

# PF 懇談会だより

## のこころの紹介

### 放射線生物ユーザーグループ紹介

徳島大学大学院 前澤 博

放射線生物ユーザーグループは単色放射光を生体分子や細胞などの生物試料に照射し、照射された分子の構造変化や細胞活性への影響を研究し、最終的にはヒトへの放射線影響を理解しようとする研究者で構成され、現在 PF で実験に参加しているのは約 10 名程度です。各自の研究目的によって試料の種類、照射する放射光のエネルギーおよび解析方法が異なりますが、ビームラインに設置する共通の生物試料照射装置を用いて実験を行っています。利用する放射光エネルギーは真空紫外線から X 線 (15 keV 程度) までの広い領域に渡りますが、最近は主に 2~15 keV の X 線領域を使用した研究が行われています。

ユーザーグループではグループ全体で決められた課題はありませんが、各研究の中心には「生体への放射線エネルギー付与の大きさや場所に依存した生体分子構造の変化および細胞の活性変化」に対する興味があり、具体的な目的として①放射線生物作用の初期過程の解明、②細胞の放射線感受性決定因子の解明、③生体内原子 (P, Br, I, Pt など) の K・L 殻内殻電離 (オージェ電子放出) の生物効果解析とその光活性化がん療法への応用の可能性④放射線誘発 DNA 損傷の修復過程解析、⑤ X 線誘発バイスタンダー効果や適応応答の機構の解析などがあります。

実験方法は、核酸塩基、プラスミド DNA、イースト細胞、ほ乳類培養細胞などに単色化した X 線を照射し、その後試料をオフラインに移し、放射線損傷塩基の構造の同定と生成機構の解析、DNA 鎖切断効率の解析、細胞の致死・突然変異・染色体異常の検出および損傷修復関連タンパクの同定や生成の時間的解析などを行っています。

放射線生物グループが PF で研究を行う最大の理由は、上述した「放射線エネルギー付与」の大きさが明確な条件での研究を行うため、PF でのみ、照射放射光のエネルギーが任意に選択可能で、エネルギー半値幅が小さく強度が高いビームが得られます。エネルギー付与 (X 線では飛跡 1  $\mu\text{m}$  当たり付与するエネルギー量、keV/ $\mu\text{m}$ 、が良く用いられます。) の大きさが照射効果の質と量に影響すると考えていますが、X 線管球から出る白色 X 線では様々な大きさのエネルギー付与が混在し、エネルギー付与の大きさと生物影響を明確に関係づけることが難しく、単色放射光を使用することでこの困難を解決し、エネルギー付与量に依存した作用スペクトルを解析することが可能になります。また、半値幅が小さいビームが得られることは、X 線誘発内殻電離の研究でも大変有効です。P-K 殻電離を利

用した研究では、X 線吸収スペクトルで観察される K 殻共鳴吸収端に対応した明確な細胞致死、染色体・DNA 損傷が観察されています。

放射線生物グループでの放射光利用技術の特徴の一つは、Si 2 結晶分光後の強度分布に平面内構造をもつ小さなサイズのビームを大きな (最大直径 6 cm 程度) 試料に均一に照射する技術が必須で、そのため XY 方向走査型生物試料装置を PF での研究開始当初より使用しています。

最近、ディッシュ内に増殖したほ乳類培養細胞集団内の一つ一つの細胞を選択して照射する X 線 (5.35 keV) マイクロビーム照射系が PF の小林克己、宇佐美徳子両氏の努力で BL-27B に設置され、新しいコンセプト (被ばくと非被ばくを区別し観察する) の研究が開始されています。このマイクロビームのサイズを調節 (5~50  $\mu\text{m}$  角) すると、細胞全体、細胞核のみ、および細胞質のみの照射が可能になります。このマイクロビームを利用した実験として 2 つのトピックス、「細胞の超高感受性機構研究」と「X 線誘発バイスタンダー効果の機構研究」を紹介します。「超高感受性」というのは、X 線線量 0.2~0.5 Gy の被ばくを受けた細胞の致死率は 1 Gy 照射よりむしろ高く、1.5 Gy 程度と同等である現象をいいます。超高感受性は細胞核のみ照射したときには明確に現れ、細胞全体を照射した時はほとんどみられませんでした。このことから細胞質の照射が何らかのシグナルを生み、結果として核の致命的損傷生成を回避したと考えられます。この結果は細胞の感受性機構の理解に大きなインパクトを与えました。「バイスタンダー効果」とは、ディッシュ内に増殖中の細胞集団の一部を照射すると照射されなかった細胞の生存率の低下、突然変異率の増加、また細胞内 DNA 鎖切断の増加などがみられる現象をいいます。ヒト正常細胞の全体の 1/1000 個程度 (5~10 個) をマイクロビームで照射したときに非照射細胞の生存率は低下し、この変化には一酸化窒素の細胞外分泌が関与していることが示されました。X 線マイクロビームを使用し初めて少数細胞によるバイスタンダー効果を証明しました。非照射細胞に照射の効果が現れることはヒトの放射線リスクの評価にも重要な影響を与えます。

放射線生物ユーザーグループは PF でユーザーグループ化が行われた当初に発足しました。ユーザーグループの発足以前から、PF での放射線生物研究が伊藤隆 (東大)、山田武 (放医研) 両氏を中心に研究者が集まり、BL-1C、BL-4B、BL-11C などのビームラインで、乾燥試料や湿潤試料の照射装置の開発などを通じて、Br 原子内殻電離効果や染色体異常誘発作用スペクトルを得る実験などが行われました。その後 BL-27A、B が設置され P や Pt 原子の内殻電離効果や塩基損傷、水ラジカル生成作用スペクトルなどの研究が行われ、2002 年からはマイクロビーム照射系開発と利用研究が開始されています。マイクロビーム X 線を用いた研究で学位を取得し、また学会でシンポジウムなどのオーガナイズをする若手も育っています。現在、ユーザーは BL-27 および RI 使用施設生物準備室で活動しています。

PF への要望。グループ内には飛行機あるいは電車を乗り継ぎ、実験試料・器具などを持参するユーザーもいます。特につくばセンターから KEK-PF までのバスの運行時刻、間隔が不便で、長時間の待機あるいはタクシーの利用を余儀なくされます。不便解消の努力をされておられることは承知していますが、一層の改善をお願いします。また PF 実験棟 1 階入口付近のユーザー控室では携帯電話等の電波状態が悪く、改善をお願いします。

#### 連絡先：

UG 代表：前澤 博 (hmaezawa@medsci.tokushima-u.ac.jp)

## 高圧ユーザーグループ紹介

物質・材料研究機構 竹村謙一

高圧ユーザーグループは、圧力を実験手段としている研究者の集団です。PF の高圧 UG (以前は「高圧物性 UG」) は長い歴史を持っています。放射光実験が PF で本格的にはじまろうとしていた 1980 年代に、国内の高圧研究者が協力して PF に高圧プレスを設置する計画が立てられました。高圧実験では試料に圧力を加えるための高圧装置が必要です。高圧装置には様々な種類がありますが、共通して言えることは、高圧力を保持するために試料の周囲には何らかの容器や壁があり、試料は裸の状態ではないということです。高圧下の試料を調べるためには、いくつかの障壁を通して X 線を導入し、また同様に障壁を通して散乱 X 線を検出しなければなりません。高圧実験が高エネルギーの放射光を必要とする理由がここにあります。また高圧装置の構成部品には荷重や強度に限界があります。高い圧力を発生させるためには、荷重をふやすのではなく、試料を小さくすることが有効です。超高圧力実験になるほど、微小試料からのシグナルを得るために高輝度の放射光の利用が欠かせません。このような展望のもとに、最初の放射光 X 線実験専用高圧プレス MAX80 が出来上がりました。MAX80 の名前は Multi-Anvil X-ray system designed in 1980 に由来しています。当初 MAX80 は専用ステーションを持っておらず、BL-4C, BL-14C, BL-15C などを実験の度に放浪していました。MAX80 は総重量が約 5 トンですので移動は楽ではありませんし、設置・調整にも多くのユーザーの助けが必要でした。このような歴史的背景のもとに、高圧 UG の緊密な協力体制が出来上がってきました。高圧 UG には、全国の大学・研究機関から 40 人以上のメンバーが参加しています。さらに学生と院生を含めるとかなりの大所帯となります。

高圧 UG の研究対象は多岐にわたります。まず一つの大きな分野として、地球惑星科学が上げられます。地球や惑星の内部構造がどのようになっているのか、それを観測と比較して理解するためには、高温高圧条件での実験が欠かせません。地球の中心は、圧力 360 GPa, 温度 6000 K と

推定されています。高圧発生技術の進歩によって、この温度圧力条件は、現在ほぼ手の届くところになりました。地球内部のマントルや核の構成物質に対して、高温高圧実験が精力的に行われています。地球内部には、マントル-核境界以外にもいくつかの密度の不連続があることが、地震波の測定などから明らかになっています。その原因の一つの可能性は、内部を構成する鉱物の高圧相転移です。構造相転移にともなう密度変化で観測された不連続が説明できるか、また不連続点の圧力と温度が実験と一致するか、などが研究の焦点となります。また、地下のマグマの動きを理解するためには、高温高圧下で溶けたケイ酸塩の密度や粘度を知ることが必要で、融体を対象とした実験も行われています。

高圧 UG のもう一つの大きな研究分野は、高圧物質科学です。物質の多種多様な性質を理解し、新しい物質を合成するためには、圧力下で物質の構造や物性がどのように変化するかを調べることが有効です。たとえば超伝導物質の超伝導転移温度が圧力で敏感に変化することは良く知られています。圧力によって転移温度が上昇することもあるし、減少する場合があります。構造相転移が起こって新しい転移温度の超伝導相があらわれることもあります。構造と物性の関係を調べるためには、圧力は格好のパラメータと言えるでしょう。さらには超高圧力の極限を目指す研究も行われています。超高圧力下では、常圧では見られない特異な結晶構造が現れる場合が数多くあります。そうした高密度構造は、結晶学的にもたいへん興味深いもので、多くの研究者を魅了しています。近年では、第一原理計算による高圧構造の安定性の議論もさかに行われており、この分野は理論家を巻き込んで発展を続けています。これら以外にも、高圧研究の基礎となる圧縮データ (状態方程式) や、結晶構造パラメータの精密決定、温度-圧力相図の決定などが行なわれており、地味ながら確実な成果を上げています。

高圧 UG が現在主に使用している高圧ビームラインは、AR-NE1A, AR-NE5C, AR-NE7A, そして PF BL-18C です。NE5C と NE7A には、それぞれ大型プレス MAX80 と MAX-III が設置されており、地球惑星科学関連の実験と高温高圧実験が行われています。単色および白色 X 線を用いた粉末 X 線回折実験が主ですが、透過 X 線の強度を測定することで、融体の密度測定やイメージング実験も可能となっています。発生可能な最高圧力は 40 GPa, 最高温度は約 2500°C です (注)。AR-NE1A ではマルチポールウィグラーからの高輝度光を 7-50 keV の範囲で単色化して使用することができ、ダイヤモンドアンビルセルにレーザー加熱装置を組み合わせた高温高圧実験と室温高圧実験が行われています。最高圧力は 150 GPa, 最高温度は約 3000°C です (注)。ここでは、ダイヤモンドアンビルセルを用いた放射光高圧メスバウアー実験も開始されました。地球内部、特に核の重要な構成物質である鉄や鉄化合物について、その価数とスピン状態を調べる研究がメスバウアー実験の主なターゲットです。そして PF BL-18C は、室温ならび

に低温高圧実験のためのビームラインで、2009年からはUG運営ステーションとして活動しています。偏向電磁石光源のために高エネルギー側は25 keVが実用限界ですが、中程度の圧力領域で多くの粉末X線回折実験が行われています。

高圧UGのメンバーの多くは、日本高圧力学会に所属しています。国内および国外の高圧力科学の最新情報が学会ホームページ (<http://www.highpressure.jp/>) からたどれますので、興味をお持ちの方はぜひご覧下さい。

(注)実際に発生可能な最高圧力と温度は、試料の種類や量、実験の種類により大きく異なります。

#### 連絡先：

UG代表：竹村謙一 (takemura.kenichi@nims.go.jp)  
 BL担当：亀卦川卓美 (takumi.kikegawa@kek.jp)  
 BL-18C運営WG代表：中野智志  
 (nakano.satoshi@nims.go.jp)

### 「PF 懇談会主催 PF ユーザーの集い」 開催のご案内

来年1月に姫路市で開催される放射光学会年会・合同シンポジウムにおいて、「PF ユーザーの集い (PF 懇談会主催)」を下記の通り開催致します。広くPFユーザーの皆様にお集まりいただき、PFの現状について施設側からご報告いただきとともに、PF懇談会で協議すべき問題点等についてご議論いただきたいと思います。どうぞこの機会に積極的にご参加いただき、皆様の忌憚りの無いご意見をお聞かせ下さい。予定している議題をPF懇談会ホームページに掲載いたします。

日時：2011年1月7日(金) 14:00～15:00

場所：つくばエポカル大会議室(101)

### PF 懇談会新規入会キャンペーン! 特典付き!!

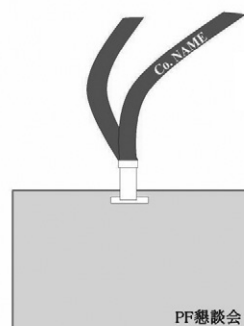
今、PF懇談会にご入会いただくと、入会記念に特製カードフォルダーをプレゼント!

ケースはハードビニール製で企業提供のネックストラップ付です。IDカードをケースから取り出すことなくカードリーダーを通すことができる優れたもので、きっとPFでの実験の際にお役に立ちます。

また、新規入会者には特別に入会手続きの書類と共に郵送でお届けします。

尚、現会員で希望される方は事務局までご連絡下さい。皆様のご加入をお待ちしています。

PF懇談会提供カードフォルダー



### PF 懇談会入会のご案内

PF (Photon Factory) 懇談会は放射光を利用する研究活動を効果的に推進するため、PFの発展、会員相互の交流、利用の円滑化を図る利用者団体です。主に次の様な活動を行っています。

- ・会員相互の情報交換、会員の放射光利用に関する要望のとりまとめ
- ・ユーザーグループ活動の促進
- ・PF シンポジウム、放射光基礎講習会などの学術的会合の開催
- ・PF 将来計画の立案とその推進

PFでの皆様の研究活動をより多いものにするためにもPF懇談会へのご入会をお薦めいたします。なお、ユーザーグループは懇談会の下に作られた組織ですので、ユーザーグループへの参加には懇談会の入会が必要です。

詳しくはPF懇談会ホームページをご覧ください。

<http://pfwww2.kek.jp/pf-kondankai/index.html>

<お問い合わせ>

PF 懇談会事務局 森史子

029-864-5196 pf-sec@pfqst.kek.jp