

話 題 (Ⅲ)

「2nd Int. Symp. on Nuclear Astrophysics,
Nuclei in the Cosmos」報告

(東京工業大学理学部) 嶋 達志

1. はじめに

標記シンポジウムが、1992年7月6日～10日、ドイツ・カールスルーエのバーデン州立図書館において、Karlsruhe研究所の主催で開催された。参加国は24ヶ国、出席者は153名(日本人4名)であった。70件の口頭発表および30件のポスター発表が行われた。テーマ別に分類すると、天文・宇宙線関連17件、原子核反応(実験)33件、原子核反応(理論)13件、恒星内核反応11件、連星系および超新星爆発における元素合成16件、宇宙初期における元素合成2件、太陽ニュートリノ関連3件、銀河の進化5件となっており、天体物理学と原子核物理学の学際領域のシンポジウムとして豊富な内容を含んだものとなった。

2. 各テーマ別内容

以下、主なセッションの概要を記す。

(1) 天文・宇宙線

宇宙や恒星内部での元素合成の機構と環境を解明する上で極めて重要な情報源である恒星大気、宇宙線、隕石等の化学組成、同位体存在比についての、様々な観測データとその解釈についての発表が行われた。たとえば、赤色巨星では $^{16}\text{O}/^{17}\text{O}$ 、 $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ の同位体比は理論値と良く一致するのに対して、 $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ は理論に合わず、巨星内部での対流の効果などを詳細に取り入れる必要があること、バリウムの存在量が特異な星27例のうち26例が二重星であることから、連星系の星から星への物質輸送とそこでの核反応に関する知見が得られること、宇宙線の伝播機構のモデルから推定される星間ガスの化学組成が太陽系のもものと良く似ていることなどが報告された。さらに、1991年4月に打ち上げられたガンマ線観測衛星GROによる、パルサー、活動銀河核、クェーサー、星間領域、銀河系中心、太陽フレア等からのガンマ線に関する最初の観測結果についても報告された。

(2) 原子核反応 (実験)

まず keV 領域荷電粒子による核反応に関しては、 ^{17}O 、 ^{18}O 、 ^{21}Ne 、 ^{22}Ne 、 ^{26}Mg 、 ^{28}Mg などの軽い核の (α, n) 反応および (α, γ) 反応断面積の最新の測定結果と、恒星内部での元素合成に対するそれらの寄与について M. Wiescher (Univ. of Notre Dame)、J. W. Hammer (Univ. of Stuttgart) らが発表をおこなった。また、Gran Sasso 地下実験場 (イタリア) に 30~50 keV の加速器を設置し、より低バックグラウンドな環境での精密測定を目指す LUNA (Laboratory for Underground Nuclear Astrophysics) プロジェクト (ドイツ) や、Louvain-la-Neuve 研究所 (ベルギー) で進行中および Oak Ridge 研究所 (アメリカ) で計画中の、不安定核ビームによる核反応研究プロジェクトについての現状報告がなされた。

次に、中性子による核反応については、 $E_n = 10\sim 80$ keV における ^7Li 、 ^9Be 、 ^{12}C 、 ^{13}C 、 ^{14}N 等軽い核の (n, γ) 反応断面積の測定結果が永井 (東工大) により報告され、一方 Te、Sm、Ba 等の重い核の (n, γ) 反応断面積の測定結果が K. Wisshak、H. Beer (Karlsruhe) らから報告された。これらの結果は、主に恒星のヘリウム燃焼時におこる遅い中性子捕獲による元素合成を理解する上で重要である。また $^{14}\text{N}(n, p)^{14}\text{C}$ 反応は、反応断面積が大きいことおよび ^{14}N が CNO サイクルの主要生成物として恒星内部に豊富に含まれていることから、中性子を消耗し、遅い中性子捕獲による重元素合成を妨げてしまう可能性があり、重要な反応のひとつであるが、従来 Karlsruhe グループによる測定結果が $kT = 25$ keV で 0.81 mb (1988年)、Los Alamos グループによる結果が同じく $kT = 25$ keV で 2.15 mb (1989年) と食い違っており、問題となっていた。これに対して今回 JINR Dubna グループは干渉フィルターで生成した単色中性子ビームを用いた測定結果として、 $kT = 24.5$ keV で 2.11 mb という値を報告した。ただし同グループは、同じ方法を用いて熱中性子による反応断面積として 1.23 ± 0.09 b という結果を出しており、これは従来認められてきた値および本シンポジウムで S. Druyts (CBNM EURATOM) らが報告した値である 1.8 ± 0.1 b という値とは有意な差があるため、上記の問題が完全に解決したとは言いがたい。その他に、 $^{17}\text{O}(n, \alpha)^{14}\text{C}$ 反応断面積が理論的予想値よりも約 2~3 倍大きいことが Karlsruhe グループによって見いだされ、非一様ビッグバンモデル (後述) を想定した場合の中性子過剰領域においても、 β 崩壊寿命の極めて長い ^{14}C がつくられ、元素合成がそれ以上進みにくくなる可能性が指摘された。

(3) 原子核反応 (理論)

現在の所、keV 領域での核反応率に関する実験データは、宇宙初期や恒星内部における元素合成を考えるのに十分であるとは言えず、かなりの程度理論的な予想値に頼らなければならない。このセッションでは、微視的モデル、巨視的モデル、ポテンシャルモ

デル、QRPA の応用などの理論的アプローチが紹介され、原子核の質量、 β 崩壊の寿命等について実験値と比較することにより妥当性が議論された。実際には、すべての核種について実験値を良く再現するモデルは無く、反応毎に適切なモデルを用いるのが現実的なようである。

(4) 恒星内部・連星系・超新星爆発における元素合成

恒星の構造および進化を説明するには、恒星の初期組成や質量、核反応率などのデータに加えて、自転、スピンドアウン、恒星の内部磁場、対流、連星系の場合には相手の星からの物質の降着などの効果を考慮に入れながら、物質およびエネルギーの輸送方程式と核反応ネットワークを計算し、得られた結果を観測データと比較するという方法が取られる。現在、これらの効果のほとんどについてはかなりの精度で評価することが可能になりつつあるが、対流の効果については理解が遅れている。その原因のひとつとして、何らかのモデルに基づいて計算を行う際に $^{12}\text{C}(\alpha, \gamma)^{16}\text{O}$ の反応率の不確かさが大き過ぎ、計算結果と観測データを比較しても、対流に関するモデルの妥当性を評価できないということがある。この反応は、恒星内部の対流が激しくなるヘリウム燃焼段階において最も重要な核反応であり、信頼できる測定の必要性が改めて強調された。

その他、超新星爆発についても、爆発機構の解明を試みる努力が実りつつあり、特にコアの重力崩壊を伴うタイプIIの超新星爆発に関しては、Fe、Ni などの同位体の合成量をかなり良く説明できるようになっている。また、SN1990N、SN1991T の観測データの解析から、タイプIの超新星爆発についても解明が進んでおり、銀河内での元素合成においてタイプI超新星の果たす役割の重要性が認識された。

(5) その他の話題

宇宙論に関連する分野での興味深い話題のひとつに、いわゆるバリオン密度非一様ビッグバンモデルがある。これは、宇宙初期の元素合成時に中性子過剰な領域が存在し、質量数 9 以上の元素の合成された可能性を考えるものであるが、最近古い銀河中の ^9Be の量が過剰気味であることが発見され、銀河形成の初期段階で質量数 9 以上の元素を合成する何らかの機構が存在した可能性もでてくるなど、問題の重要性がさらに増してきた感がある。

また、タイムリーなトピックスとして、ドイツ、イタリア、フランス、アメリカの共同実験 GALLEX の最初の結果が W. Hampel(MPI、Heidelberg) によって発表され、 ^{71}Ga の β 崩壊による太陽内核融合の p-p チェインからのニュートリノフラックスの測定値として $83 \pm 19(\text{stat.}) \pm 8(\text{syst.}) \text{ SNU}$ が報告された。これに関連して、上記の結果は標準太陽モデルによる期待値 131 SNU と矛盾しているとは言い切れないこと、また、本シ

ンポジウムの出席者の一人である F. C. Barker(Australian National Univ.) らが与えた ${}^8\text{Be}(p, \gamma){}^9\text{B}$ 反応断面積の計算値を用いるとニュートリノフラックスの期待値が125 SNU となり、理論にもまだ不確定性が残っていることなど、活発な議論が交わされた。

これらの本プログラムの他に、Karlsruhe 研究所の 3 MV ヴァンデグラーフ加速器を用いた keV 中性子捕獲断面積測定実験の現場や、高エネルギー宇宙線中のハドロン成分を観測するために同研究所が建設中の施設 KASKADE の見学が行われた。

今回のシンポジウムは、まだ 2 回目とは言え、この分野における世界的な拠点のひとつである Karlsruhe 研究所の主催ということもあって、天文学関連の研究と原子核関連の研究の間の有機的な交流が随所に見られ、今後の発展に向けて大変意義深いものであったように思われる。なお、次回は 1994 年にイタリアで開催される予定である。

