

巻頭言

- 1 福島第一原発事故の科学的検証が日本の原子力の科学力・技術力を向上させる

米山隆一

時論

- 2 不可知の説明責任

福島における風評には事実誤認によるものとリスク認知の齟齬によるものがあり、いずれも科学が内包する不可知と深く関わっている。

越智小枝

- 4 福島の甲状腺検査は誰のためのものか

福島の甲状腺がん検査での発見数の多さは、「過剰診断」と「前倒し診断」によって理解できる。

服部美咲

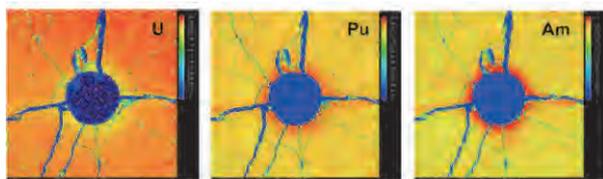
解説シリーズ

長寿命核種の分離変換技術の現状 (3)

- 34 発電用高速炉を用いた核変換システム

長寿命核種の分離変換技術の現状のうち、今回は高速炉を用いた核変換システムとして、高速炉の特徴、均質型と非均質型、実証炉開発とMA核変換の展望などについて解説する。

「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会



5%Am含有MOX燃料の短期照射試験における中心空孔近傍でのU, Pu, Am分布

インタビュー

- 12 3.11後、社会から最も信頼されたサイエンティストが解き明かした福島の実情—早野龍五氏に聞く



原発で事故が起きた後に、科学者が発した素朴なツイート。やがてそれに多くの協力が現れ、クラウドファンディングの輪が広まった。陰膳調査、BABYSCAN、D-シャトルが明らかにしたことは何か。

聞き手 澤田哲生

解説

- 19 福島事故の背後にあるもの

福島原発事故は日本固有の災害か、それともどの先進国でも起こりうるものなのか。また、これからの原子力技術には何が求められているのか。

藤垣裕子

- 24 ドイツにおける放射性廃棄物管理の実施責任・分担変更と基金の設置

ドイツでは放射性廃棄物管理のための公的基金が設置された。しかし、廃棄物管理費用が増大した場合も事業者に追加拠出を求めないことになっており、政府のリスクとなる可能性もある。

徳島秀幸

解説シリーズ

「世界の原子力事情」(3)

- 39 福島第一原子力発電所事故に対する国際原子力機関(IAEA)の活動記録

IAEAの福島原発事故に対する活動は、2015年の最終報告書ではほぼ終了した。報告書では、自然災害は想定を超える可能性のあるものであり、常に安全性の向上や改善を追求する安全文化の重要性を指摘している。

堀啓一郎, 山路 齊

連載講座

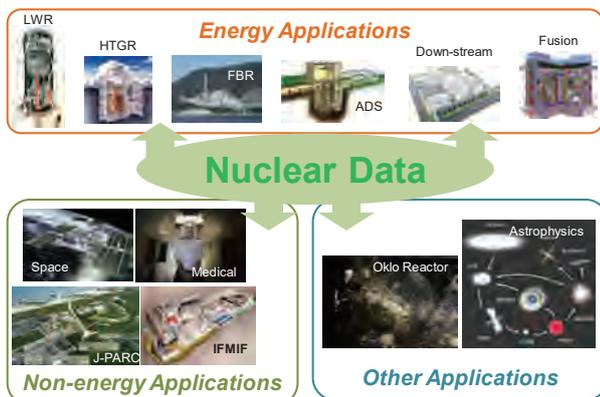
核データ研究の最前線

一たゆまざる真値の追求，そして新たなニーズへ応える為に（第1回）

44 多様化する原子核工学と核データのニーズ

核データとは原子核の物理的変化や反応の様子を表現するものである。現在，我が国がもつ核データライブラリ JENDL は世界で最も高い精度と完備性を兼ね備えたものだ。核データ開発の意義や最新の状況，国際的な動向，今後の開発の方向性を連載で解説する。

須山賢也，国枝 賢，千葉 豪，深堀智生



核データ利用の広がり

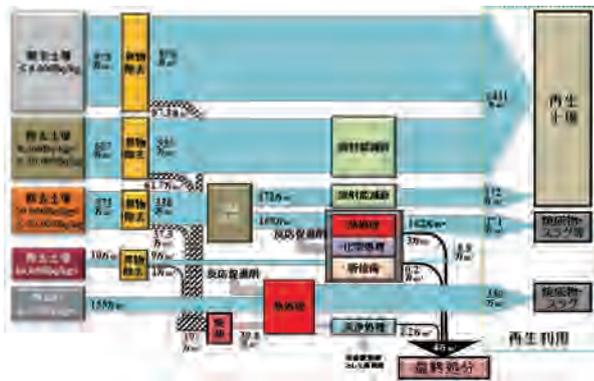
連載講座

福島環境回復に向けた取り組み（第6回）

49 安全性の確保を大前提とした除去土壌等の再生利用

福島県内の除染活動で発生する除去土壌等は最大2,200万㎡と推計される。再生利用を含め，その処分量をいかにして減らすかが，鍵だ。

岡田 尚，武田聖司，仲田久和



除去土壌等の減容・再生利用と最終処分の物流検討図

6 NEWS

- 京大研究炉KURが運転を再開
- エネルギー基本計画の見直し開始
- 1Fの燃料デブリ取り出し方法を評価
- 海外ニュース

From Abroad

29 Scientific Wanderlust Across The Ocean

海の向こうの研究放浪記（3） 米国大学編

渡米してはや四半世紀がたった。アメリカでは研究者が研究に没頭できるという至極当たり前のことが現実になっている。また，この国には学閥というものがない。

三品裕司

談話室

54 前向きに進む英国廃止措置事業 ～視察ツアーに参加して

東 哲史



理事会だより

56 規則類一読のススメ

岡嶋成晃

- 48 From Editors
- 57 会報 原子力関係会議案内，主催・共催行事，英文論文誌（Vol.54, No.10）目次，主要会務，編集後記，編集関係者一覧
- 58 会告 倫理委員会規程改定案 意見募集

学会誌に関するご意見・ご要望は，学会誌ホームページの「目安箱」(<https://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>)にお寄せください。

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

福島第一原発事故の科学的検証が 日本の原子力の科学力・技術力を向上させる



新潟県知事

米山 隆一（よねやま・りゅういち）

東京大学医学部卒業。放射線医学総合研究所、ハーバード大学附属マサチューセッツ総合病院研究員、東京大学先端科学技術研究センター特任講師、おおたか総合法律事務所を経て、平成28年10月から現職。

新潟県はBWR型原子炉7基からなる世界最大規模の原子力発電所を有しています。私は、「福島第一原発事故の原因の徹底的な検証、原発事故が健康と生活に及ぼした影響の徹底的な検証、万が一事故が起こった場合の安全な避難方法の徹底的な検証の三つの検証がなされない限り原発再稼働の議論は始められない。」という公約を掲げて当選し、まもなく委員会を立ち上げて検証を開始します。検証の期間はあらかじめ設定はしていませんが、3~4年かかるものと見込んでいます。

この検証は、私は日本の原子力の科学水準、技術水準を高めるものと考えています。事故の原因については、主なもので既に4つの事故報告書が出されていますが、それぞれに食い違う部分もあり、その後明らかになった知見もあります。それらを踏まえ、現在の科学技術の水準で可能なところまで、今一度事故の原因と過程を、徹底的・統一的にレビュー・検証することは、意義あることだと思います。

また現在までなされている検証では、事故が起こった場合の影響の全体像が示されていません。人の健康への影響については意見が大きく分かれている状況ですが、新たに明らかになった事実も含めて、科学的議論がなされるべきです。そして、この健康への影響を背景として、事故が生活や社会全体に及ぼす影響の全体像を示してこそ、一度原発事故が起こった場合一体何が起るのかを、私たちは把握できるのだと思います。

更に、どれほど事故原因を理解し、どれほど安全対策を進めても、人間が行うものである以上事故は確率事象として起こりえ、それを前提として万が一事故が起こった場合の安全な避難方法を確立しておく必要があります。

避難方法の策定に当たっては、検証によって明らかになった事故原因・事故過程の分析と、健康被害・生活被害の実情を踏まえた科学的・現実的な立案がなされる必要があります。そして立案された避難計画を実際に訓練してその実効性を確認し、そこから分かった問題点を改善するという過程を数回繰り返す事で、安全な避難方法が確立されることとなります。

原発再稼働の是非の議論は、これらの検証に基づき、原子力発電というものが持つ技術的リスクの全体像、確率事象として起こりうる事故の健康および社会への影響の全体像、事故が起こった場合の避難方法の全体像を把握した上でなされるべきものであると、私は考えます。

日本には50基程の原発があります。これらの原発が1基あたり平均で20数年ほど運転してきたとすると、これまでの運転実績は約1,500炉年(注：炉年とは運転基数×運転年数のことです)となります。その間に過酷事故が2011年に福島第一原発で起こりました。この事故を1回と数えるならば、1,500炉年に1回、また福島第一原発の3基で事故が起こったと数えるならば、500炉年に1回の頻度で過酷事故が起こった計算になります。これを1基あたりに置き換えるならば、日本の原発では過酷事故が500~1,500年に1回起こっている計算になります。

「絶対に安全」と喧伝された日本の原子炉1基あたりの事故確率は、実は千年に1度程度のものに過ぎなかった事が実証されたわけです。おそらく数十年単位はかかる福島原発事故処理の間重複して再度の過酷事故を起こすことは、日本のレピュテーション上も財政を含む対処能力上も絶対に回避しなければならず、その為には、日本全体での事故確率を200年に1回程度にするつまりは原子炉1基あたりの事故確率を1万年に1回、現在の10倍に低減させる必要があります。神ならぬ人が動かすものにおいて、それは、途方もない数字です。

その確率を実現できるのか出来ないのかを合理的に判断し、出来るならその現実的方法を示して実現し、可能な限り多くの人にそれを理解してもらい総合的能力が、私は原子力の科学力、技術力であると思います。

新潟県の「三つの検証」が、日本の原子力の科学力・技術力を向上させるものであることを確信し、私は徹底的な検証を進めていく所存です。
(2017年8月9日記)



不可知の説明責任



越智 小枝 (おち・さえ)

東京慈恵会医科大学臨床検査医学講座
講師，相馬中央病院非常勤医師
1999年東京医科歯科大学卒業。2011年留学
直前に東日本大震災が起きたことから留学先
で災害公衆衛生を学び，2013年より相馬中央
病院勤務。2017年4月より現職。

2012年に相馬市に入って以来，私は福島第一原発事故による健康被害の大半は放射能被害ではない，ということくり返し訴えてきた¹⁾。放射線被害以外の健康問題を示すことで，少しでも放射能に関する風評被害が払拭できれば，と思ったからである。その後多くの研究者たちの尽力により疫学データが蓄積し，避難による子どもや母親の精神的ストレス²⁾，子どもの肥満³⁾，高齢者の廃用症候群⁴⁾，病院避難による死亡率の増加⁵⁾，⁶⁾医療従事者の燃え尽き症候群⁷⁾や被災地の医療崩壊⁸⁾など，放射線災害における放射能以外の健康問題の重要性はようやく認知されつつある。

しかし，それらのエビデンスをもってしても福島＝放射能という偏見は一向になくなる気配はない。それどころか，福島県内外の認識の格差は拡大する一方であるようにすら見える。正しい事実と知識の発信だけでは福島に対する漠然とした恐怖をなくすことはできない—それは，この7年間で私たちが学んできた現実であった。

ではこのような風評被害の原因は「科学リテラシーのないマスコミや一般人」にあるのだろうか？ダイオキシン，豚インフルエンザ，ワクチン，豊洲問題…リスクへの過剰反応による社会問題や風評被害がほぼ同じパターンで繰り返されていることに鑑みれば，未だリスクそのものの概念を上手く説明できていない専門家にも反省の余地があるのではないかと私は考えている。

こと福島で見る限り，リスクに対する「風評」には2種類がある。1つは事実認識の齟齬によるもの，もう1つはリスク認知の齟齬によるものである。

前者の風評—事実誤認—に対する一つの誤解は，正しい知識がこの齟齬を埋めることができる，というものだ。情報の溢れる昨今，事実認識の齟齬が「無知」によって引き起こされることは稀である。むしろインターネットなどのリソース上にデマや誤情報が流されたり，古い情報がいつまでも循環したりすることにより起きる悪情報の氾濫が誤解の原因であることが圧倒的に多いだろう。

多くの人々は溢れる情報の渦の中で，どの情報を信頼すべきかわからずに途方に暮れている。このような飽和

状態にいたずらに「正しい知識」を投げ込んでも，それは大海に目薬を差すようなものであろう。

「信頼できる統計データ」だけを見ればよい，と科学者は言うかもしれない。しかし，質の良い統計データの抱える重大な欠点は，それが必ず「外れ値」を除外する，ということだ。極端な個人的体験もまた「事実」である以上，体験よりも統計データの方が真実に近い，という科学者の常識は，不安を抱える住民には時に解しがたい。

文責者の顔も見えない政府の公表が，福島に住む実名の個人の経験談よりも信頼できる，と誰が保障するのだろうか？現実にそこで生きる人々にとって，模糊とした「政府」というリソースよりも，名前や立場が示されたオンライン動画の情報が信頼できると感じてしまうのは，ある意味やむを得ないことなのである。

データの質によって信頼性を担保できない以上，私たちは別の手段で信頼を得るべく活動しなければならない。福島である程度の信頼を得ている科学者，たとえば早野龍五氏，吉川彰浩氏，坪倉正治氏などに共通するのは，彼らが顔の見える距離で繰り返し事実を伝えてきた，という点だ。彼らよりも高度な専門知識を持った方々は，ひょっとしたらそれを面白くないと感じるかもしれない。しかし今後そのような専門家の声を届けていくためにも，現地で汗かく彼らの手法を体系化し，未来へつなげる必要がある，と私は考えている。

一方，リスク認知の齟齬による風評は，風評「被害」とは断言しがたい。あるリスクの感じ方は個人の自由であり，リスク認知の差異を100%「解消」することは，リスクの持つ不確実性に矛盾する行為とも言えるからである。

しかしそれでも，不確実性の数値を個人がどのように解釈すべきか，という，いわゆるリスクの「レシピ」の共有は足りていない，という印象は拭き切れない。

「分かってはいるんだけど，何かもやもやとしたものが残る」。

放射能と健康の話をした後にそう言われることがよくある。知識では「分かる」ことができて，確率という「もやもやとしたもの」を与えられ，得心のいく落としど

ころを見つけられない、という方は多い。彼らは不確実性という概念あるいは感覚に悩んでいるのであり、知識や確率の計算手法をいくら説明してもその不安は払拭されないだろう。

何故ある事象が「確率」という手法で語られるのか。それはその事象が未来に起こり得る「分からない」ことだからである。変わり得る未来を語ることに前提である以上、確率は—それがどんなに高い確率であっても—真実とは似て非なるものだ。つまり「99.99%の確率でAである」という確率と「だから未来はAである」という認識の差は、単なる0.01%の差ではない。確率と事実を隔てるのは、現在と未来、という超えることのできない時間の壁だからである。私たちはしばしばこの大前提を忘れたかのように議論をしがちである。

「数字を出して分かったかのようにしゃべる専門家が一番信用できない」

以前ある福島の住民の方に言われたことがある。確率を未来形で語ることをやめた時、その数値は社会的な意味も信頼も失い得る、という事実を、私たちは真摯に受け止めなければならないと思う。

以上に述べた2つの風評の根底にある、2つの限界—個人の体験を知り得ないという統計の限界、100%の現実を示し得ないという確率の限界—はいずれも、科学自体が内在する不可知の領域だ。本来このような不可知を社会に伝えることは、既知を伝えること以上に重要な専門家の役割である。しかしこれまで、少なくとも福島においては、専門家は未知や不可知につき公言することには及び腰であったように思う。

これは、専門家や政治家が「分からない」と発言すること自体がタブー視される世情によるところも大きいだろう。私自身、講演会などで

「子どもの甲状腺がんは増えますか」

「これくらいの(放射)線量では人体に絶対に影響はないのですか」

という質問をされ、「分からない」と答える度に

「専門家が分からないなどというのは無責任ではないか」

という叱責をくり返し受けてきた。しかし、どんなに医学が発達しても、人が自分の死に様を100%コントロールできる世界は来ない。それは長年患者を診てきた医師として、譲れない信念である。

不勉強による無知は経験と共に減るが、人知の及ばない未知・不可知は、経験を積むほどに明らかになる。これは何かに通じた者であれば誰もが経験することであろう。しかしこの2種類の「分からない」は、リスクコミュニ

ケーションの場では(しばしば意図的に)混同され、口撃の対象となる。

そのような口撃に抵抗することは不快であり、時に徒勞であり、しかも立場を脅かされる危機感を覚えることすらあるかもしれない。しかし専門家が世間に叩かれたいために「分かった振り」をしてしまえば、社会全体が不可知に向き合える貴重な機会が失われてしまう。その結果科学への謙虚さを欠く安易な報道がなされ、一方では当局への不信、もう一方ではゼロリスク神話を生むという悪循環が生じてしまうのである。たとえば医療という私の専門領域で見ても、放射能についての知識が深まった結果「放射能を浴びなければがんにならない」というがんのゼロリスク神話ができてしまっただけでは意味がない。健康リスクを話す為には、放射能やがんの話にとどまらず、人は自分の死に様を選ぶことはできない、という所から議論を始めるべきかもしれないのである。

専門領域において常に不可知に立ち向かっている方々が世間にその向き合い方を説明し、人々が「未来は知り得ない」という当たり前の事実を前提として議論ができるよう導くこと。専門家によるそのような不可知の説明責任は、情報が容易に「炎上」するような社会だからこそ、益々重要性を増しているのではないだろうか。

世間が原発再稼働の方向へと進みつつある中、今福島と同様の事故が起きたならば、人々は福島でおきた「災害関連死3,000人超」という社会混乱を防ぐことはできるのだろうか？残念ながら、現状を見る限りそれについては「否」と言わざるを得ない。現場で直面するであろう不測の事態を速やかに解釈・説明する術を持たない限り、社会的混乱は必至だからである。

もちろんこれは若輩者の私見であり、他に優先すべき課題は多々あるだろう。しかし一つだけ確かなことは、今の福島から学び、将来に資する正の遺産を生み出せるかどうかという点に、今後の科学者の社会での在り方が問われている、ということだ。それが災後の浜通りに暮らした私の所感である。

— 参考文献 —

- 1) <http://agora-web.jp/archives/1611061.html>
- 2) Goto A, et al. BMC Psychiatry 2015;15:59.
- 3) Yokomichi H, et al. BMJ Open 2016;6:e010978.
- 4) Ishii T, et al. Prevent Med Rep 2015;2:916.
- 5) Nomura S, et al. PLoS ONE 8:e60192.
- 6) Murakami M, et al. PLoS ONE 10:e0137906.
- 7) Fujitani K, et al. Ment Health J 2016;52:39.
- 8) Ochi S, et al. PLoS ONE 2016;11:e0164952.

(2017年8月15日記)



福島のア甲状腺検査は誰のためのものか



服部 美咲 (はっとり・みさき)

ライター

1983年生まれ。慶応義塾大学文学部卒業。主に医療・工学・環境分野で執筆活動をする。現在は福島を拠点として廃炉や地域創生などをテーマに取材し、「synodos」「東北復興新聞」などのウェブメディアにも記事を掲載している。

2011年以降、マスメディアやインターネットなどで、「東京電力福島第一原発事故の影響で、福島の子どもの甲状腺がんが増えている」という趣旨の言説が何度も報じられてきた。繰り返しそういったニュースが流れることによって不安を感じる福島県内の若い母親も少なくない。しかし一方で、2016年のUNSCEAR(国連科学委員会)白書や2015年のIAEA(国際原子力機関)報告書などでは「福島第一原発事故の影響で子どもに甲状腺がんが増えているとは考えにくい」と公表されている。

福島県において定期的に開かれる「県民健康調査検討委員会」における記者会見では、県外からのフリージャーナリストらが検討委員会を糾弾することに終始し、「福島の子どもにとって、今後検査はどうあるべきか」という、住民にとって最も重要な質問を地元のメディアすら発することができないという状況も見られる。

本稿では、原発事故後の福島における甲状腺がんをめぐる経緯と検査の問題点を整理し、考察する。

1986年のチェルノブイリ原発事故の後、飛散した放射性ヨウ素により小児甲状腺がんの増加が見られた。このことから、福島第一原発事故後、福島県は原発事故当時18歳以下だった全県民および2011年内生まれの乳幼児を対象に、2011年10月から現在まで大規模な甲状腺検査を実施している。

検査は2017年7月時点で3巡目を実施中である。これまでに153人(内1名は良性)が甲状腺がんと診断され、これが従来の甲状腺がんの罹患率に比較すると数十倍であることから、「福島では放射線の影響で子供の甲状腺がんが多発している」という報道が多くなされる。しかし注意すべきは、ここでいう従来の罹患率は「自ら症状を訴えて受診した患者の割合」であり、現在福島で実施されているような「無症状の住民を悉皆検査して発見される患者の割合」ではないという点である。甲状腺がんは、罹患しても無症状のまま生涯発見されず、死後剖検で初めて発見される例の多いがんである。このため両者の患者数の間には相当の開きがあることが推測され

る。チェルノブイリ原発事故による放射能汚染があった地域でも一部無症状の子供を対象とした検査は行われたものの、現在福島で使用されているような高感度の検査機器を使った悉皆検査による罹患数のデータは存在しない。したがって比較対照ができず、未だ甲状腺がん多発の是非を巡る議論が収束しないのである。

しかし、福島の県民健康調査検討委員会は、甲状腺がんのリスクを高めると言われる放射性ヨウ素の放出量がチェルノブイリ原発事故と比較して約1/7と十分に低かったこと、事故直後2011年3月17日に定められた食品における基準値が厳しく¹小児の内部被曝が低く抑えられたこと、地域別の発見率に大きな差がないことなどから、福島の甲状腺検査で見つかった甲状腺がんについて、「放射線の影響とは考えにくい」と評価している。また、IAEAの2015年のレポートやUNSCEARの2016年の白書もこの見解と一致している。

福島の甲状腺がん検査での発見数の多さは、「過剰診断」と「前倒し診断」(合わせて広義の「スクリーニング効果」とも呼ばれる)によって理解できる。「過剰診断」とは生涯小さいまま健康に影響を与えない甲状腺がんを発見しているケースを指し、「前倒し診断」とは極めて稀ながら進行性の甲状腺がんを無症状のうちに発見しているケースを指す(こちらのみを狭義の「スクリーニング効果」と呼ぶ場合もある)。「前倒し診断」には早期発見のメリットがあると考えられることはできるものの、進行性であっても甲状腺がんは一般的に予後が良く、症状が出たからの治療で足りるとする医師は多い。

しかし一般的ながん治療のガイドラインに沿った診療では、がんが発見されれば、前述のような性格をもつ甲状腺がんであろうとも、主に大きさで判断し一律に手術

¹ 乳・乳製品の暫定基準値は300Bq/kg、粉ミルクなど乳加工品では100Bq/kg。現在は共に50Bq/kg。また、チェルノブイリ原発事故当時の原乳の基準値は3,700Bq/kgで粉ミルクには基準値がなく、基準値を超過した原乳は粉ミルクとして出回った¹⁾。

し取り除くことになる。甲状腺を切除した場合、甲状腺ホルモンを補充するための投薬を一生続けなくてはならない。また、がんの告知を受けると、将来生命保険加入の条件が厳しくなるなどの社会的な不利益を被る場合もある。

それ以上に深刻な甲状腺検査による弊害は、患者の精神的負担である。国立がんセンターによれば、がんの告知を受けた患者は頻繁に鬱やせん妄などの PTSD に準じた症状を呈する。加えて福島県は放射線被曝と共に語られることが多いため、甲状腺がんと診断されることで「放射線によって体が穢された」という感覚を患者とその家族に与える。この「穢れ」の感覚は甲状腺がんを切除したからといってなくなるものではない。また、親（とりわけ母親）は「子どもの被曝を避けられなかった」と感じ、その自責感から深刻な精神的不調をきたすケースもある。

被災3県のうち福島では突出して震災関連死が多く、復興庁の発表によれば、2016年9月現在、岩手の460人、宮城の922人に対して2,086人である。これらの多くはストレスからの生活習慣病であり、また自殺の問題も深刻化しつつある。K6（地域精神保健疫学調査において鬱などの気分障害をスクリーニングするための尺度）のスコアで13点以上をカットオフ値とすると、日本の平均3.0²⁾に比較して2倍以上の7.1となっている³⁾。さらに2011年にロシア政府がチェルノブイリ原発事故25周年の節目にまとめたレポートは、原発事故の教訓として「社会的・精神的要因の重要性が十分に評価されていないこと」を挙げている。原発事故の最大の後遺症は、社会と心に深く残るということが既に実証されているのである。

当初、福島県の県民健康調査の目的の1つとして、県民の不安解消が掲げられていた。現在の事業目的は県民の健康を見守ることとされているが、チェルノブイリの知見から、原子力災害後の被曝による健康被害として唯一考慮すべきとされていた小児甲状腺がんが、福島において事故後増加しているとは考えられないという現状において、前述の通り県民の健康にとって今最も注視すべきは鬱などの心の健康状態であり、いわば「不安」が県民の健康にとって深刻なリスクであることが明らかになりつつある。

では、甲状腺検査を続けることは、県民の不安の解消につながるのだろうか。東京大学名誉教授・早野龍五氏

が着目したのはインターネット検索エンジン Google trend での、福島県民がワード「甲状腺がん」を検索した数とワード「内部被曝」を検索した数との比較グラフである。事故後7年、「内部被曝」というワードで検索する県民は徐々に減少傾向を見せている。一方で「甲状腺がん」というワードでの検索数は減少しておらず、加えて甲状腺がんに関わる報道がなされるたびにグラフ上でスパイクが起こっている。甲状腺検査の結果が報じられるたびに、県民の不安は駆り立てられているということがわかる。すなわち、甲状腺検査の実施は却って県民の心の健康に悪影響を与えているという見方もできるのである。

「子どもたちの多くは、甲状腺検査を受ける意味を理解していません」と、甲状腺検査開始当時から、検査の当事者である福島の子どもたちと向き合い続ける福島県立医科大学の緑川早苗准教授が2016年に福島県立医大で開かれたシンポジウムで語った。放射線や甲状腺がんへの不安を日常生活では口にしない大人たちを気遣い、子どもたちも普段そういった不安を口にしない。しかし、検査の説明会などでアンケートを実施すると、子どもたちがそれらについて実際には不安を感じていることがわかる。しかし、「この甲状腺検査によって、「福島では放射線による健康被害が出ていない」ということがいづれ証明できるかもしれない」という説明を受けると、「福島が大丈夫だということを証明するために自分がこの検査を受けている、とわかって嬉しい」と語ると。「大変心強い言葉です。私は子どもたちに多くのことを教わりました」と緑川医師は聴衆を見据えて言った。大人たちの不安を慮り、自らが検査を受けることが大人たちの不安解消につながるならば積極的に協力しようという福島の子どもたちの想いを、誰にも濫用させてはならない。この検査を福島の子どもにとって最適な形にするための議論こそ、今後検討委員会で早急に進められるべきものであり、またメディアで十分に報じられるべきものではないだろうか。

(2017年8月10日記)

－ 参考文献 －

- 1) 東京大学大学院農学生命科学研究科食の安全研究センター「畜産物中の放射性物質の安全性に関する文献調査報告書」2012.3.
- 2) 川上憲人, 全国調査における K6 調査票による心の健康状態の分布と関連要因.
- 3) 平成 27 年度県民健康調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」.



京大研究炉 KUR が運転を再開

京都大学の研究用原子炉「KUR」(熱出力 5,000kW)が 8 月 29 日、利用運転を再開した。同炉は施設定期検査のために 2014 年 5 月に運転を停止。さらにその後の新規制基準に対応するための設置変更を行った後、改造工事や保安規定の改定を実施し、今年 8 月 25 日に原子力規制委員会から施設定期検査合格証が交付された。新規制基準施行後に運転を再開した研究炉としては近畿大の原子炉

(1W)、京都大の「KUCA」(100W)に続く 3 基目となる。

同炉では放射化分析、中性子ラジオグラフィ、短寿命 RI の製造、物質の構造解析、医療照射など、KUR 及びその周辺設備を利用したさまざまな共同利用研究が年間 200 件以上、行われる見込み。

(原子力学会誌編集委員会)

エネルギー基本政策分科会、エネルギー基本計画の見直しを始める

資源エネルギー庁は 8 月 9 日、エネルギー基本計画の見直しに関する議論を開始した。現行のエネルギー基本計画は 2014 年の策定から 3 年を経過しており、エネルギー政策基本法で定める見直しの時期となっている。また、これを受け 2015 年には、2030 年度を見据えた「長期エネルギー需給見通し」も策定された。

同日、1 年半ぶりに開かれた総合資源エネルギー調査会の基本政策分科会(分科会長は坂根正弘・小松製作所相談役)では冒頭、世耕弘成経済産業大臣が「計画の骨格を変える段階にはない」とする一方、東日本大震災から 6 年間のエネルギーを巡る状況変化を振り返り、「30 年目標を着実に実施するために何がすべきか」と述べた。2016 年には、将来の温室効果ガス排出削減に向けた国際枠組み「パリ協定」を踏まえ、「2050 年までに 80% の温室効果ガス排出削減」を目指す地球温暖化対策計画を策定しているが、基本政策分科会の議論と連携し、あらゆる選択肢の追求を視野に幅広い意見を集約すべく経産相主催の「エネルギー情勢懇談会」が 8 月 30 日に始動することとなっている。

9 日の基本政策分科会では資源エネルギー庁が、2030 年度の「長期エネルギー需給見通し」に向けた主要課題を、(1)福島復興、(2)再生可能エネルギー、(3)省エネルギー、(4)原子力、(5)資源・火力、(6)横断的課題(電力システム改革など)——に整理した。原子力については、再稼働によるコストと CO₂抑制への貢献が動き出す一方で、社会的信頼の回復が最大の課題だとしている。

これを受け、前回のエネルギー基本計画見直しにも参画していた橘川武郎委員(東京理科大学教授)は、原子力発電所の再稼働が進まぬ状況を憂慮し、「依存度低減の一方でリプレースの議論もすべき」と述べた。さらに立

地地域の立場から、西川一誠委員(福井県知事)は「もんじゅ」廃炉、運転期間の延長、使用済み燃料の中間貯蔵など、県内の原子力施設が抱える問題について触れ、「核燃料サイクルは現行計画と違ってきている」として、社会的信頼に与える影響を指摘した。

山口彰委員(東京大学大学院工学系研究科教授)は原子力の安全性向上、研究基盤・人材、原子力損害賠償などの審議会に参画してきた経験から、「予見性」の問題を強調し、将来における不確実性に対処するオプションを確保しておく必要性を述べた。秋元圭吾委員(地球環境産業技術研究機構システム研究グループリーダー)は、「長期エネルギー需給見通し」の進捗に関し、省エネ定着の一方で、エネルギー多消費型産業の衰退を懸念し、「柔軟性」あるエネルギー政策の検討を求めた。これに対しメーカーの立場から水本伸子委員(IHI 常務執行役員)は、技術・人材の維持に関連し、原子力発電所の新增設のオプションを残しておくことを訴えた。

また、消費者の立場から崎田裕子委員(ジャーナリスト)は、高レベル放射性廃棄物処分に関する対話活動の経験から情報発信の必要性を、辰巳菊子委員(日本消費生活アドバイザー・コンサルタント・相談員協会常任顧問)は、福島被災地を視察した経験などから、原子力利用に慎重な姿勢を示すなどした。

委員からの意見を踏まえ、エネルギー・ミックスの議論をリードした坂根分科会長は、改めて省エネの重要性を強調し、「化石燃料が無くなったら再エネでやっているのか。新增設を議論する前に、なぜ今ある原子力発電所が稼働しないのか」と述べ、今後さらに議論を深めていくことを求めた。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

福島第一廃炉の燃料デブリ取り出し方法を評価

福島第一原子力発電所廃炉における燃料デブリ取り出し方法に関する評価が7月31日、原子力損害賠償・廃炉等支援機構より示された。同日、福島県内で開かれた政府、自治体らによる評議会で、同機構の山名元理事長が新たな技術戦略プラン案として説明したものの。

技術戦略プランは、政府と東京電力が策定する福島第一廃炉の中長期ロードマップを実行するために必要な技術的根拠となるもので、前回2016年7月の公表から、これまでのPCV内部調査状況などの進展を踏まえ、近く改定となる運びだ。山名氏は説明の中でまず、「福島第一の廃炉は大きな不確実性を内在したプロジェクト」、「ある程度の不確実性は存在していても、安全性の確保を最優先に、これまでの経験・知見等を活用し柔軟かつ迅速に取り組む」との基本的姿勢に立ち、引き続き「安全」、「確実」、「合理的」、「迅速」、「現場指向」を基本に据えて取り組んでいく考えを示した。

燃料デブリに関して山名氏は、1～3号機それぞれ、原子炉格納容器(PCV)底部のベデスタル(原子炉圧力容器

下)内側について、「床面に大部分の燃料デブリが存在」、「少量の燃料デブリが存在」、「床面に2号機と比較して多くの燃料デブリが存在」などと、号機ごとの違いを述べた。その上で「現在、原子炉内部の状況が完全に把握できているわけではないが、炉心溶融過程のシミュレーション計算、宇宙線ミュオンによる観測などを総合的に利用することで、最も確からしいと思われる炉内状況を推測し、取り出しの可能性を検討することが可能」として、燃料デブリ取り出し工法の実現性評価について説明した。

それによると、2016年公表の技術戦略プランで重点的に取り組むべき工法としてあげられた「冠水—上アクセス工法」、「気中—上アクセス工法」、「気中—横アクセス工法」について、主に水位とアクセスルートをポイントに総合評価した結果、これまでの知見蓄積、燃料デブリ到達までの期間などから、「最初にPCV底部にある燃料デブリを横アクセスにより取り出すことが現実的」としている。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

IAEA、世界の原子力開発規模は2050年まで拡大と予測

国際原子力機関(IAEA)は8月7日、国際的な原子力発電開発規模の現状と見通しを長期的に予測した報告書の2017年版を公表した。その中で、今後数年間は拡大ペースに鈍化傾向が見られるものの、長期的に見れば開発規模は現在の2倍以上に大きくなる可能性があるとの結論を明らかにした。前回の予測から数値が低下している理由として報告書は主に、いくつかの国で原子力発電所が早期閉鎖され、運転期間延長への関心が不足している点を指摘。これらは福島第一原子力発電所事故後に複数の国で取られた原子力政策や、原子力発電における短期的競争力の低下がもたらしたとしている。

報告書はまた、原子力発電の将来に影響を及ぼすファクターである建設資金の調達問題や電力市場、国民受容などを分析。低炭素電源としての原子力の可能性が一層強く認識され、先進的な原子炉設計によって安全性と放射性廃棄物管理問題の両方が改善されれば、原子力の開

発利用は飛躍的に拡大するとの見方を示した。このような分析を、IAEAはすでに7月28日の理事会で報告済みで、詳細説明についてはIAEAが毎年発行している「2050年までのエネルギー、電力、および原子力発電の予測」の第37版としてまとめられ、9月の総会で公開されることになっている。

同報告書において、IAEAは高低両ケースの開発規模を予測。「低ケース」では、各国の原子力発電政策にほとんど変更がなく、現状傾向のまま推移することを前提とした。ただし、開発目標すべてが達成されるとしたわけではなく、「保守的だが妥当な線」で試算を行っている。それによると、世界の原子力発電設備容量は2016年末実績の3億9,200万kWが2030年までに3億4,500万kW(12%減)、2040年までに3億3,200万kW(15%減)に低下していくが、2050年までには現状レベルに回復する見通し。地域的な格差が際立っており、北米および東欧を除いた欧州全域で開発規模が大きく縮小することが予想されるものの、アフリカと西アジア地域ではわずかに増加する。

これとは対比的に、アジアの中部と東部地域では原子力設備容量が大きく拡大し、2050年までの成長率は

43%に達することになる。現在、世界で運転可能な447基のうち、半数以上が運転開始後30年以上経過。2050年までの見通しでは設備容量に実質的な増加はないように見えるが、低ケースにおいても2050年までに3億2,000万kWが新たに設置されると予測されており、閉鎖された容量の不足分を補う形になっている。

一方の「高ケース」では、現在の経済成長率と電力需要増加率が維持され、極東地域では特に高くなることを想定。また、多くの国が、原子力をコスト効果の高い温暖化防止オプションの1つとして受け入れることを前提とした。その結果、世界の原子力設備容量は2030年までに5億5,400万kW(42%増)、2040年までに7億1,700万kW(83%増)、2050年までには8億7,400万kW(123%増)まで拡大。世界の多くの地域がこうした数値に貢献しており、成長率が最も高いアジアの中部と東部では2030年までに設備容量が倍加するほか、2040年までに現在の2.9倍、2050年では約3.5倍に増加することが予想される。北米では2050年までに設備容量が若干低下する見通しだが、東欧を除く欧州地域では、一時的に減少した容量が2050年に1億2,000万kWまで回復。これは現状レベルの1億1,300万kWをわずかに上回る数値である。

電力の効率的な利用を促進しても、世界の電力需要は新興経済国を中心に増加していく見通しで、現在28か国が原子力発電の導入に関心を示している。また、すでに原子力発電所を運転中の30か国のうち、13か国が新規の原子炉を建設中か、一時中断していた建設プロジェクトの完成に向けて積極的に活動中。16か国で新規に建設する提案やプランがあることを明らかにしている。

IEAが世界エネルギー投資報告、電力部門は拡大し化石燃料供給は減少

国際エネルギー機関(IEA)は7月11日、エネルギー供給システムに対する世界中の投資額を詳細に分析した年次報告書「世界エネルギー投資(WEI)2017」を昨年を引き続き刊行した。電力部門で投資が拡大したにもかかわらず、化石燃料探査への投資が世界各地で継続して落ち込んでいるため、世界全体のエネルギー投資額も2年連続で低下。世界最大のエネルギー投資国であるという中国の立場は変わらないが、その投資先は次第に石炭火力発電所から低炭素電力の供給と電力網、エネルギーの効率化などにシフトしている。原子力分野では2016年に1,000万kW分の設備が送電開始するなど、過去15年間で最高の実績となったが、これらへの投資決定はすべて数年前に下されたもの。2016年に着工した原子力発電設備300万kWの大部分が中国の計画であり、過去10

年間の平均値を60%下回ったことなどを明らかにした。

今年で2回目となるWEIの発行により、IEAは各国政府やエネルギー産業界および金融機関が関連の意思決定を下す上で重要な情報基盤を提供する考え。世界全体のエネルギー供給システムに関する様々な判明事項、景気が上向いている部門や下降気味の指標についても、ベンチマーク的な分析を実施している。それによると、2016年に世界全体のエネルギー投資額は前年実績から12%減の1兆7,000億ドルとなったが、これはエネルギー効率化と電力網に対して、それぞれ9%と6%増加した投資が、石油とガスの探査活動への投資の落ち込みにより相殺されたのが原因。電力部門における総投資額が今回初めて、石油と石炭、ガス供給のための合計投資額を上回ったほか、供給投資額全体に対するクリーン・エネルギー投資の割合は過去最高の43%に到達した。国別では、世界全体額の21%を占める中国で新規の石炭火力に対する投資額が25%低下したが、米国でも石油とガスに対する投資が急落。大規模なエネルギー投資市場で最速の成長率を見せるインドでは、政府が電力部門の拡大と近代化を強力に後押ししているため、投資額が7%上昇している。

電力への投資額は2016年に世界全体で約7,180億ドルとなっており、これは前年実績からほぼ横ばい。電力網に対する投資増加の大部分は、石炭火力新設への減額投資で打ち消された。再生可能エネルギー源に対する投資は最大シェアを占めているが、2016年は3%減の2,970億ドル。この額は5年前の数値と比較しても3%低下したものの、太陽光と風力で技術の向上とコストの軽減が図られたことにより、発電量は35%増加している。エネルギーの効率化に対する投資は、9%上昇して2,310億ドルとなった。全体の27%を中国が占めており、この分野における投資成長率で中国は数年以内に欧州を追い抜く可能性がある。また、国内総生産に対する研究開発費の比率で、中国はすでに日本を抜いて世界のトップレベルにあることが明らかになった。

【中国】

世界初のAP1000、建設工事が最終段階へ

中国で第3世代原子炉技術の習得・国産化を担当する国家核電技術公司(SNPTC)は7月24日、ウェスチングハウス(WH)社製の次世代型PWR設計「AP1000」を採用した三門原子力発電所1号機(125万kW)の建設工事で、燃料装荷前の包括的安全検査が21日に成功裏に完了したと発表した。環境保護部副大臣や国家核安全局(NNSA)局長を始めとする検査チームが17日から同発

電所を訪れ、1号機の土木建築工事や機器の据え付け、起動その他のプロセスなどを全面的に検査。建設工事と燃料装荷前段階における品質保証作業は概ね有効であり、安全関係の活動も管理された状態にあると結論付けた。浙江省に位置する同発電所の建設は三門核電有限公司が担当しており、中国核工業集团公司(CNNC)傘下の中国核能電力股分有限公司(CNNP)が51%を出資。I期工事にあたる1,2号機はそれぞれ、2009年4月と12月に本格着工しており、どちらも世界初のAP1000として2018年に営業運転を開始できると見られている。

中国におけるその他のWH社製AP1000としては、山東省の海陽原子力発電所で1,2号機(各125万kW)が2009年9月と2010年6月にそれぞれ正式着工した。国家電力投資集团公司(SPIC)傘下の山東核電有限公司が担当しており、SNPTCを含む6社が出資している。SNPTC傘下の上海核工程研究設計院(SNERDI)の発表によると、7月14日に海陽2号機の格納容器で始まった構造健全性試験と集中漏洩率試験が21日に無事に完了しており、どちらにおいても品質要件を満たしていることが判明したとしている。

三門と海陽の4基については2013年、使用予定だった原子炉冷却材ポンプ(RCP)で羽根車の脱落と言った不具合が見つかったため、製造元である米国カーチス・ライト社の子会社に一旦返品された。その後、同社とWH社および中国側が協力してRCPの設計を変更。2015年には最終性能検査と検査後点検が完了している。また、これら4基用のタービンローター16本はすべて、三菱重工業が2013年に納入したものである。

【韓国】

政府要請受け、新古里5・6号機の準備工事を3か月停止

韓国電力公社(KEPCO)が全株式を保有する韓国水力・原子力会社(KHNP)の理事会は7月14日、新古里原子力発電所5,6号機(各140万kWのPWR)の処遇について、政府の公論化委員会が国民的な討論と調査を行う3か月間、これらの準備工事を中断すると決定した。閣議決定を受けた産業通商資源部(MOTIE)が6月29日に工事中断の協力要請文書をKHNPに送付していたもので、法律上の義務が発生しているわけではないが、公的企業であるというKHNP社の性質上、国のエネルギー施策に積極的に協力するという包括的義務規定に基づき、協力することに決めたと説明。3か月以内に世論を公論としてとりまとめる作業が終わらない場合は、理事会を再度開催して今後の方針を決定付けるとしている。

工事中断期間中の機材保管や現場の維持管理、および工事のパートナー企業の損失コスト保全などで約1,000億ウォン(約100億円)かかる見通しだが、KHNP社としてはこのようなコストと地域経済への影響を最小限に抑える方策を協力会社とともに講じる考え。工事再開時に問題が発生しないよう、現場の労働力を最大限に活用して工事現場の点検や機材の洗浄、防さび、包装といった特別な安全対策を実行する。特に、原子炉建屋の基礎部分は原子炉の安全確保上、非常に重要な部位であるため、中断期間中も品質を確保するための仕上げ作業を最速で8月末にも完了する方針を明らかにした。

今年5月に新政権を足踏させた文在寅大統領は6月19日、古里原子力発電所1号機の永久停止を公表する式典で脱原子力政策に転換すると宣言。準備中の新規建設計画を全面白紙化するほか、既存炉は運転期間を延長しない、昨年6月に建設許可が降りて準備工事が始まっていた新古里5,6号機の先行きについては、投入済みのコストや安全性、補償費、電力設備予備率などを総合的に考慮して、早期に社会的な合意に基づく結論を出すとしていた。

内務省に相当する行政自治部の7月12日付け「国政通知」によると、関係省庁間の協議を経て内閣は6月27日、新古里5,6号機問題に対する社会的合意を導き出すためには民主的な議論の過程を経る世論調査方式を取ること、並びにとりまとめ期間中の3か月間は準備工事を中断することを決定。この調査は中立的立場の委員が厳正に構成・運営するという公論化委員会が担当し、専門家の意見も加えた上で同委がすべてを決定・推進する点で国務委員間の合意が得られたという。

また、世論を公論化する期間の工事中断については、この調査における中立性や客観性が確保されるよう、首相や海洋水産部長官、その他の参加者も含めて様々な意見を議論した。現在、国務調整室が公論化委員会の構成原則と手順に従って、分野別の専門機関や団体に委員候補者の推薦を依頼中。新古里5,6号機建設に関する主な事実関係資料と、提起事項に関する資料の整理作業を進めている。

【米国】

規制委、ユッカマウンテン計画の審査再開準備で情報収集

米原子力規制委員会(NRC)は8月8日、オバマ政権時代に打ち切られたネバダ州ユッカマウンテンにおける使用済燃料と高レベル放射性廃棄物(HLW)の最終処分場建設計画について、許認可手続の再開を念頭に置いた情報収集活動の実施をスタッフに指示した。同処分場建

設のために設置されていた「放射性廃棄物基金(NWF)」に、6月末現在で約63万4,000ドル残っていることから、2018会計年度(2017年10月～2018年9月)で新たな関係予算が付いた場合に効率的な活用が可能になるよう、基金残額の最大11万ドルを使って関連情報サービスの再構築に向けたバーチャル会議などを開催する方針。あくまでも、新たな予算の執行準備を適切に進めるための措置であり、許認可手続そのものの再開ではない点を強調している。

ユッカマウンテン処分場計画は、2010年に民主党政権が打ち切りを決定したのにもない、エネルギー省(DOE)はNRCに提出していた建設認可申請を取り下げた。また、一般市民や団体が公聴会関係の審議文書約400万点を閲覧できるよう、ウェブ上に設けられていたデータベース「許認可支援ネットワーク(LSN)」も2011年9月末で閉鎖。NRCは、LSNデータをNRCウェブサイトの文書検索システム「ADAMS」に保管した。この時点で、NRCが発行済みの審査関連文書は、「安全評価報告書(SER)」全5巻のうち導入部の1巻だけだったが、2013年のワシントンDC連邦巡回控訴裁判所命令により、NRCは残余予算を使って、2015年1月までにSERの残り4巻をすべて発行。2016年5月には環境影響声明書(EIS)の補足文書も完成させている。

今年1月に発足したD. トランプ大統領の共和党政権は同計画の復活に意欲を燃やしており、DOEのR. ペリー長官は就任して数週間後にユッカマウンテンを視察。トランプ大統領も2018会計年度の予算教書の中で、同サイトにおける建設認可審査活動の再開に9,040万ドル、最終処分場が完成するまで必要となる中間貯蔵施設の開発開始に660万ドル、これら両方の管理運営費として2,300万ドルを計上した。

NRCの委員が今回の表決を行った時点で議会はまたこれらの予算を最終承認しておらず、NRCのスタッフと諮問機関の原子力安全許認可会議パネル(ASLBP)は、現会計年度末の9月30日までに建設認可審査の再開準備として情報収集活動を行うべきだとNRC委員に勧告していたもの。具体的には、LSNを再構築するか、代替システムを導入するかという点について(1)「LSN諮問審査パネル(LSNARP)」の会合を3回開催し、同パネルのメンバーと一般市民が技術情報を交換する、(2)ネバダ州内で公聴会の開催場所を確保するための市場調査を開始し、開催場所のセキュリティ分析も実施する一とした。また、メリーランド州にあるNRC本部の公聴会設備を接続して、「バーチャル会議」を開く可能性についても評価の実施を提案していた。

BWXT 社、NASA から有人火星ミッション用原子炉の設計契約を受注

米国のBWXT社は8月3日、将来的に火星への有人ミッションに使用される熱核推進式原子炉の概念設計契約をアメリカ航空宇宙局(NASA)から受注した。2030年代に人類を火星に到達させるという構想の下、NASAは今年4月に火星探査を成功させる具体的プランとして、月に近い軌道上の「宇宙基地」、および同基地から火星まで飛ぶ「宇宙船」の製造計画を公表。BWXT社が受注した原子炉は、地球軌道から火星まで往復する宇宙船の推進用熱核ロケット・エンジンの一部に使われることになる。NASAの革新的技術開発プログラムによると、ロケットを超高速に加速する上で熱核による推進力(NTP)技術は、かつてないほど有望。NTPを利用したロケットであれば、過去40年間に化学反応式エンジンの標準となったスペース・シャトルのメイン・エンジンの推進効率を倍加できる。人類が火星やさらに遠くの太陽系に進出するにはNTPこそ唯一の、真に実行可能なオプションであり、火星までの航行時間は現在の6か月から4か月に短縮されるとしている。

BWXT社はパブコック&ウィルコックス(B & W)社が2014年に分社化した原子力機器・サービス事業と連邦政府対応原子力事業の専門会社で、合併事業体を通じて、すでに12以上のエネルギー省(DOE)関連施設と2つのNASA施設の運営管理を担当。今回の契約にともない、本拠地であるバージニア州リンチバーグの従業員15名が直ちに作業を開始する。BWXT社のR. ジェベデン社長兼CEOも、「宇宙探査機用の原子炉や燃料を設計・開発・製造するなら当社が最も適任だ」とコメント。NTP事業の拡大が長期的に見込まれる宇宙市場で、同社が能力を発揮する良い機会になるとの認識を示した。

総額1,880万ドルという今回の契約で、BWXT社は初期の概念設計やプロトタイプ燃料集集体および炉心を開発・製造する。NASAが最初の地上試験を行う際は、許認可手続と規制要件への取り組みで支援を行うほか、エンジンの試験プログラムも開発する予定。議会が充当する年間予算やNASAの実施オプションに基づき、2019年まで作業を継続することになっている。BWXT社のNTP原子炉は燃料に低濃縮ウランを使用しており、宇宙空間を航行する際は化学反応ベースの設計より数多くの利点がある。中でも最も重要なのは、推進システムが軽いため高い出力密度と効率性が期待できることで、これにより航行時間を短縮し、宇宙線による飛行士の被ばく線量を軽減することが可能になると説明している。

【英国】

政府のエネルギー世論調査、「原子力支持派は安定的」

英国のビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)は8月3日、四半期毎に実施している「エネルギーと気候変動に関する追跡世論調査(PAT)」で、原子力発電が英国内で幅広く支持されており、原子力の利用に賛成する人の割合も安定的に推移しているとの分析結果を明らかにした。支持者は全体の35%で、このうち7%が「強く支持する」としたほか、28%が「支持する」と回答した。一方、原子力の利用に「強く反対する」人の割合は全体のわずか5%で、「反対する」とした16%と合わせても21%足らず。大多数(41%)は「支持も反対もしない」という中立的意見の持ち主で、残り2%は「分からない」と答えていた。原子力支持派の割合は2014年の調査で何回か40%を超えたのを除き、ほぼ一貫して30%台後半という結果。反対派の割合は、概ね20%台前半に留まっている。

PATは、BEISの前身であるエネルギー気候変動省(DECC)が2012年3月から始めた調査で、今季で22回目。6月末から7月4日までの間、英国内でランダムに抽出した2,097世帯を訪問し、対面インタビュー形式で意見を聴取した。原子力やシェールガス、再生可能エネルギーといった個別のエネルギー源のほかに、エネルギーの供給保証やコストなどについても、世論の動きをモニターする上で必要となるデータを収集。季節によって変動するファクターもあるため、ちょうど1年前に実施した第18回目調査との結果比較も行っている。

原子力関係の調査結果として、BEISは今回、原子力支持派世帯のうち46%が年収5万ポンド(約720万円)以上であったとしたほか、性別では男性、年齢では65才以上の人々が数多く原子力の利用を支持したと分析。職業等級別では、「最高位の幹部・管理職」(A)と「中程度の幹部・管理職」(B)に就いている人達が42%を占めたとしている。また、放射性廃棄物関係では、英国における管理方法を「非常に良く知っている」、あるいは「ある程度知っている」と答えた人が15%だったのに対し、85%は「あまり多くを知らない」、もしくは「全く知らない」と回答。このような結果は、過去の調査からあまり変わっていない

とした。内訳としては、10人中4人以上(41%)が深地層処分場(GDF)に関して、ある程度の知識を持っていると答えたものの、大多数はたくさん持っているわけではなかった。また、19%は「聞いたことはあるが、良く知らない」と回答。同じく19%が「少しだけ知っている」と述べており、「良く知っている」と答えたのは全体の3%に過ぎなかった。

性別では、男性の方が女性よりもGDFに関する知識を保有。職業等級別では、知識を持っているとした人の54%が(A)、(B)両ランクの人々で占められており、「現場の初心者作業員」(D)と「年金や失業手当の受給者および臨時雇い」(E)の両ランクを合わせた割合は33%に留まった。さらに年収別では、GDFについて知っているとした世帯の54%が、年収5万ポンド以上だったと指摘している。

【サウジアラビア】

内閣、大型炉建設含む国家原子力プロジェクトの立ち上げ承認

サウジアラビアの国営サウジ通信は7月25日、内閣が前日に「国家原子力プロジェクト」の立ち上げを承認したことを伝えた。大型炉2基のほかに小型炉の建設も明確に視野に入れる内容で、経済開発評議会の議長を務めるムハンマド・ビン・サルマン皇太子兼第1副首相の提案にもとづくもの。同国では原油資源を温存しつつ国内の電力需要増に対処するため、2040年までに1,200万~1,800万kWの原子力発電設備開発を担当する「アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市公団(K. A. CARE)」を、国王の勅命により2010年4月に創設した。これまでにフランスやロシア、アルゼンチン、中国、韓国などと原子力平和利用分野の協力協定を締結、あるいは仮調印しており、仏アレバ社製「欧州加圧水型炉(EPR)」や韓国製小型炉「SMART」、中国製高温ガス炉(HTR)を国内で建設する実行可能性調査の実施で、すでに関係国と合意。今後もK. A. CAREを中心に、原子力を電力供給源としてだけでなく脱塩その他に役立つものとして具体的に導入する計画を進め、同国にとって最適なエネルギー・ミックスを構築していくことになる。

INTERVIEW

3.11 後、社会から最も信頼されたサイエンティストが解き明かした福島の実情

早野 龍五 氏に聞く

事実の解明は科学者の発した素朴なツイートから始まった。あっという間に多数の協力者が協力を申し出てボランティアとクラウドファンディングの輪が広がり、それを学術論文4本で世に問うた。陰膳調査、BABYSCAN、D-シャトルが明らかにしたこととは何か。



早野 龍五 氏 (はやの・りゅうご)

東京大学名誉教授・放射線影響研究所評議員
東京大学大学院理学系研究科修了。東京大学理学部理学部助教授、同大学院理学系研究科教授などを経て現職。スズキ・メソッド会長を兼ねる。著書は「知ろうとすること」(新潮文庫 2014)など。

聞き手 東京工業大学 澤田 哲生
(取材：2017年7月19日)

データを整理して発信したら、フォロワーが15万人になった

澤田 今日はお聞きしたいことが山ほどあります。まず、3.11後、放射線に関することがらなどツイッターで社会に広く発信し続けられています。この取組のきっかけや動機は何だったのでしょうか。

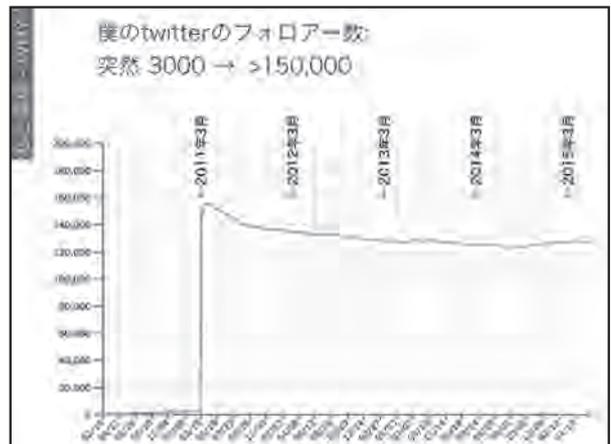
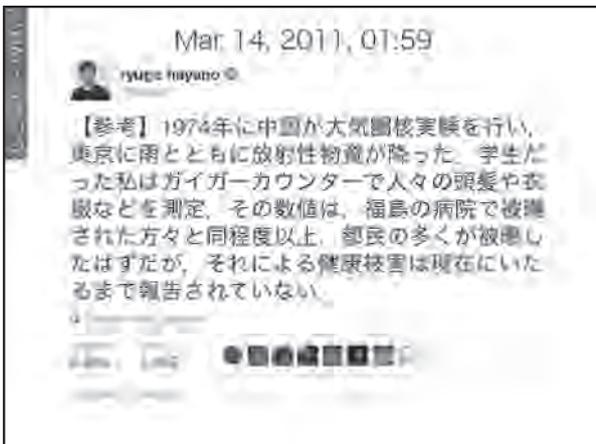
早野 3月12日にNHKがセシウムが出たと放送したので、それに関連して12日午後に発信したのが、事故後の最初のツイートです。セシウムは核分裂でできることについて紹介しました。13日になると東京電力が1F正門付近の放射線量をHPで公開しはじめました。そのほかにも手に入るデータをもとに、いろいろな情報を整理分析して発信していたら、ヤフーニュースで注目され、多くの人々が着目し始めました。

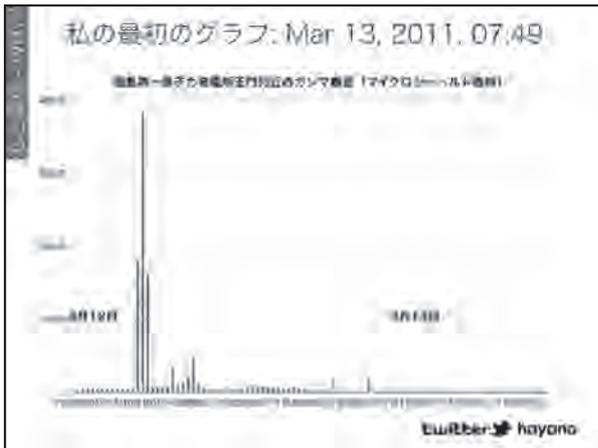
澤田 3月15日にはフォロワーが15万人になったんですよね。当時はいたずらに恐怖をあおる情報も出回っていました。一般の人たちは何を信じていいのかわからないような状況の中で、早野ツイートがリアルタイムで発信している情報が頼りにされたと思います。

早野 私にはそういう意識はなく、自分自身が何が起きているかを知りたいということから始めました。けれどもフォロワーが増えると、3月14日には東大本部からよけいなことをしないようにというお叱りをうけました。

澤田 同じころに私にも、テレビなどへの出演を控えるよう、大学当局から指示がありました。科学的に何が正しいかわからない状態の中で、専門家が間違っただけを述べることは控えるべきだというのが、その理由です。

早野 そのころにテレビに出ていた人たちはデータを





じっくりと見る時間がないままに、コメントを求められていて大変だなと思っていました。私は時間があったので、さまざまなデータを整理して関連づけ、東電が出すデータや見解を解説していました。また、さまざまなデータをつなげて全体をグラフ化する作業を始めると、会ったこともない人からネット上で協力の申し出ができました。それらの人の協力を得て、だんだんとデータが精緻化してきました。

澤田 協力を申し出られたのは科学者ですか。

早野 物理学者や科学者、情報系の大学院生などさまざまな人たちで、アクティブだった人だけでも当時は5, 60人いました。

澤田 そんなにたくさんの人をマネージする際には、大学での経験が役にたった。

早野 そうですね。そういう連携のネットワークが自然発生的にできました。東京都の水道水からヨウ素が出たときも、データを集めてグラフ化し、時系列で整理して発信しました。東大からは自制的ように言われたのですが、文科省副大臣だった鈴木寛氏からは「黙ることはない。むしろどんどん続けてください」と言われました。その時鈴木さんに僕が「SPEEDIは怎么样了」と聞き、SPEEDIの話も随分しました。その1週間後ぐらいにSPEEDIが公表されました。その後、首相官邸の国際広報から電話がかかってきました。保安院が毎日、日本人記者向けに会見をやっているが、その後に外国人記者向け会見を手伝ってほしいかと頼まれました。その際には分かっている情報は全部教えてくれるかとかいうようなやりとりがあって、できないということで断りました。ともあれ、事故直後にはたくさんの人々が僕のことを知ったことに驚きました。

澤田 当時の3.11関連のフォロワー数を見れば、NHKの公式アカウントに続いて、個人としては堀潤さん、“Tsudaる”の津田大介さんに続いて3番目。しかも東大の実験物理学教授です。メディア対応能力の高さを感じます。確か先生は2002年ごろにCERN(欧州原子核研究機構)で反水素を大量につくられ、その専門分野

で相当注目されていました。CERNのメディア対応システムはよくできているのですか。

早野 CERN全体としてはありますが、個々の研究者にはありません。ただ、20年間もジュネーブで研究を続けるためには、科研費を取りつづけなければなりません。だから、そのためのプレゼン能力が必要になります。その能力が少しは役に立ったかもしれませんが、むしろ2011年以降に鍛えられた部分のほうが大きいかなと思います。

澤田 私も大学にいますので、科研費を獲得するための努力が並大抵のことではないことを理解しています。論文を書いたりパテントを得たりすることで、科研費のミッションを果たそうとしています。しかし、納税者や社会への責任まで果たすことに真摯に向き合っている大学人は少ないと思います。いや、このような人はこれまで見たことがない。そんなことに駆り立てられたそもそのきっかけは何ですか。

早野 一つは小柴昌俊さんです。小柴さんとは長い付き合いがあるのですが、退官される1カ月前に見つかったスーパーカミオカンデでのニュートリノで、後にノーベル賞をとられました。そのときのノーベル賞の記者会見で小柴さんはメディアの方から「ニュートリノって役に立つんですか」と聞かれた。

澤田 すると「全然、何の役に立ちません」と答えられた。

早野 はい。けれども僕は、こんな役に立たないことをやっても、ノーベル賞なんかを取ればオーケーなんだと思いました。一方、僕はCERNで同じように役に立たない研究をしていました。CERNはこの分野では世界のトップの研究所です。ここでヒッグス粒子が見つかった。僕は、ノーベル賞を取ることや新発見をすることとは別に、どうすれば社会にペイバックできるだろうかとずっと考えていました。

澤田 福島ではさまざまなデータが錯綜しています。科学者はそこから真実をつかみとって浮き彫りにし、人々に伝えることが社会的責任ではないかなと思います。ただし、この問題については低線量の放射線の影響な

ど、見解が二分している場合がある。学術的・学問的に言い切れない部分があり、そこにいろいろな思惑が絡む時がある。そのような波に飲み込まれることは、覚悟されていたわけですね。

早野 最初は原子力業界がこんなに面倒くさい場所だということを知りませんでした。無知だったからできたということがあります。でも、僕はツイッターで自分の顔と本名と勤務先も明らかにしてやっているのだから、逃げられないことは覚悟していました。2011年の3月の時点だと、首都圏の人の中には、僕が東京からツイートしている限りは東京から逃げなくてもいいと思っている人もいました。

陰膳調査で、摂取食品による内部被曝量を推定した

澤田 ツイート上で炎上したのですか。

早野 批判は当時からコンスタントにたくさんありました。常に両側からたたかれ続けていました。ただ、その時点では福島の人々と直接かかわることはありませんでした。それが始まるのが夏のことです。給食の中に含まれる食品中の放射線を測る陰膳調査を始めました。

澤田 それはどこからリクエストがあったのですか。

早野 ありません。ただ、当時は食品を通じた内部被曝に対する不安を言い出す人が増えてきていることを実感していました。当時は福島県内にはちゃんとしたホールボディカウンターはなく、トマトやジャガイモを測ったとしても単発であり、トータルとして子供が何ベクレル食べているかというデータはありませんでした。このため、非常に大勢の子供が食べている給食センターで測定すれば費用対効果が高い検査になるということ、ツイッターで提案しました。

澤田 陰膳調査は、どなたかの発想なのですか。

早野 陰膳調査は1950年代の終わりぐらいから政府が全国でやっていました。大気圏内核実験の影響で、60年代にはセシウムやストロンチウムが検出されることもありましたが、民主党政権の事業仕分けの時になくなりました。これを復活させるために文科省の役人に提案したら、「やりたくない」と言われました。このため鈴木寛さんに相談したら、森ゆうこ副大臣を紹介され、2012年の予算から復活することができました。検査結果はほとんど検出限界以下です。また、2013年1月から福島市が福島市でとれた米を給食に使うようになりましたが、問題ないことが確認されています。これを測り続け、公表し続けることが力になると思います。

澤田 これは社会的に反響があったのではないですか。

早野 あったと思います。ただ、まぜて測ることなどについても随分、批判を受けました。その後、コープふくしまも、組合員の陰膳調査を始めました。組合員を100軒選んで、100軒に2日分3食、計6食を自分の家族

福島民報 2017/02/19
「県内学校給食モニタリング 全県体で下関圏未満」

学校給食モニタリング結果 (両数値とも)

年度	検査数	検出数	検出率
平成27年度(26市町村)	1,872	14	2.84
27年度(27市町村+県立1校)	2,480	0	1.28
28年度(28市町村+県立1校)	3,734	0	0
29年度(29市町村+県立1校)	3,088	3	1.14
30年度(30市町村+県立1校)	3,288	0	0

福島県教育委員会
福島県立保健福祉大学
福島県立医科大学
福島県立総合医療センター
福島県立中央病院
福島県立済生会病院
福島県立済生会第二病院
福島県立済生会第三病院
福島県立済生会第四病院
福島県立済生会第五病院
福島県立済生会第六病院
福島県立済生会第七病院
福島県立済生会第八病院
福島県立済生会第九病院
福島県立済生会第十病院
福島県立済生会第十一病院
福島県立済生会第十二病院
福島県立済生会第十三病院
福島県立済生会第十四病院
福島県立済生会第十五病院
福島県立済生会第十六病院
福島県立済生会第十七病院
福島県立済生会第十八病院
福島県立済生会第十九病院
福島県立済生会第二十病院
福島県立済生会第二十一病院
福島県立済生会第二十二病院
福島県立済生会第二十三病院
福島県立済生会第二十四病院
福島県立済生会第二十五病院
福島県立済生会第二十六病院
福島県立済生会第二十七病院
福島県立済生会第二十八病院
福島県立済生会第二十九病院
福島県立済生会第三十病院
福島県立済生会第三十一病院
福島県立済生会第三十二病院
福島県立済生会第三十三病院
福島県立済生会第三十四病院
福島県立済生会第三十五病院
福島県立済生会第三十六病院
福島県立済生会第三十七病院
福島県立済生会第三十八病院
福島県立済生会第三十九病院
福島県立済生会第四十病院
福島県立済生会第四十一病院
福島県立済生会第四十二病院
福島県立済生会第四十三病院
福島県立済生会第四十四病院
福島県立済生会第四十五病院
福島県立済生会第四十六病院
福島県立済生会第四十七病院
福島県立済生会第四十八病院
福島県立済生会第四十九病院
福島県立済生会第五十病院
福島県立済生会第五十一病院
福島県立済生会第五十二病院
福島県立済生会第五十三病院
福島県立済生会第五十四病院
福島県立済生会第五十五病院
福島県立済生会第五十六病院
福島県立済生会第五十七病院
福島県立済生会第五十八病院
福島県立済生会第五十九病院
福島県立済生会第六十病院
福島県立済生会第六十一病院
福島県立済生会第六十二病院
福島県立済生会第六十三病院
福島県立済生会第六十四病院
福島県立済生会第六十五病院
福島県立済生会第六十六病院
福島県立済生会第六十七病院
福島県立済生会第六十八病院
福島県立済生会第六十九病院
福島県立済生会第七十病院
福島県立済生会第七十一病院
福島県立済生会第七十二病院
福島県立済生会第七十三病院
福島県立済生会第七十四病院
福島県立済生会第七十五病院
福島県立済生会第七十六病院
福島県立済生会第七十七病院
福島県立済生会第七十八病院
福島県立済生会第七十九病院
福島県立済生会第八十病院
福島県立済生会第八十一病院
福島県立済生会第八十二病院
福島県立済生会第八十三病院
福島県立済生会第八十四病院
福島県立済生会第八十五病院
福島県立済生会第八十六病院
福島県立済生会第八十七病院
福島県立済生会第八十八病院
福島県立済生会第八十九病院
福島県立済生会第九十病院
福島県立済生会第九十一病院
福島県立済生会第九十二病院
福島県立済生会第九十三病院
福島県立済生会第九十四病院
福島県立済生会第九十五病院
福島県立済生会第九十六病院
福島県立済生会第九十七病院
福島県立済生会第九十八病院
福島県立済生会第九十九病院
福島県立済生会第一百病院

分プラス1食つくらせて、それを回収して、すり潰して、現場で測るというのを始めた。それでセシウム134と137、カリウム40を全部測定し、それをコープのHPに掲載し始めました。日本生活協同組合連合会も似たようなことをやり始めました。

澤田 彼らのモチベーションは何ですか。

早野 組合員の人たちは、自分たちが売っている食材が安全なものなのかどうかを最終チェックするのが目的でした。コープふくしまの場合は天然放射性同位元素のカリウム40も調べているのが特徴です。カリウム40の内部被曝は大人で年間0.2ミリシーベルトぐらいであること、それに対し、ほとんどの家庭の食事は検出限界以下であることをきっちりと示しています。この結果はジャーナル・オブ・レディオロジカル・プロテクションに掲載されています。

なお、私は当初はポケットマネーで南相馬の給食を測っていました。最初は教育委員会の反対にあって、私の提案は市長にさえ届けてもらえなかった。それで、市長にお会いした時に直接提案して、やっと実現することができました。

澤田 なぜ、反対があったのでしょうか。

早野 地元ならではのさまざまな思いがあったのだと推察します。そのころの給食のほとんどは、地元の食材を使っていませんでしたから。出るわけではないということはわかっていました。文科省がノーと言ったのとは意味が違います。文科省は、もし有意な値が出たら、その学校の現場におられる先生方がハンドルできないパニックが起きるだろうということを懸念したのだと思います。もし出たら、どの食品が原因だったかわかるし、問題があれば直せばいいと提案したのですが、文科省の担当者からは受け入れられませんでした。

乳児用のホールボディカウンターを製作した

澤田 乳幼児専用ホールボディカウンター(BABYSCAN)の話伺います。これは世の中のお母さ

んがたからリクエストがあったのでしょうか？お母さんたちの不安は想像を絶するものがあったことは間違いないと思います。

早野 私たちは、2011年から2012年にかけてはFASTSCANという大人用のホールボディカウンターで3万3,000人ぐらいを測定し、そのデータをもとに、論文を書きました。

澤田 これを読むと、福島の内被曝が驚くほど低い。2012年の段階で99%、子供は100%が検出限界未満です。それは大気中の核実験をやっていたころの全身で約600ベクレルより低いと。

早野 それより低い。それはもう2012年には分かっていたいました。

澤田 これはとても重要なデータですね。当時も今も、慎重派の人たちはとにかく内部被曝が怖いと主張していました。このデータからすると、心配なくていい。今までのような生活スタイルでいいということデータを証明してくれる。

早野 そうです。なお2011年時点でホールボディカウンターで測った時は、初期の吸入で、体内に数千ベクレルある人はおられた。

澤田 その線源は食べ物ではなく空気中の・・・

早野 2011年の3月の吸入が疑われます。

澤田 エアボーンですね。

早野 はい。なぜ食べ物ではないということがわかるかと言うと、当時、同じ人を継続して測定すると、例外なく下がっていたからです。汚染食品を食べ続けていたら上がりますから。だから、2011年の段階で、汚染されたものをずっと食べているなど疑われる人はいなかった。だから暫定規制値が500ベクレルであろうとなかろうと、世の中の人には食べていないことを関係者は知っていました。厚労省も調査をしていましたから、市場で出回っているものは汚染されていないということを知っていました。2012年に入ったら、ほとんど有意な結果が出なくなりました。

そんな中でも当時、一番多かったのは、内部被曝はとにかく危ないという声でした。なお僕たちは2011年から継続して、三春町立小中学校生徒の全員に対し、ホールボディカウンターを使った内部被曝検査を1年に1回行っています。2012年以降、1,500人を測ったデータからは、一人も検出者は出ていません。

三春町は2011年の段階で、最初に安定ヨウ素剤を配ったことで有名になった町です。さらに、子供に対する被曝調査を組織的にやった。伊達市は早い段階から、市内の放射線量を測定して、放射線量に応じて除染の順番を決めるなど、非常に合理的なことをやりました。

「大人用のFASTSCANはサイズの問題などから、子供を測るのに向いていない」とよく言われました。このことを製造会社であるキャンベラ社の社員に話したら、



社内で子供用のホールボディカウンターの製作を検討したことがあったということでした。FASTSCANの設計者であるブロンソン(Frazier Bronson)氏は福島での経験を経て放射線医学総合研究所と日本原子力研究開発機構にそれを提案したが、受け入れてもらえなかったとのことでした。その時のスケッチを見たら、それはFASTSCANを半分に切って横に寝せたような、鉄の塊でした。

澤田 うーん。これは何て言いますか。極めて無愛想なハコですね。

早野 これはまるで鉄の棺桶みたいに見える。だからお母さんは子供を入れないだろうと思いました。このため知り合いの工業デザイナーに、デザインを頼んだら、オーケーという返事をもらいました。さらに、ひらた中央病院の理事長が子供用のホールボディカウンターを欲しいと言っていたので、開発費を上乗せした価格でこれを買ってくれるかを確認するなどして、即座にプロジェクトを開始することができました。

澤田 その性能はどうでしょう。

早野 セシウムに対する検出限界は、FASTSCANの一桁下の全身30ベクレルと、精密型のホールボディカウンターに匹敵する性能です。新生児でもカリウム40が検出できます。この子供用のホールボディカウンターはすでに3台が稼働中です。心配しているお母さんが来られる。来られた方には結果を郵送するのではなく、その場で結果を説明し、不安を聞いて、きちんと答えることを徹底しました。

澤田 なるほど、対話のツールになっている。

早野 はい。これはコミュニケーションツール。そのためにはデザインがよくないといけない。「うちの子を、こんな鉄の棺桶に入れるのですか」と言われるようではダメなのです。

澤田 なるほど。何か入ってみたいくなるようなファンシーな構造になっていますよね。来る方はどんなことに関心をもっておられますか。

早野 2014年まではほとんどみんな同じ質問でした。



一番多かったのは水道水を飲んでも大丈夫か。二番目は外で遊ばせても大丈夫か。その二つが圧倒的に多かった。その後、国道6号線が開通すると、国道を子供と一緒に通ってもいいかとか、福島県産の食品を食べても大丈夫なのかが追加されていく。ともあれ、僕らが圧倒的に驚いたのは、質問のパターンが2011年から2014年まで、全く変わらなかったということですね。あれだけ情報は流れているはずなのに。

澤田 BABYSCANを使って2,700人測定したけれども、検出なしでした。

早野 はい、これは2014年の結果を使って2015年に書いた論文です。その後、一万人以上検査していますが、検出者はおられません。福島の中ではBABYSCANの受診希望者が減っているの、少し落ち着いてきたという感じがします。とはいえ、何度も来られて何度も同じ質問をする方もおられます。こういうことの解決には時間がかかります。

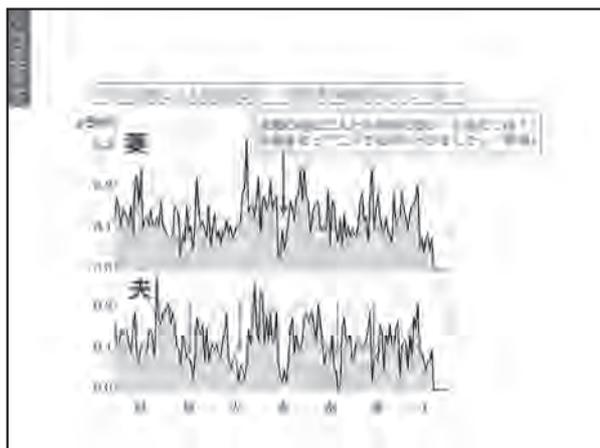
澤田 若い女性から「私、子供を産めるのですか」と聞かれたときに、「産めます」とキッパリと答えられています。科学的根拠に基づいてハッキリ言える——救いの一言ですね。

BABYSCANの結果は若い人たちにも共有されているのでしょうか。

早野 そうなるといいなと思います。このBABYSCANの結果を受けて、親が子供に「あなたは子供のときにちゃんとこうやってはかって、それで大丈夫だったのよ」ということをきちんと言ってほしい。その子が大人になって福島で生まれたことを心配されたとしても、「私は子供のころからちゃんと測ってもらっているから大丈夫」という自信につながるとは思います。

高校生 233人と協働で作業し論文に まとめた

澤田 福島高校の生徒たちとコラボレーション、つまり協働されていますね。こういうことのできる科学者はちょっといない。



早野 233人と共著で論文を発表しました。

澤田 これが一日の積算線量と総積算線量がわかるD-シャトルですか。

早野 はい、これは産業技術総合研究所の鈴木さんたちが開発されて、それを千代田テクノルが製品化した。国の事業として補助金で開発をして、2012年度のおしまいに1万個ほど納品したプロジェクトです。

澤田 どのように活用されているのでしょうか。

早野 ガラスバッジより、自分の行動と被曝線量を結びつけて考えられることが特徴です。これを住民の方とのコミュニケーションのツールとして役立たせたいと思い、千代田テクノルに売ってくれるよう僕が頼んだのが2013年3月です。その時には残り50個しかなく、それを全部買いました。そのときに仕様の変更をしてもらいました。従来のものは、内部では1時間ごとの線量がメモリーに記録されているのだけれども、当時のソフトは、1日ごとのデータしか読めない仕様になっていた。それを1時間ごとに読み出せるように改良して納品してくださいとお願いしました。それを使って測ったデータがこれです。

澤田 1日と1時間では大きな違いです。これだと、毎時どの程度の量を被曝するかがすぐわかる。

早野 そうすると「あそこに行くと被曝をする」ということがわかります。2013年夏には避難が解除される前の田村市都路町の住民の人にこれを持ってもらいました。そのころの住民の人たちは日中は自分の家に戻り、夜は田村市の船引の仮設の避難住宅に戻るという生活をしておられました。彼らにこれを渡して測ってもらったら、昼間と夜を比べても差がなかった。田村市都路町は、実は事故直後から線量が低かった。たまたま20キロという距離で線引きしたので避難地域に入ってしまっただけにすぎない。それを彼ら自身が自分で気がついて納得した。

澤田 それはいいですね。これも対話のツール。とりわけ自分自身との対話ですね。自省的に被曝を直視できる。



早野 これはとても役にたつものだと僕らも思いました。それを福島高校で話したら、高校生や先生が「それを僕らにも持たせてくれませんか」ということで、あのD-シャトルのプロジェクトが始まった。その結果を論文にまとめました。

澤田 この論文のエッセンスはどういうものでしょうか。

早野 福島県内の6高校と県外の6高校でおのおの10人弱ぐらいの生徒に、線量計を2週間、持ってもらい、毎日どこにいたかというメモとともに回収しました。2週間の測定結果をもとに1年分の外部被曝線量を推定し、福島県内と県外で比べました。さらにはフランス、ポーランド、ベラルーシの高校でも同様のことをしてもらいました。

その結果を福島高校の高校生に解析させてみたところ、あまり変わりはありませんでした。多少の偏りがあります。周知の通り、福島県内だと福島市や郡山市は会津よりも高い。

けれども、それを県外と比べても、あまり変わらない。一方でフランスのコルシカ島にあるバステアはずっと高い。これは花崗岩むき出しの場所があるためです。また、ベラルーシはそんなに高くはありませんでした。要するにふだん生活しているところであれば、日本全国あまり変わらないというのが結論です。

澤田 福島県内に住む高校生が実際に自分たちで実測して、事実を知ったというインパクトはどうでしたか。

早野 大きかったと思います。さらには、このことを彼らが伝える側になってほしいという思いがありました。論文には高校生の名前がたくさん載っていますけれども、その彼らに原稿を書いてもらいました。それを僕が英語にして、査読者からコメントがついたのですが、その反論も高校生に書いてもらいました。

澤田 それはすばらしい試み、教育ですね。外国人特派員協会では……

早野 女子高生が20分プレゼンし、40分間、英語で質疑応答しました。彼女は、東工大に進学しました。

知識をつなぎあわせ、判断する能力へと育む

澤田 残る課題は何でしょう。

早野 報道がきっかけで、無用の不安が巻き起こることです。例えば被曝で鼻血が出るというようなこと。

もう一つは甲状腺の問題です。UNSCEARの2015年などによれば、福島で今まで見つかったものは原発事故由来ではない。これは国際的にもコンセンサスになっていると思っています。けれどもメディアはそのことを、きちんと伝えてくれない。

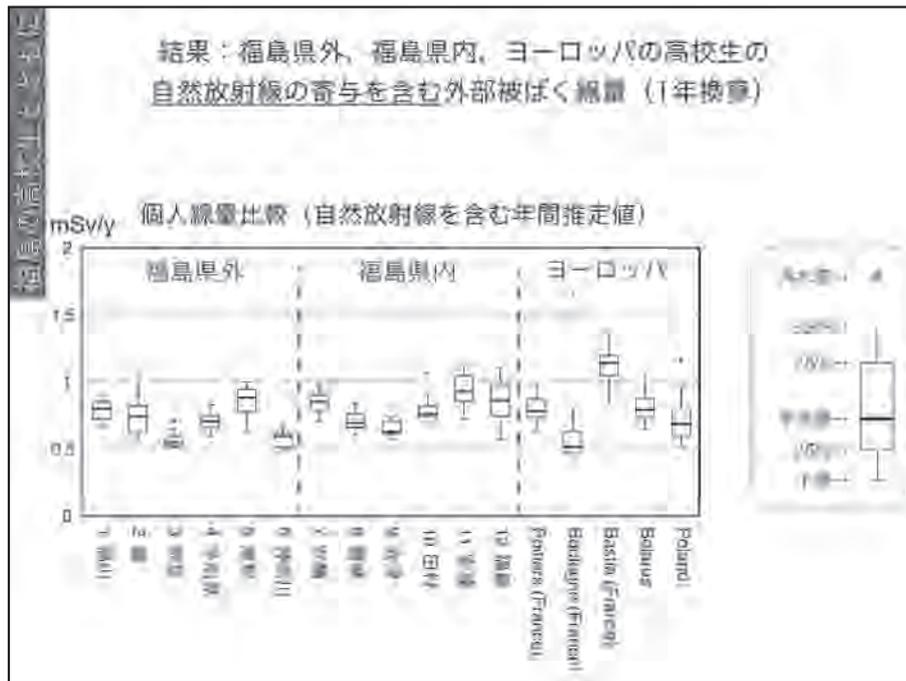
事故当時に子供だった人が年をとるにつれて甲状腺がんは、増えていきます。それは事故とは無関係です。過剰診断あるいは過剰の対応こそが、問題です。切る必要がなかった甲状腺がんを切除したかもしれません。

さらに、遺伝的影響に関する誤解の問題があります。避難地域に住む県民を対象にした2016年の「こころの健康度・生活習慣に関する調査」では、今回の事故の影響が子孫に及ぶことが「あり得る」、「大いにあり得る」と思っている大人が38%もおられる。最初にやったときは60%だったので減ってはいますが。こういう誤解があると、福島の子供に対して間違った差別を生み出しかねない。広島、長崎の被爆二世が結婚などのときに受けたさまざまな偏見が繰り返されないかということを心配しています。そのためには教育しかない。その点で、D-シャトルでやったようなアクティブなラーニングは、とても強く根づくと思います。

澤田 要するに、自分で測る。そのデータを自分のものとして獲得し解釈する。そういうプロセスを経ることで、先ほどの遺伝的影響はないということが、納得できる。

早野 体験をすることはとても有力なツールです。特別授業を1時間受けても、なかなか浸透しにくい。例えば福島の風評被害とは何かということを、学園祭のために調べて発表するようなことでも効果がある。

澤田 知識として得ることと、生活現場で測定などを通じてわかったことが、心の中で結び合うということ



が大切なんです。

早野 そういう場をつくると、2011年3月に家庭で避難しようかどうかと議論していたこととか、2011年の夏に窓をあけてはいけないと言われたとか、マスクしろと言われたこととか、ガラスバッジを配られたこととか、だんだんにつながってくる。そうすると、風評被害などに対する物事の見方への俯瞰力が高まってくる。

澤田 俯瞰力とは、相場感みたいなものですね。

早野 同級生の中にはがんになってしまって切除した子がいるかもしれません。あるいは、避難したままで戻ってきていない子がいるかもしれません。けれども、それは何もしないと断片的な記憶として残るだけで、自分たちが生きていく力にならない。それらの経験や知識をつなげて、現在の福島、将来の日本の状況、将来の福島の状況、例えば1Fのトリチウム水を流す流さないという話はどういう位置づけにあるのかということが、自分で何とか判断できるようになる。判断の内容はどちらでもよいのです。とにかく自分で判断できる子供が育つ可能性を育むことが大切です。

澤田 その意味では、彼らはそのための素材を既にやむを得なく持たされている。

早野 はい、その持たされているものを、きちんとどこかでつなげてあげると、生きる力になります。それは今やるべきだし、今しかできないことです。この間、僕が驚いたのは、一緒に活動してきた福島高校の先生に、「38%の人が、遺伝的影響があるかもしれないと考え

ていることが、一番の問題です」と言ったら、その先生はそのこと自体を認識していなかった。まずは明示的にこのことをさし示し、これは問題であるという意識を持ってもらう。おそらく県外でもかなりの人が、そう思っている可能性があります。どのようにして自らの宿命に向き合って力強く生きていく子供を育てるかということに、福島の教育に携わる人たちはもっと意識を持つべきだと思います。

澤田 それをすでに実践してきておられる。その中で多くの人々との協働が実現している。233人の生徒との共著論文はその一例ですね。感動を覚えます。単に知識を共有するのではなく、自らの力で答えを探す。

早野 文科省が言う「生きる力」とは、まさにそういうことだと思います。

澤田 次に何をやられるのですか。

早野 次の論文を準備中です。除染はどのように役に立ったのか。実際の測定データやUNSCEARの報告を照らしあわせると、相当の箇所日本政府の避難解除は遅過ぎました。もっと早く解除すべきだったということ盛り込んだ論文を書いています。また、高校生との協働企画も進めています。福島の高校生に、自分たちが生まれ育った今の福島を語ってもらう、トークショーのようなものを考えています。さらに、外国のメディアとも連携して、国際的な広報も考えています。

澤田 期待しています。ありがとうございます。

（編集協力：本誌 佐田 務）

福島事故の背後にあるもの

科学技術ガバナンスでも世界に誇れる国か否か

東京大学 藤垣 裕子

本解説記事では、まず、海外の社会科学系の研究者から福島原発事故がどのように見えているのかについて、いくつかの国際会議で得た意見をもとに紹介する。次に、「福島原発事故は日本固有の災害か否か」という問いに対するいくつかの考え方を述べる。さらに、これらの考察をもとに、今後原子力技術に何が求められているかを欧州の科学技術政策(Horizon2020)にある RRI(責任ある研究とイノベーション)を参考に考察する。

KEYWORDS: *Made in Japan Disaster, Responsible Research and Innovation, Open-up questions, Mutual Discussions, New-institutionalization*

I. はじめに

私の専門は科学技術社会論(STS)であり、科学技術と社会との間に生起する課題に対し、社会科学的方法論(社会学、人類学、歴史学、哲学、政治学、政策論、科学計量学)でアプローチする学問領域である。2011年の東日本大震災後、地震・津波・原子力災害の三大災害について STS の専門家としてさまざまな国際会議で日本の状況を発表し、海外の研究者からの反応を得る機会を得た。本稿では、これらを報告したうえで、国際的視点から日本の原子力に何が求められているかを考察する。

II. 国際会議での海外研究者の反応

1. ハーバード大学 STS 国際会議

2011年4月4日から7日にハーバード大学で「STS20+20」(STSという学問分野の過去20年を振り返り、今後20年を展望する会議)が開催され、3月11日の東日本大震災後の地震、津波、原子力災害をメディアでみていた海外の研究者から質問攻めにあった。「日本は科学技術立国をうたってきたのに、なぜあのような事故を起こしてしまったのか」という質問を筆頭に、(1)日本の原発は、日本の政治的、経済的、社会的文脈にどのように埋

め込まれたのか?(それを知りたいと思うのに、既存の資料はほとんどが日本語で書かれており、英語で読めるものがない)、(2)どのような科学技術と社会の関係のもとで、あの事故は起こったのか、(3)日本の科学技術と社会の関係は、歴史的にどのように作られてきたのか、という問いである。

これらの3つの問いに答えるために、日本の STS 研究者らとともに、Lessons from Fukushima という本を編集し、Springer から出版した¹⁾。本書は2部構成になっており、第一部が福島原発事故の分析であり、上記の3つの問いのうちの(1)と(2)に答えるものである。第二部は水俣病、イタイイタイ病、もんじゅの事故、薬害エイズ事件などを扱っており、(3)の問いに答えるものである。

2. 2011年4S(国際科学技術社会論学会)

2011年11月2日から4日には、米国クリーブランドで国際科学技術社会論学会が開催され、国際科学史学会、国際技術史学会との合同で、「災害を考える:科学技術史および科学技術社会論からみた福島の展望」というプレナリセッションが設けられた。ここでは、物理学者、人類学者、社会学者からの発表が行われた。米国の人類学者が事故直後の菅さんと枝野さんの写真を見せ、「日本政府は dis-organized な知識を出し続けた」と発言すると、800人近い聴衆から失笑がもれた。私はこのセッションの司会を務めていたが、この失笑を聞いて大変恥ずかしい思いをした。それでは organized な情報発信とは何か。日本政府はどういう情報発信をすれば国際

The important thing that should be considered behind Fukushima Nuclear Plants Accident; Is japan a country that can be proud of in Science and Technology Governance? : Yuko Fujigaki.

(2017年7月31日 受理)

社会からの信頼を得られたのだろうか。このような問題意識から、日本学術会議の「東日本大震災後の科学と社会の関係を考える分科会」および「科学者からの自律的な科学情報の発信のありかた検討委員会」で災害時の情報発信について検討をおこなった。ユニークボイス、シングルボイスにこだわるあまり情報発信が遅れることへの懸念が議論されたほか、幅のある情報および専門家のなかにも意見の分布があることの発信の意義についても議論された。幅や分布のある発信をすれば、dis-organizedな知識といわれることが避けられるのではないかという考え方に基づく。専門家の間の意見の分布には、1)生のデータ、2)データの解釈、3)データを基礎とした選択肢の決定、4)選択肢の提示、5)選択肢のなかの選択に対する専門家の意見の分布など、さまざまなレベルにおける分布があることも検討された。

3. 2012年4S・欧州科学技術論学会合同会議

2012年10月にはデンマークのコペンハーゲンで国際科学技術社会論学会と欧州科学技術論会議の合同会議が開催された。そこで日本人研究者たちは海外の研究者と合同で福島事故に関する4つのセッションを企画した²⁾。そのセッションおよびレセプションの場で福島事故に対する多くの意見を得た。たとえば、「日本ではエネルギー政策に国民を交えた議論をおこなっているⁱ。フクシマは日本の公共政策はそんなにも変化させたのか。」(米国：災害研究者)「フクシマの影響はさまざまであるが、専門家への不信という点では一様性もっている。フクシマは日本における公衆と行政の境界を書き換えつつあるのでは。」(米国：人類学者)「欧州では、日本の今後の原子力がどうなるか、ひとつとが注目している。市民の抵抗がどう効果をもつのか」(オランダ：社会学者)「日本の震災後の原発政策が欧州の政策に与える影響について強い関心をもっている。」(フランス：社会経済学者)「閣議決定はされなかったが、日本も2030年代までに原発0%を選んだのは画期的なことだ。」(ドイツ：報道関係者)といった意見である。これらの反応から、ポストフクシマは決して日本だけの問題ではないということを実感した。

さて、コペンハーゲンでのセッションでは、フランスの原子力の社会的側面を研究している研究者 G.Heckt氏から、「福島原発事故は日本固有の災害か否か」という大変興味深い問いが提示された。Heckt氏は、テクノオリエンタリズムに言及した。当初、福島事故は西欧諸国に恐れられた。技術的に発達した我々と同じ先進諸国

(One of us in West)でおきた事故としてである。もう一方で、あれはメイド・イン・ジャパンの災害であり、我々とは違う特殊な日本において起きた事故という捉え方がある。後者はテクノオリエンタリズム的考え方である、というものである。これについて次項で詳しく解説する。

III. 福島原発事故は日本固有の災害か

福島原発事故は日本固有の問題だろうか。答えはNOであると同時にYESである。まずNOの立場をみてみよう。今回の事故は、技術的に発達したハイテク国家日本で起きた事故であり、同様の事故が原子力発電所をもつどの国でも起こる可能性があると考えられる立場である。そして、原子力発電所の安全性を根本から問い直さねばならないとする。ドイツは2022年までに原子力全廃という決議をしたが、この決定は上記の考えに基づいている。たとえばドイツの「安全なエネルギー供給に関する倫理委員会」報告書(2011年6月)には、「今回の事故がハイテク大国・日本でおきたことを特に重視している」と書かれている。そして日本での事故によって「大規模な原子力事故はドイツでは起こりえない」という確信をもてなくなったと告白している。高い技術力をもった日本は、原発の安全性を判断する上での重要な規準であったことが示唆される。このように、原発事故が、原発を保有する他のどのような国でも起こりうるという認識をもち、事故として一般化することによって、今回の事故の教訓を世界の人々と共有することができる。

次にYESの立場をみてみよう。この事故を「メイド・イン・ジャパンの災害」として捉え、「日本固有の」災害として捉える見方である。たとえば、民間事故調査報告書で、「この調査中、政府の原子力安全関係の元高官や東京電力元経営陣は異口同音に『安全対策が不十分であることの問題意識は存在した。しかし、自分ひとりが流れに棹をさしても変わらなかったであろう』と述べていた」(p7)という記述がある。こういったNo-Blame Culture、きちんとすべきことをいわない日本の文化が災害を生んだという考え方である。また、ひとつひとつの分野は世界最高レベルにあったのに、それらの間の連携が下手な国であったためにおきた事故という指摘もある。たとえば、津波のコミュニティにおける津波予測の不確実性の感覚が、原子力コミュニティに伝達されなかった(2012年1月、日本学術会議シンポジウム)というように指摘である。さらに、国会事故調査報告書で黒川清委員長が「メイド・イン・ジャパンの災害」と言及したこと(The National Diet of Japan, The Official Report of The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, Executive Summary, p9)が、この見方の証左として海外でも使われている。この見方は「テクノオリエンタリズム」とよばれる。テクノオリエンタリズムをとると、あの事故はグローバルなハイテク

ⁱ 2012年7-8月に当時の政府によって開催された将来のエネルギー選択をめぐる討論型世論調査を指す。無作為抽出された6,849名のなかから285名が参加し、将来エネルギーに占める原子力発電20-25%、15%、0%の3つのシナリオのうちどれを選ぶかを議論した。

国でおきた事故というより「日本固有のこと」であり、欧米諸国は自分たちには関係ないこととして片付けることが可能になるのである。

そもそもオリエンタリズムとは、主に文学、歴史学、文献学、社会誌など文系の学問のなかで、西洋の書き手や設計者や芸術家の表現、描写、叙述のなかに無意識に用いられている中東や東アジア文化に対する見方の偏向を指すために、E.W. サイドが用いた言葉である。サイドはいう。知識というものは基本的に非政治的であるとみられているが、この認識が、「知識の生み出される時点でその環境としてある、たとえ目には見えなくても高度に組織化された政治的諸条件」を覆い隠すものとなっている傾向がある。そしてそれら知識のなかに、オリエント(西洋からみた東洋)への偏向したものの見方が含まれている。これまで科学技術は、それらとは異なる普遍的なものを考えられてきたため、オリエンタリズムの考察からは外されてきたのである。

しかし、黒川氏がメイドインジャパンの災害といって、セルフ・オリエンタリズム的発言をしたことは、果たして科学技術のどこまでが普遍的なもので、どこから先が文化依存的で東洋的なものであるのかについての問いを我々につきつける。科学技術の知識を生み出す活動は、とりもなおさず人間によって営まれており、科学活動を支える制度、研究環境、関連する法、背負っている歴史は国によって異なる。科学技術リスクを管理する上での知見やシステムは、人類普遍のものであるのか。それとも文化に依存するものなのだろうか。

1つの考え方は、科学は人類普遍、技術には文化依存性が入り込み、リスク管理に至っては文化依存性が非常に強いという段階説をとることである。しかしここで注意したいのは、日本固有の災害といった瞬間に逃げていってしまうものがあることだ。こういう事故は、米国でもドイツでもフランスでも起こりうる、という認識をもち、民主主義国家での事故として一般化することによって、今回の事故の教訓を世界の人々と共有する努力がとても大事であるのに、そのような努力をしなくてすむ逃げ道をつくってしまうのである。

この問いへの答えは慎重に考えねばならない。チェルノブイリ事故の直後、事故の教訓を一般化して考えようとする動きもあったが、日本では「あの事故は社会主義国ロシアで起こったものである。ロシア固有の問題もある」と考え教訓を生かせなかった面も否めないものである。それと同様に、今回の事故を「日本固有」と片付けていいのだろうか。一般化することによって学べる点も多くあるため、慎重な検討が求められる。

IV. 今後何をすべきか

1. 分野間架橋と結集の知

東日本大震災後の日本の状況は、日本の専門教育に対

するいくつかの反省点をよびおこしている。日本は長年「科学技術立国」を謳っていたのにもかかわらず、なぜあのような事故を起こしてしまったのか。またなぜ日本は事故後のリスクコミュニケーションにおいて世界に誇れる国ではないのか。理由の1つは、「分野」と「分野」間のコミュニケーションが下手であること、多様な知の結集が下手であることである。日本の専門教育は、各分野におけるトップクラスの研究を行う実力ある研究者群を養成するためには成功を収めた。しかし、分野の垣根を越えて往復する力、他分野と協力する力の育成には成功していない。津波のコミュニティの持っていた情報が原子力コミュニティにうまく伝達されなかったと指摘されていること、医師教育における医療人類学や医学史教育の不足が福島における市民とのコミュニケーションに影響していると海外から指摘されていること、などがその例である。

日本学術会議の各種委員会でも、これまで自分の受けてきた専門教育に対し、委員会で求められる能力は、「分野の垣根を越えて往復する力」「他分野と協力する力」であること、後者は専門教育のなかでは受けてこなかったことがよく指摘される。分野間を架橋し、各分野の知を結集する点においても世界からみて恥ずかしくない学術レベルを保つ努力が必要となろう。結集の知をいかに教育するかについては、次項で述べる。

2. 後期教養教育～医師への教養教育と技術者への教養教育

上記Ⅳの1で述べた「分野の垣根を越えて往復する力」「他分野と協力する力」をつけるために、多様な専門教育と有機的に結合する柔軟な教養教育として、後期教養教育を考えることができる。専門的学習をふまえた上でこそ可能となり、必要となる教養教育である。具体的には、(1)自分のやっている学問が社会でどのような意味をもつかを考え、(2)それを専門の異なるひとにどう伝えるかを学び、そして(3)具体的な問題に対処するときに他の分野のひととどう協力するかを鍛える教育である。

これを実現するためには、専門分野の枠をただ越えるだけではなく、枠を「往復」する必要がある。それゆえ、既存のサマープログラムや部局横断型プログラムの受講とは異なり、学生は自らの専門の枠を越えた授業と自らの専門に戻って考え直す作業との間を何度も往復する必要がある。それによって学生が上記3点を、自らの専門学習や研究実践のなかで実質化する教育である。枠の往復によって現実に自らの思考がどのように変わり、自分の専門領域を再考するどのようなヒントが得られたかを言語化させる課題も課すことが必要となろう。なお、超えるべき枠として専門領域の枠のほかに、A: 言語の枠、B 国籍の枠、C: 所属の枠などを考えることができる。東京大学では、平成27年度からの総合的教育改革のな

かで、この後期教養教育を設計し、教育を実施している。
(後期教養科目立ち上げ趣意書、東京大学 HP
<http://www.u-tokyo.ac.jp/stu04/koukikyoyou.html>)

異なる専門をもつ他学部の学生との交流によって自らの専門の枠を越えることは、学生に新しい視点をもたらす³⁾。しかしこのような教養教育は決して学生への教育にとどまらない。後期教養教育とは、学習をふまえた上で可能となり必要となる教養教育であるので、すでに専門家として活躍しているひとたちへの教育、たとえば医師への教養教育、技術者への教養教育もなりたつのである。

筆者はIAEAの原子力科学・応用局ヒューマンヘルス部長のチェム氏に依頼を受け、2013年5月にウィーンで開催された「放射線の健康被害とその社会的影響」(放射線の健康影響について福島県立医大、広島大、長崎大、放医研で研究プラットフォームをつくる仕事)に参加した。その場で、医学と教育学で2つのPh.Dをもつチェム部長は、日本の医師への教養教育の必要性を説いた。彼の分析によると、「原子力発電所の事故を招いたのは原子力技術とそれを支える電力会社と政府であり、原子力をめぐる社会史には日本固有のものがある。そういうフレームのなかで医師は市民とむきあう。ところが、医師は医学のフレームでしかものをいえない。市民が何をかかえているのか、医学のフレームでのみ見るには限界がある。今の医学のフレームを相対化して市民に答えることができない。それは医学教育のせいである。」というのである。今回、福島で医者と市民との間でコミュニケーションの問題が起こった一因として、「日本の医学教育における教養教育の貧弱さ」まで挙げ、医学部における後期教養教育(専門教育を受けたあとの教養教育)の必要性の話にまでなった。まさかIAEAにきてまで後期教養教育の話にあうとは思っていなかった筆者は、これには舌を巻いた。医師への教養教育として原子力の社会史の蓄積を伝え、現在の医師—県民コミュニケーションの困難を生んでいる歴史的理論的背景を伝えることにはたしかに意義があるだろう。

以上のことは原子力技術者にとってもひとつごとではない。上記のチェム部長による医者に対する分析の後半を技術者で言い換えてみよう。「技術者は技術のフレームでしかものをいえない。市民が何をかかえているのか、技術のフレームでのみ見るには限界がある。今の技術のフレームを相対化して市民に答えることができない。それは技術者教育のせいである。」

たとえば技術者用の教養教育としては、以下のようなことが可能である。携わる技術領域が異なる技術者を集め、4つの点で議論をする。

- 1) あなたが現在、開発に携わっている技術を他者にわかるように説明してみてください。
- 2) その技術が社会に埋め込まれたとき、どんな点が便利になりますか。

- 3) その技術が社会に埋め込まれたとき、どのような(倫理的、社会的、法的)問題が発生する可能性がありますか。
- 4) 2)を促進するために、そして3)に対処するために、他の領域のひとつとどのような協力ができると思いますか。

このような技術者への教養教育は、次項3にも役立つだろう。

3. 技術者と市民の意見交換～日本版 RRI の実現

アメリカの科学史家ポーターは、「日本の原子力技術者は、アメリカの技術者が直面したような世間一般による監視の目からは、驚くほど切り離されていた」と述べている⁴⁾。この監視の目としての公共空間をどう作っていくか。そして責任あるイノベーションでも世界に誇れる国にするためには何が必要だろうか。これについて考えるために、欧州のRRI (Responsible Research and Innovation: 責任ある研究とイノベーション)概念が参考になる。

現在、欧州委員会の科学技術政策「HORIZON 2020」では、RRIがキー概念となっている。RRIとは、科学技術の発展が社会に適切に埋め込まれるように、イノベーションのプロセスとその成果の(倫理的な)受容可能性、持続可能性、社会的な望ましさについて考え、イノベーション推進者と社会が互いの見解に応え相互作用をもつことを指す。「責任ある研究とイノベーション」といえば、日本ではすぐに「研究不正をしないこと」と結びつけて論じられてしまう傾向がある。しかし、現在欧州で展開されているRRIは、決して研究不正にとどまるものではない。倫理綱領のみならず、RRIには、Impact(社会に研究成果がどう埋め込まれるか)、Public Outreach(アウトリーチ)、Transparency(透明性)、Critical Reflection(批判的自省)、Social Utility(社会にどのように役立つか)、Stakeholder Collaboration(利害関係者の参加)などのコンセプトが含まれている。RRIを説明する文章には、「RRI implies that societal actors work together during the whole research and innovation process.」とあり、研究およびイノベーションプロセスで社会のアクター(具体的には、研究者、市民、政策決定者、産業界、NPOなど第三セクター)が協働すること、とある。(https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/responsible-research-innovation 参照)社会のさまざまなアクター、すなわち研究者、市民、政策立案者、産業界、市民団体などが、研究・イノベーションの過程全体において協働し、その過程と成果が社会の価値・ニーズ・期待によりよく適うようにするもの、と説明されている。

RRIのエッセンスには、open-up questions(議論をたくさん利害関係者に対して開く)、mutual discussion(相互議論を展開する)、new institutionalization(議論を

もとに新しい制度化を考える)がある。たとえば、東日本大震災そして福島原発事故分析をみると、日本の技術者は閉じられた技術者共同体の中で意思決定をしてきており(例:安全性基準など)、地元住民に開かれたものにはなっていないことが示唆される。それを開くのが open-up questions に相当する。また、その開かれた議論の場で技術者から住民へ一方的に基準が伝達されるのではなく、互いに異なる重要と思われる論点について相互の討論をおこなう、あるいは福島の経験をもとに各国が学びあうというのが mutual discussion である。そして、それらの原発ガバナンスに関する議論をもとに、現在の規制当局のあり方を作り変えていくことが、new institutionalization に相当する。

日本人は残念ながら、「組織や規則は自ら作るものである」という感覚が弱い傾向がある。これは、組織や規則はおかみがつくって「それに従うもの」という感覚が強いためでもある。それゆえ、規則や組織を常によいものに変えていこうとする意識、制度は自ら選択し改変すべきものという感覚が弱いのである。この傾向が、上記 RRI のエッセンスのうちの3つめ、New Institutionalization の感覚の欠如となってあらわれる。

原発をめぐる議論は、多くの利害関係者に対して議論を開き、双方向の議論をするだけでなく、その議論を新しい制度化に生かさねばならない。原子力規制当局はどのような設計のしかたをすればいいのか、よりよい原発ガバナンスのためにこれまでの経験をもとにどのような制度をつくれればいいのかという視点である。

たとえば、2012年7-8月に将来のエネルギー選択に関して試行的におこなった討論型世論調査のやりかたを規制基準作りにも導入してみる、安全基準の作り方に市民参加のいくつかの方法論(コンセンサス会議、シナリオワークショップほか)を応用してみる、などさまざまな試みが可能だろう。

こういった市民参加や原発ガバナンスにおいても、世

界の模範となるようなことを日本はやっているだろうか。あれだけの事故を経験しても10年たってもガバナンスのありかたは結局何も変わっていないとなったら、それは世界からみた日本として恥ずかしいことである⁵⁾。

前述のポーターが指摘した「世間一般の監視の目」としての公共空間をどう作っていくのか。原発のような不確実性が絡む課題においては、専門家だけの判断に任せるのではなく、監視の目が重視される。たとえば「世界一厳しい基準」というだけでなく、なぜこの数字か説明し、社会が監視するシステムを構築する必要がある。

現在の日本には、このような監視の目や公共空間をどのように設計するかが問われているといってもいい。日本が責任あるイノベーションや科学技術ガバナンスにおいても世界に誇れる国になるためには何が必要だろうか。こういったことを真剣に考えてこそ、世界に誇ることのできる原子力技術になると考えられる。

－ 参考資料 －

- 1) Fujigaki, Y. (eds.) Lessons from Fukushima: Japanese Case Studies on Science, Technology and Society, Springer, 2015.
- 2) 藤垣裕子, 学者としての責任と STS, 科学技術社会論研究, Vol.12, 157-167, 2016.
- 3) 石井洋二郎, 藤垣裕子, 大人になるためのリベラルアーツ～思考演習12題, 東京大学出版会, 2016.
- 4) ポーター, 日本語版への序, (藤垣裕子訳, T.ポーター著, 数値と客観性, みすず書房, p76, 2013).
- 5) 藤垣裕子, 原発政策: 欠けた視点, 朝日新聞 2015年4月23日朝刊 17面.

著者紹介



藤垣裕子 (ふじがき・ゆうこ)

東京大学大学院総合文化研究科
(専門分野)科学技術社会論。科学計量学。
(関心分野)科学技術のELSI(Ethical, Legal, Social Issues)的側面, および科学者の社会的責任論。

ドイツにおける放射性廃棄物管理の 実施責任・分担変更と基金の設置

原子力環境整備促進・資金管理センター 徳島 秀幸

ドイツではこれまで、放射性廃棄物管理のための公的基金はなかったが、2017年6月に基金が設置され、7月には原子力発電事業者から拠出金の払込みが行われた。これに伴い、放射性廃棄物管理の実施責任・分担も変更され、中間貯蔵以降については連邦政府が資金確保及び実施に責任を有することとなった。2022年の原子力発電からの撤退を前に、原子力発電事業者から現時点で資金を拠出させておく目的がある。今後は放射性廃棄物管理費用が増大した場合も事業者に追加拠出を求めないことになっており、連邦政府のリスクとなる可能性もある。

KEYWORDS: *Germany, High Level Waste, Site Selection, Nuclear Phase-out, Fund, Financing of and responsibility for Nuclear Waste management*

I. はじめに

ドイツでは2011年3月の東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故後、運転中の原子炉17基のうち、1980年以前に運転を開始した8基を即時閉鎖するとともに残りの9基を2022年末までに閉鎖し、原子力発電から完全に撤退することを規定する原子力法の改正案が2011年6月に可決された。

ドイツ連邦政府は、この原子力発電からの撤退に関する決定に先立ち、「安全なエネルギー供給のための倫理委員会」(以下「倫理委員会」という)と呼ばれる諮問委員会を設置し、将来のエネルギー政策に関する見解を取りまとめるよう依頼した。倫理委員会は、エネルギー政策に関して、「今後10年以内に原子力から撤退し、エネルギー供給の転換を図ることは可能である」とする最終報告を行った。また、倫理委員会は、放射性廃棄物処分は原子力発電からの撤退という路線に関係なく重要な課題と位置づけ、高レベル放射性廃棄物処分について次の勧告を行った。

極めて厳格な安全要件に基づいて、回収可能な方法を用いて処分を行うことを勧告する。これによって、国内で最終処分サイトとしての適性調査を行う対象地域が、ゴアレーベンだけでなく、拡大されることになる。

このような背景のもと、連邦政府は、高レベル放射性

廃棄物について、1970年代から特性調査を行っていたゴアレーベンでの処分を白紙に戻し、新たにサイト選定を行うこととし、2013年7月には、「高レベル放射性廃棄物処分場のサイト選定手続きを定める法律(サイト選定法)」を制定した。このサイト選定法では、まず33名の委員からなる委員会(高レベル放射性廃棄物処分委員会)を設置し、処分方策、サイト選定手続きや基準などを検討することとなっていた。このほかに、サイト選定をあらためて実施するにあたり、放射性廃棄物処分の新たな実施主体である連邦放射性廃棄物機関(BGE)や規制機関である連邦放射性廃棄物処分安全庁(BfE)を設置するなど実施体制の整備を進めてきた。

また、ドイツでは放射性廃棄物処分に係る資金確保について、これまで基金などを含む公的な制度は存在しておらず、各原子力発電事業者が引当金として資金を内部留保していた。このため、連邦政府は、2016年に「放射性廃棄物管理のための公的基金の設置に関する法律」(基金設置法)を制定し、2017年6月には同法に基づき、公的な基金が設置された。また、これに伴い、連邦政府は、放射性廃棄物管理の実施責任・分担について廃棄物発生者である原子力発電事業者と連邦政府との間で見直しを行った。

本稿では、ドイツにおける放射性廃棄物管理の実施責任・分担の変更及び放射性廃棄物管理に関する基金の設置について、まずはその背景・経緯を報告する。また、今後考えられる課題などについてもまとめる。

Establishment of fund for and changes in nuclear waste management in Germany : Hideyuki Tokushima.

(2017年7月27日 受理)

II. ドイツにおける放射性廃棄物管理に関する基金設置の経緯

ドイツでは、原子力法(1959年制定)において、放射性廃棄物処分場の設置・操業に関する責任を連邦政府に割り当てている。一方で、放射性廃棄物管理に関する費用については、廃棄物発生者が負担することを定めている。しかし、前述のように、放射性廃棄物管理の資金確保に関する公的な基金制度はなく、廃棄物発生者が引当金として内部留保している状態であった。

以下に放射性廃棄物管理のための基金設置及び責任分担の変更に係る経緯・背景をまとめる。

1. バックエンド資金確保に関する検討などの要望
バックエンド資金確保に関しては、州などからの見直しや精査の要望などが行われていた。2014年10月に、連邦参議院¹は連邦政府に対し、バックエンド資金確保に関連して以下などを求める決議を採択していた。

1. 独立したバックエンド費用研究の実施
2. 主要原子力発電事業者4社に対し、引当金に関する透明性の向上を求めること
3. バックエンド引当金の適正さに関する独立した検証の実施
4. 発生者負担の原則をより確かなものにする方策の検討
5. 原子力発電所の運転事業者が破産した場合等に、親会社がかバックエンド費用にかかる義務や損失の補填を行うことについての検証

また、サイト選定法に基づき設置された高レベル放射性廃棄物処分委員会の委員や同委員会が2015年6月20日に開催した市民対話集会のフォーカスグループでの議論においても、バックエンド資金の管理方法として、基金あるいは財団を設置すべきとの意見も出されていた。

2. 原子力発電事業者のバックエンド費用負担能力に関するストレステスト

連邦経済エネルギー省(BMWi)は、原子力発電事業者を傘下に持つ事業者について、バックエンド資金に係る費用負担に耐えられるかという観点で事業者の財務状況を評価するストレステストを実施した。この結果は、2015年10月に公表された。

ストレステストでは、原子力発電所の廃止措置及び放射性廃棄物管理費用を含むバックエンド費用の総額を475億2,700万ユーロ(約5兆8,933億円、2014年価格)と見積っていた。このバックエンド費用総額の内訳を表1に示す。

表1 ストレステストで示されたバックエンド費用

廃止措置と解体	197億1,900万ユーロ (約2兆4,451億円)
キャスク・輸送・運転廃棄物	99億1,500万ユーロ (約1兆2,294億円)
中間貯蔵	58億2,300万ユーロ (約7,220億円)
コンラッド処分場 (低・中レベル放射性廃棄物)	37億5,000万ユーロ (約4,650億円)
高レベル放射性廃棄物処分場	83億2,100万ユーロ (約1兆318億円)
総額	475億2,700万ユーロ※ (約5兆8,933億円)

※四捨五入の関係で合計額はあっていない。

また、この総額を基準として、インフレ率、金利などのパラメータを変動させた結果のバックエンド費用総額の幅は約299億ユーロ(約3兆7,100億円)から約774億ユーロ(約9兆6,000億円)と算出されている。これに対し、対象事業者の資産総額のうち、2015年8月現在でバックエンド資金として利用可能なものは約830億ユーロ(約10兆3,000億円)あり、このうち約383億ユーロ(約4兆7,500億円)が引当金として内部留保されていると見積っている。この結果から、バックエンド費用が最高額となる場合でも、事業者のバックエンド資金に利用可能な資産総額が上回ることから、事業者は費用負担に対応できると評価していた。

3. 脱原子力に係る資金確保に関する検討委員会(KFK)による検討

連邦政府は、2015年10月に、長期的にバックエンド資金を維持できる資金確保方策の検討を目的として、「脱原子力に係る資金確保に関する検討委員会(KFK)」を設置した。KFKは、3名の共同委員長及び16名の委員の合計19名で構成され、16名の委員には、政治家、連邦政府代表、会計監査、法律の専門家、経済団体、環境団体、労働組合、大学、宗教団体などからの委員が含まれていた。

KFKは、バックエンド資金に係る費用負担能力に関するストレステストの結果も考慮し、約半年間の検討の末、勧告を取りまとめた最終報告書を2016年4月に連邦政府へ提出した。最終報告書に示された主な勧告には、新たに公的基金を設置し、原子力発電事業者が確保している引当金からリスク保険料を含めた合計約233億ユーロ(約2兆8,900億円)を基金へ移管することが含まれていた(表2)。

また、KFKは、放射性廃棄物管理の実施責任分担に関しても現状から変更するよう勧告した(表3)。

さらに、KFK勧告には、基金への引当金の移管は基金設置後直ちに行うこと、及びリスク保険料はすべての原子力発電所の運転が停止する2022年までに払い込むこ

¹ 連邦参議院は直接選挙で選出されるのではなく、州の代表により構成される。

表2 KFK 勧告における引当金から基金への移管額

	基金への移管額 ⁱⁱ (2014年価格)
基金に移管される引当金の額	①約172億ユーロ (約2兆1,300億円)
リスク保険料(①の約35%)	②約61億ユーロ (約7,500億円)
基金への払い込み総額(①+②)	約233億ユーロ (約2兆8,900億円)

表3 KFK 勧告における放射性廃棄物管理責任の変更

		現状	勧告
コンディション	今後発生する使用済燃料及びガラス固化体	事業者	連邦政府
	その他		事業者
中間貯蔵及び輸送	中間貯蔵施設の設置	事業者	事業者
	中間貯蔵施設操業開始以降、最終処分場への輸送までの全工程		連邦政府
処分	資金確保・管理	事業者	連邦政府
	処分場サイト選定、設置、操業、廃止措置	連邦政府	

とが含まれている。この他に、リスク保険料の支払いが終了した後は、放射性廃棄物管理費用が想定を上回った場合でも、原子力発電事業者が追加の負担を求められることがないことが示されていた。

4. 連邦政府による法律の制定

KFK 勧告への連邦政府の対応は素早く、KFK の最終報告書が提出された後、2016年6月には勧告を法制化することを閣議決定したの続き、10月には、「放射性廃棄物管理のための公的基金の設置に関する法律」(基金設置法)の法案、及び「原子力発電所運転者からの放射性廃棄物管理の資金及び実施に係る義務移管に関する法律」(義務移管法)の法案などで構成される「原子力バックエンドの責任分担刷新法案」を閣議決定した。その後、2016年12月に連邦議会及び連邦参議院の審議を経て同法は可決・成立し、2017年6月16日に発効した。

基金設置法及び義務移管法は、KFK の勧告内容がほぼ反映されたものとなっている。以下にそれぞれの法律の概要を示す。

(1) 基金設置法

基金設置法では、連邦経済・エネルギー省(BMWi)が所管する公的基金を設置し、連邦政府が責任を有する放射性廃棄物管理のための資金を管理することを規定している。

ⁱⁱ 日本円換算は1ユーロ=124円で計算

表4 基金設置法での引当金から基金への移管額

	基金への移管額 ⁱⁱⁱ
基本払込金	①約174億ユーロ (約2兆1,600億円)
リスク保険料(①の約35.47%)	②約62億ユーロ (約7,700億円)
基金への払込総額(①+②)	約236億ユーロ (約2兆9,300億円)

基金設置法に規定された事業者の引当金から基金への払込額はKFK 勧告に示された額とほぼ同額である(表4)。

基金から支出される費用には、放射性廃棄物の中間貯蔵や処分、サイト選定法に基づくサイト選定が含まれている。しかし、アッセII研究鉱山^{iv}での廃棄物の回収及び鉱山の閉鎖のための費用は、連邦政府が負担することになっており、基金からは支出されない。また、原子力発電所の廃止措置費用についても引き続き原子力発電事業者の責任とされている。

(2) 義務移管法

義務移管法は、放射性廃棄物管理に関する事業者と連邦政府との責任範囲を変更することを規定するものである。表5に義務移管法施行前後での放射性廃棄物管理責任の所在を示す。

事業者が基金設置法で規定された払込総額を拠出した後は、中間貯蔵以降の放射性廃棄物管理責任は連邦政府に移管することになる。将来、放射性廃棄物管理費用が想定を上回った場合においても原子力発電事業者が追加の費用負担をする義務はないとされている。

また、基金への基本払込金の全額または一部が支払われた後は、原子力発電事業者に課されていた原子力法及びサイト選定法に基づく放射性廃棄物処分場のサイト選定、建設、操業等の費用負担責任は、基金に移管されることが規定されている。

さらに、貯蔵の実施責任が連邦政府に移る時期が以下のように規定されている。

- 発熱性放射性廃棄物(使用済燃料及びガラス固化体等)：2019年1月1日
- 非発熱性放射性廃棄物(低中レベル放射性廃棄物に

表5 義務移管法前後での放射性廃棄物管理実施責任

	義務移管法前		義務移管法後	
	中間貯蔵	処分	中間貯蔵	処分
実施	事業者	連邦政府	連邦政府	
資金	事業者(引当金)		連邦政府(基金)	

ⁱⁱⁱ 日本円換算は1ユーロ=124円で計算

^{iv} 1960年から70年代に試験的に放射性廃棄物が処分された岩塩鉱山。しかし、地下水の浸入により坑道の安定性に懸念があるため廃棄物を回収し閉鎖する方針となっている。

相当)：2020年1月1日

これに伴い、ゴアレーベンなどに存在する既存の中間貯蔵施設は、無償で連邦政府に引き渡されることとされている。なお、中間貯蔵の実施主体は、連邦環境・自然保護・建設・原子炉安全省(BMUB)の監督下に置かれる「連邦中間貯蔵機関」(BGZ)となる。BGZは、BMUB、及びゴアレーベン及びアーハウスの集中中間貯蔵施設を所有・操業している原子力サービス社(GNS社)が2017年3月1日に共同出資によるベンチャー企業として設置していた。2017年5月にGNS社は、BGZの株式及びゴアレーベン及びアーハウスの集中中間貯蔵施設を2017年8月1日に引き渡すことでBMUBと合意している。

5. 事業者と連邦政府の協定と基金の設置

2017年6月16日の基金設置法及び義務移管法の発効を受け、6月26日に連邦政府及び原子力発電事業者は、両法の規定内容の実施についての合意事項を定めた「脱原子力に係る費用確保に関する協定」を締結した。また、協定の締結を受け、7月1日には基金設置法に基づき、原子力発電事業者が基金に対して基本払込金及びリスク保険料の払い込みを行った。今後、基金全体の運用戦略の策定が進められるとともに、一部の資金は、中央銀行であるドイツ連邦銀行の協力により投資運用が開始されることとなっている。

この協定は、前述のように、基金設置法及び義務移管法の規定内容を実施するための協定であり、基本的な内容は両法の規定内容と同じである。このため、ここでは両法の規定内容として既出のもの以外の主な合意事項について紹介する。これらの合意事項は、いずれも2022年までの原子力発電から撤退及びそれに伴い発生してきた連邦政府と州や原子力発電事業者との間の問題を解決するためのものである。なお、この協定は拘束力を持つものとされている。

●返還廃棄物の受入問題

本協定の第2条(3)において、英仏からのガラス固化体などの返還廃棄物の受入れに関する合意事項が示されている。ドイツでは原子力法において、2005年7月以降、再処理を目的とした使用済燃料の搬出が禁止されている。しかし、2005年7月以前に主に英仏において約6,670トンの使用済燃料が再処理された。この海外委託再処理に伴い発生したガラス固化体等の廃棄物は、ニーダーザクセン州のゴアレーベン中間貯蔵施設で貯蔵が行われてきた。しかし、2013年3月に連邦政府とニーダーザクセン州は、返還廃棄物のゴアレーベンでの受入れを以後は行わないことを合意したため、返還廃棄物は原子力発電所サイト内の貯蔵施設で貯蔵される方針とされ、以下の4ヶ所のサイトでの貯蔵が検討されていた。

➤ フィリップスブルク原子力発電所サイト(バーデ

ン・ビュルテンベルク州)

- ビブリス原子力発電所サイト(ヘッセン州)
- ブロックドルフ原子力発電所サイト(シュレスヴィヒ・ホルシュタイン州)
- イザール原子力発電所サイト(バイエルン州)

今回の合意事項には、上記4サイトの許可取得者である原子力発電事業者は、返還廃棄物の貯蔵に必要な許可申請を行うこと、また、連邦政府とともに、今後行われる返還が実現可能となるよう努力することが含まれている。

●訴訟の取り下げ問題

本協定第4条では、原子力発電事業者が連邦政府などを相手取り提訴していた訴訟合計29件を取り下げることに合意している。以下に、一部を例として挙げる。

- ① サイト内中間貯蔵施設へのガラス固化体収容の責任を事業者が負うことに関する不服を申し立てる一連の訴訟
- ② サイト選定法に係る分担金に関する一連の訴訟
- ③ 東京電力(株)福島第一原子力発電所事故後の一時運転停止命令に係る一連の賠償訴訟

①については、前述の返還廃棄物をサイト内貯蔵施設において貯蔵する責任を負うことに関して、事業者が不服を申し立てたものである。②については、2013年に制定されたサイト選定法で規定されたサイト選定関連費用を事業者が負担することに関する訴訟である。③については、東京電力(株)福島第一原子力発電所事故後に政府によって出された一部の原子炉を一時的に運転停止とする命令に関して、この一時停止期間に関する賠償を求める訴訟である。

また、今回の協定での合意事項には、取り下げ対象となった訴訟の原因について、将来的にいかなる訴訟も起こさない義務を事業者が負うことが含まれている。

III. まとめ及び今後の課題

ドイツでは、今後2022年の原子力発電からの完全撤退以降、原子力発電事業者は原子力発電からの収入がなくなることになる。一方で放射性廃棄物処分費用は、今後100年以上にわたり発生するものであり、こういった将来にわたる資金を安定的に確保する方策が必要であった。バックエンド資金に係る費用負担能力に関するストレステストでは、原子力事業者の資産総額が十分あることが示されているが、これはあくまで各事業者の最大の負担能力を示すものであり、必ずしも現実的な負担能力を示すものではない。このため、連邦政府としては、事業者が拠出可能な額を設定し、事業者と拠出等について

合意する必要があった。また、原子力発電事業者と連邦政府との間では、サイト選定法に基づく新たなサイト選定の費用負担等に関して訴訟も提起されており、これらも解決する必要があった。原子力発電からの撤退を決めた現時点において、ドイツにとって最後に残った課題が放射性廃棄物処分を含むバックエンドの問題であり、高レベル放射性廃棄物処分に関する新たなサイト選定の実施とともに、今回の基金の設置、事業者との協定の締結はこれらの残された課題を解決することになるものである。

基金設置法及び義務移管法の発効、原子力事業者との間の協定の締結、放射性廃棄物管理に関する基金の設置及び事業者からの拠出金の払込みが終了し、ドイツにおけるバックエンド資金確保に関する改革は終了したことになる。今後は、放射性廃棄物の中間貯蔵以降について、連邦政府が費用負担及び実施の責任を有することとなる。

しかし、今回の改革で残された課題を解決することになる一方で、連邦政府は新たなリスクを負うことにもなる。

放射性廃棄物管理に関する基金へはリスク保険料を含め約 240 億ユーロ (2 兆 9,800 億円)[▽]が払い込まれた。前述のバックエンド資金に係る費用負担に関するストレステストで示された費用見積額はこの基金に払い込まれた額を上回っており、今後は基金への拠出金の運用を行っていくこととなる。しかし、金利の低迷などにより運用が想定通りにいかない場合、必要なバックエンド費用が確保できないこととなる。スイスでは、放射性廃棄物基金の運用実績が目標に到達しないことなどから 30%の予備費を追加するよう政令が改正されている。

また、高レベル放射性廃棄物処分については、今後新たに 2031 年にサイトを決定することを目標にサイト選定が行われることとなっている。しかし、この目標通りにサイト選定が進まなかった場合、サイト選定費用が想定より増加することが考えられる。サイト選定法は、2013 年に制定された時点では、2031 年までにサイトを決定すると規定されていた。しかし、2017 年の改正では、2031 年を目標とするとトーンダウンしており、この目標の達成が難しいことが想定されている。

さらに、ドイツの非発熱性放射性廃棄物(低中レベル放射性廃棄物に相当)は、旧鉄鉱山のコンラッド処分場において処分されることが決まっているが、コンラッド処分場の場合、許認可手続きに 10 年、その後の許認可に対する異議申し立てなどの訴訟が 5 年かかっており、

1982 年の許認可手続きの開始から 40 年後の 2022 年ごろの操業が見込まれている。高レベル放射性廃棄物処分場についても許認可手続きの長期化や訴訟などの可能性もあり、2050 年ごろと想定されている操業開始が遅れる可能性は十分に存在している。このように想定されているスケジュールが遅れた場合には、中間貯蔵期間の長期化に伴う費用増大などが想定される。

十分な運用ができなかった場合や放射性廃棄物管理費用が増大し、放射性廃棄物に関する基金が不足する事態になった場合には、事業者との協定などに基づき、連邦政府は事業者に追加費用の負担を求めることはできず、連邦政府、ひいては納税者が追加費用を負担することとなる。このことは、発生者負担の原則に反することになり、こういった事態になった場合には、連邦政府への批判や総選挙での争点とさえなる可能性もある。連邦政府としては、今後の高レベル放射性廃棄物処分場のサイト選定などを可能な限り速やかに進め、放射性廃棄物管理費用の増大を防ぐことが極めて重要な課題となってくると考えられる。

なお、本稿は経済産業省委託事業「平成 27 年度放射性廃棄物海外総合情報調査」の成果に基づいている。

— 参考資料 —

- 1) 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター、諸外国での高レベル放射性廃棄物処分ニュースフラッシュ <http://www2.rwmc.or.jp/nf/>
- 2) 高レベル放射性廃棄物処分場のサイト選定手続きを定める法律(サイト選定法)。
- 3) 放射性廃棄物管理のための公的基金の設置に関する法律(基金設置法)。
- 4) 原子力発電所運転者からの放射性廃棄物管理の資金及び実施に係る義務移管に関する法律(義務移管法)。
- 5) 資源エネルギー庁、諸外国における高レベル放射性廃棄物の処分について(2017 年版)、2017 年 2 月。
- 6) 脱原子力に係る資金確保に関する検討委員会最終報告書「責任と安全—新たなバックエンド合意」。
- 7) Bundesrat, EntschlieÙung des Bundesrates zur Insolvenzsicherung der Rückstellungen für Stilllegung, Abbau und Entsorgung im Atombereich (280/ 14 (Beschluss)), 10.10.14.

著者紹介



徳島秀幸 (とくしま・ひでゆき)

原子力環境整備促進・資金管理センター
(専門分野/関心分野) 環境問題/放射性廃棄物の処分

[▽] 基金設置法に基づき、基本払込金に対して 2017 年 1 月 1 日から 7 月 1 日までの利息が加算されている。

From Abroad

Scientific Wanderlust Across The Ocean

—海の向こうの研究放浪記, アメリカ大学編—

ミシガン大学歯学部 三品 裕司

筆者の専門は発生生物学であり、ここを読みに来る多くの方のそれとは大きく異なると思われる。核といわれて思うものは原子核ではなく DNA の存在する細胞核であり、スピンとくれば電子の回転ではなく遠心分離を意味する。マックスウェルの理論は電磁場ではなく、うどんのキレやコシの予測に使われる¹⁾。陽子や光子となればそれは「生徒諸君！」や「放浪記」に結びつく。したがって、これからお話しする内容が読んでくださる方々にどれほど関連するのか予測がつかないが、逆にいえば同業者が読む可能性が極めて低いということにもなり、匿名のブログのノリで本能の赴くままに孔子 70 歳の境地には全く及ばない様々を書き連ねて見たい。ちょっと変わった車窓の風景となることを願って。

KEYWORDS: *research abroad, faculty time, principal investigator, life of PI, tenure promotion, English as a tool, sense of humor, bilingual and bicultural, the geography of thinking*

I. はじめに

渡米してはや四半世紀がたった。当時はまだ箱崎の東京シティアターミナルで搭乗手続きが可能であり、箱崎まで見送りに来た家族に「20 世紀のうちは帰らない」と宣言して成田空港への専用バスへ乗り込んだものであった。少し前に見学に行った猪苗代湖畔に保存されているさるお方の生家の柱に「志を得ざれば、再びこの地を踏まず」と書いてあったことに触発された言動だったかもしれない。そのお方は渡米後、細菌学の研究に従事し、現在は千円札にその肖像をみることができる。出発はかみさんの誕生日。時差の関係で誕生日が二回楽しめるという、これからの苦勞への前払的な意味もあった。プレゼントを二回渡したかどうかは記憶が定かでない。出発のゴタゴタでそれどころでなかったような気がする。

アメリカには、戦後しばらくして一般人の海外渡航が認められるようになったころ羽田空港からカリフォルニアを訪ねたことがある。そのときの空の青さと合理的な社会システムへの称揚から、いつかはこの国で仕事をしたいと思うようになった。今のところ、カリフォルニアで暮らす機会はなく、今後もそれはなさそうであるが、

Scientific Wanderlust Across The Ocean (3); From a College in the United States. : Yuji Mishina.

(2017 年 6 月 25 日 受理)

一億総金太郎爺の日本とは違う文化や社会構造をしっかりと堪能してきた四半世紀であったといえようか。

II. 彼我の大学裏方事情

1. ミシガンはこんなところ

ミシガン州は五大湖のうちの四つの湖に囲まれており、気候的には札幌に近い。華氏で 0 度(摂氏マイナス 18 度)以下になることもある。そういう日が続くと、たまに訪れる摂氏 0 度の日が暖かく感じられる。摂氏は生命の基本である水の物性という科学的な発想に基づくが、華氏は 0 度と 100 度(摂氏 40 度弱)の範囲ならヒトはなんとか暮らせるのだという体感的直感的なスケールである。どちらもケルビンと比べてしまえば大差はなく、生きることのあはれを感じさせる。

自動車産業で知られたデトロイトから車で約一時間のアナーバーという町にミシガン大学がある。広大なキャンパスの中心にはおきまりの時計台がある。15 分に一回鐘がなるヨーロッパスタイルの時計が装備されている。ちなみに、シンデレラは午後 11 時 45 分の鐘を聞いて走り出したとされている。12 時ではもう遅い、という相対性に気づいている読者は意外と少ない。最近アメリカで放映されているトヨタ車のコマーシャルでもそのところが誤解された映像になっている。

キャンパスは広大であるが、学部、学科を越えた人的交流は盛んである。少しでも交流の場を広げようと、最

近歯学部にもカフェテリアができた。併設されている歯学博物館の一角にあり、子どもの頃、歯医者で見かけた、いかにも痛そうな装置のとなりで昼食をとる。名前は公募の結果、Cafe32となった。なぜ32なのか、自分の歯の数を舌先で数えて、それに親知らずの分の四本を足すと答えが出る。

2. 日本の大学は安普請

渡米後すぐに実感したことは日本の大学が安普請であるということであった。設備や施設のことではない。大学のシステムの違い、さらにいえば研究者という職業の職業観の違いである。アメリカでは研究者が研究に没頭できるという至極当たり前のことが現実になっている。日本の大学の「先生」方は研究者である前に学校の職員であり(敢えて教員とはいわない)、大学が組織として回っていくためのさまざまな業務を執行していく責務を受け入れなければならない。一方、アメリカは分業という考え方でシステムが徹底しており、組織を回すためには、それに必要なだけの人材が用意されているのである。(組織を回すためにも高い能力は必要なので、ここでは人材という言葉を使っている。そしてそういう有能な人材はよりよい条件で他の組織へその組織を回すためにヘッドハンティングされていく。)これは別に研究者だけが優遇されているというわけではない。野球で試合に勝とうとするなら、打撃のいい選手をクリーンナップにもってきて、豪速球を投げることができる選手をエースに配して、という発想と全く同じである。指名打者制のリーグでホームランヒッターを投手として起用するチームでは勝つ気あのかあんと同じである。駐車場に出入りする車を毎朝数えたりするために日本の先生方は職務として動員されるのである。

「パイロットだけでは飛行機は飛ばない」、これほど日本の研究事情を的確に表す言葉はないだろう。パイロットがいなければ飛行機は飛ばない。だが飛行機が安全に飛ぶためには地上職員、旅客機であれば客室乗務員、さらにはそもそも飛行機をデザインして作り出す人々、売買契約を成立させる人々、安全運航のための法整備をする人々など見えないところで多くの人たちが動いている



図1 ミシガン大学中央キャンパスの時計台

のである。日本の科学の現状はパイロットに全てを押し付けて、飛べるのかどうかもわからない物体を、飛べるのかどうかもわからない状態で、どこかの裏道で滑走させているようなものである。

3. 時間は資産

ファカルティタイムという言葉がある。日本では対応する訳語はない。そもそもそういう発想がない。研究者にとどまらず、各自の持っている時間は資産であるという考え方である。専門職であるはずの研究者が、「ああ今日も雑用で忙殺された」と満員電車のつり革にぶら下がってつぶやく社会では、この資産を有効に活用しているとはいえない。物理現象を予測するための微分方程式の設定に1時間かかったとして(1時間もかかるようなものなのか、逆に数ヶ月かかるようなものなのかは専門が違うので不明)、その人がその人の1時間を使って目的を達するために、社会がどのくらいの投資をしてきたか、というところまで考えることが必要である。

アメリカの大学といえども、昨今は経費削減が重要な課題で、事務職の数を減らそうという動きは不可逆となっている。かつてはそれぞれの学科にいたなんでもおじさんやなんでもおばさん(彼ら彼女らのおかげで研究に没頭することができた)がいつのまにかいなくなり、大学レベルで雇われた職員が各学科に配属という中央集権化がトレンドになっており、これに反対する各学部、各学科と大学学長室との間の綱引きが毎年のもとなっている。そういう流れの中で、となりの学部の教授が学長あてに出した抗議文で、「わたしの秘書はわたしの5倍、事務処理能力が高い。わたしは秘書の5倍給料をもらっている。これまで秘書のやっていた仕事をわたしにやれというのは、大学は25倍の損失を被るということなのだ。」という一節があり、印象に残っている。ファカルティタイム、時間は資産である、という考えが如実に現れた意見であり、また、時間銀行という寓話のオチにもつながる発想である。その後、この教授の意向が理解されて秘書のクビがつながったのか、それとも彼がクビになって代わりに秘書が25人雇われたのか、そこは怖くてフォローしていない。

もう一つ、時間は資産である、ということで印象に残った例をあげる。数年前にアメリカのピックスリー、ジェネラルモーターズ(GM)、フォード、クライスラーの自動車メーカーの社長、重役が倒産を避けるために連邦議会へ陳情を行ったが、ワシントンまで社用ジェット機を使ったということで一般市民の大ひんしゅくを買ったことがある。GMもフォードも本社はデトロイトなのでローカルネタとしても多に盛り上がった。全米のブーイングを受け、二度目の陳情はデトロイトから車で出かけて行った。庶民感情としてはまさに借金しに行くのにジェット機とはとんでもない、になるのであるが、

彼らの年収を考えると、彼らの1分はとてつもない値段になる(値段分の仕事をしているかどうかはともかく)。重役が社用ジェットで飛び回るのは移動中に特等席でワインを飲みながら映画を楽しむためではない。移動時間をぎりぎりまで切り詰め、そして移動中も会議をするためなのである。エグゼクティブの人生は、それはそれでけっこう辛いのである。

III. 独立してラボを持つということ

1. プリンシプルインベスティゲーター

学位を取り、ポストドクトラルフェロー(ポストドク)として何年か経験を積み、それからさらに大学(アカデミア)に残って研究を続けたいという場合には独立して自分の研究グループを持つことになる。自分の研究グループを持つ研究者のことをプリンシプルインベスティゲーター、略してPI(ピーあい)と呼ぶ。日本では聞きなれない名前である。PIになるためには公募(ジョブオープニング)の情報を得てそこに応募し、選考結果を待つことになる。本シリーズ第1回でこの過程が簡潔に述べられている²⁾。またずいぶん前になるがこの件について筆者も拙著を上梓したことがある³⁾。いずれにしても一つのポジションに数百の応募があるので、選ぶ方も大変である。将来アカデミアで独立したいというのであれば、ポストドクのうちから、いや大学院の頃から、それを可能にするために何が必要で何を体得しておけばよいのか、しっかり考えて行動することが必要になってくる。

この過程で日本と大きく違うと感じるのは次の3点である。まず、くだらない方からいくと、学閥にこだわらない。そもそも学閥という考え方がない。日本ではいまだにこのくだらないゲームをやっている。具体例は出さないが本当に呆れてものもいえない。終身雇用による、異動のほとんどないムラ社会ゆえの弊害であろうか。第二点として、雇用はこれまでのご褒美ではなく、将来への投資として行われるということである。雇用のみならず、研究費や奨学金(貸し付けるのはローンであり、奨学金ではない)の分配も同様の観点から行われる。これだけ頑張ったから独立したポジションを与えよう、なのではなく、これから素晴らしい貢献をする可能性が(これまでの業績をもとに)見込まれるから、機会を与えてやらせてみよう、という発想で選考委員会は動くのである。第三点として、日々一緒に活動する仲間として適切かどうか、という点である。後述するように研究グループは零細企業でPIはその社長という捉え方もできる。より効果的に研究を進め未知の世界に飛び込んでいくときに、零細企業同士の協力が必須になる。したがって、研究者として、研究テーマとして、人として、共に戦う仲間として認められるかどうか、というのが選考上、たぶん一番の決め手となるところであろう。

そんな恣意的な、と思われるかもしれない。だが全世



図2 厳冬のミシガン

界レベルで公募をかけ、数百人の中から最終選考に残った数人は研究レベルも研究テーマも発表のうまさも本当に甲乙つけがたい。そうすると、あとはこの人となら一緒に面白いことができそうだと、思えるかどうか。最後は人間としての勝負になるということなのである。

さて、それぞれの節に小話をいれないと気が済まない筆者である。日本のある研究所で仕事をしていたときに、ことあるごとに所長が「君たちはソリストとしては立派だ。今後の課題は、研究所レベルでオーケストラを組んで交響曲を聞かせることだ。」と檄を飛ばしていた。かの所長にどれぐらい音楽のセンスがあったのかはわからない。ただ、「ソリスト」の立場からいわせてもらえば、それならなぜオーケストラを組むことも視野に入れて研究所を作ってこなかったのだ!ということになる。ハープと尺八で第九をやれというのはまだマシなたとえで、バットとSIMカードでカレーライスを作れといっているくらいに当時の研究所の構成は内在的矛盾に満ち溢れていたのであった。もっとも、これは所長だけの責任ではなく、大学本部の思惑やその後ろにいる地方自治体の損得勘定など、現場の研究環境などは判断要素にも加えないレベルでの決定が巻き起こすビッグウェーブに翻弄されたというのが歴史的な見方なのであろう。

2. PI になってそれから

書類選考、面接の一次選考に続き、大学トップレベルとの二次選考を経て、めでたくPIとしての就任が決まると今度は研究室のセットアップである。研究テーマを決め、予算を立て、メンバーを雇い、共同研究先を探し、研究費に応募し、といったことを進めていく。ポストドクとPIは似て非なる職業である。ポストドクのときはのりでも、PIになったら「のりだめカンタービレ」の指揮者、千秋の要素をとりいれないとならない⁴⁾。古き良き時代の日本では、大学の先生は総じてのりだめだったのかもしれない。だが、少なくとも今のアメリカではのりだめであるだけでは生き残れない。それがサイエンスにとっていいことなのかどうかは意見の分かれるところではある。

Life of PI という小説がある。2012年には映画にも



図3 歯学部博物館に隣接したカフェテリア、カフェ 32

なった。もっともこれは研究者の日常生活を描いたものではなく、ひょんなことからPi(パイ)とニックネームのついた少年の話である。乗っていた船が難破し、トラといっしょに太平洋を漂流することになるというプロットだが、最後にこれを回想するパイのセリフが印象的である。「一人だったらだめだった。敵(トラ)がいたから乗り切れた。」これは実はPIの日常そのものでもある。どんなに協力的、協奏的、交響的な学科を作ったとしても、それぞれの研究室のPIは孤独なのである。ラボメンバーの人事権を一手に掌握しているから、業績評価に私的感情を挟むことは許されない。自身の業績評価に直結するからラボ内の弱みをなかなか上部に向けて相談できない。守秘義務のあるものについては家族にさえ不平不満をぶちまけることはできない。そんな孤独なかで、真剣に関わってくれる人たちがいる。投稿論文の査読者であり、研究費申請書の審査員である。論文や申請書のどこをどうしたらよりよいものになるか、ということ巨視的・微視的視点を交えて指摘してくれる、通常は誰か特定できない三人の人たちである。専門外のことは(自分の無知を棚に上げて)誤解や理解不足に基づく批判を返してきて、次回そういう読者にどう対応した作文をすれば良いかヒントをくれる。こちらの意図したことを汲み取らず、自説を展開することによって、行間を読まない想像を超えた人たちがいるのだというこの世の多様性の典型例にもなってくれる。まさに当面の敵なのではあるが、PIとして生き延びるため、乗り切るために必要な人々なのである。

だから、PIであり続けるためには打たれ強くないといけない。根拠のない自信を持たないとならない。心が折れるなんて言葉が辞書にあってはいけない。もっともそういう言葉は前世紀の日本にはなかったと思うのだが。したがって、人を選ぶ職業である。だれにでもなれる、できるというものではない。

IV. テニユア制度とは

最近では日本でもテニユアトラックという言葉をよく聞くようになった。終身雇用に至るまえの試用期間、とり

あえずやらせてできるかどうかを見てみようという制度である。通常、3年目くらいに学科長の指定した教員による委員会が途中経過を審査し、この調子でいいか、てこ入れが必要かを答申する。6年目に同様の委員会が最終審査を開始する。学科レベルでいいんじゃないのということになると、学部レベルでの審査となり、そこでもいいんじゃないのということになると学部長から大学学長室へ最終申請が行われ、さらなる審査ののちに、テニユアとなる。審査期間は一年以上かかる場合が多い。

それでは審査委員会は何を見るのだろうか。基本は、教育、研究、サービスの三つの側面で、履歴書にもそれぞれの項目でどういう貢献をしたのかを記述する。さらにポートフォリオとよばれるそれぞれの分野への自分の思い(哲学と表現する)とそれを支える業績をまとめたものを作成する。学生からの講義の評価もここに付ける。まあ、やつらは勝手なことをいうのでぶっちゃけた話、筆者は重要視しない。それよりは講義を傍聴した教官からの評価のほうが重要である。ちなみに、これは傍聴して評価をしてくれと信頼の置ける教官に自分から頼むのである。研究面では論文業績と研究費の獲得実績が主な評価対象になるが、単に数があればよいというものでもない。それぞれの分野にどのくらい貢献があったのかを評価することになる。ブレイクスルーをしたとか、分野を垂直に動かしたとか、これは「ザ論文だ」といった評価を得ることが重要である。最後の「ザ論文」というのはその分野だったらだれでも知っているような論文という意味である。学科として学部として大学として、ほしい人材は実験をする人、計算をする人ではなくて、そのことによって分野を進める人なのである。三番目のサービスというのは学部や大学の委員会活動、論文の査読、学会の開催などといった活動の評価である。

学科レベルでの審査では学部内の教員3名程度から評価書を募る。次の学部レベルでの審査では10名程度の世界中の研究者から評価書を募ることになる。だれに評価を頼むかは審査対象者が候補となるリストを提出するのだが、このときに同じラボの出身者や共同研究者はリストに入れることはできない。この段階に至るまでの数年間に、共同研究者以外に自分の研究と自分をよく理解してくれて、かつ自分を積極的に評価してくれる人を世界中に10人以上つくる、というのがテニユアトラックの研究者の重要でかつ難しい目標の一つである。

さて、テニユア審査の本質とはなんだろうか。単なる業績評価や資格審査ではない。いっしょにサイエンスを極める仲間として加入してきた研究者を数年間の共同作業を経て本当の仲間として認める、という作業なのである。テニユアになったとしても日々の生活が特に変わるわけではない。自分の雇用が安定したとしても研究費が取れなければやりたいこともできなくなる。筆者も週100時間近くを研究室で過ごす生活(そのうち20時間く

らいは実験動物の顔を見て過ごしている)は変わらない。だが、仲間として認められたというありがたい感覚は日々のエネルギー源として確かに存在している。

V. 英語は永遠の課題

サイエンスをやるうえで英語は世界標準になってしまったので英語はしっかり使えるようにしておかないといけない。ちなみに30年ほど前に、ある分野では日本語が世界標準で日本語の雑誌に世界中から投稿があると聞いたことがある。原子力関連の分野ということであったが、真偽のほどはいかばかりか。数年前、大学で夏目漱石に関するシンポジウムが開かれたのだが、日本語での基調講演に翻訳はついたものの、会場のアメリカ人参加者からは流暢な日本語敬語文で質疑応答が相次ぎ、そういう世界もあるものだと大変感動したことがある。

さて、高校の同級生が世界を飛び回る企業コンサルタントとしての経験をもとに、数年前に英語の本を上梓した⁵⁾。脱稿前に読んでくれと言われたので、いろいろ意見交換して盛り上がった。そのときに日本人の英語が通じないのは(1)文法や発音がめちゃくちゃ、(2)文章の意味が理解不能、(3)声が小さい、のどれだと思おうか、と聞いてきた。答えは(3)。受験英語と蛇蝎のように嫌うなかれ、おかげで我々の語学としての英語の実力はなかなかのものなのである。だから、英語を話すときには根性をいれて、英語版星飛雄馬であること、センスオブ飛雄馬が大切なのだと、野球部のエースとして神宮球場を沸かせた同級生の言葉は示唆に飛んでいた。

さらに言えば、ユーモアという言葉の英語の発音は飛雄馬に近い。学会発表で笑いをとることは大切であり、そのためには日本のそれとは異なるアメリカの笑いを理解しなければならない。要は単語や文法の違いだけでなく、英語としての発想の違いを見極めることが伝わる英語につながるのではないだろうか。「むかしむかしあるところにおじいさんとおばあさんが。。。」という話し方では聴衆は席を立てて部屋を出て行ってしまふ。「これは桃から生まれた不思議な少年の物語である」とまず全体を俯瞰しなければならない。日本語は静物画の表現に長けた言語であるが、英語は動画である。動詞の選択が肝でありそして動詞が二番目に来る文章が一番エライ。大抵の日本人は、というか東洋人は後ろから数えたほうが早い位置に動詞をおいた英文を多産する。ミシガン大学の人を書いたThe Geography of Thought(邦題:木を見る西洋人 森を見る東洋人)⁶⁾という本なぞを見ると文化による発想の違いがそこには如実にあって、それを知ることが言語としての英語を習得すると同様にあるいはそれ以上に、自分の発見したことを効果的かつ情熱的に伝えるためにどれだけ重要であるのかを悟ることができる。



図4 シーボーギウムに名を残す地元出身の核物理学者の名前の付いた北ミシガン大学のシーボーグセンター

VI. おわりに

渡米して25年、アメリカでの研究もちょうど折り返し地点である。テキサス、ノースカロライナ、ミシガンと順に北上し、このままアラスカを経て反対側の日本まで届くのか、それともまた南へ戻っていくのか。これからもまた沢山の出会いがあって、それによってまた人生が豊かになっていくのだろう。この業界に進んでの一番の収穫は世界の共通語は実は英語ではなくてサイエンスであるのだと実感できたことかもしれない。そしてそこそ成田へのバスの中で見ようとしていた志だったのかもしれない。過日、本シリーズを企画した東工大の吉田正氏、シリーズ第一回の著者(ロスアラモス在住)、筆者が新進気鋭の若手研究者齊藤M.まり博士とともに第二回の著者(ウィーン在住)について語る機会を得ることができた。次回、このメンバーが集うのは、いつ、というよりはどこになるのであろう。今生(コンジョウ)は人類の最長記録を塗り替えるまで生きる予定である。来世もまた研究者として似てかつ非なる風景を車窓から眺めることになるのであろうか。(2017年6月北京空港にて脱稿)

— 参考資料 —

- 1) 三木英三, うどんのテクスチャー, 日本バイオレオロジー学会誌, vol.20, p.82, 日本バイオレオロジー学会(2006).
- 2) 河野俊彦, 日本原子力学会誌(2017), vol.59, No.6.
- 3) 三品裕司, 日系一世研究者10年目の独白, 研究留學術, 研究者のためのアメリカ留学ガイド, 門川俊明編, 医歯薬出版(2012), ISBN978-4-263-20673-7.
- 4) ニノ宮知子, のだめカンタービレ, 講談社.
- 5) 曾根宏, 品格ある日本人の英語, ビジネス社(2009), ISBN978-4-8284-1501-7.
- 6) リチャードニスベット, 木を見る西洋人 森を見る東洋人, ダイヤモンド社(2004), ISBN4-478-91018-9.

著者紹介



三品裕司(みしな・ゆうじ)

ミシガン大学歯学部生命材料学科(専門分野/関心分野)生き物の形や大きさが遺伝子の機能を通してどのように決まるのか。イケメン遺伝子を発見し、なぜ子供の顔が親に似るのかを解明したい。

第3回 発電用高速炉を用いた核変換システム

長寿命核種の分離変換技術の現状

「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会

日本原子力学会「放射性廃棄物の分離変換」研究専門委員会は、国内外における分離変換技術や関連する技術の研究開発状況について調査・分析してきた。長寿命核種の分離変換技術の現状について、4回に分けて紹介する。第3回では、発電用高速炉を用いた核変換システムとして、高速炉の特徴、均質型と非均質型の長所と短所、わが国の実証炉開発とMA核変換の展望、MA核データとMA装荷炉心の試験・解析の動向および国際協力に加え、MA均質サイクル燃料とMA非均質サイクル燃料について解説する。

KEYWORDS: MA transmutation system, Fast reactor, Homogeneous cycle, Heterogeneous cycle, Joyo, Monju, Oxide fuel, Metal fuel, Am-1, METAPHIX

I. 高速炉を用いたMA核変換システム

高速炉サイクルは平衡期に閉じたアクチノイドサイクルを実現するものであり、これに加えて軽水炉(Light Water Reactor : LWR)からの移行期にも過渡的に増大するマイナーアクチノイド(Minor Actinoid : MA)を核変換するMA核変換システムを目指している。

1. 高速炉核変換システムの特徴

高速炉は、増殖により原子力利用を持続的に行うために開発され、閉じたアクチノイドサイクルにも適している。すなわち、高速炉の中では親物質であるMAも核分裂が生じやすく、MA核変換の中性子収支はプラスであり、高次のアクチノイドの生成が少ない。このため、高速炉は燃料増殖だけでなく、MA核変換においても、有利である。金属燃料炉心では、中性子束スペクトルが高エネルギー側にあることから、高速炉の特徴が顕著になり、MA核変換も促進される。他方、MA装荷により、核特性は変化する。たとえば、正のボイド反応度が増大し、ドップラー定数および遅発中性子割合が縮減する。このため、安全が確保されるようにこれらを考慮し

て設計される。

2. 均質型と非均質型の長所と短所

MAを閉じ込める高速炉サイクルには、均質サイクルと非均質サイクルの2種類がある。均質サイクルではMAをPu, Uとともに炉心燃料に均質に装荷し、単一の再処理施設でMAをPu, Uとともに取り出し、リサイクルする。非均質サイクルでは、(U, Pu)の炉心燃料とMAを含む集合体を原子炉に装荷し、再処理もそれぞれ別の工程で行う。均質サイクルの炉心燃料はわずかなMAを含むことを除き、燃料照射挙動が従来の(U, Pu)燃料と大きく変わることがないが、非均質サイクルのMAターゲットは20%程度のMAが含まれ、あらたな技術開発が必要となる。他方、非均質サイクルでは従来の炉心燃料の製造・再処理施設が利用できるのに対し、均質サイクルではすべての炉心燃料にMAが含まれ、核燃料サイクルへの影響は少ない。比較評価のための各国専門家からなる経済協力開発機構-原子力機関(OECD-NEA)のタスクフォースは、いずれも長所・短所があり、何を重視するかによって選択されると結論している¹⁾。

3. わが国の実証炉開発とMA核変換の展望

日本の高速増殖炉(Fast Breeder Reactor : FBR)実証施設、および実用炉の主概念の設計では、MAを炉心燃料に均質装荷している。これらの炉では安全を確保しつ

Present State of Partitioning and Transmutation of Long-lived Nuclides (3) ; Transmutation System using Fast Reactors : Research Committee on Partitioning and Transmutation of Radioactive Waste.

(2017年5月30日 受理)

つ、アクチノイドの3%~4%のMA装荷により、100 GWd/tの燃焼度で装荷されたMAの30%~40%が核変換できる。またLWRからのMAを含む超ウラン(Transuranium: TRU)元素を高速炉で燃料として利用し、リサイクルを繰り返すと、100年後頃にTRU組成比は平衡に達し、燃料中のMA割合は約1%となる。すなわち、MAの影響はLWRからFBRへの移行期にLWRの使用済み燃料中のMAを減容する段階で最も大きくなる²⁾。また、非均質装荷炉心の設計研究から、出力変動の少ない炉内リング装荷の概念も提案されている。

4. MA核データおよびMA装荷炉心の試験・解析

高速炉開発では、MA核データおよびMAが装荷された炉心の特性について測定試験とその解析が行われている。たとえば、実験炉「常陽」MK-II炉心のMAサンプル照射(B7, B9, およびSMIR-26試験)について、²³⁷Np, ^{241,243}Am, ^{242, 244, 245, 246}Cmの捕獲反応率の実験値とJENDL-4.0を用いた解析値を比較した³⁾。その結果、一部を除き相対差は約20%以内であること、これに関わる不確かさは5%~20%と予測され、結果と整合していることがわかった(表1)。さらに炉定数調整法(ADJ2010)により相対差を約10%以下に削減できることが報告されている。

高速増殖原型炉「もんじゅ」は14年5ヵ月間停止していた結果、²⁴¹Pu(半減期14.29年)の約半分は²⁴¹Amに変わった。炉心性能試験解析によれば1994年炉心と2010年炉心(Am2%以内の装荷)の臨界性(実効増倍率)のJENDL-4.0を用いた解析値と測定値の比(C/E)はいずれも1.002であり、2010年炉心で実施されたフィードバック反応度測定試験(図1)で測定されたフィードバック反応度についても解析値と4%以内で一致した(図2)⁴⁾。MA核データおよびMA装荷炉心の測定データは希少であることから、これらの「常陽」、「もんじゅ」の良好な結果は将来の開発に資するものである。MA核変換システムおよび閉じたアクチノイドサイクルの実現に向けて、さらに着実なデータの蓄積が必要である。

表1 JENDL-4.0およびADJ2010に基づくMAサンプル照射試験の主要解析結果

サンプル	捕獲反応	JENDL-4.0		ADJ2010	
		相対差(%)	不確か率(%)	相対差(%)	不確か率(%)
²³⁷ Np	²³⁷ Np	-8.0	7.8	-4.3	8.0
²⁴¹ Am	²⁴¹ Am	-22.9~+17.7	21.7	-7.7~+5.0	7.2
²⁴³ Am	²⁴³ Am	-20.3~+11.1	21.8	-10.9~+14.7	7.3
²⁴⁵ Am	²⁴⁵ Am	-19~+1.3	8.6	+4.9~+8.1	5.8
²⁴⁶ Am	²⁴⁶ Am	-5.4~+0.8	8.0	+1.2~+5.9	8.5
²⁴² Am	²⁴² Am	-6.2~+1.4	15.6	-4.3~+0.2	7.8
²⁴⁴ Am	²⁴⁴ Am	+1.7~+17.4	15.1	-1.9~+9.0	4.4
²⁴² Am	²⁴² Am	-5.4~+6.3	21.3	+0.8~+1.5	8.0
²⁴⁴ Am	²⁴⁴ Cm	+0.0~+8.9	19.3	-1.9~+2.2	5.3
²⁴⁴ Pu	²⁴⁴ Pu	+0.7~+17.6	13.3	+1.3~+5.9	2.8
²⁴⁶ Am	²⁴⁶ Cm	+4.5~+10.2	55.9	-6.0~+6.1	6.4
²⁴⁸ Am	²⁴⁸ Cm	-0.9~+9.4	14.1	-0.9~+4.2	8.0

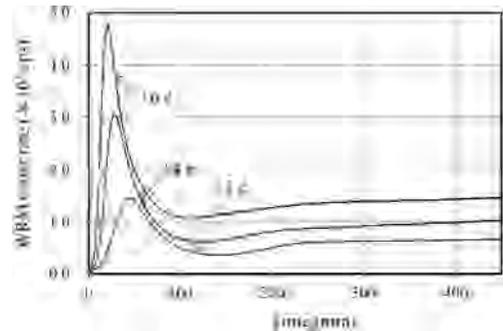


図1 フィードバック反応度測定における出力変化

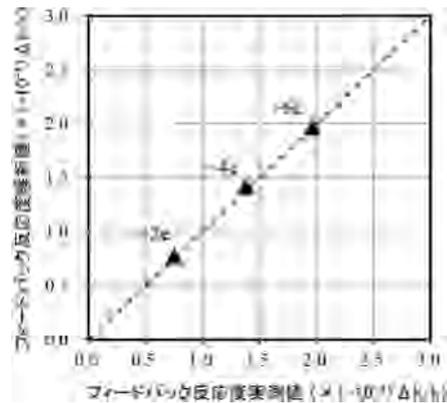


図2 フィードバック反応度の実測値と解析値

5. 国際協力(GNEP, ASTRID)

日本以外でもMA核変換、TRU減容に関わる高速炉の研究開発が行われ、日本は国際協力を積極的に進めている。たとえば、米国では2006年に国際原子力パートナーシップ(Global Nuclear Energy Partnership: GNEP)構想が提唱され、放射性廃棄物の低減、および処分場に埋設されるプルトニウムの核拡散リスクの削減のため、高速炉と核燃料サイクルを一体としたシステム概念が検討された。日本原燃およびメーカは日-仏-米の企業からなる国際原子燃料リサイクルアライアンス(International Nuclear Recycling Alliance: INRA)に参加した。フランスでは、放射性物質と放射性廃棄物の持続可能な管理に関する法律に基づき、2012年にその産業化見通しがまとめられた。現在、これに基づき、電気出力600 MWの総合技術実証炉ASTRIDの開発プロジェクトが推進されている。日本からは、日本原子力研究開発機構およびメーカがこれに参加している。ASTRID炉心では、Amを含むMAターゲットをブランケット位置の炉心周辺に配置した非均質型が採用されている。放射性廃棄物減容および核燃料サイクルの実現には多くの資源と時間を要することから国際協力を積極的に行うべきである。

II. 高速炉で用いるMA核変換用燃料

高速炉を用いたMA均質サイクルに適用される酸化

物燃料と金属燃料，および MA 非均質サイクルに適用される酸化物燃料の開発状況を取り上げる。

1. MA 含有酸化物燃料(均質型)

(1)製造技術

低濃度の MA を含有する酸化物(MOX)燃料を適用した均質サイクルは，FaCT (Fast reactor Cycle Technology development：高速増殖炉サイクル実用化研究開発)プロジェクトの主概念に位置付けられており，環境負荷の低減，核拡散抵抗性および資源利用率の向上が期待されている。

MA 含有酸化物燃料の製造では，高放射能で高発熱性の原料粉末を取り扱う際の対策が必要になるとともに，工程の遠隔自動化，燃料製造機器のメンテナンス性の低下への対応，成型助剤や密度降下剤(有機物添加剤)の制限等の課題が生じる。これらに対処するため，製造工程の大幅な削減を可能とする簡素化ペレット法と呼ばれる新たな燃料製造プロセスの開発が進められている。簡素化ペレット法は，硝酸プルトニウム溶液と硝酸ウラニル溶液を混合する段階でPu含有率を調整するとともに，流動性の高いMOX粉末を得ることにより燃料ペレット製造工程中の「秤量」，「均一化混合」，「造粒」および「予備焼結」工程を削減したものである。

遠隔燃料製造技術については，最大5%までのAmを含有するMOX燃料に対し，マニプレータを用いた遠隔操作によりセル内での燃料製造が行われ(図3)，照射に必要な所定の仕様(密度，O/M比等)に調整する技術の確立に成功している⁵⁾。

(2)ふるまい評価

酸化物(MOX)燃料の主要物性(結晶構造，格子定数，酸素ポテンシャル，融点，熱伝導率等)におよぼす5%程度までのMA添加の影響が実験結果に基づき評価されている。MAは酸化物燃料中に固溶し，螢石型結晶構造が維持されるとともに，MA含有率等に応じてVegard則に従う傾向を示し，イオン半径に基づいてモデル化できることが知られている。酸素ポテンシャルについては，O/M比に対して大きな依存性を示すとともに，Am添加によって増加する傾向がある。また，MA含有率が低い範囲での融点および熱伝導率に関しては，MA添加によって大きな影響を受けないことが示されている。

MA含有MOX燃料の照射中のふるまいとしては，高

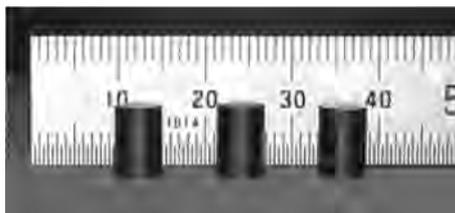


図3 5% Am 含有 MOX 燃料の焼結ペレット

速実験炉「常陽」において Am-1 と呼ばれる照射試験が進められており，照射初期の挙動を把握する目的で実施された短期(10分間，24時間)照射試験が終了している⁶⁾。この燃料の照射後試験の結果から，MA含有MOX燃料は従来の高速炉用MOX燃料と類似の挙動を示し，燃料径方向の温度勾配に沿ったレンズ状ボイドの移動とその結果として形成される柱状晶および中心空孔が認められている。高速炉MOX燃料では，燃料組織変化に伴い中心空孔近傍で局所的にPu濃度が増加する現象(Pu再分布挙動)が生じる。Am含有MOX燃料では，Pu再分布挙動に加え，図4および図5に示すようにAmの濃度が中心空孔近傍で増加するAm再分布挙動も同時に生じる⁶⁾。これは，蒸発・凝縮機構によるボイド移動において，PuおよびAmを含む蒸気種の蒸気圧がUO₃の蒸気圧に比べ相対的に低いことが要因となっていると考えられている。

これまでのMA含有酸化物燃料の研究開発は，意図的に回収したMA(ストックパイル)を用いて行われてきた。今後は，照射済燃料から分離したMA(フィードストック)を用いた工学的規模での実証が必要となる。このステップアップに先立ち，既存施設の能力を最大限に活用し，照射済燃料から分離・回収した少量のフィードストックMAを用いた燃料製造，照射試験，照射後試験からなる“SmART (Small Amount of Reused fuel Test)サイクル”の検討が進められている。

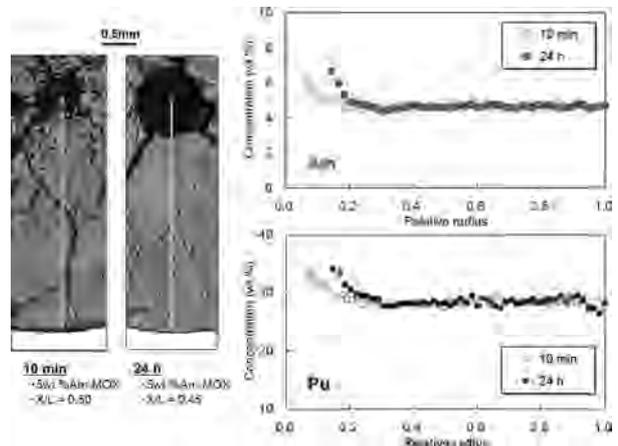


図4 Am含有MOX燃料の短期照射試験における組織変化とPuおよびAm再分布挙動

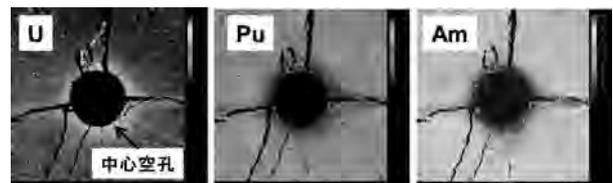


図5 5% Am 含有 MOX 燃料の短期(24時間)照射試験における中心空孔近傍でのU，Pu，Am分布：中心空孔周辺でUは低濃度化(白色部)，Pu及びAmは高濃度化(黒色部)

2. MA 含有金属燃料(均質型)

(1) 製造技術

U-Pu-Zr 合金(以下、標準燃料)を燃料母材とする金属燃料は、高速炉の炉心特性を向上させるとともに、小規模でも経済性を確保し、核拡散抵抗の高い乾式燃料サイクル(第2回で掲載済み)と整合する特長がある。また、他の燃料形態よりも中性子エネルギーが高いため、増殖率を高めたり効率的に MA を核変換できる利点を有する。このため、米国、日本、韓国、インド、中国で金属燃料開発が進められており、主に米国と日本で核変換用 MA 含有金属燃料の研究開発が行われている⁷⁾。

乾式燃料サイクルにおいて、MA をはじめとするアクチノイド元素に随伴して希土類元素(RE)が同時に回収される。各 5 wt%以下の MA および RE は標準燃料に均質に混合し、主要な燃料特性(液相線温度、熱伝導率、ヤング率など)に大きな影響を及ぼすことはない。一方、標準燃料に 5wt%以上の RE が添加されると、燃料母材から相分離した RE-Am-Pu 相が生じ均質な燃料を得ることが難しくなる。このため、燃料中の RE 濃度は 5wt%以下に制限される。

これまでに行われた MA 含有金属燃料の主な照射試験条件を表 2 に示す。照射後試験の結果より、いずれの試験燃料も製造時の燃料品質は概ね妥当であったと考えられる。燃料製造法に着目すると、標準燃料に適した射出鑄造法(X501)は、高蒸気圧 Am の蒸発損失を顕在化させるため MA 含有燃料の製造に望ましくないと考えられている。また、粉末冶金法(METAPHIX)やアーク鑄造法(FUTURIX-FTA, AFC)は、実用化を想定した遠隔操作性に適していないと考えられており、継続的な製造技術開発が行われている。

(2) ふるまい評価

MA 含有金属燃料のふるまいは、X501 試験および METAPHIX 試験の照射後試験結果から明らかにされつつある。MA や RE を最大 5 wt%まで添加してもピーク燃焼度 7at%までは、標準燃料と同様の FP ガス放出率(図 6)や、燃料合金の横断面に形成されるマクロ組織および燃料母材の径方向再分布挙動が認められており、燃料照射挙動は標準燃料と大きく変わることがない。被

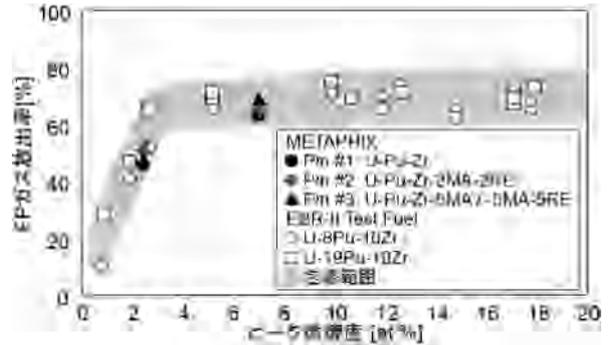


図 6 MA 含有金属燃料の FP ガス放出率の燃焼度依存性

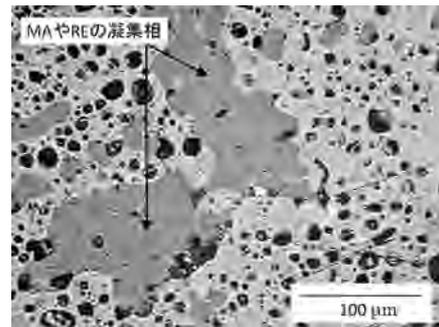


図 7 U-19Pu-10Zr-5MA-5RE 合金燃料の中央付近の金相組織(METAPHIX 試験, 燃焼度 2.5 at%)

覆管内面や燃料外周部に特異な反応層も認められておらず、Am や Np の添加による燃料-被覆管化学的相互作用は確認されていない。一方、高温領域の燃料中心部と低温領域の燃料外周付近に局所的に Am を含む凝集相が 100 μm 以上の大きさに成長する場合がある(図 7)。MA や RE を含むこれら凝集相(RE-Am-Pu)が過大に成長すると局所的に物性が変化する懸念があるが、これまでの照射条件における観測結果からは、燃料熔融や燃料破損は確認されておらず、MA 含有金属燃料の照射健全性は確保されている。この RE-Am-Pu 相に関する基礎データは不足しており、引き続き、照射温度の高温化や高燃焼度化による凝集相のふるまいデータ等の蓄積が望まれる。なお、METAPHIX 試験燃料に添加された Cm のふるまいは、添加量が少量であるため明らかではないが、照射中に Cm が凝集したり、燃料組織や照射挙動に特異な影響を及ぼしたりする様子はこれまで確認されていない。

これら照射後試験データより、標準燃料用に整備された金属燃料挙動解析コード“ALFUS”が、5wt%程度の MA 含有燃料まで適用可能であることを示している。

MA 含有金属燃料の成立性を実証するためには、前述の製造技術開発に加えて、高燃焼度までの燃料被覆管の健全性確保、設計基準事象時の燃料挙動評価などの課題がある。これら課題解決に向けた取り組みの一環として、MA 含有金属燃料の国内照射試験を目指した製造技術基盤を構築する研究開発が行われている。また、今

表 2 主な MA 含有金属燃料の照射試験条件

照射試験炉	燃料組成 (wt%)	照射期間 (日)	照射温度 (°C)	照射圧力 (MPa)	照射速度 (at%/日)	照射後試験
X501	U-239Pu-5Zr-5MA	110	2300	7.6	~0.1	AVL
METAPHIX	U-19Pu-10Zr-5MA-5RE	13-15	2300	7	~0.1	XRF, SEM
	U-19Pu-10Zr-5MA					
FUTURIX-FTA	U-239Pu-5Zr-5MA	13-15	2300	7	~0.1	SEM, XRF
AFC-1	U-239Pu-5Zr-5MA	13-15	2300	7	~0.1	SEM, XRF
AFC-2	U-239Pu-5Zr-5MA-1.5RE	13-15	2300	7	~0.1	SEM, XRF
	U-239Pu-5Zr-5MA					
MA: 5wt%Am+5wt%Co (METAPHIX) / 5wt%Am (METAPHIX)						

後、MA に随伴して回収される RE の除染性能が大幅に向上されれば、数 10wt% 以上の高濃度 MA 含有燃料を調製することも可能となり、発電炉を利用した非均質 MA リサイクルへの適用も広がると考えられる。

3. MA 含有酸化物燃料(非均質型)

(1) 製造技術

現行軽水炉の核燃料サイクルとの技術的整合性を重視した高速炉を用いた MA リサイクルシステムを実現するための研究開発の一環として、少数の燃料体で大量の Am を集中的に高速炉で燃焼させる概念の検討が進められている⁸⁾。これは、高濃度 Am 含有酸化物燃料で構成する複数の集合体を通常のドライバー燃料集合体と同様に高速炉の炉心領域に装荷し、高速中性子を効果的に利用して Am を燃焼するシステムである。

高濃度 Am 含有酸化物ペレット燃料の製造技術開発として、10% 以上の Am を含有する混合酸化物 (Am-MOX) 燃料の製造試験が行われている⁸⁾。Am-MOX 燃料の原料粉末を冷間圧縮成型後、Ar-5% H₂ ガス気流中において炉内の酸素分圧を調整した雰囲気下で熱処理を実施した結果、焼結ペレットに割れ、カケ等は無く、健全であった。また、X 線回折測定結果から、結晶構造の異なる化合物等の形成は認められず、固溶度は比較的高いものと推測された。さらに、組織観察および EPMA による元素分布測定結果からも、比較的均質な組織が確認された。このような従来手法を用いた焼結試験により、最大 20% までの Am を含有する MOX 燃料の焼結体を得ることに成功している⁸⁾。しかしながら、Am 濃度の増加とともに焼結体の密度は低下し、ペレットの焼結性が悪化する傾向が認められている⁸⁾。このため、高濃度 Am 含有酸化物燃料の製造性向上には、さらなる技術開発が必要な状況にある。

(2) ふるまい評価

高濃度 Am 含有酸化物ペレット燃料の特性評価として、粉末焼結法により製造した 10% の Am を含有した MOX 燃料について、雰囲気制御型レーザーフラッシュ式熱伝導率測定装置を用いた熱伝導率の測定が実施されている⁸⁾。0.7%、3.0% の Am を含有する MOX 燃料に対して熱伝導率の測定を行った先行研究との比較において、1273 K 以上の温度における測定データでは明確な差異が認められなかった。一方、1073 K 以下の温度では Am の高濃度化に伴う熱伝導率の低下傾向が見られ、Am 濃度の増加がフォノン伝導に影響していることが示唆された。また、亜定比組成の試料に対して、雰囲気を高酸素分圧側に変化させた際の熱拡散率の測定も実施されており、酸素ポテンシャルの増加により熱拡散率が上昇する傾向が観察されている⁸⁾。

これまでに得られている高濃度 MA 含有酸化物燃料

のふるまいに関する試験データは限られており、各種物性におよぼす高濃度 MA の影響は不明な点が多い。今後は各種物性におよぼす O/M 比の影響評価を含めた測定データの蓄積・拡充が必要である。

— 参考資料 —

- 1) OECD-NEA, Homogeneous versus Heterogeneous Recycling of Transuranics in Fast Nuclear Reactors, NEA No. 7077, OECD-NEA Publishing, Paris, ISBN 978-92-64-99177-4 (2012).
- 2) S. Ohki, et al., "Design Study of Minor-Actinide-Bearing Oxide Fuel Core for Homogeneous TRU Recycling Fast Reactor System," Proc. 10IEMPT, NEA/OECD Publishing, Paris (2010).
- 3) 杉野和輝, 石川真, 他, 核設計基本データベースの整備(XIV) —JENDL-4.0 に基づく高速炉核特性解析の総合評価—, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2012-013 (2012).
- 4) A. Kitano, et al., "Measurement and analysis of feedback reactivity in the Monju restart core," J. Nucl. Sci. Technol. 53, 7, (2016) 992-1008.
- 5) K. Tanaka, et al., "Research and development of americium-containing mixed oxide fuel for fast reactors," Proc. GLOBAL 2007, Sep. 9-13, 2007, Boise, USA, pp. 897-902 (2007).
- 6) K. Tanaka et al., "Restructuring and redistribution of actinides in Am-MOX fuel during the first 24 h of irradiation," J. Nucl. Mater., 440, 480-488 (2013).
- 7) State-of-the-Art Report on Innovative Fuels for Advanced Nuclear Systems, NEA No. 6895, OECD-NEA Publishing, Paris, ISBN 9789264248724 (2014).
- 8) 平成 17~21 年度 文部科学省原子力システム研究開発事業「効果的環境負荷低減策創出の為の高性能 Am 含有酸化物燃料の研究」成果報告書。

著者紹介

池田一三 (いけだ・かずみ)

三菱 FBR システムズ(株)

(専門分野/関心分野) 高速炉炉心設計および原子炉物理/新型炉, 核計算手法, 核変換, 崩壊熱, V&V および UQ, 原子力とエネルギー・環境問題

北野彰洋 (きたの・あきひろ)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 高速炉炉心設計および原子炉物理/核変換, 高速炉熱流動挙動および保障措置

田中康介 (たなか・こうすけ)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 核燃料工学/高速炉燃料の製造技術, 物性評価および照射挙動評価, 核分裂生成物放出・移行挙動評価

中村勤也 (なかむら・きんや)

電力中央研究所

(専門分野/関心分野) 核燃料工学/金属燃料挙動, シビアアクシデント時の燃料・材料挙動, 燃料デブリ特性

福島第一原子力発電所事故に対する 国際原子力機関 (IAEA) の活動記録

日本原子力研究開発機構 堀 啓一郎, 山路 斉

東京電力福島第一原子力発電所の事故が起きて半年後に開催された2011年9月のIAEA総会において「原子力安全に関するIAEA行動計画」が承認された。これに基づいて実施されてきたIAEAの福島第一原子力発電所の事故に関する活動は2015年の最終報告書の完成をもって終了した。現在はフォローアップとして福島の実験を踏まえた安全確保、安全規制に関する考え方を取り入れるためのワークショップ等が適宜開催されている。

KEYWORDS: IAEA, Fukushima Accident, IAEA Action Plan on Nuclear Safety, International Experts' Meeting

I. はじめに

福島第一原子力発電所の事故から、既に約6年が経過した。2015年に事故に関するIAEAの最終報告書が出てから1年以上が経過し、IAEAでは同事故に関する活動は一段落した。ここでは関連する多くの記録を参照しつつIAEAのこれまでの活動の軌跡をたどる。

II. 事故直後の対応

2011年3月11日に起こった福島第一原子力発電所の事故に対してIAEAはすぐに緊急時対応を発動し、事故で混乱する中で信頼のおける情報の収集を行い、整理して加盟国、メディア等への情報提供を開始している。こうした情報提供にあたってはIAEA内部の邦人職員が日本の諸機関と連絡を取りつつ、入手した情報を英訳し取りまとめる作業を3交代24時間体制で実施した。また、IAEAは現地、福島第一原子力発電所とその周辺地域に職員を送り現地の情報を直接収集すると共に環境データの測定を実施した。

IAEAと同じウィーンに本部を置く包括的核実験禁止条約機関準備委員会(CTBTO)も事故直後の15日に加盟国への説明を行うと共に17日からは監視データ等についてIAEAと情報のやり取りを開始し、その後21日には正式に協力体制を整えてCTBTOの監視データや放射性物質の拡散に関する情報等の利用について協力を

IAEA actions for Fukushima nuclear accident : Hori Keiichiro, Hitoshi Yamaji.

(2017年6月30日 受理)

行った。これまで長い間IAEAとCTBTOは同じウィーン国際センター(VIC)のビルの中に同居していたが公式に協力を行うのは筆者の記憶では初めてである。

その後、IAEAは体制を整えて5月24日から調査団(米国やフランスなど10カ国の原子力や地震の専門家ら約20人で構成)を日本に送り、被害の実態や事故後の対応について原子力安全・保安院等から聞き取りを行うほか、現地福島第一原子力発電所、福島第二原子力発電所を訪れ地震と津波が原発に与えた被害について調査し報告書¹⁾にまとめている。

同報告書では、地震に対して原子炉は設計通り動作したが巨大な津波により1号機から4号機は全ての交流電源を喪失し、この結果、炉はコントロールシステムを喪失し、津波によるその他のインフラの破壊とあいまって燃料の重大な損傷に至ったとし、その上で事故に関する事実と初期的な教訓を取りまとめている。

III. 原子力安全に関する行動計画^(表1)

この報告書の内容は、6月20日からウィーンで開催された原子力安全に関するIAEA閣僚会議において報告され、これを基に議論が行われた。原子力事故は国境を越えて影響を与える可能性があり、国際協力の重要性が強く認識され、事故に対する日本の取り組みへの支援と原子力の安全性や放射線防護に関する国際基準の強化、さらに福島第一原子力発電所事故の教訓を引き出すことの必要性等が表明され、閣僚会議宣言²⁾として取りまとめられた。また閣僚会議は共有された認識に基づいてIAEAに対して原子力安全に関する行動計画を取りまと

表1 原子力安全に関するIAEA行動計画³⁾平成24年4月
外務省国際原子力協力室

1. 背景

- (1) 本件行動計画は、東京電力福島第一原発事故を契機とし、国際的な原子力安全を強化するためのもの。
- (2) 2011年6月の「原子力安全に関するIAEA閣僚会議」における閣僚宣言により、IAEA事務局長は、行動計画案を作成し、同年のIAEA理事会及び総会へ提出することとされ、行動計画は、同年9月、IAEA理事会によりコンセンサスで承認されると共に同総会において確定した。

2. 行動計画の概要

- (1) 行動計画は、前文及び12項目の行動(各行動は、細分化された行動を含む。)から構成され、東電福島第一原発事故を踏まえ我が国が提案してきたIAEA安全評価ミッションの拡充等の諸措置を含むもの。また、前文において、我が国とIAEAが2012年に共催する原子力安全に関する福島閣僚会議にも言及。
- (2) 12項目の行動のポイントは、以下のとおり。
- ① 東電福島第一原発事故の観点からの安全評価
 - ・加盟国は、極限の自然災害に対する原発の設計の国内評価を迅速に行い、必要な是正措置を実施する。
 - ・IAEA事務局は、要請に応じて、国内評価に対するピア・レビューを実施する。
 - ② IAEAピア・レビュー
 - ・IAEA事務局は、教訓を組み込むこと等により、既存のピア・レビューを強化する。また、関係国の同意を得た上で、ピア・レビューの結果を公表する。
 - ・加盟国は、定期的に、IAEAピア・レビュー(フォローアップ・レビューを含む。)を自発的に受け入れることが強く奨励される。
 - ③ 緊急事態に係る準備及び対応
 - ・IAEA事務局、加盟国及び関連国際機関は、IAEAの緊急時対応援助ネットワーク(RANET)の強化等を検討する。
 - ・IAEA事務局は、原子力緊急事態の場合には、関係国の同意を得た上で、事実調査ミッションを実施し、結果を公表する。
 - ④ 国内規制機関
 - ・加盟国は、国内規制機関について迅速な国内レビュー及びその後の定期的なレビューを実施する。
 - ・原発を有する各加盟国は、定期的に、統合的規制評価サービス(IRRS)ミッションを自発的に受け入れる。更に、当該ミッションから3年以内にフォローアップ・ミッションが実施される。
 - ⑤ 運転を行う組織
 - ・原発を有する各加盟国は、今後3年間で少なくとも1件のIAEA運転安全評価チーム(OSART)ミッションを自発的に受け入れる。
 - ⑥ IAEA安全基準
 - ・安全基準委員会及びIAEA事務局は、優先順序に応じて、関連するIAEA安全基準を見直し、必要に応じて改訂する。
 - ・加盟国は、オープンで、適時の及び透明性の高い方法により、IAEA安全基準を可能な限り広範かつ効果的に活用する。
 - ⑦ 国際的な法的枠組み
 - ・締約国は、原子力安全関連条約の効果的な運用を強化するメカニズムを探求し、改正するためになされた提案を検討する。
 - ・加盟国は、全ての関係国の懸念に対応する原子力損害賠償責任に関する一つの国際的な制度の構築に向けて作業する。
 - ⑧ 原子力発電計画の開始を企図する加盟国
 - ・加盟国は、最初の原子力発電所の操業に先立ち、サイト及び設計上の安全性に関するレビューを含め、関連するレビュー・ミッションを自発的に受け入れる。
 - ⑨ キャパシティ・ビルディング
 - ・加盟国は、東電福島第一原発事故の教訓を原子力発電計画に係る基盤に組み込む。
 - ⑩ 放射線からの人及び環境の防護
 - ・加盟国、IAEA事務局その他の関係者は、モニタリングや除染に関し、専門知識や技術等の利用を促進する。
 - ⑪ コミュニケーション及び情報提供
 - ・加盟国は、規制機関等の間におけるコミュニケーションの透明性及び有効性を向上させる。
 - ・IAEA事務局は、証拠や科学的知識等に基づき、原子力緊急事態の間、当該事態から起こり得る結果に関して、事実の面で正しく、客観的な、かつ、理解しやすい情報を提供する。
 - ・IAEA事務局は、技術的側面を分析し及び東電福島第一原発事故の教訓を学ぶための国際専門家会合を開催する。
 - ⑫ 研究開発
 - ・関係者は、原子力安全、技術及びエンジニアリングにおける必要な研究開発を行う。

めることを要請した。

その年の9月のIAEA総会においてIAEAが作成した行動計画は承認され、以後この計画に基づいて国際的な原子力安全を強化するため、IAEAは原子力の安全性と放射線防護に関する国際基準の強化と福島第一原子力発電所事故から得られた教訓のとりまとめを行ってきた。このIAEA行動計画は12項目から構成され、IAEAと加盟国が行う安全性向上のための方策を挙げている。

IV. 原子力安全に関するIAEAの活動

IAEAは10月に入ってからオフサイトの広範な汚染地域の復旧に係る調査団を日本に派遣し報告書⁴⁾を取りまとめている。

この報告書では、過剰な安全側に立つことの回避、中央政府と地方政府その他の関係者間のコミュニケーションと調整の強化、廃棄物の適切な分類、公衆の被ばくを低下させる効率的な除染等について初期的な助言を取りまとめている。

翌2012年3月、IAEAは行動計画に基づき、福島第一原子力発電所事故を踏まえた原子炉と使用済核燃料の安全性に関する専門家会合をウィーンで開催し、具体的な行動を開始した。⁵⁾

6月には、緊急時における透明性の向上とコミュニケーションの有効性に関する専門家会合をウィーンのIAEA本部で開催した。⁶⁾

さらに9月には、地震と津波に対する防護に関する専門家会合を開催した。⁷⁾

事故から1年9カ月後の2012年12月には第2回目の原子力の安全に関する閣僚会議が100を超える国の参加を得て福島県郡山市で開催され⁸⁾「原子力安全に関する福島閣僚会議共同議長声明」が発出された。この会議では、日本が福島の現状に関して国際社会に対して透明性を持った対応をしていることや、復旧及び復興に向けた福島県の努力と原発の安定化や放射能の低減に向けた努力が評価された。また、事故の教訓や安全性の強化について議論がなされ、IAEAからは緊急時対応の強化の重要性が指摘された。さらにIAEA原子力安全行動計画に基づくIAEAと加盟国の努力が評価され、その完全実施が求められた。

閣僚会議に引き続き、「福島第一原子力発電所事故からの教訓」、「福島第一原子力発電所事故を踏まえた原子力安全の強化」、「放射線からの人及び環境の防護」の3つの専門家会合が開催され、原子力安全に関する不断の努力の重要性と共に放射線防護、健康影響等に関するリスク・コミュニケーションの重要性が示された。

また、閣僚会議の機会を捉えてIAEAと福島県の間で「福島第一原子力発電所事故を受けた福島県と国際原子力機関との間の協力に関する覚書」が締結された。⁹⁾

この覚書に基づき、次の3つの実施取り決めに締結してIAEAと直接協力を進めている。¹⁰⁾

- ①放射線モニタリング及び除染の分野における協力に関する福島県と国際原子力機関との間の実施取決め(2012年12月)
- ②人の健康の分野における協力に関する福島県立医科大学と国際原子力機関との間の実施取決め(2012年12月)
- ③福島県提案プロジェクトに関する福島県と国際原子力機関との間の実施取決め(2013年4月)

事故から約2年経過した2013年4月、IAEAは、福島第一原子力発電所の1~4号機の廃炉に向けた取組をレビューする調査団を日本へ送った。この調査団はIAEAと各国の専門家で構成され、福島第一原子力発電所の廃炉に向けた中長期ロードマップについて国際的なピア・レビューを行うことを日本政府が要請したことに応えたものであった。

廃炉に関する具体的な活動や計画をレビューし、助言やコメントを行うと共に教訓を国際社会と共有することを目的としていた。原子炉の状況を確認し、廃棄物や使用済燃料への取り組み、燃料デブリへの取り組み、サイトの放射線防護対策などについてレビューを行い、この結果は報告書¹¹⁾としてまとめられ公表された。

10月になると2年ぶりにIAEAと各国の専門家16名で構成されたIAEAの除染に関する調査団(福島第一原子力発電所外の広範囲に汚染された地域の除染に関するIAEA国際フォローアップ・ミッション)が日本政府の要請に基づき来日した。

これは2011年10月に行われた調査のフォローアップで復旧が進みだしたことを踏まえて、実施されている除染活動の評価と関係する課題について助言等を行うことを目的としていた。¹²⁾

続く11月には、第2回のIAEA福島第一原子力発電所1~4号機の廃炉に向けた取組に関する調査団が日本政府の要請に基づいて来日した。目的は4月に行われた第1回の調査団のそれと同じで、廃炉に関する具体的な活動や計画に対して助言やコメントを行うと共に、教訓などを国際社会と共有することを目的としていた。第2回では、第1回の調査でIAEAが行った助言等に基づいて改訂された廃炉ロードマップについてレビューすると共に、使用済燃料の貯蔵プールからの取り出し、燃料デブリの取り出し、汚染水の管理、放射性廃棄物の管理などの主要な活動に対してレビューが行われた。¹³⁾

2014年2月にはウィーンにおいてIAEA行動計画に基づいて福島第一原子力発電所事故後の放射線防護に関する専門家会合が開催され、放射線防護に係る国際基準に関して事故を踏まえて強化等すべき分野、また、事故から得た教訓について検討が行われた。¹⁴⁾

2015 年になり、第 3 回の IAEA 福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃炉に向けた取組に関する調査団が日本政府の要請に基づいて来日した。

事故炉の安全確保や廃炉対策に係るリスクの低減やその進展等について評価、助言を受けた。廃炉に係る国内実施体制の整備状況や 4 号機の使用済燃料プールからの燃料取り出し、また、汚染水対策等が進んでいることや中長期ロードマップの改訂に向けて検討が進んでいることが評価され、廃棄物管理や保管されている汚染水などに関して助言がなされた。¹⁵⁾

V. 最終報告書

約 4 年半におよぶ活動の成果として 2015 年 8 月に IAEA は福島第一原子力発電所事故に関する最終報告書を公表した。この報告書は 40 を超える国から 200 人近い専門家が参加して取りまとめたもので、事故に関する IAEA 事務局長報告と 5 分冊の技術文書からなる。

- ・ The Fukushima Daiichi Accident Report by the Director General
- ・ Volume 1/5 : Description and Context of the Accident
- ・ Volume 2/5 : Safety Assessment
- ・ Volume 3/5 : Emergency Preparedness and Response

- ・ Volume 4/5 : Radiological Consequences
- ・ Volume 5/5 : Post-accident Recovery

同報告書では、事故前の日本ではこれほどの規模の事故は全く考えられないという思い込みがあり、大規模な自然災害と同時に原子力事故が発生する可能性に対する備えが十分ではなかったこと、また、日本の規制の枠組みは責任がいくつもの機関に分散し、権限の所在が必ずしも明らかでなかったことが原因として挙げられた。

事故後、日本が規制制度を改革し、規制当局に明確な責任と権限を付与したことが評価された。¹⁶⁾

VI. 終わりに

福島第一原子力発電所事故に対する IAEA の活動の時系列を表 2 の通りまとめた。初期の対応から、その後の「原子力の安全に関する IAEA の行動計画」に基づく活動は、保障措置に関するものを除いて最終報告書の完成をもって終了している。この事故の教訓として、自然災害は時として想定を超える可能性のあるものであり、常に安全性の向上や改善を追求する安全文化の重要性が指摘された。また、安全規制を考える際には想定を超える過酷事故を視野に置きつつ検討するようになった。

表 2 福島第一原子力発電所事故に対する IAEA の活動

2011 年	3 月 11 日 21 日	東日本大震災 IAEA と CTBTO が監視データの情報交換を開始
	5 月 24 日	被害状況の調査団を日本に派遣
	6 月 20 日	第 1 回 原子力安全に関する閣僚会議(於: IAEA 本部) - 原子力安全に関する閣僚会議宣言 - IAEA に対して行動計画を取りまとめることを要請
	9 月	IAEA 総会 - IAEA が取りまとめた行動計画を承認(これ以降 IAEA はこの計画を実施)
	10 月	第 1 回 汚染地域の復旧に関する調査団を派遣
2012 年	3 月	使用済燃料と原子炉の安全性に関する専門家会合を開催(於: IAEA 本部)
	6 月	緊急時の透明性向上とコミュニケーションの有効性に関する専門家会合を開催(於: IAEA 本部)
	9 月	地震と津波に対する防護に関する専門家会合を開催(於: IAEA 本部)
	12 月	第 2 回 原子力安全に関する閣僚会議(於: 郡山) - 原子力安全に関する閣僚会議共同議長声明 福島第一原子力発電所事故からの教訓に関する専門家会合を開催(於: 郡山) 福島第一原子力発電所事故を踏まえた原子力安全の強化に関する専門家会合を開催(於: 郡山) 第 1 回 放射線からの人及び環境の防護に関する専門家会合を開催(於: 郡山) 福島第一原子力発電所事故を受けた福島県と IAEA の協力に関する覚書を締結
2013 年	4 月	第 1 回 福島第一原子力発電所の 1~4 号機の廃炉に向けた取組に関する調査団を派遣
	10 月	第 2 回 汚染された地域の除染に関する調査団を日本に派遣(フォローアップ・ミッション)
	11 月	第 2 回 福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃炉に向けた取組に関する調査団を派遣
2014 年	2 月	第 2 回 放射線防護に関する専門家会合を開催(於: IAEA 本部)
2015 年	2 月	第 3 回 福島第一原子力発電所 1~4 号機の廃炉に向けた取組に関する調査団を派遣
	8 月	福島第一原子力発電所事故に関する最終報告書を公表

－ 参考資料 －

- 1) 報告書：IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Daiichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami(16 June 2011).
報告書概要：IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Nuclear Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami(Preliminary Summary) (1 June 2011).
- 2) 閣僚会議宣言：
http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/atom/iaea/meeting1106_declaration.html
- 3) <http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/atom/iaea/pdfs/plan1109.pdf>
https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/public_information/2011/UN_report_on_international_response_to_the_Fukushima_nuclear_emergency_01.pdf
<http://tenkai.jaea.go.jp/sanko/hokokusyo-iaea.html>
<https://www.iaea.org/newscenter/focus/nuclear-safety-action-plan>
- 4) 報告書：Final Report of the International Mission on Remediation Large contaminated Areas Off-site Fukushima Daiichi NPP(15 November 2011).
報告書概要：
<http://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/04-mat07.pdf>
- 5) <http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/43900/International-Experts-Meeting-on-Reactor-and-Spent-Fuel-Safety-in-the-Light-of-the-Accident-at-the-Fukushima-Daiichi-Nuclear-Power-Plant>
- 6) <https://www.iaea.org/sites/default/files/enhancetransparency180612.pdf>
- 7) <http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/42731/International-Experts-Meeting-on-Protection-against-Extreme-Earthquakes-and-Tsunamis-in-the-Light-of-the-Accident-at-the-Fukushima-Daiichi-Nuclear-Power-Plant>
<https://www.iaea.org/sites/default/files/protection040912.pdf>
- 8) http://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/atom/fukushima_2012/gaiyo_1217.html
- 9) <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16035d/memorundam.html>
- 10) <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/298/fukushima-iaea-memorundam.html>
- 11) <https://www.iaea.org/sites/default/files/missionreport220513.pdf>
<http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140213003/20140213003-3.pdf>
- 12) https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:45026293
<https://www.iaea.org/sites/default/files/preliminarysummaryreport.pdf>
- 13) 報告書：Mission Report IAEA International Peer Review Mission on Mid- and Long- Term Roadmap Towards Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Second Mission) (12 February 2014).
報告書概要：Primary Summary Report : IAEA International Peer Review Mission on Mid- and Long- Term Roadmap Towards Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1- 4 (Second Mission) (4 December 2013).
- 14) <http://www-pub.iaea.org/iaemeetings/46522/International-Experts-Meeting-on-Radiation-Protection-after-the-Fukushima-Daiichi-Accident-Promoting-Confidence-and-Understanding>
<https://www.iaea.org/sites/default/files/radprotection0914.pdf>
- 15) 報告書：Mission Report IAEA International Peer Review Mission on Mid- and Long- Term Roadmap Towards Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Third Mission).
報告書概要：Primary Summary Report IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap Towards Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Third Mission).
- 16) <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-releases-director-generals-report-on-fukushima-daiichi-accident>
<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10962/The-Fukushima-Daiichi-Accident>
<http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/P1710/Languages/Japanese.pdf>
<http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf>

著者紹介



堀啓一郎 (ほり・けいいちろう)

日本原子力研究開発機構
ウィーン事務所長
(専門分野/関心分野)核不拡散, 保障措置,
核物質管理



山路 斉 (やまじ・ひとし)

日本原子力研究開発機構
ウィーン事務所
(専門分野/関心分野)原子力利用と地域政
策, 原子力防災

核データ研究の最前線

～たゆまざる真値の追及,そして新たなニーズへ応える為に～

第1回 多様化する原子核工学と核データのニーズ

日本原子力研究開発機構 須山 賢也, 国枝 賢, 深堀 智生
北海道大学 千葉 豪

核データとは狭義には原子核と中性子の反応の確率であるが、一般的に言えば、原子核の物理的变化や反応の様子を表現するデータの事である。我が国が原子力開発に着手して以来、核データの開発は重要な技術開発のテーマであり、現在我が国の核データライブラリ JENDL は世界で最も高い精度と完備性を兼ね備えた核データファイルの一つとして国際的に認知されている。本連載講座では、原子力開発に関係している方々を対象とし、シグマ特別専門委員会の監修を経て、核データ開発の意義、核データの開発の最新の状況、国際的な動向、そして今後の開発の方向性を解説する。

KEYWORDS: Nuclear Data, JENDL, Needs, Diversifying Applications

I. 「核データ」ってなに？

一般に原子力分野で核データと言えば、中性子が原子核にぶつかって核反応を起こす確率を表すデータの事を言うことが多い。これは、核反応の確率の単位が面積の単位になるために「中性子反応断面積」と呼ばれる。

一方で広義の核データもある。原子核の反応に関するデータだけではなく、放射性壊変の半減期、その際に放出される放射線のエネルギーや強度等も原子核に固有の物理的事象に関係したデータであり、それらを含めた総称を「核データ」と言う場合がある。したがって、核データを論じる場合には極めて幅広い原子力の応用先と物理量をカバーしなければならないし、分野によって核データに対するイメージが異なることも認識しなければならない。すなわち、核データはあらゆる原子力関係の技術開発の基盤となっている。

本連載講座では、「核データ」と呼ばれる、「計測もしくは評価」によって得られた、ぱっと見ただけでは無味乾燥な数字の羅列、しかし長年にわたって世界中の関係者が情熱を注いで育ててきたデータ群についての現状と課題を、今回を含め8トピックスでお届けする予定である。

Cutting-edge studies on Nuclear Data for Continuous and Emerging Need (1) ; Diversifying Nuclear Applications and Need for the Nuclear Data: Kenya Suyama, Satoshi Kunieda, Go Chiba, Tokio Fukahori.

(2017年7月26日 受理)

II. 「核データ」は何に使われるの？

核データは、原子核の主として中性子との反応やその放射性崩壊に関わる全てのデータを含んだ概念であるため、原子核が主役となるあらゆる分野で使われるデータであると言って過言ではない(図1)。

核データ開発の第一の動機はエネルギー分野での利用であり、原子力開発の初期から精力的にその改良が続けられてきた。中性子と原子核があり、その反応が二つを結びつけるものであれば、当然のように「核データ」が登場する。原子炉内での中性子の吸収、散乱、核分裂等に伴う生成消滅や飛行の挙動はボルツマン方程式で表されるが、核データはボルツマン方程式に入力することが必須のデータであるため、その精度向上は、原子力開発の

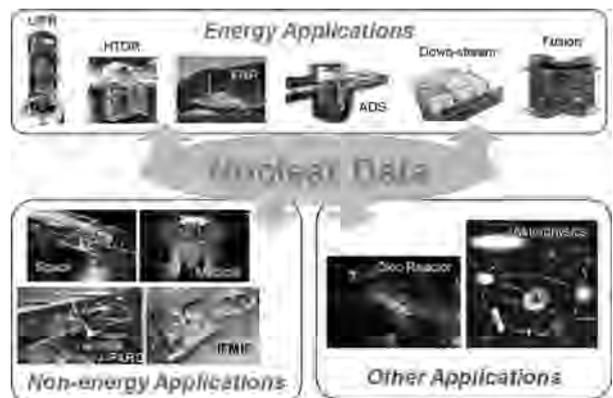


図1 核データ利用の広がり

初期段階から、原子炉の様々な特性の評価精度向上に直結する重要な技術開発項目である。

また、エネルギー分野とは異なる放射線利用でも核データは利用される。放射能が発見された当時から放射線の医療分野への応用は試みられていたが、現在ではさらに先端的な手法として加速器や原子炉を用いたがん治療が研究されており、最近は特に荷電粒子を使った治療も注目を浴びている。このような施設の設計において第一にすべきは、検討している体系において照射したい部位における粒子のエネルギー分布やどの程度の粒子数が得られるかをシミュレーションすることである。その際、入射粒子に対する核データが必要なのはもちろんであるが、核反応で生成する二次粒子まで含めた核反応の核データも必要となる。放射線はがんも殺すが、浴びすぎると健康被害がある。がん細胞の照射量予測精度の向上が患者の利益になるため、患者の治療計画や被ばく管理のための放射線輸送計算が必須となり、核データは不可欠なデータとして用いられる。

その他、福島第一原子力発電所事故対応においても、核データは重要な基礎データを与えている。格納容器内の放射線分布の評価計算や燃料デブリの臨界安全性を評価するには原子炉の臨界を評価するのと同様な計算手法がそれぞれ適用されているし、半減期や放射線の放出確率といった「広義の核データ」も広く使用されている。さらに、燃料デブリの発生する放射線のうち中性子は、アクチノイド元素の自発核分裂のみならず¹⁷O、¹⁸O(α , n)反応等によっても発生するため、反応閾エネルギーが低い幾つかの軽い原子核に対する α 粒子入射の断面積も重要な基礎データとなる。

また、宇宙における元素合成の研究でも核データが必要とされるなど、核データは理学から工学までの、原子核が主役となる様々な最先端科学分野において、必要不可欠なデータとしての役割を果たしている。

Ⅲ. 核データライブラリの概要

上に述べた様に、核データを利用する目的は様々である。今やその利用目的は原子力や放射線工学のみならず、基礎科学や医療分野等々と多岐にわたっている。よって必要とされる断面積はもちろん核分裂断面積だけでは無い。また、反応する中性子のエネルギーは数GeVの高エネルギー領域から熱中性子領域を含む非常に広範な範囲に及んでおり、非常に多様なデータが核データには含まれている。

現在、核データと呼ばれるファイルには、「中性子汎用データライブラリ」と呼ばれるものと「特殊目的ファイル」と呼ばれるものがある。

中性子汎用核データライブラリとは、ほぼ全ての安定な核種および半減期の長い主要な不安定核種に対して、

表1 主な JENDL 特殊目的ファイル

ライブラリ名(略称)	概要
JENDL-4.0/HE	中性子及び陽子入射反応断面積を格納した高エネルギーライブラリ (< 200MeV)
JENDL/DDF-2015	中性子から原子番号 Z=1-104 の同位体 (約 3200 核種) を網羅した崩壊データ
JENDL/AN-2005	α 粒子入射核反応による中性子生成断面積
JENDL/PD-2004	140MeV までの光子入射反応データ

広範なエネルギー領域における中性子核反応断面積データ全てが収録された応用範囲の広いライブラリの事を指す。我が国では JENDL¹⁾、米国では ENDF²⁾、欧州諸国では JEFF³⁾ と呼ばれるライブラリがそれにあたる。それぞれの国や組織でその品質や完備性を高める研究が進められているが、これらは、データの品質や規模、そしてこれまでの利用実績により「世界3大核データライブラリ」と称されている。ロシアや中国においても開発が継続されているが、近年は特に中国の躍進が見られる。

特殊目的ファイルとは、放射性廃棄物の処分のための放射化計算とか核融合のための中性子輸送計算といった特定の応用分野で必要となるデータに着目してまとめられたものである。日本では多様なニーズに極力応えるために、中性子汎用核データライブラリの開発と並行して、特殊目的ファイルの開発も進められてきた。表1に主な JENDL 特殊目的ファイルを示す。

特殊目的ファイルは、核反応断面積だけではなく不安定核の崩壊データや核分裂による核種生成割合も含んでおり、原子炉の計算を行う場合には、中性子汎用データライブラリと組み合わせて使用される事が多い。

Ⅳ. 核データの作り方

現在、原子核の性質である核データを純粋な理論計算のみで導くことは世界最先端の原子核物理を持ってしても不可能である。これは原子核が、中性子と陽子が核力と呼ばれる強く複雑な力で結合した有限量子多体系であることと、核力そのものが未解明であるためである。ゆえに、核データの作成におけるキーワードは、断面積等の「測定」、種々のパラメータを含む「核反応モデルあるいは経験式」と「評価」ということになる。核データは実験によって得られた膨大なデータの中から、評価をする人たちが、「このデータが物理的に正しいだろう」「これらのデータの方が臨界実験や遮蔽実験の解析結果との一致が良い」「核モデル計算との一致はこちらの方が良い」といった情報を総合的に整理して作成する。さらに必要なすべての核データが実験で求められるはずもなく、実験データの存在する他の反応との整合性も考えながら、モデル計算により補ってゆく作業も加わる。このような、実験値と計算値の比較や評価担当者の経験に基づく「専

専門家による判断」を取り入れながら核データをまとめるのが「評価」と呼ばれるプロセスである。

我が国では、主に原子力機構の核データ研究グループがその作業を実施している。この評価作業は非常に地道なものであり、多くの知見・経験・ノウハウによって支えられるプロセスである。また、評価を行うべきデータは核データの利用分野が多岐に亘っていることから、国内の多くの専門家の意見を集約するためのシステムとして、原子力機構に「JENDL 委員会」を、日本原子力学会に「シグマ特別専門委員会」を設置し、核データ評価に直結するニーズを幅広く集約して核データ評価に反映させる体制が構築されている。

評価された核データが、前述した「中性子汎用データライブラリ」や「特殊目的ファイル」と呼ばれるファイルであり、それらは、国際的な標準形式となった ENDF-6 フォーマットで記録保存されている。そのため、我が国の JENDL も諸外国でも参照されることとなり、核データの作り方、すなわち「核データ評価」は当然のように国際的活動である。

核データを利用する目的は様々であるが、それに対応するために、究極的には全ての反応粒子やエネルギー領域を網羅する、すなわち完璧な完備性を備えた真の意味での汎用核データライブラリの開発・整備も考えられる。これは欧州のグループが取り組んでいるライブラリ TENDL⁴⁾によって、計算コードによる評価値を全面的に採用することで実現されている。これは未来志向の手法であり、核モデルのみによる計算に頼る部分が非常に多いため現状では信頼性を疑問視している利用者が少なくない。しかし、今後問題になっている点の解決を図っていくことで、核データ評価の可能性をさらに広げることにつながるだろう。

V. 核データ開発を進める体制

我が国の JENDL、米国の ENDF、欧州の JEFF、それぞれが独自の目的によって開発を進めており、お互いが国際協力を進めながらライバルとして切磋琢磨することによって精度や完備性を高めてきている。ここで読者は不思議に思われるかもしれない。「なぜ各国は独自のライブラリ開発を堅持しているのか？」と。

その第一の理由は、核データの測定には多くの不確定要素が伴い、核反応モデル計算においても不確定さを避けることはできないため、数%以上の誤差を含む核データの実験データを元に 0.1% 程度の精度で決まっている炉物理量(典型的には実効増倍係数)を正確に再現できるデータセットを構築する必要があることによる。

当然、そのやり方は一通りではなく、多くの専門家が知識を提供しながら行っているが、各国における原子力や核物理教育及び研究には独特の手法があり、それに

よって最適評価の方法も異なる。すなわち核データは、応用する対象や条件が何であろうと普遍的な、謂わば“物理定数”として位置付けられる数値データであるものの、世界共通に使えるほど(光の速さやボルツマン定数のように)正確に核データを導くことのできる評価手法は確立されていないのが現状であって、国際協力が行われている研究が一部あるものの、基本的には各国が独自で研究開発を進め、知見の共有や切磋琢磨を繰り返すことによってお互いの進展が促進されている。

もう一つの理由は、原子力開発の方向性が国によって異なることである。多くの場合、エネルギー源の獲得が原子力開発の出発点である。軽水炉なのかガス炉なのか、あるいは高速炉や核変換技術開発まで視野に入れるか否かで必要な核データの種類や要求精度は異なる。少なくとも数年～5年単位の時間軸で見た場合は、各国の原子力開発における方向性は必ずしも一致しないため、その目的に資する核データを自らの力で生産することは必要不可欠である。よって、理学と工学の接合領域に位置する核データは、国毎に限られた人材や予算を考え、そして国の需要や事情とも照らし合わせつつ、合理的な体制と方針の下で開発がなされる。

例えば 2010 年に公開されたわが国の核データライブラリの最新版 JENDL-4.0 は、必要性が謳われていた原子燃料の高燃焼度化のための、核分裂生成核種やマイナーアクチノイド核種に対する断面積の評価の成果であった。その後、近年我が国でも大きな課題となりつつある原子炉施設の廃止措置でのプラントの特性評価に必要とされる放射化解析用の断面積の整備が進行している。

もちろん、加速器駆動未臨界システム(ADS)のようにイノベーションに夢を膨らませるような研究で核データが必要になった場合、オーダーメード的な核データが欲しくなることもある。このような国別の事情や要求に応えるためにも、各国における核データ関連活動の活性化は、今後の原子力開発を進める上で重要な課題と言える。

VI. 絶え間なく多様化するニーズへの対応

核データは自国のニーズと国際協力(競争)によって育まれるものである。そのため核データ開発の歴史を見れば、核データがその当時の原子力開発の方向を反映し、時々必要とされる分野をターゲットとして発展してきた事がわかる。

我が国独自の核データライブラリである JENDL の第一版は 1977 年に JENDL-1 として公開された。この JENDL-1 は高速炉関係者の強い要望により開発されたもので、主な適用先は当然高速炉の炉心設計であった。当時は国産高速炉開発の機運が高まっていた頃であり、

数多くの技術・研究開発分野の一つとして、核データが重要な位置付けにあったことが分かる。

その後、高速炉の開発が遅れ軽水炉の利用が長期間に渉る中で、軽水炉技術のさらなる成熟が求められ、軽水炉での最新核データの適用が強く求められるようになり、核データ研究の目的の一つに軽水炉側からのニーズに応える事が加えられた。そして、JENDLは版を重ねていくに従いその応用先に核融合炉、軽水炉(JENDL-3から)が加えられるだけでなく、放射線遮蔽や廃棄物管理(崩壊熱評価)のための核データも整備されていった。

また、近年の計算機シミュレーションの世界では、Verification and Validation(V&V)の考え方が導入され、シミュレーション結果の持つ不確かさを正しく評価することの重要性がクローズアップされている。他分野に先んじて核データの世界では中性子と原子核の反応断面積そのものに加えて、評価値が有する「不確かさ」の情報が重要とされ精力的な検討が行われてきた。これは、応用分野において核データが実用上十分な精度を有するであろうことが広く認識されるようになり、核データを用いて得た予測値と共に、それがどの程度信頼できるかという、より高度な段階に関心が移ったことによるものと言える。核データの信頼性の進展とそれを利用する解析コードの信頼性の向上は車の両輪の如くであり、両者が共に前進して初めてV&Vが高度化してゆくものである。実際、ADSなどの次世代原子力エネルギーシステムを含む核データの応用分野では、この不確かさの定量化が非常に大きな話題となっている。

さらに、2004年には核データファイルが扱うエネルギー上限を従来の20MeVから3GeVまで拡張したJENDL高エネルギーファイル(JENDL/HE-2004)が開発、公開され、高エネルギー領域、また陽子入射の核データの整備が行われるようになった。これは原子力エネルギーシステムのみならず、物質科学や医療応用に利用され始めた加速器の遮蔽設計からの強いニーズによるものである。

これらの例が示すように、核データに対するニーズは絶え間なく変化し、また途切れることは無かった。それに対して我が国の関係者は、その時その時のニーズをキャッチして活動の広がりや深化を求めて来た。核データニーズは核計算手法の進展と同期して初めて意味のあるニーズとなるが、それは今後も変わることなく続いていくだろう。

VII. 我が国の核データの未来

核データとは、原子核や原子に関する科学的探究による成果を人類が利用可能にする、つまり、原子核・原子分野において理学と工学の橋渡しをする重要な技術であると言っても過言ではない。このような技術は社会に

にとって重要な資産と言える。一方で、無制限に研究を行って良いという話は今の時代には成立しない。

核データは物理量であり真値と言える値が存在する。従って、全ての核データについて真値が明らかになった時点で、原子核物理的な探求は別として、原子力利用に資するための核データの研究は終わりを迎える。また、応用という観点からは、実際の適用対象(例えば原子炉の臨界量の予測や放射線施設の遮蔽設計)において本当に十分に必要な精度が達成されているのであれば、もしくは核データに起因する不確かさがその他の不確かさ要因と比べて十分に無視できる程度であることが示されれば、やはり核データ研究は終わりということになる。

我が国の核データJENDLは数回の改訂を重ね、2010年にはJENDL-4.0の開発が完了し、公開された。当時の海外の他の核データファイルと比較しても優れた性能が示されており、「世界最高」といっても過言ではなかった。予算と人的資源に限られた状況下で、「JENDL開発の今後はどうあるべきか」という問いが発生するのは自然なことであり、それに対する回答を明らかにするため、2013年に「JENDL開発検討小委員会」が原子力機構のJENDL委員会の下に組織された。この小委員会は研究機関、メーカー、大学のさまざまな分野の専門家で構成され、1年の活動を経て、一冊の報告書に答申をまとめている⁵⁾。

この報告書では「終わり」はまだ先の話であることが述べられている。すなわち今後も核分裂エネルギー応用を主要な柱としながらも、医療におけるビーム応用など核データ応用の裾野を広げる努力が必要であること、そして種々の応用分野に提供される核データを開発する技術は重要な国家資産として位置づけられるべきで、これまでに培われてきた技術体系を失うことなく、福島第一原発の廃炉作業や設計パラメータの不確かさの定量化を重視するという原子力規制の方向性に対処するため、継続した核データ研究が必要であると述べられている。

また今後、評価手法の観点から核データ研究に大きな影響を与える可能性があるのは、ビッグデータを使った深層学習(DL)や人工知能(AI)である。核データ評価は大量のデータから最適値を得る活動であるためDLやAIとの親和性が高く、それらの技術が核データ評価に劇的かつ前向きな変化をもたらす可能性がある。しかし仮にAIで核データを評価するようになったとしても、核データを作り使う者として、核データに関する正しく深い知見は、国家資産と言える基盤技術として必須である。

国産エネルギーの獲得が我が国における原子力開発の出発点であるなら、その開発をもっとも底辺で支える核データを自らの力で生産出来る能力の維持発展は必要不可欠である。核データ分野に情熱を注いで来られた多くの先輩方の気持はそこにあったのではないかと思う。福

島事故後、原子力開発の目的を見失いがちになる今こそ、原子力技術の根幹と言える核データにかかわる活動の存在価値が問われているとも言える。

未知なものを探し出してそれを明らかにしようとする理学のベクトルと、実現したいものを可能な限り合理的に実現しようとする工学のベクトル、これら2つの、一見、全く異なる方向を向いているようなベクトルで構成される空間は、限らない広がりをもっている筈である。我々は新しい原子力の自主開発を支える新しい世代の参入を強く期待している。

VIII. まとめと本連載講座の全体像

既に述べたように、一口に核データ研究と云ってもその対象とする範囲は極めて広範である。本連載講座は、シグマ特別専門委員会の協力を得て、核データ研究の中でも幾つかの話題性のあるテーマに絞り、下記の通り本稿を含め計8回を予定している。

- 第2回：「共鳴領域における核データ測定と理論解析」
- 第3回：「核分裂データの最前線：実験と理論」
- 第4回：「核図表一壯大なる原子核の地形図一」
- 第5回：「高エネルギー領域への挑戦」
- 第6回：「IAEAの核データ事業」
- 第7回：「核データの利用のために一マイクロからマクロへの橋渡し一」
- 第8回：「核データライブラリ JENDL の進化」

研究の意義、現状と課題、そして最近の研究における進展や今後の展望を可能な限り分かり易く解説できるように努めたい。

— 参考資料 —

- 1) K. Shibata et al., *Nucl. Sci. Technol.* 48(1) 1-30 (2011).
- 2) M. B. Chadwick et al., *Nucl. Data Sheets*, 112, 2887-2996 (2011).
- 3) A. Santamarina et al., (Eds), JEFF Report 22 (2009).
- 4) A. J. Koning and D. Rochman, *Nuclear Data Sheets* 113, 2841-2934 (2012).
- 5) JENDL 委員会 JENDL 開発検討小委員会, JAEA-Review 2014-046, 日本原子力研究開発機構 (2015).

著者紹介



須山賢也 (すやま・けんや)

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター
(専門分野/関心分野) 原子炉物理, 計算コード開発, 核データ, 国際協力



国枝 賢 (くにえだ・さとし)

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター
(専門分野/関心分野) 核データ, 原子核物理, 原子炉物理, 放射線工学



千葉 豪 (ちば・ごう)

北海道大学 工学研究院
(専門分野/関心分野) 原子炉物理, 核データ, 放射線輸送計算



深堀智生 (ふかほり・ときお)

日本原子力研究開発機構 原子力基礎工学研究センター
(専門分野/関心分野) 核データ, 原子核物理, 原子力科学, 国際協力, 人材育成



From Editors 編集委員会からのお知らせ

— 最近の編集委員会の話題より —

(9月5日第2回論文誌編集幹事会, 第3回学会誌編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・平成29年6月16日~7月15日に英文誌へ29論文, 7月16日~8月15日に英文誌へ26論文, 29年6月16日~8月15日に和文誌へ3論文の投稿があった。
- ・投稿ガイドラインおよび審査・査読に関する留意点(担当編集委員)の微修正と, 審査査読要領の一部変更を了承した。
- ・特許として公開された内容を論文としてまとめた原稿は受理可能であることを確認した。
- ・東電福島第一事故関連和文論文及び学会誌掲載解説記事の英訳出版WGの進捗状況が報告された。内容, 経費見積, 段取り, 補助員人件費, 作業スケジュール等に関して整理して, 次回の幹事会で検討後に総務財務委員会に正式に諮ることとした。
- ・学会賞論文賞の編集委員会からの推薦に関して, 各分野からの推薦一覧

が示された。編集委員の採点が欠落していて総合点が悪い数編の論文に関して, 至急担当した編集委員に点数を付けてもらい, その結果も含めて推薦候補を再検討することとした。

- ・編集委員の遅延による審査遅滞が発生している事に関して, 対応策を検討した。

【学会誌関係】

- ・木下委員長より, 10月号・12月号の記事企画および60周年記念号企画について, 理事会へ報告した結果について説明があった。
- ・8月号アンケート結果の報告があった。掲載記事や今後の記事企画に対して前向きな要望が多かった。
- ・2017年秋の大会・企画セッションの記事企画化の進捗状況の報告があった。
- ・巻頭言, 時論, 各記事の企画の進捗状況について検討した。

編集委員会連絡先 <hensyu@aesj.or.jp>

福島環境回復に向けた取り組み

第6回 安全性の確保を大前提とした除去土壌等の再生利用

日本原子力研究開発機構 岡田 尚, 武田 聖司, 仲田 久和

福島県内の除染活動で発生する除去土壌等は、最大2,200万 m^3 と推計されており、中間貯蔵施設内保管後、福島県外で最終処分計画であるが、その実現に向けて、処分量を低減することが鍵である。環境省は、除去土壌を適切に処理し放射能濃度の低い土壌とした再生資材を、適切な管理の下で活用する再生利用の方針を示した。本講座では、除去土壌等の減容・再生利用の意義と、再生利用の基本的考え方に関する追加被ばく線量の考え方等について説明する。

KEYWORDS: Fukushima Daiichi accident, removed soil and waste, limited use, volume reduction and recycling, radiation dose, disposal, risk communication

I. はじめに

事故後6年が経過し、福島県内の市町村除染作業も終息を迎えつつあり、今後は、福島県内除染活動で発生している推計1,600万~2,200万 m^3 の除去土壌等の処理・処分が大きな課題である。現在、県内各地の仮置場に保管され、順次、中間貯蔵施設に輸送されつつある除去土壌等は、中間貯蔵開始(平成27年)後30年以内に福島県外で最終処分を完了することになっている。環境省は、大量の除去土壌等の県外最終処分の実現に向け、最終処分量を低減することが鍵であるとして、平成28年4月に「中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略」¹⁾(以下「技術開発戦略」)を、同年6月に「再生資材化した除去土壌の安全な利用に係る基本的考え方について」¹⁾(以下「再生利用の基本的考え方」)を公表した。日本原子力研究開発機構(以下「原子力機構」)は、これらの策定・検討に携わってきており、本講座ではこれらの概要を解説する。

II. 除去土壌等の減容・再生利用

1. 除去土壌等の発生量推計

「平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地

Challenges for enhancing Fukushima environment resilience (6) ; The use of the reclaimed materials derived from the removed soil on the basis of the security : Takashi Okada, Seiji Takeda, Hisakazu Nakata.

(2017年6月6日 受理)

■前回タイトル

第5回 放射性物質を含む廃棄物等の総合管理

震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」(以下「特措法」)に、除去土壌は除染特別地域または除染実施区域に係る土壌等の除染等の措置に伴い生じた土壌であり、除去土壌等は除去土壌および土壌等の除染等の措置に伴い生じた廃棄物と定義されている。除染作業実績や除染計画に基づき、土地利用分類ごとに除去土壌等の発生量および放射能濃度区分を整理し、また土質について、住宅、学校、道路等施設から発生する除去土壌は砂質土系が多く、農地、森林等は粘性土が多く発生すると想定し、除去土壌等の発生量が推計されている(表1)¹⁾。

2. 減容・再生利用と最終処分の物流の検討

除去土壌等の推計は、粘土、シルト、砂、礫である土壌の発生量と、除染作業で混入した草木等可燃廃棄物の焼却処理による焼却灰の発生量で見積もられ、そのうち土壌は9割である。最終処分量を低減するためには、可燃廃棄物は焼却処理等で減容することができるが、土壌の減容は困難であり、除去土壌は、適切な処理を行い放射能濃度の低い土壌を再生資材として、適切な管理の下、再生利用することで最終処分量の低減を目指すこと

表1 除去土壌等の発生量推計(平成27年3月) (万 m^3)

	放射能濃度(Bq/kg)	砂質土	粘性土	物量
除去土壌	$\leq 8,000$	595	378	973
	$8,000 < \sim \leq 20,000$	255	362	617
	$20,000 < \sim \leq 70,000$	57	305	362
	$70,000 < \sim \leq 80,000$	1	10	11
	$80,000 < \sim \leq 100,000$	2	7	9
	$> 100,000$	0	1	1
廃棄物焼却灰	-	-	-	155
計		910	1,063	2,128

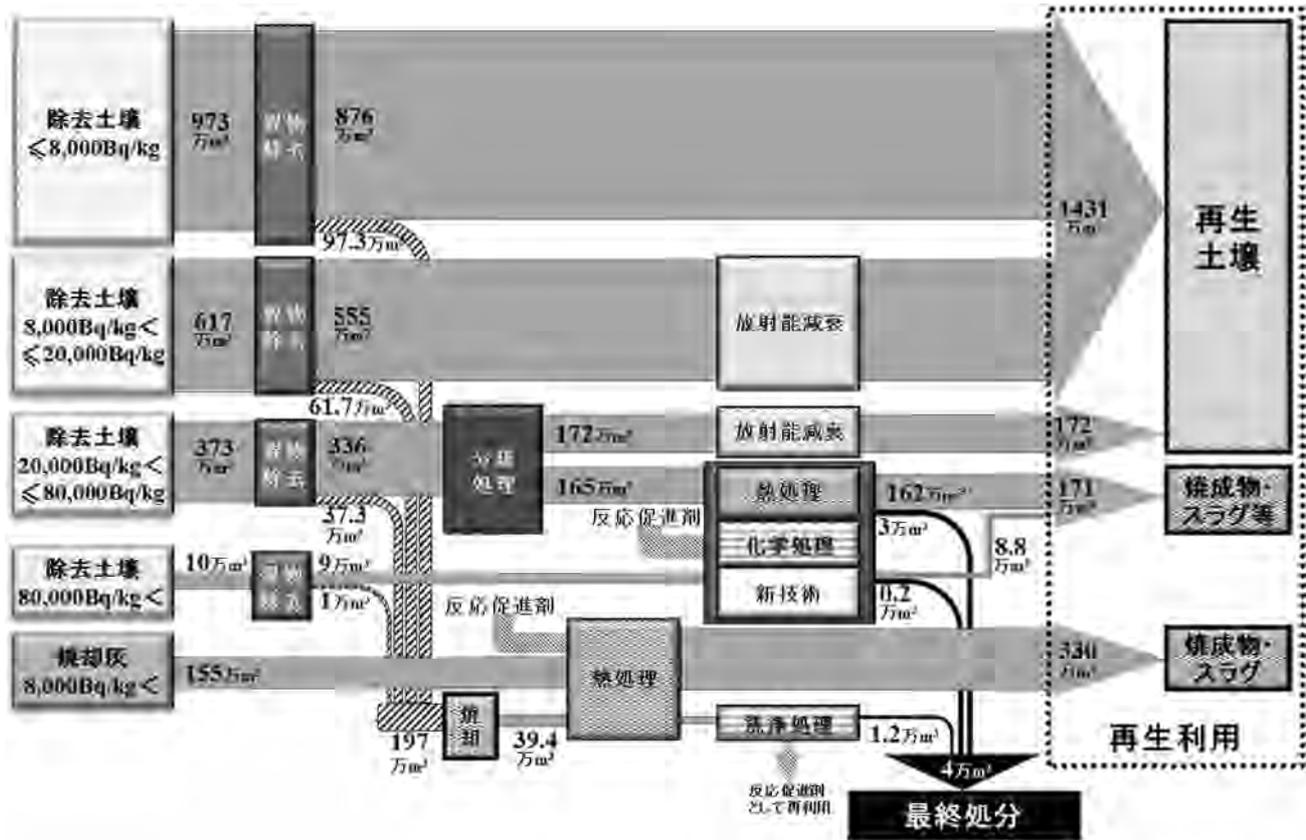


図1 除去土壌等の減容・再生利用と最終処分の物流検討図

になる。現時点で考えられる適切な処理による再生資材化、および再生利用量と最終処分量の試算が図1の通り示されている¹⁾。本試算は、再生利用の基本的考え方より、放射能濃度レベルが8,000Bq/kg以下を再生資材として活用するケースである。土木資材として用途に応じた品質調整は必要と思われるものの、異物除去だけで使用できる除去土壌は、全体の5割弱(973万m³)存在する。また異物除去後、放射能減衰を待つて使用できるものは、3割程度(617万m³)ある。よって異物除去以外の処理が必要なものは、焼却灰も含め2割強である。

除去土壌中のセシウムは、粘土やシルトなどの細粒分に比較的強く吸着するので、放射性セシウムの含有率は砂・礫よりも細粒分のほうが高い。事故後種々の試験が実施され、放射性セシウムの含有率の低い、すなわち放射能濃度の低い砂・礫と含有率の高い細粒分が、分級処理技術により分別できることが確認¹⁾されている。分級処理技術は、既に重金属汚染土壌の処理方法として従来から多用され、また大量かつ比較的安価な処理が期待できる。

この他の処理技術として、熱処理、化学処理等の試験がなされてきている¹⁾。熱処理は、細粒分や砂・礫などの土質に関わらず適用ができ、極めて低い放射能濃度の生成物(焼成物や溶融スラグ)が得られている。ただしセシウム除去のために反応促進剤を相当量添加し、また気化した放射性セシウムを排ガス・フィルタ等で捕集した

後、高濃度の放射性セシウムを安定した形態で回収するためのシステムが必要である。

化学処理も、土質に関わらず適用可能で、分級処理よりも除染効果が高いものの、土壌に強固に吸着しているセシウムを溶出するために、強酸などの試薬を使用することから、廃液処理システムおよび放射性セシウムを安定した形態で回収するためのシステムが必要である。

以上のことから技術開発戦略では、技術の成熟度が高く、大量かつ安価な処理が期待できる分級処理技術について優先的に実用化を図り、熱処理、化学処理等は、分級処理後に発生する放射能濃度の比較的高い土壌に適用することを基本としている。また、これら処理に伴う二次廃棄物発生への考慮も重要であり、その発生量も含め、今後の精査が必要としている。さらに、コスト、処理効果・効率、実用可能性等の観点から優位性の認められる技術を選定し、段階的に実用化を図ることとし、処理を実施するための基盤技術の開発を今後10年程度で一通り完了することを目指している。

3. 再生利用の追加被ばく線量の考え方

図1の通り、最終処分量は数万m³まで低減させることが可能であるが、それには除去土壌等を適切に処理し、放射能濃度を低減させた再生資材の活用が必要である。

再生利用の基本的考え方には、安全確保を前提とした再生利用のために、どんな濃度の再生資材を、どのよう

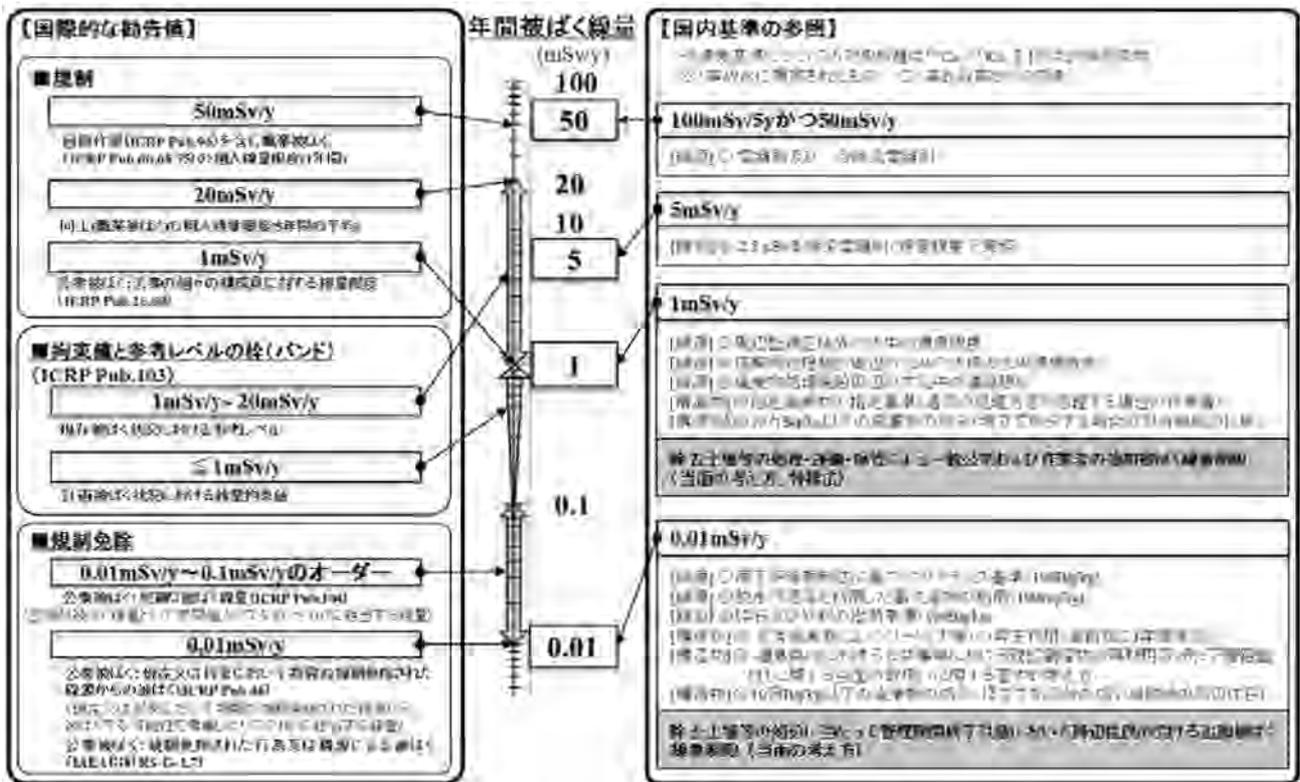


図2 除去土壌等の再生利用における追加被ばく線量の参照すべき国際的勧告値と国内基準

に使用すれば良いかが示され、またその検討の詳細が、環境省ホームページ「県外最終処分に向けた取組み」¹⁾の除去土壌等の再生利用に係る放射線影響に関する安全性評価検討ワーキンググループ関係資料に示されている。ここではそれらの概要を分かり易く説明する。

はじめに、放射線防護に関する国際的な考え方を基本に、また国内の原子力施設由来の廃棄物および災害廃棄物等の処理・処分等に係る国内の既往の法令や線量基準との関係性を踏まえつつ、除去土壌等の再生利用における追加被ばく線量の考え方が整理された。国際放射線防護委員会(ICRP)では、放射線による被ばくを制御することにより、放射線から人体を防護することを目的とし、被ばく状況を「緊急時被ばく」、「現存被ばく」、「計画被ばく」の3つに分類して、防護の基準を定めている。このうち平常時(計画被ばく状況)では、公衆の線量限度は年間1mSvが勧告(ICRP Pub.60)されており、現存被ばく状況においては、年間1~20mSvの範囲の下方部分から適切な参考レベルを選択することとし、長期目標としては参考レベルを年間1mSvとすることが勧告(ICRP Pub.103)されている。また勧告(ICRP Pub.104)においては、放射線防護に係る規制から除外する際の考え方として「年に0.01~0.1mSvの大きさのオーダー」は、個人に何ら懸念を生じさせないと見なされるリスクに相当し、かつ自然バックグラウンド放射線の変動と比べて小さい線量レベルにも相当するとされ、放射線による障害防止のための措置を必要としないレベルに相当する値で

あるとしている。

特措法基本方針においては、除染等の措置による長期的な目標として追加被ばく線量が年間1mSv以下となることを目指すこととしており、追加被ばく線量が年間1mSv以上となる区域において除染実施計画を定める区域を指定することとしている。また、除去土壌の減容化、運搬、保管等に伴い周辺住民が追加的に受ける線量が、年間1mSvを超えないようにすることとしている。

事故由来の放射性物質の影響を受けた廃棄物の再利用については、平成23年6月3日付け原子力安全委員会「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の影響を受けた廃棄物の処理処分等に関する安全確保の当面の考え方について」(以下「当面の考え方」)で、廃棄物を再利用して生産された製品は、市場に流通する前にクリアランスレベルの設定に用いた基準(年間0.01mSv)以下となるように、放射能濃度を適切に管理すること、リサイクル施設等での処理等に伴い周辺住民の受ける線量は、年間1mSvを超えないようにすること、さらに処理等に伴う作業員の受ける線量についても、可能な限り年間1mSvを超えないようにすることが望ましいとされている。

これを踏まえ、環境省は平成23年6月23日「福島県内の災害廃棄物の処理の方針」で、再生利用について利用する時点でクリアランスレベルを超える場合であっても、被ばく線量を年間0.01mSv以下に低くするための対策を講じつつ、管理された状態で利用することは可能

としている。図2に、除去土壌等の再生利用による追加被ばく線量の考え方を整理する上で参照すべき国際的勧告値と国内基準を示す。

特措法の基本方針において、「減容化の結果分離されたもの等汚染の程度が低い除去土壌について、安全性を確保しつつ、再生利用等を検討する」としており、除去土壌の再生利用は、管理体制や責任体制が明確となっている公共事業等における盛土材等の構造基盤の部材に限定し、追加被ばく線量を制限するための放射能濃度や覆土等の遮へい措置を講じた上で、適切な管理の下で限定的に利用することを、基本方針としている(表2)。追加被ばく線量の制限は、覆土等の遮へい措置を講じた供用中の状態で周辺住民・施設利用者の追加被ばく線量が、放射線による障害防止のための措置を必要としないレベル(年間0.01mSv)としている。また、覆土等の遮へい措置を講じるまでの再生資材の取扱い、すなわち盛土等の施工等における周辺住民・作業者の追加被ばく線量は、年間1mSvを超えないように制限されている。

なお、再生利用の安全性を確保するため、再生資材の出荷元が限定され、公共事業等において施工・維持管理体制が整備されていること等を前提に、以下を講じることで、追加被ばく線量を制限することとしている。

- ① 計画・設計時における使用する場所、事業種、部位の限定
- ② 計画・設計に応じた減容処理・出荷時における再生資材の放射能濃度の制限
- ③ 施設の施工・供用における使用・保管の管理、および持ち出しの管理、遮へい措置、および飛散・流出

表2 除去土壌等の再生利用の基本方針

適用法令	特措法
目的	原子力発電所の事故に伴って環境に放出された放射性セシウムに汚染された区域に係る土壌等の除染に伴い生じた土壌等を、適切な管理の下で、用途を限定し、被ばく線量を制限するための適切な措置を講じた上で利用する
管理項目	・使用の限定(保管場所・使用場所・持ち出し管理等) ・追加被ばく線の制限(放射能濃度、遮へい、飛散・流出の防止等)
使用制限	利用先は、管理主体や責任体制が明確となっている公共事業等における盛土材等に限定し、追加被ばく線量を制限するための再生資材の放射能濃度の設定および覆土材等の遮へい措置を講じた上で、適切な管理の下で使用
被ばく線量制限	放射線による障害防止のための措置を必要としないレベル(年間0.01mSv)：供用中、周辺住民・利用者(施工時・修復時、周辺住民・作業者の追加被ばく線量は、年間1mSvを超えないように濃度等を管理)
備考	除去土壌等の再生利用は、原子炉等規制法のクリアランス制度のように放射線防護に係る規制の枠組みから除外し、制約のない自由な流通を認めるものとは異なり、適切な管理の下で実施される

の防止措置

これらの措置を講じ、追加被ばく線量が年間1mSvを超えないようにすることで、作業者は放射線防護のための特別な措置を講じることなく作業ができる。ただし、周辺環境が一定程度汚染されており、電離放射線障害防止規則(以下「電離則」)、または東日本大震災により生じた放射性物質により汚染された土壌等を除染するための業務等に係る電離放射線障害防止規則(以下「除染電離則」)の対象となる場合は、当該規則を適用し、作業者の追加被ばく線量は、5年で100mSvかつ年間50mSvを超えないことを遵守することになる。

4. 再生資材の放射能濃度の制限

再生資材の放射能濃度は、万一災害が発生し再生利用先の構造物が損傷した場合でも、速やかに補修等の作業が電離則または除染電離則の適用対象外の濃度で、かつ特措法の規制体系における斉一性も考慮して、8,000 Bq/kg以下を原則としている。再生資材の放射能濃度は、均一と仮定し評価され、平均的な濃度レベルとして「再生利用の基本的考え方」に、再生資材のいくつかの用途を想定してそれぞれの再生利用可能濃度が示されている¹⁾。なおこの値は、平成28年3月時点の¹³⁴Csと¹³⁷Csの存在比を基に算出しており、今後、時間経過とともに空間線量率への寄与が小さい¹³⁷Csが大部分を占めるようになるため、1mSv/年相当濃度は変化する前提で提示されている。

再生利用における放射能濃度レベルの導出は、想定した用途の施工から供用の全体で通常想定されるシナリオと被ばく経路を対象に、再生資材中の単位放射性セシウム濃度(1Bq/g)による追加被ばく線量を評価した。この結果から作業者および一般公衆に対する全ての被ばく経路に対して追加被ばく線量が、年間1mSvを超えない条件を満足する再生資材の放射性セシウムの濃度を算出し、それらの最小値を想定した用途の年間1mSv相当濃度レベルとした。なお、シナリオやパラメータの設定にあたっては、用途ごとの作業工程や施設利用の情報を基本とした。評価モデルは、既往のクリアランスレベル評価の際の設定を参照し、現実的なシナリオやパラメータを設定、不確実性の大きいパラメータは安全側の値を設定した。また、供用中の災害による土木構造物の変状・崩壊を想定し、災害時および復旧時の作業者および一般公衆が受ける追加被ばく線量が年間1mSvを超えないことの確認を行った。表3に用途ごとの年間1mSv相当濃度レベルと、供用中の周辺住民や施設利用者の追加被ばく線量が年間0.01mSvを超えないようにするための覆土等の遮へい条件の評価結果を示す。

5. 再生利用を進めるために

表1の通り除去土壌の大部分は、放射能濃度10万

表3 用途ごとの年間1mSv相当濃度レベルと遮へい条件

用途先	年間1mSv相当濃度レベル(Bq/kg)	年間0.01mSvを超えない遮へい条件[厚さ(cm)]
盛土材 (道路・鉄道盛土、防潮堤、海岸防災林)	6,000以下	土砂やアスファルト等で被覆[50cm以上]
	6,000以下	コンクリート等で被覆[30cm以上]
	5,000以下	植栽覆土で被覆[40cm以上]
中間覆土材 (廃棄物処分場)	8,000以下	保護工(客土等)[10cm以上]
最終覆土材 (廃棄物処分場)	5,000以下	保護工(客土等)[30cm以上]
土堰堤材 (廃棄物処分場)	8,000以下	保護工(客土等)[30cm以上]
埋立材・充填材 (土地造成(緑地))	4,000以下	植栽覆土で被覆[40cm以上]

Bq/kg以下である。対象核種は、 ^{134}Cs と ^{137}Cs であり、原子力発電事業等で発生する低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分とは異なる。処分方式はトレンチ処分方式が参照でき、埋設効率や処分場の規模を考慮した検討²⁾が一部なされているが、詳細検討は今後必要である。約2,000万 m^2 の除去土壌をトレンチ方式で最終処分することは、負担も大きく、相当困難であることが容易に考えられる。従って、安全性の確保を大前提として、適切な管理の下で除去土壌の再生利用を進めることは、合理的であるといえる。

環境省は、可能な限り早期の再生利用の本格化を目指し、以下の取組を段階的に進めることとしている。

①再生利用の実証事業

- ・基本的考え方で示した追加被ばく線量を制限するための管理の妥当性の検証
- ・放射線に関する安全性、具体的な管理の方法の検証
- ・事業実施者や地域住民等関係者の理解醸成や社会的受容性の向上

②適切な管理の仕組みの検討および手引きの整備

- ・特措法に基づく管理の仕組み作りの検討
- ・「再生利用の手引き(仮称)」の整備：既存の公共事業等に係る環境関連法令等も含め、再生資材を用いた工事の計画・設計、施工、供用等プロセスにおける留意点の整理

③理解・信頼を得るための取組および必要な環境整備

- ・再生利用の必要性や放射線に係る安全性に関する知

見を国民と共有し、かつ実証事業等の結果を地域住民・地元自治体等の関係者と共有するための、啓発、対話、体験のための取組

- ・社会的・経済的・制度的側面からの再生資材の利用促進方策やその実施方針等の検討

除去土壌等の中間貯蔵施設への輸送は、平成27年から開始されたが、福島県内各地の仮置場には、除去土壌等を詰めた土嚢袋が山積みになっており、福島環境回復・復興には、今後も関係者の多大な努力が必要である。

原子力機構は、事故直後から災害対策基本法の指定公共機関として活動を開始し、除染モデル実証事業、放射線モニタリング・マッピング、個人線量評価と住民とのコミュニケーション等に取り組んできた。今後も、関係省庁・福島県・自治体等と協力し、再生利用について、特に放射線に係る安全性に関わる技術的支援を行うとともに、住民とのコミュニケーション等を通じて課題解決に取り組み、福島環境回復・復興に貢献していきたいと考えている。

－ 参考資料 －

- 1) 環境省ホームページ「県外最終処分に向けた取組み」中間貯蔵除去土壌等の減容・再生利用技術開発戦略検討会：http://josen.env.go.jp/chukanchozou/facility/effort/investigative_commission/
- 2) 仲田久和、低レベル放射性廃棄物の処分費用の積算、日本原子力学会、vol.59, No.8, 447-449(2017)。

著者紹介



岡田 尚(おかだ・たかし)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)廃止措置、福島環境回復



武田聖司(たけだ・せいじ)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分および廃止措置の安全評価、福島環境回復



仲田久和(なката・ひさかず)

日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)放射性廃棄物処分

談話室

前向きに進む英国廃止措置事業 ～視察ツアーに参加して～

三菱電機 東 哲史

この度、幸運なことに英国大使館が主催する英国廃棄物処理施設・廃炉施設視察ツアーに参加する機会を得た。なお、本ツアーについては、日本原子力学会 2016 年秋の大会(海外情報連絡会)および日英原子力産業フォーラム(英国大使館・日本原子力産業協会共催)にて案内があったものである。今回のツアーを通じて感じた英国の廃止措置を含む原子力産業の雰囲気や状況について報告する。

視察ツアーでは、2017年2月27日～3月3日にかけて5日間の日程で、英国原子力廃止措置機関(NDA)が管轄する4カ所の廃棄物処理施設・廃炉施設の視察と、英国通産省が主催する英国における原子力産業の技術開発に関わるシンポジウムに参加した。なお、ツアー中にはNDAのプログラム統括本部長 Nigel Lowe 氏に一部同行いただき、廃止措置事業におけるNDAの役割や各施設の運営を担うサイトライセンスカンパニーおよびサプライチェーンを構築する企業の関係性や廃止措置を統括するNDA側の考え方について、うかがうことができ、英国の廃止措置に対する意気込みを感じることができた。

視察初日は、イングランド南西部に位置するウィンフリス廃止措置施設を訪問した。かつては種類の異なる研究炉が複数基存在する施設であったが、現在は、その殆どの施設の解体は完了しており、サイト内は数基の原子炉建屋が残っている状況であった。そのため、サイトの印象としては、静かで広大な敷地だった。視察では、廃止措置中の Dragon 炉(高温ガス炉)と SGHWR 炉(重水炉)の解体現場を見学することができた。現在は、廃止措置の終盤を迎えており、残った施設の除染をどの程度まで実施するか協議中とのことであった(これまでの経験上、完全な除去よりも、安全なレベルである程度は撤去せず残す方が安全になると判断しており、規制面等に理解を求めている)。ちなみに、安全確保のために見学であっても専用の作業着やヘルメット・安全靴の装備は必須であった。サイトマネージャーの説明によると、廃止措置のように日々環境が変化する現場では、施設と作業員の安全管理が重要視される。また、見学中、建屋の



図1 水中作業用ダイバースーツ

一部がレンガ造りの箇所があり、耐震性についての日本との差をうかがい知ることができたと共に、英国の原子力産業の歴史を感じた。

二日目は、ロンドン市内で開催されていたシンポジウム「The Civil Nuclear Showcase 2017」に参加した。話題の中心は、原子力発電所の新設に関するものだったが、原子力産業の発展のためには、廃止措置に対する取組・人材育成も重要な課題であると述べられていた。シンポジウムは非常に活気があり、昨年度よりも多くの参加者が来場していた模様で、会場内は常に満員状態であった。また、関連する企業のPRの場としても機能しており、筆者ら視察団に対しても積極的にアピールする企業もあり、盛り上がりつつある英国原子力産業界を肌で感じた。

シンポジウムの翌日は、イングランド南東部に位置するダンジネス A 廃止措置施設を訪問した。視察は、作業中の現場も含まれており、水中でダイバーが使用済み燃料の保管用ラックを切断する作業を見学できた。実際の作業現場を見学できたことに加え、筆者としては、切断作業を人力で行っていたことに驚きを感じたことが印象に残っている。サイトマネージャーによると、全てを人力で行ってきたわけではなく、線量レベルの高い廃棄物の解体作業については、ロボット技術の活用など様々な方法を用いているとのことであった。また、現場の視察後には、サイトマネージャーの方々との意見交換の機会を設けていただいた。廃止措置に取組むモチベーショ

ンや地域とのコミュニケーション等、今日までの取組や貴重な経験談をうかがうことができた。廃止措置の取組で最も難しいことは、施設で働く作業員のマインドチェンジだという。例えば、廃止措置に移行するサイトでは、長年発電に携わってきた作業員としては、慣れ親しんだ発電所が解体され、発電所が担ってきた役割がなくなるのが精神的なストレスになることもあったそうだ。そのため、廃止措置の運営では、作業員の雇用面やモチベーションの維持および向上させる仕組み作りが重要なミッションとのことだ。

ダンジネス A 廃止措置施設の視察後は、次の視察先となるセラフィールド廃止措置施設へ向かうため、ロンドンから高速鉄道でイングランド北西部のカンプリア地方へ向かった。余談になるが、セラフィールド廃止措置施設へ向かう道中は湖水地方の雄大な自然やカンプリア地方名物の羊の放牧風景を眺めることができた。

セラフィールド廃止措置施設は、NDA の予算の約 7 割を占めており、英国廃止措置事業の中心的な位置付けとなっている。視察内容としては、敷地内を見学用バスで周回した後、THORP(熱中性子炉酸化燃料再処理施設)内のギャラリー室、中レベル相当の放射性廃棄物を貯蔵する Box Store(箱型保管庫)及び WAMAC(廃棄物監視・圧縮工場)、WEP(廃棄物容器封入工場)に立ち入った。THORP 内のギャラリー室では、セラフィールド廃止措置施設の経緯や現状の取組について説明いただいた。特に、legacy(負の遺産)となっている Pond(使用済み燃料プール)については鮮明に覚えている。導入初期の Pond は、屋根のない開放式を採用していたが、枯れ葉や枝等のゴミが底部に沈殿する問題が生じた。当時は、屋根設置に伴うリスクを考慮すると Pond に屋根は不要と結論づけられたそうで、特別大きな問題として扱っていなかったそうだ。しかし、今日では沈殿したゴミの処分などの必要性が生じており、結果的に余計な作業が発生する legacy となったようである。legacy 化した Pond を例に挙げ、責任の処遇を明らかにすることよりも、直面する課題を解決することが大事だと説明があ



図 2 セラフィールドを臨む視察団

り、このあたりの考え方については、非常に合理的な判断ができていると感じた。

最終日は、セラフィールド廃止措置施設の南 6km に位置する LLWR(低レベル放射性廃棄物処分場)を訪れた。LLWR では、英国内の運転中および廃止措置中の原子力発電所以外の全原子力施設から発生する廃棄物の処分を行っている。施設内をバスの車内から見学したが、コンクリートピット内に低レベル放射性廃棄物を充填するコンテナが野ざらし状態で山積されていた。筆者にとっては、衝撃的な風景であったが、LLWR の廃棄方法が地元理解を得ていることの証明と捉えることもできる。恐らく、現状の日本では、規制面や地元理解の観点から実施困難な方法であるとも感じた。

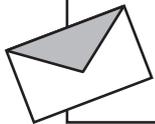
恥ずかしながら、筆者の廃止措置に対するイメージは、“何も生み出さない行為”であった。そのため、視察ツアーに参加する前までは、廃止措置現場のモチベーションは、低い現場だと想像していた。しかしながら、英国の廃止措置現場は、しっかりと前向きなマインドとビジョンを持っていた。今後の原子力産業界の発展のためにも、廃止措置は重要であり、その取組によって得られた知見(例えば、安全性の高い処理方法を確立することや廃棄物処理・管理の基盤整備)を蓄えることが、原子力発電所の新設といった将来に繋がる“利益を生み出す行為”として認識されていた。中でも、セラフィールド廃止措置施設では、現場だけでなく施設全体が活気に溢れており、廃止措置に携わる方々の誇りを感じ取ることができた。英国が、原子力関連施設の廃止措置や放射性廃棄物の管理において、世界をリードする理由が分かった気がした。

今日、日本国内でも廃止措置に対して、様々な議論や取組が行われているが、解決すべき課題が多く存在している。今後、本格的に始まる国内商業炉の廃止措置に、先行する英国方式をそのまま適用することは困難であることが予想されるが、廃止措置に対する彼らの経験や姿勢については、学ぶべきことが多くあると思う。そして、日本における原子力産業界の今後の発展のためにも、より一層国内廃止措置に対して真摯に取り組んでいくべきであると感じた。

最後になるが、今回の英国の廃止措置施設の視察が我が国の廃止措置の進め方の一助になれば幸いである。

(2017 年 7 月 18 日 記)

理事会だより



規則類一読のススメ

平成 29 年度総会において、再任された上坂会長の下、新たな理事会体制が発足した。体制が更新された折には、新任の理事のみならず継続の理事も、規則類を読み、学会のミッションを考えることは重要である。これは、そもそも論に立ち戻る研究者の性癖かもしれない。

さて、規則類の中で最も重要なのは、定款第 3 条に記載の学会の目的、すなわち「公衆の安全をすべてに優先させて、原子力および放射線の平和利用に関する学術および技術の進歩をはかり、その成果の活用と普及を進め、もって環境の保全と社会の発展に寄与すること」である。この目的を達成する事業として、定款第 4 条に記載の(1)～(11)と、

- (1) 会員の研究活動の促進と会員相互の情報交換
- (2) 会員組織による学術および技術の調査・研究
- (3) 国内外の関連学術団体等との連携
- (4) 規格・規準(標準)の制定および改廃
- (5) 学術および技術の継承・発展、教育、人材育成のための活動
- (6) 年会、大会、シンポジウム、講演会などの開催
- (7) 会誌、研究・技術論文および資料、その他の出版物の刊行
- (8) 社会とのコミュニケーション
- (9) 活動成果の公開と社会への還元
- (10) 研究の奨励および研究業績の表彰
- (11) その他この法人の目的を達成するために必要な事業

第 2 項に記載の「これらの事業において、特に東京電力福島第一原子力発電所事故にかかわる環境修復、地域住民の支援および事故を起こした原子炉の廃止措置支援等の活動を積極的におこなう。」である。

これらの事業を大別すると、会員が主体となって取り組む事業と、原子力学会として取り組む事業がある。理事会の役割は、前者では会員が事業を進めるための後ろ盾をすること(たとえば、場の提供など、いわば雑用係)であり、後者は原子力学会の代表として理事会が主導して取り組むことである。その役割を果たすためにルール、すなわち規則類があり、その規則類に基づいて前述の後ろ盾や取り組みが進められる。この規則類が近年見直され、規程-規約-運用・細則の階層構造で体系的にまとめられた。これは、ある一人の理事と学会事務局による 3 年以上に亘るご尽力のたまものである。見直された規則類は基本的に、規定は理事会の承認事項、規約は

各委員会等が承認し理事会に報告する事項、運用・細則は各委員会において承認する事項(場合によっては、理事会へ報告することが必要)となっている。

これらの規則類は、ホームページに掲載されており、会員の皆さんも一度、ご覧頂きたいと思う。特に、上述の定款に加え、「1. 共通、総会、理事会関連」、「4. 企画関連」中の「専門委員会」に関する規則類、「8. 学会誌・論文誌関連」中の「論文投稿・校閲に関する倫理指針内規」、「13. 倫理関連」を見て頂くことを勧める。

理事会が役割を果たしていくためには、会員との双方向コミュニケーションが重要であろう。この双方向性には、メールによる連絡、学会誌における会員読者からの投稿などに加え、多くの委員会では、委員以外の者の出席を認める条項が規則類に記載され、意見聴取できるシステムとなっている。また、春の年会や秋の大会での各委員会による企画セッションもその一つであると考えられる。特に、理事会や広報情報委員会による企画セッションでは、セッション中にパネル討論会等が企画され、フロアからの意見聴取が行われる。従って、このような場において、会員が積極的な意見を述べることは重要であるとともに、また他の意見を聞くことが重要である。なお、言うまでもなく、意見聴取で終えるのではなく、セッション企画者から、出された意見に対してどのような対応を行ったのか、あるいは今後行っていくのかを会員に報告することによって、初めて双方向コミュニケーションが成立する。そのような学会であり続けることが、健全な学会のあり方であると思う。

もう一つ重要な課題として、倫理関連がある。平成 13 年に倫理規程が定められ、平成 26 年に全面改訂されたが、これには論文不正防止に関する記載などが触れられていないことに気づく。学会誌・論文誌関連の「論文投稿・校閲に関する倫理指針内規」において、著者の責務に加え、二重投稿の禁止、引用に際する注意、他者論文の批判的引用に関する注意、捏造、改ざんおよび盗用の禁止に関する記載をみることができる。「原子力および放射線の平和利用に関する学術および技術の進歩をはかり、その成果の活用と普及を進め、研究活動の促進をする」に際し、昨今の論文不正問題を鑑みると、今後、研究者倫理に関する規程が、倫理規程と並んで設定されることについて、会員とともに検討していく必要があるように思う。

(理事 岡嶋成晃)