

新時代を拓く加速器の“これから”

出席者

櫻井博儀
中野貴志
齋藤直人
矢橋まさき

氏：理化学研究所仁科加速器科学研究センター長

氏：大阪大学核物理研究センター長

氏：J-PARCセンター長

氏：放射光科学研究センター 利用システム開発研究部門

物理・化学系ビームライン基盤グループ グループディレクター

高田昌樹

氏：東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センター 教授

司会

上養義朋

氏：日本アイソトープ協会 常務理事

【2020年8月19日（水）オンライン開催】

上養 本日はありがとうございます。司会を務めます上養です。

加速器はラジオアイソトープと同様に、基礎科学の研究から医療、産業等様々な面で利用されています。特に大型の加速器施設は、外部の研究者、技術者に開放されていて、大きな成果を上げています。今回、日本を代表する施設を率いておられる先生方にオンラインでお集まりいただき、施設の特徴と特筆すべき成果をご紹介いただき、今後の展望と明るい夢を語っていただこうと座談会を企画しました。

私の自己紹介からさせていただきます。在学中から、東京田無にあった東大原子核研究所で加速器を使った中性子計測と遮蔽という新しい分野の研究に就いていました。放射線管理と研究の二足のわらじを履いて、J-PARCの基となった大型ハドロン計画の安全性の検討に携わっていました。その後理研に移り、重イオン加速器であるRIBF（RIビームファクトリー）の建設と安全管理に従事してきました。

それでは先生方に自己紹介と施設の特徴をご紹介します。加速する粒子の重い順で、最初に理研の仁科センターの櫻井先生。

櫻井 仁科加速器科学研究センター長を拝命しております櫻井と申します。専門分野はRIビームファクトリーで原子核の構造や反応の基礎研究をやっており、最近では高レベル放射性廃棄物の問題を基礎の立場から掘り起こすということもやっています。

RIビームファクトリーは、HからUまで、核子当たり345 MeVまで加速できる施設で、光のスピードで約70%まで加速できます。ビーム強度が非常に強く、重イオン加速器施設の中では世界最高の性能を誇っています。

未知のRIを製造する施設では、例えば中性子過剰な原子核をいっばいつくって原子核の基礎研究を行っています。入射系のビーム強度がとて強いので、核融合反応に適したビームを利用した超重元素の研究を実施しています。あとは1次ビームが重イオンなので、線エネルギー付与（LET）が大きく、エネルギーも高いので、空気中でサンプルに照射しLETの高い事象を見ることができます。その応用としては、突然変異を起こさせて新しい品種をつくる研究開発、宇宙利用の半導体を開発するために半導体のシングルイベント効果を見る研究をあげることができます。基礎研究用のRIを製造してアイソトープ協会を通して頒布することも行っていますし、中野先生がつくったフレームワークを通してRIを研究者に直接お届けしています。

上養 ありがとうございます。それではそのフレームワークをつくられた中野先生。

中野 中野と申します。専門はハドロン物理で、実験はSPRING-8を使わせていただいています。大阪大学核物理研究センター（RCNP）のセンター長をしています。

核物理研究センターの特徴ですが、大学の中にあるので、医学系研究科や工学系の研究室との共同研究、産学連携も盛んに行っています。RI 関係は、短寿命 RI 供給プラットフォームを幹事機関として束ねていて、新しい RI 利用の掘り起こしに微力ながら貢献しています。また、 α 線を放出する核種を用いたがん治療や、宇宙線が半導体の素子に当たってエラーを起こすといった研究も行っています。加速器としての 1 番の特徴はエネルギーの分解能がいいということで、原子核の分野では精密核物理というところで世界をリードしていると考えています。

上養 ありがとうございます。高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構が共同で運用している大強度陽子加速器施設である J-PARC のセンター長の齊藤先生、お願いいたします。

齊藤 齊藤です。私はもともとスピン偏極した陽子の加速及びそれを使った研究をしていたのですが、アメリカのブルックヘブン国立研究所に理研 BNL 研究センターの立ち上げに携わり、実験を行っていました。帰国後、ミューオンという粒子のスピンを使った研究で、精密測定の研究を、いまはセンター長職が 95%、残りの 5% の中でやらせていただいています。

J-PARC は高エネ研と JAEA との共同プロジェクトです。大型ハドロン計画と当時原研のオメガ計画が大強度の陽子ビームの加速を考えていたので、両者をマージして J-PARC になったわけです。現在、物質・生命科学、ハドロン関係の強い相互作用の研究、あと多少遅れて始まった、ニュートリノを使った研究、この 3 つの施設で実験を行っています。

ビームのエネルギーは、物質・生命科学は 3 GeV のプロトンを使って中性子とミューオンをつくっているのですが、パルス当たりの強度は世界一の施設になっています。更に物質・生命科学実験施設で特筆的なのは産業利用です。例として、住友ゴム工業の非常に高機能のタイヤの素材の開発もやっております。最近ではミューオンを使って様々な文化財や美術品、例えば小判の中の金の性質や配合量等についても非破壊で検査できる。あとは中性子においてもスピンを使った研究もしています。

ハドロン実験施設は特に K 中間子を大量に生成できるというところがここの特徴です。素粒子の標準模型で言えば、第 2 世代の粒子をつくって自然界、

物質の形成にかかわる謎を解いているというのがハドロン実験施設です。

ニュートリノ実験施設はニュートリノビームを 300 km 離れた神岡鉱山の中にある検出器に向けて打つわけです。地中を通して神岡に到達し、その間にタイプが変わっていくという振動現象を世界で初めて確立し、かつそれを用いて粒子と反粒子の間の非対称性を調べ始めています。粒子と反粒子の非対称性というのは素粒子物理の重要なテーマです。確立している非対称性はクォークセクターだけですが、その後、初めて別のセクター、つまりニュートリノセクターでも粒子と反粒子の非対称性があるのではないかという確率がかなり高まってきています。

上養 ありがとうございます。それでは電子を加速している理化学研究所の放射光科学研究センター利用システム開発研究部門の矢橋先生、お願いいたします。

矢橋 矢橋です。我々は、兵庫県の播磨で大型放射光施設「SPring-8」、X 線自由電子レーザー施設「SACLA」という 2 つの大きな施設を運用しています。私自身の専門は X 線光学で、1996 年 8 月、当時 SPring-8 の供用開始の 1 年前にここで仕事を始めました。SACLA のビームライン建設にも携わり、現在、SPring-8、SACLA の約 10 本のビームラインの取りまとめをしています。

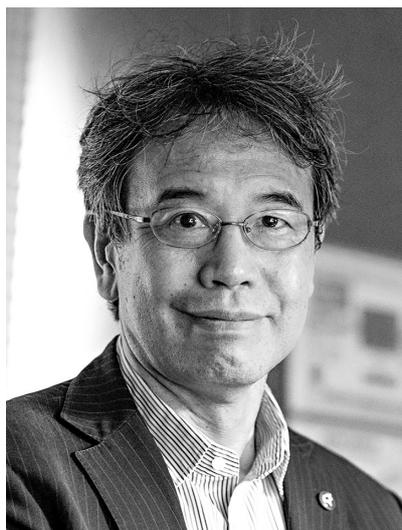
簡単に SPring-8、SACLA のご紹介をします。まず、SPring-8 は「大型放射光施設」と呼ばれていますが、そもそも放射光というのは、光速に近い速い電子を磁石でキュッと曲げたとき、電子の進行方向に放たれる明るい光のことです。SPring-8 では、蓄積リングと呼ばれている全長 1.4 km の円形加速器があって、そこで放射光が生成されます。放射光は、加速器の周囲に設置されたビームラインという装置を通して実験装置まで輸送され、様々なナノレベルの分析に利用されています。

SPring-8 では、ビームラインが全部で 57 本稼働していて、同時に別々の用途に使われています。バイオ、物性、環境科学、触媒、産業利用も含めて実に様々な研究開発に用いられています。SPring-8 は 23 年間稼働していますが、延べ利用者数 25 万人を超え、論文数も年間 1,000 本以上、日本の総論文数の 1% を超えています。

もう一方の施設の SACLA、これは直線型の加速



櫻井博儀氏



中野貴志氏



齊藤直人氏

器で、ビームラインの数は3本と少ないのですが、一瞬だけ明るく光るパルス的なX線レーザーをつくることができます。これでターゲットを照らすことで、原子や分子もあたかも止まっているかのように観察できる、というのが大きな特徴になっています。

SACLAは最新技術を駆使した国家基幹技術として2006年から5年プロジェクトで建設され、2012年3月に世界で2番目のXFEL(X線自由電子レーザー、X-ray Free-Electron Laser)施設として利用が開始されています。国内のみならず海外にも名が通っており、現在の利用者の3分の1は海外からです。

上養 ありがとうございます。それでは同じく放射光施設ですが、現在、仙台で建設中の東北大学国際放射光イノベーション・スマート研究センターの高田先生、お願いいたします。

高田 高田でございます。矢橋先生からご紹介があったSPring-8に15年ほど勤めていました。今建設中の施設はSPring-8の8 GeVよりもエネルギーの低い3 GeVです。完成予定は2023年です。SPring-8の研究開発の先端を基盤化するかたちでつくっています。安定なリング光源、110 mの入射器には、SPring-8、SACLAの技術開発の成果が取り入れられています。そして、低エミッタンス¹の電子ビームを光源とする加速器を使って非常に性能の高

い放射光のビームをつくり出す施設です。建設は順調に進んでおり、10本のビームラインを建設することになっています。

この施設は国が主体である量研機構と地域パートナーである、宮城県、仙台市、東北経済連合会、東北大学、そして光科学イノベーションセンター(PhoSIC)という一般財団による官民地域パートナーシップにより建設されます。国が建設費の半分、地域側は自治体、産業界が特別出資金を出す。学術研究及び産学連携を東北大学がサポートします

いま産業界のユーザーを開拓しています。この新しい加速器は、SPring-8で開発した加速技術のおかげで、コヒーレンスの高い放射光ビームの利用が本格的にできるようになりました。その性能を活用したいという新しいユーザーが集まりつつあります。

上養 ありがとうございます。それでは先生方の施設の研究成果と、施設のホットトピックスをお話いただければと思います。初めに櫻井先生から。

櫻井 エネルギーの低いビームから高いビームまで重イオンビームが出せるというのがRIBFの特徴で、エネルギーの低いビームに関しては、113番元素に利用された線形加速器がビーム強度だけではなくエネルギーもアップグレードされました。このアップグレードは2019年度に完了し、新しい線形加速器は2020年3月末にビーム供給に成功しました。加速器だけではなく、新しい元素を捕まえるための装置も完成し、次の119番に向けた準備が進みました。

それからSRCという超伝導リングサイクロトロ

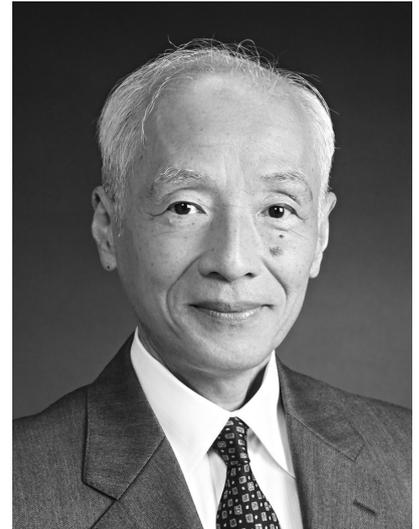
¹ 粒子加速器における荷電粒子ビームの特性。位置と運動量の広がり。の尺度。



矢橋 牧名氏



高田 昌樹氏



上 養 義 朋 氏

ンから出てくるエネルギーの高いウランビームを使って中性子過剰な原子核をつくり、鉄より重たい元素が宇宙で生成される元素合成過程、r過程を研究しています。r過程にかかわる原子核はとっても中性子過剰なのですが、世界で初めてr過程にかかわる原子核を人工的につくり、その性質を調べたことが仁科センターの大きい売りの1つです。

あとニッケル78は陽子数が28個、中性子数が50個で、両方とも魔法の数を持っているのですが、2019年、その原子核が実際に二重魔法性を持っていることを確かめ、その結果が*Nature*に載りました。

この他、新しい魔法の数34の発見や魔法数28の喪失現象等、核構造に関係する多くの研究成果が出ています。

上養 では中野先生。

中野 核物理研究センターは現在、2年間のスケジュールドシャットダウンをしています。ビーム強度を上げて、いままで基礎的な準備をしてきたものの社会実装やアップグレードした研究を2021年からやっていきます。

テーマはいろいろあるのですが、医学系研究科と一緒にやっているアスタチン化ナトリウムによる難治性の甲状腺癌の医師主導治験が2021年から始まる予定になっています。Atというのはハロゲンで1番重い元素ですが、 α 線が出ます。Iと同じように甲状腺に集まるので、甲状腺を取り去っているけれども甲状腺癌由来の変異がんが体中に散ってしまった

治療がなかなか難しい患者さんが対象です。更新によって10倍くらいビーム強度が高くなるので、メインの精密核物理でも短い時間で研究が進んでいくのではないかと考えています。また2017年に隕石中の有機元素を検出した成果で*Scientific Reports*のTOP 100に選ばれたミュオンを用いた萌芽的な研究もこれから進んでいくと期待しています。

上養 では齊藤先生。

齊藤 ミュオンを使っていろいろな物質科学が展開されています。例えばリチウムバッテリーの中で、電極上にリチウムイオンが析出してしまうという問題があり、その量をきちんと測ることが μ^- を使ってできるようになり、プレスリリースさせていただいています。

中性子を用いた実験結果としては、固体冷媒という新しい冷却技術があります。いろいろな冷却技術がありますが、固体の分子運動に熱を吸わせて、非常に効率のいい冷却効率を持つ冷却システムにつながる発見等が行われています。

ハドロン実験施設では、r過程に関連した研究として、特に重い原子核ができ上がってきた過程は、中性子星²という非常に重くて密度の高い天体が重合する過程の中で中性子リッチな環境が生まれ、その中でr過程が進行したのではないかとされています。重力波との関連で中性子星の内部構造に関係

² 質量が太陽程度、直径20 km程度で、中性子が主な成分の天体である。密度は太陽の1,014倍以上もあるとされている。

する研究が進行しています。原子核は陽子と中性子から成っていますが、それにストレンジネスという、素粒子標準模型で第1世代だけではなく第2世代のクォークを中に持つ、陽子や中性子よりもちょっとだけ重いバリオンがあります。それが入った原子核、ハイパー核が存在しないと中性子星のように非常に高密度な環境が生まれえないのではないかとされています。中性子星は通常の原子核の10倍程度の密度ですが、通常の原子核も非常に高密度なので、高密度状態を維持するためには、ハイパー核のようにちょっと重い原子核が存在することが必要と考えられています。J-PARCでは10種類に近い全く新しいハイパー核が見つかっており、その存在を可能にしている強い相互作用自体についての研究に貢献しています。

2020年4月中旬にプレスリリースさせていただいたのがニュートリノ実験施設からの研究テーマです。J-PARCでミューオンタイプのニュートリノをつくって神岡に300km運ばれていく中で電子タイプに変わるということを世界で初めて確立したと申し上げました。これをいま反粒子でも展開しています。反ニュートリノビームをJ-PARCで作り、ミューオンタイプから電子タイプへの変換がニュートリノにおいても反ニュートリノにおいても全く同じように起こるのかを調べて来ましたが、どうも違いがあるのではないかとということが、一定の確率で言えるということで、実験グループが*Nature*に発表しました。この研究は内外の一般紙にも掲載されました。

上養 ありがとうございます。それでは矢橋先生、お願いできますでしょうか。

矢橋 SACLAでは、最先端の学術分野で大きな成果が得られています。一例として、植物が光合成を行う際に、葉っぱの中にPhotosystem II (PS II)と呼ばれているタンパク質が触媒として働きますが、この仕組みの解明が岡山大学の沈建仁先生のグループによって進められています。光合成の第1ステップは化学的に安定な水の分子H₂Oを光のエネルギーを使って酸素分子と水素イオンと電子に分解するところから始まります。これは非常にシンプルですが、普通に考えると水分子に光を当ててバラバラになるということは絶対になく、PS IIが触媒としてかかわっているからこそ起こるわけですが、非

常に複雑な反応になっていて、原子レベルで反応を理解することはこれまで不可能でした。SACLAでは次のような実験がなされました。まず、PS IIにフラッシュライトを当てて実際に光合成プロセスをスタートさせます。そのとき活性中心の分子構造がどう変わっていくか、X線レーザーSACLAを使って反応の瞬間を切り取って計測し、後でつなぎ合わせて動画にします。分析の結果、光合成のメカニズムの理解が大きく進展しました。この知見が確立すると、地球温暖化、食糧問題といったグローバルな課題の解決にもつながり、我々も大きな期待をしています。

上養 SACLAの特徴である、物質に非常に強いX線を間欠的に当てていくことによって、分子の動きをコマ撮りのように見られるという成果ですね。高田先生のところは現在建設中ですので、まだ成果はないと思いますが、こんなのができそうということがあればご紹介いただければと思います。

高田 私のところの成果は、お金集めですね(笑)。5年くらいで延べ600社を回りました。いま75社が建設資金の出資を予定しています。それらの企業はフィージビリティスタディを既存の施設で進めています。既に、36社が施設の運用開始に向けて、活用に向けた課題を抽出し、学術とマッチングを始めています。

放射光の経験のない多くの企業、学術が、最も興味を示すのはコヒーレンスの活用です。理研で開発されたタイコグラフィ³というコヒーレントイメージングを使った様々な材料の化学状態の可視化に期待が寄せられ、放射光活用の分野の展開が進んでいます。加速器の技術の進歩が光のクオリティを飛躍的に向上させ、そのクオリティの向上が、「物の見え方」を変えました。この可視化の飛躍的な進歩が、加速器の活用を産業界や学術に身近にし、敷居を非常に低くしつつあると実感しています。

分光計測の進歩に寄せられる期待も非常に高くなっています。これまで見えにくかった水の状態をより詳細に知ることができる。酸素の電子状態を見ることによって水素結合を知ることができるからです。タンパク質が癒着しにくいポリマーの開発に取

3 X線タイコグラフィはX線の可干渉性を利用したイメージング手法であり、高い空間分解能をもっている。



※座談会の様子 (Zoom)

(上段左より) 上養氏, 櫻井氏, 中野氏 (下段左より) 齊藤氏, 矢橋氏, 高田氏

り組み SPring-8 での分光計測により成果を挙げた企業もあります。これまで放射光のテーマと考えられていなかった課題への活用が成功した好事例です。その後、ECMO の血栓防止につながる研究開発に SPring-8 が活用されたという報道も行われました。加速器が創り出す光に対するものづくりの現場の見方が変わりつつある。まだ、姿かたちもない建設中の施設に出資してくれることが、産業界の大きな期待の裏付けです。

そのために、企業に、寄付金としてではなく利用権というインセンティブ付きの建設費を出資いただくことにしました。そうすることで企業も施設の性能、運営に対してコミットするという前例のない新しい仕組みをつくりつつあります。

上養 ありがとうございます。コミットということは、お金を出したら施設に自分の要求をある程度取り込んでもらうということですか。

高田 建設する7本のビームラインにすべてに対して運営、高度化と一緒に取り組みます。資金を出しているので成果は専有です。そうすると企業の戦略的な利用に大きな自由度が生まれます。また、品質管理、クレーム処理など様々な緊急性のある課題に即応できる場所も評価いただいています。

この新しい仕組みの中で、建設する7本のビームラインの仕様を参画する企業と学術が議論し決定しました。今後、利用ルール等も含めて、皆でつくり上げていく、そのような色々な面でコミットいただいています。

上養 ありがとうございます。今度は成果を出すうえでの障害、問題点、その解決策等についてお話いただけたらと思います。例えば SPring-8 と J-PARC は共用促進法⁴の対象施設になっていますが、そのへんご紹介いただければと思います。

矢橋 共用促進法は、大型基盤施設を広く使っていただくための枠組みを提供しています。利用スキームに関する最近の話題としては、SPring-8 は学術利用のみならず産業利用にも大きく貢献することが分かってきたので、両者を共に発展させるためにどうしたらよいか、色々知恵を絞っています。例えば、SPring-8 には大口の利用者がビームラインを独自に設置して利用する専用ビームラインというストック型の仕組みがありますが、一方で、高田先生が言われたように多くのビームラインにアクセスして様々な分析を行なうフロー型の利用の仕組みも大きなニーズがあることが分かってきました。ニーズに合った利用の仕組みを整備することにより、公共財である SPring-8 がイノベーションを更に牽引し、国全体の豊かさを高めていくというサイクルを回していきたいと考えています。

上養 ありがとうございます。齊藤先生は何かありますかでしょうか。

齊藤 我々のところも物質・生命科学実験施設に

4 「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律」は SPring-8, J-PARC 等の先端大型研究施設を公正、効率的に共用できるようにするために定められた法律。平成6 (1994) 年施行。

おける研究は共用法に支えられて、だいたい8サイクル、8か月くらいビームを共用して、ユーザーの皆さんと成果を上げているというところです。

産業界の興味は我々も重要と考えてます。茨城県が中性子のビームラインを2本つくって下さり、産業利用を推進しています。そのせいもあって中性子という施設側の関与がないと成果が上がりにくい領域にも産業界が乗り込んできてくれています。成果は非公開の部分もあるのですが、どちらかというオープンイノベーション・プラットフォームのほう企業が興味を持っているエリアであると言えると思います。

一方、素粒子原子核のほうは完全に基礎研究ですけど、学術予算がなかなか伸びていかない中でもご理解いただいています。特にいまは大強度化を行い、同じビームタイムであっても陽子をたくさん得ることができるので、より成果につながりやすいという施設をつくる準備を進めています。2021年には、この大強度化のために約1年の運転休止を敢行して施設高度化を行う予定です。ハドロン実験施設では、原子核物理と高エネルギー物理の両コミュニティの協力で施設を拡張する計画を進めています。ターゲットステーションを複数設けることによって、並行してビーム実験ができるので、それによって成果創出を加速したいと考えています。

上養 共通する点は櫻井先生や中野先生のところもあるかと思いますがいかがですか。

中野 大学付置の加速器施設ですので、大学の理解が1番重要です。大きな施設、特に加速器施設を大学が持つのは難しい時代になっているので、それを大学の強みにできるかが1番のカギです。

我々がいま一生懸命やっているのは、学術研究を社会実装するとき知財がいろいろ発生するのですが、その知財の運用をできるだけ大学や部局等いろいろな枠を超えてパッケージ化し、ランニング・ロイヤルティのかたちで学術に戻ってくるというスキームをつくらうとしています。先ほど言った α 線核医学治療、宇宙線起因のソフトエラー等は社会実装や基幹産業化に近い分野ですので、まずはモデルケースとしてそういうスキームがうまく回ることを示そうとしています。

上養 ありがとうございます。櫻井先生、何かありますでしょうか。

櫻井 RIBFはいわゆる共促法の下では運営されていない施設なので、ある意味、自由度があります。

ビームタイムは予算の関係で制限されているなかで成果を最大にするために、学術利用、研究成果が公開されるものに関しては、実験課題採択委員会を設けて、クオリティの高い実験を選んで、実施しています。

それから生物照射、RI製造の2つに関しては、仁科センターの事業として実験、研究開発を実施していることもポイントです。その背景としては、共同研究がベースになっていて、理研と共同研究をすることを前提にして、RI製造や生物照射を効率よくやっています。

産業という意味では、知財や成果を普通は公開しないので、この場合は企業にビームを買っていただいています。これは、有償利用という制度で、有償利用の研究開発は産業用の課題採択委員会で審査しています。この制度は主に半導体関係の研究開発で利用されています。

理研の加速器施設は同時に大量のユーザーをさばくことができないのですが、ニホニウムをつくるために利用した線形加速器がアップグレードしたので、この数年の状況と比べるとビームの割り当てに若干余裕ができてきました。

上養 ありがとうございます。それでは先生方の抱えている将来計画や夢をそれぞれご紹介いただければと思います。櫻井先生。

櫻井 RIBFの現状から考えた近未来の夢は、先ほど来申し上げた線形加速器がアップグレードしたので、119番元素だけでなく2021年度から α 核種を大量生産できる準備も整っています。Atをメインターゲットに据えているのですが、RIを大量に生成し、理研だけではなく日本国内の基礎研究に生かすためのストラテジーを描いています。

また、学術研究では新しい方法でSRCのビーム強度を現在の20倍に向上させて、r過程や核構造等の研究分野で世界の先導性を維持し、発展させる計画を立案し、予算要求をしています。

高レベル放射性廃棄物の処理・処分の問題を考える中で、1アンペアの重陽子を加速できる加速器を提案しています。これができると、RIを大量に製造できます。それから例えば超重元素も百何番まで行くか分かりませんが、新元素をつくることもでき



ます。加速器の未来は加速器の性能が上がれば更に拡大します。高レベル放射性廃棄物の処理のために必要な加速器をイメージすると、それが基礎科学にも広がっていくし、RIを利用したいろいろな研究にも展開できますので、長期的に考えると、加速器を利用した研究開発の未来は明るいです。

上養 ありがとうございます。中野先生のところはアップグレード中ということですが、何か付け加えていただくことがありましたら。

中野 そのアップグレードが終わったら、ようやく我々のところでも本当の意味での将来計画が立つのではないかと考えています。

我々は大学ですので、人材育成を非常に重要に考えていて、2019年度から始まった卓越大学院プログラム、これは量子ビーム応用とあって、あえて応用という名前を付けて、基礎から応用までビームを使った5年間で人材育成をしていくというプログラムを始めています。人気があって、留学生や女子学生までたくさんの応募があり、初年度16名を受け入れました。こういう人たちが高いモチベーションを持って入ってきています。そういう人たちが考えた新しい加速器の施設のあり方や機能が、提案できるようになるというのが今後5年、10年の夢です。

上養 ありがとうございます。齊藤先生はいかがでしょう。

齊藤 ここのポテンシャルを十分に生かしていくために施設を高度化していきたいと思っています。

それぞれの実験施設で高度化のプログラムがあり、まず物質・生命科学実験施設で言えば、増えてきているユーザーに対してビームをしっかり提供し

ていくために、第2ターゲットステーションを考えていて、段階的であっても更なる実験機会を提供していきたいと思っています。

ハドロン実験施設も十分なビームラインを確保できていません。高度化を行いターゲットステーションの数を増やしてビームラインの数を増やすことによって、同時に行える実験を増やしていこう。施設の高度化をビームタイムとのバランスをもって実現したいです。

最後にニュートリノ実験施設ですが、梶田先生がノーベル賞を取られたことも追い風になり、これまでの約10倍のボリュームの検出器ハイパーカミオカンデの建設が始まっています。J-PARCの大強度化もそこが1つの動機になっているわけですが、大強度ビームをきちんと出していくことによって、ニュートリノ施設で分かってきた宇宙の物質の起源、粒子だけが残って反粒子が消えてしまった理由、我々の起源がどこにあるかということについて、答えを出していけるような実験が展開できるのではないかと。

3つの実験施設についてそれぞれの夢を申し上げましたが、国際的なコラボレーションがかなりあるので、そういう人たちが自由に往来していける環境を構築していこうとずっと努力してきました。クロスアポイントメント等々長期滞在ができるような枠組みをつくることによって、世界の人たちにここJ-PARCのポテンシャルを使い倒してもらおうのが我々の夢と言えるかと思います。

上養 ありがとうございます。成果の最大化を目指すということで、矢橋先生はいかがでしょう。

矢橋 SPring-8では、2020年代半ばを目途に、SPring-8-IIという大規模な施設のアップグレードを計画しています。具体的には、蓄積リングを周回する高エネルギー電子ビームを極限的に細く絞った、超高輝度放射光施設の実現を目指しています。実は、これは国際的にもすごい競争になっていて、欧州のESRFでは既にアップグレードに成功し、アメリカが続こうとしています。中国でも新しい施設をつくる計画が進んでいます。波長が短い硬X線、例えば40 keVから200 keVといった領域で、1万倍以上の非常に明るいX線が利用できるになると期待されており、学術、産業の両面で世界が変わります。一方で、我々は性能と共に、施設自体のサステナビリティも非常に重視しており、現在と比べてランニングコストを大幅に削減し、地球にやさしい施設の実現を目指していきたいと考えています。

ただし、これはかなり大規模な改造が必要で、蓄積リングの加速器コンポーネントを全部取り払って、そこに新しいのを入れる必要があるため、1年間程度のシャットダウンは避けられない。一方で、57本あるビームラインについては、アップグレードは個別にできるので、計画的な改修をはじめたところでは、

上養 ありがとうございます。世界の競争の中での夢の実現というのでなかなか大変だと思います。高田先生のところはコアリションという新しい方法を工夫されて進めてこられたと思いますが、

高田 コアリション・コンセプトを掲げてこの施設の建設資金を集めてきましたが、その活動の中で1番大きな成果は、企業に放射光という光の使い方の理解を深めていただき、更に、いままでとは違う使い方があるということを認識していただいたことです。そして、フィージビリティスタディで、有効性を広く実感していただいたことです。参画する企業は出資してコアリションに加わる際に、学術と組んで高度な活用で新たなチャレンジをし、論文発表も行いたい、そういう企業も少なくありません。これは、短期的でなく長期的展望をもってイノベーションにチャレンジするための仕組みでもあると思います。

コアリションの活動として進めているフィージビリティスタディでは、放射光だけでは解決できない

課題もたくさん出てきます。私自身も中性子や電子顕微鏡を使った経験を持っているので、加入いただいた企業に、中性子の活用で、J-PARCをご紹介したりしています。残念ながらコロナで実験がまだできていませんが。仙台市が始めた次世代放射光の活用に向けたトライアルユースでも、中性子の専門家にも委員に入っています。

齊藤 すばらしいですね。

高田 何もかも放射光でやろうというのは意味がない。企業とテーマ設定を始める際には、放射光にこだわらずに“今のお困りごと”を挙げてください、放射光か中性子か電子顕微鏡かは我々と考えてみましょう、そこからディスカッションを始めましょう、とお願いをしています。

コアリションで学術とのマッチングで企業や非専門家が施設を使うという仕組み、これは、今後の日本の施設全体に広がっていくと良いと思っています。いままでの共用というのは研究者が個人として応募し、利用していました。このコアリションは、研究組織が利用者としてコミットしていくという新しいカタチです。大学や国立の研究機関がコアリションに参画しようとしていることが、そのことを顕しています。もちろん、個人のアイデアに基づいて利用する共用の部分も非常に重要です。これから施設の使い方が2極化していくと考えています。

コアリションによる組織体組織の連携が、これから新しく広がっていく部分です。これまで専門外とされてきた企業や学術の課題を止揚するサイクルを、うまく回していくことを産学全体で考えていく必要があると思います。次世代放射光施設をサイエンスコミュニティだけでなく産業界も巻き込んで広がりのある施設にしていきたいと考えています。それが私の夢です。

上養 ありがとうございます。この座談会、最後に施設間のコラボということで締めようと思ったのですが、高田先生のお話から、ユーザーをお互いに紹介し合うという仕組みがあればいいと思いました。

高田 そうですね。そうすると、逆に加速器の技術に新たな要望も出てくるようになりますね。

齊藤 中性子だけでできることは限られていると思います。構造のほとんどはX線で分かりますし、何ととってもフラックスを比べると放射光のほうが



中性子よりも6桁くらい高い。そういう意味で、放射光でやるべきこと、中性子でやるべきこと、それらを併せて物質の全体像が浮き上がってくる。よく量子ビームプラットフォームと言いますが、その中で放射光を中心として、中性子、ミュオンと多様なビームを使って全体的に物質科学、生命科学を支えていくというのが非常に重要だと考えています。高田先生の協力のコアリションのコメント、非常に力強く感じております。

上養 ありがとうございます。ほかの先生方がかでしょうか。

中野 短寿命 RI 供給プラットフォームではいろいろな加速器施設の連携で使っていただいています。加速器施設は1年中安定に動いているところばかりではなく、アップグレードもあれば故障もある。複数の加速器施設がコラボレーションすることによって、ユーザーから見ても使いやすい安定した利用が実現するのではないかと思います。

上養 ありがとうございます。RIの供給に関しては、アイソトープ協会も協力したいと思います。櫻井先生は何か。

櫻井 α 核種の話ですが、例えば、どんな核種がどれだけ必要かという大きいビジョンを知りたいです。これについては、コミュニティ全体の議論もあっていいのかなと思います。

例えば核医学の話で言うと、診断から治療への大きい流れがあります。治療をするための前段階として基礎研究が必要だと思うのですが、そのためにはどれだけの物量が必要か、どういう核種が必要かというコミュニティベースの議論が必要で、この議論

をもとに日本国内の加速器をどう動かしたらいいのか、ストラテジーを立てることができます。だから個人ユーザー、組織だけでなく、コミュニティという概念も大事かなと考えています。

上養 治療用の RI という面から言うと、アイソトープ協会の中に医学・薬学部会というコミュニティがあります。いろいろな核種がありますし、どこの加速器でないとできないということもありますので、そのへんのコミュニケーションを密に取るのが大事かと思います。

櫻井 生物学も遺伝子を調べればすべて分かるわけではなく、例えば動物でも植物でも孤立した生命体があって、生命体が元素をどう吸い、どう出していくのか、そういった元素のダイナミクスが個体の中で全然分かっていないらしい。だから RI の利用はまだまだやることのあるのではないかな。様々な元素から RI を選ぶことができますから、RI をうまく利用して元素の動きをモニターすることができます。物質の研究をするためには核磁気モーメントを利用することもできます。安定核では核磁気モーメントを持っていない元素も、RI だったら持つものがあるわけです。そういったものを積極的に選んでいくと、NMR 等の分野にも応用発展していく可能性があります。このように RI の将来の方向性を議論していくと、アイソトープ協会の重要性はますます増すのではないかと思います。放射光は様々な発展の芽があると思うのですが、同様に RI という切り口でも様々な発展性があると思っています。

齊藤 RI に少し関連して核変換技術の開発です。もともと J-PARC ができた大きな動機の1つは、核

変換技術の開発でした。未臨界の原子炉にビームを導入し、コントロールしたかたちで臨界状況をつくるということで、核のゴミ問題解決に貢献する。寿命が長い廃棄物を、寿命が短いものに変えていくことによって、最終的には核のゴミの処分場の面積を約 100 分の 1 にできるという計画に向けて開発を進めていくということがあります。

これは核燃料サイクルの問題とも大きく絡んでいるので、非常に難しいのですが、原子力の継続いかににかかわらず、解決しなければいけないはずの核変換問題に切り込めていないわけです。加速器科学にかかわる人間として我々の専門性を用いて貢献できるところは絶対やっていく必要がある。櫻井先生もそういう情熱で非常に燃えていらっしゃると思いますが、そういう協力関係の中で核変換技術を何とか実現の俎上にのせていく。まず我々ができるところは大強度のビームを制御したかたちでつくり、それを導入できるような高放射化環境でも耐えられる材料をしっかり開発していく中で、核変換に供することができる施設の建設に向けて、櫻井先生のとこ

ろに協力させていただきたい。

櫻井 応援ありがとうございます。核燃料サイクルの課題は社会問題としてとても重要です。

上養 それでは矢橋先生、何か一言ありましたら。

矢橋 我々は量子ビームの世界ではあくまでもサブライサイドあって、こんなことができるというくらい大声で叫んでも、ユーザーに届かないと意味がない。ユーザーのデマンドをしっかりとキャッチすることが必要です。そのために例えば高田先生のコアリションや櫻井先生のコミュニティの話等が重要になってくるわけですが、サブライサイド間のネットワークの形成も重要だと思いますので、施設間の連携も引き続き進めていきたいと思います。

上養 ありがとうございます。いろいろなことが浮かび上がった座談会ができたかと思います。これで座談会を閉じたいと思います。この座談会が加速器を利用した研究の交流につながる機会になれば幸いです。

(終)

RADIOISOTOPES 投稿募集!

日本アイソトープ協会の学術誌「RADIOISOTOPES」へ
あなたの研究成果を投稿してみませんか?

対象分野：放射性同位元素だけでなく、安定同位体や放射線に関わる基礎から応用に至る論文

投稿制限：制限なし（本協会の会員・会員外を問わない）

投稿料：無料

使用言語：日本語または英語

論文種別：原著、ノート、技術報告、速報、資料、コメント

投稿方法、執筆上の注意は QR コードまたは URL よりご確認ください。
URL <https://www.jrias.or.jp/books/cat/cat2/305.html>

RADIOISOTOPES 編集委員会事務局

TEL 03-5395-8035 e-mail radioisotopes@jrias.or.jp

