

インタビュー

2 「国内市場に安住していた成功体験からの脱却が必要」



原子力委員
大庭三枝氏に聞く

専門の国際政治の視点をふまえた原子力をめぐる動向の分析と、「門外漢」だった立場から見た原子力の世界の印象を聞いた。

時論

7 原子力開発と地域振興

原子力開発を進めるためには、立地地域を振興する支援策の充実が必要となる。 入江一友

羅針盤

9 「電子紙芝居」の落とし穴 伊奈久喜

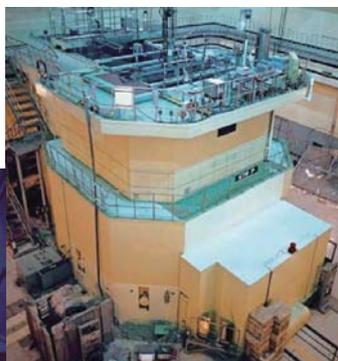
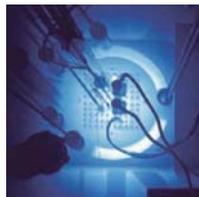
解説 「匠」たちの足跡 第3回

26 王禅寺センタ今昔物語 —輝かしきパイオニア研究炉の軌跡

国産原子炉として初めて臨界に達した日立グループの教育訓練用原子炉(HTR)。同炉は軽水炉が持つ固有の安全性研究や国内初の脳腫瘍治療照射、技術者の教育訓練など、研究炉のパイオニアとして貢献した。

蒲生秀穂, 富永研司, 青井正勝

HTR 外観と炉心の
チェレンコフ光



表紙の絵 「雪の参道」 石山 実

第41回「日展」へ出展された作品を掲載いたします。(表紙装丁は鈴木 新氏)

取材地は出羽三山の一つ羽黒山にある杉並木の参道です。冬場は参拝者が少なく、数百年を経た老杉群がおりなすこの時期の神々しさと凜とした光景に圧倒されつつ描いています。

巻頭言

1 放射線科学の統合に向けて

米倉義晴

シリーズ解説

我が国の最先端研究開発

No. 25 放射線医学総合研究所
(第1回)

21 放射線科学を支える研究基盤技術 —細胞から宇宙までを対象にした開発研究

放射線と人々の健康に関わる総合的な研究開発に取り組む放射線医学総合研究所。今回はその研究基盤を提供している基盤技術センターが手がける放射線計測技術と放射線発生・照射技術、実験動物技術などについて紹介する。

日下部正志, 白川芳幸

解説 みんなでわかってシリーズ

31 時空の創生：超弦理論から 原子核へ(3/最終回)陽子・中性子： 仮想高次元重力

超弦理論という精緻な数学体系を用いると、クォークの物理学は仮想的重力理論で置き換わり、様々な物理量が計算可能となる。最終回の今回は、原子核物理学の基礎への超弦理論の応用を紹介する。

橋本幸士

解説

36 放射性廃棄物処分の放射線防護 の最適化—処分システムの頑健性確保 に係るガイドラインの策定に向けて

放射線防護の最適化を実現するために、利用可能な最良の技術を適用したガイドライン策定に向けて、学会に提言を行う。

川上博人, 青木広臣, 鈴木篤之

42 水の新たな姿を明らかに —高温高圧領域への挑戦

高温高圧下にある水の分子は高速に回転するため、水素結合が安定に形成されず、分子の配列が単純液体のようになることが明らかになった。

池田隆司, 片山芳則

45 「重い電子」が作るフェルミ面の共鳴角 度分解光電子分光法による直接観測

金属中で電気伝導を担う電子と磁性を担う局在電子の間に強い相互作用が働いて混じり合うと、見かけ上重くなった電子が現れる。それがフェルミ面を作っていることを観測することに成功した。

岡根哲夫

特別寄稿

48 「日米原子力協定の成立経緯と今後の問題点」(遠藤哲也著)を巡って

1988年に発効した日米原子力協定。協定締結に至るまでの交渉の過程を記したこの本は、日米の原子力外交史の一側面を鋭く切り取ったものとなっている。

坂田東一

連載講座 実験炉物理(6)未来へのメッセージ 次世代の安全基盤の確立に向けて

50 JAEA の高速炉体系炉物理実験

JAEA はこれまで、高速炉系臨界集合体を用いた炉物理実験や、実験炉と原型炉の運転を実施。さらに実証炉の設計開発を手がけている。

岡嶋成晃

原子力外交シリーズ(3)

56 原子力協定

長沼善太郎, 遠藤哲也

活動報告

58 日本エネルギー環境教育学会第5回全国大会概要報告

藤本 登

60 研究者とともに学び、体験する—地層処分をテーマに親子ワークショップ

郡司郁子



会議報告

61 ダイヤの原石発掘プロジェクト—WiN-Japan 女子大生交流会 in 自由が丘

森崎利恵子, 上西紗耶加

62 応用加速器・関連技術研究シンポジウム—医療と先端科学技術開発への応用トピックス

服部俊幸

63 安全かつ安心な放射性廃棄物処分の実現に必要な長い道のりと広いつながり—第13回環境修復・放射性廃棄物管理国際会議(ICEM 2010)

北村 暁, 武田聖司

談話室

64 OECD/NEA 原子力施設安全委員会を目指したもの

阿部清治

10 NEWS

- ベトナム原発2基建設で日本・ベトナム首脳が声明
- 原発受注に向け国際原子力開発が発足
- 総合科技会議が優先度判定
- 特別会計事業仕分け、「1～2割の縮減を」
- 保安院、多様なステークホルダーと議論
- 東通1号機、16か月運転へ延長計画を発表
- 日本原燃、MOX燃料加工施設が着工
- 原子力機構、米からのHTTR利用委託研究を受託
- 日韓がJ-PARCで覚書締結
- 東大と原子力機構、中性子科学研究で協力
- 日米仏がナトリウム冷却高速炉の協力で覚書
- 原産が原子力損害賠償制度の小冊子を配布
- 海外ニュース

未来型リーダーシップを拓く⑤

66 日韓サマーセミナー「保健物理・環境科学2010」印象記

20年後のアジアにおける原子力研究の担い手が1週間、苦楽を共にした。

里藤裕隆

Relay Essay ドナウ川の畔から(8)

68 私の周りをウィーンが回る

伊東明美

ジャーナリストの視点

70 伝えたい平和利用の使命感と誇り

鈴木誠之

20 会告 新法人移行に伴う代議員選挙に係わる代議員の候補の推薦について

25 新刊紹介『エネルギー問題!』

49 From Editors

71 追悼 内藤奎爾先生の逝去を悼む

72 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、支部便り、英文論文誌(Vol.48, No.1)目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

WEB WEBアンケート

9月号のアンケート結果をお知らせします。(p.69)

学会誌記事の評価をお願いします。<http://genshiryoku.com/enq/>

学会誌ホームページはこちら
<http://www.aesj.or.jp/atomos/>

放射線科学の統合に向けて



放射線医学総合研究所 理事長

米倉 義晴(よねくら・よしはる)

京都大学大学院医学研究科博士課程修了，医学博士。京都大学医学部助教授，福井医科大学高エネルギー医学研究センター教授，放射線医学総合研究所分子イメージング研究センター長などを経て，2006年より現職。

放射線医学総合研究所(放医研)は，1957年の設立以来一貫して，放射線による人体への影響と放射線による障害の予防，診断，治療，並びに放射線の医学利用に関する研究開発を行ってきました。原子力や放射線の利用にともなう障害から人々をまもるとともに，放射線を積極的に利用して国民の健康に役立てることをめざしています。このように，放射線の防護と利用の両面からの研究開発を行っている研究機関は世界的にもユニークな存在です。

放医研が設立された1957年は，原子力の平和利用を促進する国際機関として国際原子力機関(IAEA)が設立された年でもあります。IAEAと放医研はお互いに共通する使命を担っており，これまでも多くの連携協力を行ってきました。2006年から「低線量放射線の生物影響」の分野でIAEA協働センターの指定を受けて活動してきましたが，2010年からはその成果を引き継いでこれを拡大し，これまでの生物影響に加えて「重粒子線がん治療」と「分子イメージング」の研究分野を含めて，総合的な連携協力の枠組みのもとに研究開発と人材育成を行う活動を開始しています。このように複数の研究分野においてIAEA協働センターとして指定されるのは，これまでに例がなく世界でも初めてのことです。これは，放医研が進めている放射線科学の総合的研究の意義と，これまでに達成してきた成果が認められたものと考えています。

原子力や放射線の安全を担保する放射線防護研究と，放射線を医学に利用して診断や治療の質を高める研究は，今までそれぞれ個別に進められてきました。しかし，実際には両者はきわめて密接に関連しています。高線量の放射線による障害に対応する被ばく医療は，悪性腫瘍をターゲットとする放射線治療とまさに表裏一体の関係にあります。放射線治療では，正常組織への障害をできるだけ抑えながら，がん細胞のみに高線量を集中させる新しい治療法が開発されています。この治療の過程で，放射線に対する感受性に個人差があることがわかってきました。放射線治療のための基礎生物学の成果は，放射線防護のための新たな展開へと結びつくものと期待されます。一方，CTなど放射線による画像診断の急速な普及によって，医療における放射線の利用は爆発的に増加しています。このために，医療放射線による被ばくの増加が新たな発がんにつながるのではないかの懸念も出てきています。確かに，多くの国において医療被ばくの増加は著しく，米国や日本など，自然放射線による被ばくを超えていると考えられる国もあります。医療被ばくの実態を評価するシステムを構築することが，緊急の課題となっています。

放医研は，「放射線科学を通じて，人々の健康と，安全で安心な社会づくりに貢献する」ことを基本理念としています。今後，IAEA協働センターとしての活動を具体的に実行に移すとともに，これらの活動を通して国内外の専門家の育成に貢献し，放射線科学の幅広い分野を統合する研究を進める中核的な立場を築いていきたいと考えています。

(2010年 10月30日 記)

INTERVIEW



「過去の成功体験からの脱却が必要」

原子力委員会委員 大庭三枝氏に聞く

昨年1月に、原子力委員に就任した大庭三枝氏。インドに対する日本の原子力協力については、「タガをかけた上で現実的に関わっていくことこそが、実質的には核不拡散に寄与できる」と説明。原子力プラントの今後の国際展開については、「国内市場に依存していたビジネスモデルの大きな変革が必要だ」と述べる。専門の国際政治の視点をふまえた原子力をめぐる動向の分析と、「門外漢」だった立場から見た原子力の世界の印象を聞いた。

大庭三枝氏(おおば・みえ)

東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士(学術, 東京大学)。東京大学助手, 東京理科大学工学部専任講師を経て, 東京理科大学工学部准教授。2006~07年, ハーバード大学客員研究員。2010年1月より原子力委員会委員(非常勤)。専門は, 国際関係論, アジア太平洋の国際関係, 特に地域制度・地域主義の形成と発展。

原子力の専門家でないからこそ見えてくることも

—今日は原子力の日です。まずは、原子力との関わりについて。

大庭 原子力との関わりは、まさに原子力委員への就任の打診をうけたのが、その始まりです。

—驚かれたでしょう。

原子力委員を引き受けた時には、それがどれほどのものか、よくわかっていなかったんです。就任が決まった直後、大学にたくさんの祝辞が届き、また今年1月初めの実際の就任後には、電力会社やメーカーの社長、その他研究機関等の長の皆さまが挨拶に来られるなど、回りの反応を見て、改めて自分の置かれている立場がどういうものなのかわかってきたというのが正直なところです。また、就任直後は事務局のスタッフから、国内外の原子力政策および原子力を巡る状況について連日レクチャーを受けねばなりません。これらのことが私のキャパシティを超えてしまったらしく、1月末に、生まれて初めてぎっくり腰になってしまいました。原子力委員会のメルマガでは「知恵ぎっくり腰になった」などと書きましたが。

とはいえ私は、東工大の近くで生まれ育ったので、東工大で原子力の研究が行われていることは知ってしまし

た。また原子力船「むつ」やチェルノブイリ事故のことはよく覚えています。大学3年の時に国際政治を専攻するようになってからは、核不拡散や核戦略にも関心を持つようになりました。

ただし、核問題や原子力政策を専門としたことはありませんでしたので、委員を引き受けることに対しては、大丈夫だろうかと自問することもありました。しかし大学院時代に特にお世話になったさるお二方の先生が、「分野の異なる専門家だからこそ原子力政策について見えてくること、できることがあるだろうから、是非やってみたらよいと思う」と背中を押してくださいまして、非常に勇気づけられました。

アジアと、どう向き合うか

—専門の国際政治について。

私はアジアの国際関係を専門にしており、特にアジアにおける地域制度や地域協力の展開を研究してきました。地域制度や地域協力が進められる中で、アジア諸国間でどのような対立と協調の構図が見られるのか、また地域内のパワーバランスの変化がどのように制度構築や協力の進展あるいは停滞に影響を及ぼしているのか、などに着目しています。今年11月に横浜で首脳会議が開催されたアジア太平洋経済協力(APEC)は、まさにそのような地域制度の例です。

APEC のほかに、東南アジア諸国連合(ASEAN)、ASEAN 地域フォーラム(ARF)、ASEAN+3(ASEAN と日本、中国、韓国で協力していく枠組み)や東アジアサミット(EAS、ないし ASEAN+6、上記の ASEAN+3 のメンバーに豪、NZ、インドが加わっている枠組み)、日中韓三国間協力など現在は様々な枠組みがアジアには併存しています。

—東アジア共同体形成の可能性はどうでしょう？

東アジア共同体の可能性についての検討は、私の研究の射程内です。2007年に、「東アジア共同体」形成の展望について、東京新聞の取材を受けましたが、そのときに「東アジア共同体」を構築するにあたっていくつかの困難があり、中でも中国と日本が同じ価値観を共有できない以上、共同体構築は難しいだろうという見解を述べました。東アジア共同体形成を語る際、経済協力や経済統合のみに話を限定する向きも一部ありますが、本来的には同じ規範や価値観が共有されていないところに「共同体」の形成は無理だと思います。東アジア共同体形成についての展望は、この観点からシビアに考察すべきであると、今でも思っています。

■ インドとは、タガをかけて関わる

—世界各国が原子力発電所を新たに所有しようとしています。核不拡散上の懸念と対策はありませんか。また NPT に加盟していないインドに対して日本が原子力協力をすることには賛否両論があります。

私は、インドの行動が核不拡散体制を実質的に損なわないよう、日本から働きかけタガをかけるという前提の上で、現実的に関わっていくべきだと思っています。日本には、唯一の被爆国という心情と立場があります。核不拡散の観点からすれば、NPT に加盟していないインドに対する「例外扱い」が問題だという考え方も理解できます。しかし、インドの国力、そしてその原子力利用の規模は、すでに無視できるものではありません。

むしろ核実験のモラトリアム維持を約束させた上で日本が協力するという形を取ることで、インドが実質的に核不拡散に寄与していくことを後押しする、というのが現実的なやり方ではないかと思っています。被爆国日本だけはインドへの原子力協力に関わらないという考え方もありまじょうが、それが核不拡散体制の維持に本当に効果があるのかは疑問です。あくまでも核不拡散を損なう行動をインドは採らないということを前提に、インドに協力しつつ、その動きを時にはけん制し、正していくことが大事だと考えています。原子力委員会の見解においても、そのような主旨のことを述べています。

—中国がパキスタンへの支援をしています。商売と軍事を融合させた戦略で動いている現実がありますが。

そういう側面は今の国際社会の現実の一部としてあると思います。さらに、こうした特に新興国・途上国を中

心とする戦略的行動を批判していても始まらないともいえます。国際政治の世界で今、重要なことは、先進国のみならず、このような少々異なる「マナー」のもとで行動する傾向のある新興国や途上国を、いかにして国際的なガバナンスに取り込んでいくかということです。G20がその存在感を増しているのも、そういう世界的な潮流の証左です。

—日本と中国を軸に、東アジアをまとめていくのでしょうか。

今、東アジアにおいては通貨協力や食料安全保障協力のスキームが進展しつつあります。また、地域における自由貿易圏構想もいくつか検討されています。本来ならば、日本と中国がこうした東アジア協力を主導していくことが、地域の安定と繁栄につながる最善の道だと思います。けれども、現実にはそう簡単ではなく、日中関係はどうしても競争や競合、場合によっては最近の尖閣諸島の問題に見られるように対立にまで発展してしまう。ASEAN は中小国連合ですが、日中という対立しがちな関係に対して接着剤や緩衝剤として機能している、すなわち ASEAN という存在があるからなんとかこの二国を含む東アジアがまとまりを維持しているという側面がありますね。

また、中国が原子力発電のさらなる導入に乗り出しています。また中国のみならずベトナムなど東南アジア諸国の一部にも原子力発電の導入に積極的な姿勢をとる国が現れています。こうした現実を踏まえ、原子力に関する地域協力の具体的なスキームをどのように構築していくか、それに日本がどのように関与していくかは、今後の課題だと思います。



「日本の原子力ビジネスのモデルは、大きかった国内市場に依存してきた。その成功体験からどう脱却して新しいモデルを提示できるかが、勝負です」

国内市場安住から、どう脱却するか

—原子力プラントの海外受注のあり方は？

新規原子力導入国がどこの国に発電所等を発注するかは、技術だけで決まるものではなく、地政学的、戦略的要因が絡んできます。ベトナムがロシアに第一号機の発注を決めた背景に、対中国戦略があるのは明らかでしょう。

日本のビジネスモデルは大きな国内市場の存在を前提として構築されてきました。しかし国際展開に本気で乗り出すならば、それを変える必要があると感じています。

例えば、韓国は1997年に通貨危機を乗り切った時に経済構造の改革—かなり痛みを伴うものですが—を行いました。他方、日本のビジネスモデルは60年代から70年代の成功体験に基づいており、今の人材育成やキャリアシステムのあり方に大きな影響を与えています。こうした二国のこれまでの経験の差が、国際商戦での今日の行動の違いにつながっているのではないかと思います。日本にとっては、“成功した自分達”の記憶からどう脱却して新しいモデルを提示できるかが勝負です。

日本では良いものを作ればうまくいくはずという考え方が根強いですが、技術が優れていれば売れるとは限らない現実に直面しつつあると思います。コストや販売戦略等、様々な要素についてどのように優位に立てるかを考慮した、新しいビジネスモデルを作ることを迫られています。これは、日本人自身がその思考パターンや価値観の一部を変えねばならないということをも意味していると思います。

—従来の日本人の思考パターンを変えるには？

反論が多いことを覚悟で申し上げますと、私は国民性というものあまり信じていません。100年前と今とは、日本社会のあり方も、その中で日本人の価値観や心情も大きく違っています。例えば、終身雇用、年功序列といった日本の「伝統的な」キャリアパスシステムだと認識されているものがありますが、実は戦前の日本ではむしろ同業他社間での転職はそうめずらしいことではなく、ホワイトカラーのキャリアパスも随分違っていました。また、1950年代までの日本の企業間の過当競争を抑えるために護送船団方式が採用されたとも聞いています。ですから、我々が「伝統」とか「国民性」であるとか信じている様々なことは、状況に応じて変わりうると考えています。

キャリアパスの変革を

—価値観の変遷と教育の問題、特に今の若い人達への教育のあり方は？

いま日本社会の抱える最大の問題の一つは、これだけグローバル化が進み、日本企業もその他の組織

も世界に目を向けていかねばならないのに、それらの採用基準やキャリアシステムのあり方が、人々、特に若い世代の人々の目を外に向けさせるような形になっていないことが多いことです。例えば、よく言われていることですが、学生や大学院生が海外の大学や研究機関に行く、日本で就職先を探すのが難しい、というような状況では、若い世代が積極的に外へ出ていく気概が全く失せてしまいます。また、会社に入った後も、海外に派遣されてそこでの業務に従事した経験をきちんと評価するような仕組みがないと、海外業務への派遣に皆、消極的になってしまいます。

教育の目的の原点は、人間一人ひとりが社会の中で自分の立ち位置や場を見つけていくためのものだと思います。そして社会のあり方や、企業やその他の組織におけるキャリアシステムのあり方が、その国の教育のあり方に大きな影響を与えていると思います。もちろん教育の側も、今後日本をより開かれた社会とすること、またそれに見合った人材育成をしていく努力が必要です。しかしながらそれは、企業やその他の日本の組織における従業員のキャリアシステムのあり方や採用基準を変えていくことと対になっていなければならないと思いますね。

—教育を含めた社会システムがまず変わっていかないと、世界的に通用するタフな人材はなかなか育っていかない。

そうですね。私は、教育でもっとも大事なものは、ある事柄について自分の力できちんと調べ、事実関係を把握した上で、自分の主張を筋道を立てて説明し、議論する能力を身につけさせることだと思っています。声高に言い立てるというだけではだめです。事実の裏付けと論理構成がしっかりしていることが、必要です。例えば一次資料、新聞、雑誌、書籍やインターネット等様々なものを利用して人は情報を得るわけですが、それらの情報の性質や善し悪しを見分けるリテラシーが重要です。また、その情報をもとに、自分の主張を論理的に展開するための訓練も必要です。すでに諸外国ではそういうことの重要性が意識された教育が初等教育のうちからなされていると聞きます。日本でも、できれば小学校のうちから、そういった能力を磨いていくような訓練がなされるべきでしょうが、当面はできるところからやっていくしかない。私も今、学生をそのような方向に持っていきようとして努力中です。

日本社会が変化することを受け入れる必要がある

—国際化にあたって、日本が対応すべきことは？

国際化が進むということは、日本人が海外に出て行くとか、外に目を向けることだけを意味していません。海外から多様な人々が多様な価値観や規範、文化を携えて日本にやってきて、我々の隣人になっていくという流れ

が加速することでもあります。そういうなかで、いかに多様な価値観や規範を調整しながら新たなコミュニティを形成できるか、が問われています。

例えば、日本国内では今、中南米から来た方々がたくさん働いています。その子供たちのスペイン語教育への対応などは、日本の中で起こっている国際化の一つの例です。日本は同じ価値観を共有する日本人だけで構成されているという「神話」—私はあえて「神話」といいますが—が実質的に崩れてきています。そして、その流れを止めることは、不可能です。日本自身が変化をしていくことを受け入れ、それに柔軟に対応し、むしろ変化の波に乗っていくことが重要だと思っています。

高レベル対策では、各国とも苦勞している

—欧州の廃棄物処分の現状を視察されました。日本との違いについて。

各国に基本的な違いはないと思います。どの国も、廃棄物処分サイトの選定には大変苦勞しています。共通している課題は、国民の声を取り入れた上で、公正かつ公平な決定でサイト選定を行ったと言えるような仕組みをいかに構築するかでしょう。各国とも技術的な安全性の担保という面に加え、廃棄物処分場を作るということへの社会的受容の確保に苦心しているのは同じだと思います。サイトの選定までのプロセスについての仕組みがどれだけ整っているか、それに則って実際にプロセスはどこまで進んでいるのかで、違いがでてきていますが、この問題について各国が抱えている問題の本質や課題は変わらないと思っています。

また、中央と地方の関係、地方自治のありかたは国に



「原子力の分野には、専門家の中でだけ閉じた“専門島”がたくさんあると思う。“島”とは、外との行き来が途絶えている世界です」

よって違いが見られます。そのことがサイトの選定動向に深く関わっていると感じました。

—日本では安全かどうかの話が先行しています。海外では必ずしもそうでないようですが、日本でそのようなことが可能なのでしょうか。

技術的に100%安全、ということはありません、当然のことが、なぜか受け入れられにくい土壌が日本社会にはあります。また、少なくとも今年、私が視察した国々(英国、フィンランド、フランス、スイス)では、サイトを受け入れるリスクとベネフィットを計算した上で判断すべき、という考え方が強いという印象を受けました。日本では時としてそういう思考も受け入れられにくい。原子力に関わる企業や行政機関のリスク開示も含めた情報公開をいかに進めるかが、原子力に関わる議論を実のあるものにするかどうかの大きな鍵を握ると思います。

原子力“島”からの脱却を

—原子力委員に就任されて10ヶ月たちました。就任当初に思われた“原子力島”についての感想は？

「原子力業界は専門家や利害関係者で構成されている『島』なんだな」と書いた、今年2月に発表した原子力委員会のメルマガの記事を読んでいただいたのですね。ありがとうございます。あのメルマガの記事は、先ほど述べた「知恵ぎっくり腰」から回復して、少しは落ち着いて回りを見る事が出来るようになった頃に書いたものです。

専門家によるコミュニティ=村はどの分野にも存在します。私の所属する国際関係論という分野も「村」であるといえます。ただ、私が原子力「村」ではなく「島」といったのは、原子力の世界が、外との交流が非常に少ない、と感じたからです。先日、私の勤務先である理科大工学部のさる先生から、「原子力業界は工学系の中でも特殊でよくわからないから、がんばれよ」と、肩を叩かれました(笑)。

原子力委員会では、原子力政策大綱の見直しに関するご意見を聞く会を開催しており、私も参加しています。他の原子力委員の先生方は、かつてこのような一般の人々と対話をする場での風当たりが今よりもっときつかったとおっしゃっておられました。もっと外との交流を、肩に力を入れずに行えるような状況が整いつつあるのかも知れません。そういう流れに乗っていきたいですね。

—原子力委員会をもっと知ってもらうためにアプローチは？

議事録をHP上になるべく早く掲載するなど、情報開示の努力をしています。一般の方々への情報発信という点からすると、マスメディアの果たす役割は非常に重要です。私は、マスメディアと原子力業界との関係がもっ

と健全になれば良いと思います。マスメディアは、技術的な事柄について理解した上で、報道してほしいと思います。他方、業界の側は、いっそうの透明性の向上と情報開示が求められるでしょう。

—マスメディアは、問題提起ができれば成功だと思う面があります。そこにギャップがある。

問題を提起するというマスメディアの機能は、良いと思います。ただしそれが、技術的な正しさを踏まえているかどうかが重要だと思うのです。日本の言論では“言いつばなし”が許されてしまう傾向があります。客観的事実の把握とその担保がとられていることが必要ではないでしょうか。

—原子力業界のここがこうなればもっといいなということは？

ビジネスと研究開発は、当然つながっているものですが、便宜上ここでは分けてお話ししたいと思います。研究開発は、予算が厳しい状況にある。その中で基礎・基盤研究と、プロジェクト研究のバランスをとりながら中長期的視点で進めていくべきだと考えています。人材育



成については、国内の大学間のみならず、世界の大学や研究機関との連携を強化していくことが大事だと思います。

ビジネスの面では、メーカーや電力の意識が変わるといいのではないかと考えています。原子力分野ではメーカーが、国や電力会社などの公的部門からの受注に頼ってきた側面が強かったようです。しかしながら、今後本気で国際展開を考えるのであれば、前述したように、新しいビジネスモデルの下での変革が必要になってくるだろうと思います。そのことが、原子力を超え、日本社会そのものの変革につながっていくだろうと思います。

—最後に、原子力界の若手・学生への期待を。

原子力業界の若手や学生の方々には、ぜひ楽しみながら視野を広げてほしいですね。具体的には、例えば専門外のような研究分野の知識を取り入れていくとか。理系の他の分野についてのみならず、政治・経済・法等の社会科学系、歴史・文学・文化人類学などなど、なんでもいい。とにかく自分のアンテナに引っかかりそうなことについての本を読んだり、インターネットで調べたりとやり方はいろいろありますよね。また、堅苦しくいかにも「勉強」するというだけでなく、映画や芝居、コンサート、落語などに行くとか、あるいはお酒が好きならいろんな種類のお酒があるバーに行ってみるとか、時間があるならどこか旅に出るとか。研究作業を進め、まとめ上げようとするときには自分の専門の事柄のみに没頭しますよね。それが当然です。だから力を抜けるときにはいろいろな場で「遊んで」みることをおすすめします。自分が目の前で取り組んでいることが、また別の角度から見えてくるのがきっとあると思いますし、若い人々がそのような視野をもつことが、長期的に原子力「島」がより開かれた場になっていくことに大きく貢献すると思っています。

聞き手 佐田 務(本誌)

(編集協力：澤田哲生，近藤吉明)



原子力開発と地域振興



入江 一友(いりえ・かずとも)

原子力安全基盤機構 特任参事・東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻教授(委嘱)

1979年、通商産業省入省。資源エネルギー庁電源立地対策室長、原子力発電課長、経済産業省原子力安全・保安院放射性廃棄物規制課長等を経て、2008年4月から現職。京都大学博士(エネルギー科学)

はじめに

原子力開発に関わる人々が原子力施設の立地地域間をランニングとサイクリングで結んでいくイベント「つーる de アトム」に関わって3年になる。世界各国の原子力関係者が走りつつ交流を図る「マキシマラソン」の第13回を2008年に京都市・福井県高浜町間で開催したことが発足のきっかけとなった。第1回の2009年は福井県内を高浜町から敦賀市まで辿った。第2回の2010年は、福井市を中継点として敦賀市から石川県志賀町までをつなぎ、自分自身は10月24日に金沢市以降の区間をバスで伴走して応援したが、最後の2.5 km だけはウォーキングに参加させてもらった。

このイベントに関わった動機には、原子力施設立地地域を再訪してみたいという気持ちが強かった。今から15年以上も前になるが、原子力発電所などの大規模電源の立地促進のため、立地地域の振興を支援する業務に携わった経験がある。その頃訪れた各市町村が現在どのようになっているかを今一度見ておきたいと思った。

電源立地地域振興支援策の必要性

電源立地地域振興の支援に携わった頃、政府がなぜ支援策を講じなければならないかをあらためて考えてみた。その結論は、後に文章にもまとめたが^{a)}、「電源立地が地元地域に及ぼす地域振興の効果が相対的に小さいこと」に尽きると思われた。

発電所の建設自体は巨大プロジェクトであり、建設期間中は地元経済への波及効果が大きいですが、いったん建設が完了し、操業を開始すると、雇用吸収力はきわめて小さくなる。点検・補修に比較的多くの人員を要する原子力の場合でも、100万 kW の発電所で600人程度の雇用しか生み出さないと、当時試算されていた。

また、当初の固定資産税収は大きいですが、製造業の工場のように継続的な設備更新、追加投資が期待しにくいので、年月とともに税収は減っていく。発電燃料は国内遠隔地か海外から直接搬入され、その他の資材でもめぼし

^{a)}入江一友著、「電園都市」の創造 電源地域市町村の新たな挑戦(1995年、日本地域社会研究所)、第1章。

いものではなく、地元で発電所向けの関連原材料産業が発展する可能性は小さい。他方、「製品」である電気は、送電線を通じてただちに「出荷」され、立地地域だからといって安価に入手できるわけではないから、地元に関連2次産業が成立する可能性はない。

発電所の港湾は通常、専用港湾であって他産業は利用できず、製品出荷用の道路の整備が進むわけでもないから、インフラストラクチャーの整備で他の工場や地元住民が利益を受けることも、ただちには起こらない。

このような地域振興効果の小ささを補って、立地地点確保のために製造業の工場や観光施設と競争していくためには、別途の地域振興支援策が必要となる。立地主体である電力会社が支援策を講じるといっても、民間企業ができることには制約がある。そこで、国が特別に税金を課して消費者に一定の資金負担をお願いし、それを財源に電源地域の振興に政策的な支援を行い、発電所の立地が円滑に進むよう施策を講じる必要が生じる。自分なりにこのように整理して、各立地地域の振興支援に取り組んでいった。

原子力立地地域振興を巡る状況

国の電源立地地域振興策の必要性については、当時考えていたことと基本的な構図は変わっていないと思うが、特に原子力については状況の変化も見られる。概して振興策の必要性を高める方向へ状況は変化しているのではない。

地域振興策の必要性を高める変化の第1は、平成に入って進められた市町村の大合併である。原子力発電所の立地市町村でも、近隣市町村と合併したところはいくつかある。隣接市町村が合併し、その範囲が広がったところもある。地元と認識される地域が広がることで、その振興に要する費用も一般には増大せざるをえないであろう。従来通りの財政措置では効果が薄まり、地域振興のメリットも減ってしまう。

第2の変化は、原子力発電所の操業中の雇用創出効果がさらに下がる可能性があることである。2009年1月から導入された新検査制度の下では、日常の保全活動を充

実させることにより、これまで13か月を超えない範囲で義務づけられていた定期検査の間隔について、点検時の設備の状態に基づき24か月以内で柔軟に設定できる道が開かれた。発電炉の起動停止を減らすことで安全性の向上にも寄与すると期待されるが、反面、時期によっては検査に要する人員が減少し、継続的な雇用創出力が弱まる可能性がある。

第3の変化は、やや逆説的になるが、国の支援策によって立地地域においても道路などのインフラストラクチャが整備され、以前よりは製造業の工場なども立地しやすくなったことである。原子力発電所の新設時に比べ、増設時、特に土地の買い増しなどが必要となる場合には、他産業の工場等との競争が厳しくなることが予想される。

逆に、日本の製造業が積極的に海外に展開していることは、国内での工場立地を減らし、原子力発電所と工場との立地競争を緩和して、電源地域振興策の必要性を低めるかもしれない。ただし、技術流出等の海外操業のリスクを恐れて、製造ラインが国内に回帰する傾向も見られる。原子力立地地域振興の手綱を緩めてよいか、慎重な見極めが必要であろう。

国の支援策の動向

エネルギー安全保障と地球環境保全の観点から、原子力発電が大きな役割を担うことが期待されている。2010年6月に経済産業省が発表した「原子力発電推進行動計画」では、「2020年までに、9基の原子力発電所の新增設(設備利用率約85%)を実現することを目指す」とされ、さらに「2030年までに、少なくとも14基以上の原子力発電所の新增設(設備利用率約90%)を実現することを目指す」と決められている。

持続可能な成長のために原子力開発が期待されているわけであるが、その原子力開発自体も持続可能なものでなければならない。原子力発電所やそれを支える核燃料サイクル施設の立地が円滑に進むよう立地地域の振興を進めていく必要がある。

電源地域振興策の大きな柱となってきたのは、エネルギー対策特別会計・電源開発促進勘定の電源立地地域対策交付金による公共用施設の整備等である。行政刷新会議は特別会計を対象とする事業仕分け第3弾の中で、10月29日、高速増殖原型炉「もんじゅ」に係わる電源立地地

域対策交付金を組上に載せ、他の3事業とともに「1割～2割を目処に全体として予算の圧縮を図る」と結論づけた。電源立地地域対策交付金については経済産業省所管分も同じようなところがあるだろうと判断され、「同様に精査」することが求められた。

ただし、原子力施設については、上述の通り従来以上に地域振興策の必要性が高まっていると思われる。こうした事情をよく勘案し、2011年度予算編成での「精査」においても、原子力立地促進には支障を来さないよう切に望みたい。

また、2000年に「原子力発電施設等立地地域の振興に関する特別措置法」が制定されたが、10年間の時限立法であり、2011年3月末に失効を迎える。同法は、内閣総理大臣を議長とし関係大臣を議員とする原子力立地会議を設置し、知事が作成した原子力発電施設等立地地域の振興に関する計画案を審議して決定したあと、この振興計画に基づく事業に国の負担又は補助の割合の特例を認める仕組みである。原子力施設について、地域振興の必要性が高まっているであろうことを踏まえて、期限が延長されることを期待したい。

おわりに

原子力立地地域の振興に関する議論は一時期よりも下火になっているように思われる。天災の挑戦を受けたたり、制度の見直しが図られたりする中で、原子力施設と地域社会との関係では、安全性の議論やそれに関わるコミュニケーションのあり方に焦点が当たってきた。自分自身の職責も原子力規制の研究・教育が主軸になっているが、関心を寄せてきた原子力社会工学の領域においても、原子力開発と地域振興の関係に関する研究・教育の必要性を再認識すべき時期と思われる。

冒頭紹介した「つーる de アトム」では、2011年に石川県志賀町から新潟県柏崎市までを結ぶ予定である。しかも、第16回マキシマソンを併催する予定となっている。国の原子力立地地域振興策の充実が図られ、原子力開発を契機とする地域振興が着実に進んでいる姿を、来日した各国のランナーに紹介できることを今から念願している。

(本稿の意見にわたる部分は筆者の個人的見解である。)

(2010年 11月17日 記)



「電子紙芝居」の落とし穴

日本経済新聞 特別編集委員 伊奈 久喜

我が家にテレビが来たのは、1957年だったと思う。幼いころの最も古い記憶のひとつは、日本テレビで放送していた「テレビのおばさま」という朝の番組を心待ちにしていた四歳の自分だった。半世紀以上も前の話である。当時、テレビは「電気紙芝居」と呼ばれた。今は死語だろう。紙芝居それ自体が、ほぼ半世紀前に消えてしまっている。記者は、公園で駄菓子を買って、紙芝居を見た最後の日本人の一群に属する。

テレビが電気紙芝居なら、最近はやりのパワーポイントは「電子紙芝居」である。テレビ画面が連続的なのに対し、パワーポイントはページをめくるように、非連続的に画面が変わる。より紙芝居に近い。

本誌読者のような理科系の人たちの中では、プレゼンテーションにパワーポイントを使うのが常識だろう。たくさんのデータや情報を映像、画像、表、グラフなどの形で視覚的に示せる。便利なツールであるのは間違いない。こうした「定説」を疑うのがジャーナリストの仕事である。個人的な話に終始するのをお許し願いたい。

記者は、東京と京都の大学で、現代国際政治論のような内容の話をする時間を持ち、学生のみなさんとの議論を楽しんでいる。

それほど頻繁ではないが、講演もする。聴衆は比較的専門家に近い人たちである場合もあれば、そうでない場合もある。聴衆によって使い分けをしなければいけないのだろうが、それが本業ではないので、いつもA4判の一枚紙を配り、手元に置いてもらって話を聞いてもらう。大学の講義でも、一枚紙のレジメを配る。

紙には、起・承・転・結、あるいは結・起・承・転・結となるような章立てをし、小見出しを書き、それぞれの章に話すべき中身に関するキーワードを並べておく。データとなる数字は必要があれば、書いておくけれど、多くのデータを一枚紙におさめるのは無理であり、そこで求められるのは、一枚紙という限られた平面のなかで表現できる論理性だと思っている。

先日、比較的年配者の多い勉強会で話をする機会があった。ワシントンで外交官、記者、ビジネスマンとして仕事をしてきた人たちだから、記者の話す内容に関する

予備知識はある。小さな文字を並べた一枚紙より理解しやすいだろうと思い、パワーポイントに初挑戦してみた。

今さらと思われるだろうが、作業は楽しい。キーワードを並べ、写真や図表を探して貼り付ける。もっともらしい「作品」ができた。

が、大学でこれをやる気にはならないのだ。データが重要な意味を持つ自然科学や経済学では別だろうが、政治は言葉であり、論理だと思うからである。学生にあらかじめ文献を読ませておき、一定の論理に習熟させておけば問題ないが、そうでない場合、電子紙芝居は、情報摂取量を考えれば、問題がある。

一枚紙を手元に置かせて話をし、それをメモに取らせる方がパワーポイントより効率的だと思う。パワーポイントの場合、教室を暗くするのでノートが取りにくい。スクリーンで見せたものを印刷すれば、一枚紙ではすまない。たくさんの紙が必要となる。しかも小さな字で印刷された資料は見にくい。

一枚紙には一覧性があり、パワーポイントにはそれがない。それはネットによるニュースと新聞の違いに似ている。新聞は一覧性があり、編集者が重要と判断したニュースを大きく扱う。ネットのニュースは重要性よりも、発生順であり、後から起きた小さなニュースが一分前に起きた大きなニュースを押しつけることもある。

本誌読者のみなさん、時代遅れの文科系人間のひがみと思われませんか？

(2010年 11月 5日 記)



伊奈 久喜(いな・ひさよし)

1953年生れ。早稲田大学政治経済学部卒。日本経済新聞社に入り、政治部、ワシントン支局記者、米ジョンズ・ホプキンス大学高等国際問題大学院(SAIS)外交政策研究所フェローを経て1994年から論説委員、同副委員長として社説、コラム「春秋」などを執筆、2010年から現職。1993年からコラム「風見鶏」を書き続けている。担当分野は外交・安全保障。98年度ボーン・上田記念国際記者賞を受賞。青山学院大学、聖心女子大学、同志社大学大学院などで教鞭をとる。



このコーナーは各機関および会員からの情報をもとに編集しています。お近くの編集委員(目次欄掲載)または編集委員会 hensyu@aesj.or.jp まで情報をお寄せ下さい。資料提供元の記載のない記事は、編集委員会がまとめたものです。

ベトナム原発2 基建設で日本・ベトナム首脳が共同声明

菅直人首相は10月31日、ベトナムでグエン・タン・ズン首相と首脳会談を行い、ベトナム南東部ニン・トゥアン省に計画される原子力発電所の建設で、「日本をパートナーとする」ことで合意した。両国間の原子力協定締結交渉も実質的合意に達しており、10月22日には電力・メーカー他計13社の出資により、わが国の原子力発電に関わる技術・ノウハウを包括的に提案する「国際原子力開発株式会社」が設立されており、今後、ベトナムでの原子力発電の導入可能性調査、同国からの受注要件を満たすなど正式受注に向けた動きが加速する。

ベトナムでは現在、2020年を皮切りに4基の原子力発電プラントの運転開始を見込んでおり、第1期工事は、2009年にロシアによる2基建設が事実上決定した。日本ではこれまで、制度整備支援や人材育成のための専門家派遣、セミナー・展示会開催などの二国間協力や、アジア原子力協力フォーラムを通じた多国間枠組で、対ベトナム交流を進めてきた。

2007年には、日本原子力発電をフィージビリティ・スタディ実施主体とすることが決定。2008年には両国政府間の協力文書署名がなされるなど、近年、政府・民間一体となったベトナムへの原子力発電導入に向けた働きかけを活発化してきた。今年4月には当時の鳩山由紀夫首相自らがベトナム・ズン首相に対し、原子力発電導入への協力を働きかけるなど、トップセールスも積極的に行ってきた。

今回の首脳会談では、二国間対話の強化、インフラ整備支援をはじめとする経済協力などについて合意、これらは、会談終了後に両首脳が署名した共同声明に盛り込まれた。ベトナムでは、2サイトに100万kW級原子炉を各2基建設する計画だが、ズン首相は、第2サイト(ピンハイ)の原子力発電所建設について、日本をパートナーとして選定したことを表明するとともに、原子力協定の実質的合意に歓迎の意を示した。

(資料提供：日本原子力産業協会)

原発プロジェクト受注に向け、国際原子力開発が発足

原子力発電新規導入国に対し、わが国のプロジェクト受注に向けた提案活動を行う新会社「国際原子力開発株式会社」(JINED)が10月22日に正式発足した。新会社は今後、新興国のニーズを踏まえ、政府による制度整備等の支援を仰ぎつつ、「官民一体体制」での原子力国際展開に向け、重要な役割を担うこととなる。出資構成は、北海道、東北、東京、中部、北陸、関西、中国、四国、九州の電力9社と、東芝、日立製作所、三菱重工業、技術開発を支援する産業革新機構の計13社で、資本は2億円(資本金1億円、資本準備金1億円)。同機構は10%出資する。社長(非常勤)には、東京電力フェローの武黒一郎氏が就任する。

新会社設立について、電気事業連合会の清水正孝会長は10月15日の定例会見で、(1)安全かつ信頼性が

高い原子力発電所の建設・運転・保守のノウハウの海外提供を通じ導入国の安全性・信頼性向上に寄与、(2)日本の原子力産業の技術力や人材の厚みを維持・強化、(3)国産炉の安全運転等に関してより多くの知見を獲得——することで、国内原子力産業の基盤強化・発展にもつながるよう期待した。

当面の取組としては、ベトナム・ニントゥアン省の原子力導入プロジェクト受注に向け、同国のニーズを踏まえた建設計画や人材育成計画の提案などの活動を進めていくが、清水会長は、「わが国原子力の国際プレゼンスを高める重要な試金石」として、今後の受注獲得に意欲を示している。

JINEDは、東京・千代田区内のビルにオフィスを置き、取締役8名(うち常勤1名)、監査役3名、職員9名でスタートすることとなっている。これに

伴い、東京電力は15日、電事連原子力部長の高橋祐治氏の同社への出向を発表、同氏は業務執行取締役役に就任する予定。

同新会社の設立構想が練られる中で、国の関与をどうするかが一つの焦点となったが、産業活力再生特別措置法に基づき設立された特殊株式会社の産業

革新機構(出資金920億1,000万円、うち政府出資820億円)の機能を活用し、産業や組織の壁を超えた「オープン・イノベーション」の考え方にに基づき、中長期の産業資本の提供や役員派遣などが行われることになった。

(同)

総合科技会議が優先度判定、高速炉は「官民一体で推進」

政府の総合科学技術会議は10月22日、2011年度概算要求の科学技術関係施策に対する「優先度判定」を取りまとめた。新規施策には、「S」、「A」、「B」、「C」の4段階評価を、継続施策には、「優先」、「着実」、「減速」などの判定を与え、予算案策定に反映させるもの。

来年度の科学技術関係概算要求総額は3兆6,360億円、そのうち今回の優先度判定は、1億円以上の新規施策と5億円以上の継続施策で、計337件1兆3,511億円相当が対象。評価に際しては一般からの意見公募、有識者ヒアリング、特に若手研究者の参画を得てより客観的に実施したほか、重点施策パッケージ「アクション・プラン」策定などの改善を施し、一層の透明化、重点化、効率化に努めている。

原子力関連では、高速増殖炉サイクル技術について国家基幹技術の位置付けから、段階評価ではなく「詳細な見解付け」として、改善・留意事項を指摘している。総合的見解としては長期的なエネルギーの安定供給、温室効果ガスの排出量削減などへの貢献から、「着実に研究開発を推進し可能な限り早期に実用化することが必要」と評価する一方、関係機関

の明確な役割分担や官民一体となった推進、事業が長期間にわたることから、技術継承や人材育成面での配慮も求めている。さらに「もんじゅ」を巡る国民の不安感などに鑑みて、「特に事故を起こさない万全の管理と対策」に加え、積極的・継続的な広報・広聴活動の必要も強調している。

このほか新規施策では、「核不拡散・核セキュリティ強化のための技術開発」(文部科学省)が、「S」評価を獲得している。本施策について科技会議議員からは「政治的、安全保障には極めて重要」といった期待の意見もあった。

また継続施策では、「重粒子線を用いたがん治療研究」(文科省)が「優先」、使用済み燃料再処理事業高度化補助金、地層処分技術調査等事業、次世代軽水炉等技術開発費補助金、戦略的原子力技術利用高度化推進費補助金(経済産業省)、ITER計画等推進、原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブ、原子力システム研究開発委託費、「高度な3S『人材・技術』を活かした日本発の原子力の世界展開」(文科省)が「着実」となった。

(同)

特別会計事業仕分け、予算は「1～2割の縮減を」

政府の行政刷新会議は10月27日から30日までの4日間、都内で事業仕分け第3弾(前半日程)として、特別会計に焦点を当てて審議を行った。

原子力関連事業では1日目に経産省所管の貿易再保険特別会計を審議し、同特会は廃止し、日本貿易保険(NEXI)に組織統合すべきとの判定を下した。ただ、国家として必要な保証をつけるなど、国が関与できる仕組みは確保すべきとした。

3日目の29日には、07年度に石油特会と電源特会とが統合された「エネルギー対策特別会計」が取り上

げられた。同特会は、石油石炭税と電源開発促進税がまず一般会計に繰り入れられ、そこから「エネルギー需給勘定」と「電源開発促進勘定」に分けられて計上されるもの。電源開発促進勘定はさらに「電源立地対策費」と「電源利用対策費」に分けられる。

今回事業仕分けの対象になったのは、電源立地対策費のうち文部科学省所管の①原子力機構の研究施設対象の地域対策交付金、②原子力・エネルギー教育支援事業交付金、③環境放射能水準調査等委託費、④防災訓練実施調査。評価結果は、政策目的に

真に合致したものに限定するという一方で、まとめて「1割～2割を目途に全体として予算の圧縮を図る」との評決。経産省所管の電源立地地域対策交付金も同様に、目的に沿った縮減を図るべきとした。

電源利用対策費では、①廃止措置・放射性廃棄物研究開発、②高速増殖炉サイクル実用化研究開発――が俎上に載せられた。評定では、「10%を目途に予算要求の圧縮」となった。電源利用対策費全般に

おける財務当局も含めたガバナンスの強化も求めた。電力料金に上乗せされている電源開発促進税が財源に使われていることから、「電気事業者の真のニーズに合致するような研究、その意味では実証・商業炉につながる技術になるような予算の効果的配分を行ってほしい」と付け加えた。

(同)

保安院、多様なステークホルダーと議論

原子力安全・保安院は10月7～8日、原子力安全規制活動の不断の見直しと国民の理解と信頼感の醸成を図るため、「原子力安全規制情報会議」を開催した。50名を超える多様なステークホルダーと規制活動における多くの課題について議論を展開した。

初日には、班目春樹・原子力安全委員会委員長とK・L・スピンスキ米国原子力規制委員会(NRC)委員が基調講演を行った。

班目氏は、「原子力分野のステークホルダー・コミュニケーション——現状と課題」として、一般国民や自治体とのコミュニケーションはもとより、規制当局内部と産業界内部や業種間・組織間・組織内部でのコミュニケーションがとれていないと問題提起をして、原子力安全委員会も産業界や規制当局との円滑なコミュニケーションを行いたいと述べた。

スピンスキ氏は、NRCの規制の原則は、①独立性、②オープンであること、③効率性、④明確さ、⑤信頼性——であると紹介し、規制プロセスのすべての段階で一般との対話の機会を開いて安心につなげていく取組みについて語った。

続くプレナリーセッションでは、寺坂信昭・原子力安全・保安院長が同院の10年間の規制活動につい

て報告を行った。

次に、新野良子・新野屋専務取締役／柏崎刈羽原子力発電所の透明性を確保する地域の会会長、河瀬一治・全国原子力発電所所在市町村協議会会長(敦賀市長)、知野恵子・読売新聞編集委員、武藤栄・電気事業連合会原子力開発対策委員会委員長(東京電力取締役副社長兼原子力・立地本部長)、曾我部捷洋・原子力安全基盤機構理事長、寺坂院長をパネリストに、和気洋子・慶応義塾大学商学部教授をコーディネーターとして議論を行った。

法体系については、確かに日本は原子炉等規制法と電気事業法の二本立ての規制に加えて放射線についての規制もあり、海外に比べて複雑だが、規制はそれぞれの国の歴史的・社会的事情でできており、各国で協調しながら他国のよい面やPDCAを取り入れていくのがよい、といった意見が聞かれた。

また、今後の原子力安全規制情報会議に向けては、増設などに向けた人材育成への取組みや、一般も参加できる日程にするなど関係者以外の人への原子力安全に対する理解促進への期待が寄せられた。

(同)

東通1号機、16か月運転へ延長計画を発表

東北電力は10月15日、東通原子力発電所1号機(110万kW, BWR)の次回定期検査終了後の運転期間を、従来の13か月以内から16か月以内に延長する計画を発表した。また11月10日には、法令に基づく保安規定の変更認可の申請を行った。順調に進めば、昨年より施行された新検査制度下で、運転期間が13か月を越す初めてのケースとなる。

原子力発電所の新検査制度では、原子炉の運転期間は、プラントごとに、原子炉等規制法に基づく保安規定の認可と、電気事業法に基づく保全計画の届出が事業者に求められ、従前制度の13か月以内に代えて、18か月以内、24か月以内のカテゴリーのうち、いずれかに当てはめられることとなっている。

東通1号は、2005年12月に運転を開始した新しい

原子炉だが、振動診断や赤外線サーモグラフィ等、新技術を用いた運転中機器の状態監視など、新制度の目指す保全最適化への取組みに努めてきた。運転期間延長については、代表37機器を抽出し、国内外のトラブル情報、定期検査で収集した機器のデータ等を用いて評価を行った結果、運転期間を従来の13か月以内から24か月以内に延長できることが可能と

判断された。

東北電力では、同機の次回定期検査を、2011年2～6月頃に予定しているが、運転期間の延長は初めてで、安全・安定運転の実績を積む考えから、検査終了後の運転期間は16か月以内とすることとした。

(同)

日本原燃、MOX燃料加工施設が着工

日本原燃は、プルサーマル発電の燃料を作り出す日本初の商業施設である「MOX燃料加工施設」に係る設計および工事の方法について、2010年5月に経済産業大臣に対して認可申請を行っていたが、10月22日に認可され、同月28日に青森県六ヶ所村の敷地内において建設工事を着工した。

今回は第1回の認可申請に係わるものであり、主

な施設は、燃料加工建屋、成形施設(粉末調整工程の1次混合設備)、核燃料物質の貯蔵施設(粉末一時保管設備・ペレット一時保管設備・製品ペレット貯蔵設備)。今後も分割申請を行う予定。2016年3月のしゅん工を予定している。

(資料提供：日本原燃)

原子力機構、米からのHTTR利用委託研究を受託

日本原子力研究開発機構は10月14日、米国の次世代原子力プラント計画(NGNP計画)から初めて、高温工学試験研究炉(HTTR)を利用した委託研究を受注した。

高温工学試験研究炉(HTTR)は、950℃の冷却材を原子炉外に取り出すことのできる世界で唯一の高温ガス炉。発電以外に水素製造などの熱利用分野での利用が期待されている。ただ、炉心での核分裂反応などにより放射性物質であるトリチウムが生成する。水素の同位体であるトリチウムは、ごくわずかだが熱交換器の金属製の伝熱管を通過するため、1次冷却材から2次冷却材、さらには熱利用施設に移行し、最終的に製品水素に混入する可能性があるという。

米国は、電力と水素を併産する次世代原子力プラントを建設・運転するNGNP計画を推進しているが、日本の高温ガス炉技術の粋を集めたHTTRに注目し、HTTRを利用した試験に関する委託研究

を原子力機構へ要請した。そこで今回、米国ゼネラルアトミックス(GA)社経由で受託した。

今回の委託研究では、HTTRを利用してトリチウム濃度データを取得し、1次冷却材から2次冷却材への移行、ヘリウム純化装置設備によるトリチウム除去などの高温ガス炉システム全体のトリチウム挙動を評価し、得られた知見をNGNP計画へ提供していく。

原子力機構原子力水素・熱利用研究センター小型炉設計開発グループの大橋弘史研究副主幹の話「今後、本委託研究におけるトリチウム挙動評価に加え、原子炉動特性評価、核特性評価、燃料挙動評価等のHTTRを利用した試験を通じてNGNP計画との協力を進めます。これらの協力を通して最先端に位置する我が国の高温ガス炉技術がNGNP計画に導入され、国際標準化につながるものと期待されます」。

(資料提供：科学新聞)

日韓がJ-PARCで覚書締結

「J-PARCセンター」(永宮正治センター長：原子力機構および高エネルギー加速器研究機構との共同

運営組織)は10月1日、「韓国J-PARCユーザーセンター」(Jeon Geun Parkセンター長：CKORJ-

PARC^{*})と「J-PARCの関連研究分野における協力活動を開始するための覚書」を締結した。またCKorJ-PARCは、日本における韓国J-PARCユーザーの支援を一元的に行うため、いばらき量子ビーム研究センター(茨城県東海村)に日本事務所を設置した。

韓国にはJ-PARCで行われている中性子、ハドロン、ニュートリノおよび加速器などの分野で200名を超える研究者が活躍しているだけに、韓国はJ-PARCに大きな関心を寄せている。今回の覚書では、日本に設置する事務所の開設・運営を支援し、人材や情報の交流を活発にして、今後両国で進めるべき効果的な共同研究開発の検討を行う。またJ-PARCの施設、装置の性能向上とJ-PARCの利用

促進を図るとしている。これにより、今後多くの韓国人研究者がJ-PARCを訪れ、研究を実施することが見込まれる。と同時に、日本事務所の設置により、J-PARC利用者の拡大が図られ、アジア・オセアニア地区の国際研究拠点の構築が一層促進されることが期待される。

(*CKorJ-PARC: 韓国の大学、国立研究機関、産業界などの各分野の研究者による22グループで構成され、組織はソウル国立大学に位置づけられている。活動に係わる予算は、年間5億ウォン(3,700万円)で、3年間の予算確保が韓国政府によって認められている。)

(同)

東大と原子力機構、JRR-3における中性子科学研究で協力

東京大学物性研究所と原子力機構は9月30日、研究用原子炉「JRR-3」における中性子科学研究協力に関する覚書を締結した。

これまで大学と原子力機構の間には、定常中性子源であるJRR-3の中性子科学研究に関して具体的な協力関係について明文化されたものはなかった。ただ、世界最高レベルのパルス中性子源である大強度陽子加速器「J-PARC」の本格稼働により、中性子科学研究に新たな展開が期待されるだけに、JRR-3においてもより密接な連携協力が必要となってきた。

両者の連携協力により、互いに保有する実験装置の相補活用による研究の促進や技術開発協力をはじめ、外部利用の効率化、利便性向上、研究成果の共

有、研究者の交流・人材育成、共同プロジェクトの推進を加速させる。と同時に、「研究用原子炉の将来計画の検討」などを全国的な取組みとして進めていくという。

また原子力機構では、文部科学省の「先端研究施設共用促進事業」の採択を受け、今年4月からJRR-3ユーザーズオフィスを設置。産業利用を含めたJRR-3の施設共用をより強力に促進するための活動をすでに行っている。

この締結により、日本の中性子科学研究が飛躍的に進展するとともに、学術および科学技術の振興に大きく寄与するものと期待される。

(同)

原子力機構と仏CEA、米国DOEがナトリウム冷却高速炉の協力で覚書を改正

原子力機構とフランスの原子力・代替エネルギー庁(CEA)、米国エネルギー省(DOE)は10月4日、ナトリウム冷却高速炉の実証炉/プロトタイプ炉の研究開発を促進するための覚書を改正する署名を行った。3機関では今後、国際的に受容される高速炉の標準化および開発コストの低減等のための検討を協力して行う。

ナトリウム冷却高速炉について、日本は「もんじゅ」の後継となるJSFR(Japan Sodium-cooled Fast Reactor)実証炉の設計研究を進めており、フランスはプロトタイプ高速炉ASTRID(Advanced Sodium Technical Reactor for Industrial Demonstration)の開発を進めている。米国は現在のところ高速炉開発計画を明示していないが、高速

炉に関する幅広い分野での知見をもっている。

こうした中で日仏米の3機関はこれまで、2008年1月に締結(同年8月に改正)したナトリウム冷却高速炉の協力に関する覚書のもとで、情報交換を行いながら協力関係を構築してきた。しかしながら近年、ナトリウム冷却高速炉の研究開発の分野で国際的に開発競争が活発化してきたため、高速炉とそれに関連した燃料サイクル技術分野に関して、具体的な協力課題を選定し、協力内容と協力形態についての協議を行うこととなった。

3機関は今後、従来の協力内容に加えて、プロトタイプ炉や実証炉開発、機器設計・製造、施設共用、

設計研究、燃料製造、先進高速炉燃料サイクルについて、メーカーを交えた高速炉の共同設計、共同開発等に向けた検討を進めることとなる。

これらの検討を行うことにより、実効的な協力が可能となれば、開発コストの大幅な削減と、実証炉の安全性・信頼性を高めることができ、国際的に受け入れられやすいナトリウム冷却高速炉の国際標準化を目指していく予定である。

(参考：<http://www.jaea.go.jp/02/press2010/p10100502/index.html>)

(資料提供：日本原子力研究開発機構)

原産が原子力損害賠償制度の小冊子を配布

原産協会では「あなたに知ってもらいたい原賠制度2010年版」の小冊子を配布している。2009年3月から、「原産協会メールマガジン」で連載してきたシリーズ「あなたに知ってもらいたい原賠制度」の19回分の掲載内容を小冊子にまとめたものを無料配布し

ている。希望者は、(1)送付先住所、(2)所属・役職、(3)氏名、(4)電話番号、(5)必要部数をEメールで genbai@jaif.or.jp まで。

(資料提供：日本原子力産業協会)

動画配信のご案内

原産協会では、原子力関係の情報を毎月、動画配信(インターネット・テレビ)「Jaif Tv」として、原産協会ホームページ(<http://www.jaif.or.jp/>)から、無料でお届けしている。

2010年10～12月の番組は以下の通り。

・ともに考える原子力・放射線—原産協会の理解促

進活動(10/18公開)

・原子力をめぐる連携とコミュニケーションに関する話題(11/30公開)

・日本原子力研究開発機構「もんじゅ」レポート(12月公開)

(同)

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米 国]

コンステレーション社、原子炉建設計画から撤退

米国で30年ぶりとなる原子炉新設計画の一つを進めていたコンステレーション・エナジー社は10月8日、米政府の融資保証を受ける際に提示された諸条件が実行不可能だとして、同建設計画から撤退する旨、米エネルギー省(DOE)に通達した。

近年の経済危機による建設費の高騰や天然ガス価

格の下落など、新設に伴う財政リスクは再び高まりつつあり、ようやく具体的な形を見せ始めた原子力カルネッサンスに冷水を浴びせないためにも、同制度の適用に何らかの改善策を取ることが求められている。

同社は2008年3月、フランス電力(EDF)との合弁事業体であるユニスター社を通じて、メリーランド州のカルバートクリフ原子力発電所に3号機(160万kW級EPR)を建設・運転するための一括認可(COL)を規制当局に申請。同計画は昨年5月、DOEの融資保証適用を受ける最終候補計画4件の一つに

残り、ユニスター社はその適用条件について DOE と交渉を重ねていた。

同社の M・ワレス副会長は DOE の D・ポネマン 副会長に宛てた書簡の中で、保証を受ける際に必要な信用助成金コストとして総保証費の 11.6% に当たる 8 億 8,000 万ドルを財務省に支払うよう要請されたと指摘。「行政管理予算局 (OMB) のコスト算定方法には重大な欠陥があり、当社にとっては不当に重荷となる条件だ」と強調するとともに、同社自身の合理的な試算額を大幅に超過する「恐ろしく高額な負担」は、建設計画の経済性を明らかに損なうことになると訴えた。

同副会長はまた、同建設計画に付随するその他のリスクとして、原子力に優位に働く地球温暖化対策法案が未成立であることや天然ガス価格の下落、建設費の高騰といったファクタを列挙。政府の融資保証制度が創設当初の目的である財政的なリスク軽減のために機能しないのであれば、同社はこの計画から撤退し、今後は EDF が同制度の手続きを次のステップに進めていこうとしている。

同社はすでに、ユニスター社における合併関係の解消に向けて、EDF と具体的な協議を開始した。15 日付けの EDF 宛ての書簡によると、コンステレーション社は保有する 50% のユニスター社株を、新規炉用敷地代の 1 ドルを含めて 1 億 1,700 万ドルで買い取るよう EDF に提案。これまで両社が同計画のために投資した総額 8 億 1,700 万ドルのほんの一部であると強調している。

[スペイン]

議会在 35 年までのエネ戦略策定へ、原子力の議論は先送り

スペイン議会・下院のエネルギー小委員会は 10 月 5 日、2035 年までの長期的なエネルギー供給構造を提案するため、超党派で戦略合意文書をまとめる作業を再開した。既存原子炉 8 基の運転期間延長については審議を先送りするものの、ゆるやかな脱原子力政策を取る同国で今後の長期的な原子力開発利用方針が定められると見られている。

化石燃料資源に乏しいスペインでは、1960 年代後半以降に米仏から原子炉 3 基を導入。石油危機時にはさらに 12 基の建設も計画されたが、TMI とチェ

ルノブイリ両事故の影響で 5 基分の計画が中止に追い込まれたほか、1990 年と 2006 年には運転中の 2 基を閉鎖した。新規建設を行わず、既存炉の運転寿命を約 40 年とする現政権の脱原子力政策は現在も有効だが、残った 8 基で総電力需要の 17.5% を賄うほか、温室効果ガスの排出量削減問題もあり、世論は徐々に同政策の見直しに傾いているといわれている。

同国の原子力産業団体であるフォロ・ヌークレアルによると、下院の「今後 25 年間のエネルギー戦略・分析に関する小委員会」は、今年 7 月末までの 1 年間で 23 の提案中 9 件について暫定的な合意に達し、前半の作業を終了。これまでに様々な企業や団体への諮問を通じて、60 以上の意見書を受領した。

同国の既存原子炉 8 基の運転期間延長については、2011～20 年までに 40 年の運転期限を迎える原子炉がないことから、15 年頃まで議論を先送りする予定。政府の見解も柔軟化しつつあり、8 基中唯一、昨年で運開後 40 年に達したサンタ・マリアデガローナ発電所は、同年 7 月に運転認可の 13 年までの延長が認められている。

フォロ・ヌークレアルとしては、2035 年までに既存炉 8 基の運転認可延長に加えて、新たに 3 基の原子炉建設が必要だとしており、今年 5 月には小委員会に対して「260 万～300 万 kW の発電設備を原子力で増強する」よう勧告した。

[英国]

デコミ機構、ウィルファ原発の運転を 2 年延長

英国原子力デコミッション機構 (NDA) は 10 月 13 日、ウィルファ原子力発電所 1, 2 号機 (各 56.5 万 kW, GCR) の運転を 2 年延長することを決めた。

来年 1 月で運開後 40 年が経過する同発電所は、今年末付けの閉鎖が予定されていた。しかし、国内で稼働する原子炉 19 基中 18 基までが古いガス冷却炉である英国では、今後、順次廃止措置を取る必要性がでてくるため、廃止措置の実施機関である NDA としては万全な安全確保対策を施した上で原子炉をさらに操業し、得られた利益を廃止措置費用の一部としたい考えだ。NDA によると、同発電所の 2 年間

の運転延長により1億ポンドを超える利益が見込め、廃止措置費の一部としてだけでなく、納税者の電気料金削減にも貢献できる。

英国では08年末にも、ウィルファと同様に、古いGCRであるオールドベリー原子力発電所で2基(各23万kW)の運転を2年延長した。

政府が国家計画声明書案を改訂、 新設候補地 8 か所に

英国のエネルギー・気候変動省(DECC)は10月18日、5月に発足した新政権による改訂版の「国家計画声明書(NPS)案」を国会で公表し、改訂前のNPSで潜在的な新規原子力発電所建設サイトとして掲載されていた10か所のうち8か所を、2025年までに新規の発電設備が設置可能な候補地として再確認した。新設計画に公的な補助金を一切出さないという政府のスタンスも改めて明記されたが、計画全体の実現が危惧されるほど大きな変更がなかったことから、産業界では胸をなで下ろしている。

NPSは原子力に限らず国内で重要な基盤施設を建設する際、一般からの意見を十分聴取しつつ、国が公正で迅速な判断を下すために定められた制度。エネルギーに関する改訂版のNPSは改めて公開諮問に付されるが、DECCのC・ヒューン大臣はその説明の中で、今後数10年間にエネルギーの安定供給と化石燃料への依存削減を保証するには、新たなエネルギー源に大規模な投資が必要だと強調した。

その上で、2025年までに開発する発電設備の半分は再生可能エネルギーとするものの、残りの膨大な設備が原子力や二酸化炭素回収貯留になると明言。原子炉新設計画における確実性を原子力産業界や関連の投資家に伝えるため、以下の点を明らかにしている。

まず、原子炉の新設に適したサイトとして、①ブラッドウェル、②ハートルプール、③ヘイシャム、④ヒンクリーポイント、⑤オールドベリー、⑥セラフィールド、⑦サイズウェル、⑧ウィルファアの8地点を確認。改訂前のNPSで候補だったカンブリア州の2地点は国立公園への影響等によりリストからはずしている。

[ドイツ]

議会在原発の運転延長法案を可決

ドイツの連邦議会(下院)は10月28日の審議で、国内原子炉17基の運転期間の平均12年間延長を盛り込んだ法案を308対289で可決・承認した。

同国では通常、国民が直接選挙で選出した下院議員が法案審議し、国内16州政府の代表で構成される連邦参議院(上院)の権限は州に関連する法案審議に限定。A・メルケル首相率いる中道右派政権は、野党が多数派である上院で同法案の審議を行わない方針だが、社会民主党(SPD)など野党はこの判断を違憲として憲法裁判所に提訴する考えだ。来年1月からの施行を目指していた同法案の成立までには、議論が長期化することも予想されている。

今回承認された法案は、9月末に閣議決定した「2050年までのエネルギー計画」、および原子力事業者に対して「核燃料税」と「エネルギー・気候変動基金」への払い込み義務を盛り込んだもの。脱原子力政策の維持を改めて強調しつつ、2050年までに再生可能エネルギーで総発電電力量の8割を賄うという再生可能エネ時代を無事に迎えるには、それまでの「橋渡し」用ベースロード電源としての原子力、そして核燃料税と気候変動基金を財源とする再生可能エネルギー開発が欠かせないと指摘している。

[トルコ]

新設計画に東芝が協力提案

トルコのエネルギー天然資源省(ETKB)は10月7日、同国の原子力発電所計画について、日本政府と東芝から原子炉の建設を含めた広範囲な協力提案があったと発表した。

駐トルコ日本大使館の田中信明特命全権大使と東芝の関係者が首都アンカラでETKBのT・ユルドゥズ大臣と会見し、日本の経済産業相からの書簡を手渡して伝えた。

同国では黒海沿岸シノップと地中海沿岸のアックユで原子炉の建設を計画。3つめの計画がまだないことから、同大臣は東芝の提案対象をシノップと捉えた上で、ETKBは今年6月、同事業の事前準備等の協力で韓国知識経済省と了解覚書(MOU)に調印

しており、韓国側と協議を終えるまで明確な回答はできないとしている。

シノップでは韓国の APR1400 の建設を想定した共同研究調査が予定されているが、同大臣は MOU 調印の際、「より良い条件が提示されるなら、他の国からも提案を受け入れる用意がある」とコメントしていた。アックユでは、2016 年以降にロシアの AES2006 シリーズを 4 基建設することで、今年 5 月にロシアと合意している。

〔南ア〕

2030 年までの電力供給計画で原子炉 6 基を新設

南アフリカ共和国のエネルギー省は 10 月 7 日、今後 20 年間の電力供給計画となる「統合資源計画 (IRP) 2010」の案文を公表し、パブリックコメントに付した。2030 年までに国内の電力需要が倍増することを想定し、原子力と再生可能エネルギーへの比重を大幅に高める内容。2023 年から 30 年にかけて 6 基の新規原子力発電所を運開させるとしており、今後、これらについて国際入札が実施されると見られる。この関係で同国は、9 日付けで韓国と原子力協力協定を締結したほか、中国とも同様の協定を締結する見通し。また、同入札にはすでに、ウェスチングハウス (WH) 社も関心を示したと伝えられている。

南アでは 2008 年、国営電力の ESKOM 社が 2010 ~ 25 年の完成を目標に 350 万 ~ 2,000 万 kW 規模の原子炉新設に関する入札を実施。仏アレバ社と WH 社が応札したが、その後の国内の政治紛争や財政危機等の影響により、これらの計画は打ち切られている。

計画停電の低減を第一目標に策定された IRP2010 案では、国内の電力需要が現在の約 3,700 万 kW から 2030 年には倍増することを見越し、現在の全発電設備容量である約 4,000 万 kW に新たに約 5,000 万 kW を増設したい考え。このため、南ア国営電力会社 (ESKOM) は短期的な設備投資として今後 5 年間に 3,850 億ランドを支出するとしている。

原子力については、国内で唯一稼働するクバーク発電所の 2 基・180 万 kW に、ベースロード電源として 160 万 kW 級原子炉 6 基を加え、総発電電力量

に占める原子力のシェアも現在の 6 % から 14 % に倍増するとしている。同様に再生可能エネルギーのシェアは 16 % に拡大。温室効果ガスを排出する石炭火力への依存度を 48 % に下げ、これら 2 つの電源で支えていく計画だ。

韓国との原子力協力協定は、K・モトランテ副大統領のソウル訪問に合わせ、同行したエネルギー省の D・ピーターズ大臣が韓国の外交通商部・次官と調印した。原子力発電の開発利用分野で、双方のニーズと優先順位に合わせた科学技術および経済面での協力を強化。具体的な協力の一つとして、南アの新設計画についても韓国が受注を目指して入札に参加すると見られている。

なお、南ア政府は 9 月、ペブルベッド・モジュール型高温ガス炉 (黒鉛球状燃料、ヘリウム冷却) (PBMR) 開発プロジェクトへの今後の投資は打ち切るとの判断を下している。同炉の潜在的な顧客や投資パートナーの確保などで行き詰まった模様で、新型炉開発で現実的な問題をクリアする難しさが露呈される結果となった。

〔中国〕

ベルギーの協力で MOX 製造試験施設建設へ

ベルギー首相府は 10 月 6 日、中国における MOX 燃料製造工場パイロット・プラントの建設、およびベルギーで開発中の研究炉を使った放射性廃棄物の変換研究で協力するため、両国が枠組み協定に調印したと発表した。

今年 7 月に高速実験炉 (CEFR) が初臨界を達成した中国は、ロシアの高速実証炉を 2 基導入するための事前準備を進めるなど、高速炉開発を急ピッチで展開中。1960 年代から MOX 燃料の製造実績のあるベルギーから協力を得て、中国は 2030 年に目標設定しているという「商業用 FBR の完成および核燃料サイクルの確立」に合わせて MOX 燃料の製造技術を習得していく考えと見られている。

両国の合意文書は、ブリュッセルで開かれていたアジア欧州会議 (ASEM) 首脳会議に中国の温家宝首相が出席したのに合わせ、同首相とベルギーの Y・ルテルム首相が見守る中で調印された。具体的な協力は、ベルギーの核燃料企業であるベルゴニューク

リア社と原子力発電事業者であるトラクテベル社、およびベルギー原子力研究センター(SCK-CEN)が中国核工業集团公司(CNNC)に対して実施する。

ベルギーで高レベル廃棄物処分やMOX燃料の研究開発等を担当しているSCK-CENによると、今回の枠組み協定締結に続く商業レベルの協定は比較的短期間で結ばれる観測。これに基づいてベルギー企業側から中国への技術移転、技術支援などが行われることになるとしている。

[ベトナム]

第1期・原発建設計画でロシアとの建設協定に調印

ロシアの原子力総合企業であるロスアトム社、および同社傘下の原子力輸出建設企業であるアトムストロイエクスポルト(ASE)社は10月31日、ベトナム初の原子力発電所となるニン・トゥアン第1原子力発電所の建設に関する協力で、両国が協定に調印したと発表した。

ハノイを訪問していたロシアのD・メドベージェフ大統領とベトナムのN・チェット国家主席立ち会いの下、ロスアトム社のS・キリエンコ総裁とベトナム商工省のV・ホアン大臣が署名。ロシアによる建設費の融資保証や操業期間全体にわたる燃料供給、使用済み燃料の引き取り——などの支援項目が明記されたと見られている。

同協定に基づき、ロシアは南シナ海に面したニン・トゥアン省南部のフォック・ディン村にターン・キー契約で120万kW級のロシア型PWRを2基、建設する。1号機は20年に完成予定だ。

ASE社はまた、建設を円滑に進めるため、ハノイに代表事務所を開設した。30日の記念式典には、原子炉の運転を担当するベトナム電力公社のP・タイン社長も出席。同事務所を拠点に協力して建設にあたる考えだ。

[ベネズエラ]

ロシアとの協力で発電炉と研究炉を建設へ

ロシアの原子力総合企業であるロスアトム社は10月15日、南米ベネズエラが検討している同国初の原子力発電所と放射性アイソトープ(RI)生産用研究炉をロシアが建設・操業するため、両国が協力合意文書に調印したと発表した。

ベネズエラのH・チャベス大統領が訪露した際、その他のエネルギー分野での通商協力とともにロシアのD・メドベージェフ大統領と合意したもので、署名はロスアトム社のS・キリエンコ総裁とベネズエラのN・マドゥーロ外相が行った。

両国はすでに08年11月に2国間の原子力平和利用協力協定を締結済み。今回の協定でロシアは、120万kW級PWRを2基、ターン・キー契約でベネズエラに供給するほか、同国で医療用および農業利用に使われるRI生産のための研究炉を建設する。また、その際必要となるインフラ整備についても支援を提供するとしている。

ベネズエラは石油資源に恵まれているが、チャベス大統領は同国と同じ産油国のロシアに倣い、将来を見据えたエネルギー戦略を構築したいと強調。価格の変動しやすい石油への依存低減やエネルギー源多様化のためにも原子力を電力供給要素に加えたいと説明した。

同大統領は強硬な反米論者として知られる一方、ロシアとは政治的側面も含めて緊密な盟友関係にあるとし、記者会見では、すでに8年前に原子力の平和利用についてロシアと協議を始めていたことを明らかにした。

具体的な建設スケジュールについて、メドベージェフ大統領は明言を避けたが、まずは市場規模や実行可能性の評価など、様々な予備調査の必要性を指摘した。

我が国の最先端研究開発

シリーズ解説 第25回

放射線科学を支える研究基盤技術

細胞から宇宙までを対象にした開発研究

(独)放射線医学総合研究所 日下部 正志, 白川 芳幸

研究活動を効率的に進めていくためには支援組織が必要である。放射線と人々の健康に関わる総合的な研究開発に取り組む国内で唯一の研究機関である放射線医学総合研究所において、これに当たるのが基盤技術センターであり、開発研究、その実用化、最新技術の導入、既存技術の維持・管理を通して研究に必須の基盤技術を提供している。これら技術の骨格となるのが放射線計測技術、放射線発生・照射技術、そして実験動物技術である。放医研の活動をシリーズで紹介する初回となる今回は、この基盤技術センターが手がけている内容のうち、最先端の開発研究に的を絞って、細胞から宇宙までを対象にしたホットな話題を紹介する。

I. はじめに

放射線科学という言葉は『広辞苑』にも載っていない。見慣れた放射線化学のように一般的に定義された言葉ではなく、大学・研究所によって、それぞれの研究分野を包含して、それが放射線に関わる科学領域であれば放射線科学と呼んでいるようである。さて放射線医学総合研究所(以下、放医研)では、①放射線の人体への影響、障害の予防、および治療に関する研究領域、同時に、②積極的に放射線を医学に利用する研究領域を放射線科学と考え、その研究に取り組み、国民の健康の増進、安全・安心の確保に努めている。

この放射線科学は組織的には、①については放射線防護研究センター、緊急被ばく医療研究センター、②については重粒子医科学センター、分子イメージング研究センターで研究されている。この研究を支援する組織として基盤技術センターがある。支援は既存の施設・設備およびそれに関わる技術の提供はもとより、放射線科学研究の基盤となる新技術の研究開発も含んでいる。具体的には、ここでは放射線の計測、放射線の発生・照射、および実験動物に関する開発研究が行われている。次章からそれぞれの分野の先端的研究成果を紹介する。

II. 計測最前線

放医研の持つ多種多様な放射線場、例えば γ 線、X線、電子線、 β 線、 α 線、陽子線、中性子線、重粒子線(重イオン線)の場における放射線計測あるいは線量評価のために、われわれは個性的な放射線検出器や計測技術の開発を行っている。開発方針は積極的に産学連携を行い、さらに国際共同研究などにより新しいアイデアやテクノロジーをスピーディーに開発し、時々ニーズに合致した形で実用化することである。本章では最近、話題になっているペットボトルの計測利用と宇宙環境での放射計測について紹介する。

1. ペットボトルの計測利用¹⁾

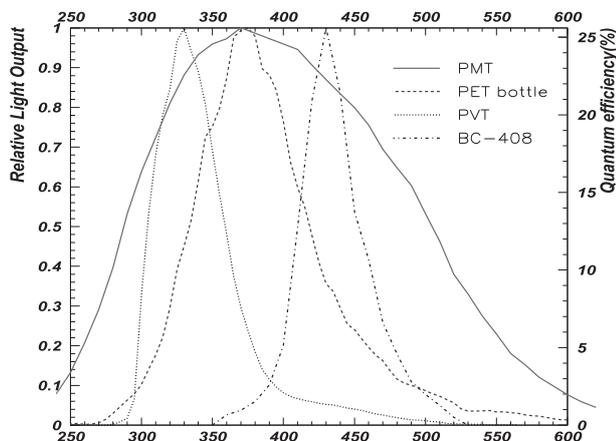
放射線を受けると蛍光を発するプラスチックシンチレータは、相当量が原子力発電所や放射線使用事業所の安全管理のための放射線機器に使用されている。その製造は、海外企業のノウハウによるところが非常に大きく、添加される波長変換剤の量や種類など、詳細な情報はすべて企業秘密のベールに包まれている。また、製造できる企業も数が限られていて、市場はほぼ海外に独占されているという状況である。

そこで、身の回りにある様々なプラスチックに着目して、プラスチックシンチレータの技術的なブレイクスルーを試みることにした。身の回りの代表として1年間で何億本も消費されるペットボトルを検討対象にした。

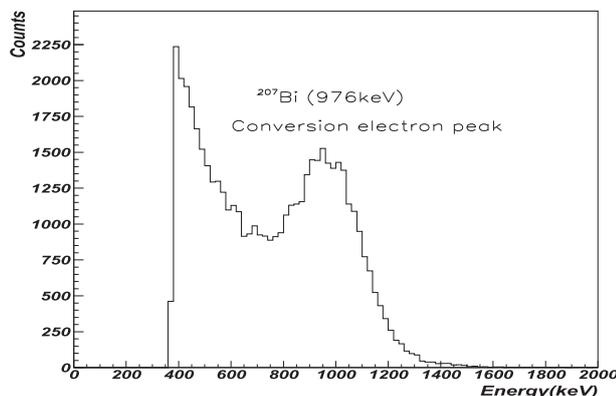
Latest Fundamental Technology for Radiological Sciences :
Masashi KUSAKABE, Yoshiyuki SHIRAKAWA.
(2010年 8月10日 受理)

そこで耐熱性ペットボトルを固めた樹脂を作り放射線(この場合, 電子)を当ててみた。蛍光分析器にて解析したところ, 驚くべき結果が得られた。

第1図は, プラスチック素材の蛍光波長と光センサーの受光感度を比較したものである。ここで, 中央のピークはペットボトル樹脂からの蛍光波長分布, 右側のピークは市販されているプラスチックシンチレータからの蛍光波長分布, 左側のピークはプラスチックシンチレータのベース素材であるポリビニルトルエンからの蛍光波長分布, 幅の広い大きなピークは光センサーの受光感度を示す。この結果, プラスチックシンチレータの蛍光波長のピーク(420 nm)やプラスチックシンチレータのベース素材であるポリビニルトルエンの蛍光波長のピーク(330 nm)とは異なり, ペットボトル樹脂の蛍光波長のピーク(380 nm)が, 通常スペックの光センサー(光電子増倍管)の波長感度のピークに重なることが示された。つまり, ペットボトル樹脂が放射線計測に適していることが示唆されたのである。また, 化学分析などを行ったところ, ペットボトルには酸素が含まれており, 典型的なプラスチックシンチレータの密度(1.05 g/cm³)と屈折率($n=1.58$)よりも, 密度(1.35 g/cm³)と屈折率($n=1.64$)が高く, 放射線検出に対する感度が高いことが判



第1図 プラスチック素材の蛍光波長と光センサーの受光感度の比較



第2図 ²⁰⁷Bi線源から放出される放射線(内部転換電子)をペットボトル樹脂で測定した結果

明した。さらに, ペットボトル樹脂から得られるスペクトルを調べたところ, 第2図のように明瞭なエネルギースペクトルが得られた。

本研究により, 波長変換剤を含まない市販の極めて安価なペットボトル樹脂で放射線を検出できることが示された。また, 紫外光領域に感度のある光センサー(光電子増倍管など)を用いることで, さらに高い精度での放射線検出器が可能になる。これらの成果を放射線計測基盤技術として, サーベイメータなどの放射線防護機器や医療機器に応用することを現在検討している。

2. 宇宙飛行士と宇宙放射線^{2~7)}

放医研の有する多様な放射線場(例えば大型サイクロトロン, 重粒子線がん治療装置の加速器など), あるいは実際の宇宙船を利用して線量計などの開発研究を国際的規模で主導的に進めている。

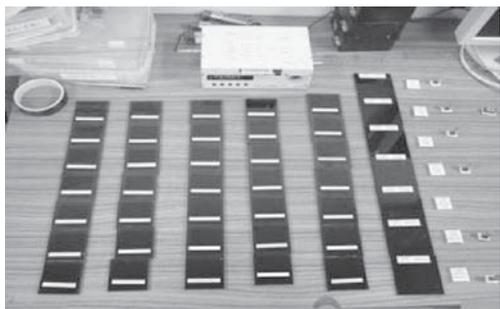
宇宙環境には, 銀河から到来する高エネルギーの陽子や重イオンが存在し, さらに, 地球磁場に捕捉された陽子や太陽のコロナ質量放出現象に伴う陽子も存在し, 船壁において相互作用を起し, 中性子や短飛程の高LET(線エネルギー付与)の2次粒子線も発生する。さらに, 線量は太陽活動, 飛翔体の高度により増減するなど, 地上とは異なる環境であり, 様々なエネルギー・線種の宇宙放射線の線量評価は容易ではない。しかし将来の宇宙ステーションや月面・火星基地での長期滞在における宇宙飛行士の被ばく線量管理のために必須である。

このような新たな放射線環境に対応し線量を正確に評価するために, 線量計の開発を行っている。個人被ばく線量計としては, 宇宙航空研究開発機構(JAXA)などにおいても熱ルミネセンス線量計と固体飛跡検出器を組み合わせた線量計パッケージが一般に利用されている。放医研では, 固体飛跡検出器の感度を変化させる技術の開発や, 光学顕微鏡自動解析システムの開発・特許化などにより, その高度化を進めており, JAXAや個人線量モニタリング企業などへの導入が行われている。

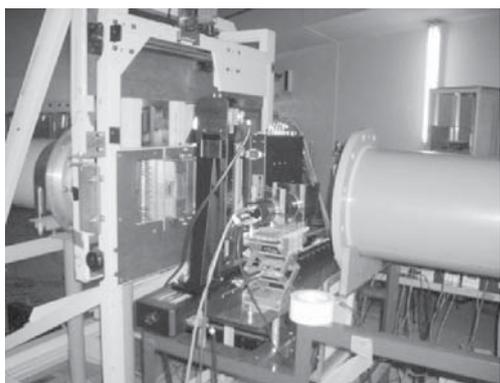
しかし, これらのパッケージは, 化学的な処理が必要などのため, 長期間の滞在には不向きである。そこで, 低LETの放射線にも感度があり, かつ, 高LET粒子の飛跡も検出可能な蛍光飛跡検出器の開発を米国ラングウア社との共同研究により進めている。独自の顕微鏡システムの構築により, 重イオンビームに対する応答も確認され, 今後の発展が期待される。

中性子に関しては, 特に高エネルギー中性子の線量は十分に評価されていない。放医研では, 10年以上にわたりホスウィッチ型中性子検出器の開発を進めており, 加速器ビームによる校正実験を行い, γ 線との分別能力も評価している。宇宙飛翔体への搭載のために各種の試験を現在行っているところである。

さらに, 重粒子線がん治療装置の加速器のビームを利



第3図 ICCHIBAN プロジェクトにおける比較実験に用いられる線量計群



第4図 ICCHIBAN プロジェクトにおける各国線量計に重粒子線照射をする様子

用して、第3, 4図に示す世界中の宇宙機関(NASA, JAXA を始め13ヶ国22機関)の線量計の応答の比較, 校正を行う ICCHIBAN (InterComparison for Cosmic-rays with Heavy Ion Beams At NIRS) プロジェクトを組織し推進しており, 宇宙放射線線量計の信頼性の向上, 標準化を目指している。

今後も, 新たな放射線環境に対応する検出器の開発を進め, 放射線科学の様々な分野の発展に貢献していく予定である。

Ⅲ. 加速器利用最前線

放医研には種々の加速器が装備されており, それらを用いた研究が盛んである。加速器の紹介では, 一般に大型のシンクロトロンのような極めて高いエネルギー(数十 GeV)の施設が良くとりあげられるが, ここでは, 対極にある低いエネルギー(数 MeV)を用いて精緻な分析や生物実験を行う世界トップクラスのミクロの加速器利用技術を紹介する。

1. 放医研の静電加速器

加速器として低いエネルギーである数 MeV の荷電粒子を加速する実験では, そのエネルギー分解能がきわめて重要となる場合が多い。このため静電加速器がしばしば用いられる。静電加速器は, 摩擦電気を運んで高電圧



第5図 タンデム型静電加速器(HVVEE 社製)

を作るバンデグラフ型と整流器とコンデンサを組み合わせる順次高電圧を作るコッククロフト・ワルトン型に分類される。放医研は後者であり, この加速電圧はきわめて精密である。第5図に示す放医研の静電加速器の場合では, 加速電圧1.7 MV に対する変動はわずか16 Vpp であり, 百万分の1程度の優れたエネルギー分解能を有する。

放医研の静電加速器は, タンデム静電加速器と呼ばれターミナル電圧を2度利用するきわめて巧妙な加速方式を用いている。まず, 最初にイオン源で負イオンを発生させる。多くの場合, 陽子やヘリウムが負に帯電される。その後, 正に印加されたターミナル電圧により加速される。ターミナル電極部にはきわめて少量ではあるが窒素などの不活性なガスがカーテンのように流れており, このガスに衝突することによりイオンに付着していた電子が剥ぎ取られ, 負であったイオンは正に変わる(荷電変換)。このためイオンは正に印加した電極から蹴り出されることになり, 再びターミナル電圧の加速を受ける。このため, たとえばターミナル電圧が2 MV であると, イオンはその2倍の4 MV の加速を受けることになる。

2. マイクロビーム細胞照射技術⁸⁾

上述の静電加速器から取り出された荷電粒子は, 従来から知られている PIXE 分析(元素分析)などに利用されている。これに加え, われわれはこの荷電粒子ビームを直径数 μm まで収束させて照射を行うマイクロビーム照射技術を開発した。マイクロビームを作るにはコリメータ式と複数の多極電磁石でビームを絞り込む収束式とがあるが, 放医研では照射系に低エネルギー側の散乱粒子の外乱を低減できる収束式を採用した。その結果, 大気圧環境下で3.4 MeV の水素イオンを5 μm 以下まで絞り込むことに成功した。これは世界最小のビームスポットである。この世界最小スポットのビームを用いて低線量影響研究を中心とする生物実験が行われている。

従来の低線量率放射線生物影響に関する研究では, 照射容器中の大量の細胞にまばらに放射線を照射することとなるため, すべての細胞に等しく照射が行われていなかった。そのため放射線に誘起されて発生した生物影響は確率的評価とならざるを得ない。マイクロビーム照射

装置では直径数 μm に絞ったビームを用いて狙った細胞に任意の放射線量を照射可能であることから、すべての細胞に同じ線量を与えることができる。このことから従来の確率的な放射線影響評価から、確定的な評価が可能となる。また、蛍光物質を取り込ませた細胞核の蛍光画像から短時間で位置決めと細胞照射を行う細胞観察照射位置決めソフトウェアも同時に開発した。この結果、最大 $2.8 \times 10^4 \text{ cells/h}$ の細胞核を照射することが可能になった。第6図に上述のシステムを用いてプラスチック板(CR-39)上に陽子ビームで描画を行った例を示す。この絵のサイズは $1.2 \text{ mm} \times 0.825 \text{ mm}$ であり、一つ一つの陽子線スポット(直径 $2 \mu\text{m}$)の間隔は $3 \mu\text{m}$ である。

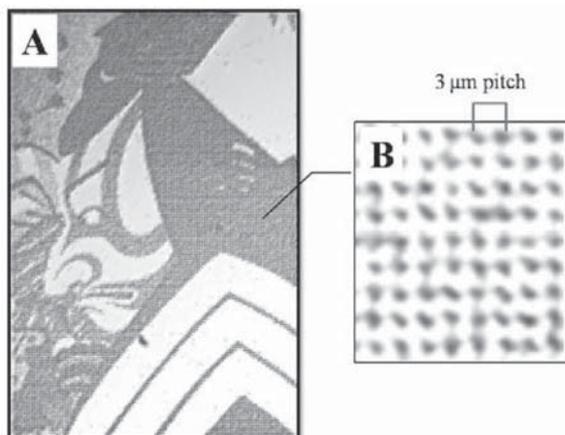
さらに、マイクロビームを用いることにより、個々の細胞を任意に狙い定めて照射できる。このため照射された細胞の近傍の細胞(照射されていない)にも放射線の影響が表れる放射線誘発バイスタンダー効果という、注目度の高い研究においてもその能力を発揮できる。

放医研では世界最小のビームスポットのマイクロビーム照射装置をはじめとし、ユニークな照射・分析が可能な装置を開発し常に世界をリードしている。

Ⅲ. 研究に資する実験動物開発^{9,10)}

実験動物が重要な役割を果たす分野として、①重粒子線によるがん治療の研究、②放射線が生体に及ぼす影響研究、③生体の分子レベルでの異常を画像化する分子イメージング研究がある。いずれの研究でも適切に管理された環境で作られたマウス、ラットを始めとする実験動物の質および動物実験の質が研究成果を左右する。

放医研では1962年から他の機関に先駆けて微生物学的にコントロールされたSPF(特定の病原微生物に感染していない清浄な)マウス、ラットを自家生産し、所内外の研究者に大量に供給してきたが、近年の遺伝子工学の目覚ましい発展により、いわゆる遺伝子改変されたマウス



第6図 プラスチック板状に陽子線マイクロビームで描いた(A)「市川鯨蔵の暫」、(B)ビームスポット直径は $2 \mu\text{m}$ 、スポットの間隔は $3 \mu\text{m}$

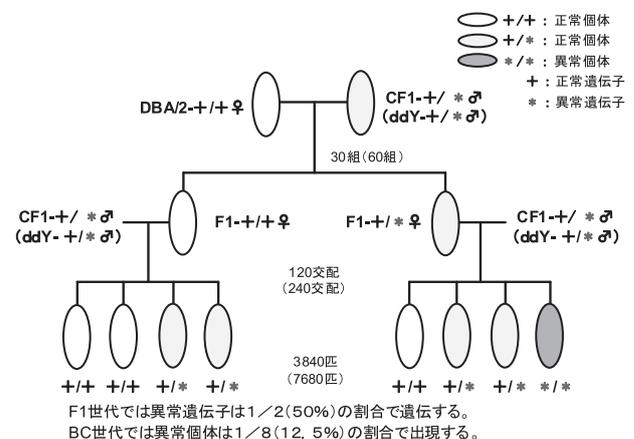
が作製できるようになり、放医研でも所内外の研究者からの要望に応じてトランスジェニック(特定の遺伝子をマウスの胚に導入してその形質を発現させた)マウスやノックアウト(特定の遺伝子を発現しないように操作した)マウスを作製している。

その他、マウスが本来持っている変異遺伝子に注目し、ヒトと同様の病気になるマウス(ヒト疾患モデルマウス)も作出している。その作出方法を第7図に示す。この方法は従来行われてきたマウスを薬物、放射線で処理する方法や胚を人為的に操作する方法に比べて煩雑な操作を必要とせず、容易に変異マウスを作出できる利点がある。

現在までに約4,000匹のマウスから第8図のような歩行異常、肥満、糖尿病などのマウス系統を確立しつつある。これらのマウスは、ヒトの疾患を対象としたイメージング研究を行う前の診断方法・治療方法などの有効性、安全性をあらかじめ予測するための動物実験などに用いることができ、研究推進に大いに貢献している。

Ⅲ. おわりに

本稿では、研究基盤技術の代表として放射線計測、放射線発生・照射、および実験動物について先端的な部分を述べてきた。実際は開発研究のみではなく、その成果



第7図 育種学的手法による変異遺伝子の発掘方法



第8図 同一の週齢による比較(左側は正常マウス、右側は明らかに肥満、尿糖は陽性である)

を支援技術として具現化すること、世の中の最新技術を取り込むこと、既存の技術を安定に維持していくことが重要である。これら一体化した研究基盤技術をもって放射線科学研究の発展に寄与していければ幸甚である。

—参考資料—

- 1) H. Nakamura, *et al.*, *rspa*, 2010.0118, (2010).
- 2) F. Cucinotta, M. Durante, *Lancet Oncol.*, **7**(5), 431-5 (2006).
- 3) T. Doke, *et al.*, *Radiat. Meas.*, **24**(1), 75-82(1995).
- 4) 俵 裕子, 他, *放射線*, **28**(2), 181-194(2002).
- 5) N. Yasuda, *et al.*, *Radiat. Meas.*, **40**, 311-315(2005).
- 6) M. Takada, T. Nakamura, *Radiat. Prot. Dosim.*, **126**, 178-184(2007).
- 7) Y. Uchihori, Eenton eds., *HIMAC Report-128*, (2008).
- 8) T. Konishi, *et al.*, *Nucl. Instrum. Methods*, **B, 267**, 2171-2175(2009).
- 9) T. Kokubo, S. Matsushita, *Exp. Anim.*, **58**(2), 189-192

(2009).

- 10) H. Katoh, T. Nishikawa, *et al.*, *Exp. Anim.*, **59**(2), 183-190(2010).

著者紹介

日下部正志(くさかべ・まさし)



(独)放射線医学総合研究所
基盤技術センター
(専門分野/関心分野)環境放射能, 環境科学

白川芳幸(しらかわ・よしゆき)



(独)放射線医学総合研究所
基盤技術センター
(専門分野/関心分野)放射線計測, 放射線教育

新刊紹介

エネルギー問題！

松井賢一著, 406 p. (2010.2), NTT 出版。
(定価2,300円) ISBN 978-4-7571-6046-0

石油をはじめ, 天然ガス, 石炭, 原子力, 再生可能エネルギーなど, さまざまなエネルギーの特徴を, 歴史的経緯やそれをめぐる政治的な思惑を含めて, ていねいに説明してある。エネルギー問題を学ぶための入門テキストとして, お勧めできる本だ。

ただ, なかにはその主張に, 異論を持たれかねない言説も含まれている。例えば石油について, 著者は「石油は安いから価値があるのであって高い石油には価値がありません」と述べ, 「高くなった石油は代替が進み, 石油に対する需要が減少する。それは石炭がたどった道と同じだ」と説明。リーゾナブルな価格の石油資源がなくなるピークオイルが起きる可能性は, 極めて低いと断じている。

また科学は, 各国の政治的利害で恣意的に利用される危険性をもつものであると主張。その一例として, 炭酸ガスが温暖化ガスの主犯であることについては懐疑的な見解を数多くとりあげている。筆者である松井氏の主張や, あるいはクライムゲート事件の真相が明らかになるには, もう少し時間がかかるのかもしれない。

筆者は日本エネルギー経済研究所などで, 30年に及ぶエネ

ルギー・エコノミストの経験をもつ。エネルギー問題の虚実に関する記述は, そこでの経験のたまものだろう。エネルギー問題は単に資源や技術に帰する問題ではない。たしかにそれは, 政治や経済をもとにした思惑の結果として立ち現われていることが, 本書を読めばよくわかる。

目次は以下の通り。

- Chapter1 石油問題の本質—石油時代終わりの始まり
- Chapter2 息の長い石炭, 急成長する天然ガス
- Chapter3 原子力との共存
- Chapter4 再生可能エネルギーは補間的役割・省エネルギーの逆説
- Chapter5 地球温暖化問題—政治を利用する科学, 科学を利用する政治
- Chapter6 世界のエネルギーを動かす人々
- Chapter7 人類・文明・エネルギー
- Chapter8 日本のエネルギー政策を振り返る—特徴, 成功と失敗
- Last Chapter エネルギー革命が始まった—日本の長期エネルギー戦略は

(日本原子力研究開発機構 佐田 務)



輝かしきパイオニア研究炉の軌跡

王禅寺センタ今昔物語

(株)日立製作所 王禅寺センタ 蒲生秀穂, 富永研司, 青井正勝



春爛漫の王禅寺センタ

日立教育訓練用原子炉(HTR: Hitachi Training Reactor)は、我が国の原子力黎明期において、日立グループの総力を結集して設計・製作・建設・運転を実施した純国産研究炉である。HTRは、国産1号炉であるJRR-3の建設を追い越して初臨界を達成したため、当時の新聞では「国産零号炉」の誕生と賞賛された。HTRは、軽水炉が持つ固有の安全性(ドップラー効果)の実験的検証、国内初の脳腫瘍治療照射、技術者の教育訓練などの輝かしい成果をあげ、研究炉のパイオニアとして貢献した。

I. 原子力事始め

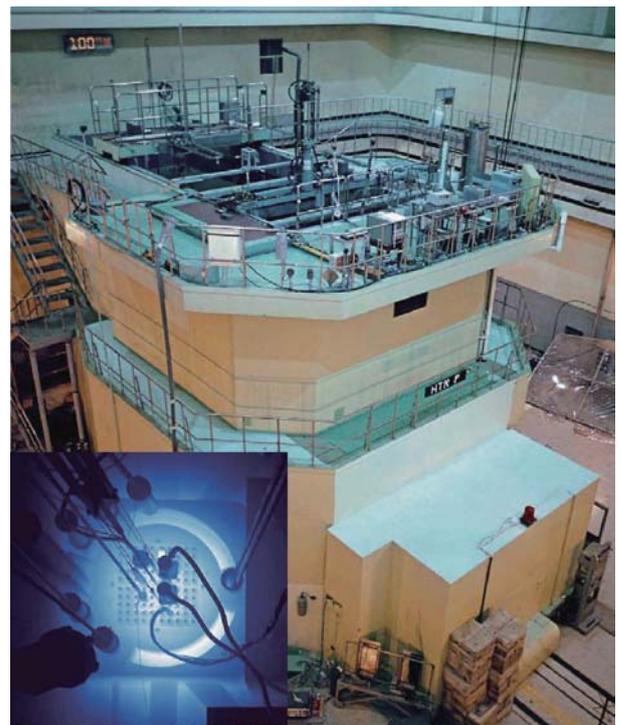
新宿から約45分、川崎市麻生区王禅寺の深い緑に包まれて(株)日立製作所王禅寺センタのHTRがある。このたび、日本原子力学会より第1回の原子力歴史構築賞を授与されたので、ここに先輩方の熱き思いが込められたHTRの軌跡を紹介する。

1954年、我が国に最初の原子力予算(235百万円)が成立し、原子力の黎明期が訪れた。1957年には日本原子力研究所(現日本原子力研究開発機構: JAEA)において研究用原子炉JRR-1が完成し、同年には重電5社の共同設計により国産1号炉JRR-3の設計・建設が始まった。我が国の原子力の華々しい幕開けであった。

当時の日立製作所では、中央研究所で炉物理の研究を開始し、日立研究所では原子炉安全工学や燃料の研究に着手し、また日立工場には原子力の開発組織が作られた。さらに、原子炉関連技術を総合的にまとめて実証する場として、社内用の研究炉を建設しようという動きがあった。1959年、科学技術庁より小型教育訓練用原子炉試作に対し原子力平和利用研究費補助金が交付されることとなり、日立製作所では安全確保を最優先として技術的独創性と大幅な国産化を取り入れた教育訓練用原子炉(HTR)を取りまとめ設計応募した。ここに、日立製作所王禅寺センタのHTRが誕生することとなった。

研究炉の設置場所には、地盤が安定で広大な用地と豊富な用水を確保できることより、川崎市の北の外れ王禅

寺地区が選定された。当時の王禅寺は、緩やかな丘陵地と田畑が広がる田園地帯であったが、今日では住宅地に変貌し、当時の面影はほとんど残っていない。しかし、今でも王禅寺センタの敷地内では親子連れの狸が季節の実りを頬張る姿や、キツツキの槌音、シジュウカラの声などが耳目を楽しませてくれる。また、建設当時に植樹した桜が大木に育ち、春には見事な花(図参照)を咲かせている。



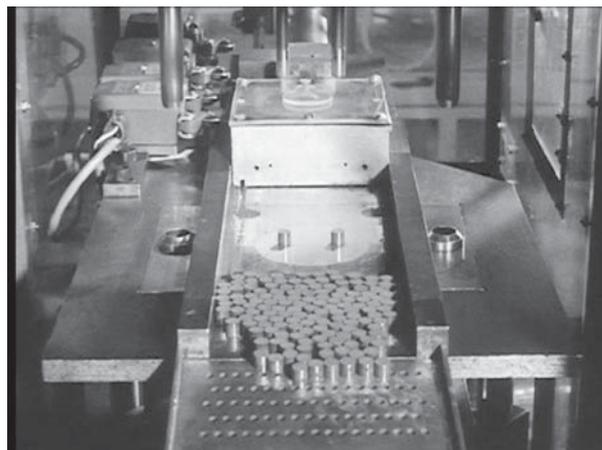
第1図 HTR 外観と炉心のチェレンコフ光

Ohzenji Center, Now and Past: Hideho GAMO, Kenji TOMINAGA, Masakatsu AOL

(2010年 9月30日 受理)

第1表 HTRの主要仕様

項目	仕様
型式	濃縮ウラン軽水減速冷却型 (プール付タンク型)
熱出力	定常運転：100 kW 炉心平均熱中性子束：約 $1.4 \times 10^{19} \text{n/cm}^2 \cdot \text{s}$
燃料	二酸化ウランセラミックペレット 濃縮度：約10%
制御棒	調整棒：1本 安全棒：2本 シム棒：1本
実験設備	水平実験孔：4本 気送管：1式 熱中性子柱：高速指数炉実験、脳腫瘍治療照射に利用 遮へい実験プール：運転停止後、使用済燃料保管プールに転用



第2図 日立研究所での燃料製造

II. HTRの輝かしき成果

1. 純国産研究炉(零号炉)の誕生

HTRは、日立グループの総力を結集して設計・製作・建設・運転を実施した純国産の研究炉である。主要仕様を第1表に示す。新設計を取り入れたHTRは、原子炉設置許可が1960年5月に認められ、その後の建設も順調に進み、1961年12月25日に臨界に達した(第1図参照)。国産1号炉としてすでにJRR-3が建設中であったが、HTRの初臨界はJRR-3に先立つこと9ヶ月であった。

HTRの最大の特徴は当時、研究炉で一般的であった板状燃料ではなく、軽水炉燃料の設計・製造の知見と経験を得るために世界で初めて UO_2 ペレットを研究炉として採用したことであった。このためドップラー係数が大きくなり、大きな負の反応度係数を持つ安全な研究炉となった。燃料製造においても国産化を図り、ペレットの焼結、加工などは第2図に示すように日立研究所で行い、その設計・製造技術はグローバル・ニュークリア・フュエル・ジャパン(GNF-J)に引き継がれた。

商用炉の導入に当って日立は米国GE社と技術提携し、沸騰水型軽水炉(BWR)の設計・建設を推進した。BWRプラントの炉心やシステム設計および機器設計は極めて高度な技術を要するが、技術提携の内容を短時間でそしゃくできたのは、HTRの設計・建設・運転で得られた経験、および研究成果が大いに役立った。

2. 固有の安全性の確認試験

原子炉の想定事故として、冷却材喪失事故(LOCA)と反応度事故がある。LOCAについては、日本原子力産業会議の安全特別委員会のSAFEプロジェクト¹⁾に参画した。日立からは二相臨界流、炉心スプレイ冷却、格納容器壁面での蒸気凝縮熱伝達に関する相関式を提言した。

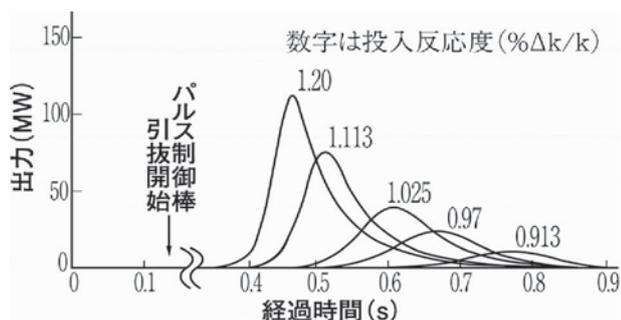
反応度事故に関しては、その重要度に鑑み、社内研究として「軽水動力炉の安全研究」が設置された。安全研究におけるHTRのパルス運転は特に大きなプロジェクトで、科学技術庁の原子力平和利用委託研究に指定され、委託費7,000万円が交付された。HTRのパルス炉への改造の設置変更許可が1966年に認められ、翌年、我が国初のパルス運転が実施された。その後、投入反応度を徐々に増大して、炉周期15ms、最高出力120MWのパルス運転に成功し、軽水炉の固有の安全性(ドップラー効果)を実証することができた。この成果は日本原子力学会の第1回技術賞「研究用原子炉のパルス化および計測技術」^{2,3)}の受賞につながった。

パルス運転に際してHTR炉心の改造点は、ペレット外径を8mmから7mmとして燃料棒1本当たりの発熱量を抑えたこと、被覆管材料をアルミからステンレス鋼へ変更し、機械的強度と耐食性を向上させたこと、急激な反応度を印加するため空気圧作動の中性子吸収体「パルス棒」を追加したことである。また、ペレット中心温度や被覆管表面温度などを測定するため、熱電対や歪み計を装着したモニタ燃料を装荷した。

パルス運転は、あらかじめ炉心を10Wの低出力臨界状態に維持しておき、この状態から中性子吸収体であるパルス棒を急速に引抜き、1ドル以上の反応度を投入する実験である。パルス運転で原子炉は即発臨界となり出力が増加するが、燃料温度上昇に伴うドップラー効果(固有の安全性)により、第3図に示すように、出力が自動的に抑制された。

本パルス運転を実施できたのは、世界に先駆けて UO_2 ペレット燃料を採用したこと、優れた計測・制御技術を集結したことの賜物であった。これにより、軽水炉の炉心は反応度事故に対して固有の安全性を有することを示すとともに、反応度解析コードの妥当性を確認した。

HTR運転停止後、反応度事故の研究は、日本原子力研究所(現JAEA)の原子炉安全性研究炉(NSRR)に引き継がれ、大規模かつ組織的に実施された。NSRRの成果



第3図 各投入反応度に対する出力波形(実測)

は、我が国のみならず、米国において安全審査の基礎データとして使用されている。

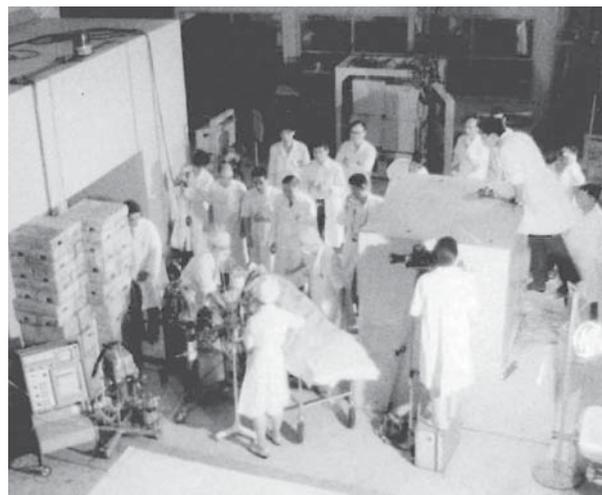
3. 国内初の脳腫瘍治療照射⁴⁾

東京大学医学部に協力し、ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)を用いた脳腫瘍治療を我が国で初めて実施した。BNCTとは中性子線を吸収したホウ素同位体の α 崩壊を利用した治療法で、隣接する正常細胞を傷つけることなく腫瘍細胞のみを死滅させる特徴がある。中性子線源としては主に原子炉が用いられる。1960年代、米国で数十例実施したBNCTは失敗の連続であった。失敗の理由は、体内に注入したホウ素化合物が腫瘍部だけでなく血液中にも拡散したからであった。一方、東京大学では製薬会社と協力して腫瘍細胞に選択的に集中する薬剤の開発に成功した。

最初の患者のA子さんは幼少時から様々な症状に悩まされ、1年前に脳腫瘍と診断された。それまで外科手術やコバルト照射、化学療法などの治療法が試みられたが効果がなく、余命1~2ヶ月と宣告された。東京大学では、患者が生存する可能性は開発中のBNCT治療のみであると決断した。原子炉を用いた医療行為は我が国で初めてのことであり、原子力委員長への陳情、科学技術庁の検討会での議論、HTR設置変更許可の手続きなどBNCT治療の準備が進められた。

こうして、我が国最初の原子炉による脳腫瘍治療が実施されたのは、1968年8月20日であった(第4図参照)。治療当日、東大病院を出発した患者は午前8時にHTR原子炉室に到着し、直ちに麻酔が掛けられ、原子炉の運転が開始された。照射中の様子はテレビモニタに映し出され、関係者の「ガンバレ、A子さん」と祈るような視線が注がれた。また、世界的な治療として多くの取材陣が駆けつけ、全国版のテレビ報道がなされるなか、予定の100 kW×10 hの照射が終了した。患者は麻酔から覚醒すると手足を動かし言葉を発するなど状態は良好で、関係者を安心させた。その後、患者は1ヶ月後には元気に退院することができ、原子炉による脳腫瘍治療照射の効果が確認された。

研究炉の医療分野への適用に際しては、原子力委員会、関連諸官庁、東大病院はじめ医療関係者など、多く



第4図 照射室に入る患者

の関係者の積極的な協力により実現したものである。照射を担当したHTRでは、照射室での中性子束や γ 線分布の確認、マウス実験等をあらかじめ実施するとともに、作業手順書の整備、リハーサルの実施、停電などの不測事態への対応など万全の対策と準備を実施し本番に備えた。

HTRでは、その後1972年までに計13例の脳腫瘍の照射治療が実施され、良好な治療成果をあげた。HTRの運転停止後は、脳腫瘍の治療は武蔵工業大学(現東京都立大学)、京都大学、日本原子力研究所(現JAEA)で引き続き実施され、HTRでの経験が生かされた。

現在、脳腫瘍治療は「非開頭照射」も可能となり、さらに頭頸部ガン、肺ガン等への適用拡大も行われ、BNCT研究は飛躍的に進展している。また、BNCT以外にも放射線を利用した高度先進医療は、陽電子断層撮像法(PET)による診断、陽子線や重粒子線を用いた照射治療など目覚ましい進展を遂げている。

4. 教育・訓練

原子炉の運転・管理と放射線管理技術の修得を主目的に、日立グループのみならず、動力炉・核燃料開発事業団、日本原子力船開発事業団等(いずれも当時の名称)等から延べ165名の研修生を受け入れた。また、HTRの運転や実験に加わった技術者の中から、多くの博士号取得者、原子炉主任技術者、放射線取扱主任者を輩出した。また、王禅寺センタの卒業生達が6つの原子炉施設(HTR、王禅寺臨界実験装置、重水臨界実験装置、常陽、ふげん、原電敦賀1号機)の炉主任を同時期に担当したこともあった。

5. その他の研究成果

(1) 放射化分析

放射化分析の原理は、原子炉で発生する中性子を試料に照射し、試料中の微量物質を核種変換(放射化)させ、

その放射化核種が放出する放射線を測定し核種の同定と定量分析を行うものである。

HTRでは、様々な放射化分析が実施された。特に、環境汚染の問題から重金属(ヒ素、水銀、カドミウム)の微量分析が重要となることを想定し、水銀の分析技術開発に力を注いだ。この結果、毛髪中の水銀の分布計測に成功し環境問題に貢献した。この成果は国際原子力機関(IAEA)の研究炉利用地域専門家会議で各国の関心をよび、IAEA主催の水銀相互比較分析に参加するに至った。

(2) RI 製造、RI 関連製品の製造

HTR 炉心部の照射設備を利用して、第5図に示す放射性同位元素(RI)およびRI 関連製品の製造販売を実施した。特に、全自動レベル計は、ワンタッチで線源と検出器がタンクの所定の位置にセットされ記録を行うものであった。他に可搬レベル計、密度計、水分計、電離箱、核分裂電離箱、BF₃比例計数管など、製品は多岐にわたり、製造・販売した密封標準線源は約1,900個に達した。

(3) 炉心・燃料などの研究

HTRでは、原子炉の出力雑音の測定による原子炉特性評価や異常検出の研究、ガスループ設置による核分裂生成物挙動の研究、炉外における燃料ペレットの熱伝導率測定試験、燃料の燃焼度測定法の研究、放射線遮へい試験、計装・制御・動特性の研究など、多岐にわたる研究がなされた。

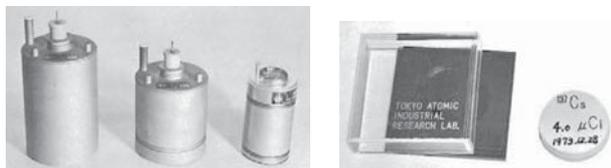
こうした研究成果が続々と生まれる中でHTRの運転続行の要請は強かったが、当初の研究目的が達成されたこと、研究の主体が商用発電炉を用いた高温高压の試験に移行したことから、1975年にHTRの運転を終了した。

Ⅲ. 取組み中の課題

我が国の原子力政策は、研究炉を含めて使用済燃料や廃棄物は事業者責任で処理処分することを定めている。しかし、一般の事業者が委託できる再処理施設や廃棄物を処理処分する機関は存在しなかったため、各事業者が施設内で保管管理しているのが実情であった。

1. 使用済燃料の搬出と再処理

HTRの使用済燃料は、燃焼度が約400 MWd/tと低いですが、設置許可上は再処理することになっている。当初の解体届ではフランスに再処理を委託することになっており、COGEMAへの輸送準備が進められていた。しかし、



第5図 RI製品の写真(左：電離箱、右：密封線源)

輸送手段の確保ができず断念するに至った。その後、英国UKAEA、米国DOE、ANLなどでの再処理について様々なルートを頼り交渉したが実現に至らなかった。その主な理由は、海外再処理施設の閉鎖、酸化燃料であったこと、米国DOEの引取り濃縮度制限値以下であったことが挙げられる。その結果、HTR使用済燃料は、30余年の永きにわたり使用済燃料保管プールに眠ることとなった。

諸外国との交渉が不首尾となる中、核燃料サイクル開発機構(現JAEA)との3度目の交渉において、再処理センターで再処理していただけることとなった。HTR燃料は約10%濃縮ウランを使用しているため、再処理センターの受入条件に適合する濃縮度に希釈する必要があった。このため日本核燃料開発(株)(NFD)にて、劣化ウランと混合することにより濃縮度を低減した燃料集合体に組み立てられた。本作業の過程で50年ぶりに燃料棒から取り出された燃料ペレットは、第6図に示すように、割れや欠けが認められず、当時の燃料ペレット製造技術の高さが確認された。

使用済燃料の搬出に関しては、①京大炉の輸送容器の借用交渉、②同容器をHTR使用済燃料に使用することの設計承認・容器承認の取得、③関連自治体や周辺住民への説明、④防災設備の整備、⑤防災体制の確立、⑥多方面にわたる輸送手続き(官庁、自治体、警察、港湾)など、多岐にわたる関連機関との交渉を粘り強く実施した。30年にも及ぶ紆余曲折の末、2005年10月に使用済燃料を王禪寺センタから搬出することができた。

2. 放射性廃棄物処理処分へのチャレンジ

原子力発電所で発生する低レベル放射性廃棄物については、各サイトで処理され、日本原燃(株)(JNFL)の六ヶ所埋設センターにて埋設処分されている。一方、研究機関・大学・民間機関・医療機関などにおいて発生した種々の低レベル廃棄物(研究施設等廃棄物：研廃)については、埋設事業が始まっておらず、当面の間は各事業者



第6図 燃料棒から取り出されたペレット

が研廃を保管管理する責任がある。

今般, JAEA 改正法の成立(2008年5月)により, JAEA が研廃の処分実施主体となることが決まり, 研廃の処理処分の見通しが得られつつある。研廃の処理は発生者の責任ではあるが, 大学や民間企業が個別に対応することは現実的ではなく, 合理的・効率的な処理を行う全国共通の処理事業が必要である。研廃を少量保有する大学や民間事業所が, 漏れ落ちなく処理処分することが肝要である。このため, 日立製作所(財)原子力研究バックエンド推進センター(RANDEC)や国内の他事業者と協力して, 研廃の集荷・保管・処理する物流システム事業の早期実現化を推進している。

研廃の早期で確実な処理処分の推進は, 事業者にとっては管理コストの低減や保管容器の老朽化対策の利点があり, 地域住民にとっては放射線リスク低減によりさらに安心感を与えるものである。

VI. 結言

日本原子力学会の依頼で王禅寺センタ今昔物語を執筆するに際し, 改めて古い資料をひもといた。先人のご苦労に対して深い感銘を受けるとともに, 下記の教訓を得た。

第1の教訓は, 「開拓者精神」である。HTRの13年2ヶ月の短い運転期間において, 数多くの「世界初」「我が国初」という先駆的な業務にチャレンジし, 輝かしい成果をあげた先輩方の開拓者精神に畏敬の念を持った。原子力に携わる者として, 開拓者精神を忘れずに, 直面する課題に勇気を持ってチャレンジしたいと思う。

第2の教訓は, 「官民協力とスピード」である。HTRの建設は, 設置許可がおりてから僅か1年8ヶ月で臨界に到達した。また, 脳腫瘍治療照射の事例では, 陳情から照射治療の実施まで僅か1ヶ月で実現した。原子力の平和利用, 国民の福祉向上に関連するものは, 官民が一丸となりスピード感を持って推進されたことを学んだ。

第3の教訓は, 先輩方が培った「安全文化」である。HTRの運転期間とその後の廃棄物管理期間を通し, 安

全確保を最優先するという姿勢により, 被ばくおよび汚染トラブルは皆無であった。この安全文化を正しく継承し, 今後の廃棄物の処理処分と施設の本格解体に向け鋭意準備を進める所存である。

—参考文献—

- 1) 藤江秀夫, “軽水動力炉冷却材喪失事故時の安全解析に関する研究”, 日立評論, 52〔4〕, (1970).
- 2) 田上 嵩, “HTRにおける自己制御実験”, 日本原子力学会誌, 10〔3〕, (1968).
- 3) 山田周治, “第1回原子力学会賞 研究概要 105. 研究用原子炉のパルス化および計測技術”, 日本原子力学会誌, 11〔2〕, (1969).
- 4) 今井宗丸, “原子炉による脳腫瘍の照射治療”, 日本原子力学会誌, 10〔11〕, (1968).

著者紹介

蒲生秀穂(がもう・ひでは)



(株)日立製作所 王禅寺センタ
(専門分野)研究炉廃止措置, 放射線計測

富永研司(とみなが・けんじ)



(株)日立製作所 王禅寺センタ
(専門分野)原子炉安全工学, 原子力システム工学

青井正勝(あおい・まさかつ)



(株)日立製作所 王禅寺センタ
(専門分野)研究炉廃止措置, 再処理

時空の創生：超弦理論から原子核へ

3. 陽子・中性子＝仮想高次元重力

理化学研究所 仁科加速器研究センター 橋本 幸士

超弦理論という精緻な数学体系は、新しい数学公式を提供し続けている。知られた素粒子物理学への公式の応用は、純粋な数理体系としての超弦理論の新しい活躍の場である。応用に際し、この世がひもで出来ているかどうかは問題ではない：数学公式なのである。公式を用いると、クォークの物理学は、仮想的重力理論で置き換わり、様々な物理量が計算可能となる。最終回の本稿では、この5年ほどの発展である、原子核物理学の基礎への超弦理論の応用を紹介する。

I. 原子核物理に必要な「新しい公式」

人類が発見した20世紀最大のエネルギー源は、紛れもなく、原子力エネルギーである。半世紀以上にわたり、研究者はその性質を理解するために研究を行ってきた。しかし、その研究の現状を一言で言えば、「どのような種類の原子核が存在し得て、それらがどう反応するか」という問いの答えを見つけるという遠大な目標への到達は、まだまだ遠い。

もちろん、原子核についてわれわれが持っている知識は膨大になり、原子核の衝突反応実験の精密なデータ、そして様々な成功した理論モデル、が存在する。計算機の性能は指数関数的に増え、複雑な理論モデルも数値計算が出来、実験結果と比較できる時代となった。スーパーコンピュータを用いて、原子核の励起エネルギーなどの計算が行われ、実験観測結果を再現する。では、なぜ、存在できる原子核の種類について我々は明確な答えを持たないのだろうか。

本稿では、超弦理論から導出される新しい「数学公式」が、原子核物理学の基礎部分の解明に役立っている、という近年の研究の進展を解説する。そこでは、原子核を構成する核子(陽子・中性子)の様々な性質が、新しい数学公式によって、仮想高次元時空の重力の性質と結びつき、困難であった計算が可能となる。全く異なるように見える2つの物理学が公式で等価に結びついたとき、単なる計算可能性の改良だけではなく、物理のアイデア・知識の融合、そして研究者コミュニティの融合が発生した。以下では、近年の研究成果を概観すると共に、研究

Emergence of Spacetime: From Superstrings to Nuclear Physics : Koji HASHIMOTO.

(2010年 8月30日 受理)

者たちの研究の興奮もお届けしたい。

1. 素粒子と原子核

大学や研究機関では、研究分野が細分化・専門化して、タコソボ現象が発生し、ひどい場合は隣の研究室で何をやっているかも知らない状況になっている。素粒子物理学と原子核物理学は、研究分野が隣り合わせであるが、残念なことに、研究交流はあまりなかったと言わざるを得ない。

もちろん、研究者の気質の問題も多分にあるかもしれないが、素粒子と原子核の場合、むしろ、物理学上の困難がその分離を生んでいると言える。「お隣さん」であるはずの素粒子と原子核の間に横たわる高い壁が存在するのである。

原子核を構成するものは、核子と呼ばれる陽子と中性子である。核子はお互いに力を及ぼしあい、それは核力と呼ばれる。核力のために核子は複合状態をなし、原子核を作る。原子核物理学の基礎は、核子の性質と、核力である。これらが一旦与えられれば、原理的には、どのような原子核が存在し、どのような性質を持つかが判明するはずである。核子の数が少ない原子核の場合、実験的に求められた核力をインプットとし、陽子・中性子+核力を基本とする多体系の量子力学を解くことで、原子核の励起エネルギーが計算されてきた。

一方、素粒子物理学によれば、核子はクォーク3つが「強い力」で引き寄せられて複合状態をなしていると考えられている。核力は、クォークと反クォークのペア(これらも複合状態をなし「中間子」を構成する)を核子間で交換することで発生する。

したがって、クォークを基礎とする素粒子物理学と、核子を基礎とする原子核物理学は、まさにお隣さんなのである。お隣さんの間にある高い壁とは何だろうか？そ

の壁に穴を開けることができる超弦理論、の解説に入る前に、まずは壁の性質について見ていこう。

2. 素粒子論の問題：力が強すぎる

クォークを記述する理論は量子色力学(Quantum Chromodynamics, 略して QCD)と呼ばれている。クォーク間には「強い力」が働き、強い力を媒介する素粒子はグルーオンと呼ばれている。クォークとグルーオンは量子色力学の基本構成素粒子であり、これらは素粒子の標準模型の一部をなしている。

量子色力学は、量子場の理論と呼ばれる数学体系を使って書かれており、そこに表れる自然定数はわずかなものでしかない。それらは、クォークの質量と、あるエネルギーにおけるグルーオンの力の強さだけである。これらの値(具体的な数字)は、素粒子実験から特定されている。したがって、量子色力学は、完全に数学的に決められており、そこから計算される物理量は、実験と直接比較される。

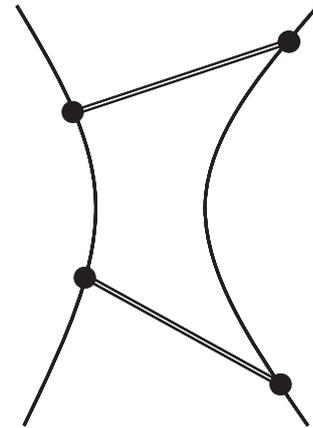
この状況は、電磁気学と似ている。電磁気学では、マクスウェル方程式という基本方程式があり、電子の荷電と質量、そして光速が与えられれば、方程式を解くことで、電磁気学の予言するすべての物理量を計算することができる。

しかし、量子色力学には問題が一つある。クォークの間に働く「強い力」が強すぎるのである。電磁気力と比べて非常に強いこの力のせいで、クォークは単体では存在できず、常に相棒を伴っている状態しか観測されていない(クォークの閉じ込め)。核子や中間子のような状態である。

電磁気学の場合、電子2つの間に働く力を計算するのに、電磁気力を媒介する素粒子である光子ひとつを電子の間に交換してやれば、近似的に十分良い精度の結果が出る。光子2つを交換する場合(第1図)は、1つを交換する場合に比べて寄与が小さいのである。一方で量子色力学の場合、力が強いので、グルーオン1つを交換する場合よりも2つを交換する場合のほうが寄与が大きく、3つのほうがさらに大きく、…と際限がない。したがって、計算すべき量が無限に存在し、計算が実効的に不可能になってしまっているのである。これが、量子色力学の問題である。

この問題のため、例えば、量子色力学で核子や中間子の質量を求めるという最も基本的な問題にすら、我々は、世界最高性能のスーパーコンピュータを膨大な時間使用しなければならない。

面白いことに、たとえクォークの質量がゼロだったとしても、核子の質量はゼロではないことが予想されている。量子色力学に似た物理模型で、このように質量が生成されることを数学的に示せ、という問題が、クレイ数学研究所のミレニアム問題の一つとなっている。証明で



第1図 2つの電子の間を光子が交換されて電磁気力が働く様子

素粒子の軌跡を描いたこのような図をファインマン図と呼ぶ。垂直方向は時間軸、水平方向は空間方向を表す。電子の軌跡は実線、光子の軌跡は二重線で書かれている。黒丸では光子が電子から放出・吸収されている(相互作用点)。

きた者への賞金は約1億円である。もちろん、金銭では測れないほどの価値をこの問題は有している。すなわち、大きな壁なのである。

3. 超弦理論の公式が壁に穴を開ける？

スーパーコンピュータで計算できるなら、問題はない、という考え方もあるだろう。一理あるのはもちろんだが、一方で、コンピュータで数字が出ることを以って「その物理を理解した」とは言えないのも明らかである。物理の計算としてベストであるのは、直感的に理解できる概念を持って、紙と鉛筆で計算でき、様々な変更や修正が自在にできるフレームワークであることである。スーパーコンピュータの結果は重要だが、物理学の本質的な進展には、簡易な新しい計算手法とその基礎を与える新概念が、不可欠なのである。

強い力の困難という大きな壁に穴を開けつつあるのが、超弦理論に基礎を置く、ある数学公式である。この数学公式を用いると、強い力を記述する量子色力学は、仮想的な高次元空間の重力理論と等しいことが示される。仮想的な重力理論で様々な計算をすると、その結果が、公式を通じて、核子や中間子の性質となるのである。クォークやグルーオンだと思っていた原子核の基礎が、実は、高次元仮想重力理論であるとも言えるのである。

以下ではこの新奇な等式について、超弦理論からの導出も含めて、解説しよう。

Ⅱ. クォーク・グルーオン=重力？

核子の基本的な性質の一つは、その大きさである。核子に光をぶつけてその反応を見ると、核子内部の荷電分布を通じて核子のおよその大きさが見える。超弦理論の新しい公式を用いると、陽子と中性子の荷電半径の二乗

は、それぞれ $0.8[\text{fm}^2]$ 、 $0.0[\text{fm}^2]$ と計算される。一方、実験で観測されている値は、それぞれ、 $0.88[\text{fm}^2]$ と $-0.11[\text{fm}^2]$ となっている。(筆者と酒井忠勝氏・杉本茂樹氏との共同研究²⁾。超弦理論の計算では、理論のインプットパラメタとして π 中間子の崩壊定数と ρ 中間子の質量を用いている。これら2つのインプットだけを用いて、量子色力学の他の量が計算できる。)これらは、よく一致しているとみてよいだらう。現在まで超弦理論で計算された、核子や様々な中間子のほかの性質も、2割程度の誤差の範囲内で、すべて実験値と一致することが知られている。

もちろん、これらの値を出す際にスーパーコンピュータを使ってはいない。超弦理論から導出される新しい公式を用いて、手で計算したのである。非常に興味深いことに、これらの数値を出す計算過程では、高次元の重力理論を用いるのである。核子は、あたかも仮想的な高次元空間に浮かぶエネルギーの塊と解釈されるのである。

観測される物体の性質を、簡易にしかも直感的に計算できる方法があるならば、その物体の実体を解釈する物理的方法はその方法であるということになろう。核子がクォーク3つから出来ている量子色力学の描像ではスーパーコンピュータを用いなければこれらの数値は出てこないのであるから、したがってむしろ、核子は高次元重力理論の物体である、との解釈が自然となるだろうか。「自然な解釈」の哲学論はさておき、なぜこのような計算が可能になるか、そのからくりを見ていくことにしよう。

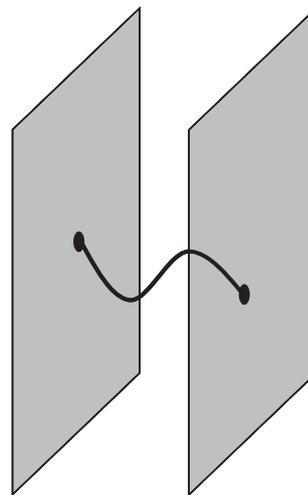
1. 開いたひもと閉じたひもの親密な関係

前稿では、超弦理論には「D ブレーン」という高次元空間に浮かぶ膜があり、開いたひもはその上に端を置くことができる、と述べた。D ブレーンを重ねたり交差させたりすると、素粒子の標準模型の基礎的な部分が構成できることも明らかになった。そこではすべて、開いたひもの話に尽きていた。クォークもグルーオンも、開いたひもの振動モードから現れる素粒子として理解された。

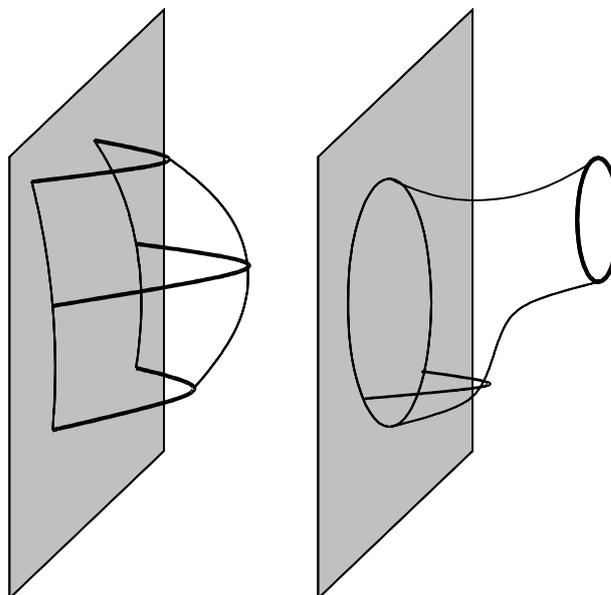
実はD ブレーンには、閉じたひもとの親密な関係がある。この新しい関係を使うと、クォークとグルーオンの理論を、高次元重力理論と見直すことができるのである。

D ブレーンは、開いたひもが端を置くことのできる高次元膜である(第2図、前稿参照)。閉じたひもには一見、関係ない物体に見える。しかし、実はD ブレーンは閉じたひもを放出する能力があることが分かる。

第3図を見てみよう。開いたひもが上方向に運動したときの軌跡を描いた図が左図である。この図において、ひもの一部を変形すると、右図のように、閉じたひもが分離生成するプロセスが現れる。すなわち、D ブレーンに開いたひもがくっつけるならば、そこから閉じたひもが自在に飛び出すのである。



第2図 2枚のD ブレーンに端を置く開いたひも



第3図 D ブレーンは重力の源となる

左：開いたひもがD ブレーンの上に付いている場合、ひもの軌跡。

右：開いたひもから閉じたひもが生成され放出される。すなわち、D ブレーンから閉じたひもは放出される。

閉じたひもの振動モードからは重力子が現れる(第1回を参照)ので、D ブレーンは重力子を放出する源となっている。重力の理論で重力子を放出する源となる、厚さのない物体は何か?それはブラックホールである!

D ブレーンは単に開いたひもが乗る膜として導入したが、実は、ブラックホールと同定されるのである。D ブレーン上の開いたひもの理論を量子色力学と考えたいのなら、D ブレーンの広がっている空間次元は、量子色力学の空間次元、すなわち我々の知覚する空間次元3以上でないといけない。したがって、ブラックホールは点状の物体ではなく、高次元に広く広がった3次元以上の多次元ブラックホールである。ブラックブレーンと呼ばれるこの物体は、高次元時空を大きく曲げている。

この見方は、全く新しい物理観を提供している。もともと、開いたひもで記述していたものは、クォークやグルーオンの量子色力学であった。しかし、超弦理論でこれらを解釈すると、D プレーンがブラックホールとなり、高次元の重力理論の曲がった時空となるのである。量子色力学が高次元重力理論と「等価」になったのである。

2. ホログラムとしての素粒子論

この対応原理は、超弦理論を経由しているが、最終的には超弦理論ではないように見えるものを対応させている点がまず興味深い。一方はクォークとグルーオンの量子色力学である。他方は高次元重力理論である。これら2つの物理学は、歴史的にはそれぞれ独自に大きな発展を遂げてきた。それぞれ独自の計算解析手法があり独自の結果を出してきた。最近までそれらには一切関係がないと考えられてきた。これら2つの理論が、実は等式で関係すると聞けば、大変な驚きである。この等価性は1998年にマルダセナによって予想され、その後、何千という数の関連論文が出版されている。

この等価性において、第1に不思議である点は、量子色力学の考えられている空間が3次元であるのに、他方重力理論は高次元であるという点である。時空次元の異なる物理の間の関係を一般に「ホログラフィー」と呼ぶ。ホログラムとは、立体的に見える写真のことである。2次元の中に3次元の情報が含まれているホログラム写真と同じように、量子色力学が高次元重力理論と対応する。

次に重要な点は、量子色力学の力が強いほど、高次元重力理論のほうを取り扱いやすくなる点である。高次元重力理論の重力子は、閉じたひものある振動モードから現れるが、他の重い振動モードも無限に存在する。それらが十分重くなって関与できなくなる極限が、一方の量子色力学側では、力が強くなる極限に対応しているのである。これには数理的理由があるが、紙面の都合でここでは解説ができない。

しかし、実のところ、なぜこのような対応がうまく行くかという深い物理的な証明は存在していない。それが、クレイ数学研究所の懸賞問題となっていることの原因の一部である。開いたひもの描像と閉じたひもの描像が入れ替わるからくりの解明は、超弦理論の研究者の主要な研究対象である。

強い力の問題が、高次元重力理論側へ行くと簡単に計算できる問題に置き換わる、という点が、著しい長所となるのはお分かりだろう。超弦理論を通じ高次元重力理論で量子色力学を研究する手法は、「ホログラフィックQCD」と呼ばれる。新しい描像を提供しているだけでなく、強い力が強すぎる問題を解決するのである。

3. 物理の間を翻訳する「辞書」

等価な2つの理論を行き来するためには、辞書が必要

である。英語を日本語に翻訳するように、量子色力学における計算したい物理量を、高次元重力理論の物理量に翻訳しなければならない。

この翻訳のための「辞書」(研究者は、こう呼んでいる)は、再び、ひもの性質から導かれる。量子色力学で、強い力のために現れる状態は、クォークやグルーオン複数個の複合状態である。この複合状態は、実は高次元重力理論の重力子などに対応することが、以下のように分かる。

高次元重力理論において、曲がった時空内を伝播する重力子を考えたとして。投げ入れられた重力子は、曲がった時空のために軌道が変形される。重力子は閉じたひもである。さて、D プレーンの描像に戻ると、閉じたひもがD プレーンのそばにやってくれば、D プレーンに当たったときに、2つもしくはそれ以上の数の開いたひもに分割されてもよいであろう。D プレーン上では開いたひもが端を持てるのであるから。これらの開いたひもは、まさにクォークやグルーオンを表す。しかも複数と一緒に閉じたひもを形成するのであるから、クォーク・グルーオンの複合状態が、重力子に相当するはずである。これが、翻訳の辞書である。

クォークやグルーオンは行列で表される(前稿を参照)。行列の言葉では、重力子は行列の掛け算のトレースをとったものに対応する。複合されて、行列のトレースがとられ、1つの数となる。

一旦対応物が分かれば、計算方法が分かる。重力子が曲がった時空内をどのように伝播するかが、クォーク・グルーオンの複合状態の伝播の方法、すなわち質量を決定する。また、曲がった時空内でどのように相互作用するかが分かれば、クォーク・グルーオンの複合状態同士がどう相互作用するのかが分かる。光と核子の相互作用、すなわち核子の荷電半径は、このように高次元重力理論の言葉に翻訳され、計算されたのである。

最近、筆者は、超弦理論の公式によるこのような手法を用いて、核子間の核力の計算を行った³⁾(再び酒井氏・杉本氏との共同研究)。計算された核力は、湯川 π 中間子の交換によるスピン・アイソスピンに依存した長距離核力を再現しただけではなく、近距離では斥力芯をも再現した。斥力芯とは、核子同士が近距離では非常に大きな斥力を常に感じることを言う。斥力芯の観測から半世紀以上が経つが、量子色力学から直接その存在を解明することは大きなチャレンジである。超弦理論の計算結果は、核子密度が大きな中性子星などの物理の解明に糸口となるかもしれない。

核子の性質と核力は、冒頭に述べたように、原子核物理学の基礎構成要素である。量子色力学からこれらを計算することは、素粒子物理学と原子核物理学の間の壁に穴を開けることを意味する。超弦理論の公式は、これをやってのけたのである。

今後、ますます素粒子物理学と原子核物理学は近くなるに違いない。様々な専門を持つ研究者が互いに行き来し共通の問題を解明していく様子は、物理学の理想の一つであると言えよう。これからの両分野の進展が楽しみである。超弦理論は、さまざまな分野の研究者の手をつなぐ、きっかけと道具となった。

Ⅲ. 超弦理論と時空の創成

本解説では、3回にわたり、超弦理論の提供する新しい時空像を述べてきた。

- ・第1に、超弦理論では高次元時空が必然的に現れ、時空次元が理論から決まってしまうこと。
- ・次に、我々の知っている3次元空間の外に、高次元方向があり、我々は膜に閉じ込められている、という「ブレーンワールド」の可能性があること。
- ・最後に、理論の時空次元は一意的ではなく、力の強さが変わると時空次元が変わった異なる理論と解釈できる「ホログラフィー」という数学公式。

これらはいずれも、我々が共通常識であると思込んでいる「時空」とその次元についての考え方を、まったく一新している。時空は、物質を入れる「箱」ではなく、まさに「創発」される概念なのである。つまり、“emergent spacetime”「創発する時空」なのである。

強調しておきたいのは、これらの超弦理論の成果は、単なるファンタジー小説ではなく、精緻な数学から現れているということである。超弦理論の研究者は、闇雲にいろんな想像を言い散らかす人々の集まりではない。数学的な研究成果として、上記リストがあるのである。

この世ははたして「ひも」から出来ているのか？高次元は存在するのか？そして、ファンタジー小説『平面国』に現れる平面人のように、我々はDブレーンという膜の上に住んでいるのか？——これらの問いに答えるには、実験観測を待つしかない。物理学は実証の学問である。幸い、ヨーロッパでは、日本を含め世界中の研究者が参画する実験が、巨大な粒子加速器LHC(Large Hadron Collider, 大ハドロン衝突器)の稼動により実証段階に進み、人類未踏の高エネルギー領域を探索している。LHCの研究成果が、高次元やブレーンワールドの発見につながるか、と、世界中の研究者が様々な可能性を議論している。

最終回の本稿では、我々の世界の実証について、少し違った角度から眺めてみた。クォークの力学である量子色力学は、すでに確立したものであり、もちろん空間次元が3の理論として作られている。そのダイナミクスは、クォークの複合状態として陽子・中性子を生み、原子核、すなわち我々の世界の中心構成要素を形作っている。そんな量子色力学が、実は高次元の仮想重力理論でも同じように記述できる——それが超弦理論の成果である。

この等価性においては、この世がすべてひもできて

いるということは仮定しない。使っているのは単に数学公式なのであって、その公式が超弦理論から出現しただけなのである。

クォークの力学が、3次元空間の量子色力学で記述されるのと同時に、高次元の重力理論でも記述できる。本稿では今まで、高次元の重力理論を「仮想重力理論」と呼んできたが、はたして、どちらが「仮想」なのだろうか？仮想なのは量子色力学やクォークのほうなのではないだろうか？

上にも述べたように、物理学は実証の学問である。実験や観測の結果を首尾よく矛盾なく説明できる理論こそが、自然を説明する「真の理論」である。このもっとも根源的な立場に照らせば、高次元「仮想」重力理論は、ある意味で「仮想」ではなく、「真の理論」の名を冠するにふさわしい状況がある。量子色力学では計算に相当な困難があるような、陽子や中性子などの性質を、いとも簡単に導くからである。

どちらが仮想的か、という問題は物理学の問題ではなく、哲学の問題であろう。どちらが真か、雌雄を決するのは物理学ではない。実は、物理学においては、どちらも「真」なのである。これが、我々人類がついに到達した物理理論の姿である。単一の「理論」が勝利を収めるのではなく、我々が異なると思込んでいた様々な「理論」が実はお互いに等価であり、それぞれの理論によって得意な計算対象が異なる、という姿である。

超弦理論のもたらした公式は、我々が常識的に「入れ物」の箱であると考えてきた時空そのものが、ダイナミカルに理論そのものと結びついて創発することを教えてくれた。物理学におけるこの驚くべき発見は、まだまだ、広く世間には知られていない。しかし、本解説の読者は、これから近い将来に起こりうる、我々の想像を超えた物理学上の発見がさらに待ち受けているかもしれない、という、研究者が抱く興奮を感じ取っていただけたであろう。

我々の3次元空間は、はたして現実か？仮想か？

—参考資料—

- 1) 橋本幸士, Dブレーン：超弦理論の多次元物体が描く新しい世界像, 東京大学出版, (2006).
- 2) K. Hashimoto, S. Sugimoto, T. Sakai, “Holographic Baryons: Static Properties and Form Factors from Gauge/String Duality”, *Prog. Theor. Phys.*, **120**, 1093 (2008).
- 3) K. Hashimoto, S. Sugimoto, T. Sakai, “Nuclear Force from String Theory”, *Prog. Theor. Phys.*, **122**, 427 (2009).

著者紹介

橋本幸士(はしもと・こうじ)

本誌, 52(11), p.47 (2010)参照.

放射性廃棄物処分の放射線防護の最適化

処分システムの頑健性確保に係るガイドラインの策定に向けて

(独)原子力安全基盤機構 川上 博人, 青木 広臣

(独)日本原子力研究開発機構 鈴木 篤之

放射性廃棄物処分の放射線防護の最適化の考え方は、遠い将来において生じる可能性がある被ばくを対象にした防護の最適化である。そのため、原子力の利用により利益を受ける世代と被ばくを受ける世代が乖離していることや被ばく評価に長期的な不確かさを多く含むことから、他の原子力施設と同じ考え方でこれらを求めていくことには難しい課題を有している。本解説は、この課題に対処する考え方を概観するとともに、防護の最適化の考え方が、処分システムの頑健性確保の考え方と等価であることを示し、これを具体的に実行するために利用可能な最良の技術(BAT)を適用したガイドライン策定に向けて、学会に提言を行うものである。

I. 背景

原子力安全委員会は「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」(以下、「安全評価に関する考え方」という)を平成22年4月1日付けで委員会了承した。本報告書の策定過程においては、意見募集等を通じて放射線防護の専門家等から、線量のめやすの考え方や放射線防護の考え方に関し、多くの意見が寄せられた。この中の主要な論点は、管理期間終了以後の数十年間にも及ぶ長期的安全評価において、時間とともに増大する不確かさに対する安全裕度確保の考え方と防護の最適化の考え方に関するものであった。このような論点について、議論が集中したのは、我が国において防護の最適化を安全規制という観点から、どのように具体化するかといった方法論やその判断基準、特に放射性廃棄物処分の分野においては、被ばくの対象となる将来世代に対する防護の最適化に関する議論がなされて来なかったことによるものと思われた。本稿は、このような状況に鑑み、防護の最適化に係る動向を俯瞰し、防護の最適化と ALARA (as low as reasonably achievable, economic and social factors being taken into account) の概念および処分システムの頑健性確保のための考え方が等価な概念であることを示し、処分システムの頑健性確保に係るガイドライン策定に向けた学会の動きを期待して、その議論の素材を提供するものである。

The Optimization of Radiation Protection for Radioactive Waste Disposal—A Proposal for Stipulation of Guidelines on Robustness of Radioactive Waste Disposal: Hiroto KAWAKAMI, Hiroomi AOKI, Atsuyuki SUZUKI.

(2010年 7月1日 受理)

II. 我が国の放射性廃棄物処分の安全規制における防護の最適化

1. 我が国の安全規制における防護の最適化

我が国においては、原子炉等規制法第51条の3において、廃棄の事業に関する規制の許可の基準を3項目定めているが、この中で「廃棄物埋設施設又は廃棄物管理施設の位置、構造及び設備が核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物による災害の防止上支障がないものであること。」を求めている。

この具体的な規定については、原子力安全委員会「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」(以下、「安全審査の基本的考え方」という)において、管理期間中と管理期間終了後に分けて記載している。ここで管理期間とは、廃棄を行う事業者が安全確保のために能動的な管理を行う事業終了までの期間で、余裕深度処分に埋設する場合には300年から400年をめやすとしている。この中で管理期間中の平常時における一般公衆の被ばくについては、「段階管理の計画、廃棄物埋設施設の設計並びに敷地及びその周辺状況との関連において、合理的に達成できる限り低いものであること」と ALARA を要求し、管理期間終了後の一般公衆の線量は、「被ばく管理の観点からは管理することを必要としない低い線量であること」を求めている。そして解説において、この線量は、放射線審議会基本部会報告「放射性固体廃棄物の浅地中処分における規制除外線量について」(昭和62年12月)に示された規制除外線量である10 μ Sv/年を超えないことをめやすとすると規定している。

その後、放射線審議会基本部会は上記報告書を改訂し、「放射性固体廃棄物埋設処分及びクリアランスに係

る放射線防護に関する基本的考え方について(平成22年1月29日)を定めた。この報告書においては、放射線防護の基本原則の一つである防護の最適化の観点から、「公衆が将来受ける可能性があるとして評価された被ばく線量が、以下に示された各規準値を下回る場合でも、当該被ばく線量が合理的に達成できる限り低くなるよう考慮が払われるべきである」とし、自然過程に適用する規準として線量拘束値の300 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ を、偶然の人間侵入に適用する規準として20 $\text{mSv}/\text{年}$ をそれぞれ防護の最適化の上限値として示した。

「安全評価に関する考え方」は、改訂された上記の放射線審議会基本部会報告書を反映する形で取りまとめられたものである。また、原子力安全委員会放射性廃棄物・廃止措置専門部会は「安全評価に関する考え方」の策定を踏まえ、「安全審査の基本的考え方」を改訂し、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」(以下、「安全審査の基本的考え方(改訂)」という)を平成22年8月9日付けで委員会了承した。

2. 余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方

余裕深度処分は、炉内構造物や再処理廃棄物等を埋設の対象としており、長半減期核種、例えば ^{14}C (半減期： 5.7×10^3 年)、 ^{36}Cl (同： 3.0×10^5 年)、 α 核種等の濃度および放射線量が浅地中処分のピット処分対象廃棄物に比べて高い廃棄物を対象としている。「安全評価に関する考え方」においては、これら長半減期核種を有意に含む廃棄物を埋設する場合の安全評価シナリオを4種類に区分し、放射線防護の設計の「めやす」をリスク論的考え方^{a)}に基づき、その蓋然性に応じて第1表のように定めている。

この「めやす」、特に基本シナリオに対する「めやす」は、防護の最適化の目標値ではなく、不確かさを考慮し

^{a)}すべてのシナリオに対して画一的に放射線防護基準を適用するのではなく、シナリオ発生の可能性に応じて放射線防護上の要件に関する充足性を判断する考え方。

た処分システムの設計の妥当性を判断するための「めやす」として示したものである。この管理期間終了以後の長期的安全評価に係る不確かさに対する安全裕度の取り方の考え方については、放射性廃棄物処分に固有のリスクと原子炉のそれとの差異を念頭に、第1図のような考え方に基づいている¹⁾。すなわち、事象の影響である被ばく線量については、(1)管理が行き届かない長期にわたる被ばくに対する裕度、(3)長期的に増大する不確かさに対する裕度および(5)長期的安全評価のより大きな仮説に対する裕度を持たせ、さらに、事象の発生確率については、(2)安全機能を期待する人工バリアの設計寿命の長期化および(4)天然バリアに安全機能を期待する期間の長期化に配慮して、適切な安全裕度を確保する考え方が示されている。このように長期的な不確かさに対して適切な安全裕度を確保することが、処分システムの頑健性確保に結びついている。

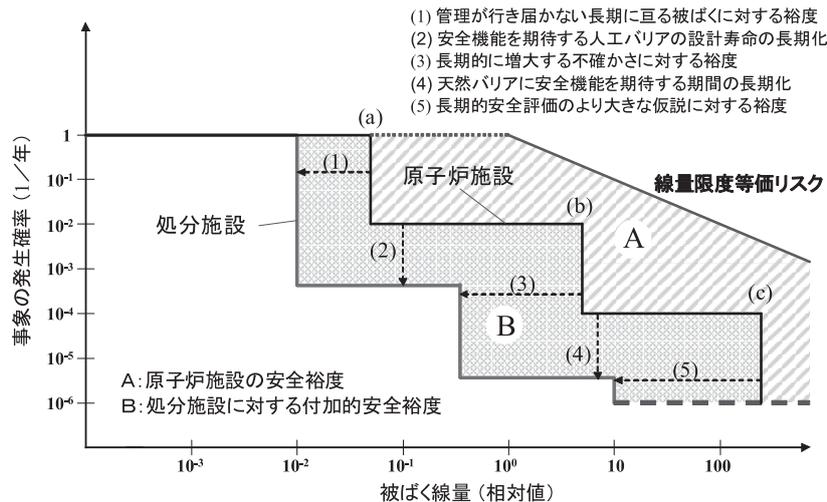
Ⅲ. 放射性廃棄物処分の国際基準等における防護の最適化の考え方

1. ICRPにおける防護の最適化の考え方

国際放射線防護委員会(ICRP)は、放射線防護の最適化については、確率的影響には線量のしきい値がないという前提にたち、被ばく線量、被ばくする人の数、被ばくする可能性のある事象の発生確率はできるだけ少ないほうがよいという考え方にに基づき、放射線損害も費用に換算する防護の最適化の定量的アプローチを進めてきた。ICRPの防護の最適化に係る考え方の変遷を第2表に示す。しかし、放射性廃棄物処分については、将来世代の集団線量を目標関数にした最適化では、長期的な不確かさを勘案した場合には、従来の防護の最適化の概念が適用できないことが認識され、定量的評価よりも定性的判断が推奨され、その判断のプロセスを重視する傾向になった²⁾。また、「放射線防護の最適化：そのプロセスの拡張」³⁾においては、ICRPの最適化の変遷をまともにとともに、最適化のプロセスとして、利害関係者の関与の重要性と最良選択肢の選択の考え方について言及して

第1表 安全評価シナリオの区分とその「めやす」

シナリオ区分	シナリオの内容	めやす
基本シナリオ	発生の可能性が高く、通常考えられるシナリオ	10 $\mu\text{Sv}/\text{年}$
変動シナリオ	発生の可能性は低いが、安全評価上重要な変動要因を考慮したシナリオ	300 $\mu\text{Sv}/\text{年}$
稀頻度事象シナリオ	発生の可能性が著しく低い自然現象シナリオ	10 $\text{mSv}/\text{年}$ ～100 $\text{mSv}/\text{年}$
人為事象シナリオ	偶発的な人為事象シナリオ	周辺住民： 1 $\text{mSv}/\text{年}$ ～10 $\text{mSv}/\text{年}$ 特定の接近者個人： 10 mSv ～100 mSv



第1図 放射性廃棄物処分に固有のリスクと原子炉のリスクとの差異を勘案した安全裕度の考え方

第2表 ICRPの放射線防護の最適化に係る考え方の変遷

ICRPの図書	放射線防護のALARA及び最適化の概念の変遷
Publ. 26: 国際放射線防護委員会勧告 (1977年1月17日採択)	放射線防護の3原則と最適化の重要性 ・放射線防護の3つの原則を勧告 ・費用-便益分析において、独立変数を集団線量とし、微分費用-便益分析によって、最適化された集団線量を含む解を求める手法を提示。集団線量を金銭価値に換算する係数としてα値 (\$/manSv) を導入。
Publ. 37: 放射線防護の最適化における費用-便益分析	放射線損害の費用の個人線量の大きさに対する依存性と心理的要因 ・放射線損害の費用は集団線量に単純に比例するのではなく、集団線量を構成する個人線量の大きさによって変化する追加的なβ項を導入。このβ項は、リスクや規制に対する心理的要因項。 ・現実的な意思決定には、金銭価値としては定量化しにくい社会的な要因を考慮する必要があるということを強調。
Publ. 55: 放射線防護における最適化と意思決定	意思決定への広い適用に向けてより実際的な最適化手法の開発 ・最適化の評価のためには、次に示す四つの定量的意思決定支援手法について具体的な適用例に基づいて説明。 (1) 費用-効果分析 (2) 費用-便益分析 (3) 多属性効用分析 (属性毎に適切な効用関数を設定) (4) 多基準順位分析 (複数の基準のもので比較評価)
Publ. 60: 国際放射線防護委員会の1990年勧告	行為の代替オプションの棄却すべき条件の変更と最適化に関する勧告 ・最適化の検討の際に提案された行為の選択肢の棄却の要件を、個人の線量限度を超える場合 (Pub. 26) から線量拘束値を超える場合に変更することを勧告。 ・費用-便益分析の他に非定型のプロセスや実際的手法の重要性
Publ. 77: 放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の対策	長期に亘る低い個人線量とこれに基づく集団線量の最適化の課題 ・長期に亘る低い個人線量を取扱う防護措置の選択肢の比較を目的として集団線量を用いることの課題提起。
Publ. 101: 公衆の防護を目的とした代表的個人の線量評価・放射線防護の最適化: プロセスの拡大	最適化プロセスの拡大 ・最適化のプロセスを整理し、利害関係者の関与の重要性と最良選択肢の選択の考え方と言及 ・被ばくの分布を考慮した3次元 (空間的分布、時間的分布及び個人線量の大きさ) の集団線量マトリックとこれに重み付けを行った意思決定プロセス

が実施されたかどうか、また線量を低減するために合理的であるようなすべてのことがなされたかどうかを問いかける、1つの心構えであると述べている。また、全関係者による最適化のプロセスへの関与が必要であると、規制当局には焦点を、具体的結果でなく、プロセス、手法、判断に当てることを求めている。

2. 国際原子力機関(IAEA)の国際基準における防護の最適化に係る要件

IAEAの基本安全原則⁹⁾においては、原子力施設共通に適用すべき10項目の原則を定める中で、施設と活動の正当化(原則4)、個人に対するリスクの限度(原則6)、現世代と将来世代の防護(原則7)とともに、原則5: 防護の最適化において、「合理的に達成できる最高レベルの安全を実現するよう防護を最適化しなければならない。」ことを求めている。

このような安全原則を受けて、放射性廃棄物の処分の安全要件¹⁰⁾においては、線量基準の説明の中で、拘束値を組み込んだ最適化は、廃棄物処分施設の放射線学的な安全性を確保するために採用された中心的アプローチである。さらに、「防護の最適化は社会的および経済的因子を考慮し、定量的な解析の支援を受けつつ、本質的には定性的ではあるが構造化された手法で実施される判断のプロセスである。」と説明し、定量的な評価よりも、定性的な判断を優先した構造化されたプロセスであると定義している。このような考え方は、ICRPの放射線防護の新しい考え方に基づいている。

3. 廃棄物合同条約における条項

我が国をはじめ現時点で48ヶ国が加盟している使用済燃料管理の安全および放射性廃棄物管理の安全に関する合同条約においては、その第24条操業上の放射線防護において、経済的および社会的要因を考慮して合理的に達成可能な限り低く保つこと(ALARA)を求めている。こ

いる。

ICRPの新勧告⁴⁾においては、防護の最適化に関する上記の進展を踏まえ、防護の最適化は、経済的および社会的要因を考慮して、被ばくの発生確率、被ばくする人の数、および個人線量の大きさのいずれをも合理的に達成できる限り低く保つための線源関連のプロセスあり、防護の最適化は、一般的な事情の下で達成しうる最良策

の ALARA の概念は現時点で、最も定着した概念であり、後述するように各国の規制機関においても広く採用されている。

IV. 各国の安全規制における最適化

各国の放射性廃棄物処分の安全規制における最適化の考え方は必ずしも統一されたものでない。経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)の規制者フォーラムにおいても、長期の不確かさを伴う処分システムの最適化の考え方は重要な討議課題となっており、2009年に東京で開催されたワークショップにおいても、ひとつの論点として取り上げられた⁷⁾。これらを参考に、各国の最適化の考え方を第3表に示す。

ここに取り上げた各国の安全規制は先のICRPの新勧告の後に制定されたものであるが、米国とフランスを除き、利用可能な最良の技術(BAT:Best Available Technology)の適用や代替案との比較検討を要求するとともにプロセスを重視する傾向にあることがわかる。以下にこの代表的な国の例を紹介する。

1. スウェーデン

スウェーデンの放射性廃棄物処分に対する指針等においては、最適化とBATを明文化する形で取り入れているが、その特徴は以下のように整理される。

- ・最適化の実施とBATの適用の両方を明示
- ・最適化はリスク計算の結果に基づいてリスクを最小にするためのツールと定義
- ・解析で重大な不確かさがリスク計算値に付随する場合にはBATを重視

- ・両者間で矛盾が生じた場合にはBATを優先
- ・BATは多重バリアからの核種の放出抑制の措置に重点

具体的には処分場開発の段階的プロセスにおいて、BATおよび最適化を評価し、これを反映した実施主体の研究開発計画の審査によりその妥当性が政府決定される。

2. 英国

英国では浅地中処分および地層処分の許可要件のガイダンスとともに、ALARAの考え方に沿った最適化やこれを実現するための代替案との比較検討を重視している。これまで、英国ではBATのほかに、環境の保護の観点から「実行可能な最良の手段(BPM:Best practicable means)」という概念が、原子力分野では「実行可能な最良の環境オプション(BPEO:Best practicable environmental option)」という概念が適用されてきた。しかし、上記のガイダンスの改正においてはBATに置き換えることが定められた。これは、BPMやBPEOが操業中の定常的な環境への放出を抑制する手段に重点が置かれていたのに対して、BATはライフサイクルすべてに対して適用する概念であることおよび他国や英国内における環境保護体制との整合性を高めるために実施されたものである。具体的なBATの適用については、「放射性物質規制:BATに関する評価」⁸⁾に詳述されている。特に重要な点は下記のような点である。

- ・最適化は管理オプションおよび適用する行為を選定するために用いるプロセスであるとし、BPM、BPEOそしてBATはすべて同じプロセスを取り扱ったも

第3表 各国の放射性廃棄物処分の安全規制における最適化の考え方

国名	放射性廃棄物処分における最適化の規制の主な内容	関連指針等
フランス	ALARAと類似の一般的概念のみ規定	ASN「地層における放射性廃棄物の最終処分に関する安全指針」(2008.2.12)の第4.1項
英国	最適化とBATを適用したプロセスを重視	EA他「浅地中処分施設の許可要件に関するガイダンス」(2009/2)、「地層処分施設の許可要件に関するガイダンス」(2009/2)の原則2及び要件8
スウェーデン	最適化とBATの適用を要求	SSM「使用済燃料及び原子力廃棄物の最終管理における人間の健康と環境の保護に関する放射線安全機関の規則/一般勧告」(2008.12.19)の一般勧告第4条
ドイツ	代替案との比較検討及び最適化目標の各項目のバランスを重視	BMU「放射性廃棄物の最終処分に関する安全要件」(2009/7)の第5項
スイス	代替案との比較検討及びプロセスの重視	ENSI「地層処分場の設計原則とセーフティケースに関する要件」及び同解説(2009/4)の付属書1
米国	被ばくを受ける世代と費用を負担する世代が乖離しており最適化を求めない	NRC「10 CFR PART 63 ネバダ州ロカモテンの地層処分場における高レベル放射性廃棄物の処分」(2009.3.13)

ので、様々なオプションから選び取る判断のプロセスであり、これらは等価である。

- ・認可済みサイト1ヶ所からの排出量全体において、想定される線量が10 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ より低い場合、現在設定されている排出限度のさらなる引き下げを求めることはない。

また、この10 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ という値は、線量目標値でも、線量限度でも、しきい値でも、放射線基準でもなく、この値は単に、運転/操業者が今後もBATの適用を継続した場合に、それより低ければ排出限度の引き下げを行う必要のない適切な線量のレベルの一つを示したものとし、この値をこれまで使用してきた20 $\mu\text{Sv}/\text{年}$ という「最適化のためのしきい値」の代わりとして採用すべきと提案している。

V. 放射性廃棄物処分の最適化の要件と処分システムの頑健性確保の方策

1. 最適化の方向性とその要件

放射性廃棄物処分に係る防護の最適化、特に管理期間終了後の長期安全性に係る最適化は国際的にもいまだ多くの議論が行われているが、IAEAの基本安全原則⁵⁾や廃棄物合同条約に見るように、最適化とALARAの概念はほぼ同意語として使用されており、多くの国で放射性廃棄物処分にも適用されている。これを実現するためのひとつの方策として、将来世代が受ける可能性のある集団線量の定量的最適化から、BAT等の適用による処分システムの頑健性確保のための定性的判断のプロセスが、スウェーデンや英国において最適化の柱となってきた。

このような背景のもと、IAEAの安全要件⁶⁾やICRPの新勧告⁴⁾を踏まえると、我が国においても最適化の概

念を下記のような要件を備えた線源関係のプロセスとして定義するのが妥当である。

- ・合理的に達成できる限り低く保つための判断のプロセス
- ・構造化されたプロセス
- ・透明性・公平性があるプロセス

少なくとも、放射性廃棄物処分の放射線防護の最適化は、遠い将来世代の被ばくを対象にしたものであり、その最適化の成果が直近の世代に現れることはない。このため試行錯誤により最適解が得られるものでもない。したがって、実施主体の努力任せの一般的な概念規定ではなく、透明性がある構造化された判断のプロセスであることが必須である。これらの要件は他の原子力施設と異なり、処分施設の安全性を実時間、実規模で実証することが不可能であり、常に、可能な限り少しでもより良いものを求める心構えに依拠せざるを得ないことに基づいている。

安全審査の基本的考え方(改訂)においても、ALARAの規定やBATの適用および新しい技術的知見を反映した評価の更新等が規定されており、最適化に係わる考え方の骨格は取り入れられているものと考えられる。これらをまとめて第4表に示す。

2. 処分システムの頑健性確保と今後の展望

既述の安全審査の基本的考え方(改訂)が整備されたことを踏まえると、今後、展開すべき議論は、長期的不確かさを考慮してBAT等を適用した処分システムの頑健性確保のための具体的な方策に関するものである。これを代替選択肢との比較検討を含めたすべての側面を考慮した体系的なプロセスにするとともに、最善策を追求する安全文化に支えられたプロセスにするための議論であ

第4表 最適化の一般的要件と安全審査の基本的考え方(改訂)における整備状況

最適化の一般的要件	安全審査の基本的考え方(改訂)における整備状況
合理的に達成できる限り低く保つための判断のプロセス ・定量的な解析に支援されつつも定性的な判断を重視したプロセス ・長期的不確かさを考慮しBATを優先したプロセス	・ALARAの規定(4基本的安全対策の本文) ・BATの一般的概念適用(4.1移行抑制の解説) ・代替選択肢との比較評価については未規定 ・判断に対する頑健性の要求(8.3管理期間終了までの評価の更新の解説)
構造化されたプロセス ・全ての側面を考慮した体系化されたプロセス ・段階的かつ反復的な意思決定に反映するプロセス	・その時点の最新の知見を反映した長期的な安全評価の更新を要求(8.3管理期間終了までの評価の更新の解説) ・全ての側面を考慮した体系化されたプロセスについては未規定
透明性・公平性があるプロセス ・利害関係者が関与できるプロセス ・最善策を追求する安全文化に支えられたプロセス	・公開の委員会等にて討議し、利害関係者のパブリックコメント等を反映して必要に応じて見直し ・品質保証に関する要件のみ規定。安全文化については実施主体の自主的取り組みに期待

る。

処分システムの頑健性を確保するためには、被ばくシナリオに対する安全確保の全体構造を概観し、留意すべき重要事項を把握し、これに対してBATを適用することが核心である。このような観点から、影響する要因を分析すると、被ばく線量は4つの因子、すなわち廃棄物に含まれる総放射線量、人工バリアの防護機能、天然バリアの防護機能および生活圏での人への線量換算係数の関数として表現できる。これらの4つの因子の中で、被ばく線量に及ぼす影響の観点から、何が最も重要であり、管理可能であるかを分析することにより、頑健性確保のために適用すべきBATも明らかになってくる。管理可能な人工バリアの代表的な防護機能は、廃棄物容器の閉じ込め機能および人工バリアの移行抑制機能であり、隔離とともに放射性廃棄物処分の安全確保の柱をなすものである。閉じ込めの機能を高めることは、それ以降の多くの不確かさの影響を低減できるBATの適用の重要な対象である。この閉じ込め機能に期待する期間は埋設する廃棄物の放射線の減衰特性に応じて変わり、長半減期核種を有意に含む場合には、より長期にわたり機能維持が求められる。

VI. おわりに

第2種廃棄物埋設の事業に対する安全評価に関する考え方の骨格は定まったが、その具体的な適用はこれからである。

過去におけるBATの調査研究⁹⁾においても、「BATはMoving Targetであり、実施主体は常にこれに接近する不断の努力を惜しまないという姿勢を内外に示し続けることが必要」と述べられている。放射性廃棄物処分の長期的な安全確保に係る科学的・合理的解決策を見出すため、さらには国民の安全・安心感を醸成していくためにも、防護の最適化のプロセスの確立は必須である。このプロセスは、ALARAを追求し、構造化され、透明性・公平性があるプロセスとして、具体的な運用方法が定着することが期待される。このためには、実施主体のALARAを追求する安全文化に加え、長期的な不確かさの影響を出来る限り回避あるいは軽減する処分システムの頑健性を常に求め続ける構造化されたプロセスの確立が重要である。更には透明性・公平性があるプロセスとして、例えば、頑健性確保に繋がる幅広い利用可能な技術や利害関係者の提案等も取り入れた代替選択肢との比較評価を中心としてBATを適用するプロセスが有効と思われる。これらのプロセスに係るガイドライン策定に向けて、学会での議論を深めて頂きたいと思う。

—参考資料—

- 1) A. Suzuki, An Overview on Radioactive Waste Disposal Regulations in Japan—The Status Quo and the Future Directions, NSC, prepared for a meeting with USNRC/ACNW, May 16, 2005.
- 2) ICRP Publ. 77, 放射性廃棄物の処分に対する放射線防護の方策, (1998).
- 3) ICRP Publ. 101, 公衆の防護を目的とした代表的個人の線量評価・放射線防護の最適化: プロセスの拡大, (2007).
- 4) ICRP Publ. 103, 国際放射線防護委員会の2007年勧告, (2007).
- 5) IAEA, Fundamental Safety Principle, Safety Fundamentals No. SF-1, (2006).
- 6) IAEA, Disposal of Radioactive Waste, Draft specific safety requirements No. SSR-5, DS 354, (2009).
- 7) OECD/NEA, Towards Transparent and Deliverable Regulation for Geological Disposal—Main Findings from the RWMC Regulators' Forum Workshop, Tokyo, 20–22 January 2009, NEA/RWM/RF, 1 (2009).
- 8) Environment Agency, Radioactive Substance Regulation: Assessment of Best Available Technology (BAT), GEHO 0709 BQTA-E-E, (2009).
- 9) 杉山大輔, 他, 放射性廃棄物処分における「技術的に最善の手段(BAT)」の考え方—諸外国事例のレビューとわが国への示唆, 電力中央研究所報告, 調査報告:L 06001, (2006).

著者紹介

川上博人(かわかみ・ひと)



原子力安全基盤機構
放射性廃棄物・廃止措置専門部会
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分,
廃止措置他

青木広臣(あおき・ひろおみ)



原子力安全基盤機構
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分,
計算力学

鈴木篤之(すずき・あつゆき)



日本原子力研究開発機構,
前原子力安全委員長
(専門分野/関心分野)原子力安全規制

水の新たな姿を明らかに 高温高圧領域への挑戦

日本原子力研究開発機構 池田 隆司, 片山 芳則

環境に応じて多様な振る舞いを示す水の性質の解明は、長い研究の歴史にもかかわらず、なお物理、化学、生物の主要な研究課題となっている。本稿ではまず、第一原理分子動力学法に基づく計算機シミュレーションと放射光 X 線回折実験を組み合わせることによって見えてきた高温高圧条件下での水の振る舞いを紹介し、次に今後の展望に触れる。

I. はじめに

水は普遍的に存在する液体であり、化学、生物においてその役割の重要性は計り知れない。液体の水は H_2O という簡単な 3 原子分子の集合体であり、解析も容易そうに見えながら、ごく最近の研究においても、なお十分な理解に至っていないという状況ではない。X 線回折を用いた構造解析においては、水分子が軽元素のみから構成されているために X 線の散乱強度が著しく弱いことが解析を困難にしている。一方、理論解析においては、水分子間の相互作用の高精度の見積もりが難しいことが困難の原因となっている。このことは、1 気圧のもとでは水の融点と沸点はそれぞれ 0°C (273 K) と 100°C (373 K) であるが、これらの融点と沸点での熱エネルギーの差は高々 0.01 eV に過ぎず、この小さいエネルギースケールで水の性質が大きく変化することを考えれば、容易に理解できる。

近年、地球深部にも含水鉱物として水が存在し、マグマの生成などに水が深く関わっていることがわかってきた。その役割を理解するには、地球深部の条件、すなわち高温高圧条件下での水の振る舞いを知ることがまず必要となる。地殻から上部マントルに変わる深さおよそ 30 km では、温度は 400°C 、圧力は 1 GPa (1 万気圧) に達すると推定されているが、これらの温度・圧力を実験室で再現し、水の回折実験を行うことはこれまで困難であった。

そこで日本原子力研究開発機構(原子力機構)の研究チームは、「大型放射光施設 SPring-8」の強力な X 線を用いた回折実験¹⁾と大型計算機を用いた第一原理分子動力学シミュレーション²⁾を組み合わせることにより上記

の困難を克服し、温度 850 K、圧力 17 GPa までの水の振る舞いの解明に成功した。

次章以降では、まずシミュレーションと実験の概要に触れ、次に実験とシミュレーションから明らかになった高温高圧条件で現れる通常とは異なる水の振る舞いを解説する。最後に今後の展望について簡単に述べる。

II. 高温高圧下の水

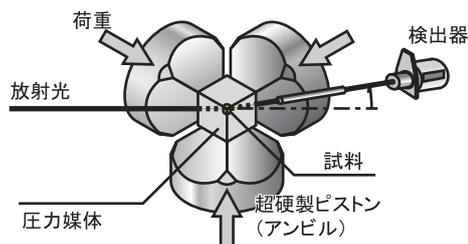
第一原理分子動力学法は、経験パラメータを用いずに系の電子状態を(できる限り)正確に扱いながら各原子に働く力を計算し、各原子の軌跡の時間発展を求めるシミュレーション法である。よって、原理的にはあらゆる物質の任意の熱力学条件での状態を求めることができる。しかし、計算負荷が大きく、特に液体の場合には膨大な計算が必要となる。そこで池田らは水のシミュレーションに大型計算機を用いた²⁾。シミュレーションは温度と密度を一定に行われ、温度は 300 K から 900 K まで、密度は 1.00 g/cm^3 から 1.61 g/cm^3 まで系統的に変化させている。

一方、片山らは水の X 線回折実験を SPring-8 の原子力機構ビームライン BL14B1 および共用ビームライン BL04B1 で実施し、シミュレーションが行われたのと同じの温度・密度条件を含む 1.8 g/cm^3 (17 GPa, 850 K) までの測定を行った^{1,2)}。ビームライン BL14B1 に設置されている装置の概要を第 1 図に示す。試料容器として単結晶ダイヤモンドのカップと貴金属製のフタを用い、固体圧力媒体を用いて、大型プレスにより高圧を発生させている。ダイヤモンドのカップは液体が漏れる恐れがなく、X 線を透過し、かつ化学的にも安定であるため液体の試料容器として優れている。X 線回折には白色 X 線を用いたエネルギー分散法を用い、得られた構造因子から動径分布関数を求めた。

実験と計算から得られた動径分布関数の比較を第 2 図に示す。動径分布関数 $g_{XY}(r)$ は粒子 X を中心として距

Challenge to Gain a New Insight into Water under High Temperatures and Pressures—Toward Full Understanding of Water: Takashi IKEDA, Yoshinori KATAYAMA.

(2010年 7月26日 受理)



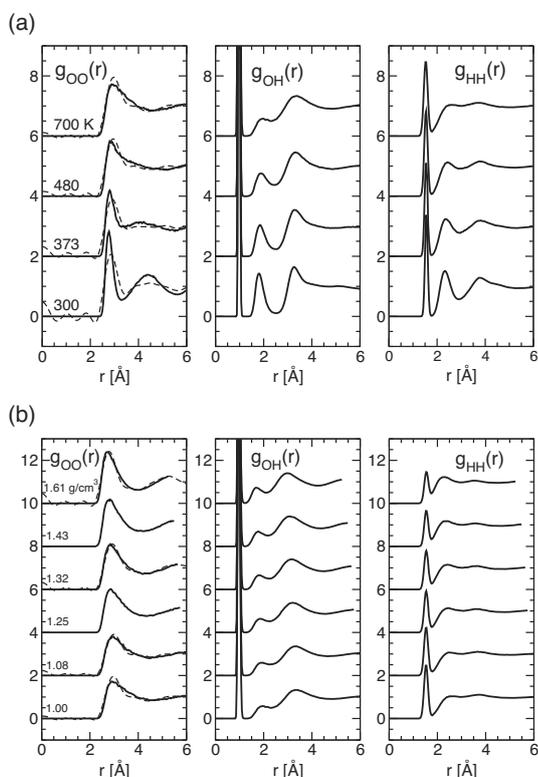
第1図 キュービック型マルチアンビルプレスを用いた高温高圧下 X 線回折実験の原理 (アンビルとプレスの写真を右に示す)

離 r に粒子 Y が存在する確率数密度分布で、この関数から配位数(各粒子に隣接している粒子の数)などの系の構造の特徴を知ることができる。通常の水、すなわち常温常圧に近い条件の水では隣接分子間に弱い水素結合が形成されるために、液体であっても分子配列に固体状態である氷に類似した短距離秩序が残ることが知られている。氷は10以上の異なる結晶構造が発見されているが、1つの水分子に注目すると、これと水素結合した4つの隣接分子が4面体の頂点に位置する4面体秩序を有する点は共通している。この4面体秩序は、第2図(a)に示した300 K の $g_{OO}(r)$ のそれぞれ 2.8 \AA と 4.5 \AA にある第1ピーク

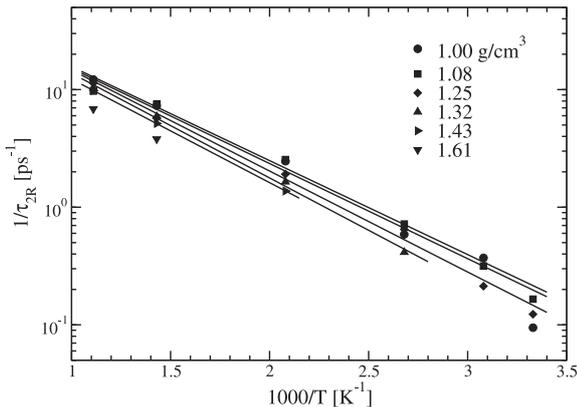
クと第2ピークに、水素結合の存在は $g_{OH}(r)$ の 1.8 \AA にある第2ピークに表れている。密度を通常の水と同じ 1.0 g/cm^3 に固定し温度を上げていくと、計算と実験で得られた結果はどちらも、 $g_{OO}(r)$ の第2ピークが第1ピークに徐々に近づいていき、480 K ではほぼひとつのピークとなることを示している。これは、通常の水では配位数は4くらいであるが、高温下では12程度まで増大することを意味する。さらに、温度の上昇につれて $g_{OH}(r)$ の第2ピークの強度が急激に弱くなっていくが、その痕跡は700 K の高温でも認められる。

一方、温度を700 K に固定し密度を増大させると、分子間相関に由来するピークが動径 r の小さい側に一様にシフトすることがわかる(第2図(b)参照)。興味深いことに、高温高圧状態の $g_{OO}(r)$ は典型的な単純液体である液体アルゴンの動径分布関数によく似ている。第一原理分子動力学シミュレーションから得られた構造を詳細に解析したところ、373 K から480 K の間で上記の氷類似の4面体秩序が徐々に壊れていき、700 K では完全に壊れることがわかった。したがって、温度を上げることによって水素結合による4面体秩序を特徴とする構造から配位数が12程度に増大した高配位構造に移り変わるが、高温になってもまだ水素結合は残っており、高配位構造と水素結合がどのようにして両立しているかが問題になる。

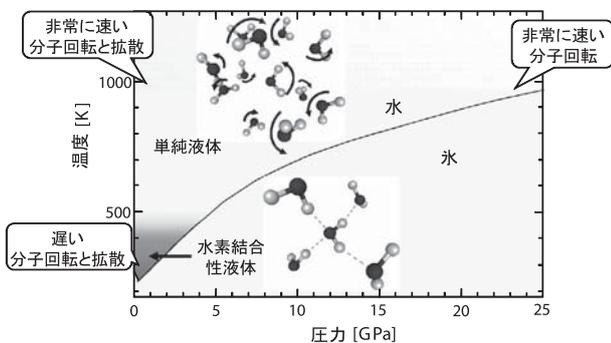
高密度化した高温水をより深く理解するには、水分子の拡散・回転運動の知見を得ることが重要である。第3図にシミュレーションから求めた水分子の回転相関時間の温度と密度に対する依存性を示す。回転相関時間は分子が向きを変えるのにかかる平均の時間を表す。シミュレーションから得られた回転相関時間は、300 K ではおおむね 10 ps (10^{-11} s) であるが、温度を上げていくとどんどん短くなり、最高温度の900 K では 0.1 ps を切るまでになる。この 0.1 ps は水分子の分子振動の周期と同程度であり、水分子が極めて速く回転していることを示している。また、回転相関時間は温度によってほぼ決まっており、密度に対する依存性は小さい。これに対して、水の拡散運動は高温でも密度に大きく依存しており、圧力



第2図 (a)密度 1.0 g/cm^3 と (b)温度 700 K での動径分布関数
計算と実験から得られた動径分布関数をそれぞれ実線と破線で示す。X 線回折実験からは $g_{OO}(r)$ のみが得られる。見やすくするために、条件の異なるデータは縦軸を2ずつずらしている。



第3図 シミュレーションから求めた水分子の回転相関時間 τ_{2R} の温度と密度に対する依存性



第4図 水の温度-圧力相図の概略図

図中下部(上部)に通常の水(高温高压下の水)に特徴的な構造を示す。酸素原子と水素原子をそれぞれ大小の球で表している。水素結合を破線で示す。

を上げることによって容易に抑制される。

以上の結果を相図にまとめると第4図のようになる。常温常圧付近の水は4面体秩序を特徴とする代表的な水素結合性液体であるが、温度を上げることによって373 K付近から配位数が12程度に増大した高配位構造に徐々に移り変わっていく。この高温水では、通常の水と同程度の密度であれば水分子が非常に速い分子回転と拡散を示すが、2倍近い密度にすると、分子の拡散と回転が分離し、水分子の拡散運動が抑制され分子回転のみが高速に保たれた状態になる。この分子回転は原子・分子の運動としては極めて高速であるため、あたかも水素結合が消え単純液体のように振る舞うようになる。さらに高温高压にすると水がどのように振る舞うか興味もたれるが、これについては次節のおわりにて簡単に触れる。

Ⅲ. おわりに

本稿では、第一原理分子動力学法に基づく計算機シミュレーションと放射光 X 線回折実験の相補的な利用により、水の高温高压条件での振る舞いがわかるようになってきたことを紹介した。前章にあるように、構造およびダイナミクスの定量的な評価が可能になったことは

意義深い。しかしながら第2図をみれば明らかなように、X線回折実験からは水素に関する情報が得られないため構造が完全に解明されたとは言いがたい。現在、茨城県東海村にある「大強度陽子加速器 J-PARC」に高温高压実験用のビームラインの建設が進められている。J-PARCでの高温高压中性子実験が可能になれば水素の情報も得られるようになるので、研究がさらに進むと期待される。実際、J-PARCでの最初の高温高压実験の対象物質として水が予定されている。

最後に、さらに高温高压領域で水がどのように振る舞うかについて触れよう。第一原理分子動力学法シミュレーションにより、より広範囲の温度-圧力領域に関する水の相図がすでに調べられている³⁾。それによると温度と圧力を上げることによって、イオン性液体相、超イオン伝導相、金属相などが出現すると予想されている。このうち超イオン伝導相は、酸素原子が格子を組みその中を水素原子が高速に拡散する相である。この超イオン伝導相は、本稿で紹介した加圧による水分子の拡散運動と回転運動の分離がさらに進み、拡散運動が完全に凍結された後も水素原子が高い運動エネルギーを保持する結果、出現すると考えられる。このような未確認の興味深い現象が高温高压領域には潜んでいる可能性がある。水の新たな姿がさらに明らかになることを期待したい。

本稿で紹介した研究成果の多くは、科学研究費補助金新学術領域研究「高温高压中性子実験で拓く地球の物質科学」によるものである。

— 参考資料 —

- 1) Y. Katayama, *et al.*, *Phys. Rev.*, B **81**, 014109 (2010).
- 2) T. Ikeda, *et al.*, *J. Chem. Phys.*, **132**, 121102 (2010).
- 3) 例えば, C. Cavazzoni, *et al.*, *Science*, **283**, 44 (1999).

著者紹介

池田隆司(いけだ・たかし)



日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門
(専門分野/関心分野) 計算科学/特に水の化学物理

片山芳則(かたやま・よしのり)



日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門
(専門分野/関心分野) 高压実験/特に液体の構造変化

「重い電子」が作るフェルミ面の共鳴角度分解光電子分光法による直接観測

磁性と共存する超伝導の機構解明への糸口

日本原子力研究開発機構 岡根 哲夫

大型放射光施設 SPring-8において、特定の内殻準位の吸収エネルギーに合わせた軟 X 線を物質に照射した際に放出される電子のエネルギーと運動量を調べる「共鳴角度分解光電子分光」実験を行い、従来の手法ではできなかった特定の電子軌道の選択的観察をすることで、重い電子がフェルミ面を実際に作っていることを直接観測することに成功した。今後、共鳴角度分解光電子分光法を用いて、重い電子がどのようなフェルミ面を作る時に超伝導や磁性が発現するかを系統的に明らかにしていくことにより、重い電子を持つ金属で見られる磁性と共存する超伝導の機構解明の進展が期待される。

I. はじめに

金属間化合物が示す様々な電気伝導現象や磁性現象のメカニズムを解明することは、基礎研究的な関心のみならず、産業応用上の期待もあることから、物性物理の中心課題の一つとなっている。特に、 $3d$ 電子を外殻軌道に持つ遷移金属元素や $4f$ 電子を外殻軌道に持つ希土類金属元素、 $5f$ 電子を外殻軌道に持つアクチナイド元素を含む化合物では、電子の間に強い相関が生じることによって伝導性や磁性に関して多様な振る舞いが見られる。このような物質は強相関電子系と呼ばれ、その物性は活発な研究分野となっている。

金属間化合物の示す物性のメカニズムを解明するための基本情報となるのが、バンド構造とフェルミ面である。電子のエネルギーと運動量の関係を表した曲線を「バンド構造」と呼び、フェルミ準位に存在する電子の運動量を 3 次元的に表したものを「フェルミ面」と呼ぶ。これらを実験的に決定する最も直接的な実験手法として「光電子分光法」が挙げられる。

本解説では、強相関電子系の代表的物質の一つである希土類金属化合物の「重い電子」が形成するバンド構造とフェルミ面を軟 X 線放射光を用いた光電子分光実験により明らかにした研究¹⁾を紹介する。

II. 「重い電子」とフェルミ面形成

希土類金属であるセリウムやアクチナイドであるウラ

Direct Observation of Fermi Surfaces Formed by 'Heavy Electrons' using Resonant Angle-resolved Photoelectron Spectroscopy : Tetsuo OKANE.

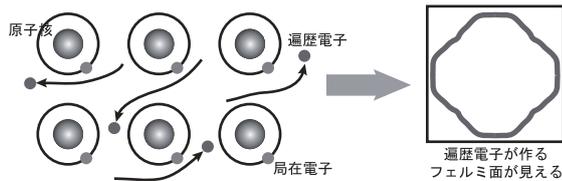
(2010年 7月30日 受理)

ン化合物などの f 電子系化合物の金属は、電気伝導を担う電子の見かけ上の質量が通常の電子質量の $10 \sim 1,000$ 倍に大きく見える「重い電子」状態が観測されることが重要な特徴となっている²⁾。これは原子核近傍に空間的に局在する性格の強い f 電子が、ある特性温度(近藤温度)の低温側では伝導電子と軌道混成することによって電気伝導に関与するようになり、いわば“動きにくい伝導電子”が出現するためと考えられている。「重い電子」系化合物の示す物性には、磁性と共存する超伝導やメタ磁性転移など、強相関電子系で特徴的な物理現象が広く包含されていることから、「重い電子」系化合物の物性の系統的理解は強相関電子系全体の理解へと拡張され得る重要な課題である。

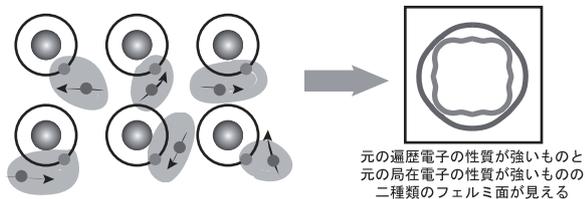
このような「重い電子」が形成される状況においてどのようなフェルミ面が形成されるかをやや単純化して模式図にしたものを第 1 図に示す。原子核近傍に存在する「局在電子」と結晶中を動き回る「遍歴電子」の 2 種類の電子が存在する状況を考える。第 1 図(上)の「局在電子」と「遍歴電子」が独立に存在する状況では、「局在電子」はフェルミ面形成に参加しないため、「遍歴電子」が作るフェルミ面だけが観測される。これに対し第 1 図(下)のように軌道混成によって「局在電子」と「遍歴電子」が混じり合った状況では、元の「遍歴電子」の性格の強いフェルミ面と元の「局在電子」の性格の強いフェルミ面の 2 種類のフェルミ面が観測されるようになると考えられる。軌道混成によって生じた、元の「局在電子」の性格を強く残しながらも結晶中を動き回るようになった電子が見かけ上の質量の「重い電子」である。

このような「重い電子」が作るフェルミ面を実験的に観測することは従来、困難とされてきた。これを実現可能

動き回る電子(遍歴電子)と動かない電子(局在電子)が別々に存在



遍歴電子と局在電子とが相互作用によって混じり合った場合



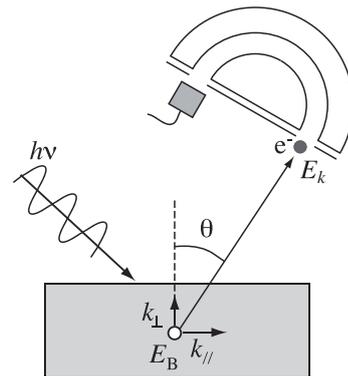
第1図 重い電子に関わるフェルミ面形成の概念

にしたのが、次に説明する共鳴角度分解光電子分光 (Resonant Angle-Resolved PhotoElectron Spectroscopy, 略して RARPES) である。

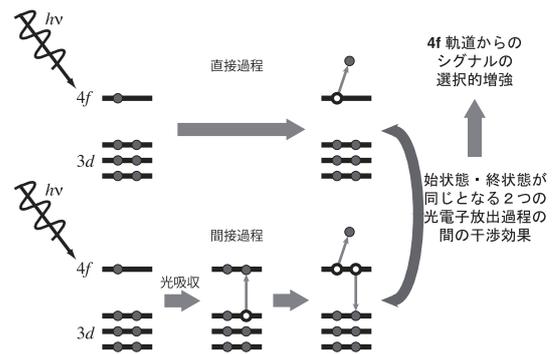
Ⅲ. 共鳴角度分解光電子分光 (RARPES)

第2図(a)に角度分解光電子分光の模式図を示す。物質にX線などの高いエネルギーを持つ光を照射した時に、物質内の電子が光のエネルギーを受け取ることで励起され、物質外に飛び出てくる現象を「光電子放出」といい、この物質外に出てきた電子を「光電子」という。光電子のエネルギーを分析することで物質内の電子のエネルギー分布についての情報を得る実験手法を「光電子分光」という。さらに、光電子を検出する際にエネルギーだけでなく放出方向まで特定した測定方法を「角度分解光電子分光」という。角度分解光電子分光では、物質中の電子が持っているエネルギー E_k を運動量 k の関数として決定することができるため、「バンド構造」の直接観測となっている。さらに、実験的に求められたバンドがフェルミ準位 E_F を横切る運動量 k を運動量空間中でマッピングすることによって、「フェルミ面」の形状を調べることができる。特に軟X線領域の放射光を用いた角度分解光電子分光実験は、バルク敏感性、 d 電子や f 電子といった強相関電子系の物理的性質を決めている電子への高い感度、エネルギー可変性を利用した3次元的な測定など、実験ツールとして優れた特長を数多く有している。

一方、励起光のエネルギーを特定の内殻準位の吸収エネルギーに合わせて光電子分光測定を行うことにより、価電子帯にある複数の電子軌道のうち特定の軌道からの光電子放出強度を選択的に強めた観測を行うことができる。これを「共鳴光電子放出」という。Ceの $3d \rightarrow 4f$ 共鳴光電子放出過程(第2図(b))を例にとって説明すると、 $3d$ 内殻の吸収エネルギーに励起光のエネルギーを合わせて価電子帯の光電子スペクトルを測定する場合、価電子帯にある $4f$ 軌道からの直接の光電子放出過程



第2図(a) 角度分解光電子分光の模式図



第2図(b) 共鳴光電子放出の模式図

(図(b)上側)のほかに、いったん $3d$ 内殻から $4f$ 軌道の空準位に電子が励起され、これが $3d$ 内殻に空いた正孔を埋める際に放出するエネルギーを受け取って $4f$ 軌道の電子が光電子として放出される間接過程(図(b)下側)が存在する。つまり、価電子帯からの光電子放出のうち $4f$ 軌道からの光電子放出については、始状態と終状態が共通である直接過程と間接過程の2つが存在するため、これら2つの過程の間に働く干渉効果によって、価電子帯からの光電子放出のうち $4f$ 軌道からの光電子放出だけが選択的に強められることになる。

今回の我々の研究のアイデアは、共鳴光電子放出が起こるエネルギーに励起光のエネルギーを合わせて角度分解光電子スペクトルを観測すれば、Ceの $4f$ 電子の寄与が大きいバンド構造やフェルミ面を選択的に強めた形で観測することができるのではないかと考えている。共鳴エネルギーでの測定したスペクトルを共鳴ではない(非共鳴)エネルギーでの観測と比較することにより、観測されたおのおののバンド構造やフェルミ面における $4f$ 電子遍歴/局在性の度合いを判断することが可能となる。

この共鳴角度分解光電子分光実験を実際に遂行するためには、複数の励起エネルギーの値について角度を細かく振った測定を行う必要がある一方で、試料表面劣化が進行する前に測定を完了する必要上から、スペクトル1本当たりの測定時間の短縮が重要な要素となる。このような実験は大型放射光施設 SPring-8 の高輝度放射光と原子力機構専用ビームライン BL23SU に設置された新型

挿入光源の活用により初めて可能となったものである。

IV. セリウム化合物に対する RARPES 実験

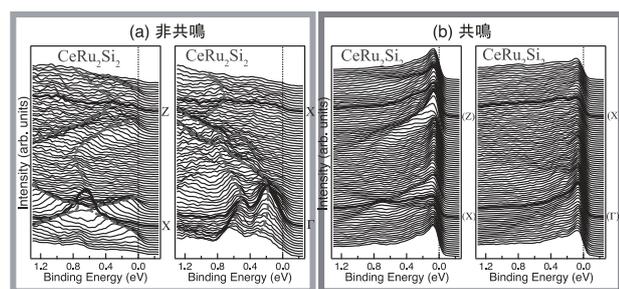
今回の研究は、見かけ上の質量が通常の100倍以上の重い電子を持つと考えられている CeRu_2Si_2 (セリウム・ルテニウム2・シリコン2) 化合物とその関連物質に対して軟 X 線領域での共鳴角度分解光電子分光実験を行って、バンド構造とフェルミ面における Ce の $4f$ 電子の寄与の検証を試みたものである。

第3図は、 CeRu_2Si_2 に対して測定した角度分解光電子分光スペクトルであり、第3図(a)は非共鳴エネルギー(760 eV)で測定したスペクトル、第3図(b)は Ce の $3d \rightarrow 4f$ 共鳴エネルギー(881 eV)で測定したスペクトルである。横軸は電子の結合エネルギー、縦軸は光電子放出強度を示す。結晶の対称軸方向に電子の運動量を振っていった時のスペクトルを縦方向に並べて表示している。スペクトルのピーク構造のエネルギーが運動量に依存して分散しているように見えているものがバンド構造である。いくつかのバンド構造は結合エネルギーがゼロのライン(フェルミ準位)を横切っている。このバンド構造がフェルミ順位を横切っている運動量の値を運動量空間中でマッピングすることで、第4図のフェルミ面イメージを得ることができる。

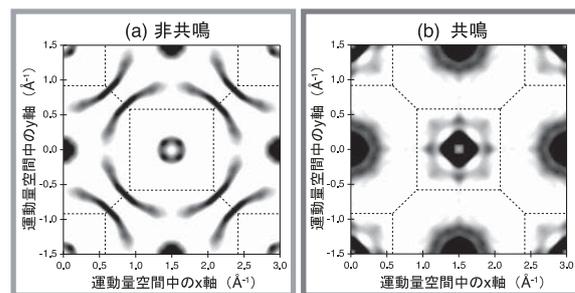
今回の実験結果の最も重要な点は、非共鳴エネルギーでの測定(第4図(a))と共鳴エネルギーでの測定(図(b))とでは劇的に異なるフェルミ面イメージが得られたことである。この結果は、非共鳴エネルギーでの測定では遍歴性の強い電子が作るフェルミ面が明瞭に観測された一方で、局在的性格を強く残す重い $4f$ 電子が作るフェルミ面はほとんど見えていないのに対し、共鳴エネルギーでの測定では重い $4f$ 電子が作るフェルミ面が強調される形で明瞭に観測されていると解釈できる。今回の研究は、重い $4f$ 電子が作るフェルミ面の運動量空間中の全体像を実験で直接的に捉えた初めての実験例である。

V. まとめと今後の展望

本研究は、もともとは局在電子としての性質を持って



第3図 CeRu_2Si_2 の角度分解光電子分光スペクトル (a)非共鳴エネルギーで測定したもの、(b)Ce $3d \rightarrow 4f$ 共鳴エネルギーで測定したもの。



第4図 角度分解光電子分光スペクトルから得られた CeRu_2Si_2 のフェルミ面イメージ (a)非共鳴エネルギーで測定したもの、(b)Ce $3d \rightarrow 4f$ 共鳴エネルギーで測定したもの。

いたセリウム $4f$ 電子が化合物中で遍歴の性質を獲得し、重い電子として電気伝導を担っていることを実験から直接的に観測できた例であり、今後、様々な f 電子系化合物において f 電子が遍歴的か局在的であるかを判定する手法として共鳴角度分解光電子分光実験を使うことが一般的になっていくと考えられる。また、 f 電子系化合物の超伝導は、磁性が発現する領域の境界付近で数多く見られている。そこで、系の磁気的性質が変わった時に重い電子が作るフェルミ面形状がどう変化するかを明らかにし、さらにその延長として磁性発現境界付近でどのようなフェルミ面が見られる時に超伝導が発現するかを系統的に明らかにすることが今後の課題である。これにより磁性と共存する超伝導の発現機構の解明が大きく進展すると期待される。

本研究は東北大学との共同研究である。本研究に関する実験は SPring-8 の利用課題 2008A3822 として行われた。本研究は文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「重い電子系の形成と秩序化」No.20102003 の助成を受けて行われた。

— 参考資料 —

- 1) T. Okane, T. Ohkochi, Y. Takeda, S.-i. Fujimori, A. Yasui, Y. Saitoh, H. Yamagami, A. Fujimori, Y. Matsumoto, M. Sugi, N. Kimura, T. Komatsubara, H. Aoki, *Phys. Rev. Lett.*, **102**, 216401-216404 (2009).
- 2) テキストとしては、例えば、上田和夫, 大貫惇睦, 重い電子系の物理, 裳華房物理学選書23, (1998).

著者紹介

岡根哲夫(おかね・てつお)



日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 固体物理, 放射光分光。特に f 電子系化合物と磁性と伝導に関心がある。

特別寄稿

『日米原子力協定(1988)の成立経緯と今後の問題点』
(遠藤哲也, 国際問題研究所, 2010)を巡って

文部科学省顧問 坂田 東一

1988年7月に発効した日米原子力協定(以下、「本協定」という)は私にとっても忘れられない協定である。1985年7月から89年3月まで在米日本大使館に一等書記官として赴任し、担当したのが本協定だったからである。

手元に一枚の白黒写真がある。86年6月、第15回日米協議後に国務省の会議室で撮られたものだ。日米各8名計16名の交渉団が写っている。真ん中に米代表リチャード・ケネディ大使と日本代表松田慶文外務省科学技術審議官、右端に若い私もいる。この時日米交渉団は、微修正を除き本協定のすべての内容に事実上実質合意した。しかし、本協定が発効するまでには、更に2年以上の年月を要した。交渉も大変厳しいものだったが、その後の正式署名、更には米議会での承認にいたるまでの過程で、政治の町ワシントン象徴する予想もできない複雑な動きが続いたからだ。それは一つの物語であり、困難な厳しいその「戦い」は本書第三章に詳しい。著者の遠藤哲也氏は87年1月に松田氏の後任となられた。私はお二人に部下として仕え、得がたい経験をさせていただいた。その思い出なども交えて本書評としたい。

本協定を必要としたのは、日本側、米側、それぞれに強い理由があった。きっかけは本協定発効の10年以上も前に遡る。第I章にあるように、東海村の動力炉・核燃料開発事業団(当時)の再処理工場を巡る旧協定下での77年の日米再処理交渉である。旧協定第8条C項による「(日米による)共同決定」の規定により、運転開始間近だった東海再処理工場に米側から突然待ったがかかった。このことは、その後長く日本側原子力関係者のトラウマになり、日本の原子力計画への米国の規制を排除したいとの強い思いが残った。一方、米側にとっても、日本の米国への信頼を回復し、同時に1978年核不拡散法に規定された米政府の対外原子力協力上の新たな義務を果たす必要があった。

第II章にあるが、本協定の要は包括同意方式の導入で

ある。それは、基本的に米側から日本側に提案されたもので、わが国が米国籍のプルトニウムを使って広範に平和利用をするための枠組みと言ってよい。包括同意とは、日本の原子力施設が保障措置など一定の条件を満たす限りにおいて、本協定の有効期間30年間にわたって、米国籍のプルトニウムの利用や処理などをしてよいというものである。日米再処理交渉の教訓から、わが国はこの包括同意の長期安定性や予見可能性に強くこだわった。

最初の10回(非公式)日米協議において日本側は、米側の求める核不拡散法に基づく新たな規制権が包括同意方式の利点を相殺するだけでなく、日本の原子力計画を更に制約するのではないかとの根強い不信感を払拭し切れなかった。それ故、その後の5回の正式協議の段階では、第II章3にあるように、包括同意の一方的停止権が米側に恣意的に行使されないこと、包括同意の自動性を確保すること、そして欧州からのプルトニウム(MOX含む)輸送を包括同意の枠組みの下で実施できるようにすることが日本側にとっては特に重要であった。しかしこれらの問題は、米側にとっても法的及び政治的な観点から譲れないところがあり、それ故交渉は大変厳しいものになったのである。特に第四章にあるプルトニウム輸送は、1984年の晴新丸による輸送以来、米国にとって政治的に大変機微な問題であった。結局、本協定の米議会審議を経て、航空輸送が事実上否定され、海上輸送が実行可能な選択肢として追加された。私は国務省とこの海上輸送の枠組みを直接交渉し、また、晴新丸と1992年のあかつき丸による2回の輸送の実務も担当したので、プルトニウム輸送には特別の思いがある。

何故、最終的に日米双方が納得できる本協定に到達できたか、その基礎には日米の国家間の信頼関係があり、日本の原子力計画への米国の信頼があり、更には交渉当事者間の信頼と友情があったからである。

著者も指摘するように、日米原子力協力関係は順調に推移しており、本協定の存在は空気のように意識されないほどである。しかし、本協定なくして、六ヶ所再処理工場の建設、プルサーマルの実施、もんじゅの運転、プルトニウム輸送などの今日のわが国の核燃料サイクル政策の推進はあり得なかったのである。本書を読めば、本協定の発効前後に至るまでの10年余の紆余曲折の諸情勢とともに、本協定が多くの日米の関係者の血の滲むような努力と連帯によって実現したことが分かるだろう。

本協定は2018年には有効期限の終了を迎える。そのあとの取り扱いについて、著者は第V章に示唆に富む提言をしている。また、最後に「現行協定の波乱に富んだ成立過程をフォローして、今後の対策の参考にしてほしいというのが願いである」とも言う。本書は、本協定の交渉や米議会審議の経緯などを初めてまとめた日本の極め

て重要な原子力外交の記録である。政府内外の原子力関係者には、将来のわが国の原子力政策、国際原子力活動を考える上で、ぜひ本書を熟読されることをお勧めしたい。

本書紹介

日米原子力協定(1988)の成立経緯と今後の問題点

遠藤哲也著, 65ページ

(2010. 10)

日本国際問題研究所(JIIA)

(非売品)

本著は日本国際問題研究所のホームページ(<http://www.jiia.or.jp/>)よりダウンロード可能です。



From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための

テンプレートを用意しました
執筆要領と合わせてご利用下さい



<http://www.aesj.or.jp/atomos/atomos.html>

○「投稿の手引」「和文論文テンプレート」を 改定しました。

<http://www.aesj.or.jp/publication/ronbunshi.htm>

—最近の編集委員会の話題より—
(12月3日第6回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・英文論文誌の大手出版社との共同出版に関して、新たな提案を含めて種々比較検討した。編集委員の意見を聴取し、2月ごろまでに決定することにした。
- ・「刊行物に関する規程」「編集委員会規程」「投稿規定(英文・和文)」「投稿の手引き(英文・和文)」の修正案を検討し、字句の修正を見込んで(論文誌)幹事会承認とした。
- ・論文の担当編集委員あるいは分野別責任者による査読前

掲載否の取扱を検討し、当該事案は必ず「幹事会にて検討」という扱いとすることにした。

- ・英文校閲費用が年初の予算額を超えそうであるが、編集費として処理するので、超過しても良いことにした。
- ・FR09 特集号は、2011年4月号発行を予定。
- ・2012年4月稼働を目処に、論文審査システムの不足部分の開発発注を了承した。
- ・掲載料未入金の手取について検討した。

【学会誌関係】

- ・「刊行物に関する規程」「編集委員会規程」について論文誌関係者と最終的な見直しを行い編集幹事会で承認した。
- ・これらの改定案は新法人移行に伴う規約類の見直しの一環として、1月の理事会で承認される見通しである。
- ・学会誌に英文のまま掲載される記事の海外執筆者への記事執筆依頼について審議・承認された。今後依頼手続きをフォーマット化していく。
- ・次年度3月号以降の学会誌の表紙も、日展の新作から選出・掲載していくことを確認した。

編集委員会連絡先 <<hensyu@aesj.or.jp>>

連載
講座実験炉物理：未来へのメッセージ
次世代の安全基盤の確立に向けて

第6回 JAEA の高速炉体系炉物理実験

日本原子力研究開発機構 岡嶋 成晃

I. はじめに

高速炉体系の炉物理実験は、国の高速炉開発計画とともに開始された。第1図に、これまでの高速炉開発のマイルストーンを示す。なお、図では、我が国における高速炉系の炉物理実験装置または原子炉に関することを青枠で示し、高速炉開発上の大きな出来事を赤枠で示し、開発に大きな影響を与えた事故を緑枠で示す。図から明らかのように、高速炉開発は我が国独自の技術を開発するために、1960年代の初めに高速炉体系の未臨界実験装置における実験から開始し、臨界実験装置を用いた実験を経て、実験炉、原型炉を建設してきた。今後、2025年頃に実証炉、2050年頃に実用炉の完成を目指している。

一方、昨今の炉物理実験の現状を考えると、高速炉系の実験装置のみならず、世界において多数の臨界実験装置が停止され、廃止されている。その結果、過去に取得された炉物理実験データが散逸する危惧がある状況である。そこで、2000年頃から、国際機関の一つである OECD 内の原子力機関 (NEA: Nuclear Energy Agency) において、これまでに取得された炉物理実験データを保存し、ベンチマークモデル化 (国際炉物理実験保存ベンチマークプロジェクト: IRPhEP) することによって、より緻密で、精度の高い計算が可能となってきた。そのため、ある構成・構造の新型原子炉の概念を検討する程度の場合には、現在では、臨界実験は必須ではないであろうと考えられるようになってきた。しかし、実際に新型炉を建設するような場合、その性能についての高い信頼性をもった評価や設計裕度の適切性の評価が要求されるため、従来の設計範囲を超えたり、現行設計手法の予測

精度を確認する場合には、臨界実験は不可欠である。言い換えれば、「原子炉」というもの作り (工学) において、安全・安心を与えるには、炉物理実験 (主に、臨界実験) による核特性評価は必要な過程であると言える。

これまで日本原子力研究開発機構 (JAEA) では、未臨界体系を用いた高速炉系の炉物理実験技術の習得を皮切りに、高速炉系臨界集合体の設計・建設を行い、それを用いた炉物理実験を実施してきた。また、実験炉の設計・建設を行い、その運転と中性子照射施設としての利用を図るとともに、原型炉の設計・建設を行い、その運転を行ってきた。また、実証炉の設計開発を実施している。

本稿では、このような状況を踏まえて、これまでの日本原子力研究開発機構 (JAEA) における高速炉体系の炉物理実験として、主に臨界実験を中心に俯瞰し、今後の展望について眺める。実験炉および原型炉の概要については、[付録]にまとめた。

II. これまでの高速炉体系炉物理実験

1. 未臨界体系を用いた実験

高速増殖炉開発における予備実験の一環として、天然ウランブランケット体系中での高速中性子の振舞いを調べることを目的に実験装置 (Bee: Blanket Exponential Experiment)²⁾が構築された。1960年代初めの頃のウラン量や実験場所等の実験条件に制約がある中で、高速炉体系特有の問題として、中性子エネルギー範囲が広範な核特性データを取得すること、実験実施上の遮蔽に関する知見、臨界実験で使用予定のウラン燃料の取扱いに関する知見等を得ることが目的とされた。

装置は、第2, 3図に示すように、JRR-1原子炉熱中性子柱内に設置され、遮蔽壁によって取り囲まれている。天然ウランブランケット体系は、4本の天然ウラン棒 (直径2インチ×長さ20 cm) をステンレス鋼製被覆管 (長さ80 cm, 厚さ1 mm) に封入したものを六角柱状に積み重ね、台車上の支持枠組によって固定された。燃料被覆管の隙間には、中性子漏洩を減ずることを目的として、棒状の Al が充填された。また、この Al と隙間の容積率を調整することにより、ナトリウムの巨視的断面積と核的に等価となるように工夫された。体系の軸方向

Experimental Reactor Physics "Past, Present and Future" —Towards Establishment of Safety Basis in Next Generation(6); Status and Outlook of Fast Reactor Physics Experiments in JAEA: Shigeaki OKAJIMA.

(2010年 6月18日 受理)

各回タイトル

第1回 KUCA における炉物理実験

第2回 臨界安全と未臨界度測定

第3回 実機炉心における実験炉物理手法開発

第4回 NCA における臨界実験

第5回 JAEA の熱炉体系炉物理実験

および径方向には実験孔が設けられた。高速中性子源として、熱中性子柱黒鉛からの熱中性子を核分裂中性子に転換し、高速中性子が体系端面から入射するように、20%濃縮ウランからなる六角状のコンバータ(厚さ4mm)が設けられた。熱中性子が体系内に流入することを避けるために、コンバータ面以外の黒鉛端面全体にCd板が貼られた。コンバータによって発生する高速中性子源強度は、JRR-1が40kW運転時に、約 10^9 (n/cm²・s)であった。

測定項目は、原子核乾板法による中性子エネルギースペクトル、放射化箔や核分裂計数管を用いた中性子束分布、核分裂率比であった。中性子束分布は、核分裂計数管を駆動装置で実験孔内を移動させて測定した。測定結果は、当初から危惧された通り、遮蔽壁などで散乱されたバックグラウンド中性子による影響が大きく、その除去/補正が複雑かつ困難であった。しかし、測定技術の習得の観点では当時、諸外国の臨界実験装置で採用されていた測定方法をほぼ網羅しており、その後の臨界実験装置における実験の礎として、大きな成果があった。

2. 臨界集合体を用いた実験^{3,4)}

高速炉臨界実験装置(FCA:Fast Critical Assembly)は、高速炉の炉物理研究を目的として1963年に設計が、1965年から建設が開始され、1967年4月29日初臨界を達成した。同装置は、第4図に示すように、対称に2つに分割された集合体からなり、原子炉運転時にはその2つの集合体が密着し、一体となった状態に保たれる。一方、停止時および燃料装荷作業時には分離した状態に保たれる。集合体は正方形の格子管で構成され、実験炉心は、板状の燃料要素および模擬物質(ナトリウム、ステンレス鋼等)を装填した燃料引出しを、その格子管に装荷して構築される。この燃料要素と模擬物質の組成比率を系統的に変えることができる。そのため、FCAにおいて構築可能な実験炉心の燃料組成や炉心形状の自由度が大きく、炉心の中性子スペクトルは中速スペクトル炉から高速炉まで多岐にわたるのが特長である。また、燃料引出し内の模擬物質板を他の模擬物質板への置換や燃料板の移動によって、炉心内のナトリウムボイド領域の拡大や炉心溶融の過程を段階的に模擬することも可能であるとともに、その領域に関する位置の再現性が高いことも特長である。

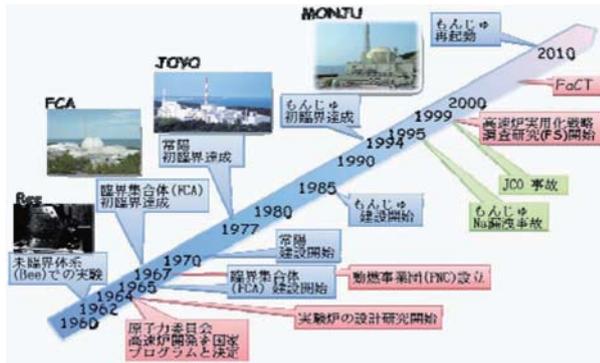
これまでの主な実験内容を第5図に示す。図中の青色に着色された項目は、国の高速炉開発計画に沿って実施されたものであり、紫色/灰色の部分は革新的原子炉概念の実証試験、朱色はデータ&メソッドの改善に寄与する実験を表す。図より、FCAは、初臨界達成後、国の高速炉開発計画に沿って、ウラン燃料を利用して高速炉の炉物理実験技術の習得と経験の蓄積が行われた。また、濃縮度の異なるウラン燃料およびプルトニウム燃料

の入手を図り、1974~1975年には我が国で初めてプルトニウム燃料の使用が可能な臨界実験装置に改造された。この改造前後を通して、実験炉「常陽」および原型炉「もんじゅ」の模擬実験を実施し、両炉の安全審査、原子炉の設計に必要な炉物理データを提供した。たとえば、1970~1972年に実施された「常陽」模擬実験では、物理的と工学的な模擬実験を行った。前者は「常陽」の組成および中性子スペクトルを模擬し、計算との比較が容易な単純な体系における実験であるのに対し、後者はできるだけ実際の「常陽」の幾何学的寸法に合わせた複雑な体系での実験であった。この一連の結果から、「常陽」のPu富化度の選定、制御棒の製作仕様の決定が行われた。

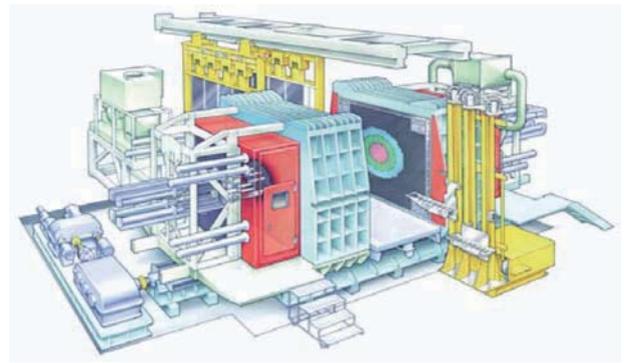
また、設計手法による実験解析結果と実験値との比較から、設計値における核データ精度や核特性計算精度をまとめて考慮するバイアス因子(実験値/計算値)を求め、その結果から、出力分布の予測精度評価や制御棒値に関する制御棒の配置と制御棒反応度値に関する予測精度評価を行い(このように設計精度を評価する方法を「バイアス因子法」と呼ぶ)、当時の安全審査において、臨界実験による主要安全特性を実証した。その結果、実験・解析・設計の多くの方々との連携により、国産第1号としての高速炉核設計法の基本の確立に貢献した。

その後、装置の特長を活かし、新型中速・高速炉の概念検討に必要な核特性の検証を目的として、軸方向非均質炉心⁵⁾、高転換軽水炉⁶⁾、金属燃料高速炉⁷⁾を始め、様々な革新炉の模擬実験を実施してきた。軸方向非均質炉心は、実施当時、径方向非均質炉心が世界で提唱される中、ユニークな概念として注目され、その後の軸方向非均質炉心研究の先駆けとなった。一方、高転換軽水炉模擬実験では、水を模擬する模擬物質として発泡ポリスチレンの導入により、ボイド状態を系統的に模擬したユニークな実験を実施した。この発泡ポリスチレンの導入は、BWRのボイド状態を模擬する軽水炉系の臨界実験へ影響を与えた。

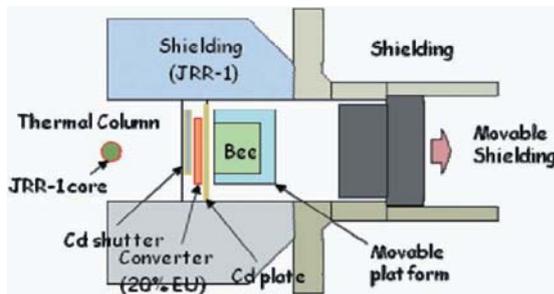
また、燃料組成の自由度の高さや多様な中性子スペクトル場の特長を利用して、核データ評価に必要な基礎的積分データ(炉物理実験では、中性子エネルギーに関して積分された値が測定されることから、実験データを積分データ、実験を積分実験と呼ぶことがある。これに対して、核データを微分データと呼ぶ。)、高速炉の安全性評価に必要なドップラー効果、ナトリウムボイド効果および炉心溶融時における反応度効果等の実験データが取得された。さらに、それらの解析を通して、我が国の高速炉物理の発展に大きく貢献してきた。特に、1970年代には、臨界実験で得られた積分データに、実験誤差の範囲内で解析値が一致するように(実際には、予測誤差の2乗の和を最小にするように)確率論に立脚した統計学に基づいて炉定数を修正(または調整)し、高速炉核特性の計算に利用する方法に関して、理論的基礎の確立、



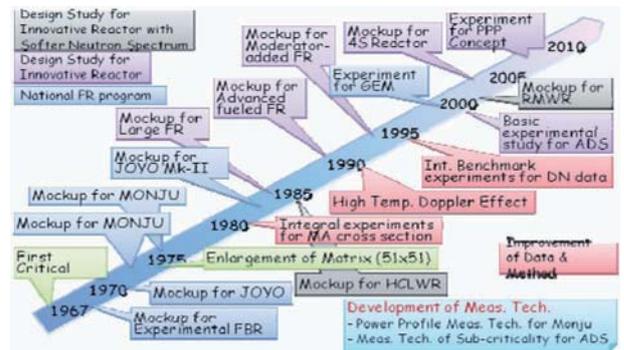
第1図 我が国のこれまでの高速炉開発



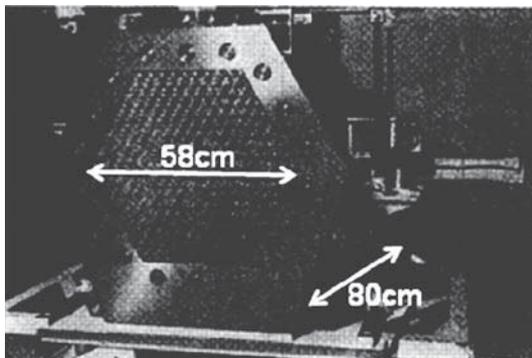
第4図 高速炉臨界実験装置(FCA)の外観



第2図 JRR-1の熱中性子柱に設置した未臨界実験装置(Bee)の概念図



第5図 FCAにおいてこれまでに実施された実験



第3図 未臨界実験装置(Bee)

具体的な方法と実用性の提示にFCAで取得された実験データが利用された。また、1980年代に実施された中性子スペクトルを系統的に変化させた7つの体系におけるマイナーアクチノイド(以後、MA)核種の積分実験は、測定当時から現在に至るまで、MA核種の断面積評価に非常に有用な実験データであると世界的に評価されている⁸⁾。

さらに、プルトニウム燃料のみの体系を含む遅発中性子国際ベンチマーク実験(1995~1998年)が5ヵ国7機関の参加によって行われ、原子炉の動特性に重要な遅発中性子データの評価に大きく役立つと共に、国際的な貢献を果たした⁹⁾。ドップラー効果測定では、様々な模擬炉心においてU-238に関する測定を行い、実験データベースの充実化を図ると共に、世界最高2,000℃までの測定を実施して、高速炉におけるU-238ドップラー効果評価

に大きく貢献した¹⁰⁾。この測定技術と中性子スペクトル場の特長を活かして、現在、軽水炉のドップラー効果評価の実験を実施している。特に、炉定数の修正では、たくさんの様々な核特性データを取り扱うことが信頼性向上につながることから、モックアップ実験のみならず、ベンチマーク実験も重要とされるようになった。

新たな実験手法の開発では、高速炉系の臨界性を系統的に取り扱うことを目指した密度係数法(ある物質の密度を一様に変化させた時の反応度変化から組成および体積の異なる炉心の臨界性を実験値から外挿により求める手法)の開発や炉停止マージンや燃料交換時の安全確認における重要課題であった大きな負の反応度の測定法の開発¹¹⁾が行われた。特に、高速中性子スペクトル測定において、反跳陽子比例計数管装置を開発して、高速炉の主要エネルギー範囲(数keVから2MeVまで)のカバーする測定を達成し、高い評価を得た。また、「もんじゅ」の起動試験における箔を用いた反応率分布測定技術の開発へも寄与した。

このように、FCAにおいて実施されてきた実験結果、実験技術開発およびその研究成果は、国内外で高く評価され、今日の高速炉の設計、開発に反映され、FCAは我が国唯一の高速炉用臨界実験装置としてその使命を果たしてきた。

また、FCAは高速炉にとどまらず、岩石型プルトニウム炉心、加速器駆動未臨界炉心(ADS)等に係わる炉物理実験への利用に見られるように広範囲に活用されて

きている。これらに加えて、「常陽」および原型炉「もんじゅ」の模擬実験を始め多くの実験において、我が国のみならず、海外の炉物理研究者や学生が参加し、炉物理実験技術の普及と継承、高速炉開発分野における人材育成に大きく貢献してきている。

Ⅲ. 高速炉体系炉物理実験の今後

実用炉の本格利用が2050年頃と想定され、高速炉の研究開発は、実証炉、実用炉の実現と今後も継続される。そのような状況において、臨界実験装置のような基盤的施設を使い、原子力の最先端研究を先導しつつ、人材育成と基礎固めをしっかりと行うことが極めて重要である。また、革新炉の設計検証や新たな概念の導入では、予測への高い精度が要求され、その実証には、炉物理実験が不可欠と考えられる。特に、ボイド反応度係数のような安全性に関わる性能確認は、その係数が反応度の正負のバランスによって決まるため、実験による性能確認と、実験との比較による予測精度の確認が非常に重要であると考えられる。また、高速炉が求められる性能の一つに環境負荷低減性がある。これを図る一つの概念として、高レベル放射性廃棄物処分の負担軽減を目的とした MA や長寿命核分裂生成物 (LLFP) の核変換に関する技術開発がある。

この技術開発については、原子力委員会内の分離変換技術検討会が2009年にまとめた報告書「分離変換技術に関する研究開発の現状と今後の進め方」において、「FBR 均質サイクル、FBR 非均質サイクル、階層サイクル間で段階に差はあるものの、MA を用いた本格的な実証実験が行われてない等の課題がある」との指摘があり、「従来、新たな炉心設計に際しては、炉物理実験を通して核データや核設計計算コードの評価が行われ、核的安全性や性能が担保されてきたことを踏まえ、今後の研究開発の進め方を含めて具体的な対応が必要」と記載されている。このことから、今後、MA 核データに関する取組の強化、数値シミュレーション技法等の高度化が求められる。さらに、核的安全性や性能の担保には、MA 燃料を用いた炉心の冷却材ボイド反応度などを臨界実験装置において測定できるような環境整備が必要である。

一方、計算モデル・計算コード・核データの検証では、より高精度の核データ誤差評価やより精緻な解析が実施されるようになり、高品位な炉物理実験データとそのベンチマークモデルが要求されるようになってきた。この要求に応えるためには、実験体系、実験手法と結果の詳細な記載のほかに、構造物や燃料の組成や形状などの仕様に関して、誤差を含む詳細なデータが必要であり、高速炉系のみならず、既存施設を含む炉物理実験装置全般に対して、このようなデータ提示が必要である。

既存施設の活用では、燃料組成や炉心形状についての

大きな自由度と炉心中性子スペクトルが多岐にわたる特長を有する FCA の活用が期待できる。しかし、許認可の制約から、MA 核種の中心反応率比や少量の試料を用いた反応度値測定は可能であっても、MA 燃料を用いた炉心の核特性等評価実験(核変換効率に関する測定のほかに、特に安全性能の評価に重要な、冷却材ボイド反応度、ドップラー効果、遅発中性子割合等の測定)は困難である。これを実現するには、MA を燃料の一部として装荷可能な新たな臨界実験装置が必要である。この新たな臨界実験装置には、加速器駆動非臨界体系の核特性評価や、先進サイクルシステムにおいて検討されている「高次 Pu」や「低除染燃料」を利用した炉心設計における核的性能の確認への対応が可能であることが必要である。このように、より汎用性の高い炉物理試験施設の整備の必要性和有効性の検討を行い、その結果をもとに装置整備に取り組む必要がある。

また、臨界実験装置では初装荷炉心の模擬実験は実施できるが、燃焼末期炉心組成の模擬実験の実施は困難である。さらに、冷却材温度係数などの炉心の安全性に関わるフィードバック反応度特性の測定や燃焼に伴う反応度損失などの測定も困難である。

これらの項目については、実機を用いた炉物理実験が必要である。たとえば、MA 含有燃料や高燃焼度燃料の照射実験として、「常陽」のポテンシャルが期待できる。「常陽」は照射後試験施設を併設しており、MA を含む燃料組成の高精度な分析データも合わせて提供される¹¹⁾。また、運転を通じて得られたフィードバック反応度特性など実機高速炉ならではのユニークなデータが蓄積されており、その解明に向けた実験などの新展開にも注目したい。さらに、試運転を再開した「もんじゅ」では、原型炉規模の炉物理データ、特に運転サイクルに応じた出力特性や燃焼特性の取得が待たれるところであり、今後の活用を期待したい。

現在、世界における高速炉開発は、日本のほかに、ロシア、フランス、中国、インド、韓国等が挙げられる。これらの国々において、高速炉用臨界実験装置を有するのは、フランス、ロシア、日本の3カ国であり、実験炉についてはその3カ国にインドと中国が追加される状況である。特に、アジアで考えると、日本の炉物理実験施設の重要性を推し量ることは容易であり、一連の高速炉系炉物理実験装置は、日本のみならず、世界的にもその果たすべき使命は、今後も大きいと言える。そして、臨界集合体と実機が連携し、各装置において実施する炉物理実験の特徴を補完することにより、今後、さらに基盤技術の充実と原子炉の安全性、核特性予測の信頼性向上を図っていくことができると考えられ、その結果、高速炉分野における日本のリーダーシップの維持・確保ができるであろう。

最後に、これらの実験をリードする人材の確保が何よ

りも必要であることを忘れてはならない。

本稿をまとめるにあたって、「常陽」に関する記載では石川眞氏、青山卓史氏の協力を、「もんじゅ」に関する記載では鈴木隆之氏の協力を得ました。また、大井川宏之氏、弟子丸剛英氏から、貴重なコメントを頂きました。ここに、感謝いたします。

—参考資料—

- 1) <http://www.nea.fr/dbprog/IRPhE-latest.htm>
- 2) 伏見康治責任編集, 実験物理学講座29 原子炉, 共立出版, 181~184(1972).
- 3) 弘田実弥, FCAにおける高速炉臨界実験とその解析, JAERI 1289, (1983).
- 4) <http://www.ndc.tokai-sc.jaea.go.jp/JNDC/ND-news/pdf/93/No93-07.pdf>
- 5) S. Iijima, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **26**, 221~230 (1989).
- 6) T. Osugi, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **26**, 477~491 (1989).
- 7) H. Oigawa, et al., *J. Nucl. Sci. Technol.*, **36**, 902~913

(1999).

- 8) T. Mukaiyama, et al., *Proc. Int. Conf. Nuclear Data for Basic and Applied Science*, Santa Fe, USA, Gordon and Breach Science Publishers, p.483~488(1985).
- 9) S. Okajima, et al., *Prog. Nucl. Energy*, **41**, 285~301 (2002).
- 10) 岡嶋成晃, 臨界実験装置を用いた高速炉ドップラー効果の研究, 北海道大学学位論文, (1999).
- 11) T. Soga, et al., *J. Power Energy Syst.*, **2**, 692~702 (2008).

著者紹介

岡嶋成晃(おかじま・しげあき)



日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究部門
(専門分野/関心分野)原子炉物理, 炉物理実験, 炉物理実験を通じた核データ評価

〔付録〕 実機原子炉を用いた実験

1. 常陽

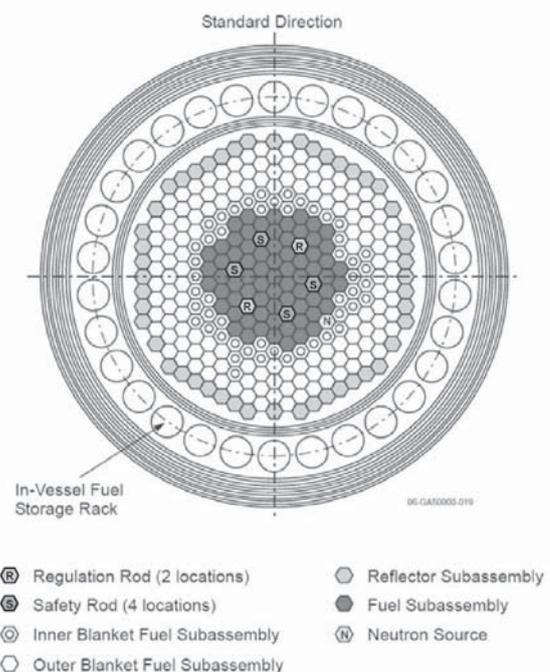
実験炉「常陽」は、国のプロジェクトとして進めている高速増殖炉開発計画での日本で最初のナトリウム冷却型高速中性子炉として、1970年に建設が開始され、1977年に初臨界を達成した。「常陽」は高速増殖炉開発計画の手順である実験炉、原型炉、実用炉の重要な第1段階であり、「運転試験を通じての技術の高度化」、「燃料・材料の照射」、「高速炉実用化のための革新技術の実証」の3つの基本的役割を有している。

これまで Mark-I (ブランケット付き増殖炉心, 熱出力: 50~70 MW, 期間: 1977~1980年), Mark-II (反射体付き照射炉心, 熱出力: 100 MW, 期間: 1983~2000年), Mark-III (照射炉心の高度化, 熱出力: 140 MW, 期間: 2003年~現在)と炉心の高度化が図られ、高速炉のプルトニウム増殖性や安全特性の実証, 炉心管理やプラントの運転・保守補修に関する知見の蓄積, 自己作動型炉停止機構(SASS)などの新技術の実証が図られてきた。

炉物理実験の観点では、Mark-I 炉心の初期炉心において、低出力状態で、臨界性、制御棒反応度値、冷却材ボイド係数、炉心燃料とブランケット燃料の置換反応度、温度係数が測定された。また、50 MW と 75 MW の2つの出力において燃焼反応度係数が測定された。これらの結果は、高速炉実機データとして貴重なデータであり、前述の IRPhEP にまとめられ、利用できるように

なっている。特に、IRPhEP への登録にあたっては、各測定値を再評価するだけでなく、その誤差についても詳細に評価された。その結果、IRPhEP が発行するベンチマークデータ集の第1版(2006年発行)の表紙に常陽の断面図が採用されるように、高品位の炉物理実験ベンチマークデータとして、世界的に高い評価を受けている。

「常陽」は、今後も高速炉および核燃料サイクルの実用



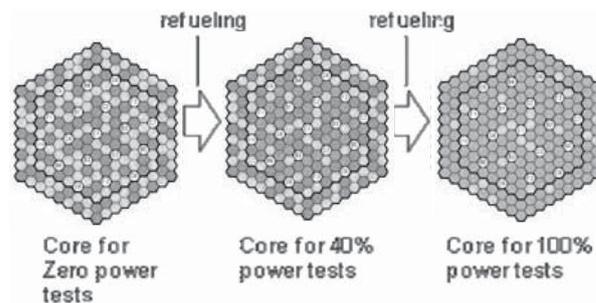
付図1 「常陽」Mark-I 炉心断面図

化に向けた各種照射試験，高速中性子照射場としての利用，高速炉技術者の養成などの大切な役割を果たすことが期待される。

2. もんじゅ

「もんじゅ」は、「発電プラントとしての信頼性実証」と「ナトリウム取扱技術の確立」を通して、設計の確かさを確認し、経済的な運転、保守・補修技術を確立するとともに、実証炉を具体化するための革新的な技術の研究開発成果に対して技術的な信頼性を示していくことを目的に、ナトリウム冷却型高速中性子炉の原型炉として、1985年に本格工事が開始され、1994年4月に初臨界を達成した後、炉物理試験が同年11月まで行われた。1995年、出力を上昇し、8月に初発電を達成した後、12月にナトリウム漏えい事故により停止した。その後、事故に伴う安全対策等が行われ、2010年5月に性能試験を再開し、臨界に達した後、原子炉を臨界状態にして炉心性能を確認する「炉心確認試験」が実施された。今後、電気出力40%状態でのプラント全体の性能を確認する「40%出力プラント確認試験」を実施した後、40%、75%、100%と電気出力を段階的に上昇させ、プラント全体の性能を確認する「出力上昇試験」を実施する。

初臨界到達後、1994年から1995年にかけて実施された性能試験では、臨界量、制御棒反応度値、温度係数、



付図2 再起動後の「もんじゅ」における3つの出力段階での炉心構成例

燃料集合体反応度値、冷却材反応度値、箔を用いた反応率分布測定、出力係数、燃焼係数等が測定された。また、性能試験再開後の一連の試験では、臨界性、制御棒反応度値、温度係数、出力係数、燃焼係数の測定が予定され、設計通りの性能が得られているかを確認する。1994～1995年の性能試験結果と、再開後の結果の比較から、炉心燃料のPu-241の崩壊によって生じるAm-241への組成変化と核特性の関係についての分析が期待される。

また、将来的には「もんじゅ」を用いて炉心や燃料に関する研究開発等を行う計画が検討されており、今後の炉物理的活用について大きな期待がある。

□ 目安箱への投書 □

日本原子力学会編集委員会

編集委員会は、読者・会員・投稿者・査読委員等からのご意見、ご提案を頂き、よりよい学会誌・論文誌編集活動を目指すべく、意見窓口「目安箱」を設けております。

- ・学会誌・論文誌の企画、編集、掲載記事・論文に関すること
- ・論文査読方針・審査方針およびシステムに関すること*
- ・新刊図書の書評の推薦

などについてのご意見・ご要望がございましたら、学会ホームページ <http://wwwsoc.nii.ac.jp/aesj/publication/meyasu.html> または E-mail (宛先 aesj2005meyasu@aesj.or.jp) にてお寄せ下さい。編集委員会にて検討後、担当編集委員より回答させていただきます。

学会誌、論文誌の編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

*個々の査読コメント等に関するお問合せ、ご意見等については受け付けかねますのでご了承下さい。

原子力協定

I. 原子力協定概論

外務省国際原子力協力室 長沼 善太郎
原子力協定交渉官

近年、エネルギー安全保障や地球温暖化問題への対処の観点から、原子力発電の拡大や新規導入を企図する国が急増してきていることを背景として、我が国、米国、フランスや韓国などの国がこれらの国との原子力協定締結交渉を進めるなどの動きが見られ、関連報道も増大している。このような中で、原子力協定に対する注目は高まってきているが、原子力協定は非常に専門的、技術的であるため、その内容や役割は一般にはあまり知られていないものと思われる。本稿では、原子力協定の意義、その主な規定などについて概説することとした。 (本稿で示されている見解は、筆者個人のものであり、筆者が所属する組織のものではない。)

1. 原子力協定とは

原子力エネルギーは、人類にとって非常に有益な役割を果たしている。我が国においては総発電電力量の約3割が、国際社会全体としても総発電電力量の約14%が原子力発電から得られているなど、我々の社会、経済は、原子力エネルギーに大きく依存している。いわゆる「原子力ルネサンス」の動きの中で、原子力関連の貿易は、今後増大するものと見られる。

一方で、原子力エネルギーは軍事転用も可能なものであるため、核物質や原子力資機材、関連技術を移転する際には、これらが輸入国や第三国によって軍事目的に利用されないよう、また、テロリストなどによって奪取されないよう確保することが極めて重要となる。このため、原子力先進国は、原子力資機材等を移転する際には、相手国から、これらが平和的目的以外の目的で利用されないことなどについて保証を取り付けるとともに、相手国に対し、この関連で様々な措置をとることを求めている。また、個別の移転案件が生じるたびに相手国との間で調整を行うのではなく、核不拡散などの観点から、信頼できる国に原子力資機材等を輸出することが想定される場合には、相手国から取り付ける保証の内容、相手国に求める措置、そのための手続などを定めた原子力協定をあらかじめ締結し、個別の輸出案件が生じた際にはその案件を原子力協定の適用対象とすることにより、平和的利用の保証や関連措置の実施を確保することとしている。

原子力協定は、このように、基本的に、原子力資機材、技術等を移転するための枠組を定めた国際約束である。輸出国の側からすれば、原子力協定を締結することによって核不拡散等のための必要な法的な保証等を円滑に確保することが可能となり、輸入国の側からすれば、相手国との間で原子力協定が締結されていれば、資機材等の調達について安定的で長期的な関係を構築することが可能となるのである。

2. 原子力協定の主要な条項

原子力先進国が締結している原子力協定は、おおむね類似の構成を有しており、その主要な規定の要点は、以下のとおりである(以下の内容は、代表的な規定ぶりを示したものであり、個別の協定における規定は、異なり得るものである。)

(1) 平和的利用の保証

原子力協定の核心となるのは、平和的利用の保証を約束する規定である。原子力協定の締約国は、協定の適用対象である核物質、設備、技術等を平和的目的以外の目的で使用しない等の義務を有している。ここに言う「協定の適用対象である核物質」とは、協定に従って移転された核物質に限定されず、協定に従って移転された設備等を用いた結果得られた核物質(いわゆる「派生核物質」)も含まれる。したがって、例えば、A国がB国から原子炉を輸入して発電を行ったとすると、A国は、原子力協定上、B国に対し、原子炉のみならず、発電の結果その炉において生じた使用済燃料に含まれる核物質についても、平和的目的以外の目的で使用しないと義務を負うこととなる。

(2) 国際原子力機関(IAEA)保障措置の適用

平和的利用の保証は、IAEA保障措置の適用によって確保される。原子力協定の締約国は、協定の適用を受ける核物質等に対し、IAEAとの間で締結している保障措置協定に従って保障措置を適用する義務を負う。

(3) 核物質防護措置の適用

核物質の不法な奪取等を防ぐため、原子力協定においては核物質防護に関する規定も設けられている。締約国は、原子力協定の適用を受ける核物質について、原子力供給国グループなどで検討された適切な防護措置をとる義務を有している。

(4) 第三国移転規制

核不拡散を徹底するため、原子力協定においては、第三国移転を規制する規定も設けられている。締約国は、

原子力協定の適用を受ける核物質、資機材等を第三国に移転する場合には、供給国の事前同意を得るなどの義務を有している。

3. 結語

我が国は、原子力先進国として世界有数の原子力技術を保有するに至った国であり、5核兵器国以外で例外的に全面的な核燃料サイクルを有している国である。また、資源小国としてエネルギー安全保障の懸念を肌で感じている国であり、IAEAの査察を積極的に受け入れてきた国でもある。更に、言うまでもなく、唯一核兵器が使用された国である。原子力を取り巻くあらゆる状況を自らの課題として感じてきた国は、国際社会の中でも我が国のみであろう。このような状況の下、我が国は、いわゆる3S(核不拡散/保障措置、原子力安全、核セキュリティ)を確保しつつ原子力の平和的利用を進めてきた

歴史を有しており、我が国の経験は、原子力発電の新規導入国にとっても有益なものとする。

原子力発電の新規導入国が原子力協定を着実に実施し得るようになるためには、IAEA保障措置の受入れ、核物質管理、輸出管理等のための法的・人的な基盤整備が不可欠である。「原子力カルネサンス」の下、我が国は、新規導入国に優れた原子力資機材・技術を提供すると共に、透明性と信頼を確保するための経験を共有することによって国際社会に貢献することが期待されているものと言えよう。

(2010年 11月17日 記)

—参考資料—

- 1) “Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050” IAEA.

II. 日米原子力協定

元原子力委員長代理 遠藤 哲也

日本が各国と結んでいる原子力協定のうちでも、日米協定は歴史的に最も古く、最も重要である。それには二つの理由がある。一つは、日本の原子力の平和利用は、米国からの軽水炉の導入(資機材及び技術)と濃縮ウランの調達によって発展してきたが、その軸は日米協定であった。今一つは、米国から輸入した資機材や核燃料には、多くの場合、協定によって米国の規制権がついてまわる。日本の濃縮ウラン保有量の7割位は米国籍がついている。

日米協定の規制については、米国の意図は核拡散の防止であるものの、日本はそれによって大いに悩まされてきた。特にカーター民主党政権の時はそうであり、例えば東海再処理工場の運用直前に突然待ったがっかり、日米間で大きな政治問題にさえなった。

日本としては、日米協定の米国による個別承認方式を包括事前同意方式^{a)}に代え、日本の原子力活動、特に核燃料サイクルを予測可能な長期的な安定ベースに置くために協定の改訂を求めていた。この交渉が始まったの

は、レーガン共和党政権が成立してからであった。

しかし、交渉は長引き、交渉が始まってから協定が発効するまで、6年もかかった。なぜ難航したかと言うと、まず米国行政府部内で国防省、原子力規制委員会(NRC)が30年もの長期間、日本にプルトニウム利用のフリーハンドを与えるのは問題であると反対し、レーガン大統領の決裁で反対を押えこんだものの、次に米議会に協定(案)が送られてからは議会の核不拡散強硬派議員の厳しい批判を受け、ようやく承認された。協定が成立したのは、1988年7月であり、これによって日本の核燃料サイクルの安定基盤が築かれたのであった。

この協定は日本にとって満足すべきもので、協定は空気のごとく存在が感じられないのだが、これは日米間の原子力協力がスムーズに進んでいる証拠でもある。だが、現行協定の有効期間は30年で2018年7月には満期を迎える。日本としてはほぼ現状のまま今後20～30年間協定を延長するのが望ましいと思われるが、手放しで楽観はできない。核燃料サイクルを米国から認められているのは非核兵器国では日本だけだからである。

現行の協定が、日米間の信頼を基礎に結ばれたことを考えれば、今後の対策としては日米の信頼を固めることが何よりも大切である。もちろん核不拡散、核セキュリティ等の分野で国際的に貢献してゆくべきなのは言うまでもない。

(2010年 11月8日 記)

^{a)} 包括事前同意方式とは、再処理の際の事前同意など核物質に対する規制を個別のケースごとに行使するのに代えて、あらかじめ一定の条件を決めその枠内であれば諸活動を一括して事前に承認する方式で、プログラム方式とも言う。

活動報告

日本エネルギー環境教育学会第5回全国大会概要報告

長崎大学教育学部 藤本 登

本学会が後援している日本エネルギー環境教育学会第5回全国大会が7月31日～8月2日の日程で、長崎大学教育学部において、会員約110名、一般約140名、合計約250名が参加して開催された。以下に、学会概要、本大会概要、および本大会の中から原子力・放射線に関する研究成果を中心に報告する。

1. 日本エネルギー環境教育学会の概要

平成12年度以降、学校教育に対するエネルギー関連の教育助成制度が開始された。その後、省エネルギーやエネルギー教育実践校やエネルギー教育に関する地域拠点大学の成果を持ち寄り、エネルギー環境教育の質的・量的な発展拡充を図ると共に、エネルギー環境教育に対する社会の関心を高めるために、平成17年9月に日本エネルギー環境教育学会が設立された。現在の個人会員数は340名(団体会員25団体を含まず)である。

2. 第5回全国大会の概要

本大会では、「エネルギー環境教育の定着に向けた地域力の活用」をテーマに、会員による一般発表(口頭発表70件、ポスター発表9件)、ワークショップ(5件)と共に、生物生態写真家の栗林慧氏による特別講演「生物の目から世界を考える」、三菱総合研究所副社長執行役員の中原豊氏による基調講演「持続可能な社会への移行シナリオ—高齢化社会、資源・環境問題と日本の役割」、パネルディスカッション「エネルギー環境教育における地域力の活用」が開催され、活発な質疑応答が行われた。また施設見学会として、端島(通称、軍艦島)産業遺産、三菱重工業(株)長崎造船所・歴史資料館、池島石炭火力・変電施設・ハウステンボスの3コースが実施された。

3. 研究発表等の教育研究活動の紹介

(1) 学校におけるエネルギー教育の現状

平成20年3月に新学習指導要領が公表され、エネルギーや環境に関する内容の充実(例えば、現・新学習指導要領中のエネルギー、環境の語句出現回数は0.42と1.75に増えており、関連教科の必修や選択内容へ反映さ

れた)が図られた結果、それらに関する教材開発やカリキュラム開発のニーズが高まっている。本大会で発表された授業実践は、小学校17件(生活科2, 理科8, 社会科1, 家庭科1, 総合的な学習の時間5), 中学校15件(理科3, 社会科3, 技術・家庭科4, 総合的な学習の時間5), 高等学校・工業高等専門学校8件(総合的な学習の時間や専門科目), 大学3件の計45件であった。その多くが、教科の学習単元でのエネルギー・環境教材の活用と子どもの感想がほとんどであり、子どもの変容や評価方法については多くない。この中で、3(2)～(5)節で述べる発表以外で、特徴的なものを幾つか挙げる。なお、これらの実践発表の多くは、資源エネルギー庁のエネルギー教育調査普及事業・実践校事業の成果発表である。

板橋区立中台小学校と川崎市立虹ヶ丘小学校では、「エネルギー環境教育に関する子どものエネルギー概念」で、「存在」、「有用」、「有限」、「有害」、「保全」という5つの視点から授業分析を行っている。また、滋賀大学教育学部附属中学校の実践「スマートグリッドと生活のかかわりを考える科学技術科の実践」では、原子力発電を扱う単元で、太陽光などの新エネルギーの導入に伴う問題から、エネルギーベストミックスを考えさせる授業を展開している。そして、北海道札幌市立宮の森中学校や恩納村立喜瀬武原中学校の実践では、中学校理科の1分野上「身のまわりの物質」の単元や総合的な学習の時間の中で、プラスチックの性質を知りプラスチックの油化実験を扱う授業や、ひまわり油からBDFを生成しエコカート(ディーゼルエンジンを搭載するゴルフカート)に活用する授業を通して、エネルギー環境問題に迫る授業を報告している。さらに、加古川市立平岡中学校では、「中学校社会科におけるエネルギー環境教育の授業づくり用教材(新学習指導要領準拠)の開発についてその1—公民的分野の授業プラン」および「同その2」で、「エネルギー資源をめぐる国際競争」、「地球環境問題に対処する国際社会」、「資源・エネルギーに関する将来ビジョン」に関する授業実践を報告している。同様の報告として、「教科学習におけるエネルギー環境教育の授業づくり用教材(新学習指導要領準拠：中学校編)の開発について」で、理科、社会科、技術・家庭科の学習内容の提案がある。そして、米子工業高等専門学校では、「光害を題材としたエネルギー環境教育の試み(その2)」で、高校生向けに開発して照度計を用いたフィールドワーク「照度マップの作成」を伴う授業実践から、学生のエネルギー環境問題への意識の変容を調べている。このほかに、外

第1表 一般発表、ワークショップの内訳

	分野				
	授業実践	普及活動	カリキュラム開発	教材開発	調査・評価
口頭	30	13	6	10	11
ポスタ	0	1	0	7	1
WS	2	0	0	3	0
合計	32	14	6	20	12

国の教材(米国の NEED プロジェクトなど)やエネルギー環境教育に関する海外調査(中国, 台湾, 英国), 海外教育支援活動(インドネシア)の報告が行われた。

(2) 放射線や原子力に関連する教育活動

北海道エネルギー環境教育研究会では, 手軽で効果がる CD 版エネルギー環境教育パッケージプログラムを開発し, 研究協力小学校の理科, 社会科, 道徳, 家庭科, 生活科や総合的な学習の時間で授業実践を行っている。この教材は, 既存学習をエネルギーの視点から強化するために開発された。例えば, 6年生理科「生きていくための体の仕組み」では, レントゲンの利用から放射線の特長と利活用についての学習を行っている。そして, 同教材を用いた既存学習の影響や原子力発電への理解の向上の程度について検討を試みている。

次に, 米沢市立第六中学校では, 理科および総合的な学習の時間で行った「電気エネルギーの発生と利用を題材とした授業の実施」について, 理科や学習に対する好みや科学の必要性や就業意識などの変容を報告している。そして, 愛媛県立弓削高等学校では, 「原子力分野における理科教材の開発とその実践—自然放射線に影響を与える要因を探究するプロセスに焦点化して」で, 県内や東京タワーでの自然放射線の測定による学習例を紹介している。

(3) SNW や電力会社等の教育支援活動

本学会のシニアネットワーク(SNW)に関する報告として「教育学部学生のエネルギー教育についての意識変化」と「日本女子大学リカレント教育課程に於けるエネルギー環境・原子力教育」が報告され, ワークショップとして「原子力の教え方(小・中・高)—先生の疑問・質問に答え, 意見交換する」が実施された。まず, 前者の報告では, 原子力に対する危機意識とそれに伴うエネルギー教育の必要性の変化を示している。後者の報告では, 原子力・放射線という技術的に難解でかつ社会的には逃避しがちなテーマを学習することが, 女子大生のキャリア教育として, 多くの驚きと新たな問題意識を与えるきっかけになることを示した。また, 広島商船高等専門学校が実施している同対話の評価として「連想法を用いた被爆地における原子力ワークショップの評価(2)」で, 本対話が知識伝達型のワークショップであり, 運営等に改善の余地があることを示した。

多くの実践発表が地元電力会社や大学と連携して行われており, その中でも特徴的なものを次に示す。まず, パネルディスカッションでは, 九州電力, 佐世保市, NPO 法人環境カウンセリング協会長崎, 九州・沖縄地区エネルギー教育推進会議, エネルギー教育実践校シニア校(大牟田市立明治小学校)による地域力の活用について, 参加者を巻き込んだ活発な討議が行われた。次に, 美浜町エネルギー環境教育推進委員会による「美浜町のエネルギー環境教育について」では, 平成18年度より「原子力と

の共存共栄」を振興計画として掲げる同町の全小中学校(小学校7校, 中学校1校)の取り組み(統一カリキュラムや副読本による教科や総合的な学習の時間等の中で, 体験的な学習)について報告され, 関西電力や原子力開発機構, エネルギー研究センター, 原子力防災センターとの連携状況が紹介された。そして, 府中市立府中第二中学校では, 「電力会社と共に開発したエネルギー供給シミュレーション授業—外部資源を生かしたエネルギー環境教育」で, 新学習指導要領で求められている思考型, 探求型の能力の育成を目指して開発されたカリキュラムの実践例が紹介された。さらに, (財)九州環境管理協会は「中学校における超低温, 放射線などの出前講座の実践」を報告し, 九州電力による次世代層教育や福岡教育大学による「イネ作りからのエネルギー環境教育, ペットボトル稲の開発」のワークショップが開催された。

(4) 原子力人材育成事業

文部科学省・経済産業省の「原子力人材育成プログラム」の成果報告として, 函館工業高等専門学校, 旭川工業高等専門学校と近畿大学のものがある。高専の報告では, 原子力に関連する学習や施設見学を通して, 原子力関連産業に対する理解と就業意識の向上が見られる。近畿大学では, 「近畿大学原子炉を用いた原子力体感プログラム」において, 10大学の原子炉実習を単位認定される実習として受け入れた意義が示された。課題として, 他大学の教員とのネットワークの構築と講義と原子炉実習の一体化が挙げられている。なお, 同大学が中・高校生向けに開発している「近畿大学炉を用いた原子炉教育のための遠隔授業用教材」も紹介され, 今後, 教育現場での活用が期待される。

(5) 原爆に関連する新たな教育活動

西海市立西彼中学校では, 「「ナガサキ: 原爆」炭坑での強制労働」の事実とエネルギー学習」で, 石炭からのエネルギー問題への導入と原子爆弾から「ウランとプルトニウム, 放射能と放射線, 兵器と平和的利用, 原子力発電, プルサーマル計画」の学習により, 気づく力, 考える力, 行動できる力に結びつく学習の実践例が紹介された。また, 長崎大学の取り組みとして, 「長崎発のエネルギー環境教育の試み—被爆直後のVR(Virtual Reality)空間探索と携帯端末を活用した教育」と「3D技術を用いた被爆写真からのエネルギー環境教育ツール開発の可能性」が紹介された。前者は, 「怖い」や「悲惨」というイメージだけで捉えられがちな原爆について, その構造やしぐみ, 被爆のイメージと町を破壊した威力等を科学技術的な側面から捉え直すことで, 悲しみを乗り越えて未来を見据える新たな平和教育を提案している。後者は被爆前の爆心地周辺の町並みを3次元データで復元し, その町並みの前後を比較する学習から原爆に対する新たな学習方法を提案するものである。

(2010年 8月31日 記)

活動報告

研究者とともに学び、体験する
地層処分をテーマに親子ワークショップ

日本原子力研究開発機構 郡司 郁子

原子力事業者が発行するパンフレットは、わかりにくい、難しい、専門用語が多すぎる——。一般の人たちはだいたい、原子力の広報素材をこう評価している。ならば、いっそのこと、そのパンフレットを受け取る側が、それを作ってみてはどうか。こんな経緯で発足したのが、東海村周辺に住む主婦たちで組織したメッセージ作成ワーキンググループだ。同グループは、原子力に関する勉強会や施設見学を行うことで、まずは自分たち自身が原子力に対する理解を深め、その上で、自分たちの視点に立ったわかりやすいメッセージを発信していくための広報素材を作成することに、取り組んでいる。原子力機構は、その支援活動を行うことが役割で、一般の人たちとの協働作業ができる。

メンバーはこの活動を行う中で、原子力に対する関心を高めていった。そんな関心事の一つが地層処分だった。「自分の子供にも、何らかの形で地層処分のことをもっと知ってほしい」—そんな要望を受けて、原子力機構の地層処分研究者を交えた「地層処分親子ワークショップ」が実現することとなった。

そして、そのワークショップの当日。30℃を越える真夏日にもかかわらず、会場には、14人の親子が集合。ワークショップの目玉は、子供達が研究者になりきり「リアル体験」をすること。体験は、単なる化学実験や岩石の観察ではなく、現場の研究者の指導のもと、研究者が普段使用するのと同じ器具や装置を操作し、自ら研究(実験・観察)を行う。研究は、「岩石にセシウムが付着する」という天然バリアの機能を自ら確認することで、地層処分の安全性に対する理解や関心につなげることを意図したものである。この企画を成功させるため、入念に準備を行うなど、研究者らは熱心に対応した。

参加した親子からは、実際の研究施設を訪れ、研究者と身近に接することで、「地層の力を実感することができた」「地層処分の安全性や重要性について、楽しく学ぶことができた」などの声が聞かれた。



地層処分親子ワークショップ

地層処分親子ワークショップの主な内容

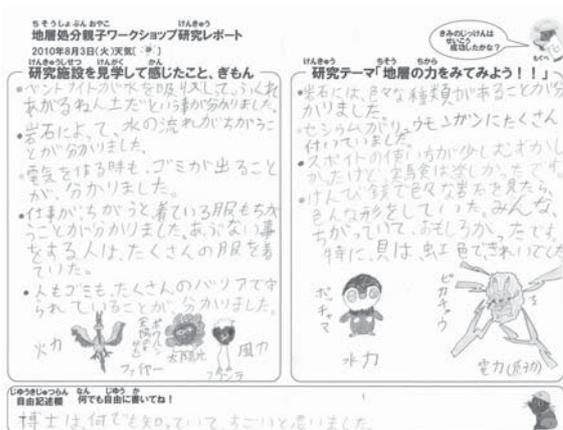
- ・紙芝居「地層処分ってなんだろう」
- ・紙芝居&クイズ「岩石のおはなし」
- ・岩石へのセシウム取着試験と電子線マイクロアナライザ(EPMA)分析(セシウム取着状況の観察)を体験
- ・光学顕微鏡を用いた各種岩石の観察や走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた微化石観察を体験
- ・最後に研究レポートを作成、認定証を交付



セシウムの岩石への取着試験の様子



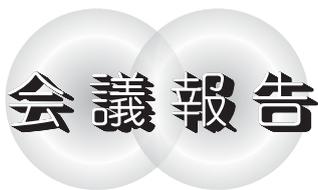
SEM 操作および EPMA での岩石サンプル観察の様子



研究レポートの一例

一方われわれにとっても、研究体験を通じて参加者に地層処分の安全性を実感してもらおう、という新しい取組みの可能性を知る貴重な機会となった。

(2010年 8月26日 記)



ダイヤの原石発掘プロジェクト WiN-Japan 女子大生交流会 in 自由が丘

2010年7月1日(自由が丘, 東京)

WiN-Japanにおける理解促進活動の主な対象は女性層と次世代層であり、それぞれに柱となるプログラムがある。しかし、どちらの層にもかかる女子大生に対してこれという活動がなかったため、昨年、新たに女子大生交流会プログラムを立ち上げた。原子力分野に職を持つ社会人の先輩として、しかも女性同士で率直な対話ができるというWiN-Japanならではのプログラム。今回、昨年度の福井・松山に続く3回目の交流会を東京で開き、WiN-Japan活動の新たな柱として手応えを感じている。

原子力に興味を持つ学生はダイヤの原石

女子大生は数年のうちに社会に出る世代。エネルギー・原子力・環境問題についての判断力を身につけ、これらの問題に自分はどうか立ち向かうのか、目的やビジョンを持って社会に飛び出してもらえれば、即戦力としても期待できる。また、彼女たちの多くがいずれ母親となり、子どもを育てることになるであろう。子どもや家族への影響力も考慮すると知識普及力の可能性は計り知れず、WiN-Japanはその力を最大限に引き出すべく、女子大生交流会を行っている。

将来を見据える学生たち

今回は、都内6大学より学部1年生から博士課程2年生まで、たつての希望で参加した男子学生5名を含む20名が参加。原子力系専攻の学生が大多数で、事前に寄せられた質問は原子力業界の現状や次世代炉についてなど、原子力に具体的なものが多かった。一方、今回集まったWiN-Japanメンバーは14名。「エネルギー・環境問題・原子力の必要性」「原子力のしくみと安全性」「放射性廃棄物」「大型霧箱説明」の情報提供や、夕食を取りながらの忌憚ないグループ対話を行った。

グループ対話の中では、男子学生からはWiN-Japanによる原子力に関する情報を掘り下げるようなことに、女子学生からは加えて「実際に原子力産業界で働く女性たちが、どのような苦勞や努力をしてきたか」などに関心が寄せられた。男性との格差についての質問には、「会社では、性差よりもトラブル時の対応など、こころ一番で仕事ができるかどうか。知力・気力・体力を蓄えておくように」など、経験に基づくアドバイスが送られていた。

WiN-Japanからの期待

今回の対話で、学生たちが真剣に未来の自分像をシミュレーションしていることを伺い知り、正直驚き、また嬉しくもあった。原子力産業界の戦力として、未来の母として、彼女たちに対する私たちの期待は大きい。

WiN-Japanでは、このようなダイヤの原石たちを発掘するべく、今年度はあと2回の女子大生交流会を大阪などで予定している。

学生幹事として参画して

当初、本当に人数を集められるのかと不安だったが、多数の積極的な申込みがあり、社会人との交流会は学生にとっても価値の高いものだと感じた。

WiN-Japanからの情報提供では、事前調査で集めた学生からの専門的な質問の回答も聞け、原子力専攻の学生にとっても学びを深めることができた。

またグループ対話では、WiN-Japan会員と学生との間で活発に質問が交された。社会で活躍されている方々の苦勞話や考え方、特に女性ならではの話(出産や育児等)は、女子学生にとって非常に参考になったようだ。私が最も印象に残ったのは、女性はその実力より存在自体に注目を集めることが多いが、その分、力を発揮して成果を出した時の反応が大きいのでモチベーションが維持できる、とある会員が話されたことだ。また、女性だからという理由の仕事があるかもしれないが、男性よりチャンスが幅広いと捉え、尻込みせずに挑戦することが大事、という仕事への取り組み方も伝授してもらえた。

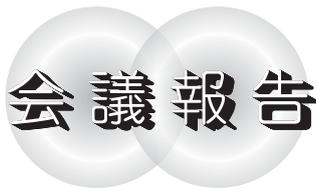
他にも、技術者、研究者を目指す理系学生にとっては、「社会は研究者や技術者だけで成り立っている訳ではなく、社会に暮らす人々といかに共生していけばよいのか」について認識を持つことができたことは大きいと思う。

このように、この会では終始和やかな雰囲気の中、かしまった講演会では聞きにくいことや専門的なことを質問することができた。また、他分野に比べて人数が格段に少ない原子力を学ぶ学生同士も大学の垣根を越えて交流を持つことができ、互いに良い刺激になった。

最後に私見だが、原子力専攻を選択する人たちは、感性が似ていて、通じるものがあるのではないかと考えている。とすれば、仲間として絆を深められる可能性があり、この出会いを1回の関係で終わらせてしまうにはあまりに惜しい。今後の日本の原子力が社会に受け入れられ、国際競争で勝ち抜くためにも、原子力に携わる私たちが学生のうちからネットワークを持ち、お互い刺激し合って切磋琢磨しつつ、日本の原子力産業界を盛り上げていきたいと思う。

WiN-Japan HP <http://www.win-japan.org/>

(エネルギー広報企画舎・森崎利恵子、
東京都市大学・上西紗耶加、2010年8月10日記)



応用加速器・関連技術研究シンポジウム (ARTA 2010) 報告からの話題紹介

医療と先端科学技術開発への応用トピックス

2010年6月17, 18日(東京工業大学100年記念会館, 東京)

第12回応用加速器・関連技術研究会シンポジウム ARTA 2010が東京工業大学100年記念会館3階フェライト会議室で開催された。筆者が13年前に日本における応用加速器研究会の必要性からこのシンポジウムを立ち上げた。ARTAの特徴は筆者が重粒子線ガン治療用加速器建設に大きく関わっていたことから、医療関連研究の報告がARTAシンポの発表件数の約半分を占めている。

特別講演に群馬大学の山田(敬称略; 以下同様)が「群馬大学重粒子線医学センター」について講演した。本年に新しく動き始めた群大普及型重粒子線ガン治療装置による重粒子線治療の新しい展開について発表した。世界で初めての普及型重粒子線ガン治療装置として全体は小型であるが、治療性能としては大型に遜色がないという、これからの重粒子線ガン治療普及への展開である。2日目の特別講演では、住友重機の密本が「サイクロトロンを利用したホウ素中性子捕捉療法(BNCT)用加速器中性子源」と題し、サイクロトロンの陽子ビーム特性から、Beターゲットによる中性子源の中性子特性まで最新データの報告があった。専用加速器でBNCTを行うのは世界初で、原子炉を必要としない新しい方式として意義がある。

一般講演での医療関連講演は、医療用加速器技術が5件、線量計測技術が2件、モニタ技術が5件、その他が1件であった。医療用イオン源も含んだ重イオン源として、加速器エンジニアリングの渋谷が「大強度多価レーザーイオン源の実用化開発」を報告し、トヤマの丸山のイオン源の設計でパルス大強度レーザーイオン源について報告した。また東工大の盧による報告は、大強度レーザーイオン源による直接プラズマ入射法を利用したRFQとDT加速のIH単空洞による超小型の炭素線ガン治療用入射線形加速器の研究は炭素6価イオンの加速および加速器構造上チャレンジングなものであった。すなわち上2つは2001, 2004年に日本で発明され、大強度加速可能なレーザーイオン源による直接プラズマ入射法に対するレーザーイオン源の実用化開発研究である。また下の1つはこの方法を使って、炭素線ガン治療の入射線形加速器にレーザーイオン源から炭素6価イオンを大強度加速、超小型化可能であること、後の加速において非常に多くの利点がある。

また非破壊、破壊モニタやGEMの医療への開発研究、「MWPのビームモニタにおける空間電荷効果の数値解析」、重粒子線照射標的中の線量分布推定の3次元化、「治療用X線場における比例計数管を用いた照射

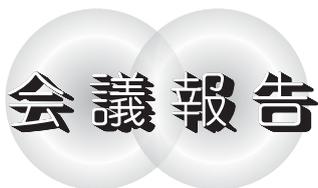
野外の線質測定」などは放射線医学総合研究所での実験を含めて世界をリードする研究が行われているとの感触を得た。重粒子線ガン治療の各種の照射効果(人体, 測定器)を系統だって研究できるのは世界で日本の放医研しかあり得ない、今まで精度がなかった諸問題に対して精度よく基礎からの解明は非常に意義がある。医療用シンクロトロンの加速器学的基礎研究も日大の中西によって行われ、有効な結果を報告した。

その他、医療以外の一般の関連技術研究では、陽電子顕微鏡プローブとして産総研から、陽電子分析と加速器システム「大気中試料の陽電子ビーム評価法の開発」および陽電子発生用の電子加速器の報告があった。加速器技術では、産総研の鈴木による「針葉樹型カーボンナノ構造体を用いた乾電池駆動X線源」で非常に実用化が面白い報告があった。また原子力機構高崎の石井らから「300 keV領域小型集束ガスイオンビーム形成装置の開発」で100 nmオーダーの水素ビーム生成の報告があった。すなわちnmオーダーの分析、材料創製を目的としている。諏訪東京理科大学の武藤が加速器の荷電変換膜について報告し、炭素スパタリング法で作成した長寿命炭素膜はビーム照射後のTEM電子顕微鏡解析よりアモルファスがHexagonal graphite-likeとなることを報告した。すなわちこの構造の炭素薄膜は長寿命を意味し、J-PARCのようなSNS施設が血まなこで開発中の荷電変換膜に新しい知見をもたらした。

医療以外の特別講演は、東工大の服部による「重イオン慣性核融合用大強度ビーム線形加速器の新展開」で重イオン慣性核融合(HIF)における21世紀のブレークスルーとなる大強度重イオンビーム加速の2つの技術(その1つがレーザーイオン源による直接プラズマ入射法)がここ10年で発明され、その技術を使った新しい小型のHIFの報告があった。HIFの基礎研究が日本で可能となったが1番煎じのため、また多くの予算が必要なため、日本では実現できないだろう。そのため残念との講演であった。

2日目の特別講演では、名大の高嶋が「中部シンクロトロン光利用施設計画の現状」と題し、愛知県の「智の拠点」計画として、東部丘陵線(リニモ)陶磁資料館南駅の左側に先導的中核施設として、1.2 GeV電子のトップアップ入射による1.2 GeV蓄積リングを建設中である。特長として超伝導ウイグラー利用で短波長放射光発生ができる。開始は2012年と報告があった。

(東京工業大学 服部俊幸, 2010年8月26日 記)



安全かつ安心な放射性廃棄物処分の実現に 必要な長い道のりと広いつながり

第13回環境修復・放射性廃棄物管理国際会議(ICEM 2010)

2010年10月3～7日(茨城県つくば市)

概要

標記の国際会議がつくば国際会議場で開催された。本会議がわが国で開催されるのは、1989年(京都)、1999年(名古屋)に続いて3回目である。事前登録者は約260名(うち国外参加者は約120名)であり、4件の基調講演、150件あまりの口頭発表、60件弱のポスター発表、3件のパネル討論が行われた。10月4日午前に行われた基調講演では、日本、米国、韓国および国際原子力機関(IAEA)による廃棄物管理の取組みに関する最新情報が紹介された。同日午後からの2.5日間は6会場に分かれて口頭発表が行われ、高レベルおよび低レベル放射性廃棄物管理、廃止措置、環境修復および管理、住民参加、国際プログラムなどについて活発な議論が行われた。筆者らは放射性廃棄物処分のセッションを中心に発表および聴講を行ったので、その中のトピックスを以下に紹介する。

トピックス1：人材育成

高レベル放射性廃棄物処分のセッションで開催された2件のパネル討論のうち、1件は「人材育成」に関するものであった。パネリストには大学、事業者、規制組織など様々な分野の専門家が選ばれ、人材育成に関する課題を議論しながら、事前にある程度準備されたマインドマップ(主題などを中央に置き、関連事項を放射状に展開する図解表現)を展開していくという手法をとった。パネリストから出た主な意見として、「人材と設備の豊富さはリンクされており、十分な設備を有していない国や機関の人材育成の進め方を検討することが必要」「人材育成には時間がかかるので、十分に練られた人材育成計画が必要」「廃棄物処分分野ではジェネラリストとスペシャリストの両方が必要で、かつ両者のバランスをとることや両者間の円滑なコミュニケーションを図ることも重要」「若手に魅力となるプログラムが必要」といったものがあつた。さらに、会場からも「実施主体、規制機関、研究開発機関相互の人材交流がさらに必要」などの意見が出され、およそ1時間半にわたり活発な議論が行われた。

トピックス2：知識継承

高レベル放射性廃棄物処分のセッションで開催されたもう1件のパネル討論は「廃棄物処分のための知識管理」であった。知識管理に関する8名のパネリストがそれぞれ進めているもしくは期待している知識管理手法もしくは概念を紹介したのち、日本原子力研究開発機構が開発

を進めている知識管理システムが紹介されたうえで、事前にある程度作成されたマインドマップ形式による討論ダイアグラム(質問と回答の連鎖)の拡張を試みた。パネリストおよび会場から多くの意見が出された中で、「いかに暗黙知(ノウハウなど明文化されにくい知識)を取り込むか」「必要な情報にいかにか的確にたどり着けるか」に関心が集まっているという印象であった。また、「知識継承では知識を受け取る若い世代の意識付けも重要」との意見もあり、前項の人材育成と共通する課題もあることが認識された。会場からも多くの意見が出され、休憩を挟んで4時間に及ぶパネル討論は盛会であった。

トピックス3：国際プログラム

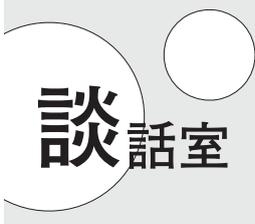
わが国をはじめ諸外国の高レベル・低中レベルの放射性廃棄物処分の事業進捗に関するセッションでは、原子力発電環境整備機構からは、今後の段階的なサイト調査・評価の考え方、項目、手順等が示され、また、段階的な処分場概念の構築や品質管理のための体系的な情報管理システムの開発状況が報告された。スイスからは、第1段階である複数のサイト候補地域の選定に対し連邦原子力安全検査局(ENSI)等により行われた承認の結果報告、フランスの処分候補地における処分場の設置の可能性がある地域の詳細な調査研究の成果報告などがなされ、処分サイト選定の進展や事業の着実な遂行のためには、たゆまない技術開発とその情報の開示、すべての関係者間における開かれた討論の積み重ねが大切であることが認識された。

その他に、工学バリアや操業技術の実証試験の成果やサイト特性評価・地質環境のモデル化に関する方法論の検討などが報告され、着実な技術開発が進められている印象であった。また、工学技術採用のための判断基準、許容可能なサイト特性の不確実性の評価などが課題として挙げられた。

所感

住民参加のセッションでは日本人参加者が少数であったこと、IAEAやNEAによる多国間国際協力の発表の著者に日本人が含まれていなかったことを指摘したい。われわれにはまだ、諸外国から学ぶべきことや諸外国に対して貢献できることがあるのではないだろうか。

(日本原子力研究開発機構・北村 暁, 武田聖司,
2010年 10月19日 記)


 談話室

 OECD/NEA 原子力施設安全委員会で
 目指したもの

原子力安全基盤機構 阿部 清治

私は1997年4月に旧日本原子力研究所(原研)の原子炉安全工学部の次長になったときに、経済協力開発機構/原子力機関(OECD/NEA)の常設委員会のひとつである原子力施設安全委員会(CSNI)に参加した。ここにCSNIは、原子力施設の安全に係る技術の維持・発展を図る委員会であり、主たる参加者は、各国の総合原子力研究機関の安全研究部門、あるいは、原子力規制当局に対する技術支援機関(TSO)の上級管理者である。

私は以前から、国際委員会への参加は組織内の職位でのみ指定されるべきでなく、10年くらいは同じ人が継続して参加すべきとの持論を持っていたので、部長になっても安全性試験研究センター長になっても、さらには2003年11月に原子力安全・保安院に移ってから、(肩書きは国際担当であったが安全研究にも責任を負ったので)CSNIに参加し続けた。結局、2007年の3月に保安院を退職するまで、ちょうど10年間、CSNIに参加し続けた。

私が初参加した当時は、日本はビューローの席を与えられていなかった。しかし、2000年ごろにOECDプロジェクト(NEA加盟国を中心としての原子力分野の国際共同研究)の費用負担をルール化することが議論され、また、2001年には米国で同時多発航空機テロが起きてCSNIでの対応が議論された機会に、当時の保安院からの代表の後押しも得て、「原子力大国である日・米・仏は常任ビューローとなる」との規則を作ってしまう、その後はずっとビューローメンバーも務めた。

さて、国際会議になぜ出席するかといえば、自国を変えるためである。他国の状況を学んで、いい所があったら自分の国に反映させる。あるいは、日本は(この頃は少し違って来たと思うが)「国際合意」に弱い国だから、「国際合意だ」といって改革のエンジンにする。もちろん、どういう「国際合意」にするか、自分としての理想や意図がなくてはどうしようもない。

したがって、「日本をこう変えたい」という意識のない人が国際会議に行っても意味はない。原研にいた頃、部下が外国出張に行って、しばしば「この問題はこう決まりました」と報告してくる。そんなとき私は、次のように言ったものである。「『この問題はこう決めてきました』と言うか、『この問題は別なふうに決めたいと思ってい

たけれど、うまくいかず、こうなってしまいました』と言うか、どちらかにしなさい」と。

CSNIでは当時、議長だったアショク・タダニ氏と、徹底して活動のあり方を改革した。タダニ氏は私より5歳年上のインド系アメリカ人で、米国原子力規制委員会(NRC)の研究局(RES)の局長であった。

実は、私が初めてこの会合に参加したとき、参加者のためのディナーがあり、たまたま、当時はビューローだった彼の隣に座った。食事しながらすっかり意気投合し、ディナーが終わるときにはもう最良の友達になっていた。

CSNIの会合ではどんなに彼に助けられたか。私がつたない英語で意見を言うたびに、彼は“I agree with Dr. Abe.”と言い、次いで、(母国語だから当たり前だが)きれいな英語で、整然と私の意と同じことを言い直してくれた。彼のお陰で私はCSNIでずっと大きな顔ができた。

CSNIの下には幾つか常設のワーキンググループ(WG)がある。実際の仕事はこれらWGによってなされるので、WGをどのような方向に持っていくかはCSNIおよびそのビューローの大切な検討課題である。このため、ビューローをサポートする組織として、計画レビューグループ(PRG)が作られた。WGが提案してくる活動計画をつぶさに読んで第1次の評価をするという、労力と見識が要求されるグループである。このメンバーには原研の4年後輩である平野雅司君になってもらったが、「10年ルール」によって、職位と関係なくその役を続けてもらった。結果、現在はPRGの議長であり、日本の貢献として大いに評価されている。

ちなみに、日本代表でCSNIの議長を務めたのは、私の元上司の佐藤一男さんだけである。あるとき佐藤さんに、CSNIにどれほどの期間参加したか尋ねたら、「20年位かな」とこともなげにおっしゃった。

CSNIでは、タダニ氏らとともに、「規制の役に立つ安全研究」への方向付けに努めた。中長期の活動計画は、原子力規制者からなる常設委員会である原子力規制活動委員会(CNRA)と合同で方向性を決め、それに沿って展

開するようになった。ただし、CNRA だけのニーズに応えると短期の研究ばかりになってしまうおそれがあったので、CSNI としては技術や施設の維持にも配慮した。

これは国内でも同じであり、保安院で安全研究を担当したときも、眼前の規制ニーズに答える研究は最優先であるが、技術や施設、また研究によって得られる人材を維持することも、重要な規制ニーズであるとした。

さて、WG は各分野の専門家で構成されるが、いまどき、ひとつの専門分野の知見だけで解決できる規制課題などほとんどない。重要課題は常に幾つもの分野の知見を総合化(Integration)しなくてはならない。CSNI は、そういう問題に取り組むためには短期的なタスクグループ(TG)を設置した。

あるとき、「燃料の安全裕度」を明瞭にすることが大事、となって、「燃料安全裕度 TG」を設置し、各国からの参加者を募ったことがある。燃料の問題を安全評価・安全論理の専門家を加えて整理することが目的だったが、集まったのはほとんどが燃料の専門家であった。各国から通例 1 人の参加者であるグループだと、各国は当然のこととして燃料の専門家を送り出してきたのである。ビューローとしては目論見違いであり、配慮不足であった。

それから、これもビューローの立場で、WG のひとつである「リスク評価 WG(WGRisk)」の廃止を提案したことがある。私自身、元の専門はリスク評価であったし、その有用性は誰よりもよく認識している。しかし、これは他の WG も共通だったが、自分たちの専門領域の中でできる仕事にだけ手をつける傾向があった。「リスク評価は有用であるが、リスクの専門家は WGRisk を出て他の WG に入り込んで仕事をすべきである」というの

が私の主張であった。

極論に過ぎたか、この主張は通らなかったが、代わりに私は、WGRisk に対し、「各国の確率論的安全目標について、単に数字の比較でなく、その利用目的、数字の根拠等を詳細にレビューすべし」との提案を行った。当時 CSNI の活動はもっぱら各 WG がボトムアップで提案してくることを PRG と CSNI で承認していたから、ビューローからのトップダウンの提案は極めて異例であった。しかし、WGRisk の安全目標の報告書は現在、同 WG が作成した報告書の中で一番有用なもののひとつとして活用されていると思う。

前述のタダニ氏が NRC 退職に伴って CSNI を去るとき、彼は私に、「これからはインドとの協力をやってみようと思っている。インドは IT 技術が進んでいるから面白い」と言った。私は彼に、「インドは IT だろうし、日本はもの作り。しかし、米国の一番進んでいるところは Integration だと思う」と答えた。タダニ氏も深く肯いた。

原研の原子炉安全工学部の次長、部長だったときに気付いたことだが、各研究室はそれぞれの専門分野の中では国際的に密接につながっているのに、うっかりすると隣の研究室が何をやっているのかを知らないということがあった。私は「隣の研究室を理解せよ」と何度も言ったものである。

ワールドカップサッカーの日本代表についての議論と重なるが、個々の技量がなければチームとしての成果は出せない。しかし一方、個々の技量が高くてもチームプレーができなければやはり十分な成果は出せない。各組織の中でも国際活動においても、「Integration が大事」。それが私の持論である。

(2010年 7月16日 記)

日韓サマーセミナー「保健物理・環境科学2010」印象記 20年後のアジアにおける原子力研究の担い手が苦楽を共にした一週間

神戸大学大学院 海事科学研究科 里藤 裕隆

1. はじめに

日韓サマーセミナー「保健物理・環境科学2010」は、「The Third Asian and Oceanic Congress on Radiation Protection (AOCRP-3)」の一環として企画されたもので、日本、韓国を中心とした、アジア諸外国の学生が学術的な交流を行う会として5月24日から28日まで都内で開催された。参加した学生達は、原子力分野の中でも、放射線の防護、計測および生物影響に関する研究を行っている学生達である。原子力に関する研究を行う学生達が、国際的な交流を行うだけでなく、自身の研究意欲を高めるとともに、原子力に対する知識を深め、国家間における放射線技術の利用方法およびそれについての見解の相違について討論する場となった。

AOCRP-3に参加した学生達は国籍を問わず、会期中の5日間、東京大学検見川寮での生活を共にし、異なる文化とのふれあい等の機会を得ることができた。日本からは東京大学、首都大学東京、藤田保健衛生大学、名古屋大学、近畿大学、神戸大学、新潟大学(順不同)の計17名の学生達が、韓国からは13名の学生達が参加した。

2. 日韓サマーセミナー開催までの経緯

日本人参加者は日本保健物理学会学友会から、外国人参加者はAOCRP-3参加国の研究者等から選任されたInternational Academic Advisorの呼びかけにより集められた。ただし、参加する学生達のほとんどは英語による討論の経験に乏しいため、登壇者は、会期前だけでなく会期中も意見交換や調査を行い本番に備えた。

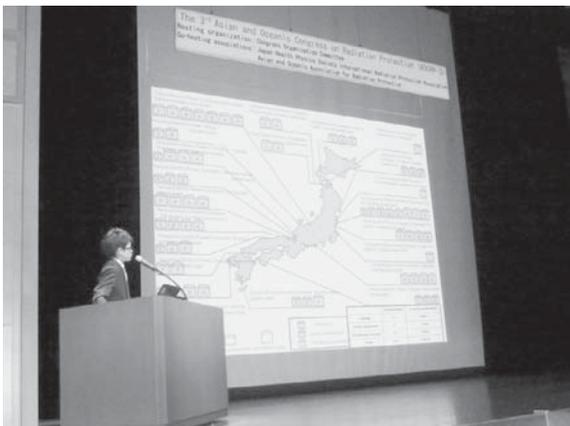
討論を行う議題については、おのおのが研究している

放射線の技術が、身近でどのように使われているかを話し合い、放射線技術に対する知識を深めるとともに、国家間における意見の相違について議論を行うことを目的としていくつか設定した。具体的には、研究環境とキャリアプラン、放射線の農業応用、医療応用、工業応用の4つの分野である。討論は2件の基調講演と30分間のパネルディスカッションによって行うものとし、韓国および日本から選任された議長を各セッションに1人ずつ割り当てた。基調講演を行う講演者は、日本と韓国から各テーマ1人ずつ、パネルディスカッションのパネリストは日韓を含む数カ国から選出した。

3. 日韓サマーセミナー「保健物理・環境科学2010」の内容

各国の原子力技術に関する討論を行う場となった学生セッションは、「Information/Opinion exchanging session among Asian student」という題目でAOCRP-3の4日目午後に前述のような計画で行われた。以下に示す写真は、1枚目が研究環境とキャリアプランにおける基調プレゼンテーション、2枚目がそのプレゼンテーションを受けて討論を行うパネルディスカッションの様子である。登壇すると同時に皆引き締まった顔となり、会場内に傍聴者として座っていた学生達にも緊張している様子が伝わってきた。学会終了後も会議室に集まり、何度も議論の内容や進行手順について打合せを行った甲斐あって、討論会はスムーズに執り行うことができた。

学生セッションでは、学生間だけでなく会場の方々からも多数の質問をいただき、活発な意見交換が行われ



基調プレゼンテーションの様子



パネルディスカッションの様子

た。また、まだまだ知識不足の我々に対して、より良い意見交換、議論を行うための改善点についてのご指摘もいただいた。学生達にとって、国際会議という大舞台でのこのような経験は、他分野および諸外国の研究分野に対する知識の拡大並びに国際社会に対する意識の向上など、日本国内および自分自身に近いテーマの研究だけでなく、様々な分野に対する視野を広げる良い機会となった。

4. まとめ

学生セッションでは、放射線の利用について4つの分野(研究環境とキャリアプラン、放射線の農業応用、医療応用、工業応用)にわたって討論が行われた。「研究環境とキャリアプラン」のセッションでは、日本と韓国との間で考え方の違いはあるものの、原子力エネルギー研究推進の方向性は一致しており、原子力施設増設や原子力産業の発展の将来性が示唆された。「放射線の農業応用」、「放射線の医療応用」、「放射線の工業応用」のセッションでは、両国とも優れた技術を有しており、近い将来、原子力の発展を担うものであると確信した。

学生セッションに参加した日本人学生からは、「もっと他国の学生達とコミュニケーションを取り、原子力に対する意見交換を行いたい」、「日本語ならもっとうまく説明することができるのに、英語でどのように表現したらよいか分からない」、「英語を聞き取ることが難しい」等の声も聞くことができ、英会話能力および原子力技術を学ぶための諸外国への留学に対する学生達の強い関心も浮き彫りになった。また、諸外国の学生からは、「多くの日本人学生と出会い、親しい関係になることができたため、今後も国際的な交流を続けていきたい」、「学生セッションを通じて原子力技術だけでなく、日本の文化にも触れることができ、参加できたことを嬉しく思う」、「学生セッションを通して、自分の研究と異なる分野についても考える機会があり、放射線に対する知識を広げることができた」等の意見をいただくことができた。

保健物理環境科学2010の会期中は、研究発表だけでな

く日本の文化および技術を紹介するために、懇親会での縁日、東京観光や原子力関係の施設見学も行った。初日に開催された懇親会では、学会参加者全員に日本のお祭りを体験していただくために、懇親会会場の一角で「縁日」を開催した。参加者全員に法被が配布され、それを着てお祭りを楽しんだ。出し物としては、「射的」や「ヨーヨーすくい」、「綿菓子」、「けん玉」、「型抜き」、「折り紙」、「こま」、「お手玉」等があった。諸外国からの参加者達は、見たことも触れたこともない物ばかりであり、興味津々で取り組んでいた。日本人学生達も割り当てられた出店の運営を活発に行い、良い国際交流の場となった。以下に示す写真は、縁日および学生集合時の様子である。

観光では、渋谷、浅草、秋葉原等の場所を訪れ、独特の雰囲気を楽しむことができたようであった。渋谷に案内したところ、日本人学生が外国人学生のお土産探しに躍起になって取り組む光景が見られた。東京ドームの野球観戦も計画され、初めて野球を観戦するという方もいた。筆者が文化の違いを感じたところは、公衆浴場に出かけた時であった。公衆浴場は、他国ではあまり利用されておらず、初めて来たという方がほとんどであり、入浴方法も知らなかった。

施設見学では「東京」、「千葉」、「筑波」の3コースがあり、それぞれ日本アイソトープ協会、放射線医学総合研究所、宇宙航空研究開発機構を訪れた。普段、立ち入ることができない施設内部まで入ることができ、多くの機器を見学することができたことで、研究意欲が湧いた。諸参加者は研究発表以外にも、様々なことを経験することができ日本人学生も含め、充実した1週間を過ごすことができたのではないかと考えられる。

そして、全体を通し、両国の学生たちは非常に多くの他国の学生たちとの議論や交流を深め、自分達の研究意欲を高め、世界に目を向け様々な研究に対する知識を得ることの重要性を再認識できた。

(2010年 9月6日 記)



縁日の様子



参加学生の集合写真

私の周りをウィーンが回る

翻訳者 伊東 明美

1994年の暮れ、私は18年暮らしたウィーンを後に帰国した。病気を抱えた離婚だったので、大分進んでいたウィーン大学での勉強も残念なことに止めざるを得なかったが、それでもウィーンにいたくて、翻訳の仕事を続けているうち、無理がたたって働けなくなってしまったのだ。こんな状態でここにしがみついても仕方がない、思い切って帰国し、体を休めてもう一度やり直そう、と決心しての帰国だった。

帰国する以上、ウィーンでは不可能だった翻訳出版を何とか実現させたいと思った。児童文学に関心があったので、帰国するとすぐ児童文学関係の編集者、作家、イラストレーターなどの集まるサークルに顔を出して人脈作りを励んだ。2年目に入り、ついにずっと温めてきたマルティン・アウアーの少年詩集が、ある編集者の目に留まり、出版が決まった！ところが編集段階に入ってまもなく編集長の交代があり、新編集長の、少年詩は売れないという一言で、あっけなく出版中止となってしまった。

私は1996年春から東京渋谷の欧日協会ドイツ語ゼミナール講師として働いていたが、1998年春、主治医から「血小板が1万5千しかない。これ以上減ると、輸血に頼って生きなければならなくなる。そうなったら、3年でおしまいだよ」と言われた。帰国以来、血液検査の結果はじわじわと悪くなってはいたが、ここまでとは！そこで学校を夏学期いっぱい、3ヶ月間休ませてもらい、そのうちの2ヶ月間を昔いつも休暇を過ごした、ウィーンから車で2時間ほどの小さな山村の宿で保養することにした。

そうだ、あの本を訳そう！と思った。私をずっと支えて来てくれたあの本だ。離婚の後の敗残者意識からどう自分を立て直し、内なる声に従った新しい人生を築いて行くかを著者自身と200人以上の面接者の体験から描いている。日本では当時バツイチという言葉が一般的になるほどに離婚が増えていた。私にこれほど勇気を与えてくれたこの本を、同じ状況で一人だと感じている人たちにどうしても手渡したい！と思った。とにかく訳すことだ。山の宿で2ヶ月間、毎日ただただ訳し続けた。丸1冊の本を訳したのは初めてだった。翻訳の質も自分ではしかとはわからない。金融関係の出版社を経営している大学時代の親しい友人に恐る恐る「お願い、正直に聞かせてね」と批評を頼んだ。その友人がある出版記念会で偶然講談社の編集者と知り合い、私の本の話をしてくれ

た。すると「僕は担当が違うけれど、担当の者に翻訳原稿をお渡ししましょう」と言ってくれ、それを読んだ担当者が、面白い、出しましょう、と言ってくれたのだ！どう考えても見えない力が応援してくれたとしか思えなかった。ただただ感謝でいっぱいだった。

オーストリアの田舎での2ヶ月の保養で、心の解放感を得、体調を回復した私は、輸血で生きる羽目にはならないで済んだ。それ以来、何としてでも毎夏日本脱出を図る、と決心、約1ヶ月のウィーンと山村での保養のお陰で、残りのストレスに満ちた日本の都会生活の中でも何とか体調を保っていくことができた。

ウィーンに行くと必ずヴィルヘルミーネの丘を訪れた。ここから眺めるウィーンの街が一番好きだから。2000年の夏、またこの丘にやって来た。いつものようにそこからウィーンの街を眺めた時、どういうわけか突然「ここに来たい！もう我慢できない！どうしてもウィーンに来たい！」という嵐のような感情に圧倒されてしまった。この時から私は具体的にウィーン再移住の準備を始めたのだった。

そして2003年の初め、私はついにウィーンに戻って来た。住民届、口座開設から家具・備品の購入、仕事探し。2ヵ月後、やっと引越しパーティーを開くことができた。こうして友人・知人たちの応援を受け、私の新生活は始まった。日本にいた間、ずっと手放せなかった入眠剤もいつの間にかいらなくなった。特別の治療はしていないのに、血液像も少しずつよくなって行った。また元夫とは再移住の頃からゆっくりと注意深く近づき合ってきたが、ここ1、2年ずっとよく分かり合えるようになり、多くの時間を共にするようになった。

私はもうウィーンを離れない。第二の故郷ではなくて、第一の故郷になったウィーンだから。

(2010年 7月25日 記)

伊東明美(いとう・あけみ)

翻訳者。在ウィーン。横浜市立大学文理学部社会学科および独文学科卒業。出版社勤務の後、渡欧。ウィーン大学翻訳通訳科独語日本語カリキュラム修了。1999年、奨学金を得てミュンヘン国際児童図書館に短期留学。訳書に、ルートヴィヒ・ベヒシュタイン『悪い子』のための怖くて不思議な童話集(講談社)、ヘルガ・フェルビンガー『だいじょうぶ！ひとりでも生きられる』(講談社)、ミラ・ローペ『にぎやか色のちび』、『赤いロッコと緑のギル』(エルアイユー社)、ヨハンナ・アワード=ガイストラー『サフィアー新生イラクを担う族長の娘』(共訳。清流出版)がある。



社会受容性に言及したレアメタルの記事に高い関心

表紙の新シリーズも好評

(9月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」9月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は53名の方から、回答がありました。Web アンケートの不具合があって再開した後でしたので、回答者数が少なめでした。

1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。9月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	報告	原子力レアメタル利用の可能性	3.94
2	ATOMOΣ Special	世界の原子力事情(9) アジア編 中国の原子力事情—目覚ましい発展を続ける原子力開発	3.88
3	ジャーナリストの視点	核燃料サイクルの現場から	3.82
4	解説(1)	世界の高速炉サイクル技術開発の動向(2)	3.81

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	核兵器のない世界に向けての次の知恵と行動を	3.82
2	表紙	運河のほとり	3.73
2	ATOMOΣ Special	世界の原子力事情(9) アジア編 中国の原子力事情—目覚ましい発展を続ける原子力開発	3.73
4	Relay Essay	ドナウ川の畔から(4) ブラヴォー, ウィーン生活	3.67
4	Web アンケート	記事企画の努力の成果がみられたこの1年	3.67
4	ジャーナリストの視点	核燃料サイクルの現場から	3.67

ATOMOΣ Special, ジャーナリストの視点が「内容」、「書き方」ともに上位にきています。

2. 自由記入欄の代表的なコメント, 要望等

- (1) ATOMOΣ Special「中国の原子力事情—目覚ましい発展を続ける原子力開発」を読んだ後に、会議報告「中国の原子力発電への熱気」を読むと理解が深まる。今後も、記事の関連を考えて編集をしていただきたい。
- (2) 時論「シンビオティックな社会の構築をめざして」に関して、「シンビオ」という言葉の定義を説明してほしいかった。

3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記(1)の要望に関しては、鋭意努力していきます。
- (2) 「日展」へ出品された作品からなる表紙の新シリーズが好評のようです。

学会誌ではこれからも、会員の皆様により質の高い情報を送りたいと考えております。記事に対する評価はもとより、さまざまな提案もぜひ、Web アンケートでお寄せ下さるようお願いいたします。

ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

伝えたい平和利用の使命感と誇り

静岡新聞社 鈴木 誠之

静岡県という土地柄、市民から原発の耐震安全性への不安をよく耳にする。2009年8月に駿河湾を震源に発生した最大震度6弱の地震は、不安の一端を裏付けた。5号機は他号機と比べて突出した強い揺れを観測し、長期間の運転停止を余儀なくされた。「M8級の東海地震が来たらどうなるのか」。市民の不安は増幅した。東海地震に対する安全性について市民を納得させるのは、困難な作業となるだろう。

静岡県は、もう一つ重要な背景を抱えている。ピキニ事件だ。1954年3月、南太平洋のピキニ環礁付近を航行中の焼津市の遠洋マグロ漁船「第五福竜丸」が、米国の水爆実験に巻き込まれた。焼津市は私が生まれ育った港町で、幼いころから身近にピキニ事件の情報があふれていた。祖父も漁師だったから他人事に思えなかった。当時の悲劇を知る人々は今もご健在だ。焼津が広島、長崎に次ぐ第3の被爆都市だと考える静岡県民は少なくないから、原発に対する目も勢い厳しくなる。

原子力業界の人々は「原発と原水爆は全く別物」と不快に思われるかもしれない。それも当然だ。それでも、感情を持った人間にとって、両者はそう簡単に切り離せるものではないのである。海を越えた原発の受注合戦が本格化し、世界中に原発が急増しようとしている今、本当にどの国でも平和利用が貫かれるのか、なおさら不安が募る。「原発は安全」と言われても、頭では理解できるかもしれないが、感情ではなかなか許容できない人々が多い。原子力業界の皆さんには、そうした感情を尊重できる人間であってほしいと常々思っている。

原子力の最前線を退いた方々で構成される日本原子力学会シニアネットワーク(SNW)が、全国の子供や教員、教員の卵の大学生に正しい放射線教育を普及させる活動に取り組まれている。SNWの方々と話していて、印象に残った言葉がある。「被爆国の日本だからこそ、我々は他のどんな国よりも平和利用に対する使命感と誇りを持ってやっているんです」。心の底から出た本音に聞こえた。感服しながら、「こうした熱い本音をもっと積極的に市民に伝えてほしい」と思った。そもそも、広島があり、長崎があり、そして、焼津のピキニ事件が大きなきっかけとなって、世界的に平和利用の機運が高まったことは周知の事実である。

少なくともこれまでの私の取材経験の中では、原水爆の話になると反射的に嫌な顔をする関係者が多かったから、新鮮な言葉だった。

私自身、原発やさまざまな放射線機器は、現代社会に欠かせないと考えている。地質学を専攻していた学生時代、毎日のようにX線回折装置(XRD)を使っていた。南アルプスで採取した岩石を粉末にし、粘土鉱物の層厚をXRDで測定すると、「プレートの沈み込みに伴ってその岩石が過去にどれだけ地下深くまで潜ったか」が推測できた。カタカタとプリンタから出力されるX線回折パターンを眺めていると、現代科学を支える放射線が魔法のように思えたものだった。

記者になってから、日本原子力研究開発機構のご協力で、すでに解体されて更地になっている日本初の発電用原子炉(JPDR)の跡地に立たせてもらったことも良い思い出だ。先人の熱い思いが時を超えて伝わってくるような気がして、感動で武者震いを覚えた。

原子力に手厳しい報道が目立つが、私を含めて記者の多くは原子力自体には否定的ではない。ほとんどの記者が、平和利用と安全性が確実に担保されることを純粋に期待しながら取材に臨んでいるはずだ。期待が高いが故に、原子力行政や事業者が住民感情を軽視しているように見えたり、機器のトラブルが頻発したりすると、ペンを握る手(キーボードを打つ手)に思わず力が入ってしまうのである。

日本原子力学会は2007年に核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会を新設するなど、平和利用の遂行に一層ご努力されているようだ。ぜひ市民向けシンポジウム等を各地で企画し、平和利用や核不拡散の取り組みについて分かりやすく国民に伝えてほしい。被爆国だからこそその使命感と誇りを、胸を張って伝えることができれば、平和を願う国民の感情をきっと揺さぶることができるはずである。

(2010年11月12日記)



鈴木誠之(すずき・まさし)

静岡新聞社 社会部記者
静岡大学院理工学研究科博士前期課程修了。2000年入社。東部総局、三島支局、御前崎支局を経て現職。

内藤奎爾先生の逝去を悼む

中部大学 松井 恒雄



本会第20代会長、名古屋大学名誉教授、内藤奎爾先生は、病氣療養中のところ薬石効なく平成22年10月27日逝去されました。享年82歳でした。ここに謹んで哀悼の意を表します。

内藤先生は昭和2年11月1日、愛知県にお生まれになり、昭和26年東京大学第一工学部応用化学科をご卒業後、日産化学工業株式会社に入社されました。昭和29年同社退社後、同年東京大学理工学研究所研究生、昭和31年日本原子力研究所研究員、昭和39年同副主任研究員を経て、昭和43年名古屋大学教授に就任されました。その後、創設直後の工学部原子核工学科を担当され、23年の永きにわたって教育研究に尽くされました。

先生は、昭和31年原子力研究所創設とともに入所後、物理化学研究室に属し、昭和33年米国カリフォルニア大学 Sieburg 教授(ノーベル化学賞受賞)のもとに留学し、アクチニド元素の研究をされました。現在、核燃料再処理工程にもちいられている TBP 溶媒抽出の機構を詳細に検討・解明し、それまでトレーサー量しか得られていなかった超ウラン元素のアメリカシウムをマクロ量分離・生成することに我が国で初めて成功され、その成果は先生の学位論文になっています。また、我が国で初めてトレーサー量のプルトニウムを

単独に分離するとともに、プルトニウム金属の実験室規模での製造に成功されました。

名古屋大学に移られてからは、原子炉材料・燃料の研究をされ多くの優れた人材を育てられました。このように先生のご専門は、放射化学、原子炉化学、核燃料工学、高温固体化学と多岐にわたり、原子力分野の諸問題を基礎的な面から解明し、我が国の原子力分野を研究面でもリードされ、アクチニド元素、超ウラン元素の化学に関する研究において第一人者でありました。

先生は、昭和62年12月から原子力安全委員に任命され、平成7年4月には原子力安全委員長代理に指名され、原子力の安全確保に多大の貢献をされました。その間、日本原燃産業(株)六ヶ所事業所における核燃料物質の加工の事業許認可、廃棄物物理設の事業許認可や動力炉・核燃料開発事業団リサイクル機器試験施設等既存の施設の設置変更に係る安全審査等に際し尽力されました。また、各種指針、基準等の策定に際し、豊富な見識及び大局的な判断により、指導的な役割を果たされました。このように先生は、我が国の原子力の安全確保及び安全性の向上に多大の貢献をされました。

平成8年12月に、任期満了で原子力安全委員を退任された後も、我が国の原子力の安全体制や安全文化に対して強い危機感を持たれ、我が国の原子力施設の「安全文化」の回復・向上と一般の人々にも「原子力の安全」について正しく理解をしていただく努力を継続してされてきました。そのため、原子力のリスクと安全確保に関する多くの著書を、原子力安全研究協会から出版されてきました。筆者が主査をしている日本原子力学会「先端技術と原子力」研

究専門委員会でも、平成15年と17年に「我が国の原子力の現状と将来—いま何をなさねばならないか」等のご講演をしていただき、先生の原子力安全への確固たる思いと人材育成への情熱が強く伝わってまいりました。

私事で恐縮ですが、お亡くなりになられる約20日前にお手紙を頂き、さらに約10日前にはお電話でお話しをさせていただきました。ご自身の体調は最後まで隠し通され、電話では風邪だとおっしゃりながら、原子力の安全と文化について大変気にされて、「君、最後は人材だよ、原子力もすべての分野でも本物の人材を育成しなくては我が国は成り立たないよ」と強く語られましたことが昨日のように思い出されます。

日本原子力学会では、理事、評議員、中部支部長、副会長を務められた後、平成6年5月から8年5月まで会長として活躍され、学会の今後の活動の方向性と部会のあり方について大局的な考え方を示され、学会の発展に貢献されました。

先生の若手育成への情熱、企画運営力、組織力、物事に対する洞察力のすばらしさにより国際的に多分野でご活躍されてきました。

薫陶を受けた我々がもっと気を利かせ、原子力のリスクと安全に対する活動と人材育成に対する先生のご努力のご負担を少しでも軽くしておればもっと長生きされ、ご活躍をされたのではないかと思うと、悔やんでも悔やみきれません。先生のお人柄やご業績を偲びつつ、謹んで、ここにご冥福をお祈り申し上げます。

(2010年 11月16日 記)