
特集：量子色力学—中間子論を源として

「量子色力学」特集にあたって

柴 田 利 明

1. はじめに

物質の基本要素はクォークと電子である。クォークから陽子や中性子が構成され、陽子と中性子から原子核が構成されて、電子とともに原子をつくっている。人の体も星も、クォークと電子からできているといえることができる。

クォークとクォークの間には、「強い力」と呼ばれる力が働く。「強い」と呼ばれるのは、日常に経験する電磁気力などと較べてその力が強いからである。この力は短距離間でのみ働くという性質がある。この強い力を記述する理論が量子色力学 (QCD: Quantum Chromo Dynamics) である。

2004年のノーベル物理学賞はポリツァー、グロス、ウィルチェック博士の量子色力学の研究に対し授与された。1970年代に発表されたこの理論的研究がノーベル賞としても評価されたことは、量子色力学の研究の一つの時代を画する出来事であった。現在までに実験によって明らかにされた事実がこの分野の進展に大きな貢献をしたことも間違いない。ミクロな世界のこの重要な力の原理は、次第に明らかになりつつある。こうした時期に、学術月報のこの特集号が組まれることになった。

2. 湯川秀樹博士の中間子論

もともと「強い力」の理論は日本で生まれた。湯川秀樹博士の1935年の中間子論によって導入されたものである。その当時は、電磁気力と弱い力が知られていたが、この強い力の概念を導入したことにより、原子核や陽子、中性子の内部構造に関する研究が始まった。

研究者の年代によって、湯川中間子論の影響をどのように受けたかは違うと思うが、私の手元には科学雑誌「自然」の1971年発行の特集号「総収録：仁科芳雄、湯川秀樹、朝永振一郎、坂田昌一」があって、それを読むと座談会の記事などから研究の様子がわかって興味深い。湯川中間子論から36年、湯川博士のノーベル物理学賞受賞から22年たったその時点でも、当時の科学青年・理科少年にとって中間子論は、その扉を開ければ魅力ある科学の世界へと通じる特別な入り口であるように思われた。

湯川中間子論文は、現在ではウェブ上で読むことができる¹⁾。湯川博士の半生記「旅人—ある物理学者の回想」は、多くの人々に読まれている。湯川博士は1907年1月23日の生誕であるから、まもなく100年となる。湯川中間子論の後も多くの日本人の活躍があった。南部陽一郎博士の理論的研究は量子色力

学の成立に大きな寄与をした。国内外の実験施設における国際共同研究においても日本人研究者が主要な役割を果たしてきた。日本人の研究の伝統がつながってきた分野であるといえることができる。

3. 量子色力学の基本的な性質

この特集号の導入として、図1-3を掲げて説明をしたい。図1は、陽子の中に基本的にはクォークが3個あることを示している。クォークは色電荷を持っている。色は光の3原色になぞらえて、赤、青、緑と呼ばれている。この3色がそろって無色になり、陽子を構成することができる。約140億年前の宇宙創成の直後に陽子はクォークから作られた。更に空間的分解能をあげて陽子を見ると、クォーク間にグルーオン（糊の粒子）が交換されて「強い力」が媒介されていることがわかる。

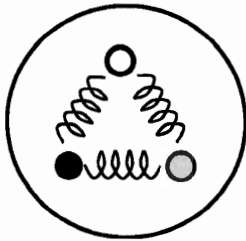


図1 陽子は基本的にクォーク3個から構成されている。クォークは3色の色電荷をもっている。クォーク間ではグルーオンが交換されている。

図2のように、一つのクォークに力を加えても、らせんで示したグルーオンが伸びるだけで、クォークを単独で陽子から取り出すことはできない。このような性質を「クォークの閉じ込め」と呼んでいる。

図3には、クォークを直線で、グルーオンをらせんで示してあるが、クォークがグルー

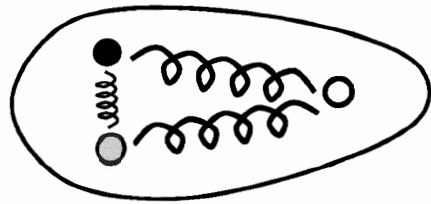


図2 一つのクォークに力が働くと、グルーオンが伸びる。

オンを放出したり吸収したりする際の結合定数が、たいへん特徴的な性質を持っている。低エネルギーではその結合定数は大きいですが、高エネルギーになると結合定数が小さくなる。つまり、クォーク間の相互作用が弱くなる。このような性質は「漸近的自由性」と呼ばれ、前述のポリッツァー、グロス、ウィルチェック博士によって発見されたものである。

この特集号では、ミクロな領域で重要な役割を果たしている量子色力学の様々な性質が語られている。

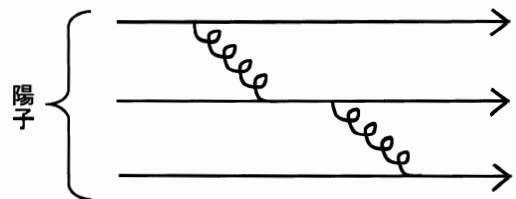


図3 陽子の中のクォークからグルーオンが放出されたり吸収されたりしている。

■ 参考文献 ■

- 1) <http://www.journalarchive.jst.go.jp/japanese/>で「湯川秀樹」を検索すると論文のリストが出る。

柴田 利明 (しばた・としあき)
東京工業大学大学院理工学研究科 教授、
理化学研究所客員主管研究員