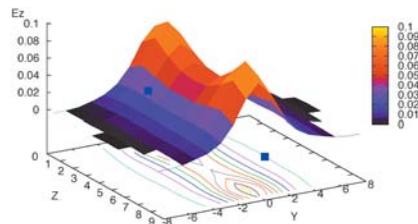


## クォークの閉じ込め：なぜクォークは発見されないのか？

原子は原子核と電子から、原子核は核子（陽子と中性子）から成り立っている。それら核子を構成しているのが、物質の最小構成要素の1つであるクォークとよばれる素粒子である。もう一方の電子やニュートリノなどはそのまま素粒子として扱われ、レプトンとよばれる。レプトンとは対照的に、クォークは単独で取り出すことができていない。つまり、核子のなかに閉じ込められている。この事実を「クォークの閉じ込め」とよぶ。これは実験の技術的課題といった一時的な問題ではなく、現在では、クォークがもつカラー荷電に働く強い力の本質に根ざす原理的問題と考えられている。強い力はグルーオンとよぶ力の媒介粒子を交換することで生じ、閉じ込めは量子色力学とよばれる場の量子論の枠組みで説明できると考えられているが、未解決問題である。

カラー荷電間には、距離の2乗に逆比例するクーロン類似の力に加え、距離と無関係に一定の引力が働くことが予想される。実際、数値シミュレーションによれば、 $z$ 軸上に離して置いたクォーク・反クォークの対（図の青点）を源として生じるカラー電場は、 $z$ 成分しか存在せず、その強さ $E_z$ は $z$ 軸からの距離 $y$ の増加とともに減少するが、カラー電場はクーロンのように広がらず、ほぼ様な分布である。



これを外挿して考えると、クォークを引き離すには、距離に比例して限りなく大きなエネルギーを要することを意味し、閉じ込めが理解できる。電場と磁場を入れ替えると、これは第2種の超伝導体のなかで磁場が絞られるマイスナー効果に酷似しており、双対超伝導描像とよばれる。この描像が弦の理論の起源となった。

一般に、カラーをもつ素粒子は単独では発見されず、3色あるカラーの組み合わせが無色になるような複合粒子のみが観測されると考えられている。クォーク3個からなる核子はその一例であるが、グルーオンもカラー荷電をもち、グルーボールをつくって閉じ込める。しかし、宇宙初期のように極めて高温・高密度の状態では、クォークやグルーオンは閉じ込めから解放されると考えられ、活発な研究が行われている。

近藤慶一（千葉大院理）、会誌編集委員会