



## カラー超伝導 (Color superconductivity)

飯田 圭 (高知大学理学部)

ひとえにクォーク物質といいまして、温度や密度を縦横無尽に変化させることによりさまざまな秩序をもった相状態が実現するであろうことは、強い力の基礎理論である量子色力学から予言されています。とりわけユニークな性質をもった相状態として、比較的低温の領域に存在が予言されている「カラー超伝導状態」があります。この状態を特徴づける重要な現象論的性質が2つあります。マクロな数のクォーク対(いわゆるクーパー対)が凝縮(ひとつの量子状態を占拠)することによって生じる超流動性(ゆっくりと軸方向に動く端のない十分大きな円筒にカラー超伝導体を入れた場合、円筒の壁と平衡を保ちながらいっしょに動く常流動成分のみならず、おきざりにされる超流動成分が存在する)と、弱いカラーの外部磁場(グルーオンのもつカラー自由度に対応して8種類ある)をかけた場合に、少なくとも1種類のカラー磁場を排斥する性質(カラーマイスナー効果)です。

カラー超伝導状態においては、超流動<sup>3</sup>He同様、複数の相の出現が予言されています。これは、クォークのもつ自由度(上向き・下向きのスピン(spin)のほかに、赤(R)・緑(G)・青(B)というカラー(color)をもち、フレーバー(flavor)も6つあるが、通常興味あるフレーバーは質量の小さいアップ(u)・ダウン(d)・ストレンジ(s)の3つである)が多彩なため、クォーク対においていろいろな組み合わせが可能であることに起因しています。互いにカラーを弱め合うカラー反三重項状態においては、対を形成するのに好都合な引力が働きます。

さて、中性子星のような高密度の天体内部で到達可能な密度領域においては、通常の核物質は姿を消し、すでにクォーク物質が発現している可能性があります。このようないわゆる中間密度領域ではカラー超伝導の転移温度が10–100 MeV程度と予想されたのが1990年代後半。すると、天体内部にカラー超伝導体があるのでは、と期待をいただくことができます。これが、近年カラー超伝導研究が盛り上がるきっかけになったとも言えるでしょう<sup>1</sup>。

ただし、中間密度領域における実現を想定してのカラー超伝導研究は簡単には解決しがたい理論上の困難に直面します。その困難さは「強結合」と「フェルミ面の分離」という2つのキーワードによって特徴づけられるでしょう。後者は、電子も含めた系の中性条件と比較的重いsクォークの質量に起因しますが、異種フレーバー間のフェルミ面の分離が典型的なペアリングギャップと同程度になりますと、空間的に一様ではないペアリング状態が生じる可能性もあります<sup>2</sup>。天体内部においてカラー超伝導体を実現するとすればどうか、という疑問に答えるには、まずはカラー超伝導状態の同定、次に回転や磁場にさらされた場合の考察、さらには、他の秩序状態とのからみあい(競合や共存)を明らかにする必要があるでしょう。これらは将来の課題です。

<sup>1</sup>ちなみに、カラー超伝導研究は量子色力学が成立した1970年代にはすでにはじまっていた。

<sup>2</sup>日本語の参考文献としては、たとえば素粒子論研究 114 巻 3 号 C30 の拙記事をご覧ください。