

話 題 (V)

「中間エネルギー領域核データ応用に関する
IAEA 諮問家会合」の話題

(日本原子力研究所) 深堀 智生

1. はじめに

昨年11月 9～12日にウィーンで開催された標記会合に参加する機会を頂いたので、その印象をかなりの部分独断と偏見をいれながら報告したい。この会合は近い将来スポレーション中性子源用加速器の遮蔽設計や医療用RIの製造などに必要となる中間エネルギー領域(～数 GeV)の核データに関して、測定・評価・応用の各分野の今後の活動と国際協力のあり方をIAEAに諮問するために開かれた。したがって、核データ分野の錚々たるメンバー(表-1)が参加していた。筆者は米国出張中PbとBiの1 GeVまでの中性子及び陽子入射反応核データの評価を行っていたため、ブルックヘブン国立研究所国立核データセンター(BNL/NNDC)のセンター長Pearlstein氏がIAEAに推薦してくれたのだと思う。しかしながら、この種の会合の参加経験が殆どなく、ウィーンも初めてなので少々心配していたが、IAEA関係者や国内(特に核データセンター)の方々もそう思ったのか、日本から原研の中原康明、中島豊の両氏及びNEA/Data Bank出向中の柴田恵一氏が参加されていたので、たいへん心強い思いがした。

会議は大きく現状のレビューと今後の活動に関する討議の部分に分かれていた。前半のレビューでは中間エネルギー領域核データの必要性、計算及び評価の現状、測定の現状報告がそれぞれ5～6件程度報告され、後半の討議ではレビューに基づき測定、評価、応用の各分野において今後どのように活動すべきか、また、IAEA/INDSが果たす役割について検討された。表-2に会議のagendaを示す。このagendaに基づいてその内容を印象に残った部分だけ簡単に紹介し、最後に私見を若干述べてみたい。発表された論分及び報告は報文集としてINDCシリーズで出版されると思うが、必要であれば現在筆者の手元にあるもののコピーを請求して頂きたい。なお、以下の文章中、所属機関名は(筆者の独断による)略称を使用するが、フルネームに関しては表-1を参照して頂きたい。また、敬称は略させて頂く。

2. 中間エネルギー領域における核データの現状

2. 1 中間エネルギー領域における核データのニーズ

このセッションはLLNLのBlannが座長となり、中間エネルギー領域核データの今後のニーズを知るために、各分野から発表があった。

BNLのPearlsteinは、宇宙・加速器・医療・研究の各分野のニーズとして優先順位が高いものとしてH、C、N、O、P、Caなどの人体関連核種や、Al、Si、Fe、Ni、Cuなどの構造材核種に対する中性子及び陽子入射反応の核データが必要であると発表した。また、評価のためにはEXFORなどの実験データ、理論計算・処理コード、及び積分実験データなどの情報交換が必要であると述べた。

宇宙線による反応の研究の立場からZFSのMichelはエネルギー領域によって主要な粒子は異なるが、中性子、陽子及び α 線入射による粒子放出反応のエネルギー・スペクトルや二重微分断面積のデータが200～600 MeVの領域で不足していると発表し、測定、評価、理論・モデルの改良、政策的援助が必要であると述べた。同様に、IMBPのDudkinは宇宙船及び乗組員の遮蔽の分野では20%の断面積の違いが25%の遮蔽コストに反映されると述べた。

JulichのQaimは医学利用の立場から医療用照射や標識用RIの生産に関して、最適化をはかるためには100～200 MeVの核データが非常に不足しており、100 MeV以下の領域においても荷電粒子入射反応核データが不足していると報告した。

Chalk RiverのLoneは加速器応用熱中性子源開発の立場から保障措置の問題も含めて荷電粒子データの必要性を訴えた。

2. 2 中間エネルギー領域における核データの計算及び評価

このセッションの座長はKfKのCierjacksであった。ここでは中間エネルギー領域核データの理論計算もしくは評価について、そのために必要な実験データや理論・モデルの現状及び必要性についての発表があった。

LLNLのBlannは中間エネルギー領域核データの理論計算における理論・モデルの現状をレビューし、800 MeV～3 GeVの入射エネルギーに対する放出粒子のエネルギー・スペクトル及び二重微分断面積の測定が理論及びモデルの開発・改良に必要であると述べた。

原研の中原はオメガ計画に関連してスボレーション中性子源の設計のために必要な計算コードの現状報告を行い、原研で開発した核内カスケード・モデルを用いたシミュレーション・コードについてレビューし、ここで用いられる評価済み核データの必要性を訴えた。

筆者は ^{208}Pb 及び ^{209}Bi の1 GeV以下のエネルギー領域における中性子及び陽子

入射反応核データの評価の現状について報告した。大いに手前味噌であるが、総合的な評価についての報告はこれ1件のみであった。

この他、相対論的現象に関する理論計算について I A E の Qing-Biao (発表したのは Yi-Zhong) が報告し、中間エネルギー領域における F P の (p, xn) 反応の解析を行った F E I の Shubin が ALICE のしきいエネルギーにおけるピークのシフトについて報告した。

2. 3 中間エネルギー領域における核データ測定の現状

このセッションは B N L の Pearlstein が座長となり、中間エネルギー領域における核データ測定の現状と将来の可能性について報告が行われた。

Cierjacks は K f K で行われている C ~ U ターゲットに対する一連の陽子入射反応 ($E_p = 590$ MeV) 放出中性子二重微分断面積測定及び核内カスケード・モデルを主に用いたモンテカルロ・コード H E T C / K F A - 1 での解析結果について報告した。この報告によれば、計算結果について $E_n < 20$ MeV の蒸発スペクトル部分はよく実験値を再現できるが、 $E_n > 20$ MeV の部分にはまだ大きな食い違いがある。

I P S A S の Oblozinsky は前平衡 γ 線放出の実験及び P E Q A G コードによる解析について報告した。また、Uppsala 大学の Ramstroem、H C L の Sisterson はそれぞれの研究所における測定のレビューを行った。

積分実験の分野からソ連 R I の Rimski-Korsakov は $\phi 20 \times 60$ cm または $\phi 20 \times 80$ cm の U、Pb、Fe、Al ターゲットを用いた 1 GeV 陽子入射における中性子収率測定及び D 2 N 2、S I T H A コードを用いた解析について報告した。また、積分実験の立場から、完全に系統的な核データセット (最低限 200 MeV までの中性子放出二重微分断面積ライブラリ) や近似モデル・パラメータの最適化の必要性、積分実験の必要な核種の選定などを提案した。

中間エネルギー領域における測定の現状報告とは直接関係しないが、E N E A の Reffo はエキシトン模型及び多段階複合核模型、準位密度計算における殻模型ハミルトニアンの固有値間隔について報告した。

この会議で知りえた範囲では、中間エネルギー領域での微分断面積を、特に中性子放出二重微分断面積を系統的にかつ勢力的に測定しているのは Meier のグループ (L A N L) 及び Cierjacks のグループ (K f K) のみであった。

3. 今後の中間エネルギー領域における核データ活動の検討

ワーク・ショップ I では中間エネルギー領域における核データの現状及び将来の

情報交換・国際協力について討論し、将来の核データ活動についてのアウトラインを協議した。ワーク・ショップⅡにおいて上記の結論及び提案のドラフトをまとめ参加者の承認を受けた。ここでは討論の内容を思いつくままに記述する。

ワーク・ショップではまず中間エネルギー領域における核データのニーズを応用面から定義し、現在使用可能な核データを洗い出すことにした。このためグループを5つに分け、それぞれ加速器関係、宇宙、医療、研究の応用分野、理論・モデル計算の分野から検討することにした。その後、各グループの検討結果を持ち寄り、全体討論でまとめ、今後の核データ活動の方向付けを検討した。

宇宙応用に関連して、(1) 宇宙関連技術には、照射損傷、構造材の放射化、リモート・センシング用半導体の照射効果などの研究のため、中性子、陽子、 α 線入射反応断面積及び二重微分断面積が、(2) 放射線防護のためには、ドジメトリ、遮蔽の最適化の研究のために中性子、陽子、 α 線、重イオン、電子、 γ 線入射反応断面積及び二重微分断面積が、(3) 宇宙及び宇宙線物理学の研究のためには、陽子及び α 線入射反応断面積が、(4) 太陽風及び銀河風などの研究のために、陽子、 α 線の1 GeV以下の反応断面積及びスペクトルが、少なくとも精度10%以内で必要であると提案された。

医療応用の分野において、放射線治療や医療用R Iの製造に関する研究に必要な核データは40 MeV以下のエネルギー領域では比較的よいが、それ以上になると非常に不足していると指摘され、精度10%以内でモニタ反応の評価が必要であり、さらにもっとも一般的な核種については評価済み核データファイルが不可欠であると報告された。

加速器応用の分野では、中性子源及びその工学的応用に関連してソース回り、輸送計算、中性子ラジオグラフィ及び同位体生成計算に必要な中性子生成断面積やその二重微分断面積、検出器開発に関連して熱発生、照射損傷及びD P Aデータが必要であると提案された。

理論・モデル計算の分野において、核物理に必要な理論及びデータは、放出粒子の二重微分断面積、 π 中間子の効果、疑似弾性散乱ピーク、核分裂断面積及びF P収率、軽核の収率であり、輸送計算に必要なデータは、荷電粒子及び軽い核の放出スペクトル、二重微分断面積であるとした。

全体のまとめとして提案されたことは、(1) 現状で最優先の核データとしては1 ~ 2 GeVまでのエネルギーに対する中性子及び荷電粒子入射核反応データであり、さし当たって100 MeV程度までエネルギーの上限をあげたライブラリが必要である。(2) 評価・解析のための理論計算コード、核データ処理コード及び応用のための輸送計算コードを整備し、それらの検証を行うために標準ベンチマーク実験を検討し

なければならない。の2点である。

4. 今後の中間エネルギー領域における核データ活動に関する私見

以上が会議の概略であるが、この会議から受けた率直な印象としては、20 MeV以下のエネルギー領域の中性子データはほぼ完成の域に達しており、将来的に改善を行うとしても大部分が少しの変更で済むと考えられるので、これに対し殆ど整備されていないに等しい荷電粒子核データや中間エネルギー領域の核データの整備に力を注ぐべきだということである。ただし、医学的利用は除くとしても、加速器利用や宇宙関連の応用分野は近い将来すぐに軽水炉のように商業ベースに乗り多くのものが建設されたりする種類のものではないので、その時々ニーズを掘り起こしていく必要がある。また、利用分野を限定せずに、一般目的の評価済み核データライブラリを構築していくのも一つの手ではある。しかし、ここで重要なのは、必要になった時点で急にこれこれのデータがほしいと言われてもすぐに評価済みの核データを供給することはできないので、予め必要であろうと思われるデータに関しては評価済み核データライブラリとして準備しておくことが必要だということである。各国の活動状況を見るとすでにこの方向で動いているようであるが、そうでない意見の人もある。会議中ただ一人HaightがLANL版のHETCコードで自らの実験を解析した結果、かなりの精度で実験値を再現できたため、評価済み核データライブラリに頼らなくても必要な核データは供給できると述べた。しかし、他の参加者の反応は、中間エネルギー領域の核データ会議であるにもかかわらず、相当冷たかったのは言うまでもない。逆にBNLのPearlsteinは是非とも中間エネルギー領域において評価済み核データライブラリを作成する必要があると言う立場を貫いていたが、筆者も同意見である。事実、ENDF/B-VIにはそのサブライブラリとしてFeだけであるが高エネルギーファイルが準備されている。

以上取り留めもなく書いてきたが、政策的・予算的背景に絡む思惑は別として、各国の核データ活動が新たな展開の時期にさしかかっているのは事実であり、その一つ方向が中間エネルギー及び荷電粒子核データに向かっているのも確かである。筆者もこの分野に少しでも貢献できるよう努力して行きたいと思う。

表-1 中間エネルギー領域核データ応用に関する IAEA 諮問会合参加者リスト

国 名	氏 名	機 関 名
カナダ	M.A. Lone	Chalk River Laboratories
中華人民共和国	Zhuo Yizhong	Institute of Atomic Energy
チェコスロバキア	P. Oblozinsky	Institute of Physics of the Slovak Academy of Science
ドイツ	S.W. Cierjacks	Institut für Angewandte Kernphysik Kernforschungszentrum Karlsruhe
	R. Michel	Zentraleinrichtung für Strahlenschutz der Universität Hannover (ZFS)
	S.M. Qaim	Institut f. Chemie 1 (Nuklearchemie) Kernforschungsanlage Jülich GmbH
イタリア	E. Menapace	E.N.E.A.-C.R.E. "E. Clementel"
	G. Reffo	E.N.E.A.-C.R.E. "E. Clementel"
日本	中原 康明	日本原子力研究所
	中島 豊	日本原子力研究所
	深堀 智生	日本原子力研究所
スウェーデン	E. Ramstroem	Uppsala University
ソビエト連邦	V.E. Dudkin	Institute of Medical and Biological Problems
	A.A. Rimsky-Korsakov	V.G. Khlopin Radium Institute
	Yu.N. Shubin	Fiziko-Energeticheskij Institut
アメリカ	M. Blann	Lawrence Livermore National Laboratory
	R.C. Haight	Los Alamos National Laboratory
	S. Pearstein	Brookhaven National Laboratory
	J. Rapaport	J.E. Edwards Acc. Laboratory
	J. Sisterson	Harvard Cyclotron Laboratory
OECD/NEA DB	P. Nagel, 柴田 恵一	
IAEA	V.A. Konshin, J.J. Schhmidt, D.W. Muir, N.P. Kocherov, S. Ganesan, V. Osorio, A. Pashchenko	

表-2 会合のagenda

OPENING SESSION

- Opening remarks
- Adoption of agenda
- Election of chairman

SESSION I. NUCLEAR DATA NEEDS IN THE INTERMEDIATE ENERGY RANGE

1. S. Pearlstein: "Data requirements for intermediate energy nuclear applications"
2. R. Michel: "Medium energy nuclear data to understand the interactions of cosmic ray particles with matter"
3. V.E. Dudkin: "Nuclear data to be used for the purposes of spacecraft shielding and crew dosimetry during manned space missions"
4. S.M. Qaim: "Nuclear data for medical radioisotope production using charged particles with energies above 20 MeV"
5. M.A. Lone: "Data needs for accelerator-based thermal neutron source"

SESSION II. PROGRESS OF NUCLEAR DATA COMPUTATIONS AND EVALUATIONS IN THE INTERMEDIATE ENERGY RANGE

1. M. Blann: "Needs for experiment and theory in intermediate energy reactions"
 2. Y. Nakahara: "Computer codes and nuclear data needs for the simulation of intermediate energy nuclear reactions"
 3. T. Fukahori: "Evaluation of the medium energy region for ^{208}Pb and ^{209}Bi "
 4. Zhuo Yi-Zhong: "Relativistic nuclear phenomenological and microscopic optical potential"
 5. Yu. N. Shubin: "The (p, xn) reaction cross-sections analysis for fission-product nuclei at intermediate energies"
-

表 - 2 会合の agenda (続き)

SESSION III. PROGRESS OF EXPERIMENTAL DATA MEASUREMENTS IN THE
INTERMEDIATE ENERGY RANGE

1. S. Cierjacks: "Double differential neutron emission cross section for Carbon to Uranium at incident proton energy 585 MeV"
2. P. Oblozinsky: "Pre-equilibrium γ emission in the intermediate energy range"
3. E. Ramstrom: "(n,p) experiments at 100 MeV at the Uppsala University"
4. A.A. Rinsky-Korsakov: "Thick target experiments in GeV energy region as benchmarks for intermediate energy nuclear data"
5. J. Sisterson: "Cross section measurements at the Harvard cyclotron laboratory"
6. G. Reffo: "Exciton and multistep compound model"

WORKSHOP I.

1. Discussion of the status of nuclear data in the intermediate range prospects for future exchange and cooperation
2. Drafting of recommendations for the future activities of Nuclear Data Section in this field

WORKSHOP II.

Adoption of the Conclusions and Recommendations of the participants of the AGM
