



The Canon Institute for Global Studies

CIGS Working Paper Series No. 26-0011J

## メガソーラーによる森林損失のライフサイクル CO2 分析

杉山 大志 (キャノングローバル戦略研究所)

2026. 6

※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/>

# メガソーラーによる森林損失のライフサイクル CO2 分析

## 要約

森林を伐採してメガソーラーを建設する場合に、温暖化対策としての効果がどの程度損なわれるかを概算する。太陽光発電は発電時に CO2 を直接排出しないが、設備の製造には CO2 排出が伴う。さらに森林では、立木・根系・枯死有機物・鉱質土壌に炭素が蓄積されており、開発によってその一部が大気中に放出される。また、森林が毎年 CO2 を吸収する働きや、森林土壌がメタンを吸収する働きも失われる。

CO2 については、林野庁および日本学術会議の森林多面的機能資料における CO2 吸収機能の考え方を踏まえ、36～40 年生スギ人工林 1ha 当たりの炭素蓄積量 304t-CO2/ha および年間吸収量 8.8t-CO2/ha/年を用いた。土壌・枯死有機物については、環境省の温室効果ガスインベントリ関係資料における森林から開発地への転用係数を用いた。太陽光発電側は、設備利用率 17.2%、過積載率 130%、土地利用密度 0.67MW/ha を主計算とした。

森林炭素ストック（立木・土壌・枯死有機物）が全量 CO2 となって放出されると想定した場合、認可容量 1MW 当たりの森林炭素ストック放出量は約 784t-CO2、太陽光発電設備製造時排出を合算した建設に伴う CO2 放出量は約 3,629t-CO2 となる。政府計画における 2030 年度の電力排出係数を用いると、森林の年間 CO2 吸収フローの喪失を差し引いた CO2 回収年数は約 10.0 年である。これは設備利用率が 12%と低い場合の感度分析では約 14.5 年に延びる。以上のことから、森林伐採を伴うメガソーラー建設においては、太陽光発電設備製造時だけではなく、森林伐採による CO2 放出も無視できる水準とは言えず、これを明示的に計算に含めた上で個々の事業についてどの程度の CO2 削減になるのか検討する必要がある。

キーワード：メガソーラー、森林、ライフサイクル CO2、炭素ストック、土壌炭素、環境影響評価

## 目次

要約 .....	1
1. はじめに .....	3
2. 森林の炭素機能：ストックとフロー .....	3
3. 使用する数値 .....	4
4. 計算方法 .....	6
5. 主計算結果 .....	7
6. 発電量に関する感度分析 .....	8
7. 土地利用密度に関する感度分析 .....	8
8. メタン等の扱い .....	9
9. 結果の解釈 .....	10
10. おわりに .....	10
参考文献 .....	11

## 1. はじめに

太陽光発電は、発電時に CO2 を直接排出しない。このため、太陽光発電の導入拡大は温暖化対策として評価される。しかし、発電設備の製造段階では温室効果ガスが排出される。さらに、メガソーラーは広い土地を必要とするため、森林、草地、湿原などの自然資本を改変する場合には、土地利用変化に伴う炭素収支も考慮しなければならない。

本稿では、森林を伐採してメガソーラーを建設する場合を対象に、太陽光発電設備製造時排出、森林炭素ストックの放出、森林の CO2 吸収フロー喪失を組み込んだ CO2 回収年数を概算する。ここでいう CO2 回収年数とは、建設前後に発生または失われる累積的な炭素負債を、太陽光発電による年間の CO2 削減量によって何年で相殺できるかを示すスクリーニング指標である。

本稿の計算は、個別地点の実測値に基づく確定評価ではない。森林の樹種、林齢、蓄積量、伐採方法、伐根・残材処理、土壌型、斜面造成、排水、表面侵食、積雪、出力抑制、メンテナンス状況等によって、実際の値は大きく変わり得る。したがって、本稿の目的は、森林改変を伴う太陽光発電事業について、事業者、行政、地域社会が個別案件で確認すべき論点とそのオーダーを示すことにある。

## 2. 森林の炭素機能：ストックとフロー

森林の炭素機能は、少なくとも二つに分けて評価する必要がある。第一は、すでに森林生態系に蓄積されている炭素ストックである。森林の多面的機能資料は、森林の二酸化炭素吸収機能を、森林バイオマスの増量から二酸化炭素吸収量を算出する方法で評価している[1][2]。本稿では貨幣評価額ではなく、その背後にある物理量、すなわち森林バイオマスおよび土壌等の炭素ストックを用いる。

森林炭素ストックには、立木の地上部・地下部バイオマスだけでなく、枯死木、リター、鉱質土壌の有機炭素が含まれる。環境省の温室効果ガスインベントリ資料も、土地利用・土地利用変化・林業（LULUCF）の算定において、地上部バイオマス、地下部バイオマス、枯死木、リター、土壌、有機質土壌等の炭素プールを区分している[5]。

第二は、森林が毎年 CO2 を吸収するフローである。林野庁資料では、適切に手入れされている 36～40 年生のスギ人工林について、1ha 当たりの蓄積量を約 304t-CO<sub>2</sub>、年間 CO<sub>2</sub> 吸収量を約 8.8t-CO<sub>2</sub>/ha/年としている[3]。ストックの喪失は造成時または造成後の一定期間に発生する累積的な炭素負債である。他方、年間 CO<sub>2</sub> 吸収フローの喪失は、森林機能が損なわれている限り毎年発生する機会費用である。

このため、本稿では、初期炭素負債と年間純 CO<sub>2</sub> 削減量を明確に分けて扱う。

$$\text{初期炭素負債} = \text{太陽光発電設備製造時排出} + \text{森林炭素ストック放出}$$

年間純 CO2 削減量 = 太陽光発電による代替発電 CO2 削減量 - 森林 CO2 吸収フロー喪失

メタンおよび亜酸化窒素は重要であるが、本稿の主計算には含めない。森林土壌は一般に CH<sub>4</sub> を吸収し、N<sub>2</sub>O を放出するが、その大きさは土壌型、含水率、施業、造成方法に依存する[7]。本稿では、これらを個別案件で追加的に評価すべき項目として扱う。

### 3. 使用する数値

本稿では、評価単位を認定出力 1MW(1MW-AC)の事業用太陽光発電設備とする。太陽光発電側の発電量は、政府資料に示された事業用太陽光の設備利用率 17.2%を直接用いて計算する[13]。すなわち、年間発電量は次の通りである。

$$1,000\text{kW} \times 8,760 \text{ 時間/年} \times 17.2\% = 1,506,720\text{kWh/MW-AC/年}$$

2020 年の電力排出係数は、電気事業低炭素社会協議会の 2021 年度フォローアップ資料に示された 2020 年度の調整後 CO<sub>2</sub> 排出係数 0.441kg-CO<sub>2</sub>/kWh を用いる[15]。2030 年については、政府の 2030 年度エネルギー需給見通しに基づく全電源平均排出係数 0.250kg-CO<sub>2</sub>/kWh を用いる[16]。したがって、主計算における太陽光発電による年間 CO<sub>2</sub> 削減量は、2020 年排出係数では 664.5t-CO<sub>2</sub>/MW-AC/年、2030 年排出係数では 376.7t-CO<sub>2</sub>/MW-AC/年である。

太陽光発電設備製造時排出については、中国製単結晶シリコン PERC モジュールについて示された 433kg-CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>、出力 197.84Wp/m<sup>2</sup> を用いる[9]。これを DC 出力あたりに換算すると、2.1886kg-CO<sub>2</sub>e/Wp-DC である。発電コスト検証ワーキンググループ資料は、太陽光の諸元が AC ベースであることを明記した上で、参考値として事業用太陽光の過積載率を 130%としている[14]。そこで本稿では、1MW-AC あたりの太陽光モジュール容量を 1.30MWp-DC とし、太陽光発電設備製造時排出を 2,845t-CO<sub>2</sub>e/MW-AC とする。

なお政府資料の設備利用率 17.2%は AC ベースの値であるため、過積載の影響を含んだ発電量指標として扱う。過積載率 130%は、AC 容量 1MW の設備に搭載される DC モジュール容量を推計し製造時排出を計算するために用いる。

土地利用密度は、経済産業省資料が森林改変面積から太陽光発電容量を推計する際に用いた 0.067GW/km<sup>2</sup> を単位換算し、0.67MW/ha とする[17]。したがって、1MW-AC あたりの占有面積は 1/0.67=1.4925ha である。

表 1 主計算の前提

項目	値	出所・計算方法
評価単位	1MW-AC	発電コスト検証 WG 資料では、太陽光の諸元は交流側出力 (AC) で整理。本稿の 1MW は認定・認可出力 1MW を指す[13][14]。

主計算の設備利用率	17.2%	発電コスト検証 WG 資料の事業用太陽光モデルプラントの設備利用率[13]。
主計算の年間発電量	1,506,720kWh/MW-AC/年	認定・認可出力 1,000kW × 8,760 時間 × 17.2%。
2020 年排出係数	0.441kg-CO2/kWh	2020 年度の電気事業者の調整後 CO2 排出係数 [15]。
2030 年排出係数	0.250kg-CO2/kWh	2030 年度エネルギー需給見通しを踏まえた全電源平均排出係数[16]。
年間 CO2 削減量 (2020 年)	664.5t-CO2/MW-AC/年	1,506,720kWh × 0.441kg-CO2/kWh ÷ 1,000。
年間 CO2 削減量 (2030 年)	376.7t-CO2/MW-AC/年	1,506,720kWh × 0.250kg-CO2/kWh ÷ 1,000。
太陽光発電設備製造時排出原単位	2.1886kg-CO2e/Wp-DC	中国製単結晶シリコン PERC モジュールの文献値を出力あたりに換算：433kg-CO2e/m <sup>2</sup> ÷ 197.84Wp/m <sup>2</sup> [9]。
過積載率	130%	発電コスト検証 WG 資料の参考値。50kW 以上・2020 年設置 FIT 案件の中央値[14]。
太陽光発電設備製造時排出	2,845t-CO2e/MW-AC	1MW-AC あたり 1.30MWp-DC のモジュールを搭載するとして、2.1886kg-CO2e/Wp-DC × 1,300,000Wp。
土地利用密度	0.67MW/ha	経産省資料の 0.067GW/km <sup>2</sup> を換算：0.067GW/km <sup>2</sup> = 67MW/km <sup>2</sup> = 0.67MW/ha[17]。
1MW あたり占有面積	1.4925ha/MW-AC	1 ÷ 0.67MW/ha。
森林バイオマス炭素蓄積量	304t-CO2/ha	林野庁資料の 36～40 年生スギ人工林の蓄積量[3]。
森林の CO2 吸収量	8.8t-CO2/ha/年	同じく 36～40 年生スギ人工林の年間 CO2 吸収量 [3]。
鉍質土壌炭素ストック喪失	175.6t-CO2/ha	森林土壌 76.0t-C/ha、開発地 28.1t-C/ha の差 47.9t-C/ha を CO2 換算[6]。
枯死有機物炭素ストック喪失	45.5t-CO2/ha	枯死木 7.5t-C/ha、リター 4.9t-C/ha を CO2 換算[6]。
森林炭素ストック合計	525.1t-CO2/ha	立木 304 + 鉍質土壌 175.6 + 枯死有機物 45.5。
森林炭素ストック放出量	783.7t-CO2/MW-AC	1.4925ha/MW-AC × 525.1t-CO2/ha。
森林 CO2 吸収フロー喪失	13.13t-CO2/MW-AC/年	1.4925ha/MW-AC × 8.8t-CO2/ha/年。
低位発電量ケース	設備利用率 12%	NEDO 資料で国内非住宅用太陽光の 2012 年実績が 12%とされるため、低位発電量の感度分析として使用[18]。

林野庁資料における 304t-CO2/ha および 8.8t-CO2/ha/年は、36～40 年生のスギ人工林の例であり、森林全体の平均値または上限値・下限値を表すものではない[3]。本稿では、森林の多面的機能資料における CO2 吸

収機能の考え方と整合させるため、この代表例を用いる。個別案件では、樹種、林齢、立木密度、材積、伐採面積、伐採後の木材利用を確認する必要がある。

また、土壌炭素ストック喪失は、森林から開発地への転用に伴う 20 年遷移を前提にした環境省資料の値に基づく[6]。本稿では累積炭素負債の大きさを示すため、これを初期炭素負債として扱うが、実際の排出経路は造成後の時間とともに発生する。太陽光発電設備製造時排出は文献上 CO<sub>2</sub> 換算量、すなわち CO<sub>2</sub>e で示されている。本稿では、森林炭素ストックおよび CO<sub>2</sub> 吸収フローと合わせて比較するため、表では t-CO<sub>2</sub>e または t-CO<sub>2</sub> と表記する。

## 4. 計算方法

メガソーラーの AC 設備容量を 1MW、土地利用密度を D (MW/ha) とする。1MW あたり占有面積 A は、

$$A = 1 / D$$

である。主計算では D=0.67MW/ha であるから、

$$A = 1 / 0.67 = 1.4925\text{ha/MW-AC}$$

となる。森林炭素ストックは、立木等の生体バイオマス、鉱質土壌、枯死有機物に分ける。主計算では、

$$S_{\text{tree}} = 304\text{t-CO}_2/\text{ha}$$

$$S_{\text{soil}} = (76.0 - 28.1)\text{t-C}/\text{ha} \times 44/12 = 175.6\text{t-CO}_2/\text{ha}$$

$$S_{\text{dom}} = (7.5 + 4.9)\text{t-C}/\text{ha} \times 44/12 = 45.5\text{t-CO}_2/\text{ha}$$

とし、森林炭素ストック S は、

$$S = S_{\text{tree}} + S_{\text{soil}} + S_{\text{dom}} = 525.1\text{t-CO}_2/\text{ha}$$

である。このうち大気中に放出される比率を  $\rho$  とすると、森林炭素ストック放出量  $E_{\text{stock}}$  は、

$$E_{\text{stock}} = A \times S \times \rho$$

である。A=1.4925ha/MW-AC、S=525.1t-CO<sub>2</sub>/ha であるから、 $\rho=1$ 、すなわち全量放出の場合には、

$$E_{\text{stock}} = 1.4925 \times 525.1 = 783.7\text{t-CO}_2/\text{MW-AC}$$

となる。太陽光発電設備製造時排出を  $E_{\text{pv}}=2,845\text{t-CO}_2\text{e}/\text{MW-AC}$  とすると、初期炭素負債  $E_{\text{initial}}$  は、

$$E_{\text{initial}} = E_{\text{pv}} + E_{\text{stock}}$$

である。森林の CO<sub>2</sub> 吸収フロー喪失  $E_{\text{flow}}$  は、森林の CO<sub>2</sub> 吸収量  $F=8.8\text{t-CO}_2/\text{ha}/\text{年}$  を用いて、

$$E_{\text{flow}} = A \times F = 1.4925 \times 8.8 = 13.13\text{t-CO}_2/\text{MW-AC}/\text{年}$$

となる。太陽光発電による年間 CO2 削減量を R とすると、メタン等を主計算から外した場合の年間純 CO2 削減量 N は、

$$N = R - E_{\text{flow}}$$

である。したがって、CO2 回収年数 T は、

$$T = E_{\text{initial}} / N$$

となる。なお、この計算では、森林炭素ストックの放出を初期炭素負債として扱っている。実際には、伐採木が建築材等として利用されれば一部の炭素は木材製品に残る。また、土壌炭素の酸化は造成時に一括して起きるとは限らず、造成後に長期間継続する場合がある。したがって、T は厳密な年次排出経路ではなく、累積炭素負債を用いたスクリーニング指標である。

## 5. 主計算結果

表 2 に、森林炭素ストック放出率を 0%、25%、50%、100%とした場合の CO2 回収年数を示す。主計算の設備利用率は 17.2%であり、年間発電量は 1,506,720kWh/MW-AC/年である。

表 2 森林炭素ストックを考慮した CO2 回収年数 (1MW-AC あたり、設備利用率 17.2%)

森林炭素ストック放出率 ρ	森林炭素ストック放出量	初期炭素負債	回収年数：2020 年排出係 数	回収年数：2030 年排出係 数
0%	0t-CO2	2,845t-CO2e	4.4 年	7.8 年
25%	196t-CO2	3,041t-CO2e	4.7 年	8.4 年
50%	392t-CO2	3,237t-CO2e	5.0 年	8.9 年
100%	784t-CO2	3,629t-CO2e	5.6 年	10.0 年

森林炭素ストックを全く考慮しない場合でも、森林の年間 CO2 吸収フロー喪失を差し引くと、2030 年排出係数での回収年数は 7.8 年である。これは、太陽光発電設備製造時排出だけを初期炭素負債に入れ、森林炭素ストック放出をゼロとした場合の値である。

森林炭素ストックの 25%が放出されるだけでも、2030 年排出係数での回収年数は 8.4 年となる。50%放出では 8.9 年、全量放出では 10.0 年となる。すなわち、森林改変を伴う場合には、太陽光発電設備製造時排出だけを見た場合よりも、CO2 回収年数は有意に延びる。

この結果の直観は明確である。森林の年間 CO2 吸収フロー喪失は 13.13t-CO2/MW-AC/年であり、年間の太陽光発電による CO2 削減量に比べると小さい。しかし、立木、土壌、枯死有機物に蓄積された森林炭素ストックは 783.7t-CO2/MW-AC という規模であり、太陽光発電設備製造時排出 2,845t-CO2e/MW-AC の約

28%に相当する。したがって、森林 LCA では、森林炭素ストックを無視すれば、初期炭素負債を過小評価することになる。

## 6. 発電量に関する感度分析

主計算では、政府資料に基づく事業用太陽光の設備利用率 17.2%を用いた[13]。一方、NEDO 資料では、国内非住宅用太陽光発電の設備利用率について、2012 年に 12%、その後 2018 年に 15.9%まで上昇した値が示されている[18]。このため、本稿では 12%を現在の標準値としてではなく、発電量が低い場合の感度分析ケースとして用いる。

設備利用率 12%では、1MW-AC あたり年間発電量は 1,051,200kWh であり、2020 年排出係数 0.441kg-CO<sub>2</sub>/kWh で 463.6t-CO<sub>2</sub>/MW-AC/年、2030 年排出係数 0.250kg-CO<sub>2</sub>/kWh で 262.8t-CO<sub>2</sub>/MW-AC/年の CO<sub>2</sub> 削減となる。表 3 に、森林炭素ストック全量放出の場合について、発電量前提を変えた感度分析を示す。

表 3 発電量前提による感度分析（森林炭素ストック 100%放出）

ケース	設備利用率	年間発電量	年間 CO <sub>2</sub> 削減量： 2020 年	年間 CO <sub>2</sub> 削減量： 2030 年	回収年数：2020 年	回収年数：2030 年
主計算	17.2%	150.7 万 kWh/MW-AC/年	664.5t-CO <sub>2</sub> /年	376.7t-CO <sub>2</sub> /年	5.6 年	10.0 年
低位発電量ケース	12.0%	105.1 万 kWh/MW-AC/年	463.6t-CO <sub>2</sub> /年	262.8t-CO <sub>2</sub> /年	8.1 年	14.5 年

この感度分析は、森林立地の案件評価では重要である。山間部の案件では、積雪、日射、斜面方位、設備設計、出力抑制、メンテナンス等により、実際の設備利用率が案件ごとに異なる。仮に設備利用率が 12%にとどまるなら、2030 年排出係数を用いた CO<sub>2</sub> 回収年数は 14.5 年まで延びる。これは、森林を改変して建設されるメガソーラーの温暖化対策上の効果が、発電量前提に強く依存することを意味する。

## 7. 土地利用密度に関する感度分析

土地利用密度も結果に影響する。主計算の 0.67MW/ha は、1MW-AC あたり約 1.49ha である。仮に土地利用密度が 0.45MW/ha に低下すると、1MW-AC あたりの占有面積は 2.22ha に増える。これは、管理道路、法面、残土置場、調整池、送電・接続設備、防災施設等を広く含める場合、または傾斜地で施工上の制約が大きい場合に起こり得る感度分析上の仮定である。

表 4 土地利用密度に関する感度分析（森林炭素ストック 100%放出、設備利用率 17.2%）

ケース	土地利用密度	1MW あたり占有面積	森林炭素ストック放出 量	森林 CO <sub>2</sub> 吸収フロー喪失	回収年数：2030 年

主計算	0.67MW/ha	1.49ha	784t-CO2	13.1t-CO2/年	10.0年
低密度ケース	0.45MW/ha	2.22ha	1,167t-CO2	19.6t-CO2/年	11.2年

土地利用密度が 0.45MW/ha で、森林炭素ストック全量放出を仮定すると、森林炭素ストック放出量は 1,167t-CO2/MW-AC となる。主計算と同じ設備利用率 17.2%を用いても、2030年排出係数での CO2回収年数は 11.2年となる。したがって、森林改変を伴うメガソーラーでは、単に設備容量だけでなく、1MWあたり何 ha の森林機能を失わせるかが重要である。

## 8. メタン等の扱い

本稿の主計算では、メタン、亜酸化窒素、伐採残材の分解経路、木材製品への炭素移転、溶存有機炭素の流出等を数値に含めていない。これは、これらの項目が重要でないからではなく、個別地点の土壌型、水分条件、伐採方法、造成方法、残材処理、排水、裸地期間に強く依存し、全国平均値だけでは一律に置けないためである。

森林総合研究所の資料では、日本の森林土壌全体で、1ha 当たり年間 7.1kg の CH<sub>4</sub> を吸収し、0.2kg の N<sub>2</sub>O を放出していると推定されている[7]。IPCC AR6 の 100年地球温暖化係数を用いるなら、生物起源 CH<sub>4</sub> は 27、N<sub>2</sub>O は 273 である[8]。したがって、1MW-AC あたり 1.4925ha の森林を失う場合、森林土壌の CH<sub>4</sub> 吸収機能喪失は約 0.29t-CO<sub>2</sub>e/MW-AC/年に相当する。これは森林 CO<sub>2</sub> 吸収フロー喪失 13.13t-CO<sub>2</sub>/MW-AC/年に比べると小さい。

一方で、N<sub>2</sub>O については単純ではない。森林土壌が放出していた N<sub>2</sub>O が森林伐採後に減る可能性もあるが、造成、裸地化、土壌攪乱、排水、植生管理によって N<sub>2</sub>O 収支が変わる可能性もある。このため、個別案件の LCA では、少なくとも以下を確認すべきである。

伐採木が木材製品として利用される比率と、燃焼・廃棄・腐朽までの時間スケール

伐根、枝条、表土、リターの処理方法と、造成地内外での分解・焼却の有無

造成・切土・盛土・法面形成による鉱質土壌炭素の酸化と表土流出

排水、裸地化、除草管理による土壌水分・地温・微生物活動の変化

CH<sub>4</sub> 吸収機能の喪失、N<sub>2</sub>O 排出の増減、溶存有機炭素の流出

森林復元可能性、事業終了後の土地回復、回復までの時間スケール

森林の場合、湿原・泥炭地と異なり、メタンは主計算の結果を大きく左右する主因ではない。ただし、非 CO<sub>2</sub> 温室効果ガス、木材製品、残材処理、土壌攪乱を無視してよいという意味ではない。森林改変を伴う案件では、少なくとも感度分析としてこれらを示す必要がある。

## 9. 結果の解釈

本稿の主計算から、三つの示唆が得られる。第一に、森林メガソーラーの LCA では、森林炭素ストックを無視すれば、初期炭素負債を過小評価する。主計算では、1MW-AC あたりの森林炭素ストックは 783.7t-CO<sub>2</sub> であり、これは太陽光発電設備製造時排出 2,845t-CO<sub>2</sub>e/MW-AC の約 28%に相当する。湿原・泥炭地ほど支配的ではないが、無視できる大きさではない。

第二に、電力排出係数が低下するほど、太陽光発電による年間 CO<sub>2</sub> 削減量は小さくなり、初期炭素負債の回収に時間がかかる。森林炭素ストック全量放出の場合、2020 年排出係数では回収年数は 5.6 年であるが、2030 年排出係数では 10.0 年となる。脱炭素化が進むほど、自然資本を破壊して再エネを導入することの炭素上の正当化は難しくなる。

第三に、森林の年間 CO<sub>2</sub> 吸収フロー喪失は、単独では 13.13t-CO<sub>2</sub>/MW-AC/年であり、太陽光発電の年間 CO<sub>2</sub> 削減量に比べると小さい。しかし、これは森林の価値が小さいことを意味しない。森林は CO<sub>2</sub> 吸収以外にも、土壌保全、水源涵養、洪水緩和、水質浄化、景観、レクリエーション、生物多様性保全、木材生産等の生態系サービスを持つ[1][2]。炭素だけの LCA は、森林損失の社会的費用の一部にすぎない。

したがって、森林改変を伴うメガソーラーでは、太陽光モジュールの LCA だけを示して「CO<sub>2</sub> を削減する」と説明するのでは不十分であり、森林伐採に伴う CO<sub>2</sub> 排出量を明示的に評価する必要がある。

## 10. おわりに

本稿は、森林改変を伴うメガソーラーについて、林野庁資料に示された 36~40 年生スギ人工林の炭素蓄積量と CO<sub>2</sub> 吸収量、および環境省資料の森林から開発地への転用係数を用いて、ライフサイクル CO<sub>2</sub> 収支を概算した。主計算では、設備利用率 17.2%、土地利用密度 0.67MW/ha、1MW-AC あたり占有面積 1.4925ha とした。森林炭素ストックは 783.7t-CO<sub>2</sub>/MW-AC となる。これが全量放出される場合、太陽光発電設備製造時排出を含む初期炭素負債は 3,629t-CO<sub>2</sub>e/MW-AC となり、2030 年排出係数を用いた CO<sub>2</sub> 回収年数は 10.0 年となる。設備利用率 12%の低位発電量ケースでは、回収年数は 14.5 年に延びる。

この結果は、森林メガソーラーが常に CO<sub>2</sub> 削減にならないことを示すものではない。しかし、森林炭素ストックと森林吸収フローを無視したまま「再エネだから環境に良い」と評価することが不適切であることは明らかである。森林を伐採して太陽光発電を設置する場合には、太陽光モジュールの LCA だけでなく、土地利用改変による温室効果ガス収支、生態系サービスの喪失を統合して評価しなければならない。

政府・自治体および事業者は、森林破壊による CO<sub>2</sub> 排出量の見積もりを案件ごとに明示すべきである。温暖化対策を名目として森林を改変するなら、その事業が本当にどの程度 CO<sub>2</sub> 削減に寄与するのかを住民・

自治体・国に説明する責任がある。回収年数が10年以上にもなるようであれば、その事業を温暖化対策として正当化することは容易ではない。

温暖化対策の名の下に、温暖化対策上重要な森林を破壊することは、本末転倒になり得る。今後の再エネ政策では、発電設備単体のコストや発電時CO<sub>2</sub>だけでなく、立地による自然資本損失とライフサイクルCO<sub>2</sub>を明示的に組み込む必要がある。

## 参考文献

- [1] 林野庁「森林の有する多面的機能について」。本稿では、森林の多面的機能の一覧、二酸化炭素吸収機能、機能別評価額と評価手法を参照した。 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tamenteki/>
- [2] 日本学術会議（2001）「地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について（答申）」。本稿では、森林の二酸化炭素吸収機能の評価方法を参照した。 <https://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf>
- [3] 林野庁「森林はどのぐらいの量の二酸化炭素を吸収しているの?」。本稿では、36~40年生スギ人工林の炭素蓄積83t-C/ha（304t-CO<sub>2</sub>/ha）および年間吸収8.8t-CO<sub>2</sub>/ha/年を参照した。 [https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin\\_riyou/ondanka/20141113\\_topics2\\_2.html](https://www.rinya.maff.go.jp/j/sin_riyou/ondanka/20141113_topics2_2.html)
- [4] 林野庁「森林による二酸化炭素吸収量の算定方法について」。本稿では、森林吸収量の簡便算定式および土壌炭素保持量の算定式を参照した。 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/kyushuryosantei.html>
- [5] 環境省（2025）National Greenhouse Gas Inventory Document of Japan 2025, Chapter 6: Land Use, Land-Use Change and Forestry. 本稿では、LULUCFにおける炭素プールの区分を参照した。 <https://www.env.go.jp/content/000310822.pdf>
- [6] 環境省「4.E.2 他の土地利用から転用された開発地」。本稿では、森林から開発地への転用における森林土壌76.0t-C/ha、開発地28.1t-C/ha、年間変化-2.395t-C/ha/年、枯死木7.5t-C/ha、リター4.9t-C/haを参照した。 <https://www.env.go.jp/content/000343716.pdf>
- [7] 森林総合研究所「日本の森林土壌は欧米よりも地球温暖化緩和機能が高い」第二期中期計画成果集。本稿では、森林土壌のCH<sub>4</sub>吸収7.1kg/ha/年、N<sub>2</sub>O放出0.2kg/ha/年を参照した。 <https://www.ffpri.go.jp/pubs/seikasenshu/dai2ki/documents/aaa.pdf>
- [8] IPCC (2022), Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report, Annex II: Definitions, Units and Conventions. 本稿では、生物起源メタンのGWP100=27、N<sub>2</sub>OのGWP100=273を参照した。 [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGIII\\_Annex-II.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_Annex-II.pdf)
- [9] Breakthrough Institute (2022), Solar greenhouse gas payback time calculation FINAL. 本稿では、中国製単結晶シリコンPERCモジュールの433kg-CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>、197.84Wp/m<sup>2</sup>という値を用いた。 <https://s3.us-east-2.amazonaws.com/uploads.thebreakthrough.org/Solar-greenhouse-gas-payback-time-calculation-FINAL.pdf>
- [10] Fan, M., Yu, Z., Ma, W., and Li, L. (2021), "Life cycle assessment of crystalline silicon wafers for photovoltaic power generation," Silicon, 13, 3177-3189. Breakthrough Institute[9]付録における中国製シリコンウェハ工程の主要参考文献。
- [11] Müller, A., Friedrich, L., Reichel, C., Hecceg, S., Mittag, M., and Neuhaus, D. H. (2021), "A comparative life cycle assessment of silicon PV modules: Impact of module design, manufacturing location and inventory," Solar Energy Materials and Solar Cells, 230, 111277. Breakthrough Institute[9]付録におけるセル・モジュール製造等の主要参考文献。
- [12] UNECE (2021), Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources. Breakthrough Institute[9]付録におけるBOS、インバータ、系統接続、O&Mの参考文献。 <https://unece.org/sustainable-energy/publications/carbon-neutrality-unece-region-integrated-life-cycle-assessment>
- [13] 総合資源エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ（2021）「基本政策分科会に対する発電コスト検証に関する報告」。本稿では、事業用太陽光の設備利用率17.2%、稼働年数25年、太陽光諸元がACベースであることを参照した。 [https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/pdf/cost\\_wg\\_20210908\\_01.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_20210908_01.pdf)
- [14] 総合資源エネルギー調査会 発電コスト検証ワーキンググループ（2021）「発電コスト検証ワーキンググループへの情報提供に対する対応」。本稿では、事業用太陽光の過積載率参考値130%を参照した。 [https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/2021/data/07\\_04.pdf](https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/2021/data/07_04.pdf)
- [15] 電気事業低炭素社会協議会（2022）「電気事業における地球温暖化対策の取組み」2021年度フォローアップ結果。本稿では、2020年度の調整後CO<sub>2</sub>排出係数0.441kg-CO<sub>2</sub>/kWhを参照した。 [https://e-lcs.jp/assets/2021FU\\_torikumi1.pdf](https://e-lcs.jp/assets/2021FU_torikumi1.pdf)

- [16] 環境省（2025）「関連資料2 2030年度排出削減目標に関する対策・施策の一覧」。本稿では、2030年度の全電源平均の電力排出係数 0.25kg-CO<sub>2</sub>/kWh を参照した。<https://www.env.go.jp/content/000290553.pdf>
- [17] 経済産業省（2024）「地域条例・建物特性を考慮した太陽光発電の導入ポテンシャル評価」総合資源エネルギー調査会資料。本稿では、森林改変面積から太陽光発電容量を推計する際の 0.067GW/km<sup>2</sup> を参照した。[https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku\\_gas/saisei\\_kano/pdf/067\\_03\\_00.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/saisei_kano/pdf/067_03_00.pdf)
- [18] NEDO（2020）「太陽光発電開発戦略 2020（NEDO PV Challenges 2020）」。本稿では、国内非住宅用太陽光発電の設備利用率について、2012年 12%、2018年 15.9%という比較表を参照した。<https://www.nedo.go.jp/content/100926249.pdf>