

研究分野のキーワード：素粒子，原子核，場の量子論，相転移現象

わたしたちの周りには物質はすべて原子から作られています。例えば人間の体の大部分は水分で、水素原子が60%程度を占めます。原子核は電子の雲と原子核と呼ばれる陽子と中性子（核子）からなる小さなコアからできています。水素原子の場合、原子核は陽子そのものですが、例えば炭素原子は陽子6個と中性子6個からできています。この原子核はとても小さく、よく原子を大聖堂に例えるとハエ一匹程度の大きさと表現されます。しかし、その小さな領域に質量の99.98%が詰め込まれています。陽子や中性子をこのような小さな領域に閉じ込めているのは「核力」と呼ばれる力です。これは、原子核のサイズでは重力や電磁気力に比べて圧倒的に強い力です。2つの核子の間に働く力は地上で300kgもの重量を支えるのに必要な力に匹敵します。核子はクォークとグルーオンというより小さな基本単位から作られていることが分かっています。核子の構造や核力は量子色力学と呼ばれる理論によって記述されますが、その特殊性から理論を完全に解くことは容易ではなく、今も活発に研究が続けられています。謎の一つは「閉じ込め」という現象で、クォークが決して単体では捕まえられないことです。もう一つは「質量の謎」です。量子色力学の役者であるクォークには小さな質量の種が備わっているのですが、これだけでは物質の質量の2%程度しか説明できません。これらを解く鍵は、クォークが活躍する舞台であるはずの「真空」の構造にあると考えられています。場の量子論では真空も力学的な実在であり、これによって粒子の性質も左右されます。そして、理論がもつ対称性の変換のもとで真空が不変でない場合があります、このようなとき対称性が破れたといいます。この「対称性の破れ」が質量の起源と考えられていますが、どうして対称性が破れるのかはまだ完全には解明されていません。ちなみに超伝導も対称性の破れから起こる現象です。波動関数の位相回転という抽象的な対称性が破れた結果、媒質（真空）内で磁場が重たくなり、これを内部から排除しようとして表面に永久電流が流れるわけです。さて、温度が高くなると超伝導体が常伝導体に相転移するように、外部環境によって真空の構造は変化します。量子色力学の真空も温度が約1兆度を超えると閉じ込められていたクォークが自由に動き回るプラズマ状態に相転移すると考えられています。このような状態はビッグバンの数十マイクロ秒後に実現していたと考えられます。また、圧力が大きい環境においてもクォークが染み出してスープのような状態になると考えられますが、実はそう簡単ではなく、高圧の極限ではGFL 超伝導という状態が実現することが理論的に示されています。このようなとてつもない圧力が供給される舞台があるとすれば、それは中性子星の内部だと考えられます。中性子星とは半径10km程度の星ですが、その密度は1立方センチメートル当り1億トン以上になります。仮にこれが月の位置にあったら地球は潮汐力によって引き裂かれてしまうでしょう。私はこのような極限的環境で物質が見せる究極の姿に興味をもって研究活動を行っています。