

第4章 土地セクターにおける気候変動緩和策の方向性

：期待される二酸化炭素除去（CDR）技術と社会経済的課題

要約

国連気候変動枠組条約（UNFCCC）のパリ協定に基づき、今世紀末までの気温上昇を 2.0°C 未満に抑えるためのグローバルシナリオの多くが、「炭素回収・貯留とバイオエネルギー（BECCS）」、「新規植林・再植林」及び「バイオ炭」に依存している。これらの二酸化炭素除去（CDR）技術は、土地を利用する（土地ベースの）対策であるため、食料生産との競合や生物多様性の低下等をはじめとする社会経済的なトレードオフが懸念されている。本稿では、IPCC 特別報告書「気候変動と土地」（2019）に記載されている気候変動緩和策とその他社会課題とのトレードオフについて、関連する文献・統計を渉猟し、現状の課題を整理した。その結果、土地ベースの CDR 技術、特に BECCS には不確定要素が多く、その使用は必要最低限に抑えて、現在排出されている温室効果ガスを削減すること、並びに新規植林・再植林を含む森林管理を最優先すべきことが示唆された。その意味で、民間企業による森林減少を伴わないサプライチェーンの確立（ゼロ・デフォレステーション）への取り組みは、持続可能な開発目標（SDGs）や環境、社会、ガバナンス等の非財務情報を考慮した投資（ESG 投資）の観点からも高く評価される。「2050 年カーボンニュートラル」目標の達成に向けて、政府主導及び民間レベルにおいても、CDR に過度に依存しない気候変動対策が推進されるべきと考えられる。

1. はじめに

国連気候変動枠組条約（UNFCCC）のパリ協定では、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べて 2°C より十分低く保つとともに、1.5°C に抑える努力を追求する」ことが目標とされている。しかし、各国が UNFCCC に提出した、気候変動の緩和及び適応策に関する「自国が決定する貢献（NDC）」を積み上げても、パリ協定の目標を達成することは困難であると試算されている（UNFCCC, 2021）。そこで、さらなる温室効果ガス（GHG）の排出削減と、大規模な二酸化炭素の除去（CDR）の双方に迅速に取り組んでいくことが急務とされている（Mace et al., 2021）。

現在、人類は土地の潜在的純一次生産量の 25～33%を、食料家畜飼料、繊維、木材及びエネルギーに使用している。これらの「農業、林業、及びその他の土地利用（AFOLU）」セクターからの GHG 排出量は、人為起源総排出量の約 23%を占め、エネルギーセクターに次ぐ大きな排出源となっている（IPCC, 2019）。一方、2007～2016 年の 10 年間に於いて、主に森林に代表される土地セクターは約 11.2 GtCO₂/年の純吸収源となっており、総排出量の 29%を相殺している（IPCC, 2019）。このような土地セクターに対する期待の高まりから、気温上昇を 2°C 未満に抑えるためのグローバルシナリオの多くは、土地セクターを活用した「炭素回収・貯留とバイオエネルギー（BECCS）」、「新規植林・再植

林」及び「バイオ炭」に依存している。今後、このような BECCS をはじめとした CDR 技術を開発するための大規模な投資と、大規模植林等の土地利用の急激な変化が見込まれている（IPCC, 2019）。しかし、気候変動緩和策として、大規模なネガティブエミッションのためのシステムを導入し、BECCS 用作物を栽培するためには、広大な土地が必要となる。このため、生物多様性と生態系サービスに悪影響を与える危険性があるとともに、既存の食糧生産用地との競合により食料価格が高騰する危険性も指摘されている。このように、土地ベースの気候変動緩和策がもたらす悪影響とその他の社会経済的課題とのトレードオフが懸念されている（IPCC, 2019; Mace et al., 2021）。

2. 二酸化炭素除去（CDR）技術がもたらすトレードオフ

上述の通り、パリ協定の目標を達成するために、CDR 技術は重要な緩和策と位置付けられている。しかし、IPCC 特別報告書「気候変動と土地」（2019）において想定されたシナリオのほとんどは、2030～2050 年の間に、CDR が急速に普及・展開することが前提とされている。特に、1.5°C シナリオでは、国連食糧農業機関（FAO）のデータベースにおいても史上前例がない毎年 20Mha を超える土地を CDR のために利用拡大する必要があるとされている。

CDR として、新規植林・再植林を実施する場合、植林地は拡大するが、その他の自然地及び食糧作物用の耕作地が大きく減少する（図 1 中の S1 及び LED）。他方、BECCS 技術を用いた場合、エネルギー作物生産用の耕作地及び木質バイオマス生産用の森林地が拡大するが、食糧作物用の耕作地及び牧草地が減少する（図 1 中の S2 及び S5）。

このように、CDR として大規模な BECCS 用の作物栽培や植林を実施した場合、食糧生産用の耕作地が減少し、食料安全保障へ悪影響を及ぼす危険性があることは度々指摘されている（Boysen et al., 2017; Frank et al., 2017; Kreidenweis et al., 2016）。具体的には、2050 年までに食料価格が 80% 上昇し、栄養不足者が 8 千万～3 億人も増加する懸念が示されている。新規植林及び再植林は、陸域 CDR（tCDR）とも呼ばれ、大気中の二酸化炭素を吸収することに加えて、木質バイオマスといった再生可能エネルギー源も生産することから、その可能性が高く評価されている。しかし、陸域 CDR は、土地の利用可能性や樹木の炭素吸収率、実施のタイミングにも左右されるため不確定要素が多い。そのほか、木質バイオマス生産用地等の拡大により、自然地等に現存する貴重な生物多様性に損失を与える危険性もある（Haga et al., 2020）。

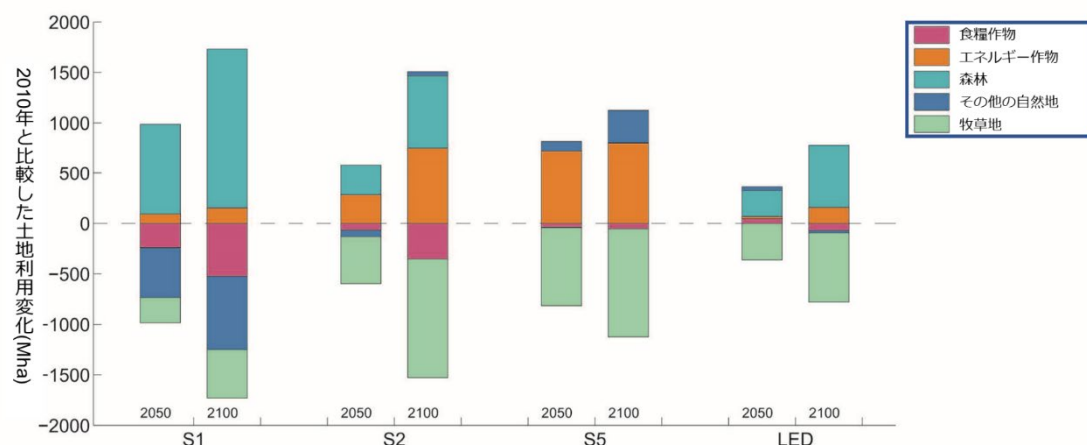


図 1. 各 1.5° C シナリオにおける 2050 年と 2100 年の土地利用変化

出典：IPCC（2018）Fig. 2.11 をもとに作成

S1 及び LED は、最終的にエネルギーセクターにおいて発生する CO₂ を減らすことを最優先し、AFOLU セクターの吸収源には限られた CDR を使用するシナリオ。それに対して、S2 及び S5 は、エネルギーセクターにおいて発生する CO₂ 排出量はある程度許容して、BECCS に依存するシナリオ。

さらに、一度 CDR によって貯蔵された CO₂ の非永続性の問題も指摘されている（Mace et al., 2021, Fuss et al., 2014, IPCC, 2018, 2019）。CDR のうち、地質学的な貯蔵については、漏出リスクは比較的低いとされ、監視・検証・検出の強化が検討されている（Fuss et al., 2018）。しかし、生物学的な土壌及び植物への炭素隔離は、吸収源に貯留された炭素が、のちの土地利用や森林火災等の自然災害により排出源へ逆転する非永続性リスクがある（Mace et al., 2021）。

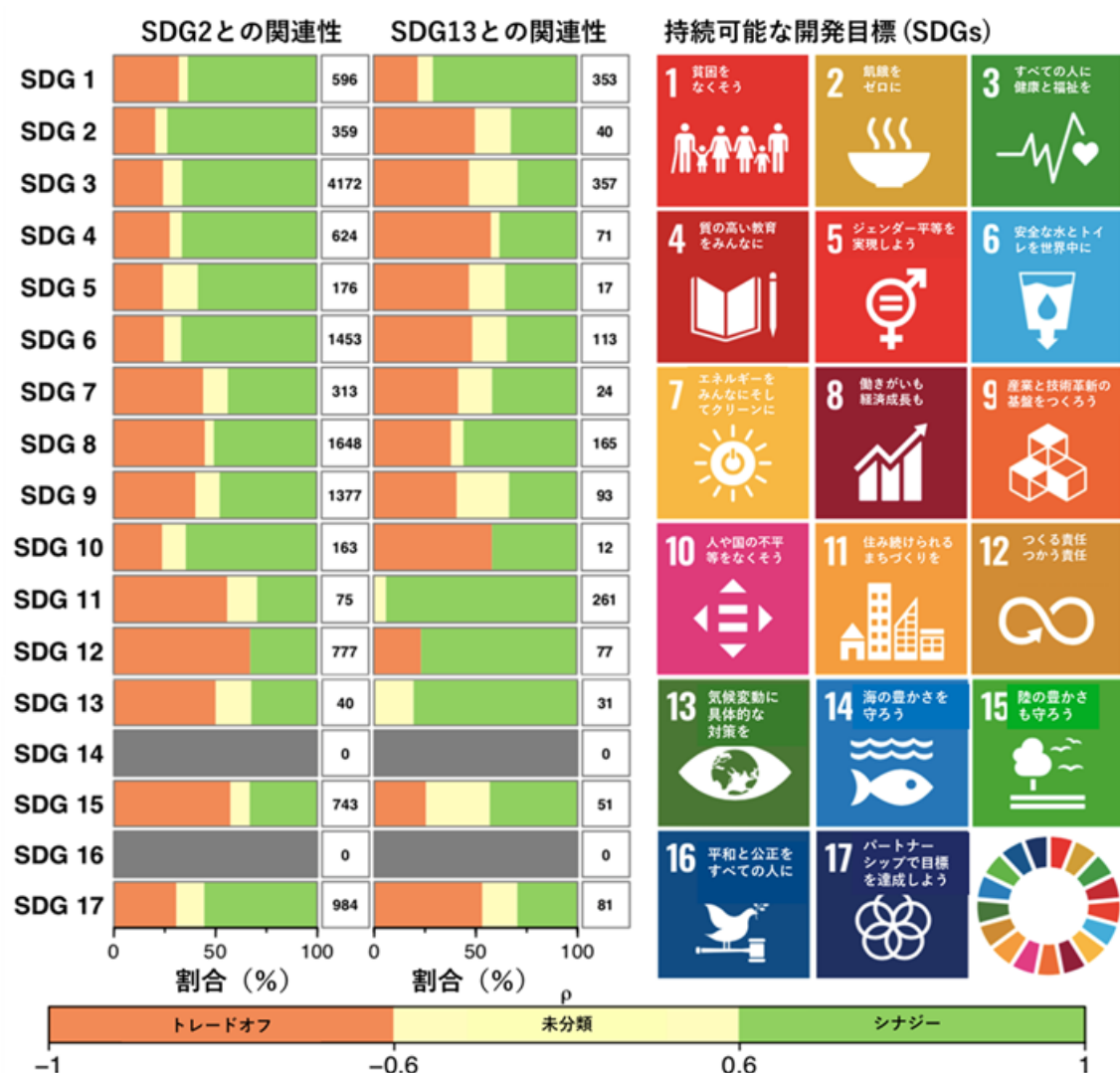
現在、欧州連合（EU）では、欧州気候法案の見直しや、土地利用、土地利用変化及び林業（LULUCF）法の改正案等を検討している。これに関する意見公募並びに世界中の科学者による公開書簡等には、「気候変動対策は温室効果ガスの排出削減を中心とするべきであり、費用が高く不確定要素の大きい CDR（ネガティブ・エミッション）は最低限の利用に留めるべき」という見解が多く寄せられている（EC, 2020; Fern, 2021; EFI, 2021）。

3. 持続可能な開発目標（SDGs）との整合性

気候変動対策と様々な社会課題とのトレードオフ又はシナジーの関係は、持続可能な開発目標（SDGs）の 17 の目標を用いて分析できる（図 2）。森林との関連性を考慮すると、①生態系サービスと生計手段（SDGs 目標 2、3、6、7、13、15）、②グリーン経済（SDGs 目標 1、8、9、11、12、15）、③権利・正義・平等（SDGs 目標 5、10、15、16）の 3 つに分類される（Timko et al., 2018）。

上述の通り、気候変動の緩和策として、CDR のために広大な土地を必要とするシナリオでは、農業との土地競合が発生する危険性が高い。その結果、SDGs の目標 1（貧困をなくそう）、目標 2（飢餓をゼロに）、目標 15（陸の豊かさを守ろう）等を達成できないどころか、それらの課題を悪化させる危険

性も高いと指摘されている（IPCC, 2019）。例えば、SDGs の目標 13（気候変動に具体的な対策を）を達成するために、かなりの費用をかけて緩和策を実施すれば、気候変動が作物の収量に及ぼす悪影響を軽減できる可能性はある。その一方で、低所得国への貧困（SDGs の目標 1）や飢餓（SDGs の目標 2）対策の予算が不足する危険性が高い（Hasegawa et al., 2015）。なお、温室効果ガスの排出を強く制約するシナリオでは、緩和策の結果、食料価格の変化（上昇）よりも、所得の変化（低下）により、食料消費が変化する（食料が十分に調達できない）危険性が高いことも示唆されている（Ibid., p.1）。



出典：IPCC（2019）Fig. 5.16 をもとに作成

122 の指標と 227 の国から成る持続可能な開発目標の公式指標を用いて、1983 年から 2016 年の間における、全球レベルでの、SDG2（飢餓をゼロに）と 13（気候変動に具体的な対策を）の内部・外部の関連性を評価。シナジーがトレードオフについては、持続可能な開発目標の指標間でのスピアマンの相関を基

にそれぞれ有意に高い場合 ($p < 0.6$: トレードオフ、オレンジ色) と有意に低い場合 ($p > 0.6$: シナジー、緑色) とに分類。p 値が 0.6 と 0.6 の間の場合は未分類 (黄色) としている。白箱は解析に用いられたペアデータの数を表している。なお、SDG14 (海の豊かさを守ろう) 及び 16 (平和と公正をすべての人に) の灰色は、解析に十分な量のデータがないことを示している。

4. ゼロ・デフォレステーションへの取り組み

Harper et al. (2018) によると、森林による気候変動緩和策 (新規植林・再植林) の方が、BECCS を用いたネガティブエミッションよりも効果的であるとしている。BECCS により気温上昇を 1.5~2°C に抑えるシナリオでは、土地の転換により、陸上の炭素貯留量が減少することが示唆された。さらに、炭素を多く貯蔵する生態系を BECCS 用作物の栽培地に転換することは、植生と土壌炭素の減少をもたらす、結果的に BECCS による炭素貯留分が相殺されることも報告された (Harper et al., 2018)。すなわち、新規植林・再植林をはじめとした森林管理によるネガティブエミッションが、BECCS よりも優先されるべきといえる。

このため、2000 年代前半から、森林減少を伴わない形で生産された農林作物をサプライチェーンの中で取り扱うことを約束し実行する「ゼロ・デフォレステーション」の取り組みが欧米で開始されている (Garrett et al., 2019)。その背景には、国際的に取引される農林作物 (特に、パーム油、大豆、牛肉及びパルプ・木材等) のサプライチェーンをたどると、世界の森林減少の要因 (ドライバー) になっていることが判明し、それらを取り扱う民間企業への批判が、NGO や政府等から高まってきたことにある (Seymour & Busch, 2014)。これらの農林作物を輸入した場合は、「森林伐採を輸入した」も同然だと批判されている。このような流れの中で、2014 年 9 月には、法的拘束力は伴わないが、「森林に関するニューヨーク宣言」が国連気候変動サミットで採択された。その目標に、「世界の天然林減少率を 2020 年までに少なくとも半分に抑え、2030 年までにゼロにする」こと、そのためには、「生産過程において森林減少を伴う農林産物の取り扱いを 2020 年までに排除するという民間セクターの目標達成を支援する」ことが盛り込まれた (Samejima, 2017)。2017 年時点で、約 800 の森林関連製品を取り扱う企業が、「消費財フォーラム：ゼロネット森林伐採宣言」⁸、「森林に関するニューヨーク宣言」及び「熱帯林アライアンス」⁹等をもとに、持続可能な森林資源の調達・利用に関する宣言を行っており、今後もその企業数は増加していくとみられる (図 3) (Taylor & Streck, 2018)。

⁸ The Consumer Goods Forum (<https://www.theconsumergoodsforum.com/>)

⁹ The Tropical Forest Alliance 2020 (<https://www.tfa2020.org/en/>)

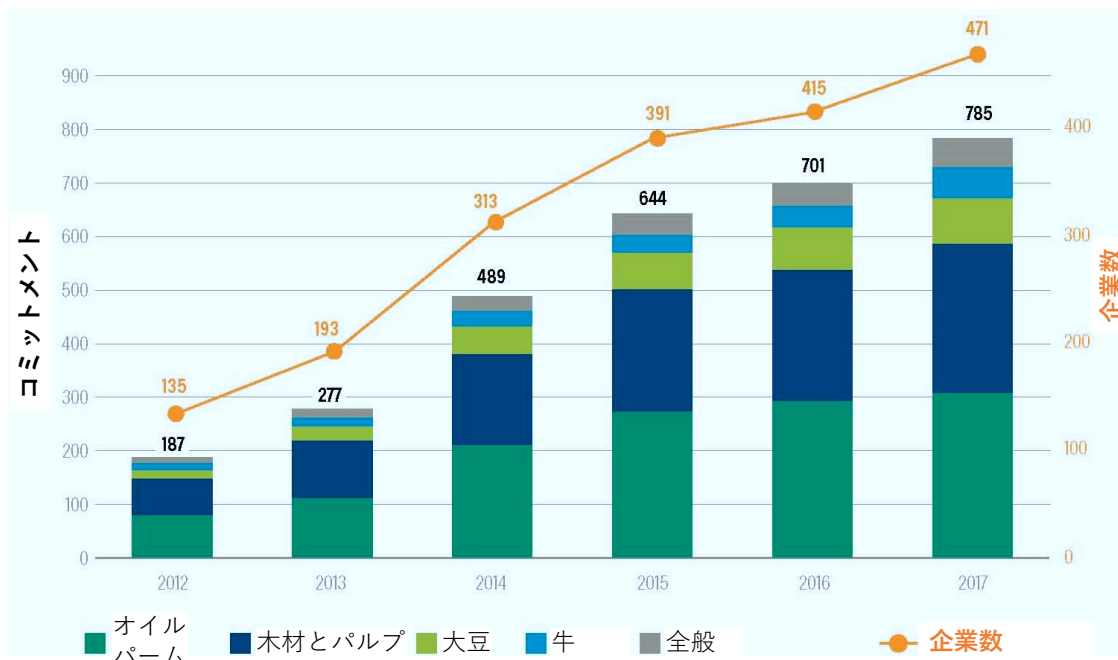


図 3. 森林資源の持続可能な調達・利用に関して宣言したコミットメント及び企業数

出典：Taylor & Streck（2018）の Figure1 を日本語訳

企業のゼロ・デフォorestationへの取り組みにおいて、企業の情報開示や第三者機関による公正な環境影響評価を担保するために、民間の認証スキームが重要な役割を担っている。現在ゼロ・デフォorestation宣言を行った企業等で利用されている認証スキームは、「持続可能なパーム油のための円卓会議（RSPO）認証」、「責任ある大豆に関する円卓会議（RTRS）認証」及び「持続可能な牛肉生産のための円卓会議（GRSB）認証」並びに森林関係では「森林管理評議会（FSC）認証」及び「PEFC 森林認証プログラム」等があげられる（Neeff & Linhares-Juvenal, 2017）。

EU では、2019 年 7 月に欧州委員会が、「世界の森林を保護及び回復するための EU 行動の強化に関するコミュニケーション」を採択した（EC, 2019）。その優先事項の一つには、「EU 域内消費を促進することで、フットプリントに示される土地利用セクターの CO₂ 排出量を削減すること、並びに、サプライチェーンに森林減少を伴わない製品の消費を推奨すること」が盛り込まれている（Fern, 2021）。さらに、2020 年 1 月の EU グリーンディールに関する決議において、欧州議会（EP）は「輸入された森林減少」を終焉させるために、デューデリジェンス規制の立案に対して前向きな姿勢を示した。その上で、欧州委員会（EC）に対して、「EU 市場に投入された製品について、持続可能で森林減少の伴わないサプライチェーンを確保するためのデューデリジェンスに基づく EU の法的枠組み」を提案するよう求めた（Fern, 2020）。

このような EU における政策を筆頭に、今後ますます、「森林減少を伴わないサプライチェーンの確立」が求められるだろう。そこで、既存の開示情報に基づき、第三者機関（Forest 500、CDP Forest、Supply Change 等）が行う企業の評価・格付けは、世界規模での環境、社会、ガバナンスという非財

務情報を考慮した投資（ESG 投資）の判断材料としても用いられ、民間企業の事業の方向性にも影響を与えている（Hashizume, 2017）。ただし、ゼロ・デフォレステーションの宣言内容と報告内容の不一致や、小規模農家の排除、商品のトレーサビリティ確保等の課題も指摘されており、今後それらの課題をどのようにして改善していくか注視していく必要がある（Haupt et al., 2017）。

5. 結論

気温上昇を 1.5°C 以内に抑えるためには、2030 年までに CO₂ 排出量を 2010 年比で約 45%削減する必要があり（IPCC, 2018）、世界の主要 GHG 排出国による「2050 年カーボンニュートラル」目標の表明されてきている。そして、気候変動対策における 2030 年目標及び 2050 年目標を達成するには、排出削減に加えて、BECCS や新規植林・再植林等の CDR 技術（ネガティブ・エミッション）が期待されている。しかし、それらの CDR 技術はかつてない規模の土地を必要とし、食料生産との土地競合や生物多様性の低下等をはじめとする社会経済的なトレードオフが懸念されている（IPCC, 2018; IPCC, 2019; Mace et al., 2021）。また、一度 CDR によって貯蔵された炭素の非持続性リスク並びに CDR にかかる費用が高いこと、及び不確定要素が大きいことも考慮すると、CDR 技術の利用は必要最低限に抑えて、現在排出されている温室効果ガスの削減を最優先すべき、という考え方が欧州で提言されている（EC, 2020; Fern, 2021; EFI, 2021）。その流れの一環として、民間企業により、自社製品のサプライチェーンを見直し、主要な GHG 排出源である森林減少を伴わない原材料調達、ゼロ・デフォレステーションへの取り組みが促進されており、ESG 投資の面からも評価されている。このように、「2050 年カーボンニュートラル」目標の達成に向けては、政府主導及び民間レベルにおいても、CDR に過度に依存しない気候変動対策を選択することが適切であると考えられる。

参考文献

- Boysen, L. R., Lucht, W., & Gerten, D. (2017) Trade-offs for food production, nature conservation and climate limit the terrestrial carbon dioxide removal potential. *Global Change Biology*, 23(10), 4303–4317. <https://doi.org/10.1111/gcb.13745>
- Frank, S., Havlík, P., Soussana, J. F., Levesque, A., Valin, H., Wollenberg, E., Kleinwechter, U., Fricko, O., Gusti, M., Herrero, M., Smith, P., Hasegawa, T., Kraxner, F., & Obersteiner, M. (2017) Reducing greenhouse gas emissions in agriculture without compromising food security? *Environmental Research Letters*, 12(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8c83>
- Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., De Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Luderer, G., Nemet, G. F., Rogelj, J., Smith, P., Vicente, J. V., Wilcox, J., Del Mar Zamora Dominguez, M., & Minx, J. C. (2018) Negative emissions - Part 2: Costs, potentials and side effects.

- Environmental Research Letters, 13(6). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabf9f>
- Garrett, R. D., Levy, S., Carlson, K. M., Gardner, T. A., Godar, J., Clapp, J., Dauvergne, P., Heilmayr, R., le Polain de Waroux, Y., Ayre, B., Barr, R., Døvre, B., Gibbs, H. K., Hall, S., Lake, S., Milder, J. C., Rausch, L. L., Rivero, R., Rueda, X., ... Villoria, N. (2019) Criteria for effective zero-deforestation commitments. *Global Environmental Change*, 54 (November 2018), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.11.003>
- Harper, A. B., Powell, T., Cox, P. M., House, J., Huntingford, C., Lenton, T. M., Sitch, S., Burke, E., Chadburn, S. E., Collins, W. J., Comyn-platt, E., Daioglou, V., Doelman, J. C., Hayman, G., Robertson, E., Vuuren, D. Van, Wiltshire, A., Webber, C. P., Bastos, A., & Boysen, L. (2018) based mitigation for Paris climate targets. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-05340-z>
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Shin, Y., Tanaka, A., Takahashi, K., & Masui, T. (2015) Consequence of Climate Mitigation on the Risk of Hunger. *Environmental Science and Technology*, 49(12), 7245–7253. <https://doi.org/10.1021/es5051748>
- Haupt, F., Streck, C., Bakhtary, H., Behm, K., Kroeger, A., & Gardner, T. (2017) Zero-deforestation Commodity Supply Chains by 202: Are We on Track? Background Paper prepared for the Prince of Wales' International Sustainability Unit. *Climate Focus*, November, 1–27. <https://climatefocus.com/news/zero-deforestation-commodity-supply-chains-2020-are-we-track>
- IPCC (2018) Global Warming of 1.5°C. An 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.
- IPCC (2019) Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
- Kreidenweis, U., Humpenöder, F., Stevanović, M., Bodirsky, B. L., Kriegler, E., Lotze-Campen, H., & Popp, A. (2016) Afforestation to mitigate climate change: Impacts on food prices under consideration of albedo effects. *Environmental Research Letters*, 11(8). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/085001>
- Mace, M. J., Fyson, C. L., Schaeffer, M., & Hare, W. L. (2021) Governing large-scale carbon dioxide removal: are we ready? - an update. February, 56.
- Neeff, T., & Linhares-Juvenal, T. (2017) Zero deforestation initiatives and their impacts on

commodity supply chains. Discussion paper prepared for the 57th Session of the
FAO Advisory Committee on Sustainable Forest-based Industries.

<http://www.fao.org/3/a-i6857e.pdf>

Samejima, H. (2017) ゼロ・デフォレステーションの取り組み. 1–8.

Seymour, F., & Busch, J. (2014) Why Forests, Why Now: Advance Briefing.

Taylor, R., & Streck, C. (2018) The Elusive Impact of the Deforestation-Free Supply Chain
Movement. World Resources Institute Working Paper, June, 1–14.

Timko, J., Le Billon, P., Zerriffi, H., Honey-Rosés, J., de la Roche, I., Gaston, C., Sunderland,
T. C., & Kozak, R. A. (2018) A policy nexus approach to forests and the SDGs:
tradeoffs and synergies. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 34, 7–12.
<https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.06.004>

UNFCCC (2021) Nationally determined contributions under the Paris Agreement -
Synthesis report by the secretariat.