固定の可能性が提供される。【p146】

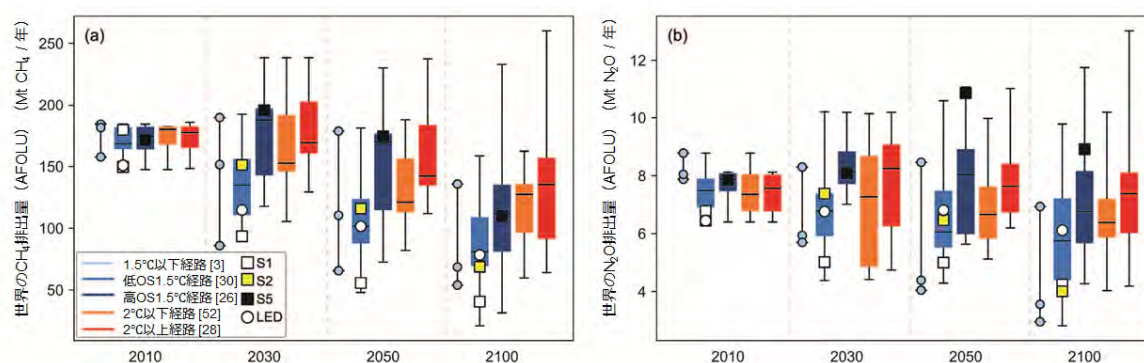


Figure 2.25 変化経路における農業の排出【p147】

地球規模の農業分野の(a)CH₄と(b)N₂O の排出。プロットは、中央値、四分位範囲、及び全体の範囲を示している。

先に述べたように、1.5°C への経路は、需要の変化、生産効率、及び政策仮定の3つのうちの1つ又はそれ以上の戦略に依存している。例えば、LED (Low Energy Demand) と S1 のようなシナリオは、少ない資源とエネルギー消費に焦点を当てており、高いレベルの自然保護を伴った、著しい農業の集約化を視野に入れている。このような仮定の下には、BECCS や新規植林・再植林といった土地ベースの緩和策に必要な土地面積は比較的少なくなる。対照的に、S5 のような資源及びエネルギーに集約的なシナリオにおいては (Tilman and Clark, 2014; Springmann et al., 2016)、BECCS を通じた CDR の有用性が重要な役割を果たす (Humpenöder et al., 2014)。また、さらなる政策の仮定は土地利用の展開に強く影響を与える可能性もある。例えば、SSPs 中のいくつかの経路は、BECCS と組み合わせた CDR としての集約的な新規植林・再植林を実施する政策に強く依存している。

戦略や緩和に向けたポートフォリオの選択は、その他の環境的な及び社会的な目的との相乗効果やトレードオフとともに、土地システムと他の部門における GHG の動向に影響を与える。例えば、1.5°C 経路における AFOLU の展開は、バイオエネルギーのために土地が要求される予測の程度により異なる戦略の範囲におよぶ。そして、いくつかの戦略は、森林被覆を21世紀にわたり一定に保つ戦略とは対称的に、森林被覆が増加することを許容している。高い収穫量、集約的な畜産、CO₂ 以外の排出抑制の有効な技術の実施、より少ない肉食中心の食事、及びCO₂排出の少ない輸送方法を含めた生活様式の変化などは、食糧安全保障を妥協することないバイオエネルギーからの排出の削減、及び森林の増加を許容するものとして特定されている (Frank et al., 2017; Doelman et al., 2018; van Vuuren et al., 2018)。

この評価の基となる経路において使われる統合評価モデル (Popp et al., 2017; Riahi et al., 2017; Rogelj et al., 2018) は、可能性のある土地ベースの緩和の選択肢と副作用の全てを含んでいるものではない。したがって、それらの結果は不確実なものである。例えば、近年の研究は、森林管理の慣行によって起こる土地炭素含有量への潜在的な影響を強調している (Erb et al., 2016a; Naudts et al., 2016)。このような側面は、統合評価モデルによっては様々な程度で含まれているが、本報告書では評価されていない。

現在のモデリング手法には限界があるにもかかわらず、AFOLU 部門が厳重な 1.5°C 経路において重要な役割を持っているモデルや研究には、[高い同意] と [確固とした証拠] が存在する。複数の一連の証拠からの発見は、AFOLU による緩和戦略は、選択や政策決定に強く基づいて多様化し、複数の社会的目標を同時に達成することができる戦略の探求を加速化させるという [高い信頼性] を生み出すことになる。同時に、多くの不確実性や限界を考慮すると、この評価では、経路についての文献中のより極端な AFOLU の展開は、[低い信頼性] から [中程度の信頼性] に位置付けられる。【p147～148】

2.5 変化し得る緩和経路の課題、機会、及び相互影響

2.5.3 1.5°C 経路の持続可能な開発の特徴

一般的に、行動変化、持続可能な消費様式、健康的な食事、及び CDR (又は新規植林のみ) の比較的低い利用を動機づけするような政策や需要の減少を伴う経路において、他の経路と比較した