



NIC X - 10th Symposium on Nuclei in the Cosmos に参加して

愛知淑徳大学

親松 和浩

oyak@asu.aasa.ac.jp

“Nuclei in the Cosmos”は天体核物理学に関する最も重要な国際会議の一つである。第10回目の節目となる今回は米国ミシガン州ヒューロン湖に浮かぶリゾート地であるマキナック島(写真1)で7月27日から8月1日までミシガン州立大学のNSCL(National Superconducting Cyclotron Laboratory)、JINA(Joint Institute for Nuclear Astrophysics)、物理学及び天文学科をホストとして開催された。会議の概略についてはwebページ

<http://meetings.nscl.msu.edu/nic2008/>

に掲載されている以下の紹介が分かりやすい。



写真1 マキナック島の波止場通り

この会議は実験及び理論原子核物理学、天文学、理論天体核物理学、宇宙化学の研究者をはじめとして原子核物理学と天体物理学の境界領域の科学的諸問題に興味のある研究者を一堂に会するものである。討議する内容は、例えば、宇宙における元素の起源、ビッグバンや恒星及び（超）新星爆発での元素合成である。

過去の会合は1900年ウィーン（オーストリア）に始まり、以降は2年に1度、1992年カールスルーエ（ドイツ）、1994年グランサッソー（イタリア）、1996年ノートルダム（米）、1998年ボロス（ギリシャ）、2000年アーフス（デンマーク）、2002年富士吉田（日本）、2004年バンクーバー（カナダ）、2006年ジュネーブ（スイス）で開催されてきた。

私にとっては1994年のグランサッソー、2002年の富士吉田に続いての3回目の参加となる。これらの会議ではグランサッソー地下研究所（最近では長基線ニュートリノ振動実験 OPERA が有名）や理研の RIBF 計画といった実験施設の見学がプログラムされていた。今回はそうしたものはなく、自動車の通行が禁止され島内には馬車と自転車のみという世間とは隔絶したリゾート地でじっくり議論をしようという趣であった。

会場となったミッション・ポイント・リゾート（写真2）は一時期映画スタジオとして使われ、ユニバーサルスタジオにリースされていたこともあったそうである。スーパーマン俳優のクリストファー・リーブ主演の“Somewhere in Time”という映画はここで撮影されたそうで、その当時の写真をパネルにして飾ってあった。また、講演会場もスタジオそのものであった（写真3）。



写真2 会場となったミッション・ポイント・リゾート



写真3 講演会場

この会議の特色の一つはパラレルセッションを置かずに、様々な専門背景を持つすべての参加者がすべての講演に参加して包括的な議論ができることである。セッションは7月28日月曜日朝から最終日の8月1日金曜日のお昼まで行われた。テーマと講演数は以下の通りである。

7月28日（月曜日）

- Session 1: Big Big 3 件
- Session 2: First Stars 3 件
- Session 3: Stars 5 件
- Session 4: Stars and Signatures 5 件
- Data Session: 4 件

7月29日（火曜日）

- Session 5: Core Collapse Supernovae I 3 件
- Session 6: Core Collapse Supernovae II 5 件
- Session 7: r-process I 4 件
- Session 8: r-process II 4 件
- Poster Session 約 170 件

7月30日（水曜日）

- Session 9: s-process I 4 件
- Session 10: s-process II 6 件
- Excursion
- Banquet

7月31日（木曜日）

- Session 11: p-process 4 件
- Session 12: Type Ia Supernovae 3 件
- Session 13: Neutrinos, Novae I 5 件
- Session 14: Novae II 5 件

8月1日（金曜日）

- Session 15: X-ray bursts 4 件
- Session 16: Neutron Stars 4 件

これらのうち、Data Session はプログラムに記載のないインフォーマルミーティングであり月曜日の夜に開かれ、天体核データに関するデータセンター活動が報告された。

- (1) CARINA network : 欧州の天体核物理研究のネットワークである

<http://www.ikp.physik.tu-darmstadt.de/carina/>

- (2) KaDoNiS : s-process および p-process に関係する断面積データベースである Karlsruhe Astrophysical Database of Nucleosynthesis in Stars

<http://www.kadonis.org/>

- (3) nuastrodat : 天体核物理計算のデータベースとその開発のインフラを与え元素合成計算のソフトウェアも提供する

<http://www.nuastrodata.org/>

nuclearmasses : 原子核質量の評価利用のためのインフラ

<http://nuclearmasses.org/>

bigbangonline : ビッグバン元素合成の計算や可視化ができるデータベース

<http://bigbangonline.org/>

- (4) REACLIB Database : JINA の nuclear reaction rate database

<http://www.nsl.msu.edu/~nero/db/>

講演のスライドのほとんどが、会議の web ページから閲覧が可能である。また Proceedings も前回の CERN での会議録 (<http://pos.sissa.it/cgi-bin/reader/conf.cgi?confid=28>) と同様に PoS (Proceedings of Science) というオンライン出版なので誰でもダウンロードして読むことができるようになる。ただし、残念ながら上述の Data Session のスライドや会議録掲載はないので上記 URL でご覧いただきたい。

詳細な記録は web でご覧いただくことにして、以下では個人的に記憶に残ったことから、ノートを見ながらいくつか紹介したい。

今回の開催地は米国外から参加するには不便であったため、欧州からの参加が多くなかったように感じた。そのためもあってプログラムの構成も、善かれ悪しかれ、ホストである米国の研究の全体像が見えてくるようなものであった。日本の貢献の存在感が小さかったことは残念であった。

一緒に参加した沼津高専の住吉氏によると、今回の会議の講演は最新の成果よりも導入の教科書的な話の比率が高いものが多かったとのことである。会議の直前の 22 日から 27 日までアルゴンヌ国立研究所でこの会議のプレスクールが JINA 主催で開催されている。テーマと参加者のバックグラウンドが幅広いこの会議ではこうした取り組みは良いことだと思う。

以下のセッションの報告では敬称を略すことにする。

最初のセッションは Fields のビッグバン元素合成のレビューから始まり、⁷Li 問題と(ち

ようど原稿執筆時にファーストビームの出した) LHC への期待が取り上げられた。⁷Li 問題はビッグバン元素合成だけでなく第 1 世代星での元素合成の寄与もある (Cayrel)。このように宇宙の化学進化を考える上ではビッグバン元素合成のあとの第 1 世代星や銀河の形成が関連してくる。宇宙初期の星に対応する metal poor star ((金属欠乏星) [Fe/H]<-1) の探索では

[Fe/H] < -2 : very metal poor, [Fe/H] < -3 : extremely metal poor,

と呼ぶそうだが、[Fe/H]<-4.0 の ultra metal poor star が 5 つ見ついているそうである。こうした古い星は銀河の outer halo で見ついている (Beers) という。ビッグバン、最初の星の誕生、銀河の形成と話が広がって私にはなんだか訳が分からなくなってくるが、次々と得られる観測的情報にどう答えていくかがこれからの課題のようである。

元素合成計算に必要な反応率の決定のためには反応断面積を直接測定していくか、適当なモデル計算を行う必要がある。まず、安定核を用いた測定 (Iliadis) と第 1 原理計算による評価 (Nolett) の取り組みが紹介された。後者については正直なところ会議ではあまり注目していなかったのだが、これからは (軽い核の) 低励起状態の構造計算だけでなく核反応の第 1 原理計算ができるというメッセージは非常に大きな意義を感じる。構造の第 1 原理計算ではテンソル力がびっくりするほど大きな寄与を与えることを明らかにしたが、反応計算でも新たな知見を与えてくれそうで楽しみである。

Gamma ray line spectroscopy (Leising) や presolar stardust (Nitter) に関する観測/測定に関してはあまり馴染みがないが、ミクロン程度の grain の精密な分析から超新星での元素の合成やミキシングのモデルに対する制限を与えられるとは驚きであった。超新星 grain データはおおむね現在の超新星モデルで説明できるが、¹⁵N (かなりのミキシングがあることを示唆) などいくつかのパズルがあるとのことである。吉田の講演では、presolar grain 同位体比を再現する超新星混合モデルが、再現される同位体比によって大きく 3 種類に分けることができ、混合モデルは外側の He 層あるいは内側の Ni 層を主要成分に持ちうることを示された。モデル計算に対する観測による条件が存在するのだということも再認識した。また、¹⁰Be、²⁶Al、⁶⁰Fe といった半減期が 100 万年以下の短寿命 (!) 原子核の起源 (Gounelle) に関しては、Kappeler、Lugaro、Diehl も報告し、特に ²⁶Al、⁶⁰Fe については Wiescher の Summary でも取り上げられており主要な課題であるという印象をもった。

私にとって最も印象深かったのは、重力崩壊型超新星爆発における核物理の役割という Hix の講演である。なかでも、超新星物質の状態方程式の不確かさが比較的低密度の物質の成分やエントロピーに大きな違いを与えるという結果は驚きであり、私自身の今後の研究の方向性を再検討するきっかけとなった。また、Bertsch の原子核構造に関する密度汎関数法に構築に関する報告も興味深かった。この理論は電子系で大きな成功を収めたもので、かなり大きなプロジェクトとして精力的に研究が進められており web ペー

ジ (<http://www.unedf.org/>) に情報が公開されている。

さて Type Ia 超新星は宇宙の距離指標として宇宙膨張の情報を得るために重要な非常に明るい標準光源である。第一人者である Woosely の報告はきわめて系統的かつ包括的であり、宇宙論的な意義からも印象深かった。

原子核の実験では安定及び不安定 pf-shell 核の Gamow-Teller 遷移の精密測定に関する藤田 (RCNP) の報告に興味を持った。この方法を原子炉での FP 崩壊熱に効いてくる原子核に使えるかと思って質問したが isospin symmetry を利用しているため $N=Z$ 近傍の核でなければだめで、残念ながら FP 原子核には使えないとのことだった。また、Pereira が NSCL での r 過程原子核の β 崩壊測定を、p-過程については Sonnabend が報告し、その他 Hammache、Nunes、Ruiz が主要な施設での研究について報告したが、理研の報告がなかったのは少し寂しかった。ところで、行きの飛行機で一緒になった Koehler が報告した $^{95}\text{Mo}(n,\gamma)$ 断面積の精密測定は原子炉での反応も応用の一つとしてあるとのことであつと興味を持った。しかし、断面積そのものはあまり原子炉では重要ではなく、測定手法の応用性ということのようであった。

その他、ニュートリノについては Fuller が、小林 (Australian National University) が銀河と宇宙の化学進化のダイナミカルなシミュレーションを報告した。

中性子星関係は最終日にまとめられた。Cumming、Horowitz が議論したのは伴星から中性子星表面に降り積もる物質の燃焼 (核反応) についてであった。超高密度天体の構造から、超高密度天体での反応へと研究の広がっていることが印象的だった。最後のセッションであった中性子星とその状態方程式に関する報告も非常に面白かった。まず Rutledge が X 線の観測により中性子星の質量と半径の同時測定が可能になると報告し、その次の講演で Prakash が質量半径の組がいくつかそろえば逆問題を解くことによって状態方程式を決められると報告した。Prakash に質問したところ、質量の値が異なる 5 つの中性子星の質量半径データがあれば状態方程式をある程度決定できるとのことであった。昔からあるアイデアではあるが、今後の観測とその解析が楽しみである。

幅広いテーマとリゾート地の快適さのため、あつという間の一週間だった。会議全体を通して感じたことは、限られた資源を活用して研究を推進していくための web を利用した情報の公開、成果の発表、サービスの提供であった。こうした取り組みは見習いたいものだと強く感じた。

もしかしたら私の無知のため本稿中にいくつかおかしな文言があるかもしれない。その場合はこの会議の web ページからリンクされている講演のスライドや、今後公開される報文集でご確認いただき、どうかご容赦いただきたい。