

科学の  
峰々

89

取材日：2016年11月9日  
東京科学機器協会会議室特定国立研究開発法人 理化学研究所 播磨事業所 事業所長  
放射光科学総合研究センター センター長

石川 哲也 先生に聞く

世界最高峰のX線施設  
「S<sup>スプリング</sup>Pring-8」と「S<sup>エイト</sup>ACL<sup>さくら</sup>A」が開く  
サイエンスの革新 下聞き手：佐藤 文俊 日本科学機器協会 広報副委員長  
藏満 邦弘 同 専務理事  
岡田 康弘 同 事務局長  
(取材・撮影・編集協力：クリエイティブ・レイ(株) 安井久雄)

## 石川 哲也 先生のプロフィール

## 〈経歴〉

1982年 東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻修了(工学博士)  
 1983年 高エネルギー 物理学研究所 助手  
 1989年 東京大学工学部物理工学科 助教授  
 1994年 東京大学工学部附属総合試験所 助教授  
 1995年 理化学研究所 マイクロ波物理研究室 主任研究員  
 1997年 理化学研究所 X線干渉光学研究室 主任研究員  
 2005年 理化学研究所 放射光科学総合研究センター 副センター長  
 X線自由電子レーザー計画合同推進本部プロジェクトリーダー  
 2006年 理化学研究所 放射光科学総合研究センター センター長  
 2010年 播磨研究所 所長 兼務  
 2013年 理化学研究所組織改変により  
 播磨研究所長 兼務が解かれ  
 播磨事業所長 兼務 現在に至る

## 〈賞〉

2012年 「大型放射光X線光学系の開発」の業績により  
 紫綬褒章を受章



**世界一の施設が果たしてきた日本の産業界への貢献**

— 1997年に運用を開始した「SPring-8（スプリング-エイト）」、2012年に運用を開始した「SACLA（さくら）」、共に世界最高峰のX線放射光施設として「これまで見えなかったナノの世界」を観察・解析できることを伺いましたが、特に「さくら」から生まれた成果を教えてくださいませんか。

石川 一例をあげますと、大手メーカーが金属を強化するための解析などで大いに活用いただきました。金属の強化にはレーザー光を照射するのですが、その過程でどういう現象が起きているのかを、「さくら」での分析によって動いている世界の一瞬をナノレベルで切り取って、事細かく解明できました。それにより、今後さらに強い金属を作るにはどういう風にレーザーを照射したらよいか分かり、製品の品質向上や製造工程の効率化に役立てていただきました。さらに、今までになかったような強度を持つ金属を作るにはどうすればいいかという将来の開発にもつながっていくわけです。

このように広く産業界で分析ツールとして使っていただいているわけですが、もうひとつ大きなビジョンから、産業界の経営者の方々に戦略の道具としても利用していただきたいと考えています。そして、世

界最先端の研究者が集うこの場所でも実験ができることは、企業にとってもメリットがあると思っています。

— 日本が培ってきた多くの技術の粋を集めることによって完成した国家基幹技術「さくら」は、ほぼ100%国産で建設されたそうですね。

石川 “ほぼ”とことわりをつけなければいけないのが残念ですが、先端基盤施設の中では国産化率がぬきんで高い98%で、検出器のCCDチップのみイギリス製でした。

前号でお話しましたが、「さくら」は諸外国で数キロメートルの規模で計画されていたX線関連の施設を長さ700mで実現したもので、「さくら」以後のX線放射光施設はコンパクト化することが世界の常識となりました。このコンパクト化と技術の高度化を両立できたのは、日本の広範な産業技術の賜物にほかなりません。システムも我が国独自のもので、当時の水準では未踏の様々な技術を、メーカーの皆様との協力のもとで一つ一つ解決することができました。

「スプリング8」でも日本の多くの企業にご協力をいただいたわけですが、「さくら」の建設においてはおよそ800社もの企業の皆様にご協力をいただきました。その中には「日本科学機器協会」の会員企業様も多数含まれています。この2つの施設は日本のものづくりの力の結晶と言えるものです。

**二番手では見えない、一番だけが見える世界がある**

— こうした“世界一”の施設が日本にある意義をどう感じられていますか。

石川 一番でないで見えない世界があります。二番手は一番の背中を見ているだけですが、一番前に出ると見えてくる世界があるわけです。その見えてくる世界をどんどん広げていくことによってまた新しい世界がやってきます。放射光分野はまだ日本がトップ集団にいますが、進歩を怠るとすぐに遅れてしまいますし、このような基盤をしっかり守ることによって先端的研究を花開かせ、日本の技術力のレベルアップを図っていく事が「さくら」に課せられた使命ではないかと考えています。言わば日本の技術の「縁の下の力持ち」です。

— 多くの企業がナノレベルの物質解析に活用し、その結果生まれた製品が、私たちの身近なところで活かされているのですね。さて、運用開始から間もなく20年を迎える「スプリング8」ですが、さらにグレードアップすることが計画されているそうですね。

石川 さらに強力なX線を出せるようにするため、今後4～5年をかけてのビジョンがあります。「スプリング8」は直径約500mの円形加速器ですが、これは例えると蛍光

灯の束のようなものなのですが、そうしたX線を出すランプをもっと明るく、もっとエネルギーの使用を抑えられるものに入れ替えようというわけです。言うなれば、古い蛍光灯をLEDに取り替えるようなイメージです。そうすると今の「スプリング8」の100～1000倍もの強い光ができ、メーカーの方が分析に利用した場合、同じ時間で分析できるサンプル量は圧倒的に増え、効率が格段にあがります。

—そして、「世界一」短い波長0.06nmのX線を記録した「さくら」も、グレードアップされるのでしょうか。

石川 「さくら」が最初のX線自由電子レーザーを発振したのが2011年（平成23年）6月で、その3年後の2014年には2本目のレーザー発振にも成功して、今は共用運転をスタートしています。今後も産官学の利用者の皆様方と協力して、さらに有効に活用してもらえる施設にしていくことを計画しています。

### 新しい施設は「新しいサイエンス」を産むためのもの

—2016年9月「SOR-RING」施設が「分析機器・科学機器遺産」認定を受けましたが、日本の放射光を利用した研究施設は、どのような歩みをたどって来たのでしょうか。

石川 日本の放射光研究は1960年代に東京の田無市(現・西東京市)にあった東京大学原子核研究所の電子シンクロトンからの放射光を寄生的に利用したのが始まりです。

その後「SOR-RING」という施設が世界で最初の放射光専用蓄積リングとして原子核研究所に建設され、先導的な成果を産みだしました。この「SOR-RING」は、昨年9月、我が国の生活や経済の発展に大きく貢献した分析機器や科学機器に与えられる「分析機器・科学機器遺産」に認定されました。

そして1980年代前半に、もっとエネルギーが高くて波長の短いX線放射光源として、茨城県のつくば市に建設されたのが「フォトンファクトリ」というものです。私は博士課程を修了した後、このフォトンファクトリの助手として採用されました。フォトンファクトリは間違いなく世界を先導する放射光施設の一つで、数々の成果を残しました。

同じく80年代には、化学分野に重点をおいた放射光施設として愛知県岡崎市に分子研「UVSOR」が建設され、数々の先導的成果が生み出されました。

—日本の放射光研究は着実に実績を重ねて、現在の「スプリング8」と「さくら」に至ったわけですね。

ところで、石川先生は「スプリング8」から、施設の設計にたずさわることになったのでしょうか。

石川 「スプリング8」のビームライン設計の手伝いを始めたのが1993年頃からでした。もちろん私だけでなく、チームで設計をしており、私はそのメンバーの一人でした。

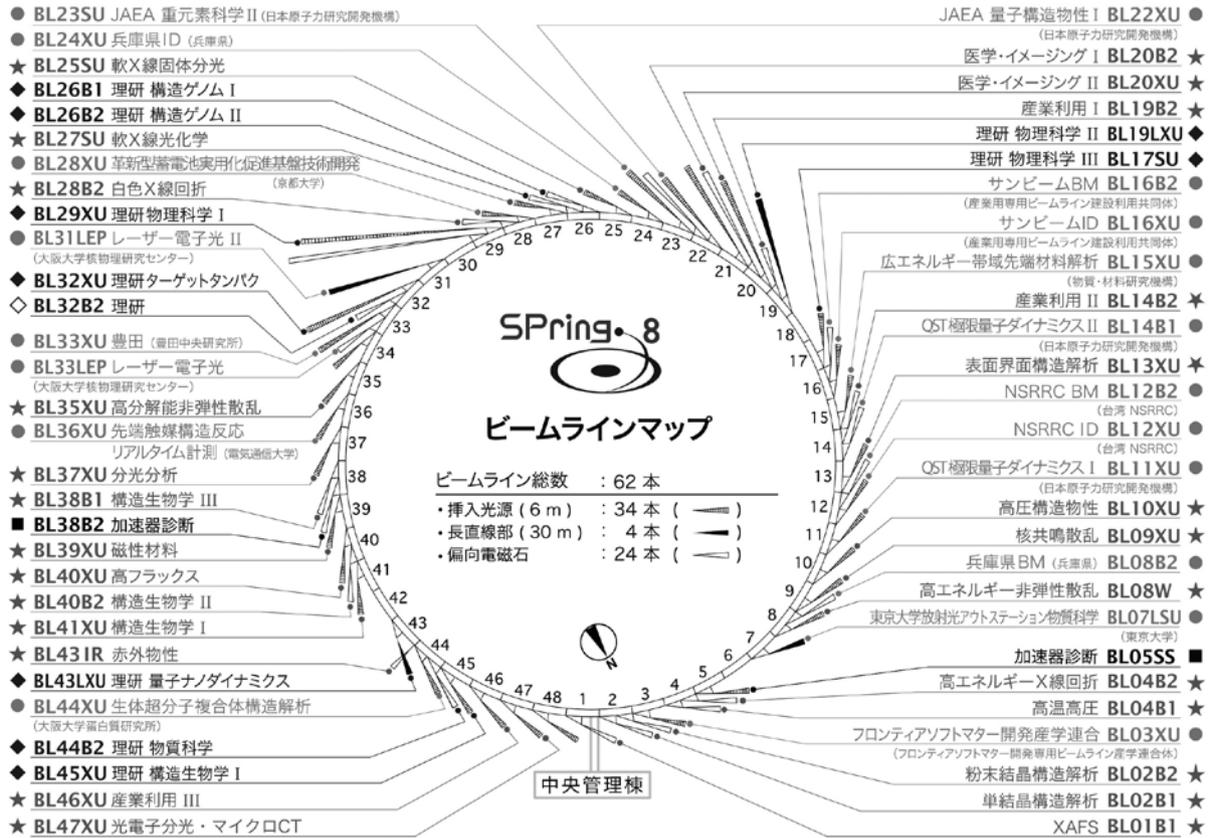
実は「スプリング8」の建設計画時には途中で無理難題とも言えることもありまして…計画の途中で稼働が1年早まったのです。それでも何とかしなければと試行錯誤し奮闘しまして、結果的には予算内におさめて高性能のものが建設でき、大変評価を頂くことが出来ました。そして「さくら」では、全体の基本設計を担うことになりました。

「スプリング8」同様、非常に大規模な施設なので、基本設計を組み立てたうえで、細部はそれぞれ専門領域の研究者が手がけました。こうして新しい光源を作っているわけですが、「新しい計測装置が生まれたら必ず新しいサイエンスが生まれなければならない」と私は思っています。

当施設にはエンジニア、テクニカルをあわせて総勢200人弱のスタッフがいますが、そのうち20人程がトップサイエンティスト、いわゆる研究者です。そのスタッフ全員に、新しい光源、新しい計測装置を作ったその結果として、新しいサイエンスを産むことを常に要請しています。

### 年間2万人以上の見学者誰もが感動する「さくら」

—播磨・放射光科学総合研究センターの概要と取り組みを教えてくださいませんか。



石川 放射光科学総合研究センターは国立研究開発法人 理化学研究所に属する基盤センターの一つであり、「スプリング8」と「さくら」の維持管理高度化に責任を持つとともに、放射光利用に関する研究開発を行っています。

日本が世界に誇る「スプリング8」と「さくら」を利用者の皆様に快適に利用していただくことと、放射光の新しい可能性を開拓し、次世代放射光施設に向けた研究開発を進めることをミッションとしています。

特に今後数十年を考えたとき、我が国の研究環境の変化に対応した自動測定技術の高度化、データ処理技術の高度化などに重

- ★ : 共用ビームライン
- : 専用ビームライン
- ◆ : 理研ビームライン
- : 加速器診断

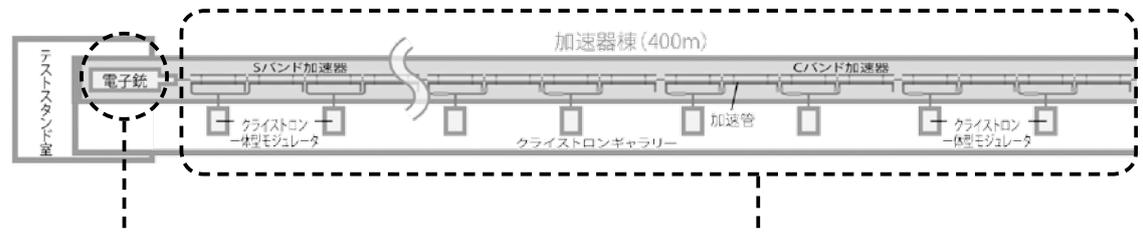
☆ ○ ◇ □ : 計画・調整・建設中



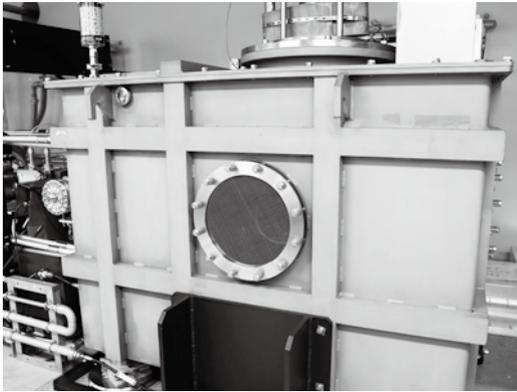
SPRING-8 実験ホール内部

## 産学官との連携

## 全長700メートルの「さくら」ビームライン（断面図）



## 高品位な電子ビームを生み出す電子銃



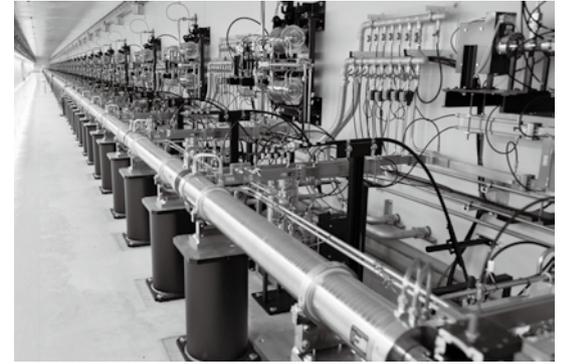
■小さな断面積で拡がらない高品質のビームを発生させるために開発されたセリウムボライト単結晶のカソード（写真右）に高電圧パルスを印可するための高圧回路を収納するオイルタンク。

■カソード電子銃  
グラファイトヒーターの開発により1,450℃の高温で一樣にカソードの加熱が可能に。



## 電子を効率よく加速する400メートルの加速器

■電子銃から発生させた電子を、マイクロ波を使って光速の99.999998%にまで加速。筒状の装置が電子の通り道となる加速管。「さくら」の全長700メートルのうち、約400メートルが電子を加速させる領域に。



点的に取り組んでいきたいと考えております。日本の放射光科学が世界のトップレベルにあることを維持し続けることが重要で、そのための研究開発を地道に進めていくことを考えています。

— この記事を見ている会員企業の方も、施設を見学できるのでしょうか。

石川 はい、15名以上のグループの方を対象に受け付けておりまして、ほぼ毎日見学にいらしています。企業や研究者の方だけでなく、学生の申し込みも多クスーパーサイエンスハイスクールはほとんどが見学に来ます。見学者は年間で2

万人程になり、特に7月から8月は実験を停止する長い期間があるので、その時は「さくら」の400mの長さがある加速器棟の中を歩くことができます。やはりどなたが見ても感動されますね。施設の停止期間は年末やゴールデンウィークも短いながら行っていますので、その時なるべく歩いていただいで施設の規模を体で感じてもらっています。見学時の説明は、実際に働いているスタッフが持ち回りで行ってまして、研究者と話したいという希望などにも応じるようにしています。会員企業様も是非いらしていただき、少しでも身近に感じて欲しいと思います。

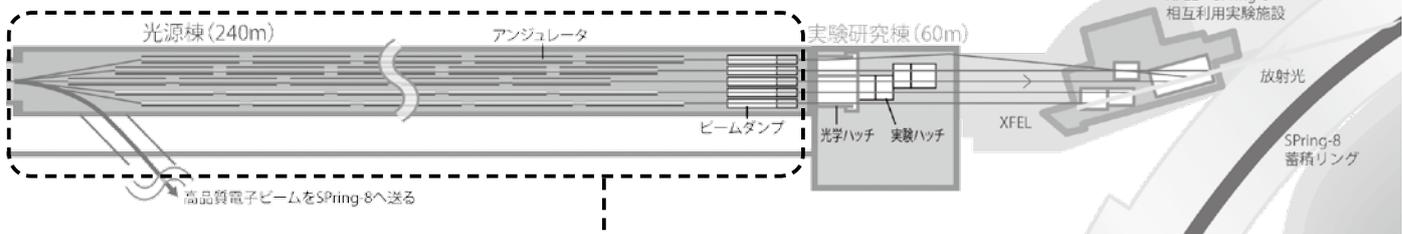
また、台湾の高校生やアルゼン

チンの商工会議所などの方々のように、海外からも見学にいらしています。また「さくら」の利用にあたっては「トライアル」のような形もありますので、お気軽にお問い合わせいただければと思います。気になる費用面は、「SPring-8」では1時間の利用で8万円弱程度です。

「波はきれいな算数」  
波動現象作用への興味から  
研究の道へ

— ところで、石川先生は中学生や高校生の頃から「X線」や「光」の分野に興味があったのでしょうか。

## 産学官との連携



## X線レーザーを生み出す真空封止アンジュレータ

## ■加速管の断面

加速管は純度の高い銅でできた円板状の構造と電磁波の吸収体を組み合わせたものが何層にも重なっている。電子が手前から奥に向かって加速されながら進む。



■真空封止アンジュレータによって、低い電子ビームエネルギーでもX線レーザーの発生が可能。

一台5メートルもあるアンジュレータを21本も直列につなげることで「アンジュレータビームライン」を構成、「さくら」の全長700メートルのうち、アンジュレータビームラインは240メートルでコンパクトな設計に。

石川 学生の頃から波動現象に興味がありました。高校生の頃は体感できる波動として、海の波や、地球の波といえる地震などに関する本を読んでいました。波というのは算数に置き換えると実に“きれいな”算数なのです。そして大学ではシリコンの単結晶を当初研究していました。シリコンというのは、人類が作りだした最高に“きれいな”物質なのです。このシリコンが放射光を扱うのにいい材料だったのです。例えばX線を扱う実験に使うレンズなど、光学素子を作るにはシリコンの結晶が必要です。こうしたことを経て、放射光やX線の世界を深めることになっていきました。言い換えると、

もともとX線を使ってシリコンを研究していたのが、今度はシリコンを道具として使ってX線を扱うようになったというわけです。

——先生が大学生だった頃と、今の若い世代で、違いを感じることはございますか。

石川 今の若い世代の研究者も、出来る人は出来る、と感じます。そのあたりは昔と同じです。しかし、最近の科学機器については自分が学生の頃に比べて夢のように進歩し、使えるものが多くなり、必要な機器はお金があれば手に入れることができるようになりましたね。ここで重要なことは、それでも手に

入らないもの、特に新しい原理に基づくオリジナルなものをどのように作っていくかというところにあるように思います。

近年、中国の若い研究者と会うことも多いのですが、物事を原理原則から組み立てて考える能力に非常にすぐれているように感じます。これは、以前は日本人が得意だったことで、その結果、様々なオリジナルを作りだしていたわけですね。色々な科学機器が容易に利用できるになると原理を忘れてただ使うということも起こりかねませんので、その点は、我々科学機器の利用者とメーカーなどの供給者が一緒になって考えていくべき課題と捉えています。

——そうした日本国産の科学技術に関して、「SPRING8」「さくら」の関連とは別に、先生が計画していることはございますか。

石川 電子線の分野では、試料を分子レベルの三次元で観察でき



兵庫県佐用町にある理化学研究所・播磨の大型放射光施設X線自由電子レーザー「スプリング8」(右側)と「さくら」(左側)。

る「クライオ電子顕微鏡」というものがあります。試料を液体窒素が凍るくらいの温度に冷却することで電子線の影響を受けずに観察出来るものなのですが、海外製のものに席捲されています。1台につき7億円前後もの金額が日本から海外に流れてしまっているのは非常に残念なことです。実は電子顕微鏡の技術の半分くらいは、加速器の技術と同じようなものです。なので、ぜひ日本発で作りたい。今後、私もこれまでの研究を生かして「クライオ電子顕微鏡の国産化」を実現させたいと思っています。

— 「国産の科学機器、科学施設」を作りあげていくには、日本の様々な企業との連携が大切

なものになると思います。その面で、科学機器業界に身を置くメーカーやディーラーの方に対して、ご要望はございますか。

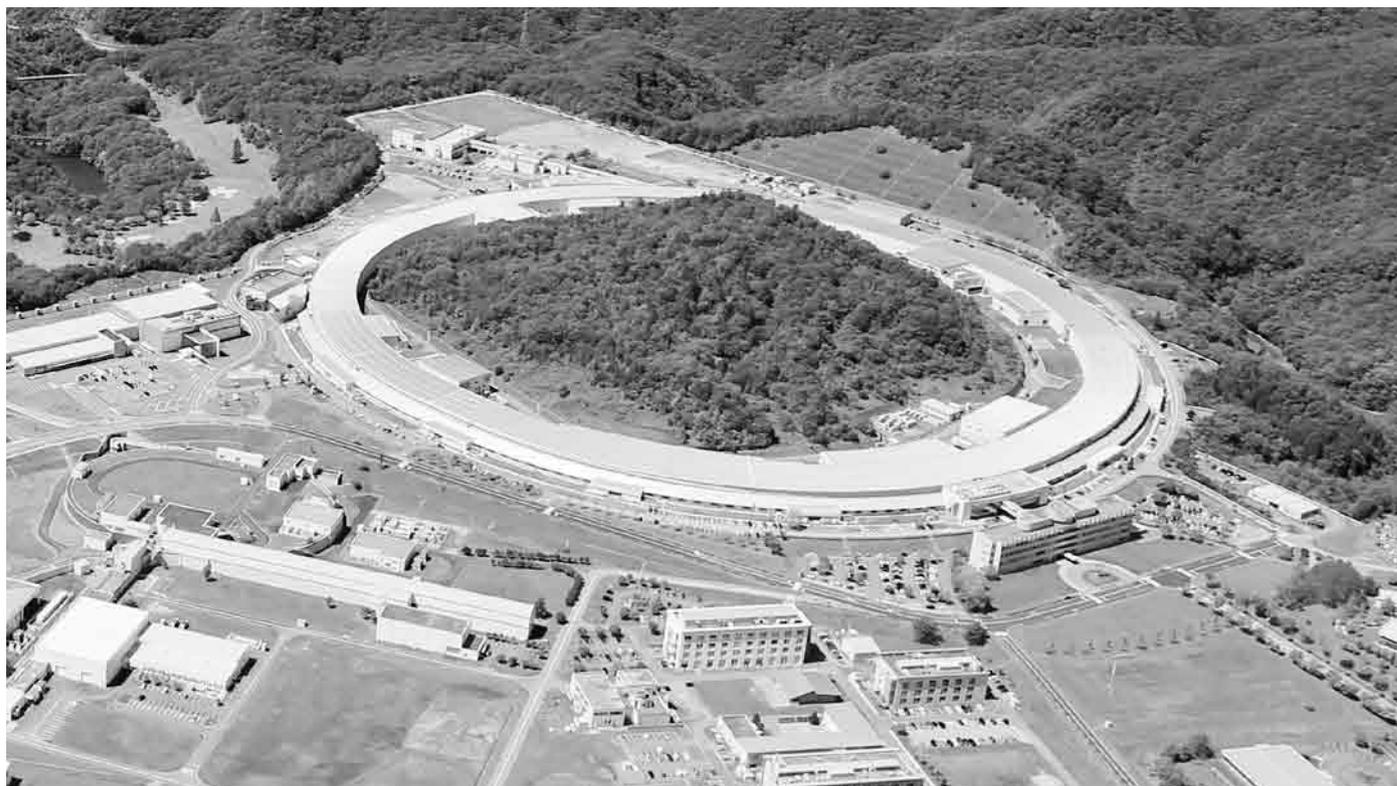
石川 もともと日本の企業は民生品を作る技術において非常に高度なものをお持ちだと思います。それを先進的な研究機器の開発のために改良、改造をお願いしたい場合などスムーズに連携していく方法には、まだ改善の余地があるように感じます。

また、今後少子高齢化が進むと共に科学機器への要請も変わっていくのではないかと想像します。これをひとつのチャンスと捉え、世界のマーケットに打って出られる体質を作っていくのはいかがでしょうか。

### 「さくら」から人類のサステナビリティに貢献する技術を

— 最後に、放射光科学総合研究センターの展望と課題、そして石川先生が考える今後のビジョンをお聞かせください。

石川 センターとしては、わが国を超えて世界の放射光研究の基盤を支えるものであり続けたいと考えています。ただ残念なことに、日本がすべての分野でトップを担って戦い続けることはかなり無理があります。放射光分野はまだ日本がトップ集団に残っていますが、このような基盤をしっかり守ることによって先端的研究も花開くのではないかと



と考えています。特に今後数十年では、わが国の研究環境変化に対応した自動測定技術の高度化、データ処理技術の高度化などを重点的に取り組むべきと考えています。そしてその先、日常の中から出てくるサイエンスの課題はますます大きくなりますので、人類のサステナビリティ（持続可能性）に貢献するサイエンスを進めていく必要があると思っています。

— “人類のサステナビリティに貢献するサイエンス”とは、具体的にどのようなことでしょうか。

**石川** 人類が持続的に生存するためには、現在地球が直面している様々な問題を解決していく必

要があるわけです。「さくら」からそうした問題を解決する道筋を提示していきたいと思っています。

長期的視点で言うと、化石燃料や核燃料に頼らず、水とCO<sub>2</sub>（二酸化炭素）からエネルギー資源を作り出す必要があると思うわけです。燃焼反応は水とCO<sub>2</sub>を出して終わるので、これらを再びエネルギーに戻してあげられると素敵ですよ。これは決して夢物語ではないと思っています。身の回りにある植物は、何十億年も前からこの作用を葉で光合成として行っているのですから。

「さくら」を用いてそのあたりのファンクションを原子スケールでちゃんと解明して、ナノの世界で原子を組み合わせてどう働かせるのかと

いうことを進めていけば、実現は決して夢ではないと思います。

是非、見学にいらしてください。

— 石川先生ありがとうございます。

私たちが想像することもできないような画期的な新技術や新産業の礎が「スプリング8」、「さくら」によって創られていくことを期待しています。

次号「科学の峰々」では、  
東京大学 地震研究所  
高エネルギー素粒子地球物理学研究センター  
田中 宏幸 先生にお話いただきます。