

▶ 明らかにされている。

著者は、強い相互性の影の側面、すなわち「身内」同士の協力という名の下で「よそ者」に敵意を示す傾向についても分析している。「グループ内で協力関係があると、そのグループの人間がグループ外の人間に対して、殺人を行うほど攻撃的になることがある」と記す。また、複数の赤の他人を組織的に殺害する行為は、人間社会で頻繁に起こっており、これを「例外

的、病的、あるいは精神障害と説明することはできない」と続ける。そして著者は、「アダム・スミスが『物々交換(“truck, barter and exchange”)』と巧妙に説明した人間の性癖は、それと対抗関係にある『奪取、脅迫、強要(“take, bully, and extort”)』への誘惑と常に居心地の悪い共存を続けてきた」と結論づける。

本書はとても読みやすく、幅広い読者層が期待できる。ただし、詳しい記述が不足して

おり、正式なモデル構築や詳細な分析的論証を避けている。そのため本書は、動的に進化するシステムとしての経済に関心を抱く人々にとっての、この分野への足がかりとしての意味をもつにとどまるだろう。 ■

評者の **Herbert Gintis** は、サンタフェ研究所に所属し、マサチューセッツ大学 (University of Massachusetts, 15 Forbes Avenue, Northampton, Massachusetts 01060, USA) の名誉教授である。

essay concepts

究極の「時」をもとめて

時間: どれほどの宇宙論的な時間スケールを我々は制御し、利用しているのだろうか?

原文: *The long and the short of it...*

Nature Vol.431(633)/7 October 2004; www.naturejpn.com/digest

Alexander E. Kaplan

「騙されやすいカモは分刻みで生まれてくる」とは、米国の興行師、P.T. Barnum の言葉だ。カモの新生児を数えてゆくのも、時間を測る良い方法かもしれない。ただし、分と比べたら、秒の方が大事だろう。なにしろ、我々の心臓の鼓動はほぼ1秒の長さなのだ。だが、この秒というスケールも、測るものによっては、帯に短し襷に長し、ということになる。ビッグバン理論によれば、我々の宇宙の年齢は約140億年で、秒に換算すると 5×10^{17} 秒だ。量子宇宙論の究極の時間スケール(プランク時間)は、ビッグバン誕生の閃光の長さで約 10^{-43} 秒、これは、時間の根本的な「最小単位」とみなすことができる。それより短くなると、四次元の時空からなる通常の物理現象は、「超ひも理論」の仮説のように、さらに多くの次元へと分かれる可能性がある。

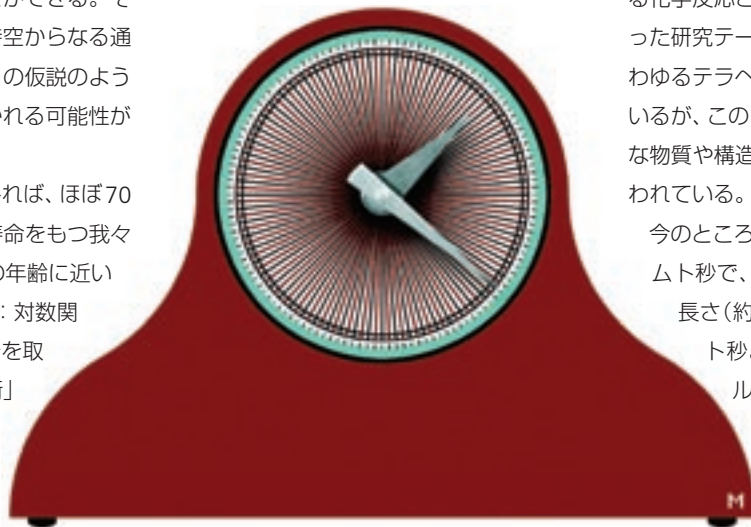
対数のアタマに切り替えてみれば、ほぼ70年(およそ 2×10^9 秒)という寿命をもつ我々は、プランク時間よりも、宇宙の年齢に近いスケールで生きている。(訳注: 対数関数は10の何乗、の「何乗」の部分を取り出してくる。いいかえると「桁」を見る関数である。だから、対数のスケールでは、宇宙は約17歳、プランク時間は

マイナス43歳、人間の寿命は9歳という勘定になる。)我々は長いこと、時間の経過を追う方法を学んできた。「時間的人間」(*Homo temporalis*)と呼んでも過言ではない。しかし、我々はその時間のどれくらいを制御し利用しているだろうか? その「長い方」のスケールは未だアカデミック世界での話に留まっているが、「短い方」はいまや活気あふれる科学と技術の frontline に躍り出てきた。その最もわかりやすい例が、情報伝達とコンピューターである。さらに高度なコンピューター演算をめざす際の、主な指標の1つがクロック周波数、あるいはその逆数のクロック周期だ。私の研究室の片隅には、1989年型UNIXコンピューター

の遺物があるが、そのクロック周波数は17メガヘルツくらいだ。現在、市販されているコンピューターのクロック数は3ギガヘルツ、つまり0.3ナノ秒(10^{-9} 秒)に達している。

レーザーはさらに日進月歩で、より短い時間領域に入ってきている。1959年にレーザーが発明されてからすぐに、光のパルスの長さ(持続時間)はナノ秒、さらにはピコ秒(10^{-12} 秒)の閾値を越え、なおもより短いパルスを求めて競争が繰り広げられている。ピコ秒以下やフェムト秒(10^{-15} 秒)の領域は研究の宝庫となっており、超高速プロセスの記録、時間分解分光法、ピコ秒より短い緩和時間をもつ半導体の開発、強力なレーザーパルスによる化学反応とフェムト秒レベルでの制御といった研究テーマに事欠かない。この領域は、いわゆるテラヘルツ(10^{12} ヘルツ)技術も擁しているが、このようなパルスは、例えば、不透明な物質や構造を「透視」する診断装置などに使われている。

今のところ、最短レーザー記録は4~5フェムト秒で、近赤外線レーザーの1周期分の長さ(約3フェムト秒)に近い。1フェムト秒よりさらに短い、制御可能なパルスを発生させる努力も続けられている。どうしてそんなに短くしたいのか? 1周期分より短いパルスの場合、そ



の最も高いスペクトル周波数は、パルスの長さ τ に反比例するからだ。光子のエネルギーは周波数にプランク定数 h を掛けたものなので、パルスの最も高い光子エネルギーは $E_{\max} \approx h/\tau$ と計算できる。ピコ秒以下からフェムト秒の領域は、 $E \sim 0.1 - 0.01$ 電子ボルト(分子反応の典型的なエネルギースケール)に相当するが、0.15フェムト秒(150アト秒、 150×10^{-18} 秒)以下の領域は原子物理学の分野だ(訳注:電子ボルト(eV)は、電子1個を1ボルトの電圧で加速したときのエネルギー)。これは、水素原子の基底状態にある電子が陽子を一周するのにかかる時間だ。このようなパルスを発生させる方法がいくつか提案されてきた。最近、高次の調和成分を使って、フェムト秒より短いパルスが実験的に観測された。このような1周期以下、あるいは1周期ちょうどのパルスは、(電波から極紫外線領域までの)きわめて広いフーリエスペクトルをもっていて、(黒体放射のような)標準的な超広帯域の発生源から生じたパルスとは、著しく異なる特性をもっている。理想的な条件下では、スペクトル成分の全てが同じ位相になるのだ。このようなスケールの大きい、スペクトルの境を踏み越えたコヒーレンスは、通常の光学分野では決してお目にかかることができない。実際、(例えば太陽光のように)超短パルスは黒体放射に多く見られるものの、それらはいつやって来るかわからないし、どうふるまうかもわからない。ようするに完全にランダムなので役に立たないのだ。パルスの世界では、パルスが足並み揃えてやって来ること(=コヒーレンス)と、制御することができる、という点で、状況が一変する。

原子スケールの地平線のかなたに、重元素のイオンが鎮座している。最も重い安定な原子であるウランを例にとろう。ウランの周囲の電子を1個だけ残して、残りの電子を身ぐるみ剥いでしまった「極限のイオン」を思い浮かべることができる。この最後の電子を取り除くには、(ウランのK殻遷移に近い)110キロ電子ボルトが必要で、これは、さらに短い時間スケールの約 10^{-20} 秒を作り出す。それを超えると、原子・イオン物理学は、「量子の砂漠」へと迷い込んでゆく。なおも短くしていくと、我々は、根元的な興味をもたらす次の領域に遭遇する。量子電磁力学(QED)である。電子の静止エネルギーの2倍のエネルギー(約

1メガ電子ボルト)を要する電子-陽電子対の生成や、強い核反応、たとえば1.2メガ電子ボルトに近い陽子と中性子をつくる重水素の電子壊変、といった分野だ。このような現象は、原子の光イオン化を彷彿とさせるが、QEDでは、5桁以上も高いエネルギー・スケールが基準になっている。その時間スケールもzept秒(10^{-21} 秒)まで縮まる。核反応を解明し、時間分解し、究極的には制御さえできるかもしれない、アト秒以下からzept秒までのパルスを生成制御することが実現可能かどうか、近年議論されてきた。その構想は、密度の高い円周の中の自由電子に、現在可能な 10^{21} W/cm²という強度のレーザーを当てるものだ。このような状態を「レーズトロン」(lasetron)と呼ぶ。自由電子は、物質を構成しているナノ粒子の大規模なイオン化とともに、ほとんど瞬時に放出され、 $E \sim 50$ メガ電子ボルト程度のエネルギーにまで加速されるが、こうした電子は、QEDや原子核の領域の光子を生成できるに違いない。

この地平を過ぎると、我々は高エネルギー物理学の領域へと踏み込む。そこでは、巨大な加速器の中で、ほとんど光速に近づいた荷電粒子が、標的核(または逆向きに進んでくる

粒子)と衝突し、新しい素粒子の雲を生み出す。いつの日か、こうした衝突による粒子の生成を、コヒーレントに制御する方法がみつかったら、その放射は、これまでよりずっと速いものになるだろう。たとえば1テラ電子ボルト(100万メガ電子ボルト)の最も高い光子エネルギーをもつパルスは、理想的な条件下では、約 10^{-27} という短さになるだろう。これでもまだ、究極の時間スケール、 10^{-43} 秒には程遠い。だが、思い悩む必要などない。なにしろ、好奇心、いいかえると、あくなき探究心という名のフル回転をつづけるエンジンに駆動され、我々は進み続けるにちがいないから。我々は、ようするに、騙されやすいカモなのだ。 ■

筆者の Alexander E. Kaplan は、ジョンズ・ホプキンス大学の電気・コンピューター工学部(the department of Electrical and Computer Engineering, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland 21218, USA)に所属している。

FURTHER READING

Paul, P. M. *et al. Science* **292**, 1689 (2001).
Hentschel, M. *et al. Nature* **414**, 509 (2001).
Zewail A. *Nature* **412**, 279 (2001).
Kaplan, A. E. & Shkolnikov, P. L. *Phys. Rev. Lett.* **88**, 74801 (2002).
Greene, B. *The Elegant Universe*, (Random House, New York, 2003).

news and views

宇宙鉱物学：よその太陽系の塵

Steve Desch

塵の円盤で取り囲まれている恒星は、形成中の太陽系なのかもしれない。塵から放射される光の解析から、恒星の周りを回っている彗星あるいは微惑星、さらには惑星までもがここに存在する可能性がでてきた。

原文: *Dust in another solar system*

Nature Vol.431(636-637)/7 October 2004; www.naturejpn.com/digest

宇宙鉱物学とは、天文学と鉱物学が組み合わさった新たな分野である。主に中間赤外線(MIR)の波長域(2~30 μ m)での天体観測によって、多くの場合は原始星のまわりにある、宇宙の塵粒子の大きさ、結晶構造、化学的構造を確定することを目的とする。このような観測で、原始惑星系の円盤における

塵の分布について多くのことが明らかにされる。塵の構造と進化の過程、そして新たに形成されつつある太陽系の岩石物質、つまり最終的に地球のような惑星を形作る物質について、詳しく調べられるのだ。赤外線の検出におけるかなりの技術的進歩が必要であったため、宇宙鉱物学的な観測が可能になったのは