

International Symposium on Pulsed Neutron Science  
and Instruments (IPN-2003)の報告

2003年10月27~30日

高エネルギー加速器研究機構及び日本原子力研究所

高エネルギー加速器研究機構  
物質構造科学研究所  
川合 将義  
masayoshi.kawai@kek.jp

1. 概要

熱外から冷中性子領域におよぶ低エネルギーの中性子を用いた中性子散乱法は、原理上、物質構造科学や生命科学の有力な手段であるが、これまで強度の面から放射光の後塵を拝していた。現在、日本原子力研究所(原研)と高エネルギー加速器研究機構(KEK)の共同計画の大強度陽子加速器計画 J-PARC ならびに米国の SNS 計画では、高エネルギー陽子ビームが生み出す核破砕中性子を用いた 1 MW クラスの次世代パルス中性子源の建設が進行中である。また、英国ラザフォード・アップルトン研究所の核破砕中性子源 ISIS では、第 2 ターゲットステーションの建設が進行中である。さらに、アジア地域では、中国も ISIS 級の核破砕中性子源を用いた中性子散乱施設の建設を目指している。特に、前 2 計画のパルス中性子源の強度は、瞬間値で現在世界最大強度を誇るフランスのグルノーブルにある ILL (Institut Laue-Langevin) の原子炉に比べて 2 桁高く、また、平均強度でも ILL の数分の 1 というものである。飛行時間法で中性子の速度を計測することを基本とする中性子においては、上記のパルス中性子の強度が強いことは、非常に重要であり、並行して開発が進められる中性子検出器や分光技術の開発効果を含めると、これまでの 3 ないし 4 桁の改善が期待できる。その結果、これまで中性子では不可能とされてきた微量試料を用いての構造解析や、非弾性散乱を調べることによって物質のダイナミクスや機能発現の仕組みの解明が可能となろう。

こうした情勢を踏まえて、新たなパルス中性子源により展開されるサイエンスの動向・可能性を再認識し、それらの実現のために、J-PARC プロジェクトが提案する分光器を中心に、そのデザインについて海外の専門家を含め議論を深めることを目的として表記の IPN2003 が KEK と原研の共催のもとに開かれた。講演ならびにポスターセッション

を含めた議論が、KEK の 3 号館のセミナーホールで行われ、その後、原研の J-PARC の建設現場を見学し、先端基礎科学センターの会議室で全体を総括した。

シンポジウムには、海外から 44 名の専門家を招き、国内参加者と合わせて総勢 143 名が参加した。プログラムは、以下にトピックス名と講演者を示すように、主に、パルス中性子を用いたサイエンスのセッションと、J-PARC のプロジェクトチームが提案する分光器を中心とした分光器デザインに関するワークショップで構成された。サイエンスについては、マテリアル科学、基礎物理、固体物理、生物、ソフトマター、化学の幅広い分野がバランス良くカバーされ、それぞれ基調講演を皮切りに、パルス中性子の利用により得られた数多くの研究成果が示された。また、今後の期待についても述べられた。一方の分光器ワークショップでは、単結晶回折、粉末回折、小角・反射率計、非弾性のグループに分かれ、J-PARC 提案装置を中心とした分光器デザインについて活発な議論が交わされた。三日目の晩に設けられたポスターセッションには、34 件の発表登録があり、シンポジウムで用意された軽食を片手に、夜遅くまで議論が続けられた。

それらの内容は、物性研究が中心課題であるため、ここでは、核データとの結びつきが強い基礎物理の分野の報告の概要のみを示す。なお、IPN2003 のプロシーディングスは、この会議のサテライトワークショップ UKJ2003 とともに Journal of Neutron Research の特集号として、今年度に発刊される予定である。

基礎物理のセッションは、2 件が報告された。一つは、カールスルーエ研究所の F. Kaeppler の宇宙物理用の核データ測定に関するものである。先ず、宇宙創成のシナリオから始まり、図 1 に示すような鉄から鉛元素の形成に寄与する s-過程の説明がされた。この過程では、中性子吸収と  $\beta$  崩壊を中心に元素形成が進行するので、 $\beta$  安定核が多く形成される。とりわけ、図 2 に示すように中性子核反応断面積は、生成元素の割り合いを評価するのに重要である。なお、この過程に影響する中性子は、ヘリウム燃焼過程での  $^{13}\text{C}(\alpha, n)$  及び  $^{22}\text{Ne}(\alpha, n)$  反応で生み出されたもので、中性子スペクトルは、各 8 keV と 25 keV のマックスウエル分布である。特に後者が重要である。そのため、宇宙物理のためには、25keV のマックスウエル分布で平均した断面積に関心が持たれている。図 3 にその現状を示す。そして、宇宙創成の歴史の中では、不安定核の中性子捕獲反応が強く影響した筈であり、量的に少ない不安定核の断面積データ測定に、大強度のパルス中性子が期待されている。測定法として、捕獲ガンマ線測定法とともに放射化法がある。但し、前者では濃縮試料が、後者はガンマ線エネルギーでの同位体識別が必要になる。また、25keV のマックスウエル分布の場が望ましく、例えば  $^7\text{Li}(p,n)^7\text{Be}$  源が考えられる。必要な試料は、電子線形加速器のような光中性子では 0.05~5g が必要であるが、核破碎中性子源では、かなり少なく済む。もし、 $3 \times 10^9 \text{ n/s}$  の中性子源が得られるなら、 $^{147}\text{Pm}$  の平均断面積は 28ng で十分に測定できる。また、ガンマ線検出器では、捕獲ガンマ線をほぼ 100%捕まえられる  $4\pi\text{BaF}_2$  が利用でき、例えば  $^{151}\text{Sm}$  の断面積は、普通の Ge 検出器だと図 4 に

示すように 150mg 程度必要だったものが、最近  $4\pi\text{BaF}_2$  を使用したところ、僅か 1mg の試料で測定できたということである。大きな Ge を使って例えば  $^{147}\text{Pm}$  崩壊ガンマ線を測定することで測定の効率を向上できる。これまで、彼等のグループは、ロスアラモスの LANSCE の 800eV 陽子を用いて実験を行って来たが、2002 年以降は 20GeV 陽子が見える CERN の PS213 も使用できるようになった。PS213 では、陽子ビームのパルス幅が LANSCE の 250 ns に対して 7 ns と格段に小さくなり、飛行距離も 20 m に対して 185 m と、性能が大幅に向上しているの、今後によくを期待できよう。星によっては、図 2 に示したように s-過程で説明できない同位体も多く含まれており、r-または p-過程の寄与も重要である。非常に古い星の金属成分には、通常の s-過程で含まれる量の 1000 倍も多く Ba から Pb を含むものがある。それらの解明にも高中性子束の場と高精度の化学分析技術が期待されている。(なお、講演後、Dr. F. Kaeppeler とは、久しぶりの再会を祝すとともに、シグマ委員会での FP 核データの評価活動について紹介した。そして、最近彼等が行った FP 核種の中性子捕獲反応断面積の測定について情報を得ることができた。)

南カリフォルニア大学の V. Gudkov の講演は、中性子捕獲後の  $\beta$  崩壊の弱い核反応における遷移確率を解明しようとする基礎物理への応用に関するものである。SNS 計画に対しては、小林-益川理論が示す遷移マトリックス要素のユニタリー性の測定が提案されている。これらのデータは、通常、実験のみで補正することは困難であり、理論の助けがいる。ただ、その理論の妥当性を検証するためにも、n- $\beta$  実験について、0.1~0.5% の高い精度が要求される。一方、中性子崩壊についてのガンマ線(寄与)の補正は、約 2%、反跳補正については、数%にもなる。これらの補正量は、実験での要求精度とほぼ同じオーダーであると同時に、感度解析的には標準理論が示す不確かさのレベルを超える厳しさと言える。Gudkov はこれらの補正法の現状を解説し、n- $\beta$  データの解析について、いくつかのアプローチを紹介した。

## 2. プログラムの概要

10 月 27 日 (月)

### Opening

A. Koma (KEK) and K. Noda (JAERI)

### Session I. Plenary

W. Press (ILL) on behalf of C. Vettier (ILL) NEUTRONS FOR EVER

### Session II. New Spallation Sources

S. Nagamiya (KEK) and Y. Ikeda (JAERI), I. Anderson (ORNL/SNS), J. Penfold (RAL),  
J. Zhang (Chinese Academy of Science)

### Session III. Materials Science

Keynote Lecture: Y. Tomota (Ibaraki University) Application of Neutron Diffraction to

Materials Engineering

M. Daymond (RAL), T. Kamiyama (KEK), C. Loong (ANL), H. Kagi (University of Tokyo), E. Lehmann (PSI), W. I. F. David (RAL)

Session IV. Fundamental Physics

F. Kaeppler (Forschungszentrum Karlsruhe), V. Gudkov (University of South Carolina)

■ After Dinner Working Group Sessions: Computing, Detector, Optics

Coordinators: R. McGreevy (RAL), T. Otomo (KEK), M. Furusaka (KEK), H. Shimizu (RIKEN), I. Anderson (ORNL/SNS)

10月28日 (火)

Session V. Solid State Physics

Keynote Lecture: Y. Tokura (University of Tokyo) Control of Correlated-Electron Phase  
C. Broholm (Johns Hopkins University), T. Egami (ORNL, University of Tennessee),  
M. Matsuda (JAERI),  
K. MaEwen (University College London), H. Kawano-Furukawa (Ochanomizu University)

Session VI. Instrument, Component

Keynote Lecture: F. Mezei (HMI) New Instrument Concepts for Future Pulsed Spallation Sources  
H. Shimizu (RIKEN), R. McGreevy (RAL)

Session VII. Instruments Workshop

1) Single Crystal Diffraction

Discussion Leaders: P. Thiyagarajan (ANL), N. Niimura (JAERI)

Panelists: I. Tanaka (JAERI), D. Myles (SNS), M. Takahashi (University of Tsukuba)

2) Powder Diffraction

Discussion Leaders: W. I. F. David (RAL), T. Kamiyama (KEK)

Panelists: T. Otomo (KEK), T. Ishigaki (Muroran Institute of Technology), A. Moriai (JAERI), X.-L. Wang (ORNL), W. I. F. David (RAL)

3) SANS, Reflectometer

Discussion Leaders: J. Penfold (RAL), M. Furusaka (KEK)

Panelists: J. Suzuki (JAERI), N. Torikai (KEK), M. Takeda (JAERI)

4) Inelastic Instruments

Discussion Leaders: C. Broholm (Johns Hopkins University), K. Kakurai (JAERI)

Panelists: S. Itoh (KEK), K. Nakajima (JAERI), K. Shibata (JAERI), R. Lechner (HMI), P. Sokol (Pennsylvania State University), M. Monkenbusch (Forschungszentrum Julich)

**Symposium Banquet**

10月29日 (水)

### Session VIII. Biological Macromolecules

Keynote Lecture: R. Bau (University of Southern California) Neutron Diffraction Studies of Proteins

P. Langan (LANL), K. Kurihara (JAERI), D. Middendorf (University of Oxford), M. Hirai (Gunma University)

### Session IX. Soft Matter

Keynote Lecture: D. Richter (Forschungszentrum Juelich) Neutron in Soft Condensed Matter

T. Kanaya (Kyoto University), J. Penfold (RAL), M. Imai (Ochanomizu University), P. Thiyagarajan (ANL), S. Koizumi (JAERI)

### Session X. Chemical Materials

Keynote Lecture: A. Inaba (Osaka University) Two-Dimensional Solids Formed at Interfaces

S. Clarke (University of Cambridge), M. Misawa (Niigata University), W. Press (ILL)

### **Poster Session**

Total 34 poster contributions

10月30日 (木)

J-PARC Tour

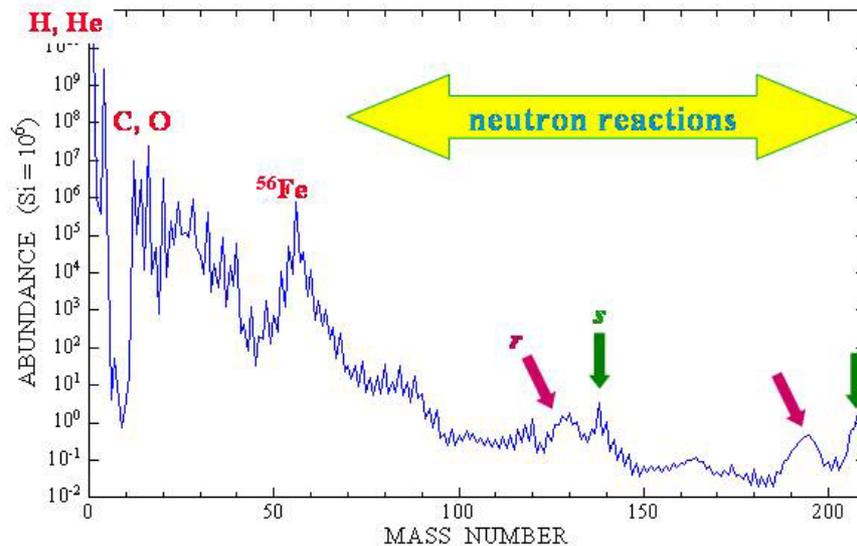
### Session XI. Summary

Report from the Workshop and the After Dinner Working Session

### **Closing**

Y. Morii (JAERI) on behalf of S. Ikeda (KEK) and Y. Oyama (JAERI)

## *the standard abundance distribution*



- local average 4.5 Gyr ago
- can not be derived from terrestrial material

図1 元素の標準存在分布

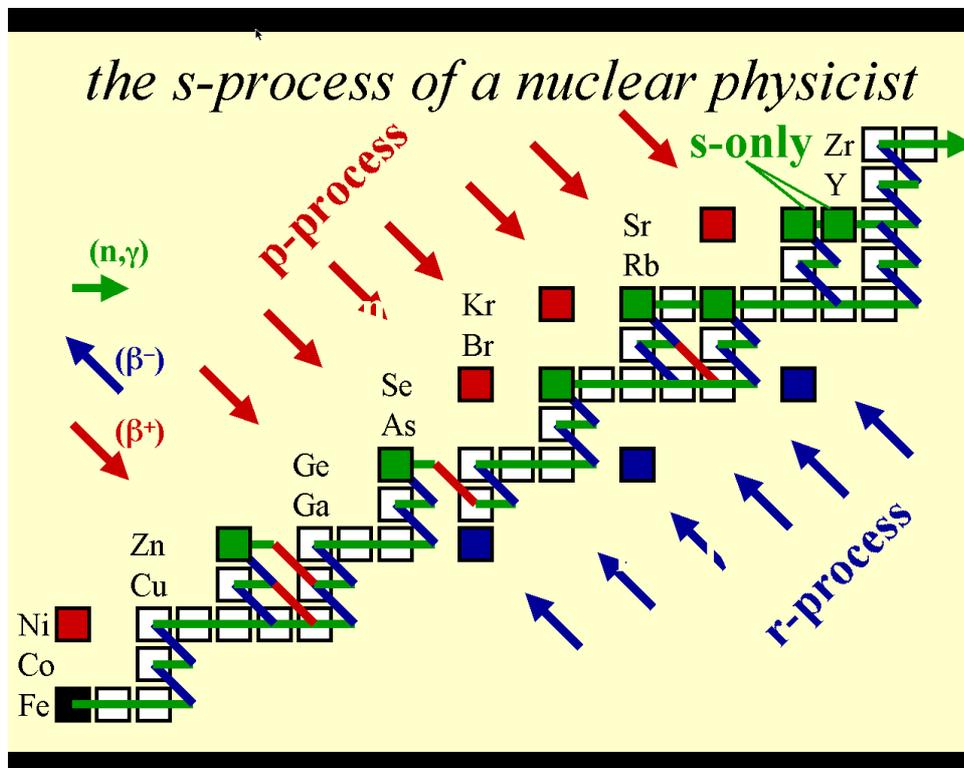


図2 元素生成の過程説明

## *status of s-process (n, $\gamma$ ) cross sections and remaining quests*

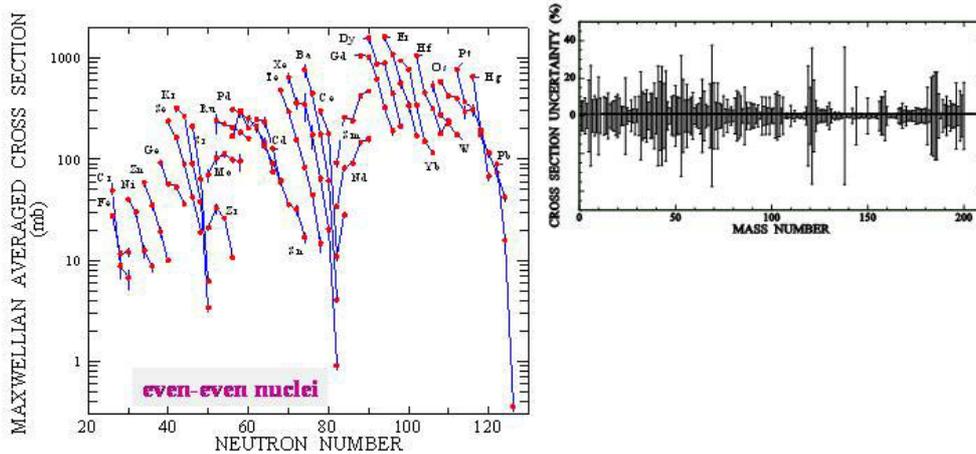


図3 25keV マックスウェル平均の中性子捕獲断面積とその不確かさ

## $^{151}\text{Sm}$ ( $t_{1/2}=93$ yr): *raw n\_TOF data*

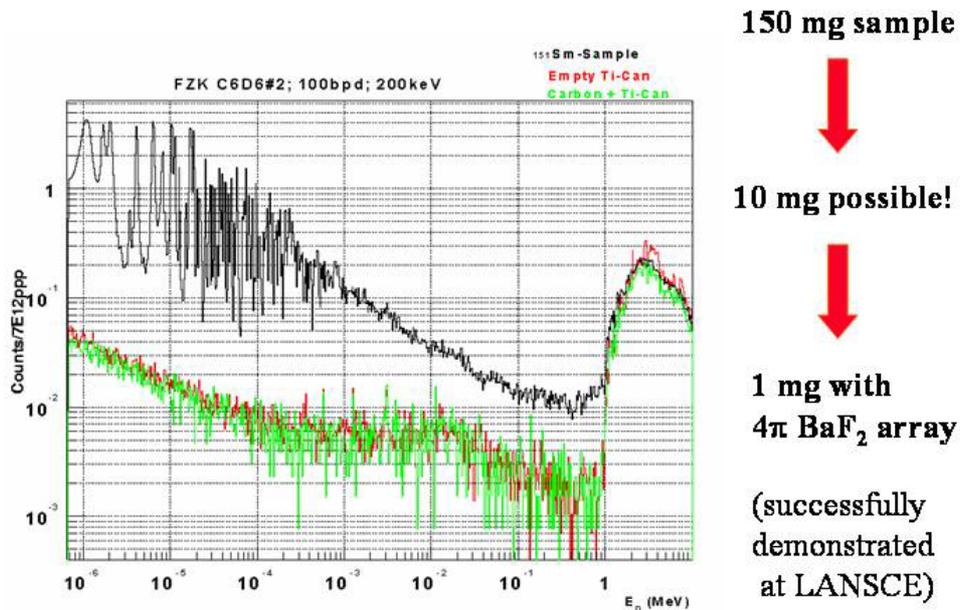


図4  $\text{Sm}^{151}$  断面積の測定の変遷