

◆平成 25 年度 第 4 回 (通算第 37 回) 蔵前ゼミ 印象記◆

日時：2013 年 7 月 12 日 (金)

場所：すずかけ台 J221 講義室

J-PARC プロジェクトの立ち上げ

山本風海^{かざみ} (1996 高分子, 99 原子核 MS) 日本原子力研究開発機構 副主任研究員

ノーベル賞級の成果を挙げて世界をアツといわせようとしていた矢先の事故だった^(注1)。2013 年 5 月 25 日朝のトップニュースは、山本さんが勤める J-PARC での放射能漏れ事故で、「東海村・原子力機構 J-PARC で放射性物質漏れ! 研究者ら 4 人が内部被曝か!」という見出しが躍った。事故が起こったのは 2 日前 (5/23, 11:55) というこで、「また 隠蔽か」と大騒ぎになった。しかし、2 日たったの発表ということは、冷静に考えれば、重大事故ではない可能性が高いことを意味していた。実際、調査が進んでみると、原因の方は不可解さが増すばかりだが、結果 (人体や環境への影響) の方は許容範囲ということが次第に明らかになってきた。ホッと胸をなでおろした人も多いと思うが、深刻な問題を突きつけられたことは確かだ。ハイテクの世界では、偶然が重なったための (原因不明の) 誤作動は避けられないので、万が一の場合に備えた安全対策が必要だということだ。

今回の J-PARC ハドロン実験施設での事故に関していえば、電磁石が何らかの原因で誤作動し、一過性に強力なビームが照射されたために、安全装置が作動して照射ビームが自動停止した。電源装置をリセットしたところ、正常に復帰したので、警報装置もリセットし実験を継続した。振り返ってみると猛省すべき点はいくつもあるが、この時点では、照射施設内の誰も異常には気づけなかったようだ。しばらくして実験室内の放射能モニターが異常を知らせたが、放射線量は法令で定める許容範囲内だったので、あまり深く考えずに、排気装置を On にして換気をした。ところが、何としたことか、排気装置にフィルターや放射能モニターが付いておらず (初歩的なミス 1!)、放射性物質が屋外 (管理区域外) に漏れ出てしまった (重大な法令違反; 法令では一般公衆を守るために管理区域外への放射性物質の放出には厳しい制限が課されている)。研究チームは、彼らの実験条件では、そもそも標的が熱で気化することはなく、従って放射性物質が屋外 (管理区域外) へはおろか、

実験室内 (管理区域内) へも拡散することはありえないと考えていたので、実験しやすさを優先し、ビームの標的を密閉していなかった (初歩的なミス 2!)。ところが、上記電磁石の誤作動で通常より 260 倍も強力なビームが照射され、標的が溶け、一部が蒸発した。結果的に、室内で作業していた研究者 (34 名) が蒸発した放射性物質を肺に吸い込み、許容範囲とはいえ、内部被曝してしまった。

電磁石が、故障ではなく、一瞬だけ誤作動するという全くの想定外のことが引き金となって、予想もしていなかった事故が起きたわけだが、専門家の間では今でも“考えられない誤作動”で、原因の究明は難しいと見られている。ハイテクを駆使した複雑な制御系に潜む危険にいかに対処するかを問いかけた意味でも、この事故は重く受け止めなければならない。身近な例にたとえば、私たちが使っているパソコンは時々原因不明でフリーズする。リセットすると正常に動き出すので、あまり気にせずに仕事を続ける。慣れもあってか、現場にいた研究者たちはこれと似た精神状態に陥ってしまっていたようだ。他山の石としよう。

山本さんは 1992 年に本学の 3 類に入学し、高分子工学科に進んだ。卒研では野瀬研究室で「液晶性高分子の相転移構造」に関する研究を行った。大学院は原子核工学専攻に進み、井頭研究室で「^{151,153}Eu の中性子捕獲反応断面積」に関する研究に従事した。もともと物理が好きだったが、英語が苦手だったために、多少回り道をする形になったが最終的には、好きな分野で仕事をするのができた。1999 年に日本原子力研究所に入り、中性子研究センターに配属された。人生の回り道も、シンクロトロン加速器の回り道と同じように山本さんをパワーアップしてくれたのかも知れない。

当時、東海村の日本原子力研究所では、「中性子科学研究計画」を立てていた。中性子科学研究計画とは、高レベル放射性廃棄物から長寿命核を取り出し、それに加速器からのビームを照射して、短

寿命核または非放射性の核種に変換（消滅処理）することにより、放射性廃棄物を処分することが技術的及び経済的に可能かどうかを検証しようとする計画である。また、核変換以外の用途として、加速器の陽子ビームをターゲットに当てて発生させた中性子を用い、タンパク質やセラミックスの構造解析を行う物質生命研究も並行して検討されていた。特にタンパク質の構造決定に使われている X 線結晶回折では水素原子が見えないが、中性子では水素がよく見えるので生命科学の進展にも大きく寄与するものだ。

同じころ筑波の高エネルギー加速器研究機構（KEK, 前身は高エネルギー物理学研究所）では、「大型ハドロン計画」を練っていた。この計画では、大強度の陽子加速器により生成される種々の 2 次粒子を用いて、1) ニュートリノ振動を含む素粒子物理、2) ミュオン科学、3) 中性子を用いた物質科学、4) 未踏の領域を探る不安定核物理等の研究を推進しようとしており、50 GeV という大型シンクロトロン（円形加速器）を必要としていた。

いずれの計画にもゴーサインを出したいところだが、加速器建設という数千億円単位でお金が必要となる。いくつも作れないので、上記の加速器計画を統合する案が浮上した。その間に、以下のように日本原子力研究所自体もより大きな日本原子力研究開発機構に組み込まれた。

2005 年に、日本原子力研究所と核燃料サイクル開発機構が統合され、現在の日本原子力研究開発機構が発足した。今回の話の舞台となる「大強度陽子加速器施設（J-PARC, Japan Proton Accelerator Research Complex）」は、筑波の高エネルギー加速器研究機構（KEK）と東海村の日本原子力研究開発機構（JAEA）が共同で建設・運営している。加速器の建設には莫大な費用がかかるので、一ヶ所に統合しようという政策に従ったものだ（J-PARC は約 2000 億円）。2008 年に第 1 期施設が完成し、運用を開始していたが、2011 年 3 月 11 日の地震で大きなダメージを受けた。完全復旧は困難であるが何とか妥協できるレベルまでの復旧を成し遂げ、世界最高性能・最先端の研究施設にすべくパワーアップ中である。第 2 期施設（核変換実験施設）は未着工。

山本さんの解説に従って、加速器の原理と J-PARC を構成する 3 種の加速器（図 1 の白線・白文字）及び 4 つの実験施設（図 1 のピンク）を

説明したいところだが、専門外の私には難しい。とにかく目に見えない一番小さな原子核や素粒子を目に見えるようにするための巨大装置が J-PARC で、陽子（H⁺）を光の速さ近くまで加速し、標的にぶつけ、衝撃によって飛び出してくる 2 次粒子（中性子・ミュオン・K 中間子・ニュートリノなど）を利用する施設群のようだ。山本さんは 3 GeV シンクロトロンの設計と立ち上げを担当した。

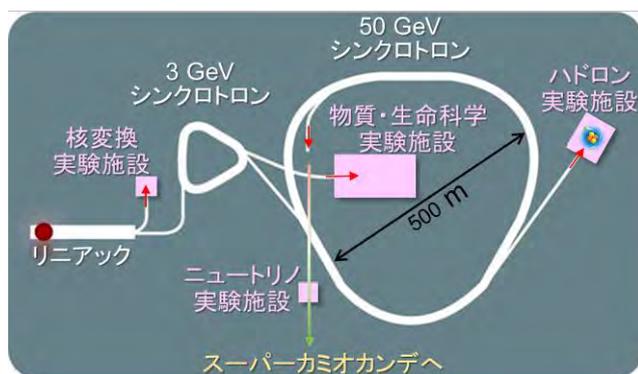


図 1. J-PARC を構成する加速器群と実験施設群の模式図



図 2. 東海村 J-PARC の航空写真(左上に海が見える)

加速器といえば、テレビのブラウン管が分り易い。電子銃内で加速された電子（e⁻）が磁場/電場で曲げられ、画面に当たって蛍光を発する。電子は軽く、加速しやすいので比較的簡単に光速に近づけることができるが、陽子となると電子に比べ約 1800 倍も重く、加速が容易でない。重い陽子を加

速して光速に近づけるには種々の工夫がいるというわけだ。陽子シンクロトロンは、陽子の進行方向を多数の磁石を並べて制御するとともにビームが分散しないように集束させることにより、陽子を(円形の)周回コースに閉じ込め、グルグル何度も回すことにより加速する仕組みだ(3 GeVのエネルギーを付与するには約1万4千回の周回が必要になる)。この周回路に陽子を打ち込むための大型イオン銃が線形加速器(リニアック, linac)と思えばいい。しかしシンクロトロン内を回る陽子集団に同じ場所に何度も重ねて注入(蓄積注入)するのは難しい。そこで、リニアックではシンクロトロン内の陽子(H⁺)と反対の電荷をもつ負水素(H⁻)を加速し、磁場中で逆符号の電荷をもった粒子は反対に曲げられるのを利用して、周回中の陽子群の通過にタイミングを合わせてシンクロトロンに向けて射ち込み、直後に薄い炭素膜(電荷変換フォイル)を通過させて余分な電子を引抜き陽子にする(H⁻ → H⁺ + 2 e⁻)という離れ業を使っている。

原理はともあれ、実際には陽子ビームを磁場で集束させ、うまくコントロールすることによって、いかに周回路(高真空に保たれた金属製のパイプライン)の壁にぶつからないようにするかが腕の見せ所となる。壁への衝突はビームロスになるばかりでなく、危険な放射線を発生させるからだ。山本さんは、このビームロス問題とそれに伴い発生する放射線の防御問題で成果を上げ、3 GeVシンクロトロンの高度なビーム調整に貢献するとともに、それらの成果をまとめて2007年に総合研究大学院大学(注2)で博士号を取得した。

これまでの14年間に及ぶ経験を通して山本さんが思うのは次のようなことだ：①想像以上に色々な仕事に携わった(機器の搬入、遮蔽構造や非常時の退避通路等を考慮した建屋の設計、冷却水や空調の概念設計など) <目標達成のためには、どんな仕事でも、これはオレの仕事ではないといっではいけないようだ>；②作業時の安全確保のためのリスクアセスメントや工事管理の重要性；③予算確保のための申請書作りや折衝の大切さ；④英語は慣れだが、ある程度は勉強しておかないと辛い目に会う；⑤英語の論文はある程度の数をこなせば、読むのがしんどくなる。学生時代は、論文をコピーすると安心して机の上に積みあげるだけであまり読まなかった。「コピーした論文のせめて半分でも読め」と先生に怒られたそう。

山本さんは、「語学の上達は、接した時間に比例するので、学生時代から勉強しておきなさい」と(反省を込めて)言いたかったに違いない。そういえば前回の講師(栗橋さん)も、南米を4か月旅した時、いつの間にかスペイン語が分るようになっていたと話していた。

山本さんの話を聞きながら思い出したことがある。私が筑波大学に勤め始めた1980年ごろに、近くにあった高エネルギー物理学研究所(KEK, 現在の高エネルギー加速器研究機構)の一般公開に出かけた。加速器のビームラインが設置された地下トンネルにも入れてもらった。ガスのパイプラインのような配管を見て、加速機でなく加速器と書かれる訳がわかった。建設費を聞いて、ビッグサイエンスは金食い虫だと驚いた(当時は、若気の至りで、物理学者は頭の使い方が足りないからお金がかかるのだと思わなくもなかった~~==~~ごめんなさい；今は、東京ディズニーランド(年間1000億円以上)と比べれば安いものだと思う)。加速器の建設によって真空技術などが格段に進歩するので、予算の無駄使いではないとのことだった。もう一つ驚いたのは電気を食うということだ。多少オーバーな表現かもしれないが、加速器をフル稼働させると、その時間に茨城県の全家庭で使うのと同じだけの電気を使うというのだ。J-PARCも同様に大量の電気を使うので、夏場の3カ月は運転を見合わせ、設備点検にあてているそう。電気代だけでも数十億円近い。

最後に山本さんのメッセージを見ておこう。① J-PARCではKEKで培われた過去の経験を生かし、世界最高レベルの加速器を構築し、着実に成果を上げてきた。しかし、②これまで成功してきた経験を過信し安全評価が甘くなった結果、重大事故を起こしてしまった。③現状でうまくいっていても、様々な状況を想定して、どのようにするべきかを考えることが重要だ。本印象記の冒頭で述べた事故を分析して、山本さんが思うのは、成功体験に潜みがちな“慢心”の怖さだ。成功体験を重ねていくとどうしても気が緩む。同じことを繰り返しているうちはそれでもいいが、規模が大きくなる時は、これまでとは全く違う世界(手ごわい相手)が待っていると思って対処する必要がある。事故が起きたJ-PARCのハドロン実験施設の場合は、従来のものに比べ桁違いに高出力となっていたにもかかわらず、基本的な安全対策が抜け落ちていた。事故が起きて初めて、「どうしてこ

んな基本的なことが…」となってしまった。起こる確率は低いが高テクマシンの誤作動は避けられない。誤作動が事故につながらないようにするにはどうしたらいいか。難しい問題だ。高テクといわれる先端技術は、誤作動を前提とする安全設計が必要な領域に入りつつあるようだ。

(注1) J-PARC ハドロン実験施設における事故について【Web site からの引用】

(J-PARC センター長から皆様へ)

J-PARC では、5月23日、50 GeV シンクロトロンのビーム取り出し装置の誤作動により、陽子ビームが想定を超えた短時間に集中してハドロン実験施設の金標的に照射されました。その結果、標的が高温となり、その一部が蒸発した可能性があり、生成された放射性物質がハドロン実験施設内に漏えいし、同施設内で実験作業中であった研究者等多数の方が内部被曝を受けました。▼また、実験ホール上部に設置してある排風ファンを稼働したことにより、放射性物質を施設周辺に漏えいさせる結果となりました。原子力科学研究所周辺に設置されているモニタリングポストは通常の変動範囲内であったものの、核燃料サイクル工学研究所のモニタリングポスト(2箇所)及びモニタリングステーション(1箇所)においては、通常の変動範囲を超える一時的な線量率の上昇が確認されました。尚、環境へ放出された放射性物質の量については、現在精査中です。▼今回の事故についての調査、確認、判断の遅れにより、周辺地方公共団体および関係省庁等への通報連絡が大きく遅れ、関係者の皆さま、周辺住民の皆さまに大変なご迷惑とご心配をおかけいたしましたこと、深くお詫び申し上げます。▼

J-PARC としては、在ってはならない事故であり、社会的かつ道義的責任を重く受け止めております。これまで多くの方に、最先端のサイエンスの創造を目指して J-PARC プロジェクトへの期待と支援を頂いてきました。失われた信頼を取り戻すために、もう一度原点に立ち返り、関係各省庁の指導のもと、日本原子力研究開発機構、高エネルギー加速器研究機構と連携協力し、J-PARC センター構成員一丸となって、事故の原因究明と再発防止に取り組み、1日も早い信頼回復に努めていく所存です。

(下線は筆者。いかにも官僚的で、この一語でせっかくの詫び状が台無しだ;国民に詫びるふりをして、実は上司に詫びていることになってしまう。単に「関係各省庁はじめ…」と連携協力して…」とすべきところだ。)

(注2) 総合研究大学院大学：高エネルギー加速器研究機構，人間文化研究機構，自然科学研究機構，情報・システム研究機構などの大学共同利用機関法人が運営する大学院大学。現在本部は葉山町の湘南国際村にあるが設立当初（1988～1995）は本学のすずかけ台キャンパスに間借りしていた。

本ゼミで話をして欲しいと願っていた吉田昌郎（元 福島第一原子力発電所 所長）が2013年7月9日に食道がんで亡くなった（58歳）。地震と津波で壊滅的な打撃を受けた原子炉を最悪の事態から守ろうと現場で死力を尽くした。危機に直面したときどう行動するか；教えられることが多かった。

(東京工業大学 博物館 資史料館部門 特命教授 広瀬茂久)