

# MIT Technology Review

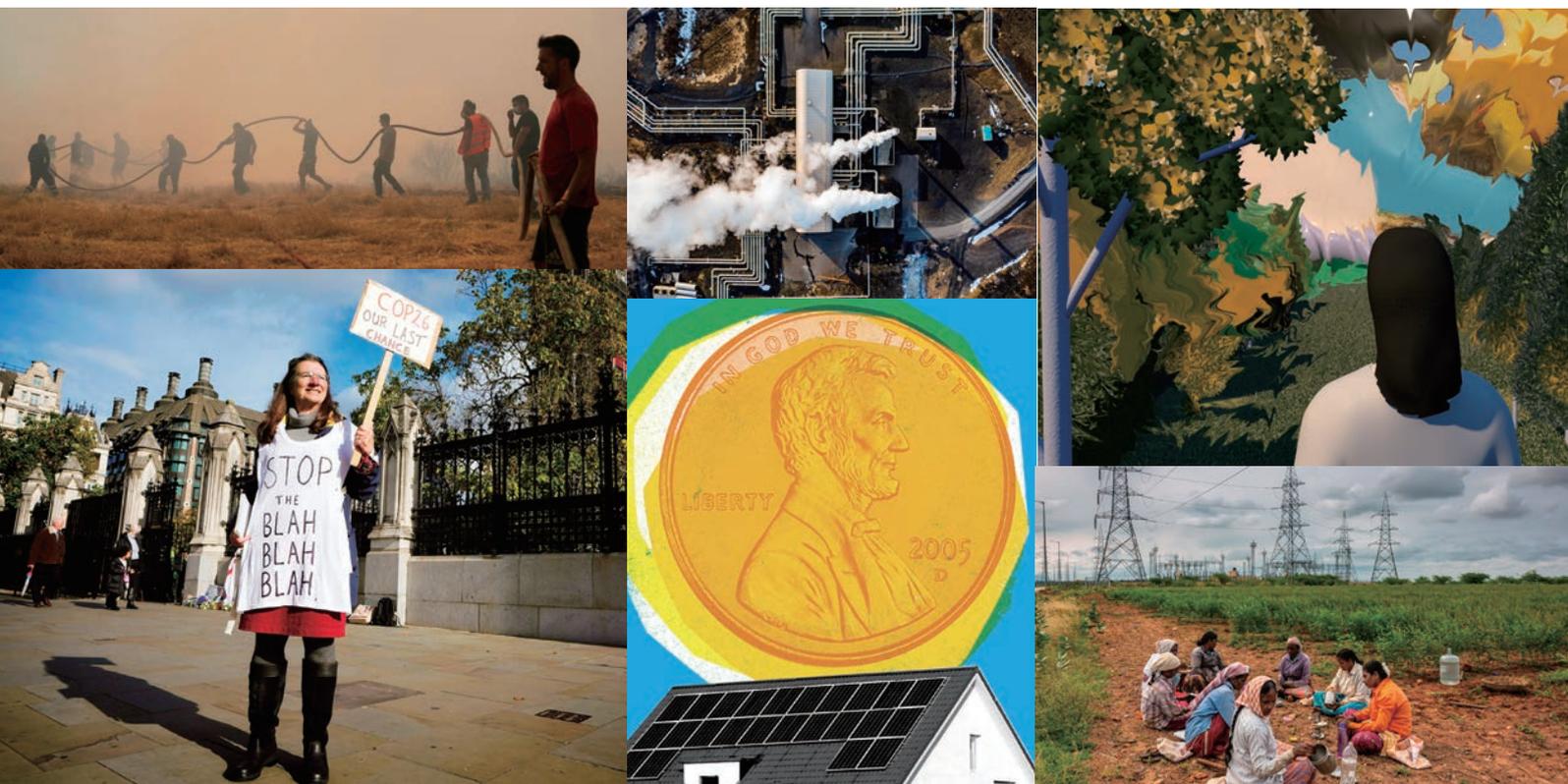
Published by KADOKAWA / ASCII



## Zero-Carbon

「脱炭素」はホンモノか？





# CONTENTS

- 001 国連 IPCC 最新報告書、  
温暖化防止のカギは炭素除去テクノロジー
- 016 COP26 開幕も、「国連任せ」には限界  
気候対策を加速する方法
- 019 インドが「2070 年に排出ゼロ」を宣言、  
転換期を迎えた気候対策
- 053 カーボン・オフセットの闇気候対策の優等生で判明した  
ゴースト・クレジットの実態
- 056 地球温暖化抑止にはメタン削減が効果的、  
だがどうやって？
- 063 テスラ 7 人目の電池ベンチャー、  
「5 日持つ」ガジェットに材料供給
- 068 忘れられた再エネ「地熱」、  
米インフラ投資で汚名返上なるか？
- 075 太陽光発電、コスト激減で  
クリーンエネの主役にまだ安くなる？

スコットランド・グラスゴーで開かれた COP26（国連気候変動枠組み条約締約国会議）では、産業革命前からの気温上昇を 1.5℃ に抑えよとの目標が改めて示され、脱炭素社会の実現へ向けた各国の協力が確認された。COP26 の成果は「画期的」との評価もあるが、気候変動の脅威に立ち向かうには不十分で手遅れだとの声もある。脱炭素をめぐる最新の取り組みと課題をまとめた。



AP Photo/Thanassis Stavrakis

## 国連 IPCC 最新報告書、 温暖化防止のカギは 炭素除去テクノロジー

国連・気候変動に関する政府間パネル（IPCC）が発表した最新の報告書は、温暖化の要因について人間の影響を疑う余地がないと指摘した。温暖化がどの程度まで進むかは、いかに迅速に二酸化炭素排出量を削減し、大気中の二酸化炭素を除去する方法を急速に拡大できるかにかかっている。

国連が 2021 年 8 月 9 日に発表した待望の気候報告書は、地球温暖化の深刻な危機を防ぐためには、大気中の二酸化炭素の大幅な除去が不可欠だと改めて注意喚起している。しかし、そのため

に必要なテクノロジーはほとんど存在せず、導入がきわめて困難であることも強調している。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 6 次評価報告書をまとめた第 1 作業部会（自然科

学的根拠を対象とする部会)によると、現段階で何をしようと今世紀半ばまで地球の気温は上昇し続ける。ただし、温暖化がどの程度まで進むかは、いかに迅速に二酸化炭素排出量を削減し、大気中の二酸化炭素を除去する方法を急速に拡大できるかにかかっている。

気候学者によると、二酸化炭素除去が必要になる理由は、除去方法や浄化方法がまだ分からない飛行機や肥料などの排出源とのバランスをとるためであり、また、危険な限界温度を超えてしまった地球を元に戻すためだという。

国連の報告書によると、温室効果ガスは、ほぼすべての気候シナリオにおいて、今後 20 年以内に地球の気温は産業革命前と比べて少なくとも 1.5°C 上昇させ、深刻な熱波や洪水、干ばつを招く可能性がある。しかし、二酸化炭素は数百年から数千年にわたって大気中に残るため、気候を安全なレベルに戻すには、基本的に二酸化炭素を除去するしか方法がない(最後の選択肢は、地球工学で研究されているような、熱を宇宙に反射させる方法かもしれないが、これに関してはあらゆる

論争や懸念が生じている)。

気温上昇を 1.5°C に抑えるという最も楽観的なシナリオの作成に使用されたモデルでは、今世紀半ばまでに年間約 50 億トン、2100 年までに 170 億トンの二酸化炭素を除去する方法が考案されると仮定している(この数字は、報告書の執筆協力者であるブレイクスルー研究所(Breakthrough Institute)の気候学者、ジーク・ハウスファーザー気候エネルギー部長による以前発表したデータの分析に基づいている)。

そのためには、2020 年に米国全体が排出したのと同量の二酸化炭素を、毎年、大気中から除去できるテクノロジーや手法を今後わずか 30 年の間に確立し、拡大する必要がある。

このモデルでは、ほぼすべての二酸化炭素除去を「回収・貯留付きバイオマス発電(BECCS)」と呼ばれるプロセスを使う。BECCS は、二酸化炭素を吸収する作物を栽培し、収穫したバイオマスから熱や電気、燃料を生産し、その過程で発生する排出物を回収・貯留する。しかし、モデルでは BECCS を利用すれば数十億トンもの二酸化

炭素を除去できると見込まれているにもかかわらず、実際には小規模なプロジェクトしか実施されていない。

技術的なアプローチは他にも、二酸化炭素を吸収する装置や、鉱物や海が二酸化炭素を吸収・蓄積する自然作用を促進するといったさまざまな方法があるが、どれも未成熟だ。また、森林や土壌などの自然システムを利用して二酸化炭素を除去する場合、それを確実に測定するシステムや推進するインセンティブを開発することは極めて難しい。

9日に発表された IPCC の評価では、他にも多数の制約や困難が指摘されている。

まず、二酸化炭素の除去によって大気中の温室効果ガスの量を削減できるが、その効果はいくらか相殺される可能性があるとは指摘している。モデル研究によると、ある一定期間、大気中の化学的な変化に反応して海や陸から二酸化炭素がより多く放出され、その効果が薄れることが分かっている。

次に、二酸化炭素の除去で気温の上昇や海洋酸

性化を徐々に緩和できる可能性はあるが、すべての気候変動の影響を魔法のように無くせるわけではない。特に沿岸都市の建設ができるレベルにまで海を元通りにするには、何世紀もかかるだろうと報告書は強調している。世界が二酸化炭素の排出量を削減し、除去の規模を拡大するまで世界がどれほど温暖化するかによっては、氷床やサンゴ礁、熱帯雨林、および特定の種にいたるまで、ほぼ不可逆的な被害を受ける可能性がある。

報告書の第5章では、大規模な二酸化炭素除去に関するほぼすべての可能性のあるアプローチについても、その他のさまざまなトレードオフや未知の問題があると説明している。

二酸化炭素を吸収する装置には、大量のエネルギーと材料が必要だ。二酸化炭素を吸収するために、さらに多くの木を植え、燃料のための作物を栽培することになるが、増大する世界人口に必要な食料生産と競うことになる。

気候変動自体による気温の上昇に伴って干ばつや森林火災、害虫被害などのリスクが高まると、森林が二酸化炭素を吸収・貯留する能力が弱まる。

また、さまざまな海洋ベースのアプローチにより、海洋生態系に与える負の影響については、科学的な不確実性が非常に高いとされる。

朗報もある。大気中の二酸化炭素を除去する方法はさまざまであり、安価で優れた方法の開発に取り組む研究グループや企業が増えている。しかし、今回の報告書で明らかになったように、非常に大きな危機的な状況にもかかわらず、人類は大きく出遅れているのだ。(James Temple) **T**



# COP26 開幕も、 「国連任せ」には限界 気候対策を加速する方法

by James Temple

グラスゴーでの国連気候会議（COP26）が開幕した。これまで国連は気候変動対策としてパリ協定をまとめるなど、一定の役割は果たしてきた。しかしグラスゴーでの会議で何が決まろうとも、気候変動がさらに進むことは確実だ。

**数**千人規模の各国代表団がスコットランド・グラスゴーに集う国連気候会議（COP26）が10月31日に始まった。2週間にわたって、やるべきことが並んだ長大なリストについて激しい議論を繰り広げるわけだが、最終的には1つの疑問に行き着く。「今世紀の危機的な地球温暖化を避けるために世界はどれほど早く行動できるのか？」という疑問だ。

これまでの歴史を振り返ってみると、行動のペースが大きく早まることは期待できそうにない。

国連の気候会議は過去30年間で25回も開かれてきた。だが、経済が停滞した時の数回の落ち込みを除いて、温室効果ガスの世界的な排出量は増え続けている。2021年には気候汚染の反動が

大きく表れ、2019年のピーク時近くまで悪化すると予測されている。パンデミックからの経済の急回復が原因だ。

記念すべきパリ協定が採択されてから6年が経つ。パリ協定では「今世紀末の気温上昇を2℃未満に抑え、なおかつ可能なら1.5℃に抑える」との目標が宣言された。だが、各国は目標達成に必要なレベルまで排出量を減らす政策を約束しておらず、制定もしていない。富裕国は、途上国の気候変動対策を支援するために年間1000億ドル拠出することで合意したが、現状では数百億ドルも不足している。

10月26日に発表された国連環境計画（UNEP）の『排出量ギャップ報告書（Emissions Gap

Report)』によると、パリ協定が定める緩やかな2030年目標に従っても、今世紀末には世界の気温は約2.7℃上昇してしまう。各国が国内ですでに実施している気候政策を進めるだけでは、上昇気温は3℃を超える可能性もある。

世界の気温が3℃上昇すると、まずサンゴ礁が姿を消し、氷床が崩れ始める。また、100年に一度の規模の干ばつが世界の広い範囲で数年ごとに起こる。そして、海面上昇により数億人が移住を余儀なくされる。これらは、すでにさまざまな研究によって示されていることだ。

「世界の大部分の人々が安全で住みやすい気候の維持を目指しているとすれば、成績はFマイナスです」。トロント大学で政治科学を研究し、特に気候統治を専門とするジェシカ・グリーン准教授は語る。「そうした目標には届いていないどころか、近いところにすらいません」。

政治力や国際的な優位性、国内成長などを考慮した地政学上の短期的な計算で考えれば、気候変動対策に進展が見られないことは驚くべきことではない。

京都議定書からパリ協定にいたるまで、ほぼすべての国を網羅する条約は、どれも骨抜きになるしかなく、要求のハードルも下がってしまう。2015年のパリ協定は、排出目標を各国が自ら設定できる自主的なもので、拘束力はない。野心的な目標を設定しない国や、達成できなかった国は、国際的な批判を受けるだろうが、実際の罰則はない。

各国のリーダーや国民は、数十年後に得られるであろう恩恵を得るために、いま自発的な行動が求められている。この恩恵は、他国が目標を達成しなかったときは手にすることができない。一連の気候条約では、富裕国に比べてわずかしか温暖化ガスを排出していない貧困国に対しても、成長の抑制を要求している。エネルギーの利用を控え、生活の質をあまり上げないように求めているのだ。しかも富裕国が支援するという約束は曖昧で、責任も伴っていない。

世界のリーダーや交渉官がグラスゴーに集結する中、パリ協定の機運が再度高まり、信頼性を取り戻すことを期待する声も多数聞かれる。しかし

同時に、緩やかな国際的な枠組みでは大幅な排出量削減は絶対的に不可能であり、より野心的な他のモデルから目をそらすだけだ、と考える向きも増えてきている。

どちらが正しいかは、やがて分かるだろう。米国のジョン・ケリー気候特使が先日、BBCで語ったように、国連気候会議は「世界が力を合わせる最良にして最後の希望」なのだ。

## 現実直視を

確かに、世界は気候変動に関して一定の進展を見せている。以前よりも多くの国が石炭燃料の使用を止め、コスト競争力の高い再生可能エネルギーや電気自動車を使用するようになった。世界の排出量は少なくとも平坦化しているように見え、数年前に言われていたような、おおむね4℃以上の温暖化という最悪の事態を回避できる可能性が見えてきている。

だが、極めて危険なシナリオはいまだ残っており、各国は今後、気候変動対策をさらに加速する

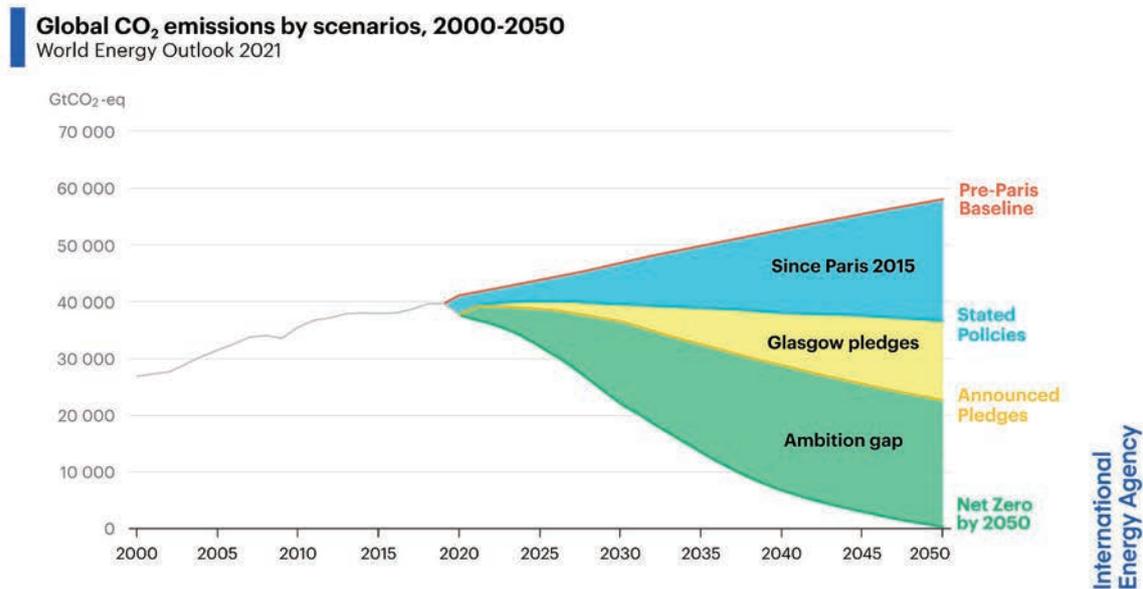
必要がある。グラスゴーでの会議は、それを指す上での国際的な決意が試される場となるだろう。ほとんどの国は、パリ協定で定めた目標を今年初めて引き上げることになっているからだ。

2021年4月米国のバイデン大統領は、排出量を2025年までに2005年比で26～28%削減するという従来の目標を引き上げ、2030年までに50～52%削減するとの新しい目標を設定した。2021年夏には欧州連合(EU)も「欧州気候法」を正式に成立させた。EU加盟国には2030年までに55%の排出削減が義務付けられ、2050年までに「気候中立」を目指すとしている。

独立系科学調査グループ「クライメート・アクション・トラッカー (Climate Action Tracker)」によると、9月半ば時点で、合計90近くの国とEU加盟国が国連のプロセスの一環として新たな2030年目標を提出した。だが、未提出の国がまだ70カ国以上残っている状況だ。

ロシアのウラジミール・プーチン大統領は、2060年までのカーボン・ニュートラル達成を公約した。今世紀半ば頃までに、少なくとも主要

## The Glasgow climate talks will fall short. Here are other ways to accelerate progress.



国際エネルギー機関が、各国の気候政策とグラスゴー会議での目標、今世紀半ばまでに排出量ゼロにするために足りない分をグラフで示した

な温室効果ガスの排出をゼロにすると約束した100以上の国の仲間入りを果たしたことになる。中国もかつては同じ2060年目標を掲げていたが、最近では海外での石炭火力施設の建設中止を宣言し、2030年までに二酸化炭素排出量をピークアウトさせる計画を改めて発表した。2週間前には、サウジアラビアが2060年までの排出量実質ゼロを目指し、今後9年間で4億5000万本を植樹する計画を発表している。

だが、タフツ大学フレッチャー・スクール「気候政策研究所 (Climate Policy Lab)」のケリー・シムズ・ギャラガー所長は、今世紀半ばまでの目標は「短期的な行動から目をそらすもの」になる

可能性がある」と指摘する。また、2030年目標の達成を目指す上での道筋を示す国内の政策について、各国の取り組みが不足しているとも強調している。

事実、米国では電力業界の排出量を減らす主な方策が国の予算案から削除されたと報じられており、排出量半減の目標をどう達成するのか、道筋が見えなくなっている。プリンストン大学とダートマス大学の研究チームが10月20日に公表した分析によると、審議中の予算案に含まれる他の気候政策やインフラ法案がすべて米議会を通過しても、目標には依然として3億5000万トン近く足りないという。

こうした欠点を踏まえると、グラスゴー会議での米国のケリー特使の影響力は低下せざるを得ないだろう。他国を相手に、気候変動に関する目標や政策のテコ入れを図らなくてはならない、と主張するのは難しくなるはずだ。

一方で、会議に先立って発表された2030年目標でも、必要分にはまったく届かない。先の国連環境計画の報告書によると、今世紀の気温上昇を1.5℃に抑えるには、今後9年間でさらに280億トンのCO<sub>2</sub>を削減しなくてはならない。2℃の上昇を抑えるにしても、130億トンの削減が必要だ。

「細部にこだわって、(国連のプロセスを)全面的に批判するようなことは言いたくありませんが、できることと、そうでないことについて現実的になるべきタイミングではないでしょうか」。トロント大学のグリーン准教授はこう指摘する。

## 国連のやり方は甘い

根本的な問題として、気候変動はとてつもなく複雑で、解決に必要なコストも膨大になるという

点がある。また国際的な合意も、根底にある経済の課題や各国の政治課題にあまり対応できていない、と学术界は指摘している。

気候変動に対処するということは、世界のエネルギー生産や食料生産、商品の製造、世界的な物流や人の移動の仕組みをほぼ全面的に作り替えることを意味する。何十年も有益な形で運用できたはずの設備や工場、機械類、車両の使用をやめたり、莫大な額を注ぎ込んで改良したりする必要があるのだ。

再生可能エネルギーや電池、電気自動車のコストは下がってはいるが、ゼロ炭素のエネルギー源に急速に移行しようと思ったら、国や企業に膨大なコストがのしかかる。しかも、新たな産業を創出したり、加速する気候変動のリスクを軽減することでどんな成果が得られるのかは不明だ。排出量の多い産業は存続の危機にさらされる。

国際政治評論雑誌「フォーリン・アフェアーズ」に最近掲載された記事で、イエール大学経済学部のウィリアム・ノードハウス教授は、数十年におよぶ気候変動に関する国際的な交渉が失敗した主

な原因として次の3つを挙げている。(1) 世界の大部分の国は、気候汚染対策にどれくらいの費用がかかるのかを本気で見積もっていない。(2) クリーン技術のイノベーションを進めるための投資が十分ではない。(3) 国連の合意は、いわゆる「ただ乗り」の問題を解決できていない。基本的に、有意義な貢献の有無にかかわらず、ほとんどの国は排出削減のための世界的な行動によって同じ恩恵を受けてしまう。だとしたら、積極的に行動する理由はない。

温室効果ガスの排出量削減は、十分に寛容かつ厳格なインセンティブ、罰則、義務化が貿易協定や条約、国内法に盛り込まれない限り、必要な速度と規模で実現しない。グラスゴーでの会議で、大部分の国が有意義なレベルで突然合意するという兆しは今のところ見られない。

## 有効な手段は「イノベーション」

気候変動への国際的な取り組みを世界で加速するには、他にどんな手段があるのだろうか。

ケリー特使の上級補佐官であるヴァルン・シヴァラムは、国連の会議が「とても重要」だと強調する。だが同時に、米国が国境を超えたレベルで排出量削減のために果たせるもっとも重要な役割は、コストの安い優れた低炭素技術を開発することだと言う。

シヴァラム補佐官は、9月下旬に開催されたMITテクノロジーレビュー主催の「EmTech (エムテック)」でのディスカッションで、米国は研究・開発への投資を増やすことで他国の脱炭素化を助け、なおかつ政治的に現実的なものにできると述べた。今後数年間の排出量増加の大部分を占めることになる新興国にとっては、特に当てはまるだろう。

「世界のエネルギー転換を促すための米国の一番の手段が『イノベーション』なのです」と同補佐官は語っている。

一方、各地域での努力や、そこからの政治的な波及効果を重視する論者もいる。

ボストン・レビュー (Boston Review) 誌に2020年に掲載された記事で、コロンビア大学

ロー・スクールのチャールズ・サベル教授とカリフォルニア大学サンディエゴ校のデビッド・ヴィクター教授は、彼らの言う「実験主義者の統治」の必要性と早期の成功に光を当てている。

2人のモデルは、世界的合意を達成する必要のない小規模な機関（例えば、業界ごとの規制機関や州政府）が拘束力のある厳格な基準を設定し、そうした基準から、特定の汚染産業に広く変化を起こせるといふものだ。この場合、結果に基づいて、戦術を次第に適応させていくことも可能だ。

期待されるのは次のようなシナリオである。まず、さまざまな政府や規制機関の多様な試行錯誤の取り組みから、有効なものとうそでないものについて重要な教訓が得られる。また、排出削減政策の実施やクリーン技術の採用が他の地域でも低価格で、容易に実現する。

2人の論文では、自動車の大気汚染やCO<sub>2</sub>排出に関するカリフォルニア州の厳格な規制を取り上げている。カリフォルニア州の規制は、市場ごとに異なるモデルを生産するのを嫌がる自動車業界を突き動かし、従来よりも燃料効率の高い車を

生産する方法の追求につながった。また、電気自動車の開発の加速にもつながったと2人は主張している。

別の事例としては、ドイツの積極的な再生可能エネルギー政策や研究開発への投資がある。この例では、他国にコスト削減の恩恵をもたらしつつ、太陽光パネル市場の早期創出につながったとしている。

ヴィクター教授は、パリ協定が一定の役割を果たしていると言う。パリ協定は政府や企業にある程度の圧力をかけつつ、「羅針盤」を提供しているという。その羅針盤が指し示す目標は「達成不可能なもの」だが、進む方向はおおむね正しい、というわけだ。

だが、ヴィクター教授やサベル教授が論文で述べているとおり、パリ協定の支持者が考えているよりも、その役割は「かなり小さい」。

「仮に（中略）効力のある世界的な解決策を得る唯一の実際的な方法が、部分的な解決策を奨励し、それらをつなぎ合わせることだったらどうでしょうか。効果的な合意を得る最良の方法が、それがどんなものであれ、何らかの成果を得ようと



海拔の低い島が連なる国モルディブで土嚢の側を歩く観光客  
海面の上昇に伴う浸食で、沿岸部は大きな影響を受けている

取り組む人をお願いすることではなく、さまざまな規模での問題解決を始める活動にグループを招くことだったらどうでしょうか」。

## 「気候クラブ」という市場

政府や機関の小さなグループにおいて、明確な利点や厳しい罰則によって、気候変動対策を促すルールを策定したり、貿易圏を作ったりする必要があるという考え方も広がってきている。

ヴィクター教授やノードハウス教授らは、「気候クラブ」という市場の重要性について主張している。これは、厳しいルールを設定できるほどの

小規模な体制から始まり、インセンティブでさらに多くのメンバーを引き付け、より積極的な目標に取り組むように促す仕組みだ。

気候クラブにはさまざまな形態が考えられる。地域的な二酸化炭素市場や、排出削減活動を共有する数カ国による貿易協定、主要な領域で技術革新を追求する共同プログラムなどである。

どんどん厳格になっている EU 内の気候ルールも、一種の気候クラブと言えるだろう。加盟国に拘束力のある排出削減目標を設定するだけではない。欧州委員会は、炭素汚染のコストを増やしたり、セメントや鉄鋼などの業界の排出枠を減らしたりしているほか、汚染レベルが大きな国や企

業からの物品に手数料を課す炭素国境税を設定している。

そうした仕組みは、研究開発資金や、より厳しい気候政策、政府支援の購入契約と組み合わせることで、欧州の重工業分野において比較的急速かつ本格的な移行を実現し始めている。増えつつあるグリーン水素やグリーン鉄鋼プロジェクトなどがその具体例だ。

気候クラブの重要な特徴の1つは、時間とともにメンバーが増えるだけの魅力を有していることだ、とノードハウス教授は話す。主な誘引策としては、他国やその国の企業が市場内で商品を販売できる権利が挙げられる。そうした権利は、他国や外国企業が加盟に必要な基準（共通の炭素価格や比較的近い政策目標）を採用する動機付けになるはずだ。

## 課題は世界の「分断」

だが、気候クラブには、明らかな課題がいくつかある。

まず、時間がかかるということだ。複雑な貿易協定を1つ作ろうとすると、これだけでも何年もかかってしまう。だが排出量は、今すぐに削減する必要があるのだ。また、互いに対立する多くのルールが生まれ、それらの調整が難しくなる可能性もある。この場合、一部の国が多くのことをやっているのに、その他の国の取り組みがまったく足りないということが起こり得る。さらに、ますます分断された貿易同盟が世界に形成されてしまう可能性がある。気候変動に対する行動が「良い国」と「悪い国」が、ほとんど自らの圏内でしか貿易しないという事態につながってしまうのだ。

そうした貿易協定は、国際的な分断をますます深める可能性がある。のみならず、敵対心を高め、他の潜在的なリスクを生み出す可能性もある。

貧困国（歴史的に排出量が少なく、急速な脱炭素を実行する余裕もない）に対して、富裕国と同等の基準を求めたり、経済成長の妨げになるような炭素国境税を義務付けたりすれば、グローバルな衡平性の観点から問題がある。

トロント大学のグリーン准教授は、気候変動対

## The Glasgow climate talks will fall short. Here are other ways to accelerate progress.

策を停滞させる、もっと基本的な問題を指摘する。資金豊富で政治的な影響力を持ち、大気汚染によって利益を手にする産業だ。そうした企業の政治力は絶大で、事実が明らかになるまで変化はほとんど望めないだろうと言う。

世界各国は、国際的な誓約を増やす前にやることがある。積極的な法律や規制を通せるだけの規模を持った同盟を結成することで、前に挙げた障害を乗り越えることだ。

これまで紹介してきた案はどれも速効性がある方法ではないし、簡単でもなく、実現できるという保証もない。ただ、グラスゴーでの会議で何が起ころうと、今世紀末までに世界の気温が 1.5°C 上昇することは紛れもない事実であり、2°C を超える可能性も高い。

温度が 0.1°C 上がるたびに、気候変動の影響はさらに破壊的なものに拡大していく。そうした事実だけでも、自ら確約できる進展について、グラスゴー会議の出席者が懸命に取り組む十分な理由になる。そして国や州政府、その他の機関にとっても、進展を図る方法を追求する動機になるはずだ。T



Abhishek Chinnappa/Getty Images

## インドが「2070年に排出ゼロ」を宣言、 転換期を迎えた気候対策

インドのナレンドラ・モディ首相が11月1日、

国連気候会議「COP26」で2070年にCO<sub>2</sub>排出量を実質ゼロにするという目標を明らかにした。

世界最速で成長する途上国の宣言は、大きな転換になる。

インドが「排出ゼロ宣言国」に正式に仲間入りした。2070年という達成期限は少々厳しいかもしれないが、インドにとっては妥当と言えるだろう。この目標は、ナレンドラ・モディ首相が2021年11月1日に国連気候会議「COP26」で発表した。

期限までは数十年の余裕があり、他の多くの国

が掲げている2050年よりも遅い。しかし、世界最速の成長を見せている国の1つが意欲的かつ有意義な目標を掲げた、と専門家たちは評価している。はるかに長い間、はるかに広い範囲で汚染を広げてきた米国などの富裕国が、インドなどの途上国の気候目標の支援を強化する番がやってきたのだ。

インドは現在、世界第3位の排出国となっている。しかしながら、世界の全人口の17%が住んでいるため、国民1人当たりの排出量は世界平均の半分に満たない。他の排出大国に比べるとはるかに少ないのだ。また、いまだに電気を使えない国民も数千万人いる。

これまでの歴史的な記録を考慮すると、世界の累積二酸化炭素排出量のうち、インドが占める割合は5%未満だ（米国の割合は20%で、世界トップ）。「CO<sub>2</sub>の量を公平に割り当てるのであれば、インドは真の英雄と見なされるでしょう」。ニューデリーにある社会・経済発展センター（Center for Social and Economic Progress）のラーフル・トンジャ上級研究員は言う。

そうは言っても、モディ首相の宣言は一部の研究者にとって嬉しい驚きだった、と語るのは、世界資源研究所インド（World Resources Institute India）のウルカ・ケルカー気候部長（経済学者）である。今回の目標は、前回から「明確に改善して」おり、2021年の気候会議でインドが炭素中立を宣言する予測もほとんどなかったという。

ニューデリーにある政策研究センター（Center for Policy Research）のナブロズ・ドゥバシュ教授は、目標は「外交的に必要なもの」だったと指摘する。ただ、イラン以外の排出量上位10カ国を含む他の経済大国のほとんどは、炭素中立をそれぞれ宣言しており、ドゥバシュ教授はこの目標は「チェックを入れるべきチェックボックス」のようなものだと考えている。

むしろ、モディ首相が提示した中間目標こそが、もっと重要な可能性があるという。首相は演説の中で、インドが2030年までに500ギガワットの電気を化石燃料以外のエネルギー源（原子力を含む）で発電し、「必要なエネルギー」の50%を再生可能エネルギーで賄うと約束した。さらに、インドの合計排出量を2030年までに10億トン、炭素集約度（発電量に対するCO<sub>2</sub>排出量の割合）を45%削減すると述べた。

インド政府はその後、50%の目標は発電能力に関するものだと具体的に説明した。つまり、例えば、脱炭素が難しい輸送などの部門で使用されるエネルギーの大部分は含まれないということ

だ。また、あくまで能力に関する目標であって、実際の発電量とは異なる。また石炭に関しては、一部の研究者が当初思っていたよりも制約が緩くなりそうだ、とドゥバシュ教授は説明する。

炭素中立達成のためには、石炭の使用はいずれやめなければならない。現在、エネルギー源のおよそ70%を石炭に依存しているインド経済にとって、本格的な挑戦となる。また、産業や輸送といった電気以外の部門（国内排出量の大きな割合を占めている）をクリーンにするのは特に難しいだろう。「先進国ですら効果的な解決策を見出せていませんから、インドでどうなるかは分かりません」。テキサス大学オースティン校のアーヴィンド・ラヴィクマール教授（地球システム学）は言う。

米国などは研究資金の提供に加え、途上国との協力によって新しい技術を発見したり、その対価を支払ったりすることで支援が可能となる、とラヴィクマール教授は指摘する。COP26の演説で、モディ首相は、途上国の気候対策資金として1兆ドルを拠出するよう富裕国に求めた。だが、資金提供の約束はいまだ果たされていない。2009年

には先進国が年間1000億ドルを拠出するという目標が設定され、2020年に支援が始まるはずだったが、実現にいたっていないのだ。

資金や技術の問題は、インドが公約した排出削減を実現できるかどうかを左右する可能性がある。国際エネルギー機関（IEA）が最近公表した報告書で、インドが2060年代半ばまでに炭素中立を達成するシナリオが示されている。試算によると、目標達成のためには、今から2040年までにクリーンエネルギーのプロジェクトにさらに1兆4000億ドルを費やす必要があるという。

「世界は、気候変動と闘うための手段として炭素中立を必要としています」とトンジャ研究員は言う。しかし、炭素中立が達成される日付だけが、その国の気候変動対策のすべてではない。将来的な排出量の総量や、温室効果ガスが排出される背景も影響してくるのだ。時間は最も大事な要素だとの声もあるだろうが、インドにとって2070年の目標は、「公平性の問題と有意義な行動とのバランスを探る、非常に大きな転換」とトンジャ研究員は語る。（Casey Crownhart）



# カーボン・オフセットの闇 気候対策の優等生で判明した ゴースト・クレジットの実態

by Lisa Song

先進的な取り組みで知られるカリフォルニア州は気候変動対策の「優等生」だ。だが、同州の「カーボン・クレジット」制度の抜け穴を利用して、実際の炭素削減量を大きく上回るカーボン・クレジットを獲得するプロジェクトが相次いでいることが明らかになった。

**オ**レゴン州との州境に近い北カリフォルニアの海岸沿いには太平洋から冷たく湿った空気が入り込み、温帯雨林が広がっている。高くそびえ立つアカスギやベイマツが、百メートル近い高さの森林天蓋を形成し、この湿密林地帯を支配している。

だが、内陸部へ行くと、樹種は徐々に変化していく。

クラマス山脈の頂上を越えると、サトウマツやオニヒバ、ベイマツなどの常緑樹が茂る森へと下っていく。さらに進んでカスケード山脈へ入ると、ポンデローサマツがまばらに生えた森に入る。ポンデローサマツは、球果にトゲのある細く背の

高い木で、カリフォルニア州東部の乾燥した高温環境で成長する。

これらすべての樹木は、二酸化炭素を取り入れて酸素を放出し、幹や枝、根に炭素を蓄える。生きている樹木に蓄えられた炭素は、気候変動の原因にはならない。沿岸部の密林は、内陸部の樹木に比べて、1ヘクタールあたり2倍の炭素を蓄えることができる。

この数字は、森林保護により二酸化炭素排出を削減することを目的としたカリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムの成否を決める重要な指標となる。カリフォルニア州は、気候変動対策の一環として、10年前にこのプログ

ラムを設立した。

だが、生態学は厄介だ。森林の種類境界は曖昧で、1ヘクタール当たりの実際の炭素量は、地域の気候条件や保護活動、伐採の履歴などによって異なる。

カリフォルニア州の気候規制機関である大気資源局（ARB：Air Resources Board）は、このような複雑な要素をあまり考慮せずに森林カーボン・オフセット・プログラムを実行した。巨大な地域に一定の境界線を設けて、さまざまな樹種に蓄えられている炭素を、地域ごとの平均値として単純化して扱ったのだ。

炭素回収策の科学的整合性を評価するサンフランシスコの非営利団体、カーボンプラン（CarbonPlan）の新しい分析によれば、この決定により、気候変動への効果が疑わしい数千万のカーボン・クレジットが発行されたという。

森林カーボン・オフセット・プログラムは、全国の森林所有者が、伐採の削減や、低木や下草の間引などの森林管理により森林全体の成長を促し、炭素の貯留または吸収に貢献することで、クレジット

トを獲得できる制度だ。1クレジットは1トンの二酸化炭素に相当する。土地所有者は、一般的には、カリフォルニア州の石油会社などといった、州法で認められた量より多くの炭素排出を望む汚染者に、自分が取得したクレジットを販売できる。企業が排出する1トンの炭素と、森林に貯留される1トンの炭素が釣り合えば、正味の排出量は州が設定した上限内に収まるというわけだ。

2020年秋の時点で、約60のプロジェクトで1億3000万クレジット（直近の価格で18億ドル相当）以上が、森林カーボン・オフセット・プログラムにより発行された。

森林保全により削減された炭素量を正確に計算するのは複雑だが、カリフォルニア州のクレジット付与の仕組みは比較的単純だ。

大気資源局は、米国内の広い地域に分布する数種類の森林に蓄積されている1エーカー（0.4ヘクタール）当たりの炭素量の平均値を定めている。所有する土地の樹木を調査して、地域の平均値よりも多くの炭素を含む土地だと分かれば、差額分をクレジットとして受け取れる。例えば、ある土

地が 0.4 ヘクタールあたり 100 トンの二酸化炭素を蓄えていて、その地域の平均炭素貯留量が 40 トンであれば、0.4 ヘクタールあたり 60 トンの二酸化炭素を削減することになり、クレジットを得られる（この記事では以降、1 トンの二酸化炭素を 1 トンの「炭素」と呼ぶ）。また、今後 100 年間は森林における二酸化炭素貯留を高水準に保たなければならないとも定めている。

地域の平均値は、一般的な私有林の炭素量を表している。だが、この平均値は広大な地域の多様な森林をもとに算出されたため、プロジェクトに選定された土地に蓄えられている炭素量とは大きく異なる可能性がある。

この平均値を大幅に上回る森林プロジェクトは、実際に得られる炭素削減効果よりもはるかに多くのクレジットを獲得していることがカーボンプランの調査で明らかになった。

また、こういった仕組みを利用して、プロジェクトを立ち上げて主導する開発者が、地域内の位置や樹種の組み合わせ、あるいはその両方によって、炭素レベルが平均値よりも高くなる森林区画

を特に選んで探すようになっている。

カーボンプランの試算によれば、カリフォルニア州のプログラムで発行されたクレジットのうち、2000 万から 3900 万クレジットが気候変動対策に貢献していないという。つまり、これらのクレジットは、実際には森林の炭素貯留量を増やさないまま、より多くの二酸化炭素を汚染者に排出させてしまった「ゴースト・クレジット」ということになる。これは 850 万台の自動車の年間二酸化炭素排出の最大量に匹敵する。

こうしたゴースト・クレジットは、カリフォルニア州の主要な森林カーボン・オフセット・プログラムで発行されたクレジットの約 3 分の 1 を占める。このことは、同プログラムの体系的な欠陥を浮き彫りにするとともに、市場では不正行為が横行していることを示唆している。

「カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムは、カリフォルニア州の気候汚染削減戦略の大部分を占めているにもかかわらず、温室効果ガスの排出量を増加させていることが、私たちの調査で明らかになりました」と、カーボ

ンプランのダニー・カレンワード政策担当部長は語る。「このプログラムは、気候問題の解決を前進させているように見せかけて、実際には問題を悪化させています」。

大気資源局は、森林カーボン・オフセット・プログラムを擁護し、カーボンプランの調査の中心的な論点に異議を唱えている。

「土地所有者やプロジェクト開発者がシステムを悪用している、あるいは温室効果ガスの削減量が誇張されているという主張には同意できません」と、大気資源局のデイブ・クリガン広報担当はメールで述べた。さらに、各オフセット規則は林業界や学界、政府機関、非営利団体からの意見を反映し、強固な公的規制の審査プロセスを経ていると、付け加えた。

カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムは、政府が規制する国内最大のプログラムである。他の森林カーボン・オフセット・プログラムは、企業や個人がクレジットを購入して環境負荷を軽減する任意のものだ。

カーボンプランの調査結果は、ワシントン州

議会がオフセット・プログラムなど排出量取引（キャップ・アンド・トレード）法案を州知事の承認待ちにした数日後に公表された。この数カ月間、オレゴン州ではカリフォルニア州の政策を手本として炭素市場プログラムの設立が議論されている。また、ワシントン DC ではバイデン政権が森林や土壌を利用した二酸化炭素削減に関心を示し、企業の間でも、企業汚染の削減という困難な課題の代わりに、森林を利用して排出量を相殺するという計画が増加している。

森林カーボン・オフセット・プログラムは、さまざまな問題を指摘され、批判されてきた。例えば、炭素削減が長続きしない、別の場所での伐採増加により二酸化炭素の削減効果が失われる、伐採の可能性の無い森林をプロジェクトが保全しているためクレジットが実際の炭素レベルの変化を反映していない、などだ。

だが、カーボンプランの分析は、こういった問題とは別の問題を浮き彫りにしている。仮にすべてのプロジェクトが完璧だったとしても、開発者は地域の平均値を用いてプログラムを悪用できて

しまうのだ。

汚染者が、実際には炭素を1トンも削減していないクレジットを使用するたびに、総排出量が増えてしまう。

カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムは、気候変動に対処するどころか、結果として数千万トンもの二酸化炭素を大気中に排出し、州の長期的排出目標の進捗を妨げているように思える。

「専門用語をすべて取り除くと、残るのは誤った前提条件だけです。誤った数字を用いるから意味の無いオフセット・クレジットを発行することになるのです」と言うのは、非営利団体ブラック・ロック・フォレスト（Black Rock Forest）で今回の調査の主任研究員を務める、コロンビア大学のグレイソン・バッジリー博士研究員だ。

### チェリーピッキング

カーボンプランは、分析を終えた時点で非営利報道機関の「プロパブリカ（ProPublica）」と

MIT テクノロジーレビューにすべての分析結果への独占アクセス権を提供した。また、この過程でプロパブリカとMITテクノロジーレビューは、独立専門家に報告書を送付して意見を募った。ほかに、土地所有者や業界関係者、科学者取材し、森林開発者が提出したプロジェクトの計画書など数百ページもの文書を確認した。カーボンプランは、カリフォルニア大学バークレー校やコロンビア大学などの学術専門家と共同で調査した。

この調査自体は、森林開発者や土地所有者が、地域の平均値から突出した土地を意図的に選んでいるかどうかを評価しているわけではない。開発者がそういった土地を選ぶことを、プログラムが「許容している」と述べているだけだ。だが、研究者たちはクレジットが過剰に発行されていることや特定の地域にプロジェクトが集中していることから、業界関係者がシステム運用の裏をかいている可能性を指摘している。

研究者たちが指摘するチェリーピッキング（大規模な母集団から収益性の高い部分のみを選ぶ戦略）の1つに、地理的境界線がある。北カリフォ

ルニアの場合、カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムでは、アカスギやベイマツが生い茂る沿岸部と、7万2500平方キロメートル以上に及ぶ内陸部とを分ける境界線が設定されている。

大気資源局の規則によれば、沿岸部の高木の混じった針葉樹林は0.4ヘクタール当たり平均205トンの炭素を貯留する。隣接する内陸部では、0.4ヘクタール当たりの炭素貯留量を122トンとしている。内陸部の数値が低いのは、内陸部の東端沿いに多く植生し、沿岸部ではほとんど見られないポンデローサマツなど炭素貯留量の少ない樹木が多く生えているためだ。

だが、内陸部と沿岸部の境界では、実質的には境界線のどちらでも植生する樹種はほとんど変わらないため、ほぼ同量の炭素を貯留していることになる。つまりプロジェクト開発者は、地域の平均貯留量が実際の森林の貯留量よりも低いというだけで、境界線の東側の土地を選んだ方がはるかに多くの利益を得られる。例えば、アカスギとベイマツからなる海岸沿いの森林4000ヘクター

ルを0.4ヘクタール当たり200トンの炭素量で管理した場合、境界の西側では0クレジットだが、東側では62万4000クレジットを獲得できる。土地の選択だけで、儲けがゼロと800万ドル以上とに分かれるのだ。

プロジェクト用地の炭素量と地域の平均値との差の最大値を示し、可能な限り多くのクレジットを獲得するには、開発者や土地所有者は、その地域の平均値まで伐採することが法的にも経済的にも可能であることを証明しなければならない。平均値は、似通った森林が一般的にどう管理されているかを示すのに効果的な指標だ。

北カリフォルニアの12のプロジェクトのほとんどが、内陸部の西端沿いにあり、地域平均値の低い地域に炭素貯留量の多い樹木が分布している。

「ここで分かるのは、高木と低木が平均化されているという事実を、開発者たちが利用しているということです」と、バッジリー主任研究員は言う。

森林カーボン・オフセット・プロジェクトの開発者と土地所有者が協力関係を結ぶと、開発者は手続きを代行する代わりに、手数料やクレジット

の売り上げの一部を受け取る。その金額は数百万ドルになるという。

カリフォルニア州のシステムで最も多くのプロジェクト開発を手がけるのは、オーストラリアに本拠地を置くニューフォレスツ (New Forests) という森林投資会社だ。ニューフォレスツと関連会社が扱う 14 のプロジェクトのうち 8 つ、まさに境界線沿いの好条件側に位置している。カーボンプランがプロパブリカと MIT テクノロジーレビュー向けに実施した別の分析では、ニューフォレスツの手掛けるほぼすべてのプロジェクトが疑わしいクレジットを獲得しており、総額 1 億 7600 万ドルに上るといふ。

こうしたクレジットのかなりの部分は、明らかな規則の欠陥をついたカリフォルニア州以外の単一プロジェクトから得られたものだ。ニューフォレスツの関連会社であるフォレスト・カーボン・パートナーズ (Forest Carbon Partners) は、ニューメキシコ州にあるメスカレロ・アパッチ族の森林カーボン・オフセット・プロジェクトを支援した。このプロジェクトは 370 万クレジット (5000 万

ドル以上の価値に匹敵) を獲得した。大気資源局が地域の平均貯留量を誤って低く設定していた地域に、プロジェクトが位置していたためだ。

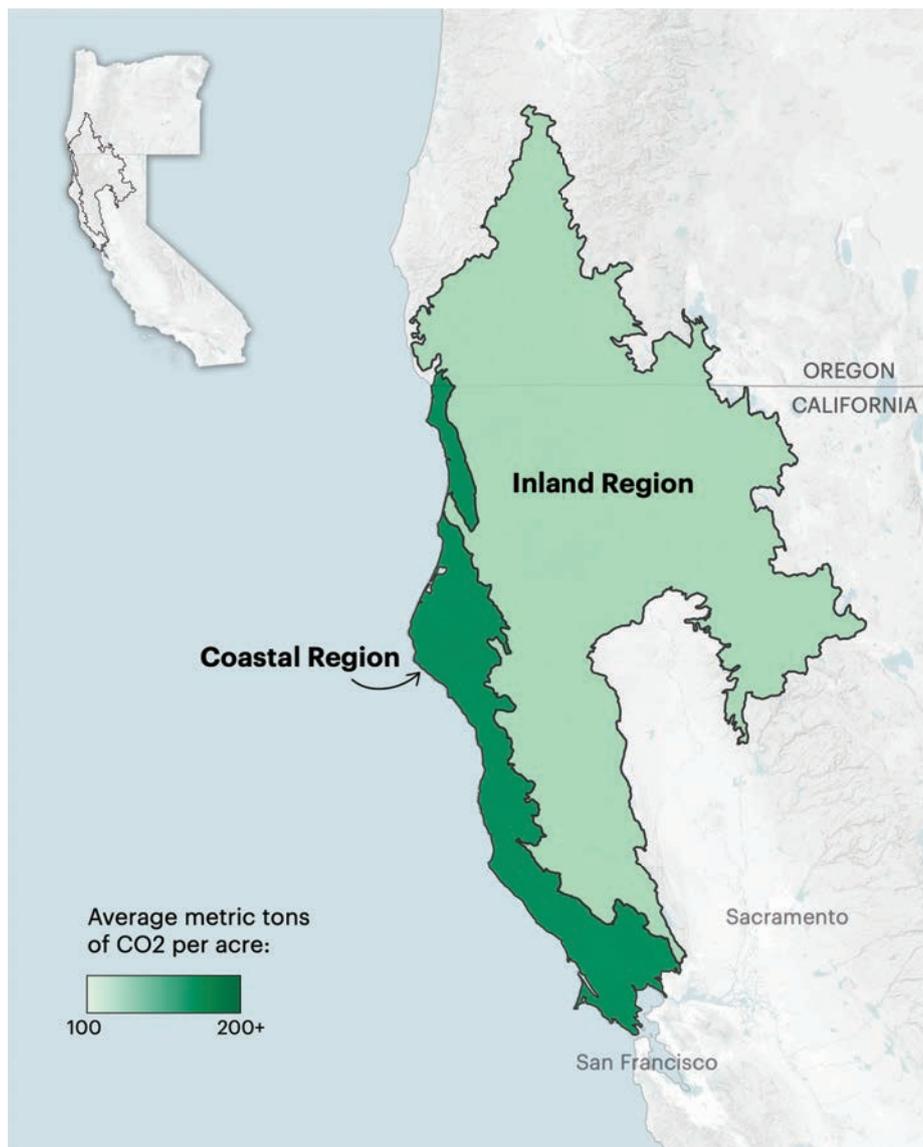
もう 1 つのチェリーピッキングは樹種だ。開発者が、周辺地域よりもはるかに多くの炭素を蓄える特定の樹種のある土地を探し出すのだ。

調査資料によれば、ほぼ全体にアラスカトウヒが植生しているアラスカのあるプロジェクトは、炭素貯留量をはるかに少ないポプラなどさまざまな樹種が入り混じる地域として計算されていた。このプロジェクトは、システムの欠陥のために、本来の数値よりも大幅に多くのクレジットを獲得していたという。プロジェクト所有者からのコメントは得られていない。

特に炭素量の多い森林を保全すること自体は、気候に良い影響を与える。しかし、プロジェクト地域の樹木と、地域の平均値計算に使われた樹種がほとんど合わない場合、クレジットが過剰に発行されてしまう問題が起こることが、カーボンプランの調査で明らかになった。

以前に欧米の炭素市場で働いていた元オフセッ

## The climate solution actually adding millions of tons of CO2 into the atmosphere



内陸部の針葉樹林地帯の平均二酸化炭素貯留量は、沿岸部の同様の森林の平均値よりもはるかに低い

---

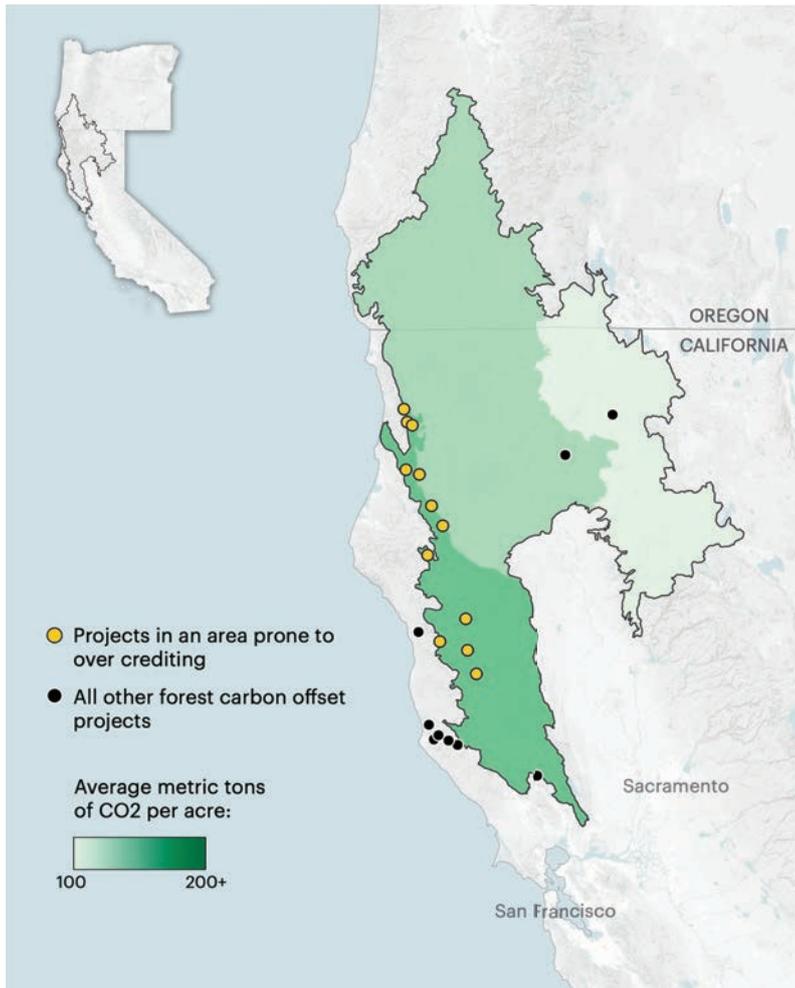
### カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット規則を利用して 気候変動から受ける恩恵を増額させる方法

カリフォルニア州大気資源局によるプロジェクトのクレジット数の決定方法の1つに、森林に貯留された炭素量と地域の平均値との比較がある。両者の差が大きければ大きいほど、土地所有者はより多くのクレジットと資金を得られる。

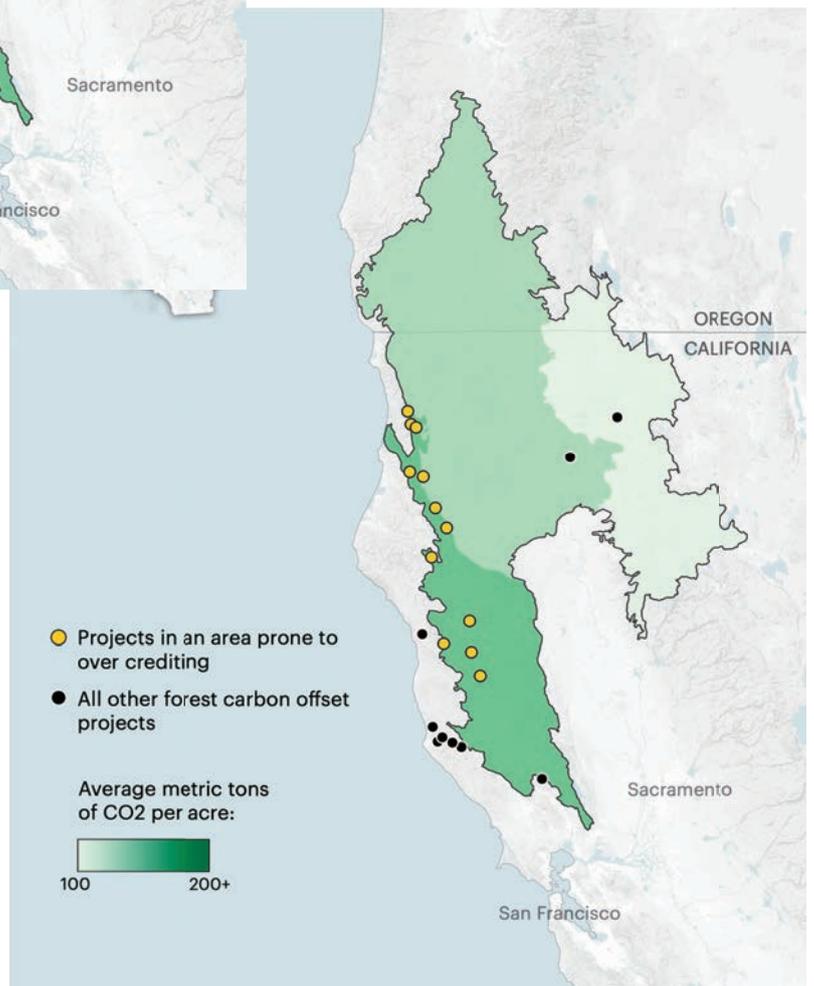
出典：カリフォルニア州大気資源局、森林インベントリ分析プログラム。作成：ルーカス・ウォルドロン（プロパブリカ）

---

## The climate solution actually adding millions of tons of CO2 into the atmosphere



内陸部は、米国農務省林野部が定義した3つの異なる生態学的地域を1つにした地域で、その中には他の地域よりもはるかに高い炭素レベルを持つ地域も含まれている



北カリフォルニアの森林カーボン・オフセット・プロジェクトの多くは、内陸部の西端沿いに集中している。この地域でのプロジェクトはクレジットの増額による恩恵を最も受けやすい

ト開発者のマーク・トレクスラーは、大気資源局はプログラムによって生じる逆効果を予想すべきだったと言う。

「オフセット規則を作成する時に常に無視されてしまうのが、悪用しようとしている賢い人たちが千人規模で存在する、ということです」と、トレクスラーは言う。大気資源局が「高密度、あるいは高炭素地域を見つける動機付けをするようなシステムを作ってしまったため、開発者たちはそれに従っているだけなのです」。

カリフォルニア州のプログラムの過剰クレジット状況を推定するため、カーボンプランは各プロジェクトの地域平均値を独自に算出した。調査チームは、大気資源局と同じ生データを使用した。使用したのは各プロジェクト地域に植生する樹木の構成に近いデータのみだ。

カーボンプランが調査を開始した2020年9月の時点で、合計74のプロジェクトが始動していた。カーボンプランは、分析が可能なだけの十分な資料の揃う65のプロジェクトを調査したところ、すべてのプロジェクトが、地域の平均値よ

りも多くの炭素を貯留しているとされ、クレジットを獲得していた。

大多数のプロジェクトがクレジットを過剰に獲得していることが分かったが、カーボンプランの試算では、もっと多くのクレジットを獲得できていたはずだったプロジェクトも10ほどあったことも明らかになった。その中には、16万5000クレジット多く獲得できるはずだったニューフォレスツの2つのプロジェクトも含まれている。

プロパブリカとMITテクノロジーレビューは、記事を公表する数週間前に、大気資源局の担当者宛に、カーボンプランの調査のコピーと詳細な計算方法を送付した。クリガン広報担当は、複数回にわたる大気資源局職員への取材依頼を断り、書面で回答した。

クリガン広報担当は、カーボンプランの分析結果には触れずにこう答えた。「未発表の調査を十分に分析する時間がなかったため、この調査の計算方法についてのコメントは控えます」。

プロパブリカとMITテクノロジーレビューに委託されて調査を評価した外部の科学者は、カー

ボンプランの調査を賞賛している。

「この調査ではしっかりとした分析により、極めて重要な政策問題を解明しています」と述べるのは、カリフォルニア大学バークレー校で炭素回収研究室を運営するダニエル・サンチェス博士だ。カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムに多くの問題点があることはよく知られているが、「今回の調査では、より深刻な方法論上の欠陥が明らかになりました」と、サンチェス博士は言う。

なお、今回の調査は学術雑誌に投稿して査読を受けているが、技術的、あるいは概念的に大きな欠陥を指摘した査読者はいなかった。

### 「重要な新商品市場」

2015年初頭、森林カーボン・オフセット・プログラム関連の非営利団体が、ネイティブ・アメリカン部族を対象にカリフォルニア州のプログラムに参加する方法を紹介するウェビナーを開催した。

講演者の中には、スタンフォード大学卒の弁護

士であり、ニューフォレスツで米国森林プログラムを統括するブライアン・シリングロー部長がいた。ニューフォレスツは、カーボン・クレジットの販売や、木材の販売、投資家向けに全世界で80万ヘクタール以上の森林を管理しており、ポートフォリオは40億ドル以上だという。

また、ニューフォレスツは、関連会社であるフォレスト・カーボン・パートナーズを、ある機関投資家から委託されて管理している。機関投資家の名前は公表されていない。フォレスト・カーボン・パートナーズは、オフセット・プロジェクトに資金を提供し、カリフォルニア州のオフセット・プログラムに申請するプロセスを、土地所有者向けに代行している。

「申し上げたいのは、カリフォルニア州の炭素市場は、新しい大きな商品市場になっているということです」と、シリングロー部長はウェビナーのプレゼンテーションで述べた。「多くのネイティブ・アメリカン部族は、恩恵を受けるのに非常に適した立場にいます。その理由の1つとして、過去に森林を保守的に管理してきたことが挙げられ

ます。そのことが、近いうちに巨額のクレジットを取得することにつながるのです」。

補足：多くのネイティブ・アメリカン部族が近隣の森林と比較して積極的に伐採してこなかったため、森林には炭素が豊富に含まれ、多額のクレジットを得られる。シリングロー部長のもと、ニューフォレスツやフォレスト・カーボン・パートナーズは、先住民族が数千万ドル相当のクレジットを獲得するのを支援してきた。

カーボンプランの調査チームが分析したニューフォレスツの13のプロジェクトのうち、クレジットの33%から71%が実際の炭素削減量を表していないことが分かった。多くて約1300万クレジット相当だ。

「今回の統計分析では、ニューフォレスツが故意に行動したとは証明できません。ですが、私たちの判断では、ニューフォレスツが意図的にチェリーピッキングをして、森林カーボン・オフセット・プログラムの生態学的欠陥を利用したということ以外に、これらの結果を合理的に説明することはできません」と、バッジリー主

任研究員は言う。

ニューフォレスツは、カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムにおける最初の公式プロジェクトを管理し、クラマス川沿いに64キロメートル以上続くユロック族居留地内、またはその近くの3100ヘクタールの森林を登録した。この居留地は西海岸のプロジェクト群の最上部に位置している。カリフォルニア州はこのプロジェクトに対し、初年度に70万以上のクレジットを発行した。これは最近のレートで960万ドルに相当する。

州当局は、このプログラムの成果として、ネイティブ・アメリカン部族の参加を挙げている。2014年、大気資源局はプロモーションビデオを公開し、ユロック族のプロジェクトにおける綿密な樹木測定作業を紹介した。ユロック族の当時の林業責任者であるジェームズ・アーラーは、オフセット・プログラムによってどのようにして伐採を減らせるか説明した。ビデオの最後には、太陽の光が降り注ぐ森の中で、襟付きのシャツにニューフォレスツの名前の入ったジャケットを羽

織ったシリングロー部長が登場した。

小川や雑木林に立つヘラジカの映像が流れると、「ここには美しい水の流れがあります」と、シリングロー部長は語った。「ここはユロック族の先祖代々の土地です。炭素市場の影響もあり、自然保護の観点から管理されています」。

カーボンプランの推定では、このプロジェクトは50万以上のゴースト・クレジットを獲得し、その価値は650万ドルに達するという。

カーボンプランの調査チームがこのクレジット数が過剰だという理由は以下の通りだ。

カリフォルニア州の沿岸部と内陸部を分ける境界線は、この居留地の中央を通っている。その境界線を挟んだ両側には炭素量の多い森林が広がり、沿岸部の森林の大部分同様、大きなベイマツが生い茂っている。だが、保護区に指定された森林の99%以上は、炭素平均値がはるかに低い内陸部のゾーンに属している。このプロジェクトは、そのゾーンの中でも実際の炭素量が最も多い地域に位置しているため、土地所有者は著しい数のクレジットを獲得できた。

ユロック部族の森林カーボン・オフセットの取り組みに携わる者の中で、少なくとも1人は、どの土地を選ぶかで獲得できるクレジットの数が大きく異なることを認識していた。

アーラーは、2015年に開催された「米国先住民森林シンポジウム（National Indian Timber Symposium）」で、部族の所有地内に境界線が通っていたことは「極めて喜ばしいこと」だと述べた。

「同じ森林データを用いて、カリフォルニア沿岸（西の地域）に適用しても、通りをまたげば同じ数字にはなりません」と、アーラーが会議で述べる様子が部族間森林協議会（Intertribal Timber Council）のユーチューブチャンネルに投稿されている「植生は同じでも（状況は）異なります」。

バッジリー主任研究員によれば、調査チームは関係者の意図は語れないが、このプロジェクトが「過剰クレジットの恩恵を受けていたこと、そしてカーボンプランの調査が批判している規則の手順に関する、ある特定の側面がどう有益な結果につながったかをユロック部族の森林管理者が認識

## The climate solution actually adding millions of tons of CO2 into the atmosphere



出典：カリフォルニア州大気資源局、カーボンプラン  
作成：ルーカス・ウォルドロン（プロパブリカ）

---

**カユロック族は、ニューフォレスツと協働し、  
所有地の東側に 3100 ヘクタールのオフセット・プロジェクトを開発した。**

炭素貯留量の多いプロジェクトが、平均炭素貯留量のはるかに低い地域にあったことで、気候変動の価値の疑わしい 50 万以上のクレジットを生み出してしまった可能性がある。

---

していたこと」は明らかだと述べた。

メールの質問に対するアーラーからの返信は無い。

ユロック族の広報担当者であるマット・メイスは、この土地は当時、部族が登録可能な唯一の土地だったと述べ、部族がシステムを何らかの形で悪用したことをメールで強く否定した。同部族の他の土地がなぜオフセット・プログラムに参加しなかったのかという追加の質問には、締め切りまでに回答はなかった。

ロック族はここ10年ほどの間、シアトルを拠点とする大手木材会社グリーン・ダイヤモンド・リソース・カンパニー（Green Diamond Resource Company）から、ブルー・クリークをはじめとするサケが遡上する川の流域にある先祖代々の土地、数万ヘクタールを少しずつ再獲得してきた。複雑で複数の手順を必要とする土地取引だったが、非営利団体ウェスタン・リバー・コンサーバンシー（Western Rivers Conservancy）と協働し、政府の助成金や慈善団体からの寄付金、部族のオフセット・クレジットの売却などから資金を調達

することにより実現した。

「新たに森林地を回復したことに伴い、カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムに新たな土地を登録しました。サケの生息地保護や、文化的な生活様式の維持、経済的自立など部族の戦略的目的を達成するためです」と、メイス広報担当は言う。

「ユロック族がカリフォルニア州の気候規制を『悪用した』という主張は侮辱的です」と、メイス広報担当は付け加えた。「同様に重要なのは、成熟した森林を保護するために作られたプログラムを私たちが合法的かつ倫理的に利用し、その資金で、かつて私たちのものだった森林を再獲得して回復させたことに対し、優良機関が批判していることです。憂慮すべきことです」。

ニューフォレスツは、メールで質問に回答し、プロジェクトが既存の炭素貯留量を維持し、樹木の成長によって大気中の二酸化炭素を除去していることを、「第三者機関による検証によって確認している」と弁明した。

ニューフォレスツは声明の中で、地域の境界線

沿いだけでなく、多くの地域でプロジェクトに取り組んできたと述べている。ニューフォレスツによれば、同社のプロジェクトは「数万ヘクタールもの森林の炭素貯留量を保護し増加させ」たとしており、チュガッチ・アラスカ・コーポレーション(Chugach Alaska Corporation)とのプロジェクトでは、アラスカ南東部のビアリング川炭田の埋蔵石炭のかなりの量を永久に廃棄できたと付け加える。

ニューフォレスツは、大気資源局の「プログラムの精神と文言の両方に沿って科学的に認められた規則」に従っていると、その後の声明で述べている。「ニューフォレスツは、カリフォルニア州の気候対策プログラムのもとで開発した森林カーボン・オフセット・プロジェクトを誇りに思っています。これらのプロジェクトは、環境にプラスの影響を与え、私たちと協働して森林地を所有する家族やネイティブ・アメリカン部族の経済的・文化的目的の達成を促しています」。

ニューフォレスツは、プログラムの規則を悪用しているのではないかという直接的な質問をはじ

めとする、多くの追加質問には答えなかった。

カーボンプランは、メールでの回答の中で、この調査はプログラムの設計を批判しているのであり、ユロック族や他の土地所有者を批判しているわけではないことを強調した。あるいは誰かが規則を破ったとも言っていない。この調査は、意図的であろうが規則の欠陥を知っていようが、実際にこの規則の欠陥の恩恵を受ける森林所有者の意図を考慮したり、当てにしたりするものではない。

「過去に所有していた土地の米政府や米国民による押収など、ユロック部族が不当に扱われたことは認識しています」と、カーボンプランは言う。「ユロック族がかつて保有していた土地を再購入して資源を守ることも、部族の正当な権利だと考えています」。

### 公然の秘密

スタンフォード大学環境学部のクリス・フィールド教授は、2017年の共同研究で、カリフォルニア州のプログラムが森林伐採を減らすことで二

## The climate solution actually adding millions of tons of CO2 into the atmosphere



酸化炭素排出防止に貢献していると述べている。調査対象となった39のプロジェクトのうち、約64%が「プロジェクト開始時または開始前に積極的に伐採されていた」という。

フィールド教授は、同州のプログラムは「主要な問題対処のために比較的よく設計されている」としながらも、改善は可能で、さらに改善すべきだという。

また、カリフォルニア州では、オフセット・プログラムの役割には大きな制限があるという。現在から2025年までの間に、カリフォルニア州の汚染者がオフセット・プログラムを購入できるのは、二酸化炭素排出量の4%までで、2026年から2030年までの上限は6%となっている。

だが、これらの数字は、一部では市場ベースの気候政策の模範とされる、カリフォルニア州の排

出量取引（キャップ・アンド・トレード）プログラムにおけるオフセット・プログラムの重要な役割を控えめに示している。

カリフォルニア州は、このプログラムの下で、特定の産業の温室効果ガス排出を許可する許可証を販売しており、許可証1枚につき1トンの二酸化炭素が排出される。また、カリフォルニア州は定期的に一定数の許可証をさまざまな規制対象企業に与えている。許可証の総数は「キャップ」と呼ばれ、時間の経過とともに減少する。

汚染者は、余った許可証を他の企業から購入でき、これを「取引（トレード）」と呼ぶ。また、許可証よりもわずかに安価なカーボン・オフセット・クレジットを購入することもできる。

オフセット・プログラムに参加するには、土地所有者は技術者を雇って樹木を調査し、樹種や高さ、直径などのデータを公式に当てはめ、0.4ヘクタールあたりに貯留されている炭素量を推定しなければならない。

ほとんどのクレジットは、プロジェクトの初期段階で発行され、設定費用の返済に役立つ。また、

樹木が成長して二酸化炭素を吸収するため、時間の経過とともに追加のクレジットを獲得できる。だが、追加で獲得できるクレジットは、地域平均よりも炭素量が多い森林に与えられる最初のクレジットに比べると、加算速度は緩やかだ。

カーボンプランが分析した森林プロジェクトは、プログラム開始以来、大気資源局が発行したクレジットの68%を占めており、酪農場や炭鉱から発生するメタンを回収するような他の種類のオフセットをはるかに凌ぐことがわかった。

カリフォルニア州は、今後10年の排出量取引で、同州の二酸化炭素排出量を2億3600万トン削減することを目的としている。この量は、カリフォルニア州の排出量目標を達成するために必要な累積削減量の約3分の1にあたる。

カリフォルニア大学バークレー校の炭素取引プロジェクト（Berkeley Carbon Trading Project）を率いるバーバラ・ハヤ主任研究員は、カーボンプランによる調査の共同執筆者であり、排出量取引による排出削減量のうち、最大半分がオフセット・プログラムによってもたらされると試算して

いる。

ハヤ主任研究員は、こういったチェリーピッキングは公然の秘密だったと述べる。今回の調査は、「多くの業界関係者が知っていることを明らかにしたものです」。

### 自然保護 vs. 気候問題

森林カーボン・オフセット・プログラムの支持者たちは、完璧なシステムはないと言う。炭素を計算することだけに注目すると、オフセット・プログラムによって森林を保護する動機付けが見落とされてしまうからだ。

フィールド教授は、実際の排出量削減を確実にすることと、森林保護のための資金調達法を確立することの、2つの目標のバランスを取るべきだと言う。カーボンプランの調査で、プロジェクトが高炭素の森林に強く引き寄せられることが分かっており、「保護を目的とするのなら、まさにそういった樹種を保護したいはずです」。

ポートランドに拠点を置くネイティブ・アメリ

カン部族の非営利団体、部族間森林協議会のコーディ・ディサートルは、オフセット・プログラムは部族に重要な財務の柔軟性をもたらしていると言う。歴史的に保有していた土地の買い戻しや、必要なインフラ整備、部族の雇用創出、経済的安定のための貯金などがそうだ。しかし何より、持続可能な方法で森林を管理するための動機付けを与えていると言う。

「ネイティブ・アメリカン部族たちは極めて自然保護の意識が高いのです」と語るディサートルは、カリフォルニア州のシステムに従いオフセット・プロジェクトを運営するワシントン州コルビル居留地連合部族（Washington's Confederated Tribes of the Colville Reservation）の天然資源担当理事でもある。「カリフォルニア州のシステムは、経済的に最も合理的なのは何であるかではなく、生態系にとって何がベストかということに基づいています。こういった管理方法は、過去に価値がないとされてきました。これらのカーボン・オフセット・プロジェクトは、その価値を評価する機会を与えているのです」。

「森林地所有に価値がないのであれば、おそらく将来的に森林はなくなるでしょう」と、ディサートル理事は付け加えた。

ユロック族のカーボン・オフセット・プロジェクトは、試算通りの炭素効果を完璧には得られなかったとしても、この観点で明らかに役立っているというわけだ。

ユロック族は、獲得した土地と資金を使って、原生林の再生、伝統的食品やかご編み材料の生産、サケの保護区の設置、銀鮭やニシアメリカフクロウ、オグロジカ、アメリカアカシカなどの絶滅危惧種や文化的に重要な種の生息地の改善などを行っていると言った。

「ニューフォレスツとのパートナーシップにより、生物多様性の高まりや、流域回復の加速、ドングリやハックルベリーなど重要な文化資源や、森林生態系が十分に機能する場所で育つ何百もの薬用植物を増やすための手段がユロック部族にもたらされるでしょう」と、ユロック族評議会のトーマス・P・オルーク・シニア議長（当時）はある声明で述べている。

だが、社会的な目的が森林の保護ならば、そのことを正確に説明して直接資金を提供する方がより簡潔で効果的だと、カリフォルニア大学バークレー校の専門家、ハヤ主任研究員は言う。樹木に貯留されているはずの二酸化炭素1トンが増えるたびに、汚染者はさらに1トンの二酸化炭素を発生できる権利を購入できるため、こういった森林がオフセット・プログラムに組み込まれると、排出炭素量の計算に問題が生じる。

森林カーボン・オフセットは、学者が「カリスマ的炭素」と呼ぶなど環境的・社会的に良い話を提供していることもあり、世間に対して存在感を出している。

「優れた自然保護活動家であれば、より多くの資金が必要だというでしょうし、私たちもまったく同感です」。カーボンプランのカレンワード部長はメールで述べた。「自然保護が悪いと言っているわけではありません。問題は、カーボン・オフセット・システムが、真のニーズや真摯な希望を粉砕してシステムに流し込み、反対側からゴミとして吐き出していることなのです」。

### 「最大の利潤を求めて」

カリフォルニア州の大気資源局は、政府の科学者や環境保護団体の職員など数十人の専門家との長年にわたる議論を経て、2011年に森林カーボン・オフセット・プログラムの公式規則を承認した。

同局はその際、自主的なオフセット・クレジットのプログラムを作成している非営利団体クライメート・アクション・リザーブ（Climate Action Reserve）を非常に頼りにした。クライメート・アクション・リザーブは、現在も大気資源局に助言しているが、自主的なオフセット規則を更新する取り組みの一環として、地域の平均炭素貯留量の算出を主導した。

クライメート・アクション・リザーブは、貯留量を算出する際に全米の数万もの森林区画を調査する米国森林局のデータを使用した。異なる樹種のデータをグループ化し、様々な地域のデータをスーパーセクションと呼ばれる大きな地域にまとめた。単純化したことにより、クライメート・アクション・リザーブは一般的な個人所有の森林の

炭素貯留量を推定する共通の基準値を構築した。この基準値には、伐採などの森林利用が考慮されている。

だが、こういった大まかな平均値を用いると、現場での違いが見えなくなってしまう。一部の業界関係者や調査チームは、土地所有者や開発者が常に、地域の平均値と大きく異なる特定の森林区画にプロジェクトを設定していることに気が始めた。

カーボン・オフセット企業であるシルビア・テラ（SilviaTerra）のザック・パリサ最高経営責任者（CEO）は以前、カリフォルニア州のシステムに森林を登録しているプロジェクト開発者や土地所有者のコンサルティングをしていた。だが、カーボンプランが主張するチェリーピッキングのように、この制度が定期的に悪用されているのを目の当たりにし、失望してやめてしまったという。

パリサ CEO は、合理的な利己主義に基づいて行動する土地所有者やプロジェクト開発者を責めるつもりはないと言う。

「誰かが提案した炭素購入契約を、森林の管理

方法を変えずに、資金も不要で実現できるのであれば、その契約をしないのは愚かというものでしょう」と、パリサ CEO は言う。

「悪者探しをしているわけではありません」と、パリサ CEO は加えた。「誰だってもちろん、最大の利潤を求めるものです」。

カーボンプランによれば、ニューフォレスツのほかにも、境界線や森林の種類を工夫することでクレジットの獲得率を高めるプロジェクトを手がけた開発会社がある。たとえば、ブルーソース (Bluesource) や、2020 年末に BP が株式の過半数を購入したファイナイト・カーボン (Finite Carbon) などがそうだ。調査チームは、この 2 社のプロジェクトを合わせると、最大 2400 万クレジットが実際の炭素削減量を表していないことを発見した。

ニューフォレスツやファイナイト・カーボン、ブルーソースなど、この記事の対象となった企業には、調査結果の全文と、その方法を説明した付属文書を提供した。

ファイナイト・カーボンは、詳細な質問への回

答を拒否したが、大気資源局と独立監査人が同社のプロジェクトが規則を遵守していることを確認したと強調している。

ファイナイト・カーボンは声明の中で、カーボンプランの調査方法には「答えられていない疑問」があるとし、「しかし基礎となる生データが現在公開されていないため、これ以上コメントできません」と付け加えた。

ブルーソースのエミリー・シックス広報部長は、ブルーソースによる規則の悪用を否定した。

シックス部長は、カリフォルニア州のプログラムでは、土壌や低木、葉など森林の他の部分に貯留されている炭素量がクレジットに換算されていないため、プロジェクトが貯留する炭素量が実際には過小評価されているとメールで述べた。さらに、オフセット・プログラムがなければ、一部の土地所有者は地域の平均をはるかに下回る炭素レベルまで森林を切り倒していたかもしれないと強調した。

「故意に気候変動問題の恩恵を誇張することは、我々の存在意義に反します」とシックス部長は

メールで続けた。「ブルーソースは、環境を改善することで世界を改善しようとしているのです」。

非営利環境保護団体パシフィック・フォレスト・トラスト (Pacific Forest Trust) の共同設立者であるコンスタンス・ベストによれば、最初のオフセット規則を書いた専門家たちは、米国森林局の森林インベントリ分析プログラムから得られる唯一の国有林データセットを利用していたと言う。パシフィック・フォレスト・トラストは、初期のプログラムの作成に密接に関わり、参加していた。

ベストは、地域レベルで正確性を確保するには、きめ細かなデータが十分でないため、より広い地域と森林タイプの平均炭素貯留量を作成しなければならなかったと述べ、カーボンプランの調査チームがより優れた地域平均値の計算方法を開発したという主張に異議を唱えた。カーボンプランが参照した森林調査区の数の方が少なかったからだ。

「一部のスーパーセクションが大きいのは、データの正確性を確実にするためです」と、ベストは

メールで述べた「つまり、カーボンプランの解決策はさらなる問題を引き起こすでしょう」。

別の覚え書きでベストはこう述べている。「この調査は編集上の強い偏りがあるため、結果の信用性が低下していますし、データや分析に疑問を感じています。過剰なクレジットを生み出すプロジェクトの決定的な証拠として意図的に誇張しています」。

メールでの声明の中で、カーボンプランは森林調査区の数が少ないと不確実性が生じることを認めている。だが、調査チームはさまざまな結果を提供することでその理由を明確に説明していることを強調し、各プロジェクトにおける特定の樹種の組み合わせを考慮しているため、自分たちの調査結果の正確さは維持されていると主張する。また、カーボンプランは、バイアスがかかっているとの疑いに対して次のように反論している。「プログラムに関する膨大な公開記録に基づき、完全に再現可能な方法やデータ、コードを用いて調査をしてきました。第三者が私たちの論文の是非に関して判断できると確信しています」。

大気資源局は、より最近の森林データに基づいて地域平均値を更新したが、より根本的な問題に対処する取り組みが妨げられているという批判もある。

調査チームや活動家はまた、大気資源局と森林カーボン・オフセット・プログラムから利益をあげる団体との密接な関係を懸念している。

例えば、土地所有者がカリフォルニア州のプログラムに森林区画を登録するには、クライメート・アクション・リザーブや、大気資源局の許可を得た他の2つの非営利団体に口座を開設し、書類審査を受ける必要がある。

プロジェクトがクライメート・アクション・リザーブの審査とその後のカリフォルニア州大気資源局による監査を通った場合、クライメート・アクション・リザーブから1クレジットあたり19セントを請求される。たとえば、最大規模プロジェクトでは、100万ドル以上になる。

「非営利団体であろうとなかろうと、この制度を設計した組織がその運営に金銭的な利害関係を持つことは、大きな利益相反だと思います」と

メールで述べるのは、国際的なオフセット制度を詳しく調査しているカリフォルニア大学サンディエゴ校のデビッド・ビクター教授だ（ビクター教授は2020年10月にカレンワード部長と共著で『メイキング・クライメート・ポリシー・ワーク (Making Climate Policy Work)』（未邦訳）という本を出版した）。

「他の市場で市場参加者に設計の重要な部分を任せたりしたら、利益相反の問題で『大騒ぎ』になるでしょう」と、ビクター教授は言う。だが、森林カーボン・オフセット・プログラムでは、「誰もがこの取り決めに満足していて、喜んでいるかのようです」（ビクター教授）。

複数回にわたる回答の依頼に、クライメート・アクション・リザーブは応じなかった。

### 「できすぎた話」

ニューメキシコ州中央部の暑くて乾燥した土地には、ジャクシンやアメリカヒトツバマツなどの丈夫で乾燥に強い針葉樹が多く、冷涼な山脈部に

## The climate solution actually adding millions of tons of CO2 into the atmosphere



は背の高いベイマツやトウヒが点在している。

だが、カリフォルニア州の初期のプログラム規則では、こういった森林には炭素はまったく含まれていないとされていた。

連邦政府データベースに関するクライメート・

アクション・リザーブへの技術支援をした森林局の統計学者オラフ・クーグラールによれば、この誤りはクライメート・アクション・リザーブが地域平均値を算出した際に、ニューメキシコ州の一部に森林局のデータが存在しなかったことに起因す

ると言う。

その結果、クライメート・アクション・リザーブは約 8 万 8000 平方キロメートルの地域平均値をゼロに設定してしまい、そこに数十本でも樹木を所有していれば誰でもカーボン・クレジットを獲得できることになってしまった。

クーグラーは、2014 年初頭か半ばに大気資源局の職員バーバラ・バンバーガーに指摘されるまで、この誤りに気づけなかったという。大気資源局で森林カーボン・オフセットに関する業務を担当するバンバーガーは、その後、2014 年 10 月に実施されたオフセットに関するウェビナーでこの誤りを取り上げた。

バンバーガーは、プレゼンテーションの中で理事会は地域平均値を更新しているところで、特定の地域では大きな変化があるだろうと述べた。

「2002 年から 2006 年までの間に、データが存在しない年があったことが原因かもしれません」と、バンバーガーは説明する。「たとえば、ニューメキシコ州では、この期間の最後までデータが収集されていませんでした」。

バンバーガーのプレゼンテーションからほぼ 1 年後、ニューフォレスツの関連会社は、ニューメキシコ州のロズウェルから西に 90 分ほどのところにあるメスカレロ・アパッチ族の約 20 万ヘクタールの居留地に広がる約 9 万ヘクタールのプロジェクトに関する書類を提出した。このプロジェクトの書類によれば、用地の樹木の 3 分の 1 以上が炭素を多く含むベイマツだった。シリングロー部長はこの書類に署名した。

誤って炭素量を低く試算したために、開発者は大量に森林を伐採できていたはずだと主張し、獲得クレジットの量を増やしたのだ。

このプロジェクトは、初年度に 370 万クレジット（5000 万ドル以上の価値）を獲得した。

その 2 週間後に発効されたカリフォルニア州大気資源局の最新ルールでは、プロジェクト地域の大半にはるかに高い地域平均値が設定されていた。この地域平均値がもっと早く更新されていれば、このプロジェクトが獲得したほぼすべてのクレジットを発行せずにすんだはずだとカーボンプランは試算する。地域炭素平均値に関して保守的

な数字を使っても、カーボンプランの調査の中でこのプロジェクトが最も多くのゴースト・クレジットを生み出したという。

メスカレロ・アパッチ族のダニー・ブルーニング・シニア酋長（当時）は、部族はこのプロジェクトを歓迎していたと言う。

「森林カーボン・クレジット・プログラムについて聞いたことがある人が誰もいなかったため、ある意味、できすぎた話だと思いました」と、ブルーニング酋長は語った。「しかし素晴らしい取引でした。私たちに素晴らしい結果をもたらしたのですから」。

ブルーニング元酋長は、メスカレロ・アパッチ族の現在の酋長ゲイブ・アギラールにそれ以上の質問を託した。再三の問い合わせに対し、アギラール酋長と部族の弁護士ネルバ・セルバンテスは応じなかった。

大気資源局は、このプロジェクトが当時のプログラムの要件をすべて満たしていたと、ある声明の中で述べている。大気資源局は、存在しなかったデータを用いて新しい地域平均値を作成してい

る段階だったことから、以前の数値が「無効または誤り」だとは言えないと加えた。

### 「第2の植民地化の波」

ゴースト・クレジットが問題になるのは、企業が実際に温室効果ガスを排出し続ける権利を購入できるからだ。

最新のデータによれば、メスカレロ・アパッチ族のプロジェクトが獲得したクレジットは、パシフィック・ガス・アンド・エレクトリック（PG&E）やシェブロン（Chevron）、カリフォルニア州カーン郡の石油掘削会社に売却されたという。

ユロック部族が3100ヘクタールのプロジェクトで獲得したクレジットは、カルパイン（Calpine）やPG&E、シェルといったさまざまなエネルギー企業が購入した。

ネイティブ・アメリカン部族の中には、合法的であっても、事実上環境汚染によって利益を得ていると危惧し、こういった企業にオフセット・クレジットを販売することに強い違和感を抱いてい

るものもいる。

明らかにこのオフセット・プログラムは、カリフォルニア州の企業が、煤煙や重金属などの有害物質に伴う二酸化炭素の排出だけでなく、本来ならば許可されていないはずの量の二酸化炭素を、貧困地域の近隣で生産し続けることを認めている。製油所やセメント窯、発電所などの周辺地域は、ことあるごとにオフセット・プログラムに反対してきた。

カリフォルニア州のフーパバレー部族の一員であり活動家のトーマス・ジョセフは、オフセット開発者がネイティブ・アメリカン部族のプロジェクトをターゲットにしているのは、これらの部族が「切実な収入を必要としている」ことと、ほとんど手つかずの広大な森林を所有していることが理由だという。フーパバレー部族は、複数回にわたる開発者からの提案に抵抗してきたとジョセフは言う。「私たちがこの手段を利用することで、企業が環境を汚染し続けるのです。それは私たちの文化的価値観に反します。私はこの動きを第2の植民地化の波だと捉えています」。

部族間木材協議会の理事であるディサートルは、異なる見方をしている。部族間でこの問題が話題にのぼると、ディサートル理事は、排出量取引の下では汚染者は汚染の許可を国に支払うか、カーボン・オフセットを用いて土地所有者に支払う必要があると説明する。

「いずれにしても、小切手は切られます」と、ディサートル理事は言う。「問題は、その資金がどこに行くのか、そしてその資金を用いて何が達成されるかということです」。

シルビア・テラのパリサ CEO は、土地所有者とプロジェクト開発者は、プログラムそのものが変わるまで、気候変動対策を誇張する形で、プログラムの募集に応じ続けるだろうと述べている。

「より良い規則が必要です」と、パリサ CEO は言う。「そのときに投じる資金が実際に起こす変化を見ようではありませんか。実際、森林は気候変動の解決策の1つとなり得ますが、まだ正しく活用されていないのです」。



編集者注：以下は、プロパブリカの研究者兼記者のドリス・バークから寄せされた、今回の記事のバックストーリーです。

---

### バックストーリー

#### オフセット・クレジットおよび

#### その金額の計算方法

この記事に登場するクレジットの価値は、カリフォルニア州のシステムのすべてのオフセットの2020年第4四半期の平均価格（13.67ドル）を用いて算出した。土地所有者や開発者などの関係者が実際に得られる金額は、クレジットの販売時期や販売量、プログラムの保険である「バッファ」プールにどれだけ拠出しなければならなかったかによって異なる。これらは私的な取引であり、具体的な条件は部外者に提供されてない。

大気資源局がクレジットを発行すると、そのうち約20%がプールに拠出される。プール内に留保されたクレジットは販売できないが、山火事や

干ばつなどの際に、一種のバックアップとして機能する。例えば、プロジェクトの敷地内にある森林の一部が火事で焼失し、100万トンの二酸化炭素が大気中に放出された場合、その損失分として100万クレジットがバッファ・プールから取り除かれる。

カリフォルニア州のオフセット・プログラムとの整合性を考慮して、今回の調査では、複数のプロジェクトに対して発行されたクレジットについて記述する際は、バッファ・プールのクレジットを含めて説明している。また、単一のプロジェクトが獲得したクレジットとその価値を計算する際には、バッファ・プールのクレジットを除外している。

#### 地図の作成方法

最初の地図は、カリフォルニア州北部の海岸スーパーセクション、アカスギ/ベイマツ混合針葉樹評価エリア（高炭素地区クラス）とカスケード山脈南部のスーパーセクション、混合針葉樹評価エリア（高炭素地区クラス）を、大気資源局の

2015年コンプライアンス・オフセット・プロトコルに基づき、一般的な方法（0.4ヘクタール当たりの地域平均値）で計算し描いている。

2枚目と3枚目の地図は、カスケード山脈南部のスーパーセクション内の各エコセクションの実際の数字を示している。カーボンプランは、大気資源局と米国農務省林野部・森林インベントリ分析プログラムのデータを用いて数値を算出した。3枚目の地図では、カリフォルニア州とオレゴン州の州境のあるプロジェクトが省略されている。このプロジェクトは、初期の炭素レベルが地域平均を下回っていたため、カーボンプランの調査には含まれていない。

### 取材の経緯

プロパブリカとMITテクノロジーレビューは、双方のこれまでのカーボン・オフセットに関する報道実績から、このプロジェクトで協力することを決定した。2019年、プロパブリカのリサ・ソング記者は、国際的な森林カーボン・オフセットとカリフォルニア州の排出量取引プログラムの間

題点を記事にした。これとは別に、MITテクノロジーレビューのジェームズ・テンプル編集者は、2019年と2020年の大半を費やして、大気資源局のコンプライアンス・カーボン・オフセット・プログラムなど、炭素除去の取り組みの見通しと課題について報告した。2人ともそれぞれの記事執筆のため、カーボンプラン報告書の共同著者数名に独自のインタビューを実施した。

カーボンプランがある程度の分析を終えた2020年末、調査の共著者であるダニー・カレンワード部長がMITテクノロジーレビューにこの調査を持ち込んだ。その後、テンプル編集者はソング記者に連絡を取り、取材協力について話し合い、この複雑な技術的内容を扱うには協力すべきとの結論にいたった。

スタンフォード大学ロースクールの講師であり、カーボンプランで政策担当部長を務めるカレンワードは、カリフォルニア州の気候政策システムを長年にわたり調査していた。2019年、カレンワード部長と、カーネギー科学研究所（Carnegie Institution for Science）の元同僚で

ある生態学者のグレイソン・バッジリー主任研究員は、プログラム規則の設計方法を学ぶワークショップに参加した後、カリフォルニア州のオフセット・プログラムを包括的に分析することを決めた。(カレンワード部長は、カリフォルニア州環境保護庁が大気資源局に排出量取引制度について助言するために招集した専門家グループ、排出権市場独立諮問委員会 (Independent Emissions Market Advisory Committee) の副委員長も務めている。カレンワード部長は、カーボンプランでの活動は同委員会の意見を代弁するものではないと述べている)。

カレンワードは 2020 年初めに、炭素回収対策の科学的整合性を評価している、非営利のスタートアップであるカーボンプランに参画した。カーボンプランが扱う炭素回収対策には、大気中の二酸化炭素を回収するような先端技術をはじめとする、さまざまな種類のカーボン・オフセットが含まれている。カーボンプランは、企業やその他の組織からプロジェクトごとに資金提供を受けており、例えば、オンライン決済企業であるストライ

プ (Stripe) からは、さまざまな二酸化炭素回収方法を評価するための資金を受け取っている。

また、マイクロソフトは、気候変動が森林の地球温暖化緩和能力にどんな影響を与えるかを調査するために、カーボンプランに資金を提供した。カーボンプランはその資金の一部を使って、カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムのプロジェクトに関する文書をデジタル化した。ブラック・ロック・フォレストのバッジリー主任研究員 (コロンビア大学の博士課程研究員でもある) は、これらの記録をデジタル化し、カーボンプランからコンサルタントとして報酬を得た。

その後、カーボンプランは、(多くの個人や財団からの) 無制限の資金を使って、バッジリー主任研究員をはじめ、カリフォルニア大学バークレー校の炭素取引プロジェクトを率いるバーバラ・ハヤ主任研究員などの科学者と協力して、森林カーボン・オフセット・プロジェクトを調査した。

今回の調査では、カリフォルニア州の森林カーボン・オフセット・プログラムの主な形式となっている「森林管理改善 (Improved Forest

Management)」に焦点を当てている。森林管理改善のプロジェクトでは、土地所有者が森林を管理することで、炭素のさらなる排出を防いだり、時間をかけてより多くの炭素を吸収したりすることに対し、報酬を与える。

この調査が当時、正式な査読プロセスのある科学雑誌に投稿されていなかったこともあり、調査の質の確認のために追加の方策を講じた。まず、報告書の前提条件について状況分析をして、複数の森林専門家に取材した。カーボンプランは過剰クレジットの範囲について最終的な数字をまだ手にしていないが、取材した専門家たちによれば、地域の平均炭素貯留量を用いる過程で過剰クレジットが付与される可能性があり、チェリーピッキングの誘因になるとしている。

数週間後、カーボンプランは草稿を完成させ、詳細に評価してもらうために外部の科学者に送った。評価を依頼した科学者には、プロパブリカのデータ諮問委員会の一員で、ニューヨーク州立大学ストーニーブルック校の生態学および進化生物学のヘザー・リンチ教授、カリフォルニア大学

バークレー校で炭素回収研究室を率いるダン・サンチェス博士、アラスカ大学フェアバンクス校天然資源および環境学部長のデビッド・バレンタイン教授も含まれている。

これらの科学者たちは全員、森林や気候変動、炭素循環、炭素回収の専門家だ。全員、カリフォルニア州のオフセットについて少なくとも一般的な知識は持っているが、オフセット開発者のために働いているわけではない。

また、4人目の科学者として、ワシントン大学環境森林科学部の博士課程に在籍するハンター・スタंकにも評価を依頼した。スタंकは、カーボンプランが分析に使用した「rFIA」の開発者である。rFIAは、森林局の「森林インベントリ分析プログラム」の生データを分析するソフトウェアで、オフセットとは関係ない目的で学者や政府機関、木材会社などが使用することも多い。スタंकに調査を送付する前に、スタंकはカーボンプランの調査の筆頭著者に対してrFIAに関する技術サポートを提供していたが、カーボンプランがオフセットの調査にこのソフトウェアを使

用していることは知らなかったという。

4人の科学者はいずれも、この調査とその手法を高く評価し、技術的な詳細などに関する説明を求めた。私たちからそれを受け取ったカーボンプランは、いくつかの細かい提案を最終草案に反映させたが、全体的な調査結果を変えるものではなかったと述べている。

また、カーボンプランは特定の開発者が担当したプロジェクトの過剰クレジットのレベルを計算するなど、記者に代わって生データに関する複数の分析をした。

MITテクノロジーレビューが記事を掲載した際、カーボンプランは調査に関する方法論やコード、デジタル化されたカーボン・オフセット・プロジェクトすべての文書の生ファイルとともに、今回の調査書を自社のWebサイトに掲載し、学術誌にも投稿した。■



Getty

## 地球温暖化抑止には メタン削減が効果的、だがどうやって？

地球温暖化を食い止めるためには、大気中のメタンを削減することが効果的だとする論文が発表された。

しかし、大気中からメタンを除去する技術は確立されておらず、

当面は排出量を減らすことで対応する必要がある。

大気中からメタンを取り除くことで、今後数十年にわたって地球温暖化を遅らせることができる可能性がある。だが、それが本当に実現可能なのかどうか、研究者は依然として解明を試みている段階にある。

強力な温室効果ガスであるメタンは、天然ガスの採掘や農業などの人間活動によって、大気中濃

度が産業革命前の2倍以上になっている。メタンの一部を大気中から除去したり、そもそも排出されないようにしたりするだけでは気候変動を止められないが、それでもメタン除去は今世紀における温暖化の最悪の影響を防ぐのに寄与する可能性がある。

2021年9月27日に公開された新しい論文に

よると、大気中のメタンを40%削減することで、2050年までに温暖化を0.4℃抑えられるという。同日に公開された別の論文で、研究者らは可能性のあるアプローチの概略を示した計画を発表し、これまでほとんど研究室に留まっていたメタン除去技術の研究をさらに進めるよう呼びかけている。

スタンフォード大学の研究者で、両研究論文の共著者であるロブ・ジャクソン教授は、「今後数十年間のピーク時の気温を下げるために、メタン除去以上に効果がある対策はないでしょう」と述べている。

メタンは温室効果ガスとしては比較的希少な物質で、例えば、メタンの大気中の濃度は二酸化炭素の約200分の1だ。とはいえ、国連の気候変動に関する政府間パネル（ICPP：Intergovernmental Panel on Climate Change）が発表した最新の報告書によると、メタンはこれまでの地球温暖化による平均気温上昇の約30%、すなわち約0.5℃の上昇に寄与しているという。大気中での寿命は約10年だが、短期間では二酸化炭素の約86倍の

温室効果があるとされている。

米国海洋大気庁の大気科学者であるヴァイシャリ・ナイク博士は、「メタンはいずれ消滅しますが、それまでの間にさまざまな問題を引き起こすでしょう」と述べている。

メタンの寿命が短いということは、もし現時点でメタンの排出を削減すれば、大気中の濃度は急速に低下するということだ。ナイク博士が共同執筆したメタンに関する国連環境計画の最新報告書によると、研究者らは、現在のメタン排出量を45%削減することで、今世紀半ばまでに温暖化を0.28℃抑えることができ、産業革命前の水準からの平均気温上昇を1.5℃未満に抑えるというパリ協定で定められた目標を達成できると推定している。

これらの削減量の約3分の2は、すでに利用可能な方法で達成できるとナイク博士は言う。例えば、天然ガス井の漏れを塞いだり、植物が石炭に変化するときに発生した地下のメタンを空気中に排出する炭鉱への依存度を下げたりすることが挙げられる。排出量の削減は、除去技術を大規模

化するよりも安価で容易だという。

しかし、温暖化を 1.5°C 未満に抑えるためには、農業などの産業によって排出されるメタンも削減する必要がある。人口の増加に伴い、それは難しくなるかもしれない。

温暖化を抑えるには、メタンを除去する技術が役立つかもしれない。ただし、それがあればの話だ。複数の研究グループがいくつかの方法を試しているが、そのほとんどは、触媒の上に空気を移動させて、メタンが二酸化炭素や他のガスに分解されるのを促進するというものだ。主な問題点は、それを途方もない規模で実施しなければならないことにある。こうしたシステムで 1 テラグラムのメタンを除去するためには、地球全体の大気の 0.04% を処理する必要があるが、人類は毎年約 350 テラグラムのメタンを排出している。

ジャクソン教授によると、メタン除去を商用化するベンチャー企業がいくつか誕生し始めており、その中には自身関わっている企業もあるという。しかし、同教授のグループは自社技術の実地試験をまだしておらず、他の企業でもあまり

進んでいないだろうと言う。ジャクソン教授は、2050 年までに温暖化を抑えるには、今後 10 年以内にパイロット工場を稼働させる必要があると見積もっている。これは、技術を検証するには厳しいスケジュールだ。

「メタン除去は決して容易ではありません」とジャクソン教授は言う。一方で、二酸化炭素回収から得られる教訓があるかもしれない。二酸化炭素回収技術もまた、規模の問題を抱えているにも関わらず、バイデン政権の気候変動対策計画では主要な役割を果たしている。世界のいくつかの施設は商業的に稼働しており、今後 5 年以内に新たに数基のプラントが開設される予定だ。

メタン濃度の上昇を食い止める対策として、除去装置を排出源に直接設置することは、大気中からメタンガスを取り除くより簡単はずだ。また、メタン排出を止めることは、一般的に、事後処理よりも容易である可能性が高い。

「削減が先で除去はその次というのが、私のモットーです」とジャクソン教授は話している。(Casey Crownhart) **T**

WHOOP



# テスラ 7人目の電池ベンチャー、 「5日持つ」ガジェットに 材料供給

by James Temple

リチウムイオンバッテリーのエネルギー密度を大きく引き上げる材料の開発に取り組む  
シラ・ナノテクノロジーズが、初の製品を市場投入した。

同社の負極材料を採用したバッテリーを搭載するフィットネス向けのウェアラブル機器は、  
充電が5日間不要だという。

**カ**リフォルニア州アラメダにある材料会社「シラ・ナノテクノロジーズ (Sila Nanotechnologies: 以下、シラ)」は、過去10年間にわたり、リチウムイオン電池に蓄えられるエネルギー量を増大させることに取り組んできた。ガジェットの小型化や、航続距離の長い電動移動手段（電気自動車）の実現が期待される取り組みだ。

シラが開発したシリコンベースのナノ粒子は、現在、アノード（負極）に使われている黒鉛（グラファイト）に取って代わり、バッテリーの電流を運ぶリチウムイオンをより多く保持できる。同社はこのほど、初の製品をついに市場に投入した。

2021年9月8日発売のフィットネス・ウェアラブル機器「ウープ4.0 (Whoop 4.0)」のバッテリーに使用されている負極粉末の一部を供給している。ウープは小さなデバイスだが、研究室での有望な結果が商業的な成功に結びつかないことが多いバッテリー分野において、大きな一歩となる可能性がある。

シラのジーン・ベルディチェフスキー最高経営責任者 (CEO) は、「ウープ4.0が、私たちにとってのテスラ・ロードスターだと考えてください」と話す。ベルディチェフスキー CEO は、テスラの7人目の社員として、テスラ初の電気自動車のバッテリーに関するいくつかの重要な問題を解決するのに貢献した人物だ。「(ウープ4.0は)

## Lithium-ion batteries just made a big leap in a tiny product



シラのシリコン系粒子を用いたバッテリー・セル

この画期的な進歩を証明する、市場で初めてのデバイスなのです」。

シラが開発した材料は、他の先進技術の助けを借りながら、フィットネス・トラックのバッテリーのエネルギー密度をおよそ 17% 向上させている。リチウムイオン・バッテリーのエネルギー密度は通常、年に数パーセントしか向上しないことから、シラが成し遂げたイノベーションは非常に大きな進歩だと言える。

カーネギーメロン大学工学部機械工学科のベンカット・ビスワナサン准教授は、これは標準的な進歩の約 4 年分に相当するもので、「一度の大きな飛躍でそれを成し遂げたこととなります」と述

べる。

気候変動の危険性がますます高まる中、世界で脱炭素の動きが加速している。まだいくつか技術的な課題を残しているものの、今回の成果はバッテリーの性能向上の可能性を示す有望な兆候だ。バッテリーに蓄えられる電力量が増えれば、ますますクリーンな電力源が、より多くのビルや自動車、工場、企業に電力を供給するのを容易にするだろう。

エネルギー密度の高いバッテリーは、輸送部門では電気自動車のコスト削減と航続距離の延長につながり、消費者にガソリン車を手放すのを躊躇させている 2 つの大きな問題を解決できる。ま

た、太陽光発電や風力発電で得られるエネルギーをより多く蓄えることができる送電網向けの蓄電池や、1回の充電でより長い時間使用できる消費者向けガジェットなどの実現も期待できる。

2017年にMITテクノロジーレビューの「35歳未満のイノベーター (Innovator Under 35)」に選出されたベルディチェフスキー CEO は、「あらゆるものを電化する」にはエネルギー密度が鍵だと述べる。

ボストンに拠点を置くウープ (Whoop) は、今回新たに発売するフィットネス・ウェアラブル機器で、新開発のバッテリー素材とその他の改良により、5日間のバッテリー寿命を維持しながら、本体の大きさを33%縮小することに成功した。同製品は、腕時計のように身につけられるだけでなく、「スマート・アパレル (ハイテク機能を搭載する次世代型ウェア)」に挿入できるほどの薄さになった。

2021年1月に5億9000万ドルの資金調達を発表したシラは、BMWやダイムラーなどの自動車メーカー向けに電池材料を開発する提携も結

んでいる。同社のテクノロジーを活用すれば、最終的にはリチウムイオン電池に現時点と比べて40%も多く電力を詰め込めるという。

### 火災の防止

スタンフォード大学で機械工学の学位取得を目指していたベルディチェフスキー CEO は、4年生に上がる前にテスラの面接を受け、大学を中退。そのままテスラに就職した。彼は、自動車が搭載する何千個ものバッテリーのうち、どれか1つでも発火すれば、バッテリー全体に引火してしまうという、テスラの存続に関わりかねないリスクに対処する上で重要な役割を果たした。

ベルディチェフスキー CEO は当時、一連のバッテリーパックの設計を体系的に評価する計画を立てた。何百回ものテストを経て、テスラはバッテリーの配置、熱伝導材、冷却経路の組み合わせを開発し、暴走火災の危険を大きく低下させることに成功した。

テスラがロードスターを発売した後、ベルディ

## Lithium-ion batteries just made a big leap in a tiny product



シラの最高経営責任者（CEO）兼共同創業者であるジーン・ベルディチェフスキー

チェフスキー CEO は、次の車両になるモデル S の開発に向けてさらに 5 年間で費やすか、あるいは新しいことに挑戦する機会を得るか、どちらかを選ばなければならないと考えた。

結局、彼は自分で何かを作ってみたいと思った。

ベルディチェフスキー CEO は、スタンフォード大学の修士課程に戻り、材料、熱力学、物理学を学び、バッテリーを根本的に改善する方法を見つけたいと考えた。卒業後は、サッター・ヒル・ベンチャーズ（Sutter Hill Ventures）の「客員起業家制度」に 1 年間参加し、自分のビジネスの基盤となるアイデアを探した。

その中で、リチウムイオン電池の負極用シリコ

ン粒子の製造方法を示した科学論文に出会った。

シリコンは、同じ重量の黒鉛に比べて 10 倍以上のリチウムイオンと結合できるため、研究者たちは以前から、電池のエネルギー密度を増大させる有望な手段として注目していた。つまり、バッテリーの電流を生み出す電荷を運びたリチウムイオンをはるかに多く保持できるということだ。しかし、シリコンの負極は、電極間を行き来するイオンを収容する際に膨らむため、充電中に砕けてしまう傾向があった。

ジョージア工科大学工学部のグレブ・ユーシン教授が共同執筆した論文は、リチウムイオンをより簡単に受け入れ、放出できる多孔質の中核部を

持つ、剛性の高いシリコン材料を開発できる可能性を示していた。

翌年、ベルディチェフスキー CEO は、ユーシン教授と、同じく元テスラのエンジニアであるアレックス・ジェイコブスと共同でシラを設立した。

### 障害と遅れ

シラはその後の 10 年間、製法や材料を改良し、5 万回以上も化学反応を繰り返しながら、製造能力を拡大していった。同社は早い段階で、高価でリスクの高い自社で完全な電池を製造する道ではなく、リチウムイオン電池メーカーが利用できるドロップイン材料（代替材料）を開発する道を選んだ。

しかしシラのテクノロジーは、当初期待していたほどには進んでいない。

米国エネルギー省の ARPA-E 部門 (Advanced Research Projects Agency – Energys : 高等研究計画局) から数百万ドルを確保した後、シラは一時、研究機関に対し、自社の材料を 2017 年

までに製品に、2020 年までに自動車に搭載できると話していた。2018 年に BMW との契約を発表した際には、同社の粒子が 2023 年までに BMW の EV (電気自動車) のバッテリーに貢献できると述べていた。

ベルディチェフスキー CEO によればシラは現在、「2025 年頃」までに自動車に搭載できると見込んでいるという。新素材の性能を最大限に引き出すための電池メーカーとの連携などの課題も含めて、「ラストワンマイル」の問題を解決することが、予想以上に困難だったという。

「私たちは、規模拡大と製品の市場投入の難しさについて、世間知らずにも楽観視していました」。ベルディチェフスキー CEO は言う。

今回のウープのニュースは、シラが既存の製品と同様の安全性、充放電回数、その他の電池性能のベンチマークを実現する形で粒子を設計できたことを示している。

しかし今回、シラのシリコンナノ粒子はバッテリーの負極のおよそ 25% を提供するに過ぎず、残りは標準的な黒鉛材料で賄われることは指摘し

ておかなければならない。

前出のビスワナサン准教授は、黒鉛の一部を置き換えている現状から完全な置き換えに進めるかどうか、より大きな試金石になると言う。そのためには、より高い精度と性能が求められる。ビスワナサン准教授は、二塁打を打つかホームランを打つかの違いのようなものだと言明する。

加えて、消費者向けデバイスよりも厳しい条件を求められる電気自動車に対応するには、まだ大きな課題があると言う。自動車やトラック、バスには、エネルギー密度が高く、安全性が極めて高く、急速充電が可能で、とりわけ何度も充放電を繰り返すことができる電池が必要だ。電池化学における問題は、ある性能基準に関わる材料やプロセスを改善すると、他の性能基準を犠牲にしてしまうことが多いと、ビスワナサン准教授は指摘する。

ベルディチェフスキー CEO によると、次の商業製品では黒鉛を完全に置き換える予定だとい、まだ発表できないパートナーとの間で「準備が整っている」という。また、リチウム金属のよ

うに、最近、報道や投資家の注目を集めている他の有望な電池材料とは異なり、シラのシリコン材料はすでに製品化されている。

「希望や誇大広告が世界を変えるのではなく、製品を出荷することが世界を変えるのだと、私たちは強く信じています」とベルディチェフスキー CEO は語る。T



Getty

## 忘れられた再エネ「地熱」、米インフラ投資で汚名返上なるか？

米国のインフラ法案により資金提供を受けた 4 基の新しい実証プラントは、「忘れられた再生可能エネルギー」と揶揄されている地熱による発電の普及を後押しする可能性がある。

地球の内部には、世界の総エネルギー需要の 2 倍を満たす熱が流れている。しかし、この熱を利用するには地中深くまで掘り下げ、利用可能なエネルギーに変換する必要がある。それは困難で費用がかさむため、時に「忘れられた再生可能エネルギー」とも呼ばれる地熱は、世界の発電量の約 0.3% しか占めていない。

しかし、今、地熱に追い風が吹いている。先日可決された米国のインフラ法案で、米国エネルギー省は地熱増産システム（EGS：Enhanced Geothermal Systems）のテクノロジーを試験するため、4 基の実証プラントの建設資金 8400 万ドルを計上した。

この資金は、インフラ法案で米国エネルギー省

(DOE) に割り当てられた予算 620 億ドルからすればごくわずかだ。予算はほかに、長距離送電線の建設、蓄電池のサプライチェーンの強化、原子力発電所の維持などに使われる。しかし、地熱の研究者らは、限られた資金でも EGS の商業利用への移行を支援するのに、大いに役立つ可能性があると話す。

EGS のスタートアップ企業「フェルボ (Fervo)」の創業者、ティム・ラティマー最高経営責任者 (CEO) は、「地熱は今まさに、その時が来たのです」と言う。

地熱の魅力は安定性だ。天候や時間帯によって発電量が変化する風力や太陽光に対して、地熱は常時発電できるため、安定した電力源となる。

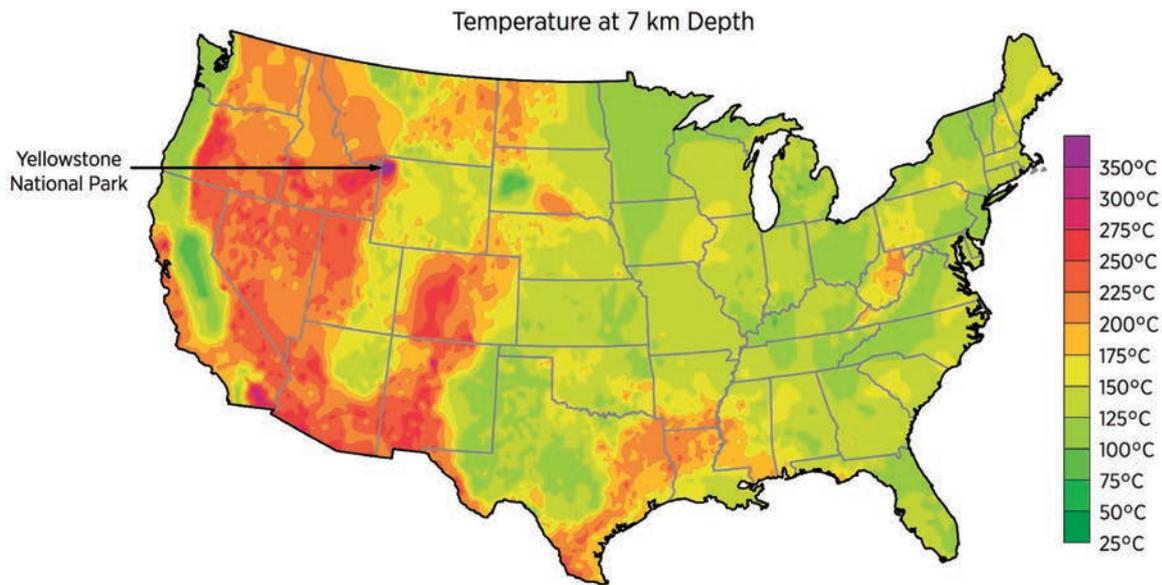
「地熱は、ベースロード電源 (安価で 24 時間安定的に発電できる電源) になり得る、唯一の再生可能エネルギーです」と国立再生可能エネルギー研究所 (National Renewable Energy Laboratory) のジョディ・ロビンズ (地熱技術者) は言う。原子力 (カーボンフリーだが再生可能ではない) も同様の役割を果たせるが、コストや廃

棄物の問題、世間一般のイメージによって、その拡大は制限されている。

米国の現在の地熱発電所は、1970 年代から稼働している。地熱発電所は、一般的にポンプで地下から高温の水や蒸気を地表に汲み上げ、タービンを回して発電する。その後、地下の圧力を維持するために汲み上げた水をポンプで戻し、プロセスを循環させる。

地熱を利用できる主要な場所には、いくつかの共通点がある。熱、亀裂のある岩盤、地下水、それらが互いに近く、地表から数キロメートル以内に存在することだ。しかし現在、米国では西部に集中している最も利用に適した地熱リソースは、すでに利用済みだ。研究者らは、まだ多くの潜在的な地熱リソースが存在すると考えているが、その場所を把握するのは難しい。さらに、米国東部をはじめとする世界の多くの地域では、岩盤が地熱発電所に適していないか、地下水がない。

一部の研究者やベンチャー企業は、地熱利用を新しい場所に展開することで拡大しようとしている。彼らが使う EGS では、不透水性の岩盤にポ



提供：DOE 地熱技術局 [[Courtesy DOE Geothermal Technologies Office]]

ンプで流体物を噴射し強制的に亀裂を作り、地下環境を作り変える。これによって水が自由に移動し、加熱される空間を作り出し、発電に必要な蒸気を発生させる。韓国やスイスで実施された初期のプロジェクトで明らかになったように、このプロセスは地震を引き起こす可能性がある。一方、EGS は米国で広く使われている水圧破碎法と似ているため、リスクはほとんどの場所で管理可能だとロビンズは言う。

EGS によって地熱発電は、従来の地熱利用に必要な地下水や適した岩盤がない地域へも拡大できるかもしれない。

それでも、地熱利用に必要な地下のリソースまでに到達するのは簡単ではない。商業掘削では、通常、7キロメートル以上掘り下げることはなく、

コストの問題から掘削の深さはそれより浅くなる場合も多い。そのうえ、地熱の恩恵を受けられる可能性のある場所をその深さまで掘り下げても、経済的な発電に必要な温度である 150° C を得るには不十分な深さなのだ。十分な温度を得るためにはさらに深く掘り下げる必要があり、そのためには高熱と圧力に耐えられる新しい手法やテクノロジーが求められる。

フェルボは、自社プロジェクトでそれらを綿密に検討している。例えば、2021年初めには、ネバダ州にあるグーグルのデータセンター近くに地熱発電設備を設置するプロジェクトをグーグルと共同で発表した。また最近では、ユタ州中央部で実施されている DOE のプロジェクト「フォージ (FORGE : Frontier Observatory for Research

in Geothermal Energy)」にも参加している。

フォージでは、大学や企業の研究者が、掘削や貯水層の維持など、EGS 導入のために必要な最適な方法を探っている。ユタ州が選ばれたのは、米国内の EGS 発電所の建設地としておよそ典型的な地質だからだ、とエネルギー省地熱技術局 (Geothermal Technologies Office) のローレン・ポイドは話す。

今回のインフラ法案による新しい資金で、エネルギー省はフォージに続く 4 基の実証プラントに資金を提供する。これによって研究者は、フォージとは異なる複数の地質で検証を実施できるため、EGS 施設の設置についての理解を深められる。少なくともそのうちの 1 基は、地熱が一般的ではないと思われている米国東部に建設する予定だ。

一方、地熱技術局のスーザン・ハム局長は、地熱発電の進歩を遅らせているのは技術的な障壁だけではないと話す。地熱発電所の建設に必要なすべての許可を得るのに、最大 10 年かかる場合があるからだ。この事務処理を合理化することで許可に必要な時間を約半分にまで短縮できれば、

2050 年までに予測される地熱利用容量を 2 倍にできる。

地熱プロジェクトの資金調達も課題だ。地熱には風力や太陽光のプロジェクトよりも多くの設備投資が必要になる。風力や太陽光の場合、1 キロワットあたりのコストが 1700 ドルから 2100 ドルであるのに対し、地熱の場合は 1 キロワットあたり 3000 ドルから 6000 ドルもかかる(ただし、地熱発電所の発電量は同じ発電容量の風力や太陽光発電所の 2 ~ 4 倍にもなる)。

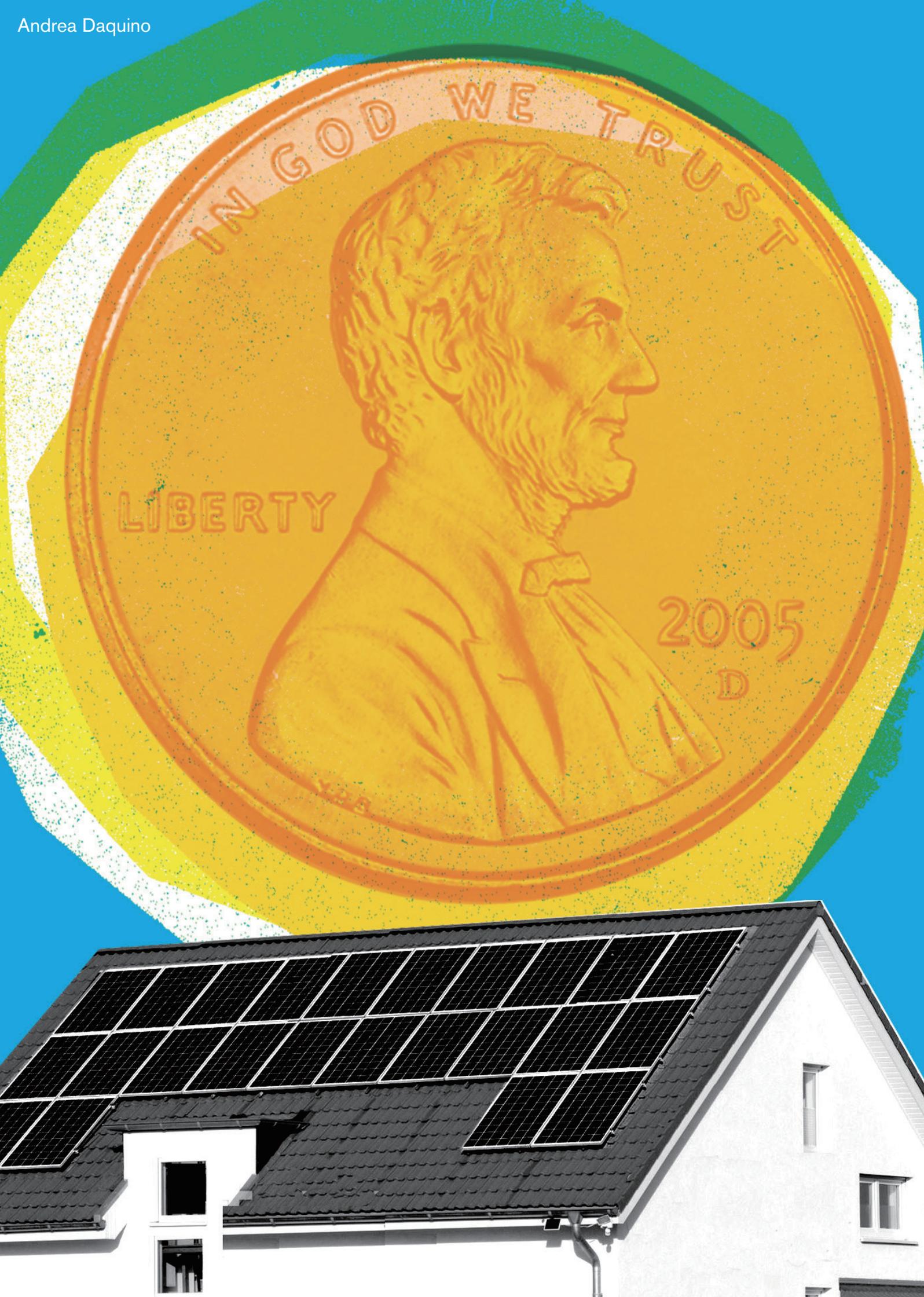
現在、地熱利用には他の再生可能エネルギーと同様、税制上の優遇措置が適用されている。しかし、発電所の建設が始まるまでには 10 年近くかかる可能性があるため、事業者は発電所の稼働準備が整うまで税制上の優遇措置が継続されているかどうかは予測できない。

2019 年のエネルギー省の報告書によると、政策転換とテクノロジーの進歩を組み合わせれば、米国の地熱発電は 2050 年までに 60 ギガワットに達する可能性がある。これが実現すれば、地熱は、米国の全発電量の 0.4% しか占めない現在と比べ

て、9%近くの電力を供給できるかもしれない。

地熱は常時発電可能な、カーボンフリーのエネルギー源であり、その可能性は依然として魅力的だ。低価格化が進み、十分に広範囲な地域に地熱発電を展開できるようになれば、カーボンフリーの送電網を実現するための最後のピースになるとラティマー CEO は話す。「それこそが、私たちが努力して手に入れるのに値するものなのです」。

(Casey Crownhart) **T**



# 太陽光発電、コスト激減で クリーンエネの主演に まだ安くなる？

by Gernot Wagner

太陽光発電の価格はここ 30 年で急激に低下した。

ただ、気候変動に対処できるだけの速さでクリーンエネルギーに移行するためには依然として不十分だ。

太陽光発電は今よりずっと安くなる必要がある。

2007 年の後半に、会社設立から 10 年足らずで、グーグルはクリーンエネルギーの表舞台へと躍り出た。シリコンバレーの内外に響き渡る賛辞の中、グーグルは「RE < C」が目標だと宣言した。つまり、再生可能エネルギー (RE) を石炭 (C) よりも安くするということだった。グーグルが数千万ドルを投資した研究開発は、集光型太陽熱発電から地熱源の採掘にまで及ぶ。だが、4 年後、グーグルはこうした取り組みを放棄した。

これを新規参入の失敗と見るのはあまりに安易な見方だろう。シリコンバレー特有の思い上がりから、巨大テック企業が何も知らない土俵で相撲を取ったのだ、と。だがそこには別の動きがあっ

た。グーグルが戦略を変えたのは太陽光業界の急成長を反映したものだった。グーグルは、自社の技術が適しているのは新たなテクノロジーを発明することではなく、むしろ価格が急落した既存の再エネテクノロジーを巨大規模にスケールアップする方だということに気づいたのだ。

グーグルが研究開発から設置へと舵を切った一方で、同社が今でも間違ったテクノロジーをスケールアップすることに賭けているのはほぼ間違いない。2010 年代初めに、太陽光への競争は太陽電池と実用規模の集光型太陽熱発電 (CSP) が接戦を繰り広げているように見えた。CSP は太陽光で液体を加熱しタービンを回す技術だ。グーグルは数多くの再生可能エネルギー

企業と電力会社に10億ドル以上をすぐさま投資したが、その中にはブライトソース・エネルギー (BrightSource Energy) と e ソーラー (eSolar) という CSP 企業への巨大投資があった。10年経って、この選択が望み薄に見えるのは、コスト急落を続ける太陽電池に CSP も負けているからだ。

ここ20～30年の太陽電池の価格下落と、それが人々のクリーンエネルギーに対する考え方に与える影響を、繰り返し見誤ったのはグーグルだけではない。太陽電池のコストは、すでにその時点で、10年前に比べて驚くほど低下していたが、さらに約10分の1に低下した。1979年にジミー・カーター米大統領がホワイトハウスでソーラーパネルを披露した時から比べると、約100分の1になった(ロナルド・レーガンはこの時のソーラーパネルを大統領2期目の1986年に撤去した)。

大局的に見ると、もしガソリンが1979年の水準から同じような価格下落を起こしたなら、1ガロン(約3.8リットル)の値段は現在1セントになっていただろう。もちろん、ガソリンはテクノロジー、経

済、政治など複数の理由で価格が変動する商品だ。太陽電池の価格もこれらすべての要因に動かされるが、ここ数年では明らかにテクノロジーが優勢だった(今2021年は、シリコンのサプライチェーンが一時的に逼迫したため、太陽電池モジュールの価格が約18%上昇した)。

国際エネルギー機関(IEA: International Energy Agency)は、年次レポート『世界エネルギー展望(World Energy Outlook)』の最新版で、日照条件が良く、資金調達コストが低いなら太陽電池が「史上最安値の電源」になると宣言した。この2つの条件が重要だ。日照条件の重要性は明らかだ。アリゾナ州フェニックスではニューヨーク市より常に太陽光が安くなる。だがこの報告書は、太陽光は現在多くの地域で石炭と天然ガスより安くなっていると結論付けた。

**新たな太陽光発電施設を建設し、稼働中の石炭火力やガス火力発電所を閉鎖してもなお所有者には利益があるほどに、太陽光発電は安くなる必要がある。**

これが正しい理由として資金調達は重要な意味を持つ。太陽電池や風力など他の再生可能エネルギーは運用経費が低いかほぼゼロだが、初期費用が常に大きなハードルとなる。資金調達が重要となる理由はそこにある。政府のさまざまな政策のおかげもあって、太陽光への投資はここ十年ぐらいの間にリスクがずっと低くなり、低金利の融資が得やすくなった。

その結果、太陽電池の設置は急速に進んだ。今や太陽光は世界で最も急成長している電源で、それがここしばらくは続くと思われる。しかし、太陽光は小さい設備容量から始まっており、石炭・ガス・水力・原子力にははるかに及ばず、長らく安価な電源だった風力にさえ及ばない。ここに太陽電池の最大の問題がある。多くの人々にとって太陽光は最安値の電源かもしれないが、それだけでは十分な速さでクリーンエネルギーへの移行はできない。

さらなるテクノロジーの進歩が必要だ。太陽電池を建設し運転するコストが化石燃料エネルギー源で発電するのと同じくらい安くなる「グ

リッド・パリティ」に達した時点で、コストダウンが止まる必要があるだろうか？さらに10%安くなったらどうだろう？10年以内でさらに10分の1にコストダウンするよう努力してはどうだろう？このような価格低下が必要なのは、グリッド・パリティという神聖化された目標は誤解を招くものであるからだ。本当の問いは、電力会社が単に石炭火力の新增設を避けるにとどまらず、既存の石炭火力発電所を実際に放棄して太陽光に切り替えるのはどの時点かということだ。新たな太陽光発電施設を建設し、稼働中の石炭火力やガス火力発電所を閉鎖してもなお所有者には利益があるほどに、太陽光発電は安くなる必要がある。

そのためには、既存の太陽光テクノロジーを推進するとともに、新たなテクノロジーの研究開発を支援する政策がなんとしても必要になる。このような総合政策にはテクノロジーの研究・開発・実証・設置・普及が含まれる。各段階をひとつ進むごとにますます多額の資金を要することを考えれば、すべての段階が政府の直接支援に値する。

### コストダウンの方法

太陽エネルギーをさらに安くするため投資を最適化するため、過去 20～30 年でどんな要因が再生可能エネルギーのコストを下げてきたかを理解しておく価値はある。

マサチューセッツ工科大学 (MIT) のエネルギーシステム科学者であるジェシカ・トランシック教授の研究チームは、この 30 年間で太陽電池のコストが劇的に低下したのには主に 3 つの要因があったことを見い出した。研究開発がモジュール効率（つまり太陽光の何パーセントが電気に変換されるか）の向上など基本的な技術進歩に直接結びついたこと、太陽電池製造工場の大規模化とシリコンのような材料の量が増えたことによるスケールメリット、そして実践から学んだことによる改善だ。

これはどれも驚くようなことではないが、あまり良く知られていないのは、それぞれの相対的な寄与度は時とともに変わるということだ。1980 年から 2000 年までは、研究開発がコスト

低減の約 60% を占め、次にスケールメリットが 20%、実践からの学習がずっと離れた第 3 位の 5% で、その他の大部分は原因不明の要因が占めている。これは理解できることだ。この期間に太陽電池の効率は驚くほど進歩したが、製造と設置が大きく進んだ時期ではなかった。その後、研究開発とテクノロジーの基礎的な改良から製造でのスケールメリットへと振り子は大きく振れ、現在では製造がコスト低減の 40% 以上を占めている。しかし、研究の進歩が今でもコスト低減の約 40% に寄与していることは注目し値する。

政府は政策によってこれら 3 つの要因すべてを直接支援すべきだが、太陽光のさらなるコストダウンを目指す将来の投資への教訓は、スケールメリット要因に注力すべきだということだ。トランシック教授の知見は太陽電池モジュールのみを考慮したものであり、設置、送電網への接続、その他システムコスト全体を構成する要因が抜け落ちている。これらは技術者と企業が経験を積むことで改善が見込まれる分野だ。太陽電池の設置を促進する補助金はひいき目に見ても功罪半ばの結

果に終わったように見える。だが、太陽電池製造業者に有利な長期契約を提供する固定価格買い取り制度（FIT）や、再生可能エネルギーの量的目標を定める再生可能エネルギー供給義務化基準やクリーンエネルギー基準のような政策は、設置される発電容量の総量を押し上げる明確な結果を示している。

### うまい話は無い

太陽光の価格が下がっているにもかかわらず、再生可能エネルギーへの移行にはまだコストがかかる。ここでの問題提起はもちろん、何に比べてコスト高なのかということだ。気候変動もコストを招く。化石燃料からの二酸化炭素排出が招く社会・環境的なコストを考慮すると、安い太陽光は開発業者にとってますます経済的に魅力あるものとなる。

ここでの多くは炭素の社会的費用（SCC）にかかっている。SCCは現在1トンの二酸化炭素を排出することで経済・社会・環境に与える経済

的損失のことで、この延長線上で考えると、1トンの二酸化炭素排出がいくらのコストであるべきかという勘定になる。この数字は石炭などの化石燃料の真のコストをよく表しており、太陽電池などの再生可能エネルギーに対する適切な支援がどれほどなのかを示すものだ。

バイデン政権が計算した最新の米国 SCC は、現在の二酸化炭素排出1トンあたり約50ドルとする。だがそれが過小評価なのは確かだ。二酸化炭素排出で将来起こる損害や、気候変動の不確実性をすべて考慮すると、SCCは二酸化炭素1トン当たり300ドル以上になると計算する人もいる。

どちらの数字を取ったとしても、温室効果ガスの排出が招くコストを全て考慮するなら、石炭・石油・天然ガスは遥かに高くつく。そのとき初めて、低炭素テクノロジーは化石燃料と同じ土俵に乗ることになる。

税金や排出権取引制度を通じて炭素に明示的な価格を付けることは、そのような段階の1つとなるべきだが、そこで立ち止まってはならない。1つとして、再生可能エネルギー供給義務化

基準やクリーンエネルギー基準も加味して炭素に値段を付けることがある。現在の米国の州レベルでの再生可能エネルギー供給義務化基準は、二酸化炭素1トンあたり約60～300ドルの炭素価格に相当し、SCC推定値の範囲に十分収まっている。バイデン政権が提案する「米国雇用プラン(American Jobs Plan、8年間で2兆ドルを米国のインフラに投資するという提案)」の一環である連邦クリーン電気基準は、似たような範囲にあり、最新のSCC範囲に基づいて同様に正当化されるだろう。

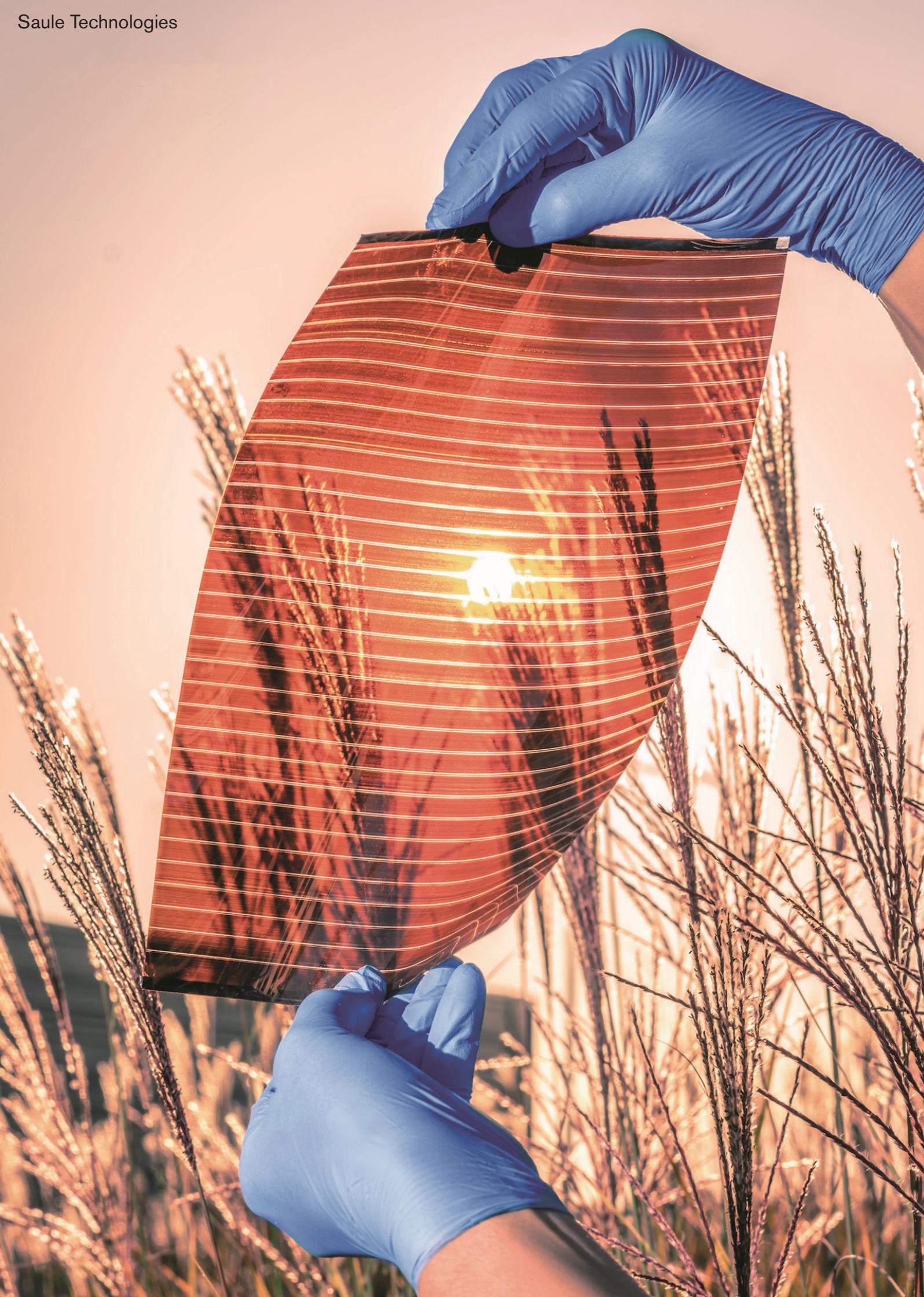
このような連邦クリーン電気基準は太陽電池やその他の再生可能エネルギーにとって本物の朗報となるだろう。しかし、気候政策は炭素の値付けで終わってはならない。太陽光発電の設置と研究開発支援に対する直接の補助金を含めることも必要である。

最も生産性の高い一連の政策はこのようになるだろう。まず、再生可能エネルギーのコストを押し下げて高炭素燃料からの代替手段が経済的に成り立つようにする。次に、直接価格やクリー

ン電気基準のようなものを通して炭素を値付けする。この2つの組み合わせにより、再生可能エネルギーの大規模な設置が急速に進むはずだ。いろいろな意味で、それがまさに今まで起こってきたことであり、どんな形で実現するにせよ、炭素に値段を付けるよう、バイデン政権などによる後押しが必要なことを明らかに示している。

だが、ずっと安い太陽電池を目標とするのであれば、太陽電池の効率をさらに向上させ、製造方法の進歩でさらなるコスト低減を可能にするための研究開発を促進することも重要となる。また、いつの日かもっと高効率で安価なものとなる他の太陽電池材料を探し求めて、科学の最先端の追求を続けることも重要だ。

太陽電池は安価だが、タダではない。もっと安くするために対価を払うのは割に合うことだ。■



# ペロブスカイト太陽光電池、 実用化へ数社が名乗り

by Casey Crownhart

シリコン太陽電池より安価で高効率な太陽電池を作れると期待されているペロブスカイトは、不安定であることが実用化の課題となっている。

しかし最近になり、その課題を解決したとする企業がいくつか現れている。

**研**究室でペロブスカイト（灰チタン石）太陽電池の試験をするときは、ランニングシューズを履く必要があったものだ。ペロブスカイト材料はあっという間に崩壊してしまうため、科学者は太陽電池を作った場所から試験場まで駆け足で移動し、太陽電池が持った手の中で分解する前（通常は数分以内）に性能を測定しようとした。

安価で高効率な太陽電池を実現できる可能性を秘めたペロブスカイトは、長い間研究者を魅了してきた。そして現在、複数の企業が商用ペロブスカイト太陽電池の大量生産に向けて大きく前進している。

しかし、ペロブスカイトは不安定なことから、屋根や発電所への応用が危ぶまれてきた。少なくとも 2021 年中に試験的な製品を市場に投入できるくらいには課題を解決したと言っている

企業はいくつかあるが、依然として懐疑的な研究者もいる。

「私に『間違いなく安定した効率的なものとなり、市場を席巻するでしょう』と発言してほしい人がいる人たちがいます」と語るのは、米国立再生可能エネルギー研究所（NREL）でペロブスカイト研究プログラムを率いるジョセフ・ベリー博士だ。「そう信じる自分もいますが、科学者としての自分は『私にはそれを証明するデータがない』と考えています」。

## 太陽光を吸収する

ペロブスカイトは、安価で、大量生産も比較的容易な合成材料だ。光起電で一般的に使用されているペロブスカイトは、ハロゲン化メチルアンモ

## Can the most exciting new solar material live up to its hype?

ニウム鉛のようなものが多いが、ペロブスカイトと同じ結晶構造をもつ材料は何千種類も存在する。柔軟性のあるベース素材にペロブスカイトを塗布（コーティング）すると、軽量で曲げられる薄膜太陽電池を作ることができる。

ここ数十年の間にいくつかの新しい光起電材料が登場したが、シリコンが主流の市場に大きな影響を与えたものはない。シリコンは既存の太陽電池の約 95 パーセントを占めている。

ポーランドの首都ワルシャワに本社を置くサウレテクノロジー (Saule Technologies) をはじめ、一部のペロブスカイト企業はシリコンから完全に脱却しようとしている。2014 年創業の同社は、柔軟なプラスチックで覆われたペロブスカイト系太陽電池を製造するためのインクジェット印刷プロセスを開発した。サウレテクノロジーの太陽電池を集積した太陽光パネルの重さは、同じサイズのシリコン系太陽光パネルの約 10 分の 1 だ。

サウレテクノロジーは 2021 年 5 月に、年間約 4 万平方メートルのパネルを生産できる工場を開設した。これは、約 10 メガワットを発電するの

に十分なサイズだ（シリコン太陽電池の製造工場には、その数百倍の規模のものもある）。

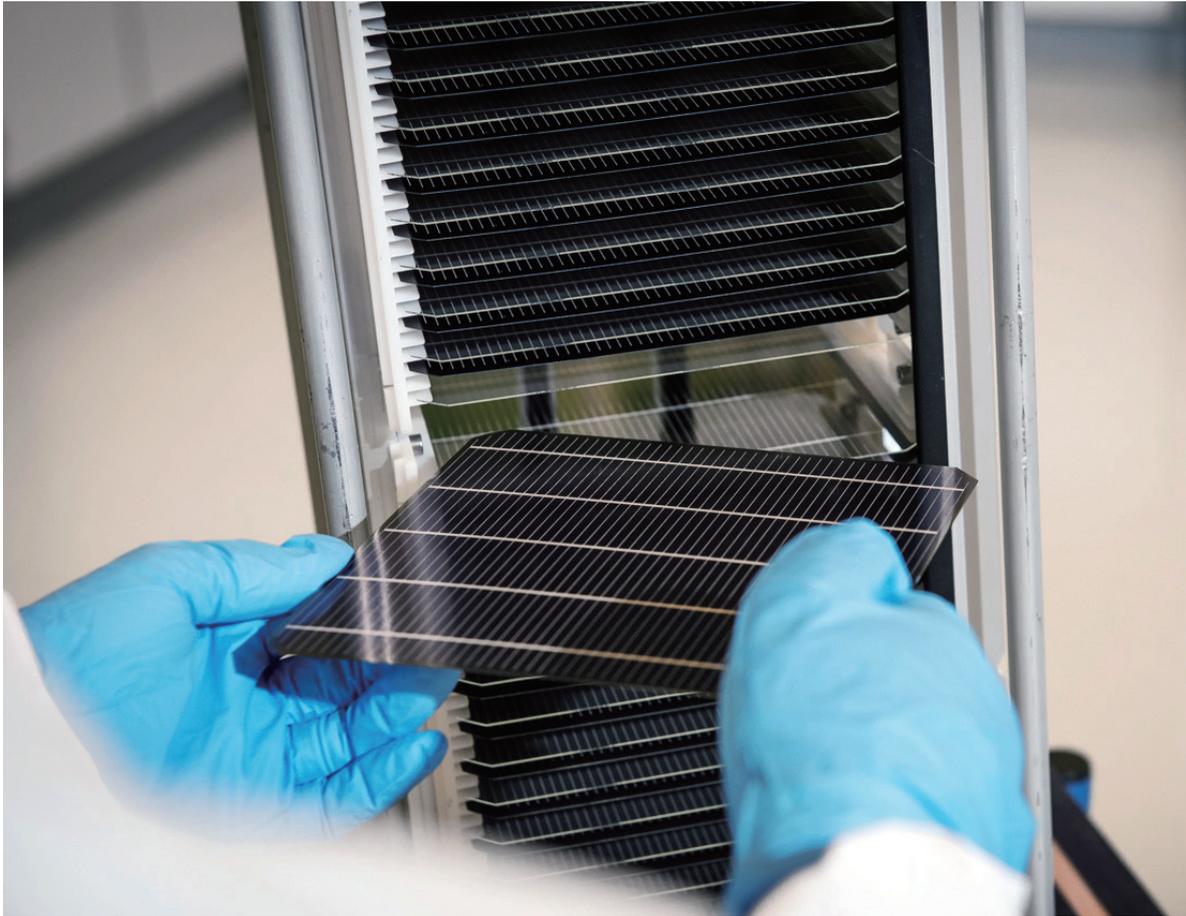
ペロブスカイトは高効率を実現する可能性を秘めている（ペロブスカイト単体の太陽電池の変換効率の世界記録は 25% 強）。だが、現在最も性能の高いペロブスカイト太陽電池のほとんどは、幅 1 インチ（約 2.5 センチメートル）にも満たないとても小さなものである。

スケールアップすると達成可能な最高効率に到達することが困難になる。現在、サウレテクノロジーの太陽光パネルは幅 1 メートルで、変換効率は約 10% に達している。これは、通常約 20% の効率を実現する同サイズの市販のシリコン太陽光パネルと比べるとかなり見劣りする。

サウレテクノロジーの創業者兼最高技術責任者 (CTO) であるオルガ・マリンキエヴィツ博士は、同社の目標はペロブスカイト単体の太陽電池を世に送り出すことであり、ある程度安価であれば変換効率の低さは問題にはならないだろうと語る。

サウレテクノロジーは、シリコン太陽光パネルでは対応できないところを目指している。重いガ

## Can the most exciting new solar material live up to its hype?



オックスフォード PV は、ペロブスカイトとシリコンを組み合わせることで高効率の太陽電池を開発している（写真提供：オックスフォード PV）

ラスで覆われた太陽光パネルの重量に耐えられない屋根や、同社が現在試験中のソーラーブラインドのようなより特殊な用途だ。

サウレテクノロジーがよりニッチな用途向けの薄膜製品を発売する一方で、他の企業は独自の戦略でシリコンを打ち負かすか、少なくともシリコンと競合しようとしている。英国のオックスフォード PV (Oxford PV) は、ペロブスカイトを取り入れてペロブスカイトとシリコンを組み合

わせた太陽電池を作っている。

シリコンは可視スペクトルの赤寄りの光を吸収するが、ペロブスカイトは異なる波長を吸収するように調整できる。そのため、シリコン太陽電池の上にペロブスカイトをコーティングすることで、シリコン単体の太陽電池よりも高い変換効率を実現できる。

オックスフォード PV のハイブリッド型太陽電池は、シリコン単体の太陽電池のように重くて硬

## Can the most exciting new solar material live up to its hype?

い。ただし、サイズと形状が同じなので、新しい太陽電池は屋根上の太陽電池アレイや太陽光発電所のパネルに簡単に組み込める。

オックスフォード PV の CTO であるクリス・ケース博士は、同社はシステムの設置と寿命全体にわたる運用コストを示すための指標である均等化発電原価 (LCOE : levelized cost of electricity) の低減に注力していると言う。シリコンの上にペロブスカイトを重ねると製造コストが増加するが、このハイブリッド型太陽電池の方が効率が高いため、均等化発電原価は時間の経過とともにシリコンを下回るはずだとケース CTO は説明する。オックスフォード PV はここ数年、この種の太陽電池の変換効率で世界記録をいくつか樹立しており、最近では 29.5% を達成している。

中国浙江省の首都杭州に本拠を置く中国のペロブスカイト企業であるマイクロクオンタ・セミコンダクター (Microquanta Semiconductor) も、シリコン系太陽電池からヒントを得ている。同社は、ペロブスカイトで作られたガラスで覆われた硬い太陽電池を使って太陽光パネルを製

造している。

マイクロクオンタは 2020 年に試験工場を開設し、年内には 100 メガワットの製造能力に達するはずだと同社の CTO であるブイ・ヤン博士は言う。同社は、中国全土の複数の建物や太陽発電所にデモ用の太陽光パネルを設置している。

### 安定性の問題を解決

ペロブスカイトの安定性は、数年の間に、分単位から月単位へと向上した。しかし、現在設置されているほとんどのシリコン太陽電池の保証期間は 25 年程度であり、ペロブスカイトがそこに到達できるかどうかはまだ分からない。

ペロブスカイトは特に酸素と湿気に敏感で、それが結晶内の結合を妨害し、電子が材料内を効率良く移動するのを阻害することがある。研究者はペロブスカイトの寿命を延ばすために、反応性の低いペロブスカイト材料を開発したり、ペロブスカイトのパッケージ化を工夫したりしてきた。

オックスフォード PV、マイクロクオンタ・セ

## Can the most exciting new solar material live up to its hype?

ミコンダクター、及びサウレテクノロジーはすべて、少なくとも最初の製品を販売できるくらいには安定性の問題を解決したと述べている。

太陽電池の長期的な性能を推定するには通常、太陽電池または太陽光パネルを非常に過酷な条件下に置いて長期間に起こる劣化をシミュレートする「加速試験」を実施する。屋外用シリコン系太陽電池の試験で最も一般的なものは「IEC 61215」と呼ばれる一連の試験だ。

オックスフォード PV とマイクロクオンタはどちらも、IEC 61215 の太陽電池の性能に関する一連の試験に合格している。サウレテクノロジーはその一部の試験に合格しているが、湿度試験など残りのいくつかの試験に取り組んでいる段階だとマリンキエヴィツ CTO は言う。

IEC 61215 のすべての試験に合格すると、シリコン系太陽光パネルの場合は通常、少なくとも 25 年は使用できるとみなされる。だが、研究者らによると、ペロブスカイトなどの新しい材料にも同じ相関関係が当てはまるかどうかは定かではない。

オックスフォード PV は、ペロブスカイト構造を持つ数千の化合物の一部をスクリーニングして安定性の高いものを見つけ出した。同社は性能の詳細情報を開示することを控えたが、自社製品がシリコン系太陽電池と同様の寿命を持つと「100%」確信していると、ケース CTO は言う。同社は 2019 年 12 月に、中欧のある屋根の上に試験用太陽光パネルを設置した。ケース CTO によると、同社のペロブスカイト層をコーティングした太陽電池を集積したこの太陽光パネルはこれまでのところ、比較のために設置した市販のシリコン太陽光パネルと同じ劣化を示しているという。

マイクロクオンタのヤン CTO によると、同社は 2020 年 2 月に屋外に試験用太陽電池を設置したが、現在も設置時と同じピーク電力を実現しているという。

製品の安定性を向上させるために、サウレテクノロジーは太陽電池内の金属接点やペロブスカイト層に変更を加えた。同社の第 1 世代のプラスチックで覆われたペロブスカイト系太陽電池には、最低 10 年間の性能保証が付くことになると

## Can the most exciting new solar material live up to its hype?



マイクロクオンタは中国全土の建物や電力発電所で太陽光パネルの実証をしている  
(写真提供：マイクロクオンタ・セミコンダクター)

マリンキエヴィツ CTO は言う。シリコン系太陽電池の方が長持ちするが、低価格と設置の容易さから、短い寿命でも顧客に受け入れてもらえると同 CTO は期待している。

このような主張に納得していない研究者もいる。「私が知る限り、安定性の課題は十分には解決されていません」と語るのは、インディアナ州にあるパデュー大学のペロブスカイト研究者であるレティアン・ドウ助教授だ。ドウ助教授は、ペロブスカイト企業は材料開発を公開していないため、何をしようとしているのかを見極めるのは難しいと語る。だが、IEC61215 のような外部試験に合格することは有望であると付け加えている。

ドウ助教授の研究室は、ペロブスカイトのテクノロジーに残された問題点のいくつかを解決するための資金提供先として米国エネルギー省から最近選ばれた研究室の1つだ。同省は 2021 年 3 月、ペロブスカイトの研究を支援するために、主にペロブスカイト材料の安定性を向上し、製造を容易にすることに焦点を当てたプロジェクトに対して 4000 万ドルの助成金を出すことを発表した。

ペロブスカイト系太陽電池への資金提供と注目は増えているが、シリコンと競合、あるいは共存できるかは時間が経たなければわからない。それでも、研究者はより安価で利用しやすい太陽光発電を実現できると楽観的な見通しをもっている。「良

## Can the most exciting new solar material live up to its hype?

い兆候ばかりです」と米国立再生可能エネルギー研究所のベリー博士は言う。

ただし、何年もかけて研究したとしても、この分野に取り組む企業は多少の不確実性を受け入れなければならないとベリー博士は付け加える。「最先端にいたいのであれば、ある程度のリスクは覚悟しなければなりません」。

## 初出一覧

国連 IPCC 最新報告書、温暖化防止のカギは炭素除去テクノロジー (2021.08.12)

<https://www.technologyreview.jp/s/253262/the-un-climate-report-pins-hopes-on-carbon-removal-technologies-that-barely-exist/>

COP26 開幕も、「国連任せ」には限界 気候対策を加速する方法 (2021.11.04)

<https://www.technologyreview.jp/s/259885/the-glasgow-climate-talks-will-fall-short-here-are-other-ways-to-accelerate-progress/>

インドが「2070年に排出ゼロ」を宣言、転換期を迎えた気候対策 (2021.11.08)

<https://www.technologyreview.jp/s/260336/indias-2070-net-zero-pledge-is-achievable-appropriate-and-right-on-time/>

カーボン・オフセットの闇気候対策の優等生で判明したゴースト・クレジットの実態 (2021.06.15)

<https://www.technologyreview.jp/s/242183/the-climate-solution-actually-adding-millions-of-tons-of-co2-into-the-atmosphere/>

地球温暖化抑止にはメタン削減が効果的、だがどうやって? (2021.09.29)

<https://www.technologyreview.jp/s/257524/pulling-methane-out-of-the-atmosphere-could-slow-global-warming-if-we-can-figure-out-how-to-do-it/>

テスラ 7 人目の電池ベンチャー、「5 日持つ」ガジェットに材料供給 (2021.09.10)

<https://www.technologyreview.jp/s/256186/lithium-ion-batteries-just-made-a-big-leap-in-a-tiny-product/>

忘れられた再エネ「地熱」、米インフラ投資で汚名返上なるか? (2021.12.15)

<https://www.technologyreview.jp/s/263197/what-it-will-take-to-unleash-the-potential-of-geothermal-power/>

太陽光発電、コスト激減でクリーンエネの主役に まだ安くなる? (2021.07.08)

<https://www.technologyreview.jp/s/249396/cheaper-solar-pv-is-key-to-addressing-climate-change/>

ペロブスカイト太陽光電池、実用化へ数社が名乗り (2021.07.02)

<https://www.technologyreview.jp/s/249247/can-the-most-exciting-new-solar-material-live-up-to-its-hype/>



MIT テクノロジーレビュー Special Issue Vol.39

Zero-Carbon

「脱炭素」はホンモノか?

2022年1月11日発行

翻訳・編集 MIT テクノロジーレビュー編集部

デザイン 佐藤卓 (佐藤工芸)

発行 株式会社角川アスキー総合研究所

東京都千代田区五番町 3-1

カスタマーサポート [customer-service@technologyreview.jp](mailto:customer-service@technologyreview.jp)

※ e ムックに関するご質問、お問い合わせは受け付けておりません。

©2022 MIT TECHNOLOGY REVIEW Japan. All rights reserved. No part of this issue may be produced by any mechanical, photographic or electronic process, or in the form of a phonographic recording, nor may it be stored in a retrieval system, transmitted or otherwise copied for public or private use without written permission of KADOKAWA ASCII Research Laboratories, Inc.

本書のいかなる部分も、法令または利用規約に定めのある場合あるいは株式会社角川アスキー総合研究所の書面による許可がある場合を除いて、電子的、光学的、機械的処理によって、あるいは口述記録の形態によっても、製品にしたり、公衆向けか個人用かに関わらず送信したり複製したりすることはできません。