

準結晶の話題の紹介 山田敏昭

岡崎高校のSSH論文「自然からフィボナッチ数の秘密に迫る」(1年生・鈴木風雅 君)を目にする機会があり、「準結晶」の存在を知りました。従来、固体の構造は「結晶」(周期的構造)と「アモルファス」(全くの無秩序な構造)の2種類とされてきましたが、近年、第3の構造として「準結晶」が発見され、盛んに研究されています。「準結晶」は、「ペンローズタイル」に代表されるような「周期的ではないが高い対称性と秩序をもつ」構造で、「結晶」ではありえない正五角形、正十角形の対称性を持ちます。鈴木君の論文は、折り紙で作った立体から準結晶の構造を考察する内容で、大変難しくて私には分からないのですが、「準結晶」という新しい構造を知るきっかけになり、自分でも少し調べてみました。

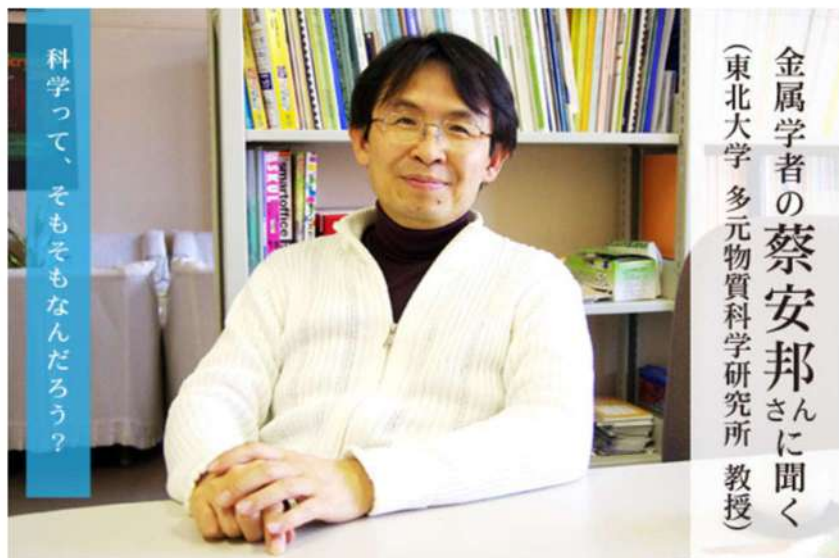
以下に、準結晶の話題の記事の一つを紹介します。また、「準結晶は周期性を持たないが、高次元の空間で考えると周期を持つ」例としてのフィボナッチ配列の例を示します。

これは、例えば $S \rightarrow L \rightarrow SL \rightarrow LSL \rightarrow SLLSL$ というように、前の2つの文字列を合わせたものが次の文字列になる、という配列です。実は、以前サークルで紹介したガーベラの花の成長モデルが、まさにこのフィボナッチ配列になっています。

まず平面(2次元)での正方形格子(周期を持つ構造)の中に、正方形格子の1つをスッポリ含むように、傾きが黄金比である2本の直線 l, l' を引きます。その中の格子点を、直線 l に投影すると、フィボナッチ配列になります。つまり、1次元の直線 l 上では周期を持たないフィボナッチ配列が、2次元の周期構造の投影であることになります。なぜこんなことになるのか、不思議です。証明そのものは数学的帰納法などを使えばできそうな気がしますが、それだけでは全く分かった気がしません。そもそも一体どこからこんな発想が出てきたのか。黄金比とフィボナッチ数列の深い関係が背後にありそうです。

それはともかく、数学的なお遊びと思われた「ペンローズタイル」が、「準結晶」という現実の物質として存在する。そこから、これまでになかった新しい性質を持つ素材が開発される可能性が開けた、というのは驚きです。

記事カテゴリ > 科学って、そもそもなんだろう？



取材・写真・文/大阜芳江

2012年3月5日公開

準結晶 (2011年ノーベル化学賞) って何？

蔡 安邦 TSAI An-Pang
(東北大学 多元物質科学研究所 教授)

https://shinbun.fan-miyagi.jp/article/article_20120223.php

固体は、原子が規則正しく周期的に並んだ「結晶」と、原子が不規則に並んだ秩序のない「アモルファス(ガラス)」の2つに分類される。

ところが、この常識を打ち破る物質を、1982年、イスラエル工科大学のダン・シェヒトマン博士が発見した。

「周期性はないが、原子が秩序をもって並ぶ」という、結晶でもアモルファスでもない第三の固体。

これが2011年ノーベル化学賞を受賞した「準結晶」の発見であり、高温超伝導とならぶ20世紀後半の2大発見である。

しかしながら発見当初、準結晶の存在は、結晶学の定義に反するとして否定された。

初期に発見された準結晶は質が悪いものばかりだったために、「結晶の欠陥に由来するものであり本質的な構造ではない」という意見が大勢を占め、新物質として広く受け入れられなかったのだ。

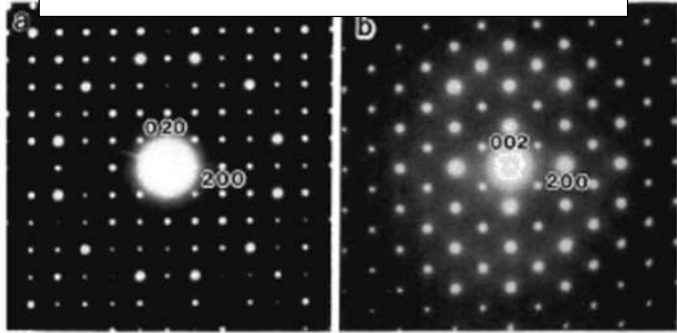
その風向きが変わるきっかけをつくったのが、当時、東北大学金属材料研究所の博士課程1年生だった蔡安邦さんだ。

蔡さんが高品質で安定な準結晶をつくることに初めて成功したことで、構造や物性の解析が飛躍的に進み、準結晶は従来の物質概念とは異なる新しい構造物質として、広く認められるようになった。

その後も蔡さんらは、高品質で安定な準結晶を次々と発見し、現在までに見つかった準結晶物質のうち、実に9割近くを発見。

今回のダン・シェヒトマン博士のノーベル賞の授賞説明文には、蔡さんらの論文が複数引用されるなど、その貢献が認められている。

通常の結晶の電子線回折像。4回、6回対称



ペンローズタイルと、その回折パターン。10回対称

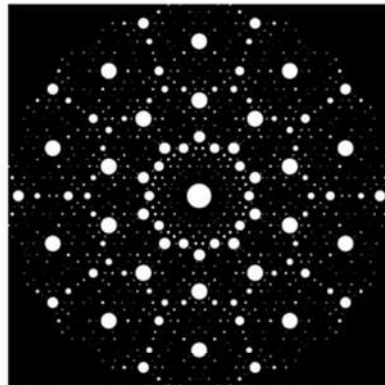
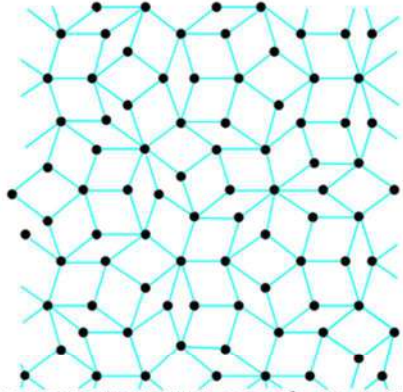
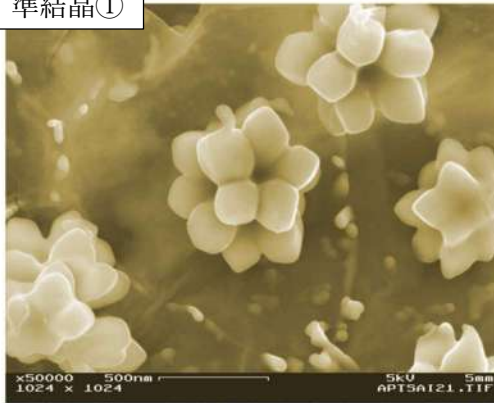


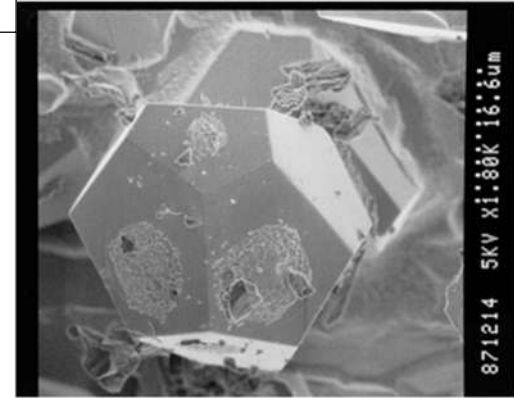
図5の格子点を線で結んだペンローズ・パターン(左)とその回折パターン(右) (図提供: 蔡安邦・東北大学教授)

準結晶①



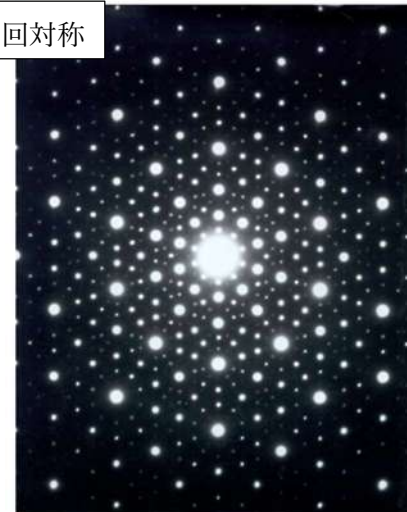
まるで花びらのような準結晶の電子顕微鏡写真。直径は約500ナノメートル(ナノは10億分の1) (写真提供: 蔡安邦・東北大学教授)

準結晶②

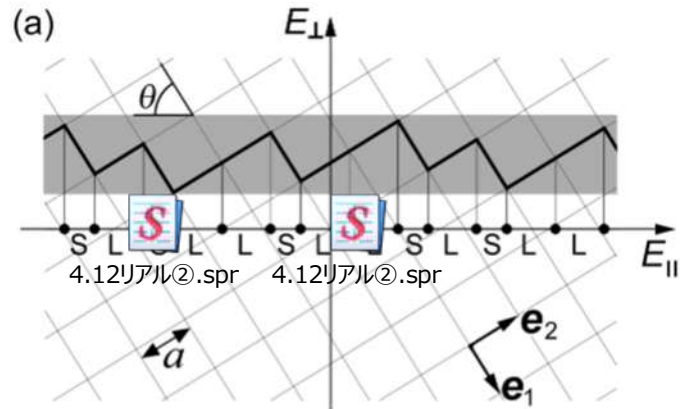


【図2】熱力学的に安定なAl-Cu-Fe単準結晶の写真 (正12面体の外形を示している) (写真提供: 蔡安邦・東北大学教授)

準結晶②の電子線回折像。10回対称



【図4】安定なAl-Cu-Fe準結晶の電子線回折パターン (写真提供: 蔡安邦・東北大学教授)



←準結晶の「周期を持たない秩序」の簡単な例のフィボナッチ配列。

1次元 (E_{\parallel}) では周期がないが、補空間 E_{\perp} を加えて2次元空間で見ると周期(格子)が現れる。準結晶も補空間 E_{\perp} を加えた高次の空間では周期構造を持つ。

出典: 枝川圭一「準結晶の成長機構の謎に迫る」

