



The Canon Institute for Global Studies

CIGS Working Paper Series No. 26-007J

CO₂増加の好影響の環境経済学的評価

杉山 大志 (キャノングローバル戦略研究所)

2026. 5

※Opinions expressed or implied in the CIGS Working Paper Series are solely those of the author, and do not necessarily represent the views of the CIGS or its sponsor.
※CIGS Working Paper Series is circulated in order to stimulate lively discussion and comments.
※Copyright belongs to the author(s) of each paper unless stated otherwise.

General Incorporated Foundation

The Canon Institute for Global Studies

一般財団法人 キャノングローバル戦略研究所

Phone: +81-3-6213-0550 <https://cigs.canon/>

CO₂増加の好影響の環境経済学的評価

キャノングローバル戦略研究所 研究主幹 杉山大志

要旨

二酸化炭素(CO₂)濃度の上昇は、気候変動の悪影響の原因として評価される一方で、植物生理、農業生産、水利用効率、陸域生態系、人間の健康に対して好影響も及ぼしている。本稿は、温暖化影響の悪影響評価で標準的に用いられてきた積み上げ型(enumerative)評価の考え方を、CO₂増加に伴う好影響にも対称的に適用し、その年間便益を世界規模で試算する。

評価対象は、(1)CO₂施肥による作物収量・生産性向上、(2)作物水利用効率向上による灌漑水節約、(3)グローバル・グリーニングによる生物物理的冷却、(4)乾燥地緑化による砂漠化・土地劣化防止、(5)作物生産性向上による農地拡大回避・自然生態系保全、(6)温暖化による寒冷関連死亡の減少である。

中心推計では、CO₂増加に伴う好影響は年間約 1.93 兆ドル、2024 年世界 GDP 比で約 1.73%となる。現在の大気中 CO₂濃度は産業革命前の約 1.5 倍であり、倍増には達していない。それにもかかわらず、積み上げ評価により得られる便益が世界 GDP 比で約 1.7%に達することは、CO₂を純粋な外部不経済として扱う従来の社会的炭素費用(SCC)評価に対して、便益側を明示的に組み込む必要性を示している。

キーワード: CO₂施肥効果、グローバル・グリーニング、作物生産性、寒冷死亡、砂漠化、灌漑水、積み上げ評価、社会的炭素費用

目次

要旨	1
1. はじめに	2
2. 評価範囲と基本前提	2
3. 推計結果の概要	3
4. 作物収量・生産性向上便益	3
5. 灌漑水節約便益	4
6. グローバル・グリーニングによる生物物理的冷却便益	5
7. 砂漠化・土地劣化防止便益	5
8. 農地拡大回避・自然生態系保全便益	6
9. 温度関連死亡の正味減少便益	6
10. 生物多様性便益: 評価可能だが本稿の合計には未計上	8
11. 悪影響側の積み上げ評価との比較	8

12. 限界と今後の課題.....	9
13. 結論.....	9
参考文献.....	10

1. はじめに

気候変動の環境経済学では、温室効果ガスの排出に伴う悪影響を金銭換算し、社会的炭素費用 (social cost of carbon, SCC) として表現する研究が発展してきた。典型的には、農業、健康、沿岸、エネルギー需要、生態系などの個別影響を物理量に分解し、それぞれに市場価格またはシャドウ価格を掛けて積み上げる。この方法は、不完全ではあるが、少なくとも個別影響の経路を明示できるという利点を持つ。

しかし、同じ方法が CO₂ 増加の好影響に対して十分に適用されてきたとは言い難い。CO₂ は植物の光合成の原料であり、気孔開度を変化させて水利用効率を高める。作物収量、自然植生、乾燥地の緑化、一次生産力、生物物理的冷却など、便益側の経路は多数存在する。さらに、温暖化は寒冷関連死亡を減少させる。こうした好影響は、悪影響と同じく、物理量と価格を接続することで評価可能である。

本稿の目的は、CO₂ 増加の好影響について、悪影響評価と同じ積み上げ型の環境経済学的手法を適用し、現時点での年間便益を概算することである。

2. 評価範囲と基本前提

本稿は、CO₂ 増加に伴う好影響を「CO₂ の直接的な生物学的効果」と「温暖化を経由した好影響」に分けて扱う。前者には CO₂ 施肥効果、作物水利用効率、グローバル・グリーニング、乾燥地緑化、農地拡大回避が含まれる。後者には、寒冷関連死亡の減少が含まれる。

なお、森林や自然植生が CO₂ を吸収し、炭素固定量・炭素蓄積量が増加していること自体を、炭素価格または SCC で評価することは本稿では行わない。これは、本稿の目的が炭素吸収価値ではなく、CO₂ 増加に伴う農業、生態系、水資源、健康面の便益を、炭素価格評価とは独立に評価することにあるためである。

大気中 CO₂ 濃度は、NOAA/Climate.gov が示す 2024 年世界平均 422.7 ppm を用いる。産業革命前濃度を 280 ppm とすれば、現在濃度は産業革命前の約 1.51 倍である。CO₂ の放射強制力は濃度比の対数に概ね比例するため、現在の CO₂ 濃度上昇は、CO₂ 倍増時の放射強制力の約 0.59 倍に相当する。世界 GDP は、World Bank ベースの 2024 年値 111.326 兆ドルを基準に用いる。

悪影響側との比較については、近年の統計的・マクロ経済的推計の論争には立ち入らず、古典的な積み上げ評価同士の比較に限定する。IPCC 第 5 次評価報告書 (AR5) WGII の政策決定者向け要約は、追加的な約 2°C の温暖化に対する世界年間経済損失の不完全な推計として、所得の 0.2~2.0% という範囲を示している。この桁を、本稿の便益側積み上げ評価と比較する。

表 1 基本前提

項目	採用値	出所・備考
世界平均 CO ₂ 濃度	422.7 ppm (2024 年)	NOAA/Climate.gov。産業革命前 280 ppm との比は約 1.51。
世界 GDP	111.326 兆ドル (2024 年)	World Bank ベースの 2024 年世界 GDP。

項目	採用値	出所・備考
作物生産価値	2.7 兆ドル相当/年	FAOSTAT 等の作物一次産品の農場段階粗生産価値を概数として使用。GDP の付加価値概念とは異なるため、GDP 比は規模感の比較として示す。
統計的生命価値 (VSL)	270 万ドル/人	OECD の世界人口加重ベース推計。
炭素吸収便益	合計から除外	植生・森林が CO ₂ を吸収する炭素価格評価は本稿では行わない。

3. 推計結果の概要

表 2 に、CO₂ 好影響の中心推計を示す。最大項目は作物生産性向上と温度関連死亡の正味減少である。前者は CO₂ の直接的な生物学的効果であり、後者は温暖化を経由した好影響である。グローバル・グリーンング、砂漠化防止、農地拡大回避は、個別項目としては小さいが、悪影響評価で用いられる非市場評価・回避被害法と同じ枠組みで評価可能である。

表 2 CO₂ 増加の好影響の積み上げ評価 (炭素吸収便益を除く、中心推計)

便益項目	評価の考え方	中心値 (10 億ドル/年)	世界 GDP 比
CO ₂ 施肥による作物収量・生産性向上	作物生産価値 2.7 兆ドル × CO ₂ 由来生産性押し上げ率 20%。	540.0	0.485%
灌漑水節約便益	CO ₂ による作物水利用効率向上に伴う灌漑水取水削減。作物便益はアウトプット増、灌漑水便益は投入財節約であり、概念上は二重計上ではない。	14.0	0.013%
グローバル・グリーンングによる生物物理的冷却便益	LAI 増加による陸域冷却 0.09±0.02°C のうち CO ₂ 寄与 70% を DICE 型損害関数で評価。	52.3	0.047%
砂漠化・土地劣化防止便益	UNCCD の砂漠化・土地劣化・干ばつコスト、乾燥地比率、CO ₂ 由来緑化率、非供給型生態系サービス配分係数を用いた回避被害評価。	14.6	0.013%
農地拡大回避・自然生態系保全便益	作物生産性向上により追加耕地化を回避した自然生態系の非炭素サービス価値。炭素貯蔵価値は除外。	20.0	0.018%
温度関連死亡の正味減少	Zhao et al. の 2000~03 年から 2016~19 年までの正味超過死亡率低下を、同期間の気温上昇幅で割り、2016~19 年時点の歴史的温暖化幅に比例補正して OECD VSL で評価。	1,290.0	1.159%
合計	炭素吸収便益を除く中心推計。生物多様性便益は未計上。	1,930.9	1.734%

中心推計の合計は年間約 1.93 兆ドルであり、2024 年世界 GDP 比では約 1.73% である。これは、温度関連死亡について、Zhao et al. (2021) が示す 2000~03 年から 2016~19 年までの温度関連死亡率変化を、同期間の世界平均気温上昇幅で割り、2016~19 年時点の歴史的温暖化幅に比例補正した場合の推計である。Zhao et al. の対象期間の変化だけを用いる場合でも合計は約 1.08 兆ドル、GDP 比約 0.97% となる。一方、2024 年の単年温暖化水準で比例補正する場合には、合計は約 2.31 兆ドル、GDP 比約 2.08% となる。

4. 作物収量・生産性向上便益

CO₂ 施肥効果は、CO₂ 濃度上昇により光合成が促進され、気孔が閉じ気味になることで水利用効率も高まる現象である。施設園芸では CO₂ 施用技術がすでに実用化されており、堅田 (2020, 2025) は、農業における CO₂ 有効利用 (CCU) を、脱炭素とは別の産業的・農業的便益として整理している。

FACE (Free-Air CO₂ Enrichment) 実験のレビューでは、Ainsworth and Long (2021) が、18 種類の C3 作物を対象とする 186 件の独立研究を統合し、CO₂ を約 200 ppm 高めると、非ストレス条件では収量が平均約 18% 増加すると報告している。低窒素条件や約 2°C の昇温はこの効果を弱めるが、CO₂ 施肥効果が作物生産性に対して 10% 級以上の物理効果を持つことは実験的に確認されている。

さらに、Taylor and Schlenker (2021) は、NASA の OCO-2 衛星観測を用いて、実際の米国圃場条件下で CO₂ 施肥効果を推計した。初期の NBER 版では 1 ppm の CO₂ 上昇がトウモロコシ、大豆、冬小麦の収量をそれぞれ 0.12%、0.13%、0.19% 押し上げるとされた。これを産業革命前から現在までの CO₂ 濃度上昇幅約 143 ppm に単純に掛けると、十数% から二十数% の収量押し上げに相当する。もちろん、この換算は線形外挿であり、地域・作物・栄養条件による差を含むが、CO₂ が過去の単収増加の一部、作物によってはかなり大きな部分を説明し得ることを示している。

本稿では、保守ケースとして 10%、中心ケースとして 20%、強めのケースとして 25~30% を置く。これは、FACE 実験の制約条件込みの値を下限とし、実圃場推計および過去単収増加への CO₂ 寄与を考慮した設定である。

金額評価は、悪影響側の作物被害額推計と対称に、作物生産価値に収量・生産性押し上げ率を直接掛ける。すなわち、次式を用いる。

$$B_{\text{crop}} = V_{\text{crop}} \times \Delta Y_{\text{CO}_2}$$

ここで $V_{\text{crop}} = 2.7$ 兆ドル/年、 $\Delta Y_{\text{CO}_2} = 20\%$ とすると、

$$B_{\text{crop}} = 2.7 \text{ 兆ドル} \times 0.20 = 0.54 \text{ 兆ドル/年}$$

となる。したがって、作物生産性向上便益の中心値は年間 5,400 億ドル、世界 GDP 比 0.49% である。

表 3 作物収量・生産性便益の感度分析

CO ₂ による作物生産性押し上げ率	作物便益(10 億ドル/年)	世界 GDP 比	位置づけ
10%	270	0.24%	FACE 制約条件込みの保守ケース
15%	405	0.36%	中間ケース
20%	540	0.49%	本稿の中心ケース
25%	675	0.61%	過去単収増加への CO ₂ 寄与を強めに見るケース
30%	810	0.73%	高位ケース

5. 灌漑水節約便益

CO₂ 施肥効果は、収量増だけではなく、水利用効率の改善としても現れる。気孔が閉じ気味になることで蒸散が減り、同じ水消費でより多くの生産を得る、または同じ生産量をより少ない水で得ることが可能になる。堅田 (2025) は、CO₂ 施肥効果が水の節約にもつながることを、植物生理の観点から説明している。

Deryng et al. (2016) は、FACE 実験と全球作物モデルを組み合わせ、CO₂ 上昇が作物水生産性 (crop water productivity) を高めると評価した。同研究では、将来の高 CO₂ 条件において、CO₂ 効果により農業の消費的水利用が 4~17% 減り得るとされる。現在時点への換算では、CO₂ 濃度上昇幅を対数スケールで内挿し、現在までの灌漑水需要削減率を中心値 4.1% と置く。

FAO AQUASTAT は、世界の灌漑水要求量を約 1,500 km³/年、それを満たすための灌漑取水量を 2,673 km³/年としている。したがって、4.1% の削減は約 110 km³/年の取水節約に相当する。D' Odorico et al. (2020) は、灌漑水の世界的なシャドウ価格を作物別・地域別に推計し、現在の作物分布に基づく中央値を 0.13 ドル/m³、平均値を 0.23 ドル/m³ 程度とした。

中心値では、110 km³/年 = 1,100 億 m³/年に 0.13 ドル/m³ を掛け、約 140 億ドル/年となる。作物収量便益は農産物アウトプットの増加価値であり、灌漑水節約便益は投入財である水資源の節約価値であるため、概念上は二重計上ではない。ただし、実際に取水削減が実現するか、節約水が他用途・環境流量・地下

水保全に回るかには不確実性がある。このため、中心表では 140 億ドル/年を採用し、50%実現ケースである 70 億ドル/年を保守感度として扱う。

$$B_{\text{irrigation}} = 2,673 \text{ km}^3 \times 4.1\% \times 0.13 \text{ ドル/m}^3 \approx 140 \text{ 億ドル/年}$$

6. グローバル・グリーニングによる生物物理的冷却便益

衛星観測により、過去数十年に地球規模で植生が増加していることはよく知られている。Zhu et al. (2016) は、1982～2009 年の複数の LAI データセットと生態系モデルを用い、世界の植生域の 25～50% で緑化が見られ、逆の褐色化は 4%未満であったと報告した。また、モデルを用いた要因分解により、観測された緑化トレンドの約 70%を CO₂施肥効果が説明すると推計した。NASA (2016) も同研究を紹介し、CO₂施肥効果が緑化の主因であると説明している。

グローバル・グリーニングは炭素吸収を増やすだけではない。葉面積が増えると蒸発散が増え、陸面エネルギー収支が変化し、地表付近の気温を下げる生物物理的効果が生じる。Zeng et al. (2017) は、過去 30 年間の LAI 増加が世界陸域の地表気温上昇を 0.09±0.02°C抑制したと推計した。

本稿では、この 0.09°Cのうち 70%を CO₂施肥由来とし、CO₂由来の緑化冷却効果を 0.063°Cと置く。これを DICE-2016R 型の損害関数 (Nordhaus, 2017) に代入する。DICE 型損害関数では、気温上昇 T に対する損害率を概ね $a_2 T^2$ と表し、 $a_2 = 0.00236$ を用いる。2024 年の世界 GDP を 111.326 兆ドル、現在の温暖化水準を 1.55°Cとすると、緑化冷却がなかった場合に追加で発生していた損害は次式で近似できる。

$$B_{\text{green,cooling}} = \text{GDP} \times 0.00236 \times [(1.55 + 0.063)^2 - 1.55^2] \approx 523 \text{ 億ドル/年}$$

この 523 億ドル/年は、グローバル・グリーニングの非炭素便益全体ではなく、緑化による生物物理的冷却だけを評価した値である。土壌保全、生息地改善、生物多様性、水循環などの便益は別途扱う。なお、Zeng et al. (2017) の推計は陸域地表気温に関するものであり、DICE 損害関数の気温変数は通常、全球平均気温である。本稿では、経済活動と損害の大部分が陸域で発生することから、陸域冷却を損害回避の近似指標として用いる。厳密には、陸域気温と全球平均気温の関係を明示した感度分析が必要である。

7. 砂漠化・土地劣化防止便益

乾燥地では、水が植物成長の主要な制約であるため、CO₂施肥による水利用効率改善は特に重要である。Donohue et al. (2013) は、1982～2010 年の CO₂濃度 14%上昇が、暖かい乾燥地域の緑葉被覆を理論上 5～10%増やしたと推計し、降水量変動の影響を除去した衛星観測では被覆が 11%増えたと報告した。これは、CO₂施肥効果が乾燥地の植生維持・回復に寄与し得ることを示す重要な証拠である。

砂漠化・土地劣化防止は、悪影響側の環境経済学で用いられる回避被害法により評価できる。UNCCD (2025) は、砂漠化・土地劣化・干ばつが世界経済に年間 8,780 億ドルのコストを与えているとする。また、UNCCD の Global Land Outlook は、乾燥地が陸域面積の 41%を占め、作物の 44%、20 億人超、家畜の半分を含むと整理している。

本稿では、UNCCD の被害額 8,780 億ドル/年に、乾燥地比率 0.41、CO₂由来緑化・劣化相殺率 7.5%を掛ける。さらに、作物生産性向上便益を別途評価しているため、土地劣化防止便益については、供給サービスを除いた非供給型生態系サービス部分に限定する。Le et al. (2017) は Nkonya et al. (2016) に基づき、土地劣化コストの 54%が supporting, regulating and cultural ecosystem services に対応し、残り 46%が

provisioning ecosystem services の損失に対応すると整理している。そこで本稿では、0.54 を非供給型生態系サービス配分係数として用いる。

$$B_{\text{desert}} = 8,780 \text{ 億ドル} \times 0.41 \times 0.075 \times 0.54 \approx 146 \text{ 億ドル/年}$$

したがって、砂漠化・土地劣化防止便益の保守的中心値は年間約 146 億ドルである。CO₂由来緑化率を 5~10%、乾燥地配分を 0.35~0.45 に振ると、約 80 億~210 億ドル/年の範囲となる。なお、この 0.54 は UNCCD の 8,780 億ドル推計から直接得られた内訳ではなく、Nkonya/Le 系の土地劣化費用内訳を用いた便益移転である。また、regulating services には炭素関連サービスが含まれ得るため、本稿では炭素価格評価を含めないという方針に照らし、0.3~0.54 程度の感度分析を併記するのが望ましい。IPBES (2018) や ELD Initiative (2015) は、土地劣化による生態系サービス損失を世界 GDP の 10% または 6.3~10.6 兆ドル/年規模とする、はるかに大きな包括的評価も示している。しかし、本稿では重複を避けるため、UNCCD のより狭い被害額を基準に用いる。

8. 農地拡大回避・自然生態系保全便益

CO₂施肥による作物生産性向上は、同じ食料・飼料・繊維作物を生産するために必要な耕地面積を減らす。これは「land sparing」、すなわち農地拡大回避による自然生態系保全便益である。ブラジルにおける大豆畑や牧草地の拡大が熱帯林・サバンナの転換を伴ってきたことを考えれば、作物生産性が低いままであった場合、より広大な熱帯雨林や自然草原が農地化されていた可能性が高い。

FAO は、世界の森林減少のほぼ 90% が農業拡大に関連し、そのうち約半分が耕地拡大、約 4 割が家畜放牧に由来すると整理している。したがって、作物生産性向上による耕地拡大回避は、森林・サバンナ・草地・湿地の保全に直結する可能性がある。

世界の耕地面積を約 16 億 ha、CO₂由来の作物生産性押し上げ率を 20% と置くと、会計上の土地節約ポテンシャルは 3.2 億 ha である。ただし、収量上昇が必ず自然生態系保全につながるわけではない。地域によっては、収益性上昇が農地拡大を誘発する場合もある。そこで本稿では、土地節約ポテンシャルの 25% だけが自然生態系保全として実現したと仮定し、8,000 万 ha を評価対象とする。

単位価値としては、炭素貯蔵価値を除いた自然生態系サービス価値を用いる。World Bank (2024) の Changing Wealth of Nations 関連資料は、非木材森林生態系サービスとして、水サービス、非木材林産物、レクリエーション等を評価している。保守的には、世界平均限界価値として約 79 ドル/ha/年程度の下限値が示される一方、地域別・包括的評価ではこれを大きく上回る。本稿では、森林だけでなくサバンナ・草地等も含む自然生態系の非炭素価値として、中心値 250 ドル/ha/年を置く。

$$B_{\text{land-sparing}} = 16 \text{ 億 ha} \times 20\% \times 25\% \times 250 \text{ ドル/ha/年} = 200 \text{ 億ドル/年}$$

この 200 億ドル/年は、作物生産物の価値とは異なり、農地化されずに残った自然生態系の非市場価値である。炭素貯蔵・炭素吸収価値は含めない。土地節約ポテンシャルを満額評価する場合、便益は約 800 億ドル/年となるが、主表では保守的に 200 億ドル/年を採用する。

9. 温度関連死亡の正味減少便益

温暖化の健康影響は、暑熱関連死亡の増加だけでなく、寒冷関連死亡の減少を同時に評価しなければならない。Gasparrini et al. (2015) は、13 か国 384 地点・約 7,400 万件の死亡データを用い、気温関連死亡の大部分が暑熱ではなく寒冷側、とくに中程度の寒冷に関連していることを示した。

より新しい Zhao et al.(2021)は、43 か国 750 地点、1 億 3,000 万件超の死亡データを用い、2000～2019 年の非最適気温関連死亡を世界規模で推計した。同研究によれば、非最適気温に関連する死亡は年平均 5,083,173 人、全死亡の 9.43%であり、その内訳は寒冷側 8.52%、暑熱側 0.91%である。さらに、2000～03 年から 2016～19 年にかけて、寒冷関連超過死亡比率は 0.51 percentage points 低下し、暑熱関連超過死亡比率は 0.21 percentage points 上昇したため、正味では 0.30 percentage points 低下した。

この 0.30 percentage points は、人口、死亡率、GDP per capita を 2010 年水準に固定して計算された値であり、建物改善、医療、エアコン普及などの適応改善を CO₂便益として足し込んだものではない。むしろ、固定社会経済条件の下で、気温分布の変化が超過死亡負担をどう変化させたかを評価した値と解釈できる。

ただし、この 0.30 percentage points は、2000～03 年から 2016～19 年までの比較的短い期間の気温変化に対応する値であり、産業革命前から現在近傍までの温暖化全体に対応する死亡率変化ではない。現在までの温暖化便益を評価するには、この期間の気温上昇幅で割り、歴史的温暖化幅を掛ける補正が必要である。

NASA GISTEMP の年平均世界気温偏差を用いると、2000～03 年平均から 2016～19 年平均までの気温上昇幅は約 0.405°Cである。したがって、Zhao et al.の 0.30 percentage points は、1°Cの温暖化あたり約 0.74 percentage points の正味超過死亡比率低下に相当する。

本稿の中心推計では、Zhao et al.の終点に合わせ、2016～19 年時点の産業革命前比温暖化幅を約 1.20°Cと置く。これは、GISTEMP の 2016～19 年平均が 1951～1980 年比で約 0.94°Cであり、2024 年の GISTEMP 偏差 1.28°Cと WMO の産業革命前偏差 1.55°Cとの差から、1951～1980 年平均が産業革命前より約 0.27°C高いとみなした近似である。

したがって、産業革命前気候と比較した正味死亡率低下は、 $0.0030 \times 1.20 / 0.405 \approx 0.0089$ 、すなわち約 0.89 percentage points となる。Zhao et al.の全死亡数は、 $5,083,173 / 0.0943 \approx 5,390$ 万人/年と逆算できるため、正味回避死亡数は約 47.9 万人/年である。

OECD (2025)の世界人口加重 VSL 中心値 270 万ドル/人を用いると、死亡率便益は次のようになる。

$$B_{\text{mortality}} = 479,000 \text{ 人/年} \times 270 \text{ 万ドル/人} \approx 1.29 \text{ 兆ドル/年}$$

なお、Zhao et al.の対象期間だけを評価する場合、正味回避死亡は約 16.2 万人/年、便益は約 4,370 億ドル/年であり、これは本稿の下限感度と位置づけられる。また、2024 年時点の産業革命前比 1.55°Cを用いて比例補正する場合、便益は約 1.67 兆ドル/年となる。ただし、2024 年は単年として非常に高温であったため、本稿では 2016～19 年時点の歴史的温暖化幅に基づく 1.29 兆ドル/年を中心値とする。

Barreca et al.(2016)は、米国では 20 世紀を通じて高温日の死亡影響が 75%低下し、その大部分を住宅用エアコンの普及が説明すると報告している。これは適応の重要性を示すが、上記の死亡率便益の中心値は適応便益を別途加算したものではない。将来時点における評価をするのであれば、気温変化そのものの効果、適応による死亡回避、適応費用を明示的に分離する必要がある。また、本節では温度関連死亡の正味減少を CO₂増加に伴う温暖化経路の好影響として扱うが、観測された温暖化には CO₂以外の温室効果ガス、エアロゾル、土地利用変化、自然変動も寄与する。CO₂単独に厳密配分する場合には、放射強制力または気温寄与率に基づく感度分析が必要である。

10. 生物多様性便益: 評価可能だが本稿の合計には未計上

CO₂増加に伴う炭素固定量・炭素蓄積量の増加、植生量・NPP・LAIの増加、土壌水分の改善、地域によっては降水量の増加、そして温暖化による生育期間の延長は、生物多様性にも影響する。ここでいう評価は、炭素固定量に炭素価格を掛けることではない。評価すべきは、餌資源、生息地構造、土壌生物相、局所種数、分布可能域、個体数など、生物多様性の物理的・生態学的指標の変化である。

生物多様性と気候の関係については、単純な「温暖化は常に損失」という理解では不十分である。一般に、植物多様性は暖かく湿潤で季節性が小さい条件で高くなる傾向がある(Kerkhoff et al., 2014)。Chris D. Thomas は、気候変化・移入・人間活動の下で、地域によっては局所的な生物多様性が増加していることを論じ、『Inheritors of the Earth』で、より暖かく、やや湿った世界では多くの地域で局所的な種多様性が増える可能性を指摘した。

実証研究として、Suggitt et al.(2019)は、気候変化が少なくとも一時的には局所植物種数を増加させ得るとし、寒冷地域では典型的な気候変化率が局所種数を10年あたり約5%増やすというモデル結果を示した。また、Suggitt et al.(2023)は、温暖化と土地転換の効果が、調査対象種の一部に対して持続確率を高めたことも報告している。

ただし、生物多様性便益は本稿の合計値には入れない。理由は、局所種数、固有性、希少性、生態系機能、個体数、外来種、群集均質化などの指標が必ずしも同じ方向に動かないためである。たとえば局所種数が増えても、固有種の喪失や群集の均質化が生じる場合がある。したがって、生物多様性便益は、次の段階で地域別・生態系別に評価するのが望ましい。

$$B_{\text{biodiversity}} = \sum_j A_j \times \Delta Q_j \times V_j$$

ここで A_j は地域・生態系面積、 ΔQ_j は LAI、NPP、降水量、土壌水分、温度による生物多様性指標の変化、 V_j は生物多様性または生態系サービスの単位価値である。

11. 悪影響側の積み上げ評価との比較

本稿の結果は、CO₂の好影響が小さな副次的効果ではないことを示す。CO₂濃度は産業革命前の約1.5倍であり、倍増にはまだ達していない。それにもかかわらず、好影響の積み上げ評価は世界GDP比で約1.73%に達する。

この大きさは、従来の悪影響側の積み上げ評価と同じ桁である。IPCC AR5 WGII は、追加的な約2°Cの温暖化に対する世界年間経済損失の不完全な推計として、所得の0.2~2.0%という範囲を示した。この範囲の中心的な理解は、おおむねGDP比1%前後という桁である。

したがって、本稿の中心的含意は次のように整理できる。すなわち、CO₂増加の好影響は、悪影響側と同じ積み上げ型環境経済評価を適用すれば、現時点で世界GDP比約1.7%に達する。これは従来の悪影響側の積み上げ評価でしばしば示されてきたGDP比1%前後という桁と同程度、あるいはそれを上回る規模である。これに加えて、未計上ではあるが生物多様性便益も存在する。したがって、本稿の中心値は、便益側についての包括評価というよりも、主要な便益の保守的な積み上げと見るべきである。

SCC や IAM に対する含意は明確である。CO₂を純粋な外部不経済として扱い、便益側を明示的に評価しない場合、社会的炭素費用は体系的に過大評価される可能性がある。少なくとも、悪影響側に積み上げ評価を用いるなら、好影響側にも同じ方法を対称的に適用する必要がある。ただし、本稿の推計は現時点の年間総便益であり、SCC と直接比較される1トンCO₂あたりの限界便益そのものではない。SCC への

厳密な組込みには、各便益項目を排出 1 トンあたりの濃度変化、時間経路、炭素循環、割引率に接続する必要がある。本稿の結果は、その限界便益化に進む前段階として、便益側の総量が無視できない規模であることを示すものである。

12. 限界と今後の課題

本稿の試算にはいくつかの限界がある。第一に、作物生産価値、灌漑水価格、自然生態系サービス価値、VSL などは、地域差が極めて大きい。世界平均値による評価は、便益の総量の桁を示すには有用だが、政策評価には地域別・作物別の係数表が必要である。

第二に、評価項目間の境界設定が重要である。CO₂施肥効果は、収量増、水利用効率、乾燥地緑化、土地節約を同時にもたらす。作物収量便益は農産物アウトプットの価値であり、灌漑水節約便益は投入財である水資源の節約価値であるため、概念上は二重計上ではない。一方、砂漠化・土地劣化防止便益については、広義の土地劣化コストが作物生産性、水資源、炭素蓄積、生物多様性など複数のサービスを含むため、他項目との重複が生じ得る。このため、本稿の中心推計では、非供給型生態系サービス部分に限定して評価している。

第三に、死亡率便益は近過去の観測に基づくものであり、将来にそのまま外挿できるかは確かではない。本稿の中心値は、Zhao et al. (2021) の 2000～03 年から 2016～19 年までの死亡率変化を、同期間の世界平均気温上昇幅で割り、2016～19 年時点の歴史的温暖化幅へ比例補正したものである。この比例補正は、現在までの温暖化全体に対応する便益を概算するためには必要であるが、気温死亡関数の非線形性、地域差、適応状態の変化を単純化している。温暖化がさらに進めば、暑熱死亡の増加が大きくなる地域もあり得る。一方で、冷房、暖房、住宅性能、医療、公衆衛生、都市設計などの適応も変化する。将来評価をする場合には、気温変化、適応便益、適応費用を分離して評価する必要がある。

第四に、生物多様性便益は本稿では未計上である。温暖化・湿潤化・CO₂施肥が局所種数や生息地を増やす経路を評価する必要がある。

13. 結論

本稿は、CO₂増加の好影響について、悪影響評価で用いられる積み上げ型環境経済評価を対称的に適用した。作物生産性、水利用効率、グローバル・グリーニング、砂漠化防止、農地拡大回避、寒冷関連死亡減少を合計すると、中心推計は年間約 1.93 兆ドル、2024 年世界 GDP 比で約 1.73%となる。

この結果は、CO₂濃度がまだ倍増に達していない現在時点においても、便益側が従来の温暖化悪影響の積み上げ評価と同じ桁、あるいはそれを上回る規模に達していることを意味する。CO₂を悪影響のみの外部不経済として扱う評価体系は、少なくとも積み上げ評価の観点からは不完全である。

今後は、このような便益側の評価をより精密化し、総便益から排出 1 トンあたりの限界便益へ接続する必要がある。それでも、本稿の第一次推計は、CO₂の好影響が政策評価上無視できる小項目ではなく、SCC や IAM の便益側における要素として明示的に扱うべき規模であることを示している。

参考文献

- Ainsworth, E. A., & Long, S. P. (2021). 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? *Global Change Biology*, 27(1), 27–49. <https://doi.org/10.1111/gcb.15375>
- Barreca, A., Clay, K., Deschenes, O., Greenstone, M., & Shapiro, J. S. (2016). Adapting to climate change: The remarkable decline in the US temperature–mortality relationship over the twentieth century. *Journal of Political Economy*, 124(1), 105–159. <https://doi.org/10.1086/684582>
- Deryng, D., Elliott, J., Folberth, C., Müller, C., Pugh, T. A. M., Boote, K. J., Conway, D., Ruane, A. C., Gerten, D., Jones, J. W., et al. (2016). Regional disparities in the beneficial effects of rising CO₂ concentrations on crop water productivity. *Nature Climate Change*, 6, 786–790. <https://doi.org/10.1038/nclimate2995>
- D’Odorico, P., Chiarelli, D. D., Rosa, L., Bini, A., Zilberman, D., & Rulli, M. C. (2020). The global value of water in agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21985–21993. <https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117>
- Donohue, R. J., Roderick, M. L., McVicar, T. R., & Farquhar, G. D. (2013). Impact of CO₂ fertilization on maximum foliage cover across the globe’s warm, arid environments. *Geophysical Research Letters*, 40(12), 3031–3035. <https://doi.org/10.1002/grl.50563>
- Economics of Land Degradation Initiative. (2015). *The Value of Land: Prosperous Lands and Positive Rewards through Sustainable Land Management*. ELD Initiative.
- FAO. (2021). *Agricultural expansion drives almost 90 percent of global deforestation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2024). *World Food and Agriculture: Statistical Yearbook 2024*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2025). *Land statistics 2001–2023: Global, regional and country trends*. FAOSTAT Analytical Brief.
- FAO AQUASTAT. (2012). *Irrigation water requirement and water withdrawal by country*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J., Tobias, A., et al. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: A multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369–375. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)
- Goklany, I. M. (2015). *Carbon Dioxide: The Good News*. Global Warming Policy Foundation Report 18.
- IPBES. (2018). *The IPBES assessment report on land degradation and restoration: Summary for policymakers*. Intergovernmental Science–Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report. Summary for Policymakers*.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Chapter 8: Water Cycle Changes. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report*.
- 堅田元喜. (2020). 農業における CO₂の有効利用 (CCU)の推進. キヤングローバル戦略研究所.
- 堅田元喜. (2022). 技術革新の裏にあった CO₂施肥効果の恩恵. 国際環境経済研究所.
- 堅田元喜. (2025). 化石燃料技術と農業における CO₂有効利用. キヤングローバル戦略研究所 / 国際環境経済研究所.
- Kerkhoff, A. J., Moriarty, P. E., & Weiser, M. D. (2014). The latitudinal species richness gradient in New World woody angiosperms is consistent with the tropical conservatism hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(22), 8125–8130. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308932111>
- Le, Q. B., Mirzabaev, A., Nkonya, E., & Lynden, G. W. J. (2017). The extent and cost of land degradation. In E. Nkonya, A. Mirzabaev, & J. von Braun (Eds.), *Economics of Land Degradation and Improvement: A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3>
- NASA. (2016). *Carbon dioxide fertilization greening Earth, study finds*. NASA Goddard Space Flight Center.
- NASA GISS. (2025). *GISTEMP v4: Global mean annual temperature anomalies*. NASA Goddard Institute for Space Studies.

- Newell, R. G., Prest, B. C., & Sexton, S. E. (2021). The GDP–temperature relationship: Implications for climate change damages. *Journal of Environmental Economics and Management*, 108, 102445. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2021.102445>
- Nkonya, E., Mirzabaev, A., & von Braun, J. (Eds.). (2016). *Economics of Land Degradation and Improvement: A Global Assessment for Sustainable Development*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3>
- Nordhaus, W. D. (2017). Revisiting the social cost of carbon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(7), 1518–1523. <https://doi.org/10.1073/pnas.1609244114>
- NOAA Climate.gov. (2025). Climate change: Atmospheric carbon dioxide. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- OECD. (2025). Mortality Risk Valuation in Policy Assessment: A Global Meta–Analysis of Value of Statistical Life Studies. OECD Publishing.
- Pindyck, R. S. (2013). Climate change policy: What do the models tell us? *Journal of Economic Literature*, 51(3), 860–872. <https://doi.org/10.1257/jel.51.3.860>
- Suggitt, A. J., et al. (2019). Widespread effects of climate change on local plant diversity. *Current Biology*, 29(17), 2905–2911.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.06.079>
- Suggitt, A. J., et al. (2023). Linking climate warming and land conversion to species’ range changes across Great Britain. *Nature Communications*, 14, 6545. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42475-0>
- Taylor, C. A., & Schlenker, W. (2021). Environmental drivers of agricultural productivity growth: CO₂ fertilization of US field crops. NBER Working Paper No. 29320.
- Thomas, C. D. (2017). *Inheritors of the Earth: How Nature Is Thriving in an Age of Extinction*. Allen Lane.
- UNCCD. (2017). *Global Land Outlook*. Chapter 12: Drylands. United Nations Convention to Combat Desertification.
- UNCCD. (2025). *Desertification and Drought Day 2025 Factsheet*. United Nations Convention to Combat Desertification.
- World Bank. (2024). *The Changing Wealth of Nations 2024: Global Assessment of the Economic Value of Non–Wood Forest Ecosystem Services*. World Bank.
- World Bank. (2025). GDP (current US\$). World Development Indicators.
- World Meteorological Organization. (2025). WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55° C above pre–industrial level. WMO Press Release, 10 January 2025.
- Zeng, Z., Piao, S., Li, L. Z. X., Zhou, L., Ciais, P., Wang, T., Li, Y., et al. (2017). Climate mitigation from vegetation biophysical feedbacks during the past three decades. *Nature Climate Change*, 7, 432–436. <https://doi.org/10.1038/nclimate3299>
- Zhao, Q., Guo, Y., Ye, T., Gasparrini, A., Tong, S., Overcenco, A., Urban, A., et al. (2021). Global, regional, and national burden of mortality associated with non–optimal ambient temperatures from 2000 to 2019. *The Lancet Planetary Health*, 5(7), e415–e425. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00081-4)
- Zhu, Z., Piao, S., Myneni, R. B., Huang, M., Zeng, Z., Ciais, P., Cescatti, A., et al. (2016). Greening of the Earth and its drivers. *Nature Climate Change*, 6, 791–795. <https://doi.org/10.1038/nclimate3004>