



宇宙のかなたにある不思議な物質 —中性子星の謎—

東北大学大学院理学研究科 田村 裕四

1. 物質は何からできているか

現在の宇宙に満ちあふれ、地球や生物を形作っている「物質」は何からできているのでしょうか。19世紀に、化学反応や気体の性質の考察から、すべての物質はそれ以上分けられない「原子」から作られているという原子説が生まれましたが、その原子の正体が明らかになったのは20世紀になってからです。図1左のように、正電荷をもつ陽子と電荷のない中性子がある個数ずつ集まった原子核があり、その周りを負電荷をもつ電子が原子核の陽子の数と同数だけ回っている、ということが実験を通じて確かめられました。今では、原子1個1個を特殊な電子顕微鏡で見ることができます。原子核の大きさは原子の1万分の1くらいと非常に小さく、そこに原子の質量の99.98%が集中しているので、原子核は極めて高い密度をもちます。加速器を利用した高エネルギービームの電子顕微鏡のような装置で原子核の形や内部の構造まで見ることができます。

1960年頃までは、物質は陽子・中性子・電子が物質の最小単位である「素粒子」と考えられていました。

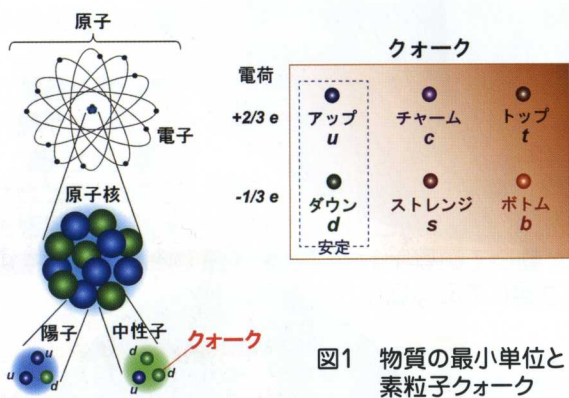


図1 物質の最小単位と素粒子クォーク

の電子ビームを使って陽子・中性子の中を見ると、細かい粒子がうごめいていることがわかりました。こうして、図1のように素粒子クォークが集まって陽子・中性子などの粒子(ハドロンといいます)が出来ることがわかりました。

それ以降、クォークは何種類あってどんな性質をもつのが、素粒子物理学の最大の問題となりました。ノーベル賞を獲得した小林先生・益川先生は、まだクォークが3種類しか見つかっていなかった頃、クォークのもつ特殊な性質(粒子と反粒子の反応がわずかに異なる)を説明するにはクォークが6種類必要であるという理論を発表しましたが、これが実験で完璧に証明され「標準理論」の柱となり

ました。ところで、図1右のようにアップ(u)・ダウン(d)、チャーム(c)・ストレンジ(s)、トップ(t)・ボトム(b)の3組(世代と呼ばれる)合計6種類のクォークのうち、陽子・中性子の中にあるのは1世代目のuとdだけです。電子も素粒子なので、この世界の物質は、uクォーク・dクォーク・電子の3種類の素粒子だけでできていることとなります(ニュートリノという素粒子も宇宙空間をたくさん飛び回っていますが、物質の構成要素とはなれません)。ビッグバンで宇宙ができた直後には、他のクォークも存在していたはずですが、すぐに壊れて安定なu, dクォークに変化したのです。高エネルギーの加速器を使えば他の4つのクォークも作れますが、やはり1ナノ秒以下の短い時間で壊れてu, dクォークになってしまいます。

現在宇宙にある物質はすべて原子でできている、と言ってもいいし、陽子・中性子・電子でできている、あるいは、u, dクォークと電子の3種類の素粒子でできている、と言うこともできます。ところがこの科学の常識が覆ろうとしています。舞台は「中性子星」という不思議な天体です。私達は、この天体の中にどんな物質があるのかを、加速器を使った原子核の実験や、冷却原子ガスの実験、X線天文観測と、原子核やクォークの理論計算やシミュレーションなど、異なる分野の研究を組み合わせることで突き止めようとしています。これからはその最先端の研究についてお話しします。

2. 中性子星とは

中性子星は、1967年に最初に発見されました。1.3秒という短い正確な周期で電波を発する天体(パルサー)が見つかり、宇宙人の仕業ではないかとも言われましたが、これは極めて高速の自転をしている小さな天体が発していることがわかりました。

太陽のような恒星は、内部で核融合反応を起こしてエネルギーを発生させて輝いています。恒星の中心部では、強い重力で物質が圧縮され、水素原子核(陽子)からヘリウム、炭素、酸素と核融合反応で次第に大きな原子核が作られていきます。しかし、鉄の原子核になると、それ以上融合しなくなります。鉄より重い原子核は、核内の陽子同士の電気的反発力が強過ぎて分解(核分裂)しやすくなるためです。中心部が鉄ばかりになると、もはや圧力を保つための熱を核融合で発生できないため、重力で一気に圧縮されます。このとき、電子が鉄の原子核中の陽子と反応して、電子はニュートリノに、陽子は中性子に変わ

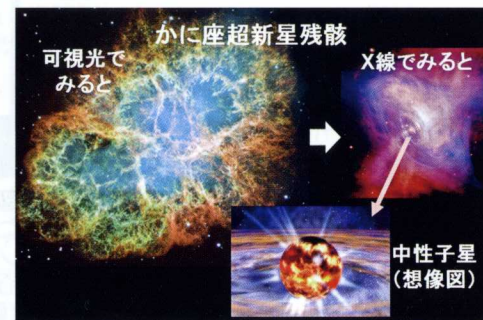


図2 かに座超新星残骸を可視光で見た姿とX線で見た姿。中心にあるX線を放つ中性子星がパルサーとして発見された。(画像は©NASA)

