

【新学術領域研究（研究領域提案型）】 理工系



研究領域名 実験と観測で解き明かす中性子星の核物質

東北大学・大学院理学研究科・教授 田村 ひろかず 裕和

【本領域の目的】

中性子星は、恒星が超新星爆発を起こした後に残る極めて高密度の巨大原子核のような天体で、中心付近は電子がなく中性子等のバリオン（重粒子）のみからなる核物質でできていると考えられる。本新学術領域では、地上実験、天体観測、理論を組み合わせ、この未知の物質の解明を目指す。

図1に示すように、大強度陽子加速器 J-PARC を用いたストレンジネス核物理の実験研究、理研 RIBF（不安定核ビーム工場）での中性子過剰核の実験研究、極低温に冷却した原子ガスの実験研究、ASTRO-H 等の X 線天文衛星による中性子星の観測研究を行い、これらの成果を理論研究によって結びつけて、幅広い密度と粒子種をカバーする「核物質の状態方程式」を決定し、そこから中性子星内部の核物質の正体と中性子星の構造を解明する。



図1: 本新学術領域のイメージ

【本領域の内容】

(A 班) 中性子星中心部の高密度領域では、ストレンジクォーク（核子（陽子・中性子）の中に存在しない寿命の短いクォーク）が安定に存在すると予想されている。そこで J-PARC でハイペロン（ストレンジクォークを含むバリオン）を含む原子核であるハイパー核などの研究を行い、核物質状態方程式のインプットとして不可欠な、さまざまなハイペロンと核子の間の力を確定する。

(B 班) 中性子星の外側の中低密度領域は、ほぼ中性子だけからなる物質でできていると考えられる。そこで RIBF で中性子過剰核（中性子が極端に多い原子核）を用いて、中性子過剰な核物質の物性や希薄な中性子物質の性質を調べる。さらに、

中性子星外殻にある希薄な中性子物質は、極低温のフェルミ原子集団の性質と類似した性質をもつため、レーザー冷却によって極低温原子ガスを生成しその物性を調べる。

(C 班) 中性子星の質量と半径のデータから内部の核物質の状態方程式に強い制限を与えることができるが、半径の直接測定例はまだない。そこで、新型検出器を搭載した X 線天文衛星による中性子星の観測によって世界初の半径の直接測定を行う。

(D 班) 上記の A, B, C 班の研究に関連した原子核・ハドロン、冷却原子系、天体物理などの理論研究を進め、各班の実験・観測結果を理論的に分析・解釈するとともにこれらの結果を結びつけて核物質の状態方程式を決定する。さらに中性子星内部に存在が予想される超流動やパスタ相などの様々な特異な物質の姿を理論的に調べる。

【期待される成果と意義】

A, B 班の実験の成果と理論研究によって、核物質の状態方程式が狭い範囲に絞られる。そこに C 班の半径の観測結果をあてはめることで、状態方程式をさらに選択し検証する。こうして、原子核物理学の長年の夢でもあった「核物質状態方程式」が実験と観測に裏打ちされた形で決定できると期待される。決定した状態方程式からは、中性子星内部の構造とその各領域に存在する物質の姿が理解される。特に、中心部にハイペロンを含むストレンジ核物質が本当に存在するかどうか、外殻部の中性子物質の超流動の性質はどうか、といった長年の疑問に答えることができる。中性子星の生成や冷却の機構の理解も進展する。さらに、これらの成果は、原子分子物理、物性物理、化学、プラズマ物理といった従来の物質科学の範疇を越えた新しいタイプの物質の科学の創始につながる。

【キーワード】

中性子星: 恒星が進化の末に超新星爆発を起こし、そのあとに残る超高密度の天体。
核物質: 原子核内部の物質のこと。電子がなく、中性子などのバリオン（重粒子）のみからなる物質。

【研究期間と研究経費】

平成 24 年度～28 年度
1,079,300 千円