The Clean Paper

WHAT THE PAPER SAYS · WHAT IT DOESN'T · WHY IT MATTERS

採掘が消す森林は鉱山の中だけではない —— 採掘周辺に隠れた森林減少

サハラ以南アフリカの *16,627* 鉱山クラスターを調べた *Nature* の研究では、*2001*〜*2020* 年に密生林で採掘が直接引き起こした森林減少は約 *18* 万 *7000* ヘクタールだった。しかしより大きな物語は鉱山の外にある。未採掘地域と比べると、*10* 年後の森林減少は鉱山から *1 km* 以内で *0*〜*100* 尺度の *8* ポイント高く、影響は *20 km* まで残った。平均では、鉱山が直接 *1* ヘクタールを伐採するごとに、*5* 年以内にさらに *33.9* ヘクタールの敷地外森林損失と関連した。これはエネルギー転換が悪いという意味ではない。鉱物サプライチェーンには地理があり、森林コストはしばしば採掘穴より広いということだ。

Written by Laura Nesso · Cross-checked by Lucio Vaglio · Edited by Michele Renda · Figures by Laura Nesso and Nova Vela · AI-assisted, human-reviewed

Paper: *Mining triggers extensive additional deforestation in sub-Saharan Africa*, Oscar Morton, Christopher G. Bousfield, Prince Dégny Valé, Ieuan Lamb, Victor Maus, Robert G. Bryant, and David P. Edwards, Nature (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10551-2

森林に開いた穴だけが、採掘の足跡ではない

鉱山には分かりやすい形がある。露天掘りの穴、尾鉱池、捨石堆積場、森林を切り裂く道路。衛星から見え、規制当局が境界線を引ける痕跡だ。

しかし採掘は、その周囲の土地も変える。人が入ってくる。道路が森林へのアクセスを容易にする。集落が拡大する。農地が広がる。鉱山は地図上の傷だけではなく、新しい重心になり得る。

Nature の論文は、サハラ以南アフリカ全体でこの違いを数値化した。著者らは 2001〜2020 年に密生林で採掘が直接引き起こした森林減少を推定し、さらに、まだ採掘されていない類似地域と比べて鉱山周辺でどれだけ追加の森林消失が起きるかを調べた。結論は単純で、居心地が悪い。鉱山そのものの直接的な面積は、目に見える部分にすぎない。

自然色の Landsat 画像に、ガーナの Ashanti 金鉱帯で大規模採掘と零細採掘が残した淡い金色・黄褐色の痕跡が見える。この研究は、採掘に関連した森林減少が鉱山そのものの範囲をどこまで越えるかを問う。

NASA Earth Observatory / Lauren Dauphin Public domain

これは気候・生物多様性政策にとって有用な結果だ。二つの考えを同時に持たせるからである。現代インフラとエネルギー転換には鉱物が必要だ。しかし鉱物は無から出てくるわけではない。問うべきなのは、「採掘は良いか悪いか」をスローガンで決めることではなく、その森林コストを丸ごと正直に測っているかどうかだ。

著者たちは何をしたのか

研究は、大陸規模の森林・土地利用データと因果推論の設計を組み合わせている。著者らは 2001〜2020 年にサハラ以南アフリカの森林地域に存在した **16,627 の鉱山クラスター**を地図化した。そして森林消失を二種類に分けた。

第一は**採掘による直接森林減少**。露天掘り、尾鉱池、捨石場、坑口その他、採掘活動そのものと直接関係する地物を含む鉱山敷地内の伐採である。

第二は**敷地外森林減少**。鉱山そのものではないが、鉱山開設によって農業、集落、道路その他のアクセスが誘発され、その周囲で起こる森林消失である。

第二の部分を推定するため、著者らは差の差法（difference-in-differences）を使った。平たく言えば、鉱山の採掘開始前後で周辺森林がどう失われたかを、条件は似ているがまだ採掘が始まっていない場所の変化と比較した。その上で鉱山中心からの同心距離帯 ——1 km 以内、1〜5 km、5〜10 km、10〜20 km—— を調べた。

この設計が重要なのは、単に「鉱山の近くで失われた森林」を数えているのではないからだ。未採掘地域なら起きていたはずの反実仮想的な傾向と比較し、鉱山開設に起因する追加損失を推定しようとしている。

何が分かったのか

直接的な採掘損失だけでも大きかった。サハラ以南アフリカの密生林で、2001〜2020 年に採掘が直接引き起こした森林減少は **187,070 ヘクタール**と推定された。コンゴ民主共和国、ガーナ、コートジボワールの三国で、その直接損失の **45%** を占めた。

周辺の損失は、鉱山敷地そのものより大きかった。鉱山が開設されて 10 年後、1 km 以内の累積森林減少は、未採掘地域に比べて **0〜100 の尺度で 8 ポイント高かった**。これは森林減少率の絶対差であり、「8% の相対増」という意味ではない。効果は距離とともに弱まるものの消えず、10 年後の追加差は 1〜5 km で 3.6 ポイント、5〜10 km で 1.9 ポイント、10〜20 km でも 1.1 ポイントと推定された。

これらは時間を指定した値である。即時の損失ではなく、10 年間の効果だ。

敷地外／直接損失の比は驚くほど大きかった。別の計算では、鉱山敷地内で直接 1 ヘクタールの森林が失われるごとに、5 年以内に平均してさらに **33.9 ヘクタール**の密生林が敷地外で失われたと推定された。その追加損失の大部分は、鉱山開設によって誘発された農地拡大と関連し、集落拡大も重要で、道路は著者らの内訳ではより小さな割合だった。

この値も時間を指定したものだ。5 年間の敷地外／直接比であり、先ほどの 10 年間・0〜100 尺度の効果と混同すべきではない。

影響はどこでも同じではなかった。コンゴ民主共和国は、直接鉱山面積が大きいうえに追加の敷地外損失も大きく、研究では特に懸念が強い。ほかの国では相対的な敷地外影響が高くても、直接採掘面積は小さい場合があった。鉱種別では、電池・電気インフラ・エネルギー転換に重要なコバルトと銅を採掘する鉱山が、研究推定上もっとも大きな追加森林減少総量を生んだ。

なぜ敷地外が重要なのか

環境影響評価はしばしば、事業の直接境界から始まる。それは理解できる。穴は見える。許可には周囲の線がある。企業は建設予定の設備を説明できる。

しかし森林は法的境界だけに反応するわけではない。アクセスとインセンティブに反応する。鉱山は道路、労働者、資金、集落、食料需要を連れてくる。それによって周辺森林が、以前より到達しやすく、収益性のある、あるいは生活上開墾せざるを得ない土地へ変わることがある。

だからこの論文のもっとも強いアイデアは、一つの数字ではない。**直接損失**と**誘発損失**を区別したことだ。

サプライチェーンが鉱山敷地だけを数えれば、採掘が引き起こす土地利用変化を過小評価するかもしれない。環境影響評価が鉱区境界で止まれば、その事業によって起こりやすくなった森林消失を見逃すかもしれない。そして、再生可能エネルギーを支える製品だから「クリーン」と宣伝しても、その物質サプライチェーンまで自動的にクリーンになるわけではない。

この研究からは言えないこと

- **エネルギー転換が悪い**と示したわけではない。現代インフラやエネルギー転換で使う鉱物にも、大きな土地利用コストがあり得ることを示した。
- すべての鉱山が、直接 1 ヘクタールにつき正確に 33.9 ヘクタールの敷地外損失を起こすという意味では**ない**。多数の鉱山クラスターをまとめた平均推定値で、特定の一事業の予測ではない。
- 鉱山近くで失われた木のすべてが、その鉱山のせいで伐られたと証明したわけでは**ない**。研究は準実験的設計で、集団スケールの追加損失を推定する。
- 個々の企業、許可、購入者に責任を割り当てるものでは**ない**。それには、この論文を越える事業単位の追跡が必要だ。
- 採掘の影響すべてを扱っているわけでは**ない**。水質汚染、労働条件、生息地分断、権利紛争、社会的移転などは、この森林損失測定の主対象外である。
- 世界全体を対象にして**いない**。分析はサハラ以南アフリカの密生林に焦点を当てる。

証拠をどう評価するか

直接森林減少の推定については、大陸規模で強い証拠がある。公開された土地利用・森林被覆データを使い、採掘施設と直接結びつく森林消失を特定している。

追加の敷地外損失についても証拠はかなり強いが、モデルに基づく。差の差法は、無作為化実験が不可能な状況で観察データから因果効果を推定するための設計である。著者らは近年の異質性に頑健な手法を使い、代替推定法でも頑健性を確認している。良い実践だ。

それでも結果は適切なスケールで読む必要がある。この研究は、対象地域全体で、鉱山開設が鉱山敷地を越える追加森林減少と結びついているという強い証拠だ。しかし個々の木が衛星写真の中で「この鉱山のせいで伐られました」と告白しているわけではない。

したがって一般向けにもっとも有用な読み方は、パニックでも否定でもなく、測定の規律である。鉱山が景観を開くなら、影響評価はフェンスの外まで見るべきだ。

なぜ重要なのか

「クリーンエネルギー」という言葉は、その背後にある物質世界を隠し得る。太陽電池、バッテリー、送電線、電気自動車、データセンターはいずれも採掘された原材料を必要とする。その一部は、世界的に重要な森林と生物多様性を持つ地域から来る。

だから脱炭素化が間違いということではない。化石燃料依存を続ける代替案には、それ自身に巨大な土地・大気・水・気候コストがある。しかし、化石燃料システムよりクリーンな転換であっても、何もしなければ自動的にクリーンになるわけではないということだ。

この論文の価値は、隠れた地理を無視しにくくしたことにある。穴だけを数えるな。穴の周囲で変わる森林も数えよ。採掘に続いてできる道路、農地、集落も数えよ。敷地外森林減少を、環境影響評価、no-net-loss 主張、ゼロ森林破壊サプライチェーンへ組み込め、と言っている。

「グリーン鉱物は良い」「グリーン鉱物は悪い」のどちらより、大人びた話である。エネルギー転換の物質的基盤には結果があり、サプライチェーンが自分をクリーンと呼ぶ前に、その結果が見えるようになっていなければならない。

要点

Nature の研究は、2001〜2020 年にサハラ以南アフリカの密生林にある 16,627 の鉱山クラスターを分析した。露天掘り、尾鉱池、捨石場など採掘地物による直接森林減少は **187,070 ヘクタール**と推定された。差の差法を使うと、未採掘地域と比べた追加森林減少も鉱山周囲に見られ、10 年後には 1 km 以内の累積森林減少が **0〜100 尺度で 8 ポイント高く**、影響は 20 km まで残った。別の 5 年間の計算では、直接採掘による森林減少 1 ヘクタール当たり、平均 **33.9 ヘクタール**の追加密生林が敷地外で失われ、主に農地・集落拡大と関連した。コバルト・銅鉱山は研究内で追加森林減少総量が

もっとも大きかった。結果はエネルギー転換が悪いという意味ではない。鉱物サプライチェーンには、鉱山の穴を越えて広がる土地利用コストがあることを示している。

冷静に見ると

論文が示したこと：サハラ以南アフリカの密生林における採掘は 2001〜2020 年に相当な直接森林損失を引き起こした。鉱山開設後、未採掘地域と比べて周辺でも追加森林減少が起きた。敷地外損失は直接鉱山面積を大きく上回り得る。このデータでは、一部のエネルギー転換鉱物が高い追加森林減少総量と関連した。

もっともらしいが未証明のこと：多くの個別鉱山で、許可区域が示すより敷地外影響が大きいこと。より厳しい環境影響評価とサプライチェーン規則が一部損失を減らせること。同様の隠れた敷地外影響が他の熱帯採掘地域でも重要であること。

論文が示していないこと：すべての採掘が同程度に有害であること。周囲の各森林損失事象が特定鉱山によって起きたこと。エネルギー転換が悪いこと。事業レベル追跡なしに個別企業・購入者が特定損失へ責任を負うこと。森林損失が唯一重要な環境・社会コストであること。

主な限界：無作為化ではなく観察データによる因果推論。個別事業の帰属ではなく大陸規模推定。サハラ以南アフリカの密生林に限定。直接・敷地外効果はデータ品質、鉱山検出、モデル仮定に依存する。

一般読者はどの程度確信してよいか？対象地域の直接的な採掘森林減少が大きいことには高い確信を持ってよい。鉱山開設が集団スケールで追加の敷地外森林減少と結びつくことにもかなりの確信を持ってよい。平均 33.9:1 を特定の一鉱山へそのまま適用する確信は低い。妥当な姿勢は、鉱物サプライチェーンが必要であり得ることと、穴の外まで正直に環境会計する必要があることを同時に受け入れることだ。

出典

Nature (2026)
https://doi.org/10.1038/s41586-026-10551-2

White Rose Research Online —published version
https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/241799/

Processed outputs and analysis code —GitHub
https://github.com/OMorton/AFR_MiningForestLoss

Post-deforestation land-use dataset —Zenodo
https://doi.org/10.5281/zenodo.11065705