

特集Ⅱ 「福島原発事故とその後」  
有識者からのメッセージ

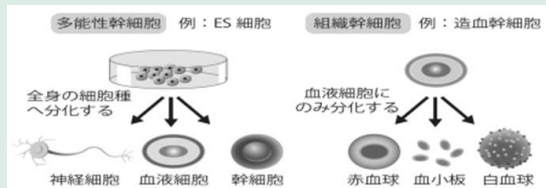
- |    |  |    |                                  |
|----|--|----|----------------------------------|
| 2  | The Utilization of Risk Information in Japan<br>G. Apostolakis | 27 | 自由な発想と全体を見通す目<br>関本 博            |
| 4  | 放射線被ばく問題と「信念の倫理」<br>—ノ瀬正樹                                      | 29 | 原子力再興に向け新しい「物語」を語る<br>滝 順一       |
| 6  | 3・11 と歴史の転換期<br>飯田哲也   | 31 | 原子力安全向上と将来を担う人材育成<br>竹田敏一        |
| 8  | 原子力規制委員会の在り方<br>岡本孝司   | 33 | 1F 事故と原子力<br>松井一秋                |
| 10 | 「語りにくさ」を越えて<br>福島を伝える<br>大崎要一郎                                 | 35 | 1F 事故が示唆していること<br>松浦祥次郎          |
| 12 | 原子力発電の衰退と後始末<br>大島堅一   | 37 | 次の 10 年に向かって<br>松田尚樹             |
| 14 | 事故から 10 年、今後の原子力のあり方<br>北村俊郎                                   | 39 | それでも脱原発をめざすべき三つの理由<br>村山知博       |
| 16 | 安全性向上の諸方策の実装<br>北村正晴   | 41 | 日本の原子力産業の国際展開再挑戦はあるか<br>村上朋子     |
| 18 | 戦略も司令塔もなく漂流する<br>原子力政策<br>橘川武郎                                 | 43 | 原子力安全の歴史のはじまり<br>山口 彰            |
| 20 | 事故調査委員会報告書から考える<br>小出重幸  | 45 | 原子力災害医療の基軸と人材育成の課題解決に向けて<br>山下俊一 |
| 22 | 事故の教訓と反省をふまえ<br>「マイナス」から再出発を<br>鈴木達治郎                          | 47 | 東日本大震災が日本経済に残した爪痕<br>山本隆三        |
| 25 | 継続的な安全性向上について<br>関村直人  | 49 | 事故の教訓としての組織レジリエンス<br>吉澤厚文        |
|    |  | 51 | 教養と工学・欲望と抑制<br>和田 章              |

## 特集 がんリスク評価にパラダイムシフトをもたらす幹細胞生物学

石田健二ほか

### 74 幹細胞とがん幹細胞

本特集では、放射線リスク研究のブレークスルーとして期待が高まっている幹細胞研究の現状を調べ、被ばくの標的細胞を「幹細胞または前駆細胞」とみなすことによってがんリスク評価にどのようなパラダイムシフトをもたらされるかを解説する。



多能性幹細胞と組織幹細胞の比較

### 80 ICRP Publication 131 を読み解く

ICRP の Publication 131 には、放射線と幹細胞の動態に関する知見が示されており、発がんリスクに対する直線しきい値なし (LNT) モデルに基づく「現行の放射線防護体系」の見直しにつながる可能性がある。

### 86 細胞競合の基本原則と今後の課題

放射線健康リスク評価はこれまで「DNA 損傷の修復」や「アポトーシス」に焦点があてられてきた。しかし ICRP Publ.131 では「幹細胞競合」に焦点をあてることで放射線リスクの蓄積性、放射線発がんに対する線量率効果、放射線感受性の年齢依存性が起きる理由を説明できる可能性を示唆した。

## 89 Column

- 若者たちの座談会 井内千穂  
寿都町の入学手続き 上野和花  
COVID-19 から見た科学技術のあり方 佐々木帆南  
学会事故調提言の一丁目一番地 佐治悦郎  
持続可能な社会を目指して4 野ヶ山康弘  
「伝わる」ための位置関係 服部美咲

## 理事会だより

### 98 2050 年に向けての原子力学術の貢献

山口 彰

## 時論

### 64 持続可能社会の実現に向けたシナリオにおける原子力の役割

秋元圭吾

### 66 文献調査とは何か —その意義と今後の活動

伊藤眞一

## 座談会

### 53 核燃料サイクルのリアリティ

政府は長期的なエネルギー確保をめざす戦略の中で、当面はプルサーマルを推進していく方針だ。とはいえ高速増殖炉の開発の見通しが不透明な中で、プルトニウムバランスや安全性への懸念の声も聞かれる。専門家にこの問題をめぐる現況と課題や展望について論じてもらった。

佐治悦郎, 佐田 務, 田中治邦  
福田 龍, 堀内知英, 澤田哲生

## FOCUS 原子力関連国際機関の最近の動向と日本からの期待 (4)

### 92 NEA における原子力の将来像の探求とその実現にむけた取り組み

NEA では技術・経済・資源等の様々な側面で原子力の貢献や更なる可能性の分析を通じて、各国政府や幅広いステークホルダーの意思決定を支援している。

後藤弘行, 岡島智史

## ジャーナリストの視点

### 97 今日もつぶやいています、『化学』

伊地知英明

24 新刊紹介  
「知ってますか？理系研究の“常識”」

亀山高範

68 News  
99 会告 2021・2022 年度代議員選挙のお知らせ  
101 会報 原子力関係会議案内、新入会一覧、寄贈本一覧、学会誌 J-STAGE での公開期間・対象変更のご案内、会告 倫理委員会規程改定案意見募集、英文論文誌 (Vol.58, No.2) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

## 特集Ⅱ 福島原発事故とその後 有識者からのメッセージ



東京電力福島第一原子力発電所事故からまもなくで、10年目の節目を迎えます。事故からこれまでに、原子力をめぐる状況は大きく変わりました。

原子力学会誌ではこの節目を契機として、原子力をめぐるさまざまなこと  
がらについて、多角的な視野から分析した特集を企画しています。

今号では有識者の方々に、事故後の原子力をめぐるあり様や今後のあり方  
などについて論を展開していただきました。なお本特集では、この問題につ  
いて原子力に批判的な方々も含めてさまざまな視点からの見解があることを  
紹介するために、本誌編集委員会の見解と異なるものも掲載しております。

続号では主要学会、原子力学会による1F事故関連の取り組みなどを掲載  
します。

(写真の出典は東京電力ホールディングス)

# The Utilization of Risk Information in Japan

George Apostolakis  
Nuclear Risk Research Center  
Central Research Institute of the Electric Power Industry

After the Fukushima accident, the Japanese nuclear power industry realized that a new paradigm was needed for reactor safety. The approach until that time was highly prescriptive. The culture both at the regulatory agency and the industry was compliance-oriented, that is, compliance with the regulations meant the plants were safe. The claim that the plants were safe was communicated to the public with disastrous effects to the credibility of the industry after the accident proved that they were not.

At the same time, other countries, especially the United States, had made significant advances in the use of Probabilistic Risk Assessment (PRA) and Risk-Informed Decision Making (RIDM). The global risk metrics of core damage frequency (CDF) and large, early release frequency (LERF) were used routinely in decision making. It was universally accepted that the RIDM approach led to safer and more efficient plants. The CDF and LERF were also found to be effective communication tools both within the industry and with the public<sup>i</sup>.

As a result, safety was improved. It was the early PRAs that called attention to the significance of human errors, support systems, internal fires and earthquakes, thus leading to safer plants. As the industry started developing PRAs, it showed that several prescriptive regulatory requirements had little or no impact on CDF and LERF thus constituting unnecessary regulatory burden that could be removed or relaxed. Another major conclusion from the industry-sponsored PRAs was that the risk was plant specific, that is, each plant had unique risk contributors that were not covered by the generic regulations.

It is worth noting that the regulatory staff at the U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) was eager to impose new regulations as the PRAs revealed vulnerabilities. However, implementing rules for removing unnecessary regulatory burden took years and required intervention by the U.S. Senate. This confirmed once again that regulatory agencies are inherently conservative and frequently require an external intervention for them to change their attitude.

Although Japanese plants had done PRAs, they were below the state of international practice and were not utilized in decision making in any meaningful way. After Fukushima, the industry decided to adopt the PRA technology and push for universal acceptance of RIDM. In order to achieve this goal, the Central Research Institute of the Electric Power Industry (CRIEPI) established the Nuclear Risk Research Center (NRRC) in 2014. NRRC's mission is as follows:

To assist nuclear operators and the nuclear industry in their continuous effort to improve the safety of nuclear facilities, that is, to manage the relevant risks, by developing and employing modern methods of Probabilistic Risk Assessment (PRA), risk-informed decision making and risk communication.

In order to fulfill this mission, we (the NRRC) are implementing a three-pronged approach: helping to raise the quality of industry PRAs, improving the methodology, and supporting risk-informed initiatives.

To raise the quality of existing PRAs to the international state of the practice, we selected the PRAs for two plants (Ikata Unit 3 and Kashiwazaki-Kariwa Unit 7) and subjected them to detailed reviews by international experts. The analysts of these two PRAs responded to all of the expert comments thus improving these PRAs.

<sup>i</sup> For details, see the NRRC report "Risk-Informed Decision Making: A Survey of United States Experience," 2017. <https://criepi.denken.or.jp/en/nrrc/publication.html>

Other utilities are following these reviews and upgrade their PRAs as appropriate.

Our work on PRA methodology encompasses a wide variety of topics. We have issued a Fire PRA Guide that incorporates the latest thinking regarding internal fires and the threat they pose to the plants. We are about to issue a Guide for human reliability analysis (HRA) with emphasis on the development of narratives, i.e., the context within which the operators are expected to act. The idea is that it is this context, e.g., information received, stress level and others, that determine whether the operators will make a mistake.

Until Fukushima, PRAs were performed for individual units. That accident demonstrated that the interactions among units at the same site were important. We are currently developing a methodology for PRA of multiunit sites.

So-called “external events,” i.e., earthquakes, tsunamis, strong winds and volcanoes, are very important in Japan. We are developing detailed PRA models for some of these events. They consist of detailed assessments of the relevant hazard and the response of the plant systems including the fragility of plant components. An important study has been completed by Shikoku EPC (with our support) regarding the earthquake hazard at the Ikata site. This study (based on the American study of the Senior Seismic Hazard Analysis Committee—SSHAC) involved experts from academia, research centers and industry and represents the current state of understanding of the seismic Japanese community of the earthquake hazard at the site.

In all our activities, we have the benefit of comments from our Technical Advisory Committee (TAC). TAC consists of six experts (three Americans, one Frenchman and two Japanese). The experts meet twice per year in Tokyo and review our overall research program as well as individual research projects. Their comments are given to us in the form of a letter report and we respond in writing. This exchange is published on our website.

The third prong of our approach is supporting ATENA (Atomic Energy Association) in preparing risk-informed initiatives to be submitted to the Nuclear Regulation Authority. ATENA prepares these

proposals in consultation with the nuclear industry.

A major step forward was reached in 2018 when all the Japanese utilities, with our support, issued a strategic plan adopting RIDM. This plan states “The objective of introducing the RIDM process is to bring about changes in the existing management process, where the licensees are primarily responsible for improving plant safety through correctly monitoring as-built and as-operated plant status, considering the risk significance of findings based on their own assessment as a decision criterion (risk-informed and performance-based), and implementing decision-making for improvement in timely manner, while compliance with the regulations is a prerequisite.”

This plan lays the foundation for a fundamental change in the safety culture prevailing in the nuclear power industry by going beyond compliance with the regulations and acknowledging that it is the utilities that are primarily responsible for reactor safety. Their continuous efforts to improve or maintain safety will be guided by risk assessments and comparisons with performance objectives. Importantly, the Strategic Plan is accompanied by an Action Plan outlining specific actions that the utilities should take towards achieving the objectives of the Strategic Plan. The Action Plan was updated in 2020.

An apparent obstacle to the wider use of PRA in Japan is the explicit use of probabilities (and frequencies). I have been repeatedly told that the public will never accept such practice. This attitude has serious consequences because global risk metrics such as CDF and LERF are great communication tools within the industry, between the industry and the regulators, and between the nuclear establishment and the public. Yet, with few exceptions, they cannot be used with the public in Japan. However, avoiding the mention of probabilities and, for example, saying that the plants are safe because they satisfy very stringent regulatory requirements, does not convey the complete picture. On the other hand, using CDF carries the implicit message that a core damage event can actually occur albeit with a low frequency. I am not sure how we can overcome this hurdle. What I am sure of is that, eventually, we will use risk metrics for communication because it's the technically sound thing to do.

## 放射線被ばく問題と「信念の倫理」

武蔵野大学 一ノ瀬 正樹

### 1. 放射線の捉えられ方

福島第一原発事故のあとの放射線被ばく問題は、混乱をきわめたことは記憶に新しい。驚くようなことが起こったりもした。私にとって最も印象に残っているのは、2011年秋に大阪で行われた「葬列デモ」である。福島で子どもを育てていると、放射線被ばくによって子どもを殺してしまうことになるので、前もって福島の子どものお葬式をしてあげよう、という趣旨の行動である。たぶん、このまま福島で子どもを育てていると危険なので、早くに避難してください、という善意の提言なのではないかと推測される。けれども、当時においてすでに福島県の強制避難地域を除く場所での放射線量は十分に低く(日本学術会議の2017年報告「子どもの放射線被ばくの影響と今後の課題」によると、事故直後の原発直近地域の事故後4ヶ月間の外部被ばく線量は約95%が5ミリシーベルト以下であり、90%が1ミリシーベルト以下であった)、健康被害はまず起こりようがなかったことを考えると、あまりに常軌を逸した行動であったと思われる。福島に住み続けた人々の多くは、放射線についてよく勉強して、住み続けても問題ないことを認識して暮らしておられた。にもかかわらず、まったくの外部から、たとえ善意からであったとしても、「葬列デモ」のようなことが行われてしまうと、その心痛はいかほどかと思わないではいられない。もともとが善意に発するのならば、結果はすべて許されるのだろうか。いや、果たして、本当にもともとは善意だったのだろうか。いずれにせよ、「葬列デモ」は、被災地の方々への中傷や、差別を助長しかねない、まことに忌むべきデモであったと断じるしかない。

なぜ人々は、これほど放射線被ばくというものに対して過敏に恐れるのだろうか。なぜこれほどひたすら悪いことの代表のように扱い、忌避したり差別したりするのだろうか。もう一つどうしても忘れられない出来事は、2014年の某関西私立大学での事件である。ある授業で、外国人教師が、出席している一人の女子学生が福島出身であることを知ると、教室の電気を消して、「あなたは放射能を浴びているから電気を消すと光ると思った」と言い放ったのである。なんとということだろうか。これもまた「葬列デモ」に劣らず、常軌を逸した事態であった。このことの根底には、放射線というものに対する決定的な知識不足がある。こうした知識不足は、それ自体とし

て、道徳的に非難されるべきではなかろうか。無知であること、知らないこと、そうしたことも時として道徳的悪として糾弾されるべきではないか。

いずれにしても、こうした出来事の根底に強く流れる「放射線=悪」という図式は、ほんのちょっと調べるだけで完璧なる間違いであることが直ちに分かる。放射線は自然現象としてこの宇宙・この世界に遍在しており、私たちの人体もまた放射性物質であること、花崗岩などが含まれる多くの建物からも放射線が出ていること、そして放射線はいろいろな仕方で産業利用されていること、これらを確認するとき、放射線=悪、という図式は意味不明となる。ジャガイモの発芽抑制、ゴーヤー出荷のためのウリミバエ駆除、自動車タイヤの強化、ナッツの発がん性カビ発生の抑制、火力発電所からの大気汚染物質の分解など、すべて放射線を用いて行われている(児玉2020を参照)。私たち人類は、自然現象である放射線を上手に利用して、産業に役立っているのである。それを悪だと捉えてしまうことは、太陽は悪である、と言っていることに等しい。太陽とは放射線をつねに大量に発出している、私たち地球の生物にとっての母なるお日様なのだからである。もちろん、太陽に近づいたら私たちはひとたまりもないし、太陽を直接目で見ると大変危険である。だから、放射線はどんな場合でも益になるばかりで害はない、などということはありえない。JCO臨界事故を想起してほしい。高線量被ばくによる放射線障害は恐ろしい。原発や放射性物質の扱いについては、ぜひとも管理者の方々には安全性の徹底をお願いしたい。しかし同時に、放射線はどんな場合でも害である、ということも成り立たないのである。すべては「量」である。「量」を計測して適切に利用していくこと。それは、すべての物質や自然現象に関して当てはまる、普遍的な対応法である。

### 2. 信念の倫理

以上のような構造の問題は、実は哲学の世界ではつとに論じられていた。次のような思考実験を考えてほしい。移民船の船主が、所有する移民船を点検して、老朽化しており次の航海には適さないと判断したにもかかわらず、これまでなんとか安全に航海してきたのだし、今度も大丈夫だろうと自分に言い聞かせるうち、うん大丈夫だ、という信念を持つにいたって、実際に出航させた。

その結果、途中で沈没して、多くの人々が亡くなってしまった。これは、19世紀の英国の数学者・哲学者ウィリアム・キングドン・クリフォードが「信念の倫理」という論文の冒頭で提起した思考実験である。クリフォードは、この船主の「うん大丈夫だ」という信念は、きちんとした十分な証拠に基づいてはいない信念であり、そしてそれが移民船の沈没という大惨事につながったのであって、道徳的非難に値すると論じた。つまり、信念という、心の中での思いだけで、十分に非難に値するというのである。いや、それだけではない。かりに「うん大丈夫だ」という不十分な証拠に基づく信念が、たまたま本当のことであって移民船は安全に航海したとしても、あるいは「うん大丈夫だ」という信念は誤っていたけれども、やはりたまたま事故が起らず移民船は無事目的地に着いたとしても、それでもこの船主の信念は、不十分な証拠に基づくものであって、道徳的非難の対象なのだとされる。しっかりした証拠に拠らない信念は、すべて悪だと断じるのである。しかも、一度犯した悪事は永遠の悪事であり続ける、とまで言い及ぶのであった。

こうしたクリフォードの議論は、明らかに過激すぎる。いつでも確固たる証拠に基づかないと信念を持つてはならないのだとしたら、日常のほとんどの活動はできなくなってしまう。私はこのようなクリフォードの見解を「潔癖主義」と名付けている。実際たとえば、電車に乗るとき、この電車は絶対安全だという十分な証拠を確認してからでないと、この電車は運行に適している、という信念を抱いてはならず、よって乗ってはならない、となるのだとしたら、私たちはたぶん永久に電車に乗れない。あるいは、私たちはそうした仕方では信念を形成せずに電車に乗っているのだから、悪事をほぼつねになしている罪人なのだ、ということになってしまう。むろん、クリフォードもこうした問題は認識していて、「信念の倫理」の後半部分でこの種の疑問に答えようとしている。こうしたクリフォードの「信念の倫理」の潔癖主義が果たして成功した議論になっているかどうか、それは哲学研究の文脈においていまなお検討が続けられている。しかし、ここで私が確認したいのは、クリフォードの議論には確かに私たちが学ぶべき洞察が含まれているということなのである。不十分な証拠や根拠によって何ごとかを信じ、それに依拠して行動することは、実は倫理的な非難に値する、という発想、これは一定の真理を突いていると私には思われるのである。

### 3. 正しい知は力なり

以上のようなクリフォードの「信念の倫理」は、福島第一原発事故後の放射線被ばくについてのさまざまな信念にも当然適用されうるだろう。あの事故後、先に述べた「葬列デモ」や「外国人教師の発言」のように、人類が積み上げてきた放射線被ばくについての知見や、福島での実

測データについて十分に調べたり確認したりせずに、特定の信念を抱き、そしてそうした信念に従った行動を取った方々が少なからずいた。放射線被ばくのリスクだけを過剰に危険視し、それを避けることで新たに発生するリスク、たとえば避難行動にまつわるリスク、の検討を怠り、多くの関連死を発生させることに寄与してしまった見解、すなわち「予防原則」による「ゼロリスク」を追求すべしという信念、などももう一つの悪例であろう。これらは「煽り」とか「風評」というように解され、困ったことであると理解されつつも、公的なお咎めなしにそのまま放置されてきた。しかし実は、クリフォードの「信念の倫理」に従えば、そのような放置は決して許されず、強く道徳的に糾弾されなければならないことになる。場合によっては、刑法的な加害行為として刑法的処置さえ要求されうるだろう。刑法的に言えば、不十分な根拠のまま信念を抱き、それに従って行為することは、そのことで実際の被害が発生した場合は、根拠や証拠の適切な検討を怠ったという「過失犯」となるだろうか。さらに、クリフォードによれば、不十分な証拠に基づいて特定の信念を抱き行動したが、たまたま結果として有害なことが発生しなかった場合でさえ、道徳的非難の対象になるとされたのであったが、そうした事態は、刑法的に言えば(学説的には問題含みの概念だが)「過失犯の未遂」ということになるだろうか。こうした見方は、まさしく潔癖主義的な過剰なもののように映るかもしれない。けれども、「いのち」に関わるような災害や事故の場面では、決して過剰ではなく、十分に考慮に値すると私は思っている。

かくして、放射線被ばくをめぐるあの喧噪から私たちが学ぶべきこと、それは、あまりに当たり前のことだが、災害や事故の際には、きちんとした証拠や根拠のもと事態を冷静に捉えて、軽信や早とちりに陥らずに理性的に考え理解していくこと、それこそが「いのち」を守り二次被害を防止することにつながるということである。人間の知、それはやはり救いの力なのである。

#### － 参考文献 －

- 1) Clifford, W. K. 1999. *The Ethics of Belief and Other Essays*. Introduction by T. M. Madigan. Prometheus Book.
- 2) 児玉一八 2020. 『身近にあふれる「放射線」が3時間でわかる本』, 明日香出版社.

#### 著者紹介

一ノ瀬正樹 (いちのせ・まさき)

東京大学名誉教授、オックスフォード大学名誉フェロウ、武蔵野大学教授。日本哲学会会長。博士(文学)。著書に『放射能問題に立ち向かう哲学』, 編著に『福島はあなた自身』, 論文に“Normativity, probability, and meta-vagueness” (*Synthese* 194 : 10)などがある。

## 3・11 と歴史の転換期

環境エネルギー政策研究所 飯田 哲也

2011年3月11日、東日本大震災が起きたとき、ドイツ・ポツダムにいた。前々年に発足した国際再生可能エネルギー機関(IRENA)の集まりに呼ばれ、前夜に日本から到着したばかりだった。

その「3・11」から10年、福島も日本社会全体も、大きく変わった。世界全体でも、まったく歴史の偶然に過ぎないが、3・11は人類史的とも呼ぶべきエネルギー大転換の「起点」にも重なっている。そういう10年目という節目にあたり、今とこれからを考える。

### 1. 3・11後のパラダイム転換

国際原子力機関(IAEA)の発足(1957年)から半世紀を経て、再生可能エネルギーのための国際機関IRENAが発足(2009年)したことに歴史の大きな流れを感じざるを得ないが、本稿で強調したいのは、それ以上に3・11からこの10年の劇的な変化である。

わずか10年で、風力発電のコストは半減、太陽光発電は8割減と急落し、今やこれらが最も安いエネルギー源となった(図1)。このコスト低下は、コンピュータや液晶テレビなどと同じ技術学習効果によるもので、この先も継続的に下がってゆくと考えられている。さらに、蓄電池も過去10年でコストが8割減し、同じようにこの先も継続的に下がってゆくと考えられている。

このため、2050年には、電力はもちろん一次エネルギー源も、大半は太陽光発電と風力発電が賄うというシナリオや予測が主流となりつつある。エネルギー主流派(政策当事者、産業界、専門家など)の基本的な考え(パラダイム)が10年前から大きく転換したことの証でもある。

実際に、アップル社など再生可能エネルギー100%で事業活動を行うグローバル企業の集まり「RE100」が発足したのが2014年、その翌年には気候変動のパリ協定も合意された。いずれも再生可能エネルギーに対するパラダイム転換が、背中を押したものだ。再生可能エネ

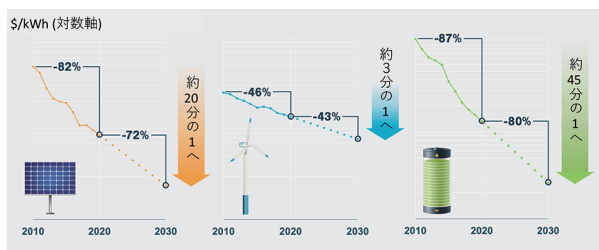


図1 太陽光・風力・蓄電池コストの急落

(出典) Adam Dorr & Tony Seba "Rethinking Energy 2020-2030-100%", Oct. 2020より転載

ギー分野を30年ほど見てきたものとしても、この10年の急激な変化には驚いている。

### 2. ギガフォール=破壊的变化の始まり

現状、風力発電は世界の電力供給の約6%、太陽光発電は3%に満たない。まだ主力には程遠いが、継続的なコスト低下と相まって幾何級数的に拡大してきており、これから10年で数倍に成長することが見込まれている。

これから起きようとしているのは、単なるエネルギー転換ではない。産業・経済や政治・社会を含めた構造転換が起きるという意味から、「破壊的变化」と呼ばれる。

前述の蓄電池のコスト低下と幾何級数的な拡大が重なって、これから10年ほどで世界全体では数百兆円にもものぼる化石燃料発電市場が大崩壊(ギガフォール)を起こすと予見されている(図2)。それを先取りするかのようになり、昨(2020)年5月、インドで365日24時間・年間稼働率80%の蓄電池付き太陽光発電800MWの入札が行われ、1キロワット時4円で落札された。これから、こうした事例が急速に広がってゆき、早晚、原発はおろか石炭火力さえも出る幕はなくなる。高速増殖炉や核融合の研究開発や実用化も、もはや必要ない。

もとより太陽光発電も風力発電も太陽エネルギー資源であり、その資源量は膨大・無尽蔵であり、燃料を必要とせず、世界中で利用可能な純国産のクリーンな再生可能エネルギーである。それが蓄電池を含めても最も安いエネルギー源となりつつあり、加えてAIやIoTなどデジタル大変革(DX)とも重なって、産業革命以降のエネルギー秩序が根底から変わりつつあるただ中にある。

### 3. 日本の「落ちこぼれ」を露呈したコロナ禍

ところで、昨年初頭からグローバルなパンデミックとなった新型コロナウイルス(COVID-19、以下「コロナ禍」)

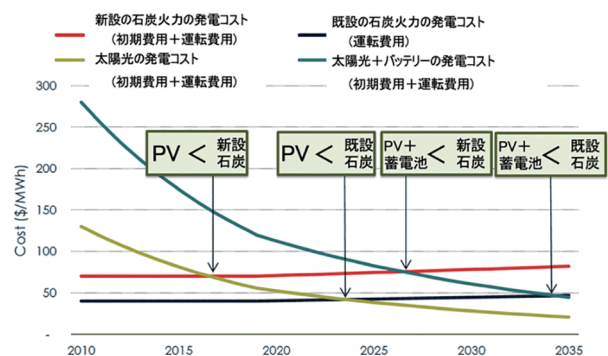


図2 再エネ・蓄電池のコスト低下と化石燃料市場の崩壊

(出典) Carbon Tracker "The Trillion Dollar Energy Windfall" Sept. 5th, 2019に筆者加筆・転載



を、まるで福島第一原発事故後のデジャブを見るかのように眺めていた。防護服姿やマスクといった「外見の相似」や、街頭から人影が消え去り店頭から商品が消えたこと、日常が突然失われて全く異なる「新しい日常」の出現、危機の行く末が見えない不安なども、3・11の「デジャブ」だ。

それ以上に深刻な問題として、国(政治や行政)やそこに関わる専門家が混乱する姿が、3・11と重なった。デジャブというより、この国の「病理」だろう。コロナ禍に対して、国の専門家会議は、世界各国の知見や対策とは異なる、明らかに間違ったメッセージを発し、この国の政治・行政・科学からなる防疫システムが機能不全に陥る主因となった。たとえば、PCR検査の拡充が遅々として進まないだけでなく、あろうことかPCR検査抑制を国の専門家会議の中心メンバーが公言していた。

新型コロナは無症状感染者が感染拡大の主因であることが早い段階から国際的に指摘されていたが、日本だけは「高熱が4日間続いてからのPCR検査」と絞り込み、初期仮説のクラスターに拘泥し、無症状者への集中的な検査(社会的検査)は、世田谷区など先見の明のある自治体を除いて、一向に進まない。数名の感染者検出後わずか4日間で1,000万人の全数検査を終えた中国・青島との落差が大きすぎる。東アジア人種特有の「ファクターX」の恩恵で、欧米よりもコロナ禍の被害が桁違いに少ないが、東アジアで見ると日本の対応は最低レベルだ。

未だにFAXによるデータ収集が行われ、個人の追跡調査が人力・手作業など、21世紀の今日、中国などアジアの隣国でデータサイエンスやAIやIoTなどデジタル技術、DNAやゲノム分析などを駆使した「精密医療」が常識になっている現実から、日本が大きく取り残されている実態も浮かび上がった。

#### 4. 原子力にも通底する「病理」

コロナ禍で露呈した同じ「病理」を、日本の原子力分野でも、ずっと経験してきた。3・11前には原子力に関する異論や批判は圧殺され、それがあの破局的な事故を招いた一因であることは否定できないだろう。3・11直後は狼狽して反省したかのように見えた国や産業界の中核にいる専門家の多くは、速やかに従前に戻り、原子力必要論を平然と唱えるようになった。これらは原子力特有だと考えてきたが、電力やエネルギー分野、気候変動の分野でもかたちは違っても同じ「病理」があり、まったく分野の異なるコロナ禍でも同じだとすると、これは日本で共通していると気付かされた。もちろんこの「病理」は、政治・行政・産業界・メディアも絡んだ大きな構図もあるが、本稿では専門家コミュニティに限って考えたい。

ここで言う「病理」とは、日本がアジア各国からも立ち遅れてしまったという「現実」のことではない。それは「病理」の結果にすぎない。異論や批判が排除され、ある種の「ドグマ」が場を支配する状況を指す。そして、本来、知識人として誠実かつ独立であるべき「専門家」が、

ドグマが支配する場に奉仕するという「病理」だ。総体としての「現実」は真逆でも、断片的な「事実」ならドグマを補完する詭弁にもできる。原子力でのドグマの一例は、再処理・核燃料サイクルだ。各論には立ち入らないが、明らかに破綻しているのに、古いドグマを掲げて暴走している。

仮説だが、日本の専門家コミュニティは、事実や現実よりも「場の空気」を優先することによる影響が大きいのではないか。権力が大きい場であるほど「ドグマ」は強固で、それに同調を求める「空気」も濃い。俗に「御用学者」と揶揄されるが、日本社会の総体がここまで遅れ歪むに至っては、揶揄ではすまない。

#### 5. オープンでフラットな知識コミュニティへ

日本の「病理」の根底は、突き詰めると、知識人としての個々人の倫理と勇気に帰する。真理や事実に誠実か、それとも「場の空気」に忠誠を誓うか、との分かれ道だ。そうしたドグマや「場の空気」の土壌となっている日本の閉鎖的・たこつボ的・ヒエラルキーが根強い組織風土も問い直す必要があるのではないか。

世界はますます複雑化し、技術は高度化し、人々の価値観は多様化し、グローバルな情報交流は拡散してゆく時代である。こうした時代の知識形成は、国境や分野を超えてオープンかつフラットにさまざまな仮説が提起され議論され検証され共有知として蓄積されてゆく「知のプラットフォーム」が不可欠であり、実際に形成されているように思われる。

日本の専門家コミュニティの「病理」のもっとも深刻な側面は、こうした「グローバルな知のプラットフォーム」から隔絶していることだろう。そのために、コロナでも原子力でも再エネでも、あらゆる領域において、現実として日本は取り残されつつある。

原子力とエネルギーに立ち返ると、3・11から10年という、今日、人類史的なエネルギー大転換のただ中にあることは、グローバルな現実である。日本でも、原子力を専門とする技術者・専門家は、どのような認識を持ちどのような責任を果たすべきか、一人ひとりが問い直すべきときにきているのではないだろうか。

#### — 参考文献 —

- 1) Adam Dorr & Tony Seba “Rethinking Energy 2020-2030-100% Solar, Wind, and Batteries is Just the Beginning” A RethinkX Sector Disruption Report, Oct. 2020.
- 2) Carbon Tracker “The Trillion Dollar Energy Windfall” Sept. 5th, 2019.

#### 著者紹介

飯田哲也 (いいだ・てつなり)

京都大学原子核工学修了, 神戸製鋼所, 電力中央研究所, ルンド大学などを経て, 2000年から環境エネルギー政策研究所所長。

# 原子力規制委員会の在り方

東京大学 岡本 孝司

## 1. 原子力基本法

原子力基本法は、昭和30年12月に制定されている。その第1条には、目的として、「この法律は、原子力の研究、開発および利用(以下「原子力利用」という。)を推進することによつて、将来におけるエネルギー資源を確保し、学術の進歩と産業の振興とを図り、もつて人類社会の福祉と国民生活の水準向上とに寄与することを目的とする。」と書かれている。この文言は、福島第一原子力発電所の事故を受けて改正された、現行の原子力基本法にも受け継がれている。一貫して、原子力利用を推進することによって、人類社会の福祉と国民生活の水準向上を進める事を謳っている。重要なことは、原子力利用は、将来におけるエネルギー資源の確保のためと明記されており、終戦後10年の頃の、これから復興していく日本の将来を大きく見据えている。

今年、福島第一原子力発電所の事故が起きてから、10年目である。終戦後のような、物理的に不安定な社会ではなく、満ち足りた社会となった21世紀も、はや20年たっている。新型コロナウイルスによる大きな社会的インパクトもあるが、アメリカの株価は高騰し、もはや宗教ともいえる脱炭素化など、精神的には、かなり不安定な日本となっている。

菅総理大臣は、所信表明演説で2050年のカーボンニュートラルを宣言した。原子力基本法第1条にのっとり、原子力利用を推進することによって将来におけるエネルギー資源を確保することが、改めて重要であることを再認識することが必要であろう。

さて、福島第一原子力発電所の事故を受けて、原子力基本法第2条(基本方針)には、第2項が加わっている。第2条第1項は、「原子力利用は、平和の目的に限り、安全の確保を旨として、民主的な運営の下に、自主的にこれを行うものとし、その成果を公開し、進んで国際協力に資するものとする。」と従来通りである。「民主・自主・公開」の三原則は、最近話題の、学術会議により提唱されたものが、当初から取り入れられている。

追加された第2項は、「前項の安全の確保については、確立された国際的な基準を踏まえ、国民の生命、健康および財産の保護、環境の保全ならびにわが国の安全保障に資することを目的として、行うものとする。」と安全の確保を行う目的が明記されている。IAEAの安全基本原則にある、「人と環境を守る」というキーワードが、基本

法に盛り込まれている。また、安全の確保は、わが国の安全保障に資することが明記され、安全性が、エネルギーの重要性、国家の存立にも関係することを示している。さらに、独断とならないために、「確立された国際的な基準」を踏まえることが明記されている。日本だけの独断専行は、原子力基本法の基本方針に違反していることが示されている。

原子力規制委員会は、このような背景のもと、「原子力利用における安全の確保」を図る事を目的として設置されていることが原子力基本法第3条の2に明記されている。さらに、原子力規制委員会設置法第3条では「原子力利用における安全の確保」が任務であると書かれている。

## 2. 厳しい規制と確かな規制

では、原子力規制委員会のホームページには何と書かれているであろうか。トップページから「組織について」「組織概要」「組織理念」とたどると、規制委員会の使命は、「原子力に対する確かな規制を通じて、人と環境を守ることが原子力規制委員会の使命である。」と書かれている。「原子力の利用における安全の確保」が任務であるが、そのための使命は、なぜか規制を通じて安全を確保することと読み替えられている。「確かな規制」ができていれば良いのであるが、規制自体が、まだまだ確かではないため、かえって規制によって安全が阻害されるという事が多くみられるのが課題である。残念ながら、前委員長が繰り返し述べている「世界で最も厳しい規制」は、「確かな規制」とはあまり関係がない。昭和の時代は、スパルタ教育、つまり「厳しい」教育が望ましい教育方法だったのかもしれないが、平成や令和の時代には全くなじまず、「確かな」教育とは全く違うことは誰でもわかるだろう。「厳しい」と「確かな」ことは、ほとんど関係がないのである。このような認識の原子力規制委員会や原子力規制庁が「確かな規制」を達成することは、できるであろうか。

なお、アメリカの原子力規制委員会(NRC)は、ロゴの真下に、「人と環境を守る(Protecting People and the Environment)」と書かれている。ホームページの深い場所に、こっそりと理念を書いている日本とは全く違う姿勢である。スリーマイル島原子力発電所2号機(TMI-2)事故の直後は、NRCも厳しい規制を進めていた。しかし、それでは安全に全くつながらないことを認識し、「人

と環境を守る」ために、80年代後半にリスクを規制に導入し、技術的に確立してきた。確かな規制を、産業界と一緒に作り上げてきている。

### 3. 活動原則に立ち返れ

改めて、規制委員会のホームページにある、「組織理念」に書かれた「活動原則」を見てみたい。そこには、5つの原則が明記されている。この原則については、もし、その通りに活動できていれば、NRC並みに「確かな規制」につなげられる。残念ながら、筆者が指摘するまでもなく、どれ一つとして合格点を取ることができていない。逆に、原則と違うことを実施し続けており、どんどん時計を逆方向に戻している。事故の前の悪癖に戻っているといっても過言ではない。ある意味、糞に懲りてなますを吹く、を地でいって、糞に懲りていることを、原則逸脱のエクスキューズにしているようにも思える。

#### (1) 独立した意思決定

「何のものにとらわれず、科学的・技術的な見地から、独立して意思決定を行う。」

科学・技術にとらわれず、感情的な意思決定が極めて多い。例えば、敦賀2号機の断層に関する議論などは、まったく科学的ではない。リスクを理解できず、ゼロ・リスクを求めることは科学ではない。リスクを踏まえて科学的に判断することが必須であるが、残念ながら、委員会の意思決定は、科学にもとらわれていない。

#### (2) 実効ある行動

「形式主義を排し、現場を重視する姿勢を貫き、真に実効ある規制を追求する。」

この4月に導入された品質保証は、正しく導入されれば、安全性を向上することができる。一方、文言の解釈という「形式主義」とらわれており、保安規定などに、より形式を重んじた改正を事業者に強いている。現場というのが規制委員会事務所のある六本木と考えているのではないか。実効性ではなく、文言の解釈にこだわっている。

#### (3) 透明で開かれた組織

「意思決定のプロセスを含め、規制にかかわる情報の開示を徹底する。また、国内外の多様な意見に耳を傾け、孤立と独善を戒める。」

国内外の多様な意見の中で、産業界や被規制者の意見は極めて重要である。アメリカでは規制者も被規制者も、原子力を安全にするために真摯に議論を行う。日本では、お役人様のいう事が聞けないかと、規制者の思いついた非科学的な論理を押し付け、結果的に国民にリスクを強いている。IAEAの総合規制評価サービス(IRRS)においても、2回連続で、議論が不十分であるとの指摘をもらい続けている。

#### (4) 向上心と責任感

「常に最新の知見に学び、自らを磨くことに努め、倫理観、使命感、誇りを持って職務を遂行する。」

思い込みが激しい意思決定を継続している。最新の知見は、STAP細胞ではないが、時には間違っていることもある。厳しい規制という意味を取り違え、都合の良い知見のみを取り入れ、それと矛盾する知見はあえて排除し、もしくは理解できず、自分の主張を通すことが数多くある。間違いを認められない組織に、明日は無い。規制に起因する事故が必ず起きる。

#### (5) 緊急時即応

「いかなる事態にも、組織的かつ即座に対応する。また、そのための体制を平時から整える。」

緊急時対応はシナリオ通りには動かない。いまだにシナリオベースの緊急時訓練を継続している。重要なのは、シナリオを超えた対応が可能かどうかであるが、まだまだである。

### 4. リスクを考慮した規制

原子力発電所は、極めて複雑なシステムの集合体である。プラントの応答や、事故の可能性は、極めて非線形であり、単純ではない。局所的なリスクに対する対策を行えば、そのリスク自体は低減できる可能性があるが、その対策によって、確実に、別の場所にリスクを導入する。アメリカ同時多発テロのあと、飛行機のリスクを回避するため、自家用車での移動に変えた人が多く出た結果、交通事故死が増大したという話は有名である。原子力発電所は、さらに複雑なシステムなので、対策によって思いもよらないリスクを増やすことが数多く存在する。このため、総合的なリスクを考える必要がある。総合的なリスクを定量的に考えるためには、さまざまな指標が存在する。また、現場を主体として考え、対策を取るとともに、安全のパフォーマンスを評価手法として改善を繰り返すことが必要である。

5項目の活動原則が本当に正しく達成できれば、日本国民としてはとてもありがたい。しかし、事故から10年経っても、先祖がえりをして、ますます独善を極めていく。できないことを目標に掲げたいのはよくわかる。そうであれば、できていないことを強く認識し、この活動原則を達成するためにはどうすればよいかを考えない限り、国民は不幸である。事故前の保安院時代の規制のほうが、まだこの5項目に従って活動していたのではないかとも思える。自ら反省し、間違いを認め、活動原則に対してPDCAを回すことが、次の10年に必須であろう。是非、国民のために「確かな」規制を目指してほしい。

#### 著者紹介

岡本孝司 (おかもと・こうじ)

東京大学大学院工学系研究科卒。三菱重工株式会社、東京大学助手、助教授を経て2004年から東京大学大学院工学系研究科 教授。原子力安全、原子力熱流動、新型炉設計、福島第一原子力発電所廃炉、原子力施設廃止措置など。

## 「語りにくさ」を越えて 福島の今を伝える

NHK 福島放送局 大崎 要一郎

「日本がスマトラになるぞ！」

あの日、経験したことのない揺れを感じ、渋谷のニュースセンターに飛び込むと、社会部の災害担当デスクが叫ぶ声が聞こえた。私はその言葉を、どこか絵空ごのように聞いていたが、なぜかいつまでも耳を離れることがなかった。状況は彼の叫んだとおり、いやその想像をも超えて深刻なものとなり、福島は原発事故の惨禍にさらされた。取材の電話口や会見場から聞こえる現実味のない情報の数々。無我夢中で事故の状況を取材し、ニュースを通じて冷静な対応を呼びかけたが、伝える私自身が一番冷静ではいられなかったのかもしれない。幾度となく去来する「まさか…」。自らの不見識と取材姿勢の甘さを悔いるしかなかった。

それから10年が経とうとしている。縁あって私は今も原発事故の取材を続けることが出来ている。立場は東京の取材記者から、地元福島放送局で取材を指揮するニュースデスクに変わった。職場には東日本大震災と原発事故の後に入局した記者が多数になっている。残念なことに福島では、原発事故は今も連日ニュースに取り上げられる「日常の一部」だ。環境中の放射線量は大きく下がり、避難指示の解除も進んだが、時間が経てばたつほど、複雑化している問題もある。福島第一原発のトリチウムを含む水、県民健康調査の甲状腺検査、いわゆる自主避難者への支援等々。意見の対立する問題や、語りにくくなっている問題をどう伝えるか、頭を悩ますことも少なくない。そんな時、瑞々しい感性で先入観にとらわれず取材し、新しい見方を提示してくれているのは若い記者たちだ。本稿では、彼らの視点を通して、原発事故を伝えることの意味を改めて考えてみたい。

### 1. 「かわいそう」でなく「魅力的」な福島の漁業

南相馬支局は、福島における漁業取材の最前線だ。地元の相馬双葉漁協は底引き網漁を主力に、ヒラメやカレイをはじめとする「常磐もの」を水揚げし、東京の市場でも高い評価を集めてきた。しかし、原発事故のあと魚の出荷制限や風評被害が続いてきた中、いまま流通量を調整しながら出荷先での評価を調べる「試験操業」が続いている。漁業者みずから漁の日数や海域などを抑えているため、去年の沿岸漁業の水揚げ量は震災前の14%ほどと、復興というには程遠いのが現状だ。

ただここに来て状況は大きく変わっている。20年9月、そう伝えてくれたのが、同支局の後藤駿介記者だった。ヒラメの鮮魚の取引価格は全国平均と同水準になり、漁協は水揚げの大幅増に舵を切ったのだという。「その状況を全国の人に知ってもらいたい」そう考えていたが、漁協は取材に慎重だった。懸念していたのは切迫しているトリチウムを含む処理水の処分問題だ。「この時期取材を受ければ、せっかくの前向きな機運がそがれてしまうだけでなく、かえって風評を助長するのではないか」。

後藤記者は支局配属3年目。知己の漁業者も多く、彼らの不安はひしひしと感じていた。一方で、原発事故のあと続いていた「怒る漁業者」という描き方には違和感を持っていた。「伝えたいのは、魅力的な相馬の海と漁師たちの姿だ」。思いが通じて取材が動き出し、新しい船の建造や若手の漁業者が増えていることなど、それまでの「かわいそうな福島の漁業」のイメージを変える番組が東北各県と全国に放送された。放送後の反応では、「思い込みが改められた」という声とともに、「この状況を知らずして処理水の放出を検討することはできない」という声も少なくなかった。ステレオタイプな対立構図でなく、ありのままの今を伝えることが、かえって政府に判断の重みを考えさせることにつながる。あらためて後藤記者に教えられた取材だった。

### 2. 忘れられた「自主避難者」

避難指示が出された地域以外から避難したいいわゆる「自主避難者」についての伝え方は、とりわけ福島ではセンシティブになっている。日常を取り戻してきた福島では、月日がたつほど、自主避難者への視線は複雑なものになってきた。事故直後は、政府や科学への信頼が損なわれる中で、多くの人が避難すべきかどうか当事者として苦悩した。それが数年後には、残った人と避難した人との間に感情的なしこりが生まれ、さらに数年して自主避難者が少数になっていくと「まだやっているのか」という空気が感じられるようになった。10年経ち、多くの人にとって自主避難者は過去の存在となり、忘れられつつあるのが実情ではないだろうか。

取材のきっかけは19年7月、福島県が東京・東雲の公務員宿舎に期限を過ぎても入居し続ける自主避難者に通常の家賃の2倍を請求し、退去を迫ったことだった。幾

度も退去を求めた末の決断でもあり、県内のメディアでは請求された当事者の声が大きく取り上げられることはなかった。そんな時、北海道新聞から移籍してきた佐藤志穂記者が、この宿舎で暮らす女性を訪ね、体調の悪化や家族の事情で就職も難しく退去できずにいる事情を聞いてきた。なんとか自立しようと入居先を探すものの、収入は限られ条件にあった物件も見つからないという。退去しないことが違法であるのは事実だ。一方で、取材しなければ見えてこなかったファクトの数々は、彼女たちが原発事故の被害者にほかならないのだということを改めて思い出させてくれた。現在の放射線量からすれば科学的に避難の必要がないことは明らかだが、10年前に狂った人生の歯車は彼女たちの責任だろうか。放送後は「当時のことが思い起こされ、かえって新鮮に感じた」といった反応が寄せられ、先入観を持たずに、古くて新しい課題を掘り起こすことの意義を感じた。

### 3. 放射線と放射性物質について考える

原発事故による被害をもっとも特徴付けているのは、言うまでもなく放射性物質による汚染と被ばくの問題だ。先にも触れたが、放射線量は大きく下がっている。11年11月と19年9月の航空機モニタリングをみると、地表付近の放射線量は平均で78%低下し、年間100 mSvに相当するようなエリアはなくなっている。

こうした中19年7月。当時、福島放送局に勤務していた長谷川拓記者が、県域ニュースの中で、ある文書の内容を紹介した。ICRPのPublication 109および111を改訂する案がまとまり、その中では日本で避難指示解除の要件となっている年20 mSvと平時の基準である年1 mSvの間に、被ばく抑制のための新たな目標値を設定すべきだと提言しているというのだ。「放射線量は下がっているのに今更」とも感じたが、長谷川記者の問題意識は取材実感に基づくものだった。「解除したらあとは大丈夫」と言われても、1 mSvを超えるような地域では住民の間に不安もあり帰還が進みにくいと考えられるから、別な目標を設定することは住民が納得して帰れる環境を整備することに資するのではないかという。この考え方自体は従前のICRPの文書にもあったが、今回は10 mSvを超えない範囲で設定すると具体化されていた。しかし、国はなぜか今もこの目標値を設定しようとしていない。今後、帰還困難区域が解除されていけば、年1 mSvを超える環境で生活することも想定される。国は「詳細な線量マップを作って被ばくりスクを住民に分かるように伝える」というが、長谷川記者は「大事な視点が欠けている」として、「そこで生活したいという住民に安心してもらうために、どこまで被ばくを抑えることが必要なのかは、行政や専門家が住民と一緒に考えていく責任があるのではないか」と指摘した。

一度決めた基準だからと、状況が変化する中でも見直

さずにいる事例は、ほかにもある。20年11月、郡山支局の矢部真希子記者は、棚倉町の重要な文化であり活力でもあったまつたけ狩りができずにいる問題を取り上げた。食品の基準は100 Bq/kgだが、自生するまつたけがこれを下回るには10年単位の時間がかかるとも指摘されているという。ただ、米や野菜など一般の食品からセシウムが検出されることは、ほとんどみられなくなっている中、専門家も「少量を味わうというまつたけの食べられ方を考えれば、100 Bq/kgで一律に制限するのは硬直的だ」と指摘していた。しかし、所管する厚生労働省は矢部記者の取材に「見直しが必要なことを示す新たなデータはない」と回答し、柔軟な運用をする考えもないという。まつたけ組合の男性は「食卓に上がらないと子どもたちも興味を示さず、話題として取り上げることもない。あきらめの境地です」と肩を落としていた。

ともすれば前提としてしまいがちな基準だが、長谷川記者や矢部記者の取材は「基準はいったい誰のためのものなのか」という本質を問うているように思えた。

### 4. 「語りにくさ」という原発事故の罪

本稿で紹介したどのテーマも、人によって見方が異なり、どうすればよいという1つの正解があるわけではない。記者たちからは、「県内では批判を恐れ考え方の異なる人同士で意見を交わすことが難しくなっている」という取材実感聞くことが多い。それが事実であるならば、「福島を語りにくくした」ことが、原発事故の重大な罪と言えるのではないか。しかし、語られなくなった時、もしくは過度に単純化されてしまった時、福島が抱える問題は風化し、固定化されてしまうことになりかねない。先入観のない記者たちのまっすぐな感性は、「語りにくさ」を乗り越える一助となるのではないか。福島の今を伝えるために、私たちは語り続け、問題の本質を問い続けていきたい。

#### — 参考文献 —

- 1) 後藤駿介ほか「よみがえる福島の漁業」  
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20200924/k10012631091000.html>
- 2) 長谷川拓「原発事故が起きた福島で暮らすために」  
[https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci\\_cul/2019/08/story/story\\_190809/](https://www3.nhk.or.jp/news/special/sci_cul/2019/08/story/story_190809/)
- 3) 矢部真希子「食べられないまつたけ」  
<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20201117/k10012714981000.html>

#### 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、2015年～17年に福島放送局、19年から再び福島で勤務。主な取材分野は原子力、科学技術。

# 原子力発電の衰退と後始末

龍谷大学 大島 堅一

## 1. 原子力発電の位置づけの大幅低下

東京電力福島第一原子力発電所事故(以下、福島原発事故)後、電力需給構造とエネルギー政策は大きく変わった。事故前に54基の原子力発電所が稼働していたのに対し、事故後は21基が廃止となった。事故後10年で再稼働にいたった原発は9基にとどまっている。原子力による発電電力量は、ピーク時の3,219億kWh(2000年度)から649億kWh(2018年度)に激減した。発電電力総量に占める割合についてみると、1998年度に36.8%を記録したが、2018年度には6.2%でしかなくなった。

エネルギー政策においても、原子力は基幹電源(2007年エネルギー基本計画)、基幹エネルギー(2010年エネルギー基本計画)から、「ベースロード電源」へと位置づけが大きく後退した。再生可能エネルギーが拡大する中、全国的にみれば「ベースロード電源」ですらなくなっている。

他方で、再生可能エネルギーはエネルギー基本計画(2018年)で主力電源化がうたわれ、大きく伸張している。固定価格買取制度をへて日本でも発電コストが低下してきており、近い将来、国際価格(太陽光、風力ともに6円/kWh台)に収斂し、ますます利用が増える。国もまた2020年7月に「再エネ型経済社会」を創造するという方針を打ち出した。原子力発電は、負荷追従運転が難しい電源である。仮に負荷追従運転を行いたとしても設備利用率は大きく下がる。原子力発電は落日のときを迎えている。

## 2. 経済性の喪失

原子力発電事業が終焉を迎えている事実は、経済性の喪失にも現れている。原子力発電を今後も利用するのであれば、何よりも経済性が確立されていることが決定的に重要であるが、経済性は悪化しつづけている。

かつて原子力発電は、経済性に優れた電源であるとされていた。2015年に総合資源エネルギー調査会のもとに設置された発電コスト検証ワーキンググループ(2015)の試算結果では、標準的ケース(設備利用率70%、40年運転)で、原子力発電が相対的に最も安価(10.1円/kWh以上)であるとされた。

2015年の試算で安価とされた理由は、試算にあたっての想定と計算方法にある。この試算では、福島原発事故前に建設された発電所を2014年または2030年に建設し、かつ、2015年当時の追加的安全対策工事費がかかるとしている(モデルプラント1基当たり601億円程度)。

事故リスク対応費用については、当時の事故費用を踏まえ12.2兆円程度とされた。加えて、1kWh当たりのコストに計算する方法に変更が加えられ、事故対応費用総額が増えているにもかかわらず1kWh当たりのコストが安くなるようになっていた。原子力発電のコストが安価である理由は、大雑把に言えばここにある。

試算後5年を経て、発電コスト検証ワーキンググループの試算は早くも現実にそぐわなくなっている。これまでに投じられた追加的安全対策工事費は、平均して1基当たり2,000億円を超えている。事故費用は2016年の東京電力1F問題委員会の政府想定で21.5兆円になっている。また日本経済研究センター(2019)は事故費用総額を35~79兆円とみている。追加的安全対策工事を必要としない安全性の高い原子力発電所を建設するための費用は、欧米諸国で高騰している。2018年4月にExelonの副社長が述べたように、すでに原子力発電所を新規に建設することは経済的にありえない(S&P Global, Platts, 12 April 2018)。

では、日本に残された既設の発電所はどうか。再稼働にいたった関西電力、九州電力、四国電力の原子力発電所に関し、発表された2011年度以降の追加的安全対策工事と、残された運転期間を前提に筆者が試算したところ、これらの既設の原発についても経済性が損なわれていることがわかった。費用が増大しているだけでなく、これらの原子力発電所は運転開始以来かなりの年月がたっているため、残された運転期間が短くなっているからである。

計算においては、発電コスト検証ワーキンググループが公表しているエクセル表をそのまま利用し、2011年度以降に要した費用のみを考慮、発電期間を現在残されている運転期間とした。すると、社会的費用(事故費用と政策経費)を含め設備利用率70%にするという標準的ケースで、最も安価な原子力発電所は大飯発電所4号機で13円/kWh程度、最も高いのは川内1号機で27円/kWh程度であると推計された。もちろん、社会的費用を電力会社は支払わず、社会が支払っているため、電力会社にとって発電コストは社会的費用の分だけ安くなる。社会的費用部分を考慮しなければ、例えば大飯3、4号機の場合、発電コストは9~10円/kWh程度になる。だが大飯3、4号機は例外で、他の原子力発電のコストは高く、12円/kWh以上となる。

未稼働原発にいたっては、稼働しないまま追加的安全対策工事が増大しているため、仮に2022年度に再稼働を果たしたという楽観的想定をしたとしても経済性は全くなく、最も安価な泊3号機で13円/kWh程度、その他はどの原発も20円/kWhを遙かに超える発電コストとなっている。電力会社が福島原発事故後に再稼働を目指したのは、安全対策工事が比較的安価で、かつ、短期間のうちに再稼働できると考えたからであろう。民間企業として、その判断が誤っていたことは明らかである。

筆者には、民間企業たる電力会社が、今もなお原子力発電になぜ固執するのか、合理的解釈ができなくなっている。一般の民間企業であれば、生産費が上がり続ける設備に何年も投資を続けるのは不合理である。原子力発電が維持できるのは、事故が起きた場合の費用負担を免れられるような制度が構築されたこと、容量市場の創設によって既設の発電所に対して容量確保契約金が支払われるようになったこと等から、かろうじて延命されているからにはほかならない。原子力発電は、国の支援無しには生き残れないものになっている。

全国をみわたすと、原子力発電所の安全対策に5兆円を超える費用が投じられてきた。ここまで多額の資金を費やしてしまった以上、電力会社も、また原子力発電を後押ししている国も、引くに引けない状況になっているのかもしれない。とはいえ、今後も、原子力発電の稼働が、福島原発事故以前のような状況に戻るとはもはや考えられない。幸い、原子力発電所をもつ大手電力会社の経営状況は堅調であるし、原子力発電推進に期待する国民の声はほとんどない。延命策(ないしは激変緩和策)が講じられているうちに、できる限り早期に撤退するのが原子力事業者にとって賢明である。

一部で小型炉や高温ガス炉等に可能性を見いだそうとする向きもあるものの、実験炉、原型炉、実証炉を経て商業炉にいたるまでに一体どれだけの時間と費用を注ごうというのであろうか。自由化された電力市場のもとでは、民間企業自らが技術開発し、実用化できるものでなければならない。そのような可能性を民間企業が自らの責任で追求するのは自由だが、国に助けをもとめることには道理がない。

### 3. 原子力発電の廃止に向けて市民に意思決定を委ねよ

原子力発電は、今後さらに停滞していくだろう。好むと好まざるとにかかわらず廃止となる原子力発電所の数は増大する。原子力発電は、後始末事業こそがメインになる。

原子力の後始末事業には課題が山積しており、どれも放置できない。

まず、福島第一原子力発電所の事故に関しては、サイト内での作業および、ALPS処理水を含む放射性物質の管理や処分が必要である。またサイト外では、除染にと

もなう除去土壌や廃棄物の管理と処分に大きな困難がある。原発事故被災者の真の復興も道半ばであり、2020年になっても避難者は約3万7千人いる。

事故を起こしていない原子炉の廃止、放射性廃棄物の処分もこれからである。加えて、原子力発電が衰退する以上、もはや使用済核燃料の再処理は不要であるから、核燃料サイクル政策にも終止符をうつ必要がある。当然ながら、六ヶ所再処理工場を中心とする核燃料サイクル事業関連施設の廃止も必要になる。

日本は、他国と異なり事故を起こしたため、二重の課題がある。これらの解決には膨大な時間と労力、費用が必要となる。これらの取り組みは、民間企業だけで担いきれないし、次世代を含む国民の理解なしに国ですら実行困難である。

われわれの世代、なかでも原子力発電に関わってきた現代の人々は、原子力発電で利益を得ながらも、その後始末を自らの手で完遂できそうにない。少なくとも、われわれの世代は、次の世代の人に巨大な負債を一方的に押しつける身勝手な世代であると言えそうである。

長期にわたる負の遺産の処分は、現代の事業者が責任を負いきれず、国民の手を借りざるをえない。そうである以上、福島原発事故後も続く原子力事業の閉鎖的体質を改める必要がある。具体的には、全ての意思決定プロセスを透明にし、情報を完全に公開し、長期にわたって民主的に管理すること、その上で将来世代にとって最も安全な選択肢を残すことである。そのためには、原子力発電の後始末については、考え得るかぎり広範な市民が文字通り関与できるようにし、意思決定を市民に委ねる必要がある。原子力発電から利益を得てきた人々が、負の遺産を担う次世代に対してできる唯一のことは、原子力発電における民主主義の基盤構築である。

巨大な負の遺産を手渡された若者は、「私たちに一体何ができるのか」と問うだろう。私たちは自ら何をし、彼らにどう答えるのだろうか。

#### － 参考文献 －

- 1) 発電コスト検証ワーキンググループ(2015)「長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告」5月。
- 2) 日本経済研究センター(2019)「事故処理費用、40年間に30兆～80兆円に」3月7日。

#### 著者紹介

大島堅一(おおしま・けんいち)

一橋大学大学院経済学研究科博士課程単位取得、博士(経済学)。高崎経済大学経済学部、立命館大学国際関係学部を経て、2017年から龍谷大学政策学部教授。2011～12年に総合資源エネルギー調査会基本問題委員会委員、コスト等検証委員会委員。

# 事故から 10 年、今後の原子力のあり方

元日本原子力産業協会 北村 俊郎

## 1. 地元に辛い思いをさせない決意

10年前の3月12日の午後、私が避難先の体育館で無音のテレビを見ていると地元テレビ局の定点カメラが福島第一原発の水素爆発を捉えた。その時、頭に浮かんだことは高濃度の放射性物質が広い地域に拡散する事態に国も自治体も電力会社もほとんど準備や訓練が出来ていないこととこれからの原子力政策、原発運営に与える影響の大きさだった。

現場の底力といまだ説明されていない事象で事故は収束に向かったが、廃炉はスタートから難航し新たな問題も発生している。この10年間、過酷事故の地元への影響は想像以上で、対応に時間がかかり費用が膨らんだ。前例のない多額の賠償が行われ、精神的苦痛や故郷喪失なども金銭で償われた。その結果、皮肉にも避難した人々は避難先などに家を建ててしまい、避難指示が解除されても元の家は放置された。

帰還困難区域の住民は文字通り現在も帰還出来ていない。私もその一人だ。関連死、風評被害も続いている。この10年間に住民の1割が亡くなっており事故は記憶から記録に移りつつある。過酷事故による避難は住民にとって不条理なものであり、私は避難しながら「いかに原発に利点があろうとも、住民にこのような辛い思いをさせてはいけない」と強く思うようになり、それが原子力問題を考える原点となっている。

## 2. 原子力への情熱

これから廃炉が進むにつれて事故原因が次第に解明され規制基準などへ反映されていく。対策が難しいのが背景となったいわゆる原子力村の体質問題だ。巨大組織は共同体化しがちで動きは鈍く守りの姿勢になっていく。困難が立ちはだかると政治力や経済力で突破しようとする。その結果、社会との摩擦や断絶が起き大事故のリスクも高まる。プレートに歪が蓄積し続け、ある日突然大地震が起きる。大事故も似たような経過を経て起きるのだ。

そうならないためには関係者が原子力のリスクに対して強い関心を持ち続けることだ。初の商業炉である東海発電所が運転を終えた時、建設から発電まで携わった大先輩が「大事故を起こさず運転を終えることが出来、心から安堵した」と私に語ったのを今思い出す。「今回の事故は開発から40年経ち、関係者のリスクに対する関心が緩んだために見落としと妥協があったのではないか」が

私の見方だ。

原子力は「全人類のため」にやる。これが「業界のため」、「会社のため」、「自分たちのため」となると原子力は危うくなる。平和利用三原則の民主・自主・公開に反していないか、共同体内で互いに甘えていないかと目を光らせる必要がある。原子力を大切に守り育てる情熱を取り戻すこと。それこそが原子力カルネッサンスだ。

## 3. 現在はエネルギーの大変革期

原子力のあり方を考える際、今起きているエネルギー分野の大変革を理解しておく必要がある。現在の主なエネルギー源である化石燃料は地球温暖化の原因であるため使用を抑制すべきとされ、石炭火力発電に反対する風潮は強まるばかり。日本の火力発電の半分を所有するJERAは古い発電所の廃止、水素の燃焼、二酸化炭素の貯留・活用などをして2050年までに実質二酸化炭素排出ゼロを目指すと表明した。遅れて政府も同じ目標を掲げて欧州などと歩調を合わせた。

ここ10年で太陽光発電が82%、風力発電が39%も発電コストを下げ、大半の国で太陽光発電が火力発電より安くなった。日本では太陽光発電がFITで急拡大し、再生可能エネルギーが発電量に占める割合が2020年1~6月期に23%と現行エネルギー基本計画の2030年目標値をクリアした。産業界もSDGs、RE100など再生可能エネルギーの使用に積極的になっている。

再生可能エネルギーの欠点である出力不安定さに対しては世界中で蓄電池、熱、水素、慣性などの電力貯蔵技術の開発が行われている。蓄電池価格は10年間で半分之一になり蓄電池併設の風力発電所なども建設されている。さらに仮想発電所、分散型のシステム構築など電力安定需給に資するさまざまな挑戦が続いている。

日本には2,700万キロワットもの揚水式水力発電所がある。もともと原発のために造られたが、現在は太陽光発電による昼間の余剰電力の貯蔵に使われている。海外には条件の良い場所での太陽光発電で水素を製造しタンカーで消費地に運搬する構想や何千キロもの海底ケーブルで再生可能エネルギーによる電力を、国境を越え直流送電する計画もある。

風力発電の発電コストは海外では陸上で6~13円/kWh。洋上も2030年までに7円/kWhを切ると見られている。日本近海には洋上風力発電の大きなポテン



シャルがあることが判っている。近年、海域利用に関する法改正で開発意欲が高まり外資も参入し大規模な洋上風力発電所の建設計画が続々と発表されている。

再生可能エネルギーを拡大するには送電線接続制限がネックになっているが、既設の送電線の運用方法を変更すれば従来の2倍の容量が確保出来ることが政府系研究機関で確認され東京電力管内で一部運用されている。

各国の原子力に対する取り組みは福島第一原発の事故後、さらに推進、廃止、現状維持に分化している。欧米日韓では安全対策強化で建設コストが上昇し、受注のないメーカーは弱体化し、建設技術を持つ国は中露に絞られ込まれつつある。日本では原発の再稼働と廃炉、使用済み燃料の乾式貯蔵、最終処分場探しに焦点が当たっている。

#### 4. これからの原子力の役割

日本では電力需要の減少が予想される中、再生可能エネルギーによる自給自足の拡大、地域ネットワークの形成、電力供給に関する消費者向けの新サービス、新ビジネスが始まっている。現在、発電量の77%が火力発電によって行われているが、これを30年以内に他の電源で代替しようとした時、原子力はどのような役割を果たせるのだろうか。

いまだに人々の原子力に対する不安感は払拭されないまま、再稼働も建設も進まず、原子力に関連する組織・人材の維持が困難になっている。新規規制基準対応の工事が一段落するとメーカー、工事会社の受注が急減する。

原発は二酸化炭素フリーのうえ稼働率が高く出力は安定し強靱性にも優れるなどの利点はあるものの、建設、廃棄物処分ともに社会の同意を取り付けることが難しい。再生可能エネルギーが毎年コストを下げている中で原発の発電コストが高止まりし、新たに建設しようとする意欲は起きにくい。このままでは原子力の役割は現在ある原発の再稼働と60年運転にとどまることになる。

さらなる大きな役割としては、温暖化による異常気象でより頻繁に大災害が起きるようになった場合、原発の再稼働と60年運転だけでなく、原発を増設し二酸化炭素排出ゼロ実現の前倒しに貢献することである。高温ガ

ス炉で水素を効率よく大量に製造することも役割となる可能性がある。

大型台風が上陸し瞬間最大風速50メートル以上の強風が吹くと太陽光発電所や風力発電所に大きな被害が出るのが予想される。その場合は再生可能エネルギーの依存度を下げ、より強靱な原発や水素燃焼の火力発電を増やさざるを得ない。原発や火力発電所にも高潮などの対策の強化が必要となる。また、共通の課題として送変電設備の強靱化と海底ケーブル、地下ケーブルの採用がある。

異常気象は世界各地でも猛威をふるうため、海外でも原発の設計、建設、部品の製作など日本メーカーの活躍の場が開かれる。

国はさまざまな手法で経済的支援をしてコスト高の原発の存続を図るが、最終的には原発の電力を固定価格買取制度で買い上げるかNY州のようにゼロ・エミッション証書制度で支援金を与えることになる。また、併せて国が主導して原発を所有している電力会社の原発部門の統合、BWRメーカーの合併、各国立大学の原子力工学科や研究機関の統合なども行われる可能性がある。

この先、多くの地方自治体が人口減少と高齢化により財政困難に陥り次々に消滅の危機に直面する。原発などの立地自治体は、廃炉が終了するまでは核燃料税などの税収と地元雇用と地元発注が確保され消滅を免れる。そうすると立地自治体が原発の再稼働や建設の要望を次々と出すようになることが予想される。最近の北海道の2自治体の最終処分地調査受け入れ表明はその先駆けと考えられる。

これからの原子力開発が、国や原子力業界の独断先行ではなく、国民や消費者の選択と立地自治体の希望により進められるようになることが期待される。

#### 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。

# 安全性向上の諸方策の実装～個別的提言から統合へ

(株)テムス研究所 北村 正晴

## 1. はじめに

東京電力福島第一発電所事故(以下、1F事故)直後から筆者は、本誌や他の学術誌においていくつかの提言をしてきた。「想定外」問題の本質とレジリエンスエンジニアリング(REと略)ベース安全学の必要性<sup>1)</sup>、安全の実現には理念や原則の提示に加えて実装への道筋まで示すべきこと<sup>2)</sup>、そしてノンテクニカルスキル(non-technical skill: NTS)訓練の重要性<sup>3)</sup>などがその骨子である。小生よりはるかに大きな影響力がある有識者の方々ももちろん多岐にわたる提言を示されてきている。

しかしながら、最近になって気になってきたことがある。研究者向けの提言ならともかく、現場応用を指向した提言である場合、現場側にはそれらを受け入れる余裕がどこまであるかという懸念である。筆者自身、「REの考え方が有意義なことは理解できた。しかしそれをただでさえ多忙な日常業務の中に、どのように組み入れていけばいいのか見当がつかない」という声に何度も接している。他の提言についても、現場は類似の苦悩を抱えているのではないかと推察する。この現場の苦悩を低減する方策を検討し提示することは、提言を行った人間側の責任であろう。本稿では筆者自身が行ってきた提言内容に関して、それらが現場の負担をあまり高めることなく実装されるための工夫について検討した結果を記す。

## 2. レジリエンスエンジニアリングと運転員訓練

### (1) レジリエンスエンジニアリング

前述の通り、筆者は1F事故直後からREを紹介し、その重要性を指摘するとともに基本概念と実装方策について説明してきた。さらに、「安全」概念自体の見直しが必要であると言う先駆的提言と、それを受けたSafety-IとSafety-IIという安全概念も紹介してきた。ここでSafety-Iは従来から実施されている安全探求方法論が目指している安全概念である。この考え方では「うまくいかないこと」の数をできるだけ減らすことを通じて安全を実現することが目的とされる。他方、安全概念Safety-IIでは、「うまくいくことの数」をできるだけ増やすことを通じて安全を実現することが目的とされる。Safety-IIはSafety-Iを否定するものではなく包含するものである。そして複雑・大規模な社会技術システム(socio-technical system)が目指すべき安全はSafety-IIであり、このSafety-IIを実現する実効的な方法論がRE

である。

REの考え方をごく簡単に要約すれば次のようになる。

着目する社会技術システムがレジリエントであるためには下記の4つのポテンシャルが必要である。

- 対処するポテンシャル：変化、外乱、好機などに対して何をすべきか知っていること
- 監視するポテンシャル：近い将来に組織のパフォーマンスに影響を与えうる事象を監視できること
- 学習するポテンシャル：経験から、特に適切な事例から適切な教訓を学べること
- 予見するポテンシャル：システムの動作環境は変化するので過去の学習だけでなく将来の予見が必要

これら4つのポテンシャルが必要な理由は容易に理解されよう。大規模な外乱などが起きたときに的確に対処できない組織は存続できない：何かが起きかけている段階で監視できない組織は対処が後手に回るので被害は大きくなり存続が困難になる：経験から学習できない組織は当初有していた対処策しか持たないので、いずれ環境に適合できなくなる：さらに過去の経験から学習するだけでは不十分で、起きる可能性のある未来の事象を予見できない組織は対処能力不足で存続が困難になる。

このように考えれば、社会技術システムにとって上の4つのポテンシャルが必要という指摘はごく自然で常識的とも言える内容である。

この方法論を現場に導入するための具体的方策も複数提案されている。組織のレジリエンスポテンシャルを評価するためのResilience Assessment Grid (RAG)という技法はその一例である。この技法では、着目する組織の構成員を対象として、4つのポテンシャルの現状に関する質問紙調査をすることを通じて、その組織のレジリエンスの現状がプロファイリングされ評価される。この技法の原子力現場への応用について筆者らは複数の場で試行を行い、肯定的な反応も得ている一方で、体系的な導入に関してはIで示したような課題に直面している。

### (2) ノンテクニカルスキル訓練

REの重要性に加えて、人間の危機対応能力の向上のためのNTS訓練の導入も提言してきた<sup>3)</sup>。技術を担当するチーム(例えば航空機の場合はコックピットの乗員)が高い技術的スキル(technical skill; TS)を有していることは当然必要である。しかし複雑な業務を的確に遂行す

るにはチーム構成員それぞれがTSに加えて、NTSも高いレベルにあることが必要である<sup>3)</sup>。

NTSは、より詳細には認知的スキルである「状況認識、意思決定」と社会的スキルである「チームワークまたはリーダーシップ、コミュニケーション、ワークロードマネジメント」などから構成される。そして認知的スキルの中の状況認識は「情報の収集、収集された情報の解釈、未来の状態の予見」、意思決定は「問題の定義または診断、選択肢の生成、選択肢の評価と選定、結果のレビュー」などの構成要素から成るとされている。

NTS強化を目指した訓練については、原子力安全推進協会(JANSI)や原子力安全システム研究所(INSS)が、原子力発電所の構成員を対象とした実践を精力的に展開している。筆者はこれらの組織と連携して支援を行ってきた。

さて、本稿の主題に論点を戻そう。原子力発電所現場の安全性向上のためには、REポテンシャル、NTS、そしてその基盤を支えるTS、いずれも重要な意味を有している。しかし、それぞれの技法の学習・習熟には相当の時間を要する。そうすると、ただでさえ多忙な原子力発電所の実務者、とりわけ運転や訓練の担当者は教育訓練のカリキュラムが膨大になって苦労しよう。1F事故の以前と比べて、過酷事故対応訓練、新規に導入された機器の操作訓練などが山積している。その状況にさらにREポテンシャル向上訓練、NTS向上訓練などを追加措置的に要求することには慎重であるべきであろう。

### 3. 提言の現場導入

上記のような問題意識を踏まえて筆者らは、REポテンシャルとTS、NTSとの関係性について検討を進めてきた。詳細な検討プロセスは紙数の制約から省略するが、その結果として、以下のことが明らかになっている。

- REポテンシャルを高いレベルで発揮させるためには、TS、NTSのレベルも高いことが必要である。対処するポテンシャルだけに着目しても、TS、NTSが低いレベルのチームでは、対処ポテンシャルが高いことは期待できない。TS、NTSはREポテンシャルが高いレベルで機能するための基盤的スキルと位置付けられる。
- 一方でREポテンシャルが強化されればNTS、さらにTSまでも向上することが期待できる。対処する、監視する、予見するなどのポテンシャルが高い技術者においては、課題解決のためのTSや、状況認識、意思決定などの認知的スキル(NTS)が高いレベルで機能する。言い換えればREポテンシャルはTS、NTSが高いレベルで機能するためのメタ知識としての役割も有している。

このように考えると、REポテンシャル、TS、NTSは別々に定義される能力ではなく、優れた現場技術者が有するプロフェッショナルとしての知識、スキル、姿勢などの総体を異なった視点から捉えた特徴づけである、と理解することが妥当に思われる。熟練した航海者の高い能力や規範的自覚、態度などの総体を指すシーマンシップという表現は古くからよく知られている。REポテンシャル、TS、NTSなどはシーマンシップに代表される優れた現場技術者の能力を複数の視角から注視した結果として見えてくる能力のある側面と考えるべきなのである。

### 4. 統合への方策

上記の認識を踏まえば、一見別々のテーマであるかのように見えるREポテンシャルの向上、TS、NTSの向上のための教育訓練は、個別的・逐次追加的(アドオンの)になされるべきではなく、統合的になされるべきということになる。統合化の具体的な方策としては、最も重要かつ基盤的な意味を持つTS教育を中心としつつ、例えばマイクロインサージョンのような方式でREポテンシャルやNTSを強化する機会を入れ込む、といった方式が効果的と考える。

### 5. むすびにかえて

1F事故に関する政府事故調査委員会(通称、畑村委員会)や民間事故調査委員会(通称、北澤委員会)の報告書には、対外コミュニケーションや組織内コミュニケーションの機能不全が安全に悪影響を与えたという認識が明記されている。安全の確保とコミュニケーションは通常の原子力組織では異なった部局が担当している。しかし実際にはこれらの活動も統合的になされるべきなのである。またヒューマンエラー防止と品質保証、安全文化などに関しても適切に統合されるべきという趣旨の指摘もある。このように筆者が直接関わりを持つ分野だけに目を向けても、要請や提言を個別積み重ね的に行うのではなく統合化すべき課題は多い。

1F事故から10年、原子力の現場には多くの方面からさまざまな提言が寄せられている。個々の提言内容はそれぞれ貴重なものだが現場の実務担当者の人員数や作業時間などは制約されている。個別の優れた提言が、既往の技術実践に適切に接続・統合されるやり方を含めた形で提示されることを期待したい。

#### — 参考文献 —

- 1) 北村正晴, 原子力安全論理の再構築とレジリエンスベースの安全学, 日本原子力学会誌, 54(11), 721-726(2011).
- 2) 北村正晴, 理念を実践につなぐ; 求められるのは具現化への道筋, 日本原子力学会誌, 55(4), 212-216(2013).
- 3) 北村正晴, レジリエンスエンジニアリングが目指す安全Safety-IIとその実装法, IEICE Fundamentals Review, Vo.8, No.2, 84-95(2014).

# 戦略も司令塔もなく漂流する原子力政策

国際大学 橘川 武郎

## 1. まだら模様のエネルギー改革

東京電力(東電)・福島第一原子力発電所の事故(福島第一原発事故)から、10年の歳月が経過した。同事故が国民的課題としてつきつけたエネルギー政策の根本的見直しは、進展しただろうか。結論を先取りすれば、甘く見てもエネルギー改革の到達点は分野ごとに大きく異なっており、まだら模様のままであり、肝心の原子力改革については目立った進展がみられないなど、全体としては、残された課題の方が大きいと言わざるを得ない。

エネルギー改革の諸分野のなかで比較的進展がみられたのは、電力・ガスのシステム改革である。電力については、16年に小売全面自由化が実施され、20年には法的分離方式による発送電分離も遂行された。一方、ガスについても、17年に小売全面自由化が実施されたのに続いて、22年には大手3社(東京ガス・大阪ガス・東邦ガス)の導管部門の法的分離が行われる。

## 2. 「叩かれる側から叩く側に回る」

政府が電力・ガスシステム改革については積極的でありながら、原子力改革に関しては消極的な姿勢をとるのは、なぜだろうか。その答えは、システム改革は票になるが、原子力改革は票にならない(場合によっては、票を減らす)ことに求めるのが、自然であろう。

日本の原子力開発は、「国策民営」方式で進められてきた。福島第一原発事故のあと、事故を起こした当事者である東電が、福島の被災住民に深く謝罪し、ゼロベースで出直すのは、当然のことである。ただし、それだけで済まないはずである。国策として原発を推進してきた以上、関係する政治家や官僚も、同様にゼロベースで出直すべきである。しかし、彼らは、それを避けたかった。そこで思いついたのが、「叩かれる側から叩く側に回る」という作戦である。

この作戦は、東電を「悪役」として存続させ、政治家や官僚は、その悪者をこらしめる「正義の味方」となるという構図で成り立っている。うがった見方かもしれないが、その悪者の役回りは、やがて、東電から電力業界全体、さらには都市ガス業界全体にまで広げられたようである。一方で、政治家や官僚は、火の粉を被るおそれがある原子力問題については、深入りせず先送りする姿勢に徹した。このように考えれば、福島第一原発事故後政府が、電力システム改革や都市ガスシステム改革には熱心に取り組みながら、原子力政策については明確な方針

を打ち出してこなかった理由が理解できる。熱心に「叩く側」に回ることによって、「叩かれる側」になることを巧妙に回避したのである(誤解が生じないように付言すれば、筆者は、電力や都市ガスの小売全面自由化それ自体については、きわめて有意義な改革だと評価している)。

結果として、福島第一原発事故後10年が経過したにもかかわらず、原子力政策は漂流したままである。次の選挙・次のポストを最重要視する政治家・官僚の視界は、3年先にしか及ばない。しかし、原子力政策を含むエネルギー政策を的確に打ち出すためには、少なくとも30年先を見通す眼力が求められる。このギャップは埋めたいものがあり、そのため、日本の原子力政策をめぐっては、戦略も司令塔も存在しないという不幸な状況が現出するにいたったのである。

## 3. 原発リプレースと依存度低減

原子力政策の漂流は、どのような問題をもたらしめているのか。まず、18年に閣議決定された第5次エネルギー基本計画が、原子力について、2050年時点でも「実用段階にある脱炭素化の選択肢」になると高い位置づけを与えたにもかかわらず、原発のリプレース(建て替え)への言及を避けたことが大問題である。と言うのは、リプレースがなければ、原子力発電が脱炭素化の選択肢になることはないからである。

現存する33基の原子炉について言えば(建設中の中国電力・島根3号機と電源開発・大間は、運転開始時期が未定のため、ここでは議論から除外する)、たとえ、これらのすべてについて、運転期間の60年間への延長が認められたにしても、50年末に稼働しているのは18基にとどまる。その後、短期間のあいだに、稼働中の原子炉基数は急減する。60年末には5基(北海道電力・泊3号機、東北電力・東通/女川3号機、中部電力・浜岡5号機、北陸電力・志賀2号機)、65年末には2基(泊3号機、志賀2号機)となり、69年12月に泊3号機が停止すると、皆無となる。これではとても、原子力を長期的に有効な「脱炭素化の選択肢」とみなすことはできない。

何らかの形で今後も原発を使うのであれば、危険性を最小化するため、同一原発敷地内で古い原子炉を廃棄し最新鋭の原子炉に置き換えるリプレースを行うことが、責任ある立場というものである。しかし、政府は、リプレースに関する真正面からの議論を回避し、小手先の運転期間延長という方策のみを追求している。このような

姿勢は、「無責任な原発回帰路線」だと言わざるをえない。

もちろん、原発のリプレースのみを強調するのでは、「原発依存度を可能な限り低減する」という国民世論の期待や安倍晋三内閣が掲げていた公約と平仄が合わなくなる。リプレースを行うにしても、2030年度の原発依存度は15%程度にまで押し下げるべきである。古い原子炉を積極的に廃止し、可能な限り低い依存度の枠内で原発リプレースを進めることが、将来において原発を使用する際の唯一の責任ある道だと言える。

#### 4. バックエンド問題とその解決策

原子力政策の漂流がもたらしたもう一つの大問題は、高レベル放射性廃棄物の処理問題(バックエンド問題)である。バックエンド問題は、原発への賛否にかかわらず社会全体が解決を迫られている重大問題だが、どのような解決策がありえるのだろうか。

14年に閣議決定された第4次エネルギー基本計画では、使用済み核燃料の最終処分に関して、国が前面に出て対応する方針を打ち出した。しかし、国が主導権をとったとしても、高レベル廃棄物の最終処分問題がすぐに解決するとは、到底思えない。

バックエンド問題に対処するためには、使用済み核燃料を再利用するサイクル方式をとるにしろ、それを1回の使用で廃棄するワンスルー(直接処分)方式をとるにせよ、最終処分場の立地が避けて通ることのできない課題となる。この立地を実現することは、きわめて難しい。

最終処分場では高レベル廃棄物を地下深く「地層処分」することになるが、その埋蔵情報をきわめて長い期間にわたって正確に伝達することは至難の技である。サイクル方式をとれば危険な期間は短縮されるかもしれないが、それでも「万年」の単位にわたるといふ。つまり、伝達期間は少なくとも何百～何千世代にも及ぶことになる。原発推進派のなかには「地層は安定しているから大丈夫だ」と主張する向きもあるが、それでは地上はどうなのだろうか。例えば、プルトニウム(239)の半減期は2万4000年だが、2万年前には北海道はアジア大陸と陸続き、本州から種子島まで陸続きで、日本列島の姿は今とはまったく異なっていたという。地層自体はたとえ「安定」していたとしても、その埋設地が地上でなくなり、海中に沈んでしまうおそれがあるのだ。

したがって、高レベル廃棄物の危険な期間が万年単位のままでは、いくら政府が前面に出ても、最終処分地が決まるはずはない。最終処分地の決定には危険な期間を数百年程度に短縮する有害度低減技術の開発が必要不可欠である。高レベル廃棄物の有害度低減技術の開発については、その困難性のゆえに否定的な見解をもつ識者も多いが、どんなに高いハードルであってもそれをクリアしない限り、あるいは少なくともそれにチャレンジしない限り、人類の未来は開けないと言えよう。

もし、最終処分場の立地が実現することがあるとすれば、それは、高レベル廃棄物の容量が小規模化し、危険な期間が大幅に短縮された場合だけだろう。この小規模化と期間短縮は「減容化・有害度低減(毒性軽減)」と表現されるが、14年策定の第4次エネルギー基本計画は、「もんじゅ」の高速炉技術を、もともとの目的であった核燃料の増殖のためでなく、高レベル廃棄物の減容化・毒性軽減のために転用するという方針を打ち出した。

この「もんじゅ」に対する第4次エネルギー基本計画の方針は、正しかった。ところが政府は、政治的理由で16年に「もんじゅ」の廃炉を正式決定した。18年の第5次エネルギー基本計画の策定にあたっては、「もんじゅ」に代わる毒性軽減炉開発のきっかけをどう明記するかが一つの焦点となったが、結局、抽象的な記述に終始し、ここでも、問題は先送りされた。「もんじゅ」に替えて、どのように減容炉・毒性軽減炉開発を進めるのか、これが、バックエンド対策構築の第1のそして最大の焦点となる。

ただし、バックエンド問題の解決には時間がかかるから、その間、原発敷地内に、燃料プールとは別の追加的エネルギーを必要としない空冷式冷却装置を設置し、「オンサイト中間貯蔵」を行うことも求められる。これが、バックエンド対策構築の第2の焦点である。

さらに言えば、きわめて困難とされる減容炉・毒性軽減炉に関する技術革新が成果をあげず、バックエンド問題が解決しないこともありうる。その場合に備えて、「リアルでポジティブな原発のたたみ方」という選択肢も準備すべきだ。バックエンド対策構築の第3の焦点となる「リアルでポジティブな原発のたたみ方」の柱となるのは、①火力シフト(送変電設備を活用した原子力発電から火力発電への転換)、②廃炉ビジネス(旧型炉の廃炉作業などによる雇用の確保)、③オンサイト中間貯蔵への保管料支払い(使い終わった電気が生み出した使用済み核燃料という危険物質を預かってもらうことに対して、消費者が電気料金等を通じて支払う保管料)、からなる原発立地地域向けの「出口戦略」だ。このような出口戦略が確立すれば、現在の立地地域も、「原発なきまちづくり」が可能になる。

ここまで述べてきたように、原子力政策は漂流している。この閉塞状況から脱却しない限り、日本におけるエネルギー改革は進展しない。福島第一原発事故後10年の地平に立ってわれわれは、この現実を直視し、原子力政策のゼロベースからの再構築に取り組まなければならない。

#### 著者紹介

橘川武郎(きっかわ・たけお)

東京大学大学院経済学研究科博士課程単位取得退学。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、東京理科大学教授を経て2020年から国際大学教授。総合資源エネルギー調査会委員。

## 事故調査委員会報告書から考える

日本科学技術ジャーナリスト会議 小出 重幸

2011年の東京電力・福島原発事故を象徴するものは、被災地域のみならず、市民生活や経済全体を巻き込んだ、極めて大規模な社会的混乱だった。それは技術的な問題を超えて、“原子力を支える人たちへの不信”という形で広がり、社会的信頼の失墜は今も、行政、原子力技術、電力業界など、広い領域に及んでいる。「失った信頼」を取り戻すにはどんな努力が必要か。「事故調査報告書」という視点から、その手がかりを考えてみる。

全16巻、4,000ページ、その調査特別委員会の報告書を見たとき、まず、おどろいた。

英国政府が2000年10月に発表した、狂牛病(BSE)に関する調査特別委員会報告書(BSE Inquiry Report 2000)だ。肉牛が感染、そして人間への感染を拡大させた狂牛病(BSE)の発生経過、失敗の状況、対策および妥当性を、広範囲に聴き取り調査し、資料を分析、科学的な吟味を加えながら、何を、どう失敗したのか、極めて詳細に記述している。

1986年、英国で最初の感染牛が確認されてから10年間、政府と科学界は「人間には感染しない」という誤った情報を発信。その結果、英国内で169人の死者を出したばかりでなく、家畜と人間への感染を世界各国に拡散、人的犠牲だけでなく、世界中の畜産業界も大打撃を受けた。英国政府、科学界の信頼は地に落ち、科学不信が渦巻いた時期、独立調査特別委員会が政権からの財政支援で設置され、4年間かけてまとめたものが、この16巻の報告書だった。

なかでも目を引かれたのは、「(失敗から)学ぶべき教訓(Lessons to be learned)」という章。

「BSEによる人間へのリスクはない」とした政府作業部会の判断は、なぜ誤ったか、科学者と行政官とのやり取りのどこに問題があったか。計77項目の「失敗事例」を丹念に解明し、これから学ぶことができる「教訓」として、現実的なアドバイスをわかりやすく提示している。全体を通して伝わってくるものは、「人はだれでも間違いを犯す」という見識と、「だから、失敗から最大限、学ばなければならない」という思想だった。

一読してわかるのは、研究者、行政官、そして酪農家や食品業界、医療界など幅広い“市民”が調査委員会に協力している様子だ。調査委員会はそれぞれの証言者に「免責条項(Free from Culpability)」を示し、責任を問わない代わりに、事実をできるだけ詳細に聴取する方法

で、証言を集めていった。

元英国議会・科学技術局長のデヴィッド・コープ・ケンブリッジ大教授は、「どこの国でも、自分の責任が問われそうになれば、行政官は頭を覆って隠れてしまう。だから免責の適応は極めて重要。これによって、初めて失敗に学ぶことができるようになった」と説明する。こうしてまとめられた調査報告書は2000年、全文が公開され、「失墜していた政府、科学界の社会的信頼は、この報告書によって大きく回復された」という。

科学者と政府への不信が吹き荒れたBSEの大混乱。その状況は、「2011年の東京電力・福島原発事故後の日本に巻き起こった混乱に極めて類似している」(ロビン・グライムズ・英国防省首席科学顧問)という。

翻って、福島原発事故後の日本ではどうであったか。

福島事故は、「事故の可能性」に長期間、目を閉ざしてきた日本の政府、原子力界、自治体、メディア、そして市民も直撃した。事故後の社会的混乱の背景には、科学コミュニケーションに関する失敗が指摘できると思う。政府や東京電力は、事故状況と見通しを市民に伝えるという、基本的なコミュニケーションを展開できなかった。また放射線規制値の基準見直しを繰り返し、社会の混乱を助長させた。さらに多くの国民を失望させたのが、放射性物質の拡散予測システム SPEEDI(緊急時迅速放射能影響予測ネットワークシステム)の情報を公開しなかったことだ。

こうした中、国会、政府、民間、東京電力の4つの事故調査委員会が立ち上がり、2012年7月までに相次いで報告書を発表した。いずれも限られた時間、陣容での作業で、放射線量が高く、肝心の原発サイトの検証や、再現実験などの取り組みも省略されるなかでの報告書づくりだった。東電、政府の事故防止策の欠陥、事故対応、防災対策、情報開示などの不手際、失敗例を検証、改善すべき課題をいくつも指摘している。

黒川清・政策研究大学院大学シニアフェローが委員長を務めた、国会事故調査委員会は、「事故は、国民の安全よりも原子力利用促進を優先してきた原子力界、行政による人災であった」と指摘、7項目の改善すべき具体的な提言をしている。(別表)

畑村洋太郎・東大名誉教授を委員長とする、政府の事故調査委員会は、「自然災害と原発事故の複合災害という視点が欠けていたこと、津波被害で冷却電源が失われ

た後も、適切な対応が取れなかったこと」を指摘。また、メルトダウンの説明や SPEEDI の活用に失敗するなど、コミュニケーションの欠如を批判している。

亡くなった、北澤宏一・元 JST 理事長が委員長を務めた民間事故調査委員会は、苛酷事故対策に対する東京電力の組織的怠慢を原因とする人災であり、事故対策が住民の不安を喚起するとして、対応を先送りする倒錯した“安全神話”が、失敗の根底にあると批判している。

これらの調査委員会報告は、その後どのように生かされているのか。

日本科学技術ジャーナリスト会議 (JASTJ) では 2017 年、これら 3 調査委員長らに、その後の経過と評価を聴いている。

故北澤委員長に代わって、民間事故調の船橋洋一・元プログラム・ディレクターは、日本の行政では、セキュリティと安全が繋がらず、「平時に小さな安心を優先するあまり、大きな安全を失うという力学が働いており、“全体の最適解”を得るための意識改革、機構改革が必要だ」と話す。

再稼働の前に、米国の緊急事態管理庁 (FEMA) のような住民対応組織を設置するよう提言、参議院で原子力規制委員会設置の付帯決議にも入ったが、進展せず、放置された状態だという。

国会事故調報告は立法府に、独立調査委員会の活用など 7 つの提言をした。黒川・元委員長は、「2017 年になって、衆議院の原子力問題調査特別委員会に“7 人のアドバイザーボード”が作られ、任期を限らずに活動を続けているが、これ以外の提言はほとんど無視された形……」だという。そして、「政府の公文書改ざん、廃棄など、失敗を恐れ、隠すというマインドが一層ひどくなっている。失敗を共有し、そこから学ぶ文化を失えば、より大きな失敗、組織崩壊を招く。認識の改革が必要だが、こうした視点からの報道も少ない」と指摘している。

福島事故後、以下のような声を多くの人たちから聞いた。「エネルギー状況を考えれば、今の日本が原子力発電なしでやっていけるとは思えない。でも事故後の政府、電力会社の無軌道ぶり、市民より組織が大事という仕事ぶりを見てみると、“あの人たち”には(原発を)任せたくない……」

事故の対応のまずさ、混乱、失敗、それはだれにも起こり得ることだが、失敗に直面してもそれを直視し、事実を語ろうとしない行政官、原子力技術者たちを、人々は信頼できないのだ。

信頼失墜に結びつく未解明のエピソードが、いくつも残されている。

3 月 12 日、原子力安全・保安院の中村幸一郎審議官が、炉心溶融(メルトダウン)の可能性を発表した後、この事実が政府によって撤回され、中村審議官も更迭された。

また、3 月 14 日には、東京電力が官邸に「炉心溶融」の情報を与えた後、東電は「炉心溶融」の言葉は使わないよう求められていると判断した対応をとり、それ以降、5 月の発表まで、炉心溶融の事実は国民に隠され、信頼は一層、失墜した。実際には誰がどう発言して、組織的な情報隠しが行われたのか、経緯は明らかにされていない。

炉心を循環させた放射性の冷却水は、汚染水タンクに回収、サイト内に貯蔵し始めた。この時期、「汚染水は膨大に発生するので、このままではいずれ原発サイト内から溢れ出す」と判断した東電幹部が、政府に貯蔵場所確保の支援を依頼したところ、「事故を起こした東電の責任だ、自身のところで解決するように」と、官邸に拒絶された。「現実的に無理だ」と分かっている、それ以上の要請ができなかった——これが、現在の原発処理水の海洋放出問題までつながっている。実際にだれが指示し、どうすべきだったのか。

こうした失敗の実例を検証し、次の危機回避につながる試みがなければ、“あの人たち”への信頼回復は遠くのではないのか。

BSE 事件後の英国では、失敗に学ぶ姿勢を、市民の信頼を回復するコミュニケーションにつなげた。畑村・元委員長は、「機械である原発には、必ずトラブルが有る。原発無しでやって行けるのか、トラブルを小さく抑える準備と覚悟を決めて利用して行くのか、その議論から逃げてはいけない。失敗から学ぶコミュニケーションなしに、原子力は利用できない」と語る。

技術系出身の国会議員と、科学ジャーナリストとの共同セッションが 2020 年に始まった。立法府でも科学コミュニケーションを考える、科学者の助言を政策決定に活かす方法を探ろうというのだ。そこで議論になったのは、福島事故の国会事故調査委員会の継続だった。事故後 10 年を前に、未解明の部分の究明し、教訓を引き出す、失敗に学ぶ姿勢を社会に示そうというのだ。新たな事故調査委員会の動きを、見守りたい。



#### ＜国会事故調査委員会 7 つの提言＞

1) 国会に常設監視機関を設置する、2) 政府と事業者の責任と分担を明確にする、3) 被災地域への積極的な医療支援、除染活動、4) 電気事業者の監視、5) 独立、透明、専門性、責任感、一元化と自律性を持つ規制組織の設立、6) 原子力規制法制を見直し、国民の安全第一とする、7) 事故の未解明部分の調査など独立調査委員会の設置と活用——という、根本的な改革を求めている。

#### 著者紹介

小出重幸 (こいで・しげゆき)

北海道大学理学部卒業、読売新聞社科学部長、編集委員、インペリアル・カレッジ・ロンドン客員研究員、日本科学技術ジャーナリスト会議 (JASTJ) 会長などを経て、現在同会議理事。フリーランス科学ジャーナリスト

# 事故の教訓と反省をふまえ「マイナス」から再出発を

長崎大学 鈴木 達治郎

## 1. 事故の教訓と反省とは？：「信頼」の喪失にどう応えるか

1F事故から10年がたつ。最初の質問は、やはり「事故の教訓と反省」から学んでいるか？である。もちろん、事故の直接の原因である地震と津波、そして非常電源対策といった、重要な技術的要因に対しては、十分な対策が取られたとあってよいだろう。おそらく、再稼働が許可された原子力発電所の安全性は、事故前に比べれば明らかに高まっているだろう。

しかし、それだけでは真の教訓と反省を踏まえたとはいえない。やはり最も重要な教訓と反省は、「信頼の回復」に尽きると思う。原子力発電の安全性のみならず、産業界や政府の姿勢、政策自体の見直し、専門家に対する信頼など、原子力に係るすべての分野で「信頼」を失ったことが、大きな教訓である。

では、どうすれば「信頼」は回復できるのか。それは、失った時点を「マイナス」と考えて、その回復に全力を尽くす姿勢を見せることから始まる。福島事故以前にまで信頼を回復できなければ、それ以上の前進もないと思わなければいけない。

そのためには、事故後の現状と課題について、10年の経過をしっかりと分析し、その課題克服に真摯に取り組むことが不可欠である。

以下、3つの重要課題について検討してみる。

## 2. 福島第一原発の廃炉と復興問題

まず何よりも、福島第一原発の廃炉と地域の復興問題が最大の課題だ。

廃炉については、2020年7月に原子力学会において廃炉検討委員会が中間報告書を公表した<sup>1)</sup>。この報告書では、政府の中長期ロードマップが示していない、「エンドステート」(廃炉措置後の最終的な状態)とそこに至るまでの過程について、複数の選択肢を示して技術的課題を分析している。このように、学術的視点から、将来の選択肢を明らかにして分析し、その結果を公表することは、学会活動として高く評価されるべきものと考えられる。

しかし、廃炉措置において、今最も社会で信頼が失われている課題は、やはり汚染処理水の問題であろう。

この汚染処理水の問題は、科学技術的な問題というより、社会との信頼の問題といえるだろう。2018年には、地元の漁業組合との間で、「海洋放出」ということでほ

合意に達していたのに、処理水の約8割に、基準値を超える放射性物質が残存していたことが明らかになったのである。その後、仕切り直しとなったものの、東電・経産省と住民との信頼関係は回復していない<sup>2)</sup>。

この時点で信頼回復に向けて、何ができるのだろうか。学会としては、前述の報告書にあるように、汚染処理水の処分方法について、選択肢を学術的視点から評価しなおすことも検討に値するだろう。政府・東電は、「答えありき」の決定プロセスを見直し、第三者による検証、徹底した情報公開と市民との真摯な対話を通して、信頼回復に努めるしかない。

復興問題においても、汚染土の処理・貯蔵問題、避難地区解除プロセス、補償問題においても、住民の信頼が十分に回復したとは言えない。

この点について、透明性向上と信頼回復にむけて、筆者は、廃炉プロセスと復興全体のガバナンス改革として、以下の3点を2017年に提言している<sup>3)</sup>。第1に、福島廃炉措置に特化した専門的「福島廃炉措置機関」の設置、第2に資金をより広く集め、かつ透明性をもって廃炉と復興にあてる「福島・廃炉復興基金機構」の設置、第3に廃炉と復興プロセスを監視する第三者機関として「福島廃炉・復興評価委員会」の設置である。こういった廃炉と復興を連携させ、民主的で透明性のある体制で実施することが求められる。

## 3. 使用済み燃料と核燃料サイクル、廃棄物問題

次に解決しなければいけない課題は、使用済み燃料と放射性廃棄物問題である。これに深く関連するのが、使用済み燃料を全量再処理するという「核燃料サイクル」政策である。

2020年7月に六ヶ所村再処理工場が規制委員会の安全審査に合格し、2022年には本格稼働される見通しとなった。引き続きMOX加工工場の安全審査も合格となった。現状は、たまり続ける使用済み燃料の解決策として、再処理が優先されている。しかし、再処理は本当に今必要なのだろうか。

2012年、原子力委員会において、1F事故を踏まえて核燃料サイクル選択肢の総合評価が行われた。その時点での評価としては、[1]高速炉の商業化見通しは2030年以降であり、核燃料サイクルの選択肢としては、軽水炉によるプルサーマルと直接処分の2つとなる[2]資源効



率の面で再処理・プルーサーマル路線は有利であるが、それ以外の経済性、核不拡散・核セキュリティでは直接処分が有利であり、廃棄物・安全性の面では有意な差がない、という結果となった。その後、政策選択肢としては、①全量再処理、②再処理と直接処分の併存、③直接処分のみ、の3つを評価し、将来の行き先が不透明な場合は柔軟性の確保という視点から、②の再処理・直接処分の併存が望ましい、ということになった<sup>4)</sup>。すなわち全量再処理政策の見直しが必要ということであった。

しかし、全量再処理政策は今も継続されたままで、それ以降、政府においても学会においても、核燃料サイクルについての総合評価は行われていない。今こそ、核燃料サイクルの総合評価を再度行うべきではないか。例えば、使用済み燃料の直接処分を選択肢として認めないと、再処理に適していない使用済み燃料の行き場所がなくなる。例えば、破損した使用済み燃料、高速炉用再処理が実現しなかった場合のMOX使用済み燃料などは、今のままだと貯蔵以降の行き場所がない。高レベル放射性廃棄物の最終処分に関する法律には、使用済み燃料が対象となっていない。全量再処理政策がそのような硬直性につながっているのである。

さらに、このまま再処理を継続した場合の課題としてあげられるのがプルトニウム問題である。すでに日本は、2019年末現在、45.5トンものプルトニウムを所有しており、これは非核兵器国では最大量である<sup>5)</sup>。

世界でもプルトニウム在庫量は500トンを超えており、国際安全保障の観点からは在庫量の削減が重要課題として考えられている<sup>1)</sup>。こういった観点から、2014年には日本は世界的な核物質の最小化に向けて、日米共同声明を発表し、実際に高速炉臨界実験装置(FCA)からプルトニウムを全面撤去処分することを発表した<sup>6)</sup>。この政策に基づき、2018年には原子力委員会が、「プルトニウム在庫量を削減する」との政策を発表した<sup>7)</sup>。こういった政策との整合性を保つ意味でも、全量再処理政策の見直しは必至であろう。

高レベル放射性廃棄物の最終処分計画についても、使用済み燃料の直接処分の可能性を明記すること、第三者による評価の仕組みや合意形成プロセスを見直すなど、核燃料サイクルの見直しと同時に、処分計画の見直しを行うことが必要だろう。

#### 4. 研究開発・人材育成の見直し

最後に、将来を見据えた研究開発と原子力関連技術者の人材育成の見直しも必要だ。これまで日本の原子力研究開発は、高速増殖炉と核燃料サイクルの実用化を大きな目標として、多額の研究開発投資を行ってきた。しかし、高速増殖炉原型炉「もんじゅ」の廃炉決定に伴い、この高速炉サイクル中心の研究開発は当然ながら見直しが必要である。原子力委員会による最新の原子力白書においても、「知識基盤や技術基盤、人材といった基盤的な力」の強化を図ることが、研究開発にとって重要であり、人材育成と基盤研究の推進を提言している<sup>8)</sup>。この方針は、これまでの大規模プロジェクト指向の研究開発からの転換を示唆するものであり、長期的な人材育成方針にも合致するものだ。

さらに、重要なのは、これら研究開発の評価システムをしっかりと構築することである。この点では、事故直後の原子力委員会にて、次のように見解を述べている。

「社会に導入された場合には、予期せぬ社会的影響をもたらす可能性をあらかじめ評価することも必要とされるようになってきている…こうした総合評価にあたっては、理学、工学の広い分野のみならず社会科学の学会や市民団体からも推薦を受けて、いわゆる ELSI(倫理、法、社会的側面)と呼ばれるような幅広い視点から、自律性を持った包括的な評価組織を構成し、作業を付託することが重要である」<sup>9)</sup>

このような取り組みこそが、研究開発に対する信頼回復に必要なのである。

#### 5. まとめ

以上、1F事故の教訓と反省を踏まえ、「信頼の回復」に必要な措置について、検討してきた。重要なことは、信頼を失ったことについての真摯な反省に基づき、信頼回復に向けて、課題に正面から向かい合って、一つ一つ地道な努力を続けていくしかない。事故がもたらした「負の遺産」はあまりにも大きく、「マイナスからの出発」という考え方でいかないと、未来は見えてこないだろう。第三者による客観的な評価(「ピア・レビュー」)は研究者にとっては当然のことであり、それは原子力政策にも当てはめられるべきものだ。そういった視点を踏まえて、学会活動も信頼回復に向けて貢献していくことを期待している。

#### — 参考文献 —

- 1) 原子力学会福島第一原子力発電所廃炉検討委員会、「国際標準から見た廃棄物管理—廃棄物検討分科会中間報告」, 2020年7月。  
[https://www.aesj.net/uploads/dlm\\_uploads/hairohaikibutubunkakai\\_tyukanhoukokusyo0714.pdf](https://www.aesj.net/uploads/dlm_uploads/hairohaikibutubunkakai_tyukanhoukokusyo0714.pdf)
- 2) 小坪遥, 野口陽, 福地慶太郎, 「処理水海洋放出, 月内決定見送り: 背景に東電の『約束』」, 朝日新聞, 2020年10月23日。

<sup>1)</sup> 原子力発電所から回収されるプルトニウムは核分裂性プルトニウムの比率が60%程度と低く、「原子炉級プルトニウム」と呼ばれて、90%以上の「核兵器級プルトニウム」とは区別されることがある。しかし、原子炉級プルトニウムであっても、技術的には核爆発装置の製造は可能とされており、国際規制上は区別がない。原子力委員会(2012)参考資料, p.39.にも「プルトニウムは原子炉級であっても兵器転用の可能性がある」と明記している。

- 3) 鈴木達治郎, 「廃炉措置機関の創設で国が責任を持つ体制に変えよ: 福島事故6年目, ガバナンスの根本改革に取り掛かることだ」, ウェブ論座, 2017年3月10日.
- 4) 原子力委員会原子力発電・核燃料サイクル技術等検討小委員会座長報告, 「核燃料サイクルの選択肢評価に関する検討結果について」, 平成24年(2012年)6月5日.  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy22/siryoy1-1.pdf> 同参考資料,  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy22/siryoy1-2.pdf>
- 5) 内閣府原子力政策担当室, 「わが国のプルトニウム管理状況」, 令和2年(2020年)8月21日.  
[http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2020/siryoy24/1\\_haifu.pdf](http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2020/siryoy24/1_haifu.pdf)
- 6) 外務省, 「世界的な核物質の最小化への貢献に関する日米首脳による共同声明」, 平成26年(2014年)3月24日.  
[https://www.mofa.go.jp/mofaj/dns/n\\_s\\_ne/page18\\_000244.html](https://www.mofa.go.jp/mofaj/dns/n_s_ne/page18_000244.html)

- 7) 原子力委員会, 「わが国におけるプルトニウム利用の基本的考え方」, 平成30年(2018年)7月31日.  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siryoy2018/siryoy27/3-2set.pdf>
- 8) 原子力委員会, 「令和元年度 原子力白書」, 2020年8月.  
<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/hakusho/hakusho2020/zentai.pdf>
- 9) 原子力委員会, 「今後の研究開発の在り方について」(見解), 平成24年(2012年)12月25日.  
[http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/121225\\_2.pdf](http://www.aec.go.jp/jicst/NC/about/kettei/121225_2.pdf)

### 著者紹介

鈴木達治郎 (すずき・たつじろう)

東京大学工学部原子力工学科, 米マサチューセッツ工科大学「技術と政策」修士課程卒。工学博士。(財)電力中央研究所研究参事, 内閣府原子力委員会委員長代理などを経て, 2014年より長崎大学核兵器廃絶研究センター教授。パグウォッシュ会議評議員なども務める。

## 新刊紹介

### 知っていますか? 理系研究の“常識” —研究・論文・プレゼンの作法—

掛谷英紀著, 192p. (2020.7)  
 森北出版株式会社(定価 1,760円)  
 ISBN 978-4-627-97361-9

最初に書名だけ読むと, 同業者の著書ながら大丈夫かな? と思った。その内容を確認すると, 一転して期待できそうである。本書の「はじめに」の中に次のクイズが示されている。

Q1: 卒業論文は誰を読者と想定して書けばよいか?

Q2: 論文の図表のキャプションは簡潔にすべきか, それともできるだけ詳しく書くべきか?

Q3: オーラル(口頭)発表の最後に, 「ご清聴ありがとうございます」と書かれたスライドを用意して表示すべきか否か? (「はじめに」から引用)

著者はこれら3問に明快な回答を記している。私はこれまで当研究室の大学院生・卒業研究生に明確に指示していなかったため, 早速, 上記のクイズを当研究室で遠隔(オンライン)により問答した。その結果, 著者が意図している通りの回答は, Q1では50%, Q2では0%, Q3では85%と, 3問3様になった。私の回答は, 本書に記されている回答とほぼ一致している。

本書では, 多数の例題・図表・スライドなどをもとに, 「1章 研究の“常識”」, 「2章 卒論・投稿論文の“常識”」,

「3章 科学技術英語の“常識”」, 「4章 研究発表・プレゼンの“常識”」(「目次」から引用)がそれぞれ記されている。それらから読者は容易に「常識」を理解できる。その中に, 私がしばしば, 当研究室で指示・指摘している点と重なる内容も記されている。例えば, 1章のグラフを描く際の留意点, 2章の数値・項目の具体的な記述, 3章の主語と動詞の対応, 4章の発表スライド作成時の改善点などは, 私の指示とほぼ同じである。いずれの「常識」も有意義であるため, 他大学の研究室にも共通して活用できると想像する。

本書の要所に挿入されている16個のコラムには, 著者の主張・コメントが経験と実例とともに記され, 興味深い。これらのコラムには賛否が予想される内容も含まれているが, 読者は自ら判断したうえで, 役立てることができるだろう。このうち, 文章の作成, 英語の学習に関するコラムには私も賛同する部分が多く, これまでに当研究室でも同様な内容を繰り返して述べている。しかし, 著者の研究室とは異なり, 当研究室は, 上記の回答のように, いまだに発展途上である。

(東海大学・亀山高範)



# 継続的な安全性向上について

## —IRRS, 検査制度, IRIDM 標準を経て—

東京大学 関村 直人

### 1. IAEA による IRRS

2020年4月より、すべての原子力施設を対象とした新たな検査制度の運用が開始された。

これに先立つ2016年1月、原子力規制委員会はIAEAの総合規制評価サービス(IRRS: Integrated Regulatory Review Services)を受入れた。この結果、13の勧告および13の提言がなされ、その中で原子力事業者の全ての保安活動の監視・評価制度に対して、原子力規制委員会が検査の実効性を向上させることができるように、関連法令を含む制度の改正が求められた。

検査制度に関わる事項以外の勧告、提言では、①原子力安全規制に携わる人材の育成に関する方針、②原子力安全規制行政のマネジメントシステムの改善が、特に重要だと考えている。①では、有能で経験豊富な職員を惹きつけ、かつ教育、訓練、研究、および国際協力の強化を通じて、原子力および放射線安全に関する能力を構築させること。また②の規制行政のマネジメントシステムについては、高いレベルの安全を達成するため、問いかける姿勢を養うなど、安全文化の向上を継続し強化することが提言されている。マネジメントシステムの継続的な改善は、規制機関のみならず事業者や広く原子力に関わる組織に対しても同様に適用されるべきものであろう。

ピアレビューとしてのIRRSは、IAEA基準に基づいて勧告や提言がなされるが、参画しているレビューアーは、原子力安全の国際的な水準や各国の規制に関するグッドプラクティスを熟知するエキスパートとして、エクセレンスと現在の規制のギャップを提示している。

またIRRSは、IAEAが提供する他のピアレビューサービスと同様に、フォローアップミッションにおいて、勧告や提言に対するその後の進捗状況についても評価を加える。規制庁は、IRRSの勧告と提言の合わせて26項目を、事前の自己評価書を踏まえて31項目にブレークダウンをしている。これらの項目は、2017年4月7日に成立した原子炉等規制法の(再)改正につながっている。しかしこれら項目ごとに個別に改善と対策を進めれば全体でよしとするべきものではない。エクセレンスを求めていく観点からは至極当然であるが、項目の多くは横断的な課題も含んでおり、総合的な検討がなされるべきである。

規制委員会・規制庁は、勧告・提言への対応状況につい

て自己評価等を含む事前参考資料(Advance Reference Material: ARM)を2019年11月までにIAEAに提出し、IRRSフォローアップミッションを2020年1月14日から21日に受け入れた。

わが国では、福島第一原子力発電所事故の以前の2007年に、旧規制機関である原子力安全・保安院がIRRSを受けている。この結果、検査制度に関しては2016年とほぼ同様の提言があった。しかし、原子力安全・保安院はIRRSのフォローアップを受けておらず、勧告や提言に対して適切な対応ができなかったことが大きな課題であった。フォローアップミッションの過程を通じて、東京電力福島第一原子力発電所の事故につながるような要因を規制機関として見出して排除できなかったのである。

この大きな過ちを繰り返すことがないように、以下では、福島第一原子力発電所事故から10年を経て、検査制度が本格的に運用されていく状況になる状況を踏まえて、国際的なエクセレンスを目指した継続的な安全性向上のために、今後、ステークホルダーが協力していくべき点に重きを置きながら、いくつかの論点を提示したい。

### 2. 安全確保に係る責任の浸透・定着と パフォーマンスベースの検査制度

原子力事業者に安全確保の最も重要な責任があることは、IAEAの基本安全原則において、第一義的な責任(Prime Responsibility)を負っているとあるように、グローバルな共通理解である。事業者は検査制度の中で罰則があるからではなく、自らの主体的な取組により期待される役割を果たすとの気概を持ち、実際に意識、業務手法、組織体制、実務の各領域において、安全を最も大切にする取り組みが継続的に実施されるように、マネジメントシステムを改善していかなければならない。この基盤として、安全文化をより高いレベルに押し上げなければならない。これらを通じて安全確保に関する第一義的責任を浸透、定着させていくべきである。

一方、規制機関によるチェックや規制制度の枠組みは、事業者がこの責任を果たすことを促すものとならなければならない。事業者のあらゆる保安活動に対する監視と評価の仕組みを検査制度として確立し、規制機関と事業者のスパイラルアップによって、安全水準の向上を

目指すことが要請されている。

検査制度は IRRS の勧告第 9 に提示されているように、パフォーマンスベース (Performance-based) で、より規範的でない (Less Prescriptive)、リスク情報を活用した (Risk-informed) ものであるべきと考える。パフォーマンスベースとは、安全確保水準の実績を反映することであり、硬直的なプロセス、技術、手順ではなく、測定可能であり望ましい成果 (パフォーマンス) に焦点を当てる考え方であって、どのように結果や成果を得るかよりも、何が達成されなければならないかを重視する。パフォーマンスを実現するためには、パフォーマンスを監視するための測定可能なパラメータがあり、パフォーマンスを評価する客観的な基準が必要である。

米国 NRC では、パフォーマンスベースの規制を行うことは、事業者の自由度を向上させることであり、これが事業者のインセンティブとなると考えられている。また監視にはパフォーマンスが低下傾向または満足な水準に至らない事業者に NRC のリソースをより多く割いている。さらに NRC は免除申請に関する制度を有しており、事業者からの多くの申請に対して相当のリソースを割いている。

### 3. 継続的な安全性向上のために

全ての原子力施設を対象とした検査制度が開始されたとは言え、福島第一原子力発電所事故後の多くの反省に基づいた規制制度の改善や運用の課題、さらに最も重要な国民の信頼には大きな課題がある。米国の ROP に倣い、リスクインフォームドでパフォーマンスベースの検査制度が開始され、従来と比較して柔軟な取り組みが多面的に取り入れられているが、同時に現場レベルを含めて、事業者および検査官の意識改革も必要とされている。現時点では検査制度のみでは、事業者の継続的な安全性向上に直結するものとはなっていないが、継続的な安全性向上に関する制度設計を検討していくことは、規制制度枠組み全体のアップデートととらえるべきではないか。2020 年 8 月から開始された原子力規制委員会の「継続的な安全性向上検討チーム」では、規制委員長も参画してより幅広い議論が進められようとしている。継続的な安全性向上の基盤となる事業者のマネジメントシステム改善とこれを支える安全文化については、大枠の提示はなされているが、継続的な安全性向上に関するより具体的な事業者インセンティブは提示されていない。

継続的な安全性向上には、上位概念である原子力安全の目的のもとで、リスクインフォームド規制と等級別扱

いを実現する実効的な制度設計が必要である。このために、適用除外あるいは免除申請を規制制度に取り込むことは有効なオプションであるが、その制度設計に際しては、規制制度の実効性、効率性や迅速性の観点のみならず、「一義的責任を有する」事業者の取り組みに影響する因子や背景を考慮しなければならない。規制基準とその適合性審査に加えて、バックフィット制度、安全性向上評価制度等の目的、役割との整合性を持つこと、さらに事業者と規制機関とのコミュニケーションや規制予見性等の観点から検討を深めていくことも重要であろう。

原子力安全の目的を達成するには、国民の信頼醸成が根幹であり、規制機関、事業者のみならず、事業者関連団体 (ATENA 等) や自治体、各種団体、学術界をはじめとするわが国の多様なステークホルダーがそのための役割を果たすべきである。また現在と将来にわたるマネジメントシステムや要員の確保や能力向上、広範な技術情報の強化等々の制度を支える人材や知識基盤の課題がある。

紙面の都合で詳細は割愛するが、日本原子力学会標準委員会が 2020 年 6 月に発行した「原子力発電所の継続的な安全性向上のためのリスク情報を活用した統合的意思決定に関する実施基準」(IRIDM 標準) は、継続的な安全性向上のための重要なツールとなることが期待される。

### 4. まとめに代えて

炉安審・燃安審で議論を進めてきた安全目標に関わる議論は、まだ途上の段階である。継続的な安全性向上に関わる具体的な制度や課題についての議論と並行して、検討を深めていくべきである。また新しい知見が、リスクを考える上で、警告を発しているのかどうかを見極めていくような研究は、これからも引き続き実施されていく必要がある。

学会事故調報告書の 7.5 節 (日本語版 p.348~351, 英語版 p.463~467) における学会としての反省に基づく改善は、まだ道半ばである。学会が果たすべき責務を改めて認識し、学会としての自由で開かれた議論が基準等の策定や人材の育成を通じて、継続的な安全性向上につながっていくことを切に願うものである。

### 著者紹介

関村直人 (せきむら・なおと)

東京大学工学部卒、大学院工学系研究科修了。2000 年から東京大学教授。2017 年から東京大学副学長。現在、原子力規制委員会原子炉安全専門審査会会長。日本原子力学会標準委員会委員長、原子力安全部会会長。

## 自由な発想と全体を見通す目

東京工業大学 関本 博

### 1. はじめに

1F事故が発生して間もなく10年が経過しようとしています。事故の影響は大きく、元(?)に戻すのはたいへんで、これからさらに長期の作業をしていくことになるでしょう。しかし、何をするかはほぼ決まっております。まじめに取り組めば、それなりの結果が得られるでしょう。現時点では、私はむしろこれからの原子力について大きな問題意識を持っています。ここでは、それについて書かせていただきます。

本稿執筆中に、菅首相は就任後初の国会所信表明演説を行いました。その中で「2050年カーボンニュートラルを宣言し、省エネを徹底し、再生可能エネルギーを最大限導入するとともに、安全最優先で原子力政策を進めることで、安定的なエネルギー供給を確立する」と述べています。ただし質問に答えて「原発依存度を可能な限り低減する方針に変更はない」とも述べています。これは私にはとても受け入れられるものではありません。

原子力は、資源や環境の問題から長期にわたって解放される唯一といってよい高密度エネルギーです。これから研究・開発に力を入れていかねばならないエネルギーであると私は考えており、このような国の考えには反発せざるをえません。再生可能エネルギー等についても述べる必要がありますが、ここでは省略します。

「1F事故とその後」に関する特集のために書くわけですが、対象となる問題は根が深く、原子力開発の大本から検討していかざるを得ません。そういうことで広い話題を扱うことになりましたが、限られた紙面ですので、私が関係した部分に絞って、思い出話のような形で、かなり端折って書かせていただきます。

### 2. 原子力の問題点

アメリカで原子力平和利用が最初に議論されたとき、フェルミはこの技術が原子爆弾製造技術と深く結びついていることと大量の放射性物質を生み出すことに大きな懸念を示したと言われていました。この状況は今でも変わりません。これを図示すると図1のようになります。

ここで原爆と関連する技術に関する問題は、原子力の平和利用を止めたとしても、無くなりません。重要な問題ですが、ここでは原発依存度を可能な限り低減するという方針に対して述べるつもりなので、これについてはこれ以上述べず、事故と廃棄物について述べます。

ここで問題としている廃棄物はアクチノイドと核分裂

生成物(FP)です。 $^{137}\text{Cs}$ や $^{90}\text{Sr}$ といった比較的短寿命のFPが崩壊すると、残る毒性は殆どアクチノイドとなることから、アクチノイドの原子炉中での核分裂による核種変換が検討されています。しかし、地層処分の専門家は、アクチノイドの水に対する溶解度が低いことから、 $^{99}\text{Tc}$ 等のFPの方が、リスクが高くなるとして問題視しています。アクチノイドと違い、原子炉によるFPの核種変換は中性子経済を劣化させるため困難になります。いずれにしろ分離が困難なこともあり、核種変換は理想的な方法ですが、簡単にできる方法ではありません。

使用済み燃料の量はすでに限界に近づいているといわれています。当座は地層処分のような方法で処分するしかないでしょう。再処理が困難なことから、現時点では使用済み燃料はそのまま地下に貯蔵するので良いのではないかと思います。ただし、将来の技術進歩を考え、取り出し可能にしておくべきでしょう。

原子力が喫緊に必要なというのであれば、まずは理想的な原子炉の追求に力を入れるのが適当だと考えます。ここで事故の問題について考えることになります。

### 3. 小型原子炉

原子力の平和利用が開始されたとき、さまざまな原子炉が提案され研究されましたが、結局、軽水炉が主流となって増えていきました。しかし、指導国であったアメリカで1979年にTMI事故がおこると、同国では軽水炉の建設は止まり、固有安全炉(動的機器に依存せず静的機器のみで安全性が確保される原子炉)の研究が活発に進められることとなりました。やがて、固有安全炉の条件を満たしやすいだけでなく、事故やトラブルの頻度が少なくなることや内包する放射性物質の量も少ないということで、小型炉が固有安全炉として優れていると多くの専門家に認められるようになりました。このようにして固有安全炉としての小型炉の研究開発が活発に進められるようになりました。

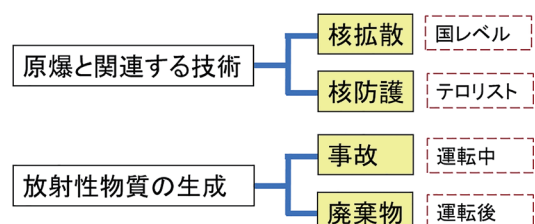


図1 原子力の問題

世界には色々な場所があって、結構多くの小型炉のニーズがあり、IAEAでは原子力平和利用の開始と殆ど同じ頃から、小型炉の検討が続けられていました。しかし日本ではそのようなニーズは少なく、原子力研究開発の中では無視された存在でした。しかし、固有安全小型炉の世界的なブームに応じて、1991年小型炉の国際会議SR/TITが開催され多くの注目すべき発表がなされました。しかしこれらは国家プロジェクトとうまく整合しないためか、今に至るも実現からは程遠い状態です。

アメリカでは1999年DOEが原子力分野でのエネルギー・環境問題の主導権を確保することを目的として、アメリカ内の大学、研究所および産業界の原子力科学技術の再活性化を目指して、公募型研究プログラムNERIを開始しました。大学から提案された鉛ビスマス冷却小型高速炉や小型PWRが採択されています。特に小型PWRは国のサポートも適切で、企業家からも受け入れられ、NuScaleとしてゆっくりしたペースではありますが、着実に進展しています。

#### 4. B&B 炉

軽水炉や高温ガス炉等の熱中性子炉がよく検討されていますが、これは高速炉のように再処理を必要としないことが大きな理由のひとつになっています。ところが高速炉でもB&B(Breed and Burn)炉は再処理を必要としません。しかも軽水炉燃料の副産物である劣化ウランを使って長期に運転できます。2000年私はこの種のひとつCANDLE炉を提案しました。これに触発されて2009年ビルゲイツにサポートされたテラパワー社はTWR(進行波炉)の開発を始めました。

ただTWRもCANDLEも取り出し燃料の燃焼度が20%以上になってしまいます。ところがEBR-IIで得られた値は19.3%と19.9%でした。しかしこれらの値が得られたのは、EBR-IIの最後の運転でした。さらに運転を継続することは可能だったのですが、停止を命じられやむなくこうなったということです。テラパワー社は可能な燃焼度を明らかにするため、中国で高速炉を建てて照射実験をすることを試みたのですが、政治的理由により認められず、現在アメリカ国内での照射実験を目指しています。

#### 5. その他諸々

以上、革新的原子炉のいくつかについて紹介しましたが、他にも色々提案されています。第4世代(Gen IV)の原子炉、ロシアで開発されている種々の革新的原子炉、中国の野心的な原子力開発、開発途上国の種々のニーズ、いずれも紙面の都合で省略せざるをえませんでした。

興味ある革新的原子炉は色々考えられるのですが、その実現には多くの困難が待ち構えています。技術的な問題の解決には「自由な発想と全体を見通す目」が必要だと考えています。しかし問題は技術的なものに限りません。それらについて気になることを残った紙面で書かせ

ていただきます。

#### 6. 組織について

この10年で日本の原子力界に起こった大きなこととしてももんじゅの廃炉があります。この後どうすべきかということで、学会で検討会が持たれたので参加しました。私は、このようなときなので、小型高速炉から出直して色々なアイデアを出し合って、素晴らしい未来を描くべく検討するのがよいと思ったのですが、出席者の多くはもんじゅの関係者で、もんじゅの成果を生かし、中型炉から再開し、当初の計画を実現すべきであるということで、それに沿ったロードマップが作成されました。

組織が長く続くと、注意しないと、専門化が進むだけでなく、計画が固定化しそれに伴うお金の流れも固定化しがんじがらめになっていきます。高速炉開発を再開するなら、過去とは独立した組織をたて、そこをヘッドクォーターとして推進するのがよいと思います。

#### 7. リーダーについて

現在圧倒的に広く利用されているのは軽水炉です。これはリッコヴァーによって開発されました。彼は海軍兵学校を卒業しましたが、それほど優秀な成績だったわけではありません。しかし潜水艦に強い興味を持っていました。原子力潜水艦を作ろうとしましたが、特に原子炉について知っていたわけではなく、オークリッジに行って勉強し知識を得ました。そこでワインバーグから軽水炉のアイデアを得て、それをもとにまずは原子力潜水艦で、更に民生用軽水炉で大成功を収めました。彼の成功は、海軍の技術力、オークリッジの優れた教育システム、彼のなんとでも成功させるという信念と、運によるものといえるでしょう。

今の日本を考えれば、技術力は持っていると思いますし、教育システムは新たに作る必要があるかもしれませんが、教員は容易に集められると思います。すなわち、なんとでも成功させるという信念と、運を呼び寄せる能力を持った人がいるのかということになります。SR/TITが開催されたとき、このような信念を持った人が何人かいたと思います。ただし、運はいまひとつでした。運というのは周りの状況です。リッコヴァーの場合、海軍が原子力潜水艦を強く必要としていたことであり、彼は自らこの運を引き寄せたのです。このような人がいさえすれば、自ずと「自由な発想と全体を見通す目」を持ったリーダーになると思います。このような人が現れやすい状況ができるだけ早くやってくるのを望んでいます。

#### 著者紹介

関本 博(せきもと・ひろし)

京都大学工学部卒。カリフォルニア大学パークレー校 PhD。ゼネラルアトミックス社を経て1976年から東京工業大学原子炉工学研究所、2011年より名誉教授。

# 原子力再興に向け新しい「物語」を語る

日本経済新聞社 滝 順一

菅義偉首相が2020年10月26日、初の所信表明演説で「2050年までに温室効果ガスを全体としてゼロにする」と「脱炭素」を宣言した。

中国の習近平国家主席はすでに9月の国連総会で2060年の脱炭素を表明。米国も民主党のジョン・バイデン氏が大統領選で勝利を取れば、50年の脱炭素を掲げる公算が大きい。こうした潮流を読んだ「脱炭素宣言」であったのかもしれないが、ともかく日本の気候変動対策の節目、エネルギー政策の転換点となる出来事なのは間違いない。

## 1. 首相の「脱炭素宣言」に覚悟はあるのか

筆者は日本原子力学会誌の座談会(7月28日収録)で、原子力産業の再興のために「ビジョンが必要」と発言した。国内における原子力産業の存続には、全人類の課題である気候変動に立ち向かうため安全を大前提にしながらも原子力の継続的な利用を進めるエネルギー・環境の将来ビジョンを、政治が国民に説き納得してもらう必要があると考えるからだ。

菅首相の脱炭素宣言は、ようやく政治が示すことができた「ビジョン」と呼びたいところだが、現時点(20年11月1日)ではそうは思えない。所信表明に続いた本会議での質疑(10月28日)で、首相は原子力を脱炭素の選択肢に含めながらも「原発の依存度を可能な限り低減する」と相変わらず繰り返している。

「可能な限り」とは含みがある表現だが、普通に解すれば東京電力福島第一原発事故以前に比べて依存度を下げるという意味だ。それで脱炭素ができるのだろうか。新規建設が見通せず、このまま原子力産業を衰退していくにまかせて脱炭素と成長が両立すると本当に考えているのだろうか。

脱炭素には原子力が不可欠だと強く主張するつもりはない。ただ原子力への依存を減らして脱炭素に挑むにしても、原子力を再生して挑むにしても、どちらも日本の政治や社会、産業にとって険しい道のりであろう。所信表明からはそうした覚悟が感じられない。脱炭素宣言が国際潮流への迎合、国民からの支持獲得の瀬踏みに終わらないことを強く望む。

地球環境産業技術研究機構(RITE)の山地憲治副理事長・研究所長が近著「エネルギー新時代の夜明け」<sup>1)</sup>に、「物語の危うさ」について書いている。山地氏は、「物語」

を創る力は社会を形成するために人間が獲得した重要な能力だとしながらも、「物語」はしばしば熱狂や言われなき差別をもたらすことに警鐘を鳴らす。

「物語によって自分自身を位置付け納得する」。人間の判断は合理に基づかず物語の文脈に沿って物事を判断する。この指摘は筆者には腑に落ちる。

原子力には、広島、長崎の原爆投下から始まって福島第一事故に至る長い物語がある。首相の脱炭素宣言もALPS処理水も関西電力の金品受領事件も、今なお毎日新しいエピソードが付け加わる。それは「失望」と「挫折」の物語とっていいかもしれない。その「物語」の強さをこの10年間感じ続けてきた。同時に自らが「物語」をつづるのに加わるメディアの一員であることも強く自覚してきた。

この「物語」に新しいチャプター(章)を書き加えていかないことには、現状の方向性は変えられない。新しい強い物語。脱炭素は新しい章のとびらになるのではないかと考えている。ただしうまく物語の文脈に寄り添えば、という話だ。上から目線の説得や、仕掛け人が透けて見えるようなキャンペーンでは逆効果だろう。20年春に公開された映画「Fukushima 50」のように、ノンフィクションを装いながら事実と異なる顛末を描く作画的な物語づくりは不信を生む。

2年ほど前、東京・下北沢の小劇場で「アトムが来た日」<sup>2)</sup>という芝居を見た。大事故を契機に原発が廃止された未来。原発再開の必要が生じた。放射性廃棄物の処分場でひっそり「墓守り」をしてきた原子力技術者に再び光があたる。そんなエピソードを1950年代の原子力導入期の回想と交互に、コミカルに描く。評価はさまざまだろうが、原子力を前向きに捉える芝居を若い演劇人が演劇の街、下北沢で上演したことは驚きだった。

福島第一事故に触発された英国の劇作家ルーシー・カーウッドの「チルドレン」<sup>3)</sup>も印象的な芝居だ。放射性物質を拡散する大事故が起き現在進行形の状況を背景に、リタイアし原子力と関わりを絶った核物理学者が未来の世代のため現場復帰を決断するという筋立てだが、登場人物の人間模様が加わって味わい深い舞台になっていた。暗いトーンの中にも希望を感じさせた。

## 2. 「対話」が新しい「物語」を生む

演劇を持ち出したのは(観劇が筆者の数少ない趣味だ

からでもあるが), 人間はよくも悪くも合理的な判断で行動しないという当たり前のことを改めて気づかせてくれたからだ。芝居はまったくのフィクションであるがゆえに、より真実味をもって観る人に訴えかける力を持つ。

人を動かすのは合理性ではない。しかしその非合理性を責めることはできない。科学的・経済的合理性だけで人が動けば世の中はわかりやすいだろう。しかしその仮定自体が非現実的なものだ。「多様性」ということが近年よく言われる。多様な立場や意見を尊重するということだ。多様性が尊重される社会はますます合理だけでは動かなくなる。

科学者や技術者にとっては残念な社会であるかもしれないが、それが技術と社会の現代的な関係性であることは随分前から指摘されてきた。この学会誌でも繰り返し指摘されてきた「トランスサイエンス」, 科学に問うことはできても、科学には答えが出せない課題があるという事実だ。「科学」という言葉を経済的合理性と言い換えてもいい。

ではどうすれば答えが出せるのか。これも月並みと言われそうだが、多様性尊重の流れの中では「対話」以外にないように思える。相互が同じ地平にたった話し合いと理解の繰り返しがある種の納得や結論に至り、物語の続きをつづっていくと考える。

日本政府は「対話」ができない致命的な欠陥を有する。例えば、ALPS 処理水を巡って、これまで対話の時間は十分にあったように思えるが、いつも通りの「ご意見を聞く会」的な形式主義で正統性を得ようとして、再び行き詰まったように見える。

### 3. 過ちを繰り返さないために振り返る

さて、ほんやりとした感想だけでこの稿を終えては編集部に申し訳ないので、最後に具体的なことを一つだけ。

福島第一事故での最大の反省点は多重防護の欠如だった。過酷事故の可能性に備えた多重防護があれば、事態は異なっていたと思える。複数炉の熔融は防げたかもしれないし、避難時の混乱で命を落とす住民もいなかったかもしれない。これは大津波への予見可能性の有無の問題ではない。本来必要とされる防護をしていなかったという問題だ。

「59 階建ての危機」<sup>4)</sup>という話がある。1978 年にニューヨーク市マンハッタンを中心部に竣工したシティコープセンタービルに施工ミスが見つかる。目新しいデザインに加え制振装置を備えた新世代のビルとして注目を集めていたが、ビルの斜め方向から強風が吹き付ける条件下で停電が起き制振装置が止まると、揺れによって倒壊する恐れがあることにビルの設計者が気付いた。悪条件が

重なる事態は確率的には少ないかもしれない。しかし設計者から話を聞いたシティコープのトップはほとんど即時に大規模な改修工事を決断する。技術者倫理の教科書などでよく紹介される題材だという。当時、改修の理由は一般には明らかにされず、後にニューヨーカー誌がスクープした。

福島第一事故後に規制基準が改まったが、本来すべきことができているだろうか。例えば、長年の課題である「安全基準」。過酷事故の際に周辺住民が被る被ばくリスクや避難に伴うリスク、財産やコミュニティなど無形の資産に及ぼす損害は原発それぞれで異なるはずだ。

完璧なリスク計算はできないまでも、目指すべき目安となるリスクの大きさ(安全基準)を示し、原発の安全対策や避難体制の整備でどれほどリスクが下げられるかを明示してもらいたい。そうしないことには、新規制基準に事業者の自主的な努力が加わった結果、原発がどれくらい安全になったのかがわからない。「世界最高水準の安全基準」という言葉だけでは、事業者と社会の間に「対話」は成立しにくいだろう。

2020 年の新型コロナ禍への日本政府対応のまずさが指摘されているが、至らなかった点の多くは 2009 年の新型インフルエンザ(H1N1)流行後の反省で示されていた。政府は危機が去ればそれを忘れ、経験から学ばなかった。過去の危機から学んだ台湾などと対応の違いが際立ち、国民の生命という「代価」を払った。それを痛恨事と受け止める気配が政府に薄いのも残念だ。

そんなことを原子力の世界でもう繰り返して欲しくはない。この 10 年間、何をなしたのかではなく、何をなしてこられなかったのかを、政府も事業者も考えてもらいたい。

#### — 参考文献 —

- 1) 山地憲治「エネルギー新時代の夜明け」エネルギーフォーラム, 2020.
- 2) 詩森ろば作・演出「アトムが来た日」2018 年 12 月 20~29 日, 下北沢ザ・スズナリ.
- 3) Lucy Kirkwood 作, 栗山民也演出「チルドレン」, 2018 年 9 月 12~26 日世田谷パブリックシアターなど各地で公演.
- 4) Joe Morgenstern “THE FIFTY-NINE-STORY CRISIS” THE NEW YORKER, May 29, 1995.

#### 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。日本経済新聞社産業部(現企業報道部), 新潟支局, 東京本社科学技術部, 米州総局ワシントン支局, 大阪本社経済部勤務などを経て 2009 年から 16 年まで論説委員。16 年 9 月から編集委員。



# 原子力安全向上と将来を担う人材育成

福井大学附属国際原子力工学研究所 竹田 敏一

## 1. 1F事故を教訓にした原子力安全向上

東京電力福島第一原子力発電所の炉心溶融事故からもうすぐ10年になろうとしている。事故の概要、原因、経過については国会事故調、政府事故調、民間事故調、東電事故調等が公開されており、更に日本原子力学会からも学会事故調最終報告書が出されている。学術的立場からは日本学術会議によって2014年に「福島第一原子力発電所事故プロセスの学術的検討」と称する公開シンポジウムが開催され、福島第一原子力発電所1~3号機の事故の状況、原因、今後の対策等について議論された。地震から約1時間後に来襲した大津波による非常用DGの機能喪失、およびDC(直流)電源の喪失(1,2号機)により、1,2号機は全電源喪失、3号機は、全交流電源喪失(ただし、直流電源枯渇により、後に3号機も全電源喪失)に至ってしまった。1号機では中央制御室の監視機能喪失もあり運転員がIC(非常用復水器)の運転を停止してしまい、2,3号機ではRCIC(原子炉隔離時冷却系)の機能低下、自動停止により原子炉水位が低下した。1~3号機とも消防車による注水を開始したが原子炉水位が大幅に下がり炉心損傷に至った。

このように炉心損傷事故に至った直接の要因として津波対策・電源確保が不十分であったこと、非常用炉心冷却系に対する運転員の緊急時の訓練不足等が挙げられる。津波および電源対策については防潮堤、防潮壁、水密扉、空冷式非常用DGあるいはポータブル型発電機等が多くプラントですでに設置されており、ハード面での対策は1F事故以降進められてきた。このようなハード対策に加えて、ハード、ソフト両面からの全体のリスク評価を行い、プラント全体の安全性を確保することが今後の課題である。

ソフト面については個々のプラントにより安全対策が異なるので、それを踏まえてプラント機器・システムの管理体制の向上を図る必要がある。事故時には、どのような対処方法が最適と思われるかを瞬時に判断しなければならない。このためには、常日頃の緊急時訓練により対処方法を身に付けることが大事である。例えば、圧力容器内の水位、圧力等のプラントの各機器の正しい情報を多数の運転員のコミュニケーションのもとに収集・推定し、放射性物質の格納容器からの放出を防ぐための対処方法を決定・判断する能力を、訓練を通して身に付ける必要がある。

安全性確保については原子力規制当局のみならず事業者、学会、各種研究所、大学、日本学術会議がそれぞれの考えを持っている。これらの考えを咀嚼し、議論することにより良い対策ができると信じる。しかし、これを行うにはお互いの信頼が必要である。現状ではこの信頼性が全く見られない。信頼は相手の言うことをそのまま受け入れることによって築けるものではない。相手方の内容を科学・技術面からとことん議論し合うことである。海外ではこのような議論が、例えばアメリカ原子力学会の討論会として持たれており、各立場の人が自由に議論できる機会がある。日本においてもこのような機会が日本原子力学会等で持たれると良いと考える。

炉心損傷に至る重大事故は二度と起こしてはならない。しかし、当然ながら過渡変化や、設計基準事故に対する対策も考慮し、安全性向上を図る必要がある。福島事故以前においては、日本では、より安全性を高めたABWR, APWRが建設されていくものと期待していた。さらに最近是新設炉として安全性に優れたプラントが数多く提案されている。例えば固有安全性を取り入れた小型モジュラー炉(SMR)がアメリカ、ヨーロッパ、日本等で広く提案・開発されている。日本にはまだ辛うじてそのような優れた原子力プラントを開発する技術力が残っているので、この時期に、国、電力、メーカ、大学が協力して原子力設計・建設・管理の技術力を維持・向上し、安全性に優れた原子力プラントが日本で設計・建設され原子炉のリプレースメント・新設が今後進むことを希望する。

さらに、原子力プラントの安全性確保は継続的に実施されるべきであり、新たに得られた情報・知見をプラント安全性向上に反映すべきである。一度、原子力規制委員会に認可されても、より安全性を確保できるなら、事業者はその努力をすべきである。規制側も、事業者がこのような作業を的確に実施できるよう、安全審査の期間を短縮する等の努力をすべきである。

## 2. 将来を担う原子力人材育成

安全性向上を継続的に行うには、原子力の将来を担う若手の原子力人材育成が不可欠である。原子力の安全性向上に生きがいを持ってくれる優秀な学生が育ってくれることを期待したい。

原子力安全性確保にはプラントの全ての機器の通常時

の安全性確保、異常時における耐久性維持と適切な対応が求められる。人材育成においても学生にはまず、全般的な原子力教育を行い、原子力にはどのようなカリキュラムがあり、各カリキュラムがどのように関連して安全性を確保しているかを教えるべきである。シビアアクシデントの講義では福島第一原子力発電所の事故の進捗、対応の問題点等を教えるのも良いであろう。しかし、全般的な原子力教育だけでなく、原子力教育で不可欠なことは、原子力の基礎となる分野である核・熱・燃材料・構造・安全・制御等の分野を真に理解することである。個々の分野を総合し、原子力プラントを全体的に理解し、調和のとれたリスク評価ができ、原子力安全性向上をけん引することが重要である。基礎力としては、原子力安全の基本である 1)止める、2)冷やす、3)閉じ込める、の原理をしっかりと教えることである。

「止める」に関しては、「臨界」という概念が炉物理学で重要な因子であり、これは中性子輸送方程式の固有値であることを教える。さらに「臨界」を学生自ら体験するために教育用原子炉、研究用原子炉を用いた臨界実験が欠かせない。臨界実験を体験しておくことが原子炉の異常時においても再臨界が生じたのかどうかを判断する貴重な経験となる。このためには将来に亘っての日本国内の教育用(研究用)原子炉、臨界集合体等の大型実験施設の維持・管理を早急に進める必要がある。大型実験施設の維持・管理は一大学だけでは対処することが非常に困難であり、日本全体、更には国際的に考えていかねばならない問題である。

「冷やす」に関しては燃料棒から冷却材への熱伝導、冷却材中の熱伝達現象を質量、モーメントおよびエネルギーのバランスの観点から理解させ、冷却材流量、圧力、温度、ボイド率が熱水力学では重要な因子となることを教える。事故時には炉心の崩壊熱除去を能動的・受動的システムを用いて実施する方式について理解させる。福島第一原子力発電所で用いられていた IC、RCIC の作動性について触れるのも学生にとって臨場感があるであろう。また、「止める」と同様、除熱性能を確かめるには実験施設が欠かせないし、それを用いて学生実験も実施すべきである。

「閉じ込める」に関しては放射線・放射性物質の挙動に関する基礎知識、それを閉じ込める原子炉容器、格納容器の材料強度の勉強をしてもらう。さらに、外的事象(たとえば地震)に対する、プラントの耐震性の勉強も重要になる。

以上述べた安全性の三大要素の基礎・基盤を学生に身に付けてもらい、プラント全体の設計・運転、安全性確保はどうすれば良いかを学生自らが体験してほしい。学生が自ら体験できる原子力実習・実験を必須科目とし、学生に原子力を実感してもらい、原子力への興味を持ってもらうことが必要である。大学院博士前期課程、後期課程の学生には各専門分野を深く追求し、独創的な研究成果を出すことを期待する。原子力教育の幅の広さを追及し、将来のより安全性に優れた原子力プラントの提案、より実用的な核燃料サイクルの提案も是非、学生自ら考えていただきたい。また、原子力の人材育成には国際協力が不可欠であり、世界の大規模施設の有効活用、優れた教授を日本に招聘すること等により、日本の原子力を将来性あるものにすることが望まれる。

### 3. もんじゅサイトの試験研究炉への期待

もんじゅサイトを活用した新たな試験研究炉として京都大学複合原子力科学研究所に設置されている KUR (5MW)の後続試験研究炉としての概念設計が始まろうとしている。KUR は使用済核燃料返還期限から運転困難になるため、もんじゅサイトに試験研究炉を建設することは、前章に述べた原子力人材育成の観点で大いに望まれることである。ただし、建設される試験研究炉が長期間に亘り有効的に使用されることが不可欠である。このためには、作られる試験研究炉は特色を持った炉であるべきで、独創的研究も実施可能であり、さらにこれまで KUR で研究を実施していた多くの研究者が引き続き利用でき、また学生実験等にも広く用いることが出来る必要がある。管理運営の母体となる組織には独創的な研究、放射線を用いた広範囲の利用をリードできる優れた研究者を配置して、試験研究炉が多くの人により有効的に利用されるように工夫すべきである。このような利用、管理体制が確立すれば、試験研究炉が建設されるもんじゅサイトも活気が出て、原子力研究の発展と将来を担う原子力人材育成に大いに期待される。

#### 著者紹介

竹田敏一 (たけだ・としかず)

大阪大学大学院工学研究科原子力工学専攻博士課程修了。日立製作所原子力研究所研究員、大阪大学大学院工学研究科助教授、同教授を経て、2009年に福井大学附属国際原子力工学研究所 所長・教授、2013年より当研究所 特任教授に至る。大阪大学名誉教授、米国原子力学会(ANS)フェロー。

# 1 F 事故と原子力

エネルギー総合工学研究所 松井 一秋

事故という地震と津波が東北の太平洋沿岸を襲った時、事務所にいて倒れ掛かる書類に埋もれそうになった。家族の安否を確認して、交通混乱の状況から早々に帰宅をあきらめ、さっそく状況、全炉心停止を確認しつつ懇親会を始めたが1Fの非常用電源が全部潰れているとの報を受けた。次の日の早朝、原産協の知り合いから電話があり、テレビ局からの問い合わせに対応してくれと頼まれた。それはそちらの仕事ではないかと断ったが、協会関係者が捕まらないか断られたかで頼むといわれて承諾した。ほとんどプラントのことを知らず、また事態を掌握していないというとんでもない状態でこの1週間は誠に赤面の至りであった。DGが濡れたぐらいだったら真水と乾燥空気で何とかと思ったが、1F経験のある同期から電源盤が濡れていてお手上げと言われて暗澹たる気持ちであった。炉心溶融あり、水素爆発ありの中で、楽観的なコメントが多かったが、原子力界として責任をわきまえつつできるだけ真摯な対応を心掛けたつもりである。

## 1. 「その後」

事故後かなり早い段階からエネルギー総合工学研究所では、原子力の安全の在り方などに関するシンポジウムシリーズを企画して立ち上げた。企画とニーズは抜群だったが、まだ方向性もない中で生煮え、特にコーディネーターだった私に確たる考えも何もなかったことが問題だった。

世の中の的には保安院ベースの「30項目の安全対策」だの各種の事故調査報告書が、一部恣意的な噴飯ものを含めて出現した。やはり海外物が、米国規制委員会、EPRIなどが優れていて対策の実行や評価など各国では迅速に行われていた。ほとんど責任などないはずの安全委員会がスケープゴートとして解体され、保安院も解散、東電はぼこぼこにされて見る影もなくなった。現在進行中の刑事の東電裁判は筋違いだ、それにしても事故ならびに損害に対する責任が明確でないところは極めて日本的で問題があるように思う。

新しい安全規制、世界一厳しいのだそうだが、40年寿命や無条件のバックフィットなどの非科学的な欠陥込みで始動しているが、問題は変わらずの運用と上から目線で、これでは日本の原子力発電は浮かばれない。深層防護もわが国においては多重防護としての物理的、モノと

して障壁のイメージが浸透していて、思想としての理解が弱かったことも露呈した。事故後の緩和対策が弱かったとして、これは世界的に見直しがなされた。しかしどこまで何をやればよいのか、共通認識があるわけではない、特にこれ以上は考えなくてもという、“practically eliminated”の問題はどうなっているのだろうか？またしてもわが国ではこの手の議論は無視しているように思えることと、どうしてもモノにこだわって防潮堤のかさ上げ、フィルターベント、特重などなどのフルスペックで、しかも安全性の重みを無視しての杓子定規で、再稼働などままたまらない状況が続いている。

第4次のエネルギー基本計画では、原子力エネルギーはかろうじて主力電源として残されているものの、理不尽にも再生可能エネルギー電源の後塵を拝しかつ「可能な限り低減させる」と不要の扱ひである。しかも安全審査を得たにしても住民ならびに国民感情の現状では計画目標を達成する見通しは無い。議会での圧倒的多数の旧政権および某有力省庁によるリーダーシップを期待する向きもあったがはかない夢であった。

## 2. 原子力の位置づけと期待

いわゆる核燃料サイクルはリサイクルあるなしにかかわらずなんだが、高速炉開発は休眠していたのごとくのもんじゅが理不尽にも保安だか管理不行き届きということにつぶされた。再処理プラントは必死の審査対応で生き残ったが、不要のプルトニウムは作らないとかで少なくとも当面フル稼働は望めない。さらに高速炉の開発実用化を軸にしたわが国の原子力政策だか計画はいま一度でも何度でも再検討でも再確認でもなされるべきであろう。理想は降ろすことはないが、固執してにっちもさっちもいなくなることは避けたいところである。エネルギー基本計画の最大の課題といっても過言ではないであろう。個々のプラントだの計画についての周辺住民の理解はともかく、原子力政策そのものの国民的な議論、そして望むらくは理解が得られることを望むところである。

2020年10月に公表された恒例のIEAの世界エネルギー展望は、不確実な将来にも対応するべく4つのシナリオを示している。全体としては世界の環境問題、温暖化に対応すべく原子力エネルギーへの期待はあるものといった位置づけの感がある。かなり楽観的なシナリオの「持続可能な開発シナリオ(SDS)」では、太陽光、風力

発電と省エネの急激な増大とともに、次の10年で水素と炭素吸収・貯蔵・利用が大きく増える、そして原子力には新たなモメンタムが見られるであろうとしている。われわれに課せられた課題はそのモメンタムを創造することにあるのではなからうか？画餅でもって、イノベーションだの人材育成を主張してもどうかと思う次第である。

### 3. 人材育成と夢

内閣府の「放射線利用の経済規模調査」によると、事故前までは、原子力発電と放射線利用ではほぼ拮抗する経済規模であったが、今や見る影もないほどに原子力発電ビジネスはしぼんでいる。すなわち廃炉や再稼働対応でしのいでいるものの、原子力立国計画やわが国のインフラ技術の海外展開に沿っての原子力発電プラント建設計画が壊滅した今日、下賤に言えばお先真っ暗と言わざるを得ない。世界的には発電用として大型軽水炉の需要は大きい、それもロシアのVVER1200ならびに中国の華龍1号に席巻されている。第5次エネルギー基本計画で原子力発電の新設・増設が当面ご法度とでもなると、わが国の出番はせいぜい機器・部品の提供、点検・補修ぐらいが関の山か。将来のことを考えて、人材育成だのといってもその将来とは何なのだろうか、それを描く責務をもっているのが、われわれ、学会といっても差し支えないのではないか。その際、カビの生えた古文書など持ち出して興ざめになることは勘弁してほしい。

### 4. 「日本の原発はどこへ行く」

2020年の秋の学会は初のリモート開催となったわけであるが、毎年春に開いていたフェローの集いもヴァーチャルで実施した。恒例の新フェローの紹介に続いて、特別講演として元会長の前原子力規制委員長の田中俊一さんをお願いしてあった。「日本の原発はどこへ行く」というかなり刺激的な題目で、現状は、原子力利用を継続することが難しい状況にあるとして、原子力利用を支える基盤を再構築する以外にないと主張した。問題認識として共有するところも共有しないところも多くあるのだが、このままではじり貧間違いなしというところは同感で、一致している。

そこで原子力が抱える問題をひとつずつ課題としてとらえてそれを解決していくことをテーマにしたらどうだろうか。すぐさま世の中が変わることを期待するのではなく、大きなテーマに少しずつ取り組む。例えば原子炉安全についても、何があっても放射性物質を環境に出さない、いいかえると溶けない炉心、あるいは溶融塩炉炉心だったらいずれにしても外部環境に影響を与えない。こういうと安全神話だと言われそうだが、何を言われようが、目指す性能と、持っている技術の限界、ギャップ

の追求と発想の転換など技術開発の要素ではないか。確かに壁は存在するのだが、そこでやっぱり駄目なんだと引っ込むかしつこく粘るか。私は開発の目標として退避不要を主張したい、EPZゼロメートルである。最近はやりのSMRやマイクロリアクターでは、必須の特性ではないか？そうでないと、また遠くに見える警戒厳重なプラントの水蒸気や電気を利用してということにはなりにくい、電気だけ一途に作るしか能がない時代は終わりつつあるかもしれない。

また核燃料サイクルについても、もともと成り立たない話ではなく、高速中性子の活用にしても、再処理によるリサイクルにしてもどれも理にかなっているが、ビジネスとして飛びつく話ではない。今の状況ではプロジェクトとしての時定数が長すぎる、あるいは見えないので論外ではあり、国際協力の美名による延命策も燃え尽きている。米口ともにもう一度初心に帰れとばかりに多目的の試験炉を作ろうとしている。炉周りだけでなくサイクル技術やシステム全体の見直し、破壊的創造の探求もまたテーマとなりうる。溶融塩炉の高速炉心もこの流れの中でとらえることができるのかもしれない。

福島や通常炉の廃炉で、飯が食える人もいるだろうが、原子力が持つ本質的な魅力を引き出す話とは違う。再稼働や新検査制度などの規制対応での多くの方々の苦労は重々承知しているつもりではあるが、再稼働、新・増設云々で待ちくたびれるのは飽き飽きで、雌伏の時にこそ、大ぶろしきの玉を育てたいものである。リアリティを見据え、枝葉末節にこだわらず、目的と手段を取り違えずに行きたいものである。

以上、著者の勝手な思いをつづったもので研究所の考えとか活動とは関係ございません。

#### — 参考文献 —

- 1) Enhancing Reactor Safety in the 21st Century, U.S. Nuclear Regulatory Commission, JULY 12, 2011, <https://www.nrc.gov/docs/ML1118/ML111861807.pdf>
- 2) World Energy Outlook 2020, IEA, October 2020, url: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>
- 3) 放射線利用の経済規模調査(平成27年度), 平成29年8月29日 内閣府. <http://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siry02017/siry029/siry01-1.pdf>

#### 著者紹介

松井一秋 (まつい・かずあき)

東京大学工学部卒。(株)クレハ、(一財)エネルギー総合工学研究所理事などを経て2016年から同研究顧問。GIF元政策グループ、OECD/NEA/NDC前議長、IAEA/LWR-TWR前議長、W.Bennet Lewis賞(ANS, 2017)、日本原子力学会フェロー。

# 1 F 事故が示唆していること

原子力安全研究協会 松浦 祥次郎

## 1. はじめに—何を考えるべきか—

1950年代後半に原子力発電が全く新しい電気エネルギー供給手段として、いわば現代科学技術文明の最新成果として、世界の先行原子力利用国の民生用発電に導入されて以来、20世紀末までには原子力発電は多くの国々の基盤的重要電源となるまでに発展した。

人類が知恵と努力でこの世界に新しい文明を拓いた時、どの文明にも善と悪の両面の存在が必然であり、利用の当初には予期通りの利益と共に予想外の不都合や時には災害に見舞われることもある。自然に対する人類のチャレンジ(挑戦)とその成果である文明に対する自然のレスポンス(応戦)であったり、文明内の矛盾による混乱であったりする。ごく原始的な遊牧や栽培の文明においてもすでにそうであった。

現代科学技術文明の開発利用においても再々に同様の現象に遭遇している。原子力発電の開発利用経緯を辿ると、開発成果による裨益(ひえき)の半面に、事故や不都合な事象の発生毎に出会う厳しい蹉跌にそれを痛感させられる。20世紀末までの典型的な大きな事故・事象の主原因はいずれも原子力文明内の機器システムの内部矛盾や運用の不適切であった。開発利用側はこの状況を克服する為に、事故・事象から得た経験・知見を精査して原子力発電運用の安全確保パラダイムを構築し、技術システムも、運用方策も21世紀に継承された。

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所事故(1F事故)の主因は発電所の建設や運用においては想像もされていなかった大地震と、それに伴う大津波によって生起された。運転中の炉は大地震に因る外部電源喪失に対しては設計通りに緊急停止し、非常用電源の自動起動による冷却を継続した。この状態が継続すれば大事故には至らなかったと考えられる。しかし、その後には襲来した地震由来の大津波によってプラントは全電源喪失となり、運転クルーの懸命の対応によっても如何ともしがたく、大事故に至った。

この事故は原子力発電開始以後、世界初の自然現象による外部要因大事故であった。これは開発者の自然に対するチャレンジへの自然からのレスポンスであったのだろうか。それに対する開発済みの安全確保パラダイムに欠陥があったのか。それとも安全確保パラダイムは十全であり、施設整備や運用が不十分であったのか。1F事故の示唆するところを考えてみたい。

## 2. 発電炉の安全確保パラダイム構築

原子力平和利用を進める全ての国々は当初から利用における安全確保を大前提としている。その実現に最も重要な国際的課題は、世界の利用国共通の安全確保パラダイムを構築し、各国がそれを遵守することである。国際原子力機関(IAEA)は設立当初から、加盟国の原子力活動の安全確保原則などを文書化し、それらを加盟国の原子力活動の安全規範として採用することを促す責務を有することが憲章に定められている。

原子力の発電利用が世界的に加速され始めた1980年代頃から、原子力発電の安全問題の重要性が世界的共通問題となった。この傾向を重視して、IAEAは原子力活動の安全に関する重要な共通課題の情報交換と専門的議論を深め、国際的共通認識を醸成することを目的に、事務局長直轄の安全問題諮問グループ(INSAG; International Nuclear Safety Advisory Group)を設置した。

設置直後にチェルノブイリ原子炉事故(旧ソ連、1986年)が発生した。この事故の原因調査と分析がINSAG最初の大仕事であった。調査結果はINSAG文書の第1号(IAEA-75-INSAG-1)として1986年に公表された。この文書でこの事故の最重要原因の一つが「原子力安全文化の甚だしい欠如」と指摘された。原子力安全文化の理念と重要性が公的に明示されたのは、これが初めてであった。

引き続きINSAGは、過去の原子炉開発用途上において発生した大小事故やトラブル事象の知見・経験を、民生用炉のみでなく軍用炉についても有用な事項を網羅し、精査と議論を可能な限り深めて、20世紀末時点での原子力発電の安全確保パラダイムの構造と構成事項を具体的に示すINSAG文書を続けて公表した。特にパラダイムの根幹を示す典型的な重要文書として以下を挙げたい。

- ① INSAG-3 Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants(1988)および改訂版INSAG-12(1999),
- ② INSAG-4 Safety Culture(1991),
- ③ INSAG-6 Probabilistic Safety Assessment(1992),
- ④ INSAG-10 Defence in Depth in Nuclear Safety(1996),

「原子力安全確保パラダイム」と題して公刊された単独の文書は無いが、INSAG-12はそれが文書化されたものと理解できる。またINSAG-4とINSAG-10は安全確保上特に重要な理念を解説した文書である。さらに、これ

らの文書類を、その後の新知見・理念を追加してパラダイム強化が継続された。上述の INSAG-10 では安全防御を第5レベル、すなわち設計基準を超える大事故への対応まで要求している。現代科学・工学レベルの最高をつくり第3レベルの対応を完備すれば、ほぼ完璧の防御と考えられる。しかし、INSAGは過去の事故例を考え、第5レベル防御対応を必要としている。この実現には、事業者、政府、地域社会の緊密で弾力的な協働が不可欠である。

### 3. 現行安全確保パラダイムの信頼性

1F事故の直後からINSAGのメンバーをはじめ国内・海外の多くの原子力安全分野の専門家が等しく疑問を持ったのは「現行の軽水炉技術のレベルは1F事故を防止できるか」という問題であった。換言すれば、「現行の安全確保パラダイムを遵守すれば、1F事故状況に対応可能であるか」という問題である。この問題については多くの組織や専門家グループで議論が重ねられた。IAEA・INSAGでは事故後約1年を掛けて議論し、その結論を書簡として事務局長に伝えた。結論の中核的内容は、「現在の軽水炉技術は、必要設備が適切に整備され、運転員の訓練が習熟したものであれば、事故防止が可能なレベルに達している。しかし、発生が極めて稀であるがその影響が非常に大きい事象に対しては今後さらに研究を進めるべきである。」とある。1F事故に関して2015年に公刊されたIAEA事務局長報告書の要約からも同様の趣旨が読み取れる。本学会の「学会事故調最終報告書(2014)8. 事故の根本原因と提言」の最終節「まとめ」からも、「世界標準の安全確保パラダイムにしっかり対応できておれば1F事故は少なくとも相当に小規模に収め得た」と読み取れる。

そのようであれば、1Fの所有者かつ運用者である東京電力のみでなく、筆者を含め、わが国の原子力研究開発利用に参画した者の全てが、過去の全世界の原子力事故やトラブルの苦い経験・知見を踏まえ、国際的に知恵と努力を傾けて構築してきた安全確保パラダイムの最重要の真髄にまでは至れず、備えるべき対応を怠っていた不明と怠慢を厳しく反省しなくてはならない。恐らくはそれが重い事実であろうことを自省せざるを得ない。

### 4. 1F事故の示唆

われわれ日本の原子力研究開発利用を推進してきた者は、われわれの先輩をも含めて、知り得る限りのそれぞれの原子力関連事故・事象に心底から学び、それを自分自身で調べ、徹底的に考えたであろうか。また、世界標準とされていた安全確保パラダイムを胸張って明言できるほどにわれわれの技術体系と運用組織およびその実施に活用してきたであろうか。1F事故はその全体について、心底に至る深く強い反省を要求しているのではないか。

1F事故において何より厳しい反省は、安全確保パラダイムで最も重要と考えられている深層防御と安全文化に大きい欠陥があった事である。なぜこのような状況になったかと言えば、「深層防御は第5レベルまで対応すべきとなっているが実際には第3レベルまでをしっかりと対応すれば十分である」との考えが全体に共有されてしまっていたという事実にある。チェルノブイリ事故を考えれば、いざというときには第4・第5レベルの対応の不可避性は自明であるが、全体的思込は思考の必要性さえ看過してしまう。もし、安全文化的3要件「常に疑問を持ち、対応は慎重かつ厳格に、コミュニケーションを確かに」が心髄に堅持されていれば、「第4、第5レベルの対応無視で本当に問題ないか」を真剣に検討したであろう。

過酷事故対応に対しても科学的合理性をもって、放射線被ばくの影響を過剰に恐れることなく、「守るべきは人の命である」との目標をしっかりと基準にして避難計画が準備され実行されていれば、高齢者や病弱者に無理な避難を強制する事態を生じることもなく、2,000人に及ぶような事故関連死を招く悲惨は避け得たと考えられる。

原子力安全の主目標は原子力活動に特徴的な放射線および放射能による従事者と一般公衆の障害を防止することである。1F事故では事故直接の放射線障害は発生しておらず、また生涯にわたっても発生の可能性は極めて低いとIAEAおよびその他機関により評価されている。しかしこれによって1Fが安全目標を達成したとは社会的常識からすれば到底理解されない。かなり広い周辺地域に放射能汚染をもたらし、多数の住民に避難を強制し、地域社会とその生活環境を事実上破壊したからである。1F事故は今後の原子力活動における深層防御の確実な対応を事業者、国、地方自治体および住民との連携共同活動として実施しなければならないことを示唆している。

人間活動ではいかに十全の準備をしても何らかの事故は起こる。内的原因、外的原因どちらでも生起の状況に至れば自然の法則に即して発生する。その防止と対応は徹底的に自然法則に従ったもの、すなわち自然科学的でなければ効果は望めない。残念ながら、わが国社会は徹底的に科学的に考え、議論し、決定するという科学文明社会的成熟のために克服すべき要件が多だと判断せざるを得ない。原子力の裨益を受けるには、その要件を地道に克服する謙虚で剛毅な継続的努力が必須であることを1F事故は厳しく示している。(以上)(2020年11月記)

#### 著者紹介

松浦祥次郎(まつうら・しょうじろう)

京都大学卒、1961年原研入所より原子力研究開発および安全道一筋に60年を辿る。1995年～2006年のうち数年間をIAEA・INSAGメンバーとして議論に参画。

## 次の10年に向かって

長崎大学原爆後障害医療研究所 松田 尚樹

ATOMOS誌からの原稿依頼をお引き受けして、そういえば1F事故直後にも同じようなことがあったと思ひ出した。探してみると、2011年10月号に拙稿が掲載されていた<sup>1)</sup>。今回は、それ以来、私が触れてきた範囲内の原子力・放射線に関する社会環境はどのような変遷を辿り、結局、10年後にはどうなっているのかということ整理してみる良い機会となった。

事故後しばらくの間、いわゆる「原子力」とは直接の関係のない放射線関連学会でも、それぞれの専門領域から1F事故を取り上げた。その中で私がプレゼンに使ったスライドを見直してみると、一様に、説明の伴わない無責任なモニタリングデータの氾濫を嘆き、多種多様な「専門家」の健康影響に関する意見の不一致に失望し、そのような国民的混乱の中で見えたものとして、白か黒か、善か悪か、安全か安全でないかを求める「単純な二値化」、マスコミが振りかざす「無邪気な正義感」、それでも堂々と逆風に立ち向かい原子力の推進を声高に叫ぶ「浮世離れた原子力村」を挙げていた。単に挙げるだけで、無責任なものであるが、当時の率直な感想ではあろう。

モニタリングデータの氾濫は、逆に言えば良質なモニタリングデータが十分に発信されていなかったことを意味する。緊急時モニタリングを初めとする初期の放射線情報の混乱については、本誌2011年12月号の解説に詳しい<sup>2)</sup>。事故後の3月14日以降に滞在した福島県災害対策本部医療班にあっても、福島県立医大にあっても、組織的に収集されたモニタリングデータを目にすることはなかった。また、現場で自前に収集したモニタリングデータを発信することのできる信頼に足るサイトはなく、やむなく学会のメーリングリスト内で情報共有するにとどまった。それを教訓として、緊急時モニタリングに興味を持つことになった。多くの大学で、1F事故後にモニタリングを初めとする緊急対応が自主的に行われてきたこと、また緊急時の組織的な対応に前向きであることがわかったので、大学の放射線施設の種々のモニタリング機器とスキルを活用し、緊急時の自前のモニタリングデータの相互チェックと発信のできるプラットフォーム作りを描いた教育研究プロジェクトを立ち上げた<sup>3,4)</sup>。原子力規制人材育成事業により支援を受けたこのプロジェクトは、各放射線施設のモニタリングスキルアップおよびネットワーク化とともに、次の世代を担う

人材の発掘と育成を目的とした。その一つとして、1Fおよび福島県内各地、九州電力(株)玄海原子力発電所および佐賀県オフサイトセンター、日本原燃(株)六ヶ所村事業所および(公財)環境科学技術研究所、JAEA人形峠環境技術センター等の協力を得て実施した全国公募型フィールドモニタリングセミナー<sup>5,6)</sup>には、13回で207名の医学生物学、薬学、保健学、工学、理学等多岐にわたる専門分野の学生等が参加した。マスコミや論文を通じて知る情報ではなく、実際に測定し、かつ現地の活動に触れ、さまざまな角度から放射線環境を知ったことにより、複合領域、学際領域である緊急時におけるモニタリングの裾野となる人材が今後増えてくれることを期待している。

また、この事業を契機として、新たな原子力災害対策指針のもとで整備が進められている緊急時モニタリングセンター(EMC)の訓練にも関わることとなった。従来からのモニタリング情報等共有システム(RAMISES)に加えて、新テクノロジーシステムが導入され、新型コロナウイルス感染拡大策と連動してリモート会議はさらに普及し、支援システムは徐々に進化している状況である。その実効性はEMCに参集する国、自治体、事業者、指定公共機関のメンバーのスキルに大きく依存する。新体制の中身を充実させ、EMCの実効性を確保するための訓練の実施と人材の確保、育成が今まさに重要な段階にある。

健康影響に関する専門家の意見の不一致については、専門家と言われる人々の放射線に対するリスク認知を調査したところ、もの見事に法規制による基準値を拠り所としており、1F事故後の基準値を超えた段階では、専門家といえ思考停止に陥り、一様ではない個々のリスク認知に基づく発言や行動が顕在化したことがわかった<sup>7)</sup>。専門家に対して科学的均一性を求める一般市民と、決して均一ではない専門家の実像のギャップが、あの大きな混乱を招いた一因と考えている。それでは、と、市民や小中高校生に正しい放射線の知識を伝授する機会や支援ツールは飛躍的に増えた。皆が正しい知識を得たからといって、皆が同じ考え方をする必要はないが、放射線ラーニングと放射線リスクコミュニケーションが共存せざるを得ない環境では、教育の目的として「合意形成」の一語が垣間見られる。正しい知識の普及は

良いことだが、これで「単純な二値化」と「無邪気な正義感」がどの程度払拭できるのかどうかはわからない。一方、医学教育の立場からも新しい放射線教育が必要との声が高まり、2014年9月に日本学術会議より提言「医学教育における必修化をはじめとする放射線の健康リスク科学教育の充実」<sup>8)</sup>が発出され、2017年3月に公表された医学教育モデル・コア・カリキュラムでは、基礎的な「生体と放射線」、「医療放射線と生体影響」に加えて、実践的な「放射線リスクコミュニケーション」および「放射線災害医療」が新たな学修項目として設定された。しかしながら、もともとカリキュラムが過密な医療系学部、学科で、この新しい授業を開講する時間と教育リソースは限られている<sup>9)</sup>。そこで、国立大学医学部長会議と文部科学省課題解決型高度医療人材養成プログラムもこの動きに連動し、今ではビデオストリーミング配信を初めとする放射線健康リスク科学教育に関する教育コンテンツが公開されている<sup>10)</sup>。原子力災害時に適切に対処できる医療従事者の養成が最終目的であるが、まずは、そのような世界に興味を持つ学生を育てる段階と言えよう。

浮世離れた原子力村とは失礼な言い種だが、管理している大学の放射線管理区域をはるかに超えるレベルの汚染を広い範囲の一般環境に引き起こした原子力発電というテクノロジーに対して、私が嫌悪感を持っていることは事実である。学内のエネルギー関係のセミナーで1F事故時の経験について講演を行った際に、そのような感情が少なからず滲み出ていたのだろう、参加者の一人から、ぜひ、わが社でもこのような話をしてもらえないか、という打診を受けた。それが九州電力の社員の方であった。なんとも包容力のある会社かと驚きつつお受けしたが、支社での講演後、社員の方にどこまで響いたのかどうかはわからない。しかしこれが契機となって、意見投稿要請問題に揺れる同社の信頼性再構築のためにと設置された委員会に外部委員として招かれることとなった。コンプライアンスやコミュニケーションの考え方の違いや、「原子力発電に係る急激な環境変化への対応」、「地域共生」等の聴き慣れない語群など、なかなか言葉の通じない部分もあり、なるほどこれが原子力村かと実感させられることしきりであった。直球勝負の委員長に引っぱり、門外漢が図に乗って言いたいことを言わせていただいた感があるが、気がつくとならに議論が噛み合う部分も出てくるようになった。そして1F事故後、日本初となる再稼働に向けての動きが本格化すると、激務を黙々とこなしている原子力部隊を、立場は違うが同じ職業人として陰で応援していた。原子力村の

アリティに触れた瞬間である。7年以上にわたった一連の議論と総括報告書は、すべて同社ホームページで公開されている<sup>11)</sup>。極めて興味深い仕事であった。

1F事故から次の10年に向かおうとしている。これまでの10年でも、国内で被ばくを伴う原子力・放射線施設の事故は数度にわたり起こっている。わが国は原子力・放射線災害大国と言ってもいい。次の10年も何かが起こる可能性は十分にある。原子力の規制や、運用や、その防災に関わる人間は、このことを肝に銘じて、決して福島を風化させず、常に緊張感を持って事にあたらなければならない。1F事故を典型的な原子力事故モデルと考えてはいけぬ。訓練を企画する側は、もっと想像力を持ち、頭を使うことである。そして、線量の相場観を持ち意思決定のできる人材を育てることである。私が触れてきたような、原子力・放射線に関する社会環境のほんの一部の領域でも、課題は山ほどありそうだ。

#### － 参考文献 －

- 1) 松田尚樹. 日本原子力学会誌 53(10) : 666-667(2011).
- 2) 占部逸正. 日本原子力学会誌 53(12) : 821-825(2011).
- 3) 松田尚樹 他. 日本放射線安全管理学会誌 17 : 16-22(2018).
- 4) 松田尚樹. 日本放射線安全管理学会誌 17 : 34-41(2018).
- 5) 大学等放射線施設による緊急モニタリングプラットフォーム構築のための教育研究プログラム.  
<https://www.genken.nagasaki-u.ac.jp/nuric/ricnew/emp/index.html>
- 6) Matsuda N et al. Radiat Prot Dosim 184: 294-297(2019).
- 7) Miura M et al. Health Phys 110: 558-562(2016).
- 8) 日本学術会議臨床医学委員会放射線防護・リスクマネジメント分科会(2014).  
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t197-3.pdf>
- 9) 松田尚樹 他. 医学教育 50(6) : 581-587(2019).
- 10) 国立大学医学部長会議. 放射線健康リスク科学教育コンテンツリンク集.  
[http://www.chnmsj.jp/housyasen\\_contents\\_link.html](http://www.chnmsj.jp/housyasen_contents_link.html)
- 11) 九州電力. 原子力の業務運営に係る点検・助言委員会.  
[http://www.kyuden.co.jp/trust\\_effort\\_inspection\\_advise.html](http://www.kyuden.co.jp/trust_effort_inspection_advise.html)

#### 著者紹介

松田尚樹 (まつだ・なおき)

長崎大学原爆後障害医療研究所 放射線リスク制御部門  
放射線生物・防護学分野。

放射線審議会委員, 人事院安全専門委員, 日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会長, 日本放射線安全管理学会顧問, 日本放射線影響学会監事。



## それでも脱原発をめざすべき三つの理由

朝日新聞論説委員 村山 知博

### 1. 2050年に脱炭素社会

「わが国は、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、すなわち2050年カーボンニュートラル、脱炭素社会の実現をめざすことを、ここに宣言いたします」

菅首相は昨年10月、臨時国会の所信表明演説で、地球温暖化対策の新たな目標を掲げた。

地球の気温は年ごとに上昇し、異常気象や自然災害が世界各地で多発している。気候変動の被害をできる限り抑えるには、産業革命以降の気温上昇を1.5度に抑えなければならない——。温暖化対策の国際ルール「パリ協定」は、そんな努力目標を掲げている。これを達成するには、2050年までに温室効果ガスの排出を実質的にゼロにすることが必須だ。

このため、パリ協定に署名した180を超える国々のうち、すでに120か国ほどが「50年に実質ゼロ」を宣言した。実際に欧州を中心とする各国では、石炭火力発電からの撤退を決めたり、再生可能エネルギーを思い切って拡大したり、ガソリン車・ディーゼル車の全廃をめざしたりと、さまざまな取り組みが進んでいる。

そんななかで日本は「50年に80%削減」という目標を掲げるのみで、実質ゼロをめざす具体的な時期は明示してこなかった。菅首相が「50年に実質ゼロ」を掲げたことで、遅ればせながらスタートラインに立ったことになる。

### 2. 「原子力政策を続ける」

とはいえ「50年に実質ゼロ」は非常に高いハードルで、2030年に2010年比で45%削減しないと実現はおぼつかない。ところが現在の日本の目標は「2013年度比で26%削減」にとどまっており、このままでは「50年に実質ゼロ」の達成はほぼ不可能だ。菅首相の宣言がかけ声倒れにならぬよう、できるだけ早く10年後の目標を大幅に引き上げなければならない。

排出を大幅に削減するにあたってカギを握るのは、電源構成(エネルギーミックス)の見直しである。発電は日本の排出量の約4割を占めており、電源の脱炭素化が進まないままでは、すべての自動車が電動化されたとしても排出削減の効果は薄れてしまう。

現行のエネルギー基本計画は再エネを主力電源に位置づけているものの、2030年度の電源構成は「再エネ22~24%」「原子力20~22%」「石炭26%」「液化天然ガス

27%」となっている。大幅に排出を削減していくには、排出量の大きい石炭火力からの撤退を急ぎ、さらには天然ガス火力など化石燃料による発電も減らしていかなければならない。

そこで問題となってくるのは、火力の発電量が減っていく分を何で補うのかである。

この点について、菅首相は所信表明演説で「再エネを最大限導入する」と述べると同時に、「安全最優先で原子力政策を進めることで、安定的なエネルギー供給を確立します」と強調することも忘れなかった。石炭の穴を埋めるためには原発も必要だ、という考え方を示したといえる。

### 3. 福島第一原発事故の衝撃

たしかに「50年に実質ゼロ」を実現するには、原発が必要だという声は根強い。原発は1基で100万キロワットを超える大きな電気を起こせる一方で、運転の際に二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)を出さない。首相の演説を受けて、早くも自党内から、再稼働だけでなく新設を促す声も出始めている。

しかし私は、それでも将来的には原発に頼らない社会をめざすべきだと考えている。

そう考える理由は三つある。

第一に、事故のリスクをゼロにすることができないからである。このことを記事に書くと、「ゼロリスクを求めるのは非科学的だ」「事故のリスクがあっても飛行機や車に乗るじゃないか」と反論をいただくことがある。

実は私も、東京電力福島第一原発の事故が起きるまでは同じような考え方だった。原発には事故のリスクがあるものの、電力の安定供給というメリットもある。だから、安全対策に万全をつくしたうえで使うのはやむをえない。そう考えていたのである。

だが、実際に起きた原発事故は想像していた以上に、いや、はるかに過酷なものだった。

「シミュレーションとしてあらゆる可能性は調べさせた。避難範囲が100、200、300キロと拡大した場合、関東全部が入ってしまう。そうなると3,000万人が避難することになり、日本という国が成り立たなくなる」

「原発への考え方を変えた最大の理由はそこだ。国の半分が住めなくなるような事故があったとしたら、100年に1回だってそんなリスクは負えない」

事故当時の首相だった菅直人氏は2011年9月、朝日新聞のインタビューに、このように答えている。まったく同感である。原発の重大事故は飛行機事故や交通事故とは質が違う。航空機が墜落して数百人が亡くなっても、多重事故のせいで高速道路が通行止めになっても、日本の政治や経済、社会が壊滅的なダメージを被ることはない。だから私たちは、多少のリスクをわきまえたうえで飛行機や車で移動する利便性を優先している。だが、原発がどれだけ効率よく発電できても、いくら温暖化対策に役立っても、国の根幹を揺るがしかねない重大事故のリスクを受け入れることはできない。

福島県ではいまだに4万人がふるさとに戻れない現実があることを見るにつけ、脱原発への思いを強くしている。

#### 4. 原発は安上がりではない

第二の理由は、原発に経済合理性がないことである。

朝日新聞の調査では、東京電力福島第一原発事故後の原発の安全対策費が、電力11社の合計で少なくとも5兆2,376億円にのぼることがわかった(2020年8月9日朝刊)。記事によると、新規基準の施行から7年がたったいまなお、テロ対策施設の費用を軸に安全対策費が増え続けている。まだ費用を計上できていない原発も多く、総額は今後さらに増える見込みだという。

1基あたりの安全対策費を計算してみたら、再稼働した5原発9基は1,400億~2,300億円ほどとなるそうだ。新基準に適合したものの未稼働の原電東海第二と関電美浜3号機(福井県)は、1基で2,400億円に上った。

ちなみに政府は15年、2030年時点の電源別の発電コストを検証している。それによると、原発は1キロワット時あたり「10.3円以上」であり、水力(11円)や石炭火力(12.9円)よりも安いことになっている。とはいえ、政府検証では安全対策費を1基につき1,000億円としている。実際にはもっとかかるため、1,000億円あたり0.6円ほどコストが上がることになる。

一方で再エネの発電コストは下がっており、国際的には原発はおろか石炭火力をも下回るようとしている。「原発は安上がりだ」という従来の政府の説明が通らなくなってきている。

#### 5. シンプルに考えよう

第三の理由は、原発が高レベル放射性廃棄物、いわゆる「核のごみ」の処分という難しい問題を抱えている点である。

核のごみの中には半減期が数十万年に及ぶ核種もあり、10万年ほど隔離しておかないといけない。考えてみ

れば10万年前は、現生人類がアフリカを出て世界に広がり始めるころであり、私たちの文明がまだ生まれていないほど昔である。ということは、これから10万年後といえ、人類の文明が存続しているか定かでないほど先の時代である。原発を動かせば、そんな未来まで安定隔離しなければならないゴミが出ることを忘れてはならない。

日本では、高レベル放射性廃棄物を地下300メートルより深いところに処分することが法律で決まっている。地震や火山活動によって施設が壊れてはならず、活断層や火山の多い島国の日本では適地に限られる。昨年10月、高レベル放射性廃棄物の最終処分地をめぐる3段階の選定プロセスのうち、第1段階の「文献調査」が北海道の2町村で始まる見通しになった。2007年に高知県東洋町が応募してから13年ぶりだ(東洋町は後に撤回した)。

文献調査では2年をかけ、火山や地震、地質などの資料を使い、机上で地層の変動や鉱物資源の有無などを調べる。その後、第2段階の「概要調査」が4年間、第3段階の「精密調査」が14年間ある。最終処分場の事業を進める経済産業省と原子力発電環境整備機構(NUMO)は「(文献調査が終わっても)知事や首長が反対すれば次の段階には進まない」と説明している。北海道には核のごみを「受け入れがたい」とする条例があり、鈴木直道知事は2町村の応募に反対の姿勢で、調査がどう進むのかは見通せない。

世界的にも最終処分地の選定は難航している。いま原発を運転している国は30か国ほどあるが、最終処分場の建設が始まっているのはフィンランドだけで、あとはスウェーデンで立地・建設許可の申請が出されているのみだ。日本を含めて多くの国々が、最終処分のあてがないまま原発を動かしていることになる。はなはだ無責任といえよう。

「資源に乏しい日本には、エネルギーの安定供給と安全保障のために原発が必要だ」「原子力発電の技術を将来に継承していかねばならない」。さまざまな理由を挙げて原発の維持を訴える人は少なくない。だが、もっとシンプルに考えるべきだ。より安全で、安上がりで、やっかいなゴミを出さない電源の方がいいに決まっている。

#### 著者紹介

村山知博(むらやま・ともひろ)

東京大学文学部社会心理学科卒。1989年、朝日新聞社入社。アメリカ総局員、GLOBE副編集長、デジタル編集長、科学医療部長をへて、2018年から現職。

## 日本の原子力産業の国際展開再挑戦はあるか

日本エネルギー経済研究所 村上 朋子

### 1. 1F事故が国際展開を衰退させた？

ここ10年、日本の原子力産業の国際展開が衰退の一途をたどっていることは否定しようがない。しかしながら「福島原発事故以降、世界中で原子力利用の機運が後退した」といった論調についてはいくつかの誤解があることを指摘したい。「世界中で」原子力利用の機運が後退したのかと言われると、明確に「違う」と言えるであろう。米国・英国など1F事故前より原子力設備容量が減少した国もあるが、それらの国で原子力設備容量の減少と原子力産業の衰退を引き起こした要因は1F事故ではない。本稿では「日本の原子力産業の国際展開を衰退させたのは1F事故か」に論点を置いた考察を行い、日本の原子力産業の挑戦に向けた示唆を試みる。

### 2. 2010年の国際原子力市場に中国はいなかった

2010年の国際原子力市場はベンダー数社の寡占化状態にあった。米国を本拠とする Westinghouse Electric (以下 WEC, 当時は東芝のグループ企業), General Electric (GE) と日立の共同出資会社, フランスの総合原子力企業 Areva (当時。現在は EDF の一部), 日本の三菱重工, 三菱と Areva の JV である ATMEA, カナダ原子力公社 (AECL), ロシア国営原子力企業 Rosatom, それに 2009 年に UAE の新設プロジェクトを落札した韓国斗山重工である。

このうち WEC, GE, Areva, AECL, Rosatom には当時すでに海外から新設プロジェクトを受注した実績が豊富にあったが、日本の東芝・日立・三菱重工には交換用部品の受注以外、ベンダーとしてプロジェクトを海外から丸ごと受注した実績はなかったため、新規建設計画が今後ありそうな国をターゲットとして各社がそれぞれの強みを活かして国際展開を図っていた。東芝が買収した WEC は米国の数か所に新規建設計画を持ち、その他中国やインド等でも WEC 製最新型プラント AP-1000 の建設計画が複数存在していた。日立 GE も自社の ABWR または ESBWR の建設計画が米国他で数か所あり、ATMEA もお互いの親会社の看板炉型を組み合わせた第3世代+炉 ATMEA1 のマーケティングを新興国数か所において展開していた。これらの計画のいずれかは数年以内に実現するのではないかと、多くの原子力業界人は見ていたことであろう。なお、2010年の中国の原子力設備容量は10.8GWで世界第11位、1994年に最初の商業用原子力発電所である秦山1号機が運転開始し

てからまだ10年余りとあってフランスの技術支援を受けていた頃であり、近い将来に国際展開プレーヤーとなるとは誰も予想していなかった。

### 3. 2020年現在は中国・ロシアの独壇場

2020年現在の現実は以下のとおりである。

米国：新規建設計画は一つを除き全て中止または凍結中。ただ一つ建設中のボーグル3/4号機は当初計画から5年以上遅れて2021年以降に運転開始する予定である。この間、ベンダー WEC では親会社が東芝から Brookfield へ代わり、東芝は海外原子力事業から撤退した。三菱重工や GE 日立が米国で進めていた計画も全て凍結中である。

英国：ヒンクリー・ポイント C 新設計画以外、着工したものは無い。日立 GE はウィルヴァ・ニューウッド計画から撤退。

トルコ：Rosatom が進めるアックユ1号機が2018年4月着工。一方 ATMEA が本命とされていたシノップ計画に進展は見られず、現在の状況は全く不明である。

UAE：バラカ1号機が2020年8月に初併入、2~4号機が建設中で数年以内に運転開始の見通し。

中国：世界第3位の運転中設備容量(約48GW)を有しており、うち AP-1000 が4基、EPR が2基。国産の第3世代+炉 Hualong-1 を英国他に導入交渉中、パキスタンではすでに Hualong-1 のカラチ 2/3 号機が建設中。

ロシア：国内に30GWの運転中原子炉を有するほか、更に数基建設中・計画中。国際市場でもプレゼンスを拡大しており、2010年以降ロシアの支援を受けて新規導入(着工)した国は、インド・イラン・ベラルーシ・トルコ・バングラデシュ。

### 4. 1F事故がなくとも…

この状況を2010年に予想できなかったのかと問われれば、ある程度は予見可能だったのではないかと筆者は考える。それは、2010年当時からすでにいくつかの国において原子力は競争優位性を失いつつあり、それを考慮していない計画は早晩見通しが狂うであろうことが想像できたからである。

例えば2010年の米国電力市場であるが、すでに米国の発電単価において陸上風力のコストが原子力を下回っていたことを、2011年発行の米国エネルギー省データは示している。シェール革命により天然ガスのコストも低減しており、新規原子力建設プロジェクトにとってガス火力発電を上回る経済性を達成することは至極困難で

あった。連邦政府の融資保証制度により低コストの資金調達が可能であったものの、2010年2月にボーグル3/4号機への83.3億ドルの融資保証適用決定以来、後続の申請はついになされないまま現在に至っている。ボーグル3/4号機案件の融資保証申請・審査を巡る経緯から、連邦信用改革法に基づき定められた融資保証料の設定が事業者の投資意欲を削ぐほど高く設定されていることが判明したからである。

従って、「融資保証制度もあることだし、米国の原子力事業は円滑に問題なく進むであろう」と楽観視できないことは、当時からある程度は見通せていた。ちなみに筆者は2007年9月号「エネルギーフォーラム」誌および2010年7月の日本原子力学会誌ATOMOS「時論」にて、米国の多くの新設計画が決して順調に進捗するとは限らないこと、融資保証制度も万能ではなくこれに過度に依存することは避けるべきである旨を述べている。米国NRCに建設・運転一体認可(COL)を申請した電気事業者の大半が「最終投資判断はCOL取得後、そのときの電力市場状況を見て投資の回収可能性を見極めて行う」と述べていたから、同様の警告を発した有識者は当時も相当数いたはずである。2017年、東芝がWECの米国原子力新設事業で大幅な赤字を計上し「海外原子力事業のリスク遮断」を表明した際、赤字の理由の一つとして東芝は「1F事故後の規制厳格化」を挙げたが、仮に1F事故がなくとも、市場の収益性見通しが甘かったことからのみち結果は同じだったように筆者には思える。2019年に英国での新設事業を凍結し、2020年に同計画撤退を決めた日立GEの事例に至っては、英国企業ホライズンを買収し英国市場に進出したのが2012年であるから1F事故の影響が言い訳にならないのは当然である。

### 5. ロシアの勝因は顧客目線

では、1F事故の影響などまるでなかったかのように2011年以降も国内外で積極的な展開を続けている中国とロシアでは、日本と何が違っていったのか。特に、ロシアがベラルーシやバングラデシュなどで実際に着工し、ベラルーシではオストロベツ1号が2020年11月に運転開始している状況は、どう解釈すればよいのだろうか。

一言要約すれば「現状把握と分析に基づく顧客目線のアプローチ」という至極当然のことに尽きる。Rosatomが原子力導入に際して商談を重ねている国はOECD非加盟国ないしは日本貿易保険によるリスク・カテゴリーが「F」以下の国であり、カントリー・リスクの高さゆえに先進国のベンダーが進出をためらう国が多い。ロシアから原子力技術の支援を受けている国のカントリー・リスクは、例えばNEXIによるリスク・カテゴリーによれば、イランがH、ウクライナおよびベラルーシがG、バングラデシュ・カザフスタン・トルコがF、などである。先進国ベンダーの積極的な進出を期待できない国に対

し、その国において原子力導入によるエネルギー自給率や電力コストの大幅な改善が見込めるかどうか、ロシアとの関係構築が双方にとってメリットがあるか等、十分に状況を研究した上で接近していることが伺える。「1F事故で原子力への世界的な風向きが変わった」のような、事故に責任転嫁する姿勢はそこには見られない上、数か月の遅れも極力阻止するなど“On-Time”にもこだわっている。例えば2020年4月、Rosatomはバングラデシュのルプール建設サイトから作業員178人をコロナ対策として一時帰国させたが、それによる工程遅延はないとしている。同時期にフィンランドTVOがコロナの影響によりオルキオ3号機の燃料装荷が更に遅れる、と発表したのとは対照的である。

更に、先進国ベンダーが投資に二の足を踏む国におけるロシアの導入支援には、当該国のインフラ整備状況を見つつ、1号機向けにはロシア国内で製造した設備を運び、2号機以降は原子力グレードではない機器から徐々に国産比率を高めていく、という「グレーデッド・アプローチ」と呼ばれる、導入国側の目線に立った姿勢が垣間見える。2010年米国におけるWEC(東芝)のように将来の市場規模を楽観視してはいない。また、規制強化を無視して突き進んでいるというエビデンスもない。1F事故の教訓を踏まえて継続的な安全性向上に取り組むことの重要性は全ての原子力利用国に共通に認識されていることであり、ロシアから技術導入を受ける国々が例外といえる理由はないからである。

### 6. おわりに

この10年、「1F事故で甚大な影響を受けた」と日本の産業界関係者が被害者気分である間にも、中国・ロシアは自国の目的に基づいた戦略を立て、国際市場でのプレゼンスを着々と拡大した。中でもロシアの真っ当な、On-timeにこだわる事業の姿勢には、日本の産業界としても見習う点があるように思える。カントリー・リスクを高精度で見極め、撤退判断も視野に入れた展開であれば、民間企業であっても可能ではないか。

### — 参考文献 —

- 1) World Nuclear Association, Information Library.
- 2) 『報道特集 原子力立国に「死角」はないか?』村上朋子, “エネルギーフォーラム” 2007年9月号.
- 3) 『脱「融資保証頼み」米国原子力政策への提言』村上朋子, ATOMOS 2010年7月号.
- 4) Rosatom, Framatome, TVO, 日立GE, 東芝ESS等各社PR.

### 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修了。(株)日本原子力発電を経て2005年(一財)日本エネルギー経済研究所入所, 2011年より原子力グループマネージャー。

# 原子力安全の歴史のはじまり

東京大学 山口 彰

## 1. 社会にとって真に重要な問題に取り組む

グローバルリスクに関する書籍が最近増加したように感じる。貴重な資源を費やして社会として取り組むべき真に重要な問題に関心が集まってきているからであろう。1F事故後の10年間は、このような問題を大局的に考える余裕のない閉塞感に囚われた期間だったかもしれない。この10年になすべきことは何だったのだろうか。そして、実際にどこまでできたのか。

地球環境がこれまでと異なる兆候を示しているとの実感が深まり、17の持続可能な開発目標が世界で共有され、脱炭素社会への流れが現実味を帯びてきた。今こそ、冷静に「環境とエネルギーと安全」の問題を考えていかなければならないと思う。貴重な資源をどこに費やし、今、何を実行し、将来どこを目指すのかという問題である。

重大な不可逆の変化を地球環境にもたらさないようカーボンニュートラルを目指すのは、その実現の時期はともかく、必須である。ゼロエミッション電源である原子力はなくてはならない存在、原子力規制委員会の新しい規制基準により質的転換を果たした原子力安全の水準は信頼に値する。さまざまなグローバルリスクが顕在化する社会で、エネルギーの自立は経済リスクや政治リスクのセーフティネットとして機能する。原子力は、技術によるエネルギーの自立に貢献し、その役割は決して小さくない。原子力学術は国民生活の水準向上に貢献し、放射線技術は多くの恩恵をもたらす。一方で、原子力に対する社会の信頼回復は遅々として進まない。安全性を高めた原子力発電所の再稼働は進まない。それどころか、40年運転制限により運転可能期間は刻々と短縮され、資源を浪費している。リスクを活用することにより重要な安全の問題にフォーカスし、総体として効果的な安全対策を選択し、発電所の設備利用率を向上させるといった社会に恩恵をもたらすような制度に改善する、国際的には普通のプロセスが、なかなか実現されない。

## 2. 原子力安全の長い歴史

原子力学会も含む原子力コミュニティは、このような閉塞感を打破するために必要な活動をしてきただろうか、そして、次の10年では何をすべきだろうか。こういったことを考えているとき、2020年8月11日に米国原子力学会のUtility Working Conference (UWC) 2020が開催された。テーマは「It's Go Time: Creating Momentum Toward Transformational Change」でバーチャルサミットと銘打つオンライン会議である。「今こそ、改革を」と

いうスローガンである。

セッションの一つは原子力規制委員会(NRC)改革(NRC Transformation)。NRCのGavrilas氏が「Be RiskSMART」という講演を行った<sup>1)</sup>。Gavrilas氏は、原子力安全の長い長い歴史として図1のようなチャートを示した。1979年にスリーマイル島(TMI)原子力発電所事故を経験し、2001年に9.11テロ攻撃があり、2011年に1F事故の教訓を、米国は学んだ。図1はNRCの規制に関わる活動等の時系列と将来の展望を示している。

原子力安全の長い歴史は、1975年の原子炉安全研究(WASH-1400)に始まり、今日まで40年以上にわたる。この間に、シビアアクシデントの政策声明(1985年)、安全目標に関する政策声明(1986年)、PRAに関する政策声明(1995年)を发出している。稀有で不確かさの大きいシビアアクシデントに対する安全の確保を安全目標とPRAの活用により達成するというビジョンを実現するための一連の流れである。もちろん、それには信頼に足る品質のPRAが必要である。WASH-1400(1975年)、インディアンポイント炉とザイオン炉のPRA(1981年)、NUREG-1150(1990年)、さらに個別プラント評価(1988年)、外部事象に対する個別プラント評価(1991年)とPRAの実績を重ねた。次いで、1990年代はそれを各プラントに適用するとともに、既設炉をより有効に活用する取り組みがなされた。すなわち、1990年代から出力向上が本格化し、メンテナンス規則が制定され、原子炉監督プロセスが始まった。パフォーマンスが上昇に向かう転換点である。

2000年代に入ると、9.11テロが発生するも、安全とセキュリティを融合させながら安全技術基盤を固め、大規模火災対策とFLEX装備で対処する。そして革新的な次世代炉の実現に向けての取り組みが始まる。2011年には1F事故から反映すべき教訓と活動プランをNear Term TF報告書にまとめ、今においても継続的に実行している。現在は設備利用率の向上や80年運転などによる既設炉有効活用と革新炉の開発によりエネルギーと環境と安全の複合問題に取り組んでいる。

これらのTMI-2事故から40余年に及ぶ活動は、当初10年目までは安全目標の政策声明とシビアアクシデントの政策声明やPRAの研究開発にとどまっていた。将来の方向を見極め明確にした10年である。その後の10年は原子力安全の基盤強化の期間であった。この20年間は厳しい時代であったが、その成果は20年後に実る。新しい検査制度を開始した1999年には、1970年

## Long, long, history...

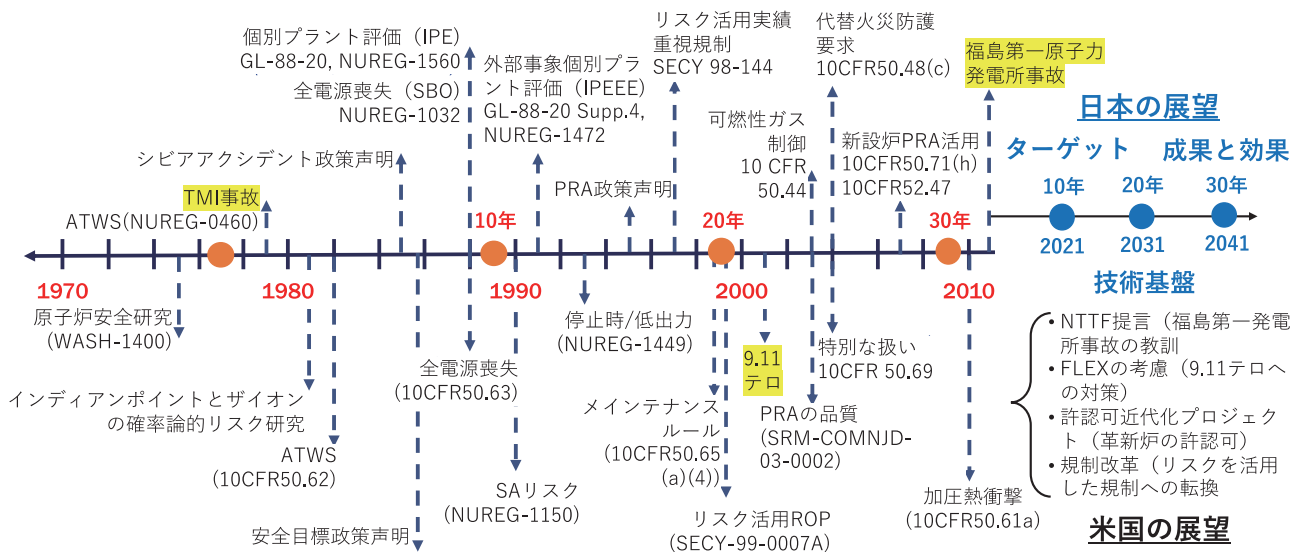


図1 米国の原子力安全の歴史(米国原子力規制委員会の Gavrilas 氏の発表資料をもとに著者が作成した)

から80年代に50~60%程度に低迷していた設備利用率は初めて80%を超えた。それ以降、90%程度を維持し、2018年と2019年は連続して過去最高(2019年には93.5%)を記録する。この間にも、PRAの品質、火災防護、機器の重要度分類などのリスク活用を継続的に展開している。

### 3. 環境とエネルギーと安全 — 将来の展望

もちろん、米国の活動は順風満帆に進んだわけでない。TMI事故後の20年は、足踏みをしているようにも見える。しかし、それは実際には足腰を強化する時機であったのだろう。技術基盤の強化と、3つの政策声明によって難しい意思決定問題へのアプローチ、すなわち、PRAを具体的に活用する道筋を明示し、目標と目指すべきターゲットは明確になった。このことが、2001年には9.11テロが、2011年には1F事故が発生するが、それにもかかわらず歩を進めることができた理由ではないだろうか。2000年代は革新炉の開発やイノベーションの活動へ展開し、2010年代は小型モジュラー炉や革新炉の実現に向けて新しい規制の枠組みを関係者が協力しながら構築する段階へと至った。今や80年運転も定着しつつあり、小型モジュラー炉が設計認証を取得し脱炭素化にむかう姿がほのかに見えてきた。米国は、革新炉の許認可と規制改革を将来展望として志向する。

翻って1F事故後10年となるわが国はどうであろうか。米国の長い安全の歴史を振り返ると決してわが国の歩みが遅いわけではないことに気付かされる。実際に、さまざまな改革が行われている。しかし、大きな違いがあると思う。米国は、TMI事故後10年で安全目標やSAリスクの評価とPRAの活用により不確かさについて意思決定をして進むべき方向を明確にした。それは、政策声明や適切な規制、バックフィット規則の施策で具体

化される。日本は、“How safe is safe enough?”の議論をいまだに避けているのではないか。より安全であるに越したことはないとも誰もが考えるが、それは合理的に実現できるか、説明性や予見性はあるか、他のリスクとバランスはとれているか、心許ないゼロリスク願望であってはならない。

わが国はこれまでの10年にどのような目標設定をし、メッセージを発信してきただろうか。米国の経験に習えば、次の10年は目標の実現に向けて技術基盤を構築する時機に入るのであろう。20年後、つまり2030年は具体的な成果を求めるときである。バランスのとれた将来の展望につながる施策の拠り所となるような、環境とエネルギーと安全の目標を明確に定めるには、今からでも遅くない。

### 4. まとめ

求めるべき安全と実現性、原子力リスクと他のリスク、環境適合性と経済性、真に重要な問題に取り組む施策を進める戦略が必要である。わが国は、これからどのようなチャートを描くのだろうか。1F事故後、原子力安全の歴史は始まったばかりである。2030年、2050年の環境とエネルギーと安全、どのようなビジョンを描こうか。

### — 参考文献 —

- 1) Mirela Gavrilas, Be RiskSMART: Risk-Informing All Aspects of NRC's Decisionmaking, Utility Working Conference Virtual Summit(UWC2020).

### 著者紹介

山口 彰 (やまぐち・あきら)

東京大学大学院工学系研究科教授。動力炉・核燃料開発事業団、大阪大学大学院を経て2015年から現職。原子力工学、安全工学、リスク学を専門とする。

# 原子力災害医療の基軸と人材育成の課題解決に向けて

福島県立医科大学/量子科学技術研究開発機構高度被ばく医療センター 山下 俊一

## 1. 負の遺産の継承

「覆水盆に返らず」で、時計の針を後戻りさせることはできない。人類史とは、昔から三種の神器を手に入れ、不連続的に進歩してきたが、時代背景でその内訳は異なる。遠くは、火、言葉、貨幣から始まり、第二次世界大戦後の家庭では、冷蔵庫、洗濯機、テレビなどがある。20世紀の三神器といえ、魔法の火である原子力エネルギーを挙げることができる。他に魔法の頭脳であるコンピューター、魔法の命である遺伝子操作などもあるが、これらは科学・技術進歩の賜物である。しかし、いずれも光と影、すなわち、明るい歴史の反面、暗黒の時代や危険な側面も兼ね備えている。特に、原子力の光と影では、量子力学の進歩から量子生命科学という新分野への潮流の中で、広島、長崎への原爆投下や、その後の狂気の核兵器開発競争など、負の側面を拭い去る事ができない。更に、スリーマイル事故からチェルノブイリ原発事故、そして、2011年3月11日の東日本大震災に引き続き発災した東京電力(株)福島第一原発事故(1F事故)は、原子力産業界のクライシスであり、甚大な被害と影響を与え、まさに現代科学・技術社会の歴史に残る大禍根である。この原子力災害という負の遺産であればこそ、関係者はその十字架を背負いながら、前に進む決意と覚悟が必要である。神は背負えない重荷を人々に与えていないと信じれば、幾多の困難に正対する原子力災害医療も現場の視点、そして負の遺産にこそ立脚しなければならない。

## 2. 原子力災害医療の基軸

そもそも医療の現場は常に修羅場であり、リスクの塊である。特に、救命救急医療や災害医療は命を救う為の最前線の戦いであり、その原因の如何を問わず、死の淵から人間の余命を延ばすために最善最良の努力が尽くされている。医療先進国の日本では、自然災害が多く災害医療も発展し、その対策が講じられている。その反面、1F事故前は原発立国を目指していた日本では、有事への備えや対策が万全とは言える状況になかった。人災も加味されると、各種イデオロギーや責任問題、事故原因の追求、さらに補償や訴訟問題へと、個人のレベルだけではなく、社会全体のリスクが大きくなる。原子力災害医療とは、通常の災害医療と何ら異なることはないが、被ばく線量測定とリスク評価・管理が環境ならびに健康の両面から不可欠になる。しかもこの環境モニタリング

と健康モニタリングが長期にわたり必要となり、良質な放射線リスクコミュニケーションが求められる。

すなわち、原子力災害医療の基軸とは、災害や事故の現場の反省と教訓の上に立脚し、大きな意味で防衛医学と危機管理を志向する多職種連携のチーム医療となる。

## 3. 新たな原子力災害医療体制

チェルノブイリ原発事故後、そしてセミパラチンスクの核実験で汚染された旧ソ連邦の大地で、長年にわたり医療支援活動に従事し、1F事故以前から大学を主とした被ばく医療体制の整備と医療人の育成に腐心してきた。その結果、WHOやIAEAなど国際機関等とも協力し、海外との緊急被ばく医療ネットワークの連携を推進してきた。その最中に1F事故に遭遇し、さらに2015年8月の原子力規制委員会による高度被ばく医療支援センターと、原子力災害医療・総合支援センターの新体制整備が始まった。2019年4月には4つの高度被ばく医療支援センター(弘前大学、福島県立医科大学、広島大学、長崎大学)を中心的・先導的に指導する基幹高度被ばく医療支援センターとして、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構(量研)に、高度被ばく医療センターが創設された。全国24道府県に指定されている50を越す原子力災害拠点病院と300以上の原子力災害医療協力機関への研修訓練プログラムの実施計画が本格的にスタートしている。一方、量研の人材教育センターでは、異なる放射線関連の教育訓練や研修プログラムが実施されているが、原子力災害医療の中核人材育成プログラムと併せて、司令塔となるべき医療人の育成と、裾野を広げた多くの放射線事故・災害対応に資する多職種の人材を育成する研修体制の整備が進んでいる。そこでは被ばく医療に従事する幅広い医療人の専門性の担保と継続的な人材確保など、稀な事象への対応だが、新たな取り組みが不可欠となる。

すなわち、使命感と責任感の倫理面での教育以外に、体験型科学教育を通じて、風化や風評に打ち勝つ現場感覚と危機管理能力を有する医療人の育成と確保である。

## 4. 福島イノベーション・コースト構想

1F事故以降この10年間、被災の中心である浜通りでは、廃炉、再生エネルギー、ロボテック、農業再生、環境創造、そして新産業誘致による地域人口増に向けた種々の復興推進プロジェクトが加速されている。しかし、帰還住民の最大の不安は、環境放射能汚染問題であり、廃炉等での事故やトリチウム汚染水処理問題などである。

さらに浜通り地域の医療保健福祉体制の整備の必要性である。それにも関わらず、浜通りでの総合病院、とりわけ原子力災害医療の最前線基地はない。唯一、富岡町の県立ふたば医療センター附属病院が、福島県立医大の支援を受け小規模ながら奮戦中である。浜通りの地域住民や廃炉作業者の健康見守りセンター、そして万が一の事故・災害などへの対応病院の整備は喫緊の課題であり、事業主自体もそのような医療体制の整備に貢献すべきである。

1F事故前は、原子力産業で栄えた浜通りが、事故後は世界の福島として注目の的となった。現存被ばく状況の中での正しい情報発信、復興加速、そして何よりも環境再生と住民の健康見守りが第一の課題であり、福島イノベーション・コースト構想の下で、多種多様な取り組みが推進されている。しかし、唯一欠落しているのが、体験型科学教育と倫理教育を中心とする、原子力災害医療の現場としての世界的なシンボルの存在である。

### 5. 本初不生の心田を耕す

1F事故直後から混迷と混乱の渦中で奔走し、福島県民の放射能恐怖症と向き合い、放射線健康リスクについての理解困難な状況下、放射線クライシスコミュニケーションを続けた。地震、津波、原発事故、そして情報災害に暴露された被災者の苦勞に思いを馳せると、その後の経緯等から初期の反省と自戒は多い。とりわけ、多様な価値観と異なるリスク認知へのきめ細かな対応には限界があり、当初は国際的なコンセンサスに基づく、集団リスクに関する情報発信も理解されることは困難であった。個人リスクへの配慮や対応は課題も多く、「覆水盆に返らず」、そして「転禍為福」を期待することは、当時の混乱期では無理な話であった。

人間誰しも不条理や矛盾、避けられない不穏な事象に遭遇すると、悩み苦しみ、一人一人の感性に応じてその解決策の模索も多様である。場合によっては、精神心理的な影響が甚大であり、潜在性の鬱から外傷後ストレス症候群 PTSD のような状況が続くことも多い。1F事故も例外ではない。それ故に、復興の過程でも、単に生活インフラの改修改善や福島イノベーション・コースト構想の実現だけでは不十分である。絶望や疑心暗鬼、そして、悲喜こもごものストレスフルな日常にあり、人として正しい道を歩むという自分自身の心田を耕す必要がある。すなわち、一人一人の人間力の向上でありレジリエンス力の涵養である。

### 6. ミラーワールドへの将来展望

所詮、生病老死は避けられず、また、人の一生は波瀾万丈である。この世からあの世へ、すべからく運命の下で日々自転車操業、すなわち新陳代謝を繰り返す生命体を基本とする人間と社会、そしてその歴史は、地球とその太陽系、さらに宇宙全体の一部である。これらの原動力となるエネルギーは、生命であれ、生活社会であれ、

宇宙であれ、熱量として獲得される。どのような複雑系であれ、基本となる原理原則は共通する。そのような概念が現代社会に画期的な情報社会、そしてデジタル社会を構築しつつある。大量情報を瞬時に処理し、複雑多岐なデータのプラットフォームからその連携と活用を可能とし、インターネットや人工知能の次の社会を実現させようとしている。いわゆる、バーチャルリアリティ (VR) による仮象社会である。VR という机上の研修訓練、そして予測、予防の新教育プログラムで、緊急事態の事故や災害の現場で活躍できる人材を真に育成できるのかが重要であり、稀な事象であればこそ、VR 活用による教育訓練は避けられない。

デジタルツイン (DT) による仮象社会が実現され、廃炉の現場、そして環境汚染地域を含む浜通り地域のミラーワールドが構築され、デジタル社会の優れた活用が未来のリスク予測の面から期待される。一方では、なぜ原子力災害医療の人材育成と確保が難しいかと言えば、災害時の派遣医療に貢献する DMAT、さらには非常事態や危機管理に対応する消防、警察さらに自衛隊のような組織力や制度設計に基づかずに、本領域の医療人育成をプロジェクト方式で推進してきたことにも要因がある。しかし、1F 事故を経験し、原子力規制委員会と規制庁、そして量研が真に原子力災害医療の司令塔としての使命と役割を果たす体制整備が始まっている。それでも課題は多く、災害医療と救命救急医療、そして公衆衛生の一部を担う原子力災害医療の立ち位置は不確実である。国民保護法に基づく指定公共機関としての高度被ばく医療センター、そして原子力災害対策特別措置法に基づく基幹高度被ばく医療支援センターの両方の役割を果たすべく量研の総力戦の中で、体験型科学学習と研修訓練の VR と DT は外せない。福島を基軸とするミラーワールドの実現は、世界の原子力災害医療の中核となると期待される。

### 7. おわりに

1F 事故から 10 年が経過し、高度被ばく医療、すなわち、急性放射線症候群に関する診断治療と同時に、公衆被ばくに対応する医療人の確保と育成は喫緊の課題である。原子力災害医療の基軸から現代リスク社会の防衛医学と危機管理を俯瞰すると、現場における体験型科学学習と倫理教育、そしてデジタル技術の活用による適切なリスク予測学習の環境とその運用体制の整備が求められる。

### 著者紹介

山下俊一 (やました・しゅんいち)

長崎大学医学部卒。1990 年長崎大学原爆後障害医療研究所教授。2005 年 WHO 本部放射線科学官。2011 年福島県放射線健康リスク管理アドバイザー、内閣官房原子力災害専門家。2018 年長崎大学名誉教授、福島県立医科大学副学長、2019 年量研高度被ばく医療センター長。



# 東日本大震災が日本経済に残した爪痕

常葉大学 山本 隆三

1990年代初めにバブルが弾けた後、日本経済は長期に亘って停滞を続けた。2000年代前半には一時的に輸出が増加し成長軌道を示したが、2008年秋のリーマンショックにより、日本経済は主要国の中で最も大きな影響を受け、翌2009年国内総生産額(GDP)は大きく落ち込んだ。その影響は働く人の収入にもおよび、平均年収は平成になってからの最低レベルにまで落ち込んだ。

リーマンショックの影響は短期間で収まり2010年には経済は回復軌道に乗ったが、翌11年の東日本大震災により日本経済は再度大きな影響を受け、GDPと収入は減少した。それに追い打ちをかけたのが、原子力発電所の停止と2012年に導入された再エネ導入支援の固定価格買取制度(FIT)による電気料金上昇だった。

電気料金上昇は多くの産業の収益性に影響を与え、人件費の抑制にも繋がった。経済も成長せず、日本は平成の失われた30年を過ごすことになった。伸びない収入は、国民の約6割を生活が苦しいと感じる状況に追いやったが、低収入ゆえに結婚できない人も増え、少子化問題にも影響を与えている。どの国も経験したことがない少子化に直面する日本の人口は、2100年には今の半分以下の約6千万人にまで減少するとみられている。

## 1. 上昇を続けた電気料金

大震災後、浜岡原子力発電所を初め全国の原発は相次いで停止することになった。その結果、電力供給を震災前はピーク対応電源であった石油火力にも依存せざるを得なくなった。石油火力の発電コストは、石炭あるいは液化天然ガス(LNG)火力との比較では、燃料である石油の価格が相対的に高いため、高くなる。本来であれば、最も燃料価格が安い石炭火力発電の稼働率を可能な限り上げるべきだが、震災直後石炭火力は対応できなかった。

関東から東北地方の太平洋岸には多くの石炭火力発電所が立地している。原町、常陸那珂、広野、勿来と並んでいるが、被災したため操業することができず、LNG火力は無論のことコストが高い石油火力の稼働率も上げざるを得なかった。その結果、原発の停止に伴い化石燃料の購入量とその代金は大きく上昇することになった。

日本の原油、LNGの購入量の増加は、燃料価格にも影響を与え、電気料金も大きな影響を受けた。原発停止による燃料購入の影響がピークに達した2013年度の一般電力会社の化石燃料購入数量は、2009年度との比較で、原油1,400万KL、LNG1,700万トン、石炭1,400万トン増となった。金額面での影響も大きく原発停止による燃料負

担額増は3兆円を超え、1kWh当たり3.2円に達した。

2014年末から燃料価格が下落を始めたため、電気料金も14年にピークを打ち下がり始めるが、燃料価格の下落ほどは下がらなかった。FITによる買取価格が高く設定された太陽光発電設備導入量が爆発的に増加し、賦課金額が大きく上昇し始めたためだ。1kWh当たりの賦課金額は20年度には2.98円まで上昇し、電気料金を高止まりさせることになった(図1)。

上昇を続けた電気料金は、製造業を初め多くの産業に影響を与えた。東日本大震災後、産業用電気料金は震災前との比較で最大39%上昇した。製造業の電気料金負担額も約1兆2千億円増加したが、この金額を製造業の人件費に換算すると約4%に相当する(図2)。電気料金から燃料代として海外に支払われた金額は日本経済に寄与することはないが、仮にこの金額が人件費に充当されていれば、消費に回り経済成長に寄与した。1997年をピークに年収が減少している日本の働く人の収入には電気料金は小さくない影響を与えたと言える。

私たちの収入は、2013年からアベノミクス効果により回復傾向にあるが、まだ20年以上前のピークとの比較

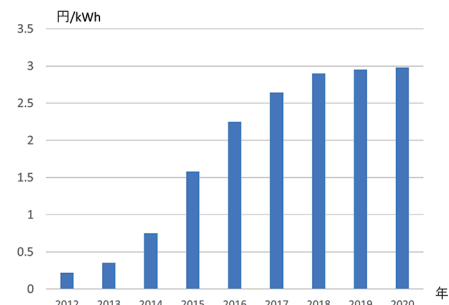


図1 再生可能エネルギー賦課金額の推移  
出典：資源エネルギー庁資料から著者作成

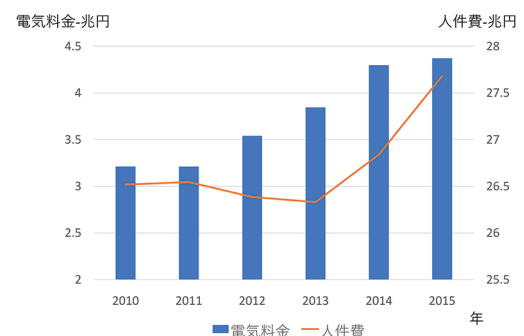


図2 製造業(従業員数30名以上)の人件費と電気料金推移  
出典：工業統計(2014年まで)、経済センサス(2015年)から著者作成

では減少したままだ。そんな中、電気料金は製造業以外の産業にも大きな影響を与えている。コロナ禍により宿泊、飲食、小売りを中心に大きな影響があったが、これらの産業でも、水道光熱費は利益に大きな影響を与えている。例えば、全国チェーンのデパートの最近の決算では経常利益 230 億円に対し光熱費は 107 億円ある。人件費 700 億円との比較でも光熱費、電気料金の影響が大きいことが分かる。

低成長が続く日本経済を成長路線に乗せる一つのカギは、電気料金の引き下げにあり、そのためには原発の再稼働が必要だ。さらに、2050 年温室効果ガス純排出量ゼロを再エネだけで目指すことは経済に大きな負担をもたらす。価格競争力があり安定的に発電できる原発の新設検討も必要だ。最近では、欧米の原発新設コストが大きく上昇し工期も長くなる傾向にあることから、新設に対する批判もあるが、工費、工期増大の理由をよく考える必要がある。工事経験を失ったことにより、米国、フランスなどは原発建設で問題に直面している。工事が長く中断している日本も同様の問題に直面することになる。これも大震災が残した大きな爪痕の一つだ。

## 2. 原発の工費はなぜ増大したのか

東日本大震災後、欧米で原発工事の遅れが目立つようになった。フランス電力(EDF)が 2007 年 12 月に着工した EPR(欧州加圧水型炉)のフラマンビル 3 号機(165 万 kW)は、当初の運転予定が大幅に遅れまだ工事中だ。当初の計画では 2012 年運転開始予定、また 2008 年時点の工費は 40 億ユーロとされていたが、さまざまな問題が発生し、2020 年時点の工費は 123 億ユーロ、運転 2023 年とされている。

フィンランドは、電力供給の約 3 分の 1 を 4 基の原発に依存している。温暖化対策の問題とロシアからの天然ガス依存度引き下げの必要もあり原発増設を決め、2003 年に EPR 炉を採用し、フラマンビル 3 号機よりも早く 2005 年にオルキルオト 3 号機(172 万 kW)を着工した。当初は 2009 年完成予定であったが、工事は遅れ、今の運転予定は 2022 年 3 月に設定されている。

米国ではジョージア州において 125 万 kW の AP1000 型炉 2 基、ボーグル 3、4 号機が建設中だ。それぞれ、2013 年 3 月と 11 月に着工され、運転予定は 2019 年と 2020 年だったが、ウエスティングハウスの破綻もあり工事は遅れ、現在の予定は、2021 年 11 月と翌 22 年 11 月になっている。工費も当初の 140 億ドルから 187 億ドルに増加している。

欧米諸国が原発建設の工期、工費増大に悩むのを横目に、中国は早々と EPR、AP1000 型炉を建設し、すでに運転を開始している。欧米との差は何だろうか。それは、建設の経験ではないだろうか。TMI、チェルノブイリの事故を受け、欧米では長期に互り原発建設が中断した。世界第 2 位の原発保有国フランスにおいてすら、フラマ

表 1 英国の原発計画

開発主体	発電所名	原子炉	規模(MW)	工事開始	完工予定	
建設中	EDF66.5%/CGN33.5%	Hinkley Point C 1	EPR	1720	2018年12月	2025年
		Hinkley Point C 2	EPR	1720	2019年12月	2026年
建設計画	EDF80%/CGN20%	Sizewell C1	EPR	1670?		
		Sizewell C2	EPR	1670?		
	CGN66.5%/EDF33.5%	Bradwell B1	華龍 1 号	1150		
		Bradwell B2	華龍 1 号	1150		

出典：世界原子力協会資料から著者作成

ンビル 3 号機の前に着工された原発はシボー 2 号機、1991 年着工、99 年送電開始だ。16 年間着工がなかった。

米国は、TMI 事故の後 30 年間新設が中断した。ボーグル原発建設開始時には米国に原発エンジニアがおらず、中国核工業集団(CNNC)から招聘せざるを得なかった。欧州勢が工期の遅れに悩んでいる EPR 炉ですら、仏中合弁企業体が、当初予定より遅れはあったものの、広東省の台山 1、2 号機、それぞれ 166 万 kW、を 2018 年 12 月と 19 年 9 月に運転している。世界で唯一 EPR を建設し、運転しているのは中国なのだ。

中国では、10 月現在 14 基の原発工事が同時に進行している。欧米勢は 1990 年代から工事経験を失ってしまったため、工期、工費において問題を抱えることになった。英国の原発事業から東芝、日立が撤退したが、その英国で原発事業を手掛けるのは、いま全て中仏の合弁事業体だ。中国製原発の建設まで見込まれている(表 1)。

日本も今欧米の姿に近づきつつある。この状態が続けば、将来原発を新設するとなった時に、中国あるいは韓国企業に建設を依存することになりかねない。平成の 30 年間で日本企業は技術的な優位を多くの分野で失った。特許申請件数は、いま中国が日本の 3 倍にまでなった。ここで原子力技術まで劣後することになると、日本経済の先行きは暗い。技術の維持を図るため一日も早く原発工事を再開する必要があるのは、言うまでもない。

世界は、今小型炉(SMR)に大きく舵を切っている。安全性、工費、工期の面で優れているからだろう。米国は無論のこと、中国でも実験炉の建設が進んでいる。日本は新型炉でも大きく取り残され、世界の原発建設 6 か国(日米仏中露韓)から滑り落ちることになりかねない。関係者は危機感を持つべきだ。

## 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(株)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副理事長兼所長も兼務。

# 事故の教訓としての組織レジリエンス

長岡技術科学大学 吉澤 厚文

## 1. はじめに

福島第一原子力発電所事故(以下、1F事故)は、システムの安全を確保する上で、事前に十分な備えを行うことはもちろんであるが、それでも残るリスクへの対策を怠ってはいけないことを明示した。

事故後は、さまざまな検討がなされ、設備はその安全設計が改善されてきていることは説明を要しないであろう。これは頑強性(Robustness)と言われる概念である。それでも残るリスクが顕在化し、システムがダメージを受けたらどのように回復したらよいのであろうか。こちらは回復力や弾性力を表すレジリエンス(Resilience)と呼ばれる概念が重要となる。設計上考慮されていない不測の事態では、これに対処する能力は組織の持つレジリエンス能力、すなわち組織レジリエンスに大きく依存する。組織レジリエンスを向上させておく必要があるというのも、1F事故の重要な教訓である。

機械要素がかなりの確率でその動作を確実に実施できるように、組織が同様に能力を発揮できるかについては議論があろう。組織がレジリエンスに対する潜在能力を有していても、その能力を発揮することを保証することはできない。しかし、潜在能力を十分に持ち合わせていなければ、一貫してレジリエンスが発揮されるパフォーマンスを示すことはできない。したがって、組織レジリエンスが目指す組織の能力とは、不測の事態においても「一貫してレジリエンスが発揮される」パフォーマンスを示す組織が有する能力である。

本稿では1F事故の教訓としての組織レジリエンスについて述べてみたい。

## 2. 1F事故に見る組織レジリエンス

津波による電源喪失等で「冷やす」機能を失ったプラントは炉心溶融を起こし、大量の放射性物質の放出に繋がった。一方で、この「冷やす」機能は失われたままではなかった。さまざまな試行錯誤の中でこの機能は「再構築」され、事故後約9ヶ月後に原子炉は「冷温停止状態」を達成している。図1に3号機における「冷やす」機能の回復過程を3つのPhaseに分けてまとめてみた。

### Phase 1：原子炉への淡水注水の確立まで

高圧注水系が停止した後、原子炉への注水回復が緊急課題となった。車のバッテリー等を活用して原子炉の減圧に成功し、アクシデントマネジメントで準備されていた消火系配管を用いて、消防車により建屋近傍のピットに溜まった津波による海水を用いて原子炉への注水を回復した。このラインは、3月14日の3号機の水素爆発により損傷を受けたが、危険かつ高線量下における作業員の対処の結果同日中に復旧できている。また、腐食環境を原子炉内に持ち込む海水注入を、同25日には淡水注水に切り替えることに成功している。本来であれば注水量を増やして冷却を加速したい状況であったが、注水した水が高濃度汚染水(以下、汚染水)となって建屋内に流出し始め、注水量を制限せざるを得ない状況となった。汚染水による高線量被ばくも発生した。また、この時期には、オフサイトセンター機能が回復できない条件下で、情報収集と関係組織間における意思疎通を図る必要があるとの判断のもと、政府と東京電力は「福島原子力発電所事故対策統合本部(以下、統合本部)」を設置することとした。

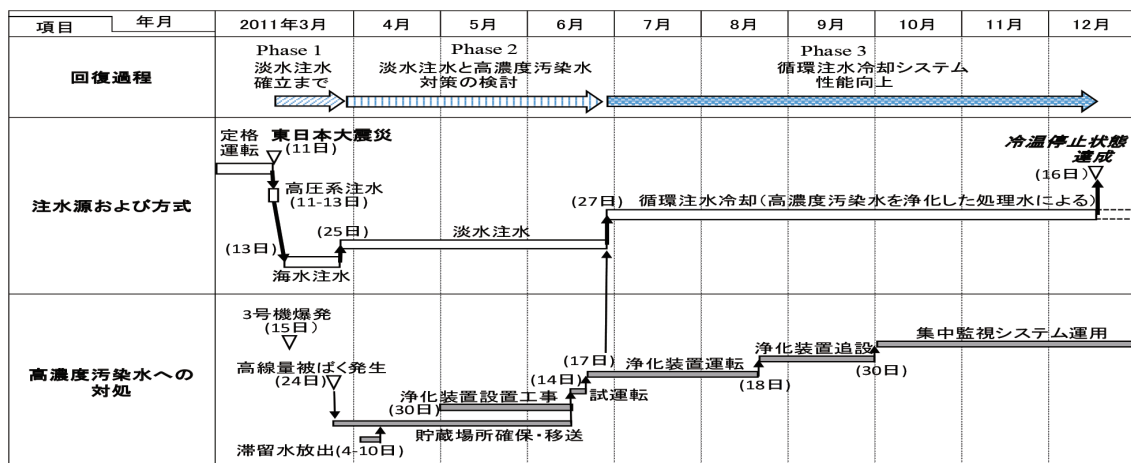


図1 3号機事故発生から冷温停止状態達成までの時系列整理(原子炉への注水事象)<sup>1)</sup>

### Phase 2：淡水注水と汚染水対策の検討

緊急課題となった汚染水対策として、統合本部は特別プロジェクトチームを立ち上げ、この汚染水の処理に関する検討を行った。その結果、集中放射性物質処理建屋に汚染水を閉じ込め、この時間を活用して浄化設備の設置を行うことができた。この浄化設備は海外からの輸入設備であり、作業環境や設置場所が限定され、非常に強い時間制約下で設置工事が進められた。6月にはこの設備が稼働できたことで、汚染水を処理して再び原子炉への注水として利用する「循環注水冷却」が確立でき、汚染水を増やさずに原子炉への注水量を増やすことが可能となった。また、この時期には、汚染水対策も含め、事故後の原子炉の安定化をどのように図るかの計画・実施、およびその進捗管理を試みた時期でもある。東京電力は、4月17日に「収束道筋」を発表し、以降統合本部により収束に向けた計画がマネジメントされるようになった。

### Phase 3：循環注水冷却システムの性能向上

循環注水冷却システムが構築されたことを受け、以後はシステムの信頼性を高め、「冷やす」機能の性能向上を図り、圧力容器の関連温度の低下を目指す時期となる。必要な注水量を確保するとともに、電源や浄化装置の多重化、注水ラインの追加、さらには「集中監視システム」により遠隔操作を可能とすることなど、システムには絶えず変更が加えられた。これらの取り組みにより信頼性が向上し、作業員の被ばくも低減できる環境が整備された。これまで制限してきた注水量を増やすことが可能となることで、圧力容器下部の温度を低下させることに成功し、9月以降100℃を下回るレベルを維持できるようになった。これらの結果から、高い信頼性をもって原子炉の冷却が促進できていると判断され、政府は12月16日に「冷温停止状態達成」を宣言した。

### 3. 組織レジリエンスを高めるための学習と課題

不測の事態に見舞われた際には、さまざまな応用動作が求められる。この事例にもさまざまな臨機の対応が含まれている。回復過程の評価から、「迅速な意思決定およびシステム変更を可能とする体制の構築」、「目標の明示およびその監視による回復過程のマネジメント」、「環境変化に応じた柔軟な代替手段の実施」、および「リソースおよび時間余裕の確保」といった要素が教訓として導出できる<sup>1)</sup>。さらに、Phase1の危険が伴う厳しい作業環境下で「冷やす」機能の暫定回復を行った作業員の対処能力の背景には、使命感や地域を守るといった“Attitude”や、これを支える日頃の「信頼関係」の重要性が浮かび上がる。

これらの教訓は組織レジリエンスを高めるために大切なものであるが、ここに記載した回復過程は、失敗に着目する事故原因の調査対象とはならない。したがって、本例に限らず、回復に関わる行為群の直接的評価は行われず、知識は組織の暗黙知となってしまう。

### 4. 組織レジリエンスを高めるための提案

それではどのようにして組織レジリエンスを向上させたらよいのであろうか。この課題に対し、組織安全研究のパイオニアである Hollnagel は、既往のアプローチであるリスクを低減して達成される安全を Safety-I としたうえで、成功を増やして達成する安全概念を Safety-II と称し、これを具現化する手法としてレジリエンスエンジニアリングを提唱している<sup>2)</sup>。レジリエンスエンジニアリングは、人や組織の持つ「学習」、「対処」、「監視」および「予見」の4つの能力に着目し、「変化する条件下で成功する能力」を安全目標とする Safety-II を達成しようとするものである。

組織レジリエンスを向上させるために必要とされる学習能力とは、普段システムを安全に運転できている「能力」はどのように発揮されているのか、「事故」の際はこれがどのような影響を受けていたのか、そしてダメージを受けたシステムの「回復過程」をどのように構築してゆくべきなのか、といった総合的な視点を必要としている。1F事故を、このような観点から評価することで、3号機の分析で示したような組織レジリエンス向上に繋がる教訓が、さらに導出できるのではないかと考える。

現在、長岡技術科学大学では、「防災ワクチン<sup>TM</sup>」の開発に取り組んでいる。防災ワクチン<sup>TM</sup>は、一般に弱毒化した病原体を与えて生物体が持っている免疫力を導く方法であるワクチンを、災害と組織に応用した概念である。すなわち、組織に対してある災害の疑似刺激を与えることにより、組織の持っている能力を引き出し、主体的に災害対応力を高めてゆくものである。1F事故から10年経ち、時間の経過とともに免疫力の低下を招かないように、事故からの学習を組織レジリエンスの向上に繋げる防災ワクチン<sup>TM</sup>の開発に取り組みたい。また、事故が起きる前にさまざまな業界や組織に展開できる方法として形式知化できるよう、取り組みを進めてまいりたい。

最後に、事故によりご迷惑をおかけしている皆様にお詫びを申し上げるとともに、現場にて身を賭して作業いただいた方々に心より感謝申し上げます。

#### － 参考文献 －

- 1) 吉澤厚文, 大場恭子, 北村正晴: 福島第一原子力発電所における冷温停止状態達成過程に着目した教訓導出, 人間工学, Vol. 54, No. 3, pp.124-134, 2018.
- 2) E. Hollnagel: Safety-I and Safety-II, The Past and Future of Safety Management, Ashgate, 2014.

#### 著者紹介

吉澤厚文 (よしざわ・あつふみ)

東京工業大学総合理工学研究科修士課程修了, 東京電力㈱, 日本原子力発電㈱を経て2020年から長岡技術科学大学客員教授, 博士(工学)。

## 教養と工学・欲望と抑制

東京工業大学名誉教授 和田 章

われわれには教養「Liberal Arts」が必要である。数学、物理や化学も教養であるが、これを超える大きな哲学である。子供の頃から科学少年と言われ、確かに算数や理科の成績だけは良く、小学校6年のときには担任の先生の代わりに算数の試験問題を作ったこともある。しかし、Liberal Artsを身につけてきたとは思えない。

Liberal Artsの原点はギリシャ時代にさかのぼり、当時は「正式な市民」と「奴隷」がいて、前者は自由人(liberal)と呼ばれ哲学を身に付けるべきとされていたようだ。市民が議論して社会の進むべき方向を決め、これに従って奴隷が作業をする時代だった。21世紀の日本は民主主義であり、国民は秩序ある仕組みの中で責任と義務を果たす前提で、全員が平等の権利と自由を持っている。国民を「決める人たち」と「従う人たち」に分けてはいない。

ただ、ここで経済至上主義の行き過ぎが気になる。効率良く利益を生むことが善であるという考えであり、法律に「してはならない」と書かれていないことは何でも自由にして良いという思想である。問題が起こるたびに、法律やルールが増えていく。

「X-Yの平面上に、下に凸な放物線とこれを斜めによぎる直線があり、この曲線と直線の上部の共通部分で最もYの値が小さくなる時のXを求めよ」などの問題には、われわれは即座に答えを出すことができる。このような数学や物理の法則を使って、社会にある多くの課題の最も効率の良い答えを求めることは難しくない。しかし、以前には気付かなかった重要な条件がのちになって見つかり、もう一本の直線が追加されることがある。この直線の位置によるが、以前のミニマム(X, Y)のセットは、新しい条件を満たさないことがありうる。法律や規則、設計式、自然の猛威の強さなど、与えられる条件を満足させることのみを目的にして、効率を追求する方法には危険性がある。技術者は、既存のルールだけでなく、想像力を働かせ、先々のことを自分の力で考えて対処する必要がある。

この人間の間違った行動は、戦後の公害問題にはっきり顕れた。多くの工場は利益を求めて不要なガスや液体を何も処理せずに、煙突から空へ、排水溝から川や海に流していた。そして、20世紀には多くの公害問題が起きた。人々や企業は大きく反省し、今では周辺環境を守ることの重要性が理解され、地球環境までを考えるよう

になった。地球温暖化の問題は大きく残っているが、日本の空や川はきれいになってきた。阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震、北海道胆振東部地震を経験して、多くの研究者、技術者、行政の人達が地震災害の軽減のために努力している。しかし、経済至上主義の持つ危険性を論じる人は少なく、太平洋岸に多くの産業と人口を集める日本のグランドデザインを批判する人も少ない。地方の過疎化をそのままにして、大都市に人々や富を集中させ、社会をますます危険な方向に導いている。関係者全員が善いことをしていると信じて、独立的に頑張っていることがなおさら大問題である。明治以降の150年の努力の成果は、必ずしも世界に自慢できるものではない。

このようにして、都市計画、土木工学、建築学、地震工学に関わりこれらの開発を進め、全体として危険性を増やしている人たちが多くいる。一方で、同じ人たちが防災・減災対策が重要だと叫んでいる。人々の欲望を満たすことを優先して、抑制を忘れた行動を続け、これを追うように防災・減災対策を進めているが、後者は前者を上回ることはなく、次にはますます深刻な震災が起こりうる。

われわれエンジニアは、ギリシャ時代の奴隷と同じではない。経済至上主義の行き過ぎから生まれる間違えた方向に従順に従う必要もない。われわれ、地震工学に関わる人々には「社会が危うきに近づいている」と感じたら、これを指摘し、より良い方向に軌道修正する義務がある。「枝先に行かねば熟柿は食えぬ」と言われ、挑戦や開発の重要性を主張する人々が多いが、防災・減災の観点から、現状の日本の行動を見ると、欲に駆られて熟柿を取る前に、大地震が起きて社会を支える枝が折れてしまうように感じる。

2011年3月の東日本大震災の津波による悲惨な災害、原子力発電所の事故を受けて、日本の進む方向に疑問を感じた。抑制を忘れ、欲望のままに進む社会への警告の気持ちで、日本学術会議提言「大震災の起きない都市を目指して」を纏め、2017年8月に公表した。自然現象をすべて人間の力で抑えることは不可能であるから、society 5.0で叫ばれている情報技術の活用、震災後の復旧・復興対策は必要である。ただ災害そのものを減じるためには、その前にすべき重要事項があると考え、この提言を纏めた。宙に浮いたような行動ではなく、鈍と言

われても良いから、しっかり地に足をつけた活動を進めることが必須である。

## 提言

### 1. 最新の科学的知見にもとづき、想像力を広げた熟考

発生頻度は低いが大被害を及ぼす地震を対象に、津波・高潮・火災・豪雨などとの複合災害も含め、最新の科学的知見にもとづき想像力を広げて熟考し、可能性のある事象を想定して大震災の起きない都市の構築を目指すべきである。さらに、これらの想定は完全とは言えず、自然への畏怖の念を忘れず、繰返して見直すことが重要である。

### 2. 居住、活動のための適地の選択

人々の居住、活動の場所は、地域における地震動の増幅性や過去の災害履歴などを踏まえて災害脆弱性を正しく認識し、より安全な場所を選択すべきであり、被災ポテンシャルの高い地域から低い地域へと居住地・活動域を移すことも考えるべきである。

### 3. 都市地震係数の採用

大震災発生時の社会的影響度が高いわが国の大きな都市では、建物やインフラの耐震性を他の一般地域のものより高めるために「都市地震係数」を導入すべきである。

### 4. 土木構造物・建築物の耐震性確保策の推進

現存する耐震性の劣る土木構造物・ライフライン・建築物・古い木造住宅などの耐震性の向上を図るべきである。新築でも特に木造住宅については、個々の設計・施工に最新の知識が生かされる確かな仕組みをつくる必要がある。

### 5. 人口集中、機能集中の緩和

災害リスクの分散により日本の持続可能性を高めるとともに、東京一極集中による過密の不経済や地方の活性化に対処していくために、大きな都市への過度な人口集中・機能集中を是正するための国土計画をたて、これを実現していくべきである。

### 6. 留まれる社会、逃げ込めるまちの構築

地盤・構造物の耐震化対策を進め、災害時に建物の中に留まることができ、人々が生き続けられるまちを構築すべきである。このようなまちはすぐには構築できないが、救命・緊急輸送道路や避難場所を確保し、命を守るライフラインを災害時に確保することも含め、平常時から整備を進める必要がある。

### 7. 情報通信技術の強靱化と有効な利活用

通信・情報システムを災害時に発信規制を起こさず有効に機能させるために、通信容量の拡大、バッテリーの長時間化、機器の平常時の利用が連続して被災時にも利用可能とするなど、非常時の対応力を強化するとともに、

データ処理技術を進展させ、災害発生直後の迅速な対処のための準備を進めるべきである。

### 8. 大地震後への準備と行動

震災時の社会経済的な損失軽減を目的とした自助・共助・公助による対策を実効あるものにするために、地域特性に即した防災教育を学校や社会に取り入れ、公的な主体と民間企業、地域住民が平時から適切な協力関係を確立できるような活動を行うべきである。このとき、震災を知らず言葉も通じにくい外国人への準備と対応も必要である。

### 9. 耐震構造の進展と適用

わが国の耐震技術をさらに進展させつつ、これを適切に適用するとともに、従来の設計では想定していなかった事象に対しても、構造物あるいはそれを含む全体システムが破滅的な状況に陥らないような方法と仕組の研究開発と実用化を進めるべきである。

### 10. 国内外の震災から学ぶ、国際協力、知見や行動の共有

都市の構成、構造物のつくり方、交通網や通信網の構築など、世界各国に共通点のある防災に関する知見を活かして、国内外の災害を無くす努力を続けるべきである。

### 11. 専門を超える視野を持って行動する努力

都市の防災・減災対策に向け、理工系だけでなく、人文・社会・経済・医療なども含めた多くの分野が、それぞれの専門分野の枠を超えて総合的かつ持続的に取り組むべきである。またこのために、異なる分野間の平常時における情報共有や交流を活発化させるべきである。

## まとめ

「大震災の起きない都市を目指して」と題する提言の要旨を紹介したが、是非本文を読んでいただきたい。

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-t249-1.pdf>

日本学術会議は、原子核特別委員会(朝永振一郎委員長)と原子力問題委員会(藤岡由夫委員長)で審議して、1954年4月の総会において原子力平和利用3原則の声明を発表した。福島第一発電所の事故もこの延長線上にあり心が痛むが、昭和・平成・令和にわたり進められている都市、建築の構築にも、大いに反省すべきことがある。

## 著者紹介

和田 章(わだ・あきら)

東京工業大学工学部建築学科卒業、大学院修士課程建築学専攻修了。日建設計勤務、工学博士取得。東京工業大学助教授、教授、日本建築学会会長、日本学術会議会員などを歴任、防災学術連携体創立の一員として学会連携を推進。

# 座談会

## 核燃料サイクルのリアリティ

当会理事 佐治悦郎  
 本誌 佐田 務  
 日本原燃 田中治邦  
 三菱重工 福田 龍  
 関西電力 堀内知英  
 東京工業大学 澤田哲生(司会)

\* 50 音順掲載

核燃料サイクルの基幹施設となる日本原燃の再処理工場と MOX 燃料工場が昨年、相次いで操業に必要な安全審査に合格した。政府は長期的なエネルギー確保をめざす戦略の中で、当面はプルサーマルを推進していくとしている。とはいえ高速増殖炉の開発の見通しが不透明な中で、いわゆるプルトニウムバランスや安全性への懸念の声も聞かれる。専門家にこの問題をめぐる現況と、今後の課題や展望について論じてもらった。

**Keyword:** Nuclear fuel cycle, Reprocessing, MOX, FBR, Rokkasyo, NRA, NuRO, carbon-free

### プルトニウムバランスはとれている

澤田 最初に核燃料サイクルをめぐる状況を整理させていただきます。

現在は第6次エネルギー基本計画策定の議論が始まっており、菅内閣は2050年にCO<sub>2</sub>排出を実質的にゼロにするという大胆な目標を掲げました。CO<sub>2</sub>削減と電力の安定供給を考えると、エネルギーミックスの中に原子力というオプションは外せない。脱炭素に実質感を持たせるなら、むしろ現状のエネ基の20~22%以上が必要ではないかと思っています。

一方で電力自由化が進むとともに、電力業界には追加的安全対策や特定重大事故等対処施設(特重)など厳しい規制が求められており、その中で電力業界には果たしてこの原子力事業を今後も維持していく体力があるのか。とりわけ今日は軽水炉のMOX<sup>i</sup>燃料利用いわゆるプルサーマルは本当にうまく回っていくのかということに対するリアリティ、疑問、そして目標を共有したいと思います。

<sup>i</sup> Mixed OXide の略で、混合された酸化物をさす。MOX 燃料とは、二酸化プルトニウム(PuO<sub>2</sub>)と二酸化ウラン(UO<sub>2</sub>)を混合した燃料である。

何しろプルサーマルという奇怪な和製英語かつ専門的方言が面妖で、何か特別なものなのではないかという疑念を想起させてしまいます。

なお、梶山経産大臣は原子力発電所の新增設は想定していないと発言しており、高速炉の実現はさらに遠のいている感じがします。そのような厳しい中で今はSMR(小型モジュラー炉)が安全性などから注目されはじめています。

将来の高速炉サイクルを見据えると、当面は軽水炉の使用済み燃料から取り出したプルトニウムによるMOX利用を進めるものの、その使用済みMOX燃料をどうするのかという問題が控えます。使用済み燃料再処理機構(NuRO)の枠組みの中では、高速炉サイクルまで念頭においた第二再処理<sup>ii</sup>を含む制度設計がされていますが、政策としては具体的にどのようなプロジェクトが現実 implement されるのかは明確ではありません。このため当面は、軽水炉によるMOX燃料利用(プルサーマル)に重きを置かなければならず、高速炉実現の姿が見えない中では軽水炉が果たす役割は大きいと言えます。

一方でプルトニウムはほとんど劣化しない、将来にわ

<sup>ii</sup> 本稿における第二再処理とは、六ヶ所工場に続く次の民間再処理工場を意味する。

たる貴重な備蓄核燃料だと思えます。余剰プルトニウムと言われる場合の「余剰」はむしろ「備蓄」ではないかと思えます。

さて、そのプルトニウムのバランス、つまり現存量、六ヶ所の再処理施設の稼働後の生産量、そして原子炉での消費量のバランスの現状と今後の見通しはどうなっているのでしょうか。

田中 最初にこの問題に対して多くの人が誤解をしている点から指摘したいと思えます。プルトニウムバランスを考える場合には六ヶ所の再処理施設から出てくるプルトニウムがどれだけあり、プルサーマル対象炉が今、何基動いているかを考えても意味がありません。

現状ではプルサーマル炉は4基動いており、電力会社は自社に割り当てられたプルトニウムは自社の炉で燃やす基本方針です。一方で六ヶ所の工場が竣工するのは2022年度上期の予定です。それを経て地元と操業に係わる安全協定の交渉を始めるので、実際に六ヶ所の工場が動き出すというのはおそらく2023年度以降で、当初は20%程度の再処理量から始め、段階的に上げていくこととなります。このためフル稼働はさらにその先になります。

なお、仮に2023年度から動き出すとすると、そこで抽出・回収されたMOX粉末は、MOX燃料加工工場(J-MOX)でおそらく2年後、つまり25年度には軽水炉に装填できるMOX燃料集合体に加工できると思えます。

次にそれを、各発電所のMOX装荷計画に合わせて輸送計画をつくった上で、発電所に搬入します。さらに実際の装荷は、原子炉の次の定期検査まで待たなければなりません。

そのようなことを考えると、六ヶ所で2023年度に回収したプルトニウムが発電所で燃え始めるというのは、早くも27年度になります。だから今から7年後の時点でプルトニウムを燃料として燃焼できる原子炉が何基あるかが問題であって、今は4基しかないというのは問題にはなりません。プルトニウムバランスは、2027年度時点での状況を予測した上で考えなければならない話です。ここに大きな誤解があると思えます。

このため当面は、六ヶ所から出てきたプルトニウムは少なく、現状の4基、あるいはプラスアルファで十分間にあうということになります。

澤田 よく理解できました。けれどもプルトニウムバランスが成立していないと主張する人は、その根底にプルトニウム利用そのものへの反対があるのではないのでしょうか。その背景には、プルトニウム利用に根強く反対してきている国際的な団体の存在もあります。

さて、実際にJ-MOXで製造された燃料が装荷されるのは早くも2027年なので、時間的に余裕がある。それまでに、MOX燃料が装荷できる軽水炉の原子力発電所が再稼働すればよいという理解でよいのでしょうか。

田中 各社が自社の原子炉で燃やす分に加えて大間のフルMOX炉もあるので、16基以下でも十分間にあいます。

佐治 いくつかの発電所はプルサーマルを行うということに対する地元了解がすでに得られていますが、今後は事前了解で難航する可能性はないのでしょうか。

田中 MOX燃料を利用するプルサーマル計画については、まだ地元了解のお願いを出していないものや、そもそも再稼働の申請をしてない発電所もあります。予定されていた全基は無理かもしれませんが、それでもバランスはとれるという計算です。

佐治 私が原子力安全委員会にいたときに、平成13年の原子力安全白書では「プルトニウムに関する安全確保」を特集しました。また同じころ、原子力学会会長だった住田健二先生(元原子力安全委員会委員長代理)は、プルサーマルの意義と安全性をテーマにして学会誌で特集記事<sup>1)</sup>を組むことを当時、編集委員会幹事であった私に指示されました。それらの背景として、当時は一般社会からプルトニウム利用に関わる安全性に不安を持たれ、立地自治体の住民投票でプルサーマル利用が否決されることなどがありました。ですので、この問題で一番の課題は地元了解だということを、当時から思っていました。

田中 MOX燃料の軽水炉利用(プルサーマル)が初めて開始されたのは1986年の原電敦賀1号機で、次が1988年の美浜1号機です。その後しばらくの間は確かに地元了解を得るのは簡単ではありませんでした。けれども今は、原子炉の再稼働は大変ですが、プルサーマル利用についてはかつてより理解が進んでいると思えます。とりわけ関西電力や四国電力、九州電力で先行して実績を積み上げてもらっていることは、とても意味があることだと思います。

堀内 電気事業者である私たちとして大事なポイントは、全電力がプルサーマルを取り組むということ、これに尽きると思えます。確かに今は関西の2基と九州、四国1基ずつの計4基しかないのですが、その断面で見ればプルトニウムのバランスは取れないという議論になりますが、電力会社全社では16~18基で実施していく方針です<sup>iii</sup>。だから、将来的にはプルトニウムのバランスは十分取れるはずですよ。

プルサーマルを実施する前にはまず、新規制基準をクリアして再稼働をしなければなりません。このため当面の最優先課題は再稼働です。もちろん、プルサーマルも視野に入れて対応しています。また、各社とも地元から了解をいただけるよう、しっかりと努力しているところですよ。

<sup>iii</sup> 電気事業連合会は2020年12月17日に、「2030年度までに少なくとも12基の原子炉でプルサーマルの実施を目指す」と発表しました。



## 規制対応で疲弊し、プル対応への余裕がない

福田 今後、再稼働が本当に順調に増えていくのか、予想外の事態をどう避けていくか、設置許可をいただいたプラントでプルサーマルが本当に以前のように支障なくできるのか、それに関連するリスクや不確かさを念頭において、それらを減らす努力を効率的にしていくことがまずは必要ではないかと思っています。再稼働については、特重が決められた期間内に完成できずにプラントが停止せざるを得ない状況になることは個人的には当初予測できませんでした。これがクリアできれば、不確かさはある程度減ると思います。とはいえ、過重とも思える規制に対応するために工程や人材、資金面で相当な負担がかかっており、それを軽減していくことを考えないと、現場ではプルサーマルを実施するための余力や意欲が残っていないのではないかと心配しています。

一方で、私は直接規制側と審査対応等をしているわけではないのですが、外部からみているステークホルダーとして個人的な意見を言わせていただくと、規制側にもいくつか向上していただきたい点があるのではないかと思います。審査される電力側にはそれに関連した知識をもつプロがたくさんいて、それを審査する側の規制庁には規制のプロがいて、その両方で建設的な議論をするというのがあるべき姿であると思います。規制側には研究者としての能力だけでなく、これまでの審査経験を活かして事務的な処理能力も向上された更なる規制のプロを育成いただきたい。経産省時代にはその点では外から見てあきらかにキーパーソンと思える方がいらっしゃいました。そうすることによって、一見すると停滞していると思われる再稼働審査も合理的に進むような印象をもっています。

また、現場は本当に規制対応で疲弊しています。人が減っている中で、シビアアクシデント対応の訓練では、可搬設備を何分以内にアクセスルートを通して搬送しなければならない、それが1分でも遅れたら設置許可違反になる。そういう対応に追い回されています。既資源を有効利用するプルサーマルが重要なことはわかっているけれども、そのような中でプルサーマルまで手がける余裕が果たしてあるのか、懸念しています。

安全目標も一貫した理念にもとづいた整備が必要だと思います。PRA(確率論的リスク評価)で評価し、 $\Delta$ CDF(炉心損傷頻度の変化量)や $\Delta$ CCF(格納容器機能喪失頻度の変化量)の大きなものに対応すればいいという考えもあるようですが、その大もとである安全目標をクリアできていれば、その下位目標である $\Delta$ CDFや $\Delta$ CCFが大きくても、それに対応するために資源を投入することは本当に合理的なのか。また、本当に安全が確保されているのかの見極めは、PRAの進捗をふまえて

都度規制側と産業界側が段階的に照合して本当に追加的な対応がどれ位必要かを考えて決めるべきで、その上で実施していく方が合理的ではないか。設備や訓練や運営面での工夫などといった各論ではなく、理念にもとづいた大もとの判断基準を早く明確にしないと、現場は各論の対応に資源をとられて、プルサーマルどころではないと思っています。

もう一つは、地元の了解の話です。声高に反対する一部の人ではなく、一般の人々、サイレント・マジョリティの人たちに、積極的にプルサーマルの安全性に関する情報を発信していただければと思います。

メーカーとしては、安全解析を改めてベストエスティメイト(最確)で事象を評価すると、むしろMOXの方が安全な事象もある。元々のウラン燃料のみの炉心については、MOX燃料の導入に伴う設備を強化した点において、ウランの安全性は高まっている、というような発信をどんどんしていくべきではないかと思っています。

すでにプルサーマルを始めている伊方や玄海、高浜では各電力会社の方々がとてもがんばって地元の了解を得てきたと思います。サイレント・マジョリティや政治への働きかけ、あるいは訴訟リスクへの対応はなかなか大変ですが、設置許可、再稼働と進む中で、プルサーマルについては電力やメーカーなどが役割の分担を意識しながら、継続的にMOXの安全性を訴えていくことが重要だと思います。

澤田 現場の中にはさまざまな規制対応で疲弊していて、プルサーマルには頭が回らない、余裕がないという状況にあるという認識でよいでしょうか。要するに新しい規制基準の下で、重くて厳しい仕事がとても増えているという理解でよいですか。

福田 極端な例をあげると、現場の若い方の中には、「平常時の運転状態の確認よりも、シビアアクシデント(SA)の発生を想定した訓練の方がサイトの仕事だろう」と言う人さえおり、本末転倒だと思います。そんな実態になっていることをわれわれは発信してより良い姿にしていくために共有しなければいけないと思います。

## MOXの安全性は実証されている

澤田 MOX燃料はすでに実際に日本の軽水炉で長年にわたって運用して来ており、その安全性は通常の運転より高いと言われました。具体的にはどういうことですか。世間では普通のウラン燃料よりプルトニウムを含むMOX燃料の方がリスクが高いと言われることがありますが。

福田 MOX燃料の中に含まれるプルトニウム239や241は中性子を吸収する量が多く、制御棒の吸収効果やケミカルシム、ホウ酸系の吸収効果と競合が増えるといったことで、燃料に食われる中性子の分だけ、制御棒

やホウ酸注入に対して効きが低下します。そのことによってリスクが高くなると言われることがあります。けれどもそれは、制御棒の増設や、ホウ酸水による安全停止系や反応度制御系システムのタンクの濃度や容量等を増やすことや、制御棒の位置にMOXを置かない運用にすることで十分カバーできます。その結果として、MOXが入っていないウラン燃料だけの時は、逆に制御能力や安全余裕を増やしているということになります。

一方でMOX燃料の場合には、熱中性子炉において顕著なエンジンブレーキのひとつであるドブラー効果による反応度フィードバックによる安全ブレーキがより効きます。とりわけ反応度事故のような時には、より有利に働くこととなります。

以上は一例ですが、MOX炉心だけの場合とウラン炉心だけの場合とを、入力も全部ベストエスティメイト同士で比較すると、ある事象ではMOXのほうが厳しくなりますが、ある事象では逆にMOXのほうが楽な方向となることはあり、そういう事例を包含して、MOX燃料導入による安全性への影響は微々たるものという説明が説得力が増すというわけです。

ところが、実態として安全解析を実施する場合、MOX燃料が取り出されるとまたウラン燃料のみの炉心に戻ることもあり、ウラン炉心とMOX炉心の厳しいところを包含した一つの入力で実施するのが標準となっていて、安全性への影響を広く一般に説明する際に工夫ができるのではないかと考えている次第です。

澤田 先日、ある新聞社から取材を受けた時に、プルトニウムの均一性がないプルトニウムが多めに偏在するプルトニウムスポットが発生し、そこが他の領域よりも発熱量が増えてそこから溶融が始まるというような質問を受けました。その点について説明していただけますか。

福田 今から30年ぐらい前のMOXの製法だと、確かにプルトニウムスポットができていました。その後、ジメンス社などが製法を工夫し、硝酸ウランの溶液同士を混合したり、粉末同士の混合を段階的に行ったりすることで、ペレットにする製造過程で酸化プルトニウムの粉末を均一にして大きなスポットを生じさせにくくするための改良がなされました。

その結果として今、国内に入ってきているものは、完全にプルトニウムスポットの大きさがゼロではないですが、相当均一化され、微細化されています。実機で燃やしても、問題はありません。もし問題になるとしたら、FPガス(ガス状の核分裂生成物)の放出の話でしょうが、よほどのことがない限り、内圧でリークするという事もありません。また、反応度実験でも特に問題は起きていません。さらに、昔、旧NUPEC(旧原子力発電技術機構)のプログラムの中で、どのぐらいのホットスポットを想定したら、燃料の温度およびそれに伴うFPガス放出等の各種の照射挙動に影響が出るかを、FEM(有限要素

法)で調べたことがあります。要するにプルスポットはゼロではありませんが、設計上問題になることはない。実用化された今までも不具合は起きていません。

さきほどの新聞社による取材の件にあった懸念に対しては、過去にあった事実にとさらスポットライトを当てているだけで、現在では問題ないレベルになっているということ、愚直に説明していくしかないと思います。

## プルトニウムスポットは製法の改良で対処済

堀内 電力会社にも、昔はそうした技術論や安全性についての問合せは結構ありました。プルトニウムスポットについては、きちんと検査で確認していると説明しています。ペレットにはいろいろな検査があり、製品ペレットを切って、プルトニウムの大きさがどうなっているのかということまで確認しています。確かに旧式の製法ではプルトニウムスポットが見られたことがありましたが、今はそのようなことはなく、かなり均一なものができます。その話はすでに、過去の論点ではないかと思えます。制御棒の効が悪くなるという話も同様です。

私は大学でプルサーマルの講義をしたこともあるのですが、その時はまず、プルトニウムの特性は分かっている、どういったことがあれば、どうなるというのが分かっている、その時にはこうすればいいという手立てがとれると説明しています。

だから、どうやったら安全にプルトニウムを利用できるかというところを、われわれはしっかりと事前に確認しているのです。プルサーマルは、十分安全に実施することができると説明しています。

澤田 先ほどの田中さんの指摘では16基以下でもプルサーマルを実施すればバランスを取れる見込みがある。また、六ヶ所が最初からフル運転するわけではないし、J-MOXからのMOX燃料を含めてサイクルが回るという基本概念はわかったのですが、自社から出た使用済み燃料から製造されたMOX燃料は自社で処理するというスキームが破綻するということはないのでしょうか。

また、福島から出てきた使用済み燃料のプルトニウムが、今後あまり多くの軽水炉が現実には再稼働しそうにもない東京電力の中で本当に回るのでしょうか。さらに将来、稼働した大間原子力発電所のMOX燃料はどこから来るのでしょうか。

田中 各電力会社が自社のMOX燃料をどこで使うかを明示したのがプルトニウム利用計画ですが、大間もその中に入っています。大間がフルMOX(炉心の全燃料がMOX燃料になる。通常の軽水炉のMOX燃料利用では炉心の約3分の1がMOX燃料)の運転に入った時には毎年1.1トンの核分裂性プルトニウムを消費します。したがって全電力は、自分のところで発生する量に比例

させて、合計 1.1 トンになる量を大間フル MOX 炉に譲渡します。

澤田 移出して……

田中 提供していくということになっています。すでに契約をしているところもあります。ただ、今は進捗していません。六ヶ所がフル運転すると 800 トンの使用済み燃料を再処理でき、4.8 トンの核分裂性プルトニウムを抽出し、そのうち 1.1 トンは大間で吸収してもらうことが前提になっています。各電力はその分を差し引いた分を自社の炉で燃やすことになります。

福田 MOX 燃料を予定通り燃やしたという実績についても、地味ですが情報発信していくことが大事だと思います。導入準備段階での許認可等では MOX 燃料とウラン燃料との相違点を細かく分析して影響を検討しましたが、いざ所定の燃焼度まで燃焼を完了させ取り出した時点であらためて思うところは、ウランと全く変わらなかったというのが実感ですし、製造検査でもプルスポットも全然問題がなかったということも含め、地元をはじめ声なき一般の方々に対して発信し、さらには全国で展開していくことは、われわれ産業界で地味ですがすべきことではないかと思えます。

田中 それはとてもいいことだと思いますが、具体的な照射後試験(PIE: Post Irradiation Examination)の計画はありますか。

堀内 今から約 30 年前に美浜 1 号で 4 体実施したことがあります。現時点での計画はありません。美浜の時に基本的な特性はもう把握したということだと思います。

田中 福田さんの指摘は重要だと思うので、広報の材料として、例えば何体装荷し、無事に最後まで運転できて、燃焼度はどれぐらいで、運転中の熱的制限値も問題なかったという事実を説明していくことが良いでしょうね。もちろんたくさん使ったら、ウラン燃料と同様に微小漏洩燃料も発生するかもしれません。そのような認識も含めて予め言うておくことが重要でしょう。

福田 プルトニウムスポットについては、製造時の状況を紹介するということや、PWR 運転中のさまざまなデータもあります。そういうものも発信していく。

PIE については、もし遠い先の話として、MOX の再処理を考えたときには、再処理の溶解性という基礎データを取るというきっかけにもなりうるのかなと思っています。

堀内 PIE ということだとかなり先まで見通した話となるので、今までの MOX 燃料の燃焼実績を国際的な学会で発表するというような広報活動もあるかもしれません。

佐田 今までの話の中で、プルトニウムバランスが取れているということ、プルサーマルの安全性が確保されている話も納得いたしました。

それから、さきほど福田さんが指摘されたことは大き

く二つあると思います。

一つは、プルサーマル利用をはじめとした原子力の安全確保を目指した最適化がされているか、少なくとも最適化を目指した道筋の中に今は入っているかどうかということ。二つ目は、それを担うべき規制庁にその能力と意欲があるか。というよりは意欲と能力が不足しているのではないかという話。この二つの問題があることが、いろいろなことで支障をもたらしている。これはプルサーマルに限った話ではなくて、原子力発電の利用全体にも同様の話ではないかと思えます。

規制庁は権力をもった組織であり、それが制度に組み込まれていますから、不合理な点があっても事業者は太刀打ちできない。世論に訴えかけるという手もあるのですが、あまり期待できない。となれば、これを前提として考えなければならないという情けない状況が、続いていると思えます。

さらに大きな話としては、核燃料サイクルをやるメリットが本当にあるのか。もちろんエネルギーの安全保障面や将来の経済的メリット、とりわけウランが高騰した場合を考えた場合のメリットや、廃棄物を減らせるというメリットはあると思えます。

一方でデメリットは、何といってもまずはコストの問題だと思います。二つ目が、第二世代 MOX の処理の問題。今の MOX は当面は第一世代だけで終わる話でしかなく、第二世代、第三世代とやるのであれば、さっきのメリットは十分生かされる。けれども第一世代どまりであれば、そこで出た使用済み MOX 燃料は行き先が決まっていなため、直接処分しなければならないようなことになれば、さきほどのメリットというのは極めて限定的でしかない。また、核燃料サイクルをやめるとなると、青森県から使用済み核燃料を突き返されるという懸念もあります。

## 第二再処理を念頭においた拠出金

澤田 NuRO の拠出金制度の現実性のお話に移ります。再処理機構ができて、核燃料サイクル事業全体にリスクヘッジをとったような感じになりました。NuRO では第二再処理、つまり軽水炉の使用済み MOX の再処理も射程に置いた制度設計がなされているようです。けれども第二再処理、高速炉サイクルの具体的なプランニングは、何十年も先になりそうです。しかし、それについては拠出金が準備されています。

さて、六ヶ所再処理工場が動き、J-MOX ができて製品化された時には均一性などはチェックするでしょうが、照射試験や実証試験はするのでしょうか。フランス製の MOX 燃料では使用実績があるとはいえ、日本製の MOX 燃料(J-MOX 燃料)は実際に照射してみないと確実なところはわからないのではないのでしょうか。

堀内 J-MOX のプロセスのうち、さきほどのプルトニウムスポットを防ぐ製造過程はフランスにある MOX 燃料製造工場であるメロックス工場と同じで、製造装置を持ってきているのと基本的には同じです。最初は一定の小規模で生産することになるのかもしれませんが、そのまま入れていくと考えています。

澤田 J-MOX では小規模、部分的に使って、それがある意味、実証試験的にみなすという意味ですか。

堀内 ではなくて、最初から集合体を作って、原子炉に装荷していくということになると思っています。

福田 美浜 1 号の時は少数体先行で、その次が高浜 3 号か 4 号で装荷規模を増やした段階的な照射で計画されていました。美浜 1 号の最初の MOX ペレットの製法は古いものですがその後、MIMAS 法など MOX ペレット製造法が改良され、その後今に至るまで、美浜 1 号の時より、改良された MOX を実用規模で利用する設置許可を取っています。

また、すでに 3 プラントで実績があること、母材のウランの違いはあるかもしれませんが、基本的にプルトニウム含有量が違ってなければ、組成も大きく違ってないと考えられますので、J-MOX の実機装荷も最初から実用規模でいいと思っています。海外加工の MOX から J-MOX へと、美浜 1 号から始まって、ステップ・バイ・ステップで連携できていると思います。むしろ美浜から実用化するときのほうが、大きな変革だったのではないかなと思います。

澤田 例えるならばフランス産ワインと日本産ワインで、同じ種で同じ製法で作ったといっても、味が違うということはありますか。例えとしては不適切かもしれませんが。

田中 技術者は慎重で、細かいところまですべて見なければいけないと思っています。それは J-MOX の職員も同じです。ただし、少し大きな目で見ると、これは燃料ペレットの中の話です。入れ物である燃料集合体は同じだし、反応度的にも熱的にも、ウラン燃料とコンパティビリティ(共存性)があるように富化度を決めている。だから PIE をしても、MOX 燃料とウラン燃料ではほとんど差が出ない。

炉心全体で見ても、プルサーマルは全体の 3 分の 1 か 4 分の 1 でしかない。特に PWR の場合は、制御棒の横に置かないというふうにすれば、炉心の特性に差が出ることはない。フル MOX の大間では、臨界到達点に少し計算誤差が出るかも知れない程度の話です。製造過程で意図したようなことができなくて失敗し、それが何か燃料トラブルを起こす可能性は否定できないかもしれないけれども、そのときは慎重に対処していく。

特に MOX ペレットの製造については、フランスから導入した技術をフランスの MOX 粉末に適用することと、ウラン・プルトニウム混合脱硝という日本特有の技術で

作った MOX 粉末を劣化ウランと混ぜて作ることが、少し材料が違うから製品も少し違うかもしれないというように細かいことまで気にして取り組んでいます。JAEA にも手伝ってもらい、MOX 粉末製造に関する実証にも取り組んでいます。とにかく原燃は J-MOX 工場の最初の本格生産に入る前に、きちんとステップ・バイ・ステップに確認しながら、自分たちのものがきちんとできているかというのを確認しながら進めていきます。

澤田 こんな質問をしたのも、メディアから取材を受けたとき、そういう話が質問されるからです。ともあれ、J-MOX の製造工程を聞いて、フランスと何も変わらないということであれば、懸念は払拭されるのかもしれませんがね。

さて、第二再処理。これは事業者が実際にお金を拠出してプールしている状態ですが、まだ姿も見えないものにお金を出しているということについては、どのように考えられているのですか。

なお、高速炉に取り組んでいくことすなわちそれは第二再処理ありというドグマの上に立っていますが、そのドグマ自体が破綻しかけていることはないでしょうか。

堀内 拠出金は法令に基づいて拠出することになっています。

田中 これは絶対に必要なことです。かつては積立金法がなく、必要なお金が十分に積立てられていなかった。また、積立金法のとときに、六ヶ所で再処理される使用済み燃料の再処理費用は積み立てるけれども、六ヶ所で再処理し切れない燃料、当時は多分、毎年 1,000 トン以上出てくるような計画もあり 800 トンを超えていましたが、それについての積立ては電力の責任でやるようなことになっており、後で困ることになる懸念がありました。

今回の拠出金法が優れている点は、出てくる使用済み燃料のすべてに対して、再処理費用を拠出させることにあります。現世代の需要家の人からお金を積み立てておかないと、後の世代の人が困ることになります。その点が解決されています。

ただし、第二再処理がどういう設計になるか不透明なので、現時点では六ヶ所と同じ工場を外挿して仮定し、その上で現時点の価値に換算しています。その負担は大きくなく、電力会社の経営や電力料金に対する影響はほとんどありません。このため将来、第二再処理について具体的に設計をすることになったときには、この手当が大いに役立つことになります。

第二再処理が六ヶ所よりも高くなるのか安くなるのかということは、現時点では不明です。高速炉サイクルの再処理だから高くなるということはありません。高速炉は高燃焼度を出せるし、熱効率も高い。除染係数を下げた設計も採用できる。だから高速炉の再処理費は、六ヶ所の反省を生かせば、六ヶ所より高くはならないことを期待しています。

高速炉シナリオが破綻しているとは思いません。シナリオがはっきりと描き切れていないことは事実ですが、今やるべきことはきちんと NuRO に必要な資金を拠出して積み立てておくということだと思っています。

## 使用済 MOX 燃料は将来の貴重な資源

澤田 第二再処理は高速炉サイクルの重要な施設ですが、ここでは軽水炉 MOX の使用済み燃料も扱うのですか。

田中 それは両方のケースがあり得ると思います。今の六ヶ所の許認可はウラン燃料でしか取っていませんから、軽水炉の使用済み MOX 燃料は第二再処理に行くというのが第一のケースです。その時にどういふ高速炉を想定した燃料を作っていくのか。例えば MOX 燃料を使った高速炉なのか、金属燃料の高速炉なのか、マイナーアクチニド(MA)を含んだ燃料にするのか、あるいは混ぜ物がないプルトニウム燃料にするのか。そういうことも含めて、改めて本格的に検討することになります。それが第二再処理の設計に関係します。

それまでの間、使用済み MOX 燃料自体が、軽水炉のプルトニウムを集めて貯蔵しておくすばらしい貯蔵庫となります。ウラン燃料を再処理してプルトニウムをかき集めても、なかなか集まらない。使用済み MOX 燃料こそが、それを集中的にためておけるもので、高速炉の初装荷燃料を使わなければならない時には、使用済み MOX 燃料を集中して再処理するのが、一番賢いやり方です。

ただし、それほど早く第二再処理を造ることにならないでしょうし、高速炉から使用済み燃料が出てこないで第二再処理の本当の意味がない。最初の高速炉の初装荷燃料は、J-MOX 工場で作るものとは全く形が違うので、別の工場を造らないといけないけれども、そのためのプルトニウムをどう調達するかという話は、今から 30～40 年後になる話ですが、六ヶ所再処理工場で軽水炉の使用済み MOX 燃料を再処理して提供するという第二のケースがあり得ますね。

さらにその先の将来の話としては、いずれプルサーマルは終了し、六ヶ所の後にくる再処理工場では使用済み FBR 燃料を再処理して、高速炉の取替燃料を作っていくこととなります。

澤田 けれども高速炉サイクルは現実いつ頃来るのかわからない。そうすると使用済み MOX は結局、どこかで中間貯蔵することになるのが、現実的な想定ですか。

田中 それを決める必要はありません。MOX 燃料の割合はウラン燃料の 10 分の 1 ぐらいしかない。つまり量が少ない。各発電所では、ウラン燃料を中間貯蔵施設に出していけば、各発電所のプールは、使用済み MOX

燃料だけになります。だから、その点は、十分な余裕があります。ただし、将来はどこへ行くのかということに対して、六ヶ所の次の再処理工場がないということになれば、将来は大きな問題になります。

澤田 その問題が、いずれ出てくることは間違いない。

田中 この点については青森県も、関心をもっていると思います。また、そのことをきちんと考えておかないと、これからのさまざまな案件に対する地元理解にも影響を与える可能性もあります。このためこれからは、やがて高速炉サイクルに移行し第二再処理を作り、長期的にも原子力発電は一定規模利用していくということを青森県にもそして国民にも示しておくべきだと思います。

佐治 さきほどの NuRO の話で、現世代が後世のための処理のお金まで積み立てておかなければならないというのは、その通りだと思いますが、一方で反対派はもとより、原子力に理解がある人の中にも再処理や核燃料サイクルに対して疑義をもっている人が、一定数いると思います。例えば使用済み核燃料については直接処分を選んでいる国もあります。

また、NuRO の拠出金が、例えば再処理だけでなく直接処分まで含めた将来のための対応資金ということで積み立てるのであれば、それは理解するけれども、この積立金は再処理だけに限られていると言われた時には、直接処分には使えないということになると、異議を唱える人がいるかもしれません。また将来、燃料を直接処分するためにも使える積立金ということになったとすれば、積み立て金は集め過ぎで、そのために電力料金が不当に高くなっているという批判を受けるかもしれません。

田中 今の拠出金は法律上、はっきりと再処理のお金として集めています。それを直接処分の際に使うことを提案している人たちは、日本が全量再処理路線に戻ったこと自体に我慢できない人たちだと思います。

もし再処理をやめて直接処分するのであれば、確かに拠出金は集め過ぎです。処分だけみれば、直接処分の方が再処理して出るガラス固化体より高くつきます。さらに使用済み MOX 燃料の直接処分の方がもっと高くつきます。けれども、それはこの再処理拠出金よりは安いのです。従って拠出金を集めるからには、きちんと第二再処理工場を造るようにしないといけないと思っています。

佐治 現世代で最終的な処分に対しての積立てをするという意味では、誰も反対しないと思いますが、それが再処理のためだけのお金ですといった時には、そういうような議論が起こるだろうと思います。

田中 拠出金で集めたお金はあくまで、再処理機構が再処理するためのお金を確保するものです。

堀内 わが国は全量再処理するということを明確にうたっています。

佐治 原子力委員会の岡委員長は、全量再処理に異論を唱えておられます。それは国の方針と異なるわけで、

国民には混乱を招くのではないかと懸念しています。

田中 昔の話になりますが、六ヶ所を作るのには相当の資金が必要で、電力業界はその工面にとっても苦労していました。一方で積み立て制度がないのに、原子力発電所をどんどん作ってきました。しかし、六ヶ所工場の再処理能力は800トンしかない。どうすればよいかと思っていた時に、第二再処理の話が出てきました。とはいえ、資金面で不安がある。その時に、全量再処理や第二再処理という言葉に電力業界の中でも一部に抵抗感がありました。けれども平成16年頃から原子力政策大綱の準備をし始めたときに当時、原子力委員長だった近藤駿介氏が、六ヶ所で再処理し切れない分は中間貯蔵などで貯蔵しておき、六ヶ所に続く再処理工場で再処理すればいい、全量再処理とは、そういう意味だと説明された。また、そのために資金を積み立てる必要があり、そのためのコストはそれほど大きくないという計算までなされました。これによって「使用済みMOX燃料はどこへ行く」「ウランの中間貯蔵された燃料はどこへ行く」と地元から質問される際には、電力会社は胸を張って、「第二再処理に行きます」というふうに言えるようになりました。

## 2050年代には軽水炉をFBRにリプレース

澤田 高速炉サイクルにおいて第二再処理は、高速炉と並ぶ中核施設です。高速炉開発戦略ロードマップによれば、2024年以降に高速炉として採用する技術を絞り込み、その後、開発課題と工程を検討するという事になっていきます。2024年以降に絞り込むものとしてどのようなものがあるのか。国やJAEA、電気事業者、メーカーの協力の下に実施体制を組むということになっていきますが、それは「もんじゅ」で実現できなかったことですね。そしてASTRID計画が中止された中で、こうした将来の計画が果たして実現できるのでしょうか。もちろん私は、高速炉サイクルは原子力利用の合理性の具現化されたものなので、具体的な開発計画が早急に実施されるべきだと思います。

しかし、電力自由化の下で、事業費をどのように確保するかということと実施主体をどう組みなおしていくか。それはしっかりとしていなければ、民間は高速炉や第二再処理の話についていけないと思います。

佐治 私は原子力利用においては高速炉がぜひ必要だと思っています。日本原子力学会が、「社会と共存する魅力的な軽水炉の展望」調査専門委員会を立ち上げたときに、委員の一人として冒頭、なぜ軽水炉を以って将来展望を描こうとするのか、すなわち高速炉ではないことの理由について委員間の共通理解が必要ではないかと主張しました。高速炉があって初めて、原子力利用はその本質的なポテンシャルをフルに発揮できるのです。また、国が全量再処理することを基本としていることから

しても、高速炉の実現は国策だと理解しています。

国は今、さかんにイノベーションを呼びかけていますが、軽水炉や小型モジュラー炉(Small Modular Reactor: SMR)のイノベーション関連に比べると、実は高速炉の研究開発のほうが(関連施設の維持費用を除いても)予算は多い。だから、国としてはそういう方針で予算をつけている。その資金がJAEAやJAEA経由でメーカーなどの実働部隊にいきわたり、研究開発を続けていけるということだと思っています。

なお、メーカーとして国から中核企業に選定された三菱重工は、三菱FBRシステムズという会社を設立して体制を整えましたが、国の方針に変わりがない限り、今後もその体制は維持されていくだろうと思います。

田中 電力会社の立場から見ると、3つのメーカーで分担して造りますというのではだめと思っています。バスに例えると、電力会社はバスを運転し移動のサービスを提供する会社に相当し、バスという道具を作る会社がメーカーにあたります。電力会社が原子力発電所を作る時にはもちろん設計、製造、据え付けに携わりますが、そのすべての過程、さらには廃炉まで、メーカーの強力な支援が必要です。そのためにはそれらのすべての過程に一貫して関わり、いざという時には責任を共有してくれるメーカーがぜひとも必要です。それは全体の最適化をめざすためにも必要なことです。また、ASTRIDにしても、実際にメーカーがモノを作れるようなしくみにしていなければ、うまくいかないと思っていました。

将来、高速炉がいつ実現できるのかということは、いろいろな要素で決まると思います。例えば軽水炉は40年ではなく全基で60年の運転ができるようにする。初期に建てられた原子力発電所は2040年ごろからリプレースが始まるから、2040年頃からは次世代軽水炉やAPWR、ABWRにしていく、さらに2050年代のなるべく早い時期には、60年の寿命が来たものを軽水炉ではなく高速炉に切り替えていかなければならないと思います。新興国がどんどん原子力を増やしているの、ウランの需要は確実に増える。このため価格が上がるのは必至です。その時にウランを買ってこなくても済むような原子炉に切り替えていくことが、今世紀後半には必要になります。

そういうことを考えると、それ以前に高速炉の実証炉を1基造っておくことも必要だと思います。けれども今は、そのような機運にはありません。とはいえ、高速炉はやはり必要で、長期的に原子力を利用していこうということであれば、必ず高速炉時代が来ます。

なかでもナトリウム冷却の高速炉については、予算面で最も優遇しなければなりません。私は高速炉で核燃料サイクルをずっと続けていって、ウランは母材には使うものの、それに依存しない原子炉にしていけないと思っています。

電力会社では今後、初期投資や設備投資額を抑えるために、再稼働した原子力発電所では、次に60年間の運転申請をする。これはすでにアメリカでたくさんの実績があり、さらに80年間運転する時代が来ると思います。これらの軽水炉の運転をできるだけ長くやって、その間に高速炉の開発の機運が募るようにしていく、高速炉にしなければならないという時代になったらそれにすぐ対応できるような準備をしていくことが重要です。

電力会社は自由化に対応していく中で、責任を持って軽水炉を運転していけるようにする。一方、今世紀後半に向けた原子炉の開発は、国でやってほしいと思っています。民間の自主性に任せるという無理難題を突き付けるのではなく、国が主体的に、高速炉を日本の将来に必要なものだというので、資金面を確保して取り組んでいただきたいと思っています。

澤田 「もんじゅ」の時にも言われていたオールジャパン体制は国やJAEA、電気事業者、メーカーによる協力にもとづくものですが、先ほどの話だと現場は疲弊しており、2024年ごろでは状況は変わってないと思いますが、こういうプロジェクトに対して事業者がやる余力や関心はあるのでしょうか。

堀内 進め方の問題だと思っています。まずは研究開発が柱になるので、それは国が主体的に進めていただきたいと思っています。事業者ではこれまでも「もんじゅ」への出向など、人的資源を投入しています。少しでも高速炉の話の前に進めていくのは重要です。ただし、実現できるまで長い期間が想定されるので、その状況で電力会社がどこまで関与するか、そのことについては課題だと思います。

## SMR はコストが難点

澤田 高速炉や第二再処理はどう考えても、すぐに意見がまとまって、オールジャパンで動く状況にはない。一方で既存の軽水炉を60年、さらに80年間動かすという話もあります。他方で新增設はいくつか候補があるようですが、現在進行中の第6次エネルギー基本計画ではそのことには触れられていないし、梶山大臣も進めることには言及していない。一方で米国ではニュースケール社のSMRがNRCから、認可をもらえそうな話も伝わってきています。

そんな中でファイナンスの問題もありましょうが、もし美浜4号を造るとしたら、どんな原子炉オプションがあるのでしょうか。

堀内 かつて美浜3号機の事故があったことを契機に、関西電力では社長と美浜町の方々が一年に一回、面談する場を設けています。その中で住民の方からは、早く新しい原子力発電所を造ってくださいという話が出ることもあります。

10年前に次のリプレースをどうしようかという話で調査を始めることまではお伝えしたところで震災が起き、それ以降は調査が止まっています。個人の頭の体操として、もし、それが実現に向けて動くとなると、経済性を目指して大型炉の方向、従来の炉型の延長になるのが一番よいという話になると思います。小型炉というのはなかなか厳しいというのが、私の感覚です。

福田 既設炉においてまずは停止している発電所の再稼働、そしてプラントに応じての60年、80年運転、その次に発電コスト低減をめざした出力増強やサイクル長、燃料燃焼度の伸長等の炉心運用高度化を安全性向上とともに進めていくことがあり、その一方で新增設をいかに負担なくやっていくか。その延長上にFBRサイクルがあると思います。

その希望が見えてきたときに、やはり産業界を含めたオールジャパンで進めていかなければいけない。

話が変わりますが、当社のスペースジェットは、製品は優秀でしたが、米国の許認可の文化に苦戦し、時機を逸してしまったことを思うと、許認可がいかに大切なことであるかを感じます。許認可対応は、基本設計や基本的考え方・方針をしっかりと示すという位置づけだけでなく、規制当局という対人関係の中で相手の要望するところを的確に把握して実務をこなしていかなければならない。FBRも、許認可を含めた対人関係の経験が豊富であるという視点からは産業界の人間が、リーダーシップを取っていく場面も必要だと思います。さらにそのうえで、旧動燃の人やフランスの純技術の経験ある人材に活躍していただくこともあると思います。

話を戻します。新增設については、特重対策や竜巻などの自然災害対策を考えると、小型炉でも結構お金がかかります。先ほどのニュースケールの場合だと、6,000億円以上かかるという公開情報もあります。そうなると、やっぱり既設炉のタイプの建設コストをどうやって下げていくか、電力会社の人的、資金的負担をどう下げていくかということを考慮しながら、新增設を検討していくことが一つの柱になると思います。

澤田 大学でも大型予算がつくのは廃炉や規制の人材育成です。大学院の教育研究はその方向にシフトしています。新しい原子炉を研究している人たちが少なくなっている。先進的な原子炉例えばCANDLE炉のような進行波炉を研究しているチームもいるけれど、実現可能性が高い炉の研究をやっている人が少ない。実際の設計や建設に結びつく原子炉の新しい姿に対する夢を乗せられるような場面がありません。

一方で隣の中国では、新しい炉も含めて原子力発電所をどんどん建てている。中国は全国で原子力工学科のようなものが40以上あって、1学年で原子力を学んでいる人が今は1万人ぐらいいるという話です。日本ではおそらく、100人いないのではないのでしょうか。

運転期間を延長することやアップレーティング(出力増強)の工夫も必要ですが、何か新しいものがないと、先細りのような感じがします。

## コスト面では大型炉の共同建設が 圧倒的に優位

田中 SMRについてはメーカーの方もきちんと研究されていて、そういう結論が出ていることに同感です。SMRは、あり得ないと思っています。

澤田 あり得ない。

田中 なぜかという、福島第二の3、4号機は、いずれも25%ずつ東北電力が出資しています。だから25%の電気は、東電管内ではなく東北電力に送られている。柏崎1号機や女川3号機、東通の東北1号機は50%が東電、残る50%が東北電力のものです。

これらの炉はすべて大型炉で、スケールメリットが出るから発電原価が安い。このような大型炉を中心として進められている中で、1基だけ小型炉を作ってみるとい程度の話なら理解します。けれどもスケールメリットを考えたら、主軸は大型炉しかあり得ない。SMRは論外です。

仮に関西電力で美浜4号機を大型炉として建設することになれば、そのときに中国電力や四国電力が、例えば資金の20%ずつを負担し、20%ずつ電気をもろうようなことにすれば、中国電力や四国電力にとってはとても都合の良い話となります。原子力容量が欲しい少量だけ増え、発電原価は大型炉相当で安く、許認可も建設工事も運転も地元交渉も関西電力にやってもらうこととなります。それは自分でSMRを造る時の苦労と比べたら、はるかに楽な話です。小さな規模の電力会社にとっては、選択できる方法は限られているのです。だから経営判断として、SMRを自分で造るという話はありません。

澤田 なるほど。非常に分かりやすい説明でした。

田中 これは大きな電力会社でも助かる話です。大型炉を造るための資金を集めるのが大変であれば、なおさら共同で造るメリットが大きくなります。

福田 もちろん大学などでSMR等の研究をやっているだけで、物事を柔軟に考えられる学生を育てただけなことでもあり、うれしいことです。いきなりPRA(確率論的リスク評価)や再稼働対応に関わって1年目から会社の即戦力になるより、夢があると思います。

問題はその後です。せっかく希望して会社に入ったのに、そこの職場での業務内容と未来に失望するというような環境に遭遇させるようなことは決してあってはならない、それが現役の私たちの今の務めでもあると感じています。そういう意味では、新增設の夢を描ける、プラント寿命の延長をやる、それから燃焼度向上や長期サイクル、出力増強、そういうバリエーションをつくる。最後にFBR。これらとセットで、大学と産業界とでコ

ミュニケーションを取って、連帯していかなければと思っています。

澤田 今の発言は全くその通りだと思います。

佐田 核燃料サイクルのメリットは大変大きいと思いますが、そのメリットの大きさはFBRまでを回した場合によるものだと思います。現状では第一世代MOXまでは使うけど、第二世代以降のMOXを使うというのはまだ絵に描いた餅ですね。世論が厳しい、資金がかかることを考えると、第二世代以降の話は本当に実現できるのか。いっそ第一世代のMOXで終わりということを中心に、考えなければならないということもあり得ると思います。

もしそうなった場合には、例えばプルトニウムの長期保存や、第一世代の使用済みMOX燃料を直接処分する、あるいは海外プルトニウムの所有権を移転する、全量は再処理しないなどのオプションも考えなければいけないのではないかと思います。皆さんがおっしゃるように、理想に近づけばよいのですが、そうならないことも含めて考えておかなければならないと思います。

それから、菅首相が2050年に炭素排出を実質的にゼロにするということであるならば、発電の主力は再生可能エネルギーと原子力しかない。再生可能エネルギーの出力変動が激しいことを前提としながらもそれを主軸とするのであれば、原子力が柔軟な負荷追従性を獲得して、その変動分を吸収する。火力並みのDSS(Daily Start & Stop)をもし持つことができれば、それは再エネを補完する原子力という位置づけで、立派にやっているといます。それを実現するためにはグレー制御棒やホットスタンバイのような手段や、それがしやすいということであればコストが高い小型炉もありうるのではないかと思います。

佐治 全体にお話を伺っていて、しっかりと軸をおぼれずにやっていって、大丈夫だと改めて思いました。もちろん外部情勢はいろいろと厳しいのですが、大事なことはきちんと実績を積むこと、リサイクルを始めても、トラブルなくきちんと運転できるということを社会に感じてもらうことが大事だと思います。

堀内 まずはMOX燃料をきちんと使っていく、しっかりと自分の仕事としてやっていくということ、さらにはFBRまでを見通して取り組んでいくことの大切さを、改めて認識しました。

## 国は長期的な視点を見据えた戦略を

福田 まずは電力会社の方々の負担を少しでも減らすように、産業界で取り組んでいく。規制サイドにおいては、純技術のエキスパートの方に加えて事務処理を合理的にさばける能力も備えた審査のプロフェッショナルを育成していただきたいということ、切実に願っています。



す。それによる土台・体力の構築があつてのうえで、プルサーマルや核燃料サイクル推進があり、その中でプルサーマルについては実績を積み上げていくことが、安全だということの発信にもつながると思います。

リサイクルについては、FBR 利用までは長い間が空きます。その期間を利用して、第二再処理はどうあるべきか、六ヶ所の再処理工場で再処理できなくなって容量がいっぱいになり、それで既設炉が動かなくなってしまうということは本末転倒なので、より燃焼度が高いウランをどうするのかとか、新增設で仮に寸法が第一再処理で扱うことができないような燃料が現れた場合にどうするのか、あるいはウラン資源の国内での自立したサイクルをどうするのかとか、そういったところを抜けがないように、仮にあっても大事に至らないように幅広く論じていくことが大切だと思いました。

田中 プルサーマルとその他のための燃料の製造というのは電力業界や事業者、原燃が、がんばって取り組んでいくことは当然のことです。けれども、実はその後のことがはるかに心配です。FBR の時代に向けて、準備をしっかりとしないといけない。使用済み MOX 燃料も当然、いずれは六ヶ所で再処理しなければならない時が来るかもしれませんが、それを軽水炉に戻すのではなく、早く FBR につなげたい。軽水炉は必要取替燃料の 10 倍の天然ウランを消費してしまう、そんなもったいない使い方をするのではなく、使用済み MOX 燃料を再処理して高速炉に提供していくサイクルを完成させなければなりません。

高速炉が実用化を迎えた時に、軽水炉と同じようにそれを展開していくのはもちろん電力会社ですが、その時

に向けて最適な高速炉の設計を決め、開発していく仕事は、電力会社には余裕がない。それは国が引っ張っていくべきだと思います。

本格導入の前には実証炉があり、それは電力会社がやらなければならない。しかし、電力自由化の中では限界がある。だから、電力会社の負担部分は軽水炉相当のところだけで抑えられるように、国が担ってほしい。FBR は国の将来を担う炉型であり、将来の重要なエネルギー供給手段なので、国が予算を取って、JAEA とメーカーできちんと取り組んでほしい。そこでできた良いものを、電力会社が採用するということになると思います。

だから国は、しっかりと今世紀後半のことを考えて、予算を取って、エネルギー資源に乏しい日本のために高速炉という炉型開発と、第二再処理をきちんと開発できるようにしてほしいと思います。

澤田 だからこそ、より長期のスパンで考えて政策を組み立てていかなければならないのですが、今の政治状況はそのようになっていないようにも見えます。今日、皆さんから出た話はいずれ文字になりますので、それが現状、さらには改訂へ向けて議論中のエネルギー基本計画に対しても、情報提供になるのではと考えています。

皆さん、長時間ありがとうございました。

(2020 年 10 月 30 日 実施)

－ 参考資料 －

- 1) 藤家, 竹田, 佐治, 石島, 市川, 古屋, 住田, 「プルサーマル—その意義と安全性」, 日本原子力学会誌, Vol.44, No.3 (2002).



## 持続可能社会の実現に向けたシナリオにおける原子力の役割



秋元 圭吾 (あきもと・けいご)

(公財)地球環境産業技術研究機構 システム研究グループリーダー・主席研究員  
横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了, 博士(工学)。総合資源エネルギー調査会基本政策分科会委員, 産業構造審議会地球環境小委員会委員, IPCC 第6次報告書代表執筆者他, 委員多数

気候変動影響リスクが高まりつつあると見られ、国内外で温室効果ガス排出の正味ゼロ実現の要請が強まってきた。一方、COVID-19により、直近のCO<sub>2</sub>排出量は大幅に減少したが、長期で見ると、再生可能エネルギーの拡大は見られるものの、世界のCO<sub>2</sub>排出量の増大傾向は大きくは変わっていない。いくつか注目すべき点を挙げる。①GDPは為替換算してCO<sub>2</sub>原単位(CO<sub>2</sub>/GDP)を国際比較すると、スイス、ノルウェー、スウェーデン、フランス等が低位であり、これらは水力や原子力比率が高い国である。②日本は近年、CO<sub>2</sub>原単位の改善が停滞している。東日本大震災以降の原子力発電所の停止によるCO<sub>2</sub>排出上昇の反動もあり、直近ではかなりの改善が見られるが、2000年頃からといったもう少し長い期間で見ると欧米諸国の改善に比べ緩やかである。③しかし、これは生産ベースCO<sub>2</sub>(化石燃料を燃焼した国でCO<sub>2</sub>排出量を計上)で計測したものであり、消費ベースCO<sub>2</sub>(製品、サービスに体化されたCO<sub>2</sub>を生産地ではなく、消費地で計上)で計測すると、日本、欧米諸国のほとんどは同じようなペースでCO<sub>2</sub>原単位が改善している(ただし日本の原子力停止による排出増分を除く)。つまり、欧米、日本ともに、消費構造は変化しておらず、エネルギー多消費産業の海外移転が多く起こった国が見かけ上のみ、自国のCO<sub>2</sub>が減ったように見えているというのが大きな現在の動向である。CO<sub>2</sub>排出は海外に移転しているため世界全体でのCO<sub>2</sub>は一向に減らないという状況である。④世界のGDPと電力消費量には大変強固な正の相関が見られ続けている。電力は将来にわたり世界の持続可能な発展において、重要なエネルギー源である。⑤大幅なCO<sub>2</sub>排出削減への要請が強まっている一方、現実の国際政治は複雑であり、自国産業の国際競争力の維持や雇用確保のため、エネルギー価格の上昇に対する懸念は多くある。

単純化のため、負の排出削減技術(植林、バイオエネルギー+二酸化炭素回収貯留(CCS)、CO<sub>2</sub>大気直接回収貯

留(DACS)等)が仮に利用できないという状況を想定すれば、脱炭素化のためには、すべての一次エネルギーは、原則、再生可能エネルギー、化石燃料+二酸化炭素回収貯留(CCS)、原子力のみで構成する必要がある。脱炭素化が要請される一方、エネルギー価格への配慮が必要で、かつ少なくとも世界的には電力消費量の増大が予想される中、原子力発電には重要な役割があることは明白である。とはいうものの、以下のような動向を踏まえることが重要と思われる。①とりわけ先進国では、人口の低下と、サービス産業化の進展によって、総エネルギー需要の潜在的な増加は止まってきている。そのような中、右肩上がりの需要増大局面と異なり、長期の大規模な投資リスクを取りにくくなってきている。②エネルギーシステム改革は、短期的な効率性の追求には良いが、長期の大規模な投資は過小になりやすい。③デジタル化技術は着実に進展。分散リソースをより安価に活用できる可能性が高まってきている。COVID-19によって、デジタル化の進展は一層加速する可能性がある。④太陽光発電や風力発電の再生可能エネルギーのコスト低減が急速に進んでいる。また、これらの電源は、変動性が高いという欠点を有するが、デジタル化進展も相まって需要制御技術も進展してきており、変動性という欠点の一部は補える可能性も出てきている。このように、原子力発電のような大規模技術の役割が相対的に低下してきていることの認識も必要である。なお特に、上記の①や②の背景も加わって、米国等を中心に小型原子炉(SMR)開発が関心を集めている。必ずしも原子力発電と競合関係とばかりに考えるべきではないが、再生可能エネルギーなど、競合技術が実力を急速に高めてきていることは、原子力業界は明確に認識する必要がある。

そして、もう一つの大きな変化の芽は、エネルギー需要サイドの対策の進展にある。これもデジタル化の進展に起因するものである。エネルギー供給サイドやエネルギー多消費産業においては、省エネルギーが相当進んで

きている。われわれは、エネルギーを消費したいがためにエネルギーを使っているわけではない。サービスを求めており、その過程でエネルギーが体化され、消費されていることを認識する必要がある。まず重要な点として、より良いサービス提供と一体でなければ、広範なる社会での省エネルギー実現にはつながりにくいということである。そして、次に強く認識すべき点は、そのサービスを得るために、特に最終需要に近いところで多くのエネルギーが無駄に使われているという点である。最終的に必要なサービスのためのエネルギーは、一次エネルギー消費全体の4~5%程度しか利用されていないとされている。しかし、われわれの利便性を阻害する「隠れた費用」を含めると、それが合理性を有しているため、社会のエネルギー需給がこのような形で成り立っていた。ところが、技術進展とともに変わりつつある。自動車部門ではCASE(接続化、自動化、サービス化・シェア化、電動化)が注目されている。デジタル技術が進展し、他技術の進展と相まったとき社会イノベーションが実現し得る。シェアリングやサーキュラーエコノミーはその代表である。自家用車は4~5%程度しか稼働していない。CASEによって必要なときに必要な車を利用できるようになり、カーシェアリング、ライドシェアリングによって稼働率が高まれば、より低費用で利便性の低下を小さく抑えながら自動車の利用が可能となる。また、乗用車の稼働率の上昇により台数が低減し、自動車部品である鉄鋼、プラスチック、また駐車場の鉄鋼・コンクリートなどの素材製品の生産を減らすことが可能となる。ライドシェアによる直接的なエネルギー消費の低減のみならず、間接的なエネルギー消費まで減らすことが可能となる。その他の部門でも、書籍、アパレル、オフィス、食料など、デジタル技術の進展、高度な活用によって、必要なときに必要なだけ生産したり、稼働率を上昇させるなどしたりすることで、モノ、サービスに体化されたエネルギーを含めて低減できる可能性が見えてきている。

また、これらによってもたらされるモノの低減とそれに体化されたエネルギーの低減は、持続可能な開発目標SDGsの同時達成、持続可能な発展の達成にも寄与し得る。つまり、再エネだけではなく、省エネにおいても、今後大きな進展が見られる可能性も出てきている。

欧州は、2050年に正味ゼロ排出を目指そうとしている。2050年正味ゼロ排出の定量的なシナリオも提示している<sup>1)</sup>。その中では、再エネの大きなコスト低下を見込み、相当な普及を見込むとともに、デジタル化進展や社会の嗜好変化に伴うシェアリング経済やサーキュラー経済を見込んだシナリオも提示している。シナリオでは、再エネ比率が大きいシナリオでは80%程度が想定され、原子力比率は低下すると想定されている。ただし

それでも十数%の原子力比率は見込まれている。

日本は、特に風況の違いにより、風力発電の設備利用率は、欧州よりも小さくなりやすく、再エネの条件は悪い。CCSについても期待はしたいが、欧州よりも貯留ポテンシャルが大きいということはない。そのため、海外の再エネやCCSを活用するため、水素や合成燃料(CCU)の利用など、グローバルな戦略がより重要になると考えられる。

しかし、こういった不利な条件も考えると、欧州以上に原子力は、脱炭素社会実現に向けて重要なオプションに間違いはない。例えば、著者らによるモデル分析<sup>2)</sup>では、日本においては、特段の排出削減を行わない場合は、原子力はフェードアウトさせ、石炭火力発電を主に利用するのが経済効率的と評価される。しかし、CO<sub>2</sub>の排出削減を想定した場合、2050年に80%削減に近い極めて厳しい排出削減水準は無論のこと、50%程度の排出削減水準でも、原子力は経済的な対策と評価されている。このモデル分析では、原子力利用上限を総発電電力量の20%と想定しているが、CO<sub>2</sub>の排出削減を想定したシナリオでは、いずれも上限一杯利用するのが経済合理的と評価される。また、国内外の8モデルで分析した比較評価研究<sup>3)</sup>では、2℃目標相当下では、2050年の原子力の総発電電力量に占める比率は15~50%程度(中央値は40%程度)と評価されている。大幅な排出削減に貢献しつつ、低廉なコストで、安定的にエネルギーを供給し得ることで持続可能な発展に寄与し得るエネルギー源である。

ただし、本論考で指摘したように、技術進展とエネルギー需要の不確実性の増大などの環境の下で、分散型である再エネや、エネルギー需要側の対策が相対的に大きな役割になりつつあることも事実である。脱炭素化という流れだけで、原子力が不可欠という単純な構造ではなくなりつつある。そして、これらの技術的、社会的な変化に加えて、日本では、原子力政策や規制の不透明性が、原子力発電という大規模な技術への投資リスクを一層増大させてしまっている。原子力は、設備利用率の悪化とそれに伴うコスト増、競争力の低下という悪循環からの脱却が大きな課題である。社会・技術の変化も踏まえ、原子力は、技術開発に新たな方向性も加えながら、社会からの信頼回復を急ぎ、好循環を再構築する必要がある。

(2020年10月30日記)

#### — 参考文献 —

- 1) EC (2018) IN-DEPTH ANALYSIS IN SUPPORT OF THE COMMISSION COMMUNICATION COM.
- 2) 永田敬博他 (2020) エネルギー・資源, 41(5).
- 3) K. Oshiro et al. (2019) Climatic Change, <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02490-x>



## 文献調査とは何か—その意義と今後の活動



伊藤眞一 (いとう・しんいち)

原子力発電環境整備機構 理事  
横浜国立大学経営学部卒。東京電力原子力・  
立地業務部長、同社執行役員・立地地域部長  
を経て、2015年から現職

### I. はじめに

原子力発電により発生する高レベル放射性廃棄物、ならびに再処理工場や MOX 燃料工場の操業に伴って発生する TRU 廃棄物の一部は、地下 300 m 以上の深い岩盤中に埋設することとしている。原子力発電環境整備機構 (NUMO) はこの地層処分の実施主体であり、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(以下「最終処分法」という)に基づき、経済産業大臣の認可を受けて 2000 年に設立された。NUMO は 2017 年の科学的特性マップの公表以降、全国における対話活動や関心層の拡大等への取り組みを強化してきた。

このたび、北海道の寿都町が文献調査へ応募され、同神恵内村が国からの申し入れを受諾されたことから、昨年(2020年)11月17日に経済産業省から事業計画の変更認可を受けて、NUMO は寿都町、神恵内村、両地域に関わる文献調査を開始した。

本稿では、文献調査の位置づけ、調査概要、両自治体の応募・申し入れ受諾に至った経緯、今後の活動などについて述べていく。

### II. 文献調査の位置づけについて

#### 1. 選定プロセス

最終処分法では、文献調査(資料による調査)、概要調査(ボーリング調査など)、精密調査(地下施設における調査)の段階的な調査を経て、施設建設地を選定するこ

ととしている。

文献調査の開始は、市町村から NUMO へ応募いただくか、国からの申し入れを市町村に受諾いただくか、いずれかの意思が示されることが条件となる。

なお、一度、文献調査に入ると、処分場の受け入れに直結するのではないかという懸念の声があるが、最終処分法にも、概要調査地区、精密調査地区、施設建設地を選定しようとする際には「知事と市町村長の意見を聴き、これを十分尊重しなければならない」旨、明記されており、都道府県知事または市町村長が反対される場合は先へ進まないこととしている。(図 1)

#### 2. 文献調査の概要

文献調査は、文字どおり、その地域に関わる詳細な地質図や学術論文等の文献・データを収集・整理・評価する机上調査であり、ボーリングなどの現地作業は行わない。具体的には、当該地域における火山・火成活動、断層活動、隆起・侵食、未固結堆積物など、明らかに処分場立地に適切でない場所を除外し、技術的な観点に加え、経済社会的な観点からも評価を行ったうえで、概要調査地区候補を検討する。適切かどうか明確な判断が困難な場合には、概要調査段階以降の現地調査により判断する。文献調査で評価した結果は、透明性、公開性を持たせるためにも、公告・縦覧するだけでなく、地域のみなさまにご説明するとともに、ご意見を伺うこととしている。



図 1 最終処分場選定プロセス

このように、文献調査は、当該地域の地質に関する文献・データを調査分析して情報提供することを通じて、更なる調査(概要調査)を検討してもらうための材料を集める、事前調査的な位置づけである。

### Ⅲ. 応募・申し入れ受諾に至る経緯

「応募」(寿都町)、国からの申し入れの「受諾」(神恵内村)の違いはあるが、調査受け入れの判断をいただいた両自治体には、改めて深く敬意を表するとともに、心から感謝申し上げたい。以下、それぞれの自治体が文献調査受け入れに至った経緯をまとめた。

#### 1. 北海道寿都町(すつつちょう)

片岡寿都町長は、自治体として初めて風力発電施設を直営で導入するなど、これまでも町の将来に向けた行政運営に手腕を発揮されてきた。町の振興の観点からも、町議会や産業界などと本事業に関する勉強会を実施され、昨年8月13日に片岡町長が文献調査への応募を検討しているとの報道がなされた。以降、9月7日から11日にかけて町主催による住民向け説明会が7回にわたり実施され、9月30日に国・NUMOによる寿都町議会への説明、10月8日の町議会全員協議会における議員への意見聴取を経て、10月9日に片岡町長は文献調査の応募書をNUMOへ提出された。

片岡町長は、「入口の議論はあるが、出口(最終処分)の議論がずっと先送りされてきた。手を挙げることで風穴を開けたい」と応募の理由を述べておられる。

#### 2. 北海道神恵内村(かもえないむら)

北海道神恵内村は、北海道電力泊原子力発電所に隣接しており、長年原子力発電と向き合ってきた。神恵内商工会は最終処分問題についても強い関心を持ち、継続的な学習を行ってきた。その結果として神恵内商工会は文献調査受け入れを求める請願を決議し、昨年9月15日、神恵内村議会は商工会からの請願を受け付けた。その後、村議会の要請を受けて、9月25日に国・NUMOは村議会総務経済常任委員会において事業の説明等を行うとともに、9月26日から9月30日の間、住民のみなさま向けの説明会を村内4か所で5回開催し、10月2日の同常任委員会において、説明会における質問・意見を取りまとめ、報告した。

10月8日に開催された臨時村議会において、請願は採択され、翌9日に国から高橋神恵内村長への文献調査実施の申し入れを受けて、高橋村長は受諾を表明された。

受諾にあたって高橋村長は「この問題を避けることなく、国の政策にきちんと向き合う責任がある」ことを強調された。

## Ⅳ. 両地域における今後の活動

### 1. 「対話の場」の設置

文献調査は、住民のみなさんとの情報共有や対話の期間と考えている。国・NUMOは地層処分事業の内容をお伝えしたり、文献調査の進捗などをご説明するとともに、地域の経済発展ビジョンなどについて議論する上で必要な情報を提供させていただく。

そうした対話活動の中核的な機能として、地域住民の方々と構成される「対話の場」が設置されることを望んでいる。海外先進地でも「対話の場」に類するような場が設置されており、継続的な対話活動が地元の理解に成果をあげている。

NUMOは「対話の場」が設置されれば、できる限りの協力をしていきたいと考えている。例えば、処分事業の仕組みの説明、安全性についての専門家の見解、関連施設の見学などに加えて、地域の将来像に関する情報提供など、さまざまな機会を提供できるよう努めていきたい。また、町内説明会や子供向けの説明など、住民のみなさまに対する広報活動等への提言をいただけるとありがたいと考えている。

### 2. 広報・対話拠点の設置

両自治体には、地元のみなさんが気軽に立ち寄りいただき、さまざまなご質問やお問い合わせにお応えできるよう、コミュニケーション拠点をできるだけ早く開設するよう準備を進めている。本拠点にはNUMO職員が常駐し、顔の見える活動や地元の方々との関係づくりに努めて参りたい。

合わせて、両自治体の周辺地域に対しても、不安や懸念に対応するため対話活動を展開したい。

## V. 終わりに

高レベル放射性廃棄物等の最終処分は、過去50年間原子力発電を利用し恩恵を受けてきた現世代が責任を持って処分の道筋をつけなければならない課題である。

今後、NUMOは両地域向けの活動だけではなく、より深く知りたい関心層の拡大、わかりやすい広報ツールの充実などをはかりながら、全国的な対話活動は継続して実施して参りたい。両自治体だけの問題ではなく、社会全体の課題であることを共有し、「自分事」として考えていただくことが大変重要だからである。

施設建設に向けては、20年程度の時間をかけて、概要調査、精密調査と対象地域の絞り込みを行っていくことから、より多くの地域に文献調査の受け入れをしていただきたいと考えている。先鞭をつけていただいた片岡寿都町長、高橋神恵内村長の思いに応えるためにも、全国各地で文献調査に繋がる取り組みを強化していきたい。

(2020年12月14日記)