

強磁場を伴うクォーク物質による中性子星に対する 多様な観測への意義

Significance to various observations of neutron stars by the quark matter within strong magnetic fields

遠藤 友樹（ENDO Tomoki）

太陽のような恒星は宇宙に多数存在しており、太陽質量の数倍以上重い恒星はその終焉時に超新星爆発を起こすとされている。この超新星爆発は宇宙で生じる大イベントの1つであり、周囲に物質を拡散させ、新しい星々が生じる機会でもあり、そしてまたブラックホールや中性星が誕生する機会でもある（太陽程度の星はその終焉時には超新星爆発は起きず、白色矮星になると言われている）。ブラックホールはそのインパクトのある名称や“時空の穴”という印象などにより、一般的にも良く知られている。中性子星はブラックホールほどの知名度は無いが、物理学においては多くの分野から極めて重要な研究対象とされている。それというのも、中性子星はブラックホールの“一步手前の状態”にある星であり、物質の極限状態が体現した「宇宙の実験室」と言われるほどに多様な物理現象を示しているからである。何より中性子星は「観測が可能」ということが非常に大きい。ブラックホールの“一步手前の状態”が観測できるのである。実際に物理学的に興味深い現象として簡易的に挙げてみても、超高密度、強重力、強磁場、高速回転などと枚挙に暇がない。

それでは何故、中性子星はこれだけの現象を示すのだろうか。これを解明するには、星の内部を検証するのは必須であろう。星の内部は、原子や分子どころか、原子核さえその重力に耐え切れず崩壊し、陽子や中性子といった核子同士の縮退圧で何とか星を支えている、というのが概要である。然しながら、陽子や中性子の話では済まないことが以前から指摘されている。というのも、中性子星の内核ではその余りに強い重力のため、核子同士が重なって核子として保持出来ないほどに高密度になっており、少なくとも中心部付近では、核子を構成するクォークになっていることが確実視されている。

核子同士の「力（作用）」は「強い相互作用」と言われ、過去からの研究で一定の理解までは到達しているが、理論的には不明な部分が非常に多い。特に、クォークの力学（量子色力学）から核子同士の強い相互作用を完全に説明できる段階には至っていないのが現状である。これは理解が進んでいる量子電磁力学（電子などを良く記述できる理論）とはかなり異なる状況であり、クォーク同士の作用を媒介するグルーオンの特性が難解であることにも依っている。

一方、中性子星は重力波（GW: Gravitational Wave）の研究でも注目されるようになってきている。重力波というとブラックホール同士の衝突という印象が強いが、中性子星とブラックホールの衝突、或いは中性子星同士の衝突というケースも考えられている。

近年 GW は多く観測されるようになったが、その中で GW170817 は中性子星同士の衝突ではないかと指摘されており、この衝突時に重元素が合成されたとの報告もされ、中性子星は元素合成の分野でも注目を集めている。

以上の様に中性子星が示す興味深い物理現象は多岐にわたるが、本研究では強磁場に着目している。一般的な中性子星の表面磁場はおよそ 10^{12} G 程度と観測から分かっており、この値でも地上では実現不可能なほどに強い磁場であるが、実はさらに 3 桁も大きい表面磁場を持つ「超強磁場中性子星 (マグネター)」が幾つも観測されている。即ち、表面磁場として 10^{15} G 程度をもつ中性子星である。磁場は星の中心部になるほどに強くなるが、簡易的に見積もっても、マグネターの中心部付近の磁場はおよそ 10^{18} G 程度にも達すると予測されている。これほどの強さになってくると、磁場は強い相互作用に影響を与える様になる。本研究では、このような極めて強い磁場がある環境下でのクォーク物質を想定し、複雑な磁場の効果 (ランダウレベル等) を近似的に取り入れ、実際に星の質量などを導出し、観測との整合性を検証している [1]。

[1] T. Endo, H. Sotani and T. Tatsumi, Journal of Physics, Conf. Ser. **1468**, 012087, (2020).