

【研究の背景】

放射性同位体ニオブ 92 は、現在の太陽系には存在していません。しかし、隕石の研究によってジルコニウム 92 の量が太陽組成より多い事例が見つかりました。これは、太陽系が誕生した時点でニオブ 92 が存在しており、太陽系誕生から現在に至る 46 億年の間に、ニオブ 92 がジルコニウム 92 にベータ崩壊したためです。ジルコニウム 92 の量から、太陽系誕生時に、ニオブ 92 はニオブ 93 の量に対して約 10 万分の 1 の量が存在していたことが判明しました。しかし、ニオブ 92 を生成した天体現象が何かは不明でした。ニオブ 92 の起源が明らかになれば、ニオブ 92 を生成した天体現象が発生した時刻から、太陽系誕生までの時間を評価する宇宙核時計として使うことができます。そのため、いくつかの仮説が提案されましたが、いずれも太陽系に存在していたニオブ 92 の量を、理論計算で再現できませんでした。

【研究の手法】

本研究グループでは数年間に亘り、ニオブ 92 を生成した天体現象が何であるか考え続けました。そして、超新星爆発で発生した多量のニュートリノで生成されたのではないかとという仮説に思い至りました。なお、このような天体現象はニュートリノ過程と呼ばれ、ランタン 138 やタンタル 180 等の天体起源として 1990 年に提案されていました。

太陽の 8 倍以上の質量を有する恒星は、寿命の最期を迎えるとき、中心部の鉄のコアが重力に耐え切れずに収縮し、原始中性子星³⁾を生成します。次に、この原始中性子星から膨大な量のニュートリノが放出され、超新星爆発を引き起こします。この時、ニュートリノが恒星の外側の層を通過するときに、もともと存在していたジルコニウム 92 やニオブ 93 とニュートリノ原子核反応を引き起こし、ニオブ 92 を生成します (図 1 参照)。この仮説を検証するために、ニュートリノと原子核が反応 (図 2 参照) する確率を知る必要があります。しかし、そのような反応率は実験値も理論値も全くなかったので、新たに計算しました。計算したニュートリノ原子核反応率を超新星爆発モデルに組み込み、生成されるニオブ 92 の量を計算しました。さらに、超新星爆発によって生成されたニオブ 92 が初期の太陽系に注ぎ隕石に取り込まれたと仮定しました。そして、超新星爆発から太陽系誕生まで、どのぐらいの時間が経過した場合、太陽系のニオブ 92 の量を再現できるか計算しました (図 3 参照)。

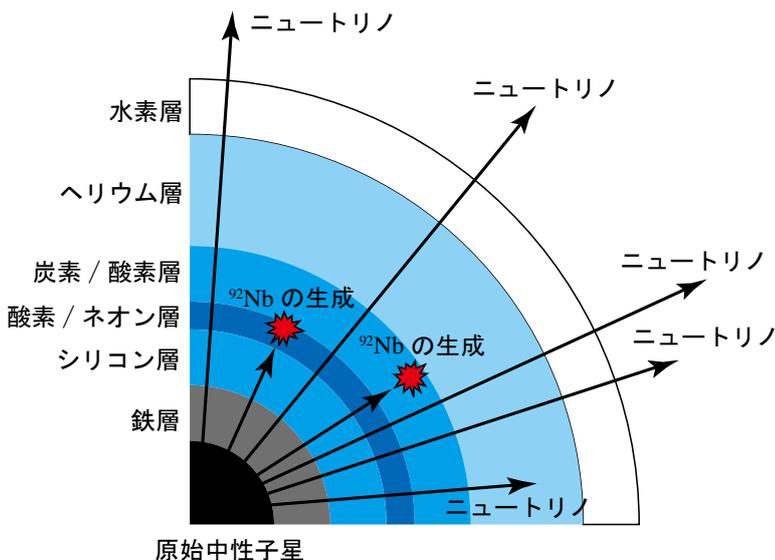


図 1 超新星爆発の初期に、重力崩壊によって中心部に原始中性子星が形成される。原始中性子星から放出されたニュートリノが外層に存在するジルコニウム 92 やニオブ 93 と核反応を起こして、ニオブ 92 を生成する。

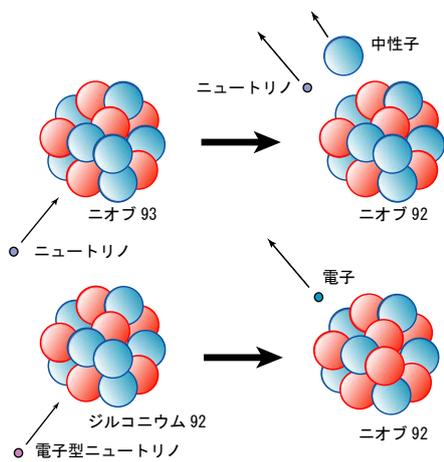


図2 ニュートリノによる新しい核種の生成。(上)ニオブ93にニュートリノ(6種類のニュートリノのどれでも良い)が入射して、中性子をたたき出す反応。(下)ジルコニウム92に電子ニュートリノが入射して中性子を陽子に変換する反応。

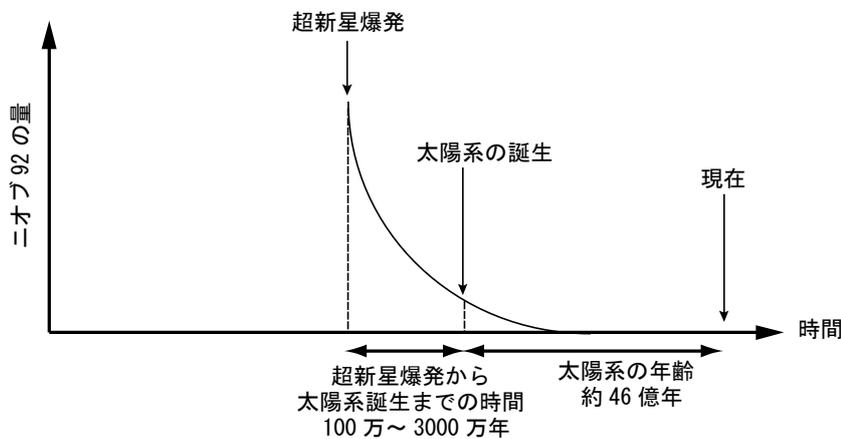


図3 ニオブ92の量の時間変化。太陽系近傍で発生した超新星爆発で生成されたニオブ92は宇宙空間でベータ崩壊によって減少していき、太陽系形成時に隕石等に取り込まれた。その後の約46億年の間にジルコニウム92にベータ崩壊した。超新星爆発によって生成されたニオブ92の量は理論計算で求めることができ、太陽系誕生時の量は隕石研究によって求めることができる。この2つの量から経過した時間を評価できる。

【得られた成果】

太陽系生成時のニオブ92の量(ニオブ93に対して約10万分の1)を、初めて再現しました。現在、ニオブ92の量を再現できる唯一の研究成果です。また、太陽系が誕生する前に、太陽系近傍でニオブ92を生成した超新星爆発が発生したことを支持する証拠です。この超新星爆発から太陽系誕生までの時間は、100万年から3000万年の間であるとの計算結果を得ました。

太陽系形成の年代を評価できる超新星爆発のニュートリノ過程による宇宙核時計としては、ニオブ92が唯一のものです。

【今後の展開】

今後、隕石研究が進みニオブ92の量がより精密に計測されることが期待されます。そうなれば、超新星爆発から太陽系誕生までの時間をより精密に評価することができます。

【用語解説】

1) ニュートリノ

ニュートリノは弱い相互作用を媒介する素粒子。ニュートリノには電子型、タウ型、ミュー型の3種類および、それぞれの反粒子の合計6種類が存在する。

2) ニュートリノ原子核反応

ニュートリノが原子核に吸収され後に、ニュートリノや中性子などが放出されて、異なる原子核に変換される反応。

3) 原始中性子星

太陽より質量が8倍以上の恒星の寿命の最期に、中心部が重力崩壊して生成される高密度の天体。超新星爆発によって外層が吹き飛ばされる前の状態のものを原始中性子星と呼ぶ。