



中尾 裕則

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 准教授

もっと気軽に使ってみよう放射光

外部の研究施設での実験を検討する場合、今の研究に対して施設で得られると期待される成果と利用する上での手間を天秤にかけて決めているかと思えます。しかしながら、放射光の利用に対する障壁は、昔と比べてかなり低くなっています。これは、放射光施設が国内に何ヶ所もある状況となり、施設側が新規ユーザーに入ってもらって“どんどん”利用してもらえるように努力するようになったためです。結果として、以下にも説明しますように、案外簡単に、しかも申請してから実際に実験するまで短期間で実施できる制度が、整備されてきております。また、放射光を使って期待する信号が見えるか見えないか、それは実際に実験しないとわかりません。その意味でも、是非一度利用するのが良いと思います。その結果、当初の期待とは違う大発見があるかもしれません。ここで紹介する高エネルギー加速器研究機構の放射光研究施設[Photon Factory (PF)](図1)は、放射光を利用するための専用の放射光リングとして、1982年以降利用されております。ご存知のように、90年代後半にはSPring-8が建設され、硬X線領域ではSPring-8でないと観ることが難しい研究もありますが、



図1: 35歳の放射光施設の外観。右手奥が、筑波山(標高 887m)。実験の合間に登山は、如何でしょうか。天気良ければ東京スカイツリーも見えるようです。

大抵の研究はPFでも可能です。また軟X線領域の光の強度は、PFの方が強く、PFならではの特徴を持った研究が展開されております。

次に利用方法です。一般には年2回、5月と11月に「G型課題」と呼ばれる申請ができます。審査の結果、採択されると2年間有効で、年3回あるビーム利用期間ごとに、各ビームラインにビームタイムを申請することで利用が可能です。SPring-8の場合に、採択時にビームタイムまで決まっているのとは、対照的です。これに対して、初めて利用される方や、新規の研究をいち早くできるように整備されてきたのが、「P型課題」です。P型課題は、随時受付ておりますので、思い立ったら何時でも申請が可能です。ただし、上述のように1年に3期間あるビームタイムの配分時期は決まっており、申請時期によっては実験のチャンスを逸するかもしれません。必ず、利用したいビームライン担当の方と事前に相談ください。以下に、PFで申請可能な課題が説明されています。

<http://www2.kek.jp/imss/pf/use/proposal/categories.html>

ちなみに、放射光施設はコンビニと同じく24時間営業です。ベテランユーザーは、夜寝られるようなスケジュールで実験を実施されますが、初心者は次の日の朝に会うとウサギの目になっていることがあります。実験計画は、事前に綿密に立てましょう。

最後に、PFでどんな実験ができるかを紹介します。とはいえ、放射光を利用した研究は多岐に渡ります。ここでは、著者の関係する実験装置群を紹介します。なお、全般的にどんなビームラインがあるのかは、

<http://www2.kek.jp/imss/pf/apparatus/bl/>
を参照ください。

新規物質を合成すると、その結晶構造を知りたいですし、物性測定で異常を見つけると、その異常に対応した構造変化があるのかわからないのかは、必ず押さえておきたい情報です。放射光を利用して簡単に構造決定可能なのが、BL-8A, 8Bです。(図2) 粉末試料でも、単結晶試料でも、大きなイメージングプレート(IP)を利用した測定装置で、広い逆格子空間を一挙に測定することが可能で、電子密度まで求める精密構造解析が行われています。また、吹き付け装置で低温から高温での測定が可能です。当ビームラインでは、1-2日のビームタイムが一般的です。

多極子は、J-Physicsの中の重要な電子自由度ですが、放射光を用いた多極子の観測には、共鳴X線散乱の手法が良く用いられます[1]。この共鳴X線散

乱は、BL-4C, 3Aの4軸回折計(図3)を用いて実験が行われており、ビームタイムは最低3日は必要な実験が多いです。

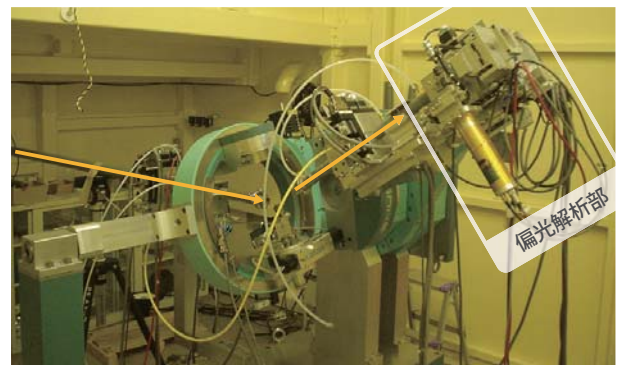


図3：4軸回折計。試料からの散乱X線を、偏光解析装置を利用して、 σ, π 散乱成分に分解している様子。

またBL-3Aには、超伝導磁石搭載冷凍機を搭載した2軸回折計(図4)があり、低温は約2 Kまで、磁場は7.5Tまでの実験が実施可能です。この装置を用

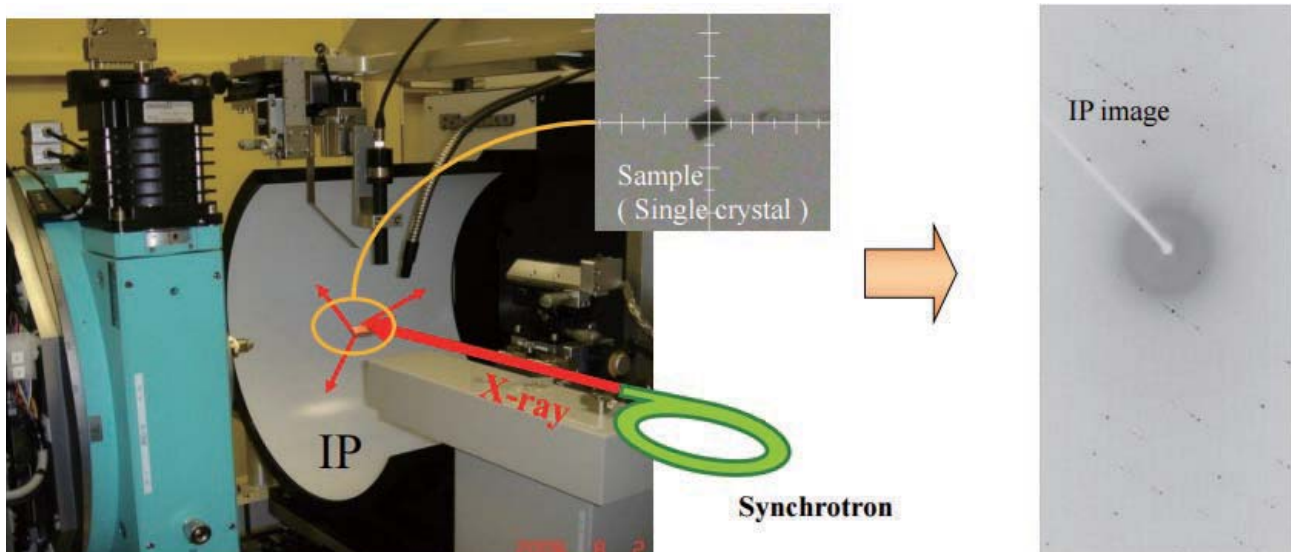


図2: (左) BL-8の大型IP回折計。放射光を試料に照射して、白い色のIPで測定。(右) 単結晶からの回折パターン例。

[1] T. Matsumura et al, J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 021007.

いた多極子の研究例としては、CeB₆の磁場誘起磁気八極子の観測[2]が良く知られています。



図4：超伝導磁石搭載冷凍機と2軸回折計。この装置の磁場印加方向は鉛直方向。また、この実験では入射X線と出射X線の位置が近く、高角側で格子変化を二次元X線検出器が利用して観測していたものと推測されます。

さて上述のビームラインでは、硬X線(5-18 keV)を利用した共鳴X線散乱実験が、実施されています。共鳴X線散乱では、原子の吸収端のエネルギーを利用し、遷移に関わる電子状態を調べます。例えば希土類元素では、 $L_{2,3}$ 吸収端が $2p \rightarrow 5d$ 遷移に対応し、 $5d$ 電子状態を捉えるのに適しています。(ちなみに、 $L_{2,3}$ 吸収端で四極子遷移を利用すると八極子、十六極子といった高次多極子を検出することができます。)一方、 $M_{4,5}$ 吸収端は、 $3d \rightarrow 4f$ 遷移であり、直接 $4f$ 電子状態を検出することができ、磁気散乱も非常に強く観測されます。同様の事が $3d$ 遷移金属系でも

言え、 $L_{2,3}$ 吸収端の $2p \rightarrow 3d$ 遷移において、非常に強い共鳴磁気信号が観測されます [3]。また、硬X線・軟X線の広いエネルギーを利用することで、試料を構成している元素ごとの共鳴X線散乱が行えるようになり、混成した軌道状態の新しい観測法としても期待されます。このような背景もあり、著者らは軟X線領域での共鳴X線散乱の装置開発、それらを用いた研究を進めております。

また関連して、ウラン化合物の粉末X線回折を $M_{4,5}$ 吸収端で測定したところ、中性子磁気散乱のような強い磁気信号が観測されました。J-Physicsではウラン化合物の研究も多いものの、国内での中性子散乱実験ができない状況です。磁気構造が調べたくなつたときには、ぜひ思い出してください。

さて、「ちょっと放射光、使ってみよう。」と想像していただけでしょうか。もし、気になったら、連絡頂ければと思います。

連絡先：hironori.nakao@kek.jp

なお、このニュースレターが皆様のお手元に届くころは、今年のPFのビームタイムは配分済みです。1月-3月の期間のビームタイムが、最速で利用可能なものとなります。是非、検討頂ければと思います。

[2] T. Matsumura et al., Phys. Rev. Lett. **103** (2009) 017203.

[3] Y. Yamasaki et al., J. Phys. Soc. Jpn. **85** (2016) 023704; Y. Yamasaki et al., Phys. Rev. B **92** (2015) 220421.