

《子供たちに聞かせてあげたいノーベル賞》

2010年ノーベル物理学賞

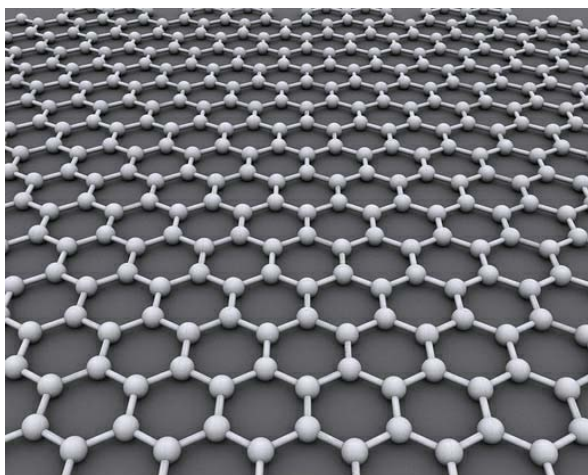
Groundbreaking Experiments Regarding the Two-Dimensional Material Graphene

グラフェン

ノーベル賞は人類に大きく貢献する科学的発明・発見をした科学者に与えられる賞です。賞の分野は6つあるのですが、このうちの3つが自然科学領域の研究に与えられる賞で化学賞、物理学賞、医学生理学賞に分かれています。

2010年の物理学賞はグラフェンという炭素でできた物質について革新的な研究を行った英国マンチェスター大学のアンドレ・ガイム博士とコンスタンチン・ノボセロフ博士に授与されました。

グラフェンは炭素原子だけでできた非常に薄い膜で、仮に原子が見えるほどに拡大して構造を観察すると、炭素原子が蜂の巣の穴の模様



グラフェンの分子模型
丸い玉が1個の炭素原子
六角形構造の繰り返しで平面になって広がる



Photo: Sergeon, Wikimedia Commons

アンドレ・ガイム博士



Photo: University of Manchester, UK

コンスタンチン・ノボセロフ博士

のように六角形につながってできている様子が見えるはずです（左下図）。

炭素は2次元平面のようにつながっていますので、膜の厚さは炭素原子1個分しかありません。けれど非常に丈夫で、しなやかで、これまで発見された物質になかった優れた科学的特徴を持っています。そのため、国内外のメーカーがグラフェンを製品に応用する研究を行っています。

グラフェンはノーベル賞になるくらいのものであるので、ものすごく特殊な物質なのだろうと考えてしまいがちですが、実は身近なところに普通に存在している物質です。たとえば、紙に鉛筆で書かれた文字。この黒い線は実は、紙の表面にこびりついたグラフェンなのです。というのも鉛筆の芯はグラフェンの膜が積み重なった固まりとほぼ同じ物なので、グラフェンの

膜が300万枚積み重なると1ミリメートルの厚さの鉛筆の芯になります。グラフェンの二次元の六角形は非常に丈夫で壊れないのですが、グラフェンの膜と膜の結びつきは非常に弱いので、紙の上で鉛筆を軽く滑らすだけでグラフェンをはげて紙に付着します。これが鉛筆の原理です。

この鉛筆の芯は正確にはグラファイトといいますが、炭素原子でだけできたすごく薄い板が膨大な量積み重なったような構造をしています。鉛筆の芯がこのような炭素の板の積み重ねであるということはずいぶん昔から知られていましたし、これを原子1枚分に薄い膜になるように剥離するとおもしろいことが起きるのではないかと以前から予想はされてきました。けれど、その板を原子1個の厚さの膜になるまで1枚ずつバラバラにする技術が見つからず、研究者によってはグラファイトをかんなをかけるように削って作ろうとしたり、分子レベルの大きさのくさびを打ち込んで割ってみたり、さまざまな工夫をこらしましたがいずれも失敗に終わっていました。そのため、科学者の中には、厚さが炭素1個分のグラフェンは通常の環境では安定して存在することができず、くちやくちやに縮んでしまったり、蒸発してしまったりするのではないかという説を唱える者もいました。

ところがグラフェンを作り出すことに成功した研究チームが現れたのです。それが2010年のノーベル物理学賞を受賞した英国マンチェスター大学の研究チームです。原子1個の厚さを作り出すことに成功したのは2004年のことでした。マンチェスター大学の手法はあっと驚くほど簡単でした。つまり、グラファイトをセロテープで両側から挟み、そのセロテープを引きはがすだけ

だったのです。そうするとグラファイトは引き裂かれるようにちぎれ、セロテープには薄くなったグラファイトが残ります。これを何度も繰り返すとグラファイトはセロテープで剥がすたびに薄くなり、やがて原子1個分の厚さになることを発見したのです。グラフェンの膜と膜の間では炭素同士の結合はないので、容易にはがれますが、膜の平面方向は炭素同士が非常に強固に六角形に結合しているため、このような一見あらっぽい方法でも炭素の膜が裂けたりすることはなく、美しい六角形の並んだグラフェンを得ることができます。

グラフェンの主な特徴は次の5つです。

- ① あらゆる物質の中で最も薄い
- ② 電子が素早く移動できる
- ③ 透明に近い
- ④ 非常に丈夫なのにしなやかに曲がる
- ⑤ 気体も通さない

あらゆる物質の中で最も薄い点については先ほど紹介したとおり、厚さが炭素原子1個分しかありませんので究極に薄い膜だと言えます。

2番目の「電子が素早く移動できる」点は産業に利用する際に特に重要です。不純物が含ま



グラフェンの電子顕微鏡写真

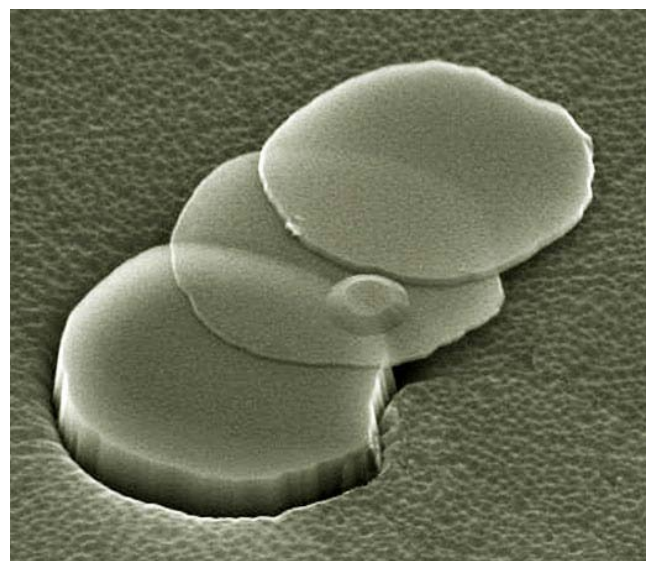
Kindly provided by University of Manchester, United Kingdom

れていないグラフェンは、その他のどのような物質よりも電子の移動速度が速いのです。電気配線に使われる銅など、電気をよく通すと思われる金属の中でさえ、電子にとっては障害物が多いため非常に移動しにくい環境なのです。グラフェンの中を電子がスムーズに移動できるその理由は、グラフェンの原子構造がきわめて規則正しいためです。

電線を電流が流れるときのことを考えてみましょう。金属の中を移動する電子のことを自由電子といいます。水の分子などの電子は水素と酸素の原子核に結びつけられていますので不自由な電子です。一方で、金属では電子が好き勝手に原子の間を動き回れるので自由電子なのです。ところが、自由電子とはいうものの、実はそれほど自由ではありません。金属の中では、金属原子から電子が離れて移動しはじめると、元々電子があったところに穴ぼこができます。穴ぼこがそこいらじゅうにできると、その近くを移動している電子はその穴ぼこに入り込んでしまうため、なかなか思い通りに移動できません。したがって、電子の移動速度は遅くなります。金属でLSIなどの電子部品をつくと、穴ぼこのせいで情報の処理速度が遅くなってしまいます。ところが、グラフェンの中では、電子は非常に軽やかに移動でき、その速度は光の速度の1パーセントに迫ります。このような材料でコンピューターを作れば、処理速度は大幅に向上するはずで、さらに、グラフェンは小さな破片でさえ特殊な性質を保っていますので、炭素6個分程度の大きさのトランジスタも作ることができるかもしれません。だとすると、グラフェンシートにLSIの回路を刻み込むことによって、目に見えないほど小さく、厚さも炭素原子1個分しかない非常に小さなLSIの製造も夢ではないのです。

さらに、完全ではないもののほぼ透明なのでタッチスクリーンやライトパネル、太陽電池などにも応用できると考えられています。

プラスチックなどの樹脂にグラフェンを混ぜると強度や耐熱性が著しく向上するので、飛行機や宇宙船の材料に適していますし、樹脂に電機を通すこともできますのでこれまで考えられなかった新しい樹脂の使い方も可能です。宇宙と地球の間にケーブルを渡してそこにゴンドラを設置して地上と宇宙ステーションを行き来する乗り物、軌道エレベーターを建設する際に、カーボンナノチューブと組み合わせて重要な材料として使用されるかもしれません。さらに、薄くて透明であるにもかかわらず、原子の密度が非常に高いため、水はもちろん最も小さな分子の気体であるヘリウムさえ通り抜けることができません。ゴム風船はどんなに厳重に口を縛ってもゴム自体が気体を通すので次第にしぼんでしまいますが、もしグラフェンで風船を作ったらずっと膨らんだまま形が保たれます。けれど、透明なので目印を付けておかないと手を離すとどこへ行ったか、みつけるのが大変ですね。



グラファイトの棒からはがれ出るグラフェン
Kindly provided by University of Manchester, United Kingdom