

ノーベル化学賞 —準結晶の発見—

竹内 伸*

2011年度ノーベル化学賞が、準結晶を発見したイスラエルのテクニオン工科大学の D. Shechtman 教授に授与された。Shechtman 教授は電子顕微鏡を用いて金属組織を研究する生粋の金属研究者であり、Al-Mn 合金の急冷組織を観察中に準結晶を発見したのである。それは1982年4月のことであつたが、論文として発表できたのはその2年半後であつたので⁽¹⁾、準結晶発見の年は1984年ということになっている(論文発表に至る経緯は文献(2)参照)。金属研究者がノーベル賞を受賞したことは、われわれ金属の研究に携わる者、特に準結晶の研究に初期から関わってきた者にとって誠に喜ばしい限りである。

Shechtman の受賞理由は「準結晶の発見」である。それ以前は、固体の構造は結晶かアモルファスのいずれかであると信じられてきたが、Shechtman は初めてそれまでの結晶とは異なる新秩序構造をもつ物質を発見し、それを契機として「準結晶」という新物質概念が確立したのである。物質科学の歴史の中で、物質の原子構造についてのパラダイムを変える画期的な発見であり、ノーベル賞はもっと早く授与されてもよかつたのではないかと思われる。この発見によって、1992年に、国際結晶学連合によって行われていた「結晶」の定義が“特定の原子集団が並進秩序配列している物質”という従来の実空間での定義から“本質的に不連続な解説図形を示す物質”と逆格子空間で定義しなおされたのである。また、物質(ヘリウムを例外として)の基底状態は結晶であるとア priori に考えられていた命題も変えなければならなくなった。このように、準結晶の発見は基礎科学(結晶学、固体物理学)の根底に関わる大発見であつた。

準結晶の発見に対して、ノーベル物理学賞ではなくノーベル化学賞が与えられたことに多くの研究者は違和感をもつたかも知れない。化学の分野で「準結晶」になじみのある研究者はごく少数であること、近年のノーベル化学賞授賞の理由が応用への貢献に大きなウェイトが置かれてきたことから異例といえるかも知れない。これまで、新物質の発見にノーベル賞が与えられたのは、化学賞では1934年の重水素発見、1951年の超ウラン元素の発見、1996年のフラーレンの発見、



図1 正20面体相発見の論文⁽¹⁾の4名の著者。左から D. Gratias, J. W. Cahn, D. Shechtman, I. Blech (第5回準結晶国際会議にて)。

2000年の導電性ポリマーの発見、2008年の緑色蛍光たんぱく質の発見があり、物理学賞では1920年のインバー合金の発見、1987年の超伝導セラミックスの発見、2010年のグラフェンの発見がある。これを見ても、物理学賞は明らかに物理的な新規性に重点が置かれていることがわかる。今回の、スウェーデン王立科学アカデミーが発表したノーベル化学賞の科学的背景⁽³⁾の記述の殆どのページが準結晶の構造の特異性、新規性に割かれていて、物性に関する記述は7行に過ぎない。すなわち、この発見の価値が、物理学への貢献よりは、化学物質世界を拡大する“新規秩序構造物質”の歴史的発見が評価されたものと言える。

ノーベル化学賞が単独の研究者に与えられるのもまれである。準結晶発見の最初の論文は4名(図1)の共著で発表されたが、ノーベル賞は1テーマ3名までという制約もあって最も中心的な役割を果たした Shechtman だけに与えられた。この論文は“並進秩序性を持たない長距離配向秩序金属相”という題名で、準結晶という概念を提唱したわけではない。Shechtman 以前に、並進秩序とは異なる秩序構造概念を提唱していた研究者は、準結晶発見後一躍有名になったべ

* 東京理科大学近代科学資料館・館長(〒162-8601 東京都新宿区神楽坂 1-3)
Nobel Prize (Chemistry)—Discovery of Quasicrystal; Shin Takeuchi (Director, Museum of Science, Tokyo University of Science, Tokyo)
Keywords: Nobel prize, quasicrystal, Al-Mn alloy, icosahedral quasicrystal, Cd-Yb quasicrystal
2011年12月21日受理

ンローズ・パターンの発案者であるイギリスの物理学者の R. Penrose⁽⁴⁾と、正20面体準結晶の骨格構造である3次元ペンローズ格子を提唱していたイギリスの結晶学者の A. L. Mackay⁽⁵⁾であったが、Penroseには物質の原子構造という観点はなく、Mackayのモデルでは空間充填や準周期性に関する考察が不十分であった。“準結晶(quasicrystal)”という概念が提唱されたのは、Shechtmanらの論文の発表から1ヶ月後の D. Levine と P. J. Steinhardt の論文⁽⁶⁾である。彼らの論文には Shechtman らの発見については触れられていないが、おそらく Shechtman らの発見の情報に触発されて提唱したものと推察される。これらの研究者も Shechtman と共同授賞には至らなかった。いずれにしても、これまでもしばしば同様の例が見られるように、それまで人類が認識していなかった新しい概念を提唱することの意義がいかに大きいかは、電子顕微鏡の50年の歴史の中で認識されなかった準結晶の存在が、Shechtman らの論文が発表されるや否や、1, 2年の内に続々と同種の物質が世界で多数発見された事実で明らかである。それまで、見えても見えなかったもの、認識できなかったものが認識できるようになることこそ、人類の知的資産への貢献であり、Shechtman の発見が比類のない価値を持つ所以である。

最初に発見された準結晶は、急冷で生成した準安定相であったため極めて質の悪いものであった。そのため、従来の結晶の枠組みでも解釈が可能であった。特に、著名な化学者の L. Pauling が強固にその存在を否定したこともあり、世界的に広く準結晶という新物質概念が定着したのは1980年代の末になってからである。最初の発見以降、Shechtman 博士自身は殆ど準結晶の研究に携わっていなかったが、世界中の多くの研究者の研究の蓄積によって準結晶の世界が大きく拡大し、“準結晶”という新物質概念が確立して Shechtman のノーベル賞受賞に至ったのである。

特に、多数の合金系での良質準結晶の開発とその構造研究の上で最も大きな貢献を行ったのが日本の研究者であるという事実は、我々の誇りとすべきことである。石政らは Shechtman の正20面体準結晶の発見後すぐに第2の新しい準結晶相である正12角形相を発見している⁽⁷⁾。初期の平賀らによる高分解能電子顕微鏡観察⁽⁸⁾を始めとする電子顕微鏡を用いた準結晶構造の研究は日本を中心に行われてきた。特筆すべき貢献は、準結晶の研究を飛躍的に発展させた蔡グループによる良質安定相正20面体準結晶相である Al-Cu-(Fe, Ru, Os)⁽⁹⁾の発見である。その後も Al-Pd-(Mn, Re)⁽¹⁰⁾, Zn-Mg-RE (RE: 希土類)⁽¹¹⁾, さらに2元系の Cd-Yb(Ca)⁽¹²⁾と続々新しい良質正20面体準結晶を全て蔡グループが発見してきた。今日、準結晶の構造および物性の研究対

象となっている準結晶合金のほとんどは、蔡グループで発見された合金あるいはそれらから派生した合金である。一方、準結晶構造が高次元空間の結晶構造から帯・射影法と呼ばれる方法で記述できることが確立し、山本は準結晶に関する高次元構造解析法を発展させ⁽¹³⁾、蔡らが作成した良質の単準結晶の X 線回折データおよび高分解能電子顕微鏡観察結果を基に構造解析を進めた。特に、化学的不規則性のない2元系 Cd-Yb 準結晶に関しては、高倉、山本らによりほぼ完全に原子構造の解明がなされた⁽¹⁴⁾。これらの業績は文献(3)にも取り上げられて、今回の受賞に大きく貢献している。今日の準結晶の研究の発展が、蔡グループによる良質準結晶の発見なくしてありえなかったことを考えると、蔡教授の業績も受賞に値するものと思われ、共同受賞に至らなかったのは残念なことである。

準結晶の物性研究も幅広く展開されてきた。しかし、準結晶を形成する合金系が限られていることもあり、広く応用展開が期待されるような顕著な物性を示す準結晶の開発はなかなか難しい状況にある。一方、基礎的な面では、準結晶の安定性の起源、準結晶固有の構造の自由度(フェイゾン自由度)が関わる諸現象、準周期系の特異な電子状態が関わる問題など、準結晶固有の興味ある諸問題もまだ十分に解明されていない。今回の受賞が、準結晶の研究にさらなる深化をもたらすきっかけになることを期待したい。

文 献

- (1) D. Shechtman, I. Blech, D. Gratias and J. W. Cahn: Phys. Rev. Lett., **53**(1984), 1951-1953.
- (2) 蔡 安邦: 現代化学, (2011), Dec. 32-34.
- (3) S. Lidin: The Loyal Swedish Academy of Sciences, (2011), Oct., 1-11.
- (4) R. Penrose: Bull. Inst. Math. Appl., **10**(1974), 266.
- (5) A. L. Mackay: Sov. Phys. Crystallogr., **26**(1981), 517-522.
- (6) D. Levine and P. J. Steinhardt: Phys. Rev. Lett., **53**(1984), 2477-2480.
- (7) T. Ishimasa, H. U. Nissen and Y. Fukano: Phys. Rev. Lett., **55**(1985), 511-514.
- (8) K. Hiraga, M. Hirabayashi, A. Inoue and T. Masumoto: Sci. Rep. RITU A, **32**(1985), 309-314.
- (9) A. P. Tsai, A. Inoue and T. Masumoto: Jpn. J. Appl. Phys., **26**(1987), L1505-L1507.
- (10) A. P. Tsai, A. Inoue, Y. Yokoyama and T. Masumoto: Mater. Trans. JIM, **31**(1990), 98-103.
- (11) A. Niikura, A. P. Tsai, A. Inoue and T. Masumoto: Philos. Mag. Lett., **69**(1994), 351-355.
- (12) A. P. Tsai, J. Q. Guo, E. Abe, H. Takakura and T. J. Sato: Nature, **408**(2000), 537-538.
- (13) A. Yamamoto: Acta Cryst. A, **52**(1996), 509-560.
- (14) H. Takakura, C. P. Gomez, A. Yamamoto, M. de Boissieu and A. P. Tsai: Nature Mater., **6**(2007), 58-63.