

理工学部物理学科／相関電子系物性研究室  
分子性導体の物性理論

# 米満 賢治 教授

【プロフィール】 米満賢治(よねみつげんじ)▷1963年、宮崎県生まれ。1985年、東京大学理学部物理学科卒業。1987年、東京大学大学院理学系研究科物理学専攻修士課程修了。1990年、東京大学大学院 理学系研究科物理学専攻博士課程修了。同年、ロスアラモス国立研究所(米国) 博士研究員。1993年、国際理論物理学センター(イタリア) 博士研究員。1994年、ジョージア大学(米国) 博士研究員。同年、東北大学大学院情報科学研究科助手。1995年、東北大学工学部応用物理学科助教授。1996年、分子科学研究所助教授(准教授)。2012年より中央大学理工学部教授。



## 世界をリードする「光誘起相転移」分野で 異なる領域の研究者たちと連携し合いながら、 まだ見ぬ事実を解明していく

電子は他の電子と仲よくしたり、逆に分子の中に閉じこもったりする性質を持っている。そう聞くと不思議に思われる方がいるでしょう。そしてそれが物質の物理的性質に影響を与える、と聞くとますます興味がわいてきます。実際に物質は、温度の変化や光の照射によって環境を変えることで分子の配列が変わり、電子の動きも活発になって、絶縁体から金属になったり、磁石になったりします。米満先生は、このように環境の変化によって移りゆく電子の状態を理論的に研究しています。そのなかでも先生が主に扱う「光誘起相転移」は、日本が世界をリードする最先端の領域。その不思議な世界の扉を先生に開いていただきましょう。

### 電子が元気よく跳び回ると 物質の性質が変わる

原子核の周りを電子が回っているような図を、皆さんもこれまで何度も目にしてきたことでしょう。実際に電子は、一ヵ所に留まるというよりは、このように、ある軌道上を動き回っているのです。しかし、このままだと電子は一つの分子の中を動くだけになります。

米満先生の研究対象では、この電子の軌道が隣り合った分子同士で重なるように「積層」していますが、そうすることで、電子が隣の分子に移って動き回れるようになるのです。

「分子を組み立てて作る物質の場合は、分子の中の電子のふるまいと、分子の間を跳び回る電子のふるまいが微妙に絡み合っています。これを人間の集団に例えれば、分子という限られた組織の中で電子が暮らしていて、組織の外と付き合いがないと、全体のふるまいをなかなか変えられません。逆に電子が組織の間を自由に動き回ると、物質の伝導性や磁性、色などの性質が変化します。ただ、各組織の中がバラバラだと、組織の間の微妙なバランスもとれなくなります。」

米満先生は、光や電場など物質に様々な刺激を与え、分子と電子の微妙なバランスを取りながら、物質の物理的性質を瞬時に人工的に変える際の理論的研究を行っています。

### 金属へ、絶縁体へ、そして磁石へ。 様々に性質を変える「相転移」

温度を下げると水は氷になります。逆に温めていくと、水

蒸気になる。このように同じ水分子なのに、環境を変えることで全く違ったふるまいをし、性質が変わることを「相転移」と言います。米満先生に、この相転移について、まず電気伝導性の角度から説明していただきました。

「電子が動き回ると物質の性質が変わるとお話ししましたが、その意味では、動き回る電子があって電気を通すのが金属で、動き回る電子がないのが絶縁体、あるいは半導体です。ただ、半導体は温度を上げることで熱を持った分子が振動し、ほんの一部の電子が動き回れるようになります」

金属の相転移は、磁性にも表れるのですが、この場合は、電子が持っている「スピン」という存在が働きます。

「スピンとは小さな磁石のようなものなのですが、通常はバラバラな方向を向いています。鉄に磁石を近づけるとこのスピンの揃って磁石のような性質を持つのですが、鉄に限らず多くの物質は温度を下げることでスピンの揃って磁石になります。また、温度を下げると、『クーロン反発』という作用で電子が互いに避け合い、そのまま氷のように凍って絶縁体になる『電荷秩序』という現象が生じることもあります」



## 瞬間的な光の照射で超高速に変化する物質の性質を計算

「相転移」には様々なケースがあり、温度だけでなく圧力の変化などでも起きますが、米満先生が主に手がけられているのは「光誘起相転移」。実はこの分野は日本が発祥の地といわれ、研究水準でも世界をリードしています。また、分子性導体の理論は、アメリカの研究者がわざわざ日本の雑誌で成果を発表するほどなのです。さて、「光」はどのように物質に影響を及ぼすのでしょうか。

「光誘起相転移」に用いられる光の照射時間は様々ですが、10のマイナス14乗秒くらいの光で超高速に起こさせる場合があります。光は1秒間に約30万km進みますが、これは10の5乗km。10のマイナス14乗秒を距離に直すとミクロンの世界です。そのくらい瞬間的な照射でパッと性質を変えることができるのが、光誘起相転移です。

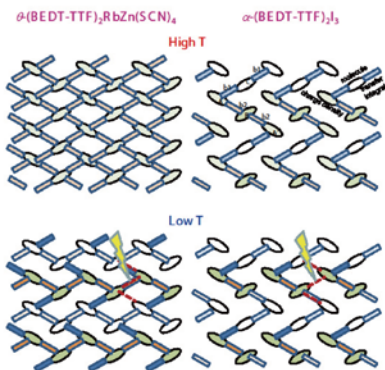
絶縁体から金属へ、あるいは金属から超伝導（電気抵抗がゼロの状態）へ、強誘電体（電気双極子が整列した状態）へなど、殆どの種類の相転移が実現されています」

光による相転移を研究する際、もともと相転移しやすい物質としにくい物質にやはり分かれるそうです。その差は、やはり電子の動きにあります。

「電子がある方向にしか流れない状況では、集団の効果を生みやすいため相転移も起きやすくなります。高速道路に例えれば、車線変更もできないような状況を作り出すわけです。そうするとすぐ渋滞が起きると思いますが、個々のクルマは勝手な動きはできず数多くのクルマが全体として動いていくしかありません。最初に説明した「積層」を上手に行なえば、そうした状況が生まれやすくなります」

超短時間のパルスを使った光誘起相転移では“反射”を基準に相転移の状況を計算します。

「物質に光を当ててどれくらい反射するか、透過するかを見るだけで、様々な性質の変化を計算から導き出すことができます。光誘起相転移では、光を当てた直後からの時間的経過による性質の変化も見るができます」



▲上が高温、下が低温での分子の状態。バーのような部分が電子の軌道の重なりを示します。殆ど確認できない微妙な違いも、光を当てることで明らかになります。

## 異なる分野と協調しながら共に新たな発見に挑んでいく

物質の相転移へのアプローチは、リアルな実験と米満先生の専門である理論が、上手に連携して初めて可能になります。

「実験では限られた結果しか分かりません。そこから何が説明でき、逆にこの環境にすれば違う結果になった、と計算し予測するのが理論です。限られた情報の中から恐らく起きているという状況を、論理を組み立てることで初めて事実が明らかになること

もあります。だからこそ、実験を行う人とは綿密なコミュニケーションが必要になります」

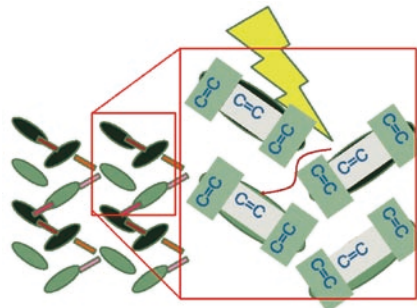
米満先生の理論的研究は、物質を新たにつくり、その物質の伝導性や磁性を理解し、光を使ってさらに物質を理解して変化させる一連の研究の最後を担う役割を担っています。したがって様々な研究者との協力が欠かせないのです。

「新しい物質をつくることは主に化学の分野の研究者が得意としていますし、理論的な研究もそれぞれ分野で形成されています。私はこれまで異なる大学や研究所において、異なる分野の研究者と交流することで、分野間をまたいだ研究に興味を持っていました。日本では実験と理論の連携もうまく進んでいて、自分ならこうした研究分野に貢献できるとして専門に選びました」

しかし、理論を成り立たせるベースには、量子力学と統計力学という2つの学問の両方を熟知した知識と、さらに実験についての深い理解が不可欠。米満先生は、だからこそ皆さんにこんなことを期待しています。

「古典力学では説明できない素粒子・原子・分子などミクロの世界に通用する運動を説明するのが量子力学。無数の粒子が集まったときの関わり方を扱うのが統計力学です。物理学でこの2つの体系は必ず学びますので、皆さんも理解できるようになってください。最初は分からなくても焦らずに、勉強し続ければ後になって分かることもあるはずですよ」

幅広い学識を基礎に、理論的見地から独自の提案を行っていく。米満先生は、その醍醐味を「これまで解明できなかったことが解明できたとき」と語ります。皆さんにも、その喜びが味わえる可能性が待っています。



▲左側の赤枠の部分を拡大したのが右側。光を当てると電子が動き出すと同時に、2つの炭素原子が結合する「CC二重結合」が伸び縮みします。

## Message ~受験生に向けて~

高校の勉強や大学入試は暗記で切り抜けても、大学に入って先に進むほど、基礎から考えを積み立てることが重要になります。解き方のパターンや公式を暗記することも避け、基本的なところから自分で考えて解くことを練習してください。考察する力は短時間では得られませんから、高校生のときからその力をじっくり身に付ける必要があります。暗記には限度がありますが、考察して論理を組み立てる行為には無限の可能性が広がります。