

◁研究会報告▷

軟 X 線分光器設計ワークショップに参加して

宮原 恒昱 (高エネルギー物理学研究所)

標記のワークショップが昨年10月23日~26日まで ALS と BESSY の主催で LBL において開催された。実は、このワークショップに筆者が参加を決意したのは、開催のわずか一週間前であった。それ以前には、たいしたワークショップではないだろうと勝手に判断して欠席を決めこんでいた。それが、主催者から再度の勧誘のメールが届いたので、若干の国内の状況を調べたところ、日本からの参加予定者があまり少ないということが判明し、義理でもよいから参加しようと、いわば消極的な姿勢で決心したのであった。

さて結論から言うと、このワークショップは、筆者の個人的な予断とは全く正反対で、きわめて実りの多いものであった。自分自身の予測の至らなさを痛切に反省した次第である。以下、筆者が印象深く感じた点を、かなりの主観をまじえてまとめてみたい。

第一に強調したい点は、このワークショップは、軟 X 線領域の回折格子分光器の設計から実際の動作、保守作業などについて、本音で語りあえる場であったことである。これは昨年7月に開かれた、SRI94 と対照をなしている。同じ装置に関する会議であってもどこまで本気でつっこんで考える気があるか、という参加者の関心の強さ、あるいは一種のねばりという点において、大きな差があったように思う。このことは、参加者の中には、いわゆる光学のプロとアマチュアが混在しており、多少異った視点から意見をたたかわせることが可能であったことによる点が大い。

そもそも、軟 X 線の回折格子分光器は、それを用いる研究者がその開発に大きな貢献をしてきたという歴史をもつ。すなわち、設計者は多くの場

合、分光学の現役の研究者であったり、あるいはかつてそうであった人々である場合が多いのである。たとえば昔のグラスホッパー型分光器、最近では「ドラゴン」型分光器などの例をあげるまでもなく、多くの有名な分光器は、分光学研究者によってその基本設計がなされている。

もちろん一方において、分光器の開発には、その要素技術、すなわち回折格子やミラー等の製作技術の発展、それらの性能の評価法、さらに分光器の動作を保証する精密メカニズムの開発によって裏づけられていたことも真実である。これらの開発は、多くの場合、その分野のプロによってなされてきた。さらにまた、分光器の設計そのものを専門とするような研究者・技術者も増大してきていることも事実である。

ところでプロとアマチュアとでは当然、アプローチの仕方が異なっている。今回のワークショップにおいても、一見したところ 60~70% の参加者は、何らかの意味で分光器を用いて分光学研究を行う研究者であり、残りは、プロの光学研究者、プロのメーカーであったが、やはりアプローチの仕方や発想に違いがあり、きわめて興味深かった。一般的に言って、アマチュアは、それほど完全主義を目指したりせず、必要な目的に限定して最良の設計をしようとする。しかもその目的のためには、要素技術の極限の水準、場合によってはそれを越えるような高い技術水準をプロに要求することが多い。たとえば「ドラゴン」型分光器は、ある意味でローランド結像条件を放棄した「不完全」なアマチュア的発想の分光器であるにもかかわらず、大曲率半径の回折格子を製作するという、要素技術の発展をプロのメーカーに課した

のである。また SX700型の分光器の開発は、楕円鏡の研磨という課題を光学メーカーにつきつけたが、一方でアマチュアは、多少の「不完全」に目をつぶって、球面鏡と不等刻線間隔の回折格子を組み合わせるような解をさがしだした。この例としては我国でも早くから PFの物性研ビームラインの一つで試みられていたことは特記に値する。

メーカーとしては、McPherson, Zeis, Jobin-Yvon, Rocketdyne, Tayside Optical, Photon Sciencesなどの光学機器・素子メーカーが参加していた。このうち最初の3社は、ビームラインをシステムとして一括受注した経験をもつ会社である。これらの会社については“Discussion with manufacturers with questions from the audience”というセッションの中で、本音の部分までつっこんだ、かなりきびしい議論が行われ、各社のポリシーがうかがえて興味深かった。特にMcPhersonとZeisの2社については、このセッションとは別に、彼ら自身の技術開発の現状を発表する場が与えられた。

ほとんどすべての発表は、発表時間45分、議論時間15分というように十分な時間が保証されていた。筆者とPFの柳下明氏は1コマの発表時間を分割して、PFのアンジュレータ・ビームラインの回折格子分光器について報告した。柳下氏はBL2の10m斜入射分光器およびBL16の新しい分光器の設計について、筆者は、ARのNE1Bの縦分散10m斜入射分光器の現状について報告した。どの発表についても、その後の議論は、本音の部分に基づいた迫力のあるものであり、それぞれの分光器の成果ばかりだけでなく、欠陥や問題点についても、包みかくさずに明るみにするというものであったように思う。

第二に、このワークショップにおいて、軟X線領域の分光器の「高分解能」を実現する多様な提案がなされるとともに、それぞれの分光器が長所・短所をもっており、「最良の」分光器などを一義的に定義できないことが、明らかになったことで

ある。高分解能分光器の開発競争が加熱するあまり、ある特定の分光器の長所のみを強調する傾向もここ数年間なしとはしなかったが、少なくともこのワークショップではそのような不要な競争意識は払拭されてしまった。ほとんどすべての参加者は、純粹に学術的な公平な評価を行おうとしていたし、自分の設計方針とは異なる考え方に対しても、それなりの敬意を払っていたように思う。

たとえば、今回のワークショップでは、不等刻線間隔回折格子を用いた分光器が、BESSYやALS、そしてWisconsinの施設などにおいて建設されて多くの注目をひいた。このような回折格子を用いると設計に一つの自由度が増すので、高分解能化にとってきわめて有利であることは明かであるが、一方、不等刻線間隔の関数形は3次の項までを含めるため、ホログラフィックに製作することがほとんど不可能で、機械切りの回折格子を用いる必要がある。他方、機械切り回折格子は、イオン・エッチングなどで切られた回折格子に比べて性能が悪いということが、かなりの参加者から指摘された。筆者は、ARのNE1Bのローランド型分光器を例にあげて機械切りでそれほど悪い理由はないことを示したが、このことをめぐっての議論は非常に多面的で、ただちに白黒をはっきりさせるといような性急さは、いささかもなかった。不等刻線間隔回折格子分光器についての報告者も、それらの設計原理の優位性のみならず、それを実現するメカニズムの難しさ、問題点なども正直に報告していた。

軟X線領域の回折格子分光器を設計するにあたって、いくつかの選択肢があることは世界的に認識されているが、その一つに、なるべく少数(理想的には一枚)の回折格子で広い波長範囲をスキャンするのか、それともきめ細かく回折格子を切り換えて用いるかという問題がある。前者の例としては、SX700型やローランド型分光器があげられ、後者の例としては「ドラゴン」型や小池型(不等刻線間隔)などの定偏角タイプの分光器がある。

一方、最近の高分解能化のあおりで、回折格子の回転精度は、 $0.1\mu\text{rad}$ 以内のガタにおさえる必要が明らかになってきており、今回のワークショップ参加者の共通認識になったように思う。問題は回折格子の交換メカや平行移動メカを有する場合、それだけの精度が実現されていないという点にある。ZeisやMcPhersonといった、メーカーからの参加者ほどこの問題は深刻にとらえていたようだ。応急手当としては、ペンタプリズムとレーザー干渉計を用いて、モーターによる送りの誤差を検出して、圧電素子等で補正するという手法がとられているが、メカの裸特性（フィードバックなし）が良くないと、どうにもならないというところに来ている、というのが筆者の印象である。

第三の印象としては、分光器と言えども純粹技術的に設計すべきでないということである。すなわち、社会的環境にも目をくばらねばならない。一番重要なのは、誰が立ち上げて性能を維持し保守するのかという問題である。世界の著名な分光器も、この観点でみると、研究者と技術者が一人ずつついていないと最高性能が出ないものや、また逆に比較的保守が容易なものが、このワークショップを通じて非常に明確になったと思う。し

かも、保守にどれだけ力を入れるかは、その分光器を用いてどれだけ面白い学術的結果を出そうとする研究者集団があるかという、主観的な意気込みの問題も背景にあることが、ますます明らかになった。これは、休み時間やディナー時における外国の参加者との議論で痛切に感じた点である。また何故、米国内にZeis社製のSX700がないかなどの「ミステリー」も今やはっきり解明されてしまった。それ以上、個々の分光器について言及すると差し障りがあるので詳しくは述べないが、今後の第三世代光源建設等の大型プロジェクトを比較的少ない人数で推進しようとしたとき、明らかに「不向き」の分光器もあるということが明らかになったと言えよう。

第四に、軟X線領域におけるフーリエ分光器が、M. Howellsらによって開発されつつあり、超高分解能を目指していることをつけ加えておこう。

最後に、日本からの参加者は筆者の他に、PFの柳下明氏、都立大の原田達男氏、物性研の手塚泰久氏と、ALSの研究員になっておられる小池雅人氏だけで、全体の参加者数が、50名程度であったので、少なさびしかったように思う。

一口メモ

“すずしろ”

清白と書き、ダイコンの春の七草の呼び名に使われています。春の七草とはせり、なずな、おぎょう、はこべら、ほとけのぎ、すずな、すずしろで、前の5つは野にあり、すずなはかぶのこです。ダイコンは古くわが国に渡来した様で、古事記には女性の白い腕としてたとえた歌があるそうです。アブラナ科の越年草で、春も中頃になりますとかわいらしいす紫白色の十字の花が開きます。

