

話 題 (IV)

第7回ASTM—EURATOM原子炉ドシメトリ
国際シンポジウムとフランス雑感

(東北大) 岩崎 信

この8月の末にフランスのストラスブールでの第7回 ASTM-EURATOM 原子炉ドシメトリ国際シンポジウムに参加したので、その概要と、後で訪問した NEA データバンクや初めての訪問だったフランスで感じたことを述べてみたい。この会議に参加するのは初めてであるが、シグマ委員会のドシメトリ積分テストWGで活動しているときに東大の中沢先生から紹介されたものである。丁度、発表できるような論文の“ねた”があったので応募したところ、幸いにも採用されたので学生と一緒に参加した。

まだ残暑の厳しい8月25日に日本を発ってパリに着いたところ、涼しいと言われているフランスも例年よりは気温が高いようであった。しかし、日本の蒸し暑さに比べればまるで避暑にきているようであった。パリから列車でストラスブールに入ったが、まだバカンスシーズンの終番ごろなのか、大変込み合っていて、予約していなかった我々は危うく4時間をちんぼするところであった。まだフランスになれていないせいで(勿論フランス語が殆ど駄目)、駅のすぐ近くにあるはずのホテルを捜すのに苦労した。道を聞いた親切なフランスの老夫婦に捜してやるから車に乗れと言われて、それからホテルの周りをグルグル回ってやっと捜し当てたと言う具合であった。ホテルでのレセプション会場に行ったところ、大部分は知らない顔であったが、GA の Cheng 氏とその家族、ORNL の Fu 氏の顔を見つけてほっとした。日本人はやはりアジア系の顔を見るとなんとなく安心するものである。今回別な用件でも会う予定の PNL のGreenwood 氏や、声を掛けてくれた PTB のMatzke 氏、会議のセクレタリのひとりである陽気な Lamaze 氏(NIST,旧 NBS)らとも顔見知りになった。

27日の月曜日から会議が始まった。毎朝7時45分にホテル前からバスが出て、会場のPalace de l'Europe(欧州会議の議場がここにあるとは知らなかった)に向かった。嚴重な荷物検査の後、会議室に向かったが建物の中に何の案内もなく、先導者からはぐれてしまった一団があった。

シンポジウムの中心となった第5会議場は円形をしており、約200人程度が参加できる素晴らしいものであった。同時通訳のサービスがあったが、通常のスクリーンの場所では通訳者が講演者の指す画面が見えなくてやりにくいことがわかり、途中で別のスクリーンを下げて使うと言う変更のための混乱もあった。会議はとくに中心的な基調講演や長い

招待講演のようなものではなく、議長からの諸注意やアナウンスといった簡単なオープニングのあと、いきなり最初の口頭発表のセッションに入った。

この会議の運営はその名の通り米国の ASTM とヨーロッパの EURATOM が合同で行っている。1975年 (Petten) より3年毎に開かれているもので、核分裂炉及び核融合炉の中性子とガンマのドシメトリとそれに関連する広い話題を取り上げて議論するシンポジウムであるが、勿論議論の中心は発電炉や研究炉でのドシメトリである。今回は EURATOM 側からはイスブラの R.Dierckx, ASTM 側からは W.N.McElroy 氏が共同議長として米欧各々のプログラム委員会を形成していたが、実際の会議の運営は先の Dierckx と米国 Rockwell International の H.Farral 氏が中心となって行っていた。

セッション別のテーマとスケジュールを別に示すが、これでシンポジウムの概要がつかめよう。筆者が特に関心のあるテーマとして、① Nb-93(n,n') 反応の原子炉ドシメトリへの応用、②ドシメトリ反応の断面積計算、③ファイルの状況、④核融合炉関連ドシメトリ、⑤ドシメトリ手法と解析などのトピックスについて簡単に紹介したい。

先ず①のテーマは、前回は引続きこのシンポジウムの重要なテーマとなった。前回は主として、実用化のための基礎的な測定技術が中心であったが、今回は実際に原子炉ドシメトリとしての応用した報告がかなり多かった。

Nb-93(n,n')Nb-93m 反応の断面積について、シーメンスのグループが実際の炉での測定結果と計算値を比較して、いくつかの過去の断面積カーブを用いた計算と実験との比較では、Harwell の Geither らのカーブ (を更に少し修正したもの) が良いとの報告もあったが、これは我々や IRK の報告と近いものであった。なお、もうすっかり過去のものとなった断面積カーブを提案した Hegedus 自身のコメントは「合わないものの代表みたいに昔の私のカーブが引用されるが、計算機も発達していない、もう10数年以上も前に積分的な測定から手計算でアンフォールディングしたもので余り合わないことを強調しないで欲しい」であった。彼のカーブの現状にも関わらず、Nb-93(n,n') 反応の応用に関する彼の先駆的な業績は些かも低下するものではないであろう。

この反応の放射能測定にはX線の測定が必要だが、さまざまな補正がある。今回は特に他の放射線による誘導X線放射の補正法に関していくつかの報告があった。また、压力容器材料に含まれる少量の Nb をドシメトリに用いる研究が先の Hegedus さんから報告された。フィンランドの Bar のグループはさまざまなニオビウムの定量の方法を経験も含めてレビューした。

②にも関係するが、我々は(小田野, 他)この反応に関して核理論を用いた評価結果を報告した。理論計算によると最近の数MeV以下の実験値を完全に再現できなかったので、Poenitz による GMAコードを用いて先の理論計算結果をベースに実験値を考慮して共分散

も同時に評価した。また、長期照射における2次反応によるバーンアップ効果を理論計算により推定し、通常の使用では1%以下の少ない効果でまず問題にならないことを明らかにした。この事は、おのずから今度のシンポジウムで2件出されたバーンアップ効果の懸念に対する回答となった。光反応の効果による寄与を指摘する論文があったがこれについての回答は今後の理論計算の課題である。

②については、Fuらは、鉄のB-VI用評価結果の報告を行った。氏の開発したTNGコードをベースに最近の実験値を十分に考慮した評価であった。TNGにより、二次放出中性子の角度分布が初めて考慮され、新しいB-VIフォーマットを使って表現されている。また、非弾性散乱の断面積を注意深く評価した。今回の評価の特徴はアイソトープ毎の評価のみを行っており、天然元素の断面積は、存在比を用いて合成することによって得るようになっている。暫定版による解析の結果は非常に良くなっており、サーベイランスドシメトリにも少なからず影響を与えそうである。しかし未解決の問題も残っているようである。いずれにしろJENDL-3の鉄の評価値との比較が楽しみである。

これに関して、以前からニッケルと鉄のドシメトリの結果の食い違いがありその原因の一つとしてFe-54の存在比が従来の $5.8\% \pm 0.1$ がおかしいのではないかとする懸念が出ていたため、それに関して高精度なデータを得る実験が米国とフィンランドから独立(違った実験方法により)に報告され、どちらも結果としては従来の値は問題なく、一桁小さい不確定さで値が求められていた。

ORNLのグループがB-VIを用いてSi, Cr, Fe, Niなどの計算を行いB-Vのそれと比較していた。後者の場合はファイルからいくつかの近似を経てこれらの量が求められていたが、B-VIでは、近似なしに計算するための必要な情報が含まれていることが特徴である。計算法と断面積の両方の違いからB-VとB-VIとの差が特にCrやNiで大きかった。SNL(サンディア)のGriffinらは、新しいB-VIのドシメトリ断面積を採用したときの、特に14MeV付近での影響について議論していた。原子炉領域での影響は少ないと指摘していた。

③については、IAEA-NDSのKochrovより、IRDF-90の現状が報告された。欧州、米国の評価が採用されて、公表できるまでになったことが発表された。ソ連や中国も貢献しているようである。日本の評価(JENDL-3)は採用されていないが、B-VIの評価のために原研の柴田氏がORNLでやった評価と、同じく原研の千葉氏がANLでやった評価が採用されているので間接的には日本も大いに貢献していることになる。Nb-93(n,n')反応については、IRKのVonachのグループが、Strohmaierの最近の計算値と、最近の実験値を考慮した評価を用いていた。これは我々の求めたものとかかなり近いものとなっていた。

④核融合関連のセッションは我々の馴染みのある人たちが発表を行った。元 GA (彼は GA をやめて TSI-RESEARCH という自分一人の会社を作ったとのこと) の Cheng 氏が核融合開発のために必要な核データに関するレビューを行った。基本的には 89 年の Ohio の会議でのまとめと同じである。元 ANL (現 PNL) の Greenwood が ANL 時代に RTNS-II で行った長半減期生成物の放射化断面積の結果と計算値との比較で計算値との差が大きいことを指摘していた。しかし計算には ALICE コードを用いており、あまり計算値を信用することはできないので、実験値に自信を持つべきであるとのコメントがあったが私も同感であった。ANL の D.Smith (Greenwood が代わって報告) が ANL タンデムでの Be + d 反応を用いた中性子源でのドシメトリ反応の検証結果の報告を行った。全体にはほぼ妥当な結果を与えていたが、どういうわけか精度が高い筈の $Al-27(n,p)$ と (n,α) の値が 20% 以上も計算値が違っていたので質問したが本人が不在なので明確な回答は得られなかった。我々 (J.R.デュマイス, 他) は東北大のダイナミトロンをもちいた Li + d 反応による中性子場を断面積検証用として提案し、その有効性を確立されたドシメトリ反応の平均断面積の測定を通して示した。他の反応の応用した実験結果は秋の学会で報告される。

⑤原子炉ドシメトリ (中性子とガンマ) では、実際の発電炉でのドシメトリとそれと計算値との比較や、研究用原子炉を用いたベンチマーク実験と計算値との比較がかなり多く報告された。計算においてはディスクリート・オーディネイト法 (DOT4.3等) によるものもあったが、モンテカルロ計算を用いたものが目についた。MCNP, TOLIPOLI (フランス) MACH=MORCE-CG(n+photon)+ACCEPT-E(photon+electron) 等の名前が見られた。ドシメトリは压力容器の内部 (in vessel) にはなかなか理想的には置きにくく、外部 (ex vessel) に置くことが多くなるが、そこでの中性子場のさまざまな原因によるパーティションの評価が DOT 等では充分入れられないことによるようである。ガンマ線とのカブル計算や、ダメージ計算まで含めた計算が示されていた。京大炉の小林氏が京大炉や近大炉で行った研究を 3 件報告されていた (一件は口頭発表で両原子炉での中性子とガンマ線のドシメトリの測定実験と計算との比較、他の 2 件はポスターで原子炉中性子と U-235 核分裂中性子場の多重箔を用いた unfolding と計算値との比較)。その他、Sale が LLNL の新しいタンデム中性子源を用いて、単色中性子+簡易幾何形状での鉄などのストリーミング実験のプロポーザルを示した。加速器源の新しい応用の一つである。

3 回にわたって開かれたワークショップのまとめは紙面の関係で省略するが、全体的な会議の印象とをまとめると、最近もっとも関心の高かった Nb-93(n,n') 反応は、今回もシンポジウムのハイライトの一つだったと言える。その断面積については、かなり集束してきたように思われる。また関連する各データもかなり共通のものとなったことが確認さ

れた。しかし個人的には、この反応は実験や測定の困難さがあって他のドシメトリに比べて圧倒的に実験が少ないし、4 MeV以上は理論計算に頼っているような段階であり、この断面積の確立には微分実験の実施が望まれる。

原子炉ドシメトリの実験や計算法の開発、ダメージ解析には多くの時間を要するので画期的な進歩と言うものは得られないが、各国の地道な努力により着実に技術や結果の信頼性が向上していることが伺える。しかし、今後は、個々のプラントの寿命の推定、認可更新の判断、中性子照射量の低減化などのクリティカルな状況を迎える。その様な目的にとって現状のレベルはまだ不十分であり、今後の世界の研究者の努力がより求められていると言えよう。

参加者の分布を見ると、原子力大国の米国が30数名で1位、続いて開催国のフランスが10名位で、他の大部分がEC諸国で占められていた。外では、イスラエルが4名、日本4名、東欧(ソ連からは不参加)が5、6名、アジアからは韓国から1名であった。総勢110名位であった。中国が1名プログラムに載っていたが欠席であった。アジアの原子力大国日本から、大学関係のみで動燃、原研、電力、メーカー等からの参加が皆無であった。あまりこの分野の交流のやり方は知らないが、このシンポジウムで日本のドシメトリの経験や現状を聞かして欲しかった。

会議の運営全般についての印象であるが、準備は必ずしも良くなかったようで、随所に準備不足を印象付られたが、結果としてはかなり成功した会議であったように思う。やはり会議の運営慣れた人々と、議長らの高い手腕と的確な指示によるものと感心させられた。一方参加者は、再三の要請にも関わらず、当日までにちゃんとした本論文を150部持参していなかったり、論文が規定に合っていない参加者が結構多く、手伝いの若い人がてんでこ舞でコピーを作っていた。とにかくこの会議では、アブストラクトの報告集だけでなく、本論文(に近いもの、正式にはもう一度査読があるが)が、即、入手できることが特徴で、重い荷物を担いでいった甲斐があることになる。フランス語と英語の間の同時通訳がついたが(ドイツ語も可能であったが希望がなかった)、専門家でもないにも関わらず、また一応発表原稿を前もって与えられているとはいえ同時通訳の能力は大したものであった。それにしてもドイツ人は英語をちゃんと話す、フランス人は知っていてもフランス語で話をする傾向にあるようだ。負けた国と勝った国の差という事であろうか。締めくくりに、ベストポスター発表の表彰があり、甲乙付けがたかった二つの論文が選ばれた。また、次回はまだ正式ではないが、1993年の5月に米国コロラド州デンバーでの開催予定とのアナウンスがあった。最後に会議を支えたスタッフに感謝し大きな拍手で終わりを告げた。

最後に付け加えると、今回のシンポジウムには、うちの二人の学生を連れてゆき、口頭

発表をしてもらった。前の夜までは準備不足で心配な状況であったが、実際の発表では、予想以上にうまくやってくれ、当方としても嬉しかった。終了後、多くの人に良かったと誉められたことは当人たちにとってこの上ない財産になったものと思われる。どこの出身であろうと、若い人たちをエンカレッジさせる欧米人の研究者の率直さは我々にはなかなか真似できないことである。

[NEAデータバンクの訪問]

帰りがバリ経由であり時間もありませんので、間接的ではあるが日頃大変お世話になっている NEA データバンクを訪問させてもらう予定を組んだ。丁度原研の柴田恵一氏が滞在中との事なのでお世話をお願いしたところ Nordborg 氏を紹介して頂いた。次の週の月曜日の朝に柴田氏にバリのホテルでピックアップして貰いサクレーに向かった。通常と逆方向なのでラッシュを横目でみながら快適にハイウエーを飛ばして、40分位で着いた。データバンクの手前の長いボブラ並木のきれいな道が印象的であった。

NEA データバンクの建物はかなりこじんまりとしたものであった。早速 Nordborg 氏と会って、持参した論文の話をしたり、NEA データバンクの活動や現状や氏の仕事のついて話し合った。核データ関係の元締めとして彼は NEA データバンクの将来を非常に気にしていた。原研のオメガ計画に関連した仕事が大きな頼みの綱のようで、秋には日本での会議に参加する予定だと言っていた。彼の真面目だが気さくで親しみやすい人柄の良さを感じた。EXFOR を担当しているスタッフの Webster 氏と、エントリー作業の具体的なことと、苦労する点についてかなりの時間話をした。

全体的な原子力、核データの活動が低下しているとは言っても、それを完全に停止させるわけには行かない。地道に維持をして行かざるを得ないが、そのためには日本の役割が大きいし、それに対する彼らの期待も大きいことが感じられた。

[フランスの印象]

初めてのしかも短い訪問でフランスを云々することは早計であろうが、2, 3感じたことを最後に付け加えてみたい。

町もこぎれいだし不潔さは余り感じなかった。有名な犬のふんがいっぱい落ちていた事に気のついた人もいたが私は気が付かなかった。人の良さも田舎ほど良い感じを受けた。フランスで気持ちの良いのがサロン・ド・テというカフェテラスであろう。観光地のせいもあるが、夕方になると町のレストランが一斉に道にテーブルと椅子を出して客を招く用意を始める。石畳の道がほこりっぽくないし、気軽に入りやすくなかなか感じが良い。しかし、食事は全体に割高である。多分フランスでは外食は観光客用で高くなっているのではないだろうか。

交通では、歩行者用の信号が余り完備していなく、慣れないうちは猛スピードで車が走る道を渡るのに危険を感じた。フランス流は人間は赤でも青でも安全と判断すれば自分の責任で渡ると言うことらしい。走っている車は、ほとんどは日本の1200~1500ccの小さい車で、日本の小型車2000cc或はそれ以上の車種の割合が多いのに比べると質素である。フランスよりずっと狭い日本で、最近の必要以上に大きな車が増えていることは無駄なように思える。

フランス人の計算の下手さと、誇り高く、まちがっても謝らないことに有名であるが、本当なのだろうか。私は、あるレストランで頼んでもいないものが伝票に入っていたり、ホテルの部屋代やミニバーの水を飲んだにすぎないのにすごく高い請求書を渡された経験をした。気が弱くて、言葉が不自由だと泣き寝入りとなる。訂正を要求すると目の前で平然と直して何も言わずに渡されたのでさすがと思った。国鉄の切符売り場で長い行列の後ろの方で待っていたら、不意に担当者がいなくなり、10分ぐらい出札が誰も居らず待たされた。しかしみんな文句も言わずに並んでいた。

色々経験したが、全体的には楽しい国であり、よい印象を受けた。勿論また訪れたい国であることには違い無い。

最後に今回のシンポジウムでの発表に関しては、さまざまな点で原研核データセンターをはじめ、ドシメトリと放射化断面積の各WGメンバーの方々にお世話になった。この場を借りて感謝申し上げるしだいである。

SYMPOSIUM SCHEDULE

Time	Sunday	Monday	Tuesday
8.30		OPENING OF THE SYMPOSIUM	ORAL SESSION C • Light Water Reactor Surveillance
9.00		ORAL SESSION A • Reactor Life Assessment	
10.00		BREAK	BREAK
11.00		ORAL SESSION A (continued)	ORAL SESSION C (continued)
12.00			
13.00		LUNCH	LUNCH
14.00		POSTER SESSION I • LWR Surveillance • Benchmarks • Computer Codes & Methods • Damage Correlations • General Interest	POSTER SESSION I (continued)
15.00		BREAK	BREAK
16.00		ORAL SESSION B • Computer Codes & Methods	WORKSHOPS I • Adjustment Methods, Cross-Section Files, and Uncertainties and IAEA Real 88 • Gamma-Ray Dosimetry • Neutron Dosimetry with Niobium
17.00	REGISTRATION AT PAX HOTEL		
18.00		ASTM/EURATOM PROGRAMME MEETINGS	
19.00	WELCOME RECEPTION		FORMAL DINNER

Time	Wednesday	Thursday	Friday
8.30	ORAL SESSION D • Nuclear Data & Fast Breeder Reactors	ORAL SESSION E • Fusion	ORAL SESSION F • Radiation Fields
9.00			
10.00	BREAK	BREAK	BREAK
11.00	WORKSHOPS II • LWR Surveillance Dosimetry • Dosimetry for Irradiation Facilities at Test and Research Reactors • Radiation Damage Correlations	POSTER SESSION II • Nuclear Data • Techniques • Radiation Fields Characteristics • Fusion	SUMMARY OF WORKSHOPS & CLOSING SESSION
12.00			
13.00	LUNCH	LUNCH	LUNCH
14.00		POSTER SESSION II (continued)	
15.00	VISIT TO THE RHINE VINEYARDS	BREAK	
16.00		WORKSHOPS III • Dosimetry for Reactor Life Time Assessment • Practical Problems with Activation Detectors • Dosimetry for Fusion Applications	
17.00			
18.00		JOINT PROGRAMME COMMITTEE MEETING	
19.00			