

太陽系形成時に存在した ^{92}Nb の超新星ニュートリノ起源

量子科学技術研究開発機構 早川岳人

^{92}Nb は約 25Mys の半減期で ^{92}Zr にベータ崩壊する短寿命放射性同位体である。始原的隕石の研究の進展によって、太陽系形成時に存在していた ^{92}Nb の量が $^{92}\text{Nb}/^{93}\text{Nb} \sim 10^{-3 \sim 5}$ と推定されている(例、[1-2])。 ^{92}Nb の天体起源が判明すれば宇宙核時計として使用可能である。しかし、 ^{92}Nb の天体起源は宇宙核物理理論の観点からは不明であった。 ^{92}Nb の起源として超新星爆発の光核反応、超新星爆発の α リッチフリーズアウトが提案されたが太陽系形成時の量を合理的に説明できなかった。そこで、超新星爆発で発生した多量のニュートリノによる生成仮説を提案した[3]。このニュートリノ過程は Woosley 等によって提案されており [4]、現在では ^{138}La や ^{180}Ta などの希少な同位体の起源と考えられている。また、天体観測によって ^{19}F の一部がニュートリノ過程で生成されたことを示す証拠が発見されている。太陽より 8 倍以上の質量を持つ恒星は、その寿命の最後に超新星爆発を起こしてその進化を終える。中心部の鉄コアが自らの重力で収縮して原始中性子星を形成する。その過程で、膨大な数のニュートリノと反ニュートリノが外層に向かって放出される。外層では、ニュートリノが新たに原子核を生成する場合がある。このニュートリノで主に ^{92}Zr と ^{93}Nb から ^{92}Nb が生成されたのではないかと考えた。元素生成量を計算する上で必要な、ニュートリノ-原子核反応率を準粒子乱雑位相近似 (QRPA) モデルで計算した。これは実験データがないためである。超新星爆発モデルにこの反応率を取り込み計算したところ $^{92}\text{Nb}/^{93}\text{Nb} \sim 0.3$ とかなり大きな量が生成されることが判明した。次に太陽系形成時の量と比較するために、銀河系における $^{92}\text{Nb}/^{93}\text{Nb}$ の時間変化を計算した。シンプルなモデルでは、 $^{92}\text{Nb}/^{93}\text{Nb} \sim 4 \times 10^{-7}$ となり不足していることが判明した。次に、太陽系形成前後に、太陽系近傍で超新星爆発が発生して、その生成物の一部が太陽系物質に混ざったとする late input model で計算した。その結果、100 万年前から 3000 万年前に発生した超新星爆発の生成物の $f=3 \times 10^{-3}$ 程度 (太陽系質量が 1) が混ざった場合に説明できることが判明した。 ^{92}Nb はニュートリノ過程の宇宙核時計としては初めてのものである。始原的隕石の研究が進めばより詳細に年代を決めることができる。同時に、次の超新星ニュートリノ観測に必要なニュートリノの平均エネルギーの推定に強い制限を与えることができる点で重要である[5]。

参考文献

- [1] C. L. Harpper Jr. *Astrophys. J.* **466**, 437 (1996).
- [2] M. Schönbachler, et al., *Science* **295**, 1705 (2002).
- [3] T. Hayakawa, et al., *Astrophys. J. Lett.* **779**, L9 (2013)
- [4] S. E. Woosley, et al., *Astrophys. J.* **356**, 272 (1990).
- [5] 早川岳人、梶野敏貴、千葉敏、日本物理学会誌、Vol. 70, No. 11, 825(2015).