

# MIT Technology Review

Published by KADOKAWA / ASCII



## Clean Energy

気候変動の脅威にテクノロジーは何ができるのか



# CONTENTS

- 001 なぜいまずぐ  
気候変動対策に取り組まなければならないのか
- 002 地球温暖化の最悪シナリオの現実性が高まる、  
米研究所が検証
- 003 二酸化炭素を完全に回収、  
「未来の火力発電所」が稼働
- 004 原発産業の復興なるか？  
米国初の小型原子炉建設へ
- 005 クリーン・エネルギーでも  
地元住民のジレンマは変わらない
- 006 連続起業家の MIT 教授、  
フロー電池で化石燃料に挑む
- 007 電池材料会社がスタートアップの墓場で目指す  
「作らない」成功モデル
- 008 1400 度の液体金属を運ぶポンプ、  
再生可能エネの課題解決へ前進
- 009 再生可能エネの超新星  
「蒸発駆動エンジン」とは何か
- 010 気候変動の最終手段  
「地球工学」の使用を誰が決断するのか？

2017年6月1日、トランプ米大統領は、気候変動対策の国際的な枠組み「パリ協定」からの離脱を発表しました。気候変動をめぐる疑問を呈したり、各種施策に反対したりする動きがある一方、巨大なビジネスチャンスとして捉え、新たなテクノロジーの開発競争も活発化しています。米国がパリ協定を離脱したとしても、二酸化炭素回収技術や小型原子力発電、再生可能エネルギーの安定稼働に必要な蓄電技術など、エネルギーをめぐるイノベーションは止まらないでしょう。このeムックは、MITテクノロジーレビューが2017年4月～12月にかけて報じた、気候変動対策に関連するテクノロジー動向を中心にまとめたものです。

## Global Warming May Harm Children for Life



# なぜいまずぐ気候変動対策に取り組まなければならないのか

by James Temple

Photo by URIEL SINAI | GETTY IMAGES

米国で生まれた 1200 万人についての新たな分析から、幼児期における酷暑日の体験日数と、成人後の所得には関係があることがわかった。地球温暖化を放置しておく、私たちの孫の世代の経済生産性に有害な影響を及ぼす可能性がある。

**多**くの研究は次のように結論づけている。地球の気温の上昇は熱性ストレスや熱射病のリスクを上昇させ、生産性や経済生産高を減少させ、世界的な貧富の格差を拡大し、より激しい暴力を誘因する。

スタンフォード大学、カリフォルニア大学バークレー校、米国財務省の研究者による新しい研究は、極度の暑さはたとえ短期間であっても、子どもと子どもの将来の経済面に長期的な影響を与える可能性があることを提唱している。12月4日に米国科学アカデミー紀要に発表された論文によると、産まれる前の期間を含めて、個人の幼児期における酷暑はその子どもの30年後の収入に影響する可能性があるという。受胎から1歳までの間に、摂氏32度強あるいは華氏90度弱にまで気温が上がる日が1日あるごとに、30歳における平均所得が0.1%減少する。

論文では、高い気温がどのようにして低所得に結び付くのかという難しい問題に直接は取り組んでいない。胎児と乳幼児は「温度調節機能と交感神経系が完全には発達していないため、高い温度に特に敏感である」と注記するにとどめている。先立つ研究のいくつかは、幼児期における極端な気温を出生率低下と乳幼児死亡率の上昇に関連付けている。そして研究分野全体は、胎児期から乳幼児期における健康面での衝撃が成人期に与える影響を追跡する「健康と病気の発育上の起源 (DOHaD : developmental origins of health and disease) パラダイム」の周辺で発展してきた。

より高い気温が、結果的に成人してからのより低い収入にもしかするとつながる可能性がある道筋はいくつかある。認識力の減退、健康面での継続的な問題により学校や職場を休む日が増えること、さらに、野心、自己主張、あるいは自制心といっ

た非認知的な特性も含まれるかもしれないと、論文の共著者であり、スタンフォード大学保健研究・政策学部のマヤ・ロッシン＝スレーター助教授は話す。

もっと大きな危機がある。それは地球温暖化により、平均気温が摂氏 32 度を超える日がこれからさらに増えるだろうということだ。同研究が引用した国際連合の過去の報告によると、米国の郡平均で現在のところそのような日が 1 年に 1 日あるのが、2070 年頃までに年間 43 日に増加するという。

### 幼児期の酷暑日と将来の年収に相関

年間 5 万ドル稼げたはずの労働者で考えてみよう。幼児期の 21 カ月間に酷暑日が 1 日あると、給与が 50 ドル減ることになる。たいした額ではないと思えるかもしれないが、酷暑日が 43 日になると、給与の減少額は 2150 ドルになる。この金額をそうした出来事を経験するすべての人の数で掛算すると、ただちに巨額な経済的影響へと膨

れ上がる。市民の大部分が本来稼げたであろう全額を達成できないということは、生産性と経済生産高の総合的な低下を意味する。

これらはすべて、高い気温による経済への直接的な影響に上乗せされる。直接的な影響とは、他の研究によると、主として人間の生産性と農業生産である。カリフォルニア大学バークレー校のソロモン・シアン教授（公共政策）らの 2015 年のネイチャー誌の論文によると、気候変動を放置しておく、2100 年までに世界の平均所得が約 23% 減少する可能性があり、世界の最も貧しい国々では 75% 減少するかもしれないという。温暖化を原因とするハリケーンや海面上昇などによる経済への破壊的な影響を除いてである。

「気温の上昇は現在の経済生産性に数々の有害な結果をもたらすことはわかっています。それは酷暑が起きている時点での話です」と、シアン教授は MIT テクノロジーレビュー宛の電子メールで述べている。「しかしこの研究は、現在の高い気温が遠い先まで労働力を弱めることで経済生産性を減少させるという新しい面を実証していま

す」。

少なくとも特定の国々、そして特定の集団にとっての朗報は、冷房によりこうした影響をほとんどすべてを取り除けるということだ。これは、米国全土の冷房普及率の上昇を経年的に捉えた国勢調査データを分析した結果に基づいている。しかし、このことは地球の気温の上昇が貧困な国々に偏って損害を与えるであろうことや、もしくはすでに損害を与えているということにほかならない。

「暑い気候帯にあり、冷房がない貧しい国々では、さらに過酷な影響があると想像できます」とロッシン＝スレーター助教授はいう。

今回の研究は、米国で1969年から1977年の間に生まれた1200万人の人々について、米国国勢調査局の「長期雇用者世帯変遷（Longitudinal Employer Household Dynamics）プログラム」から新たに入手可能になった成人の収入情報を組み合わせて分析した結果である。「微細スケール」で毎日の天候データや郡レベルでの出産情報を使うことで、気温の影響だけを分離して他の変数を

調整しようと努めた。

「この研究は、今後数十年で起こる気候変動が私たちの孫の世代に与え得る影響を一目瞭然に示しています。たとえ遠い未来の人びとが地球の気温を再び引き下げる方法を見つけ出したとしてもです」（シアン教授）。**+**



## 地球温暖化の最悪シナリオの 現実性が高まる、米研究所が検証

地球温暖化に関しては、気候モデルに内在する不確実性を理由に、  
危機の存在に疑問を呈したり、各種施策に反対したりする動きもある。

米国の研究者が人工衛星の観測データと照らし合わせて多様な気候モデルの予測性能を検証したところ、  
最も正確なモデルが最も大幅な気温上昇を予測していることが明らかになった。

実際の気象観測データと照らし合わせて気候モデルの予測性能を検証した最新の研究によると、地球温暖化に関する最悪の予測が現実のものとなる見込みが高まっている。

2017年12月6日付のネイチャー誌に掲載された研究論文によると、国連の「気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）」の温室効果ガス濃度上昇予想のうち、最も急激なものに基づいて予測した場合、地球の気温は今世紀末までに摂氏5度近く上昇する可能性があることがわかった。前

回の予測を15%上回る数値である。新たな分析結果では、「旧態依然」シナリオと呼ばれる状況下で2100年までに地球の気温が4度以上上昇する確率が62%から93%に増大した。

気候モデルとは、さまざまな要因が気候に及ぼす影響を評価するための高度なソフトウェアによるシミュレーションのことだ。科学者たちは今回の研究のために10年以上の衛星観測データを集め、雲や雪、氷などに反射して宇宙空間に戻される太陽光線の量、地球から逃げていく赤外線量の量、地球の大気におけるエネルギーの流入・放出

の総合的なバランスを調査した。次に、「大気圏外」で観測されたデータを各種気候モデルから得た予測結果と比較し、人工衛星による実際の観測結果をどのモデルが一番正確に予測したかを決めた。

気候システムを出入りするエネルギー流量の現実の観測結果に最も近い結果を出したのは、今世紀に見込まれる上昇気温として最も高い数値を予測したいくつかのモデルであった。特筆すべきは、これらのモデルは、雲を通過して入っている放射が徐々に増加するとの予測を示していることが明らかになったことだ。要因はおそらく、雲の被覆率あるいは反射性の低下だと考えられる。「近年の気候変動を最もよくシュミレートできているのが、これらのモデルなのです」と論文の筆頭著者である、カーネギー研究所の博士研究員のパトリック・ブラウン博士は語る。気候モデルにおいて、雲によるフィードバック現象は依然として最も不確実性がある分野だ。

多大な影響力を持つ国連の IPCC 報告書は、さまざまな研究機関による多数のモデルをもとに作成され、4つの主要な排出量シナリオに基づい

て幅広い温暖化予測を立てている。今回の研究のもう1つの重要な発見は、2番めに低い排出量のシナリオに基づいて算出された2100年までの温暖化予測が、前回2番めに高い排出量のシナリオに基づいて算出された予測結果と同じになる可能性が高いということだ。実際、前回の予測結果を維持するには、今世紀中に世界全体の二酸化炭素排出量をあと800ギガトン減らさなければならない（それとは裏腹に、昨年温室効果ガス総排出量は約49ギガトンに達した）。

さまざまな政治家、化石燃料の圧力団体、評論家などが、気候モデルに内在する不確実性を理由にして、気候変動の危機に疑問を呈したり、強気な環境政策や排出量軽減の取り組みに反対したりしてきた。

「この研究はそういった論法を突き崩すものです」とブラウン博士は語る。「気候モデルには課題点もあります。しかし、最も正確なモデルが最も大幅な気温上昇を予測しているのです」。

以前の予測より大規模な影響を予想したり、気候変動が従来考えられていたより急速に進行して



いると結論したりする論文は増加傾向にある。今回の研究はそういった一連の論文のうち最新のものだ。

ブラウン博士は論文の発表に際して投稿したブログ記事で、今回の研究の目的は「気候モデルの不確定性の幅を狭め、良い予測結果と悪い予測結果のどちらにより現実性があるかを評価する」べく、多様な気候モデルがどれくらいうまく機能するかを評価することだったと書き記した。

カーネギー研究所の気候研究者で論文の共同執筆者のケン・カルデイラ博士は、気候変動の根拠となる観測データが増えており、気候モデルを改良したり、特定の用途に対してより信頼性の高い気候モデルを作成するのに役立っていると述べた。

そうした中で浮上してきた課題は、気候モデルが予測しなかった出来事が現実世界で起こっており、気候変動がモデルの改良を上回る速さで進んでいることだ。とりわけ、北極海の氷は気候モデルでは説明のつかない速さで急速に溶け出しており、シュミレーションが温暖化プロセスを完全に

は把握しきれていないことが伺える。

「研究者たちは、将来何が起こるのかの予測から、これまでに何が起こったのかを説明付ける方向へと方針を転換しつつあります」とカルデイラ博士は語る。📍 (James Temple)



# 二酸化炭素を完全に回収、 「未来の火力発電所」が稼働

by James Temple

Photo courtesy of Net Power

火力発電で発生する二酸化炭素をすべて回収できる

「アラム・サイクル」方式の実証実験用発電所が稼働した。

二酸化炭素回収をめぐる多くの失敗が繰り返されているが、

成功すればクリーン・エネルギー技術が抱える問題を一気に解決できるかもしれない。

**ヒ**ューストンとメキシコ湾岸の間にある、石油化学工場やガスパイプラインが建ち並ぶ工業地帯の中の小さな区画で、ある知名度の低い企業による実証実験用発電所が完成しようとしている。この発電所は、正真正銘のエネルギー革新となるかもしれない。

期待どおりに稼働すれば、ネット・パワー（Net Power）が1億4000万ドルで建設した50メガワットの天然ガス発電所は、発電で発生するすべての二酸化炭素を膨大なコストをかけずに効果的に回収できる。温室効果ガス自体で発電タービンを回すからだ。この技術によって新世代の発電所は、原子力発電が抱える開発リスク、水力発電の

地理的制限、太陽光や風力発電の安定供給といった問題抜きで、クリーンな電力を供給できるかもしれない。重要なのは、将来的にこのタイプの発電所は、米国内の安い天然ガスの豊富な供給を当てにできるかもしれないことだ。

「発表どおりに事が運ぶのであれば、大変革を引き起こす可能性があります」とMITエネルギー・イニシアチブのジェシー・ジェンキンス研究員はいう。

もちろん、二酸化炭素回収の道に転がっているのは、成功よりもはるかに多くの失敗だ。失敗には、サザン・カンパニーが最近放棄したミシシッピ州ケンパーでの数十億ドルをかけた「クリーン・

コール」の取り組みも含まれる。ネット・パワーの発電所が稼働を始めるまでは、本当に期待どおりに効果的に低コストで安定して運転できるかは不透明なのだ。だが、初期の重大なテストは刻一刻と近づいている。「火入れ」は11月下旬または12月上旬の予定だ（日本版編注：発電所は2017年12月に完成し、2018年1月から実証実験を開始している）。

石炭または天然ガス発電所のほとんどは、化石燃料を燃やして水を水蒸気に変え、その水蒸気でタービンを回して発電している。この循環の副産物として、ものすごい熱と温室効果ガスが排出されることになる。これまでの二酸化炭素回収の試みは、ほとんどがこのシステムの最後に除去ステップを追加するというものだった。当然、追加の費用がかかる。

### 超臨界二酸化炭素を利用

テキサス州ラ・ポルテにある、パイプ、タンク、コンプレッサー、ポンプが迷路のように入り組ん

だ約6000平米のネット・パワーの敷地では、「アラム・サイクル」として知られる循環方法が使われている。とりわけ特徴的なのが、アラム・サイクルでは水の代わりに超臨界二酸化炭素を利用することで、水蒸気を使わないことだ。高温と高圧によって超臨界二酸化炭素となった二酸化炭素は、液体と気体の中間の特性を持つ。

この循環方式を開発したのはイギリス人の化学エンジニアで発明家のロドニー・アラムだ。アラムは現在、エイト・リバーズ・キャピタル（8 Rivers Capital）のパートナー兼首席技術者を務めている。ネット・パワーは、ノースカロライナ州ダーラムを拠点とするテクノロジー投資開発企業エイト・リバーズ・キャピタルと、発電所運転会社のエクセロン・ジェネレーション（Exelon Generation）、エネルギー建設会社CB&Iの提携によって設立されたものだ。

循環の仕組みは以下のとおりだ。まず、発電所のオペレーターが純酸素、二酸化炭素、天然ガスを燃焼室に供給し、燃焼室で天然ガスを燃焼する。そのとき、主な副産物として熱湯とたくさんの超

**eムックは、MITテクノロジーレビュー  
有料会員限定サービスです。  
有料会員はすべてのページ（残り50ページ）を  
ダウンロードできます。**

**ご購入はこちら**



**<https://www.technologyreview.jp/insider/pricing/>**

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 CORPORATION.

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 KADOKAWA 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。