

常識破りの超電導体 / 動物たちの行動経済学 / 痛みをいやす毒

# 日経サイエンス

SCIENTIFIC  
AMERICAN  
日本版

2006年7月1日発行 毎月1回1日発行  
第35巻第7号 通巻 406号  
1971年11月2日第三種郵便物認可

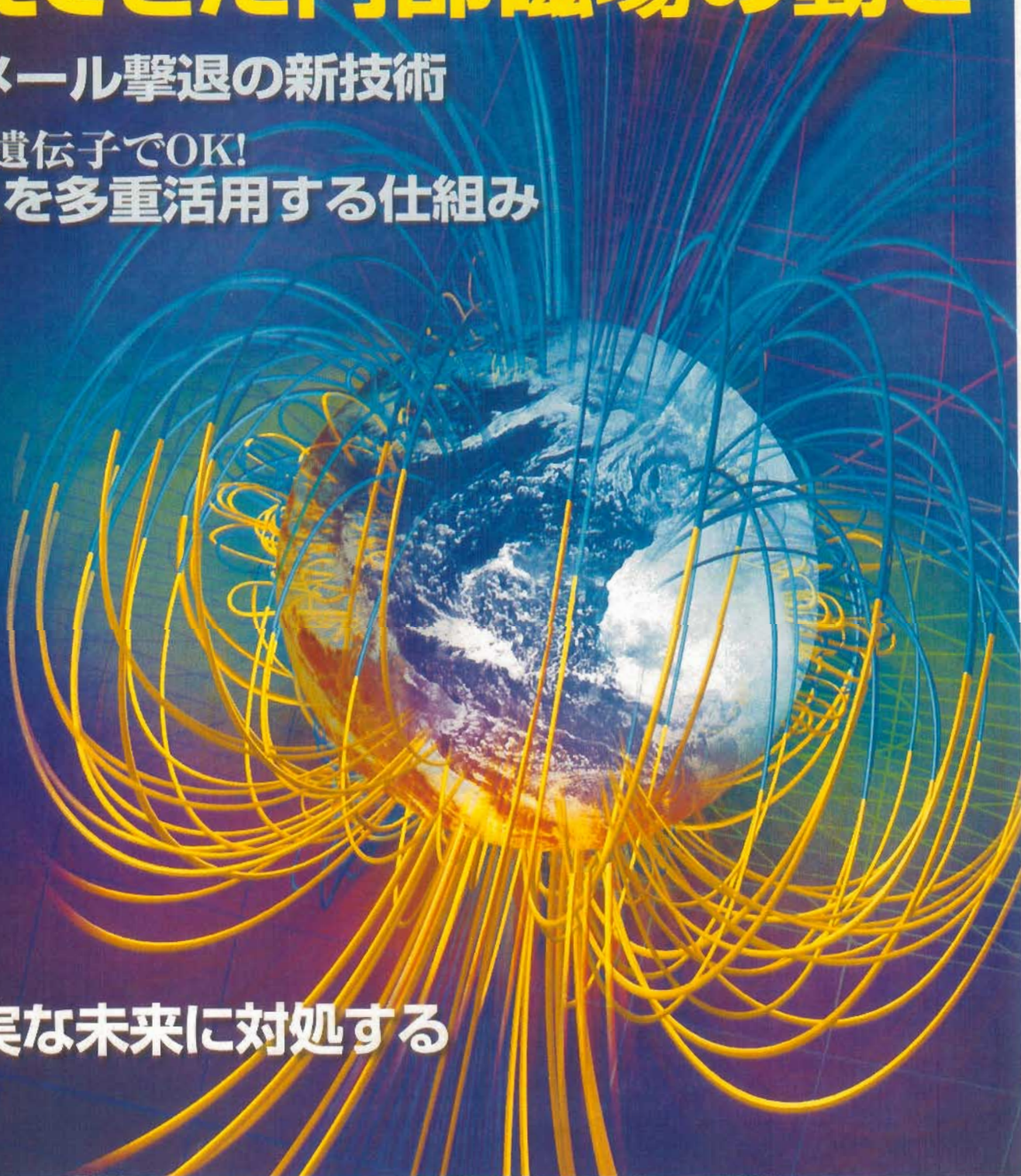
2005 07  
定価 1400円

## 地磁気はなぜ反転するのか? 見えてきた内部磁場の動き

迷惑メール撃退の新技术

少ない遺伝子でOK!  
ゲノムを多重活用する仕組み

不確実な未来に対処する



## 量子コンピューター

## 機械式の量子ビット

小さなナノチューブを曲げることによって安定した量子ビットを実現できるかも

いまから150年前、電気がまだ使えなかったころ、最初のコンピューターは機械式だった。英国の数学者バベッジ(Charles Babbage)が考案した「段差機関」がそれで、対数や三角関数の計算をこなした。

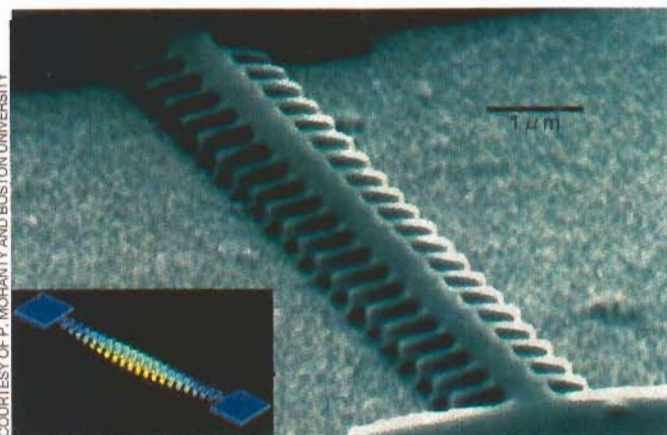
最先端の量子コンピューターも、機械式の原点に戻ることになるかもしれない。ナノメートル(100万分の1mm)スケールの小さな棒を1列に並べて動かす仕組みの量子コンピューターが提案された。

量子物理学の奇妙な法則によると、分子よりも小さな物体は同時に2つ以上の場所や状態を占めることが可能だ。観測などの操作によってこの「重ね合わせ状態」が崩れると、ただ1つの状態が確定する。量子ビッ

ト(キュービット)は同時にオンとオフの状態を取れるので、理論上はたった300個の量子ビットを備えた量子コンピューターで宇宙に存在する原子の数よりも多くの計算を同時並行で瞬時に実行できる。

## 左右両方に同時に曲がる棒

量子ビットを作るには、レーザーで原子を捕捉したり、半導体結晶中の原子核スピンを操作したりといった方法がある。だが、これらのテクニックは極めて微妙で、わずかな乱れが生じただけで量子ビットの重ね合わせがすぐに壊れてしまう。たった数個の量子ビットをなんとか「量子もつれ状態」にして、単純な論理演算を行うのがやっとだった。



たわむシリコンの梁 櫛(くし)の歯に似た多数の突起がついたこの棒は、約500億個のシリコン原子でできている。コンピューターシミュレーションによると、繰り返し振動する力を加えると曲がり(挿入図)、機械式量子ビットを実現できる可能性がある。ボストン大学の研究者が試作。

## 2つの世界の境目は

ナノチューブを曲げることによって量子ビットを実現できたとしても、信頼性の高い量子コンピューターにつながるかどうかは定かでない。だが、こうした機械式量子ビットは一般的な電子的・光学的な量子ビットより大きいので、別の謎解きに役立つ可能性がある。量子の規則に従う原子・分子の世界から、私たちがいつも目にしている古典的な状態がどのように生まれてくるのか、という謎だ。メリーランド大学にある国家安全保障局の研究所に所属する物理学者シュワブ(Keith Schwab)は「古典物理学と量子力学の境界がどこにあるのか、その境界がどうして生じるのかを理解するのに役立つだろう」と話す。

もっと信頼性の高い方法として考えられたのが、機械式の量子ビットだ。

数cm伸ばしたスチール巻尺を考えてほしい、とミシガン大学アナーバー校の理論物理学者で理化学研究所フロンティア研究システムに籍を置くノリ(Franco Nori)はいう。「巻尺を長さ方向に圧迫すると、左右いずれかに曲がるだろう」。ナノサイズの巻尺の場合なら、左右の両方に曲がった重ね合わせ状態になる可能性がある。

ノリは共同研究者のサウエリエフ(Sergey Savelev)とフー(Xuedong Hu)とともに、カーボンナノチューブやシリコン製の小さな棒を機械式量子ビットとして利用する考え方を提案し、*Physical Review Letters*誌に論文を提出した。

この機械式量子コンピューターでは、長さ10~30nmの棒を10nm間隔で並べて配置する。それぞれの棒に電荷を与えると、周囲の電場とともに棒が量子もつれ状態となり、量子ビットを一斉に動作させられる。棒は機械的または電子的な方法

で曲げることができ、棒の状態は光学的または電子的に検出できる。この検出が、量子コンピューターの計算結果を読み出すことに相当する。

## 重ね合わせ状態を長く保持

機械式量子ビットが他の手法をしのぐ利点を発揮できるかどうかは、まだわからない。同様に固体素子を使う方法としては、超電導回路などを利用する手もある。カリフォルニア大学サンタバーバラ校の物理学者クレランド(Andrew Cleland)は「超電導素子がかれこれ40年も研究されてきたので理解が進んでいるし、多くの問題が解決済みだ」と指摘する。

その一方で、機械式のほうが優位と考えられる点もあるという。機械式量子ビットは本質的にエネルギーの損失がゆっくりで、重ね合わせ状態を長く保てるので、より複雑な計算を実行できる可能性があるのだ。

ノリらはナノチューブを曲げる基本的な実験を年内に終える予定だ。ナノチューブを真空容器に入れ、絶対零度近くに冷や

すことで、周囲の気体分子や熱変動の影響を受けないようにする。期待通りにナノチューブの重ね合わせ状態を確認できれば、その後1年から3年で機械式量子ビットを実現できるとノリは見込んでいる。

この分野の研究は急進中だ。ボストン大学の物理学者モハン

ティ (Pritiraj Mohanty) らは *Physical Review Letters* 誌 1月28日号でシリコン単結晶製の微小な梁(はり)を紹介している。板バネのようにたわみ、2つの異なる位置を取る。ノリは「機械計算機を開発したパベッジがこれを知ったら、にやりとするに違いない」という。■

## 医学

# 自己免疫疾患をもたらす遺伝子

理化学研究所のチームが3つ目を発見  
多型がいろいろな疾患の原因らしい

一塩基多型 (SNP) に注目して遺伝子と疾患の関係を探る研究によって、自己免疫疾患の遺伝的要因が解明されてきた。理化学研究所遺伝子多型研究センターのチームが慢性関節リウマチなどの発症につながる遺伝子多型を新たに突き止めた。

理研が SNP のプロジェクト研究で見つけた自己免疫疾患の原因遺伝子は今回が3つ目。いずれも特定の疾患に限らず、複数の自己免疫疾患に共通してかかりやすくする働きがあることがわかってきた。

### 多型で自己抗体が増加

山田亮 (やまだ・りょう) 上席研究員らは慢性関節リウマチ患者 830 人と健康な人 658 人で遺伝子の個人差を調べた。その結果、*FCRL3* という遺伝子が病気の発症に強く関与していることを突き止めた。一部の塩基配列の変異 (多型) によってある種の転写因子との結びつき

が強まる結果、症状が出やすくなる。この発見は4月17日付け *Nature Genetics* 誌電子版に掲載された。

*FCRL3* 遺伝子の働きはまだはっきりとはわかっていないが、扁桃や脾臓などでB細胞というリンパ球の一種に多く発現している。B細胞は抗体を作る細胞だ。患者の血液を調べた結果、慢性関節リウマチにかかりやすいタイプの *FCRL3* を持っている場合には自己に対する抗体が増えていることがわかった。

このタイプの遺伝子を持っていると慢性関節リウマチのほか、全身性エリテマトーデス、バセドウ病、橋本病にかかりやすくなる。このタイプの遺伝子を持つ日本人は約35%で、持たない人に比べるとこれらの自己免疫疾患に約2倍ほどかかりやすくなる。

同センターは過去にも SNP 解析から自己免疫疾患にかかわる遺伝子を2つ同定している。

1つは2003年に発表した *PADI4* という遺伝子で、アミノ酸のアルギニンをシトルリンに変える酵素を作る働きがある。

*PADI4* には2種類あり、関節リウマチの発症に影響する。かかりやすくなるタイプの遺伝子は体内でシトルニン化反応を起こしやすい傾向があった。

もう1つは *SLC22A4* という遺伝子で、関節リウマチやクローン病のかかりやすさに影響する。この遺伝子の特定の SNP がある種の転写制御因子が結合する強さによって、発症するかしないかが変わってくるという。

### 発現場所の違いで

*PADI4* 遺伝子は好中球という細胞で多く発現している。好

中球は免疫反応でウイルスなどに対する攻撃の最前線に立つ戦士だ。一方、*FCRL3* 遺伝子は同じ白血球でも抗体を作るB細胞で多く発現する。さらに *SLC22A4* 遺伝子は腎臓のマクロファージなどで多く発現し、炎症に強く影響する。

このように自己免疫疾患に関与する遺伝子でも主に発現する場所が違う。そして、それぞれの SNP の違いによって、発症するかどうかが決まる。

自己免疫疾患やアレルギーに悩む人は全人口の5%を超えるといわれるが、発症メカニズムは複雑で、決め手となる治療法はまだほとんどない。SNP の違いがこの複雑さを解明するカギの1つとなりそうだ。 ■

## 応用物理学

# 核スピンを制御する素子

NTT と科学技術振興機構の共同チームは原子核スピンを電氣的に制御する半導体構造を作り、量子ビット実現に必要な基本動作を確認した。

この素子はガリウム・ヒ素製で、極めて狭い領域に電流を集積的に流すことで、その部分に存在する原子核のスピンを偏極させる。次に別の電極を使って核磁気共鳴 (NMR) が生じるような高周波を加えると、その周波数に共鳴する核スピンの垂直磁場が振動するので、これを電気抵抗の変化として検出する。

実験では4つの状態に分かれるガリウム ( $^{69}\text{Ga}$ ,  $^{71}\text{Ga}$ ) や

ヒ素 ( $^{75}\text{As}$ ) の原子核スピンを反映した振動をはっきりと検出できた。

小さな素子で原子核スピンを直接検出できるのがポイント。従来の NMR 技術で使われてきた大きな検出用コイルは不要で、感度も3~5桁高い。通常の NMR 装置では測定できない多数のスピンを重ね合わせ状態も検出できた。

今後は改良を進めるとともに素子の集積化を目指す。固体素子による量子コンピューターの実現に一步近づく研究成果だ。 *Nature* 誌4月21日号に掲載された。 ■