

量子ビームが切り拓く未来



出席者 加倉井 和 久¹⁾
水 木 純一郎²⁾
南 波 秀 樹³⁾
矢 野 安 重⁴⁾
石 川 哲 也⁵⁾
(司会) 鷺 尾 方 一⁶⁾
(オブザーバー) 小 島 周 二⁷⁾

鷺尾 本日は「量子ビームが切り拓く未来」と題した新春座談会にお集まりいただき、誠にありがとうございます。よろしく願いいたします。

—中性子ビームサイエンス—

鷺尾 早速ですが、皆さんが世界をリードしている、ビームについての説明が1番先に必要かと思しますので、加倉井先生の中性子からご説明いただけますか。

加倉井 中性子の性質は、特に中性である、

電荷を持っていないということから、透過が良く、物質のバルクの性質を直接見ることができる。それから核との相互作用で、電子の数に依存しないことから、X線と比べると、軽い元素、特に水素というキーワードが出てきますが、それを観測するのに非常に適しています。また中性子自体が磁気モーメントを持っていることで、物質の磁性と直接に相互作用して、それを観測できます。

さらに中性子が粒子であるということに由来する波動、波長とエネルギーの関係から、ちょうど物質の特徴的な間隔である数オングストロームの波長を持った中性子のエネルギーが、物質の中の熱振動とかダイナミクス関連のエネルギーと同等のものであることで、これは歴史的なことにもなるのですが、非弾性散乱に適している粒子であると言えます。

最近では技術が高くなって、非常に高いフォトン、いわゆるX線を使っても非弾性散乱ができるようになったわけですが、それは技術的に難しいです。逆に言うと、中性子はもっと高分解能のエネルギー解析がより良くできるということが主な特徴だと言えます。それをどれだ

- 1) 日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 東海地区
- 2) 日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 関西地区
- 3) 日本原子力研究開発機構 高崎量子応用研究所/量子ビーム応用研究部門 高崎地区
- 4) 理化学研究所 仁科加速器研究センター
- 5) 理化学研究所 放射光科学総合研究センター
- 6) 早稲田大学 理工学術院総合研究所 (日本アイソトープ協会 理工学部会会長)
- 7) 東京理科大学 薬学部 (Isotope News 編集委員長)



加倉井 和久氏

け活用できるかがキーワードになってきます。もともと中性子源が弱いというのが大きな問題でしたが、これから新しいパルス中性子源と、従来の定常炉という中性子源をうまく相補利用することによって初めて、中性子の利用というものが、実際の新物質や素材の開発に直接携われるようになるのではないかと期待しています。

鷲尾 中性子の性質をいろいろ教えていただいたのですが、中性子のパルスが非常に強いビームを作る原理、中性子を発生させるシステムというのはすごく大変なものだということをご説明いただけませんか。

加倉井 大前提としては、大強度の陽子ビームが必要だということです。そこが今までネックでした。

加速器の電子線、陽子線を重金属に照射し2次粒子として出る中性子の利用（パルス中性子）はほとんど世界同時発で、木村一治先生が1967年に東北大学で建設された原子核理学研究施設（核理研）の電子リニアックで始められました。木村先生と石川義和先生が1971年に中性子実験室を建設し、そこでパルス中性子の本格利用が始まり、その後つくばの高エネルギー研究所（現 高エネルギー加速器研究機構）の陽子シンクロトロンブースター施設に建設した中性子科学研究施設（KENS）へと発展し

た経緯があります。パルス中性子利用研究はこのように石川、遠藤両先生のグループが中心となって開発し、全国規模へと拡大していった日本オリジナルの研究の歴史があります。

その頃、英国ラザフォード研究所がISISという日本の規模を圧倒的に凌駕する陽子加速器利用中性子研究施設を立ち上げ、現在も世界一の規模で成果を挙げています。1990年頃、日本もISISを超えるパルス中性子計画を立ち上げようと“大型ハドロン計画”を文部省(当時)に申請しましたが、最終的に文部省と科学技術庁が統合する時に、日本原子力研究開発機構（原子力機構）と高エネルギー加速器研究機構のジョイント計画として2001年に茨城県東海村にJ-PARCの建設が始まり、現在いよいよ完成して動き出すということになったわけです。

鷲尾 中性子源、中性子のパルスを作る大強度の陽子加速器が必要であるということだったんですね。ありがとうございます。

—大強度・短パルスのレーザー開発—

鷲尾 続いて、水木先生に、放射光、レーザー関係、これもシステムとしては、特にレーザーの大強度、ペタ(10^{15})ワット級というと大変なことになると思うんですが、ご苦労と、それを使った新しい研究の概要をご説明いただけませんか。

水木 私自身、1年前にレーザーにかかわり始めたので、皆さんの方がレーザーに詳しいかもしれませんが、大強度レーザーは、日本では大阪大学のレーザーエネルギー学研究中心（レーザー研）と原子力機構のものが並び立つと思うんですが、阪大の目的としては、核融合があると思います。それに対して、我々のところは核融合ということはまったく言っていません。出口としては、1つは医療バレーで、文部科学省の振興調整費を7年間100億円ぐらいもらって、半分は企業からのお金、いわゆるマッチングファンドで研究開発していこうということです。



水 木 純一郎 氏

大強度、短パルスのレーザを薄膜ターゲットに当てることでプロトンを加速していきます。医学利用、がん治療に使うことを目的として、最終目標は200 MeVのプロトンを得ることです。今出ているのが数 MeV なので、先は長いのですが、いろいろな開発と新しい工夫が出て、それが今年の3年目で中間評価を受けることになっています。

そのためのレーザ開発に何が必要かという点、大きなパルスの前にプレパルスという点が出て、いろいろな悪さをします。そのプレパルスをなくすために、メインパルスとのコントラスト比を上げる努力が必要で、それを1つの大きなテーマとして研究開発しています。それが可能になると、がん治療のためのプロトンビーム装置の小型化が可能になってきます。

もう1つは電子加速です。フライングミラー(レーザによるプラズマ化した電子)を使った電子加速や、アト(10^{-18})秒のX線発生も将来は可能ということで進めています。ただ、それはまずプラズマ発生を起源としており、不安定でカオティックな状態のものです。これは私自身の理解になりますが、こういうパラメータを制御したら必ずこういうものができるというのはある程度は押さえられると思うのですが、非常に難しい。安定して非常に強い強度のX線を出すといったことに関しては、いろいろな開発

要素があると思います。いつまでに何が完成するとは言えないですが、最近の実験で検証されており、可能性は十分あると思います。

鷺尾 今、実際に木津(京都府)にあるレーザはどのくらいの大きさでしたか。

水木 $30 \times 15 \text{ m}^2$ ぐらいありますね。

鷺尾 かなり大きなものですね。例えば阪大のレーザー研ですと、1発打つのに何十分だか何百分だか待たなければいけない。こちらのレーザはそんなことはないんですよね。

水木 ペタワットと言っているものは数十分に1発とか。

鷺尾 あと興味があるのは、アト秒のX線の可能性ですが、実は、アト秒にどうやったらなるのかと疑問に思っているのです。原理を教えてくださいませんか。

水木 フライングミラーを作って、それが光のスピードで走っていますよね。例えばフェムト(10^{-15})秒のレーザを当てると、パルスもぐっと圧縮されていきます。

鷺尾 そうするとフェムト秒のレーザの……。

水木 ソース項として。

鷺尾 そういふことか。それがそのままアトまで縮むということですか。縮んだとき、波長はどうなるのでしょうか？ X線だから大丈夫なのか。不確定性は考慮する必要があるのでしょうか。

水木 たぶん考えに入ってくると思います。バンド幅は広がってくると思いますけど。

鷺尾 でもX線でバンド幅が広がるのが見えたら、それはそれですごいですね。

水木 それを電子に当てると、いわゆるウェーブパケットを作るので、電子自身の動きを見ることができるようになります。エレクトロンのウェーブパケットを作って、それを見るようなものも可能かもしれません。

鷺尾 それは科学的にはすごいことができるかもしれないですね。ありがとうございました。

—ユーザのための施設・TIARA—

鷺尾 次に、南波先生から、TIARAの荷電粒子など、あと γ 線・電子線もいろんな装置をお持ちですが。

南波 我々の分野が歴史的には1番古く、昔は放射線利用という言い方をしていました。私どもの研究所は1964年に日本初の大型の ^{60}Co γ 線照射装置と工業用電子加速器を設置し、産学官連携の基に、利用研究を推進してきました。人工放射線源としての加速器の進展は著しく、今、日本全体で、医療用リニアックまで含めると1,000台を超える加速器が動いています。

鷺尾 例えば α 線に相当するものと、南波先生のところでは、サイクロトロンが動いていると思うんですが。

南波 はい。イオン照射研究施設TIARAと言っていますが、4台の加速器が15年前から動いています。エネルギーの1番大きいものはAVFサイクロトロンで、これは加速する核種によってエネルギーが変わってきますが、1番低い方はプロトンで80 MeV、核種が大きくなってくると当然上がってくるので、数百MeVまで加速することができます。そのほか2台の静電加速器があり、うち1台はタンデム型加速器です。そしてエネルギー的には少し落ちますが、400 KeVのイオン注入装置があります。

この施設はもともとバイオとか材料といった研究開発のために、いわばユーザのために当初から設計した装置です。まずサイクロトロンですが、最大の特徴としては、稼働率が恐らく世界一ではないかと思っています。ユーザがバイオから材料から非常にたくさんいて、バイオ等の照射ですと秒単位の照射という話になるので、違うイオン種を短時間に急激に切り替えるということを要求されます。そういう中で、例えば宇宙用の半導体等の評価、私どものTIARAは日本の評価の中心になっているわけですが、Ne, Ar, Kr, C等の様々なイオン種を短時間で切り替えて、しかもそれを同じ条件下で照射

できるようにしてほしいという要望があります。それに対応するために、我々はサイクロトロンを非常に安定化する技術開発を行いました。また、カクテルビームとっていますが、異なったイオン種を一緒に加速して、別々に取り出す技術開発に成功しました。通常の加速器ですとイオン源を切り替える必要があるのですが、そうすると長い切り替え時間が必要となります。それこそ「30分で次のビームを出してほしい」というようなわがままな要望に応えるために様々な技術開発を行っています。

もちろん、今の話はビーム源の方ですが、照射する技術としては、マイクロビームシングルヒット技術の開発を進めています。これは非常に細く絞ったビームを狙った位置に当てるもので、260 MeVの ^{20}Ne を1 μm 以下まで絞ったビームを狙った位置に1発ずつ、1分間に600個当てられる装置として開発しています。現在、チャンピオンデータとして、最小ビーム径0.6 μm 、最高ヒット速度2,400個/分を達成しています。それから逆に広げて照射する技術もあります。例えば植物等の照射の場合、同じ条件下で、大量の種子に短時間で照射してほしいという要望があります。そのために拡大した照射野で均一にビームを照射する必要があります。この技術は宇宙用の半導体の照射にも、別のビームポートですが、使っています。

静電型の加速器に関しては、当初から高安定な加速器として設計して設置した経緯もあり、マイクロPIXE等を中心とする分析関係でも使っています。ビーム自体は、クォーターマイクロンと言って、0.2 μm ぐらいまで絞れます。それを使って、2次元での走査で、細胞等の中の元素分布を検出できます。最近では、これを利用して、肺細胞の中からアスベストを見るのにも成功しています。

鷺尾 なるほど。イオン注入は何に使っているんですか。

南波 今、私どもが力を入れているのは耐放射線性の非常に強い半導体を作ろうということ



南波 秀樹 氏

で、このイオン注入に使っています。これは内部の利用ですが、外部ユーザもたくさんいて、韓国等からの利用者もいます。

鷺尾 それだけ装置を持ったら維持が大変かなと思うんですが、どんなご苦労がありますか。

南波 まず何よりも大事なものは、装置自体をいかに安定に稼働させ、ビームを供給するかです。昨年は運転計画に対して99%近くの稼働率を維持しています。これは裏返せば、運転員たちが非常な努力をしているということで、万一故障が起こっても、その場で何とかしのぎ、土日の間に全部直して、次に備えるということを行っております。

鷺尾 そうですか。ご苦労がしのばれるところですが、ありがとうございます。

— RI ビームで探る原子核・元素の起源 —

鷺尾 それでは、矢野先生、ご説明いただけますか。

矢野 まず RI ビームですが、これは 1980 年代の初めに発明された、人工放射線としては一番新しいものです。これは原子核の決定的な話になるのですが、 ^{208}Pb は、陽子が 82 で、中性子が 126、中性子と陽子の数のアンバランスがものすごく大きい。ところが、原子核内の

中性子と陽子とを分けてみると、形がぴったり同じなのです。これは核力という意味では陽子と中性子は区別していないので当然のこと。むしろ陽子の方がなぜ外に出ないのか。でも、クーロン力は核力に比べれば大した力ではありませんからね。これを核力の飽和性と言うのですが、要は陽子と中性子の数がいくら違っていても、分布は同じ。それでは、そうでない原子核はないのか、1960 年ぐらいから世界中の原子核研究所で始まったわけです。しかし何の不思議な現象も見付からないので、1980 年を迎えるころには、原子核物理学は終わったということになりました。

鷺尾 そんな時代がありましたね。

矢野 しかし、1985 年に谷畑勇夫、小林俊雄両博士が、アメリカのローレンスバークレー国立研究所のベバラックという高エネルギー重イオンシンクロトロンを使って、 ^{22}Ne を加速し、標的原子核との衝突で壊して、Li のアイソトープを作り、サイズを系統的に測っていったんです。Li の 6, 7 は安定ですが、8, 9, 10 と。そうすると、 ^{11}Li になったとき、急に原子核のサイズが大きくなっている。そして、これはまだ傍証でしかないのですが、中性子だけが外に滲み出ている。中性子ハローと言います。これで大問題が起こったのは、核力の飽和性がない、つまり、中性子だけが出てしまっ、陽子が残っているということは、常識ではありません。しかし、中性子の多い原子核を人工的に作れたことで原子核物理学はルネサンスに向かう、「これは何だ」ということになりました。

我々は今の RIBF (RI ビームファクトリー) の前身のリングサイクロトロン施設を造り、日本では初めて本格的に RI ビーム発生装置を置いて、中性子の過剰な原子核の研究を始めました。そうすると、飽和性どころではなくて、中性子や陽子の数が 8 や 20 の魔法の数は消えてしまうわ、別のところに魔法があるわ(笑)。しかも、 ^{16}C にいたっては、我々はエッグモデルと呼んでいますが、陽子は丸くて、中性子がゆ

がんでいる（陽子と中性子の黄身の周りに楕円形の中性子が広がる形）。ある散乱実験を行うと、そう思わないと説明できない。理論的には説明がつかない状態になっている。要は、原子核の新しいノーベル賞モデルが待たれています。今、誰からも全部を説明するようなモデルは提唱されていません。それがRI ビーム施設を造る第一のモチベーションです。

もう1つのモチベーション、元素の起源の大問題が解けると思い始めたのは、おそらく我々が1番早かったと思います。W. ファウラーが1983年に元素の起源研究でノーベル賞をもらうずっと前に、G. バービッジ、M. バービッジ、ファウラー、F. ホイルが共著の有名な元素の起源論文があって、宇宙で全元素の全アイソトープにどういう反応が出てきたというのを全部書き上げたんです。太陽系でのアイソトープのアバundance分布には、ツインピークが3つ、質量数が80, 130, 200位のところにあります。ツインピークの質量数の大きい側にある方は、星の中での核反応で安定な原子核が中性子を吸い中性子の1つ多いアイソトープができ、その中性子が β 崩壊して陽子になって、原子番号の1つ大きな原子核になるという過程でできました。この過程はゆっくり進むのでs過程といえます。中性子の吸収と β 崩壊の繰り返して次第に原子番号の大きな元素ができていくんですが、中性子の数が例の魔法の数のところになると急に安定っぽくなる。ということは、そこから先に行くスピードが一時落ちて、溜まる。すなわち、そうしてしばらく溜まったアイソトープが β 崩壊してできた安定なアイソトープがピークになったというわけです。それでもこの元素合成過程はBiで止まってしまふ。そこから先は安定な原子核がありませんから。

それでは、ウランまでどうやってできたのか、ファウラーがツインピークの質量の小さい側をヒントに考えたのが、超新星爆発のようなときに、爆発前にあった大量のFeの原子核（星の最期は最も安定なFeの原子核の塊だと考

えられている）の爆発で生じる大量の中性子をいっきに吸収して超中性子過剰な原子核になり、それが源になって更なる中性子吸収と β 崩壊を繰り返して重い元素の超中性子過剰原子核ができ、それらが β 崩壊してウラン元素に至る重元素ができた、というものです。これをr過程といいます。この場合も中性子が魔法の数になるところで反応が遅くなって、溜まりが起きますが、それが β 崩壊してできる安定な原子核はs過程でできる質量数のものより少し質量数が小さくなります。これがツインピークの起源だというわけです。ただ、r過程でできたと考えられる超中性子過剰な原子核のほとんどを我々は知りません。そう言って、ファウラーは亡くなり、謎の仮説のまま残ってしまったわけです(笑)。

それで我々は時早く、そこまで到達できる施設を造ろうとしたわけですが、1987年から運転が始まりました。その年の「パリティ」（丸善発行雑誌）に、「いよいよ理研リングサイクロトロン始動、将来は大量のRI ビームをつくれるようなRI ビーム工場をつくりたい」と書きました。それがRI ビームという言葉が世の中に出た最初です。

1987年に超新星爆発によりニュートリノが160万光年先から飛んできて、カミオカンデの中を11回鳴らして、小柴昌俊先生がノーベル賞をもらいました。まさにそこで起こった重元素合成を実験室で再現するというのが我々の次の夢になりました。1997年にRIBFの予算が認められて、10年後の2007年には最初のビーム加速に成功し、以来、どんどんRIができあがってきています。アメリカやフランス、ドイツでもRI ビーム工場を造るそうですが、あと6, 7年は理研のRIBFがトップでしょう。今や世界中の原子核の研究者が我々のところを使いに来ます。

少しだけ応用を言いますと、ポイントは、RIというのは数が少なくても、感度が非常にいい。

鷲尾 そうですね。



矢野 安重氏

矢野 なおかつ寿命が選べる。あるいはそれ自体がいろんなスピンを持っていますから、それも選べる。そしてこれはビームですから、自由に打ち込める。例えば日本の大手の自動車会社ですが、ついこの前、 ^{22}Na をエンジンのピストン表面に打ち込んで精密磨耗試験ができないか、試しました。次は本当にエンジンを持ってくるらしいです。

鷺尾 放射化分析の姿が全部変わってしまいますね。今の ^{22}Na ビームの打ち込みで、例えばエンジンとか部品の性能を100%確保できるぐらいの技術革新ができれば、それは100億円支払ったって安いという話になる。

矢野 照射自体は一瞬なんです。原子核実験ではなくて、植物品種改良の照射みたいなものですから。

鷺尾 応用の話はすごく興味があります。Csの話も。

矢野 核変換は、実は原子力機構と組んで行おうという話を少しずつ持ち上げています。原子核物理学者と原子力工学者は会話をまずはするべしじゃないか。

鷺尾 仲良くしてください(笑)。

南波 昔の核のモデルのところで、中性子と陽子がほぼ均一であると思われたのがひっくり返った。新しい核種を作れるようになったので変わってしまったというイメージですね。

矢野 古典的な原子核像では解けないようなものがごろごろ見つかり始めた。

鷺尾 宇宙の成り立ちというか、超重元素のようなものを作ったのは、今ある安定なものだけ見てはだめだということは确实なんでしょうね。

南波 ある意味で球形のモデルというのはイメージがわかりやすいのですが、エッグモデルというのは力的にはどういうふうに働くとあのような形になるのでしょうか。

矢野 それが分かればノーベル賞ですよ(笑)。まったくの謎です。最初は ^{16}C でそういう現象が見つかったんですが、どうも幾つかありそうです。ありとあらゆる不安定な原子核を作って調べてみたいですね。これまでは、一体場があって、その中に有効な二体力を入れて説明しようとするんですが、二体力の集合体ではこんなことは起こらないでしょうから、多体的に扱わなければいけないということになります。そうするとパイ中間子が原子核の中でどう働いてるのか問題になってきているようです。

鷺尾 本当に湯川(秀樹)先生をもう1度取り戻したい感じがする(笑)。

矢野 それ絡むと、いわゆるテンソル力(パイ中間子の交換によって起こる相互作用)が表に出てき始める。今のところは謎めいていますね。

鷺尾 RIBFがどれほどすばらしいものか、理解できるようになりました。どうもありがとうございます。

—夢の光・XFELの開発—

鷺尾 さて、石川先生、興味津々のXFEL(X線自由電子レーザー)、ご苦勞の話なども含めて教えていただきたいんですが。

石川 まずXFELの前に、放射光の話があって、これはもともと高エネルギー加速器のお余り。じゃまものを使わせていただいていたわけです。それが使えるということが分かって、専

用のリングを作りました。X線としてはPF(フォトンファクトリー)が最初です。ただ、PFの場合には、円形リングの偏向電磁石からの光を使っていたわけですが、アンジュレータを使うと、輝度が3桁ぐらい上がるという話になりました。それに最適化した放射光リングを作るという流れが1990年代に起こりました。

アンジュレータは、永久磁石を周期的に並べ、マクロな長さの永久磁石の周期場をドップラー効果でX線まで持っていくから、とても高いエネルギーの電子が必要になります。1990年代の中ごろから、アンジュレータでX線の出る放射光施設が世界で3つ、フランス、アメリカ、日本で作られました。日本のはSPring-8で、8 GeVという、電子加速器としては結構なエネルギーのものが必要になりました。しかし、実はSPring-8以来、もっと大きな放射光施設というのはできていません。SPring-8で開発したインバキュームアンジュレータという、永久磁石を真空の中に入れてしまう技術によってアンジュレータの周期長が短くなって、電子エネルギーが低くてもX線が出るようになりました。

一方で、我々がSPring-8を造っていたころに、アメリカとヨーロッパでXFEL計画が始まりました。欧米のXFELはエネルギーの高いリニアックを使って従来型の磁石を真空外に置くアンジュレータでX線を出すものです。それにSPring-8で開発したインバキューム型を使うと、XFELも小さくできるんじゃないかというので始めたのが今の計画です。電子エネルギーも半分程度にして、全体の長さも3分の1、4分の1にして、XFELを造ることを進めています。

今は、SPring-8の標準的なアンジュレータに比べて、磁場の周期長を半分にしたのですが、10分の1にできれば、1 GeV以下のリニアックでXFELができてしまいます。そうすると50 mくらいの施設でXFELができるんじゃないかというのが今のもくろみで、そのくらいで



石川 哲也 氏

できたら、大きな施設をお金を掛けて造るよりは、小さなのをたくさん造った方が便利に使えるのではないかと考えています。

鷺尾 ピッチをどのくらいまで短くするのが可能なんでしょうか。

石川 そこに掛かっています。例えば磁性マルチレイヤでアンジュレータができたりすると、大変なことになるわけです。

加倉井 そこはある意味で物質研究ですね。

鷺尾 今、実際にそちらで行っていらっしゃるマグネットのピッチは何 mm ぐらいですか。

石川 今は1周期が1番短いもので15 mm。その中に4つ並べて1周期振るわけです。ですから1つは4 mm 弱。

鷺尾 それをどこまで押し込めるかということですね。今XFELで流しているリニアックのエネルギーも8 GeVですか。

石川 常伝導で8 GeVにしてあげると、ファーストハーモニクスで20 KeVが出るという計算です。

鷺尾 応用の話もご説明いただけますか。

石川 今1番のターゲットにしているのは、結晶にならない蛋白質分子の構造解析です。例えば膜蛋白、細胞膜にあって膜の内外をつないでいるのですが、3次元の結晶にはなりたがりません。ただ、膜蛋白というのはいろいろな意味で非常に大切な役割をしているのが多くて、

原子レベルでの構造を決めたいという要求は高い。それを1つの分子で決めてやろうということをたくさんの人が狙っています。また、蛋白-蛋白複合体というのがあって、蛋白と蛋白がかみ合って悪さをしたり、良いことをしたりする。それがどういうふうにかみ合うかというのが、創薬とかいろいろな場面で大きな役割を果たすので、そういうかみ合い方を見てあげたい。

もう1つ、大切なのがフェムト秒の時間分解能です。フェムトの時間領域での電子の動きが見えると、いわゆる触媒作用が見えてきます。触媒というのは、高校の化学の教科書では、それ自体は何もやらないけれども化学反応を促進するとか習うわけですが、それ自体が何もやらないわけではないのです。非常に速く何かをやって元に戻る。その瞬間が見えるはずで、化学反応の間の原子の映画をXFELで作ろうというのが1つのうたい文句になっています。

鷺尾 反応が促進されるかされないかは、基本的には電子がどういう形で動いているかという話ですよ。だから電子の状態をフェムト秒できちっと取れるようなシステムが作れると、これはすごいですよね。

南波 フォトンの数としては、今そちらのレーザーに比べてどのくらいの大きさですか。

石川 レーザに合わせて、ワットで言うと、100ギガワット程度、集光径は波長でリミットされますが、X線の場合だとナノ以下に集光できるはずですよ。

鷺尾 非常に強い場の強度がそこで得られる可能性がある。そっちの方が早いかもしれない(笑)。

—量子ビームが切り拓く日本の未来—

鷺尾 一連の新しい話、ビームの苦労とか、ちょっとした応用の話も伺ってきました。私は、量子ビームというのは2つ重要な意味があると思っています、1つはものづくりの部分で役



鷺尾 方一氏

に立って、実際の生産にすごく意味がある。もう1つは日本を元気にし、夢を与える。今まで知らなかったことを、翌日から普通のことにしてくれる技術でもあるような気がするんです。そういう意味では、中性子とかX線、RIビームというのは、ものづくりに直結するんですが、見えない部分の経済効果を何かうまく定量化できないですかね。

文部科学省とかJST((独)科学技術振興機構)の人たちと話をしていると、すぐ世の中に出る、民間に生かせる成果を出してくれと言うんです。それに対する反論をしたいんですよ。

南波 予算の付け方の制度を含めて、即物的なというか、5年間で成果の出る、目に見える成果を出すものでないとできないという傾向があります。ここ何年間か、そういう国の流れがかなり色濃く出た後での反省として、それはいろいろな人が感じている問題じゃないかと思うし、それを続けていくと、体力的には弱るんですよ。

鷺尾 だからこそ、最先端科学の夢を本音でちゃんと出せるような国に切り替えていかなければいけない。そのための作戦、秘策が何かないですかね。

矢野 3年前、天皇皇后両陛下が理研に見えられました。113番元素の発見者たる森田浩介准主任研究員が、お話をしたとき、両陛下がほ

とんど同時に、「113番元素はいったい何に役に立つの？」とおっしゃいました(笑)。答えは、何の役にも立ちません。ただ、「元素にジャポニウムとかニッポニウムとか名前が付いた場合は、日本は元気になります」と。

鷲尾 どんなご反応でしたか。

矢野 感心されていましたよ。日本人が元素に名前を付けようとして何回か失敗しているから、ジャポニウムとかニッポニウムといった名前が付けば、2008年のノーベル賞級の楽しみ方ができるんじゃないかと思います。

113番元素が発見されるまでは本当に我慢の子で、何しろ3か月間ほかの実験を止めて行うわけです。本当に検出器が動いているかどうかよく分からない(笑)。とにかく1%、来る入射エネルギーというのは決まっています、非常に狭くて、その1%の中に入っているかどうか、本当は誰も知らないんです。森田研究員は系統的に112番元素までの最適エネルギーを実験で調べましたから、間違いなく自分たちの予測値はこれであると。それでもなかなか来ないので、ちょっとエネルギーを振ってみませんかという人が現れる(笑)。

鷲尾 すごいな。今度はJ-PARCでそれと似たようなことが起こるんでしょうかね。最初は誰も予測しないけど、新しいサイエンスが生まれて、どんどんノーベル賞に近づいていく。

水木 石川先生のXFELはまさにそうです。だってとんでもない光ですからね。今まで手に入れたことのない。しかし、まだアト秒まではいかないんです。

鷲尾 アト秒に関しては、ある理論屋さん、集団励起状態ができて、実はとんでもないことが起こるかもしれないと言っているんです。

水木 オングストロームオーダーの領域で。

鷲尾 今まで起こっていない反応が起こると言っているんですよ。

石川 位相制御ができれば、アト秒にできますよね。

水木 クーパーペア(超伝導体中に形成され



小島周二氏

る電子対)を制御して作れるかもしれないし。そうなれば、アト秒の範囲内で室温超伝導ですよ(笑)。

鷲尾 そういうわけで、今日はもともと量子ビームで“見る”とか“作る”という話をしていたのですが、本当に見たり作ったりしているのは夢かもしれないですね。夢であり、今まで誰も知らなかったような、僕らだけの特権かもしれないと思いつつも、是非国にそういうことを認めてもらいたいなと強く思います。2010年は、量子ビームのルネサンスで、国から少しプレゼントしていただきましょうよ(笑)。

小島先生、今好き勝手を言っていました、何かコメントをお願いします。

小島 私自身は生物屋ですが、量子ビームにはすごく夢があるなと感じています。ありがとうございました。ノーベル賞につながるような大発見を期待しております。

鷲尾 理研とSPring-8と原子力機構とそれぞれノーベル賞が出ることを本当に信じていて、待っていますので、是非よろしくお願いします。

本日は長い時間本当にありがとうございました。量子ビームが切り拓くであろう素晴らしい未来に思いをはせることができました。皆様のご活躍を心から期待しております。

(終)