

特集 創立 60 周年を迎え、学会は何をなすべきか I

巻頭言

1 文明の恩恵を慎ましく受け、拓く道へ

松浦祥次郎

これまでをふりかえり、今後を展望する

9 科学者の社会的責任と 科学者コミュニティ

元日本学術会議 広渡清吾

13 日本学術会議における原子力問題 への取組み

日本学術会議 吉村 忍

17 福島原発災害の特質と生活再建・地域 再生の課題

日本建築学会 鈴木 浩

21 地震学と原子力

日本地震学会 山岡耕春

24 放射線防護の専門家集団としての 学会を支える企画活動

日本保健物理学会 吉田浩子

27 リスク学の発展と原子力技術の 深い関係

日本リスク研究学会 岸本充生

30 60年の歩みに思うこと

井川陽次郎

32 原子力の危機は「民主主義のコスト」

池田信夫

34 原子力マネジメント学のすゝめ

上坂 充

36 福島を通して見えてくる原子力の課題

大崎要一郎

38 超スマートエネルギー社会とこれからの 原子力政策

柏木孝夫

40 原子力推進における国策民営の限界

北村俊郎

42 原子力発電の歴史と展望

橋川武郎

44 外野席から見た原子力発電業界

木下富雄

46 これからの原子力研究に期待すること

滝 順一

48 原子力が提供する「価値」は何か

竹内純子

50 カナダ在住者からの原子力学会への 期待

長崎晋也

52 日本の原子力対策のほころびや矛盾、 欧州取材で実感

服部 尚

54 アセスメント科学とEBR

坂東昌子

56 責任ある原子力イノベーションとは

藤垣裕子

58 これからの原子力の「学」および 「原子力界」に求められるもの

藤田玲子

60 原子力産業における人材確保の今昔
と今後の展望 村上朋子

62 原子力事故・災害に対する
被ばく医療の将来展望 山下俊一

64 原子力発電は社会に何をもたらすのか
山本隆三

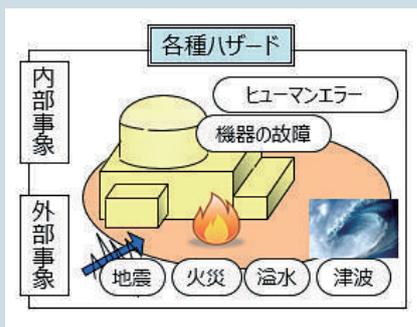
66 何かに駆られて走ってきた
和田 章

特集 2018 年秋の大会から

世界から見る原子力発電所の安全

68 世界の原子力発電所の安全確保
日本、そして世界の原子力発電の安全確保はどのよう
に進展しているのか。世界の原子力発電所の安全性・
信頼性向上への活動状況を WANO から報告する。
駒野康男, 松井三生

72 日本の原子力発電所の安全確保
原子力事業者は福島第一原子力発電所事故直後の緊
急安全対策に始まり、これまでさまざまな安全性向上
対策を講じてきた。その対策はハードとソフトの面か
らなる。
決得恭弘



各種ハザードの例

75 原子力発電所の安全
— 社会からの問題提起
事故後の日本社会が原子力発電所の安全に関して抱
く懸念の核心は長期かつ有意のオフサイト影響に尽き
る。これに対する原子力専門家コミュニティからの回
答は、原子力防災と一貫した原子力安全の議論、それ
を踏まえた技術や制度の手当ての提案であるべきだ。
寿楽浩太

2 NEWS

- JAEA, 150 時間連続で水素製造
- エネ研, 2019 年度エネルギー需給見通し
- 海外ニュース

解説

79 人工知能技術の活用と将来展望
— 深層学習によるき裂進展予測のための
サロゲートモデルの構築

和田義孝

会議報告

83 原子力の若手と学生の対話会
in 関東 2018

村本武司

ジャーナリストの視点

84 ベタ記事の裏側

柳楽未来

理事会だより

85 福島原発事故から 8 年,
復興への取り組み

佐藤修彰

- 74 From Editors
- 86 会告 2019 年度新役員候補者募集のお知らせ
- 87 会報 原子力関係会議案内, 新入会一覧, 次年度
会費請求のお知らせ, 「原子力学生国際交流事業」
派遣学生募集のお知らせ, 英文論文誌 (Vol.56, No.3)
目次, 和文論文誌 (Vol.18, No.1) 目次, 主要会務,
編集後記, 編集関係者一覧

学会誌に関するご意見・ご要望は、「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.net/publish/atomos>

文明の恩恵を慎ましく受け，拓く道へ

巻頭言



一般社団法人 原子力安全推進協会 顧問

松浦 祥次郎 (まつうら・しょうじろう)

1958年京都大学工学部卒。同大学院修士課程修了。旧原研で実験炉物理研究に従事。旧原研理事長，旧原子力安全委員会委員長，原子力安全研究協会理事長，日本原子力研究開発機構理事長，原子力安全推進協会理事長等を歴任。

日本原子力学会は本年2月14日に設立60周年となった。還暦を迎えたことになる。人々はそれぞれ、この時に過ぎ越した日々を省みて成したこと、思いを残したことに想いを馳せ、感慨を新たにする。筆者は高校生の頃から原子力エネルギー利用技術の道を生涯の職業にと希望していた。当時は未だ原子力工学専攻の課程を持つ大学は無く、教科内容が近そうな応用物理学科へ進学した。幸い学部4回生になる1957年4月に原子核工学専攻の大学院課程が設けられ、修士課程で希望通り原子核工学を学ぶことが出来た。偶然の幸運にも恵まれ1961年に旧日本原子力研究所(原研)に採用され、動力試験炉(JPDR)建設部に配属された。このような歩き出しと、その後の職歴のお蔭で、1960年代以降の我が国の原子力研究開発利用活動の実際と社会との関わり、あるいは国際状況変動が我が国の原子力活動に与えた影響を身近に観察することができた。その所感と所見を可能な限り端的に述べたい。

この60年間に我が国は官民ともに数多くの研究開発機関の設立、研究開発活動、産業用原子力施設の導入・開発と運営に多大な努力を集中した。その中で、不成功に終わった計画、最後は予定の成果を得たが予想外に時間を要した計画の経緯を観ると、不成功や酷い遅延の主因が科学・技術的原因であったケースは意外に少なく、社会的不協和が主因であったケースが多い。福島第一原発事故の以前からその傾向は強く、以後は更にそれが強まっている。

この根本原因は我が国が原子力と言う現代文明の最新所産を導入することを決意する時に、高度の文明社会の維持運営には高密度で大量の安定的エネルギー供給が継続的に必要であることを、エネルギーの本質的意味から考えて一般国民と共有する努力をあまりにも等閑にしたことにあると反省せざるを得ない。原子力文明時代に入るといふことの意味を共有するため、ビッグバンから現代の宇宙、地球、人類社会に至るまでの壮大な自然誌物語を中学生レベルにも理解可能にして、国民と共有すべきであった。それが徹底的になされておれば、原子力発電の利益を享受する国民の意識は相当に違ったものとなっていたと確信する。また他方で、全ての人類文明所産には、ハードウェアとソフトウェア共に善と悪の両面があり、その恩恵を受ける場合には、悪影響の制御・防護手段を慎重・厳格に準備し、過剰な利用を控え、慎ましさを共有すべきである。全ての文明所産は、人類の良き生への欲望を満足させるためのものであり、欲望発露の過剰、そのためのエネルギー蓄積と消費の過剰によるアンバランスは時として人類を破滅の断崖に導く危険を有することを、人類史が事実として示している。この悪影響制御手段準備の計画と実施は未来世代のため必須である。

最後に筆者が原子力分野で働き、その中で得た経験則を述べてこの欄を閉じたい。どのような計画や事業も次の三条件を満たせば成功の確率は圧倒的に高くなる。第一に「優れた創造的アイデア」を持つ事。第二に「何が何でも実現しようとの執念」を待ち続ける事。最後に「時の利」を得る事。この中で最も難しいのは「時の利」を見抜くことである。アイデアにも執念にも自信がありながら時の利に恵まれない会員諸子には、辛抱強く慎重に構え、到来した機会を俊敏に捉えて自己実現を全うし、社会に裨益されることを期待したい。

(2018年12月10日)



原子力機構、150 時間連続で水素製造

日本原子力研究開発機構は1月25日、ヨウ素と硫黄を用いた化学反応を利用して水から水素を生成するISプロセスと呼ばれる方法で、毎時30リットルの水素を150時間連続で製造することに成功した。

水素は現在、化石燃料から取り出す方法が主流だが、その過程で二酸化炭素を発生させる欠点があった。また再生可能エネルギーを用いて水を電気分解して水素を製造する方法は、コストが高い難点があった。

一方で原子力機構が取り組んでいるISプロセスは高

温の熱を利用し、水をヨウ素や硫黄の化合物と反応させて水素を製造するもので、二酸化炭素を排出しないのが特徴だ。同機構ではこの方法で2016年に8時間の連続運転に成功したが、運転によって腐食が起きるなどの問題が出たため、装置を1年半かけて改良した。

今回の運転では電気ヒーターで高温の熱を供給したが、原子力機構では将来、高温ガス炉にこのプロセスを組み込みことで、大量の水素を効率よく製造するシステム構築をめざす。(原子力学会誌編集委員会)

エネ研が2019年度のエネルギー需給見通し

日本エネルギー経済研究所は2018年12月21日、2019年度のエネルギー需給見通しを発表した。国内外の経済動向、燃料価格、為替相場などをもとに試算したもので、2018年度の1次エネルギー国内供給は、前年の記録的厳冬に伴う消費増からの反動で減少を示すものの、2019年度には素材系生産の拡大や気温影響で0.2%の微増に転じ461.6メガトン(石油換算)となるとしている。

2018年度の原子力発電は新規規制基準をクリアし再稼働した9基が平均9か月稼働し、総発電電力量は前年のほぼ2倍となる612億kWhとなるとの見通し。現在新規規制基準適合性審査に係る原子炉設置変更許可を取得し未だ再稼働に至っていないプラントは6基だが、安全対策に要する期間や他の審査中プラントの今後の進捗が不透明なことから、2019年度は多くても11基が平均8か

月稼働し、総発電電力量は対前年比7%増の654億kWhとなると見込んでいる。

1次エネルギー国内供給のうち化石燃料については、2018年度で石油が対前年比3.9%減、天然ガスが同3.9%減、石炭が同0.3%減との見通しだが、2019年度ではいずれも同1%未満の微減もしくは微増となり、原子力や再生可能エネルギーへのシフトはやや緩慢となるものと見込んでいる。

エネルギー起源のCO₂排出量については2018年度で対前年比3.5%減の10億7,300万トンに、2019年度では非化石電源拡大の鈍化を受け同0.4%減の10億6,900万トンとなり、過去6年で最少の削減幅に留まると試算している。(資料提供：日本原子力産業協会)

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

NEA と IAEA が世界のウラン資源関係報告書

経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)と国際原子力機関(IAEA)はこのほど、世界のウラン資源量や探査状況、生産量、需要量等に関する分析報告書「2018年版：ウラン資源、生産と需要」(通称「レッド・ブック」)

を公表した。

36か国から提供された2017年1月1日現在の公式データや5か国からの報告書の内容を取りまとめたもので、2035年までの世界の原子力発電設備容量やこれらで必要となるウラン所要量についても予測。将来的な電力需要量の増加や地球温暖化対策で原子力発電が果たす役割とは無関係に、世界のウラン供給量は予測可能な将来において、原子力発電所で必要となる量を十分上回るとの認識を示した。ただし、現時点で保存整備段階にある

ウラン鉱床も含めて、タイムリーなウラン生産を行うには、相当量の投資や技術面の専門的知見が必要になると警告している。

レッド・ブックはNEAとIAEAが2年に一度取りまとめているもので、今回の報告書は第27版目。世界のウラン市場動向に関する最新の分析結果を盛り込むとともに、世界のウラン産業についても関係する41か国のデータも含めて統計的側面を提示している。

レッド・ブック最新版によると、2017年1月1日現在、1kgUあたり130ドル以下で回収可能な既知資源の量(確認資源量と推定資源量の合計)は614万2,200トンUで、2015年のデータから7.4%増加した。最も高コストなカテゴリー(260ドル以下で回収可能)では、前版から4.5%増の798万8,600トンUとなり、全体的な既知資源量は増加している。ただし、増加分は主に新たに発見された資源であり、これらでウランの生産に至るには追加の投資が必要になるとした。

また、世界中のウラン探鉱と鉱山開発に費やされた年間の総支出額は、2014年時点の約21億ドルから2016年には約6億6,400万ドルに低下した。低下した理由の一部は、カナダのシガーレイク鉱山やナミビアのハサブ鉱山の開発に起因するが、2011年の半ば以降、世界でウラン市場の冷え込みが長期化していることから、支出額は今後も減り続けるとの予想を示している。

世界のウラン生産量は2015年から2016年にかけて3%増加し、約6万2,000トンUになった。しかし、2017年には約5万9,000トンUと減少し始めており、2018年にはさらに減少すると予想される。これは、ウラン価格の低迷が長期化しているのに呼応し、主要生産国であるカナダやカザフスタンなどが全体的な生産量を制限しているためだとしている。

<原子力発電とウランの需給>

前回の2016年版以降、世界では原子力発電開発が縮減すると予想されていた。しかし、規制された電力市場においては電力需要量が増加するとともに、低炭素な電源の必要性も拡大すると見られており、原子力発電は拡大していく見通し。これにともない、予測し得る将来にウランの総需要量も継続して増加していくことが見込まれるとした。

2017年1月1日現在、世界では449基の商業炉が送電網に接続されており、総設備容量(ネット)は約3億9,100万kW。これらが必要とするウランの総量は年間約6万2,825トンUだが、いくつかの国で公表されている政策変更や原子力プログラムの改定を考慮すると、世界の原子力発電設備容量は2035年までに3億3,100万kW(低需要ケース)~5億6,800万kW(高需要ケース)に増加するとした。このためレッド・ブックは、2035年

までに原子炉関係で必要とされるウラン所要量(MOX燃料を除く)は、世界の合計で約5万3,000トンU~約9万トンUに増加するとの見方を示している。

結論としてレッド・ブック最新版は、いくつかの先進国では近年、電力需要が低迷しているものの、世界のウラン需要量は今後数十年にわたって増加していくと予測した。理由としては主に、開発途上国における大規模な人口増加に対応するためだと指摘。原子力は競争力のある価格で低炭素なベースロード電力を供給可能であるほか、原子力発電開発によりエネルギーの供給保証も強化されるため、今後も重要なエネルギー供給源であり続けるとした。

しかしながら、いくつかの国では福島第一原子力発電所事故により原子力に対する国民の信頼が損なわれ、原子力発電設備も縮小していくと予想。これに加えて、低コストの天然ガス資源に恵まれた北米では、リスク回避的な投資環境が自由化された電力市場における原子力発電の競争力を失わせていくとした。このため、原子力がもたらすエネルギーの供給保証や低炭素な電力による恩恵が政府や市場の政策に反映されれば、そうした競争圧力を軽減できるかもしれないとレッド・ブックは予測。電力需要が増加するとともにクリーンな発電へのニーズが高まれば、規制された電力市場においてもなお、原子力発電は拡大していくとの見方を示している。

【中国】

世界初のEPR、台山1号機が営業運転

中国広核集団有限公司(CGN)は2018年12月13日、世界初の欧州加圧水型炉(EPR)として同年6月末から試運転中だった台山原子力発電所1号機(PWR, 175万kW)が同日、フル出力による168時間の連続運転も含めたすべての機能試験をクリアし、営業運転に入ったことを明らかにした。

同発電所では、フラマトム社製のEPR設計を採用した1,2号機がそれぞれ2009年と2010年に本格着工。同設計を世界で初めて採用して2005年に着工したフィンランドのオルキルオト3号機(PWR, 172万kW)や、2007年に仏国初のEPRとして着工したフラマンビル3号機(PWR, 163万kW)を追い抜いて、先に完成した。

これら先行計画における作業経験が、台山1,2号機計画では初期段階の建設工事に活かされたとCGNは指摘。台山計画に30%出資するフランス電力(EDF)は、後続計画であるとともにCGNが一部出資を約束している英国のヒンクリーポイントC原子力発電所(EPR×2基)建設計画やサイズウェルC(EPR×2基)建設計画など、世界中のEPR建設プロジェクトが台山計画の技術面、およびプロジェクト管理面の経験から恩恵を受けるとした。な

お、台山2号機については建設工事が機器の据え付け段階に入り、2019年の運転開始を目指すと考えられている。

EDFによるとCGNとの戦略的協力関係は、中国の原子力発電開発黎明期に仏国が建設協力した広東・大亜湾原子力発電所以降、35年に及んでいるが、台山計画は中仏エネルギー部門における協力プロジェクトの中で最大規模のもの。これら2基が完成すれば、年間240億kWhの電力を中国の送電網に供給することが可能になり、これは500万人の中国人による1年分の電力消費量に相当するとした。

また、これら2基が抑制するCO₂の排出量は、年間で2,100万トンにのぼると説明。EDFのJ. - B. レビエ会長兼CEOは、電力需要の増加とCO₂の排出量抑制という課題に取り組む多くの国にとって、EPRは価値の高い資産になるとの認識を示した。

EDF傘下のフラマトム社は、同社の中でもEPRの主要機器や計測制御(I&C)系、燃料システムなどの設計・製造に携わった専門家の知見を誇りに思うと述べた。第3世代+(プラス)の設計であり60年間の運転を想定したEPRには、同社が世界中で建設した原子炉約100基分の経験が組み込まれているとした。同設計はまた、発電コストの低減や放射性廃棄物の発生量削減、運転面の柔軟性拡大、停止期間の合理化といった面で、電力消費者に経済的恩恵をもたらすとしている。

【ロシア】

ノボボロネジ4号機、運転期間を60年に延長

ロシア国営の原子力総合企業ロスアトム社は2018年12月11日、モスクワの南約500kmに位置するノボボロネジ原子力発電所で4号機(40万kW級のロシア型PWR)が運転期間延長のための大規模な改修工事を終え、合計60年間の運転に向けた燃料の装荷作業を完了したと発表した。

従来のロシア型PWR(VVER)の公式運転期間は30年間であることから、1972年末に送電を開始した4号機では1999年以降、運転期間が満了する2002年までに最初の運転期間延長作業が行われ、2017年まで15年間、運転が継続された。

この年に同炉は合計45年間の稼働を終えて閉鎖されることになっていたが、十分な電力量の確保という目的のため、さらに15年間、運転期間を延長するプロジェクトが同年中にスタート。設備の最新化も含めて40項目以上の作業が実施され、2018年11月26日には349体の燃料集合体と73本の制御棒を炉内に装荷する作業を開始。現段階では再稼働の物理的準備が整ったことを確実

に保証するとともに、連邦環境・技術・原子力監督庁(ROSTECHNADZOR)から次の段階への移行許可が降りるよう、さらなる手順を踏むとしている。

同発電所ではすでに、1960年代に営業運転を開始した20万kW級VVERの1号機に加えて、30万kW級の2号機と40万kW級の3号機が閉鎖済み。従来型VVERとして4号機(40万kW級)と5号機(100万kW級)が運転を継続する一方、これらI期工事のリプレイスと位置付けられる最新型のII期工事1号機(6号機)が2017年2月に営業運転を開始。同2号機(7号機)も、2019年末の運転開始を目指して建設中である。

II期工事の2基は、第3世代+(プラス)の性能を有する120万kWのVVERシリーズ「AES-2006」で、6号機はその初号機として世界で初めて完成した。全電源喪失時や運転員の介入なしでも機能する受動的安全システム、水素再結合機やコア・キャッチャーを装備しているほか、主要機器の耐用年数も60年に延長された点をロスアトム社は強調している。

高速炉用MOX燃料の生産を開始

ロシア国営原子力総合企業ロスアトム社の傘下で燃料の濃縮・転換・成型加工を担当するTVEL社は2018年12月13日、高速実証炉「BN-800」(電気出力80万kW)の取替用燃料として一括生産を請け負ったウラン・プルトニウム混合酸化物(MOX)燃料集合体の初回分が、受け入れ審査にパスしたと発表した。

このMOX燃料は、クラスノヤルスク州ゼレノゴルスクにある鉱業化学コンビナート(MCC)で生産されたもの。産業規模でMOX燃料を生産するという目標は、2020年までを視野に入れた「連邦目標プログラム:2010~2015年の次世代原子力技術」に設定されており、ロシアの原子力産業界はMCC内にMOX燃料製造施設を設置するため、広範な協力体制を配備。これらの調整役を担ったTVEL社は、同社のポフパール研究所がMOX燃料ペレットを製造する基本技術を開発した点を強調している。

MCC内のMOX燃料製造施設は、2014年に6t/年の製造能力で試運転を開始した。最終的な製造能力は60t/年を目指しているが、2017年10月の時点では試運転当時と同レベルで運転していた模様。材料となる劣化ウラン酸化物はTVEL社の施設内に貯蔵されていたものである。一方、プルトニウム酸化物は使用済燃料の再処理から回収されたものだとしている。

「BN-800」は2016年11月にベロヤルスク原子力発電所4号機として営業運転を開始しており、主要目的は高速炉を活用した核燃料サイクルの様々な段階で技術をマスターすること。初期炉心としては主に、濃縮ウラン

酸化燃料の燃料集合体に MOX 燃料集合体を 16% 交えたハイブリッド炉心を装備している。この時の MOX 燃料は、チェリヤビンスクにある生産合同マヤク、およびディミトロフグラードにあるロシア国立原子炉科学研究所 (RIAR) の試験生産施設で製造されたが、今後は 3 回の燃料交換時に段階的に MCC 製の標準 MOX 燃料集合体を装荷し、フル・MOX 炉心に替えていくことになっている。

TVEL 社の K. ベルガゾフ上級副社長は、「BN - 800」用 MOX 燃料の一括生産を開始したことについて、「核燃料サイクルを確立するとともに、熱中性子炉と高速中性子炉の両方で原子力産業を展開するという戦略的課題の解決に向けた重要な節目になった」と評価。大量の劣化ウランやプルトニウムを核燃料サイクルに活用することは、原子力産業界の資源基盤を拡大するとともに、天然ウランの消費量節減にもつながると指摘している。

【トルコ】

アックユ 2 号機に部分的建設許可を 発給

トルコ初の原子力発電設備となるアックユ発電所の建設を請け負っているロシア国営の原子力総合企業ロスアトム社は 2018 年 12 月 14 日、トルコ原子力庁 (TAEK) から 2 号機 (PWR, 120 万 kW) の部分的建設作業許可 (LWP) が発給されたと発表した。

2018 年 4 月に TAEK が 1 号機 (PWR, 120 万 kW) の建設で全面的な許可を発給したことから、2023 年の運転開始を目指して建設作業が進行中。2 号機についても、ロスアトム社が起ち上げた事業会社のアックユ原子力発電会社 (ANPP) が LWP の発給を申請するため、TAEK に予備的安全解析報告書 (PSAR) や確率論的安全評価書 (PSA) などを提出していた。

今回の発給を受けて、ANPP 社は原子炉システムの安全性に関わる部分を除いたすべての部分で、建設工事や機器の据え付け作業が可能になり、具体的には、基礎抗の掘削やエンジニアリング調査などを実施する予定。その後は全面的な建設許可が発給されるのを待って、正式着工となる原子炉建屋部分の最初の基礎コンクリート打設を行う計画である。

地中海沿岸のアックユ発電所建設プロジェクトでは、2010 年 5 月にトルコとロシア両国が締結した政府間協力協定 (IGA) に基づき、第 3 世代 + (プラス) の最新鋭 120 万 kW 級ロシア型 PWR (VVER) が 4 基建設される。ロスアトム社は、これら 4 基が完成すれば年間 350 億 kWh の電力が 60 年間にわたって供給されるとしたほか、稼働期間はそれぞれ 20 年間延長される可能性があ

るとしている。

投資総額は 200 億ドルを超える見通しだが、同プロジェクトでは原子力発電分野としては世界で初めて「建設・所有・運転 (BOO)」方式を採用。投資額のすべてをロシアが負担し、トルコ電力卸売会社 (TETAS) は発電電力を 12.35 セント / kWh で 15 年間購入して返済することになる。

ANPP 社は発電所の設計・建設から運転・保守、廃止措置、放射性廃棄物管理、損害賠償まで責任を負うものの、トルコおよび第三国の企業が同社株式の 49% までを取得することが可能。この関係で、トルコの大手エネルギー施設建設企業であるとともに売電・送電事業も扱っている 3 社の連合体が 2017 年 6 月、ANPP 社に 49% を出資することでロスアトム社と合意した。しかし、その後の交渉で最終合意に至らず、2018 年 2 月に同連合体がこの計画から撤退したことをトルコの国営メディアが伝えている。

【フランス】

オラノ社、ウラン転換工場で産業規模 の生産開始

仏国のオラノ社 (旧アレバ社) は 2018 年 12 月 20 日、南部ドローーム県のトリカスタン・サイトに建設した新しいウラン転換工場「フィリップ・コスト・プラント」が試験プログラムを完了し、産業規模の生産を開始したと発表した。

同プラントは、トリカスタンとオート県マルベシの両サイトにおける施設の刷新計画「コムレックス II プロジェクト」の一部として、2006 年に基本設計が始まった。総投資額 11 億 5,000 万ユーロ (約 1,452 億円) のうち、8 億 5,000 万ユーロ (約 1,072 億円) が同プラントの建設用に支出されている。同プラントはまた、2017 年末に新しい安全基準への適合性問題により閉鎖されたコムレックス I 工場を代替するもの。当初は年間 7,500 トンほどの生産規模で操業し、2021 年までに最大生産能力 15,000 トンまで設備を拡大していくとしている。

新しい施設は、オラノ社の子会社であるコムレックス社の初代社長、フィリップ・コスト氏にちなんで名付けられた。生産品である 6 フッ化ウランの封入用に最初のシリンダーを導入した 2018 年 9 月 10 日付けで開所式が行われており、D. ジェニニステファン経済・財務大臣付副大臣 (当時) をはじめ、オラノ社グループの国際的な顧客企業の幹部や、欧州各国の政府代表、議員ら約 60 名が出席した。

オラノ社の発表によると、新施設は安全面や環境影響面、および性能面においても革新的な技術を採用。近代

的で効率的な機器を装備していることから、ウラン転換市場における同社の立場は一層、強化されることになるとした。同施設はまた、同じトリカスタン・サイトにあるジョルジュ・ベスII濃縮工場とともに、毎年9,000万戸以上の世帯に供給する低炭素電力の生産に貢献。仏国内で安定した雇用を生み出すことにもつながるとしている。

【英国】

政府、高レベル廃棄物の深地層処分でサイト選定

英ビジネス・エネルギー・産業戦略省(BEIS)は2018年12月19日、高レベル放射性廃棄物(HLW)を長期的に管理するため、新たなサイト選定プロセスにより深地層処分を実施するとの政策を公表した。

英国では2008年～2009年に、カンブリア州の2自治体が深地層処分場(GDF)の受け入れに関心表明したものの、州政府の反対により建設サイトの選定プロセスは2013年に白紙に戻った。BEISは2018年1月から4月にかけて、2014年に当時のエネルギー気候変動省(DECC)が策定した「白書」の原則に基づき、GDFのサイト選定プロセスに関する2つの文書について公開協議を実施している。その結果から、同白書に代わる最終的な政策枠組として今回、「深地層処分の実施— HLWの長期管理で地域社会と協働」を公表。地元地域社会とのパートナーシップに基づく合意ベースのアプローチにより、GDFの建設に最適な地点を探っていくとしている。

同文書の前書きでBEISのR. ハーリントン産業担当相は、他の多くの原子力発電利用国と同様、英国政府がHLWの処分では深地層処分場が最も安全なオプションと確信している点を指摘。封入した廃棄物を深地層の多数のくぼみやトンネル内に隔離することにより、放射能が地表に到達することを防ぐことができるとした。

同相はまた今回の文書で、処分の実施主体である放射性廃棄物管理会社(RWM)が最適な建設サイトの特定で地域社会とどのように協働していくかなど、深地層におけるHLW管理で枠組となるものを英国政府が設定したと説明。クリーン・エネルギーによる経済成長や生産性を高めるという原子力部門の主要な役割を定めた政府の産業戦略に対しても、GDFは貢献するとの認識を示した。

同相はさらに、GDFの開発は数十億ポンド規模のインフラ投資になると予測。技術を必要とする雇用や経済的な恩恵が、100年以上にわたって受け入れ自治体にもたらされるとしている。

英国政府や関係機関が地元の合意ベースでGDFの建設サイトを特定する際、今回の文書は以下のようなプロセスがサイト選定に盛り込まれるとした。

- ・初期協議と作業グループの設置：RWMと地元地域との初期協議は、GDFの受け入れに関心を持つ個人やグループの構成員によって始まる。建設提案がもたらす利点等について双方が合意した後は、関係する主要な地方自治体すべてに共同で連絡し、コミュニティ全体で幅広い議論を開始しなければならない。また、RWMを含む関係者組織で作業グループ(WG)を設置し、GDFの建設に適した地点を含む特定の地理的エリアを選定する。同WGには、関係する主要な地方自治体すべてがメンバーとして招かれなければならない。
- ・「地域社会パートナーシップ」の創設：同WGは、GDFの立地で影響を受ける可能性のある個人や組織について情報を収集しつつ、コミュニティ内で情報共有したり、地層処分等への疑問点に答える「地域社会パートナーシップ」のメンバーを特定。同パートナーシップでは、地元コミュニティの一員や組織、RWMなどのほか、関係する主な地方自治体のうち少なくとも1つを、構成員として含める。
- ・「地域社会パートナーシップ」協定の締結：同パートナーシップのメンバーが共同作業をする際の原則や、それぞれの役割、責任事項等について決定を下す際の原則を定めた協定を締結する。
- ・地元への投資資金調達：英国政府は「地域社会パートナーシップ」を構成する各自治体に対して、年間最大100万ポンド(約1億4,094万円)の資金投資が可能になるよう手配。サイト選定プロセスが深地層のボーリング調査段階まで進んだ自治体には、年間最大250万ポンド(約3億5,237万円)が支払われる。
- ・撤退する権利：サイト選定プロセスが「市民の支持に関するテスト」段階に進むまでは、自治体はいつでも同プロセスから撤退することが可能。撤退の判断は関係する主要な地方自治体あるいは、「地域パートナーシップ」を構成する自治体が下すことになる。
- ・「市民の支持に関するテスト」：GDFの開発について国務大臣が合意の判断を下す前に、地元自治体はGDF受け入れ意思のあることを最終的に証明するため、住民投票その他の方法で同テストを実施しなければならない。実施時期を決める最終決定権は、「地域パートナーシップ」を構成する主要な地方自治体が有することになり、その実施に際してはそれらの自治体すべての合意が必要だとしている。

【米国】

エネ省、SMR初号機による電力利用で覚書

米エネルギー省(DOE)の原子力局(NE)は2018年12月

21日、米国初の小型モジュール炉(SMR)として傘下のアイダホ国立研究所(INL)内で建設が計画されているSMRについて、発電電力の一部をDOEが利用するための了解書を、初号機の所有者となるユタ州公営共同電力事業体(UAMPS)、およびINLの運営を担当しているバッテリー・エネルギー・アライアンス(BEA)と締結したと発表した。

同覚書でDOEは、連結可能なモジュール12基のうち2基からの電力を使って、SMRの商業化に向けた研究活動を進めるとともに、INL内の消費電力を確保する方針。NEの担当幹部は同覚書を通じて、国家の安全保障を担う研究所に対し、様々なトラブルからの回復機能が高い電力供給を受けるというDOEの必要性を満たせるだけでなく、国内最先端の技術による新型原子炉から電力が得られるとしている。

このSMRはニュースケール社製の「ニュースケール・パワー・モジュール」で、電気出力6万kWのPWR型モジュールを12基連結することにより、出力を最大72万kWまで拡大することが可能だとした。また、固有の安全性により、異常な状況下で原子炉を自動停止し、人的介入や追加の注水、外部電力の供給なしで無期限に冷却することができるとしている。

ニュースケール社は2016年の末日、同SMRの設計認証(DC)審査をSMRとしては初めて、米原子力規制委員会(NRC)に申請。2段階で構成される同審査の第1段階が、2018年4月末に完了している。一方、ユタ州を本拠地とするUAMPSは、西部6州の地方自治体や協同組合、公益電気事業者など46機関で構成される共同活動組織。2015年からは独自の「低炭素電力プロジェクト(CFPP)」を展開中で、UAMPSとDOEは2016年2月、INL敷地内におけるニュースケール社製SMRの建設支援で合意していた。

今回の覚書でDOEは、確保したモジュール2基のうち1基を「モジュール式発電所の共同使用(JUMP)」プログラムにおける研究開発・実証(RD & D)活動に充てる考え。JUMPの下でINLは、米国内の主要な原子力研究所として原子力関係の研究を進める方針で、電力および電力以外のエネルギーの両方について、生産を支援する統合エネルギー・システム開発に力を入れた。

もう片方は、INLへの電力供給を目的とした電力購入契約(PPA)用。2025年から2030年までの期間、INLが必要とする最大7万kWまでの電力が同モジュールから供給されるとしている。

【カナダ】

テレストリアル社、熔融塩炉の設計でBWXT社と契約

カナダを本拠地とするテレストリアル・エナジー社は2018年12月18日、第4世代の革新的原子炉技術として開発している小型の一体型熔融塩炉(IMSR)について、機器の設計サービス契約をBWXT社のカナダ法人と締結したと発表した。

テレストリアル社は、コストの点に加えて用途の多様性や機能性にも優れたIMSRの初号機を2020年代後半に起動させたい考えで、カナダで最初の商業用実証炉を建設した後、北米その他の市場で幅広く売り込む方針を2016年1月に公表した。今回の契約では、蒸気発生器(SG)や熱交換器、および発電システムに接続する機器の開発で、BWXT社から設計支援や技術コンサルティングを受ける計画。第4世代の小型原子炉技術は、社会を一変させるほど革新的なエネルギー・ソリューションであり、世界中で高まっているクリーンで低コスト、信頼性の高いエネルギーへの需要を満たすことができると強調している。

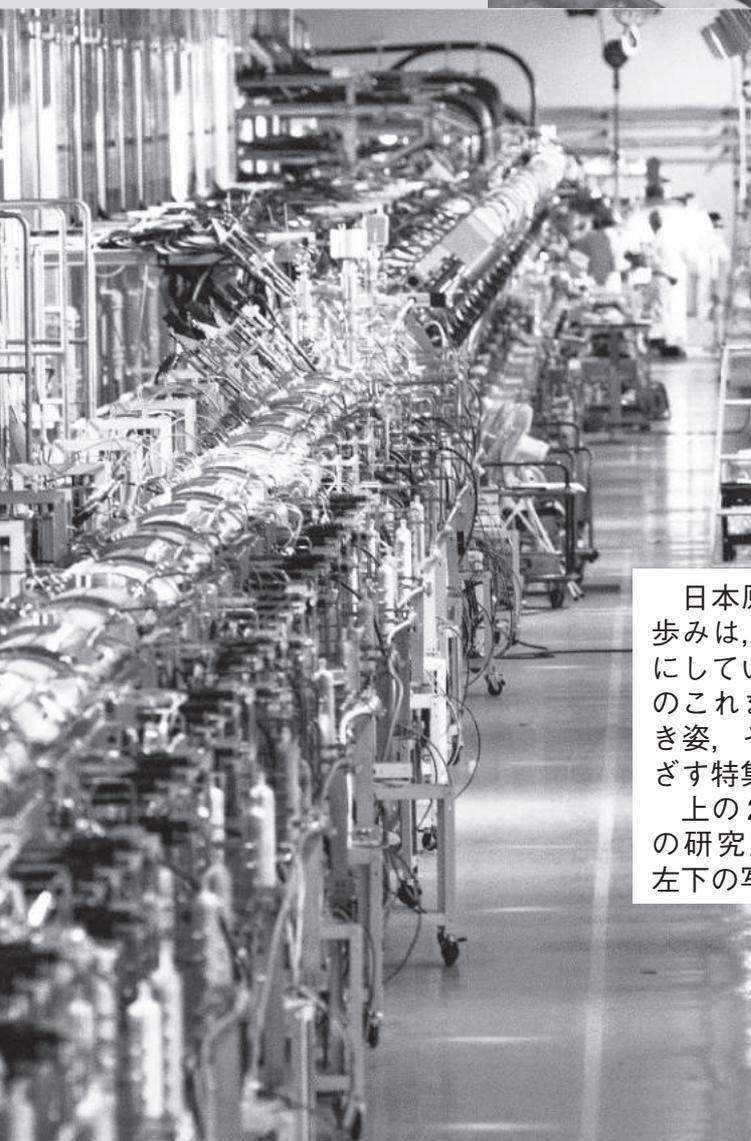
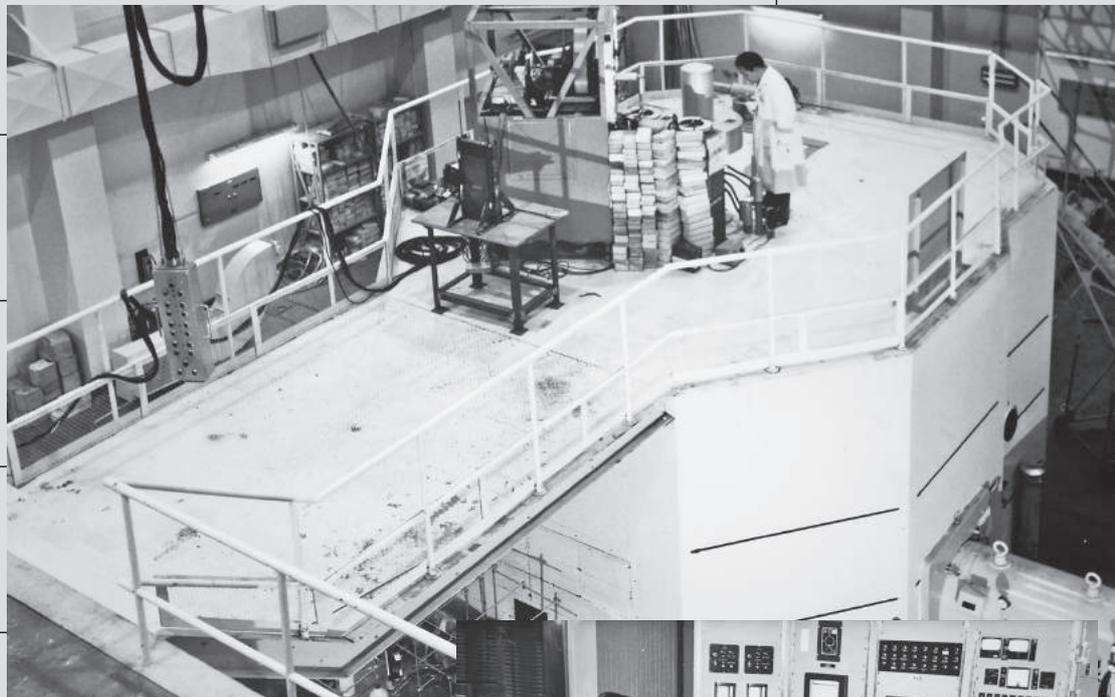
熔融塩炉では燃料として、熔融塩にトリウムなどを混合した液体を使用。テレストリアル社のIMSRは、電気出力19万kW、熱出力40万kWの小型モジュール炉(SMR)になる予定で、同社は安全で信頼性の高い発電ソリューションとなるだけでなく、600℃のプロセス熱を供給することも可能だとした。4年以内の建設が可能のため、先行投資額も10億ドル以下と調達し易い点が特長だとしている。

商業用実証炉の建設地点については、カナダ・オンタリオ州にあるカナダ原子力研究所(CNL)のサイト内で特定するため、テレストリアル社は2017年6月からフィージビリティ・スタディを開始した。カナダの規制要件に対する予備的な適合性評価サービスも、国内の原子力安全委から2016年4月以降、受けており、すでに第1段階が完了。2018年10月から第2段階の評価が始まっている。

IMSRのポテンシャルには米国政府も期待を抱いており、テレストリアル社の米国法人(TEUSA)は2016年9月、先進的な原子力プロジェクトを対象とする米国政府の融資保証プログラムに申請するよう、米エネルギー省(DOE)から招聘を受けたと発表。初号機の主な建設候補地としては、DOE傘下のアイダホ国立研究所内が挙げられている。

また2017年6月には、民間で開発が進められている先進的原子力技術の商業化を支援するため、DOEが設定したイニシアチブ「原子力の技術革新を加速するゲートウェイ(GAIN)」の支援対象にも選定された。TEUSA社はIMSRを将来的に米国市場で販売するため、2019年後半に設計認証(DC)審査を米原子力規制委員会(NRC)に申請する方針を2017年1月に伝えている。

これまでをふりかえり，今後を展望する I 創立60周年を迎え，学会は何をなすべきか



日本原子力学会は今春に，創立 60 周年を迎えます。その歩みは，日本における原子力の歩みそのものとはほぼ，軌を一にしています。これを機に本誌では原子力やそれをめぐる「学」のこれまでとこれからを総括し，これからの原子力のあるべき姿，それに向けた取組などについての指針を示すことをめざす特集を，2号連続で企画します。

上の2枚の写真のうち，一番上は日本原子力研究所(当時)の研究用原子炉 JRR-1 (日本原子力研究開発機構提供)，左下の写真は J-PARC の加速器 LINAC (J-PARC 提供)。

これまでをふりかえり、今後を展望する(日本学術会議)

科学者の社会的責任と科学者コミュニティ

日本学術会議 元会長 広渡 清吾

I. 日本原子力学会との接点

法律学者の私が、日本原子力学会で講演をする機会を与えられたのは、2004年5月の第42回原子力総合シンポジウムにおいてである。当時、日本学術会議の第2部長(法学・政治学)を務め、特別委員会「安全・安心な世界と社会の構築」の委員長として、委員会報告のとりまとめを行ったところであり、日本原子力学会会員である委員会メンバーの木村逸郎先生の御推薦で、そのような次第となった。講演の内容は『日本原子力学会誌』(2004. Vol.46, 713)に「安全で安心な社会の構築－安全と安心をどうつなぐのか」と題して収録されている。

そもそも論をいえば、すべての個人の安全の確保は、近代国家のミッションといえるから、安全の問題は、大から小まで多様な領域と問題にかかわる。この委員会は、そのような視野を前提に、具体的には科学・技術の提供する多様な人工物(システム、施設、機械・道具、物品など)および医療技術などの安全と安心を取り扱った。安全は、対象に属する客観的性状であるが、これに対して安心は、その性状に対するユーザーとしての市民の主観的な心理状態である。安全は、科学の側が提示し、根拠づける。安心は、これに対する市民の側の評価的心理である。科学の側は、安全の保証について、「絶対安全」「リスクゼロ」が原理的にあり得ないことを前提に、リスク・コミュニケーションを介して、市民の側の安心の確保に努める。つまり、「安全」とは、厳密には、「安全度」の提示である。それゆえ、この構造は、安全と安心の乖離の可能性(危険性)をたえずはらんでいる。

講演では、この乖離の出現を防ぐことについて科学の責任と社会のあり方を一般的に述べて終わっているが、講演に遅れて公表された上記委員会の「報告」(2004年6月『安全で安心な世界と社会の構築に向けて』)は、「安全の水準がより高まる、安全と安心をつなぐ社会システムの構築」を目指して、三つの提言を行っている。第1に、安全と安心をめぐる市民と国家、市民と科学・技術の関係は、保障と被保障の一方通行的関係でなく、相互の循環的コミュニケーションを通じて市民の合理的選択を可能にする場として設計されるべきこと、第2に、科学と社会(市民)の間のコミュニケーションには基礎となる相互の信頼関係が必要であること、そして第3に、安全と安心をつなぐため、自然科学と人文・社会科学の統合的

な研究(統合科学としての安全学の構築)が必要であること、である。振り返って考えれば、安全と安心をつなぐものは、科学と社会(市民)の間に、相互のコミュニケーションを通じて形成される「信頼」であり、信頼形成を志向する科学のあり方と取組みが核心的課題であった。

この課題は、本稿の表題に展開しうるものであった。以下、それに即して、日本学術会議の活動に係って、私が考え、取り組んできた多少のことを述べてみたい。

II. 東日本大震災と「信頼」の危機

2011年3月11日の東日本大震災とそれによる東電福島第一原発事故は、被災地域に未曾有の惨状を生み出した。それは、大規模な自然災害およびそれを与件にした、科学・技術による人工物＝大規模施設の破綻であった。いわゆる原発の「安全神話」が崩壊した。安全神話とは、安全と安心の関係におけば、絶対の安心を与えることであり、「絶対的安全」はないという科学の側の論理からすれば、「安全神話」によりかかる大規模施設の管理運営は、あってはならないものであった。現実における神話の崩壊は、安全を保障した科学に対する信頼の喪失を一気に引き起こした。

個人的な体験であるが、2012年3月に福島市で経済系4学会による「震災・原発問題と社会科学の責任」をテーマにシンポジウムが開催され、私は「東日本大震災・原発事故と社会のための学術」と題する講演を行った。大震災後の日本学術会議の活動を紹介・分析し、学術(＝科学)が何をなすべきかを話した。講演後、地元の有力新聞の記者から「ここでは、科学者を信用する人はいませんよ」と語りかけられた。

科学と科学者への不信は、被災地にとどまらず、国民的スケールに広がった。2013年度の政府の『科学技術白書』は、次のように述べている。「近年の科学技術の発展に伴い、科学技術に対する期待が高まる一方で、東日本大震災、特に東電福島第一原子力発電所事故によって、危機管理の不備が明らかとなり、科学技術に対する国民の不安と不信を生んでいる。」(同書285頁)。

安全を安心につなぐものは、科学と社会、具体的に科学者と市民の間に存在する信頼である。信頼は、相互のコミュニケーションのなかで、形成されるものであった。福島第一原発事故以降、科学・科学者は、あらためて、この信頼関係の再構築の課題に直面した。それは、

科学者が社会と市民に対して応え、負うべき責任、応答責任 (responsibility) であり、こうして科学者の社会的責任とは何かをあらためて問われることになった。

III. 「社会のための学術」と科学者

私は、大震災の当時、日本学術会議の第1部長(人文・社会科学)であり、その後副会長と会長を短期間務め、2011年9月末で会員としての任期を終えた。法改正による組織変更(2005年10月)を挟んで11年間、会員を継続した。とはいえ、科学者の社会的責任というテーマに正面から取り組み、考え悩んだのは、大震災と原発事故のショックによってである。

大震災の1年前、2010年4月、日本学術会議は、『日本の展望－学術からの提言』を公表した。これは、学術の立場から、中期的な展望をもって、日本社会の課題および学術各分野の課題を明らかにするべく、学術会議が総力をあげて取り組んだものである。そこでの基調は、「学術のための学術 (Science for Science)」と「社会のための学術 (Science for Society)」を不可分一体の本質的契機とする営みとして学術を捉えることであった。ここで、「学術」というタームは、自然科学および人文・社会科学ならびに技術を一体としてとらえるものとして、用いられた。つまり、科に分かれるという意義の科学(複数形の科学)を超えるものとして用いられ、21世紀的課題に対応するために、諸科学の統合的な取り組み、学術としての一体性への志向が強調された。

ここで、学術のための学術とは、学術が自立的かつ自律的な営みとして、学術の人類的使命である真理の探究以外に、その存在意義と目的を正当化する必要のないことを示すものである。他方で、社会のための学術とは、学術の営みが社会の信託によって、社会の中で、そして、社会に対する「有用性」を問われながら行われることについての自覚と自省の必要性を示すものである。ここでの「有用性」は、いわゆる実用性ではなく、社会的レバンスの意味である。

社会のための学術は、広いディメンションで、科学と社会の関係性において、科学者が自己の学術的営みを自覚的にたえず自省し、必要ならば社会において適切に行動するという要請を意味するものである。提言は次のように述べている。「日本の科学者コミュニティは、日本学術会議を通じて、その存在を『代表』される。日本学術会議の活動は、『代表』にふさわしく、社会に対して、科学者コミュニティの共同性を形成し、社会に対する責任を自覚し、履行するものでなければならない」(同1頁)。とはいえ、ここでは、科学者の社会的責任の論じ方は、なお抽象的な次元にとどまっていた。

IV. 政府と市民社会に対する学術的助言

大震災と原発事故から半年間、学術会議は被災者と被

災地のために緊急に必要な措置や取組みについて、政府と社会に向けて、一連の緊急提言を発出した。防災や原発の安全保障、災害時の行政の被災者への対応、放射性物質の拡散に対する防護など、もともとこれらは学術の課題であり、被災者と被災地の困難のなかで学術の見地からの助言が確かに求められていた。まさに、このような助言活動は、科学者の社会的責任の内容をなした。

2011年9月に学術会議は、半年間の助言活動を総括して、それが大震災と原発事故の深刻さ、救済と復興の困難な課題に照らして極めて不十分であったことを認めつつ、そこから助言のあり方について次のように教訓を引き出している(「東日本大震災からの復興と日本学術会議の責務(幹事会声明)」)。

まず、政府に対する関係について、三つを指摘する。第1に、助言の内容が「多くの専門知に基礎づけられる俯瞰的、中立的検討を通じて統合的な知」として形成されるべきこと、第2に、政府の側が「科学者コミュニティの自立的活動を保障し、情報を開示し、助言を政策的判断の基礎として考慮する」という立場をとること、そして、第3に、学術会議の側も政府の側もこのような学術的助言が「政策決定が依拠しうる根拠の一つにとどまる」ものとして了解することである。学術的助言は、政府が聞く耳をもつことが要件であるが、同時にそれを正当化の切り札とすることなく、政策の民主的決定のプロセスに乗せることが求められるのである。

学術会議は、緊急提言の一つとして、2011年6月24日に「日本の未来のエネルギー政策の選択に向けて－電力供給源に係る6つのシナリオ」を公表した。これは、安定供給性、環境安全性そして経済性の三つのクライテリアによって、全原発の即時停止から長期的な原発推進までの六つのシナリオを選択可能なものとしてデータによって根拠づけ、政府に提案し、社会の討議に付することを目的にしたものである。これは、上記1の助言の内容についての要件を満たすものとして考えられ、同時に、科学者コミュニティとしての学術会議の助言が、唯一無二の解決策を示すもの(unique voice)ではなく、政府および社会の判断を助ける学術的総合的アドバイス(organized voice)であることを示す、貴重な例となった。

V. 市民に対する科学者の社会的責任

市民社会に対する助言活動は、低線量放射能の被曝問題について、深刻で困難な問題をかかえた。上記声明は、次のように状況を整理し、かつ、問題を提起している。学術会議のこの問題についての助言は、ほぼ国際放射線防護委員会(ICRP)の防護ガイドラインの説明と普及に限られた。しかし、それでよとすべきか、が教訓として問われなければならなかった。つまり、科学者は、「明確な科学的知識を提供するだけではその役割が

果たせない」という事態、「市民の感じる問題、抱える不安、解決への展望を知る要求」にどう応答するのかという課題に直面したのである。声明は、これについて、第1に「科学者ができるかぎりの科学的知識を提供しながら」、第2に「市民と課題を共有し」、そして第3に「そのコミュニケーションの中で解決を共に模索する」ことが必要であり、そのためにはこれまでにない「創意的な取組み」が求められるとしている。

ここで求められている「創意的な取組み」をあらためて論じれば、安全と安心の関係性において、科学者と市民が安全の与え手と受け手の一方通行的な関係に立つのではなく、専門的知識と情報の提供と共有の上で、科学的になお明証されえない課題の解決に向けて、科学者と市民が協働する構図を創り出すことである。この構図において、科学者は、専門家としての優位性によって決定権を専有するのではなく、専門家としての最善の知識と情報の提供を担い、それを理解する市民のリテラシーを普段から高めつつ、乗り越えるべき課題に対して、一方で専門家の連携、諸科学の統合的協働を追求し、他方で市民との集団的学習と討議を組織し、実行する、社会的責任の主体として位置づけられよう。

公共的な決定を迫られ、それが「トランス・サイエンス」問題（「科学によって問うことはできるが、科学によって答えることのできない問題群」・A. ワインバーグ）に係るという事態は、21世紀社会に通常のこととなりうる。とすれば、科学者の社会的責任のあり方は、公共的決定のプロセスにおいて、専門家相互の連携と協働とともに、市民との相互学習と共同討議を要請する。この前提条件を満たすためには、社会のなかで市民の科学リテラシーの日常的向上の取組みを必要とする。科学は、社会のために、社会のなかで、そして、社会＝市民とともに、存在し、科学者は、そのような科学のありようを自覚し、自省し、かつ、行動するという社会的責任を負うべきことになる。

VI. 科学者コミュニティの意義と役割

日本学術会議は、日本の科学者コミュニティの代表機関と位置づけられている。科学者コミュニティ (scientific community) は、科学者が社会において与えられている所与の役割の共通性に基づいて、コミュニティ (共同体) として成立する。つまり、科学者は、科学者であるかぎり、任意にその所与の役割から離れることができない。換言すれば、科学者コミュニティは、科学者の社会的責任と表裏の関係にあるといえる。そのような意味で、科学者コミュニティは、ICUS (国際科学会議) に代表されるようなグローバルな次元で、また、ヨーロッパのような地域的次元でさらにナショナルな次元で、あるいは学協会や種々の研究機関という単位で、それぞれ一つのまとまりをもって、成立しうる。

科学者コミュニティのコンセプトは、1999年の「ブダペスト宣言」(「科学と科学的知識の利用に関する世界宣言－21世紀のための科学・新たなコミットメント」)を機縁として、普及した。これは、ユネスコと国際科学会議の共催で行われたブダペスト会議の成果であり、宣言は、「科学者コミュニティと社会との対話を促進する可能性を実現するため、あらゆる努力を惜しまないことを自らに約束する」と述べている。科学者コミュニティの社会に対する応答責任が明確に約束されたのである。

日本原子力学会も科学者コミュニティの一つである。一般に学協会は組織の社会的性質によれば、出入り自由のアソシエーション (association) であるが、上述のように、メンバーの社会的に共通の所与の役割がこれをコミュニティとして成立させる。ここで重要なことは、科学者の社会的責任を担うのが、科学者とならんで科学者コミュニティであるという論点である。

社会的責任の担い手は、もちろん、科学者個人である。ところで、この責任は、近代社会の憲法 (日本国憲法では23条) が保障する学問の自由と相関している。社会は、科学者に真理を探究する「学術のための学術」を自由として保障している。これを受けて、科学の側は、自由に伴う責任および社会における学術的営みの意義と作用を自省して、「社会のための学術」を一つの本質的契機として位置付けている。

学問の自由から問題を考えると科学者コミュニティの役割がより把握しやすい。学問＝学術的営みは、それが学術的成果を目指すものとして社会的に認知されるための仕組み＝システムをともなってはじめて存在しうる。学術活動の健全性 (integrity) 確保および研究成果の評価に係るシステムは、その最小のものである。学術活動の自由とは、科学者個人の放恣の自由ではなく、こうしたシステムに裏打ちされるものであり、このシステムを自立的かつ自律的に運営する科学者コミュニティの存在に担保されている。

科学者の社会的責任もまた同様の連関のなかにある。科学者コミュニティは、共同体メンバーとしての科学者が自由と同時に責任の担い手としてその学術活動を展開することを支える役割をもつ。逆に、科学者個人は、このような科学者コミュニティの役割を保持し、促進すべく、コミュニティの構築に寄与すべき責務をおう。科学者の社会的責任は、このように循環性をもつのである。

日本学術会議の「科学者の行動規範」(2006年10月制定、2013年1月改定)は、以上の趣旨をよく示している。そしてまた同じように、「日本原子力学会倫理規定」(2018年1月31日承認版)は、科学者コミュニティとしての日本原子力学会が会員とともに科学者の社会的責任の履行を目指すものであることを社会に対して約束している。

VII. 原子力の統合的研究＝統合科学への期待

「3・11」のあと、学術会議が創設以来、原子力の平和利用と放射線の健康被害の防御に係って発出した提言・報告等を系統的に読んでみた。そのなかで、目を引いたのは、2003年3月に公表された「人類社会に調和した原子力学の再構築」と題する報告である。同報告は、原子力工学研究連絡委員会およびエネルギー・資源工学研究連絡委員会核工学専門委員会の審議・作成にかかるものである。研究連絡委員会は、組織改革前の学術会議の組織であり、分野毎に学術会議会長が任命した科学者によって構成されていた。

報告は、第2章を「原子力学のパラダイム転換」、その第4節を「俯瞰的立場から見た原子力学とその理念」と題し、結論的に次のように述べている。「本来、原子力は広く原子力学の範疇で扱われるべきものであったが、核エネルギーの平和利用としての位置付けが明確であったため、国家の重要施策のひとつとして工学の枠組みの中であまり他に目を向けることなく発展してきた。しかしながら今日に至って、他の先端科学技術の展開と同様に、原子力分野においても、より俯瞰的な観点からの価値判断が求められている。このことが工学の枠を超えた原子力学が必要とされる理由である。」(同報告書18頁)

ここで提示されている「原子力学」の構想は、原子力の平和利用を国策的大前提にしてもっぱらその安全性を技術的に追究してきた原子力工学からのパラダイム・チェンジを目指すものとして、ポスト「3・11」の今、あらためて意義深い。「人類社会への調和」とは、社会的に実装される技術システムの安全性確保の次元をこえて、人類として現在世代と同様に将来世代を考慮し、その生存環境の再生産を視野にいたした原子力利用のあり方が必要なことを指示している。全面的脱原発を国として決定したド

イツがその問題を「倫理的問題」として位置付けたのは、既存の原子力発電施設が将来世代に大きな負荷を残しうることを最重要視したからであった。また、「俯瞰的な観点からの価値判断」は、原子力学が原子力の利用について、倫理的、法的、かつ、社会的側面の視点(いわゆるELSI)から基礎づけられるべきことを含意している。

エネルギー問題は、食料や水、そして気候変動とともに、人類にとって持続可能な社会の基本条件をなすものであり、原子力の利用はそのような人類的課題の構成要素をなす。この人類的課題に対して、原子力学は、上記報告が展望したように、工学の次元を大きく超えて、自然科学および人文・社会科学と協働する統合的な研究として、既存原発施設の負荷問題の解決を含めて、持続可能な社会への貢献を目指すものであることが期待される。

－ 参考文献 －

- 1) 広渡清吾『学者にできることは何か－日本学術会議のとりくみを通して』岩波書店、2012年。
- 2) 後藤康夫ほか編『いま福島で考える－震災・原発問題と社会科学の責任』桜井書店、2012年。
- 3) 島菌進ほか編『科学不信の時代を問う－福島原発災害後の科学と社会』合同出版、2016年。
- 4) 藤垣裕子『科学者の社会的責任』岩波書店、2018年。
- 5) 「特集『科学と科学的知識の利用に関する世界宣言(ブタベト宣言)から20年を経て』」『学術の動向』2019年1月号。
- 6) 日本学術会議の発出にかかる文書はすべて同会議のウェブ・サイト(<http://www.scj.go.jp/>)で閲覧可能。

著者紹介



広渡清吾 (ひろわたり・せいご)

東京大学名誉教授、公益財団法人・日本学術協力財団副会長、日本学術会議連携会員、第16期日本学術会議会長。専攻：ドイツ法・比較法社会論、1945年生。

これまでをふりかえり、今後を展望する(日本学術会議)

日本学術会議における原子力問題への取組み

日本学術会議 総合工学委員会委員長 吉村 忍
東京大学

I. はじめに

日本学術会議と原子力平和利用は深い関係を有する。1949年に発足した日本学術会議の初期の大きな仕事は原子力の平和利用推進に関わる研究体制の構築だったからである。その後、原子力平和利用三原則を提唱し、原子力発電の安全性にも強い関心を示してきた。しかし、1980年代以降、原子力発電関連事故に際して、安全性の観点から提言等を行ってこなかったことは強く反省しなければならない。東京電力福島第一原子力発電所事故以降、日本学術会議は、事故への対処、被災地の復興、被災者への支援等の観点から多くの提言等を公表してきた。日本学術会議における原子力問題への取組みについては、2015年3月号の原子力学会誌の「知の統合」特集において、大西隆 前日本学術会議会長が寄稿しており、日本学術会議発足から主に第22期の活動(2015年9月まで)について総括・報告されている¹⁾。本項では、そこに付け加える形で、第23期活動(2014年10月～2017年9月)を中心に、24期活動(2017年10月～2020年9月)の概要を紹介する。

日本学術会議においては、原子力に関連する取組みとして、①東京電力福島第一原子力発電所事故要因、②原子力発電のあり方、③被災地の復興、④被災者の支援、⑤高レベル放射性廃棄物の処分、⑥工学システムの安全、⑦エネルギー・地球温暖化問題対応、⑧総合工学、知の統合等について、様々な分野別委員会が分科会や課題別委員会を設置し、第1部(人文・社会科学)、第2部(生命科学)、第3部(理学・工学)に所属する会員、連携会員等が審議を行い、また公開シンポジウムを通して社会との討論も重ねながら、その結果を提言や報告として公表してきている。これらはいずれも日本学術会議のHPページ(<http://www.scj.go.jp/ja/info/index.html>)からダウンロードいただけるようになっている。貴会会員には、是非ともそれらの報告書を一読いただきたい。本稿では、限られた紙面の中で、いくつかの提言・報告の概要を紹介させていただく。

II. 原子力問題に係る提言・報告の概要

1. 原子力発電のあり方について

原子力利用の将来像についての検討委員会では、提言「我が国の原子力発電のあり方について—東京電力福島

第一原子力発電所事故から何をくみ取るか」をまとめ、2017年9月12日に公表した²⁾。

東電福島第一原子力発電所事故はなお多くの未解決の問題を残し、賠償等に巨費を投じながら今後とも事故への対応が継続される。東京電力と国は、事故の責任を明確にしつつ、被災者と被災地に対して、それぞれの現状や要望に即した生活再建や復興のための多様な支援を行うべきである。特に、年少者をはじめとする被災者の健康管理には、長期にわたる体制整備が求められる。

この事故の原因解明は種々進められてきた。自然現象に関する想定や人工物側の事故予防策の甘さ等の人為的な過誤が重なって重大事故に至ったと総括できる。将来においては、さらなる大規模自然災害、テロ、サイバーテロや犯罪から原子力発電所が安全かという問題も検討課題であり、バックフィットの考え方による不断の安全性向上が欠かせない。また使用済み核燃料と高レベル放射性廃棄物の処分の見通しも立っていない。また、この事故で、国民意識は原子力発電に否定的な方向に大きくシフトしている。ある特定の範囲の人々に犠牲を強いるシステムという社会的な倫理問題も未解決である。立地地域・周辺地域、作業従事者等への危険の集中をどう軽減するのか、将来世代への危険の持ち越しをどう避けるのかを考えていくことなしに国民的合意を形成することは困難である。これらを踏まえるならば、再生可能エネルギーの安定的かつ低価格での供給を基本とする新たなエネルギー供給体制に向けた研究開発をすすめ、その実現を図ることは喫緊の課題である。

同時に、総合工学委員会・原子力安全に関する分科会を設置し、提言「研究と産業に不可欠な中性子の供給と研究用原子炉の在り方」もまとめ、2018年8月16日に公表した³⁾。ここでは、試験研究用原子炉のあり方について検討し、(1)我が国の科学技術を支える量子ビームである放射光および中性子を提供する施設の充実が重要であること、将来の原子力発電所の廃炉或使用済燃料の処理処分等長期にわたる事業を支えるための人材育成が必要であり、研究炉は人材育成に大きく貢献できること、などがまとめられた。

2. 被災地の復興、被災者の支援等について

社会学委員会・東日本大震災の被害・影響構造と日本社会の再生の道を探る分科会を設置し、報告「多様で持

続可能な復興を実現するために一政策課題と社会学の果たすべき役割」をまとめ、2017年9月15日に公表した⁴⁾。この報告では、東日本大震災、とりわけ福島原発事故の被災地・被災者が直面する課題について、社会学の視点から、問題点とその改善に資する方策について論じた。第22期社会学委員会は「原発災害からの回復と復興のために必要な課題と取り組み態勢についての提言」(2013年6月)、「東日本大震災からの復興政策の改善についての提言」(2014年9月)を公表してきたが、さらに現実の復興政策は、提言を踏まえたときどう評価すべきか、政府の対策の中心に据えられた「早期帰還」政策、復興過程の社会的モニタリング体制自体について、「避難指示の出された12市町村」を対象に検証結果を示し、復興過程の社会的モニタリング—大局的な視点から復興政策を検証した。

また、放射性核種による汚染に係る環境浄化の基礎科学に関する委員会を設置し、報告「放射性元素の移行機構の解明と環境浄化に関する国際共同基礎研究の推進」をまとめ、2017年9月12日に公表した⁵⁾。この報告では、環境浄化を進めるには放射性元素を除去する方法を開発するだけでなく、汚染地域やその周辺環境における放射性元素の空間的な移行を明らかにすることが必要となる。そのためには、汚染地域における現在の化学状態や将来にわたるその変化に関する知見を得るための研究、すなわち放射性元素の移行機構の解明に向けた基礎研究が不可欠である。そこで、この報告では、放射性元素の移行機構や汚染に係る環境浄化の基礎研究に関する国際的な共同体の創設と日本の参画について討議した結果をまとめた。

一方、被災者の支援については、様々な観点がある。そこで、東日本大震災復興支援委員会・原子力発電所事故に伴う健康影響評価と国民の健康管理並びに医療のあり方検討分科会を設置し、提言「東日本大震災に伴う原発避難者の住民としての地位に関する提言」をまとめ、2017年9月29日に公表した⁶⁾。さらに、同分科会は、報告「東京電力福島第一原子力発電所事故被災者のためのより良い健康管理と医療の提供に向けて」をまとめ、2017年9月29日に公表した⁷⁾。この報告では、東電福島第一原発事故後の健康管理と医療に関して、より深い探究・配慮が求められると認識された課題について指摘するとともに、今後のより良い健康管理と医療の提供へ向けた活動に関する考え方を、(1)避難に伴う震災関連死を減らすために、(2)福島県県民健康調査による甲状腺検査、(3)こころの健康問題への対応、の観点からまとめた。

臨床医学委員会・放射線防護・リスクマネジメント分科会では、報告「子どもの放射線被ばくの影響と今後の課題—現在の科学的知見を福島で生かすために」をまとめ、2017年9月1日に公表した⁸⁾。災害弱者であり、放

射線感受性が成人より高いと言われる「子ども」と「放射線」の問題について数多くの議論がなされ、日本学術会議も多くの提言を発表してきた。この報告では、子どもを対象とした放射線の健康影響や線量評価に関する科学的知見の整理、並びに福島原発事故後の数年の間に明らかになった健康影響に関するデータとその社会の受け止め方(理解の浸透や不安の状況)の分析を行い、保健医療関係者に向けた将来の「提言」の取りまとめに繋げることとし、(1)子どもの放射線被ばくによる健康影響に関する科学的根拠、(2)子どもの放射線診断・治療と防護、(3)福島原発事故による子どもの健康影響に関する社会の認識、(4)放射線影響をめぐる様々な見解、(5)提言に向けた課題の整理、をとりまとめた。

原発事故の長期避難者については、東日本大震災復興支援委員会・福島復興支援分科会を設置し、提言「東京電力福島第一原子力発電所事故による長期避難者の暮らしと住まいの再建に関する提言」をまとめ、2014年9月30日に公表した⁹⁾。この報告では、個人の多様な選択を保証する「複線型復興」の立場から、各種の制度・施策の改善・創設に関わる提言をまとめた。

3. 高レベル放射性廃棄物の処分について

日本学術会議は、2010年9月7日に原子力委員会委員長から「高レベル放射性廃棄物の処分の取組における国民に対する説明や情報提供のあり方についての提言のとりまとめ」という審議依頼を受け、課題別委員会「高レベル放射性廃棄物の処分に関する検討委員会」を設置し、原点に立ち返った審議を行い、2012年9月11日に原子力委員会委員長に回答を行った。回答で提示した提言を政府等が政策等に反映しやすくするために、より一層の具体化を図ることが重要であるとの認識から、2013年5月に「高レベル放射性廃棄物の処分に関するフォローアップ検討委員会」を設置し、回答のより具体的な方策について技術と社会という総合的視点から検討を重ね、(1)暫定保管の方法と期間、(2)事業者の発生責任と地域間負担の公平性、(3)将来世代への責任ある行動、(4)最終処分へ向けた立地候補地とリスク評価、(5)合意形成に向けた組織体制、について提言をまとめた¹⁰⁾。

この課題に関しては、社会学委員会・討論型世論調査分科会も設置し、報告「高レベル放射性廃棄物の処分をテーマとしたWeb上の討論型世論調査」をまとめ、2016年8月24日に公表した¹¹⁾。この報告では、高レベル放射性廃棄物の処分問題をテーマとしたオンライン上の討論型世論調査(Deliberative Polling®;以下DPと略す)の実施と審議を進め、今回の実験では、Web会議システムを通じたグループ討議と質疑応答セッションであっても実空間上のDPと同様の態度変容が起きることを確認した。通常の世論調査は、十分な情報や人の意見を聞く機会がないままの意見しか捉えることができず、熟慮し

た場合に人々がどのような意見を持つようになるのかを知ることはできない。今回の結果は、Web会議システムを用いたDPが通常の世論調査の問題点を克服し、無作為抽出された市民からなる公共空間としてのミニ・パブリックスによる討議と民意の形成に、有力な手法となることを示した。

4. 工学システムの安全について

この課題に関しては、総合工学委員会・機械工学委員会合同・工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会を設置し、報告「工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用」をまとめ、2017年9月20日に公表した¹²⁾。2014年に「工学システムに対する社会の安全目標」を報告として取りまとめたが、そこでは工学システムの安全に関する現状を調査し、工学システムの社会安全目標の基本的考え方を整理し、具体的な目標として死亡に関する目標にALARP(as low as reasonably practicable)の概念を採用し、その定量的基準値を提案した。その後の検討をさらに進め、2014年報告の用語やALARPの適用範囲について見直しを行うと共に、2014年報告について安全工学シンポジウム等において寄せられた規制と安全目標等の関係についても整理した。さらに、工学システムの各分野の特徴を踏まえ安全目標の適用について検討を行い、基本的な考え方の有効性と課題を明らかにして社会安全目標の実効性を高めるための検討内容について取りまとめた。この報告では、安全目標の基本的な考え方として、ALARPの考え方を人命に関する目標だけでなく一般的な分野にも適用した。また、安全目標の一つとして多様なリスクのバランスを考えた評価方法の考え方を提案した。

5. エネルギー・地球温暖化について

東日本大震災に伴って発生した福島第一原子力発電所の事故により、我が国のエネルギー需給計画は根本的な変更を余儀なくされた。一方、2016年に発効したパリ協定の目標を実現するために、脱化石エネルギーが必須の課題となっている。そこで、東日本大震災復興支援委員会・エネルギー供給問題検討分科会を設置し、報告「再生可能エネルギー利用の長期展望」をまとめ、2017年9月26日に公表した¹³⁾。この報告では、二酸化炭素を排出しない再生可能エネルギーの導入拡大が、日本のエネルギー戦略を構築する上で極めて重要であることから、2014年9月の日本学術会議報告「再生可能エネルギーの利用拡大に向けて」を踏まえ、長期的視野から見た我が国のエネルギーの在り方に関して審議するなかで、再生可能エネルギーの最大限の導入が必要であり、その実現に向けた検討を進めた結果をまとめた。

また、総合工学委員会・エネルギーと科学技術に関する分科会も設置し、報告「パリ協定を踏まえたわが国の

エネルギー・温暖化の対策・政策の方向性について」もまとめ、2017年7月21日に公表した¹⁴⁾。2015年12月に開催されたCOP21において、2020年以降の温室効果ガス排出削減の枠組みを定めたパリ協定が合意され、2016年11月に発効した。今後、パリ協定の実効性を高めていくことが重要であり、わが国もそれに大きく貢献していくことが求められる。この報告では、現在の地球温暖化・エネルギー政策状況を踏まえ、今後対応が必要な事項について課題を整理した。

6. 知の統合・総合工学について

2015年3月号の原子力学会誌の特集テーマは「知の統合」であるが、日本学術会議においては「知の統合」について長期にわたり検討してきている。第22期には、総合工学委員会・工学基盤における知の統合分科会を設置し、報告「『知の統合』の人材育成と推進」をまとめ、2017年9月20日に公表した¹⁵⁾。日本学術会議で「知の統合」に関する議論が始まってから10年以上が経過し、人材育成の重要性に対する認識を含め議論が深化してきたが、具体的施策に結び付くまでに至っていない。そこで、これまでの提言、報告、記録並びに近年の海外動向を踏まえ、社会的課題の認識・把握・解決に向けた知の統合を推進する体制の観点から、(1)知の統合を担う人材(知の統合人材)の育成、(2)知の統合人材の評価、(3)知の統合に関する研究・人材育成・社会実装を担う組織体制、についてとりまとめた。

また、総合工学委員会では、提言「社会的課題に立ち向かう『総合工学』の強化推進」をまとめ、2017年9月6日に公表した¹⁶⁾。東日本大震災の体験によって、自然災害と原子力発電所事故に対して、わが国全体が工学を含めた科学だけではこれらの災害と事故の問題解決はできないことを深く認識した。特に、工学が創り出した原子力発電所の事故に対して、工学がその解決には甚だ非力であることを深く思い知らされた。工学を始めとする学問は、これまでの歴史において社会的・経済的な価値の創出に貢献してきたものの、破局的事態の遭遇にはなすすべを持たず、社会的・経済的損失については対応できなかった。学術が社会に対して責任を持つためには、価値の創出と同時に損失に対しても最小化を図り、かつその後の責任を果たすことが必要である。そのためには、あらゆる工学の知を総動員し、さらには工学以外の分野をも柔軟に取り込んだ「総合工学」を再定義し、社会に貢献できる総合工学の課題を明確にし、課題を克服するための施策を考案し実行することが必要となっている。このような状況を背景とし、総合工学を再定義し、それが果たす役割について検討し、(1)総合工学の分類、(2)社会の声を聞き、工学に取り込む、(3)新しい研究評価基準の構築、(4)総合工学を担う人材の育成、についてまとめた。

Ⅲ. おわりに

本稿では、日本学術会議における取組みの一端を紹介したに過ぎないが、原子力の係る課題、生み出した課題は、人文・社会科学から生命科学、理学・工学の学術の全分野におよび、今後とも日本学術会議として取り組んでいかねばならない。一方、日本原子力学会は、学術の全分野に広がった原子力関連諸課題をどのように咀嚼し、社会の付託に応えていくのだろうか。

－ 参考文献 －

- 1) 大西隆, 日本学術会議における原子力問題への取組み, 日本原子力学会誌, Vol.57, No.3, pp.9-16, 2015.
- 2) 日本学術会議提言, 我が国の原子力発電のあり方について－東京電力福島第一原子力発電所事故から何をくみ取るか, 原子力利用の将来像についての検討委員会・原子力発電の将来検討委員会, 2017. 9. 12.
- 3) 日本学術会議提言, 研究と産業に不可欠な中性子の供給と研究用原子炉の在り方, 総合工学委員会・原子力安全に関する分科会, 2018. 8. 16.
- 4) 日本学術会議報告, 多様で持続可能な復興を実現するために－政策課題と社会学の果たすべき役割, 社会学委員会・東日本大震災の被害・影響構造と日本社会の再生の道を探る分科会, 2017. 9. 15.
- 5) 日本学術会議報告, 放射性元素の移行機構の解明と環境浄化に関する国際共同基礎研究の推進, 放射性核種による汚染に係る環境浄化の基礎科学に関する委員会, 2017. 9. 12.
- 6) 日本学術会議提言, 東日本大震災に伴う原発避難者の住民としての地位に関する提言, 東日本大震災復興支援委員会・原子力発電所事故に伴う健康影響評価と国民の健康管理並びに医療のあり方検討分科会, 2017. 9. 29.
- 7) 日本学術会議報告, 東京電力福島第一原子力発電所事故被災者のためのより良い健康管理と医療の提供に向けて, 東日本大震災復興支援委員会・原子力発電所事故に伴う健康影響評

価と国民の健康管理並びに医療のあり方検討分科会, 2017. 9. 29.

- 8) 日本学術会議報告, 子どもの放射線被ばくの影響と今後の課題－現在の科学的知見を福島で生かすために, 臨床医学委員会・放射線防護・リスクマネジメント分科会, 2017. 9. 1.
- 9) 日本学術会議提言, 東京電力福島第一原子力発電所事故による長期避難者の暮らしと住まいの再建に関する提言, 福島復興支援分科会・東日本大震災復興支援委員会, 2014. 9. 30.
- 10) 日本学術会議提言, 高レベル放射性廃棄物の処分に関する政策提言－国民的合意形成に向けた暫定保管, 高レベル放射性廃棄物の処分に関するフォローアップ検討委員会, 2015. 4. 24.
- 11) 日本学術会議報告, 高レベル放射性廃棄物の処分をテーマとした Web 上の討論型世論調査]社会学委員会・討論型世論調査分科会, 2016. 8. 24.
- 12) 日本学術会議報告, 工学システムに対する社会安全目標の基本と各分野への適用, 総合工学委員会・機械工学委員会合同・工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会, 2017. 9. 20.
- 13) 日本学術会議報告, 再生可能エネルギー利用の長期展望, エネルギー供給問題検討分科会・東日本大震災復興支援委員会, 2017. 9. 26.
- 14) 日本学術会議報告, パリ協定を踏まえたわが国のエネルギー・温暖化の対策・政策の方向性について, 総合工学委員会・エネルギーと科学技術に関する分科会, 2017.7.27
- 15) 日本学術会議報告, 『知の統合』の人材育成と推進, 総合工学委員会・工学基盤における知の統合分科会, 2017. 9. 20.
- 16) 日本学術会議提言「社会的課題に立ち向かう「総合工学」の強化推進, 総合工学委員会, 2017. 9. 6.

著者紹介



吉村 忍 (よしむら・しのぶ)

東京大学工学系研究科修了, 工学博士。1999年より教授。専門分野は計算力学, 構造工学, システムデザイン学。2017年10月より現職。

これまでをふりかえり、今後を展望する(日本建築学会)

福島原発災害の特質と生活再建・地域再生の課題

日本建築学会 鈴木 浩

I. 福島原発災害に対する日本建築学会の対応

1. 日本建築学会の成り立ちと建築学の役割

建築界を担う建築設計・施工に関わる専門家、教育者・研究者などを輩出する建築学科はほとんどの場合、工学部に属しているが、建築工学科という名称を使っているところはそれほど多くない。それは、わが国で建築学科が創設された頃から、建築における芸術的要素や社会科学的・人文科学的要素が重視されてきたからである。今日においても建築学の構成分野は大きく分ければ自然科学に依拠する建築構造分野と社会科学・人文科学との連携をとまなう建築計画分野に分かれる。また他の工学分野では見られない建築史の専門分野が設けられている。建築学は総合的な学問として形成されてきた。

一般社団法人日本建築学会は1886(明治19)年に創立されて以来、わが国建築界において主導的な役割をはたしてきた。会員は35,526名(2017年度末現在)で、会員の所属は研究教育機関、総合建設業、設計事務所をはじめ、官公庁、公社公団、建築材料・機器メーカー、コンサルタント、学生など多岐にわたっている。これらの人的ネットワークを活かしながら、災害時には調査研究に取り組み、その原因究明とともにその後の建築技術の改善や建築法制度などの改正にも貢献してきた。

2. 2011年東日本大震災・福島原発災害への対応

2011年3月11日の東日本大震災後も多くの建築学の専門家によって地震津波の被害調査が取り組まれた。しかし福島第一原発事故をとまなう複合災害に対する建築学会の対応状況について、日本建築学会機関紙『建築雑誌』2013年1月号で編まれた「特集 福島と建築学」の冒頭の趣旨説明では以下のように率直に述べている。「建築学からの問題提起、正確な調査研究、具体的な行動は、残念なことにして多いとは言えない。そのことは、岩手や宮城の津波被災地に多くの大学研究室や専門家のサポートが入っていることに比せば、歴然としているだろう・・・建築分野では福島の問題にその専門性をどう発揮できるのか、具体的なイメージは描けていない」。

『建築の原点に立ち返る－暮らしの場の再生と革新東日本大震災に鑑みて(第二次提言)』(2013年5月30日)では「原子力発電所の事故とその後の対策に関しては、現時点では調査が完了していないこと、復旧途中で

あること、原子力工学・土木工学・機械工学など多くの分野が関わる課題であることから、本会単独の第二次提言には含めないことにした」としている。

福島原発災害に対する建築学会の組織的な調査研究は2015年4月以降「福島支援検討小委員会」が設置されてからである。2016年8月、『日本建築学会 東日本大震災における実効的復興支援の構築に関する特別調査委員会最終報告』が刊行され、ここでは福島原発災害後の被災地の実態や復興過程についても報告されている¹⁾。

とはいえ地元福島県内の建築学に関わる大学の学科や研究者は限られていて十分な調査研究が展開できたとは言えない。付け加えれば、原発事故がもたらした広域・長期・苛酷な災害は被災者の生活再建や被災地の復興になお多くの困難が横たわっている。復興過程において生活再建や地域再生の課題に適切に対応する調査研究がなお求められている。

因みに筆者は、長い間地域計画・都市計画や住宅政策の研究活動に従事し、建築学会では「建築社会システム委員会(旧建築経済委員会)・住宅の地方性小委員会」の活動に関わってきた。自治体の総合計画や都市計画マスタープランそして地域住宅計画(ホープ計画)や住生活基本計画の策定などにも参画してきた。東日本大震災・福島原発災害直後には福島県や原発災害被災地の「復興ビジョン」,「復興計画」の策定に参画した。合わせて、福島県による木造仮設住宅供給の仕組みづくりや復興公営住宅(福島県では原発災害対応の災害公営住宅を特別に復興公営住宅と呼称している)の供給プロセスにも参画してきた。つまり原発災害の特質に基づく復旧復興プロセスに住宅・建築・都市・地域の計画論の立場から関わってきたのだった。原発災害からの復興とは何か、復興計画とは何かを問い続けることになった。

以下の記述内容も筆者が原発災害直後から福島県や原発被災自治体などにおける復興ビジョンや復興計画などの立案、除染に関する独自調査や被災者との懇談会などに関わる過程などを通して得た知見に基づいてまとめたものであることをあらかじめお断りしておきたい。

II. 福島第一原発災害の特質と復興過程

1. 福島原発災害の特質と復旧・復興の課題

福島原発災害からの復旧・復興の課題は、図1のように①原発事故収束と廃炉、②ふるさとの復興、③避難者

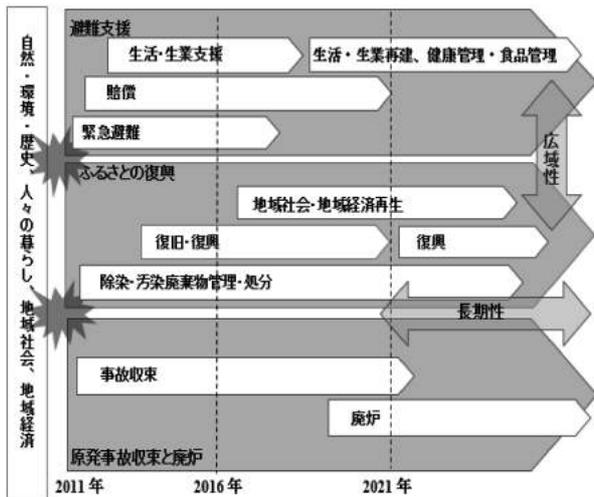


図1 原発災害からの復旧・復興のプロセス(著者作成)

の支援、に大別される。これまでの復旧・復興政策では、除染による放射線量の低減とそれによる避難者の帰還とふるさとの復興が真っ先に進められてきた。もちろん原発そのものの事故収束は喫緊の課題であるが、「収束宣言」や「アンダーコントロール」などの政治的なプロパガンダとは裏腹に現在なお汚染水処理がずさんであったことが露呈しているし、廃炉の見通しも立っていない。そして、被災者の避難支援・生活生業再建はなお深刻な課題になっていると言わなければならない。

2. 「除染」と放射線防護

(1) 「除染→被ばく線量の低減→帰還」というシナリオ

福島第一原発事故発生後、政府からの事故情報と避難指示、汚染情報と安全基準、そして避難指示区域の指定、賠償基準などの情報が錯綜し、その後の被災自治体、被災者には様々な不安・不信や混乱をもたらしてしまった。その一つの典型は、除染における諸課題やその困難さにみることができる。原発の「安全神話」が覆された自治体や住民は、国や東京電力に“元のきれいな大地とふるさとを戻せ”と憤りをぶつけたのだった。それが除染を強く要求することになった。欧州では、ドイツ、イギリス、フランスなどや原発のないノルウェーのように国家機関として「放射線防護庁」が設置されている。国際的に謳われている「放射線防護三原則」は遮へい、時間、距離である。モニタリングやシミュレーションはその前提であるが、加えて健康管理、食品管理などが大きな課題として位置づけられている。このような包括的な「放射線防護」という概念が根づいてこなかった中で、被災地からはとにかく「元の大地に戻せ」とともに除染に対する要求を政府、東電に突き付けられていった。この強い声に押された側面もないとは言えないが、放射能汚染の深刻さ、その除染の困難さを冷静に判断するよりも、除染が前面に押し出された感も否めない。

(2) 除染の取り組み

放射能汚染を受けた一部の市町村では、「放射性物質

汚染対処特別措置法」(2011年8月30日制定、以下「特措法」)以前から、独自に除染を実施し、「除染計画」も策定した(伊達市、郡山市、福島市)。2011年8月26日、原子力災害対策本部は「除染に関する緊急実施基本方針」を公表し、国は放射能汚染に対する不安を解消するため、県、市町村、地域住民と連携し、放射能による汚染物質の除去に責任をもって取り組むことを表明した。その暫定目標は以下のとおりである。①年間20mSv以上の地域を段階的に縮小すること。②年間20mSvを下回る地域においては長期的に1mSvを下回ること。③2年後までに一般公衆の推定年間被ばく線量を約50%減少すること。④学校、公園など子どもの生活環境を徹底的に除染し、子どもの推定年間被ばく線量を約60%減少すること。

実は「1mSvの達成」は現実的ではなく、この数値をめざすことが却って復興・帰還の妨げになるとして、県や市町村の一部から目標を緩和すべきだという意見も聞こえていた。

上述のように「特措法」が公布され、国が直接除染事業を行う「除染特別地域」と市町村が除染事業を行う「汚染状況重点調査地域」(年間の追加被ばく線量が1mSvから20mSvと見込まれる地域)とを設定することなどが示された。

しかし、県内各地で除染は難しい局面に立たされていた。筆者らの取り組んだ調査研究では、その要因を以下のように整理した²⁾。①行政に対する不信や不安、②除染に関する理解不足、③仮置き場・中間貯蔵施設への懸念、④除染技術の限定性、⑤情報共有のあり方・情報の受け止め方、⑥住民参加型の意思決定の経験不足、⑦市町村間の連携不足、⑧賠償の不透明さ、⑨生活再建に向けた不安、⑩除染計画と復興計画の連携不足、⑪公的な情報に対する信頼性、⑫国策で生じた災害であるという認識と責任、⑬除染・賠償・復興・生活再建に対する縦割り行政、などである。

(3) 仮置き場と中間貯蔵施設

除染によって生じる大量の汚染廃棄物は、地域ごとの仮置き場に一時保管されるが、仮置き場にいつまで保管されるのかについての不安やそもそもそのような忌避される施設を地域コミュニティ内に設置することに対する抵抗が根強かった。環境省は2011年10月、2015年1月を目途に福島県内の除染で生じた廃棄物を、県内に設置する大規模中間貯蔵施設に移送すること、さらに30年後を目途に県外に設置する最終処分場に移す行程表を発表した。しかし、中間貯蔵施設についての住民意思決定のプロセスの軽視や、地権者との用地交渉のプロセスにおいて、国が一方的に進めているという指摘も多い。2014年7月、環境省・復興庁『中間貯蔵施設等に係る対応について』では、「日本環境安全事業株式会社(JESCO)法」の改正を図ることにより、同法に中間貯蔵施設に係る国の責務を明確に位置づけた。つまり、「中

間貯蔵開始後 30 年以内に、福島県外で最終処分を完了するために必要な措置を講ずる」旨を一体的に規定することにより、法律に基づく国の明確な指揮監督権限の下で、JESCO が中間貯蔵施設に係る業務の一部を担うことができるようにしている。後に述べるように福島原発災害は 2045 年の中間貯蔵施設撤去、さらにまだ明確ではない廃炉に向けた長い道のりを辿ることになる。そのことの苛酷さを受け止めざるをえないのは被災地であり、そのプロセスにおける情報開示や地域防災計画などの合意形成過程が重要な課題になっていくであろう。

3. 復興とは何か

わが国では繰り返される災害からの復興のたびに「人間の復興」が叫ばれてきた。しかし、一方で「惨事便乗型復興」と批判されるような大規模公共事業を中心として取り組まれ、被災者の生活再建や地域再生が軽視されている。「人間の復興」が、今日なお、復興の柱に据えられないのはなぜだろうか。そもそも被災地における住まいや生活再建だけでなく、居住環境や地域社会の再生についても、それらの目標の基礎となる「生活の質」を具体的かつ共通の姿として蓄積してこなかった。自治体の総合計画などでも地域社会や住まい・生活についての「生活の質」を具体的に示すよりも公共事業を中心とした事業計画を示すことに重きが置かれてきたように思われる。今次の災害からの復興過程を通して、自治体が住民とともに日常不断に人々の暮らしや住まい・生活環境さらには地域経済などを点検する視点を提起することが、災害時の復興の目標の基礎になることを痛感している。

しかし、繰り返すが災害時の復興計画も公共事業を中心とした事業の実施に重きが置かれてきた。福島原発災害でも、復興の主要な担い手として位置づけられている基礎自治体は政府から提示される復興事業メニューを選択申請し、事業化していくという過程を踏んでいる。8 年を経過してみると、自治体ごとの事業展開になっていて、長期的、広域的な特質をもつ原発災害からの復興のめざす「生活の質」、さらに加えれば「コミュニティの質」、「環境の質」などの共通的な目標に対する理解が得られているとは言えない。この点は項を改めて復興の目標として提起してみたい。

4. 原子力に依存しない地域社会をめざす

2011 年 8 月に策定した福島県復興ビジョンでは、その基本理念の第一に原子力に依存しない地域社会をめざすことを掲げた。それはもちろん原発事故とその後の災害の苛酷さを直接的な契機にしたものであるが、同時に原発依存の地域社会・地域経済の脆弱性などを克服していくことをめざしている。

ちょうど同じ時期、2011 年 7 月、ドイツでは「安全なエネルギーの供給に関する倫理委員会」の提案に基づいて、政府による原発廃炉が決定されている。原発のリスクを後世の世代に負債として残さない「倫理問題」として

位置づけたのである。

福島県は明治時代以来、首都圏のエネルギー供給を担ってきた。猪苗代湖や只見川流域の水力発電、太平洋沿岸地域の火力発電や原子力発電。それらは相対的に貧困な地域、人口の少ない地域に立地してきた(猪苗代湖の水利権が東京電力に帰属していることはあまり知られていない)。特に原発はその「安全神話」を宣伝し、電源立地交付金を添えることで、地域への立地を促してきた。しかし、ひとたび原発事故が発生するとどれほど苛酷な災厄をもたらすか。日本経済研究センターは 2017 年 3 月、それまで政府が公表してきた原発災害克服のための費用 22 兆円に対して 70 兆円に膨れ上がることを発表した³⁾。

Ⅲ. 原発災害からの克服に向けて —今後の課題

1. 原発災害の広域性・長期性・苛酷性に向き合う

(1) 2020 年問題と 2045 年への展望

2020 年度は復興庁が廃止される年度であるとともに、福島原発被災地に対する「復興・創生期間」の終了年度でもある。それは原発災害の特質によるのではなく、政府・復興庁が取り組んできた復興政策の節目という意味合いにおいてである。すでに被災自治体や福島県からも復興庁に代わる機関の設置や復興関連予算の継続確保などが要望されているし、政府も新たな国の機関の設置を示唆している。また 2020 年度は 5 年ごとの国勢調査の実施年でもある。現在の帰還状況からは、原発災害被災地域の著しい人口減少が予想され、国勢調査に基づく地方交付税の運用や選挙人名簿を確定することなどはきわめて厳しい。どのようにして地方自治体の存続に向けた暫定的な措置ができるのか、また自治体から要望していくのか、すでに待ったなしの課題でもある。

さらに加えれば、福島第一原発に隣接し、双葉町・大熊町にまたがる 16km²の中間貯蔵施設の放射能汚染物質は 30 年後には県外に移設することになっている。それが 2045 年問題である。さらに廃炉の完了時期も今世紀半ば以降になるのかもしれない。これらはやはりふるさとに帰還したい被災者にとっては不安材料である。安全・安心と復興を被災者と共有しながら、今後どのようなプロセスを描けるのかが大きな課題になっている。もちろんその過程での地域防災計画も地域住民の参画のもとに策定していくことが必要である。これらの今後の展望とともにこれまでの復興過程を検証しながら、やはり「原発災害からの復興とは何か」が問われなければならない。

以下にその一端を示しておきたい。

(2) 復興の主体としての被災自治体と広域調整の課題

制度的に災害復興の主体が基礎自治体に位置づけられていて、原発災害でも被災自治体が大きな役割を果たし

てきた。しかし、国の「福島復興再生特措法」とそれに基づく「福島復興再生基本方針」(2012年7月、2017年6月改定)などによる復興交付金は復興庁や省庁の採択基準に縛られているために、実は主体的に復興のシナリオを描けるわけではない。申請書づくりに追われ事業実施に追われている。結果的には被災自治体の復興のシナリオや内容はまちまちである。原発災害という広域的で長期間を要する復興の過程では広域的な調整が重要だが、その調整の場が十分に働いているとは言えない。例えばその典型が医療機関や教育機関の再建である。

上述の「福島復興再生基本方針」では「子ども被災者支援法」についても触れているが具体的ではない。日本学術会議は福島原発災害からの復興に関して、長期広域避難者の支援に関する提言として暮らしの再建に関する提言や避難者の住民としての地位に関する提言などを発表してきた⁴⁾。しかし、これまでの復興政策は「除染→放射線量低減→帰還」という、いわば「単線型シナリオ」であり、長期避難を強いられている被災者が避難生活の実情やふるさとの復興状況を判断しながら「避難、移住、帰還」を自己決定できる“複線型シナリオ”などの提案が具体的に展開される見通しは立っていない。

2. 復興の目標像に求められる「生活の質」、 「コミュニティの質」、 「環境の質」

すでに紹介した「復興再生基本方針」では、被災者の生活環境や被災地の地域経済などの再生を掲げるとともに「福島12市町村将来像」や「福島イノベーション・コースト構想」などの実現を図ることが掲げられている。被災自治体の復興ビジョンや復興計画などでも復興の目標が掲げられているが、その中で注目されるのは「町外コミュニティ」、
「町外拠点」などの長期避難に対応する地域コミュニティの維持や「どこに住んでいてもわが町民」というような避難者との結びつきや生活支援を復興過程の重要な施策として位置づけてきたことである。長期的・広域的な避難生活を強いられる原発被災者にとって、ふるさとの復興で実現されるべき生活や地域社会像とともに、避難先での「生活の質」の実現なども重要な課題になっている。つまり、大規模災害の多発するわが国において被災者や被災地の復興の目標に「生活の質」、
「コミュニティの質」、
「環境の質」を具体化していくことであり、それはそれぞれの地域における日常的な生活と暮らしの目標でもある。その概要を図2のような概念図で示しておきたい。建築学は、住まいはもちろん地域・都市における暮らしや活動のための快適な空間を創り出し、支える学問であるが、その前提として経済活動だけでなく生活、地域コミュニティ、自然や環境などをどう認識するかが問われていると考えるからである。

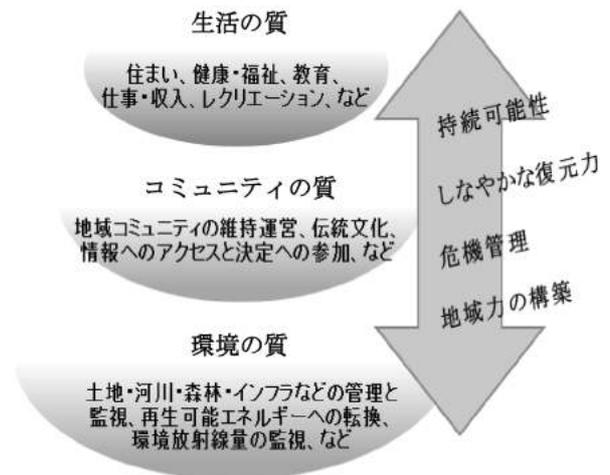


図2 持続可能な生活再建・地域再生をめざして(著者)
-Sustainable Recovery Goals for Fukushima-

— 参考資料 —

- 1) 日本建築学会編『東日本大震災における実効的復興支援の構築に関する特別調査委員会最終報告』, 2016年8月。第1部 岩手・宮城編, 第2部 福島編, 第3部 将来対応編, の三部構成, 第2部では福島における原発災害に重点をおいてまとめている。しかし, 第3部では原発災害の特質や復興過程からの教訓や将来に向けた課題を導き出すところまでは至っていない。
- 2) 2012年6月～2014年5月の2年間, IGES(地球環境戦略研究機関)と福島大学を中心に「効果的な除染に関するアクション・リサーチ」(FAIRDO プロジェクト)を立ち上げた。国内の研究者だけでなく, ドイツ, ベラルーシ, フランス, スペイン, ノルウェー, スロバキアなど, 欧州のNERIS(原子力災害における緊急対応に関する欧州プラットフォーム)の研究者・専門家との共同研究として取り組んだものである。
・FAIRDO 第一次報告『福島における除染の現状と課題』(IGES), 2012年10月
・FAIRDO 第二次報告『除染の取り組みから見えてきた課題』(IGES), 2013年7月
- 3) 日本経済研究センター『福島第一原発事故の国民負担』, 2017年3月。
- 4) 日本学術会議『東京電力福島第一原子力発電所事故による長期避難者の暮らしと住まいの再建に関する提言』, 2014年9月。同『東日本大震災に伴う原発避難者の住民としての地位に関する提言』, 2017年9月, など。

著者紹介



鈴木 浩 (すずき・ひろし)

東北大学大学院修了。工学博士。東北大学工学部, 小山高専, 福島大学を経て, 2010年3月福島大学を定年退職。同大名誉教授・IGES シニアフェロー。専門分野は, 地域計画, 住宅政策。

これまでをふりかえり、今後を展望する(日本地震学会)

地震学と原子力

日本地震学会 会長 山岡 耕春

I. はじめに

公益社団法人日本地震学会は、地震学の進歩・普及をはかり、我が国の学術の発展に寄与することを目的とした学会である。日本地震学会のルーツは、1880年に世界で初めて設立された日本地震学会にまで遡ることが出来る。学会は、1892年に一旦解散された後に1929年に改めて創設され、現在に至っている。会員数は約1,900人で、研究発表のための大会の運営、学術誌の発行の他、広報誌の発行などによる一般向けの広報活動を行っている。原子力との関連では、強震動分野に係わる研究や活断層や津波などの研究が、原子力施設の安全と係わっている。

日本地震学会は東北地方太平洋沖地震の発生を機に、東北地方太平洋沖地震対応臨時委員会を組織するとともに特別シンポジウムを開催して、それまでの地震学や地震学会のあり方について会員の間で議論を行った。その結果は、会員の意見を集約してモノグラフとして出版されている¹⁾。また原子力発電に関しても、地球惑星科学連合学会の大会の場を利用し、地球科学関連研究者の間でのオープンな議論の場を提供するとともに、やはりモノグラフとして出版した²⁾。いずれも、学会としての共通で公式な意見を述べたものではなく、会員の研究者としての多様な意見を掲載したものである。

本稿では、これまでの地震学会での取り組みを踏まえつつ、私見を述べる。まず地震学の立場から原子力の安全にどのように関わっていくことが重要であるかを述べたい。次に、地球科学の立場から、地層処分³⁾のあり方について考えを述べたいと思う。また、ここに書かれたことは、日本地震学会の見解ではなく、あくまで個人的な考えであることを留意してほしい。

II. 地震学の観点から

原子力発電所等の原子力関連施設を我が国に設置する上で特別に考慮する問題が地震現象であることは論をまたない。地震による揺れ、津波、地盤変動など、地震に関連して発生する現象に対して施設が安全に保たれる必要があることは当然である。施設を安全に保つことはエンジニアリングの課題であるが、適切に設計・施工されるためには地震現象がその施設に対してどのような作用を及ぼすかを想定しておかなければならない。地震動の

強さ、津波の様相、さらに断層運動による地盤変動を想定した上の設計・施工が必要となる。さらに想定のためには、地震現象に関わる自然現象の知見が必要となる。地震学はこの自然現象の知見を提供するために用いられてきた。

1. 原子力の安全評価は地震学の枯れた知見から

原子力施設の設計や安全評価に用いられる地震学の知見に、最新の知見を用いるのは危険である。このように表現すると、意外に思われるかもしれないが、地震学も含めた学問は様々な仮説が提唱され、データや理論によって検証され、検証に耐えた知見だけが生き残っていくものである。世界で初めての地震学会が1880年に我が国で設立されて以来、近代科学による地震の研究がなされてきた。学術の営みは試行錯誤の連続である。地震が発生する原因についても、1891年の濃尾地震で地表に断層による食い違いが生じ、1906年のサンフランシスコ地震で弾性反発説が提唱されたにもかかわらず、最終的に地震が断層運動であることをその力源まで含めて決着がついたのは、1963年の丸山の論文を待たなければいけなかった。その間に、地震の原因として爆発説や崩壊説などの仮説が提唱されたが、全て敗れ去った。このように学術の知見として定着するには長い時間がかかる。原子力関連施設の設計や安全評価はそのような学術の営みによって作られた信頼できる知見をもとにし、論理的推論による想定を行い、なされるべきであろう。

かく言う地震学者も、最新の知見を過信して痛い目に遭っている。2011年の東北地方太平洋沖地震までは、我が国の多くの地震学者が地震発生のアスペリティモデルを最新の研究成果として信頼を寄せていた。アスペリティモデルとは、地震の発生領域がアスペリティとよばれる空間的な単位で発生し、単独のアスペリティおよびその組み合わせで地震が起きるという概念である。それぞれのアスペリティはその空間的サイズに応じたマグニチュードの地震を発生させると考えられていた。さらに、この概念は、日本海溝沿いの地震の長期評価に学問的裏付けも与えていた。

アスペリティ同士の力学的な相互作用を考慮していれば、2011年東北地方太平洋沖地震のような超巨大地震の想定が地震発生前に出来ていたかもしれない。地震学の枯れた知識である「地震の応力降下はマグニチュードに寄らずほぼ一定である」という知見から、複数のアスペ

リティが連動して断層が大きくなった場合のエネルギー（モーメント解放）は、単一のアスペリティで地震が発生した場合のエネルギーの和よりも格段に大きくなるのが容易に予想できたからである。現実には、マグニチュード9という超巨大地震の発生を目の前にして初めてその存在を認識するに至った。

このことは、観測データのみにもとづく想定への警鐘でもある。地震発生サイクルは人間の一生に比べても長いから、ある領域で発生しうる地震を見届けるには何世代もの長い時間がかかる。また高感度の地震観測が可能になってからの時間はさらに短い。我が国にK-netと呼ばれる強震動のネットワークが張り巡らされたのは1990年代の後半であり、高精度のデジタルデータが蓄積し始めてまだ20年余りである。東北地方や北海道の太平洋沿岸の超巨大地震の再来周期は500年～600年と言われている。次に述べるGR則に表されるとおり、規模の大きな地震ほど滅多に起きない。日本国内における限られたデータだけに頼ることは危険である。

2. 大森・宇津則と Gutenberg-Richter 則

地震学において、長年の検証にさらされ、生き残った知見として代表的なものが、余震の大森・宇津則と地震の規模別頻度分布を表す Gutenberg-Richter 則 (GR 則) である。大森・宇津則は大森房吉が1894年に発表して以来、世界中で発生する地震で検証されてきた。GR 則は、地震のマグニチュードの頻度分布がべき乗則に従うというものである。その物理的背景については未だに議論が続けられている。

GR 則が成り立つのは、地下の不均質構造がべき乗則に則っていることの現れであると考えられている。地震学では、岩盤内には様々なサイズの割れ目が存在し、周辺の応力変化によって割れ目の剪断応力が摩擦強度を超えたときに地震が発生すると考えている。その割れ目サイズがべき乗分布をすると GR 則が成り立つ。どのサイズの割れ目がずれ動くかは確率的に決まるものであり、その確率密度が GR 則と関連している。また一カ所の割れ目がずれ動くことで、周辺の割れ目に影響を与えずれ動きを誘発する。これが余震の大森・宇津則としてあらわれる。

このように地震や地震動に関しては、確率的・統計的に評価することが、現在の地震学の枯れた知見の教えるところである。したがって、例えば、原子力施設に輸入する地震動の最大値を科学的に確定的に決めることは困難である。地震や地震動の発生については、あくまで確率によって評価されるべきものである。過去の観測データを、地震学の枯れた知見に基づいて統計処理をし、発生しうる地震動の確率強度を評価することが科学に課せられた任務であり、最大値を決めることは科学ではできないことである。本来は、その確率的評価に基づいて、工学的にあるいは社会的に合意水準である想定値を決め

るべきである。さらに、観測データについては国内だけでなく世界中のデータを有効に利用すべきである。

3. 現象の物理的背景

地震現象は、しばしば地震学者の事前の期待を裏切る。しかし、実際にデータ解析してみると、ほとんどの場合は考えてみれば当たり前のことが起きていたことがわかる。2011年東北地方太平洋沖地震では、マグニチュード9.0という非常に巨大な地震が発生した。これは、プレート境界面のずれ動きが海溝にまで達したために、そこが自由表面となつて、ずれ動きが大きくなったものである。それ以前は、プレート境界の地震モデルを想定するときに断層の周囲のずれをゼロと仮定することが一般的であった。プレート境界の地震のイメージを示すときに海溝までずれる絵を描いていながら、モデルに導入されていなかったことは痛恨の極みである。

2018年北海道胆振東部地震は、通常地震よりもはるかに深い場所で起きた「地殻内」型の地震であった。通常地殻内で起きる地震はせいぜい深さ15km程度であるのに対し、この地震は深さ37kmであった。この場所は、地殻が東西に衝突している場所で、西側の地殻が地下深くまで押し下げられている。そのために深部まで低温の状態となり、地震が発生する環境にある。地震発生様式はすぐ南隣の浦河沖で発生する地震と同じであり、特に不思議な地震では無い。

いずれの地震に関する知見も、従来の知見を元にした理論的推論によって事前に導き出すことができたものである。防災や原子力など災害対策に多額の費用がかかる領域では、推論よりも実際に過去に起きた現象を重視する傾向にある。これは「起こるかもしれない」という推論よりも「起きた」という事実のほうが説得力を持っているためと考えられる。しかし、推論によって起き得るとされたものは、起きると想定して対策をとるべきだろう。実際に起きた現象は、すぐに当たり前の知見となるのだから。またそのためには、やはり地震学の枯れた知見に基づき、観測データや調査データを利用して統計的・確率的な評価を行う必要がある。ここで間違えてはいけないことは、地震学は想定をしないことである。想定はあくまで国民的な判断で行うものであり、地震学の知見はその判断のための考え方の根拠を提供すべきであろう。

III. 地球科学の観点から

原子力に関する課題には、核廃棄物の地層処分の問題もある。仮に原子力発電の継続を今すぐ諦めたとしても、地層処分の問題は消えてなくなる。地層処分とは、1～10万年オーダーの未来の安全にまで考慮するという大変困難な問題である。こちらは地震学というよりは、地球科学全般に関わる問題なので、地球科学的観点から考えてみる。

1. 地球科学の枯れた知見

現在の地球科学の枯れた知見は、やはりプレートテクトニクスであろう。1960年代にはまだ仮説であったが、その後の様々な検証を経て、いまや地球科学をささえる最も重要な知見となっている。

そのプレートテクトニクスからみると、日本列島は変動帯に属する。変動帯とは、安定大陸に対比される表現であり、地球上で相対的に激しい変動を被っている場所を表している。日本列島が変動帯である原因は、言うまでもなく海洋プレートの沈み込みである³⁾。プレートの沈み込みにより海底の堆積物が日本列島に付加され、日本列島が成長する。日本列島の成長に伴って、地震・火山噴火・地殻変動が起きる。変動帯は、プレートの動きの中で安定大陸に取り込まれたり、その外側にあらたな変動帯が形成されることで安定大陸となる。このような現象が1億年のオーダーで繰り返されてきたのが地球の歴史である。

2. 地層処分は人類的課題

地層処分は、10万年オーダーのタイムスケールで放射性廃棄物を閉じ込めておくものである。プレートテクトニクスの考え方によれば、10万年はプレートがせいぜい10km程度移動するだけの時間であり、その間の変動帯の分布や活動にはほとんど影響はなく、日本列島は引き続き変動帯であり続けることは容易に想定できる。

しかし、人類にとって10万年は長い。人間社会が10万年後にどのようなになっているかについては予測することはほとんど不可能である。そのような長期にわたる安全性が必要とされる地層処分は、国という枠組みではなく、人類的課題として取り組むべきであろう。

これは、10万年後の人類に想いを馳せて、10万年前の地層処分を考えるとわかりやすい。10万年後に人類が存在していたとしよう。その場合に社会的環境は現在と全く異なっているかもしれない。例えば、国という概念もなくなっているかもしれない。そのような時に、10万年前の人類が地球上で最も不安定な場所である変動帯に放射性廃棄物を埋めたことをどう評価するだろうか。非常にうまく埋めたという評価はされるかも知れないが、なぜ地球上でもっと安定した場所を選ばなかったのだろうかと言う疑問の方が強いだろう。プレートテクトニクスの知見に基づけば、長期間安定な安定大陸で地層処分を行うのが最適であることは言うまでも無い。

しかし、日本では日本列島で地層処分を行うことを前提として、地球科学の知見を動員して適切な場所を探そうとしている。これは領土というフレームが動かないと仮定した場合の解を探す作業である。しかし、放射性廃棄物の安全管理は何世代にもわたる気の長い作業である。国や領土というフレームのなかで解決策を探しているのは、社会的な枠組みが与えられた中で、科学的な解答を探していることに過ぎない。また日本列島の中で最

適な場所を見つけることが出来たとしても、地球上で最適である場所とはなり得ない。あくまで国や領土という枠組みの中での次善の策であることを、強く認識しておくべきだろう。日本国内では「最終」処分ではなく、移設可能な状態にしておくべきであることが、地球科学の知見から導かれる。その意味で、学術会議の回答⁴⁾に通じるところがある。

地球科学は地球46億年の歴史を扱う学問である。太陽系の中で地球が生まれ、大陸と海が形成され、生命が生まれて進化して、現在は人類が大繁栄をして社会を形成している。地球科学では人類をこのように見ている。10万年スケールの方策を考える時には、地球科学的な枠組みにも考慮して、社会のあり方を考えても良いと思う。

IV. おわりに

2011年の東北地方太平洋沖地震は、地震学者にとっても大きなショックであった。1995年の兵庫県南部地震の際には、地震学的にはマグニチュード7クラスの地震が起きることが十分に想定できていたが近年大きな地震被害が発生していないことを理由に、自治体や住民がマグニチュード7クラスの地震発生の可能性を十分に認識していなかったと見なしていた。しかし、東北地方太平洋沖地震では、従来そのような地震が知られていなかったことで、あの場所でマグニチュード9クラスの超巨大地震が発生することを地震学者自身が明確に認識していなかったのである。限られた経験やデータへの過剰な依存が危ういことを、我がこととして認識したのである。

当学会のHPは下記の通りである。

<http://www.zisin.jp>

— 参考文献 —

- 1) 日本地震学会(2012) 日本地震学会モノグラフ No.1 「地震学の今を問う」 171 ページ。
URL: <http://www.zisin.jp/publications/monograph01.html>
- 2) 日本地震学会(2015) 日本地震学会モノグラフ No.3 「日本の原子力発電と地球科学」 95 ページ。
URL: <http://www.zisin.jp/publications/monograph03.html>
- 3) 木村学(2002) プレート収束帯のテクトニクス学。東大出版会 271 ページ。
- 4) 日本学術会議(2012) 回答「高レベル放射性廃棄物の処分について」。

著者紹介



山岡耕春 (やまおか こうじゅん)

名古屋大学理学研究科博士課程修了。東京大学地震研究所などを経て2007年から名古屋大学環境学研究科教授。専門分野は地震学・火山学。主な著書に「南海トラフ地震」(岩波新書)

放射線防護の専門家集団としての学会を支える企画活動

日本保健物理学会 吉田 浩子
企画委員会委員長

I. はじめに

一般社団法人日本保健物理学会(以下、保物学会と略する)は、1961年に設立以来、放射線の防護と安全に関する学術および技術の開発を促進し、その成果を社会ならびに実務に反映することによって広く人類の繁栄に寄与することを目的として、基礎的な研究から実務管理分野の課題までを広く取り扱ってきた。2011年に起きた福島第一原子力発電所事故は保健物理にも大きなインパクトを与えると同時に、学会の進む方向性や学会が社会に担う役割を再考させるものとなった。これを受けて、保物学会は、放射線防護の専門家集団として放射線分野の学会同士の連携、放射線以外の学会との連携を強化するとともに様々な学術活動を通して事故からの復興に貢献すべく活動を展開している。その概要の一部は本誌アトモス2015年3月号の特集号において紹介したところでもあるが、本稿では、保物学会の常設委員会の一つである企画委員会の最近の活動を企画委員長の立場から紹介する。

II. 日本保健物理学会の概要

保物学会(会長:甲斐倫明(大分県立看護科学大学))は放射線防護・安全に関する研究、開発、管理実務、行政などに係わる約700名の会員(正会員、学生会員、名誉会員、特別会員を含む2018年度の数值)から構成されている。会員の専門領域は、物理・線量計測系が一番多く、環境放射線(能)、放射線影響・リスク、施設管理、医療系の順となっている。学会の基本活動を担うために、企画委員会、国際対応委員会、放射線防護標準化委員会、編集委員会が常設委員会として設置されており、加えて、様々な課題にタイムリーに対応するために期限付きの臨時委員会が設置されている。現在は、低線量リスク委員会(日本放射線影響学会との合同委員会)、国民線量委員会、実効線量・実用量委員会があり、それぞれ活動している。

III. 企画委員会の活動

企画委員会は、保物学会の各専門分野を網羅するように11名の委員から構成されている。保物学会には35歳以下の会員で構成される若手研究会があり、若手研究会の会員の中から2名が企画委員会の委員に就任し、世代

間のコミュニケーションを図りながらともに活動を行っている。企画委員会は、次の事項について企画立案、実施や運営を行っている。

- (1)保健物理に関する学会・セミナー・シンポジウム・会議・会合・講演会・研修会・討論会の企画・運営又は開催
- (2)専門研究会の設置、改廃および運営状況の把握
- (3)新 Newsletter の発行および配信
- (4)論文紹介記事の掲載

各事項についてここ2~3年の具体的な活動内容を記す。

(1) 保健物理に関するシンポジウム

「執筆者の解説によるICRP Publ.勉強会」(2016年4月25日開催)では、外部被ばくに対する放射線防護量のための換算係数(ICRP Publ.116)、宇宙における宇宙飛行士の放射線被ばく評価(ICRP Publ.123)、放射線防護の発がん面に関する幹細胞生物学(ICRP Publ.131)について執筆者がそれぞれ解説を行った。

「放射線防護標準化委員会—ガイドライン紹介—」(2016年11月28日開催)では、放射線防護標準化委員会からガイドライン「女性放射線業務従事者の妊娠期間中の線量管理方法(案)」および現存被ばく状況における廃棄物管理に関する作業会での検討状況について紹介があり、課題について参加者と検討を行った。同日に開催された「福島第一原子力発電所事故復旧時の放射線管理の課題 ~水晶体被ばく・生物影響の観点から~」は、保物学会内に設置された“水晶体の線量限度に関する専門研究会”の活動の一環としてのシンポジウムであり、福島第一原子力発電所事故復旧時の放射線管理に関して、水晶体被ばく・生物影響の観点から課題を抽出し検討を行った。

2017年3月24日には「福島事故を内部被ばくから考える」を開催した。保物学会内に設置された“体外計測に関する標準計測法の策定に関する専門研究会”と、臨時委員会として設置された“内部被ばく評価委員会”による二部構成で、第一部では福島原発事故後に我が国で行われてきたWBC(ホールボディカウンター)測定に関する対応状況調査および科学的根拠に基づく課題解決のための具体的な提案を検討した。第二部では福島原発事故後の内部被ばくの現状、内部被ばくによる健康影響、比放射能が大きい不溶性微粒子(いわゆるセシウムボール)の吸入による内部被ばくの特徴と線量評価に関して

議論を行った。

2017年1月24日には“Joint ICRP-RERF-JHPS workshop on Recent progress in radiation dosimetry for epidemiology and radiological protection”を開催した。国際放射線防護委員会(ICRP)、放射線影響研究所(RERF)および保物学会(JHPS)との共同開催で放射線ドシメトリに関する最近の進展について議論を行うとともに、RERFからは原爆被爆者に関する最近の研究成果が紹介された。

2018年3月19日、20日には三つの異なるテーマのシンポジウムⅠ、Ⅱ、Ⅲを開催した。Ⅰ「福島事故後の内部被ばくの課題の解決に向けて－不溶性粒子と短半減期核種」では、保物学会内に臨時委員会として設置された“内部被ばく影響評価委員会”の活動を基に、事故後の内部被ばく線量評価に関する現状および不溶性微粒子の吸入による内部被ばくの線量評価や影響に関して報告を行うとともに、事故直後に存在したテルル等の短半減期核種による内部被ばくに関しても報告を行い、これらをふまえた総合討論を行った。Ⅱ「原子力・医療従事者等の標準的な水晶体の等価線量モニタリング、適切な管理・防護はどうあるべきか?～水晶体被ばくの実態から探る～」では、2017年度放射線安全規制研究戦略的推進事業で実施された原子力・医療分野の実態調査に焦点をおいた研究内容について報告するとともに、国外の水晶体の線量限度に関する動向について情報提供を行った。さらに、わが国における適切な水晶体の線量モニタリング、管理および防護の在り方について、今後、検討すべき事項について会場と議論を行った。Ⅲ「低線量率放射線リスクの推定における論点と課題」は、保物学会内に設置された“低線量・低線量率リスク推定法専門研究会”における活動の報告であり、生物学研究、モデル研究、疫学研究、および線量評価の専門家のそれぞれの視点からの現状分析から示された論点と課題が示された。

今後の予定としては、2019年1月12日に「医療における放射線防護を考える～医療被ばくと従事者被ばく～」を、(公社)日本放射線技術学会、(公社)日本診療放射線技師会、(一社)日本放射線看護学会との共催で開催し、医療分野における患者さんの被ばく、従事者の被ばくに関する状況を整理し、これからの放射線防護について議論を行う。

(2) 専門研究会の設置

専門研究会は、保物学会の各専門分野の特定のテーマに関して、会員が情報や意見の交換、調査、検討等を行い、その結果を会員および社会に公表することによって、保物学会の活性化かつ放射線防護における学術的・実務的な貢献に資することを目的としている。専門研究会の設置提案は会員からのボトムアップであり、申請内容について企画委員会が審査し理事会承認後設置される。活動期間は2年である。現在設置されているものは、「自然放射性核種を含む廃棄物の放射線防護に関する

専門研究会」、「放射線安全文化の醸成に関する専門研究会」および「福島第一原子力発電所事故後の Public Understanding(科学の公衆理解)の取り組みに関する専門研究会」の三つであり、Public Understanding 専門研究会では社会科学、社会心理学の専門家があらたに保物学会の会員となって従来の会員とともに活動を行っている。すでに活動を終了したものには「低線量・低線量率リスク推定法専門研究会」(2016～2017年度)、「原子力防災における体外計測の経験の総括と課題に関する専門研究会」(2016～2017年度)、「福島第一原子力発電所事故後における放射線防護上の教訓に関する専門研究会」(2015～2016年度)、「水晶体の線量限度に関する専門研究会」(2015～2016年度)、「放射性核種ごとの防護上制限値に関する専門研究会」(2014～2015年度)などがあり、これらの専門研究会の活動成果は論文や上述の企画シンポジウムにて公開され、かつ、成果報告書は保物学会のホームページで公開される。詳細は、日本保健物理学会専門研究会報告書シリーズ、<http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/report/page.cgi> をご覧いただきたい。

(3) 新 Newsletter の発行

2015年度に既存の Newsletter を新 Newsletter に刷新した。学会員へタイムリーかつ効果的・効率的な発信を行うとともに速報性を重視するものとし、2週間に1回会員へメールでの配信を行っている。新 Newsletter は、

1. 学会関連情報
2. 関連する研究情報
3. ニュースや社会の動き
4. これからのイベント
5. 公募情報、学生・ポスドク受入情報

から構成されており、ヘッドライン型式で URL にて情報やコンテンツがどこにあるかを示す。新 Newsletter の発行および配信にあたっては、企画委員のほかに数名のサポーターが別途加わり新 Newsletter 班として、保物学会員に資する情報の収集活動を担っている。

新 Newsletter に掲載される具体的な情報は、1. 学会関連情報においては、理事会、常設委員会および臨時委員会の活動情報を中心として、企画シンポジウムについては開催テーマ、日程、場所が決まり次第速報として届けている。また、保物学会は国際放射線防護学会(IRPA)の加盟学会として活動しているため、これに関わる国際情報も掲載している。2. 最新の論文情報を含む関連する研究情報においては、研究費の公募情報などとともに最新の論文情報を紹介している。3. ニュースや社会の動きでは、放射線防護・安全に関する政府・省庁の情報や ICRP、IAEA などの国際機関の情報を掲載している。4. これからのイベントでは、他学会や様々な関連

する機関が開催する学会やシンポジウムなどの情報を取り扱っており、5. 公募情報、学生・ポストク受入情報においては、政府・省庁や大学、地方自治体の公募情報を掲載している。

(4) 論文紹介記事の掲載

新 Newsletter で紹介した論文および注目すべき論文をわかりやすく紹介する論文紹介記事の作成・編集・発行を企画委員会が中心となって行っている。福島事故以後、放射線分野の専門家の中で必ずしも共通した認識を共有しているわけではないこと、放射線以外の科学者やメディアの記者(科学部)、行政当局者などが、放射線に関する最新の情報に大きな関心を寄せていることに注目し、あらたに取り組んでいる活動である。記事は保物学会のホームページに掲載するとともに、新 Newsletter にて記事掲載を会員へメールで周知している。論文紹介についての詳細は、

<http://www.jhps.or.jp/cgi-bin/report/page.cgi?id=42> をご覧いただきたい。

IV. おわりに

本稿では、企画委員会が行っている活動について紹介

したが、保物学会においては企画委員会以外の常設委員会や臨時委員会がそれぞれに、また、お互いに連携しながら様々な活動を行っている。福島事故とそれに引き続き生じた様々な社会問題によって提起された問いに対して、放射線防護の専門家集団が期待されていること、学会が社会に対して果たすべき役割について真摯に対応すべく今後より一層保物学会が活動を強力に展開していくにあたり、これを支える企画委員会も活動をさらに活発に進めていくことが必要である。

最後に、原子力学会誌に保物学会の活動を紹介させていただく機会をいただきましたことに厚く御礼申し上げます。

著者紹介



吉田浩子 (よしだ・ひろこ)

東北大学大学院薬学研究科

保物学会理事、企画委員長

(専門分野/関心分野)放射線防護, 線量評価, 放射線リスクの公衆への理解促進

日本原子力学会 創立 60 周年シンポジウム 「震災をこえて 原子力の明日」開催のご案内

開催日：2019年4月25日(木)

シンポジウム 10:30~17:55, 情報交換会 18:10~19:30

場 所：東京工業大学 くらまえホール(目黒区大岡山2丁目12-1 東工大蔵前会館)

- ・詳細情報は4月号に掲載予定です。
- ・参加受付登録は、本会ホームページにて3月初旬ごろから開始予定です。

ホームページまたは AESJ-NEWS をご確認のうえ、お申込みください。

これまでをふりかえり、今後を展望する(日本リスク研究学会)

リスク学の発展と原子力技術の深い関係

日本リスク研究学会 理事 岸本 充生

一般社団法人日本リスク研究学会は、リスク研究の発展と知識の普及に努めることを目的として、1988年に発足した。現在の会員数は550人程度で、「リスク」という切り口を共通項として、人文学、社会科学、自然科学をまたぐ様々な分野の専門家が集う横断的な学会である。対象も、化学物質、食品、自然災害、原子力、放射線、公衆衛生など多様である。本稿では、リスク学の基礎的な概念の多くは、原子力技術者によって創出されたか、原子力技術のリスクについて考察する中で生まれたことを紹介するために、いくつかの重要概念をとりあげ解説したい。

リスクの社会受容性 (social acceptance of risk)

電気工学者であり、原子力エネルギーの専門家でもあったチャンシー・スター(Chauncey Starr)氏は1912年に米国ニュージャージー州に生まれた。カリフォルニア大学ロサンゼルス校の工学部の学部長を務めていた最中の1969年、サイエンス誌に「社会的便益対技術リスク：私たちの社会は安全のためにどれだけ支払う意思があるか」と題する論文を発表した¹⁾。彼はここで「どれだけ安全なら安全なのか」という問いに答えるため、リスクの社会受容性の決定要因を探った。そのために彼は、過去の国全体での事故統計データは、技術の利用に関するリスクとベネフィットに対する国民の社会的選好を忠実に反映したものであるという強い仮定を置いた。縦軸に活動時間×人数あたりの死亡確率(リスク)を、横軸に参加者あたりの年間平均便益(ベネフィット)をとり、様々な事象や活動について計算した結果をプロットした結果、自然災害や電力といった「非自発的リスク」に比べて、鉄道、狩猟、スキー、喫煙、航空といった「自発的リスク」は1,000倍ほど受容されやすいことを見出した。また、疾病による死亡リスク(およそ100万分の1)は、様々なリスクの受容可能性のレベルを決めるための心理的な基準であることや、リスクの受容可能性はベネフィットの3乗に比例し、活動参加人数に逆比例することなどを見出した。

彼は、1972年にはカリフォルニア州パロアルトに電力研究所(Electric Power Research Institute)を設立し、2007年の死の直前まで週6日通っていたそうである²⁾。人々はリスクの大きさだけでなく、その事象や活動の質的側面、特にベネフィットの大きさの影響も受けている

ことを初めて明示的に指摘したのがスター氏であった。

リスク比較(risk comparison)

1926年にロンドンに生まれ、長年、ハーバード大学の物理学教授だったリチャード・ウィルソン(Richard Wilson)氏は原子力や素粒子物理学を専門としていたが、1979年、テクノロジーレビュー誌に「日常生活の生命リスクを分析する」を発表し、様々な活動のリスクを、活動時間あたりの死亡率という定量的指標を用いて客観的に比較してみせた³⁾。その背景には、マスメディアの影響もあって、「われわれは、合計すればより多くの死者を出している数の多い日常的な事故よりも、めったにない大きな事故に圧倒的に関心を持っている」という問題意識があった。そこには、当時の専門家がみな小さいと評価する原子力発電のリスクを一般人が過大に受け止めてしまっているという問題意識があったことは間違いない。そして、リスクを定量的に計測でき、その事実をみなに知ってもらえれば、「われわれはリスクを比較し、受容するか否かを決定できるだろう。私は、ほとんどの人は最大のリスクから順番に減らす決断をするだろう。」と、人々の持つ合理性への期待が表明された。そのうえで、「100万分の1の死亡リスク増」が受容可能なレベルであるとし、様々な活動の「100万分の1の死亡リスク増」を並べた表が作られた。その一部を示す。カッコ内は死因を示している。

- 1.4本のタバコの喫煙(がん, 心臓病)
- ワインを1/2リットル(肝硬変)
- 炭鉱の中で1時間過ごす(黒肺塵症)
- 炭鉱の中で3時間過ごす(事故)
- ニューヨークかボストンに2日間住む(大気汚染)
- カヌーで6分間旅をする(事故)
- 自動車で300マイル走る(事故)
- ジェット機で1,000マイル飛行する(事故)
- ジェット機で6,000マイル飛行する(宇宙放射線)
- ニューヨークから休暇でデンバーに2か月滞在(同)
- 平均的な石や煉瓦の建物に2か月住む(自然放射線)
- 喫煙者といっしょに2か月暮らす(がん, 心臓病)
- 典型的な原子力発電所の敷地境界に5年住む(放射線)
- 原子力発電所から20マイルに150年住む(放射線)
- 原子炉から5マイルに50年住む(事故による放射線)

彼が具体的に示したこれらの数値は、科学的あるいは事実としての正確性は必ずしも担保されていないが、そ

の後、様々な場面で引用され続けた。ただし、彼の期待とは異なり、定量的なリスク比較を示されても、人々は彼が期待したような「合理的な」行動をとるとは限らなかった。人々は、ものごとを判断する際に、スター氏が示したようなベネフィットや、次項で示すように、リスクの大きさ以外の様々な要素を考慮するからである。また、リスク比較が示される背景にある、ある特定のリスクを受容させたいという意図などを人々は敏感に感じ取ってしまうこともその一因である。

リスク認知(risk perception)

1938年に米国シカゴで生まれたポール・スロビック(Paul Slovic)氏は、オレゴン大学の心理学教授を務め、退職後は、決断研究(Decision Research)と称する研究所を設立し、80歳を迎える今でも精力的に研究活動を行っている。彼の起こした革命は、1970年代当時、「間違っている」「非合理的だ」として切り捨てられていた一般人(素人)のリスクに対する感情を、必ずしもすべてを「間違い」と切り捨てるべきでなく、一定の合理性を持つことを示した点にある。1979年、フィッシュホフ(Baruch Fischhoff)氏らとの共同研究の成果を、「リスクを格付けする」と題する論文にまとめ、エンバイロメント誌に発表した⁴⁾。その中に掲載された有名な表に、30の活動や技術について、いくつかのグループに、リスクの大きさを直感的に順位づけてもらった結果を示したものがある。グループの1つは「専門家グループ」であった。専門家グループと他のグループ(女性有権者団体や大学生)との間で最も大きく順位が異なっていたのが「原子力発電」であった。素人の上記2グループがともに1位としていたのに対して、専門家グループでは(30のうちの)20位であった。専門家グループの中で1位だったのは「自動車」であったが、大学生グループでは5位にとどまった。専門家は統計的あるいは科学的情報に基づいて順位付けを行ったのに対して、他のグループは直感に基づいて順位付けを行った。続いて、スロビックらは、これらの活動や技術について18種類の定性的な属性の程度について1~7点で評価させ、その結果を因子分析によって、「未知(unknown)」因子と「恐ろしさ(dread)」因子の二つに集約した⁵⁾。すなわち、両因子が大きい活動や技術は、その主観的リスクが大きくなる。研究対象となった81種類の活動や技術のうち、二つの因子がともに大きかったのは、放射性廃棄物、原子力発電所事故、核実験降下物という三つの核技術関連ハザードに加えて、当時まだ新興の技術であったDNA技術であった。

1987年にサイエンス誌に掲載された論文の最後には「おそらく、本研究からの最も重要なメッセージは、人々の態度と認知の中には、間違いとともに、英知(知恵)があるということである。一般人はハザードに関する確かな情報を欠いていることもある。しかし、彼らの基本的

なリスクの捉え方は、専門家のそれよりもずっと豊かであり、専門家のリスク評価から抜け落ちがちで正当な懸念を反映している。」とまとめている。

トランスサイエンス(Trans-Science)

科学者は、データが不足しているなどの理由で判断できない場合は「分からない」と表明すべきであると考えられているのに対して、政策側は不確実なもとでも何らかの意思決定を迫られる。政策の場では、意思決定をしないことも一つの意思決定なのである。このように、通常、不確実性を併せ持つリスク問題の場合では、必ず、伝統的な科学と政策の間には大きなギャップが存在する。このギャップを明示的にとりあげ、それに初めて名前を付けたのが、米国シカゴ生まれの核物理学者であり、1955年から1973年までオークリッジ国立研究所(ORNL)の所長を務めたアルヴィン・ワインバーグ(Alvin M. Weinberg)氏である。彼は、原子炉の設計を行い、全米原子力学会の会長も務めた。1972年にミネソタ誌に掲載された論文「科学とトランスサイエンス」において、「科学によって問うことができるが、科学によって答えることができない問題群」を、科学を超える(transcend)という意味で「トランスサイエンス」と名付けた⁶⁾。ワインバーグ氏は、三つのタイプのトランスサイエンスを紹介した。一つ目は、時間と予算を無制限に投入したら理論上は解決しうる問題群である。低線量放射線の生体影響が例として挙げられた。二つ目は、人間の行動が間に入るために予測が非常に難しいものとして、社会科学のほとんどがこれに当たるとされた。三つ目は、どの科学分野に予算を重点的に付けるかといった科学政策が挙げられた。

同様の概念として、1990年代には科学哲学者のフントビッチ(Silvio Funtowic)氏とラヴェッツ(Jerome Ravetz)氏によって、「ポストノーマルサイエンス」という概念も提唱された。トランスサイエンスとポストノーマルサイエンスは、科学を「超えた」、すなわち伝統的な科学では答えられない側面に焦点を当て、科学者に対して、人文社会科学者との協働を呼び掛けた。

ELSI(ethical, legal and societal implications)

ELSIは「エルシー」と呼ばれ、「倫理的・法的・社会的課題」の頭文字をとったものである。Iの部分には、問題(issues)とされる場合も多い。もともと、米国で1990年に開始されたヒトゲノム計画の中に設けられていた、「ELSIプログラム」に由来する。当時、米国国立衛生研究所(NIH)においてヒトゲノム研究の責任者であり、1962年のノーベル生理学・医学賞の受賞者であるジェームス・ワトソン(James Watson)氏が、ヒトゲノム研究の進展によって生じるかもしれない倫理面や社会的な課題を

懸念し、全研究予算の3%程度を倫理面の研究に投じるべきとインタビューで回答したことがきっかけとされている。他方、欧州では、ELSA プログラムが実施された。A は側面 (aspect) の頭文字である。ELSA プログラムは、ゲノム研究に限らず、脳科学、ナノテクノロジーや情報技術を含む様々な新興技術をその対象とした。日本でも第5次科学技術基本計画には、「第6章 科学技術イノベーションと社会との関係深化」において、「倫理的・法制度的・社会的取組」という項目が立てられている。

レギュラトリーサイエンス (regulatory science)

トランスサイエンスやポストノーマルサイエンスに対して、日本では当時の国立衛生試験所の内山充氏が、米国では科学技術社会論のシーラ・ジャザノフ (Sheila Jasanoff) 氏が、1980年代末にそれぞれ独立に「レギュラトリーサイエンス」という概念を提唱した。レギュラトリーサイエンスも、伝統的な科学と政策の間に大きなギャップが存在することを明示し、そのギャップを埋めるための概念であるものの、科学には答えられないという側面よりも、それに答えるための(新しい)科学を創出するという側面を強調しており、トランスサイエンスとの対比で定義すると、「政策によって問われた問いに回答を生み出すための(新しい)科学」ということができるだろう。レギュラトリーサイエンスという言葉は2011年に策定された第4期科学技術基本計画では、医薬品や医療機器のイノベーションに不可欠なものとして取り上げられた。脚注において「科学技術の成果を人と社会に役立てることを目的に、根拠に基づいた確かな予測、評価、判断を行い、科学技術の成果を人と社会との調和の上で最も望ましい姿に調整するための科学」と定義された。続く第5期科学技術基本計画では「第6章 科学技術イノベーションの推進」の中に、推進すべき研究の一つとして、(レギュラトリーサイエンスという言葉そのものは使われていないが)「規制等の策定・実施において科学的根拠に基づいた確かな予測、評価、判断を行う科学に関する研究」が挙げられた。

おわりに

化学物質のリスク評価は、原子力技術の利用拡大に伴って放射線生物学者や医師らによって考案された発がんリスク評価の手法を真似て発展した。化学プラントのリスクアセスメントは、原子力発電所の確率論的リスク評価をお手本に開発された。原子力施設や放射線防護の分野で用いられている ALARA (as low as reasonably achievable) 概念は今では、自然カビ毒の一つであるアフラトキシンのリスク管理など、食品安全の分野でも用いられている。今ではどこでも使われている「安全文化 (safety culture)」という考え方も、チェルノブイリ原子

力発電所事故をきっかけに生まれた。20世紀には原子力技術分野が、リスク学や安全学の先頭を走っていたといっても過言ではない。リスクとベネフィットの関係、社会受容性の決定因子、一般人と専門家との間のリスク認知の差、リスク比較の手法、リスクコミュニケーションのあり方、トランスサイエンス概念といった現在でもリスク研究の重要なトピックの多くは、原子力技術のリスクを巡る科学と社会の軋轢を克服したり、説明したりしようとする中で誕生した。しかし、20世紀終わりからは、ELSI やレギュラトリーサイエンスといった新しい概念の多くはバイオサイエンス分野から生み出されている。これからはきっと人工知能 (AI) 分野から新しい概念が次々と出てくるだろう。

原子力関係者に是非知っておいてもらいたいことは、原子力技術分野の先人たちが、技術と社会の間のギャップに苦しみながらリスク学に様々なイノベーションを引き起こしてきたことである。それらは他の分野に広がりリスク管理に役立っている。しかし、近年は、原子力分野からは新しい概念が出てきていない。福島第一原子力発電所事故からも、規制の虜やリスクガバナンスといった既存の概念を用いた分析はされていても、新しい概念は生み出されていない。また、規制機関や専門家は、失われた信頼を回復するために、ますます「科学」を強調する傾向にある。しかし、それは現実に存在する科学と政策の間のギャップから目を背けることにつながる。不確実性を含みリスクを可視化し、トランスサイエンス部分を明示し、解決すべき ELSI を明らかにし、それらを乗り越えるための新たなレギュラトリーサイエンスを構築していくことが求められている。

原子力関係者の方々に再びリスク学を先導していただくためにも、分野横断的な日本リスク研究学会を活用していただきたい。なお当学会のHPは下記の通りである。<http://www.sra-japan.jp/cms/>

— 参考文献 —

- 1) Starr, C. Science 165: 1232-1238 (1969).
- 2) Wald, M. L. Chauncey Starr, 95, Pioneer in Nuclear Energy, Dies. April 19, The New York Times (2007).
- 3) Wilson, R. Technology Review 81 (4):41-46 (1979)
- 4) Slovic, P. et al. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 21 (3): 14-39 (1979).
- 5) Slovic, P. Science 236: 280-285 (1987).
- 6) Weingberg, A. L. Minerva 10 (2): 209-222 (1972).

著者紹介



岸本充生 (きしもと・あつお)

京都大学大学院経済学研究科卒。産業技術総合研究所安全科学研究部門、東京大学公共政策大学院を経て2017年から大阪大学データビリティフロンティア機構勤務。専門はリスク学。

60年の歩みに思うこと

井川 陽次郎

書くのが仕事だが、実は、あまり得意ではない。書くのが大好き、という訳でもない。むしろ、本を読んでいる時の方が楽しい。なので、この原稿の提案は、正直、お断りしようかと思った。そもそも学会誌とは、専門家が意見を交す場だろう。それを自分のような門外漢の駄文で汚し、会員のやる気を削ぐのは気がひけた。思い直したのは、この企画が、来春の学会創立60年にちなむものだったからだ。たまたま自分も来年で60歳になる。おっ、同級生。その偶然が気に入った。

たかが偶然、されど偶然。そう思う。

例えば、世界中でもめている「移民」問題も、根底には偶然があると感じる。米大陸では、中米の移民集団が豊かな米国へと大行進した。欧州では、移民排斥が政治問題化する。日本でも、入国管理法改正案の国会審議が議論になった。異国の人を受け入れる側が不安感を抱いて警戒し、排除に動こうとするのは本能的な反応だろう。共存の知恵が大切になる。その一方で、故郷を捨てて異国を目指す人達にも言い分はある。国が豊かなのはたまたまだろう。運良く資源があっただけだ、気候が良かっただけだ、自分たちにも、その幸運を分けてくれ、といった具合だ。

文明の発展を考察して世界的ベストセラーとなった「Guns Germs & Steel」(Jared Diamond)は、「the striking differences between the long-term histories of peoples of the different continents have been due not to innate differences in the peoples themselves but to differences in their environments.」と、この問題を斬る。どんな場所に生まれるのか。どんな宗教なのか。親は豊かなのか、貧しいのか。生まれてくる子に選択肢はない。偶然だ。ちなみに、世界の平均で言えば、日本で高度経済成長の時代に育った自分はツイてる。

釈迦に説法ではあるが、科学の原理も偶然によるところが大きい。大学生のころの教科書「統計力学」(久保 亮五)の序文にこうある。「統計力学は今日ではもはや単に物理学者や、あるいは物理化学者の限られた少数のものではなく、その応用される範囲は極めてひろい。科学的認識の方法として確率論的な物の見方が極めて重要であることはいうまでもないが、統計力学はまさにその最も典型的、且つ代表的な例である。」と説いていた。

気圧は原子・分子の運動の産物だ。半導体の中の電流はフェルミ準位で説明できる。気圧も電流も巨視的には

確定的で必然の現象だが、背後に偶然がある。原子炉を飛び交う中性子の群れも同じだろう(違っていたら、ごめんなさい)。一つ一つは気まぐれに動くであろう中性子を操り、持続的な熱出力という必然の結果を得る。

迷走する原子力を見てきた

新聞社で、かれこれ20年、原子力の周辺取材してきた。嫌というほど目撃してきたのが、必然を実現するはずの原子力が迷走する姿だ。

様々なパターンがある。まずは工学面での迷走だ。満身に運転できないまま廃炉に追い込まれた高速増殖炉原型炉「もんじゅ」は、その代表例だろう。半ば設計ミスとも言える形状の温度計が配管の中で折れた。そこからナトリウムが漏れ出た。再稼働したものの、今度は燃料中継装置が落下した。機器の故障や欠陥は決して皆無にならないし、できない。適切にトラブルを管理できていれば、影響は限定的だ。だが、他の分野に比べて、原子力に対するメディアなど世間の視線は厳しい。本体の安全性に関わらないトラブルでも、容赦のない批判が一斉に襲いかかる。対応には繊細な工夫が不可欠だ。メディアに頼らずとも、ネットなどを利用して、正確で分かりやすい情報を、速やかに発信する態勢などが求められる。

東日本大震災による原子力発電所の全電源喪失も忘れることはできない。あれほど巨大な津波が襲来するとは、どれだけの人が現実味を持って予想していたらろうか。言われているように約1,000年に1回程度起こりうる事象だとして、なぜ、その時が2011年だったのか。ミクロの世界の偶然は制御できても、巨視的な偶然は飼いなせない。想定外はもうないか。破局的な被害を食い止めるのに必要な対策は、避難計画を含めて取られているか。

放射性物質や放射線の健康影響を巡る問題も深刻だ。福島県などに対する風評は一向に静まらない。健康影響や安全性に関する客観的な情報は、メディアでもネットでも、かき消されがちだ。確かな情報を、逃げずに、粘り強く伝えてゆく強固な枠組みを築けないか。未だに専門家組織の腰は定まらず、風評を防ぐには頼りない。

そして、政治だ。原子力ほど政治性の強い科学技術分野はない、と思う。原子力発電所の安全性から、研究開発の方向性、放射線による健康影響まで、「専門家」と称する人の見解は大きくばらつく。専門家Aさんは、「○

〇の技術は確立している」といい、Bさんは「重大な欠陥があり不可能」と真っ向から否定する。「どちらも一理ある」と風見鶏の専門家までいる。根幹となるような問題で、これほど専門家の見解がバラつく科学技術分野があるのだろうか。なので、取材の際にも、まずは相手の政治的な意図を疑うところから始める。その人が話している内容は信ずるに足るのか。公正な内容なのか。そもそも、どんなデータが基礎にあるのか。メディアに語る意図は何か。しかも面倒なことに、新聞でAさんの見解を「Aさんによると」と紹介すると、Bさん、あるいはBさんの支援者と思しき人たちが組織的に抗議運動を展開して、圧力をかけてくることも少なくない。

科学とは、常に仮説である。その意味では、定説となった理論や法則も、常時、厳格に検証され見直されるべき余地はある。しかし、それも、客観的なデータや公正な推論に基づいてこそ建設的な意義がある。原子力はどうか。

どんな論争も、ばらつく見解も、影響が業界内でとどまっているのなら、外野が言うことはない。問題は、原子力の場合、国民を巻き込むことだ。典型例が「核燃料サイクル」である。もともと、コストや核不拡散の観点から、これに否定的な専門家は多い。「ウランは安く余っているのに、プルトニウムを取り出して使う必要はあるのか。再処理工場も高速炉もやめるべきだ」「高速炉は技術的に難しく、既に多くの国が開発を断念した」「日本のプルトニウム利用は核拡散につながる。日本が核燃料サイクルを辞めれば、北朝鮮も核開発をやめる」といった主張を直接、伺ったこともある。素直に首肯できないご意見もなくはないが、もんじゅ廃炉が決まった後、今度は、「ナトリウム炉以外の炉を開発すべきだ」という意見まで出てきた。

なんだ、そんなに不確実なものに税金を注ぎ込んできたのか。素人にはそう思える。恐らく出てくる以下のような疑問の声に、どう答えたらいいか、自分には見当もつかない。「巨額の税金をつぎ込んでおいて、なんと無責任な」「今までのではダメだから、別の炉を開発したい、そのための予算をよこせ、か。当てにならないあ」「無責任だよなあ。もう建設してしまった再処理工場はどうするんだろう」「高速炉の実験炉もあるけど、もう辞めるのなら、何に使うつもりなんだろう」「全く新しい炉を造るというけど、批判的な意見がなくはないので、また、もんじゅみたいに、途中までやって辞めることになるんじゃないの」「軽水炉に戻るというけど、使用済み燃料はどうするの。核燃料サイクルだと廃棄物は減容化できると言っていたけど、処分費用は高くなるの」「新型炉

というけど、日本以外に真面目に研究して、建設している国はあるの。一つだけ造って終わりのの」等々。

まずは宿題を済ませなくては

まずは、宿題を済ませることが大切だと思う。第一に、高レベル放射性廃棄物の処分がある。処分地探しは一向に進まない。有害性が低減することのない産業廃棄物が各地で処分できていて、高レベル放射性廃棄物はダメだと言う理由が自分には理解できないが、この問題でさえ、一部の「専門家」から、「放射線を出すので近くにも寄れない。産業廃棄物とは全く違う」「自然にはない物質が含まれるので倫理上、処分は許されない」などと叱責されたことがある。理解を広めるのは容易ではなからう。

核燃料サイクルを辞めたとして、使用済み燃料はどうするのか。これも早急に処理すべき宿題だ。「国が前面に出て全国各地に中間貯蔵施設を造ればいい」と話す専門家もいる。しかし、最終的な行き場を確保できるかどうかさえ怪しくて、どこが「中間」なのか。そのまま最終処分になりかねない不安があるのに、納得してくれる地域はあるのだろうか。

行き当たりばったり。出たところ勝負。原子力と聞いて浮かぶのは、そんな言葉だ。必然とは程遠く、幸運に恵まれなければ、どうなることやら。

高校生の頃、面白いと思った数学の問題に「酔歩」がある。最近は見かけることが少なくなったが、あの頃は、鉄道のホームを右へ左へとフラフラ歩く赤ら顔のおじさんたちが良くいた。ホームの端までヨレヨレと寄っても、おっとっと、と意外に落ちない。昭和全盛期のおじさんたちは、しぶとかった。その問題である。左右どちらにふらつくか、確率が同じなら、すぐホームから落ちる確率はそう大きくない。ただし、いつまでもフラフラしていると危険だ。原子力とは直接関係ないが、そんなことを思い出した。

創立60年おめでとうございます。自分も新聞社を卒業する歳です。これまでご指導ありがとうございます。皆さまのご活躍を祈念しております。

著者紹介



井川陽次郎（いかわ・ようじろう）
読売新聞東京本社、論説委員

原子力の危機は「民主主義のコスト」

池田 信夫

原子力発電の60年は、壮大な夢とその挫折の歴史だった。核分裂で化石燃料よりはるかに大きなエネルギーを生み出せるという物理的な事実は変わらないが、かつては夢のエネルギーだった原子力が、今は世界的に危機に瀕している。これは科学者にとっては理不尽な結果だろうが、政治的には必然ともいえる。それはエネルギー源の選択に政治が介入することによる「民主主義のコスト」である。

I. 原子力は政治である

アメリカ原子力法で原子力の平和利用が始まった1954年、原子力委員会(AEC)のストラウス委員長は原子力によって「電気代は測るには安すぎる(too cheap to meter)ようになるだろう」と述べた。1968年にシーボグ AEC 委員長は「2000年までに世界のほとんどの国の電力は原子力で発電されるようになるだろう」とビジョンを語った。人類は「原子力駆動」の宇宙船で火星旅行し、地下都市で暮らすようになるだろうと彼は予言した。

彼らのビジョンは1970年代までは順調に実現するよう見え、アメリカでは100基の原子力発電所が稼働した。しかし1979年のスリーマイル島原発事故の後、原発の設置認可には10年以上かかるようになり、67基がキャンセルされ、その後20年以上、原発は建設されなかった。アメリカでは民主党が反原発を政策に掲げ、1977年にはカーター大統領が核燃料サイクルから撤退した。このため主流になるはずだった高速増殖炉の開発が挫折し、当初は過渡的な技術だった軽水炉が主流になった。

普通の技術は成熟するとコストが下がるが、原発の建設費は上がり続けた。原子炉のコストが下がっても、人々が原子力を恐れて絶対安全を求め、それが政治運動に利用されたからだ。軽水炉には炉心溶融という構造的な欠陥があり、多重防護してもリスクはゼロにはできない。そして原発事故が起こると、被害は小さくても世界中に大事故として報道される。

1986年のチェルノブイリ原発事故では、初期には全ヨーロッパで数十万人が死亡するとも報じられた。国連科学委員会の2008年の調査で確認された死者は60人だったが、ヨーロッパの人々に刷り込まれた恐怖は元に戻らない。冷戦が終わった後は、社会主義に代わって環

境保護が左翼のスローガンになり、ドイツでは反原発だけを政策に掲げた緑の党が、政権の一角を占めるようになった。

日本では1980年代以降も、原子力開発の停滞は見られなかった。これは大きな原発事故がなく、石油危機で原子力開発に国民の合意が形成されたためだろうが、状況は2011年の福島第一原子力発電所の事故で一変した。それが民主党政権で起こったことは不運だったが、自民政権だったらパニックが起ころなかったとは考えられない。最大の原因は、原子力についての錯覚にあるからだ。

II. 原子力についての三つの錯覚

第一の錯覚は、原爆と原発の混同である。原子力の最大の不幸は、それが原子爆弾という大量破壊兵器でデビューしたことだった。核分裂は最初は発電技術として研究されたが、1942年にアメリカのルーズベルト大統領がマンハッタン計画を立ち上げ、それからわずか3年で広島と長崎に原爆が投下された。

その圧倒的な威力によって、原子力には膨大な軍事予算が投じられた。それが急速に普及した原因だが、これは短所ともなった。原発はつねに核兵器と結びつけて語られ、広島・長崎の恐怖が原発反対運動に利用された。ほとんどの国民は、原子炉は核爆発しないということさえ知らなかった。福島第一原発事故では建屋が水素爆発しただけだが、第一報では世界に「原発が爆発した」と報じられた。

第二の錯覚は、放射線による健康被害の過大評価である。1954年にビキニ環礁の水爆実験で、第五福竜丸の船員が強い放射線を被曝し、無線長が死亡した。彼の死因は肝機能障害と診断されたので、これは放射線とは無関係で、輸血で肝炎に感染したものと思われるが、世界のメディアは放射線の恐怖を報道した。この「死の灰」が低線量被曝と混同され、福島でも「原発事故で鼻血が出た」といったデマが流された。

1950年代に決められた放射線基準は、健康被害を過大評価していた。その後の調査では年間100mSv以下の低線量被曝では統計的に有意な発癌率の増加は見られないが、日本では年間1mSvという線量基準が改正されず、民主党政権がこれを使ったため、過剰避難と風評被害が起こった。

第三の錯覚は、原発事故のリスク(期待値)とハザード(確率変数)の混同である。福島事故の直後には「事故が起きたら東電のように経営が破綻するので、原発は収益最大化に反する」という著名な経済学者もいた。これはハザードに確率をかけないでリスクを計算する初歩的な誤りだが、今もメディアに多い。

このような錯覚が今も続く原因は、原発事故のリスクの特異性にある。それは確率がきわめて小さくハザードの大きい「テールリスク」なので、メディアにとっては交通事故のようなありふれた(大きな)リスクよりニュース価値が高い。だからメディアが過剰報道するのも、政治家が過剰反応するのも当然である。

III. 民主国家と独裁国家の制度間競争

民主国家で決定を行うのは多数の国民であり、その平均的な知的水準は高くないので、彼らの感情で意思決定が歪められることは避けられない。民主主義が正しく機能するためには主権者たる国民が賢明だという条件が必要だが、これはフィクションである。国民は政治的決定に責任を負わないので、正しい情報を集めるインセンティブがない。

特にエネルギー問題のように長期的な意思決定には、議会制民主主義は適していない。その受益者と負担者が一致しないからだ。地球温暖化や化石燃料の枯渇のリスクは明らかだが、いま生存する有権者がその影響を受けるかどうかは不確実である。こういうとき有権者がコスト負担を先送りすることは、政治的には合理性がある。

他方、独裁国家では独裁者が主権者であり、彼は自分の意思決定に責任を負うので、彼には情報を集めて正しい意思決定を行うインセンティブがある。決定の速度や一貫性という点では独裁のほうがすぐれており、どちらがすぐれた制度かは自明ではない。王制の歴史は古いですが、議会制の歴史はまだ250年程度である。

経済的にも、欧米型の市場経済より中国やインドのような「国家資本主義」が成長している。経済学者は計画経済より市場経済のほうがすぐれているというが、全知全能の計画当局があったら市場で試行錯誤する必要はない。これから人工知能が進歩したら、そういう計画経済も可能になるかもしれない。ネットワーク社会では規模の経済が大きくなるので、人工知能や電気自動車や原子力などの戦略部門に政府が巨額の投資を集中できる独裁国家が有利である。

今や世界の原子力開発の主役は、中国とロシアとインドである。中国では2030年までに100基の原発が稼働して世界最大の原子力大国になり、2050年までに400基の原子炉が稼働する予定である。いま中国の電気料金は日本の1/3以下だが、この差は原子力開発でさらに拡大

し、日本の製造業の国際競争力は低下するだろう。

先進国では、福島事故のあと安全基準が大幅に強化されたため、ヨーロッパでは原発の建設費が1兆円を超え、アメリカでは多くの原発の建設がキャンセルされ、ウェスティングハウスやアレヴァなど原子炉メーカーの経営が破綻した。多くの国民の合意を必要とする原子力は、民主国家に向いていないのかも知れない。原子力開発は、民主国家と独裁国家の「制度間競争」なのである。

IV. 結び

60年前に科学者が原子力の夢を語ったとき見落としたのは、その政治的コストだった。反原発は世界の左翼のスローガンになり、単なるエネルギー問題を超越する政治的争点になった。このような政治的リスクは企業経営者にはコントロールできないので、日本の電力会社には原発を新增設する予定はない。この問題を解決するには、国の明確な戦略が必要である。

世界のトップになった日本の原子力技術が絶えることは、大きな損失である。人材を集めるために必要なのは、かつて科学者が語ったような「次世代」の希望である。これまで日本の次世代原子炉開発は高速炉に偏していたが、これも見直す必要がある。高速炉は理論的には原子力開発の理想なのだろうが、核燃料サイクルは経済的に成り立たない。非在来型ウランや海水ウラン採取技術の進歩で、ウランの有効利用に意味があるのかどうかも疑問である。

どんなに理論的にすぐれた技術も政治的な合意を得ないと実装できない、というのが原子力の歴史の教訓である。政府が検討し始めた小型原子炉(SMR)は次世代の有力な選択肢だろうが、何よりも重要なのは安全性について国民の理解を得ることである。それは短期的には楽観できないが、長期的には原子力の時代がまた来るだろう。原子力のポテンシャルは、化石燃料よりも再生可能エネルギーよりもはるかに大きいからである。

— 参考文献 —

- 1) Fourth International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, 1968.

著者紹介



池田信夫 (いけだ・のぶお)

株式会社アゴラ研究所所長

学術博士(慶應義塾大学)。東京大学経済学部を卒業後、1978年にNHK入社。1993年に退職後、国際大学教授、独立行政法人経済産業研究所上席研究員などを歴任。

原子力マネジメント学のすゝめ

上坂 充

わが国の主な国立大学の原子力系学科・専攻は、TMI事故、チェルノブイリ事故の影響、原発増設から安定供給への変遷、大学院重点化の動きの中で、学生数を確保するため、分野を広く見せるため、システム(この動きをシステム化と呼んでみる)、量子、エネルギー、環境などのキーワードを取り込んで、改称して今に至っている。そのため、狭義の原子力工学に関する講義科目は30年程前に比べ、かなり薄くなっている。

一方、我が国の産業は、円安に支えられた高度成長およびその後のバブル経済を経て、人件費の上昇の中で、生産拠点をグローバル化し、国内ではサービス業が拡大していった。それを受けて、理工系大学生・院生の就職先も、サービス業が製造業を上回っている。就職先人気企業ランキングを見ても、理系と文系でほとんど差がない。学生から見ると、最終就職先はサービス業が多いので、大学での学部は理系と文系でもよいような学生もみられ、ましてや工学部の中の学科のこだわりは薄くなっているように見える(行けるところに行く)。現在の大学での学科の構造は、前述の産業の変遷の中で、高度成長時代の産業区分のままのように見える。しかし実態は、その変遷に対応すべく、どの学科・専攻も、その教育内容と研究内容において、サービス業を志向した内容が増えている。工学部のこの傾向を、数年前までは「文理融合」と言っていたが、筆者は“エンジニアリング”が、文系的内容を取り込み、“マネジメント”に変質していっていると捉えている。つまり、原子力を含めた学科・専攻は、約30年前に「システム化」し、その規模(学生定員)を維持したのに対して、今は「マネジメント化」して必死にその存続をかけている。それぞれのコアの技術項目に、共通のマネジメント的要素を加味している傾向は、どの学科・専攻も同じに見える。旧船舶海洋系学科・専攻では、技術経営を全面に出し、工学部・工学系大学院にてマネジメント学を先導し、変革しながらマネジメント系の優秀な学生を獲得しているように見える。

また国際化の波も当然重要である。今や原子力系大学院の留学生が半分程度を、博士課程ではほとんどを占めている。筆者は32年前にアメリカの原子力系大学院に留学したが、そのときもほとんどが留学生で、アメリカの大学院は世界を教育すると言っていた。工学系の中の組織で、国際化に最も早く対応したのは、土木工学科・専攻である。15年ほど前、名称を社会基盤工学科・専攻と変え、国際プロジェクトコースは学部と大学院を強く

連携し、今も学生に高い人気である。土木工学科は設立当初からマネジメント的教育・研究を行い、理系公務員を育成続け、今も理系公務員の70%程度は土木工学科出身である。大学院の講義の英語化も20年ほど前から始まっている。原子力系がそれに次いでいる。

筆者は、原子力人材育成ネットワークの活動の中で、IAEAと共同して、原子力委員会の支援を得て、2012年からJapan-IAEA Nuclear Energy Management School(3週間)を運営し続け、来年で8回目となる。2010年頃から、IAEAとカリキュラムを検討していった。原子力技術に立脚し、エネルギー戦略、核不拡散・セキュリティ、国際法、経済、環境問題、人材育成を講義して、グループ討論も行う。2010年からIAEA単独でトリエステにて先行実施しているIAEA Nuclear Energy Management Schoolのコアカリキュラムに、東電福島第一原子力発電所事故からの安全教訓等の日本の色彩を加味にして現行の内容となっている。開始当時からNuclear Energy Managementとは何か?をIAEAと議論し続けている。IAEAでは2013年から、INMA(International Nuclear Management Academy)を設置して、今や世界中で実施されている数週間のIAEA Nuclear Energy Management Schoolを大学院修士課程に発展させる教育モデルを提唱している。それが推奨しているカリキュラムとCompetence Areaは、ヨーロッパのBologna Processをベースにしている。ヨーロッパの主要大学院は、20年程前から産業界と強く連携し、Bologna Processと呼ばれる、講義演習の中で専門知識のみならず実務能力(Competence)を教育する体制となっている。Competenceとは分析・統合する能力、コミュニケーション、倫理的責任、リーダーシップなど社会での実践能力である。ヨーロッパの主要大学において、そのCompetenceの項目が定められており、各大学・院の科目のカリキュラムに教えるべき項目が記載されている。またその教育の実践についてはアメリカ発の方法であるBloom's Taxonomyが適用されている。IAEA INMAはそれら提唱のカリキュラム・Competence Area Mapを基準に、Nuclear Technology Management Programを提案した大学院に対して、Peer Reviewを実施し、認証されれば、その大学院は正式INMAメンバとなり、修了学生にIAEAから修了証を発行する。Peer Reviewの準備として、講義のシラバスを、ヨーロッパ型Competence Areaとアメリカ型Bloom's Taxonomyの基準による、8ページにも及ぶ様式に、記述し直す。ここでは講義時間が、講義

内容の項目、ヨーロッパ型 Competence Area とアメリカ型 Bloom's Taxonomy に振り分けられる。ヨーロッパとアメリカの方式の融合の様式に、日本の講義のシラバスを整合してみたのは、教育のグローバル化の一環と考える。東大原子力国際専攻・原子力専攻がそれぞれの特徴を生かして、Nuclear Technology Management Program, Nuclear Professional Management Program を設計・提案して、IAEA Peer Review を 2017 年 10 月に 1 週間受けた。その後、IAEA の認定(Endorsement)を受け、2019 年度より開始となる。世界では University of Manchester, MEPhi(モスクワ物理工科大学)が先行して、Nuclear Technology Management Program が開始されており、東大が 3 番目で、そのあと、Texas A&M University, 清華大学など、多数の大学院が続いてきている。

以上のように、大学・大学院での原子力教育は、システムの、マネジメント的要素を増やして多様化(diverse)しているため、原子力発電システムに関するコア講義の全体に占める割合は、30 年ほど前に比べて 1/3 程度になってしまっている。もちろん企業内で教育があるわけであるが、昨今の厳しい安全基準対応等のため、それに割ける時間も限られている。近年の原子炉主任技術者の合格率がそれを物語っている。筆者は社会人教育を様々なニーズに合わせて、原子力人材育成ワークが中心となって、産官学連携で行っていくべきと考える。社会人教育については、若手社員にとって、それに参加した実績に、効力がほしいところである。原子力専攻(専門職大学院)は、3.11 を経ても、15 名定員で堅実に運営できたことは、原子炉主任技術者と核燃料取扱主任者に直結する原子力修士(専門職)がとれることが大きいと考える。つまり実務に直結する資格が取得できることが重要である。しかし、その二つの資格は毎年それほど多数の新有資格者が要るわけではない。従って日本では、定員 15 名の専門職大学院ひとつで十分なのである。社会人教育の場合、修了の証はやはり実務、業務、あるいはビジネスに直結する資格がとれると、よき意義と動機になる。その資格の候補として、技術士がある。アメリカの各州が認定する Professional Engineer(PE, 技術士)は、アメリカ機械学会(ASME)基準に基づく、原子炉構造設計書類のレビュー・承認に、制度的に不可欠である。世界中の建築土木分野では、技術士資格がないと現場監督になれない。アメリカの PE の試験自体は、大学院入試である GRE(Graduate Record Examination)のレベルで、基礎知識を問うものである。しかし、PE 取得後、実務的な自己研鑽である CPD(Continuing Professional Development)が義務付けられており、様々な研修を受け、それを学会に申請して、ポイントを取得する。所定のポイントを毎年蓄積せねばならず、それをしないと PE が失効する。しかし、アメリカにおいても、原子力・放射線の PE には、建築土木系・機械系の PE のような法規制的効力がない。原子炉の設置・安

全・維持管理・セキュリティ等に関するなんらかの資格と PE が結びつかないかと考えている。ヨーロッパでは PE と CPD につき、アメリカを追随しているように見える。であれば、米日で協力して、国家資格と原子力・放射線の PE との関係強化できないか、日本技術士会と議論している。その PE にマネジメント的要素も必要ではないか? 社会人教育によって、PE と CPD が取得でき、それがビジネスに不可欠な資格となれば、それを受ける意義と動機が高まるはずである。

本学会では、最近の調べでは、20 代の会員がとてもなくなくなっているようである。機械・電気・物理・化学系の学会も規模の違いはあるが同じ傾向である。一方、学会発表の区分をみていると、依然、狭義の原子力のみを細分化しているように見える。つまり、高度成長時代、原発増設時代の区分そのまま、周辺で発展している産業技術要素、専門分野を十分に取り込んでいるように見えない。前述の大学・院の学部・専攻の変革と定員の確保の実績をみていただきたい。大学教員は学生を学生会員にして研究発表させ、学生連絡会に入れて、連携活動をさせている。彼らは卒業した後、なかなか正会員にならない。筆者は会長時代に、学会発表の区分に、マネジメント、医療応用等をもっと目立つようにするよう、担当委員の方々にお願いした。たとえば、始めから原子力ありきでない、エネルギー戦略・分析の研究は学生にも人気が高い。彼らの多くは、シンクタンクや技術コンサルに行き、結局はエネルギーに関わる業務に携わっている人が多い。IAEA, OECD/NEA へのインターンシップ・研修は学生人気が高く、中には着任を希望している学生もいる。指導教員の先生に於かれましては、そのような学生たちを、積極的に研修内容を学会発表させてほしいし、学会としては発表しやすい仕組みを作っていただきたい。さらにはシンクタンクや技術コンサルの方々にも入会していただきたい。

分野の融合がイノベーションとっていいだろう。各部会で、ひとつずつでもいいので、イノベーション的新分野あるいは融合分野を作って、1 セッションを運営してみてもどうだろうか。学会全体としては、IAEA, OECD/NEA, 国連と協力して、マネジメントを大区分のひとつに格上げして、学会セッション運営してみてもどうだろうか。

内部からイノベーションしないと何も始まらない。

著者紹介

上坂 充 (うえさか・みつる)



(株)石川島播磨重工業(現 IHI), 東大原子力工学研究施設助教授・教授を経て、2005 年から東京大学大学院工学系研究科原子力専攻教授。専門分野: 小型加速器開発・利用, 医学物理, 非破壊検査, 原子力構造工学, 関心分野は原子力人材育成。

これまでをふりかえり、今後を展望する

福島を通して見えてくる原子力の課題

大崎 要一郎

これからの原子力を考えるために

エネルギーや放射線利用など、様々な分野で日本社会に影響を及ぼしてきた原子力。取材を通して深く関わってきた私のような記者にとっても、原子力のこれまで、そしてこれからを考えることは、決して他人事ではありません。その際、原点と捉えているのが、東京電力福島第一原子力発電所の事故です。この8年、一貫してあの事故の取材を続けてきた経験から、私は福島で起きていることを見つめてみると、これまで原子力業界が指摘されていた課題や、今後も深く認識すべき原子力特有の「複雑さ」が見えてくると考えているのです。

サンチャイルドが浮かび上がった福島の今

2018年8月、福島市の子ども施設前に設置された1体のアート像が、大きな議論を呼びました。サンチャイルドと名付けられた子どもの像は、原発事故直後の2011年に、アーティストのヤノベケンジさんが福島復興への願いを込めて制作したという作品です。高さは6m余り、防護服を身にまとい、胸には「000」と表示された線量計を着けていました。しかしインターネット上を中心に、「福島市が防護服の必要な地域だったと誤解される」とか、「放射線量0は科学的にあり得ない」といった批判が巻き起こり、市はひと月足らずで撤去を決めました。市には設置継続を求める声も寄せられていたということですが、木幡浩市長は「賛否の分かれる像を復興の象徴として設置し続けることは困難だ」と撤去の理由を語りました。

福島の現状を知ってもらう上では、放射線という一般にはなじみの薄いものの特性について理解してもらうことが重要であることは論をまちません。「科学的に正しくない」サンチャイルドが、誤解や風評を招くという批判を受けた理由のひとつもそこにあると思います。ただ本来アート作品の価値は「正しさ」のみにあるわけではなく、撤去という結論は、福島の置かれた現実の厳しさが、多様な表現を許容することを難しくしていることの表れとも言えるのではないのでしょうか。

私は、2017年7月まで福島県で勤務し生活していたこともあり、福島の方たちの複雑な気持ちを感じてきました。復興も道半ばという状況で、事故が忘れ去られることへの問題意識や、原発事故そのものへの許せない思いがある一方、日常の中では意識することも少なくなり、事故を想起させることはむしろ風評を助長するといった気

持ちをお持ちの方も少なくないと思われます。低線量被ばくや廃炉のリスクに対する受け止めも様ではありません。私はそうした複雑さにどう向き合うかが、福島の復興、そしてこれからの原子力がどうあるべきかを考える上でも、特に重要なのではないかと考えてきました。

「原発事故の罪」

私が福島の現状を取材してきた中で、もっとも複雑な課題のひとつと捉えてきたのが、県民健康調査における甲状腺検査の取り扱いです。

原発事故で放出された放射性ヨウ素によって、甲状腺がんのリスクが増加するのではないかとという不安の中、甲状腺検査は原発事故当時18歳以下だった県内全ての子ども約38万人を対象に始められ、2017年度までに三巡の検査が行われてきました。結果、甲状腺がん、またはその疑いと診断された人は200人余りにのぼっています。

このうち、一巡目で診断された100人余りについて、県民健康調査検討委員会は被ばく線量が小さいことなどを理由に、「放射線の影響とは考えにくい」としています。二巡目以降の評価については、さらに専門の部会が検討を続けていますが、専門家の間では、精密な検査を行ったことにより通常は見つけれない微小ながんなどを見つけている「スクリーニング効果」が指摘されてきました。その上で、はたして手術が必要だったのかどうか（「過剰診断」ではないのか）といった疑問や、かえって不安を助長するといった検査を続けることの弊害も指摘されるようになってきました。一方で、私たちの取材に対し、実際に手術を受けた男性は、治療の負担や再発の不安などを抱えながらも「手術を受けてよかった」と語り、子どもを抱える母親は「弊害があっても検査を受けさせたい」と訴えました。県民の不安に応えるという検査の意義は、検討委員会でも指摘されています。

検査をこのまま続けるべきなのか。そのあり方をめぐっては議論が続いていますが、星北斗座長は、そもそも原発事故さえなければ子どもたちは心配することもなかったとして、「原発事故がもたらした罪だ」と喝破しています。この言葉を、原子力に関わる当事者は重く受け止めなければならないと思います。

東京電力と被災者の複雑な心情

しかし、原発事故を起こした東京電力自身が、福島の方たちの心情をどこまで理解しているのかと感じる出来

事もありました。

2018年8月、福島第一原発構内の売店で、第一原発を訪れた人や廃炉作業にあたる人たちの記念品として、クリアファイルが発売されました。1号機から4号機の現在の様子や、現場で働く人たちの写真が載せられたものです。これに対しツイッターなどでは、「地域から追い出された人が見たらなんて思うのか」といった批判があがった一方、歓迎する声もありましたが、東京電力は1週間で販売を中止しました。私自身はこの一件について、福島第一原発を世界的に教訓を伝える遺産として活用し、地域の復興に寄与させるべきという意見があることを聞いていたこともあり、難しい判断だなと感じていました。

ところが10月、東京電力が、今度はInstagramなどのSNS上に、福島第一原発の4号機の燃料プールを写した写真を、「#工場萌え」というハッシュタグを付けて投稿しました。「工場萌え」とは、壮大な工場の夜景などを鑑賞の対象として楽しむことを表現した言葉で、投稿直後からネット上で強い批判が相次ぎ、東京電力はすぐにこのハッシュタグを削除しました。さらに取材すると、投稿は事前に複数の担当者で内容を確認していたこと、過去にも同様のハッシュタグを付けて第一原発の写真を投稿したケースが2件あったことも分かりました。

福島で取材をしていると、さまざまな場面で東京電力の社員の方々に出会います。地域のお祭りから家の片付けまで、人手が少ない被災地で、少なからず頼りにされていることがうかがえます。ただ被災者の方たちは、事故を乗り越え、前に進むとはしていても、決して事故を忘れたわけではありません。信頼を築こうとしているさなかだったからこそ、残念な出来事だと感じました。

信頼の構築は途上

福島第一原発では、トリチウムなどの放射性物質を含む水をどのように処理するかという重要な課題に直面していますが、この水をめぐっても不信を招く出来事がありました。トリチウム以外の核種は告示濃度以下に下げることが出来ると説明されているながら、2018年8月7日時点でたまっていた89万トンの処理済み水のうち、およそ84%にあたる75万トンで、ストロンチウムやルテニウム、ヨウ素などの濃度が基準を超えていたことが明らかになったのです。中には、基準の2万倍近くに達していたものもあったといいます。しかし、8月にこの問題が指摘された当初、東京電力はホームページには掲載していたとして、対応に問題はないと主張しました。その言葉にどれだけの人が納得したのでしょうか。この主張を聞いたとき私には、原発事故の前から幾度となく指摘されてきた(2002年トラブル隠しに始まり、2007年F-B断層問題、事故後の汚染水の海洋流出など)、一般の人たちとの問題意識のギャップといった課題が、依然として繰り返されているように感じられました。

電力会社は変わったか

東京電力だけでなく、電力会社という組織が事故前と変わっていないのではないかと思います。

再稼働に向けた新規制基準の審査を取材していると、特に基準地震動や基準津波など自然事象の想定をめぐって、事業者がこれで十分と示してきた想定を原子力規制委員会が覆す場面を幾度も目にします。主には解釈をめぐる論点だけに、事前に考えつかなかったとは考えられません。低めの球で様子を見ようとでも考えているのでは、とすら感じてしまうこともあります。一方で、電力各社は、規制の範疇に留まらず、自主的に安全性の向上を進めていくとしています。本当に言葉通りに受け止めてよいのか、疑問を禁じ得ません。

より安全側の判断はできないのか。電力側の事情を考える上でも、福島第一原発事故をめぐる経緯が、示唆を与えてくれます。私は東京電力旧経営陣の刑事裁判の取材を続けていますが、2008年に、福島第一原発を襲う津波が最大15.7mに達するという解析結果を得た際、元副社長らは、結果は信頼性に乏しいとして、専門家で作る土木学会にさらなる検討を依頼することを決めました。元副社長は裁判の中で、取締役会などにおいて対策を機関決定するには、信頼できる根拠が必要だと主張し、「どうすれば事故を防げたと思うか」という問いには、「いかんともしがたかった」と述べました。しかし、再び事故が起きれば仕方なかったでは済まされません。電力会社には、教訓を踏まえ、社会から信頼されるに足る判断が求められているのではないのでしょうか。

問い返し続け、関わり続ける

福島を通して見えてくる問題は、いずれも原子力に関わる古くて新しいものばかりだと思います。ひと言に原子力と言っても分野は幅広く、必ずしも一般化できないこともあるかもしれませんが、立場の違いを乗り越え、あの事故がなぜ起きたのかと考え続けること、そして福島で起きていることを自らの問題として受け止めることは、事故を防げなかった社会全体の責任だと考えます。これからの原子力がどうあるべきかという問題は、やはり福島から考え始めるべきではないのでしょうか。私自身もまた、ことあるごとに自らの仕事を見つめ直し、福島に関わり続けていきたいと思っています。

著者紹介



大崎要一郎 (おおさき・よういちろう)
東京大学教育学部卒。2003年NHK入局後、佐賀放送局、科学文化部を経て2015年から17年まで福島放送局。主な取材分野は原子力、科学技術。

超スマートエネルギー社会とこれからの原子力政策

柏木 孝夫

I. 第5次エネルギー基本計画

2018年7月、第5次エネルギー基本計画が閣議決定された。2014年に閣議決定された第4次の基本計画では、2030年までのエネルギーミックスの在り方について、その基本的指針が述べられているが、今回は2050年に至る長期にわたる基本的指針にまで言及している。すでに国連気候変動枠組条約第21回締約国会議(COP21)で、我が国は世界に対し2013年度を基準に2030年で温室効果ガスを26%削減することを宣言している。第4次エネルギー基本計画で示したエネルギーミックスに対するエネルギー起源のCO₂発生量を基盤に算出されたものである。そのため、今回の第5次では、2030年までの基本方針は根本的前回のを踏襲し、現状における進捗度を多面的に検証し、達成度が低い場合には政策強化を行うこととした。一方、2030年以降50年に至る長期的な基本方針に対しては、別途経済産業大臣主催のエネルギー情勢懇談会を設置し、国内外での流れを整理しながら2050年に至る長期的方針を2018年4月に「エネルギー転換へのイニシアティブ」としてまとめられた。2050年におけるエネルギーミックスに対しては、定量的なシナリオの提示は見送られたが、極めて広い見地からの記述になっている。

2050年に至る過程において、再生可能エネルギーは経済的に自立した脱炭素の「主力電源」とした位置付けを行う一方において、原子力は可能な限り依存度を低減させるが、現状における実用段階にある脱炭素化の選択肢であると位置付けている。私は長期的視点から見たこれらの記述を次のように理解する。まず、再生可能エネルギーの拡大について考えてみたい。再生可能エネルギーの中で大型水力や地熱はベースロード電源として拡大したいところだが、自然破壊や国立公園法などにより、そう簡単には多くを期待できない。バイオマス(生物資源)はできれば国内の間伐材や廃材などを合理的に収集し資源化する必要が極めて重要であるが、量的には限定され、大量導入には海外からの輸入に依存することになり、環境性には優れているが、自給率の向上には疑問が残る。結局、太陽光と風力に国産資源としての拡大余地がある。しかし、電力には需要と供給の瞬時同時同量の原則があるため、天候に大きく左右されるこれらの電源を主力電源にするためには、膨大な量の蓄電池の設置や

水素社会をいち早く実現しなければならない。経済的自立のためにはシステムコストとして評価しなければならないため、割高になる可能性もあり、停電が極めて少ない現状の電力の品質を維持するためには、再生可能エネルギー電力も2050年までに45~50%程度で頭打ちになる可能性が大きい。

そう考えると脱炭素社会の実現には、原子力がある一定規模を占めないと、電力の需給や脱CO₂を解決できず、安全性を最大限に重視することは言うまでもないが、審査を通った原子力の再稼働はもちろんのこと、原発の新設やリプレース(改修)も視野に入れたものであると考える。

筆者は、世界の約5%の電力を消費している省エネ型工業国家日本のエネルギー選択は原子力も含めて一次エネルギーの選択肢を減らさないという持論である。この持論を基に現在政府が世界に対して提唱している超スマート社会 Society5.0の実現に向けたエネルギーシステムのグランドデザインについて、筆者の考えを示しておこう。

II. 超スマートエネルギー社会

我が国が世界に発信した超スマート社会 Society 5.0は、サイバー層と物理層を高度に融合させたシステムにより人類がゆとりと豊かさを実感できる社会と定義している。特にエネルギーシステムの観点から考えると、IoT(モノのインターネット)、ビッグデータ、AI(人工知能)に代表されるサイバー層と、燃料電池や蓄電池、太陽光や風力発電、EV(電気自動車)、次世代型家電などを高度に制御し、IoS(サービスのインターネット)を実現することにある。

その要は、最先端の技術を駆使してシステム・オブ・システムズの構築を目指すことにある。これは、特定のシステムの構築のみで多様な課題を解決するのではなく、大きなシステムの枠組みの中に個別のシステム分野が内包され、相互関連しあって相乗効果を発揮するという考え方で、各種インフラからAI、エネルギーまであらゆるものを抱合する概念である。これまで我が国は車両に代表されるように“One of the Systems”は得意であったが、“System of Systems”については諸外国に後塵を拝してきた。

これらの背景を踏まえ、脱炭素社会のエネルギーシステ

ムに目を向けたい。すでに第5次のエネルギー基本計画にも示されているように、パリ協定の発効によりエネルギーシステムに対する潮目が変わった。さらに電力・ガスの完全自由化も加わり、市場原理の中でいかに脱炭素型のエネルギーシステムを構築できるかが問われている。

これまでは総括原価方式に基づく安定供給がエネルギー政策の大前提であった。例えば、電力に目を向けると、一年のうち数日にも満たない最大ピーク時を想定して設備を整えてきたため、年間稼働率が1%にも満たない大規模電源を7.5%も所持する結果となっている。市場原理から考えればこれはいかにも非効率的であり、まして世界的には環境対策が大きな課題となる一方、国内的には少子化人口減時代に入った現在、初めて電力の小売全面自由化という需給構造の大きな節目を与える時代を迎え、我が国のエネルギーシステムのグランドデザインに対し、原点にさかのぼり再考する時期の到来であると考えている。この流れは先のエネルギー情勢懇談会の報告でも示されているとおり、日本だけでなく欧米を中心に世界においても同様であり、ピークに合わせた供給から、そもそもピークが出ないような暮らし方を構築することが前提となる。さらに自然由来のローカルエネルギーを取り込み、脱CO₂型の建築物を造ったり、エネルギー需給は5G(第5世代の通信網)を駆使したエネルギーマネジメントによって高度なデマンドレスポンスなどを可能とすることが基本となる。市場原理への移行が進めば稼働率の低い大規模発電所は淘汰され、効率の高い発電所だけが上位系に位置し、それらの稼働率を上げるような需要地開発が必須になる。

筆者は確度の高いエネルギーシステム解析から、例えば2030年の電力で言えば、現在90%以上を占める大規模電源が70%程度まで低減し、太陽光、風力、バイオマスやコージェネレーション(熱電供給)などの分散電力が30%程度を占め、2050年には分散型電力が60%程度まで拡大すると考えている。

筆者が持論としていることは、2050年での電力システムは自由化により市場原理での電源開発を考える時、稼働率の低い大規模電源は淘汰され、それらの一部が再生可能エネルギーやコージェネのような地域エネルギーとして需要地内に分散型スマートエネルギーネットワークとして移行する。

しかし、我が国のような工業国家は勿論のこと、アジア圏の新しい工業国は安定的な大規模電源を基盤に民生需要に対しては地産地消で需要ピークを低減できるスマート&マイクロコミュニティが適材適所に百花繚乱の如く形成され、サイバー層の進展と共に脱炭素化エネルギーシステムへと近づいてゆく。すなわち経済性に富んだ再生可能エネルギーを最大限取り込むと共に、上位系にはベースロード用の大規模電源が位置し、高稼働率を達成する。脱炭素化社会を考えると、大規模電源は原子

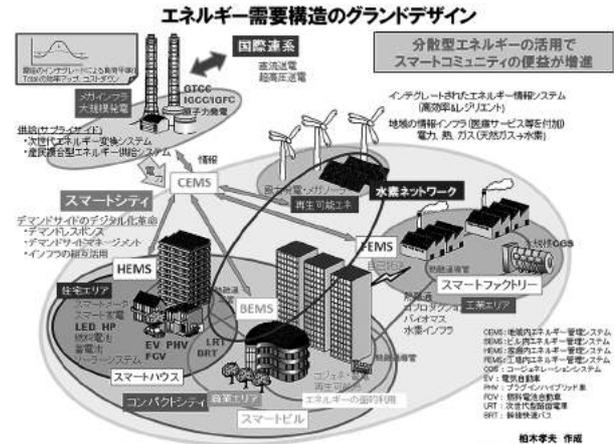


図1 エネルギー需給構造のグランドデザイン
(柏木孝夫作成)

力発電が将来的にも最も優れていると確信している。長期的に見れば、安全性・経済性・機動性に優れた数万キロワット級の小型原子炉が地下や山間部に整備され、ネットワーク化される可能性もあり、技術開発は世界中で着実に進んでいる。

原子力のような総合工学を商用化できない限り、日本の技術的将来展望は開けないと確信している。一科学者としての強い願望でもあり、再生可能エネルギーか原子力かという二者択一的思考の中に、我が国の国力を強化、国益を増大させるソリューションを見出すことは極めて困難である。

原発の存在は、日本の安全装置のひとつである。BCP (Business Continuity Plan: 事業継続計画) の観点からも、燃料をキープできるという利点がある。例えば、我が国の燃料の備蓄量を考えてみると、石油は130日、LNG20日、石炭40日、LPG50日、原子力燃料2.7年である。そして、エネルギーセキュリティやCO₂の問題など、さまざまな面から国益を考える必要がある。原子力に光と影があることを十分承知したうえで、原子力の国益とはどういうものなのかを考えなければならない。

超スマート社会の実現には、原子力利用は避けて通れない。日本は、原子力をベースにしてスマートコミュニティ化を進めていくことで、初めて工業国家としてリーダーシップを発揮できる。全体を鳥瞰し、法律的にもスマートコミュニティと原子力の最適なグランドデザインの構築に向けた環境整備を進めるべきだ。

著者紹介



柏木孝夫 (かしわぎ・たかお)

東京工業大学工学部卒。同大学院教授を経て、2012年より特命教授・名誉教授。内閣府や経済産業省の数多くの委員会座長などを務め、長年にわたり国のエネルギー政策づくりに深く関わる。2017年に「The Georg Alefeld Memorial Award」を受賞。

原子力推進における国策民営の限界

北村 俊郎

I. 先の見えないまま進行する危機

福島第一原発事故からまもなく8年が経過しようとしているが、原子力がどうなるのか先が見えない。事故直後に多くの調査委員会が立ち上がったが、ほとんどが早々に報告書を出して店じまいした。最近になって知った「炉心溶融は崩壊熱ではなく化学反応で起きた。2号機のベントが出来ていれば避難は必要なかった」という石川迪夫北海道大学名誉教授の学説や「あの地域の津波は千年に一度ではなく、数百年毎に起きていた」との歴史学者磯田道史らの指摘は私にとって衝撃的である。事故発生メカニズムの解明などはこれからも大いにやらねばならない。

事故後、国は規制当局を独立させ、新たな規制基準をつくり、安倍首相は「世界最高水準」と繰り返した。国は東京電力を経営破綻しないようスキームづくりをし、日本原燃の再処理工場はこれまでと同様に完成時期の延期を繰り返し、この間まったく発電をしていない日本原電も売電契約先が支え続けている。福島の事故後も原子力を支える構造はいまだ健在だとも取れる。

しかし、事故後の原子力委員会は政策づくりの役割を持たなくなり、新たな国の原子力政策は見えてこない。政府は第5次エネルギー基本計画で原発を従来通り「重要なベースロード電源」に位置づけ、2030年に発電量の20～22パーセントを期待するとしただけで裏付けも道筋も明らかにしていない。意図的かどうかはわからないが、発電コストも10円/kWhのままで、今後建設する原発の発電コストも示していない。

国のエネルギー安全保障上は、安易に廃炉すべきではないと考えるが、事故後、電力会社は次々と出力の小さい原発の廃炉を決定した。廃炉工事はあるにせよ、改造工事も建設計画もない。国の研究予算も縮小している。今後の受注のあてがないなら重電メーカーなどの設備も人も維持出来るはずがない。産官学とも人材確保に躍起となっているが、人口減少と少子化で他分野との学生の争奪戦は激しさを増している。原子力産業や研究を支える土台は徐々に、しかし確実に朽ちようとしている。

II. 求められる永続的管理・統制

先日、大飯原発3、4号機の運転差し止めを命じた一審の福井地裁の判決が名古屋高裁金沢支部で取り消された。裁判長は判決で「危険性は社会通念上無視できる程

度にまで管理・統制されている」としたが、裏を返せば技術的には問題がなくとも、管理・統制が不十分なら再稼働は認められないと言っていることになる。外部から規制委員会が監視しているものの、基本は内部の管理・統制である。だが、それはしばしば「仏作って魂入れず」の状態に陥る。1990年代のデータ改ざんのあと、当時の東京電力が「しない風土」「させないしくみ」を目標に掲げていたように、先々まで管理・統制がうまく機能するための仕掛けがなくてはいけない。

問題は日本では管理・統制を適切に行わせる動機付けについて決め手に欠けることだ。下請企業や地元まで巻き込んだ電力会社を頂点とする共同体の下では、市場原理、競争原理が働かず、共同体の存続を最大目的とした管理・統制となってしまう。資本主義の本家アメリカでは原発もしっかりと資本主義的管理・統制がされて高い稼働率を誇る。アメとムチを使った露骨なやり方には戸惑いを感じるが、現場も本社も金儲けと出世の意欲が緊張感や創意工夫の源泉になっている。定期検査が延びれば保修部門の課長は首になり、短縮ならボーナスだ。日本人はそこまでやると拒否反応が出る。

アメリカの規制当局は運転員が居眠りをしていた電力会社にきついお灸をすえるが、日本は定期検査の現場確認で検査官を騙した場合でも設置許可の取り消しはしない。アメリカ以外のヨーロッパ諸国や韓国はアメリカ型資本主義ではないが稼働率が高い。それは何故かを調査する必要があるが、印象としてはヨーロッパでは電力会社の担当者が現場に強いこと、国民も含め合理的精神が根付いていること。また韓国はつい最近まで原発技術者は意識の高いエリートであったことが影響しているように思われる。

近年、電力自由化が行われた日本では、独占をやめる見返りに電力会社の供給義務が緩和された。それは電力関係者の持つ「供給義務」という動機を弱めるので、新たな動機を探さねばならない。「共同体にいて既得権に守られる身分」ではなく「自ら守らなければならない立場」を自覚するならば、それは新たな動機に繋がるかもしれない。

III. 巨大組織の宿命

原発など巨大な施設を建設し運営するには、巨大な組織が必要だ。組織の内部は縦横に細かく分かれ、官僚的な統制が行われて動きも緩慢になる。コスト意識も定着

しづらい。高速増殖炉、核融合などは技術的に難度が高く、世代を超える継続的な開発が出来るかが鍵となる。また、実証段階となれば、費用も巨額で経済性、安全性、倫理性などが厳しく問われ、これをクリアするのに長い年月を要する。原発の技術は安全重視の観点から設計時点から10年前に開発されたコンベンショナルな技術しか採用されていないので、新しい技術の適用や事故対策の水平展開など、いわゆるバックフィットが苦手だ。

また、計画から廃炉まで100年を要するが、この間は安定的な運営母体を必要とする。開発リスクが高く、核につながる技術でもあることから、日本でも当初「国営か民営か」の論争が繰り返された結果、民営となり国がバックアップすることとなった。共産主義国や全体主義国では原発は国策国営。アメリカでは原発は純粋に営利目的の民間事業だ。日本では国営派と民営派の両方の顔を立て民営で行くが同時に国営という錦の御旗を掲げた。日本のように民主主義国、資本主義国で国策民営は中途半端で、結局、国、電力会社ともに責任が曖昧になった。せめて規制を独立させるべきだったがそうしなかった。ここに今日、我々が抱えている問題の根源がある。

民営による開発を託された電力会社に対して、国は電力の地域独占供給を許すことに加え、総括原価方式、電力料金の認可制、電源三法による交付金とその財源確保、電気事業会計規則による核燃料や設備償却の取り扱い、国の機関による研究開発をするなどの有利な条件を与えた。

だが、それによって電力会社は経済力をつけ、暫くすると経済力を背景とした政治力をも持つことになった。そうすると技術的あるいは社会的な困難をまともな解決方法でなく力で突破しようとする。あるいは真の問題解決が先送りされ、極端な場合は問題そのものが隠されてしまう。先送りや隠蔽は問題解決をさらに困難にし、次世代に引き継がれていった。

強大であったことで無理が効く。無理をしたことが仇になって強大なものが崩壊するのである。仏教の教義を物語に込めた芥川賞作家の森敦は小説「月山」で、「雪玉は大きくなればそのことによって崩壊する」と書いている。

IV. 建前と現実の差の解消

2011年の福島原発事故。それに続く政府の「もんじゅ」の廃炉決定。その影響の大きさは計り知れず、現状はのっぴきならないところまで来ているということを認識する必要がある。現実と意識がずれたままでは、正しい答えを出すどころか正しい問いを立てることさえ出来ないからだ。

以前の大手電力会社や原子力メーカーならなんとか持ちこたえられたが今は違う。電力自由化が本格化して激しい顧客争奪戦が繰り返られるようになり、大手電力会社は昨年度、10社のうち9社が販売量を減らしてい

る。再稼働の見通しが暗い原発の維持のための出費を続けることを許さない状況だ。

頼みの火力発電も温暖化ガス排出に対する国際的な批判から、大手金融機関は石炭火力への融資や保険に難色を示し始めている。化石燃料の安定確保に関しても世界をまきこんだ貿易戦争の影響を受けざるを得ない。需給関連ではデマンドコントロール、バーチャルパワープラント、太陽光発電の余剰電力の処理、FIT終了後の電気の買取り、顧客からの再生可能エネルギーのみの電力供給要請、風力発電などの開発、発電設備の強靱性確保、ハッカー対策などの課題が目白押しである。競争に打ち勝つためにどのように事業展開するか、コストをどう削減するかで手一杯だ。新分野に人材を投入したいが、原子力部門の陣容を縮小出来ないでいる。

日本原電、日本原燃などへの出資、料金の支払いや処理費の前払い、債務保証は膨らみ続けている。もし経営破綻させれば、電力会社の多くは債務超過になると予想されている。廃炉工事費の上振れ、引当金の積立不足、乾式の使用済み燃料貯蔵施設の建設費、解体による放射性廃棄物の処分費用などもいずれ対処が迫られる。地元自治体と交わした約束を果たすことや新たな要求に応えるにも限界が来る。

もともと民間がバックエンド部分まで背負うのは荷が重すぎた。国に支配されることを避けようとした電力会社側に無理があったことになる。アメリカでさえも使用済み燃料は国が廉価で引き取ることにしていたので、電力会社は発電業務に専念出来た。日本では再処理や、高レベル放射性廃棄物処分が遅れることで実質的にワンスルー状況になり、いまや使用済み燃料の保管容量の拡大が重要な課題だ。

自由化に合わせて、こうした建前と現実の差は清算すべきだったのだが、出来ずに今日まで来てしまった。清算すべきものは清算する。そうしなければどうにも動きが取れなくなる。福島第一原発の事故直後に東京電力を救うためのスキームをつくったように、行き詰まっている問題を整理し、少なくとも財政的な支援をするスキームを構築せねばならない。原発を保有する電力会社は国に対し「地球環境保全、エネルギー安全保障、国民負担軽減のためにこれからも原発を重要電源に位置づけ続けるなら、今のような国策民営では無理だ」ということを率直に申し入れるべきだ。

著者紹介



北村俊郎（きたむら・としろう）

1967年、慶応義塾大学経済学部卒。元日本原子力発電、元日本原子力産業協会。著書に「原発推進者の無念」(平凡新書)がある。

原子力発電の歴史と展望

橘川 武郎

電力会社の個別事情に注目

原子力発電の歴史を語るときには、電力会社個々の事情の違いに目を向けることが重要である。従来の原発論議では、電力会社を十把一絡げにして取り扱うことが多かった。電力小売全面自由化後の時期には、電力各社の原発事情の違いに注目することが意味をもつ。

旧一般電気事業者 10 社のうち沖縄電力は、原子力発電所を持っていない。残る 9 電力会社について見れば、各社が原子力開発を重点化した時期は、必ずしも一致していなかった。原子力の拡充工事資金が総工事資金の 20% 以上を占めた電力会社は、1960 年代後半には皆無、1970 年代前半には関西電力、1970 年代後半には四国電力、1980 年代前半には北海道電力・東京電力・九州電力、1980 年代後半には北海道電力・北陸電力、1990 年代前半には四国電力、1990 年代後半には東北電力・北陸電力であった。中部電力と中国電力の場合には、1966～2000 年度を 5 年ごとに五つの時期に分けた場合、原子力の拡充工事資金が総工事資金の 20% 以上を占めた時期はなかった。とくに、中国電力については、原子力の拡充工事資金が火力の拡充工事資金および水力の拡充工事資金のいずれをも上回った時期が、やはり存在しなかった。なお、ここで 1966～2000 年度を検討対象としたのは、(1)9 電力会社の原発の嚆矢として 1970 年に運転を開始した関西電力・美浜原発 1 号機が着工したのは、1967 年のことだった、(2)9 電力会社による原子力開発は、2000 年までにほぼ一巡した、という 2 点を考慮に入れたからである。

加圧水型陣営の沸騰水型陣営に対する優位

これらの事実をふまえれば、9 電力各社は、原子力開発を、① 1970 年代に早くも重点化した関西電力と四国電力、② 1980 年代前半に重点化した北海道電力・東京電力・九州電力、③ 1980 年代後半以降初めて重点化した北陸電力と東北電力、④ 2000 年度まで明確には重点化しなかった中部電力と中国電力、の四つのグループに分かれると言える。ここで興味深い点は、「原子力積極派」を意味する①②の 5 社のうち、福島第一原発事故を起こした東京電力を除く 4 社(関西電力・四国電力・九州電力・北海道電力)が、いずれも加圧水型軽水炉を使用する電力会社だったことである。これに対して、相対的には「原子力消極派」となる③④の 4 社(北陸電力・東北電力・

中部電力・中国電力)および東京電力は、沸騰水型軽水炉を使用してきた。

加圧水型陣営と沸騰水型陣営とのあいだに見られる電力会社間格差は、原子力開発への姿勢の違いだけでなく、原子力発電所のパフォーマンス(稼働率)の違いにも表れた。1980 年代後半から福島第一原発事故までの四半世紀のあいだ、加圧水型軽水炉の稼働率は、沸騰水型軽水炉の稼働率を、総じて上回った。そのなかで加圧水型陣営に属する九州電力と四国電力の 2 社が、いつしか「原子力発電の優等生」と呼ばれるようになった。

1980 年代後半から 2010 年にかけての時期に、九州電力の原子力発電所の稼働率は、ほぼ一貫して全国平均を上回った。同社がこのような成果をあげることができたのは、運転管理体制の強化、品質保証体制の整備、運転要員の確保、運転要員の安全教育などに力を注いだからである。同社が、2010 年にプルトニウムを既存の軽水型発電炉でウランの代わりに燃焼させるプルサーマル運転のフロントランナーとなり(玄海原発 3 号機)、2015 年に原子力規制委員会が定めた新しい規制基準をクリアして原発再稼働のトップバッターとなった(川内原発 1 号機)のは、決して偶然の所産ではない。

一方、福島第一原発事故までの時期の原発稼働率が高かった点では、四国電力も、九州電力に優るとも劣らない。1 号機運転開始の 1977 年から 2009 年までの 33 年間に、同社・伊方原発の通算設備利用率は 82% に達した。この例外的な高稼働率の理由は、「伊方方式」と呼ばれる徹底した地元自治体への情報の公開や、定期修理期間中の積極的な予防保全措置に求めることができる。

加圧水型炉陣営の優位は、別の言い方をすれば、沸騰水型炉陣営の劣位である。原子力安全・保安院が存在した期間(2001 年 1 月 6 日～2012 年 9 月 19 日)に、国内の原子力発電所において事故・トラブルや地震の影響により運転停止等が発生した事例は 16 例あったが、それらのうち加圧水型炉にかかわるものは 2 事例だけであり、他の 14 事例はいずれも沸騰水型炉関連の事象であった¹⁾。2011 年 3 月に発生した東京電力・福島第一原発事故でメルトダウンしたり水素爆発したりした原子炉も、いずれも沸騰水型炉であった。

設備利用率の点で加圧水型炉が沸騰水型炉を上回る傾向は、すでに 1990 年代に顕在化していたが、21 世紀にはいと、事故・トラブル・地震による運転停止が沸騰水型炉で集中的に発生するようになり、炉型間のパ

パフォーマンス(稼働率)の格差は、決定的に拡大した。福島第一原発事故後の2012年に原子力安全・保安院に代って設置された原子力規制委員会は、2013年7月に新しい規制基準を制定したが、今のところ、この基準をクリアし再稼働を果たした原子炉も、九州電力川内1・2号機、玄海3・4号機、関西電力高浜3・4号機、大飯3・4号機、四電伊方3号機とすべて加圧水型炉であり、沸騰水型炉で再稼働を実現したものはない。

二つのビジネスモデル

炉間格差の拡大は、当然のことながら、各原発の今後のあり方にも影響を及ぼす。沸騰水型炉に対しては、政府の介入が強まり、国営に近い事業形態が登場する可能性がある。その契機となるのは、東京電力柏崎・刈羽原発であろう。

端的な言い方をすれば、東京電力の手で柏崎・刈羽原発を再稼働させることはきわめて困難であろう。東京電力が原発事故を起こした会社だから、という理由だけではない。柏崎市や刈羽村を含む新潟県は、東京電力の供給エリアではなく、東北電力の供給エリアであり、地元への密着度は、東北電力の方が東京電力よりはるかに高いからである。地元への密着度が低い会社が、配慮が行き届いた避難計画を策定できるとは思えない。避難計画は、原発が過酷事故を起こしたときに周辺住民の生死を決する、たいへん大切なものである。新潟県を供給エリアとしない東京電力が柏崎・刈羽原発を再稼働できるとは、とうてい考えられないのである。

ただし、東日本大震災で大きな被害を受けた東北電力は、柏崎刈羽原発を買収するだけの財務力を有していない。そこで、国の支援が求められることになるが、直接的な原発国営に関しては、財務省筋からの強い抵抗が予想される。そこで、出番があると考えられるのが、日本原子力発電(原電)である。原電の最大株主は東京電力であるが、東京電力は現在、国の管理下にあり、原電は、事実上、準国策企業だと言える。柏崎刈羽原発の運営に原電が東北電力とともに参画することは、大いにありうる。

その原電は、今、「原子力なき原電」という状況に陥っている。同社の敦賀原発1号機の廃炉が決まり、さらには、同2号機については活断層問題で、原子力規制委員会の運転延長許可が出た東海第二原発については地元自治体の了解が得られていないため、いずれも再稼働の見通しが立っていないからである。柏崎刈羽原発の運営に原電が東北電力とともに参画することは、原電の経営維持という脈絡からもありうると言える。

原電が、柏崎・刈羽原発の運営に深くかかわることになれば、そのような方式は、他の問題を抱える沸騰水型原発にも広がる可能性もある。地震の確率が高いとされる中部電力浜岡原発や、完成までほど遠いJ-POWER(電源開発)大間原発が、それである。原電が今後、この

ように「問題児沸騰水型炉運営会社」としての性格を強めるならば、それは、沸騰水型原発がある程度「準国営化」されるということである。電力小売全面自由化の効果を大きくするためには、まだ小規模な電力卸市場での取引量を大幅に増大させる必要があるが、「準国営化」された沸騰水型原発が中立的な電源として機能し、そこから発生電力が大量に供給されるようになれば、卸市場の拡充に大いに貢献するであろう。

「準国営化」の道も見込まれる沸騰水型原発とは対照的に、加圧水型原発の場合には、従来からの民営方式が、当面、揺るぎそうにない。しかし、このことは、加圧水型陣営4社の経営が安泰だということを、けっして意味しない。これらの会社は、加圧水型炉の比較的良好なパフォーマンスにとらわれて、電源構成における原発の依存度をあまりにも高くしてしまった。その結果、福島第一原発事故後のまったく新しい局面でも、従来型の「原発依存型経営」から脱却することができず、身動きがとりにくい状況に陥っているからである。

原発依存度が高い加圧水型陣営4社は、原発の運転停止により大きな打撃を受け、沸騰水型陣営5社より早いタイミングで、より大幅の電気料金値上げを行わざるをえなかった(沸騰水型陣営に属する中国電力は、値上げ自体を行わなかった)。そうであるにもかかわらず、現時点でも加圧水型陣営4社は、原発の稼働を至上命題として追求している。いったん「原発依存型経営」にはまると、そこから脱け出すのは難しいのである。

電力改革を体現する新しいビジネスモデルは、柏崎・刈羽原発から切り離された東京電力、浜岡原発から切り離された中部電力、大間原発から切り離されたJ-POWERから生まれるのではないだろうか。それに対して、旧態依然の「原発依存型経営」を続ける加圧水型陣営から、新しいビジネスモデルが登場することは期待薄である。

いずれにしても、電力改革や原子力改革のゆくえを見極めるうえでは、原発開発史の違いをふまえた炉間格差の差異や、各電力会社の固有の特徴に目を向ける必要がある。

— 参考文献 —

- 1) 橋川武郎・武田晴人『原子力安全・保安院政策史』独立行政法人経済産業研究所、一般社団法人経済産業調査会発行、2016年。

著者紹介

橋川武郎(きっかわ・たけお)

東京大学経済学部卒業。経済学博士。青山学院大学助教授、東京大学教授、一橋大学教授を経て、2015年から東京理科大学教授。専門は、日本経営史、エネルギー産業論。



外野席から見た原子力発電業界

木下 富雄

私の専門分野は社会心理学である。原子力業界とのお付き合いの歴史は長いですが、それはあくまで外野席から見た「観客」の立場からであり、同じグラウンドに立つ「プレイヤー」としてではない。その意味でこれから述べる原子力業界へのコメントは単なる素人談義の域を超えないと思うが、その点はどうかご寛恕願いたい。

I. ハードとソフトのバランス

まず挙げたいのは、原子力発電の安全性に関するこれまでの業界の議論が、ハード面に少し偏りすぎではないかという懸念である。これは1F事故後の公式報告書だけではなく、大学の原子力専門家やマスコミ論調も含めての傾向である。なおここでハード面とは、炉、配管、電気設備、冷却設備、建屋など、モノや設備の安全性に関するものを指す。そしてこの安全性をさらに向上させるために、関連業界では多重防護や五重の壁といった、トータルな安全システムを構築してきた。

原子力発電は高レベル技術の塊だから、議論がこれらハード面に偏りがちであることは理解する。そのこと自体に不満はない。だがこれらのシステムを動かしているのは誰か。それはもちろん人間であろう。そして人間はいうまでもなくソフトである。このソフトがうまく機能しないとハードのシステムも動かない。

では具体的に安全に係わるソフトの中身は何か。それは個人レベルでいえば従業員の技能、知識、性格、ワークモチベーションなどであるが、集団レベルでは職場のリーダーシップやコミュニケーション、人間関係、組織規範、組織文化などとして表出されることになる。そしてこれらは全て社会心理学分野の知識と技術である。

ところが原子力業界の方たちはその問題にあまり関心がないようだ。現場の方たちはマン・マシーン・インターフェイスまでは理解するが、マン・マン・インターフェイスのもたらすエラーなど、考えられたこともないのではないかと。だが関電の原子力安全システム研究所の報告にも示される如く、過去の大事故の多くは、その「マン」が絡んでいるのである。マンは原発をスムーズに動かすのに欠かせない要素であると同時に、事故を発生させるリスク要因でもあることに気づいて欲しい^{1, 3)}。

ここで皮肉なのは同じ電力会社でも、流水発電ではソフト面への配慮がほとんど不要だということだろう。事実、日本の流水発電は全て無人運転なのである。システ

ムをハード面だけで完璧に処理できるようになれば、ソフト面は不要であることが分かる。原発は複雑で高度だけれども、まだ人の手を必要とするという意味で技術的には未完成なのである。

II. 原子カムラ？

原子力業界を揶揄する表現として「原子カムラ」という言葉がある。その含意は孤高性、閉鎖性、専門性、独立性、エリート性などというイメージであろうか。この表現は業界の外からだけでなく、内側でも同様に呼ばれることが少なくない。

結果として彼らは専門知識を豊富に持つのに、他部門の知識が不足していることが多い。例えば彼らは原発を建設する費用よりも、送電網を作るのにより膨大な費用がかかることをあまり知らない。高圧送電塔の建設に平均して一基1億円かかることを教えると、大抵の原子力畑の人は驚かれる。また彼らと議論をして話題が電磁界のことに移ったとき、私が「その問題ならお宅の送電グループに専門家がいるじゃない」と言えば、「え、そうなのですか」と驚かれたりする。専門家集団としてある程度のムラ化は仕方ないにせよ、他部門との溝が深まりすぎて知識や技術の交流が薄れてくると、企業全体として大きな損失になるのではないかと不安になる。

III. 組織の巨大化

次に気になるのは電力会社の巨大組織化である。電力会社は小回りがきかないとか、スピード感が鈍いとか、意思決定が遅いとか、官僚的だとかいろいろ評価されるが、私からすればこれは電力という専門性によるだけではなく、大企業特有の文化に基づくものに見える。

従って同じ電力会社でも、大きな電力会社と中小電力会社の間には相当な文化の違いがある。例えば私が電力会社で講演する場合、中小の電力会社では社長自ら来場され最前列で聴講されることが多い。そして講義が終わったとき「何かご質問は」と問いかけると、社長が真っ先に手を挙げて鋭い質問をされるのが常である。だがこのような光景は大きな電力会社ではまずあり得ない。

ここで誤解がないようにしておきたいが、私は大きな電力会社が組織として劣っていると言いたいのではない。むしろそれは逆で、大きな電力会社には知力も人柄も優れた社員が山ほどおられる。ところが会社全体とい

う視点で見ると個々人の「顔」が見えないのである。社会心理学が指摘する如く、個の集合イコール組織では無いことを知ってほしい。

大きな電力会社もこの問題に気づいておられ、それを解決するために分社化などいろいろな手立てを講じておられることも知っている。だがその効果が現実にどの程度現れてきたのか、私にはまだ見えない。

IV. リスク想定の問題

リスクが存在する組織でリスクマネージャーがもっとも苦慮するのがリスクの想定問題であろう。自分たちの組織にどのようなリスクが発生するか、それはいつどこで、いかなる形で出現するかといった問題である。だがこの想定は極めて難しい。なぜなら想定には思考シミュレーションに留まる簡単なものから範囲が広大で複雑なものまで、さまざまなレベルのものが存在するからである²⁾。さらに言えば想定の対象となる組織も一様ではなく、業種の性質、規模、構成員の特徴、また組織の折々における目標によって想定には大きな違いがある。

電力会社もそのことは理解されているようで、殆どの電力会社は定期的に想定訓練を実施しておられる。訓練の中身について全ての電力会社の手法を知っている訳ではないが、例えばある会社では、通常業務中に予告なく模擬的な事故を介入させるという手法を取る。「突然ブラックアウトになった。さあどうする」という訳である。「非常電源に切り替える」という答えが返ってきたら、「その非常電源も使えない」と追いついでいく。いわゆる「意地悪爺さん」的な手法である。このような切羽詰まった状況の中で、いかに冷静で合理的な解決法を見いだすかが問われる訳だが、残念ながらこれまでの訓練は電力会社内部の研修に留まっていた。だが同じような問題は他業種の大企業にもあり得る訳で、それら外部の知恵を導入することで研修内容はより向上するのではないか。

このような発想を元に、私は今年度の社会心理学会で次のようなワークショップを開催した。それは「巨大・複雑系システムにおけるリスク想定：宇宙分野と原子力分野のコラボレーションをともに」というものである⁵⁾。その詳細は省略するが、少なくともこれまで原子力という「閉じた系」の中で実施していた想定訓練が、「開いた系」の中で相対化されたことは大きな収穫であった。

V. リスクコミュニケーションの問題

リスクを内在する組織はその事実を常に社会に発信する必要がある。もちろんリスクだけでなくベネフィットも含めてのことであるが、このように社会や市民が望む情報をできるだけ豊富に、正確に、そして平易に伝える行為のことをリスクコミュニケーションと呼ぶ⁴⁾。これは日本では1980年代に私が始めて主張した思想と技術

なのであるが、あらゆる業種の中でこのような広報が一番必要なのは原子力発電業界と思う。

ところが不思議なことにこの業界では、リスクコミュニケーションの取り組みが非常に遅れていた。同じ電力会社でも送電部門では古くから取り組まれていたにも拘わらず、である。その背後にはIIで述べた原子力ムラの問題があったのだろう。

ただ技術論的にいうと原子力のリスクには難しいところがある。なぜなら一般市民の原子力への理解度は低く、それもステレオタイプの思考様式に彩られているからである。たとえば「原子力発電=核分裂=原子爆弾=怖い」といった認知連鎖であろうか。

私の経験によると、このような誤解を解くためにはいきなり原子力発電を持ち出すと失敗することが多く、むしろ水力・火力発電など身近で理解しやすい発電方式から説明を始めるのが効果的であるようだ。現地見学も同様で、最初に原発サイトに連れて行くのは避けた方がよい。電気をどうして作るのかという基本原理が分かれば、その中で原子力発電を相対的に位置づけることが容易になるからである。

VI. おわりに

原子力発電の重要性を理解して貫くために極めて重要なのは、エネルギーセキュリティの問題だと思う。これについても論じたいことが沢山あるが、紙幅の関係で省略せざるを得ない。別稿を見て頂くことを希望する。

引用文献

- 1) 木下富雄 2011 リスク学から見た福島原発事故, 日本原子力学会誌, 53(7), 465-472.
- 2) 木下富雄 2012 「想定」を再考する—福島の実験をもとに— 日本リスク研究学会誌, 21(4), 237-247.
- 3) 木下富雄 2013 人間と社会システムが起こす大事故—福島原発事故を念頭に— 日本エネルギー学会誌, 92(5), 445-456.
- 4) 木下富雄 2016 リスクコミュニケーションの思想と技術—共考と信頼の技法— ナカニシヤ出版.
- 5) 木下富雄 2018 巨大・複雑系システムにおけるリスク想定：宇宙分野と原子力分野のコラボレーションをともに 第59回日本社会心理学会ワークショップ 企画者・司会者：木下富雄, 発表者：中村大地(JAXA)・作田博(INSS), 指定討論者：北村正晴(東北大)於：追手門学院大学 2018.8.28.

著者紹介



木下富雄 (きのした・とみお)

京都大学名誉教授, 文学博士
京都大学大学院文学研究科修士課程修了。
京都大学教授, 甲子園大学学長, 日本社会心理学会理事長, 日本リスク研究学会会長などを歴任。専門は社会心理学とリスク学。

これまでをふりかえり、今後を展望する

これからの原子力研究に期待すること

滝 順一

I. 「会員数を1万人規模まで増やす」

この稿の執筆を引き受けて、学会誌を創刊(1959年)から21世紀初頭までざっと目を通して見た。

「創刊の辞」は初代会長の茅誠司(以下敬称略)である。「(原子力学会は)他の学会とくらべて、学界のみならず産業界からの協力を期待するところが大きい。それゆえ、この『会誌』がただ徒にアカデミックにはしることをせず、またあまりに通俗にすぎないように慎重に編集されることを期する」と書いている。

この言葉を受けるかのように、初期の学会誌には産学の研究者が参加する討論会の模様がたびたび収録されている。「原子力気象」「RI」「原子力計測」「核燃料」「原子力容器」など、黎明期にあって論ずべきテーマが溢れるほどにあったのだろう。討論会の記録のいくつかには、参加者の名前がすべて記されている例もある。当時の熱気が誌面を通して感じられる。

また創刊号の冒頭の論文が「放射性雲の拡散により覆われる地表面積、人口および集団線量の推定方法について」(西脇安)というのは、東京電力福島第一原子力発電所事故後の視点からは示唆的である。

1999年10月号には、同年5月に東京大学・山上会館で催された創立40周年記念式典での学会長(秋山守)のあいさつが収められている。原子力研究の未来を力強く語るなか、「1万人の規模まで増やそうと、精力的にキャンペーンを進めているところですよ」との一節がある。

会員数は2000年の8,088人(学生会員、賛助会員合わせた総数)をピークに減少、一時持ち直したものの現在は7,000人台に留まる。

今後、会員数が増加に転じるかと言えば、学会の外から見ると、楽観的にはなれない。原子力発電所の新規建設(リプレースを含む)が現状では政治的に見通せないからだが、仮に建設が再開したとしても、1980~90年代のように毎年運転開始の原発があるといった状況の再現は難しいだろう。

原子力研究は核物理の基礎研究もあり医療や材料開発への応用もあり、原子力発電だけがテーマではない。しかし何と言っても、エネルギー源としての原子力利用は社会的な貢献も大きい。ここが揺らぐのでは、原子力研究全体の先細りは避け難いだろう。

では、原子力エネルギーの利用という面でどのような研究がこれから必要なのだろう。門外漢に差し出がまし

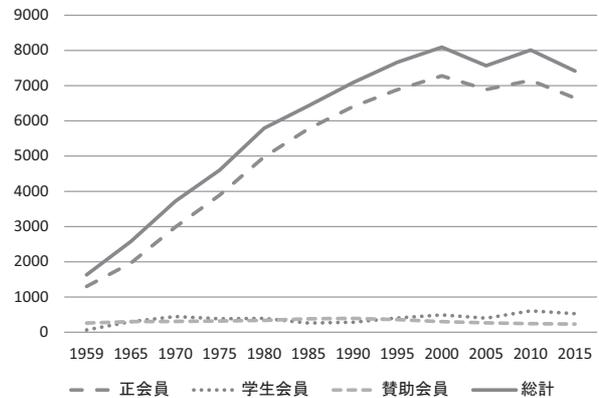


図1 日本原子力学会の会員数の推移

いことを言わせてもらえば、ひとつは「核融合」だろう。また核分裂によるエネルギー利用の面では、以下のような論文を学会誌に見つけた。

II. ゼロ・リリースと核変換

独カールスルーエ研究センターのギュンター・ケスラーの講演が2001年6月号に収められている。2000年11月に東京工業大学で「21世紀の原子力」という演題で話したものだ。ケスラーはここで、将来の原子力技術に課せられた課題として「ゼロ・リリース」と「核変換」を挙げている。

ゼロ・リリースとは、「原子力プラントおよび燃料サイクルの通常時の運転から出てくる放射性物質の放出量がほとんどゼロである」ことを意味する。さらに「炉心溶融など過酷事故時における放射性物質の放出量が著しく低いこと」、「またこのような場合においてもプラント境界外においては緊急時の対策が必要とされないこと」と説明する。

ドイツの原子力基本法(1994年制定)では、「いかなる形式の将来炉の建設にあっても、炉心溶融事故に際しては原子力プラント敷地外の緊急時の対策(住民避難など)が必要とされる事態になってはならない」と定めるとも言う。

また、放射性廃棄物の処分問題が、原子力が他の競合エネルギーに対抗していく上での大きな弱点であるとみて、「Puの消費、マイナーアクチニドおよび超長半減期の核分裂生成物の核変換を行うことによって数百年のレンジの問題に換えることができる」と、プルトニウムの消費と核変換の重要性を指摘している。

この2点は原子力発電を進めていく上で、必ず解決が求められる課題であるように思える。またどちらも達成が容易でないようにも思える。難しいからこそ挑戦する価値があり、人材を育てる意味もあるだろう。

純粋な工学技術の範囲を離れた視点から、以下のような指摘もすでにある。

2001年7月号に「原発問題の社会学的考察〈現代〉を問い直すためのノート」と題する総説が掲載されている。題名の通り、原子力発電をめぐる賛否の対立について、社会学的な視点から問題を整理し、建設的な議論の糸口を探ろうとした論文だ。著者は内閣府原子力安全委員会事務局の佐田務である。

「原発推進派も反対派も本当に対象とすべきものは、エネルギーに関する自覚や責任感なしに、それを放埒に使っているフリーライダーと、問題解決に対してしだいに無能化しはじめている人々の増加であり、またそれらを構造化した社会のしくみにあるといえよう」と佐田は指摘する。

さらに「(原子力推進派が)環境のことを第一に考えているのであるならば、エネルギー政策は原子力を推進する前に、まずエネルギー需要の抑制に切り込んでいくべきではなかろうか」とする。安価なエネルギーを提供してエネルギーを使い放題にすることは、短期的に経済成長には資することはあっても「未来を食いつぶす」ことになりかねないとの見方である。

著者の個人的な見解を反映した主張ではあるが、今まさに、国連が持続的開発目標(SDGs)を掲げ、産業界が地球環境の観点から持続的な事業戦略をとる方向にある。方向感は正しかったと言えるのではないか。

Ⅲ. 市場経済とポピュリズムの中で

最後に、筆者自身の考えを少し付け加えたい。

2018年11月に、中国の研究者が「ゲノム編集」で受精卵に操作を加え、双子を誕生させたとのニュースが伝えられた。ゲノム編集は従来の遺伝子組換えに比べて、より精密に、効率的に遺伝情報を改変できる技術である。医療や食糧生産に幅広い応用が期待されると同時に、改変した遺伝情報が世代を経てどのような影響をもたらすのかわからないなどの理由から、人間の受精卵への適用は慎重にすべきだとの考え方が世界の大勢である。

中国研究者の発表が真実か否か未確認の段階だが、こうした「逸脱行為」が起きかねないことは、ゲノム編集技術の普及が始まった数年前から懸念されていた。中国政府もこの研究者を処罰する考えだとされるが、現在は禁じられていても、やがて受精卵の操作は広く行われるようになる、私には思える。

今回の改変は、子がHIV(エイズウイルス)に感染しにくくするもので、一般に必要な性が高い措置とは思えない

が、いずれ遺伝性疾患を出生前に予防できる手法が編み出されることになれば、適用を望む声は大きくなると考えられるからだ。

他方、出生前診断技術によって、障害をもつ子が生まれる可能性が高いと宣告された親が人工中絶を選択する事例が日本国内で増えている。深刻な倫理的課題を提起する事態だ。もし出生前に診断だけでなく、予防や治療が可能となれば、ゲノム編集技術の進展を「福音」と考える人が増えていくに違いない。

とは言え、予防や治療であっても、それは産まれてくる生命を親の判断で選別する行為に他ならず、倫理的な課題を免れることはできない。また治療が経済的に可能かどうかは、両親(あるいは国家)の財政事情に依存し、結果的に医療格差を広げることにもなる。

こうした事態を眺めると、「科学や技術には善悪はなく、使う人によって善悪が生まれる。よって、開発した科学者、技術者には責任はない」といった主張はあまりに無邪気に聞こえる。科学・技術は望むと望まざると、社会を変える大きな力をもつ。そうした力に通ずる扉を開いたことに対する責任を科学者、技術者が負わねばならないのは明らかに思える。

こうした主張は決して目新しいものではない。科学・技術の倫理をめぐる議論の中で繰り返し打ち出されてきた。ただ、科学・技術の利用がますます強く市場原理によって統制され、同時に政治的判断が大衆迎合的な色合いを強める中で、科学・技術の倫理は新たな問い直しの時期を迎えているように思う。

先に紹介した秋山の講演では、原子力が様々な社会的課題を抱えているゆえに、科学技術と社会の問題を先導的に考えることも、原子力研究の将来の姿だとも指摘されている。それも、筆者が原子力学会に望むことのひとつである。

— 参考文献 —

- 1) 茅誠司「創刊の辞」日本原子力学会誌 Vol.1, No.1(1959).
- 2) 秋山守「わが国の原子力エネルギー—過去、現在、未来—」日本原子力学会誌 Vol.41, No.10(1999).
- 3) G. KESSLER「21世紀の原子力に求められるもの」日本原子力学会誌 Vol.43, No.6(2001).
- 4) 佐田務「原発問題の社会学的考察〈現代〉を問い直すためのノート」日本原子力学会誌 Vol.43, No.7(2001).

著者紹介



滝 順一 (たき・じゅんいち)

早稲田大学政治経済学部卒。1979年に日本経済新聞社入社、新潟支局、ワシントン支局などを経て2009年から16年まで論説委員。現在は編集局編集委員。原子力を含む科学技術、環境、医療などを担当。

原子力が提供する「価値」は何か

竹内 純子

いま社会は、急速に「モノ」から「コト」へと変化していると言われる。例えば、センサーの価格は8年前を100とすれば現在4というように指数関数的に下落し、事業者が提供する成果や価値を簡単に計測できるようになった。デジタル技術の進歩によって、事業者はモノを売り切るビジネスから、価値を提供するビジネスへと急速な転換を図っている。

顕著な例が自動車だろう。自動車は、実は稼働率が5~10%程度だ。要は9割は駐車場で寝ている生き物なのだ。それなのに駐車スペースの確保や車検、税金など保有には相当のコストがかかる。運転が趣味という訳でもない限り、これほど稼働率が低いものをなぜ大枚を払って購入するのであろうか。それは、移動したいと思った瞬間に移動するには、移動するための手段を手元に持っておかねばならなかったからであろう。

しかし現在筆者自身の生活を鑑みれば、その必要はない。スマートフォンに入れてあるタクシー配車アプリで、出かけたいと思う少し前にタクシーを呼べば、移動の価値自体は問題なく提供される。もちろんすべての地域で可能なわけではないだろうが、成果の提供だけを求め、モノを持つことの煩わしさから解放されたいと思うのは合理的な判断だろう。

こうした消費者の志向の変化が、事業者には、自らのビジネスが提供すべき価値は何かという根源的な問いを投げかけ、事業者は自分たちが本来提供すべき価値は何かを真剣に考え、ビジネスモデルを根底から見直している。タイヤメーカーであるミシュランは、タイヤを売ることから、「快適な走行環境」を提供するビジネスへ、GEの航空機エンジン部門はエンジンを売ることから、適切なメンテナンスによる航空機の運航遅延防止という価値を提供するビジネスへと転換した。その詳細は2017年9月に出版した「2050年のエネルギー産業 Utility3.0へのゲームチェンジ」に譲るとして、ここで問いたいのは、原子力が提供する価値は何か、ということだ。

原子力の電気は安いのか

これまで原子力発電のメリットとして喧伝されてきたのは、「原発の電気は安い」ということであった。もちろん原子力の価値は、発電時にCO₂を排出しないという環境性、エネルギー自給率に貢献する点にも見出すことができるが、そうした公共的価値よりも消費者にとって見

えやすいのが経済性である。しかし原子力の電気は本当に「安い」のだろうか？東京電力福島原子力発電所事故によって原子力災害のコストが顕在化し、消費者は原子力の安全神話とともに経済性の神話も崩壊したと受け止めている。

福島原子力発電所事故後に政府が設置した委員会によるモデルプラント方式によるⁱコスト検証では、いずれも原子力は他の電源と比べて十分に価格競争力のある電源であると示された。2030年のモデルプラントで、原子力発電は10.3円/kWh、住宅用太陽光が12.5~16.4円、陸上風力が13.6~21.5円といった具合である。

原子力のコストとしては、資本費や運転維持費はもちろん、核燃料サイクル費用や東京電力福島原子力発電所事故を受けた追加的安全対策費、事故リスクへの対応費用、国が負担する立地交付金や研究開発コストも加味されている。明確に算出できないコストも多く、下限として提示されていることには留意が必要だが、原子力発電所の事故による社会的コスト(賠償費用等)の増加に対しては感度分析も行われており、1兆円そのコストが増加するごとに、原子力発電の電気の単価は0.04円/kWh上昇すると見込まれている。このコスト試算をもとに、2030年の長期需給見通しが決定されたのである。

この試算結果に対しては、原子力の電気が今でも一番安いということに対する懐疑的な見方がメディアでも多く示された。「原子力事故リスク対応費用の見積もりが不十分」、「バックエンドコストについては見通せない部分がある」といった指摘が主であったが、実は原子力のコストに大きな影響を与える重要な要素が稼働率である。例えば2014年モデル・プラント方式では、割引率3%、稼働率70%で計算された結果、原子力発電による電気は10.1円/kWhとなっている。しかし、割引率を5%にすれば11.1円/kWhと9.9%上昇し、割引率5%で稼働率60%に低下した場合には、12.5円/kWhと23.7%上昇することとなる。このコスト試算に使用されたエクセルデータは公開されており、変数を操作してコストの振れ幅を確認することができるので、ぜひ確認してみていただきたい。

ⁱ ある年に発電所を新設すると仮定して、その発電所の設計、建設から運用、廃止までのすべてのコストを、その発電所が生涯の間に発電するであろう総発電電力量で除して、1kWhあたりのコストを算出する試算方式。

電力市場が自由化されれば、割引率は上昇傾向となる。その上現在の我が国の状況を見れば、規制活動や地元の合意に対して十分な予見性が無いこと、また、訴訟の頻発によって稼働率がどれほど見込めるかが全く分からない。割引率も稼働率も試算の前提条件をクリアできるかどうか全く分からないのだ。一方、再生可能エネルギーのコストはこの試算とは比較にならないほど急速に下落している。

自由化市場における原子力

自由化市場における原子力事業の課題を詳述する。地域独占・総括原価といった、低利・巨額の資金調達を可能にしてきた制度的補償措置が無くなったので、減価償却費の回収は不確実化する。資金調達コストの上昇は避けがたい。電力事業はそもそも設備投資負担が重い「装置産業」であり、規模・投資余力を判断するうえで、有利子負債の規模との相対比較におけるキャッシュフロー創出力に加え、自己資本の厚みも重要視されることとなる。特に原子力については、原子力過酷事故のテールリスクや原子力規制の厳格化などによって、かつてに比べ事業リスクが高まっており、財務耐久力の重要性は増している。様々な格付け機関が業種ごとの格付け方法を公表しているが、電力事業者に対しては、自己資本比率等財務構成を重要視する傾向は共通してみられる。原子力事業者の財務健全性を向上させ資金調達力を強化するには、原子力の安全対策への取り組みが積極的に行われ、そのことによって高稼働率が維持される必要がある。しかし現在は安全性向上の努力が稼働率によって報われる制度設計になっていないことも課題である。

加えて、自由化と対で行われる発送電分離は、資金繰りの余裕度を低下させる。従前の垂直一貫体制においては、送配電部門が営業キャッシュフローの6~7割を安定的にねん出していた。巨額の原子力投資による資金ひっ迫を緩和するバッファとして機能していたのである。しかし発送電分離によってC/F管理が厳格に区分されれば、資金繰りの余裕度は大きく低下する。

しかも、固定費が大きく損益分岐点が高い原発は、発電分を確実に売却することが求められる。負荷変動運転がしづらいこともあって、市場が安値でも「赤字発電」しなければならなくなる。再生可能エネルギーが大量に導入されれば、kWhは安価に提供されるため卸電力市場の価格は低下する。電力ネットワークの安定性を維持するために、kW、 Δ kWの価値に対して適切な対価を支払う仕組みの構築が急がれているが、諸外国で導入されている容量市場などの制度設計を見ても、有効に機能していると言える事例はほぼ無い。

「原発の電気は安いのか」という問いに正確に答えるならば、「原発は、安い電気を供給する可能性のある電源である」ということになるだろう。条件を整えば安い電気

を供給し国民に貢献する可能性が高いが、現在の事業環境はそれを非常に困難にしている。

原子力のメリットとリスクの定量的議論を

経済性という最も消費者に対してわかりやすい価値の提供が覚束ないとなれば、改めて、原子力が社会に提供し得る価値とは何かを考える必要がある。むしろ、これを良い機会ととらえて、根本から議論すべきではないだろうか。筆者自身は、わが国が化石燃料資源に乏しく、エネルギー安全保障の確保は国としての最優先課題の一つであることを踏まえれば、原子力発電というオプションは軽々に手放すべきではないと考えている。

しかし、概して技術の利用にはリスクが伴う。その技術の利用に伴って得られるメリットと、そのことで生じるリスクとの比較衡量を行い、メリットが勝る場合にのみ、その技術を利用することが社会に受け入れられるとすれば、提供できるメリットは何か、そしてリスクはどこまで抑えられるのかという議論は必須だ。原子力発電黎明期には、こうした議論が十分行われることなくメリットのみが強調され「夢のエネルギー」として導入されたのだろう。そうした「覚悟なき原子力技術の利用」を進めてしまったことが、様々な歪みとなり、時を経るほどに大きくなっているのではないか。

福島原子力事故を契機に改めてメリットとリスクについての議論が活発になり、リスクについては安全目標に関する議論として、関係者の中で共有が図られ、そして社会とのコミュニケーションが進むことを期待していた。しかし、今に至るまで安全目標の必要性(というよりはそれについての理解と考察を深めることの必然性)が関係者で共有されるには至っておらず、安全目標がなければならぬと考える大きな流れにつながっていない。安全目標といった厄介な問題に関わりたくない、その議論にはいりこまなくても原子力の利用はいずれ立ち直ると考える向きが多いことによるのだろうか。もしそうであるならば、わが国には、原子力技術を扱う資格があるのだろうかと問わざるを得ない。

福島原子力事故を経験した我々の社会が「引き受けてもよい」と考えるリスクの程度についての問いは必須だ。学会60周年という節目に、改めて関係者の皆さまには原子力の提供し得るメリットと許容されるべきリスクレベルについての議論に取り組んでいただくことをお願いしたい。

著者紹介

竹内純子(たけうち・すみこ)

慶応義塾大学法学部卒。東京電力株式会社を経て環境・エネルギー政策の研究者として独立。地球温暖化対策、再エネ普及政策や原子力政策まで幅広く提言を重ねる。



カナダ在住者からの原子力学会への期待

長崎 晋也

著者が McMaster 大学に異動して 7 年。日本の状況については浦島太郎であることは承知している。またカナダの社会や原子力界からの影響を受けているというバイアスがあることも前提としたい。その上で、60 年目以降の日本原子力学会に期待していることの中から 4 つを述べさせて頂く。なお、一般社団法人としての法的制約があることはここでは考慮していない。またこの 7 年間、エネルギーレビュー誌への寄稿以外、ほとんど日本語で文章を書く機会がなかったため、学会誌に相応しくない日本語表記になっていることも先にお詫びしておく。

I. 「学会は中立」からの脱却

著者が東京大学に勤務していた頃「学会が中立的な立場から」という表現を何度も耳にしたし、昨年 7 月から半年間サバティカルで東京大学に滞在した間も何度も耳にした。確かに春の年会や秋の大会で、学術成果を発表し合い、学術的視点から討論することそれ自体には何の色も付いていない。

しかし、だからと言って「学会は中立」なのか。「中立」であるべき論が先に立って自分たちの手足を縛っていないか。学会のホームページに掲載されている行動指針は、原子力学会は原子力と放射線の利用を推進するための組織であると言っていると小学校 6 年生の息子は読解した。福島事故発生時、少なくない数の全く原子力とは関係のない社会人の方々から、「原子力学会は、日本は原子力を止めますとなると困る人たちや会社の人々の集まりですよ」という趣旨のご意見を日本でもパークレーでも頂いた。これが世間一般が思っている学会の姿なのではないのか。ならば、もっと積極的に「日本社会、国際社会のために、日本は原子力エネルギーや放射線をこのように利用すべきだと考える」と、科学的エビデンスを添えて日本語と英語の両方で原子力コミュニティだけではなく社会全体に発信できるし、しなければならぬと考える。

またカナダでも日本でも技術者は「自分たちは正しいことを言っているのだから、社会的に受け入れられるはずだ（卑近な例では、性能が良い製品は売れる）」とどこかで思っている節があるように思うが、社会の選択は必ずしもそうではないことを歴史が示しているのだから、学会は自らのクレジットのもと、自らが信じる意見の発信に遠慮をしてはいけぬ。日本は、多様な意見をエビデンスとそのメリット・デメリットとともに自由に提出でき

る社会であり、社会に対して選択肢（結論ではない）を提示することは学会の責務でもある。

II. 原子力の夢の語り部

これは I. の言い換えかもしれない。10 年近く前、お嬢さんが最高学府の最も進学がむづかしい学科のひとつに通われていた著者の同僚の先生が「娘が、周りの友達は将来に『夢』が持てないと言っている」という趣旨のことを言われていたのを思い出す。

現在の日本の原子力エネルギー界の最優先事項は原発の再稼働になっている。電力会社は経営上、そして社会的責任上、再稼働を考えるのは当然である。しかし、原子力学会は再稼働の後について小学生から大学生までに夢を語っているのだろうか。少なくとも、地球の反対側には聞こえては来ていない。たとえ日本語が理解できる目と耳を持っていても。

つまり、学会までが現存の軽水炉の再稼働で手一杯ですという状況では、次の新しい展開が全く見えないということになる。将来何になりたいかという作文の課題が出されたとき、息子に「東大に行って、原子力技術者になるのはどう？」と誘導したところ、「20 年で終わるんでしょ。30 歳で失業するのは嫌だ」と切り返された。日本社会一般の受け止め方も似たものではないのか。「原発がすぐになくならないのは仕方がない。でも後 20 年の辛抱だ」と。また、福島第二の廃炉が決まったニュース。著者が指導していた 2 人の大学院生の方が先に気付いて、日本の原子力の将来を心配したメールを送ってきた。福島第一の見学に行き、原子力機構に滞在し、福島高専の学生と討論して、日本での就職も考えているカナダの学生に、日本の原子力はいよいよ店仕舞いというメッセージを打ち消す何かはまだ届いていない。

別の言い方をすると、原子力学会員の方々は、ご自身の息子さんやお嬢さんに「原子力工学科に進学したい、原子力産業界に就職したい」と相談されたら、まず最初にどう思われるだろうか。「よく言ってくれた」であって欲しいが。東京大学で勤務する前、課長以下独身寮に住む若手社員一同が地元の有力者の方のご自宅に招待を受けたことがあった。一緒に飲んだ地元の若い独身男性たち（皆ご両親と一緒に米やみかんを育てていた）は「姉や妹は電力さんのところに嫁に行った」と言っていた。これがここでの文脈で何を意味するかは自明だと思う。もちろん、現在若い一次産業従事者の方々が多くの改善や

改革をされているのは知っているが、一般論としての人の考え方としてここでは紹介した。

安倍政権はポピュリズムだ。向こう3年間も大きく変わりそうにない。エネルギー基本計画などで原子力エネルギーの明るい将来展望が語られることは当面ないかもしれない。ならば、学会には夢を語る責任がある。ただし、語る相手が日本人だけである必要はないが。

III. 異文化間異種交配の促進

福島事故とその後の原子力技術者の対応を見て、多くの人々は「社会の中の原子力」と言っていた原子力技術者の認識が実は表面的なものに過ぎなかったことを理解した。元東京大学社会学研究室教授の松本三和夫¹⁾は、TMI事故の翌年から1996年にかけて日本人研究者による日本語での原子力に関する人文・社会系研究を調査し、人文・社会系からの貢献は微々たるものでしかなく、人文・社会系での基礎的な方法論による原子力問題へのアプローチも極めて少ないことを明らかにしている。そして、事実上原子力に関する問題・課題では異分野間異種交配はなかったと結論付けた。著者も、松本の方法を真似て、2011年4月から2015年12月までの文献(但し英文論文、非日本人論文を含む)について調査したところ、福島事故後であっても、人文・社会系の論文発表数は若干増加傾向にあるが長期的には誤差の範囲であろうこと、異分野間異種交配や自然科学や工学側から人文・社会学系へのアプローチも事実上ゼロに近いことがわかった。

既存の高レベル放射性廃棄物だけではなく福島第一の廃止措置に伴って発生する廃棄物の処分地選定や、トリチウム含有処理水の海洋放出、本当に取り出せるのか・どこまで取り出すのかも含めたデブリ取り出しなど、異文化間異種交配を必要とする課題は数多く存在している。

2012年の日本学術会議から原子力委員会への高レベル放射性廃棄物処分に関する回答が典型例だが、原子力技術者の人文・社会系研究者への不信感は確かに存在し、特に日本の場合、人文・社会系からアプローチしてくる可能性は極めて小さいためこちら側からアプローチしていくしかないが、現時点では異文化間異種交配領域での研究成果の評価システムもなければ、科研費の大小審査区分にもない。異文化間異種交配が進む制度設計とその実現に学会はもっと関与していくべきではないか。北米では物理学や材料学でPh.D.の学位を取得したり数学の修士学位を持つ人が普通に社会学や政治学、歴史学の分野で活躍し、工学系とコラボレーションも行っている。

IV. 知のプール

原発をはじめ多くの原子力施設を設計・建設・運転・

保守し、様々なトラブルにも対応して、技術立国日本に恥じない原子力産業を築き上げてきた技術者の多くがリタイアをし始めている。彼らの持つノウハウ、知識や知恵、経験は彼ら自身あるいは彼らが所属した組織の知的所有権となっている部分も多いであろうが、組織を横断して後世に残す仕組みはできないものか。良く知られているように、徴兵経験のある水木しげる氏の漫画では人は死なないが、空襲は経験しても戦場に行っていない手塚治虫氏など次世代の漫画家の漫画では人が死ぬ。経験者にしか残せないものがあるが、時間はあまり残っていない。

20年後、誰かが福島事故について調査をしようと思った時、資料Aは東京電力に、資料Bは日立に、資料CはNHKにと、どのような資料がどこに保管されているかをまず把握し、そこから各資料を各組織に開示請求していくことになるのだろうか。そもそも20年後、資料は残っているのだろうか。黒川清は「福島事故から学ぶことを世界の共有財産に」と言われていたが、これでは共有財産にはならない。どこかに一括してアーカイブ化できないものかと思う。そして上記同様、福島事故を直接経験した人々の経験知もどこかに残せないか。

このような作業は単に情報を収集整理するだけではなく、構造化を通して次に繋げられる知の再生産へと展開すべきで、そういう意味では本来は東京大学などの責任だと思っているが、サバティカル期間中に見聞きした範囲では、日本の大学にはそのような体力はもうないのかもしれない。だとすると、学会が知のプールを設計・建設し、運用して欲しいと願うばかりである。経済的見返りはゼロで、知的所有権との取り合いなどタフな交渉しかないが、20年後に日本の原子力が再生しているためにはこの知のプールは不可欠である。

以上四つの期待を述べさせて頂いた。あくまで個人としてのものであるし、絶対正しい意見でもないとも自覚する。ただ、世界中が日本の原子力を見ているということは事実であるし、それに応える日本原子力学会・原子力界であって欲しいとの願いの上での期待だと申し上げておきたい。

— 参考文献 —

1) 松本三和夫, 科学社会学の理論, 講談社, 東京(2016).

著者紹介

長崎晋也 (ながさき・しんや)

東京大学大学院工学系研究科修了。四国電力、東京大学教授などを経て2012年からカナダ国McMaster大学教授。専門分野は、放射性廃棄物管理工学、核燃料サイクル工学。



日本の原子力対策のほころびや矛盾，欧州取材で実感

服部 尚

日本の原子力対策のほころびや矛盾， 欧州取材で実感

日本と同じように長い歴史を持つ欧州の原子力の現状から、日本の原発対策の抱える問題を考えてみたい。

世界に先駆けて使用済み燃料(核のごみ)の最終処分が実現しそうな北欧フィンランドの処分場を取材したのは5年前。日本記者クラブのプレスツアーに参加した。

処分予定地は、フィンランド首都ヘルシンキから北西約250キロのバルト海に浮かぶオルキオ島。同じ場所に試験施設「オンカロ」がある。2004年に着工した人工トンネルだ。「オンカロ」は「洞窟」「隠れ家」などの意味がある。2020年代に処分場の操業が始まれば処分施設としてそのまま使われることになる。

坑道は1キロで約100メートル下がる傾斜。最深部の420メートルまでは、車で15分ほどかかる。近くにはオルキオ原発1,2号機(沸騰水型炉、出力各86万キロワット)が運転し、さらに、最新型の加圧水型軽水炉である3号機(出力160万キロワット)が建設中だった。4号機建設準備を進められていた。

この処分場では、フィンランド国内の別の地域にあるロビーサ原発1,2号機(加圧水型軽水炉、出力各48.8万キロワット)も合わせて計6基の運転で生じる使用済み燃料9,000トン埋める予定だ。

地下420メートルの最深部では坑道が水平方向に掘られていた。模擬用の立て坑もいくつか掘られ、縦穴に金属製の容器に入れられた使用済み核燃料が収められることがイメージできるようになっていた。

坑道の総延長は40キロにも及ぶという説明だった。2100年に処分計画が終了すれば、埋め戻され人間の暮らしからは隔離されることになっていた。

フィンランドは、北欧諸国のあるスカンディナヴィア半島全体を覆う極めて古い地層にある。堆積岩ではなく19億年も前に形成された結晶岩の岩石だ、火山や地震の活動はほとんどない。処分場を運営するポシバ社の地元担当者らは生まれた時から地震の経験がないという。担当者は「処分場についても、プレート境界から離れており、活断層もないと考えられている」と説明した。

10万年後の未来

核のごみが無害化されるまで10万年はかかる。そん

なほるか先の未来の世代にまで安全性を保障できるのかについては、異論があっても当然だった。

オンカロをテーマにして、処分の妥当性を問いかけるドキュメンタリー映画「10万年後の安全」をつくったミケル・マッセン監督の話も聞いた。マッセン監督は、「核のごみを将来の世代に残す是非を考えてもらうことが映画づくりのきっかけだった」と語った。

ちょうど、前年の2012年に日本学術会議が、日本の地質の特徴を踏まえて、千年・万年単位の処分に関する提言をまとめていた。地下処分は技術や社会的な合意形成がされておらず、使用済み燃料は地上に暫定保管するという内容だった。学術会議に限らず原子力業界内でも「当面は地上保管でも良いのではないか」という声も聞いた。

日本は火山や地震が多い国だとされているものの地域によって事情は微妙に違う。東北や九州には火山帯がある。東北には地下の温度の高まりが多い地域、中部や四国には隆起速度の速い地域もある。中部や近畿には活断層の多い地域もある。処分場を考えるならよりきめの細かいデータの精度を高める必要もあった。

ツアーは今後の日本の核のごみ処分を考えるうえでも、考えさせられることが多い取材でもあった。何十年にもわたる日本の原子力利用の行き着いた先の矛盾を考えさせられた。参加したのは28人。日本記者クラブ主催のツアーでも例のない多さだった。地方メディアも多く参加し、どの地域でもこの問題は深刻に受け止められていることも示した。

それを裏付けるかのように、ツアー後間もなく、原子力関係者に激震が走るできごとが起こった。小泉元首相がその年の8月にオンカロを訪れ、「日本には原発が50基もある。いまずぐ止めないと最終処理が難しくなる」などと、即時原発ゼロを訴えたのだ。

フィンランドの「オンカロ」は一躍注目を集めることになった。高レベル放射性廃棄物の問題に、行政の取り組みも加速を迫られたように思える。

欧州巡るメディアツアー企画

小泉元首相発言などを受け、日本記者クラブでその後も、高レベル放射性廃棄物などの欧州ツアーを2回企画した。クラブの企画委員として企画立案に関わった。

翌13年には、フィンランドと同じように高レベル廃棄物処分場整備が進むスウェーデンの処分場を取材する

ツアーを計画した。

印象に残ったのは、バイラン・エネルギー担当相の言葉だ。「安全対策で原発コストは高くなっている。国内ではいま10基が稼働しているが、この先数十年間、原発をつくる事業者はいないだろう」

同国は1980年代に脱原発を決めていた。一時は動きが鈍化した。再度脱原発に転じつつある状況だった。東京電力福島第一原発の事故で、安全対策が進められコスト負担が大きくなっていったが、政府が特に支援をすることはなく、電力市場での競争に任せる姿勢。結果的に、コストの問題で原発は消えていくだろうという見方だった。

フィンランドで建設中のオルキルオト原発を見た記憶もよみがえった。二重の格納容器の同原発は、これまで見た中でも巨大な原発施設だった。建設コストも大幅に増えていた。

スウェーデンでは原発安全対策も見て回った。オスカシャム原発では福島第一原発事故をきっかけに注目を集めたフィルター付きベントが取り付けられていた。1980年代に国内の全原子炉に設置されたのだという。

米スリーマイル島原発事故がきっかけだった。日本でもこのころ、原子力安全委員会でベントの有用性が議論されたが、設置までには至らなかった。

結局、フィルター付きベントが日本の基準に加わったのは、福島第一原発事故後の2013年だった。日本の原発の安全対策が海外より相当遅れている現実を目の当たりにする感覚だった。

そもそも、日本の原子力の世界で、安全研究は傍流だった。90年代になると、電力自由化の流れの中で、運転の効率化、合理化が優先されていった。そうした土壤が、2002年に検査偽装が発覚した東電不正問題などにつながっていった。

1999年のJCO臨界事故を受けて、原子力防災の法律が策定された。規制を強化しようと、経済産業省に、原子力規制に当たる専門的な規制機関として、原子力安全・保安院もつくられた。

しかし、東電不正などでコンプライアンスの問題への対応に追われ、過酷事故対策はここでも本格的に手を付けられないまま、時間が過ぎてしまった。

フランスの高速増殖炉取材で知る日本の矛盾

3回目のツアーは2016年。フランスやスイスを選んだ。60基近くもの原子炉を持つ同国での地層処分の現状を見るためだった。

特にフランスの取り組みは興味深かった。政策の変更や核のごみの無害化技術の進展に備えて、処分場の操業後100年程度は、いったん埋めた廃棄物を後で取り出せる仕組みを取り入れようとしていた。

さらに、核燃料サイクル施設の取材も実に貴重な体験になった。先進国のフランスでさえ、高速炉の開発には不透明で、使用済みMOX燃料の再処理もいまだ実験段階であることを改めて知ることができた。

ツアーに参加した記者たちにとっては、高速炉開発や核燃料サイクルを維持しようとする政府の姿勢は、絵空事で矛盾が至る所で目についたと思う。

原発は文化を生み出せるか

4年近く前、フランスのパリの地下に迷路のように広がる地下空間にパリ市担当者の案内で取材に入ったことがある。今のパリの石造りの町並みをつくるためにつかっていた石を切り出した採石場の跡地だ。その長さは一説には200キロ以上とも言われている。

歩くこと2時間以上。「シネマの部屋」と呼ばれる場所にたどり着いた。ライトを照らすと、壁の至る所に映画の登場人物が描かれていた。隣の部屋には、葛飾北斎の浮世絵を模写したと思われる絵が壁いっぱい描かれていた。

古くはレジスタンスの隠れ家になった地下空間。多くの若者にも出会った。酒盛り、写真撮影、自主映画のロケ場所探しなど、理由はさまざまだった。勝手に穴を掘って事故を起こしたり麻薬を楽しんだりする若者もいて、近年はマイナスイメージもつきまとう。

フランスでは地下を愛好する人たちを「カタフィル」と呼び歴史は古い。採石場は朽ち果てるままになっているが、一部では、有志がお金を出し合って証明などを整えて博物館のようにしているところもある。

日本でも、昭和の時代まで炭鉱が栄えた。福岡県田川市では、同市石炭・歴史博物館が元炭鉱夫による語り部活動を進めている。熊谷博子さんの著書「むかし原発いま炭鉱」にこんな言葉がある。

「炭鉱は文化を生み出したが、原発は文化を生み出さなかった」

ずっと心に残っている問いかけでもある。

— 参考資料 —

- 1) 「むかし原発 いま炭鉱 炭都[三池]から日本を掘る」(熊谷博子著・中央公論新社)
- 2) 「パリ地下都市の歴史」(ギェンター・リアー+オリヴィエ・ファイ著、吉川まり訳・東洋書林)

著者紹介



服部 尚 (はっとり・ひさし)

朝日新聞科学医療部記者。福井支局を振り出しに、東京や大阪の科学医療部で、原発やエネルギー、医療・医学の取材を担当しました。東日本大震災時は科学医療部デスク。その後編集委員などを経て現職。

アセスメント科学と EBR

坂東 昌子

I. はじめに

フォーラム「福島の事故を未来へ生かすために - 高校生・市民・科学者の語り、そして未来へ」でのパネル討論「子供が大人を変える」で、「エビデンスって何ですか」と質問したのは中学生だ。中・高校生や市民と科学者の集いのきっかけは、「ゆりかもめプロジェクト」(角山雄一指導)であった。熱意のある先生や当企画の実験教室の下で育った子供たちが、自ら自然環境中の放射線を測定して放射線分布地図にし、放射線をじかに知り、放射線と人間や生物との関わりを考えていこうという試みである。2018年3月に開催した国際会議、放射線・生体影響と医療を繋ぐ: BER2018¹⁾では、分野の異なる科学者が集まり、国内外から集まって熱のこもった議論をした。同時に福島・東京・関西の高校生たちもポスターセッションで発表・議論が盛り上がり、7月の集いとなった。そこで「エビデンスレベル」の紹介があり、コホート調査が最もレベルが高く、一番低いのがなんと「専門家の意見」だという。つい、福島事故後の状況を思い浮かべてしまった。

II. エビデンスレベル

専門家は、科学技術情報が増加の一途をたどっている現在、研究の最前線に追いつくのは大変だ。まして、分野の異なる情報の全てを判断することなど到底できない。それを痛感したのが医療分野ではないか。「本当に医療効果があるか、医療行為に踏み切れるか」判断を迫られ、情報の共有と判断基準の標準化が進んだのではなからうか。

III. 分野横断的課題

20世紀が個別科学の深化の時代であるとすれば、21世紀は分野横断的課題の解決の時代である。医療・健康・環境・災害など、個別分野では覆いきれない広い分野にまたがる課題が突き付けられている。特に、医療方面では、医療・看護の過誤などの問題を解決する、あるいは薬学で毒性、薬効評価研究、など負の影響をいかにして防ぐかという観点から、気候変動や、環境破壊に対する温暖化も含めて、多数因子がかかわる複雑系から、注目する要因がどれだけ注目する現象に影響を及ぼしているかなど、探求する課題が山積している。振り返れ

ば、地球環境問題に最初に警鐘を鳴らしたのは、かの有名な「成長の限界」である。しかし、それより前に、茅誠司原子力学会会長は、会誌創刊(1959年1巻1号 p.1)の辞で次のように述べている。「およそ原子力と言われるものほど、広い範囲の学問を包括しているものはあるまい。原子核の理論や実験の分野から始まって、工学のあらゆる分野にわたるばかりでなく、医学から社会科学の面まで及んでいる。これら広範な分野にわたる研究が総合されてはじめて、原子力の平和利用が完全に実施されるものであることは言うまでもない。」まさに、原子力問題や放射線の生体影響の課題が先陣を切ったのである。

IV. 低線量放射線の生体影響

Alvin Weinberg は、「科学に問うことはできるが、科学によって答えることの出来ない問題群」(1972年)をトランスサイエンスと定義し、その例として低線量被ばく問題を挙げたことは有名である。その後、これ等を、科学と社会の関係と言う視点から、「ポスト通常科学」と名付けられ、その合意形成には科学者共同体だけでは不十分で、「拡張された共同体」の必要性が強調された。こうした中で、放射線防護に係る科学技術者は、人道的倫理的立場から「市民に寄り添う」姿勢を重視するようになったように思える。本来なら、科学者は、市民に科学的真実を提供し、何がどこまで明らかになっているのかを提示する責任がある。だからこそ、科学者自身は自らの専門領域を超えて、分野横断的に議論を深めて科学的知見の前線を確認することが最大の任務である。そうしてこそ、防護指針の問題点も、残された課題も明らかにできる筈である。しかし、当課題に関与するのは、放射線防護学・疫学・生物学・物理学など多数の分野が係っており、しかも関連する学会は、何十とあるという。そして、各分野の認識文化や評価基準が異なり、同じ場で議論し、分野間の徹底的議論ができていなくなっているのではないか。もちろん、大切なことは、こうした課題の解決には、それに関わる個別分野の科学的知見の進展が一定の段階に達してこそ実のある解明が可能なのだということである。その為、いったん細分化した体制に慣れ親しんだ科学者が、視野を広げ課題にふさわしい体制と力量を備えることは、困難な営みであることは間違いない。ただ、深刻な課題を突き付けられた時、分野を超えた科学者の連携が進むのではないかと、まさにそれを

TEPCO 事故後、実感したように思う。

IV. EBR の提案

TEPCO 事故で、これまでの科学者の弱点が露呈し、社会に混乱を巻き起こしたことは事実だ。極端な評価の対立が表面化し、市民は、「何が正しいか」と混乱した。そんな中で、科学者は、事態を深刻に受け止め、分野の境界を乗り越え、様々なネットワークを活用して情報を収集し始めた。私達も、「線量放射線の影響検討会」で勉強しつつ情報発信を始めた。不確かな情報に基づく解説の多い中、元の論文を精査し、解説を試みた。そして、「放射線必須データ 32」を完成させた。市民が問題提起し、専門家が手分けして解説を書き、今度はそれを市民がチェックし、一緒になって議論を戦わした。交わされたメールの数は 3,000 にも上った。市民が鋭く詰め寄って科学者も再検討する、そのおかげで科学者間の理解も深まる。蓄積された個別分野の知見を基礎にしてこそ、分野横断的課題に挑戦できることを実感した。さらに広く市民や高校生たち若者たちも仲間になった。その鋭い疑問に答えよう、どんなに意見の相違があっても、徹底的に議論しあい、間違えば糺すという姿勢だけはずっと持ち続け、ここまで来た。そして、その中で、こうした取り組みには前例があることを知った。それが、EBM (Evidence Based Medson) である。医療分野ではずっと前に蓄積があった。この取り組みはカナダのマックマスター大学医学部の 1960 年代からの問題意識の上に出て来たことでも知った。また、この看護版、EBN (Nursary) もある。医療・看護の世界では、いろいろなわさや擬似治療法の蔓延にうんざりし、確かな情報源をみんなが望んでいた。その同じ必要性が、低線量放射線の生体影響にもあったのだ。EBM・EBN から新たに、EBR (Radiology) の創生へと繋がれば、市民を通じて科学者間もつながるのではないだろうか。

V. アセスメント科学

基礎科学の取り組みへと連動するのはどんな活動か？それが、2015 年 9 月、学術振興会の研究開発専門委員会「放射線の生体影響に関する分野横断的研究」(委員長和田隆宏 副委員長長我部信行)の取り組みだろう。産業界からは放射線医療機器や放射線計測器メーカーなどの参画を得、放射線生物学、放射線疫学の専門家を始め、医師、医学物理士など放射線を利用する分野、数理学分野など幅広い分野からの参画を得た。この活動をコアとして 2018 年 3 月に、大阪において開催された BER2018¹⁾で、放射線防護、放射線生物学、医学分野などから世界的に活躍している科学者が集まった。そこで Osaka-call-for-action の名前で、医療における放射線利

用の拡大に伴う低線量放射線研究の重要性を、関係国際機関や各国政府、さらに科学者自身も組織するように呼びかける文書が採択された。この担い手となる科学者組織をより発展させることが必要である。研究開発専門委員会は、3 年の活動期間を終えてステップアップするには、JSPS(日本学術振興会)のナンバー委員会にする必要があるが、これには、産業界からの資金的協力が必要だ。今や、放射線防護という狭い枠を超えて、科学的知見を基礎から見直すことが必要だと感じる。すでに、ヨーロッパでは EU をあげて、総合的分野横断のプラットフォーム MELODI が 2010 年から動き出している。この課題は、福島事故を起こした日本が取り組むべき人類の未来に対する責務である、そうした議論を進めていた時、長我部副委員長が「科学に基づく技術が実装される際の影響アセスメントの重要性をもっと明確にする必要がある。放射線の生体影響も、デジタル技術の人間の認知機能に与える影響や遺伝子編集治療の是非などと共に、アセスメント科学と呼ぶのはどうでしょう」と提案された。なるほど、規制ではなく積極面も評価するという姿勢が伝わり、従来の Regulatory Science とは明らかに違う。いつだったか、原子力学会での男女共同参画の企画に参加したとき、会員から「ほんとに好奇心だけで今までやってこられたのですか」と言われ、物理屋は、どことなく後ろめたさを感じてきた。Assessment は、辞書では、査定、評価、判断などの言葉が出てくるが、これ等からくるイメージは、「社会生活で必要な基準を制定するのを目的として、基礎から応用までの分野横断で研究する必要がある研究分野」というような志向がある。従来の自然科学分野は、自然の摂理の探求、Engineering science は応用を目的とした達成感、加えて、同時に、社会に窓を開き、+も-も見据えた評価という使命感を感じさせる。新分野の誕生は、災転じて福とする期待がもてそうでワクワクする。最後に、議論を進めていただいた長我部信行氏と土岐博氏に深く感謝したい。

— 参考文献 —

- 1) Inter National. Workshop on the biological effects of radiation - Bridging the gap between radiobiology and medical use -
- 2) <http://jein.jp/>; <http://jein.jp/networkofcs.html>

著者紹介

坂東昌子 (ばんどう・まさこ)

京都大学理学部卒。京都大学、愛知大学などを経て定年後、NPO あいんしゅたいん理事長。専門分野、物理学 関心分野は素粒子論他



責任ある原子力イノベーションとは

藤垣 裕子

I. はじめに

私の専門は科学技術社会論であるが、この学問の立場から、これからの原子力界、原子力学会はどうあるべきかについて考える。前稿¹⁾にも書いたが、日本の原子力が世界に誇ることであり続けるためには、責任あるイノベーションや科学技術ガバナンスを考慮する必要がある。本稿では、この点について考察する。

II. 技術にとどまらない社会インフラ

これからの原子力に必要なことは、技術だけの問題ではなく、技術をめぐる社会インフラの整備であろうと考えられる。社会インフラとは、巨大技術を人民の手でどのようにコントロールするかについての社会技術に関するものである。このことを端的に示したノーベル物理学賞受賞者の朝永振一郎の言を紹介する。

・・・現在核兵器やミサイルの出現は大きな問題ですが、核兵器にしてもミサイルにしても技術的にいっても非常にむつかしいもので、一般民衆にはとても理解できない。そういうように民衆に理解できないものが政治の中に介入してきて、それが社会を大きく動かしていく。そうなる民主主義というものはどうなるだろうか。いわば政治を動かす力が極度に専門家の手ににぎられ、民衆はいわばつんぼさじき¹⁾にされるわけです。こういう事態が世界をどう変えてゆくか、われわれも考えなければならぬが、こういった例が歴史にあったかどうか。いま例を核兵器にとりましたが、科学の平和利用の面でも技術を通じて民衆の手のとどかないところで産業構造が変わっていく。そこでまた同じ問いを発したくなるのです(朝永, 1962)²⁾。

この文は50年以上たった今でも力をもっている。科学技術と民主主義の問いである。科学技術に関連する政治を動かす力が極度に専門家の手ににぎられることなく、民衆の手の届く意思決定するには、どうしたらよいか。そのような制度設計の実践としての欧州のRRI(責任ある研究とイノベーション)について以下に説明する。

¹⁾ 原文ママ

III. RRI(責任ある研究とイノベーション)

RRIとは、現在欧州の科学技術政策 Horizon2020(2020年をめざした科学技術政策の展望)のなかで用いられている概念である。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)が協働することを意味する。実際には、RRIは研究とイノベーションプロセスに複数のアクターと市民が参加するパッケージとして社会に埋め込まれている。個別の科学分野を「責任ある研究」にするための具体的な試みを紹介しよう。

たとえばマリーナ・プロジェクトは、責任ある海洋科学研究とイノベーションを目的とし、その成果を市民に還元することをうたったプロジェクトであるⁱⁱ⁾。市民を動員した相互学習ワークショップを欧州12か国で17回開催しており、このワークショップには、のべ402人の利害関係者(81人の市民、66人の行政官、65人の企業からの参加者、104人の科学者、58人のNGOからの参加者、24人の学生、4人のジャーナリスト)が参加しているⁱⁱⁱ⁾。まさに「共につくる」空間の実践であるこれらのワークショップでは、Horizon2020で定義されている社会的課題(健康、食品安全、安全なエネルギー確保、輸送、気候変動や資源確保へのアクション、変動する国際情勢のなかの欧州のありかた等)との関連が議論されている。また、アセット・プログラムは、責任ある医療研究とイノベーションを目的とし、疫学および疫病における「社会のなかの科学」のアクションプランを作成している^{iv)}。具体的には、欧州8か国でパンデミックに関する共通の言語・アプローチの確立をめざしている。こういった個別科学のプロジェクトのほか、RRIを高等教育のなかに埋め込むプロジェクトや産業界との連携をめ

ⁱⁱ⁾ Marina Project (Marine Knowledge Sharing Platform for Federating Responsible Research and Innovation Communities), <https://www.marinaproject.eu/>参照

ⁱⁱⁱ⁾ F. Ferri, et.al. The MARINA Project: Promoting Responsible Research and Innovation to Meet Marine Challenge, F. Ferri, et.al. (ed), Governance and Sustainability of Responsible Research and Innovation Process: Cases and Experiences, Springer, 2018, 71-81.

^{iv)} ASSET (Action plan on Science in Society related issues in Epidemics and Total pandemics), <http://www.asset-scienceinsociety.eu/>参照

ざすものも見られる^v。

このような RRI の試みを原子力に応用するとどうなるだろうか。たとえば、地震による津波発生により、福島第一原発の冷却装置の電源喪失がおり、炉心崩壊に至る危険性は、東日本大震災前にすでに保安院と東電との間で共有されていた^{vi}。1966 年の福島第一原発の設置許可申請以後、地球科学で発展したプレートテクトニクス論や、活断層についての調査、および貞観地震(869 年)の津波発生の記録などを元に、日本の津波研究者は警告を発した(添田, 2014)³⁾。しかし、それらが反映された七省庁手引書(1997)や地震調査研究推進本部(阪神淡路大震災後、1995 年に総理府に設置された)の長期評価(2002)による再三の警告にもかかわらず、福島第一原発の津波対策は改善されなかった。その際の東電の判断は密室でおこなわれ、地域住民には公開されていなかった。もし先に説明した海洋科学分野での RRI の活動(相互学習ワークショップ)を津波事例に応用していたら、どうなっていたであろうか。七省庁手引きで日本海溝の津波地震の予測が出された後、あるいは地震本部の長期評価の後、それらの算定結果をもとに東電、保安院、中央防災会議、土木学会、地震研究者、津波研究者、そして地域住民とで参加型のワークショップを開いていたら、どうなっただろうか。そもそも公表をしない、隠ぺいをするということは、最初から参加を拒んでいたのだと考えられる。むしろ「開いて」組織のありかたの再編を検討する道を RRI は推奨しているのである。ホイッスルを吹きやすくするしくみの構築は、まさに、「日本で固定して考えている壁や境界を再編する力」だろう⁴⁾。

IV. フランス CLI の実践

日本の原子力は長いこと専門家と行政に閉じられた空間で方針を決定してきた⁵⁾。そのため、RRI のような市民参加の実践と言われても、すぐに実現することは難しいだろう。現実的には、いくつかのステップを踏みながら徐々に浸透させていく必要がある。それを行う場合に参考になる事例として、フランスの CLI を紹介する。

フランスの地域情報委員会 CLI (Commission Locale d'Information) は、地方議員、環境保護団体、有識者など、原子力立地地域の多様なステークホルダーが集まる会議体である。2006 年の原子力透明化法により設置が義務化された。原子力事業者や規制機関は CLI に対して必要な情報をすべて提供する義務を負い、立地地域から出された質問に答えなければならない(菅原, 2017)⁶⁾。

フランス CLI は、たとえば「再稼働の可否を意思決定する」組織ではない。しかし、透明性を高め、相互信頼を築く活動は行っている。このような活動は、上記のよう

な RRI の相互学習ワークショップを行う基礎となるだろう。一口で「市民参加」といっても、1)理解するための参加、2)議論するための参加、3)意思決定するための参加、などさまざまな階層性がある。一飛びに意思決定への参加までいかななくても、理解や議論の場を継続的に設けることは意味があることだろう。しかも 1 回で終わりにするのではなく、何十年も続けることは、まったく議論の場を設けない場合と比較して、地域の透明性や信頼構築に大きな差がつくことだろう。

CLI のような活動を日本に根付かせていくためには、透明性向上を目的とした立法をどうつくるか、あるいは原子力安全規制システムのなかで国の意思決定と関連自治体の意思決定をどう関連づけていくか、などの議論が必要となる。信頼形成や透明性確保のための「技術をめぐる社会インフラ」を形成することが、日本の原子力が世界に誇ることでできるものであり続けるために求められる組織イノベーションであると考えられる。

イノベーションとは、「新製品の開発、新生産方式の導入、新市場の開拓、新材料・新資源の開発、新組織の形成などによって、経済発展や景気循環がもたらされるとする概念」であり、技術の側面だけでなく組織の改編をふくむ。責任ある原子力イノベーションは、このような社会との接点の組織イノベーションをふくむのである。

— 参考文献 —

- 1) 藤垣裕子, 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, 日本原子力学会誌, Vol.59, No.10, 19-23, 2017.
- 2) 朝永振一郎, 自然科学者の立場から~学問のありかたと研究者の社会的責任~, 歴史学研究, 1962.11 月号, 朝永振一郎著作集第 4 巻所収, p296-300.
- 3) 添田孝史, 原発と津波 警告を葬った人々, 岩波新書, 2014.
- 4) 藤垣裕子, 科学者の社会的責任, 岩波科学ライブラリー 279, 岩波書店, 2018.
- 5) Fujigaki, Y. (ed.) Lessons from Fukushima: Japanese Case Studies on Science, Technology and Society, Springer, 2015.
- 6) 菅原慎悦, 原子力事業と立地地域との関係について~フランスを参照点とすることへの自省的考察, Tome60, No.1+2, 2015 年 2 月, 62-65, 日仏工業技術会.

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・教授
(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、科学者の社会的責任論。

^v PRISMA (Piloting Responsible Research and Innovation in Industry) Project, <http://www.rri-prisma.eu/>参照。

^{vi} 国会事故調報告書, p27.

これまでをふりかえり、今後を展望する

これからの原子力の「学」および「原子力界」に求められるもの

藤田 玲子

I. はじめに

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故(福島事故)から8年が経った。原子力学会員もしくは「原子力界(ムラ)」の人たちは福島事故から何を反省し、何を学んだのであろうか。規制委員会ができ、規制庁が原子力推進とは異なる組織として再稼働にお墨付きを出すようになり、福島事故前とは体制が異なると考えている方が多いのではないであろうか。

原子力以外の人たち、反対派でなくても回答は「否」である。相変わらず役所が主導し、その組織の長に名誉教授がなされる推進側の組織は全く変わっていないからである。

II. 福島事故から何を学んだのか

福島事故の根本原因は何かを問い直す必要がある。種々の事故調査委員会が報告書を発行し、事故原因を記している。本会の発行した事故調査報告書には他の事故調査報告書では触れられていない、原因の大きなひとつである“深層防護”の経緯について書かれている。以下に抜粋する。

チェルノブイリ事故前は設計基準内の安全対策(第3層)に限定されていたが、1996年IAEAにより“深層防護”の考え方が初めて国際安全基準(深層防護基準(INSAG-10))として明文化され、2000年に我が国の「原子力白書」に初めてINSAG-10と同様の第5層までの深層防護の考え方が記述された(2000年と2002年)。しかしながら、残念なことに日本は一旦、原子力白書にその記載がされたにも関わらず、2003年には原子力委員会が不要と判断し、第4層、第5層の説明が消え、第3層までの説明に逆戻りした。原子力安全委員会が国際安全基準に沿って国内の指針類の見直しに着手したが、深層防護対策は日の目を見なかった。

もし、日本でも“深層防護”の対策がされていたら、フィルター付きベントが設置されるなどの措置が取られ、事故時の避難計画なども作成されていればあのような惨事にはならなかったのではないか。

福島事故の教訓(ピンチ)をチャンスに変えるにはどうしたら良いか。まずは、推進側の組織を一度見直してはどうか。2,3年で替わる役所の役人では大きな原子力政策は担えず、また、その組織の長におられる名誉教授では現場の実体験、メーカのような実装経験もなく、的確な判断はできない。

推進側の組織の長は可能であるなら、事故前に「原子力ムラ」にいなかった方で福島事故が起こっても日本にとって原子力が必要であるとする健全な原子力推進派の方にお願ひし、事故前からのメンバーは彼らを技術的にサポートする側に廻るべきである。健全な原子力推進派の方々をどう取り込むかでピンチはチャンスに変えられるのである。

もうひとつは基礎研究を含めた研究開発に対する大学のあり方と考え方を考えることである。

III. 原子力には基礎研究は必要ない

この言葉を時々、著名な原子力の名誉教授の方々から聞くことがある。方々と書いたように一人ではなく、多くの原子力を専攻された教授の一致した認識である。確かに、日本の軽水炉技術は米国から輸入されたものを日本人特有の勤勉さと緻密さで改良し、福島事故前は世界で最も軽水炉技術の先進国であったことは間違いない。そのことから原子力の基礎研究不要論が出てきたのはある意味仕方がない。しかし福島事故が起こり、今までの延長線上では新たな技術開発は成り立たない状況にある。

本来、技術開発は研究開発の上に成り立つ、その研究開発はニーズから最も良いシーズを選択し、その基礎研究を行い、社会実装の可能な技術開発に持っていくものである。この流れを理解していない大学教授が原子力には何故多いのか。

ひとつには原子力技術は安全性が担保できないと社会実装できないので、これまで国の方針の下に研究開発されてきたことから研究開発はトップダウンで実施するものという誤解が先生方にあるのではないか。

本来、大学教授は研究を通して学生を指導し、人材育成することが最も重要なミッションである。にも関わらず、国や研究機関の評価委員会、作業部会の委員や主査を務めて、自分の研究する時間を減らし、良い研究をできる機会を自ら放棄すると共に人材育成にも貢献していない悪循環に陥っている。原子力専攻の先生方は是非、ご自分の専門を追求し、研究で学生の指導を真っ当にさせていただき、ノーベル賞とは言わないが原子力にイノベーションを起こしていただきたい。基礎研究なくしてイノベーションは起こりえず、福島事故後の原子力界は今一度、ニーズは何かそのシーズは何を選択すべきかを考える必要がある。トップダウンで護送団形式の研究開発で良いものが開発できると考えるのは間違いである。

何故ならば、真のニーズを取り逃がし、的確なシーズは個々のメーカーによって異なる。2030年以降、万が一原子炉のリプレースの機会が巡ってきたとき、最適な技術として採用されるのは中国の技術ではないか。中国は研究開発の王道である、「ニーズから基礎研究」を立ち上げ、的確なシーズを求め研究開発する風土が生まれつつあるからである。

IV. 次世代の原子力のニーズを的確に把握すべき

次世代の原子力のニーズは何か。原子力特有の放射性廃棄物の処理・処分と安全・安心で経済性のある安価な小型の原子炉ではないか。

1. 放射性廃棄物の処理・処分

放射性廃棄物の処理・処分については、高レベル放射性廃棄物の処分場の候補地に手を挙げる自治体がないことから、候補地に手を挙げる自治体が出てくるニーズは何かを考えるべきである。単に説明が不十分であるだけでなく、処分場を誘致しても良いという自治体の意見を聞き、研究開発のニーズとすることが重要である。事業を進めながら、改善していく技術を並行して研究開発することは事業にとって問題となることはなく、事業を逆に助ける、イノベーションはそこから生まれるのである。原子力以外の分野では基本的に事業を進めながら、より良い技術を並行して研究開発してきているのである。

ImPACTプログラム^{1, 2)}では、幅広く、原子力ムラ以外の方たちのニーズに答え、高レベル放射性廃棄物(HLW)を少しでも減らし、有用なものはリサイクルして資源化する研究を進めている。

2. 2050年以降も他のエネルギー源と戦える原子炉は何か

2030年以降の原子力に求められるニーズを考えてみる。2050年以降も少ないながら原子力がベースロード電源として必要とされる原子炉としては以下になる。その際の日本の状況を推測すると

- ① 人口減少：大きな電源と集中立地は不要
- ② プルトニウム(Pu)の有効利用：Puを燃料として使用
- ③ 廃棄物低減：マイナーアクチニド(MA)燃焼

MAについてはすでに、高速炉で燃料として装荷して核変換する方法³⁾が研究されている。一方、加速器で核変換する研究⁴⁾では、HLWを低減する目的で半減期が約30年のCs-137を含むCsおよびSr-90を含むSrを長期間保管するシナリオを検討している。CsおよびSrを約100~130年程度長期保管するとHLWをそのまま処分する場合に比べて処分場面積は約1/4程度になり同様に約300年程度長期保管すると、処分場面積は約1/100程度になると試算されている。

前述の3項目のニーズをシーズに落とし込むと

- ① →集中立地ではない→分散型電源→小型炉
- ② →軽水炉では限界→高速炉
- ③ →金属燃料高速炉もしくは加速器駆動未臨界高速中性子炉

ここから、次世代原子炉としては金属燃料高速炉が極めて魅力的なシーズとしてクローズアップされる。高速炉というと“もんじゅ”タイプの酸化物高速炉しか連想できない方も多いのかもしれない。しかしながら、金属燃料高速炉では使用済み燃料を再処理する際、MAがPuに同伴して燃料として製造できるメリットがあり、プロセスがシンプルであると共に経済性も高い。金属燃料高速炉はPRISMに拘る必要はない。中国は金属燃料高速炉を2028年から稼働し、2032年のMA燃料を装荷する計画を2010年に発表。2017年9月24~29日に韓国ソウルで開催されたGLOBAL2017(International Nuclear Fuel Cycle Conference)でも計画は全く変更なく報告されていた。

原子炉も地産地消型の分散型電源として小型炉のニーズが高くなる。最後に、経済性については“高速炉のフイービリティ調査研究⁵⁾”で小型炉では金属燃料高速炉の方が酸化物燃料高速炉に対し経済性が高いことが既に示されている。

V. おわりに

日本の原子力界は福島事故後、推進体制も研究開発の方策も全く変わっていないと見られている。

福島事故のピンチをチャンスに変えるには研究開発の本来のあるべき姿に戻し進めるべきである。世界で初めての研究を進めることにより新しいイノベーションが生まれる。新しいイノベーションが生まれるような研究には優秀な学生が集まるようになり、先生方は学生の指導をすることにより、人材育成に貢献できる。まずは、原子力本来のニーズを考えてはどうか。

— 参考文献 —

- 1) www8.cao.go.jp/cstp/sebout-kakushin.html
- 2) https://www.jst.go.jp/impact/hp_fjt/symposium/
- 3) H25.9.13 MEXT 委員会 群分離・核変換技術評価作業部会(第3回)でのJAEA資料(2013)。
- 4) H25.9.9 MEXT 委員会 群分離・核変換技術評価作業部会(第2回)でのJAEA資料(2013)。
- 5) “高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究；フェーズII最終報告書”，JAEA-Evaluation 2006-002, 191 Pages, 2006/07.

著者紹介



藤田玲子(ふじた・れいこ)

(株)東芝、電力・社会システム技術開発センターを経て2014年から内閣府ImPACTプログラムマネージャー。

第36代日本原子力学会会長。専門分野、関心分野は乾式再処理、分離・核変換。

これまでをふりかえり、今後を展望する

原子力産業における人材確保の今昔と今後の展望

村上 朋子

I. はじめに

「福島第一原子力発電所事故以来、原子力産業の魅力が低下し、人材確保が課題となっている」—原子力関係者ならこのような言葉を聞いたことが一度ならずあるだろう。しかし、この分野に足を踏み入れて約30年の筆者としては「近年に始まったことではない」と思う。日本原子力学会が創立60年を迎えるにあたり、産業界は人材をどう確保してきたのか、この先どんな人材をいかにして確保し技術水準を維持していくべきかを考えてみた。

II. 多様な人材に支えられる 総合工学・原子力

人材(特に高い専門知識を有する技術系)の継続的な育成は原子力産業が我が国で興った当初からの課題であった。1956年7月に策定された第1回「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」(いわゆる『長計』)には、「科学技術者の養成訓練計画」として以下のような記述がある。

「原子力の研究、開発および利用にあたっては、その分野が全く新しいものであるため、とりあえず各分野における専門技術者の再教育に重点を置くものとし、原子炉物理、原子炉化学、保健物理、熱伝導、計測制御、炉材料、機械装置、核原料物質の選鉱および製錬、燃料要素の加工、燃料要素の再処理および廃棄物の分離処理の各部門、応用面としてのアイソトープの利用、動力への利用、放射線障害防止等の部門に分けて、それぞれ養成訓練を行うこととする。」

当時は日本原子力研究所(現JAEA)も設立されたばかりで海外から専門家を招聘していたし、東京大学工学部原子力工学科も設置されていなかった(1回生の卒業は1964年3月である)。つまり原子力の研究開発・人材育成のための体制は発足したばかりであった。このような中、産業界では第1回「長計」の翌年1957年に日本原子力発電(株)を民間出資により設立、1959年には早くも東海発電所の設置許可申請がなされ同年認可、翌年着工、1966年営業運転を開始している。すなわち、日本の原子力産業の創生期においては人材育成と産業化とが同時並行で進められたことになる。「原子力新規導入には高い水準の安全規制体系とインフラが必須」と言われる今日の風潮からみれば、これは驚異的なこととさえはしないだろうか。

このような驚異的な発展を可能とした要因を示すキーワードは前述の『長計』にも出てくる“専門技術者の再教育”である。“再教育”を受けた専門技術者は原子核物理をはじめ、機械、電気、化学など他の理工学分野の専攻だったのであり、工学のベースのある技術系がいわばOJTで原子炉・核燃料・放射線等の知識を身につけていったものとみられる。原子力産業を支えてきたのは原子力工学科出身者ばかりではなく、様々な理工学分野の技術系であったといっても過言ではない。実際、原子力分野の専門的な技術者の養成訓練目的で設置された(はずの)原子力工学系学科・専攻の卒業生の進路を見ても、原子力関連への就職割合は多くて4割程度であり、原子力工学科出身者だけで原子力産業を支えてきたわけではないことは明らかである。

このことはそれから約40年経過し、原子力産業が成長期から成熟期に差し掛かった1990年代以降のデータにも現れている。「原子力関係企業の人材確保・配属状況」というデータで、1997年から2017年までの約20年間にわたり、電力・メーカーそれぞれについて原子力部門への配属人数を電気・機械・化学・原子力などの学科別に集計した(一社)日本原子力産業協会の「原子力関連企業・機関の採用状況の調査」の一部である。それによると、原子力系からの採用率が15~25%、概ね20%前後で推移する一方、電気系や機械系からそれぞれ20~30%、化学・材料系から5~10%、その他から20%程度、幅広い分野から人材を採用していることがわかる。採用人数は年によりかなりの変動があり、直近20年で電力・メーカー計約600人と最多だった2010年と計約200人と最少だった2001年とで約3倍の開きがあるが、人材の門戸を原子力系に限定しない幅広い分野に開いていることは一貫している。すなわち原子力工学専攻の学生の6割がそれ以上が他業界に転出していく代わりに、電気・機械などの広い分野から多様な人材が原子力業界に入っているということである。

III. 大学院に再教育の役割を

原子力産業を支える中核的な人材が原子力工学科以外から集められるのであれば、では原子力工学科の存在意義は何なのか。筆者は他人事でなくこの問題を考えてきた。自分の出身学科の存続に関わるからというだけでなく、原子力産業における人材の長期的な育成・維持・技術継承にあたっては、大学教育のあり方から考える必要

があるからである。この問題意識について、文部科学省科学技術政策研究所・科学技術動向研究センター主任研究官(当時)の大森良太氏は、「原子力分野における人材育成の必要性・現状・課題」(『科学技術動向』2003年9月号)で以下のように述べている。

「学部教育においては、専門科目にかわり工学基礎科目—電気、機械、材料、情報、環境・エネルギーなどが重視されるようになり、原子力発電に関連する講義は大きく減少した。(中略)大学院では原子力工学を量子・ビーム科学、システム工学、放射線利用、核融合、シミュレーションなどを包含する広い学問領域として捉える傾向が強くなっており、原子力発電に直接関連する教育・研究が希薄化していることは否めない。」大森氏はこの傾向の要因を「工学教育・研究システム全体の変化あるいは原子力産業の縮小傾向に即した対応」と分析している。

この論文が書かれた2003年頃、国内の新設案件数は1980年代より激減していた。原子力工学の専門知識を学んだ学生を即戦力として求めるニーズは産業界には皆無といわないまでも最盛期の何分の一かであったであろう。大森氏の指摘するように「原子力発電に直接関連する教育・研究が希薄化」していることは、産業界への就職数という厳然たる現実の前には自然の流れであったといえる。とはいえ、原子力事業がある限りは安全な運転・保守管理に係る人材は不可欠だし、放射性廃棄物処理・処分や廃炉に取り組む人材も必要である。

そうした意識のもと、産業界の原子力技術水準を維持するには社会人技術者への原子力教育が重要となってくる、と大森氏は指摘している。1956年の第1回長計に書かれたのとはまた異なる背景の下での「再教育の必要性」である。学部生には広範囲の工学基礎を身につけさせた上で社会の各方面で貢献する社会人として送り出す一方、企業の原子力技術系には実践的かつ専門的な知見を習得させようという思想である。もともと原子力工学が総合工学であり、原子力専門知識以前に工学一般のベースが必須であることから考えると、「何のために原子力工学が必要なのか」という基本に立ち返った思想ともいえる。大森氏の論文後、東京大学大学院に「原子力国際専攻」「原子力専攻(専門職大学院)」が出来、文系を含む幅広い分野から多様な学生が集まり、専門教育を受けるようになったが、これは大森氏の指摘に沿った方向性的ように筆者には思える。

IV. 「トランス・サイエンス」の展望

これも近年に限らないが、原子力業界では自分たちの価値観に閉じこもらず、社会と広く交流することも期待されている。日本原子力学会において1999年に設立された「社会・環境部会」の設立趣旨書には、「政治、経済、法、社会、国際関係、環境調和などの領域に発現する原子力の諸相を様々な学問的アプローチから研究し、(中

略)人間、社会、環境、技術の相関系における原子力のあり方を探求する。」とうたわれている。これだけの広い知見を一人の人間が、しかも工学基礎と高い専門性と共に併せ持つなど不可能、と本来は言いたいところである。しかしながら全て隅々まで網羅はしなくとも、“政治、経済、法、社会、国際関係、環境調和などの領域”がそれぞれおおよそどんな分野であるかを認識し、各領域と原子力工学の専門家の橋渡しにはなれる程度の人材が求められているともいえる。

その意味の「橋渡し」と類似の「トランス・サイエンス」という言葉が原子力業界で認知され始めたのもこの頃ではなかっただろうか。社会・環境部会設立から20年後の今日、各領域の橋渡しとなり得る人材は育成されつつあるのか、今後どのようにして長期的にそのような人材を確保すべきか。

この問題への学界における取り組み例が、日本学術振興会において2017年に設置された「未来の原子力技術」先導的研究開発委員会である。この委員会では「若手研究者・技術者」に、「未来の原子力エネルギー利用についての相互理解や社会的合意形成を目指して、より広い視点に立って取り組むべき原子力技術分野を再検討し、社会と調和した原子力技術のあり方及び社会とのコミュニケーションをさらに進めるための方策を検討し、実践する」ことを期待しているが、ここでいう“より広い視点”がすなわちトランス・サイエンス的な視点であろう。自分の専門分野のみで満足しない優秀な若手人材が、工学のベースと高い専門性を身につけた上で、更に他分野の知見も聞いてみたいと考え、積極的にこのような場に入っていく流れが定着すれば、橋渡し人材の育成が継続的にできる道が開ける。

幅広い工学分野から人材を集めてきた原子力産業界は今日そして将来にわたり、人材の幅を更にありとあらゆる学問分野まで広げることが期待されている。原子力産業の創生期からあった人材問題は将来もまた問題であり続ける。多くの関係者の知恵と議論が望まれよう。

— 参考文献 —

- 1) 「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画」原子力委員会。
- 2) 「原子力発電に係る産業動向調査」(一社)日本原子力産業協会 各年報告書。
https://www.jaif.or.jp/data/doc_archives/n-industry

著者紹介



村上朋子 (むらかみ・ともこ)

東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。日本原子力発電を経て2005年から日本エネルギー経済研究所勤務。専門分野、関心分野はエネルギー政策分析、企業経済学等。

原子力事故・災害に対する被ばく医療の将来展望

山下 俊一

はじめに

人間社会の誕生は、その地球史や人類史から俯瞰すると、生命の誕生を端緒とし、まさに、自然淘汰とその競争原理からダーウィンの進化論が踏襲されている。生きとし生けるもの必ず死を迎え、個人も異なる集団(系統)も、常に新陳代謝を支えるエネルギーに依存した生命現象の維持と継承をいのちの基本とし、そのエネルギー源が何かという問題は、生命活動はもとより宇宙万物の根幹をなしている。本稿では、産業界や医療界での恩恵に関する原子力の「光の部分」ではなく、チェルノブイリ原発事故や東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(福島原発事故)を体験し、国内外で「負の遺産」への対峙を余儀なくされてきた立場からの課題を提供する。特に、記念すべき本学会創立60周年の機会に、原子力と密接に関連する被ばく医療の現状と将来展望を共考したい。

原子力時代の幕開けと放射線防護の潮流

レントゲンがX線を、そしてベクレルやキュリーが放射能の存在を発見し、20世紀初頭からの物理学と量子力学、さらにその後の原子力工学や医学の進歩はめざましく、まさにシュレディンガーの「生命とは何か」に触発されたワトソンらが、生命現象の本質である遺伝子の二重らせん構造を解明したことに繋がっている。同時に、第二次世界大戦の渦中、原子爆弾開発を米国が先行して成功させ、日本の広島と長崎へ原子爆弾を投下し、両市合わせて約21万人の死傷者を出し、さらに数十万人の原爆被爆者を生み出している。この間、職業被ばくの防護策の検討から国際放射線防護委員会(ICRP)などが活動し、さらに大戦後には、原子力の平和利用目的に国連組織の中に国際原子力機関(IAEA)が設立されている。

1986年4月26日未明、東西冷戦構造時代に起きたチェルノブイリ原発事故は、国境を超える環境汚染と健康影響を深刻なものとし、世界保健機関(WHO)でも緊急被ばく医療ネットワークを構築し、IAEAとともに世界の被ばく医療に貢献して来た。一方では、国内外の被ばく医療分野ではその専門家も少なく原発安全神話の中で後陣を拝してきた。さらに、原爆被爆国として核兵器廃絶平和運動は盛んでも、事故対応や対策は限定的であり、放射線リスクや健康影響についての国民の共通理解や、そのための学校教育や社会啓発も乏しかった。

しかし、2011年3月の福島原発事故の前後では、公衆

被ばくを経験したことで我が国の放射線管理と防護に関する状況は大きく変化した。すなわち、先進国日本では大変な事故が起きて初めて自分ごととしての被ばく医療の重要性が現実問題となり、社会リスクも含めて事の重大さに改めて襟を正す場面に遭遇したと言える。

福島原発事故後の被ばく医療状況の変化

事故前の低調な被ばく医療の取り組みから、福島原発事故後の混乱と混迷の中で厳しい現実を体験した我が国では、2012年秋には原子力規制委員会と規制庁が新たに立ち上がり、従来の原子力規制と利用の利益相反を鑑み、中立性、透明性、独立性を担保した上で、国内外から信頼性の高い安全規制の実施が目指されている。

国内の各種事故調査委員会の報告書や、日本学術会議や有識者からの提言や報告書を紐解くまでもなく、すでに従来からの災害サイクルの考え方にに基づき、事故前の安全対策の重要性が再認識されている。同時に、福島の現状は事故後の復旧と復興の基本政策に、環境汚染と公衆被ばくの問題が大きく、避難と帰還の問題、低線量・低線量率の放射線リスク問題、責任と補償問題、そして何よりも被災者自身の回復力、自立自尊を基本とする前向きな生活再建が課題となっている。

一方、福島原発事故以降、WHOによる予備的な線量評価とリスク評価が公表され、それに続いてIAEAや国連放射線科学委員会(UNSCEAR)などが事故の全体評価と科学的な放射線の健康ならびに環境影響への評価を行っている。特に、IAEAが2015年に取りまとめた福島原発事故に対する事務局長報告書は、事故の評価に加え、緊急時の備えと対応、放射線の影響、事故後の復旧を多面的、多角的に分析し、それぞれの事実の積み重ねと所見から教訓を導き出している。さらに疑問点を明らかにすると同時に事故の経験から学ぶという開かれた姿勢が、今後の原子力安全文化の醸成の基本であることを明示している。

以上の経緯から従来の被ばく医療が、想定内事象(すなわちシナリオ訓練)に基づく限定的なものであったのに対し、福島原発事故以降は、現実問題として過酷事故や複合災害に伴う事前準備の必要性から、避難対象住民の範囲の拡大や、安定ヨウ素剤の事前配布や対象範囲、そして備蓄規模など大幅に改定されつつある。さらに、事故後の現場対応の困難さから、対費用効果や社会リスク、訴訟リスクなども総合的に勘案されなければならない

くなっている。すなわち、被ばく医療はもはや単なる防災マニュアル上の一業務ではなく、新たな学問体系として、そして社会貢献の観点からも、教育研究体制の整備と人材育成が必要不可欠と考えられる。

原子力災害と放射線災害医療学

福島原発事故は、チェルノブイリ事故とは異なり、巨大地震や津波に伴う複合災害である。災害立国と同時に科学技術立国を日本が標榜する以上、災害サイクルに鑑みた包括的な防災概念に従い、原発事故を一般災害と絡めて考える必要がある。一方、医学医療の視点からは、緊急事態対応では、救命救急医療による人命救助が第一優先課題である。災害時には現場の医療機能が麻痺あるいは障害されるため、DMATなどの応援部隊が他地域、他施設から現場に派遣される。

今日の災害医療は、阪神淡路大震災を教訓とし、厚生労働省傘下にある国立病院機構災害医療センター、およびDMATを中心に、災害急性期に活動できる機能性をもったトレーニングチームの育成がなされている。他にも日本医師会や日本赤十字社病院などがそれらの任にあたる。一方、原子力災害などの放射線事故対応の専門領域横断的な総合研修訓練は、多職種連携となりその端緒についたばかりである。いずれも専門性の背景が異なるチーム医療の統合と役割分担が基本となり、原子力規制庁に指定された全国5ヶ所の高度被ばく医療支援センターと4ヶ所の原子力災害・総合医療支援センターが、さらに県指定の原子力災害拠点病院や協力病院と連携して、放射線管理と防護を中心に被ばく医療対応を推進する。

以上から今後の原子力災害や関連事故における被ばく医療は、平時には消防と似たような訓練や準備、危機時には緊急出動にともなう事故対応や大規模災害に動員される自衛隊など危機管理業務従事者(放射線管理要員)と行動を共にすることになる。このような体制強化の中で、大学や研究機関における放射線災害医療学は、従来の放射線生物学や放射線遺伝学、放射線疫学、病院の臨床各科、とくに放射線科や核医学科に加えて、規制科学、放射線防護学や危機管理学などの教育、知識、経験が必要とされる。すなわち原子力災害に立ち向かう実学と理論の必要性から、これらの専門教育を横断的に束ねる実効性ある学問体系として放射線災害医療学を確立することは、我が国が世界に先駆けて高等専門教育に組み込まなければならない。それなくして福島原発事故の教訓を生かすことにはならない。

放射線災害医療学の確立に向けて

原子力産業を始め工学や医学医療分野では放射線利用促進の負の面として、職業被ばくと医療被ばくや公衆被ばくの問題が歴然として存在する。先に述べた大量被ばく事故に関しての高度救命救急処置や放射線防護策は、

被ばく患者への組織障害(確定的影響)の対応が中心となる。卑近な例をあげればJCO事故例であり、患者対応の基本であるケアとキユアであり、医学教育における放射線災害医療学や、看護保健教育における放射線看護学で教育指導される必要がある。一方公衆被ばく問題は、確率的影響すなわち将来の発がんリスクに関する長期健康モニタリングが中心となり、放射線健康リスク評価、リスクコミュニケーション、そしてリスク管理などがその教育項目となる。

日本学会会議では、福島原発事故を受けて、医学および看護学教育における放射線健康リスク教育の重要性についての提言を取り纏め、その成果が徐々に現れている。

おわりに

人類史上最悪と言われるチェルノブイリ原発事故後の医療協力に長年従事し、さらに福島原発事故に遭遇し、被ばく医療の最前線で大学人として、そして専門家として失敗と挫折を繰り返してきた。本学会誌へも過去何度かの寄稿を依頼されてきたが、今回の記念特集号の目的は、「原子力やそれをめぐる『学』のこれまでとこれからを総括し、これからの原子力のあるべき姿、それに向けた取組などについての指針を示す」ことである。本内容がその目的に沿ったものか否か甚だ疑問である。しかし、原子力技術や産業に全く門外漢の私でも強調できることは、科学技術リスクに関する分析評価と管理、とりわけ身体や精神への健康リスクから社会リスク、さらに事故責任を問う訴訟リスクへの対応準備が必要なことである。医療の現場は、日常から多くのリスク、医療事故や訴訟に囲まれている。しかし、リスクを恐れて萎縮するのではなく、安全制度の設計や組織運営、そして技術力と経験を高める努力により発展してきた。これらは原子力の分野においても同様であり、個々人の倫理面も含め、たゆまぬ教育訓練により維持されなければならない。

原発事故による国民の信用と信頼の失墜に正対し環境汚染と公衆被ばくに対処することは、論理的には包括的なリスク管理であるが、同時に信頼回復に向けた長期にわたる取組が、個人レベルでも誠実かつ真摯に求められる。これらの事象の風化や慣れを防ぎ、また風評被害の払拭に向けても放射線災害医療学という新学問体系が原子力と表裏一体になる日が近いことを切望する。そして、困難な課題に果敢に挑戦することで、原子力に関するリスクもまた克服されると信じるものである。

著者紹介



山下俊一(やました・しゅんいち)

長崎大学名誉教授兼学長特別補佐。福島県立医科大学副学長兼理事長特別補佐。内閣官房原子力災害専門家。日本学会会議連携会員。

原子力発電は社会に何をもたらすのか

山本 隆三

I. 原子力発電がもたらす経済効果

原子力発電の利点と欠点を考える場合難しい問題に直面する。それは、利点も欠点も数値化が難しく、客観的評価が困難なことだ。利点を考えると、電気料金の安定化と低廉化に代表される経済性、自給率向上による安全保障強化、温暖化問題への対処に貢献する低炭素電源の3点だ。一方、欠点は過酷事故時の被害だろう。

利点も欠点も数値化することが困難だが、事故の影響は目にする事ができるため、印象に強く残ることになる。例えば、旧ソ連・チェルノブイリ原発のその後はテレビ番組で時々取り上げられる。話はどんどん尾ひれを付け、小泉純一郎元首相は、「チェルノブイリもスリーマイルも福島も事故を起こせば、何十年も人が住めなくなる」と講演会で述べたりする¹⁾。スリーマイルはペンシルバニア州の中央にあり、その周辺には、むろん人が多く住んでいる。チョコレートで有名なハーシーはスリーマイルから10マイル程度のところにあり、州内外から人が集まる遊園地があるほどだ。

元首相の講演を聞いた人は、事故があると大変なことになると思うに違いない。事実ではない話まで反対のために使われるのはフェアではないが、海外の実態を知る人は少なく、多くの人は話を事実だろうと思うに違いない。さらに、福島第一を訪問すると、未だに帰還困難区域、立ち入りが制限されている地区が目に入り、目に見える形で事故の影響を知ることになる。

さて、事故の影響を目にすることはあっても、利点を目にすることはなく、概念として理解することができるだけだ。例えば、経済性の計算を考えると化石燃料費が変化するため定額で優位性を示すことが難しい。ある前提を置くことで計算が可能だが、恒常的な経済性を示すことは難しい²⁾。安全保障も指数化は可能だが、万人が納得する数値を導くことは難しい³⁾。温暖化による被害額の軽減を計算することは、まして難しく、不可能に近い。

多くの人は目にする欠点は直感的に理解できるが、利点を理解することは難しい。利点が目に見えれば、欠点との比較も容易になる。例えば、30年ほど前にインドの化学工場でガス漏れ事故があり、50万人以上の死傷者が発生した。肥料を製造している化学工場であったが、大きな事故があったから、化学肥料を止めて有機肥料を使

用しようとは誰も言い出さない。化学肥料の利点が目に見えるからだ。利点が目に見え、それを止めた時の影響の大きさが理解できるからだ。

原子力発電所は、化学工場との比較では、おそらくもっと大きい利点を持つだろう。しかし、肥料、ペットボトルなど製品が目に見える化学工場と異なり利点が目に見えない。化学工場の事故では誰も代替物の供給に触れないが、原子力発電所の場合には、すぐに代替供給の話が出されることになる。代替供給により経済性も、安全保障も、温暖化への対処も悪化するが、電気という製品も利点も目に見えないため疑問の声は上がらない。

ここでは、原子力発電が持つ経済的な利点を具体的に考えたい。考える視点は二つ。一つは、発電所が立地点にもたらす効果だ。もう一つは、電気料金が経済に与える影響だ。まず、立地点への経済効果を考えたい。

II. 立地点での経済効果

原子力発電所が立地する、あるいは立地が予定されているいくつかの地点の人口予測は図1の通りであり、人口減現象が続く日本でも極めて厳しい過疎化が予想されている個所が大半になる。ただし、この予測は2010年から15年の人口推移に基づき行われている。この期間の大半は原子力発電所の稼働はなかった。即ち、多くの地点では再稼働あるいは新設により、関連産業の継続的再開あるいは発展に伴う人口の流入が想定されるため予測の上方修正が期待される。

過疎に悩む地区では移住者に対する住宅の提供などの対策が取られているが、地方では収入の良い仕事が少ないため効果は極めて限定されている。そんな中で、過疎化を止める有効な手段を持つ可能性に恵まれている地区が立地点と言える。

図2は東日本大震災前の原子力発電と火力発電のコストの内訳を示しているが、火力発電では、コストのうち燃料費が大きな割合を占めている。一方、原子力発電では燃料以外の費用が大半を占めている。燃料費は海外に流出するが、それ以外の費用は地元を初め国内で支払われる費用が大半を占める。波及効果も考えると、原子力発電所は国内経済に大きな効果をもたらすことが分かる。

III. 電気料金が経済に与える影響

東日本大震災後、原子力発電所の停止に伴い火力発電所の稼働率が上昇し、燃料購入量が図3に示すように増

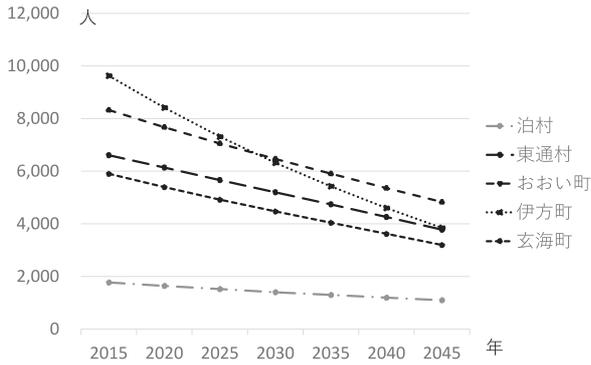


図1 原発立地点の人口推移予測

出典：国立社会保障人口問題研究所『日本の地域別将来推計人口』（平成29年推計）

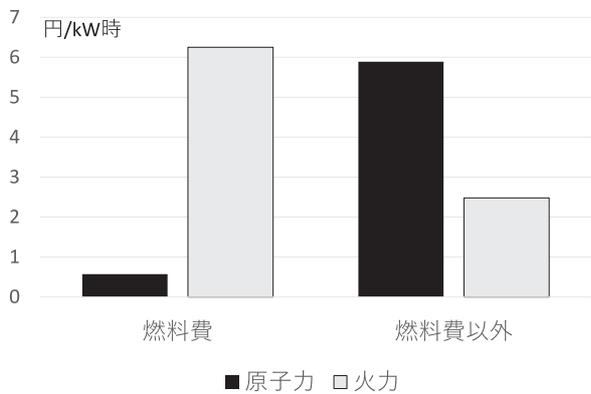


図2 原子力・火力発電コスト内訳(2009年度)

出典：一般電力9社有価証券報告書から筆者作成

加した。燃料購入による燃料費の増加分は電気料金上昇の形で現れたが、一般電力会社9社の有価証券報告書を分析すると2014年には1kW時当たり3.2円が原発停止による電気料金の上昇分に相当した。

電気料金上昇は、日本の産業界、特に製造業に大きな影響を与えることになった。失われた20年の期間低迷を続けていた日本の製造業は、2008年のリーマンショックにより大きな打撃を受け、立ち直り始めた2011年東日本大震災により、その回復に水を差され、その後電気料金上昇によるコスト増に直面することになった。

原発の停止により燃料購入量、費用が増え、電気料金は上昇する。その結果、2014年には製造業の支払う電気料金は総額で1兆2,000億円上昇した。一方、同時期の製造業の支払った人件費は総額で約28兆円であり、電気料金の上昇額は、人件費の約4%に相当した。

原発の再稼働と燃料費の下落により2015年から1kW時当たり燃料費は下落し始めたが、電気料金の値下がり額は燃料費の値下がり額には届いていない。その理由は再エネの導入に伴う固定価格買取額の付加金額が上昇を続けているためだ。2018年度の負担額は1kW時当たり2.9円に達している。

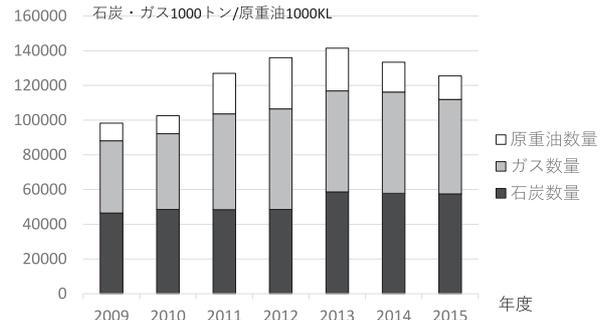


図3 発電用燃料購入量の推移

出典：一般電力9社の有価証券報告書から筆者作成

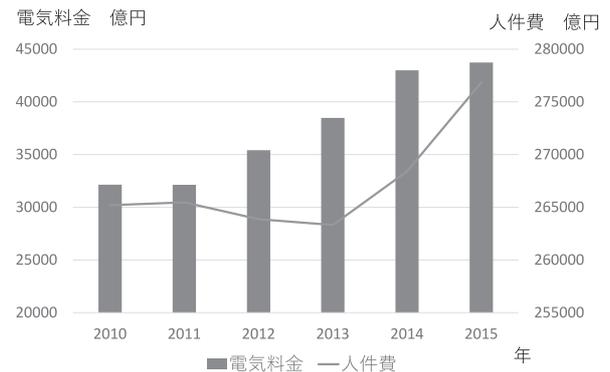


図4 製造業の電気料金と人件費の推移

出典：2014年までの工業統計(従業員数30名以上)、2015年経済センサスから筆者作成

今後、再稼働がさらに続くと思われることから、電気料金下落が期待できるが、一方で再エネ付加金額の上昇も続くことから、値下がりの効果は限定的になる。再稼働による電気料金下落効果を得るためには、再エネ賦課金を抑制する政策が必要になる。そうでなければ、再稼働による電力料金軽減のメリットは薄れることになる。

－ 参考文献 －

- 1) <http://www.kabu-sanko.jp/lecture54/>
- 2) "Levelized Cost and Levelized Avoided Cost of New Generation Resources in the Annual Energy Outlook 2018" (https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/electricity_generation.pdf#search=%27levelized+cost+of+electricity+iea%27)
- 3) US Chamber of Commerce "International Index of Energy Security Risk 2018 Edition"

著者紹介



山本隆三 (やまもと・りゅうぞう)

京都大学工学部卒。住友商事地球環境部長などを経て2010年から常葉大学経営学部教授。NPO法人国際環境経済研究所所長を兼ねる。専門分野はエネルギー・環境政策論

これまでをふりかえり、今後を展望する

何かに駆られて走ってきた

和田 章

はじめに

明治初めの日本の人口はおおよそ 3,500 万人、戦後の昭和 20 年にはほぼ二倍の 7,200 万人、明治の開国から 100 年目の昭和 43 年頃に 1 億人を超えた。しかし、平成 20 年頃から人口の増加はほとんどなくなり、平成 22 年の 1 億 2,800 万人をピークに、徐々に減少を始めている。この素晴らしい日本に暮らす人口が減少を始めたのは残念である。ここで考えるべきは、基本的に日本人の生活は豊かであるが、住宅事情、無秩序なまち作り、大都市集中、日々の通勤地獄、地方の衰退などは世界に自慢できないように思う。日本に暮らす生命体としての日本人が、狭い国土にこれ以上増えるのは良くないことに気づいて、人口減少が始まったのかもしれない。

日本だけが人口減少しても、世界の国の人々の衣食住が足りて、健康で衛生的な暮らしを行うことができ医療も進めば、これらの国の人口の増加はさらに進むに違いない。問題は、文明的な生活には水や食物だけでなくエネルギーが必要なことだ。

日本から排出される CO₂ は年間 10 億トン、一人当たり年間 10 トンであるが、米国は国が広く贅沢な生活をしているから、一人当たり年間 20 トンの CO₂ を排出している。世界の人々が日本や米国と同じことをしようとすると、地球が何個も必要だと言われている。これを補うのが、CO₂ を出さない原子力エネルギー、そして自然エネルギーである。

原子力発電所の安全性

原子力エネルギーは科学の進歩が生んだ素晴らしい技術である。しかし、スリーマイルアイランド、チェルノブイリ、福島事故の経験で明らかのように、原子力事故の影響は甚大であり、事故や爆発の起きないための安全性の確保は非常に重要である。この事故や爆発の Accident 数列 (A₁, A₂, A₃, ...) があるとき、他の多くの accident が、a₁, a₂, a₃, ..., a_i のように起こり続けているように、原子力 Accident の数列だけが A₃ で終了する保証はない。世界で原子力に関わる次の事故や爆発 A₄ が起きないために、関係者全員の真剣な努力が必要である。

原子力事故への責任

ここで、「この関係者は誰なのか」について考えねばならない。原子力発電に限らず、どのようなプロジェクト

でも商売でも、うまく進んでいるときには、私も関係していると言って関係者は次々に増えていく。一方、大きな事故が起きたり、商売がうまくいかないときには、これに関係していると言う人は次々に減っていく。明らかに関与していたはずの人までそっぽを向くようになる。

耐震工学を学び、建築に関わり、東京で電気を使ってきた一人として、2011 年 3 月の福島事故に、私は無関係ですとは言えない。大学で 30 年間、耐震設計について講義をしてきて、津波の怖さを語ったことは一度もない。湯水の如く使っていた電気がどこで作られ、どのように運ばれてきたかなどについて無頓着だった。「自らの至らなさ」にがっかりする。

福島の事故の前の原子力発電所の耐震審査基準は 8 章で構成されていたが、「津波」の単語は最後の章の最後の節に一度出てくるだけである。現在は、「耐震基準」と「津波基準」はほぼ同じ量で丁寧に書かれている。

以前の基準はホームページなどで公開されていたから、2011 年より前に読み、検討することもできた。「津波」への対策が不足していることを指摘することもできたはずである。事故や爆発が起きてから、津波対策が不十分だったと指摘するのは遅い。

及ばない想像力

関係した人々という意味では、国の基準を作り、個々の原子力発電所の安全審査をしてきた学識研究者をはじめとして、これらの基準に従って設計を進めてきた原子力発電に関わる技術者、設計図に従い原子力発電所を作り、施工してきた技術者などの全員は、外部にいる人々に比べ関与の度合いが大きいことは間違いない。国の基準が厳しく書かれていればいるほど、設計者や企業はこの基準を満足させることに真剣になり、基準に書かれていない別の事象や事故について独自に発想し、これについても安全性を高めようとする意欲がなくなってくる。このように、関係の度合いに強弱はあるが、すべての人々に想像力が不足していた。人類の歴史上、起きたことのないことに、人間の想像力は及びにくい。簡単に解決できない大問題である。

コンクリートの要塞のような原子力発電所は、津波の水圧で壊れることはないように見え、津波を軽視していたのだと思う。起きてみてわかったことだが、厚いコンクリート壁で囲まれた原子力発電施設には海水の侵入経路はいくらでもある。東日本大震災のとき、福島原子

力発電所だけでなく、東北電力の女川原子力発電所でも津波の海水は中に入っている。

この発電所には津波対策がされていたと言われていた。このときに、津波対策の重要性を他の原子力発電所の関係者に伝えることはできなかったのかと思う。組織を超えた自由な議論が行われていなかったことが残念である。

ラジオや携帯電話を風呂桶に落とせば使えなくなることは子供でも知っている。電気設備は水に弱い。東京や大阪のビルでは電気設備を地下に設置することがよくあり、豪雨の水が地下室に侵入してビルの機能が止まったことは以前にも起きている。一般のビルで電気室を二階以上の階に設ける設計はすでに行われていた。この経験を、原子力施設に反映することはできたように思う。土木学会が指摘した14メートルの高さの津波そのものを防ぐために防潮堤を作るのは大金が必要だったかもしれない。ただ、非常用発電設備と配電盤を丘の上にすることは十分可能だったはずである。要するに想像力が足りなかったというしかない。

時代の潮流と技術者

今年(2019年)は明治開国から150年である。文明開化、富国強兵の旗頭のもと、欧米の技術を導入し日本の近代化が進められてきた。今では日本の人口は明治初めの3.5倍になり、見かけ上、豊かな国になったと思う。

明治から100年の1968年に、日本で初めて高さが100mを超える超高層ビルが竣工した。地震の発生原因がプレートテクトニクスで説明できることが認められたのもこの頃である。地震国でも原子力発電所の建設が可能だとされ、次々に建設が始まった。

原子力発電所の建設に限らず、超高層建築の建設に関わる技術者は地震を忘れていたわけではない。ただ、イギリスやアメリカの地震や津波のないところの技術、シカゴやニューヨークの摩天楼に憧れ、我々の先輩も我々も、何かに駆られるように走ってきた。

分野の垣根を超えた自由な議論

明治から150年の間に技術が進歩し研究が細分化され、深く難しい議論が同じ分野の中で行われるようになってきた。どの分野でも、研究者が閉鎖的になり、専門外の研究者が素人のような質問を投げかけると、そんなことも知らないのかという目で見る。他の分野との自由な議論が行われなくなってきたことに、大きな問題がある。限られた分野の中でのみ議論していると、都合の悪いことを話題にする人がいなくなってしまう。

構造物の崩壊荷重の理論から学ぶこと

1930年代にイギリスのケンブリッジ大学のJohn Baker教授は構造物の終局強さについて三つの重要な定

理を発表した。これは、「下界の定理」、「上界の定理」と「唯一解の定理」であるが、「上界の定理」によれば、「ある外荷重を受ける構造物があり、この構造物が最終的に壊れる姿を想定して、この外荷重の何倍(λ)を与えると構造物が破壊に至るかを計算したとき、想定する壊れ方を間違えると、この倍率(λ)は正解より大きくなってしまふ」となる。対象が構造物の場合でなく、ある外乱に対する社会の強さ、原子力発電所の強さ、東京などの大都市の大地震に対する強さ、おかしな社員・経営者の行動が会社を壊してしまうなどに、この原理は適用できると考える。壊れ方の想定を間違えると、抵抗力を過大評価してしまう。

設計している構造物の持つ本当の抵抗力が知りたければ、構造物が壊れる姿を正しく想定するしかない。

神はすべてを知っている

人間が作った構造物の最終的に壊れる姿と抵抗力の限界について、神は答えを知っている。社会に構造物や原子力発電所などの大きなシステムを作ることは、本当は神にしかできないことである。我々、研究者や技術者は神に祈りつつ、神のかわりに設計の仕事させていただいてほしいと思わなければならない。神のみが知る正しい壊れ方を想定するためには、異なる分野の研究者や技術者との自由かつ真剣な議論が必要である。

自然に敬意を、謙虚な取り組み

9世紀に藤原敏行が詠んだ「秋きぬと 目にはさやかに見えねども 風の音にぞ おどろかれぬる」がある。「8月の終わり残暑が厳しく、まだ秋が来たように見えないとき、木の葉や簾を通る風の音をふと聞いて、そうだ夏も終わりなのだ」と気付くシーンを描いていると思う。明治から150年、戦後73年、我々理学・工学に属する研究者、技術者は自然の大きさと自然への畏怖の念を忘れ、真夏を走ってきた。阪神地震、東日本大震災の被害を、秋を報せる「風の音」ととらえて、いつまでも夏は続かないと考えるべきと思う。

薬師寺の三重塔を再建した宮大工の西岡常一は「自然を征服すると言いますが、それは西洋の考え方です。日本ではそうやない。日本は自然の中にわれわれが生かされている、と、思わなくちゃいけませんねえ。」と語っている。

著者紹介

和田 章(わだ・あきら)

東京工業大学大学院修士課程修了。日建設計入社、工学博士を取得し、東京工業大学教授を経て、2011年に日本建築学会会長、日本学術会議会員。現在は、東京工業大学名誉教授、防災学術連携体運営幹事。専門は建築構造学、地震工学。



世界から見る原子力発電所の安全 1

日本原子力学会の理事会は社会・環境部会、原子力発電部会、安全部会とともに2018年秋の大会で、「世界から見る原子力発電所の安全」をテーマに特別セッションを開催した。本稿はその内容をもとに、登壇者に改めて執筆をお願いしたのである。

世界の原子力発電所の安全確保

世界原子力発電事業者協会 東京センター 松井 三生

福島第一の事故以来8年が経過し、世界の約500基の原子力発電所も必要な処置をとり、順調に運用を続けている。わが国の原子力発電所でも多くの安全策を付加して、順次再稼働を進めている。世界の原子力発電の安全確保をはじめ、我が国での安全の確保はどのように進展しているのかを、様々な視点から見ること、今後の取り組みの参考にしていただきたい。世界の原子力発電所の安全性・信頼性向上への活動状況をWANOから、わが国の現状を電力から、原子力発電所の再稼働に当たり社会からはその安全についてどのように受け止められているのかを社会科学の視点から、さらに、包括的に原子力発電所の安全確保について学術的な評価について学の見解を報告する。(日本原子力学会会長 駒野康男)

KEYWORDS: *World-wide Safety, Nuclear Power Plant, WANO, Fukushima-Daiichi NPS Accident*

I. はじめに

1986年4月にチェルノブイリ原子力発電所事故が発生し、この事故を機に、世界的な原子力情報交換組織の必要性が高まった。当時、英国の中央電力庁総裁であったマーシャル卿により世界原子力発電事業者協会(WANO: World Association of Nuclear Operators)の構想が提唱され、1989年5月に世界の原子力発電事業者により、原子力発電所の安全性と信頼性を高めることを目的に、WANOが設立された。

WANOは、ピアレビューを中心として、事業者間の相互支援、情報交換、切磋琢磨を通じて、それぞれのパフォーマンスを評価し、ベンチマークし、共に向上させることにより、世界の原子力発電所の安全性・信頼性を最高レベルに高めている。

福島第一原子力発電所事故以降、WANOはこの事故を教訓に、このような事故を二度と起こさないという観点から、活動を充実・拡大してきた。

現在、原子力開発は、西欧中心から、アジア中心へと遷移しつつあり、中国、インドといった国において、原子力開発が積極的に進められている。さらにバングラディッシュ、トルコ、ベラルーシ、アラブ首長国連邦といった国も、原子力の新規導入を図ろうとしている。

これらの国の発電所の安全性・信頼性を確保していくた

Securing the safety of the world's nuclear power plants: Mitsuo Matsui.

(2018年10月15日 受理)

めには、原子力先進国の支援が必須である。WANOは新規ユニット向けの活動にも取り組んでいる。

このような活動を含め、世界の原子力発電所の安全性・信頼性を高めるためのWANOの活動とその成果の一端を以下に示し、世界の原子力発電所の現在の安全の状況と安全確保活動を紹介する。

II. WANOの組織

WANOは、商業原子力発電所の全ての事業者で構成されており、125以上の原子力発電事業者(原子力発電所数:516基(2017年末時点))が参加している。

WANOの組織を図1に示す。WANOはアトランタ、モスクワ、パリおよび東京の4カ所の地域センターと各地域センター理事会の代表者からなるWANO世界理事会で構成されている。WANO世界理事会の事務局としてロンドン事務所、そのブランチオフィスとして新規ユニット支援を目的とした香港オフィスがある。

世界中の発電所の安全性を維持、向上していくために

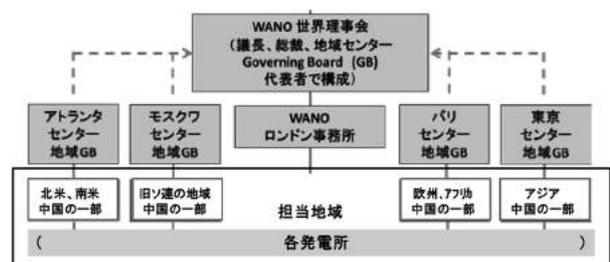


図1 WANOの体制と担当地域分担

は、地政学的に異なる各地域センターが、一貫性のある活動を展開することが重要である。このため、WANOの活動方針やプログラム等は、世界理事会にて決定され、各地域センターは、これらの方針やプログラム等に基づき、各地域内での活動を展開している。また、地域センター間で横串を通すため、ロンドン事務所リードのもと、各層のレベルで定期的にコミュニケーションを図っている。

東京センターには、インド、パキスタン、中国、台湾、韓国、日本の事業者が所属している。

Ⅲ. WANO の活動内容

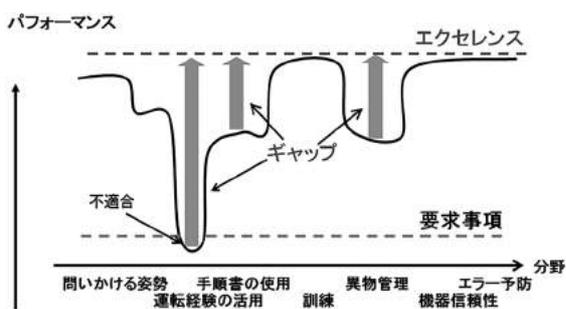
WANO は、各規制機関が最低限の要求事項の順守を求めるのに対して、エクセレンスを追求することで世界の原子力発電所の安全性を最大限に高めることを目標としている。そのため各分野でのパフォーマンスに注目し、エクセレンスとのギャップを特定し、継続的な改善を促すことが重要な役割である。図2にWANOの活動分野の例と目指す姿勢を示す。

具体的には、これらの活動は以下の4つのメインプログラムに集約される。

- ピアレビュー(PR : Peer Review)
- パフォーマンスアナリシス(PA : Performance Analysis)
- トレーニング & デベロップメント(T&D : Training and Development)
- メンバーサポート(MS : Member Support)

1. ピアレビュー

世界中のWANOに所属する事業者から選出されたメンバーからなる国際性を有するチームが、パフォーマンスの観察、事業者のインタビューおよび資料調査を行い、運転管理等の業務の実施状況を検査、評価する。この際には、Performance objective & criteria(PO&C)と呼ばれる世界のベストプラクティスをもとにして作られた基準に従い、パフォーマンスが国際的な標準と比較され、要改善事項(AFI : Area for Improvement)が特定される。これは、世界のエクセレントとのギャップを意味



(注)縦軸がそれぞれの分野でのパフォーマンスを示す。

図2 WANOの活動分野の例と目指す姿勢

する。

PRには、その役割によって「発電所ピアレビュー」、「フォローアップレビュー」、「起動前ピアレビュー」の以下に示す3つの活動がある。ピアレビューは継続して実施することで効果を発揮することから、定期的に行われる。

(1) 発電所ピアレビュー(PR : Peer Review)

PRチームが発電所を訪問し、発電所での作業状況の観察、発電所員のインタビュー、手順書等の資料調査を行うのが発電所ピアレビューである。このレビュー結果から発電所の強みとAFIを特定する。これを受けて発電所は、AFIに取り組むためアクションプランを策定する。

(2) フォローアップ・ピアレビュー(Follow-up Peer review)

PR実施後に、次のPRまでの間にPRチームが発電所を訪問し、策定したアクションプランの進捗状況をフォローし、アクションプランの確実な実施を促す。これがフォローアップ・ピアレビューである。これはPRの指摘事項AFIを実施することにおいて有用な役割を果たしている。

(3) 起動前ピアレビュー(PSUP : Pre Start Up Peer Review)

一方、新設の発電所に対しては、運転開始にあたって安全に起動できる体制が整っているかを初臨界前にレビューする。運転開始後は、2年以内に最初のPRを実施する。特にアジア地域における新規プラントの増大に伴う、PSUR実施のため、ロンドン事務所のブランチオフィスとして香港事務所が設立された。

2. パフォーマンスアナリシス

(PA : Performance Analysis)

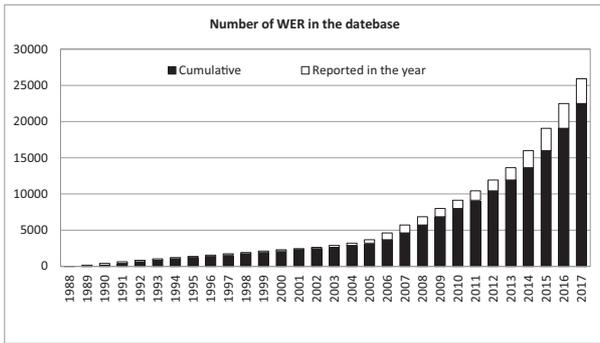
運転経験および運転指標を収集・分類・分析し、世界の原子力発電所の全体的な傾向やパフォーマンスの改善についての情報を事業者に提供することで、事業者が持つ原子力発電所のパフォーマンスの改善を促す。

(1) 運転経験情報の共有(OE : Operation Experience)

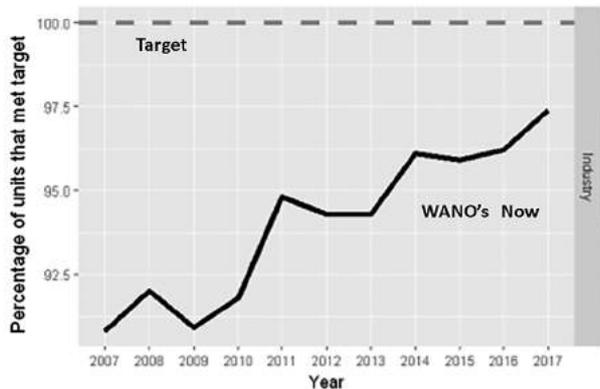
他の原子力発電所の事故、トラブル等の情報を事業者に提供し、同様な事象の発生を防止するための是正措置実施を促す。「重要事象評価報告」、「重要事象報告書」等の形式で事業者に提供する。図3にWANOに報告されたトラブル情報の件数を示す。

a. 重要事象評価報告(SOERs : Significant Operating Experience Reports)

世界の原子力発電所で発生した事故などの重要事象を分析し、事象の主要因や傾向を特定し、同様な事象の発生防止のための勧告事項を事業者に提供し、対応を促す役割を持っている。この勧告事項の実施状況は、PRで確認する。



(注)横軸に WANO が設立された前年から 2017 年までの期間を示し、縦軸にトラブル情報として報告された件数とその合計を示す。
 図3 WANO に報告されたトラブル情報の件数(累計)



(注)横軸は 2007 年から 2017 年まで縦軸は安全系の性能値を満たしているユニットの割合を示す。
 図4 安全系の性能(WANO の現在の値)

これまでに、「福島第一原子力発電所事故後の教訓」、「外部電源の 1 相開放故障時の安全上の問題」、「運転員の基礎能力における弱点」等の報告書を発行した。

b. 重要事象報告書(SERs: Significant Event Reports)

重要事象の詳細分析を実施し、広く他プラントに役立つ教訓を特定し、事業者間で共有する。

これまでの成果の一部として、「保全作業中のヒューマンエラーによる原子炉緊急停止と安全注入」、「内部溢水による非常用電源の共通原因故障」等の報告書を発行した。

(2) 運転指標(PI: Performance indicators)

運転指標は発電所のパフォーマンスを数値化し、国際的なベンチマークと比較、評価することにより、事業者役に役立つツールとして提供する。

指標としては、「ユニット利用率」、「計画外利用損失率」、「集積線量」、「臨界 7,000 時間あたりの計画外自動スクラム」、「安全系の性能」、「燃料信頼性」、「化学指標」、「送電網関連損失率」、「人身事故率等」があり、四半期ごとに集計している。

世界の原子力発電所で「安全系の性能」目標を満たしている割合の変化を図 4 に示す。

3. トレーニング & デベロップメント (T&D: Training and Development)

事業者の運転に携わる技術者の専門知識や技能を向上させるためのフォーラムを開催している。これにより事業者は自身の運転を他と比較することで、切磋琢磨することが出来る。T&D は、ワークショップ、セミナー、トレーニング、リーダーシップコース等を通じて行われる。

2017 年度には「リーダーシップ&安全文化セミナー」「オーバーサイトセミナー」等を開催した。

4. メンバーサポート(MS: Member Support)

「メンバーサポートミッション」、「新規ユニット支援」等の独立した活動により実施される。

(1) メンバーサポートミッション(MSMs: Member support Missions)

メンバーサポートミッションは事業者の要望により実施されるプログラムで、事業者が抱える問題解決に取り組む。分野毎に専門チームを編成し、PR で特定された AFI 等についてレビューし、解決方法を提案する。取り扱った事例としては、「作業管理」、「ヒューマンパフォーマンス」、「設備信頼性」、「放射線防護」、「運転」、「停止期間中の管理」等がある。

(2) 新規ユニット支援(NUA: New unit assistance)

新規ユニット支援では、建設、試運転を含む計画段階から運転段階までの期間において、安全で信頼性のある運転が出来るよう支援している。

5. 各プログラムの連携

これら 4 つ(PR, PA, T&D, MS)のプログラムを連携し継続的に実施することにより、発電所の安全性・信頼性を向上させている。プログラムの連携内容を図 5 に示す。

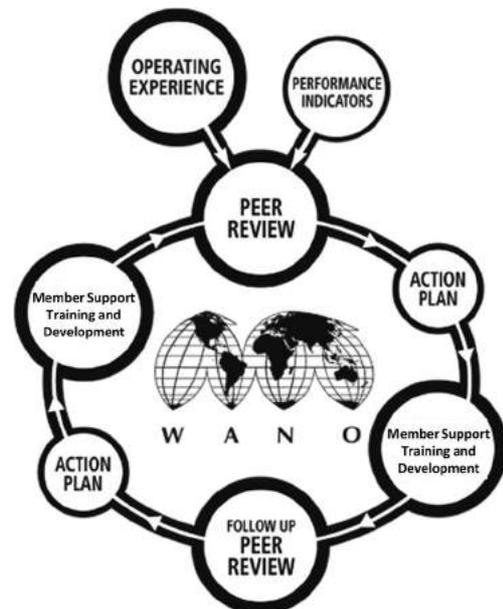


図5 WANO プログラムの連携

OE, PI から得られた情報からレビュープランを策定し, PR を実施する。レビュー後, 発電所により AFI に対するアクションプランが策定される。アクションプラン策定後, アクションプランに対するコメント, レビューを行うアクションプランミーティングを実施する。このミーティングにおいてアクションプランの適切な実施を支援するため, WANO から MSM を提案する。また, 他発電所へのベンチャーマーケティング訪問や, 年間を通じたセミナー, ワークショップ, トレーニング等(T & D)を行い, 専門技能の向上に役立てている。

PR 実施後は, FUPR を実施する。FUPR の結果に基づき, 再び発電所はアクションプランを策定し, WANO は MSM を提案する。このサイクルを繰り返すことにより, 発電所の安全性・信頼性を継続して向上させることになる。

IV. 福島第一原子力発電所事故後の対応

福島第一原子力発電所事故以降, 更なる安全性, 信頼性向上のために WANO は活動を充実・拡大をしてきた。充実・拡大した活動は以下を含む。

- 発電所のパフォーマンス変化を確実に把握するため, 発電所の PR 頻度を 1 回/6 年から 1 回/4 年に短縮
- 各発電所のパフォーマンスレベルを客観的に示すため, 発電所のパフォーマンスを PR 結果等に基づき 5 段階で評価する WANO アセスメントを導入
- PR 結果および自プラントのパフォーマンスレベルを社長(CEO)自ら把握することにより, 確実に改善に繋がるよう, PR 結果と WANO アセスメントを CEO へ直接報告

- 安全文化は本社のトップから, 発電所の運転に携わる職員にいたる全社員に浸透していなければならないとの考えから, 本社において原子力の安全に関わる意思決定がどのように行われたかをレビューする本社ピアレビュー(CPR: Corporate Peer Review)を導入
- 従来 PR 対象でなかった Emergency Preparedness, Severe Accident Management 等を対象に追加
- 経営トップ自らが WANO の活動を通じて, 原子力発電所の安全性・信頼性向上に直接取り組むべく, CEO が WANO 東京センター理事会の理事へ就任

V. まとめ

WANO を中心とする様々な原子力安全の確保のための活動により, 全世界の原子力発電所の性能を示したデータでは, 2017 年運転指標において, 大きな改善が見られている。

しかしながら, 一部の運転指標は未だ改善の余地があり, これらについては WANO として強力で改善に向けて取り組んでいるところである。

WANO は今後とも, 世界中の原子力発電所がエクセレンスを目指して継続的に改善するよう促し, 将来にわたって世界中の原子力発電所の安全性・信頼性を維持・向上を図っていく。

著者紹介



松井三生 (まつい・みつお)

世界原子力発電事業者協会 東京センター

日本の原子力発電所の安全確保

関西電力 決得 恭弘

我々原子力事業者は、原子力の安全確保の取組みに当たり、二度と福島第一原子力発電所事故と同様の事故を発生させないという強い決意のもと、事故直後の緊急安全対策に始まり、これまで様々な安全性向上対策を講じてきた。

この過程では、福島第一原子力発電所事故を徹底的に分析して得られた知見を踏まえ、様々なハード対策を実施するとともに、地震、津波はもとより、竜巻、外部火災といった発生頻度の低い自然災害等の外的事象についても、そのリスクを低減させる方策に取り組んでいる。

また、福島第一原子力発電所事故においては、災害への対処に必要な要員(重機による瓦礫等の撤去作業・機材による注水作業等)の確保、機材の整備が不十分であったため、迅速な対応に支障をきたしたことを踏まえ、ソフト対策についても取り組んでいる。

このような取組みについて、当社高浜発電所3号機ならびに4号機は原子炉設置変更許可等の許認可を取得し、再稼働を果たしている。

KEYWORDS: *new regulatory standards, severe accident, PRA (Probabilistic Risk Assessment)*

I. 安全性向上への取組み(ハード対策)

従来の規制基準では、炉心損傷は想定せず、また単一故障のみを想定していたが、新規制基準では、地震・津波などの自然災害や火災などへの対応の充実、多重性・多様性・独立性を備えた信頼性のある電源・冷却設備の機能強化など、従来の基準が強化された他、炉心損傷防止対策や格納容器破損防止対策等の基準が新設された。

1. 地震対策

基準地震動の策定にあたり、敷地近傍の活断層の評価を重点的に行った結果、震源は発電所周辺の三つの断層が三連動するとして考慮した。また、震源の上端深さを従来評価の4kmから3kmに変更した。これらの結果、基準地震動を従来の550ガルから700ガルに見直した。

また、敷地周辺の詳細な調査を実施した場合でも、なお敷地近傍において発生する可能性のある地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、「震源を特定せず策定する地震動」については、平成12年鳥取県西部地震や、平成16年留萌支庁南部地震を考慮した値を基準地震動として策定した。

この基準地震動見直しにより、機器、配管のサポート補強や地すべり対策等の耐震性向上を図った。

Ensuring the safety of Japanese nuclear power plant : Yasuhiro Kettoku.

(2018年10月31日 受理)

2. 津波対策

基準津波の策定にあたり、若狭海丘列付近断層と隠岐トラフ海底地すべりとの組み合わせ、FO-A断層～FO-B断層～熊川断層の三連動と陸地すべりとの組み合わせを波源として考慮し、想定される津波高さ(入力津波高さ)を設定した。敷地への浸水防止対策として、入力津波高さに対し余裕のある放水口側防潮堤および取水路防潮ゲートを設置した。また、非常用ディーゼル発電機給排気口のかさ上げ、水密扉設置等の対策を行った。

3. 内部溢水対策

建屋内に設置されたタンク等から水漏れ等を想定した場合に、重要な設備が浸水の影響を受けないように、止水対策および逆流防止対策を行った。また、重要な設備が被水の影響を受けないように、操作スイッチへ保護カバーの設置を行った。

4. 火災対策

耐震性のあるタンク、ポンプおよび配管等の消火水系統、火災の早期検知のための多様な火災感知器、ポンプ等へのハロン消火設備ならびに可燃物へのスプリンクラー等を設置した。また、森林火災による発電所施設への延焼を防止するために森林を伐採し、幅18m以上の防火帯を設置した。

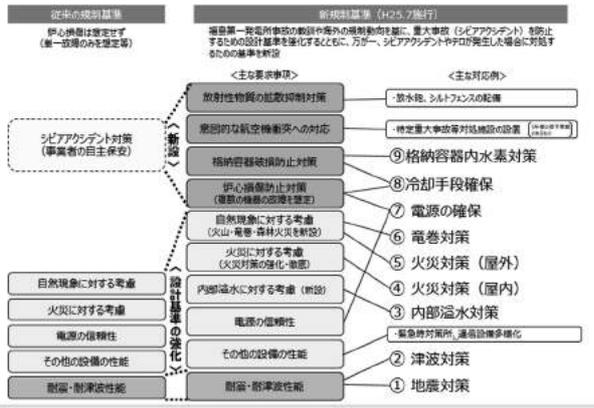


図1 新規制基準にかかる主な対策



図2 大容量ポンプ接続訓練

5. その他

全交流電源が喪失した場合や炉心冷却手段を確保するため、設備の多重性・多様化を図り強化を行った。また、加圧水型原子炉(PWR)プラントは原子炉格納容器が大きく、炉心が損傷しても水素爆発の可能性は極めて小さいが、炉心溶融時に原子炉格納容器内に発生する水素の濃度を低減させる装置を設置した。

II. 安全性向上への取組み(ソフト対策)

1. 事故時対応体制の強化

事故対応に必要な技術能力を有する要員を増員し、発電所常駐要員のみで事故の初動対応を行うことができる体制とするとともに、当社社員に加え、プラントの詳細情報を持つプラントメーカーの技術者や、現場実務に精通している協力会社社員を緊急時に速やかに召集し、事故の収束に向けた支援を行う体制を構築した。

2. 事故時対応能力の向上

事故時の対応能力を向上するため、毎年1回原子力防災訓練を実施している他、要員の役割に応じた教育・訓練を行っている。また、新たに配備された設備・資機材や設備変更を踏まえ、技術的習熟が必要となる手順について、訓練設備(モックアップ)を用いて繰り返し訓練を実施することで、対応能力の習熟を図っている。

3. 広域避難計画への協力・支援

発電所周辺地域内の住民避難については、自治体からの要請に基づき住民数や地域事情を考慮して、社有バス福祉車両、ヘリコプター、船舶により、支援することとしている。

また、避難者に対するスクリーニングポイントでの汚染検査について、自治体からの要請に基づき支援協力をを行うとともに、要員の派遣ならびに検査に必要な資機材の提供を行うこととしている。

III. 安全性向上評価結果

1. 安全性向上評価

原子力事業者において自主的な安全性向上に向けた取組みを継続的に講じていくことを目的として法定化された制度で、自主的に講じた措置を踏まえ、定期検査終了時点のプラントの安全性について評価(保安活動の実施状況調査、最新知見反映状況確認、確率論的リスク評価(PRA)、安全裕度評価)を行い、改善策(追加措置)の抽出および今後実施していく安全性向上のための計画策定を行う。

2. 確率論的リスク評価(PRA)

PRAは、原子力発電所を取り巻く各種ハザードを要因として、発生する可能性のある事象(起因事象)から、炉心損傷事故に至る頻度などについて、リスクとして定量的に評価する手法で、評価結果を分析し現状のプラントの更なる安全性向上のための方策の抽出を行う。

高浜発電所3号機の、異常事象(内部事象、地震、津波)の発生を発端とし、炉心損傷(レベル1)、格納容器機能喪失(レベル1.5)、放射性物質の放出(レベル2)の発生頻度(炉年)を評価(アクシデントマネジメント策および福島第一原子力発電所事故以降に実施した各種対策を含めた評価)し、リスクが低減していることを確認した。

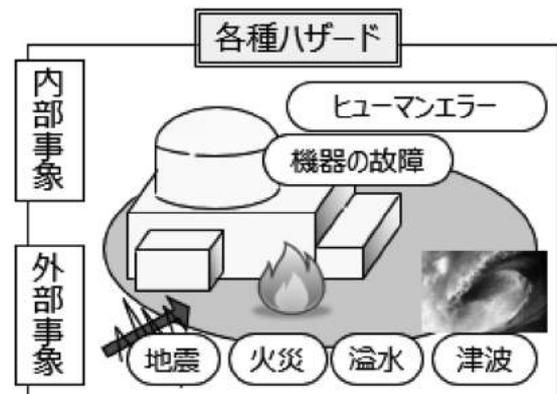


図3 各種ハザードの例

IV. まとめ

エネルギー自給率が極めて低い我が国においては、「エネルギーの安定供給」、「経済性」、「環境への適合」(3E)のバランスに優れる原子力発電の果たす役割は大きい。

また、2018年7月3日に閣議決定された国のエネルギー基本計画において、原子力発電の比率を20～22%とする、2030年のエネルギーミックスの確実な実現へ向けた取り組みのさらなる強化を行うことが明記された。

当社としても原子力発電は重要な電源であり、国により安全性を確認されたプラントは、有効に活用していくことが重要と考えている。

福島第一原子力発電所事故の後、我々は原子力発電の安全確保のため様々なハード対策およびソフト対策に取り組んできたが、今後も引き続き、当社社員、プラント

メーカーの技術者および協会社社員一人ひとりが、今一度、身を締め、原子力発電の安全確保に終わりはなく、さらなる安全性をたゆまず向上させていくとの強い意思と覚悟のもと、安全最優先で原子力発電の運転・保全に万全を期したい。

また、再稼働後の安全運転の実績を一つひとつ積み重ねるとともに、原子力発電の重要性や安全性について広く社会の皆さまにご理解を賜る活動に全力を尽くしてまいります。

著者紹介



決得恭弘 (けつとく・やすひろ)
関西電力
原子力事業本部 原子力発電部長



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－
(2月5日第7回論文誌編集幹事会)

- ・平成30年12月16日～31年1月15日に英文誌へ22論文、和文誌へ2論文の投稿があった。
- ・「原子力分野におけるスーパーコンピューティングとモンテカルロ・シミュレーションの合同国際会議」Selected PaperのJNST特集号を採択した。2020年末発刊予定。
- ・福島事故関連記事の英文化作業の進捗状況が報告された。第1巻は校閲がほとんど終了、第4巻の校閲中。第4巻は2019年度発刊にずらす。
- ・福島廃止措置特集号の審査経過が報告された。
- ・JNST Most Popular Award 2018の選考経過が説明された。AccessとDownloadの違いを確認することとした。
- ・英文論文誌特集号実施要領の改訂案を検討した。

(2月5日第8回学会誌編集幹事会)

- ・理事より、編集委員会による学会誌カラー化、レイアウト刷新についての調査結果を理事会で検討した、という報告があった。また理事会は、編集委員会の提案通り、デザイン会社に記事のフォーマット化の見積もり依頼し、作業を進めていくことを了解。
- ・巻頭言、時論、その他の記事企画の進捗状況を確認し、掲載予定について検討した。また、3月に開催される春の年会の企画セッションの中から、寄稿を依頼する候補を選定した。
- ・解説シリーズ「最先端の研究開発シリーズ」の次の組織は電力中央研究所とした。担当委員に記事企画の検討を開始するよう指示した。

編集委員会連絡先<hensyu@aesj.or.jp>

原子力発電所の安全 —社会からの問題提起

東京電機大学 寿楽 浩太

福島事故後の日本社会が原子力発電所の安全に関して抱く懸念の核心は長期かつ有意のオフサイト影響に尽きる。最新の世論調査の結果や近年相次いだ原子力発電所の運転を認めない司法判断の多くも、このことに深く関わる。これに対する原子力専門家コミュニティからの回答は、原子力防災と一貫した原子力安全の議論、それを踏まえた技術や制度の手当での提案であるべきだ。しかし、残念ながら現状はそれにほど遠く、不作為が常態化している。これでは社会からの原子力利用への信認、すなわち“Social License”は得られず、電源としての原子力に未来はない。原子力関係者は骨太で建設的な提案を以て、社会からの問いかけに正面から答えねばならない。

KEYWORDS: Offsite Consequences, Nuclear Safety and Emergency Preparedness, Protection of People and Society, and Social License.

I. 社会にとっての懸念の本質は何か

2011年の福島第一原子力発電所事故(福島事故)がそれまでの日本における原子力事故やトラブルと決定的に異なるのは、オフサイトに有意かつ長期的な影響が広範に生じたことである。これにより、重大な原子力事故は(発電所サイトの外の)一般社会に取り返しのつかない損害をもたらすという通念が形成された。

ここでいう取り返しのつかない損害とは、もちろん、急性被ばくによる直接的な影響による死傷者ばかりを指すわけではない。個人、家族、産業、地域社会、ひいては国全体に不可逆的で、本来であれば許容しがたい様々な変化を強いるという、より広い意味においてである。

極論すれば、今や、社会一般が原子力利用に関して抱く懸念の本質は、発電所内で事故が起こるかどうかではなく、事故の結果としてそうした深刻なオフサイト影響が生じるかどうかにあると見てよいだろう。

こうした社会の懸念は、原子力関係機関が実施した最新の世論調査結果の分析からも伺うことができる(図1)。それによると、原子力発電所の再稼働に関して、電力の安定供給における必要性や、新規制基準による審査への合格に妥当性を認める意見は、それらを否定する意見とある程度拮抗しているように見えなくもない。しかし、他方で、自然災害対策の不備、防災体制の不備、大事故の不安を理由に再稼働を否とする意見が3割を超えている一方、それらについては是とする意見は数%にとどまっている

Safety of Nuclear Power Station ; Social Perspectives : Kohta Juraku.

(2018年11月7日 受理)

る。結論としては、再稼働について国民の理解は得られていないという見立てが過半数を占め、理解が得られているとする3%以下の意見を圧倒している。

原子力発電所の電源としての有用性や新たな規制の厳格さに一定の理解を示しつつも、やはり事故による重大な帰結への懸念は払拭しがたく、十分な安全が確保でき、社会的な了解が形成されたと納得はできないという、世論の機微が伺える。

また、原子力関係者の間で物議を醸してきた、原子力

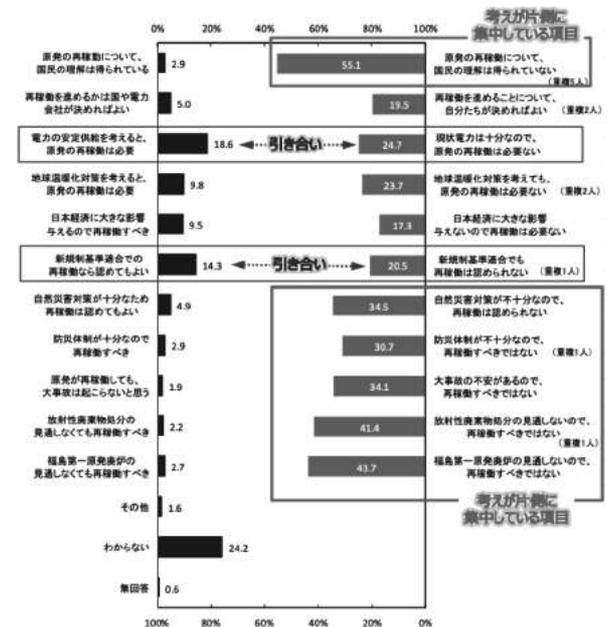


図1 原子力発電所の再稼働に対する世論の分布 (出典)日本原子力文化財団, 2017年度 原子力に関する世論調査, p.285 より転載¹⁾

発電所の運転を不可とする一連の司法判断においても、同様の論点が判断のポイントとされてきた。

例に挙げるまでもなく、関西電力大飯発電所3号機、4号機の運転差し止めを命じた2014年の福井地裁判決は、地域で人びとが平穏な生活を営む権利を「人格権」の中核に置き、それを不可逆かつ決定的に侵害するのが原子力事故だとして、「大きな自然災害や戦争以外で、この根源的な権利が極めて広範に奪われるという事態を招く可能性があるのは原子力発電所の事故のほかは想定し難い」と述べて、原子力事故を他の産業事故のリスク、被害の態様と明確に区別している。

ここで、裁判長はあらゆる技術に対してゼロリスクを求めたわけでもなければ、反技術の立場を述べたわけでもなく、判決要旨の本文においてすら、そのことに注意を喚起する断り書きをしている。(であるにもかかわらず、そうした立場による誤った判決だと誤読し、「見解」を発表して批判を展開した本学会は、その不明を恥じるべきであろう)。判決は非常にシンプルかつ強固な論理で、福島事故と同様のオフサイト被害は社会通念上も法的にも認容できないと述べたのである。

福島事故後の日本社会において、原子力技術は依然として社会にとって有益で、そのリスクは許容可能だと原子力関係者が説くなら、こうした懸念の重み、問いかけの鋭さを矮小化しようとせず、正面から受け止め、答える必要があるだろう。

そこでは、同種事故の発生確率を従来よりも有意に抑制したという類いの反論や弁明はおそらく、十分ではない、いや、極言すれば論理的に無効だということを肝に銘じる必要がある。なぜなら、福島事故以前においては、事故による重大な帰結の発生確率が十分に低いことをして、事故のリスクは具体的なおそれではない(すなわち、社会通念上の言い方をすれば、事故は現実には起きないと言って差し支えない)という見解を裁判所も支持したが、今や、実際に事故が起きたという現実の前には、そうした仮定に基づく論理が十分な説得力を持ち得ないからである。

当然ながら、原子力安全もこうした前提に立って議論され、取り組まれなければならない。

II. 「原子力発電所の安全」と原子力防災の分断

ここで否応なく必要となるのは、原子力安全をオンサイト・オフサイトで断絶させず、統合させることである。社会の懸念はあくまでもオフサイトで何が起こるのか、起こらないのか、あるいはオフサイトの被害を防げるのか、防げないのかにあるからだ。

原子力安全の目的は、「電離放射線の有害な影響から人びとと環境を防護する」(IAEA SF-1)ことにあるとしばしば言及されるが、ここでいう「有害な影響」を被ばくの直接的な影響と見てはならないだろう。防護されるべ

き「環境」には自然環境のみならず、生活環境、社会環境も当然、含意されるのであって、原子力安全の射程は地域コミュニティ全体の存続にまでおよぶ必要がある。

こうした広義の住民保護という視点から見たときに、万一の際の防護措置、被害が生じた場合の補償、そして被災者の支援、これらのいずれもが適切かつ充分になされるか、影響を受けた範囲の地域社会が遅滞なく日常を回復できるのか、そして最終的に、受け入れがたいような不正義が生じないのかどうかこそが重要だ。これらの論点の各々について、人びとの生活や人権が十分、擁護され、地域社会、ひいては日本社会の平穏な存続に対して決定的な悪影響を生じないと信じるに足りるだけの手当てを尽くし、社会の納得を得る必要がある。

この点で、日本の場合、福島事故後も原子炉等規制法と原子力災害特別措置法が並立し、安全をオンサイトとオフサイトで法的にも二分してしまっていることには多くの課題がある。

法律上の分断の結果、避難計画の確認が規制当局の規制行政の埒外になっている点、オフサイト防災における事業者の役割や責任が微妙で、積極的な協力を促しがたい点などは特に問題だ。住民や地域社会、それを見守る社会全体から見れば、それらの不備がそのままになっていることは、万一の際の責任所在を曖昧にしつつ、実務上の落ち度により人びとに犠牲を強いる帰結になるという疑いを持つに十分な観察結果となるからである。

また、福島事故後のSPEEDIの活用をめぐる論争において生じたように、異なる政府機関が具体的な防災上の手法について正反対の見解を示し、自治体に自己責任を求めていること²⁾などは、実務上の課題にとどまらず、社会的公正の観点からも許容しがたい。「国策」として原子力利用が進められているにも関わらず、万一の場合にいわば生死を分けるような肝心な点の具体的な議論になると、突如として国は判断を回避し、地域社会に「自己責任」の判断を強いていると人びとは受け止めるであろう。

加えて、原子力賠償制度の制度改革が事故後7年余を経てようやく成案を得ようとしているものの、いわゆる賠償の範囲を超える、しかしコミュニティの維持や社会正義の観点から必要性が生じる被災者支援のあり方についての議論や実務的な対応が等閑視されたままになっていることも、看過しがたい。福島事故においても、賠償に関しては初期における実務的な混乱もさることながら、その対象範囲、算定根拠、そして何より決めざるを得ない様々な「線引き」が生む人びとの分断や相互不信といった座視できない問題を生じてきた。それらの多くは現在進行形であり、「解決」にはほど遠い。

また、そもそも、事業者に責任集中を行うという制度設計は、法務、財務等の専門実務上の論理が仮にそれなりに積み上げられたとしても、政府が責任を回避し、国民に対して誠実さを欠いていて、不公正が許容されてい

るという素朴な疑問、不信を社会に広範に形成しかねないという、社会正義の観点からの大きな論点があるはずだ。これは有識者の議論に尽きない、公論に付されるべき問題であろうが、そうした議論が税金や社会保障、産業政策や安全保障などのように闊達になされてきたとおよそ言いがたい。

つまるところ、プラントの安全の議論や手当てがオンサイトでは熱心になされてきているその一方で、オフサイトに関しては、緊急時に備える事前の計画から万一の際の実際の住民・地域社会の防護、そして最終的には被害の賠償に至るまで、課題が山積したままの状況が続いているのである。

Ⅲ. 社会の側から見た骨太な安全論議の必要性

このことへの原子力関係者の問題意識が弱く、解決に向けた声をあまり上げてこなかったこと、それどころか、原子力発電所の再稼働や原子力利用一般に対する否定的な世論が長期化していることについて、人びとの無理解に原因を求めるような言説ばかりが飛び交ってきたことは、極めて遺憾なことである。

例えば、「事故時放出量 Cs137 換算 100TBq 超の事故の発生頻度は 100 万炉年に 1 回程度に抑制」することを求めるという、原子力規制委員会が 2013 年に安全目標に新たに加えた目安は、長期有意のオフサイト影響が生じることを回避するという考え方を掲げた点で大きなインパクトがあったと考えるが、本学会を含む関係機関、関係者間での論議が特に高まった記憶はない。

それどころか、その後の発電所再稼働の動きの中で、原子力規制庁自身がこの目標に関連して発電所立地地域において誤った説明を行った際にも、そのことを指摘するような動きは寡聞にして聞かなかった。すなわち、関西電力高浜発電所 3 号機、4 号機に関して、「適合性審査の中で確認した極めて厳しい重大事故において、セシウム 137 の放出量は約 4.2 テラベクレル」であったことのみを根拠に挙げて、「高浜発電所 3・4 号炉はこの目標を満足しているものと判断している」などという、技術的に全く不適切な説明を行った³⁾にも関わらず、本学会においては何の指摘も聞かれなかった。

人びとの無理解を嘆く前に、原子力専門家は自らを深く省みるべきであろう。規制当局自身が無知を露わにしていることを鋭く批判してその適格性を問い、過ちを改めて住民の安全に責任を持つよう促すことこそ、「学会」の名を掲げる専門家コミュニティのなすべきことではなかったか。

あるいは、学術的な議論、提案として、いわゆる固有安全設計などを活かして、長期有意のオフサイト影響のリスクを「実質的に排除」(practically eliminate)できる技術的提案を改めて行って、社会の懸念に答えようという動きはないのか。高経年化対策や既存炉への追加安全

対策のバックフィット、リスクベースの規制や安全努力への移行などが活発に議論されてきたことに比べて、(確かに短期的な解決策ではないかもしれないが)そうしたより根本的な次元での対処の提案がないのはなぜなのか。

さらには、自治体における避難計画、防災計画の立案、検証、改善に対して、国がより手厚い支援を行うよう、あるいは、万一の事故においても被災者が可能な限り手厚い支援や補償を得られるよう、政府に働きかけようといった動きや、そのための具体的な提案の検討はなぜなされないのか。裁判所の決定や判決における技術的な解釈の誤りや不備の指摘には熱心なのに、なぜ住民や地域を守ることには真剣でないのか。

いくつかの司法判断における厳しい批判や、世論調査等において原子力に批判的な意見が多数を占める状況が固定化している背景には、原子力専門家コミュニティや関係機関のこうした態度、人びとや社会を守ろうという熱心な姿勢の欠如への批判も大いに含まれると受け止めるべきだ。

Ⅳ. Social License なくして原子力に未来はない

福島原発事故を経験したことで、特に原子力施設のハード面の安全性はおそらく確実に向上はしただろう。ソフト面でもさまざまな見直しや改革に意味がないとは言えまい。そのことは筆者も理解していないわけではない。原子力安全が全く向上、改善していないと言いつのっているわけではないのである。

しかし、それらが社会の懸念に答えうる、当を得たものとなっているかといえば、筆者の答えは否である。

前掲の世論調査の結果は、社会もまた、同様の見方をしていることを示唆する。すなわち、福島事故後になされてきた安全対策や原子力利用の利点を全否定はしないまでも、しかし同時に、「社会が受忍できないリスクは確実に排除されたと見なせること＝安全」が十分確保され、原子力発電所の稼働を認めてもよいとする共通理解にはつながっていないと見ていることを示している。欧米の原子力関係者は、こうした共通理解を得ることをいわゆる“Social License to Operate” (SLO) の獲得と見なし、規制当局からの運転許可と同じように、時にはそれ以上に重視しているが、日本の原子力発電事業の現状は SLO が獲得できているとはおよそ言いがたいであろう。

そうした状況で、規制当局のトップからは、「基準の適合性は見ていますけれども、安全だということは私は申し上げません」(2014 年 7 月 16 日、田中俊一原子力規制委員長)という発信があり、行政の最高責任者からは、「政府としては、同委員会が設置変更許可申請について設置変更許可基準に適合することを確認することにより、「再稼働に求められる安全性」が確保されることが確認されたものと考えている」(2014 年 10 月 7 日、安倍晋

三内閣総理大臣)という国会答弁がなされる。

こうした発信を受け止めた社会の側が感じることはただ一つ、「たらい回し」構造による責任回避が行われ、不公正が横行しているという認識である。

どうやって住民や地域社会が守られるのか、明快な論理や根拠、責任の所在が示されない状況は、2014年のこのやりとりの後も変わっていない。先般、「エネルギー基本計画」が改定されたが、「原子力規制委員会により世界で最も厳しい水準の規制基準に適合すると認められた場合には、その判断を尊重し原子力発電所の再稼働を進める」という文言は手つかずのままであった。「たらい回し」のレトリックが温存されたままでは、SLOの獲得など、およそ困難であろう。

SLOを得ないままで再稼働を続けていっても、原子力発電所は電源としての安定性を得られない。社会通念上の疑問に答えきれておらず、「なぜ原子力発電所はもう動かしてもよいことになったのか」についての社会の共通認識がないままであるわけだから、今後も政治、司法などの場でそこがイシューとなれば、その都度、異なる判断がなされる可能性が残る。ひとたび「否」の判断が出れば、ケースバイケースで非計画に、そして時には長期の停止を迫られることが十分ありうる。そうなれば、原子力発電所は電気事業上、信頼に足る電源たりえない。結局のところ、別の電源によるバックアップを留保し続けなければならない、経済合理性を欠くからだ。そうなれば、原子力発電は社会の懐疑によってのみならず、電力自由化が進む競争的環境下における経営上のプラクティカルな判断によって、次第に退場を余儀なくされることになるだろう。

プラント側から見た視点ばかりの論理構成、狭い意味での放射線影響に視野を狭めた議論では、社会の懸念に正面から答えることはできず、原子力発電が社会に貢献する途は改めて閉ざされることになる。本来は、これまでの過酷事故経験国に比べて、人口稠密で高度な土地利用が発達し、土地の代替性が低いという固有の状況で事

故を経験した日本こそが、他産業の事故と異なる原子力事故のオフサイト影響の含意をめぐる様々な問いに答える先導的な立場にあるべきなのに、こうした現状にとどまっていることは極めて残念である。

原子力関係者がそのことに疑問を感じず、今後もスタンスを改めることができないなら、社会に見放される原因とはなっても、社会的支持や信頼など決して得られないであろう。

ぜひとも、「プラントの安全」(プラントで何か悪いことを起こさないこと)にとどまらず、「プラント」を取り巻く社会の保護を目的とした実際的な安全の論理、制度設計(規制のみならず住民保護、被害救済も)を、地続きでもっと議論するべきである。原子力技術を通して社会に貢献しようとする「推進」側である原子力専門家コミュニティこそ、その具現化のために誰よりも真剣になるのが本来あるべき姿なのではないか。

— 参考文献 —

- 1) 日本原子力文化財団「2017年度 原子力に関する世論調査」
<https://www.jaero.or.jp/data/01jigyuu/tyousakenkyu29.html>
- 2) Sugawara, S. and K. Juraku, "Post-Fukushima Controversy on SPEEDI System: Contested Imaginary of Real-time Simulation Technology for Emergency Radiation Protection," S. Amir (ed.), *The Sociotechnical Constitution of Resilience: A New Perspective on Governing Risk and Disaster*, Palgrave Macmillan, 2018.
- 3) 原子力規制庁「高浜発電所に係る地域協議会 原子力規制庁説明資料」(平成27年8月)。

著者紹介



寿楽浩太 (じゅらく・こうた)
東京電機大学
(専門分野/関心分野)科学技術社会学,
工学の社会学, リスク・ガバナンス

人工知能技術の活用と将来展望；深層学習によるき裂進展予測のためのサロゲートモデルの構築

近畿大学 和田 義孝

ILSVRC 2012 における深層学習(ディープラーニング)の有効性が画像認識において示されその可能性に多くの人々が期待する状況になって久しい。しかし、計算力学や CAE といった分野こそ、ディープラーニングとの親和性が高いと期待するもののその応用方法・利用方法については先行研究事例すら少ない状況である。著者らはいくつかの基本的な問題を通じディープラーニングの CAE やシミュレーション自体の置き換え(サロゲートモデルの構築)を念頭にその可能性を模索してきた。本稿では、サロゲートモデル構築へ向けた大まかなニューラルネットワーク構築の指針(対象とする問題とニューラルネットワークの関係に関する仮定)を紹介し、き裂進展サロゲートモデルの可能性について言及する。

KEYWORDS: *fracture mechanics, crack propagation, s-version FEM, deep learning, surrogate model*

I. はじめに

画像認識コンペティションである Imagenet Large Scale Visual Recognition Challenge においてディープラーニング¹⁾の有効性が画像認識において示されその可能性に多くの人々が期待する状況になって久しい。しかし、計算力学や CAE といった分野こそ、ディープラーニングとの親和性が高いと期待するもののその応用方法・利用方法については先行研究事例が少ない。一方で、もともと多くのデータを必要とする分野(材料設計, 流体工学等)においては特徴量を抽出する多次元非線形マッピングの技術としてディープラーニングの利用例が複数報告されている²⁾。本研究では重合メッシュ法によるき裂進展データを大量に生成し、何をどのように学習するのがサロゲートモデルの構築に有効なのかをき裂進展挙動を通して考察する。

II. ディープラーニングの現状

画像認識に代表される文字認識, 人認識, 顔認識等のピクセル単位で学習するディープラーニング(=大規模入力, 多階層のニューラルネットワーク)の成功例¹⁾から大規模な研究開発および IT 企業および自動車企業によ

る投資が始まった。これらの動きに呼応する形で、例えば NVIDIA による GPGPU 開発のディープラーニング向けの開発³⁾, 各研究機関および大学によるディープラーニング向けの Application Programming Interface の開発など加速した。これらの動向に対して CAE に対する AI およびディープラーニングへの適用の期待も高まっている^{4, 5)}。しかし、画像解析による応用はその事例は多数見受けられるが、一方で物理現象, 工学設計における応用方法が全く示されていない現状がある。USNCCM2017(米国計算力学学会)において E. Haber によりディープラーニングの新しい学習方法を提案する Semi-plenary lecture⁶⁾があった。この講演における要旨は、計算力学の手法をディープニューラルネットワークの学習に適用することにより計算科学研究者の提案よりさらに効果的な学習が達成できるという点である。学習手法にたいするブレイクスルーを示唆する画期的な発表があった。複雑な問題, 多入力・多出力のディープニューラルネットワークの学習方法の進歩に大きく貢献することが現在進行している。一方で、トヨタ自動車は、自動運転実現のためにはあと 142 億万 km の走行距離が必要だという試算を示している⁷⁾。この数値は、技術のある運転手が 10,000 人(台)が一人 1 万キロメートル以上の走行距離が必要だと示唆している。学習は人間の経験と相対するところがある。例えば、事故, 回避などのアクシデント事例は特に学習が必要である。しかし、

Construction of surrogate model for prediction of crack propagation using deep learning : Yoshitaka Wada.

(2018 年 10 月 26 日 受理)

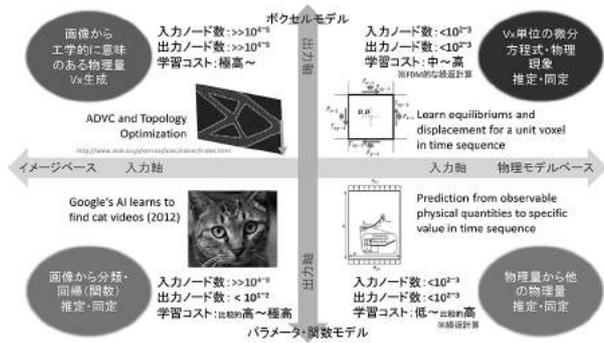


図1 ニューラルネットワークの入力・出力層のノード数と対応するアプリケーション関係

事故など普段生じない事象は計測されたデータの全体量に対してごく少ない。ニューラルネットワークは全体最適化のアルゴリズムに従って能力を高めるため、学習データに含まれないまたは極少しか含まれない事象に対して良い予測は困難である。アクシデントにも対応できるように学習を進めるためには、アクシデントを含む稀なケースのデータを増やすこと(データ拡張, オーバーサンプリング)で対応する。詳細は後述(5章)するが、荷重方向に対して角度を有するき裂は進展の直後少ない時間で進展方向を変える。つまり、学習するためのデータ数が少なくなる。このことは、多くの工学応用に関して常に問題となる。また、多くの工学問題ではどこかの場所のどのような物理量を学習させればよいのかの知見が全くないことが大きな課題であると指摘できる。筆者らはこれまでの AI 適用の動向および研究動向を鑑みて次のような仮説によりディープラーニングによる機械学習の適用範囲が拡大するのではないかと考えた。仮説とは次のとおりである。

「学習対象とする現象およびニューラルネットワークの構成は密接に関係しており、再現したい物理現象と計算手法によりニューラルネットワークは設計可能である」

この仮説は図1に示すように大きく分けて四つの分類に分けられる。ニューラルネットワークの入力層のノード数と出力層のノード数が再現したい物理現象をどのように計算させるかを決定する重要なパラメータとなる。

- A. 入力多-出力多
- B. 入力多-出力少(中)
- C. 入力少(中)-出力多
- D. 入力少-出力少

画像の分類問題は、B. に分類され画像そのものを学習し分類の確率を求める。本稿では、C. に分類される研究対象である。入力はき裂の位置ベクトル、出力はき裂の進展方向と予測されるサイクル数である。A. は画像から画像を生成するニューラルネットワークで、流体の速度分布から次の速度分布を予測するには A. に相当する多入力、多出力のニューラルネットワークが必要であ

る。C. は微分方程式の解を直接学習するアプローチとして分類できる。学習したニューラルネットワークは、差分法におけるスキームのように近傍の情報から現在の格子上的物理量を更新する。

III. ディープラーニングを実現する技術

現在、ディープラーニングという言葉には次のような意味が込められていると考える。

「バックプロパゲーション(BP)法の改良および過学習の防止手法も含めた多入力多階層のニューラルネットワーク(NN)の学習手法およびそれらの学習で得た NN の重み係数」

つまり、ディープラーニングとはアルゴリズムを指し示すだけのテクニカルタームではない。このタームは自動運転や人工知能を実現するための重要な役割があることが同時に期待されていると昨今の報道から理解できる。

ニューラルネットワークは、図2に示すノードとそれらを結ぶ結線によりモデル化される。すべての結線はノードから出力された値を変更する重み w_{ijk} とバイアス b_{ijk} が与えられる。各ノードは式1に表されるシグモイド関数(他の関数形式も存在する)により演算されることが一般的である。この関数の特徴は、入力値が大きくなると1に漸近し、入力値が小さくなると0へ漸近する。入力値が0では1/2(傾き1/4)を出力する。

最も基本的な関数 $f(x)$ のフィッティングを行うには1入力1出力のニューラルネットワークの学習を行えばよい。一般的には入力、出力ともにベクトルないしマトリックスになる。画像の学習(文字認識、人や車の認識)は1ピクセル=1入力となるためマトリックスがその入力になる。

ニューラルネットワークでは、大規模な重み w_{ijk} とバイアス b_{ijk} の逐次更新により学習を進める。学習が進ん

$$h_{mn}(x) = \frac{1}{1 + e^{-\sum_{i=1}^k (W_{mni}x + b_{mni})}} \quad (1)$$

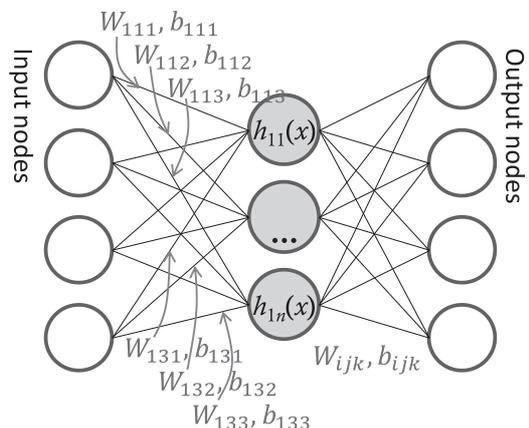


図2 ニューラルネットワークの構成

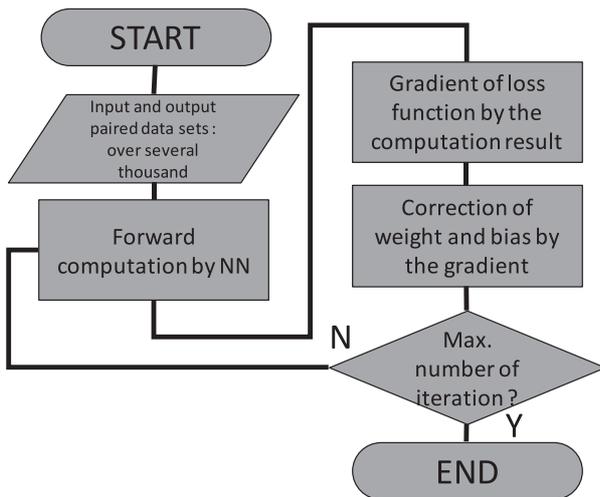


図3 ニューラルネットワークの学習アルゴリズム

だニューラルネットワークはエンジニアが望んだ能力を獲得している状態を学習により達成する。具体的には、図3に示すような流れで学習を行う。これらの方法は、初歩的な反復法ソルバーと同じ程度のプログラミングが要求されているためニューラルネットワーク実現のための基本的な骨子の理解は極めて容易である。

本章の冒頭においても述べたように通常の誤差逆伝播学習では大規模なニューラルネットワークは学習ができなかった。それらの学習を可能にしたのがいくつかの学習方法の改善である。例えば、10層以上の学習を確実に進めるためには、出力と入力に同じ値を用いて1層ずつ学習を進める方法がよくとられている。また、最新の研究結果では2階層のマルチグリッドであるコースグリッドコレクションを利用した学習方法も提案⁶⁾されており、学習結果もより誤差が小さくなることも示されている。入力データに意図的に誤差を与えて学習をさせる方法も取られる。この方法の利点はデータセット数が簡単に数倍に増やせる点である。これらの学習を強化する方法を組み合わせることでディープラーニングが実装され様々な成果を生み出している。

IV. CAEにおけるサロゲートモデル

工学応用への問題を考えると、何を入力と出力にするのか。学習データはどのように準備するのが最大の問題となる。物理現象は空間、物性、物理量(変位、速度、ひずみ、応力、温度等)が入力または出力されることになる。物理量を学習(測定)する位置の取扱いを一般化しなければ座標系依存の学習となる。そこから法則を見出すことは困難である。例えば、同じ目的の部品においてもそのサイズが10倍も異なる場合サイズの違いをどのように扱うのかを定める必要がある。形状が決まっているのであれば、ノーマライズを行うことが入力のパラメータを減じることになる。ただし、ノーマライズを行った係数は学習対象となる。また荷重に関しても同様で特に

弾性問題であれば単位力を想定して学習させる。

サロゲートモデルは代替モデルとして物理現象を模擬するモデルである。したがって、微分方程式を完全に代替するものではない。これまでパラメトリックに問題を解いていた場合、変数を可能な限り限定することにより現象の傾向を把握していた。例えば、ニューラルネットワークを使ったサロゲートモデルであれば多数の変数を用いて学習し、より自由度の高いサロゲートモデルの構築が可能となる。しかし、例えば非線形問題においては解析結果の取得に時間が必要であることと解析精度の低さが問題である。繰返し応力ひずみ関係はヒステリシスループを示し1つのひずみ(変位)に対して複数の応力(荷重)状態を示す。確実に学習できるとすれば降伏局面や背応力自体を学習させることである。しかし、実際の降伏現象は等方硬化、移動硬化の混合で生じているうえに降伏局面が連続であるとは限らない。ディープラーニングによる学習はそういったモデル化が困難な現象に対して学習できる可能性がある。したがって、今後どのような物理量を学習させることが精度よく実質的な時間で学習が行えるのかを調べる必要がある。

V. き裂進展サロゲートモデル

本稿では、疲労き裂進展を具体事例としてディープラーニング技術を適用しき裂進展挙動が予測できるかどうかを検証した。三つのフェーズを想定し、フェーズ1は応力拡大係数から進展方向ベクトルおよび進展速度を学習、フェーズ2はき裂先端近傍応力、変位から進展方向ベクトルおよび進展速度を学習、フェーズ3は初期き裂中心位置を原点としき裂先端位置およびき裂が向いている方向ベクトルから進展方向ベクトルおよび進展速度を学習、という三つの場合に分けた。実用上はき裂先端の位置および進展方向のベクトルから学習できることが望ましい。その理由は、き裂を画像的に扱うことにより直接その余寿命やき裂形状の予測が可能になるためである。

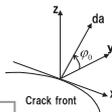
疲労き裂進展解析は、弾性計算(ポアソン方程式)、応力拡大係数、等価応力拡大係数、き裂進展速度、き裂進展方向を微小ステップで解析を行いその履歴(積分)として最終的なき裂進展形状が計算される。図4に等価応力拡大係数、き裂進展速度およびき裂進展方向を決定する経験則による式を示す^{8~10)}。ディープラーニングによりこれら式を陰的に再構成されるかどうか工学分野における応用のための提示すべき具体例である。

学習データは重合メッシュ法(以下 s-FEM)によるき裂進展解析¹⁰⁾を用い約5,000におよぶデータを生成した。データをもとに、ノイズ混入、ノード停止などのテクニックを用いて総学習数12万回を行った。実用的な観点からは12万回の学習数は極めて少ない。図5にき裂進展速度の学習結果を示す。S-FEMによるき裂進展

Crack growth direction: Richard's criterion

$$\varphi_0 = \mp \left[A \frac{|K_{II}|}{K_I + |K_{II}| + |K_{III}|} + B \left(\frac{|K_{II}|}{K_I + |K_{II}| + |K_{III}|} \right)^2 \right] \quad (*)1$$

$\varphi_0 < 0^\circ$ for $K_{II} > 0$ and $\varphi_0 > 0^\circ$ for $K_{II} < 0$ and $K_I \geq 0$
 $A=140^\circ, B=-70^\circ$



Crack growth rate: Paris's law

$$da/dN = C(\Delta K_{eq})^n \quad (*)2$$

$$K_{eq} = \frac{K_I}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{K_I^2 + 4(\alpha_1 K_{II})^2 + 4(\alpha_2 K_{III})^2} \quad (*)3$$

$\alpha_1 = K_{Ic} / K_{IIc}$ and $\alpha_2 = K_{Ic} / K_{IIIc}$

Material
 A533B steel E=206GPa, $\nu=0.3$
 $C=1.67 \times 10^{-12}$, $n=3.23$

$\alpha_1 = 1.155, \alpha_2 = 1.0$

図4 き裂進展則にかかわる法則とパラメータ^{8,9)}

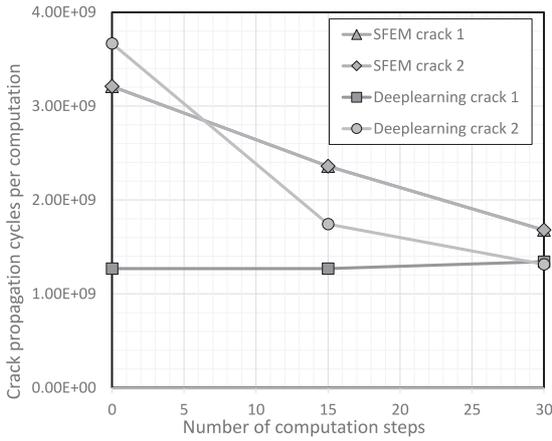


図5 き裂進展速度の予測結果と進展ステップ数

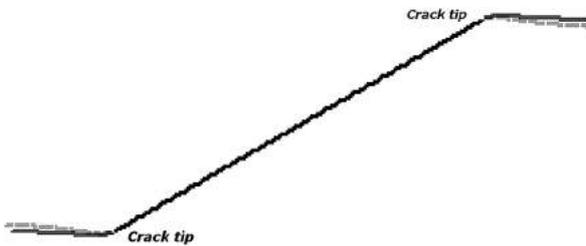


図6 機械学習によるき裂進展予測と重合メッシュ法によるき裂進展(黒:初期き裂, 灰破線:重合メッシュ法, 濃灰:サロゲートモデルによる予測)

解析と同様にシミュレーションによるき裂進展速度の予測は1サイクル当たりの進展量ではない。理由は、1サイクル当たりの進展量は 10^{-12} のオーダーのため、そのサイズではメッシュ生成ができない。したがって、最小メッシュサイズあたりに何サイクル必要か計算することで、き裂進展数値シミュレーションを連続的に行う。図6から、き裂進展開始直後では大きな差異が左右のき裂先端部位でみられる。しかし、き裂進展が進むにつれS-FEMの結果と一致する。荷重方向に対して斜めに存在するき裂が繰返し荷重を受けると急激にその向きを変え、その後はほぼ水平に進展する。つまり、き裂の向きを変える学習が少ない。進展方向を変える学習データ数は全体の学習データ数のわずか4%程度にしか過ぎない。

本適用例は、CAEアプリケーション自体をデータ生

成のための手法として利用することの提案である。近年の配列計算環境およびクラウドによる並列計算サービスの利用を考えればパラメトリックにバッチ処理を実行する技術的困難さはほとんどない。このような、状況を踏まえてCAEアプリケーションにデータを生成させれば、意図的に境界領域(考えている解空間の端)およびデータ数の取得が相対的に少なくなる箇所(本適用例ではき裂進展直後)を適切に理解しデータの密度を適正化すること(必要なデータの密度の均質化)が可能となる。

VI. おわりに

ディープラーニングおよびそれらを実用化するための技術集積により実用化が進行している。また、学習方法も様々な分野の知見を適用することにより、より効果的・効率的なサロゲートモデルの構築が可能となると考えられる。一方で現象の分析と効果的な学習パラメータ選定など知見の獲得が急務である。

— 参考文献 —

- 1) A. Krizhevsky, et al., ImageNet Classification with Deep Convolutional, Advances in Neural Information Processing Systems 25 (NIPS 2012), 2012.
- 2) 日本機械学会第30回計算力学講演会講演論文集, 大阪, 2017.
- 3) 井崎, NVIDIAのディープラーニング戦略と最新情報, GPU Technology Conference, Tokyo, 2016.
- 4) 和田, CAEにおけるディープラーニング活用の一考察(ディープラーニングによるき裂進展挙動予測), 第48回関西CAE懇話会, 京都, 2016.
- 5) 和田, CAEにおけるディープラーニング活用~重合メッシュ法によるき裂進展挙動学習~, ADVENTUREClusterユーザー会2017, Tokyo, 2017.
- 6) E. Haber, Deep Learning Meets Differential Equations and Optimal Control, 14th U. S. National Congress on Computational Mechanics, Semi-plenary lecture, Montreal, 2017.
- 7) トヨタ社長「142億キロの試験走行」で自動運転実現を宣言, <https://forbesjapan.com/articles/detail/13813>, 2016.
- 8) H. A. Richard, M. Fulland, M. Sander S. N., Fatigue Fract. Eng. Mater Struct., Vol. 28, pp. 3-12, 2005.
- 9) P. C. Paris and F. Erdogan, J. bas. Eng. Mater. Trans. ASME, Ser. D, 85, pp. 528-533, 1963.
- 10) 菊池, 和田ら, 重合メッシュ法を用いた疲労き裂進展シミュレーション(第2報二つの段違いき裂の相互作用の検討), 機論A, 74巻, 745, 2008.

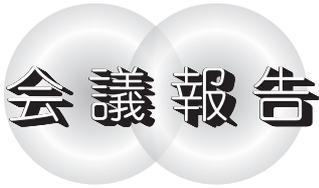
著者紹介



和田義孝 (わだ・よしたか)

近畿大学

(専門分野・関心分野)破壊力学, 延性破壊, 疲労き裂, 可視化, メッシュ生成, 深層学習による物理現象の学習



原子力の若手と学生の対話会 in 関東 2018

開催報告

2018年8月3日(東京都, 日本)

I. はじめに

原子力の若手と学生の対話会 in 関東 2018 が 2018 年 8 月 3 日に東工大岡山キャンパスにて、日本原子力学会 Young Generation Network (YGN) と学生連絡会の共催で開催された。本対話会は日本の原子力分野の第一線で活躍している若手社会人たちと大学生たちとの対話を通して、学生の原子力業界への理解を明確にし、将来のキャリアパスを考えることを目的として開催された。さらに、本対話会を通じて社会人同士の横のつながりを広げるために、幅広い業種の若手に参加を依頼した。

II. 対話会の様子

本対話会の参加者数は、若手社会人が 30 名、学生が 10 名の計 40 名であった。若手社会人の所属は電力、メーカー、研究機関、大学、省庁、コンサルなど原子力業界における様々な業種から参加して頂いた。一方、学生の参加者は、学部 3 年生から博士課程 3 年生までと学年が幅広いことが特徴であった。また、参加学生の所属大学は関東の大学に加え、京都大学や広島大学などの関東以外の大学からの参加があった。彼らは当時、YGN 運営委員の職場でインターンを実施中であったため、本対話会に参加するタイミングが合致した。

本対話会は三部で構成された。第一部は、まず YGN 運営委員より、「原子力業界マップ」と題して日本の原子力業界の現状を解説して頂いた。次に、若手社会人から、現在の仕事内容や学生時代の経験についてひとり一人紹介して頂いた。若手社会人の皆様の発表により、学生は現在の原子力業界の全体像をイメージすることができた。

第二部は、参加者が 6 つのグループに分かれて自由に対話をおこなった。まず、参加学生の簡単な自己紹介から始まり、学生が原子力業界に抱えている疑問や自身の進路などについて若手社会人に質問する形で対話が進められた。そして、学生の質問に対し、若手社会人からアドバイスして頂いた。様々な立場の若手社会人からのアドバイスは、学生たちにとって多くの学びになった。そして、対話会の時間が進むと、学生と若手社会人の間で、将来の日本の原子力業界について熱い議論が交わされた。

第三部は、対話会会場にて懇親会を実施した。お酒と料理を囲むことで、よりフランクな雰囲気の中で若手社会人と学生とが交流することができた。

III. 対話会後のアンケート結果のまとめ

対話会終了後、今後の対話会をより良いものにするために参加者にアンケートを記載して貰った。以下アンケート集計結果を抜粋して掲載する(回答者 21 名)。

1. 対話会の満足度

対話会の満足度について 5 段階で評価していただいた。その結果、「大変良い」および「良い」と回答した参加者の割合が 90.5%であったことから、本対話会に対する高い満足度が伺えた。

2. 対話会で印象に残った話、ためになった話

- ・各組織の役割、業界での位置づけがわかった。それぞれの組織の強みが理解できた。(学生)
- ・初対面の方と原子力・エネルギー業界に対する問題意識を共有して話し込むことができた。そのため満足度は高い。(社会人)
- 3. 原子力業界に対しての印象は変わりましたか？
- ・原子力業界が幅広いことが分かった。だからこそ、発電や廃炉だけでなく、自分の好きな分野(放射線応用や粒子ビーム)でも原子力業界に貢献が出来るような気がした。(学生)
- ・元氣な若者世代がいることが分かり、将来の展望が明るくなった。(社会人)

4. その他(ご意見、ご感想、ご要望など)

- ・原子力に関わる色々な業種の方々とお話できてとても楽しかった。懇親会でも、ざっくばらんに話して下さり、キャリアを考える上で参考になった。今後も機会があれば是非参加したい。(学生)

IV. おわりに

今回の対話会を開催するにあたり、準備の段階からご協力して頂いた YGN の皆様、休日にも関わらずお忙しい中参加頂いた社会人の皆様や学生の皆様に深く御礼を申し上げます。学生連絡会は今後もこのような活動を継続して企画していきますので、学会員の皆様は引き続きご指導ご鞭撻のほど何卒宜しくお願い致します。

(東京工業大学 原子核工学コース 村本武司、

2018年9月25日 記)

ベタ記事の裏側

毎日新聞科学環境部記者 柳楽 未来

2016年のクリスマス、毎日新聞の朝刊に小さな記事が載った。

東京電力が前日の12月24日早朝、福島第一原発2号機の原子炉格納容器に遠隔操作の機械を使って直径11・5センチの穴を開けたという内容だった。事故で炉心溶融した2号機は、内部の様子がほとんど分かっていない。年明けに、格納容器の内部を調査する遠隔操作ロボットを投入するための穴だった。

私は東京電力のプレスリリースをもとにして、短い記事を書いた。掲載されたのは経済面の隅で一段見出し(新聞業界ではベタ記事と呼ぶ)。他紙では、同じようにベタ記事で伝えた新聞もあったし、掲載自体を見送った新聞もあった。特に話題になることのないニュースだった。

その3週間後、私はある地方の喫茶店で一人の男性と向き合っていた。

男性は2号機の穴開け作業に携わった作業員の一人だった。28歳。北海道の原発関連会社から福島第一原発に派遣され、その後この地方の原発に移ってきたという。私はひょんなことから、関係者を通じて男性にたどりつくことができた。男性が語った現場の様子は、決してベタ記事で収まるような内容ではなかった。

穴を開ける付近の放射線は強い。遠隔操作とはいえ、機械の設置などは人の手が頼りだ。男性はタイベックスーツの上に専用のカップを着込み、その上から重さ10キロの鉛ジャケットを身につけて作業に臨んだ。作業時間は、被ばく量を抑えるため1人5分。焦って工具が床に落ちた瞬間、冷や汗で全面マスクが曇ったことなど、強い放射線の中での厳しい作業の様子が伝わってきた。それでも男性は、まっすぐこちらを向いて「やりがいと誇りをもってやっている」と話した。

さらに後日、穴開け作業を統括した重機大手 IHI の担当者にも話を聞くことができた。

担当者は半年以上かけて遠隔操作の機械を開発。しかし、いざ現場に入ってみると、床には図面になかったくぼみがあって機械が進めなかった。古い福島第一原発では、過去の改修が図面に反映されないケースがある上に、放射線が強いため事前に現場を十分に確認できなかった。床に鉄板を敷く作業が新たに加わり、作業員の被ばく量が増えてしまったという。強い放射線下で行う

廃炉では遠隔操作のロボットがクローズアップされるが、想定外の続く現場では「人の手」が頼りになっていたのだ。

取材した内容は後日、朝刊の1面トップと3面のほぼ全てを使って記事にした。取材に対応してくれた作業員や担当者たちは全員、実名で紹介した。記事には多くの反響をいただいたが、うれしさよりも、それまでの取材に対する後悔の気持ちの方が強かった。

ベタ記事の裏側には、廃炉についての多くの本質的な問題が潜んでいた。そして、廃炉に携わる多くの人たちの苦悩や奮闘があった。それまでに私は、福島第一原発の廃炉についてたくさんのベタ記事を書いてきた。いったいいくつの伝えるべき重要なことを素通りしてしまっていたのだろうか。そんな思いだった。

まもなく事故から8年となる。東京電力によると、現在も1日あたり約7,000人が廃炉に携わっているのだという。だが、社会ではますます無関心が広がっているように感じる。廃炉は今後、何十年も続く。原発政策に賛成、反対にかかわらず、社会全体で廃炉に関心を持ち、適正に進んでいるのか監視していくことは不可欠である。

無関心の原因の一つは、廃炉の「現場感」が伝わっていないことではないだろうか。廃炉は、整備された工場の流れ作業のようにロボットが勝手にやってくれているわけではなく、何があるのか分からない現場で、生身の人間が日々、知恵を絞って時には体を張って取り組んでいるのだ。そのような廃炉の現場を詳細に伝え続けることが、私たちの役割の一つであると考えている。

本稿を執筆中、福島第一原発の汚染水関連の設備で水漏れがあったと東京電力から一斉メールが流れてきた。今このときも、担当者が現場に向かい、早期の復旧に向けて作業に取り組んでいるのだろうか。その想像力を忘れてはいけないと思っている。

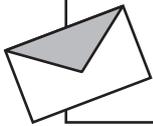
著者紹介

柳楽未来 (なぎら・みらい)



2008年、毎日新聞社入社。松山支局、福井支局敦賀駐在などを経て、16年4月から現職。18年3月まで原子力規制委員会や東京電力を担当した。

理事会だより



福島原発事故から8年、復興への取り組み

福島第一原子力発電所事故から8年経過し、私自身が関わってきた学会活動や原発事故への対応を紹介しながら福島の復興の在り方について考えてみたい。

事故直後、平成23年4月に学会では「原子力安全」調査専門委員会の下にクリーンアップ分科会を立ち上げた。平成24年には日本原子力学会理事会に創設された「福島特別プロジェクト」の下で同分科会の活動は引き続き実施してきた。ここでは、まず、発電所敷地外の地域住民の生活環境に対する修復事業を統括して主体的に運営を行う「環境修復センター」の設置を提言した。次に、環境省が福島市内に設置した福島環境再生事務所を活用して除染専門家の派遣や除染情報に関する発信を行うため、福島県との協同事業として除染情報プラザを平成24年1月21日に開設した。私もこのプラザに相談員として登録し、プラザおよび現地で開催される講習会や除染活動の現場に、講師やアドバイザーとして対応してきた。このプラザは除染作業の進展とともに、昨年「環境再生プラザ」へ名称変更し、中間貯蔵も含めて対応している。引き続き土、日および祝祭日にプラザに専門家を派遣し、プラザを訪れる地域住民、旅行者などからの除染技術・放射線影響などに関する相談や質問に対応している。最近では遠方からのツアーとしてグループ訪問があるものの、全体として訪問者数が減少しており、浜通りへの派遣も含めた新たな対応が必要である。

サイト外における学会活動としては、放射性セシウムの挙動を評価する現地試験を継続して実施してきた。平成23年には南相馬市の水田にて代掻き試験を行い、耕起や排水によるセシウムの移行挙動を調べた。翌24年からは水耕栽培試験を実施し、耕起、田植え、稲刈り時に試料を採取するとともに、乾燥稲の脱穀作業に参加した。夏場の炎天下での作業や、収穫時のイノシシによる被害などが記憶にある。得られた、玄米等の試料についてはセシウムやカリウムの放射能を測定して、土壌や玄米における放射能の経年変化を調べている。これらの取り組みを通じて、農協や農家の方と直接意見交換をできたことは有意義である。また、事故直後には、福島県果樹研究所の方々と、福島市や伊達市の桃や梨畑を訪問し、汚染状況や除染方法について意見交換した。さらに、木材(いわき市)やおがくず(南相馬市)の除染実証事業に協力し、宮城県大崎市にある東北大農場では、地元自治体関係者を交えて稲わらの除染試験を実施した。

一方、私の所属する大学の研究室では事故直後から、

サイト内に関して、炉内の状況や燃料デブリ、汚染水について色々情報収集しながら、対応してきた。事故直後、種々のゼオライトを用いたセシウムやストロンチウム等放射性核種の吸着実験を全国大学関係者と系統的に行い、汚染水の除染に関する情報提供をした。さらに、「福島原発事故で発生した廃棄物の合理的な処理・処分システム構築に向けた基盤研究」(科学研究費S、平成24～28、代表東工大池田泰久先生)へ展開し、燃料デブリの性状評価から、処理・処分方法の検討を行ってきた。その後、「MCCI デブリからのアクチノイド溶出機構および処理プロセスに関する基盤研究」(科学研究費A、平成28～31、代表京大佐々木隆之先生)(MCCI: Molten Core Concrete Interaction)、「合金相を含む燃料デブリの安定性評価のための基盤研究」(課題解決型廃炉研究開発プログラム、平成30～32、代表東北大桐島陽先生)より、燃料デブリの状態評価と放射性核種の挙動に関わる知見を得て、今後の取り出しあるいはデブリ処理・処分にに向けた情報を提供している。この間、核燃およびRI施設の変更申請に際して、新しく「核燃廃棄物の研究」の許可を得るとともに、施設を改修して、震災以降も放射線施設を利用した研究を展開できるようにしてきた。しかし全国的には施設の維持・整備は難しい状況にあり、学会に設置したアゴラ調査専門「大学等核燃およびRI施設施設検討・提言分科会」にて、現状調査や対応すべき課題の整理、今後の対応を中間報告にまとめてきた。

震災以降、放射能測定にてお世話になった川内村の農家の方から玄米を購入している。今年の状況を伺うと同村では除染や震災復興の話は終わり、震災以前からあった町の活性化について検討が始まっているとのことであった。一方で浜通りでは、役場の再開や住民の帰還が始まり、ようやく復興にむけた動きが始まったところである。このように避難区域の状況により、復興への取り組みにも温度差が生じている。さらには、原子力分野の課題から地域社会に関わる課題へと変化しつつある。一方、サイト内については、デブリ取り出しや分析、処理・処分についての情報が不足している。福島原発事故には人材育成や研究施設の確保、継続的な研究展開といった世代を超えてのハード、ソフト面における対応を要し、それらへのサポートを通じて復興へ貢献できればと思う。

(東北大 佐藤 修彰)