

テトラクォーク？ ペンタクォーク？ グルーボール？

中性子や陽子などのバリオンは3個のクォーク (q^3) で表され、パイ中間子などのメソンはクォーク・反クォーク対 (qq) で表すことができるという考え (クォークモデル) は、ゲルマンらによって1960年代に提案された。その後、このモデルを自然に説明するために、南部らとグリーンバーグによって (光の3原色を模した) カラーの自由度が導入された。今日、量子色力学 (QCD) として知られている理論のはじまりである。ちょうどスピン1/2の2粒子がスピン0または1の状態をつくるように、 q^3 や qq は白または色のついた状態をつくる。QCDによれば、このうち白の状態のみがバリオンやメソン (あわせてハドロンという) として単体で存在できるというのである。 q^3 型や qq 型だけでなく、クォークの数を増やしたりグルーオンを加えたりしても、うまく組み合わせると、この「白」の条件を満たすことができる (それらをエキゾチックハドロンとよぶ)。しかし、その存在は実験的に確認されていなかった。

クォークモデルの提案から40年ほど経った2003年、高エネルギー加速器研究機構で、アップとボトムクォークからなるBメソンをつくる実験が行われた。そのBメソンが弱い相互作用で崩壊したときに生成する粒子のなかに、 $qqqq$



型と考えられるメソン (テトラクォーク) が見つかった。この発見を皮切りに、とくにチャームやボトムという重い種類 (フレーバー) のクォークを含む系で、 $qqqq$ 型のメソンや q^4q 型のバリオン (ペンタクォーク) が見つかりはじめた。

重いクォークのまわりに複数ついた軽いフレーバーのクォークのふるまいと、軽いクォークでできた通常のハドロンとを比べると、これまで隠れていたカラーが「白」でない2粒子、3粒子系の性質が新たに見えてくる。一方、グルーオンは電磁相互作用における光子と異なり、自身がカラー電荷をもち、それら同士も強い相互作用をするため、クォークとともに構成子となってハイブリッド状態のハドロンをつくる可能性がある。さらにグルーオンのみでできたハドロン (グルーボール) も存在するかもしれない。

これらの未知のエキゾチックハドロンの探索とその解明は、実験・理論の挑戦となっている。それらを統一的に記述する試みから、シンプルなのに本質的に非摂動的で複雑なQCDの理解がいつそう深まると期待される。