
 生命科学・蛋白特集

座談会 No. 11 (1999年1月26日)

 放射光討論会「朝まで生テレビ」
 —今、何が問題か? : 生命科学編—

森本 幸生

日本放射光学会誌編集委員, 姫路工業大学理学部*

Synchrotron Radiation Discussion

—What are the present problems?: in Life Science—

Yukio MORIMOTO

Editor, Himeji Inst. Tech.

We twelve SR knights got together at the beginning of the New Year 1999 to battle and discuss about “What is science?”, “What are the serious problems in the field of life science with SR at present?”, “How many beam lines do you need?”, “Are all of tertiary structure of proteins required?”, “What kind of research should be achieved by SR structural biologists in the next century?”. Through about 4 hour discussion, serious problems at present were discussed, and we finally agreed that the third generation SR is indispensable to us. . . . A black knight, a member of participants, said he should be looking for a beacon of hope over the SR rainbow.

「ハコは作った。組織もできた。で、魂は？」と尾嶋編集委員長が問いかけた「朝まで生テレビ」の第2週目である。先週は“尾嶋総一郎”こと尾嶋編集委員長が「物質科学編」にて朝まで(?)ケンケンガクガク討論し、お疲れのようであるから、今週は“八木総一郎”こと八木直人氏にお願いして「生命科学編」について徹夜敢行した。

出席者は、柳田敏雄氏(阪大医), 津田基之氏(姫工大理), 中村春木氏(生工研(現: 阪大・蛋白研)), 宮野雅司氏(日本たばこ), 箱嶋敏雄氏(奈良先端大), 佐藤衛氏(横浜市大総合理), 山口宏氏(関西学院大理), 中迫雅由氏(東大分生研), 山本雅貴氏(理研播磨), 渡邊信久氏(物構研), 八木直人氏(JASRI), 森本幸生(姫工大理)。司会は八木氏にお願いし, 黒子は森本が担当した。

事前に「生命科学分野での利用促進のために, 放射光施設と利用者は何をすべきか?」というアンケートを実施し, それについて大いに語っていただいた。時は1月26日, 場所は大阪大学蛋白質研究所会議室で延々4時間近くに及んだ。SPring8が順調に稼働し始めたことと裏腹に, 放射光利用生命科学者は本当に「何をすべきか? 何ができないのか?」を考えさせられた数時間であった。自己反省, 批判(?)も含め大いに議論が沸いた雰囲気を見事再現したつもりである。生命関係者たちはこんな事を考えているのか, ご理解いただけたら幸いである。

1. 序章 ~自己紹介~

森本: 本日はお忙しいところありがとうございます。放射光学会としては, 構造生物に関する事で特集を組みたいということで八木先生にお願いして色々企画していただきました。

八木: これ放射光学会誌の座談会なんです。でも面子を見

ると, 生物物理学会と一緒にだなどという気がちょっとしますね。今, 放射光の生物の利用ってほとんど構造生物なんです。それだけにとどまらず, ということでお願いします。放射光のなかで言うところ構造生物の人間が特殊な人間で, 全体の割合がそんなに高くないんですよ。放射光ってやっぱり物理の施設だから。そういう意味で構造生物の

* 姫路工業大学理学部 〒678-1297 兵庫県赤穂郡上郡町金出地1475-2
 TEL 0791-58-0178 FAX 0791-58-0177 e-mail morimoto@sci.himeji-tech.ac.jp

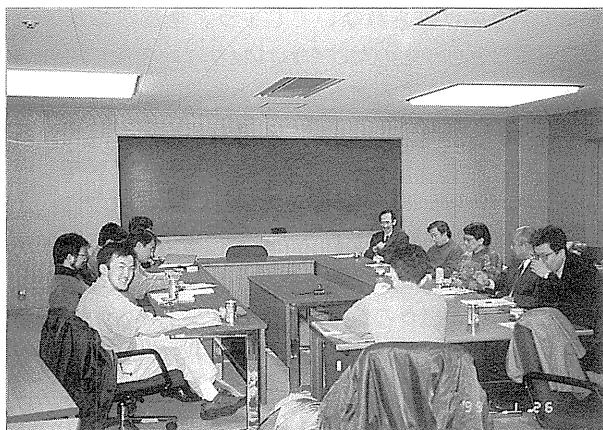


写真1 蛋白質研究所会議室にて。
なごやかな中にも、白熱した議論を展開した。
右側黒板前から、箱嶋敏雄氏(奈良先端大)、中村春木氏(生工研)、八木直人氏(JASRI)、津田基之氏(姫工大理)、中迫雅由氏(東大分生研)の面々。

話を少しと、放射光施設の現状についてのディスカッションをして未来の話。じゃあ始めましょう。

最初、一人ずつ自己紹介して、放射光で何をしているという話をしてください。私、SPring8の八木です。施設者になってしまったのですが、放射光を使う時は小角のビームラインで筋肉の実験をしていることが一番多いです。

津田：姫路工業大学の津田です。構造生物学と関係あるプロジェクトとしては、多くの競争相手のあるGタンパク質共役受容体としてロドプシンとそのリン酸化素であるロドプシンキナーゼの結晶をやっています。最近かなりマクロな生物現象に興味をもっていて、数年前からホヤを使って、光に対する遊泳行動解析、光生殖時計などをやっています。

中迫：東大分生研の中迫です。放射光は14年前くらいから使わせていただいています。X線の小角散乱、生体膜解析、結晶解析、なんでもやらしていただいたという感じで、今は結晶解析を中心にやっています。

森本：姫路工業大学理学部の森本です。結晶解析がメインで、私達の近くにSPring8がありますのでぜひそれを使って構造生物なるものをやりたいと思っています。

佐藤：横浜市立大学の佐藤です。放射光の利用といいますと、17,8年前にフォトンファクトリーが建設中の時に、阪大の植木先生たちが計画された酵素回折計の建設のお手伝いをしたのが始まりです。したがって主に溶液散乱の時間分割測定という研究をやってきました。SPring8に関しては、山本さんが担当されている理研ビームラインで最近データをとることができ、その精度の高さに驚いています。

渡辺：放射光の渡辺です。やってることは、波長をかなり広い範囲で自由に集光できるような分光器があったらいいなということで、そういうのを2年くらいやっています。

なかなかタンパクの方に手が出ていないんですけど、今日は色々勉強させてください。

山口：関西学院大学の山口です。自分の興味は、結晶中での構造変化を見たいということですね。いわゆる時間分割解析をやりたいと思って実験やっています。

宮野：日本たばこの宮野といいます。多分この中では唯一の企業出席？。放射光との関わりは基本的にはPF以来ずっとユーザー測定に近い感じですが。本当なら会社ですから薬を作るということでそちらに役に立つような結晶解析をすることなんですけど、なかなかそこまでいきません。最近主にはウイルスからとったタンパク質を解析して新薬開発に役立たせるということをやっております。SPring8とPF両方お世話になっております。

山本：理研播磨研究所の山本です。放射光利用は修士の学生時代に溶液散乱でコントラストバリエーションの実験をやっていたのが最初です。それ以来X線で見えないものを見たいんだという興味で放射光を使っており、最初の溶液散乱から次は結晶解析にいきまして、現在はSPring8の理研ビームラインIの担当をしています。

柳田：大阪大学医学部の柳田です。SPring8を使ったことないんですが、若林克三さんと一緒の学科にいましたので、放射光とX線回折像を使った研究は多少知っているつもりです。生命科学に大きな寄与をしていると思っています。タンパクを知るためには、やっぱり構造が知りたい、構造変化が知りたい。今、光を使って、分子の行動を見ているのですが、詳細な構造は見えない。SPring8に期待することは分子の構造変化のダイナミクス、生理機能を発現している時のタンパクのダイナミクスが調べられるようになればいいなと期待しています。

八木：ちなみに柳田さんは生理学の教授です。

柳田：ええ。みんな生理学の教授には似つかわしくないとおっしゃるんですが、一応「一分子」生理学です。結局生理学ですね。構造だけだとつまらない(笑)。

箱嶋：奈良先端の箱嶋です。バイオキネティクス。自分としてはまともな構造生物をやってるつもりです(笑)。細胞生物学とか分子生物学よりの興味でやってる。

中村：生物分子工学研究所、ベリといいますけど、Biomolecular Engineering Research Institute ということで、情報解析部門です。情報解析部門というのは分かりにくいんですが、ピュアなbioinformaticsというよりは、structural bioinformatics、タンパク質の機能を構造をもとにして考える、そういうようなことをやっています。

2. 大命題 ～サイエンスとは何か？ 放射光生命科学の進む道～

八木：一応生物じゃない人を相手に、放射光の状況を少し話をしたいんですが、タンパクのビームラインというのはいっぱいあるんです。それで他の分野の人が見てなんでそんなに、と言われるのだけれど、タンパクのラインは何本

あればいいのか？ そもそもそんなにすることがあって、それが全部大事なのか、という質問を時々されるんです。でも構造生物の立場からいってタンパクの数は無限にきつとあるわけですね。その構造を全部決めなきゃいけないものなんでしょうか。サイエンスとして構造を決める事にどういう意義があるのか。

森本：例えば何をターゲットとしてやれば非常にサイエンスであるか、何をすべきかということが明確であれば、かなり絞ることがわかると思うんですね。

八木：構造生物学っていうのがサイエンスの学として、成り立っているのかということですね。原理学としては成り立つんですけども、構造生物学が学なのか、というところから考えると、構造を決めればいいというものでもないという意見もある。

柳田：構造生物学が何を狙っているのか、目指したいのかが、はっきりすればいいと思うんです。やっぱり生体分子の機能を知りたいんじゃないんですか？

八木：メカニズムを知りたいために構造を決めているのが構造生物学…。

山口：いや、何の目的で構造を決めるのかじゃなくて決まってからの話でしょ？ 難しいタンパクもあるし、時間分割反応とか、特殊な物性を測るためにいろいろな温度でやるとかね。色んなことを考えられるから、その構造を決めるということは、もうサイエンスではない。生化学やってる人が分光光度計でぱっと測るのと同じで、ちょっと構造を見たいと思ったら、構造出すよという世界になりつつある、それが前提じゃないかなあと、思うんです。

山本：ある意味では博物学っていう考え方もあると思うんです。だから博物館に行って色んなものが置いてある。当然全てのタンパクある限り、コーディネートの形で出すのも一つの方法だと思うんです。標本としてすべて集めるという仕事も、それをサイエンスと呼ぶか、何と呼ぶかわからないにしても…。

柳田：似たような事情は分子生物学の人も言いますね。大事なタンパクを見つけて、少ないうちはいいけれども、どんどん見つかるって、博物学のように…見つけちゃ物事が分かるっていうことでもない。

宮野：私はさきほど言った通り企業にいまして、実際に実用の薬を作るという目的で動いてるわけです。バイアグラありますね。あれなんかも本来は心臓の薬をねらっていて、実際にはいい薬の候補がでて人に使ってみたら別の効果がでた。そうした時には、わずかな違いそのものが重要になってくる。だから意外とサイエンスだけから見ると、わからない所だと思うんです。

八木：山本さんのいった博物学というのはダーウィンの時代の博物学、あれは貴族の趣味だったわけですね。放射光の実験は金持ちのひまつぶしじゃないから今の時代に許されるかっていう問題があると思うんですね。製薬会社でも薬のターゲットにならないものを結晶化して構造を決め

るっていうのは許されないでしょう。全部決めなくたって、大事だと思うものだけやれば残りはいらんんじゃないか、という考え方もあるんですよ。

山本：最終的にどこまで見たいのか、という話がありますよね。たとえば、特定のシステムの特定の反応がなぜ起こるか、そのメカニズムを知りたいと。その意味では、代謝系のごく一部について、その反応を物理化学的に記述するために構造が必要なんだと。だから、今重要であると。

中村：大事だと思うのか、あるいは大事じゃないと思うのか、その判断は実際には構造を解いてみて、まったく新しい構造で、しかも機能にも結びつく、それが実は大事なことです。

八木：僕のいった大事というのは、そういうサイエンティフィックな大事じゃなくって、応用面での大事なんですよ。例えば、薬とか。要するにライフサイエンスが今うけてる理由っていうのが生活に密着しているというか、良い薬を作るとか、長生きできるとか健康の秘訣は何か、そういうところと結び付いてるとみんな思ってるわけでしょう。だから、それとあまり関係ないような事っていうのは社会的にみてどれだけ意味があるのかなっていうことです。

山口：八木さんの言ってるのは、今何が大事かという話だと思うんです。構造生物学だけじゃあなくて、サイエンスとかテクノロジーに関してね。学生はシビアで、あなたの研究室でやってることは何で大事なんだと。すぐに役立つ事、要するに実学、すぐに結びつか結びつかないかっていうのは、結構興味の対象にあるわけです。工学部だったらすぐに社会に役立つ仕事してるようなイメージがある。理学部だったら何か社会の役に立たないことやってるというイメージがあって、結構学生さんたち分けちゃうわけですよ。タンパク中の反応をみるとか、生物学的ファンクションを見る時にいろんな種（生物種のタンパク質）の構造をとることによって、微妙な構造変化を見る。天然のミュータントをとるみたいなもんです。だから、基礎データ集めの時代なのかな、という気がするんです。

森本：構造という、その定義ですね。何が分かればそのタンパクが分かって、理解できる構造なのか。X線使うと思うんです、果たして原子レベルが必要なのか。それとももう少し分解能を落としてでもいいし、あるいは柳田先生のイメージングみたいに動きがわかればいいのかという、それもかなり大きな問題ではないかと思う。常に構造はワイヤーモデルを目指すのか。その辺かなりジレンマを自分自身もってるわけです。

宮野：先程、八木さんの趣旨っていうのは、特に放射光というお金のかかるサイエンス、そういうものを社会的に受け入れてもらうだけのバックグラウンドなり論理的な構成、それは必要という気がするんです。そういう意味ではスタートとしては理想の構造が一番重要だと思う。

森本：理想の構造っていうのはやっぱりアトミックレゾリューションということですか？



写真2 左から、佐藤 衛氏(横浜市大総合理), 渡邊信久氏(物構研), 山口 宏氏(関西学院大理), 宮野雅司氏(日本たばこ), 山本雅貴氏(理研播磨), 柳田敏雄氏(阪大医)。議論の真っ最中である。

宮野：われわれのスタンスからいくとそうならざるを得ないです。ただ私個人的には、一番の理由はやっぱり美しい。結晶きれいですよね。出てきた構造は信じられないほどうまくできてるわけですよ。

森本：学生の時にタンパクの構造をなぜ解くんだといって、それはロマンだといわれたことあるんですけどまさにそういう。

八木：そういう本当にピュアなサイエンティフィックなモチベーションの部分と、最近の、たとえばお金のつきかたですよ。サイエンティフィックなモチベーションにお金のつく時代っていう現実もあるわけですね。

宮野：いずれにしてもそういう実用的な部分にしるサイエンティフィックな部分にしる、何らかのやっぱりインパクトがないとやっていけないという気がします。

森本：そのインパクトってというのは物で勝負ですか？

宮野：それはなんでもいいんだと思う。たとえば先程から出てますけど、構造が出て、それじゃあ、何か分かったかって、何も分からないわけですよ、本当のところは。まずその構造から色々なことを類推するし、例えば計算でやっていく。そこからスタートっていう話ですね。そうするとやっぱりアトミックレゾリューション以上のものがないとそっちの方向には行かないんじゃないかという気がしています。

中村：先程柳田先生が生理学っておっしゃってたのは具体的には形が出た時にどういう機能をその形を基に考えるか、分子認識をどういう風にしていくかを考えていくときに、スタティックな構造だけがあってもそれから先は実はなかなか構造だけで証明をするのは大変なんですね。私はその構造決めたあとの色々な研究につながる物事を自由エネルギーで考えていこうというスタンスではありません。

中迫：生理屋さんは結晶解析を自分でやってるから、むしろ

結晶解析屋の方が自分で将来何をするのか、自分のテーマを決めるべきだと思います。あるバクテリアのタンパク質を全部解いてしまおうというプロジェクトがあって、ある程度結晶が出ればできる段階にきている。だからそういう意味でこれからはコラボレーションするんじゃないくて、化学の人生理の人が踏ん切りがいたら自分で結晶解析していくんじゃないかと思う。それがこれからの主流だと思ってます。だから山本さんがやってるような先端的なビームラインの開放とか、それはやっぱりプロじゃないと。だから博物学的に使うビームラインと先端的なビームラインの棲み分けがあった方が、僕はいいと思います。

津田：これは構造生物学の今後の方向は何かという問題です。自分で結晶を作れるような人が増えてきて、放射光での構造解析も容易になってきた現状で、研究者がどういう目的意識で対象となるタンパク質を選んでいくかです。手に入るタンパク質の構造を片っ端に解いていくのも一つの立場です。もう一つは、ある生理機能に焦点を絞って、その機構を明らかにするために、それに関与するタンパク質の構造を解こうという立場です。これからは後者が主流になると思いますが、前者のような流れがどうなるか？これは分子生物学のゲノム計画などと対比して考えるべき問題だと思います。

佐藤：片っ端からという話が出ましたけれども、片っ端から立体構造を決めるというのはゲノム科学とかなりリンクしてると思うんです。アトミックレゾリューションの構造があれば、そこが機能解析のスタート。いろんな料理の仕方がある。理論的なアプローチもありますし、もっと他にミュータントを作る方法もある。いろんなアプローチが立体構造が分かれば無限に広がるという意味で、それが構造生物学であると思う。ゲノムから遺伝子が分かり、そこから機能が分からないタンパクがどんどん出てきてX線解析する。しかし立体構造は決定されるが、それだけで機能が分かるというところでもない。タンパク質はたいへん興味深い。そこに科学的なインパクトを持つようにするのがいろんな方法からの研究でないかなと思います。

宮野：日本の中で確かにインパクトのある構造が出ているのかどうか、というスタンスで考えてみると、先程おっしゃったように自分達のところで結晶を作ってその利用まで考えていかないともう勝負できない時代です。じゃそれは簡単なのか。それは残念ながら…ゲノムサイエンス、すごい勢いで進みましたよね。それに比べると、タンパクのサイエンスって進んだんでしょうか、タンパクの結晶構造解析をするために結晶を作って構造解析をしていくためにはそれなりの量のちゃんとした非常にいいタンパク質を作らないといけない。これは津田先生なんか、まさにご苦労な部分だと思うんです。メンブタンパクなんてその最たるものだと思うんです。我々よく経験するんですけど、プレパレーションによって、もう結晶できたりできなかったりするわけです。そんなのは当たり前になってる

わけです。それを見るとやっぱりタンパクのサイエンス、タンパクの結晶解析、そういう意味でその部分を埋めるのが日本の中にはやっぱり系統的にほとんど欠けているんじゃないかと。

柳田：そういうことができる体制になってないんだったら、それをどうしたらいいかっていうのは…。

箱嶋：いや、なってないというのがよく分からないですね。昔と比べてインターナショナルなコントリビューション多くなりました。それでも例えば、アメリカに比べたら全部仕事してないことになるんですよ。うちの学生が個人的にトップジャーナルのネイチャー、サイエンス、セルにこの3年間どこの人が何本書いたかという統計をとったんですよ。そうすると、ほとんどもうアメリカなんです。アメリカに比べてあとは、例えばイギリスでも10分の1か20分の1くらいか…、ほとんどそうになってしまうんですよ。だからアメリカと比べてどうかっていうのは、むしろ一番か一番でないかっていうそういう質問になるんです。じゃあドイツとかイギリスに比べると、やっぱりちょっと少ないと思う。それは歴史的な背景があって、結晶屋さんがバイオロジーを勉強するチャンスがあった。やろうと思ったらあったんだけど、あえてそうしなくても日本国内で生き残れるような風土を誰かが作ってしまった。今はそうでない方向に若い人が向いてますから、クオリティーという面では楽観的です。だから体制ができていない、そういう問題じゃないんです。

森本：ポカンと口あけてタンパク来てよ、と待っていたんでは全然だめで、自分達で本当に作ってやっていかないといけない。いわゆる今まで分子生物学とか遺伝子、生理をやってきた人は、それを日常茶飯事でやってるわけですよ。で、そういう人達とうまくコラボレーションするか、X線屋が自分達で、このタンパクに興味ある、この系に興味ある、自分で作ってやる、ということかと思うんです。そこが今ちょうど転換期じゃないかなと思ってるんです。

宮野：私さっきいったのはまさにそのインパクト、だと思っただけです。ファンダメンタルがある理論でも、メソッドロジでもいいと思うんですけど、先程の柳田先生の話でいえば、残念ながらまだもう一步というのは現実です。ただ一ついいたいのは、この分野っていうのは非常に多くの分野がからみあってますよね。そういうことをうまくやるだけの組織が無いシステム、横の流動性が無いと言う点。

箱嶋：いやむしろ努力をきちんとしなかった。

柳田：本当に分子生物学者に浸透してるんでしょうかという点ね。僕は阪大医学部にいるんですけど、皆さんご存じのように分子生物学がすごいレベルが高くて、でも、構造に興味あるんですよ、みんな。

森本：たとえば今の柳田先生のお話だとそういう分子生物学者に構造に立脚した論破をむけて、対等にディスカッションできるだけの結晶学者がいるのかという話と完全に一

緒じゃないかな、と思うんです。だから単にコラボレーションはいくらでも例があるけど、結晶学者も構造のディスカッションとそれに伴うメカニズムの解明ということにね、もっと話を持っていけるようにならないといけない、それで、分子生物学者というのは結局は構造に立脚してものをしゃべってますから、彼らから入ってくるのは簡単だと思うんです。だから彼らから見ると構造出してくれといわれるし、こっちは構造出しやいだらうという話になって、いまいちディスカッションが…。ヨーロッパの連中はそこの所ものすごくクロスしますから、いい仕事できるのかと思ってる。それは日本ではすごく欠けてる部分ではないかなって思いますね。

佐藤：ここ数年、有力誌なんか見えますと医学部と連携しながらやってるところが多いですね。基礎医学だと思っただけですが、強い研究協力関係で、タンパクのX線解析を進めていって大きい仕事をするという傾向が、非常に強くなってると思います。

山本：インパクトファクターが高いっていうことは、実学にのっとらないと、インパクトファクターが高い雑誌にはもう載らないという状況…??。

宮野：柳田さんが言いかけたような仕事っていうのは、例えばネイチャー、サイエンスにインパクトのあるタンパクっていうのは物なんですよ。インパクトあるものかどうか、ということですね？ インパクトがあるものっていうのは何かというと、企業として非常に重要であるということ、そう簡単に出来ないということなんですよ。それがゆえにそのインパクトは上がる。

柳田：いや、僕の感覚でいうと、構造解の簡単だっていう話は意外ですね。僕らが扱っているアクチンとミオシンは十年、二十年かかった。次に、アクチンミオシン複合体の構造を解いてくれたらいいなあ、と僕ら思うけど、そんなのどうも気が遠くなるほど難しいように思うんですよ。

森本：インパクトっていうのは色んな意味でインパクトですよ。これを柱としてやってほしいだろうということを見極める力、かなり要求されてるんじゃないかな。

山本：物が重要であるとか、インパクトあるもの、物から考えれば当然そうなんですよ。逆に博物学をやる人間としてみた時に何が来ようと、左からきたのを右に答えとしていかに出すかっていうのが一つの方法と思うんですよ。その形を見るという意味では結晶があれば、構造出してみせるというのも一つの話だと思うんですけども。

柳田：僕がいたかったのは、なぜ博物学といわれるのかよく分からない。例えば、膜タンパクの構造を解く方法を開発するような大事な仕事があるんじゃないのですか。もう労働したいな仕事しか残ってませんと言われると、僕らとしては非常に意外な感じを受けます。

中村：サイエンスはこうやらなきゃいけないとか、こうでなきゃいけないとかそういうのは元々ない。インパクトファクターが高いかどうか、それは世間が決めることであ

って、自分がいい仕事だったら、別にどこへ出そうかと思ってます。

3. 展開 ～放射光施設との関わり。現状分析～

八木：それでは、がらっと話題を変えて放射光施設の現状とかディスカッションをやりましょう。今の放射光、日本のハード X 線の放射光施設って二つしかないんで、二つの放射光施設の現状について、感想など聞かせていただけないでしょうか。

箱嶋：放射光？ いいんじゃない？ まあ、ちょっといえば試料まわりのつながりが弱いていうのはあるけどね。そういうものにたぶんお金を出さないんでしょ。

八木：放射光の試料まわりってというのはどういうことですか？

箱嶋：うーんまあ、クライオ関係の日本の導入というのは遅れましたからね。試料まわりで特にクライオ関係ってものすごいキーテクノロジーになりますからね。データを採るっていう…。

佐藤：放射光施設として考えた場合、ユーザーがどんどん結晶を持ち込んでデータコレクションするというファシリティーも必要だし、スタッフの中にバイオリジストも入れて放射光施設でないと出来ない大きなサイエンスをする必要もあって、両方の道を選んでいかないといけないと思います。ただデータコレクションだけするという点ではサービス業になってしまいます。X 線のエキスパートだけでなくバイオリジストも含めた研究協力体制を作っていくことが大切ではないかと思います。

森本：放射光を使って何をやるってという話で、仮に SPring8 に限って言えば、光が強ければいいのか、単に強ければそれだけで何でもできるのか、という話があると思う。一方施設からみれば、せっかく次世代の大きい光を出してるんだから、それを生かして仕事しなくちゃだめなんだ、と問いかけてる部分もあると思う。例えば今まで一ヶ月かかってた測定が一日でできる、それはそれなりにいいことは沢山あるし、新しいサイエンスの見方っていうのも出てくると思うんです。結晶以外だったらイメージングの部分もあるでしょうしコントラストを使ったイメージングとか、そういう話もあると思います。

八木：やっぱり測定に来る人にとってみれば、使いやすいビームラインが一番いいんですよね。

森本：使いやすいってというのは結局人の手をわずらわせない、非常にステイブルである、例えば試料さえ持って来ればあとは朝まで寝てればデータが採れると、それはもちろんいいことです。僕自身は小さい結晶…小さいというのかな、そのコヒーレントな光が出るのであれば、それを使った結晶解析ができればハッピー、と思ってます。

八木：割合からいうと、とにかく行ってサンプルをセットすれば、寝ていても測れるってものを欲しがってる人と、それ以外のことをやりたがってる人の比率はどれくら

いなんですか。

森本：構造、三次元構造をほしいと思ってる人達全部に対する割合と考えた方がいいですか？ 二割くらいですかね。

渡辺：そんなにないでしょう。

中迫：ゼロでしょう。誰かが放射光を使いに行くって言うので、放射光ってすごいんですかって聞くと、すごい強度が強いんですよ。コヒーレントレングスの話が抜けてる、そういう現実ですよ。ラウエ関数を立たせるためのコヒーレントレングス。第2世代に比べて第3世代のアンジュレーターが長くなってると、そういう認識はね、ほとんど無いような気がする。

山本：何をやるかなんですが、そんなに単刀直入に放射光のコヒーレンシーだけを使おうとしてもレーザーのように簡単には利用できない。当然、放射光のコヒーレンシーは、レーザーと同じレベルまで行ってないんですから。

佐藤：今のお話だと、コヒーレント長を全く考えなかったら、強度が強いというだけなんです。平行性が良いとか、コヒーレント長が長くなっているという SPring-8 の光の性質が前面に出てこないで、強度が非常に強いことだけが前面に出ている。

箱嶋：そういう言い方するから、みんな誤解をする。それはすごい事なんだから。僕やうちの学生が試しにやったらものすごいマイクロクリスタルでディフラクションする。あれはびっくりした。質的に変わるよ、構造生物。

森本：X 線光学みたいなことを生物に限らずっていう話もあるでしょ。物理を主体にやってる人は確かにそれでいてます。だけどやっぱり、そこにタンパクの結晶学が理解できた人間がいないと、その光だからこそ、今箱嶋さんが言われたけど、すごい小さい結晶、今まで採れなかったんだけど、採れるようになる理屈が理解できるわけですよ。ただ単に強いだけじゃない、そこはみんな分かっているんだけど繋がらない。そこを埋めない事には、今後何をすべきかっていうフィールドは育たない。せっかくいい機械でも使いこなしてない。

山本：使うという点だけから見れば、放射光で出ている光でデータを採って構造を出せば、放射光を使いこなしているという定義は満たしていると思いますが？ 皆さんおっしゃっている、どういうふうにユーザーを分けるということは、ファシリティーとして今後をどう考えていくかという議論だと思うのですが。

中迫：50ミクロン結晶でディフラクションが出なくて、あそこに持っていったら出たと、じゃそれなんなのかっていうことですよ。強度が強いし、10ミクロンのコヒーレント長があったら10ミクロンの中でラウエ関数が立つ訳です。でそれがディフラクションとして写って、そういうことが理解できれば、あそこのビームラインだったらこんな小さい結晶でもできるという理解に繋がると思う。それでそういうことが分かると、こんな小さい結晶でも採れる

という使い方ができて、施設もハッピー。

森本：先ほどの割合で言うとね、その8割は、いわゆる一般ユーザーだと思う。残り2割は多分結晶学ができる、生物も少し分かる人がいると、思ってたんだけど、その2割の人はそういうところをもっとやるべきなんじゃないかなと思う。2割の人間が8割の人間をサジェストできるようになれば、こういうタンパクが採れるんだっていうことが言えて、それが大事なんじゃないかって思うんです。

八木：ユーザーさんには勉強して欲しいというのは施設の側はもちろん言いますが、まあ勉強しなくても、いい論文書いてもらうのも大事ですよ。ところでPFではスタッフに、そういう技術的な話を考えるよりも、エンドユーザーになれという圧力があるんですか？ ぼんとつける人になれという圧力。

渡辺：技術開発の余地が無いというよりも、一通り整備は終わったと思ってんじゃないかな。整備終わったんだから、ルーチンにユーザーサポートしているっていうのも大事な仕事だけでも、そろそろ構造出さない、と言う感じじゃないですかね。

八木：例えば技術開発の余地があるとしてですね、生物の人っていうのは8割がぼんと置くだけだとするとその人たちは開発はしない訳ですよ。で、新しい装置っていうのは結局誰が作るのかという問題があって、結晶解析はまだよくて、というのは、インストゥルメンテーションのできる結晶学者という人たちがまだ結構いて、その人たちが改良する余地があるんだけど、全然今まで使われてないような方法でX線を使う、放射光を使う話になると、もう開発する人がいない。？

渡辺：開発の要求を出すためにはね、何かやってかなきゃいけないと思うんです。装置開発だけが仕事になったり、それでアイデアが出てきたりってことはまず無いんで。これやるために装置に手を入れなきゃっていうのはもちろんある。さっきの話で、全部小さい結晶だからコヒーレント長をうまく使おう、なんて言うのはそういうサンプルをターゲットにして、そこで切羽詰まるかどうかでしょ。

宮野：それともう一つ、ソフトウェアも含めてインストゥルメンテーションやっても実質的に日本の中での評価っていうのは残念ながら極めて低いんじゃない。極めて低いという、すぐ首をかしげる方いらっしゃいますけど、ゼネラルに言ってやっぱり残念ながらあまり評価されない。

八木：柳田さんが研究室で装置を作ってやったというようなことを、レーザーを使わないで放射光を使ってやるという事はあり得る訳ですよ。だけど、実際に放射光の施設では生物の人が生物の研究のモチベーションで装置を作って実験をするっていうのは、ほとんど見た事ないですね。あるとしたら筋肉ぐらい。だから他の生物のユーザーっていうのは、結局そういう人たちが新しい技術を開発するまでは、何もできない、ただ待ってるだけの人たちなんですよ。その状況がいつまで続くのかなというのがちょっと心

配なんです。そういうのは、新しい放射光ができた時に誰かがやらないと、誰もやらなきゃそのまま終わってしまう。

山本：私のケースなんかだと、幸いにもトリクロメーターという新しい分光器をやらしてもらってことになって、作ってる最中は当然作ってるから結果は出ない、そうすると金がかかりそうだから大変だ、そういう変なものをやるんだったら普通のもの2本作った方がみんなのためだと言われたこともありましたが、いつの日にか結果を出せとすごい圧力に変わって、なにはともあれ構造を解こうという事で構造解析をはじめた。MADと名乗ったからには金属タンパクを探して手当たり次第にやる、ある程度数をこなせた、そうするとすごいことやってますね、という評価を受ける。でも寄せ集めのサンプルだから、サンプルの話は当然語れないわけです。すごい装置をつくったからこういうのができますよっていうと、おおそれはすごいものを作られましたね、っていう話になるわけです。だから、日本では物を作るからには作った人が結果を実証して見せるとこまでやっていかないと、評価は受けられないですね。

渡辺：PFでは、ビームラインを棲み分けしてないでしょ。だから作り方の基本は、技術的にひねるんじゃなくて、壊れないとか、誰が使っても壊れない様にするにはどうするか、そういう議論になる。だからインストゥルメンテーション一所懸命やってるかって言われると、怪しいかもしれない。自分しか触れない装置ってわくわく感っていうのあるでしょ、そういうの無いんですよ。これは僕がやれば最高性能だせるという作り方をしないから。

宮野：ビームタイムっていうのは、例えばアメリカなんかで、作った人の優先権、ファシリティを持ってる優先権っていうのは非常に大きいですよ。例えばオペレーションタイムの半分から最低でも3分の1ぐらいは自在に使える。そういう中でそのビームラインを極限まで使った研究を自分たちだけでできなけりゃ、やっぱりコラボレーションですよ。そういうことが自分の意志でできる体制は私あるような気がするんですね。ところが日本では残念ながらやっぱりインストゥルメンテーションをやられてる方のほんとの思い入れまで含めて、吸収できるほど余裕がないんじゃないかな。

佐藤：その意味からも先ほどいったようにビームラインを二本立てに分けて、一方はコンスタントにいろんなユーザーがルーチンデータコレクションできるビームラインにし、もうひとつは非常にアドバンス的な研究を目指したビームラインにするという形式が必要だと思います。

森本：実験室で、例えばビームをちょこちょこ触ってみて、あるいはミラーを入れてみて、強くした、カウンターをちょっと改良して良くした、そのレベルだとみんなやれるんです、クーリングシステムにしても何にしても、自分の範疇でできることなら。ただ、ビッグサイエンス、っ

という大きい施設になった時に、自分一人では当然運転はできないわけで、ほかの人たちの寄与があって、そのなかである時間だけに限って自分がちょこちょこできるっていうところですね。自分の研究室で、ビーム触って、学生が先生出ませんでしたっていうレベルとちょっと違う。

柳田：そういうことを、誰が責任を持ってやってるんですか、お役所仕事だったりすると、誰が責任者か分からなくて…今の話だと、何か上のほうに、そういうことしちゃいけないって人がいて、大がかりな実験をすると、それは軌道を外しているから止めなさいって言う人はいるんですか？意外に誰も文句言う人はいなかったりする。

八木：そうなんです。ユーザーは施設の事情は良く分からないから、ここ触っていいですよって言った部分以外には、恐がって触らない。触っていいですよって言わない限りは誰も変えないでしょう。それは単なるコミュニケーションの不足って言うか知識の不足なんです。ただなんとなく恐れているだけという。

柳田：そう。だから森本さんがおっしゃったように、そういうビッグサイエンスでも、それぐらいのことやらないと勝てないんだったらやったらいい。誰も文句言う人、実はいないかもしれない。…それで、強引な事をした時に、誰も文句言わなければ、やらなかったことが、さぼってることになるという答になっちゃうんですかね？

八木：あと一つね、施設者側から見るとユーザーってものすごくコンサバティブなんです。どこか一ヶ所でも変えてくれちゃ困る、っていうのはある。ソフトが変ったら使えないから困る、そればかりなんです。だからどうしてもルーチン化して、来たらすぐ使えるようにして、余計なところは触らないでくれっていうふうになるんですよ。

森本：試料をセットするだけの人は多分、その通りだと思っただけで、変えてもらっちゃ困ると。前回、半年前に来た状態と同じことができないとだめ。まあ毎日採ってれば体で覚えますけど、大概半年に一度とか。

八木：そうなんです、半年に1回だと、覚えられない。

森本：半年に1回ですから忘れるんです。うろ覚えのノートなんか見て、ああそうだ、コマンドがあるんだっていうのを思い出してやるでしょう。その時に試料をセットするだけのユーザーは確かに変えてもらったら困る。

渡辺：もっと面白いのはね、前回このサンプル持ってきた時は写ったが、今回は写らないのは何かX線がおかしいんじゃないかって僕は言われた事がある。

森本：そういうユーザーともうひとつは、触りたいというユーザーとどっちの要求が、バランスがあるかじゃないかなと思うんです。結晶解析っていうのはスパンがすごく短いっていう特殊性もあると思うんですよ。他のユーザーは3日間ぐらいとってるじゃないですか。

渡辺：ラウエのマシンタイム、希望調査するわけですよ。すると、レーザー使います、クライオ使います、サンプル

の結晶の吸収スペクトル測る分光器使います、マシンタイム24時間下さい。24時間でできるわけないのに何考えてるんだこいつは、っていうね。自分でセットアップして実験しようという感覚はない。後はスタッフがなんとかする、と思ってる。だからさっきの棲み分けは必要。要するに、ルーチンで採るビームライン作って、エンジニアとかテクニシャンがいてサポートできりゃ別にそれはそれでいいんです。

山口：そうなるってね、さっきの一番最初の話の、タンパクのビームライン何本って話に絡んでくる。

山本：放射光ビームラインでないといけないんですか？変な言い方だけど、1本ビームラインつくる金で、放射光施設がX線発生機10台買っていいわけですよ。ファシリティとして規模が大きいんだから、X線発生機をオフラインとして施設が持っておいても悪くない。

森本：それだったら、X線発生機が出る光と、放射光の出る光が、桁は違っても同じだという関係じゃないですか。

山本：1本当たり安く10本作るよりは、ほんとに特質生かせるようなビームラインを含めて、極端な話、5本なり4本作った、それで残り1本分のお金で発生機を5台買いました、10台買いました、ということが出来るわけです。ビームライン1本よりは効率はいいんじゃないかなと思うんですけど、どうなんでしょうね。

森本：よく分かりますけど、例えば波長の選択性とか考えた場合、当然SRじゃなきゃだめだっていうのもあるでしょう。Spring8にインハウスの発生機でやれる実験がある、でもインハウスのビームラインもあるとして、それなら僕はやっぱりSRの方法をとった方がいいと思う。それは、それをやることによって、新しい、今までX線発生機使って何十年もX線結晶解析をやってきた連中が、SRを湯水のように使ったら、また新しいことができると思う。結晶解析といえばX線発生機じゃなくてSRなんだというぐらい、世代がかわっちゃえば、それはまたすごく発達、発展するんだと思うんです。だからお金だけの問題でX線発生機でのチェックをやっけなさい、それはもちろん大事なことだけど、同じできるんだしたら、僕はビームラインを作った方がいい。

宮野：それに対してはちょっと反対です。今クライオのシステムができましたよね。凍らしとけばインハウスでチェックして、それで更に放射光に持って行ってちゃんとデータ採れるわけです。スクリーニングしてもやっぱりだめな結晶はもちろんあるわけですから、それは致し方ないとして考えなきゃいけないと思うんですが。やはり今は先程から話がでてる、棲み分けを3段階、アドバンス、ルーチン、発生機ぐらいに考えた方がいいと思う。

森本：宮野さんの話はよく分かるんだけど、もともと無いところをね、我慢して使うとそういう話ができるんで、もうちょっといい夢を見るんだしたら、バーンと大きく考えた

い。最初にこれでやりなさい、という器を決めちゃうと、そこまでしかできないんじゃないですか。

中迫：今、SPRING8だと生物のビームラインがそこその数できて、もう生物のビームラインが要らないんじゃないかっていうような話を聞いたことがあるんです。そういう意味ではこの座談会は大事なんじゃないか(笑)。

八木：やっぱりそれは、アドバンスなビームラインを誰かが提案しなきゃいけないんですよ。ルーチンサーチのビームラインをもっと欲しいというんだったら、自分でお金持ってきて作りなさいって話になるから。

山本：棲み分けをはっきりしろっていうのはあると思うんですね。それで今41番しかないのでも何とも言えないけど、そこですごい課題数を割り算して分配するわけです。現状は高速な検出器があるわけではないので、24時間もあって何枚イメージ採れるか、無条件に決まるわけです。もしIP、RAXISを使う気であれば。そういったときに全データ採れるだけの時間がどれだけの人にあるか。

中迫：うちだと24時間じゃワンデータも採れませんよ。

山本：採れないですよ絶対。だからそういうユーザーに対して、それだけ与えて結果が出ないって文句というのは間違い。でも結局、課題の数で勝負になると、数の内何個リザルトが出てますよ、っていう議論で、結局分野が全く違う分野と競争になると、数でしか説得できない部分もある。ノーベル賞なら別かもしれないけど、それでまだもう1本足りないから必要だと言ったときに説得できるか。

山口：時間が少ないからデータが揃わない。だから結果が出せない。時間が少ない原因はまず課題が多すぎる。ビームラインも少ない。だからその課題数に対して結果が少ない、で、悪循環が始まってるわけですね。それはPFにおいてもSPRING8においても同じ。

中迫：施設の運営方針とかと関わる話ですね。例えばカルロルビアがね、暴れまくって金とってそれでちゃんと成果でて、ノーベル賞をとったわけだけど、施設としてもそういう選択をしなさいっていうふうには僕は聞こえる。

八木：限られたビームタイムっていうのはあるわけですよ、そこに課題が来ると、アウトプットが最大になるような分配の法則ってきっとありますよね。施設としてはそれを目指してるんですよ、だけど具体的にどうやっていいかわからない。

山口：本質的にあるのはビームラインの不足であって、例えば変わった実験をしたい、といって24時間だったら、その次のユーザーのこともあるし、その間にセットアップ終わらないといけない。前もって来てセットアップしても、ハッチの中に持ち込んでセットアップしてもすごい時間がかかる。そういうところでちょっと変わった実験したかったら、いくら研究室レベルで一般の発生機使って予備実験してきても、上手いかわからない可能性だってある。自分たちが昔4軸なんかでやってたことを考えるとね、ひとつのちゃんとしたデータ集めようと思ったら、採ってみて

このデータだめだったから捨てよう、とかそういう取捨選択もいるし、無駄な時間がでてくる。そういうところまで考えて、実験が組めるだけの時間って欲しい。かといって1週間もらったとして、ほんとにその1週間が効率よく使えるかっていったら、生もの扱ってますから、せっかくもらったけどやっぱり今回だめだったというのも出てくる。そうなるとすごく他のユーザーに申し訳ないっていう罪悪感がでて、そういうところをなんか抜け道はないかなあ。渡辺：そういうことを言うために、ルーチンのビームラインが足りないからもっと作れって言えばいい。ビームラインを1個確保したいと言えばね。その意味では僕も、PFで配分方法を変えたときに時間とか言い合ったんですけど、課題申請の点数高いつてのはね、生理学的にホットなら高くつくのね。でもどう見ても分子もあんまり大きくない、格子定数大きくないし。それでマシンタイムを比例して割り振られて話があったときに、タンパクがホットなのとマシンタイムの長短とはあんまり関係ないよっていう話はしたことがある。

箱嶋：そこがリンクするような評価のやり方を決めればいいわけですよ。実質的には。課題がたくさんありすぎて、ビームライン一本ではとてもとても消化できない。

八木：それをどう見るか、なんですよ。実際に、課題は全部大事なのか、ほんとにここでやんなきゃいけないのかっていう問題もある。厳しくして数を減らして、一つずつの時間をちゃんと増やして、きちんととれるだけにしろという議論もあるんですよ。ただそれが、サイエンティフィックに重要なものだからたくさんあげましょうっていうんならわかりやすいけど、明らかに解けるから、あるいはもうここまで来てるから、とか、そういうのも、採択の基準なんですよ。

山口：やっぱり、将来はビームラインを増やして棲み分けができるようにして、お試しラインっていうのは絶対要りますね。だめだったら、ルーチンラインのほんの1割をお試しに、ワンショット当ててみて、ディフラクションがきれいに出たら申請書き直しなさいと、そういうような。1回当ててみてもいいよっていう時間が、もらえるかももらえないかで違う。

箱嶋：そういう需要と供給の関係があって、レビューのシステムをきちんと作らざるを得ない。それでどれぐらいヒットするか、それはそのシステムが進化していけばいい。評価できないんじゃないかと、評価するシステムを作っていく。雑誌のレビューなんてすごく進化してきた方法なんですよね。だいたい、これが価値があるかないかっていうの、すごく時間かかるでしょう。でも現実には、スペシャリストを何人か集めて、意見聞くと、100%でないけども、何も無いよりはきちっとした評価がでるってのは一つのコンセンサスでしょう。それをせざるを得ないんじゃないかな。

宮野：この議論の堂々めぐりは、やっぱりビームタイムが

実質的に足りないということ、もう一つは、先ほど出た自己規制ですね。その辺を少し発想の転換をしていく方法を考えないと。例えば本当に○○○の構造を解くのに、1年間に24時間もらって解けるのかっていうと、絶対解けるわけないわけですからね。

山口：放射光として有効利用しようとする、例えばマシンタイムをもらっているけどもキャンセルも十分できるし、キャンセルのところに次のマシンタイムに予定したものをとるとか、そういうフレキシブルな運用っていうのは必要になってくる。少ない時間をお互いに融通する、という意識が出てこないとだめですね。

箱嶋：特に最近感じているのは、PFとかSPring8でしか採れない、と言うのはまず格子、格子の大きさね、それから位置分解能、それはもうどうしようもないですね。X線損傷の激しい弱い結晶でも今は、クライオで死ななくする方法がありますから、実験室で露光時間さえ長くすれば結構採れる。だから格子が長いというのはもう決定的な理由だと思う。あと、結晶が小さく、結晶のディフラクションが弱いサンプル。もちろん最後の決めの一番いいデータはやっぱり放射光で欲しくなります。まあ、みんながそういうふうになればもう少し自己規制できる。

4. 終章 ～未来に向けて～

八木：あともう一つの話で、放射光利用では生命科学として構造生物だけなのかっていう問題があります。それ以外の分野は一体どうしたらいいんでしょう。

箱嶋：それは生物学者に聞いたら？ これ放射光なんかに使えない？ とか。

山口：構造生物では結晶、小角散乱、イメージングでしょうけど。ところでイメージングって、構造生物でしょうか。

山本：やっぱり発生機でできないものの一つだと思う。多分一番痛感されてるのが八木さんだと思うけど、ある意味ではエミッタンスが一番使ってるんだと思うんですね、小角が。

中迫：結晶は割りとルーチンになってるけど、小角は1次元のデータですよ、筋肉は配向してて2次元、パープルメンブレンも1次元ですか、そうすると1次元とか2次元のデータからどうにかして解析しようとする考えはあります。要するにフーリエ変換をいじくり回すっていうことをやるわけです、コントラスト変調もそうです。その意味ではむしろ小角散乱のほうが、頭を使ったなっていう気はしています。工夫はした。

八木：小角は結晶学知らないとできないですよ。結晶解析は結晶学者がいなくても今やできてしまう。小角散乱はそうはいかない。もう一つ、ルーチンあるいはスタティックな結晶解析じゃない構造解析だってありますね。その部分はどうでしょう。タンパクより少し大きなところで細胞ですよ。細胞を相手にするような方法ってのは、ほとん

どないでしょう。だけどやっぱりそれは避けて通れないというか、多分大事な課題になるんだと思う。現実問題として、X線顕微鏡を放射光施設で置いてるところが何カ所かあるんですが、そこから何ができてきたかっていうのはあまり見えない。SPring8でやるような顕微鏡はまだ何もできてない。X線顕微鏡を作るのは、当然生物学者じゃないですね。誰なんだろう。

津田：X線顕微鏡の期待は大きい、現時点では光学顕微鏡が色々なテクニックを使って、それを越えたものが実用になっていて。

八木：光学顕微鏡は研究室で特定のゴールを目的として作る、ということはありませんが、放射光施設でX線顕微鏡をゴールから始めて作れる人いない。

山本：そういう意味では、勝手な解釈だとエンジニア、テクニシャンがいない。全てサイエンティストですよ。本人は完全にエンジニアとしてやりたいんだけど、そういう分野で暮らすからサイエンティストになってしまう、そうすると成果がないからあなたは働いてない、そういう評価を受けてしまう、という可能性もあると思う。やらないといけないうのは間違いないと思うんですけど、ほんとうに見なければ、結晶構造解析にしても小角散乱にしても、一番直感的なのはやはり、フェイズまで直接測って、映像として訴えかけるものが、理解しやすい。

森本：放射光を使う人間に生物関係で面白いこと提案したり、生物学者の方からこういうことをしたいんだけどそんな光があるだろうかとか聞いたりする場があれば結構飛びついてくる人はいると思う。

八木：技術と応用を結びつけるには、やっぱりそういう宣伝は必要ですね。

山本：生物であるとか物質科学だとか物理であるとかいろんな分野の人が全部一緒なのが放射光分野の一番良いところだと思う。ほんとうにいろんな事やってる人が一緒にいて、放射光ってものでごっちゃまぜに。そうするとよその人が物理の方で考えたアイデアが物質科学の方向で熟成して、いろんな物が見えるんだけど生物を見ようよと、そういう話にどンドンなると思う。そういう意味では放射光学会のような、何でもありというような、そんな学会はあまりない。生物としては、そういう一番おいしいところを有効に取り入れることを考えることが重要だろうと思います。

津田：八木さんたちが今いろいろとやっておられる辺りからひとつ具体的に出てきたら良いと思う。3年程前に、生物物理学会誌で「SPring-8と生物物理」という特集を組んだ。その時編集に関わっていて、第3世代で初めて出来ることを書いて貰いたいと思ったが、必ずしも期待に沿ったものにならなかった。しかしSPring-8が実際に動いて見れば、そのとき予想もできなかった部分が出て来るんだと思う。単に第2世代の延長線にあると思っているタンパクの結晶構造解析でも、解析される結晶の数が一桁増

えたとか、小さい結晶でも解けるようになっただけでもそれは十分成果だと思うんです。第3世代だからと言って気負う必要は無いけど、ユーザーとビームライン担当者側ぶつかり合い、十分議論することにより、新しいサイエンスを作ろうという努力をする必要があると思う。その様なことによって結果として第3世代ならではの研究業績が出ることを期待したい。

黒子：予定時間をすでにかなりオーバー。会場の関係もあ

り、このあたりでお開きとする。この後廊下、建物外などで延々続く。

かなり本音が出て収集がつかない部分もありましたが、とても参考になる座談会だったと思います。このような議論を自由に、そして大いに語り合う場をたくさん設けることが、放射光生命科学を開く王道であると思います。本日は本当にありがとうございました。