



国際シンポジウム「元素の起源と宇宙の進化」 OMEG07 に
参加して

10th International Symposium on Origin of Matter and
Evolution of Galaxies (OMEG07)

— From the Dawn of Universe to the Formation of Solar System —
(December 4–7, 2007, Hokkaido University, Sapporo)

日本原子力研究開発機構
核データ評価研究グループ
岩本 信之
iwamoto.nobuyuki@jaea.go.jp

1. はじめに

2007年12月4日から7日までの4日間、札幌・北海道大学において開かれた OMEG07 (10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies) 国際シンポジウム¹の報告をする。本シンポジウムの第1回は1988年に東京大学で開催され、そのときのシンポジウムのタイトルは「Heavy Ion Physics and Nuclear Astrophysical Problems」というものであり現在とは異なっていた。ちなみに現在のタイトルになったのは1996年の第5回からであったようである。第1回のシンポジウムからニュートリノ物理、不安定核物理、すばる望遠鏡での観測成果等のその時々素粒子、原子核及び宇宙核物理において大きな進展のみられた分野に主眼が置かれてきた。第10回はサブタイトルとして From the Dawn of Universe to the Formation of Solar System とあるように、宇宙初期に誕生した第一世代星から太陽系形成までの宇宙分野の幅広いトピックスに加えて、核データや原子核実験等の最近の話題が取り上げられた。主要なトピックスは以下の通りである。

1. Big Bang Cosmology and Particle Astrophysics
2. Cosmic and Galactic Chemical Evolution and Structure Formation
3. Stellar and Meteoritic Abundances

¹ OMEG07 のホームページ (<http://nucl.sci.hokudai.ac.jp/~omeg07/>) から講演に使われたファイルが閲覧できる。

4. Nucleosynthesis in Stars, Novae, and Supernovae
5. Nuclear Structure and Reactions for Astrophysics
6. Weak Interaction and Neutrino Physics
7. Explosion Mechanism of Supernovae
8. Neutron Star and High Density Matter
9. X-Ray, Gamma Ray, Cosmic Ray, and Meteorites
10. Nuclear Data for Astrophysics

宇宙関連のトピックスが多いように感じられるかもしれないが、講演プログラムの上では素粒子・原子核物理分野と半々程度であった。

これまでのこのシリーズのシンポジウムは東京近郊で開催されてきたが、今回初めて東京を離れて札幌で開かれることとなった。それにもかかわらず参加者は総勢 123 名（講演数 60 件、ポスター数 26 件）にのぼり、外国からの参加者も 12 カ国 29 名であった。

2. 会議概要

シンポジウムは理学部 5 号館にある大講義室で開かれた。この講義室にあるスクリーンは講演をする位置からではその全体が見えないほど大きいものであった。初日の講演の前にはオープニングセッションがあり、これに引き続いて宇宙分野の研究発表が行われた。その分野は「ビッグバン宇宙論」、「第一世代星」、「元素合成」の 3 つのセッションに分けられていた。二日目は「宇宙核物理のための核データ」、「核構造と核反応」、「超新星の爆発メカニズム」、「中性子星と高密度物質」の 4 つのセッションがあり、三日目は「RI ビーム」、「弱い相互作用とニュートリノ物理」、「超新星における元素合成」、「星及び隕石の組成」の 4 セッションという構成となっていた。7 日の最終日は小樽へのエクスカージョンに割り当てられた。なお、初日の講演の最後にはポスター発表者ための 3 分講演が設定されていて、この 3 分講演がシンポジウムの特色となっており、夜 8 時頃まで行われた。

(1) 初日 (Big Bang Cosmology and Particle Astrophysics, First stars, Nucleosynthesis in Stars)

講演は宇宙初期のビッグバン元素合成による ${}^6\text{Li}$ 及び ${}^7\text{Li}$ の合成問題から始まった。D などの軽元素の観測による始原的な量から予想されるバリオン密度に対応する ${}^7\text{Li}$ 量と種族 II² の星で観測される量との差が大きく、矛盾があることが知られている。 ${}^7\text{Li}$ の始原的な量が星間物質における ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ 比の測定という新しい手法によって評価さ

² 銀河円盤や銀河系の中心にあるバルジの周りを囲む領域（ハロー）に分布する球状星団中の星で観測される金属量を持ったグループの総称。金属量は Fe/H 比で表され、その比が太陽の約 1/10 から 1/300 程度を指すことが多い。

れ (${}^7\text{Li}/\text{H}=2.4\times 10^{-10}$)³、その差が小さくなったことが説明された。次にすばる望遠鏡などの地上大望遠鏡を使用した高分散分光観測による金属欠乏星の観測結果が紹介され、多様な組成パターンについての起源等が議論された。理論的な研究として、ビッグバン元素合成で生成された重い元素を含まない組成を持って誕生した AGB 星⁴や超新星爆発から放出されたガスの組成と観測された金属欠乏星の組成パターンとの比較結果が示され、組成パターンから AGB 星内部での混合過程や超新星の爆発メカニズムについての議論が展開された。また、宇宙論的シミュレーションによる第一世代星の形成過程からその星の質量は 100 倍程度（かそれ以上）の太陽質量 (M_{\odot}) を持った大質量星であることが説明された。しかし、現在までに観測されている金属欠乏星の組成パターンは 25~40 M_{\odot} の超新星が放出したガスによって良く再現されている。このような少し軽い質量の星は 100 M_{\odot} 以上の星から放射される紫外線により一旦電離したガスで HD 分子が合成され、その分子輝線による冷却が効くことによって形成されるという最新の研究成果が報告された。また、新しい r 過程元素の合成サイトに関して、ガンマ線バースト⁵の起源として提唱されているコラプサー⁶から放出されるエネルギーの大きなジェット (10^{51} erg 以上) が提案された。そして、超新星爆発で r 過程が進むときの温度環境の違いによる組成パターンの変化や p 過程による重い陽子過剰核の合成などの最新の研究成果が説明された。ガンマ線天文学に対して重要な長寿命不安定核は新星爆発⁷によっても合成されており、その元素合成計算 (Ca まで) には原子核実験によって測定された断面積が多く適用されている。そのために、ガンマ線源となり得る重要な原子核である ${}^{18}\text{F}$ 、 ${}^{22}\text{Na}$ や ${}^{26}\text{Al}$ などの生成量に影響する核反応断面積の測定が Louvain la Neuve (ベルギー) などで行われており、それらの結果が報告された。

³ WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) による宇宙マイクロ波背景放射の観測データの解析からは ${}^7\text{Li}/\text{H}=4.37\times 10^{-10}$ が与えられている。

⁴ 漸近巨星分枝 (Asymptotic Giant Branch) 星のこと。赤色巨星として観測され、明るさは太陽の数千倍以上になる。進化の最期は超新星ではなく、白色矮星となる。

⁵ 等方に放出されたと仮定すると約 10^{51-54} erg にもなる膨大なエネルギーがガンマ線によって数十ミリ秒から数百秒という短時間に放射される天体現象。バーストの起源は良く分かっていないが、極超新星 (通常の超新星の約 10 倍以上のエネルギーを放出する) との関連が示唆されている。GRB と略される。

⁶ GRB のモデルの一つでブラックホールへ重力崩壊している大質量の高速自転星のこと。ブラックホールの周りには降着ガスが持つ角運動量のために降着円盤が形成されており、中心部からはジェットが吹き出している。

⁷ 近接連星系において伴星から白色矮星にガスが降着し、強い重力によって圧縮され、ある臨界点で水素の暴走的な熱核融合反応が起こる。そして、発生したエネルギーによって合成された元素とともに外層は吹き飛ばされる。



ポスターセッション会場での議論の様子



大講義室での二日目午前の講演の様子

(2) 二日目 (Nuclear Data for Astrophysics, Nuclear Structure and Reactions for Astrophysics, Explosion Mechanism of Supernovae, Neutron Star and High Density Matter)

宇宙核物理のための核データと銘打ったセッションでは、まず天体での重元素合成の計算において重要となる中性子捕獲反応断面積の整備が行われていることが紹介された。捕獲断面積に関しては s 過程の計算に関連する H から ^{209}Bi までの元素が網羅されており、実験に基づくマックスウェル平均断面積の無い核種に対しては、Hauser-Feshbach 統計モデルなどの理論モデルを使って半経験的な手法により計算されている。また、ビッグバン、s 過程、そして p 過程元素合成に関連する反応断面積のオンラインライブラリーとして KADoNiS (<http://nuclear-astrophysics.fzk.de/kadonis>) が紹介され、その開発の進捗状況が示された。また、荷電粒子に対する反応断面積や統一的な反応断面積ライブラリーについての説明もあった。次に、2007 年 4 月に原子核反応データ研究開発センターが北海道大学大学院理学研究院に発足したことも

あり、センターの紹介や日本でのデータコンパイル活動の現状について報告がなされた。また、パラレルセッションがあり、天体での元素合成で重要となる反応断面積の測定に関する報告が多数行われた。その中で宇宙核物理に関わる捕獲断面積を逆反応を通して測定する実験手法が説明され、実際にニュースバル⁸での準単色の LCS⁹- γ 線ビームによる D や ^4He における光核反応断面積の測定についての研究成果が説明された。今後の重い原子核への応用が期待される。

(3) 三日目 (RI beams for Nuclear Astrophysics, Weak Interaction and Neutrino Physics, Nuclear Abundances in Supernovae, Stellar and Meteoritic Abundances)

宇宙核物理のための RI ビームのセッションでは、近年進められている RIKEN-RIBF、GSI、ORNL のそれぞれの RI ビーム施設において最近行われている実験に関する進捗状況の説明があった。理研では、 ^{238}U ビームの in-flight fission から生成された不安定同位体を超伝導 RI ビーム分離生成装置 (BigRIPS) により収集・識別することによってパラジウムの最も中性子過剰な安定同位体 (^{110}Pd) よりさらに中性子数が 15 個も多い ^{125}Pd の生成に成功したという報告がなされた。そして、RI ビーム施設のセットアップについての解説と今後の計画についての説明が行われた。GSI では LAND-FRS facility で実施された ^{238}U ビームの in-flight fission から生成された ^{130}Sn 及び ^{132}Sn 不安定同位体に関する研究が報告された。高エネルギー RI ビームの $^{130,132}\text{Sn}$ が Pb によりクーロン励起され、その断面積 (光吸収断面積) 測定が行われた。その結果、安定な ^{124}Sn 同位体では見られない 10MeV 付近にピグミー共鳴の存在が確認された。そのピグミー共鳴の強度から核の対称エネルギーや中性子スキンの厚さ (0.23~0.24fm) が推定された。



東大 CNS の久保野教授による閉会の挨拶の様子

⁸ 兵庫県立大学高度産業科学技術研究所附属のニュースバル放射光施設。

⁹ Laser-Compton Scattered の略。

3. 冬の札幌にて

滞在していた4日間は12月ということもあり非常に寒く最高気温でさえも零度前後しかなく、夜の寒風は非常に厳しかった印象がある。ちなみに出張前日(2日)の水戸の最高気温は15.5度もあり12月にしてはかなり暖かかったせいかもしれない。二日目の夕方に開かれたバンケットでは人が多すぎたために料理の前に長蛇の列ができてしまい、料理をお皿に盛れるまでだいぶ時間を要していたようだった。しかし、出された料理は、一流ホテルの料理人の方が来られて調理されているということもあり、非常に美味しいものでした。そして、三日目の朝には道路一面に雪が積もっており、久しぶりに雪の上を歩くことができた。OMEG07のサーキュラーには雪が降る可能性があるので空港などで滑り止めのスパイク(コロバンド)の購入を検討してみてもどうかという旨の文言があり、外国から来た人が本当に必要なかと心配していたようである。食べ物に関しては冬の札幌ということもあり、かに料理を満喫した。案内した方々にも好評であったようだ。しかし、ホテルへ帰るまでの夜風はやはり冷たかった。



OMEG07 集合写真

The 10 th. International Symposium on Origin of *Matter* and *Evolution* of *Galaxies*

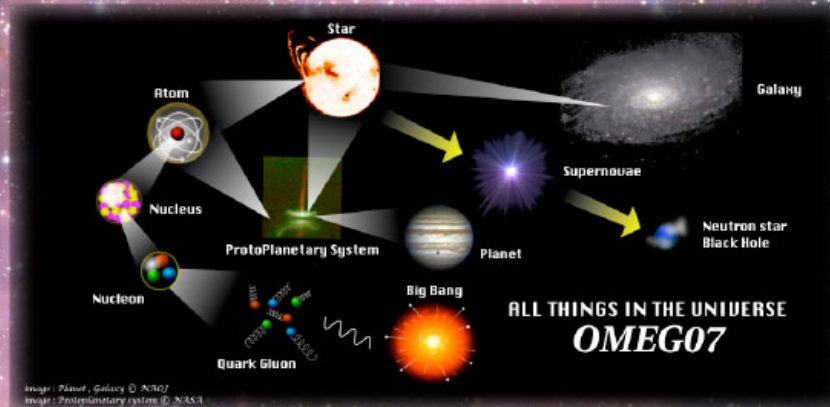
– New Horizon of Nuclear Astrophysics and Cosmology –

December 4-7, 2007

Graduate School of Science, Hokkaido University, Sapporo, Japan

Science Topics

- ★ Big Bang Cosmology and Particle Astrophysics
- ★ Cosmic and Galactic Chemical Evolution and Structure Formation
- ★ Stellar and Meteoritic Abundances
- ★ Nucleosynthesis in Stars, Novae, and Supernovae
- ★ Nuclear Structure and Reactions for Astrophysics
- ★ Weak Interaction and Neutrino Physics
- ★ Explosion Mechanism of Supernovae
- ★ Neutron Star and High Density Matter
- ★ X-Ray, Gamma Ray, and Cosmic Ray
- ★ Nuclear Data for Astrophysics



Invited Speakers

G. J. Mathews (Notre Dame), T. Rüdiger (Minnesota), N. Yoshida (Nagoya),
T. C. Beers (Michigan State/INM), L. R. Nittler (Washington), M. Limongi (INAF),
A. Coc (CSNSM, Orsay), N. Iwamoto (IAEA), C. Spitaleri (Catania), K. E. Rehm (Argonne),
T. Motobayashi (RIKEN/UT), T. Aumann (GSI), T. Shima (RCNP), K. Ishikawa (Hokkaido), T. Suzuki (Nihon),
S. I. Blinnikov (ITEP/UT-RESCEU), K. Sumiyoshi (Numazu), K. Koyama (Kyoto), T. Dillmann (Karlsruhe)

International Advisory Committee

H. Ando (NAOJ/Tokyo), A. Balantekin (Wisconsin), R. Boyd (IIT-NL), L. Buchmann (TRIUMF),
R. Gallino (Torino), W. Haxton (Washington, Seattle), K. Koyama (Kyoto), K. Langanke (GSI),
G. S. Lee (Korea), W. P. Liu (CAE, Beijing), G. Mathews (Notre Dame), A. Mengoni (IAEA, Vienna/ERN),
Y. Nagai (IAEA), M. Nakahata (Tokyo), P. Nissen (Aarhus), T. Otsuka (Tokyo),
N. Prantzos (Paris), C. Rolfs (Bochum), K. Sagara (Kyushu), K. Sato (Tokyo),
H. Schatz (Michigan State), J. Silk (Cambridge), M. S. Smith (ORNL), C. Spitaleri (Catania),
P.-K. Thielemann (Basel), H. Toki (RCNP), J. Turan (Chicago), M. Wiescher (Notre Dame), H. Yurimoto (Hokkaido)

Local Organizing Committee

M. Y. Fujimoto (Hokkaido: Chair), K. Kato (Hokkaido: Vice-Chair), S. Kubono (UT-CNS: Vice-Chair),
T. Kajino (NAOJ/GUAS/UT: Vice-Chair), W. Aoki (NAOJ/GUAS), T. Motobayashi (RIKEN/UT),
T. Kishimoto (RCNP), H. Miyatake (KEK), K. Nomoto (Tokyo), K. Ishikawa (Hokkaido),
T. Kuzasa (Hokkaido), S. Watarai (Hokkaido), A. Ohnishi (Hokkaido: Scientific Secretary),
T. Suda (Hokkaido: Scientific Secretary), T. Nozawa (Hokkaido: Scientific Secretary)

Hosts: Dept. of Cosmoscience, Grad. Sch. of Science, Hokkaido U. / National Astronomical Observatory of Japan
Center for Nuclear Study, U. of Tokyo, / RIKEN / Research Center for Nuclear Physics, Osaka U.
KEK / Dept. of Astronomy, Grad. Sch. of Science, U. of Tokyo (UT), / The Science Council of Japan
The Physical Society of Japan.

Sponsor: The Astronomical Society of Japan

OMEG07 のポスター