

# MIT Technology Review

Published by KADOKAWA / ASCII

Vol.

# 63

2024.07

## 科学の探究 最新研究で迫る未解明の疑問

### News&Trend

鳥インフル拡大で注目の代替ミルク技術  
生成AIは「笑い」を取れるか？

### Interview

大西 鮎美 (神戸大学大学院)

003

特集

## 科学の探究 最新研究で迫る未解明の疑問

004 「死」とは何か？ 覆る概念、あいまい化する境界線

007 現代科学で「心を読む」のはどこまでできるのか

011 世界最大の粒子加速器で新しい物理学を探求する旅

019 最大の謎「生命の起源」は機械学習で解明できるか

024 なぜ宇宙はこれほどまでに複雑で美しいのか？

028 地球外生命体は存在するか？ 人類の先入観を超えた探索

032 マヌエル・ブラムが伝説の指導教授になるまで

032 U35 イノベーターの軌跡 #15

大西鮎美（神戸大学大学院）

生活に寄り添う「ウェアラブル」技術を生み出す研究者

035

News&amp;Trends

産業界から科学、防衛へ広がる「デジタルツイン」のコンセプト

AIは「笑い」を取れるか？ プロがLLMにネタを書かせた結果

「牛を使わないミルク」に脚光、鳥インフル感染拡大で

アルツハイマー治療薬、血液脳関門を突破するイノベーション

EVバイクの充電ステーションをバーチャル発電所に、台湾地震で備え

●本PDFに収録した記事の情報は原則として、初出時の情報です。記事中の初出日をご確認ください。

●WebサイトのURLやソフトウェアのバージョン等は予告なく変更されている場合があります。

●本PDFは情報の提供のみを目的としています。本PDFを運用した結果について、著者およびMIT Technology Review Japan/株式会社角川アスキー総合研究所は一切の責任を負いません。

●本PDFに登場する会社名、商品名は該当する各社の商標または登録商標です。本PDFでは®マークおよびTMマークの表示を省略しています。

# 科学の探究 最新研究で迫る未解明の疑問

現代における「死」とはどのような状態を意味するのか？ 人間の「心を読む」ことは科学的にどこまで可能なのか？ 宇宙はなぜこれほどまでに複雑で美しいのか？ ——今回のMITテクノロジーレビューはいつもとは少し毛色を変えて、私たちの世界に存在するさまざまな未解明の謎にテクノロジーを通して迫る、現代科学の最前線をお届けする。最先端の研究成果と共に、テクノロジーと科学がもたらす驚きと疑問を紐解く知的冒険へのご案内しよう。

Ariel Davis



科学の探究 最新研究で迫る未解明の疑問

# 「死」とは何か？ 覆る概念、あいまい化する境界線

神経科学の研究が進むにつれて、死ぬことはプロセスであり、生と死の間に明確な境界線はないことが分かってきた。死のプロセスをより正確に理解できれば、死を迎えたが身体はまだ比較的無傷である人たちを救えるようになるかもしれない。

by Rachel Nuwer (科学ジャーナリスト)

## 出

生証明書が人生の始まりのときを意味するように、死亡証明書はその終わりの瞬間を記すものだ。この慣行は、生と死を2つの対極的なものとして捉える従来の概念を反映したものだ。私たちは、突然灯りが消されたように亡くなってしまいうまで生き続ける。

しかし、死についてのこの考えが広く浸透している一方で、それは時代遅れの社会通念であり、実際には生物学に基づいたものではないという証拠が固まりつつある。死ぬことは実際にはプロセスであり、人がそれを越えると戻って来られないという明確な境界線はそこにはない。

科学者や多くの医師は、死に関するこのより微妙な解釈をすでに受け入れている。世の中がその考えに追いつくにつれて、生の意味合いは奥深いものになる可能性がある。「多くの人が再び生き返る可能性があります」と、ニューヨーク大学ランゴーン医療センター救急救命・蘇生研究部長のサム・パーニア博士は言う。

例えば、神経科学者は、脳が驚くべきレベルの酸素欠乏にも耐えることができることを学びつつある。これは、医師が死のプロセスを覆すまでの猶予時間が、いつの日か延びる

可能性があることを意味する。他の器官も同様に、現在の医療行為に反映されているよりもはるかに長い時間にわたって回復の見込みがあるようで、臓器提供の可能性が広がることが期待される。

しかし、そのためには、私たちが生と死をどのように考え、どのようにアプローチするかを再考する必要がある。パーニア博士は死について、人がそこから戻ることができない出来事として考えるのではなく、むしろ酸素欠乏の過渡的なプロセスであり、相当の時間が経過するか医療介入が失敗した場合に、覆すことができなくなることを考えるべきだと言う。私たちが死についてこのような考え方をするようになれば、「突然、誰もが『死を治しましょう』と言うようになるでしょう」とパーニア博士は話す。

## 死の概念を覆す

死の法的小および生物学的定義は、一般的に心臓、肺、脳によって支えられている生命維持プロセスの「不可逆的な停止」を指す。心臓は最もよく不具合を起こす部位で、人類の歴史の大部分において、心臓が停止すると大抵は元に戻らなかった。

しかし、1960年頃に心肺蘇生法が発明されて、その状況は変わった。それまでは、心拍停止の再開は、ほぼ奇跡の産物だと考えられていた。今では、それは現代医学で達成可能な範囲内にある。そして、心肺蘇生法により、死という概念を初めて大々的に再考することになった。「心停止」という言葉が辞書に登録され、一時的な心機能の喪失と生命の永久停止との間に明確な意味上の分離が生まれた。

心肺蘇生法とほぼ同時期に、肺に空気を送り込むことで機能する機械式陽圧人工呼吸器が出現したことで、例えば、頭部への銃撃、重度の脳卒中、交通事故などで致命的な脳損傷を負った人でも、呼吸を続けることが可能となった。しかし、これらの患者が亡くなった後の解剖で、研究者らは一部の患者の脳が深刻な損傷を受けており、組織が液化し始めていることを発見した。シアトルにあるアレン脳科学研究所の神経科学者クリストフ・コッホ博士は、このような場合、人工呼吸器は基本的に「心臓が鼓動する死体」を作り出していると語る。

これらの所見は脳死という概念につながり、心臓の鼓動が停止する前にそのような患者の死亡宣告ができ

るかどうかについて、医学的、倫理的、法的な議論をするきっかけとなった。そして、最終的には多くの国が、この新しい死の定義を何らかの形で採用した。しかし、脳死であれ、生物学的な死であれ、そのプロセスの背後にある科学的な複雑さは、はっきりとは解明されていない。ベルギーのリエージュ大学の神経科学者シャーロット・マルシャル博士は「死につつまる脳の特徴を詳しく調べれば調べるほど、疑問が増えます。それはとても複雑な現象です」と話す。

## 瀬戸際の脳

これまで医師たちは、脳は酸素が供給されなくなってから数分後に、ダメージを受け始めると考えてきた。それは一般通念だが、ミシガン大学の神経科学者ジモ・ボルジギン准教授は「なぜ私たちの脳はこれほど壊れやすい構造になっているのか疑問に思うはずですよ」と言う。

最近の研究では、おそらく実際にはそうではないことが示唆されている。科学者らは2019年に、4時間前に屠殺場で首を切り落とされた32頭のブタの脳の一連の機能を回復させることができたと言った。この研究者らは、保護薬剤のカクテルを注入した酸素を豊富に含む人工血液を使って、脳内の血液循環と細胞活動を再開させた。また、ニューロンの発火を止める薬剤も使われ、ブタの脳が意識を取り戻す可能性を阻止した。彼らはこの実験の終了まで、脳を最長36時間生かし続けた。「私たちの研究は、おそらくこれまで考えられていたよりも、はるかに多くの酸素欠乏による脳のダメージが回復可能であることを示しています」と、論文の共著

者でイェール大学の生命倫理学者スティーブン・レーサム博士は言う。

2022年、レイサム博士とその同僚は2本目の論文をネイチャー誌で公開し、1時間前に殺された全身状態のブタの脳や心臓など、複数の器官の多くの機能を回復させることができたと言った。レイサム博士はこの実験を6時間続け、麻酔をかけられ、死んだとされる動物が血液循環を取り戻し、多くの重要な細胞機能が活性化したことを確認した。

「これらの研究が示しているのは、生と死の境界線が私たちがこれまで考えていたほど明確ではないということです」とイェール大学医学部の神経科学者で、ブタに関する両方の研究の上席著者であるネナド・セスタン博士は話す。死には「私たちが思っているよりも長い時間がかかりますが、少なくともその一部のプロセスは停止させて元に戻すことができるのです」。

数は少ないが、人間を対象とした研究でも、脳は心臓の鼓動が止まった後の酸素欠乏への対処において、私たちが考えているよりも優れていることが示唆されている。「脳が生命を維持するための酸素を奪われると、異常な電気サージが起こることがあるようです」とコッホ博士は言う。「理由は分かりませんが、少なくとも数分間は過活動状態になります」。

2023年9月にリサシテーション (Resuscitation) 誌に発表された研究で、パーニア博士とその同僚は、入院中に心停止を経験した85人の患者から、脳内の酸素と電気活動のデータを収集した。ほとんどの患者の脳活動は最初、脳波モニター上で平坦となっていたが、そのうちの約40%では、心肺蘇生の開始から最長60分の間に、それら患者の脳内で正

「突然、誰もが『死を治しましょう』と言うようになるでしょう」

サム・パーニア博士 (ニューヨーク大学ランゴーン医療センター)

常に近い電気活動が断続的に再出現した。

同様に、5月に米国科学アカデミー紀要 (PNAS: Proceedings of the National Academy of Sciences) に発表された研究で、ボルジギン准教授とその同僚は、2人の昏睡患者の脳の活動が、人工呼吸器を外された後に急増したことを報告した。同准教授によると、脳波のサインは患者が死亡する直前に発生し、意識がある状態の特徴がすべて示されていたという。不明な点は多く残されているが、このような発見は死のプロセスと意識のメカニズムについて、興味深い疑問を提起する。

## 死後に生きる

死のプロセスの背後にあるメカニズムについて、科学者が学ばば学ぶほど「より体系的な救命活動」が開発される可能性が高まるとボルジギン准教授は言う。最良のシナリオでは、この一連の研究によって「医療行為のあり方が塗り替えられ、多くの人々の命が救われる可能性があります」と同准教授は付け加える。

もちろん、人はいつかは死ぬ運命であり、救うことができないときが来るだろう。しかし、死のプロセスをより正確に理解できれば、これまで健康であったものの、予期せぬ形で早期の終わりを迎え、しかし、身体はまだ比較的無傷である人々を医師が救える可能性がある。例えば、心筋梗塞に見舞われた人、致命的な失血で亡くなる人、窒息や溺れた人などである。このような人たちの多くが死亡し、亡くなったままであるという事実は、単に「適切なリソースの割り当て、医学的知識、生き返らせるための十分な進歩の欠如」を反映しているとパーニア博士は言う。

ボルジギン准教授の望みは、最終的に死のプロセスを「秒刻みで」理解することだ。これを解明できれば、医学の進歩に貢献できるだけでなく、「脳機能に関する理解を修正して、革命的に変える」ことができると言う。

セスタン博士も同様に、ブタの脳や他の器官の代謝機能を回復させるために使った「技術を完成させる」ことを目指して、同僚とともにフォローアップ研究に取り組んでいると語った。この一連の研究は、最終的には、心臓が停止した人の脳や他の器官の酸素欠乏による損傷を（もちろん、ある程度までではあるが）回復させることができる技術につなが

る可能性がある。この方法が成功すれば、医師が実際に亡くなった人から臓器を回収する猶予時間が延長され、臓器提供が可能な人の数が増える可能性がある、と、同博士は付け加えた。

このようなブレイクスルーが実現するとしても、何年にもおよぶ研究が必要になるだろうとセスタン博士は強調する。「誇張しすぎたり、過度に約束したりしないことが重要です。だからといって、私たちにビジョンがないという意味ではありません」。

その一方で、死のプロセスに関する進行中の研究は、間違いなく私たちの死の概念に挑戦し続け、神学的なものから法律的なものまで、科学や社会の他の領域に大きな変化をもたらすだろう。パーニア博士はこう言っている。「死は神経科学のものではありません。私たち全員が死と関係しているのです」。

---

<https://www.technologyreview.jp/s/322360/the-biggest-questions-what-is-death/>  
日本語版掲載日：2023年11月22日

Story

2

科学の探究 最新研究で迫る未解明の疑問

# 現代科学で「心を読む」のはどこまでできるのか

他人が心の中で何を考え、何を感じているのか、外部から読み取るとはどこまで可能なのだろうか？ 科学者たちは、現代的な人工知能を歴史的な手法と組み合わせることで、この難問に取り組んでいる。

by Grace Huckins (科学ジャーナリスト)



Ariel Davis

## 技

術的に言えば、神経科学者があなたの心を読むことは何十年も前から可能になっている。しかし、それは簡単なことではない。まず、巨大なfMRI（磁気共鳴機能画像法：functional Magnetic Resonance Imaging）スキャナーの狭い孔の中で、おそらく何時間も、映画を見たりオーディオブックを聴いたりしながら動かずに横たわっていなければならない。その間、機械がさまざまな音を立て

ながら、神経活動を記録する代わりに、次々に変化する脳内の血流パターンを記録する。そして、あなたが志願した実験の研究者たちは、血流の変化と、映画のコマや話された言葉の一瞬一瞬の組み合わせをソフトウェアに流し込み、見聞きしたのものに対する脳の反応の特異性を学習させる。

もちろん、どれもあなたの同意なしにはできないことだ。しばらくの間はあなたが望む限り、あなたの思

考はあなた自身のものであり続けるだろう。しかし、もしあなたが狭苦しいスキャナーの中で何時間も耐えることを選ぶと、ソフトウェアはあなたの脳内の血液の動きを分析するだけで、あなたが見たり聞いたりしていたものをカスタムメイドで復元できるように学習するだろう。

2011年、カリフォルニア大学バークレー校の神経科学者たちが、上記のようなプログラムを訓練して、被験者たちが見ていたビデオの異世

**Insider Online限定**

eムックはMITテクノロジーレビュー[日本版]の  
有料会員限定サービスです。  
有料会員はすべてのページ、バックナンバーを  
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 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。