

## 話 題 (Ⅲ) 国際放射線防護委員会 (ICRP) の活動

### 加速器等施設の遮蔽に関する専門家会議に参加して

京都大学工学部

秦 和夫

shin@east.nucleng.kyoto-u.ac.jp

高エネルギー物理学研究所

平山 英夫

hirayama@kekrc3.kek.jp

---

1995年10月12日、13日の両日、スイスのジュネーブにあるCERNで、SATIF2 (Shielding Aspects of Accelerators, Targets and Irradiation Facilities) 専門家会議が開かれた。主催はOECD/NEAで、原研炉物理委員会遮蔽専門部会とRSIC、CERNの共催となった。今回の会議は1994年4月28～29日に米国テキサス州のArlingtonで、遮蔽国際会議に連動して開催されたのに次ぐ、第2回目の専門家会議である。

この会議に先立って、同じ場所で10月9日～11日の3日間、SARE2 (Second Workshop on Simulating Accelerator Radiation Environments) が開かれた。参加者を増やすため、両者(オーバーラップする部分もあるが性格が少し異なる)をドッキングしたようで、地元CERNの6人を始め、ヨーロッパ各国から24人、米国から12人、カナダ1人、日本7人の合計50名がSARE2に参加した。SATIF2では若干人が入れ替わったが、ほぼ同数(53名)の参加者があり、会議を世話したCERNの人たちの意図は成功したといえよう。

参加者のほとんどがスイス側のMeyrin地区にあるCERNのホステルに宿泊したが、両方の会議ともフランス側のPrevessin地区で開かれたため、毎朝バスの迎えが来て、会議終了後バスで送ってもらうこととなった。昼食はフランスフランで払い、宿泊料や朝食、夕食はスイス側なのでスイスフランで払うというめんどうなことになった。おかげでフランス側の方がかなり物価が安いことが実感できたが、最後に多くのフランスフランのコインを残してしまった。

10月のスイスは寒いのではないかと予想していたが、予想に反して毎日晴れて暖かく、良い天気恵まれてモンブランが遠望できた(CERNからモンブランが見えるのは年に2～3週とのこと)程であったが、交通手段がないので、ほとんど会議場に缶詰に

なってしまったのは残念である。

なお、SARE2の2日目の午後はCERNのSPSとLEPへのツアーがあり、SPSに設けられたBenchmark Test Sectionやコントロール室、LEPの検出器等を見学した。LEPは45 GeVの電子、陽電子の衝突実験を終了し、エネルギーを約2倍にする予定とのこと、その巨大さに圧倒されてしまった。またこの日は、Nonhost Dinnerがあり、例によってバスで連れていかれたが、着いたところはフランスの粋なレストランで、フランス料理を堪能した。

## SARE ミーティング

肝心の会議の内容であるが、SAREの方はJ.Ranftの“高エネルギー放射線のモンテカルロ計算の40年”と題する招待講演でスターとした。FLUKAの開発者として、シミュレーション計算を進歩させてきた自負に満ちた講演は印象ぶかいものであった。今後の課題として、100 MeV～10 GeVの精度向上、重イオン反応の導入、光子反応の改良をあげていた。

セッション1～3（11件）は高エネルギー加速器に関連した報告が続き、FermilabのTevatronやCERNのLHC、SLAC等の大型加速器（その多くが $e^+e^-$ 、 $\mu^+\mu^-$ 、核-核のコライダー）の検出器における放射線場の最適化にからんだ少し特殊なシミュレーションの報告が多かった。解析にはFLUKA、GEANT、MARS13等が使われていた。その中では、K.Techの陽子加速器における中性子線量減衰率の報告や、J.ZuzulaのFLUKAと熱解析や構造変化の解析を組み合わせて結果をアニメーション表示したもの、S.Rokiniのミューオンの透過のシミュレーションなどが興味深かった。

セッション4～6（11件）は中間エネルギー加速器に関するものであるが、実際には高エネルギーに分類されるべきものも混じていた。特にセッション5では、最近のコード開発の状況が報告され、HETC-3STEP、LAHET/MCNP、Dual Parton Modelによる高エネルギーハドロン-核反応シミュレーション、FLUKA、GEANT-CALRO等の報告があって、十分には理解できないところもあったが、ためになった。ただし、J.Ranftの報告は難しすぎて全く分からなかった。この他には、医療用のアイソトープの製造やプルトニウム処分ブランケットの報告などがあった。“Accelerator Production of Tritium Project”と題したLANLのL.Waterの報告では、LANL-LLLが共同で20 MeV < E < 150 MeV域のデータベース、20 MeV～数 GeVにわたるコードシステム、物理モデル、フラグメンテーション、サブアクチナイドの核分裂断面積、核内カスケードモデルの改良、モンテカルロの計算手法の抜本改良などを含む大がかりな計画を述べたのが印象的であった。

最後に、N.Mokhov (Fermilab) による総括が行われ、高エネルギーでの物理実験とコードの比較の重要性や、中間エネルギー（20～200 MeV 域）の計算コードの精度向上の必要性や核データ整備の重要性が強調された。

## SATIF 専門家会議

引き続き、次の日から SATIF2 が始まった。第 1 回 SATIF 専門家会議では、電子加速器、スパレーションターゲット、中間エネルギー重イオン、計算コード、核データ、人体ファントムや ICRP60 勧告の高エネルギーでの問題点などについてレビューをした後、次のような action を提案している。(1) ファントムデータの収集、(2) 各種測定データ ((a) Thin Target データ、(b) Thick Target データ、(c) 深層透過データ、(d) 光中性子データ) の収集、(3) ICRP 勧告問題での ICRU、ICRP とのコンタクト、(4) 中性子の減弱距離と線源項データの検討、(5) p、n 入射に対する p や pion の 2 重微分断面積測定、(6) 高崎 TIARA での  $^{11}\text{C}$ 、Bi の励起関数の測定とアクティブ検出器の較正などである。

このうち日本で分担したのは、(2) の (b)、(c)、(d) と (4) と (6) であった。今回の SATIF2 では、日本側からはこの線にそって、日本での検討事項のレビューや光核反応断面積の評価状況の報告、厚いターゲットの中性子収率および遮蔽実験の文献調査結果、中間エネルギー中性子の線量減衰に対する記述法(2件)、準単色中性子場での  $\text{C}(n,2n)$ 、 $\text{Bi}(n,xn)$  断面積の測定結果、改良中性子レムカウンターの較正実験結果が報告された。これに加えて、高エネルギー中性子フルエンスにたいする実効線量当量と実効線量の換算係数の評価結果、前回提案した遮蔽ベンチマーク問題の解析結果 (p、 $\alpha$  および電子の厚いターゲットへの入射時の微分中性子収率；核研、阪大 RCNP での遮蔽実験、および高エ研のビームダンプの実験) も合わせて報告された。1 例として、東北大の中村先生の報告した、 $^{209}\text{Bi}(n,xn)$  断面積の測定例を図 1 に示す。また、710 MeV $\alpha$  粒子を厚い Fe ターゲットに入射させたときの放出中性子分布を QMD で解析した例を図 2 に示す。

今回の会議は action 計画の中間報告的な意味あいのものであるが、かならずしもそうでない報告も幾つかあった。また、各国の取り組みが統一される段階に至っていないため、直接相互比較できるような報告は今回はなかった。各セッションでの報告数は、Basic Physics Data (7 件)、Shielding (8 件)、Energy Response Function (3 件)、High Energy Dosimetry (2 件)、Modeling Codes and Data (4 件) であった。

今回の会議で、日本以外の報告で目に付いたものを紹介すると、Basic Physics Data のセッションで報告された、米国 CEBAF の P.Degtyarenko による Photonuclear

fragmentation model による光中性子断面積の評価 ( $E < 10$  GeV) がある。K.Kossov のモデルに改良を加えて GEANT に組み込んだもので、図 3 に示すように実験値をかなりよく再現している。また、Gabriel らは 1 GeV 以上まで適用できるよう、PICA を改良した結果を報告した。NEA の Sartori から OECD/NEA の活動状況報告があり、EXFOR Database の状況や評価国際協力 working Party Subgroup13 (中間エネルギー核データ) の活動状況の簡単な紹介があり、そちらへここでの議論を反映させられるとのコメントがあった。また、中間エネルギー域の陽子加速器や中性子ビーム(含計画)のレビューがあった。

Shielding のセッションでは、M.Silari (Ferrari 等のグループ) が陽子加速器のための中性子減弱距離と線源項の 2 重微分分布を FLUKA を用いて、詳しく計算した結果を報告した。コンクリートの厚さによっても実効減弱距離はかなり大きく変化することや、後方角での 2 次  $\gamma$  線の寄与の大きいこと、部分的に従来のデータと食い違うことなどが指摘されている。この他、R.Nelson の LANSCE upgrade の遮蔽計算結果や、A.Ferrari の高エネルギービームシールド周りの中性子場の測定と FLUKA による計算結果の報告がありよく一致した結果を示していた。

Energy Response Function のセッションでは、日本からの 2 件の報告のほかは、F.Clavier 等が中性子や重イオン (100 MeV/u) によるアイソトープ生成の測定について報告したが、中性子場の同定が十分でないようである。

High Energy Dosimetry のセッションでは、Sartori が人体ファントムのデータを収集した結果を報告したが、誰がどうやって標準化するのか、今後問題になるであろう。ほかに、LAHET コードシステム、MARS13(95)、HETC95 の報告があった。

### 今後の取り組みとまとめ

2 日目の午後は Discussion にあてられ、action の進行状況や今後の協力体制について議論した。この結果はとりあえず、Sartori がとりまとめ、各出席者のコメントを聞いた上で、会議の Conclusion としてまとめられる予定になっている。Sartori の原案はまだ来ていないが、議論の大要は以下のようである。

多くの計算が、核物理モデルによっており、その精度を検証するために基礎データが必要で、第 1 回の会議で合意された action plan にそって議論が進められた。データの収集とデータベースへの登録については、Thin Target データ、Thick Target データ、Deep Penetration データ、Photonuclear データについて進行状況の報告があり、今後のとりまとめ役をきめた。Thin Target データ (陽子、中性子、パイオン、重イオン入射データ) は欧州で取りまとめを行い、最終的には NEA に送られ、EXFOR に登録する

事とした。Thick Target データは日本で収集中であり、CERN 他の Internal Report は東北大の中村先生を窓口にしてとりまとめをすることにした。Deep Penetration についても日本でとりまとめることにした。すでに収集済みのデータは KEK レポートのかたちで出版されており、SATIF3 で必要な人に渡す。現在、ISIS で Deep Penetration 実験が進行中である。Photonuclear データは  $E < 140$  MeV の範囲は原研核データセンターから release される。しかし、新しい実験データ（高いエネルギー）が必要である。

$\pi^+$ 、 $\pi^-$  入射、p/n 放出の 2 重微分断面積については、LANL で実験がされており、NEA へデータを供給できるとの申し出があった。 $^{11}\text{C}$ 、Bi の放射化断面積は東北大で解析が進行中である。アクティブ検出器の較正は複数の機関で改良型レムカウンターの実験が進行中であり、いずれも次回に結果が報告される。ICRP60 勧告については R.Thomas へ連絡することとした。中性子の減弱距離と線源項問題については、現状は、各国で計算法やアプローチが違うので、まず計算コードの相互比較をすることになった。物質はコンクリートと鉄とし、 $E_n \leq 400$  MeV に限定する。興味ある人達(7 機関)でタスクグループを作って作業することになった。

Transport コードのコースについて、FLUKA は来年の ANS トピカルミーティングでコースを開く。また、EGS4 のコースについては、L.Water にコンタクトして欲しいとのこと。

電子加速器では、細いビームのドジメトリーが重要な問題であり、サブグループ(5 機関)を作って検討することになった。また、混合場に適用できる測定器の改良の必要があるとの認識が示された。

核モデルによる計算(Run time model)か核データに基づく計算がいいのかについては、問題提起はあったが、特別な意見はでなかった。ただ、各コードと実験との比較のために、遮蔽実験のサーベイをして、高、中、低エネルギーのベンチマーク問題を選択して、共同でベンチマークをすることになった。

最後に 1997 年 5 月初めに SARE3/SATIF3 を日本で開くことにし、両者共通の Science Committee を置くこと、発表はなるべく SARE3 でおこない、SATIF3 では議論に多くの時間をさくことなどを決めて会議を終了した。