

中性子星の最大質量へのハイペロンの影響

平成 28 年 2 月 10 日

佐々木 光明

(学籍番号 12380253)

中性子星とは超新星爆発の後にできる超高密度の天体である。超新星爆発と聞くと星の最後に起こる爆発であるとか、この爆発によってブラックホールができることがあるということは知っている人も多いかもしれない。中性子星とはその超新星爆発の後に残され、主成分が中性子であることからそう呼ばれる天体である。これは言い換えれば一つの巨大な原子核ということができる。

中性子星は半径が約 10[km]、質量が $1 \sim 2[M_{\odot}]$ である。 $(M_{\odot}: \text{太陽質量} = 1.99 \times 10^{30} [\text{kg}])$ 恒星が超新星爆発をすることによって星の外部は吹き飛び超新星残骸となり、残った内部が圧縮されて高密度天体、すなわち中性子星になるので半径が小さく、半径に比して質量は大きくなる。密度は中心で $10^{15} [\text{g}/\text{cm}^3]$ と言われており、原子核の密度 $2.8 \times 10^{14} [\text{g}/\text{cm}^3]$ を超えている。これに対して地球の密度は $5 [\text{g}/\text{cm}^3]$ しかない。

中性子星になる過程で半径が小さくなるが、もとの恒星が持っていた角運動量や磁束は保存されるので中性子星は 1 秒に 1000 回転するものや、表面の磁場が 10^{12} ガウスあるものもある。これに対して地磁気は日本では平均して約 0.3 ガウスである。中性子星はこれまでに約 2000 個ほど観測されており、2010 年にはこれまで観測された中でもっとも質量の大きい中性子星 $1.99 (\pm 0.04) [M_{\odot}]$ が発見された。これにより従来の核物質の状態方程式のモデルを見直すことになったため、原子核物理、宇宙物理の両方で今注目を浴びている天体と言える。そこで個人的に興味のあった宇宙物理学と配属先の研究室の専門分野である原子核物理の両方の分野にまたがった研究対象である中性子星を研究テーマとしたのである。

先述したとおり、2010 年にこれまででもっとも質量の大きい中性子星が観測されたことで、核物質の状態方程式の見直しやハイペロンの影響について議論がなされていることから本研究ではその点に注目する。ここでハイペロンとは S クォークを含むバリオンのことで密度が高くなると弱い相互作用により核子がハイペロンに変わると予想されている。本研究では最大質量を TOV 方程式、状態方程式の 2 つによって求める。そしてそれぞれの状態方程式が中性子星の半径、最大質量にどう影響を及ぼすか、またハイペロンを考慮した場合としない場合での違いについて研究を行う。

文献や参考書には TOV 方程式と状態方程式を実際に組み合わせる手順が書かれておらず、結果のみ記載しているものが多かったので本研究ではその手順を明確に述べる。TOV 方程式をどのように状態方程式と組み合わせるか検討し、Runge-Kutta 法を用いて数値計算を行う。また状態方程式のデータを CompOSE というウェブサイトから取得する。

中性子星の $r=0$ でのバリオン個数密度 n_b の値を与えると、TOV 方程式により密度や圧力が動径座標 r の関数として定まる。圧力がゼロになる r がその解の表す中性子星の表面である。その r より内側の質量の総和がその中性子星の質量である。このように中心での n_b の関数として中性子星の半径と質量が定まるのである。

得られた結果から最大質量時の中心でのバリオン個数密度以上の解では半径が小さくなっていく傾向が見られた。また質量も下がっているためこの段階においては中性子星の内部では、最大質量よりも少ない質量で中心密度を上げようとするため、中性子星の内側だけで潰れていき、重力崩壊が進んでいく結果としてブラックホールになると考えられる。またハイペロンを考慮した状態方程式でも最大質量が $2M_{\odot}$ を超えたため、パラメータを適切に決定することで実際に観測された最大質量を再現することができるということ、ハイペロンを考慮した状態方程式と考慮していない状態方程式で、最大質量に達するときの中心のエネルギー密度と半径にそれぞれ違いが見られるということがわかった。

今後の課題としては今回は状態方程式を 4 つしか使用しなかったため、検討する状態方程式を増やしていくということが挙げられる。