

# 第4世代の放射光を韓国に

【話し手】**金 銀山** 浦項加速器研究所責任研究員

【インタビュー構成】**松尾義之** 科学エディター

素粒子科学のいわば副産物として生まれた放射光利用の科学。

播磨にあるSPring-8など第3世代装置の次のステップとして、電子ビームをさらに絞り込んだ装置の検討が進んでいる。この第4世代は、X線の中でも波長の短い硬X線領域でコヒーレントな光を大量に放つ。要するに硬X線レーザー光だ。韓国・浦項加速器研究所では、3年以内にまずデザインレポートをつくるべく、金さんを中心に研究が進められている。

私が所属している浦項加速器研究所 (Pohang Accelerator Laboratory) には、電子ビームのエネルギーがつくばの高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設と同じ2.5 GeVの蓄積リングがあります。このリング中を電子ビームが回ると、その接線方向に光を出します。これが放射光ですが、その取り出し口を蓄積リングにいくつも設け、この光を使ったさまざまな物性研究が行われています。日本とまったく同じです。

浦項は釜山の北約100kmに位置する人口150万人の地方都市で、世界有数の浦項製鉄所で知られています。ここの浦項工科大学の一機関として浦項加速器研究所があります。PLS (Pohang Light

Source) 蓄積リングはSPring-8などと同じく、極めて明るい波長の揃った光を得ることのできる"第3世代"です。研究所には40人ほどの加速器研究者がいますが、「ビーム物理」を専攻したのは私だけです。

専門の「ビーム物理」については、あとで説明しますが、実は日本で研究生活を送っているうちにこの分野に関心を持つようになったのです。高麗大学 (Korea University) の大学院の博士コースでは、実験核物理学を専攻しましたが、韓国には実験ができる適当な施設がないので、日本の高エネルギー物理学研究所 (現在は高エネルギー加速器研究機構) で研究することになりました。1992年のことです。

物理学の中でも天文学や原子核、加速器を含む素粒子分野はとて国際的ですね。研究者は、自分の関心に従って、行きたい研究所なり大学を世界中から探します。受け入れ側もそれが当たり前になっているんです。私が比較的簡単に高エネルギー物理学研究所に来られたのも、こうした科学者の国際的なネットワークがあったおかげだと思っています

## 浦項の加速器を設計値以上まで改良

高エネルギー物理学研究所で研究するうちに、ビーム物理学への関心が高くなっていきました。加速器では、複雑で微妙なビームの物理現象を細かく把握して、精細に制御することが重要です。制御の仕方によって、加速器の性能が大きく違ってくるからで、ビームの物理学を本格的に学ぶために総研大の加速器科学専攻に入学しました。

1997年に総研大を修了した後、米国のローレンスバークレー研究所、欧州原子核物理研究所 (CERN) を経て2000年に浦項加速器研究所の責任研究員になりました。ここの蓄積リングは、設計上はビームエネルギー2.0GeV、ビーム電流400mAということだっ

たのですが、私が行ったときは、2GeVで200 mA以下という、目標の半分以下の性能で運転されていました。

実はこの目標と現実の乖離が、韓国の科学技術庁と浦項加速器研究所の間で大問題となっていたのです。そして、この問題を解決するにはビーム物理学の専門家を呼んでくる他はないということで、私が採用されました。つまり、PLSができて10年以上たち、韓国でもビーム物理の重要性がようやく認識されてきたのです。私は総研大などで学んだ知識やスキルを活かして、ビーム不安定性を改善するとともに、軌道安定性を高め、蓄積リング構成とビーム操作の最適化を行って、最終的には、2.0GeVで450mAという設計値以上の性能を引き出すことに成功しました。

この例のように、ビーム物理学というのは、加速器を回るビームの特徴を詳しく理解し、それを上手に制御することによって、装置全体のパフォーマンスを高めようという学問です。手法としては、膨大なコードを開発し、計算機シミュレーションを行ったりします。

## 加速器で重要なパラメーター

ビーム物理学の発展により、加速器自体の性能はどんどん向上し

浦項加速器研究所





ています。例えば衝突型加速器では「ルミノシティ」という粒子衝突の確率に直接関係するパラメーターが重要になります。高エネルギー加速器研究機構の現在の加速器KEKBは、最初につくられた加速器トリスタンの100倍の $1 \times 10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$ という高い値を達成しています。放射光の場合は「ブリリアンス（輝度）」というパラメーターが重要になります。

軌道安定性というのは、ビームがどの程度軌道上をきちんと走ってくれるかです。これに影響を与える要因として、環境すなわち昼と夜の気温差があります。温度差によって装置が伸びたり縮んだりするので、それが加速器内を走る電子ビームの軌道を変化させてしまうわけです。それ以外にも、ビームを制御するための磁石の強さや、位置がずれることによる微妙な変動もあります。現在の放射光加速器のエミッタンス（電子ビームの広がりを示すパラメーターで、小さいほうが性能は高い）は10 nm以下と非常に小さくなっています。ビームサイズも数十 $\mu\text{m}$ と極小なので外からの影響が大きく響き、すぐに軌道安定性が悪くなり、ルミノシティやブリリアンスに悪影響を及ぼします。そうしないようにするのが「ビーム物理」の第一義的な仕事です。

センサーでビームの変化を捉え、修正用の信号を電磁石にリアルタイムに送って調整するというフィードバックをかけます。もちろんコンピューターを使ってやります。肉眼でビームが見えるわけではないのですが、私たちビーム物理をやっている者の頭の中には、まるで見ているかのようなイメージが浮かんでいます。まさに刻々と様子を変えるビームの姿が「見える」んです。いま「見ている」スケールは、衝突型加速器のエミッタンスでnmのオーダーです。

次に大事なパラメーターはビーム不安定性です。ビーム電流が大

きくなると、ビームの加速に用いるRF空洞内で、電子ビームと空洞との間の相互作用によって余計な電磁場が生じ、それが電子ビームを振動させて不安定にしてしまうのです。したがって、RF空洞の余計な電磁場をいかに抑えるか、という話になります。浦項加速器研究所の問題点もここにあり、RF空洞の余計な電磁場によって、ビーム電流の設計値は400mAなのに、実際には200mAしか流れていなかったのです。それを私が改良したわけです。

#### 第4世代をめざして

この半年間高エネルギー加速器研究機構でやったのは、第4世代の放射光加速器の開発研究です。リングの設計や位置やビームパラメーターを決めるのが第一です。それから、第4世代になるとビームのエミッタンスは0.1nmになり、ビームサイズはさらに小さくなるので、放射光自体が電子ビームに影響するようになります。こうしたコヒーレントな放射の影響を調べるのも重要な研究です。これをいかに抑えるか。

衝突型加速器からの放射光を物

性研究に利用したのが第1世代、放射光専用の加速器によるのが第2世代、そこにアンジュレーターという装置を組み込んでブリリアンスの高い、いわば非常に明るい特定波長の放射光を得るようにしたのが、浦項やSPring-8などの第3世代です。第2世代から第3世代までで、エミッタンスは1/10～1/20と小さくなりました。

第4世代のエミッタンスは0.1nm、浦項の加速器の1/200です。韓国ではこれを設計・開発しようとしているのです。第4世代の光源の特徴は、硬X線が数百から数万倍も多く出てくることです。物質の原子配列・結晶構造の解明などに、さらに強力な助っ人となるでしょう。とくにこうした領域の研究では、コヒーレンシー（干渉性）が重要になります。第3世代の光源のコヒーレンシーは0.1%でしかありませんが、第4世代では10%にまで向上します。要するにX線レーザーの分光学ができるのですから、その応用範囲はとても広いわけですね。

浦項加速器研究所では3年以上に全体設計に関するレポートを出すつもりです。米国のスタッフ

ード線形加速器センター（SLAC）、ドイツの電子シンクロtron研究所（DESY）、日本の高エネルギー加速器研究機構、コーネル大学なども検討中で、韓国でもぜひ第4世代の放射光源を作りたいと思っています。私自身、まだ20年間は仕事ができますから。

#### インタビューを終えて

一番びっくりしたのが、浦項加速器研究所の装置の改良で2倍以上もの性能を引き出したことだ。2倍の大きさの装置を作るコストを考えれば、こうした改良が経済的にもいかに大きな意味もっているかがわかる。同時に、ビーム物理という学問の威力、意義の一端がわかったような気がした。

日韓関係には微妙なところもあるので、「日本で学んだことがマイナスになることはないですか？」と聞いてみると「そんなことはないですよ」と金さん。答えがちょっと遅れたのは、「総研大」の名が韓国ではほとんど知られていないことで何かあったのかもしれない。とはいっても、2003年から韓国でも総研大と同じような大学院大学がスタートしたそう。



金銀山（キム・ウンサン）

1961年生まれ。1983年に高麗大学物理学科を卒業し、86年に理論核物理で修士号を取得。2年間の兵役ののち、92年に高麗大学大学院博士課程（実験核物理学）に入学した。高エネルギー物理学研究所（KEK）で実験研究しているうちにビーム物理学に関心が湧き、1994年から総合研究大学院大学加速器科学専攻に入学、97年に博士号を取得した。現在は韓国・浦項加速器研究所責任研究員。2003年6月から半年間、古巣の高エネ研で外国人研究員として過ごした。