

### 特集 風評被害について考える

#### 巻頭言

### 2 風評被害とトリチウム

関谷直也

#### 時論

### 3 食品基準見直しの提言

—福島の今を訪ねるバスツアー 2018 に参加して想うこと

早野睦彦

### 5 福島の風評に「水を差す」ということ

服部美咲

#### 座談会

### 12 安全なのに、価格が戻らない —風評被害はなぜ起こるのか、どうすればよいのか

福島での風評被害には消費者や流通業者のほかに、政府や専門家、さらにはメディアのふるまいが関わってきている。この問題への対処と、問題の背景にあるものについて議論を深めた。

井内千穂, 小島正美, 関谷直也, 滝 順一, 西本由美子, 佐田 務, 澤田哲生 (司会)



#### インタビュー

### 23 原発事故後の福島の米農家に学ぶ —「ありのまま」の光

福島県が15年の歳月をかけて独自改良を重ね、好評を博してきた「天のつぶ」。それを栽培してきた加藤夫妻は、東電福島一原発事故の不運に見舞われた。

加藤絵美, 服部美咲 (聞き手)

#### 解説

### 27 福島の風評被害の現状と課題 —流通対策から生産認証制度へ

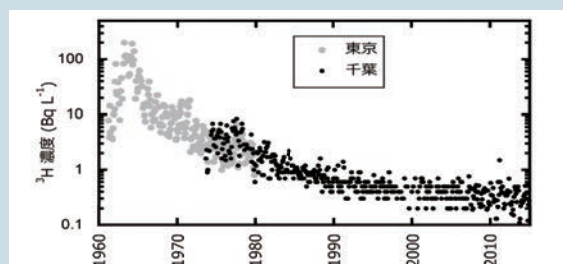
福島県では農地の除染やカリウム散布などにより「入口」の段階で安全性を担保し、全量全袋検査による「出口」段階で安全と安心を担保している。しかし、この取り組みは十分に周知されていない。

小山良太

### 31 トリチウムの環境動態及び測定技術

環境中には天然起源のトリチウムと人為起源のトリチウムが存在する。ここでは環境中トリチウムの基礎的な知見を整理するとともに、その分析手法について紹介する。

柿内秀樹



東京と千葉での降水中トリチウム濃度 (1961-2015)

### 36 福島復興に向けた「風評被害」への対応

—春の年会での理事会セッション

福島原発事故から7年。福島県の農畜産物の価格が、事故前の水準に戻らない。風評被害はなぜ、起こるのか。この問題にはどう対処すればいいのか。

寿楽浩太, 土田昭司, 下 道國, 神里達博

#### 談話室

### 68 福島の風評被害のもとを断つために —チームE(エネルギー問題に発言する会の組織)からの政策提言

川合将義

### 71 1F 沖釣魚紀行—『うみラボ』に参加して

澤田哲生

# 1 60周年を迎えるにあたって

駒野康男

## 43 Column

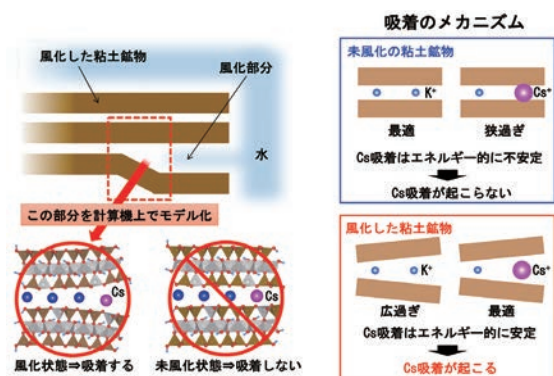
- 「風評被害への懺悔」 井内千穂
- 「マイストーリーのために・・・」 北岡哲子
- 「原爆の東欧への影響」 妹尾優希
- 「原子力政策大綱復活論」 竹内純子
- 「八年前と四十年後」 渡辺真由
- 「複雑なシステムを「より安全」にできるのか」 渡辺 凜

## 解説シリーズ

### 46 ミクロ～マクロレベル現象の粒子ベースシミュレーション～課題と展望～ 第2回 第一原理原子・分子シミュレーションの現状と原子力分野での研究進展

産業技術の進展の大きな鍵を握るものの一つが、材料だ。その根本的な科学的知見をもたらす研究手段が、第一原理原子・分子シミュレーションである。

町田昌彦, 奥村雅彦, 中村博樹, 山口正剛



風化した粘土鉱物によるセシウム吸着シミュレーション

### 51 WEO2017と内外エネルギー情勢への示唆 第2回 石油情勢の長期展望と不確実性

電気自動車やシェールオイルの影響により、石油市場の予見可能性が低下し、石油開発投資が阻害されて十分な供給確保が進まず、その結果、石油価格高騰リスクを高める可能性がある。

小宮山涼一

## 7 NEWS

- 秋の大会, 9月に岡山で開催
- 学会新会長の駒野氏が会見
- 原子力白書を決定
- 海外ニュース

### 連載講座 第4世代原子炉の開発動向 (第7回 最終回)

### 56 ナトリウム冷却高速炉 (SFR)

ナトリウム冷却高速炉は、ウラン資源の利用効率を飛躍的に向上させるとともに、使用済み燃料の減容化や有害度低減の可能性をもつ。ここでは各国の動向と日本における今後の方向性についてまとめた。

上出英樹, 伊藤隆哉, 小竹庄司

### 連載講座 核融合トリチウム研究最前線 —原型炉実現に向けて (第3回)

### 61 トリチウムの調達方法

核融合原型炉の初期装荷トリチウム調達方法として、高温ガス炉を用いたトリチウム製造と、DD核融合反応を用いた起動シナリオを活用する方法が検討されている。

松浦秀明, 片山一成, 日渡良爾

## 科学コミュニケーション 第3回

### 74 二つのコミュニケーション

岸田一隆

## 理事会だより

### 75 平成30年度 新体制で活動を始めました

藤澤義隆

- 30 お知らせ 原子力学会誌, 学会誌「ATOMOΣ」J-STAGE電子アーカイブ化に伴う過去記事の登載・無料公開について
- 67 From Editors
- 76 会報 原子力関係会議案内, 主催行事, 共催行事, 新入会一覧, 英文論文誌 (Vol.55, No.9) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

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

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

## 60周年を迎えるにあたって



平成30年度会長  
駒野 康男 (こまの・やすお)

平成30年度第40代の会長に就任しました駒野です。

今期は、来年2月14日で、日本原子力学会発足60周年、人生でいう還暦を迎える節目です。10年節目で考えると一番苦境の時代ですが、原子力学会員約7,000名が、所属機関にとらわれず、役割分担しつつベクトルを合わせ進むことで、明るい未来が見える年になるように、先導的な役割を果たせればと思っています。

60周年事業として、来春のシンポジウムの開催、学会誌の特集号の発行、特別出版事業の実施及び会員サービス向上にむけたホームページ改善等を行う予定ですが、今期は以下を重点と考え、活動したいと思います。

### 1. 福島復興・事故炉の廃炉の推進及び蓄積した知見の世界への発信

■福島復興への寄与とともに、事故炉の廃炉が安全かつ円滑に進むように技術的・専門的な貢献を行うことが当学会として重要な責務であります。福島特別プロジェクトや福島第一原子力発電所廃炉検討委員会での活動に加え、福島復興・廃炉推進に貢献する学協会連絡会(36学協会参加)を通じ、本件における的確な情報発信や提言、技術協力等を行うこととします。

■東電福島第一事故で被害が大きくなった一因である防災/減災について、秋に他学会と協力して原子力シンポジウムを開催し、それをふまえ、春の年会時に対策の深化等を議論していきたいと思っています。

■福島関連で蓄積した知見を世界に発信していくことが日本としての重要な役目ですが、東電福島第一事故に関する和文誌論文や解説記事の英文化と公開や事故炉の廃炉に関する特集号の発行を計画しております。

### 2. 原子力/放射線利用にやりがいや未来を感じる活動と若手育成

第5次エネルギー基本計画では、2030年度原子力比率は20~22%と記載あるものの新設に対する記載はないものとなっており、再稼働の遅延や廃炉決定が進む中、実現が難しいのではとの意見も聞かれますが、当学会として、原子力の安全性向上や将来に向けた学術や技術の進歩に寄与して参ります。

■再稼働や継続的な安全性向上への寄与(断層問題への対応、リスク情報を活用した安全性向上、安全高度化や効率的な審査に向けた標準制定/発行の手続き加速等)、安全確実な廃止措置(軽水炉、もんじゅ、研究炉等)

■新設軽水炉にむけた検討や提言

■FBR開発/核融合技術等の進展、最終廃棄物も含めたサイクル全般への寄与

■再エネとの共存や地球環境問題からの提言 等

また、放射線利用や技術者の育成の観点から、以下の検討や提言を行っていきます。

■大学炉やNSRRに続くJRR3をはじめとする研究炉の早期再稼働による放射線利用研究推進

■全国の大学等での核燃・RI施設の現状調査・課題抽出・解決策の検討や提言

■出力や核燃料物質量等の大小を考慮した(グレーデッドアプローチ)合理的な規制基準の在り方検討 等  
さらに、世界最先端の知見吸収や、世界で通用するグローバル人材育成に対しても取り組んでいきます。

■国際活動/海外学会との連携、交流支援 等

### 3. 理解活動の推進/会員サービス向上と会員獲得

最近の経営改善及び皆さんのご努力により、一時の財務危機からは脱出しましたが、毎年約100人の会員の減少が続いております。また、若手が少ない(20~40歳までの正会員は全体の21%)ことや女性比率が4%と少ないことも課題であります。また、事故以降原子力に賛成する人の比率が2~3割と原子力への理解が極めて低い状態が続いています。このような課題に対して、若手活動の強化や会員サービス向上を図るとともに、教育会員の設置/活用、各支部活動、シニアネットワーク連絡会の活動、オープンスクール、ダイバーシティ活動等を通じ、原子力・放射線の平和利用に関する理解活動の推進を行っていきます。

(平成30年7月5日 記)

# 風評被害とトリチウム

## 巻頭言



東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター 准教授

関谷 直也 (せきや・なおや)

東京大学大学院人文社会系研究科博士課程単位取得満退。専門は災害情報論，社会心理学。政府事故調政策・技術調査参事。新潟県原子力災害時の避難方法に関する検証委員会委員長。主著に『風評被害』（光文社）など。

風評被害とは「ある事件・事故・環境汚染・災害が大々的に報道され、本来『安全』とされる食品・商品・土地を人々が危険視し、消費や観光をやめることによって引き起こされる経済的被害」のことである。元々、原子力分野に限定されて用いられてきた言葉であった。第五福龍丸事件を契機としてマグロが売れなくなった「放射能パニック」、原子力船むつの放射線漏出、敦賀原子力発電所におけるコバルト 60 の漏出など、漁業被害として問題となり、北海道電力泊原子力発電所立地に伴う「民事協定」で明文化された。

原子力の事故やトラブルの場合は、放射線や放射性物質の放出があったかどうかは計測できるので、放射線の作用(放射線量の上昇)があった「実際の被害」と、それが無い「風評に過ぎない被害」は区別できる。だが原子力損害賠償法の賠償対象は前者のみであった。後者も「風評による被害」として、経済的被害の一部として認める必要があるとして問題提起された社会事象である。その後、JCO 臨界事故の賠償の議論の中で、科学技術庁原子力損害調査研究会で方針が転換され、以降、原子力損害として認められるようになった。

風評被害が問題になる時点で「安全」であるということは大前提であり、農業者・漁業者もある程度、そのことは了解している。ただ、すべての消費者やその動向を踏まえ事業を行う流通関係者に理解してもらうことは難しいので、経済的被害が発生する。それにどう対処するかという問題なのである。

昨今、トリチウム水の海洋放出前提の議論が<sup>かまびす</sup> 囂しいが、漁業の現状を踏まえて考えてみたい。

福島県の漁業は、「試験操業」という回復途上の段階にある。今年、スズキやシロメバルが試験操業の対象に加わり、出荷制限魚種は7種類に絞られ、福島県の主要魚種が漁獲可能となった。だが2017年の福島県沿岸漁業の漁獲量は3,280トンであり、震災前の1割強に過ぎない。水産加工、流通など関連産業も十分に回復していない。現在は、本格操業に向けたスタートの段階である。

国際的影響も大きい。3月には、タイの日本料理店での相馬のヒラメの提供が消費者団体の反対で中止となった。福島県産のモモは輸出されているにも関わらず、である。我々が2017年に行った10か国の国際比較調査でも、農産物と比べて海産物への海外の不安感が高い。特に東アジア諸国で、事故直後から、自国の海産物にまで不安感を感じていた。魚は回遊し、海はつながっていること、福島県の現状への理解が足りないことなどが原因であろう。韓国、中国、台湾は、福島県を中心とする東日本産の農作物、海産物の輸入規制を続けている。韓国では東日本8県の水産物輸入停止という厳しい規制を維持している。国際的には福島県の漁業の問題というより、日本の漁業全体の問題なのである。

仮に、海洋放出が選択されるとしても、意思決定の時期、放出時期、濃度は、どう決定するのか？ そもそも甲状腺がんに係るヨウ素、食品に係るセシウムの問題についてリスクの説明が十分に成功し、解決したといえないのに、トリチウムではそれが可能なか？ トリチウムは水と分離不能という前提で処理方法が検討されてきたはずだが、トリチウムの分離技術の可能性が少しでもあるのならば、その技術開発を待つ必要はないのか？

そもそも貯留水は、放射性物質汚染対処特措法の範疇ではなく、原子炉等規制法の対象である以上、法律的にはどこで処理してもいいはずである。仮に処理の経済的コストだけを考え福島県内で処理するのならば、漁業が被る経済的コストへの対処や補償も検討されるべきではないのか？

原子力事故時の避難方法、放射性物質の汚染物の処分策、風評被害などは技術・サイエンスの問題ではなく、社会がこれにどう対処するかという問題である。歴史的経緯、社会心理など社会科学的な観点を重視せずに、廃炉政策、原子力政策を進めるならば、間違いなく、同じ轍を繰り返すことになるであろう。



## 食品基準見直しの提言

### 福島を今を訪ねるバスツアー 2018 に参加して思うこと



早野 睦彦 (はやの・むつひこ)

日本原子力学会シニアネットワーク連絡会代表幹事

1947年京都府生まれ。東京大学工学部原子力工学科1970年卒業。同年、三菱原子力工業株式会社に入社。2013年に三菱FBRシステムズ株式会社を退職。専門分野は高速炉設計全般。

東京電力福島第一原子力発電所の事故から7年が過ぎた。事故後、いろいろな思いからサイト周辺の除染作業に参加したが、その後気持ちとともに足が遠のき、福島に行くことがなくなった。そんなところにゴールデンウィークの最終日5月6日、福島への日帰りバスツアーのお誘いがあった。久しぶりに現地の様子を見るため参加することにした。参加者は37人、原子力についての立場は右側から左側までそれぞれのようだ。バスは8時に東京駅前の丸ビルを出発し、常磐自動車道を福島に向けて走った。コースはいったん浪江町まで行って、双葉町、大熊町、富岡町と国道6号線を南下しつつ、サイト周辺の様子も見ようというわけである。JR常磐線浪江駅が昨年11月再開し、浪江～富岡がまだ不通区間として残っている。全線開通は2019年末の予定だそうである。

事故後7年たち、除染や放射能の自然減衰効果で環境の放射線量は下がり、福島の一般食品の検査は世界一厳しい基準値をも十分にクリアするようになった。しかし、国内市場において福島産食品の相対価格はいまだに低いままで、輸出についても韓国、中国、台湾、米国、香港などいまだに輸入規制が続き、台湾に至ってはさらに強化したくらいである。このようにいまだ風評被害は根強く残ったままである。一方、地元では基準値を十分にクリアしているので、さらに基準値を下げてもらってこの状態から抜け出したいとの意見もあると今回のバス

ツアーを企画された方から聞いた。規制を強めれば風評被害を煽るだけだということ。今回の事故で学んだはずである。基準値を下げればよいというものではない。世間一般では、放射線被ばくは低いほど良いと思うだろうが、基準値を下げては得るものよりも失うものの方が大きい。むしろ現状を踏まえて基準値の緩和を図って国際基準に合わせるべきである。

事故の後、東日本で汚染食品が見つかり汚染食品による内部被ばく量を5mSv/年に抑えるための汚染率を過度に安全に50%とした。この数値は日本の食糧自給率(カロリーベース)39%から安全側に決めたものであるが、国内の汚染地域は国土の一部であり、ずっと低く設定できたはずである。その後、厚生労働大臣が内部被ばくの目標値により安心感を与えるため1mSv/年として食品安全委員会に諮問した。食品安全委員会は被ばくの基準は低いほど安全であるとの考えに基づき、汚染率を50%のままに食品基準を決めてしまい、この結果世界一厳しい基準となってしまった。(表1)

この基準に驚いたのが海外の国々である。日本の食品事情が分からないまま多くの国が日本食品の輸入規制を行った。その後、日本政府の働きかけもあってEUやアジア諸国は規制緩和をしたものの前記の国々はいまだに日本食品の輸入規制の撤廃は行っていない。一方、国内市場もこの新しい基準値のために福島産の食品に対する忌避感が増して、1mSv/年ですら高いという声が上がりに、スーパーマーケットなどでは自ら低い基準値を設定

表1 食品基準の比較：食品中の放射性セシウムの濃度(Bq/kg)

|         | 日本       | 米国       | EU       | コーデックス委員会<br>(国際基準) |
|---------|----------|----------|----------|---------------------|
| 乳児用食品   | 50       | 1,200    | 400      | 1,000               |
| 牛乳      | 50       | 1,200    | 1,000    | 1,000               |
| 飲料水     | 10       | 1,200    | 1,000    | 1,000               |
| 一般食品    | 100      | 1,200    | 1,250    | 1,000               |
| 内部被ばく条件 | < 1mSv/年 | < 5mSv/年 | < 1mSv/年 | < 1mSv/年            |
| 食品汚染率   | 50%      | 30%      | 10%      | 10%                 |

してますます風評被害に火をつけた。

事故後、本格的な除染を行いまた放射能の自然減衰効果により、福島県のほとんどの地域で空間線量率は大きく低下し、追加外部被ばく量は1mSv/年より下がっている。また、国内流通食品中のセシウム137による追加内部被ばく量の調査が福島も含めて継続的に行われているが、その値は2015年9月、10月調査で1mSv/年の1/600以下<sup>1)</sup>と十分に低い値になっている。しかし、この状況においてもなお福島食品の汚染検査は継続して、精神的、経済的な負担は大きい。

このような状況にあるにもかかわらず海外の福島産農作物に対する2017年2月の意識調査の結果<sup>2)</sup>はアジア地域で台湾81.0%、韓国69.3%、中国66.3%が不安視し、欧米ではやや低いが米国35.7%、英国29.3%であった。また、日本でも30.3%であった。このような結果では、福島での努力は誠にむなしなものと言わざるを得ない。この状況を脱却するため国に対し以下を提言する。

1. 内市場の福島産食品の汚染分布を調査し、公表すること。食品基準を決める際に仮定した汚染率50%がいまだに継続していると海外で思い込まれている。福島での除染と土壌改善の結果、コーデックス委員会の放射性物質による汚染率10%を十分に下回っていることを確認してその実態を明らかにし、現在の厳しい基準をコーデックス委員会が推奨する国際規準に合わせ、これを世界と日本国内に発信すること
2. 福島産食品による内部被ばく量が桁違いに低くなっていることを報道機関を利用して国内外に伝えるとともに、国は福島産食品の販売活動を支援すること
3. 上記の結果を根拠にして海外の輸入規制の解除を交渉すること

そもそも被ばくの許容値基準は広島・長崎の原子爆弾の免疫的調査結果によるものである。その結果、一回の照射による被ばく影響は約100mSvあたりを境にしてこれ以下では明確にその影響は現れないというものであった。しかし、国際放射線防護委員会は放射線安全管理のため便宜的に「少しでも放射線を浴びたらそのリスクはあがる」との放射線防護の立場をとった。ここで留意したいことは、人間を含む高等生物は自己修復力を持っているということである。この自己修復力を発揮できないほどの短時間で被ばくすると1年間で同量被ばくするのではその意味は大きく異なる。ましてや、今回の除染目標とした1mSvは一回の被ばくではなく年間の被ばく量であり、何をか況やである。生きている限りリスクはある。放射線被ばくのリスク低減を過度に追及

するために社会全体のリスクを大きくしてしまうことに気づくべきであろう。

今回の福島バスツアーの楽しみの一つは、川内村の里山で暮らすご夫婦を訪ねて山菜採りと山菜を食しながらの一献である。ここは阿武隈山中であるが東電福島第一発電所から約15kmの距離にある。このお宅は民宿を営み、敷地も住宅もゆったりしたもので、広々とした庭園には少し標高が高いこともあってかまだ芝桜、木瓜の花が咲き乱れ、誠に素晴らしくまさに日本の原風景といえる。庭園を散策しながらワラビ、ウド、タラの芽などを摘ませていただいた。ケージには烏骨鶏を飼い時々タヌキやイノシシが来て、捕らえればまさにジビエである。野生のイノシシや鳥獣の肉、天然の山菜など基準値越えの汚染食品があるかもしれないがそれらは限られている。嗜好品とも呼べる食品は年間を通じてさほど食べられるものではない。一般食品に対する基準を一律に当てはめないで摂取限界を決めて総量規制をすればよい。ノルウェーのトナカイの肉<sup>3)</sup>がそうである。

昔、自分が小さかった頃、寒風の中を青っ湧を垂らしながら袖口をテカテカにして遊んでいる子供を多く見かけた。この青っ湧は医者に言わせると免疫力の象徴のようなものらしい。この子供たちはどこに行ったのだろう。あまりにも衛生的な環境では国民の免疫力が低下して厳しい環境を生き抜けないのではないかと心配になってしまう。そんなことを思っているうちにバスは元の丸ビルに停車した。ゴールデンウィークの最終日で帰りは遅くなると覚悟していたのだが、全く渋滞もせず21時に到着し、予定通り13時間の旅行であった。翌日、ワラビのあく抜きをして煎り酒で一献傾けたが、美味ながらほろ苦いものであった。(2018年6月10日記)

#### － 参考資料 －

- 1) 厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部：事故後の食品安全科学に関するワークショップ，1－3「食品中の放射性物質の対策と現状」，2016年11月8-11日福島県福島市コラッセふくしま(2016)。
- 2) 関谷直也，国内と諸外国における風評被害の実態 -2017年度調査および国際比較調査より，第一回 福島大学・東京大学原子力災害復興連携フォーラム，2017年12月5日，東京大学大学院情報学環福武ホール・福武ラーニングシアター(2017)。
- 3) 第2段落から当該箇所まで「エネルギー問題に発言する会」チームE放射線問題検討WGリーダ川合將義氏提言書から主に引用。



## 福島風評に「水を差す」ということ

服部 美咲 (はっとり・みさき)



フリージャーナリスト

慶應義塾大学卒業。主に医療・薬学・工学分野の執筆活動。現在は福島を拠点として、ウェブメディア「synodos」および同メディア内「福島レポート」にてインタビュー記事等を掲載。

「風評」を英訳する際に悩ましいのは、「風」の一字の訳出である。この「風」は「空気」とも言い換えられるかもしれない。とりわけ我々日本人は、この「空気」の支配には抗いがたい。「風評」はこの「空気」(風)が媒介するよからぬ評ともいえる。

東京電力福島第一原発事故の後、「風評」による被害は目に見える経済的損失のみならず、住民の不安や県外での偏見など多岐にわたる深刻な問題となっている。これまで様々な分野の専門家や行政、民間の人々が風評対策に試行錯誤を重ねてきた。この努力は経済的損害において一定の成果をあげたものの、他の分野ではいまだ深刻な問題が残る。

2017年、東京都民1,000人を対象としたアンケート調査で、約50%が「現在の放射線被ばくにより、今後福島県に生まれてくる子や孫などに健康影響が出る可能性がある」と回答した<sup>1)</sup>。同じ質問に対し、福島県内で避難指示があった地域等の住民の約36%が次世代以降の健康影響を懸念している<sup>2)</sup>。科学的には、広島と長崎における原爆被爆者とその子孫に対する大規模な追跡調査結果などにより、放射線被ばくに起因するヒトに対する遺伝的影響は健康影響を含めて否定されており、原発事故後の福島においても放射線被ばくによる次世代以降への遺伝的影響は否定されている<sup>3)</sup>。また、東京都民の約30%が「福島の農林水産物に放射性物質の検査が行われていること自体を知らない」と回答する一方で、約35%が「家族や子どもに福島県産の食品を勧めることをためらう」と回答している<sup>1)</sup>。実際には、福島県内の市場に出回る農林水産物は、日本の食品中における放射能濃度基準値(国際基準CODEX1,000Bq/kgの1/10)を上回っていない。しかし、科学的事実や数値とは無関係に、曖昧な「空気」は既に醸成されつつある。

我々を支配するこの「空気」について、1977年に山本七平は著書『「空気」の研究』の中で、「教育もデータも、そして科学的説明も歯が立たない“何か”」であると述べている。

「空気」は「非常に強固でほぼ絶対的な支配力をもつ

『判断の基準』であり、それに抵抗する者を異端として、『抗空気罪』で社会的に葬るほどの力をもつ超能力である」

「われわれは常に、論理的判断の基準と、空気の判断の基準という、一種の二重基準(ダブルスタンダード)のもとに生きているわけである。そしてわれわれが通常口にするのは論理的判断の基準だが、本当の決断の基本となっているのは、「空気が許さない」という空気の判断の基準である」

山本七平『「空気」の研究』(1977)

原発事故後、「当時の『空気』では、あせざるを得なかった」「今さらそんなことを言い出せる『空気』ではない」という言葉がしばしば発せられてきた。科学者や政策決定に関わる人だけではなく、家族や友人との関わりの中で、論理的判断の基準と「空気」の判断基準とのダブル・スタンダードに挟まれて苦悩する県民は多い。

さらに、こうした「空気」は、転勤等に伴って福島県内に移住したり、新たに妊産婦になったりした人々の不安をも生み出している。

現在福島県では、県民健康調査(FHMS)の一環として、事故当時概ね18歳以下だった子どもや若年者に対する甲状腺のスクリーニング検査が行われている。UNSCEAR2017年白書などによると、この検査で見られている子どもや若年者の甲状腺がんは、福島第一原発事故による放射線由来とは考えられないという。

また、通常がん検診はそれに伴うデメリット(過剰診断など)を上回るメリット(主に死亡率減少)が期待される場合に勧奨される。甲状腺がん検診については、「超音波によるスクリーニング検査の結果、甲状腺がんを診断された人の急増にも関わらず、死亡率に変化がなかった」という韓国の研究があり、メリットに比べて過剰なデメリットを受診者にもたらすことが示されている<sup>4)</sup>。

がん検診としての意義の他に、福島第一原発事故後の被ばく線量と甲状腺がんの発生との関連性を知ること

や、子どもや若年層に対する大規模な甲状腺スクリーニング検査によって甲状腺の自然史に新たな知見を得ることなどが検査継続の理由に挙げられることもある。前者は前述のように概ね否定されているわけだが、たとえ受診者の要望や医療研究者の学術的な目的があるとしても、受診者のデメリットがメリットを上回る場合、その医学研究は行われるべきではないということは、医療研究者が遵守すべき医療倫理上の原則である<sup>5)</sup>。

国内外の多くの専門家が「福島第一原発事故による放射線被ばく由来の甲状腺がんの増加は考えられない」、「甲状腺のスクリーニング検査には過剰診断のデメリットが大きい」と口を揃えているにも関わらず、県民健康調査検討委員会では、「甲状腺検査を継続しよう」という意見は出ても、「縮小しよう」という意見が出せるような「空気」はない。この場を支配する「空気」の前には、どんな医学的・科学的な研究や調査に基づく判断基準も、子どもを守るための医療倫理的な規範も無力化される。

2016年、県の小児科医会はFHMSにおける甲状腺検査の見直しを求める要望書を出した。この際、太神和弘・県小児科医会会長(当時)は、「甲状腺がんは手術をしなくても健康なまま一生を過ごせる人も少なくない」とし、超音波によるスクリーニング検査の結果多数の甲状腺がんが発見されていることによる県民の健康不安の増加、および他県では実施されていない甲状腺検査を継続することそのものが県民に対する風評被害につながりかねないという懸念も表明している。

2015年の閣議で、避難指示解除の要件として「住民の年間積算被ばく線量は20mSvを下回ること」「生活インフラが概ね復旧すること」と「住民との十分な協議」の3点が決定された。原発事故などの緊急時に一般公衆が居住できる数値としてICRPが勧告する年間追加被ばく20~100mSv/年の下限値20mSv/年を避難指示解除の要件とすることには、一定の科学的合理性があるだろう。しかし、住民各自の事情も心情も多様である中で、帰還/避難継続の合意をとることは現実的には不可能に近い。

避難指示が出た地域の人々から度々「3年が限度だった」という声を聞く。原発事故から6年が経過して漸く避難指示が解除された地域では、故郷への思いを強くしながらも、家庭の事情から帰還を断念する人も少なくない。とりわけ成長期の子どもを持つ親にとっての6年はあまりにも長すぎる。

福島の阿武隈山系では、山菜やキノコが伝統的に人々の食生活を彩ってきた。しかし、原発事故後に野生の山菜の一部やキノコなどから放射性物質の検出があり、品目によっては日本の放射能濃度基準値を上回ることもあった。阿武隈山系にあり2017年に避難指示が解除された飯舘村では、現在各所に非破壊式の放射能濃度測定器が設置され、採取した山菜やキノコを持ち込んで計測することができる。しかし、実際に計測して国の基準値を超えなくても、「検出された」というだけで原発事故前と同様に山菜やキノコを食べたり家族に薦めたりすることにためらいを感じる人もいる。一方で、自ら採った山菜を、子どもたちと共に口にして頬を緩める住民の顔を目にすると、「いま・ここ」の福島で生きることやその食文化の血の通った力を実感する。

山菜やキノコは採取できる時期が限られていることや、継続的な大量摂取が通常考えられないこと(タラの芽の天ぷらは4~5g/個)などの事情から、他の農産物と同様の放射能濃度で規制することを疑問視する声もある。

風評の元凶となる「空気」を打ち破る手立ては「水を差すこと」であると山本はいう。差すべき「水」とは、具体的かつ現実的な目の前の対処すべき日常(「通常性」)のことである。

福島において具体的かつ現実的な問題に直面しているのは、毎日子どもや保護者と接している小児科医ら現場の医師であり、福島で実際に生活を続ける住民であり、避難指示が出た地域に帰還し、生業を再開しようとする住民である。風評の元凶たる「空気」を打ち砕く「水」は「いま・ここ」の福島にある。「水」の源を枯らしてはならない。福島の風評に「水を差す」道を模索したい。

(2018年6月22日 記)

#### — 参考資料 —

- 1) 三菱総合研究所 MRI トレンドレビュー「東京五輪を迎えるにあたり、福島県の復興状況や放射線の健康影響に対する認識をあらためて確実にすることが必要」(2017).
- 2) 平成28年度県民健康調査「こころの健康度・生活習慣に関する調査」.
- 3) 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「子どもの放射線被ばくの影響と今後の課題—現在の科学的知見を福島で生かすために—」(2017).
- 4) Hyeong Sik Ahn et al, Korea's Thyroid-Cancer "Epidemic" - Screening and Overdiagnosis, NEJM (2014).
- 5) ヘルシンキ宣言：人間を対象とする医学研究の倫理的原則 (2013改訂).





## 秋の大会、「原子力発電所の安全」などをテーマに

原子力学会は9月5日から7日までの3日間、岡山大学で秋の大会を開く。理事会などが主催する特別セッションのテーマは「世界から見る原子力発電所の安全」。他に「学協会は福島復興と廃炉推進に向けてどのように貢献すべきか」、「1F事故の解明の進展から学ぶ」、「1F廃炉検討委員会現地状況及び活動報告」、「1F事故由来物質に対する環境モニタリング手法の最先端」、「燃料デ

ブリ研究専門委員会活動報告」、「原子力発電所の運転期間と機器・構造物の経年劣化影響評価」、「クリアランスの現状と課題」、「人工知能技術の活用と将来展望」、「研究炉の運転再開と今後」、「原子力事業者のコミュニケーション活動を考える」などの企画セッションが開かれる。  
(原子力学会誌編集委員会)

## 原子力学会新会長の駒野氏が会見

日本原子力学会会長の駒野康男氏(MHI ニュークリアシステムズ・ソリューションエンジニアリング(株)フェロー)が6月26日、記者会見を行い、2018年度の重点活動として、(1)福島復興・廃炉の推進と蓄積した知見の世界への発信、(2)原子力・放射線利用にやりがいや未来を感じる活動と若手育成、(3)理解活動の推進/会員サービス向上と会員獲得——をあげた。2017年度副会長だった駒野氏は6月15日の通常総会で、2年間務めた上坂充会長(東京大学大学院工学系研究科教授)の後任に選ばれた。新会長就任に際し、同学会発足60周年の節目を2019年2月に控え、「明るい未来が見える年となるように、先導的な役割を果たしたい」としている。駒野氏は三菱重工業で長く炉心技術などに係ってきた。

原子力学会では2012年から「福島特別プロジェクト」として、被災地の視点に立った情報発信や技術協力に取り組んでいる。2018年度はこうした復興活動とともに、原子力事故に関する論文・解説記事の英文化・公開などを通じ、蓄積された知見の世界への発信にも力を入れていく。汚染水対策の関連では多核種除去設備で処理した後に残るいわゆるトリチウム水の問題について、「水産

学会や漁業関係者の風評被害に対する懸念の声も踏まえ、正確な情報発信を行っていきたい」と駒野氏は語った。

新たなエネルギー基本計画については「エネルギー自給率、電力コスト、温室効果ガス排出削減の観点から、原子力は当然必要」と述べ、再稼働に向けて地元の理解獲得、敷地周辺の断層問題の解決などを課題としてあげた。さらに「2050年となると新設も考えないといけない」と述べ、2018年度の活動として安全性と経済性に優れた次世代軽水炉の検討・提言を行う考えを示した。

次世代炉開発に関しては会見に同席した原子力学会副会長の山口彰氏(東京大学大学院工学系研究科教授)が世界の動向について触れながら、「これまで既設炉の安全性向上に努めてきたが、日本でも次の概念を検討する必要がある」と述べ、その必要性を強調した。

2019年2月に「還暦」を迎える原子力学会では「60周年事業」として、来春のシンポジウム開催、学会誌特集号の発行などが計画されている。

(資料提供・日本原子力産業協会、以下同じ)

## 原子力白書を決定、コミュニケーションについて特集

原子力委員会は7月5日の会合で「平成29年度版原子力白書」を決定した。概ね2017年度末までの原子力行政を巡る事柄をまとめたもの。福島第一原子力発電所事故を挟み、2017年に7年半ぶりに再開された原子力白書だが、今後も昨夏に策定した「原子力利用に関する基本的考え方」などをフォローするものとして、毎年作成することとしている。

白書は冒頭で「福島の着実な復興と再生、様々な改善に真摯に取り組むことがわが国の原子力利用にとって必須」と述べ、福島第一原子力発電所事故の反省と教訓を踏まえた取組の必要性を強調している。

事故から7年が経過した現在、「依然として国民の原子力への不信・不安が根強く残っている」ことから、「原子力分野のコミュニケーション」について特集した。諸

外国の事例も参考にしつつ、関係機関でコミュニケーション活動のあり方を考え、信頼構築につなげていくための「ステークホルダー・インボルブメント」について提言している。

なかでも英国の先進的な取組について踏み込んでおり、科学技術分野のニュースについて専門家とメディアをつなぐ「サイエンスメディアセンター(SMC)」、政策立案において国の公衆との双方向対話を支援する「Sciencewise」プログラムなどを紹介している。

原子力における重点的取組・方向性に関して取り上げた最近の動きとしては、現場の安全性をさらに高水準に結び付けていく仕組みを確立する業界大での「新たな機能」の立ち上げ(「原子力エネルギー協議会」として7月1

日に発足)や、原子力委員会が1月より検討を進めている「わが国におけるプルトニウム利用の基本的な考え方」の見直しなどがある。

また、白書全体にわたって、トピックスや注目点を取り上げたコラムを随所に掲載。コミュニケーションの関連では、2014年の原産年次大会に登壇した英国王立大学のマルコム・グリムストーン氏の主張を紹介した。同氏は、「安全であることを一生懸命説明すればするほど、逆に危険であるという不安を与える」とした上で、国民の理解に向けて原子力反対派も含む利害関係者との信頼関係の構築などを指摘し、コミュニケーションにおいて心理的側面も考える重要性を訴えている。

## 海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

### 【米国】 エネ省がフラマトム社製の事故耐性 燃料を試験

米エネルギー省(DOE)原子力局は6月15日、傘下のアイダホ国立研究所(INL)にある新型試験炉(ATR)で、仏フラマトム社製の事故耐性燃料(ATF)の試験を実施中だと発表した。

DOEが2012年に開始した「ATF開発プログラム」の下で行われているもの。これにはフラマトム社のほか、GE社と日立の合併企業であるグローバル・ニュークリア・フュエル(GNF)社、およびウェスチングハウス(WH)社の3グループが産業界から協力した。INLでは2021年1月まで試験を継続するとしており、この秋にはGNF社とWH社がそれぞれ製造したATFの試験燃料棒も加わる予定。ATR試験の完了後は、同じくINL内にある燃料棒の破損実験施設「過渡事象試験炉(TREAT)」を使って、それぞれの燃料概念について安全運転が可能な限界点を探ることになる。

DOEのATF開発支援は福島第一原子力発電所事故を契機に、炉内で冷却機能が喪失した場合でも長時間持ちこたえ、発電所の安全裕度を拡大し得るような高性能の燃料開発を目指して始まった。米議会は事故耐性が強化された軽水炉燃料と被覆材の開発プログラムに2012会計年度から予算措置を講じており、2022年までにATFの先行燃料集合体を商業炉に装荷、2025年までに市場に供給するとの目標を提示。技術的な設計目標としては極限の状況下における水素の発生量削減、核分裂生

成物の保持、高温蒸気と被覆材の反応改善などとしており、産官学が協力して3段階構成の開発・実証戦略を進めている。

第1段階のフィージビリティ・スタディでは先進的な燃料と被覆材の概念について、経済性や安全性、環境影響等の分析評価と絞り込みを実施。2016年10月からは第2段階に移行しており、許認可の取得が可能と思われるATFの製造、大規模照射試験など、開発・認定関係の活動が行われている。

フラマトム社がINLのATRを使って試験中のATFは、クロムをコーティングした被覆管の概念とクロム合金の酸化皮膜を使った燃料ペレット概念に基づいている。特殊なコーティングにより、被覆管を高温による損傷と酸化から防護することを狙っており、事故条件下においても燃料ペレットで長時間の耐久性と高い性能を追求。これにより、商業炉では今よりも一層安全性の高い運転が可能になるとしている。

ATR試験では商業用軽水炉の冷却条件を模した特殊なテスト・ループに、26本の縮小版燃料棒を装荷。ATRは燃料サンプルを急速に劣化させる機能があるため、数年分あるいは数十年分の中性子損傷をたった1か月で生じさせることができる。試験で得られた性能データは、米原子力規制委員会(NRC)が同燃料の認定審査を行う際に活用されることとなる。

一方、GNF社は今年3月、「IronClad」の名で知られるクロム・アルミ鉄合金の燃料被覆材、および「ARMORコーティング」を施した2種類の試験集合体を米ジョージア州のE. I. ハッチ原子力発電所1号機に装荷した。2019年には、イリノイ州のクリントン原子力

発電所にも装荷する計画である。

また、WH社は炭化ケイ素材料(SiC)製の被覆管、シリサイド(U3Si2)燃料ペレットの概念に基づくATFを開発中。2019年にもイリノイ州のパイロン原子力発電所で、同社製ATFとなる「EnCore」の実証用燃料棒装荷を目指すとしている。

ATFの商業化を急ぐ理由として、DOEは米国内で稼働する既存炉の運転期間を挙げた。現在、約100基の商業炉のうち約90基が、当初の運転期間40年に加えて20年間の延長を許されている。しかし、2回目の運転期間延長を申請して合計80年間の運転継続許可を受けられない限り、2030年代にこれらの運転認可は満了してしまう。その前にATFを商業化することにより、既存炉の性能を向上させ、運転期間の延長見通しを改善することができるとDOEは指摘している。

## 【フランス】

### オラノ社、年内に中国で再処理工場の建設準備作業開始

仏国のオラノ社(旧アレバ社)は6月25日、中国における使用済燃料の再処理・リサイクル工場建設に向けて、年内にも準備作業を開始することで中国核工業集団公司(CNNC)と合意に達したと発表した。

これは、オラノ社が操業するラアグ再処理工場とメロックス MOX 燃料加工工場をモデルに、年間処理能力800トンという商業規模の再処理・リサイクル工場を中国国内に建設するというプロジェクト。CNNCが2007年に商業用再処理工場の建設フィージビリティ・スタディ(FS)をアレバ社に依頼してから、すでに10年以上が経過している。今回の合意についてオラノ・グループの担当会社は、「プロジェクトに着手するための協議が一步前進した」と強調。合意内容の有効期限は今年一杯となっているが、実際に作業開始となれば、オラノ・グループ内約100名の従業員が従事するとの見通しを明らかにした。

中国の原子力・新エネルギー技術研究院によると、急速な原子力発電開発の進展にともない中国では使用済燃料の発生量が増大。2020年までに5,800万kWの原子力設備という開発目標を達成した場合、使用済燃料は累計で7,000トンに達するとのデータがある。再処理工場については、2004年に甘粛省蘭州でパイロット試験施設(処理量50トン/年)が完成。2010年12月に実燃料を使ってホット試験を実施したものの、その後、改造が必要になり使用開始に至っていないという。

商業規模の再処理工場関連では、CNNCはFSを商業契約に進めるための協力支援について2010年11月にア

レバ社と合意した。2013年に両者は協力意向書を締結したのに続き、2014年には長期の協力覚書に調印している。翌2015年になると、両者は2030年までの操業開始を目標に、双方のタスクと責任配分を特定する技術協議を完了。今年1月に仏国のE.マクロン大統領が就任後初めて訪中し、習近平国家主席と会談した際は、商業契約の交渉を早期に終えて年内に建設プロジェクトを開始する方針を再確認していた。

今回の合意文書は、仏国のE.フィリップ首相が中国を訪問したのに合わせて結ばれた。現地メディアによると、オラノ社の広報担当者は建設プロジェクトの準備作業として、主にプロジェクト管理と品質管理関係の文書業務を挙げており、この作業に対する同社側の負担額を約2,000万ユーロ(約25億6,500万円)と予想している模様。しかし、交渉上の課題の1つは依然としてコストであり、特にオラノ社側からの技術移転価格について、両者は今のところ合意点を見つけれずにいると伝えられている。

## 【フィンランド】

### 最終処分場計画、実規模の処分試験実施へ

世界初の使用済燃料用・深地層最終処分場をフィンランドで建設中のポシバ社は6月19日、この夏中に実規模の最終処分試験を地下岩盤特性調査施設のONKALOで実施すると発表した。

これは、処分トンネル内に使用済燃料を封入したキャニスターを定置するための本格的な原位置試験(FISST)で、岩盤中の処分孔に実際にキャニスターを入れるほか、緩衝材や処分トンネルの封印プラグも使用して、最終処分技術の機能を実証するのが目的。FISSTが完了した後は、処分用機器や装置の作動を確認する「統合システム試験」を2022年に実施し、2020年代中に処分場の操業開始を目指すとしている。

国内の原子力発電事業者2社が共同出資するポシバ社は2000年、ユーラヨキ地方にあるオルキルオト原子力発電所の近郊エリアを使用済燃料の最終処分場建設サイトに選定した。同地点の地下約500mの部分に最大約5,500トンの使用済燃料を最終処分するという同社の計画を、フィンランド議会は2001年5月に承認。これを受けてポシバ社は2012年に同処分場の建設許可を申請しており、2015年11月に許可の取得に成功した。建設工事は翌2016年11月に始まったが、完成した処分場の操業を開始するには、同社はさらに運転許可を申請・取得する必要がある。

サイトの地上部に建設される使用済燃料の封入プラン

トとは別に、最終処分場は主に3種類の地下設備で構成される予定。それらは(1)地下400~450mの深さに掘削する処分トンネル137本、(2)処分トンネルとアクセス坑道、および換気用と人の移動用のシャフトを連結する主要坑道、(3)地下に設置する技術的補助施設——である。処分トンネルの床部には深さ6~8mの処分孔を掘削し、キャニスターを緩衝材とともに収めるという設計になる。

ポシバ社は昨年12月からFISSTの実施準備を始めており、試験内容は6月中旬にメディアを通じて国民に大々的に紹介された。FISSTではまず実証試験用の処分トンネル内に処分孔を2つ掘り、使用済燃料の残留熱を模した発熱体を銅製キャニスターに封入して定置。ベントナイトの緩衝材で埋め戻した上で、処分トンネルの入り口を鉄筋コンクリート製の大型プラグで封印する。これにより同社は、プロトタイプ段階にある使用済燃料処分技術の機能を実際の処分と同じ規模で確認。温度の変化や圧力、トンネル内におけるキャニスターと処分孔の挙動に関する研究用データを、約500ものセンサーを使って把握することになる。

### 【ウズベキスタン】

## 原子力発電所の導入でロシアと合意

中央アジアに位置する旧ソ連邦のウズベキスタン共和国は7月10日、同国初の原子力発電設備として120万kWのロシア型PWR(VVER)を2基、国内に建設することでロシア国営の原子力総合企業ロスアトム社と合意したことを明らかにした。

化石燃料資源に恵まれた同国では、莫大な埋蔵量の天然ガスと石炭を保有。有効な外貨獲得手段である天然ガスは極力、輸出に向けているが、「これらを発電のためにだけ燃やし続けて枯渇させてしまうとすれば、後の世代に対する許しがたい犯罪だ」とS.ミルジヨエフ大統領は強調。世界でも最も安全かつ近代的な原子力発電所を2028年までに起動し、国家経済の成長や人口の拡大、および国民の生活水準向上に必要な電力の需要増加に対処していく方針を明らかにした。

建設サイトについては言及がなかったものの、同国政府はすでに昨年12月、原子力発電所と研究炉の建設を視野に入れた原子力平和利用分野の政府間協力協定をロシアと締結。有望な共同事業やプログラムの実施など、長期的な連携関係を構築する詳細事項について協議を続けていた。

大統領の発言は、原子力発電の導入に向けた組織面、技術面の対応策について、同日に開催した会合で述べられたもの。同会合によると、ウズベキスタンでは年間

690億kWhの電力需要があり、その約85%を天然ガスと石炭火力で賄っている。残りの15%は水力発電だが、天然ガスの消費量は年間165億立方メートル、石油は8万6千トン、石炭は230万トンに及んでいる。

原子力発電所を導入することにより、同国政府は約37億立方メートルの天然ガスを節約できると予測。天然ガスは、プロピレンなど高付加価値化学製品の原料にもなることから、節約分の天然ガスを精製せずに輸出したとしても、年間5億5,000万~6億ドルの外貨が同国にもたらされるとした。政府はまた、環境に優しい原子力は大気中にCO<sub>2</sub>を排出しないと指摘。天然ガスの燃焼で排出されるCO<sub>2</sub>の量は、原子力によって年間300万トン削減できるとの見通しを示している。

### 【サウジアラビア】

## 初号機サイト選定で仏アシシステム社がサイト特性調査

仏国を拠点とする国際的なエンジニアリング・研究開発サービス企業のアシシステム社は7月3日、サウジアラビアで原子力発電設備の導入計画を担当する「アブドラ国王原子力・再生可能エネルギー都市公団(K. A. CARE)」から、サイト特性調査の実施契約を受注したと発表した。

サウジアラビアは2040年までに1,200万~1,800万kWの原子力発電設備開発を目指しており、K. A. CAREは昨年10月、最初に建設する120万~160万kWの大型炉2基について、諸外国の原子炉メーカー5社に情報提供依頼書(RFI)を發出。その後、国際入札を開始しており、アシシステム社はK. A. CAREが初号機の建設に最も適したサイトを選定できるよう、18か月間かけて耐震解析や地質分析などの特性調査を実施するとともに、周辺の環境や住民および送電網などに対する影響調査を行うとしている。

サウジ内閣は2017年7月、エネルギー・ミックスの多様化と発電容量の増強を目的に、大型炉2基に加えて小型炉を複数建設することも視野に入れた「国家原子力プロジェクト」の起ち上げを承認した。大型炉をベースロード用電源として使用するほか、小型の高温ガス炉(HTGR)や韓国原子力研究所(KAERI)製モジュール式小型炉「SMART」を建設して、脱塩や遠隔地域での発電に利用する計画である。

K. A. CAREは同年10月に大型炉建設計画のRFIを發出したのに続き、11月14日から20日までの期間、ロシア国営原子力総合企業ロスアトム社傘下の国際展開促進・マーケティング企業、韓国電力公社(KEPCO)、中国核工業集団公司(CNNC)、米国籍のウェスチングハウス

(WH)社、フランス電力(EDF)とも協議を実施。「国家原子力プロジェクト」とRFIの詳細を説明するとともに、各社の原子力技術や発電所建設の最新例、蓄積した経験等に関する理解を深めた。

現地の未確認報道によると、K. A. CAREは昨年12月にWH社やEDF、ロスアトム社などの複数メーカーからRFIに対する回答を受領したと言われており、建設候補サイトに挙がっていたという17地点も、今年1月までにアラブ首長国連邦(UAE)やカタールとの国境に近い沿岸部の2地点に絞り込んだ模様。アシシステム社がサイト特性調査と影響調査を実施するのは、これらの地点になると見られている。

アシシステム社はこれまでに、トルコ法人が同国初の原子力発電設備となるアックユ発電所でサイト特性調査を実施した経験があるほか、サウジアラビアに置いた子会社を通じて地元の情報も収集済み。原子力部門で長年蓄積してきた専門的知見、サイト特性調査の専門スキルが今回の大型契約受注につながったと強調した。同社が実施する2種類の調査により、サイトの仕様に基づき適切な原子炉技術を決定するための重要な技術的詳細が明らかになるとしている。

## 【中国】

### 世界初のEPRとAP1000が送電開始

世界でも最新鋭の第3世代原子炉設計である仏フラマトム社製・欧州加圧水型炉(EPR)と米ウェスチングハウス(WH)社製・AP1000の初号機が、6月末にいずれも中国で初めて送電網に接続された。

中国広核集团有限公司(CGN)が6月29日、フランス電力(EDF)との協力により、広東省の台山原子力発電所で建設中だった1号機(175万kWのPWR)について、同日の午後6時頃に初併入した事実を公表。一方、AP1000など第3世代技術の導入・習得・国産化を担当する中国国家核電技術公司(SNPTC)は6月30日、浙江省の三門原子力発電所1号機(125万kWのPWR)を同日の午後5時頃、送電網に接続したことを明らかにした。

これらの設計を採用した原子力発電所は、両メーカーの本拠地である仏国と米国でも建設中となっているが、台山のEPRは先に欧州で着工した2基のEPRを追い越して完成したもの。三門1号機とともに、今年中に営業運転を開始すると見られている。

台山原子力発電所の1、2号機は、2009年と2010年に

それぞれ本格着工した。中仏最大のエネルギー協力プロジェクトとなった同発電所建設計画は、台山原子力発電合弁会社(TNPJVC)が担当しており、CGNと広東省の電力会社が合計70%出資、EDFが残り30%を出資している。今年の4月10日に環境保護部(省)が1号機の燃料装荷許可を発給したのを受け、CGNは同日から燃料の装荷作業を開始した。6月6日には臨界条件を初めて達成しており、初併入後は段階的に出力上昇試験を実施する計画。最終的に、定格出力で安定的に発電出来ることを確認するとしている。

CGNによると、台山1号機が世界初のEPRとして送電開始できた理由としては、原子力発電所の建設・運転でCGNとEDFがそれぞれ積み重ねてきた経験や、両者間の長年にわたる戦略的パートナーシップ、両国の原子力部門の主要企業から得られた支援など、複数のファクターが考えられる。また、台山プロジェクトの初期段階においては、2005年に世界初のEPRとして着工したフィンランドのオルキオ3号機(OL3)、および2007年に仏国で着工したフラマンビル3号機(FL3)の建設作業経験からも、恩恵が得られたとしている。

現在、OL3の建設工事では、2019年9月に通常運転を開始出来る見通し。FL3では、今年の第4四半期末に燃料の初装荷と起動が予定されている。フラマトム社のB. フォンタナ会長兼CEOは台山1号機の送電開始について、同社のみならず原子力産業界全体にとって歴史的瞬間になったと評価。その上で、後続EPRとなる台山2号機やOL3、FL3、および英国のヒンクリーポイントC原子力発電所建設計画にも、台山1号機の広範な経験が活かされることになると述べた。

一方、三門原子力発電所の建設工事は、2006年に共産党中央委員会と国务院がAP1000の導入判断を下したのを受け、同技術の国産化戦略として2009年4月と12月に1、2号機がそれぞれ着工した。2017年3月にWH社が米国の連邦倒産法に基づく破産申請を行った後、米国内のAP1000建設プロジェクトのうち、A. W. ボーグル3、4号機増設計画はプロジェクトの続行が決まったものの、V. C. サマー2、3号機増設計画のオーナー企業は、両炉とも完成を断念した。中国でも、SNPTCと親会社の国家電力投資集团公司(SPIC)が破産申請日に直ちに対応協議を実施。WH社の協力継続意思を確認した上で、三門発電所の2基、および同じくAP1000を採用して建設中の海陽1、2号機を完成させることで合意に達した。

# 座談会

## 安全なのに、価格が戻らない —風評被害はなぜ起こるのか、どうすればよいのか—



ジャーナリスト 井内千穂  
 ジャーナリスト 小島正美  
 東京大学 関谷直也  
 日本経済新聞 滝 順一  
 NPO ハッピーロードネット 西本由美子  
 本誌 佐田 務  
 東京工業大学 澤田哲生(司会)

福島県産米といえば、かつてはブランド米だった。しかし、原発事故から7年余がたった今、その価格は事故前の水準に戻らない。他の多くの福島県産品もそうだ。福島での風評被害には消費者や流通業者のほかに、政府や専門家、さらにはメディアのふるまいが関わってきている。この問題への対処と、問題の背景にあるものについて議論を深めた。

*Keyword: damage caused by harmful rumors, boycotting or product delivery refusal owing to harmful rumors, deterioration of consumer sentiment, evacuation, care-communication*

### 2割が今も「福島県産品は不安」と回答

澤田 今日風評被害をテーマに議論します。最初に農水省がまとめた資料の説明からお願いします。

佐田 農水省が今年3月にまとめた福島県産農産物の流通実態調査結果について紹介します。この調査の対象となっているのは米や野菜などの20品目で、調査対象者は延べ4千件のにのぼります。

このうち消費者に聞いた調査では、福島県産品にまだ安全性に不安があると答えた人が2割弱いました。

また、「他産地品より価格が高くても購入する」「他産地品と価格が同等であれば購入する」との回答が1~2割程度ありました。これはいわば、肯定的な回答にあたります。他方、「他産地品より価格が安ければ購入する」「福島県産のみしか取扱いがなければ購入する」との回答

が、米で4割程度、他の品目で2~3割程度存在ありました。これはいわば、プラグマチックな回答にあたります。さらに、「福島県産しかなかったら買わない」という否定的な意見が1割ぐらありました。

澤田 1割ですか、意外に少ないですね。一方、流通はどうですか？

佐田 そうですね。注目すべき点は、産地やブランドを訴求する特性がある米や牛肉の流通については、福島県産農産物の取り扱いにいまだに慎重な姿勢があるとのこと。また、震災直後に福島県産品が減った部分を、他県産品が埋めましたが、その後も福島県産品のシェアが回復していない。特に桃などの高価格帯贈答品や、他県産品でも十分賄える米などについては、厳しい状態が続いている。牛肉では産地表示を行うため、売れ残りのリスクを考慮して流通業者が取り扱いを躊躇する場合もあるということです。

澤田 そういった流通業者の認識や感じ方は価格にも影を落とすのでしょうか？

佐田 価格を見ると、牛肉は震災直後に大きく値下がりし、以降は回復基調にあるものの、まだ震災前の水準には遠い。米はかなり戻しつつある。桃はまだかなり低い水準にとどまっている。一方でキュウリの価格はすでに回復しました。農産品には地域の特性をいかして、季節ごとに一定の県産品が旬を迎える産地リレーが市場に定着しており、キュウリはそれに乗ってるため、市場での販売力は回復しました。

澤田 なるほど。ものによって結構違いがあるケースもあるということですね。

佐田 まとめますと、

- ・福島県産農産物等は全体として震災前の価格水準まで回復していない。水産物については、試験操業段階のため小売業者の取扱いは限定的である。
  - ・消費者からの福島県産農産物等に対する産地照会は減少し、現在ではクレームはほとんどない、むしろ福島県産を積極的に購入するという声があるものの、一方で消費者の一部には、依然福島県産のイメージとして「安全性に不安がある」との意見もある。
  - ・小売業者では、他県産農産物等で需要が賄えており、福島県産農産物等に積極的に切り替える理由やきっかけが見い出せていない。産地照会を受けた際の説明に苦慮する。
  - ・卸売業者、仲卸業者では「販売先が福島県産以外を希望していると想定される」という心理が働いていること、また米や牛肉では外食・中食で安定的な価格や量での取引があり、仕入価格が固定化して取引価格の上昇が見込みにくいといった指摘がある。
- ということになります。

なお、こういう社会調査というのは、調査対象者が調査者による影響を受けることがあります。この調査や政府の、しかも風評被害の調査なので、回答者が本音ではなく、「良い子」としてふるまった回答をしている可能性もあります。これをホーソン効果といいます。

また、復興庁が取り組んでいる風評払拭・リスクコミュニケーション強化戦略の資料によれば、同庁はさまざまな工夫を凝らした情報発信に取り組んでいる、例えば学校教育現場や妊産婦や乳幼児の健診の機会を利用して、いろいろな情報発信をやっている。さらには教育関係者などに福島を訪問してもらい、福島の人たちと出会うや実体験を行うホープツーリズムのような取り組みも行っているということでした。

澤田 そうですか。結構様々な取り組みをしているんですね。しかし、そのことはあまり知られていないようですね。次に風評被害とは何かについて、関谷さんから説明をお願いします。

関谷 風評被害に類する言葉は、1954年の「第三の被

爆」といわれた第五福竜丸被爆事件の放射能パニックから使われはじめています。事件直後から、マグロの値段が暴落。市場では放射能が検出されなかったものしか流通しなかったのですが、値下がりが止まりませんでした。

その後、原子力発電所で事故やトラブルがあると、風評被害が必ず問題となってきました。原子力船「むつ」や敦賀原発での事故・トラブルがそうです。

原子力発電所の立地にあたっては、実際の損害、原子力事故が起きた場合の損害の可能性が低いと理解されてきました。けれども立地地域の人たちからは、実際に放射性物質が漏れなかったとしても、「安全性に関して懸念があり、経済的被害が発生した場合には、原子力損害賠償法の賠償対象から漏れても、それをきちんと賠償してくれるのか」、「科学的には安全だったとしても、農産物や海産物が売れなくなったり、観光の経済的被害があった場合には、きちんと補償してほしい」ということから、風評被害の問題が提起されてきました。

その風評被害という言葉は1997年の所沢ダイオキシン問題やJCOの臨界事故などを経て人々の間に広まりました。今は東京電力福島第一原子力発電所事故においては、経済被害だけではなく、いじめなどの社会的被害などを含めて、広い意味で、この言葉が使われています。

ただ、本来の風評被害は経済的な損害に限定されて使われるものでした。このため東京電力福島第一原子力発電所事故においては、原子力損害賠償法での風評被害は、2012年3月までは暫定規制値の500ベクレル、今だと100ベクレル以下であっても農産品などが流通に乗らない、あるいは価格が値下がりしているというのが風評被害でした。けれども、人が使う言葉ですから、その意味内容は変化します。メディアやネットではこれ以外のものも含めて多くのものを風評被害と呼んでいます。

## 流通業者が、消費者の意思を過剰に忖度している

澤田 流通に乗らないというのはなぜですか。それは生産者側がどうこうという話ではありませんね。つまり、流通業者の問題なんですか。

関谷 事故が起こった直後の段階から、流通がほぼストップしました。事故直後は検査体制が整っておらず、そもそも安全とする目安の基準さえありませんでした。また、私が2016年に実施した、流通業者を対象としたアンケート調査でも「消費者の4割程度の人が買ってくれない」と思っているという結果でした。流通業者が安全性に問題はないと思っていたとしても、消費者には選択の自由があります。「買ってくれないかもしれない」と考えられるものは、流通にはおけない。あるいは震災から7年間の間で流通ルートが固定化しているため、改めて

福島県産に戻す動機がないというのが、流通に乗らない理由です。

澤田 流通業者が、「消費者の4割がたぶん福島県産を避けるだろう」というのは、どういう根拠に基づいているんですか。

関谷 根拠はありません。そう思い込まれていると思います。

澤田 単なる思い込みとは意外でありひどい話ですね。私が以前に聞いた話だと、実際にそのような消費者は2割程度しかいない。

関谷 はい、2割程度です。事故直後の消費者の拒否反応のイメージがいまでも残っていて、流通業者が過剰に見積もっているということはいえると思います。

澤田 その認識のズレがいわば風評であり、被害を生む構造になっているのです。ところで、価格の値下げは、流通業者がそうするのですか。

関谷 事故直後の買ったときは別として、今は市場で価格が決まります。しかし、若干、安い値段となっていて。米は福島県以外、特に都内の量販店などの店頭で並ばなくなってその分、業務用米に流れてしまい、価格の下落が結果的に起こっている。業務用に流れたそれらのコメは安く安全でおいしいから、それで固定化してしまっています。野菜の場合は産地間競争がそこまではない。例えば、きゅうりは「夏秋きゅうり」と「冬春きゅうり」があり、本来の旬は夏なのですが、その「夏秋きゅうり」、7~9月にかけての生産量は全国第一位は福島県産です。なので福島県産の夏秋きゅうりはその時期の市場に不可欠で、代替性は極めて低い。代替性がない商品は価格がある程度戻っています。魚の場合はまだ試験操業の段階なので、そもそも産業として復興していない。このため風評被害の以前の問題にあると思います。

佐田 漁業の場合は市場が弱体化しています。

井内 外食産業やコンビニなどの業者さんが福島県産の業務用米を使うのは、安く美味しく、かつ、お客さんに福島県産であることを言わなくてもいいからでしょうか。福島県産米は業務用でないと売れないのですか。

関谷 福島県産米は震災前まで450,000トンぐらいで、今350,000トンが収穫されています。県内での消費は回復していますが、県外へ流通するものの多くは業務用米です。それらは大型の業務用スーパーで売られたり、スーパーやコンビニでのおにぎりや弁当、あるいは外食用のライスになったりしています。

西本 今話を聞いて、驚いています。広野町にはイオンがありますが、福島産のお米が販売されているし、私の周りの人の多くは福島県産品を購入しています。飲食店も福島産のものを極力使っています。一方で、全国の人たちの中にもそれほど頑なに福島産のものを物によって拒んでいらっしゃるということは、驚きです。私達が

食べている福島県産品はきちんと検査をしてもらっており、線量をはかっても全然問題はありません。けれども、そうしたデータとは別の感情で支配されている人たちがかなりいることに、びっくりしています。検査で「安全」は担保されているけれども、「安心」の尺度は人によって違うということが浮き彫りとなり、風評払拭に向けた障壁になっていると言う事を改めて実感しました。

滝 三菱総研が去年の秋に東京の首都圏の人を対象にして行ったアンケートがあります。これを見ると、福島県産食品を自分が食べる場合に、「放射線が気になるからためらう」が26%、「家族・子供が食べる場合ためらう」方が35%いる。この数値は、先ほどの農水省や消費者庁の調査に比べると明らかに高い。3割位の人が避けているということにショックを受けた人が多いと思います。

この問題のフェーズは少しずつ変わってきました。福島県の人に福島県産のものは安心だから食べてほしいという話は2011年以降、いろいろな方の努力によってかなり解消された。もちろん頑な方はいらっしゃるけれども、多くの福島県の方は、福島県産品に対してそんなに抵抗感を持っていないという話をよく聞きます。問題は、福島県外の方々が割と強い抵抗感を持っていることですが、その数値が1,2割だと福島県内と余り変わらないのですが、3割となるとこれは問題だと思います。

関谷 私は2013年から1万件規模の調査を継続しているのですが、2017年の調査結果だと、福島県内で福島県産を積極的に選んで購入しているというのが2割、嫌だという人は1割、あとはどちらでもという方です。県外では、福島県産を選んで積極的に購入しているというのは少ないけれども、福島県産を積極的に避けているという人も2割ぐらいおられる。

滝 そんなに変わらないのですか。

関谷 震災直後は福島県も県外もともに3割ぐらいだった拒否層の割合は、福島県内では2割低下し、福島県外では1割低下しています。どちらも下がってきていますが、県内ではその下がり方は大きいです。これは、検査体制、検査結果、出荷制限などが理解されていることが大きいという結果がでています。

西本 20,30代の赤ちゃんを育てている若い世代と、40,50代でもう子育てが終わった世代では、考え方は違うと思います。これが被災した地域の実情です。

関谷 実は年代や性差でそれほど大きな差はありません。むしろ、そういうイメージが広がっているだけだと思います。ただ、地域差は少しあり、東京や北海道、大阪、京都では少し過敏にでる傾向があります。

滝 そうすると風評被害で何が問題かという話は、実態的に消費者の方がそんなに忌避もしていないのに、流通業者の方々が付度して棚に並べないということが起きているということと、そういうイメージをつくってしまっている社会の仕組み、それはメディアも関係す



るのかという話になるのでしょうか。

澤田 今、北海道と関西が忌避する率が少し高いと言われましたが。そのメカニズムや背景はわかっているのでしょうか。

関谷 ローカル紙は、自分たちの都道府県に関係した範囲の福島第一原子力発電所事故を記事として扱おうとする傾向があります。結果的に、その地域で起こる裁判や、福島県から避難をされている方々がどうい生活をしているかについて焦点をあてた報道が多くなります。そのことが、福島県の状況が変わっていないというふうなイメージをつくっている一因でもあるのかもしれませんが。

### 「福島のイメージが事故時のままで止まっている」

西本 自主避難した人たちの中には、福島に一度も戻ってこない人が多いです。そうすると、今の線量がどの程度まで低くなったのか、今の私たちがどんな生活をしているのかが伝わらない。その人たちにとって福島は、被災して出ていった当時のままのイメージでとらえられているのかもしれませんが。

私たちは福島の中高生をベラルーシに訪問してもらうプロジェクトを実施したのですが、これに対して自主避難した人たちのグループから非難を受けました。「子供が住めないようなところに行かせていいのか」と。

でも、ベラルーシも私のところも、放射線量は十分低い水準です。もう東京とほとんど変わらない。そういうことをわかろうとしてくれない人たちがたくさんいて、そのことにだけ焦点を当てて報道される一部のメディアの方がおられます。

滝 とはいえ、現実問題として怖いと思っている人、不安に思っている人が現実にいる。それは科学的に見たら間違いかもしれないけれども、そう思っている人がいるということで、そういうことを発言すること自体をとめてはいけないと思います。メディアがある、あおらないという問題はありますが、そういう立場の人たちが社会に対して自分たちの不安を訴える、それ自体は否定されることではありません。

澤田 井内さんはこの3年間、毎年川内村に40人ほど連れて現地の人と交流していますね。始めたきっかけは何でしょう。

井内 私は、3人の息子たちが幼かったころは、理屈抜きで少しでも危ないかもしれないと思ったものは買いませんでした。例えばO-157の食中毒が起こった時のカイワレダイコンがそうです。BSEの時も輸入牛肉を避けて国産牛を食べるなど、今にして思えば過剰反応していました。それを考えると、放射性物質は微量でも避けるというお母さんの気持ちはわからないでもありません。けれども、震災の1F事故の際はそこまで過剰反応

することはありませんでした。その理由の一つは、息子たちが中学・高校生以上の年齢になっていたからかもしれません。乳幼児を守るほど過敏にはなりませんでした。

澤田 そのような井内さんの心情はよくわかりますよ。

井内 もう一つの理由は、当時、再就職して新聞社に勤めていたことです。自分が担当する紙面を含め、新聞の記事というものは、人間である記者に限られた時間の中で書いているものだという実感がありました。私自身は福島取材する機会はありませんでしたが、個人的に関心を持って参加してみたシンポジウムなどで、「震災直後の混乱の中、原発事故の影響がどうなのか正確な情報がなく、どうしたらいいのかわからなかった」と訴える福島の方々の声を聴くにつけ、新聞やテレビの報道ぶりについて確信が持てずにいました。今どんな感じなのか、とにかく実際に見てみたいと思い、ようやく福島に行けたのは新聞社を辞めてからで、震災から5年も経っていました。

浪江町や双葉町など、浜通りの誰も住んでいない町を目の当たりにして衝撃を受ける一方、放射線量は東京とそんなに変わらないところも多いことがわかりました。また、沿岸部から一步入った川内村のように早くから帰村を進めていたところでは、普通に人が暮らしておられる。近いエリアでもずいぶん様子が違うことを自分の肌で感じ、少しだけですが村の人たちの話も聴きました。

それがきっかけでいつのまにかバスツアーをオーガナイズすることになりました。その中で、私と同じように、今の福島がどうなっているのか、自分の目で見てみたいと思っている人が結構いることを感じています。

澤田 そのバスツアーは、どこからも補助なしでやっているのですね。参加費は。

井内 バス代と昼食費込みで1万5,000円です。

澤田 福島第一原発事故が引き起こした事態に対してかなり批判的な思いをもつ人も数は少ないけれども参加されていると聞きましたが。

井内 いろいろな方が参加されます。ただ、ツアー自体に否定的な人からは、「自分が取材に行くのはいいけれど、なぜ、大型バスで大勢の人たちを連れて行って被ばくさせるのか」と非難されたこともあります。また、「私は可能な限り福島、茨城等の野菜等は避けるようにしています。魚類も日本海側、もしくは九州地方のものにしております」というメールをいただいたこともあり、その方は「福島は今も線量が高いという報告をされている人の話を信じているし、政府や東電のことは信じていない」というご意見でした。ほかにも、「放射線に関する日本の基準値は世界でも緩い方なんでしょう？」と間違ったことを言っている人もいます。メディアの情報が伝わらなかったり、信用しなかったりする層が一定程度

あると思います。

## 福島県産米は全袋検査し、安全が確認されている

小島 それは添加物でも遺伝子組み換えでもみんな同じです。アンケートで聞くと、遺伝子組み換えについては6~7割が不安ですと答えます。でも遺伝子組み換え作物は、ふつうに流通しており、風評被害はとりたてて発生していません。食品添加物もそうです。けれどもなぜ福島だけに、風評被害が起こるのか。放射能は不安ですとか、避けますかという質問に対して必ず、拒否する人が10から20%います。だから、これは変わらないという前提で、あと7割、8割の人が買うということで市場メカニズムは成り立つと思います。オーガニックしか買わないという少数派の人が世の中にいるのと同じです。

関谷 福島県民は、今でも、放射線に対する不安が高く、他のあらゆる県と比べても高いです。けれども全量全袋検査などを行っているから、福島県産なら大丈夫だと思って買っているということです。福島県民の場合は、検査体制、検査結果がわかっているから福島県産品を買うようになってきたという経緯があります。ただ、全量全袋検査を行っていることを、福島県民だと8割近くの人が知っているのですが、それ以外だと4割ぐらいしか知りません。

西本 私たち地元では、連日、テレビのニュースをはじめ、あらゆる場所に設置されたモニタリングポストなどで、今の空間線量率がどれぐらいか表示されています。だから、ここでとれたものを食べても安全かということがわかっている。放射線に対する不安はあるけれども、それは福島県産品に対する不安ではありません。逆に十分な情報があるから、そこに安心感を覚えます。

澤田 政府や自治体や専門家が放射線の影響についてさまざまな情報提供をしているので、その結果として放射線に対するリテラシーが高まっているということでしょうか。あるいは単に「慣れた」という面もあるのでしょうか。さらに、帰還した人たちはある意味腹を決めているわけだから、であるからこそ地元産のものをむしろ食べるという心意気があるのではないですか。

西本 まあ、ないとは言えないですね。

関谷 私の調査研究の分析結果では、福島県産の購買に影響を与えているのは、放射線についての知識ではなく、出荷制限、検査体制、検査結果の認知度という「事実」の認知です。今の検査体制がどうなっているか、検査結果として問題ないか。また、もしも万一、基準を超えたものが出たとしても出荷制限される。この検査体制や制度に関する事実の認知が、食品購入に関して不安が薄らいできた要因です。それは2014年ぐらいの調査から一貫して変化がありません。放射線の知識の多寡とい

うより、きちんと全量全袋検査をやっているという事実を知っていることが大きい。逆にいうと、福島県民以外は、検査体制、検査結果、出荷制限などについて知らない人が多く、それが県外において購入が回復していない原因だと思います。

西本 同感です。私たちはきちんと検査をやっているから安心だという認識がある。ただ原発事故から7年が経過し、特に福島県外に情報発信ツールを持つマスコミが検査態勢や検査結果を全国に力強く発信する機会が少なくなって不安を感じています。一方で、もう放射線が出なくなったから米の検査を打ち切ろうという動きがあります。検査を打ち切ると私たちはまた、不安になります。ベラルーシでは事故から三十何年たった今も、線量検査を続けています。私たちの福島県でも、廃炉は何十年もかかる。戻っている人はリスクを承知して戻っているのだから、その人たちの安心のためにはやるべきだと思います。

滝 きちんとした検査体制があることが、県外の人に知られていない。それが、県外の人が福島県産を忌避する大きな理由だということはおわかります。だからといって全袋検査などをしっかりやっていますということを知りたとしても、福島県産品を嫌だという人たちが「わかりました」となるかどうかは、疑問です。

井内 県外の人の中には、バスツアーで福島に行つて初めて、大丈夫だということがわかったという人もいます。今でも福島は空間線量が東京より高く、危ないのではないかというイメージを持っている人が多いです。テレビや新聞で復興関連のニュースを見聞きしても、どのぐらいなのかという感覚がわからず、とりあえず福島の食品は避けておこうという人もいます。私自身は、そこまで福島の食品に対する抵抗感はありませんでしたが、実際に福島に行くようになって現地の山菜などを美味しく食べて以来、都内のスーパーで売られている福島県産の野菜をますます買うようになりました。

佐田 自主避難した人たちの中には、やはり避難したことに対するある種の「負い目」や、あるいは「小さな後悔」をもっている人もいます。避難先で何とか生活の地盤を固めるためにとても努力をした上で暮らしを何とか安定化させた人もいます。そのような人にとっては避難したことを正当化したがる態度がでることがあります。これは自己の行動に一貫性を求めるものです。しかし、避難したことに対する後悔の念がある場合、心理学でいう「認知的不協和」が起こり、その不協和を低減するため、自分がとった行動が正しいと思うために、福島は危険なんだというイメージの情報により接触することで、自分の行動を正当化しようとする場合があります。一部のメディアは今でも、福島は危ないというメッセージを発し続けていますが、一方でそのような情報を望む人がいる。そこには一つの共依存関係がある。それ

は耳目を引く話だから、ニュースにもなりやすい。けれども安全だという話は耳目をひくものではないため、ニュースにはなりにくい。

西本 福島に住む私のフェイスブックには、「おまえが笑顔でそこに住んでいられると俺たちは困るんだ」という書き込みがあります。それは私に対する風評被害ですね。「そこでおまえが笑って家族とともに高校生たちと活動されては困るんだ」ということなんですよ。

佐田 悲しい話です。

滝 ただ、これは誰が悪いと犯人探しをすることは、かえってこの問題をこじらせるだけだと思います。これを言い出すと、自主避難者と福島へ帰っている人による責任のなすりつけ合いみたいになるわけで、そのようなことは避けたいと思います。

澤田 これはある意味で、どちらも被害者なんですよ。さて、福島での甲状腺健康調査の問題ですが、これについては専門家の回答に対し、どうしても納得できないという人がいる。一方で専門家も必ずしも一枚岩ではなく、対立軸がある。だから、本当のところはわからない。そしてもっとも問題だと思われるのは、健康調査を受けている本人や家族に調査の意義や調査結果が何を示しているのかがあまり伝わっていない。

井内 低線量被ばくの話ですか。

澤田 はい。だから、政府系のボードに入っているような学者は、UNSCEAR という国連の科学委員会が何年かおきに出している報告、つまり今のところ低線量被ばくの影響が甲状腺の異常の増加をもたらしていないということを言い続けています。けれども、そうとは見えない一部のファクトもあり、それに誰も光を当ててくれない。これが、例えば自主避難している市民派の人たちも、不安を感じる要因となっている。

滝 UNSCEAR もただし書きがついています。つまり、一般的には有意ながんの増加をもたらすものではないと言っているけれども、甲状腺がんについては高い被ばくがあったかもしれないので、それについてはまだわからないと言っていると思います。日本で UNSCEAR のことを引用して大丈夫だと言っている学者の方は、そのただし書きの部分は言わないことが多い。しかし、その引用の仕方に少し一方的なものもあって、そこには一つの対立軸を生んでいると思います。

正確に言えば、どこでどれぐらいの被ばくが本当にあったのかはわからないというのが実態です。確かに、その量は少ないと推測できます。とはいえ、小児の甲状腺がんが多数出ているのは事実です。そのことがどう説明できるかについては、本当に説明できているのでしょうか。本当にスクリーニング効果だけだったと言えるのか。それを裏付ける証拠もあるのでしょうか。完全には埋め切れていない。

## 100 ベクレルの基準値は暫定的な流通規制値だった

関谷 食品の問題は安全性の問題ではなくて、初期の拒否感が固定化して残っているという問題であり、ロジックは別物だと思います。

澤田 一般食品の基準値が100 ベクレル/kg という、世界一厳しい基準が決まったのは当時の小宮山洋子厚労大臣の時ですが、当時の経緯の説明を小島さんをお願いします。

小島 事故直後に食品安全委員会が基準値の根拠を議論しており、当時は1年間の累積被ばくの目安を5mSvでも危険とは言えないという案も出ていたのですが、当時の小宮山大臣が先手を打って年間1mSvをもとに計算すると発言したので、それに沿って計算した結果、基準値が国民の安心のためという理由で100 ベクレルとなりました。

澤田 小宮山さんはなぜ、そのような発言をされたのですか。

小島 それは当時の、基準値を厳しくしてほしいという空気と政治的信念にもとづくものだと思います。当時は民主党政権だったので、そこには民主党支持層への政治的な配慮もあったと思います。けれどもこの基準値に対しては、文科省も放射線審議会も強く反対しました。けれども結局、押し切られました。

澤田 とはいえ100 ベクレルにすること——つまり諸外国の500 ベクレルあるいはそれ以上という基準に比べて厳しくしたことで安心感が醸成されたのでしょうか。

小島 それは人によって感じ方は違うと思います。でも、結果的には100 ベクレルを超えたら危ないというふうにとる人のほうが圧倒的に多い。一方でEUでの基準値は一般食品は1,250 ベクレルです。そのことを含めて、日本が世界で一番厳しいということを当時の記者会見でもしっかりと伝えてくれればよかったんですが、そういうことは言わなかった。だから、結果的には100 ベクレルを超えたら危ないというふうになり、安心よりもむしろ危険をあおった面のほうが多かったのではないかと考えています。

井内 一般の人たちは、年間1mSvを超えたら何となく危ないのではないかという感覚だと思います。私は、年間100mSv以下の被ばくでは発がんリスクに統計的に有意な差は認められないと聞いているのですが、違いますか？

滝 そこには確定的影響と確率的影響が関わります。確定的影響だと、同じ線量を多数の人が被ばくした時、全体の1%の人に症状が現れる「しきい線量」があるとするもので、それは100mSvよりもっと高いところになります。確率的影響だと、一定の線量以下だと喫煙などの他の要因が影響して放射線の影響が見えなくなるもの

の、わずかの線量でも影響があると仮定し、放射線防護の基準を定めています。だからそこでは「しきい線量」はありません。実体的な話とは別に、考え方としてはどんなにわずかな線量でも一応リスクはあるという前提で防護が考えられています。

井内 それだと、どんなにわずかな線量でも嫌だという人はなくならないということになりますね。

## リスクを過度に避ければ、別のリスクを被る

滝 これはリスクのトレードオフの問題になります。1mSvまで下げる生活を選べば、いろんなものが食べられないとか、どこかへ引っ越さなければならないという制限が課せられます。避けることで新たに生じるリスクと、避けないことによるリスクのどちらを許容するかということだと思います。

西本 そのことを、震災直後の時にもきちんと私達住民にも伝えてほしかったです。そういう情報は全く伝わらなかった。だから、その当時の厚生大臣の小宮山さんが決めた1mSvで、その下が安全だと単純に思い込んでいました。放射線のリスクだけをとても小さいレベルまで下げていけば、それとは別のリスクが生じるということ伝えてほしかった。

事故があって、いきなり1mSvという基準を示されたら、これが安全なラインだと信じるしかなかった。そのときに、今のような話を知っていれば、風評被害や放射線量で心を痛めてる人がもう少し少なくてすんだかもしれません。

関谷 事故が起きた直後に厳しめの設定をするということ自体は、間違っていないと思います。ただ、それから時間がたって、含有放射線量が、ほぼ検出限界以下になり、実態が変化しているにもかかわらず、基準が何も変わっていないということが問題だと思います。

小島 厚生労働省は当初、100ベクレルという基準値を定めた時に、この数値は流通させるさせないの基準であり、欧米では1,000~1,250ベクレルの基準です。健康への影響は100ベクレルを超えたかどうかとは関係がありませんと明確に説明すべきでした。例えば50ベクレルのものでも2つ食べたなら100ベクレルになりますから。100ベクレルは1キログラムの食品を食べた時であり、700キログラムを食べたときによく7万ベクレルになり、それが1mSvにほぼ相当するわけですから、ほとんどの日本人はそんな汚染された食品を食べていないのです。1日の食事から摂取している放射性セシウムは日本生協連の調査では過去3年間とも1ベクレル以下です。だから、少しぐらい食べても大丈夫という意味で、ヨーロッパはキロあたり1,250ベクレルが基準値になっているということを最初に言っていたら、その後は全然違っていったと思います。だから専門家はその都度、

メディアに的確な情報を定期的に出していくというのが大事なことだと思います。

滝 当初の理解は不十分だったかもしれない。けれども緊急避難的にいろいろなことを決めなければならない時に、厳し目の数字を決めることは悪いことではない。理解が足りなかったからといって、責められる問題でもない。とはいえ、事態が落ち着いて、当時の実態と合わないということになれば、変えればいい話です。むしろ、今問題になっている風評はイメージの問題であって、100ベクレルを超えているという話ではありません。

関谷 現実には、100ベクレルではなく、例えば魚ではもっと低い25ベクレルを精密検査に回す基準にしています。もちろん実際、流通しているものは十分低いから問題ないのですが、基準はより低い値を志向する傾向があります。

井内 基準を厳しくしていくことは風評被害を払拭するのにプラスに働くのですか。

関谷 実際には検出限界値以下だから、現実的には問題はありません。基準の話よりむしろ実態の話のほうが大事だと思います。

小島 ということは、政府がいまの100ベクレルを50ベクレルにしますと言った方がよい、その方がみんなの安心につながるということでしょうか。

滝 基準は科学的なものだから、その値は専門家が決めればよい。しかし実態的にはそれをはるかに下回らないときっと売れないだろうし、下回ることによって安心を得ているんだったら、それで問題がない。なので今、100ベクレルを議論する意味はそれほどなくなっている。確かに科学的に見ればおかしい点があるし、いずれその基準を修正するときに来るのでしょうか、それは今の風評の話とは乖離がある話だと思います。

西本 ベラルーシでは小学校1年から高校3年まで、週1回放射線の教育をしています。それも与えられた受け身の授業ではなくて、自分の家の畑にあったものを持ってきて、子供たちが放射線線量を測っている。これはふつうの広報より、はるかにみんなが安心するのに効果があります。日本でもこのようなやり方ができると思いますが、日本では残念ながら今でも、放射線教育がわずかな時間しかない。今、浜通りの中・高校生にはとても必要な教育だと思います。

井内 少し話題を変えますが、私が企画しているバスツアーでは、現地で地元のものを食べます。5月に開催しているので、ちょうど山菜の季節です。野菜や米や肉は福島県産のものが市場に出回っていますが、山菜については県内の多くの市町村で出荷制限がかかっています。しかも、行政のホームページには、「出荷が制限されている市町村において採取された山菜については、自家消費についても控えるように」という注意書きがありますが、地元では自主判断で召し上がっている方が多いで

す。

西本 かつて小泉進次郎さんが福島にきて桃を食べた後には、桃の売れ行きがよかったです。

井内 県外の人たちが福島に行って地元の山菜料理を食べて美味しいと感じ、それを SNS 等で発信したら、福島県のイメージがアップすると思います。普通の人の実感として、地元の山菜が大丈夫であれば、県外で流通している米や野菜にはさらに問題がないと思えるのではないのでしょうか。その意味で、山菜のように年に数回しか食べないものについては、逆にもう少し基準値を緩くしてもらい、普通に食べられるようになるというなと思っています。

西本 その線量を変える人は誰ですか。その責任の一番は私は私達が選んだ国会議員の人達だと思います。

小島 厚労省が諮問すれば食品安全委員会で議論できます。

澤田 ベクレル数で示される基準値と風評被害は関係があるのですか。

関谷 ないと思います。

澤田 ではこのいわゆる“100 ベクレル/kg”というのは、一体何のために出てきたのか。規制のためだけのもの？少なくとも人々の安心感の醸成には役立っていないと理解できますが。

西本 そうすると、数字の安心感は行政が求めている、私たちは数字じゃない安心感を求めている。

## 1F 報道の継続が、風評を長続きさせている

佐田 実態上は、基準を今変えなければいけないという必然性はそんなにない。基本的には一般の人々は、品質が相応であれば基本的には安いものを買うというのが通常ですから。ただし例外的に、例えば少し高いお金を出してもいいから無農薬や有機栽培のものを買うという層がある。これはプラスのイメージに対してのものになります。逆にマイナスのイメージとして、遺伝子組み換え食品や福島県産品を避けるという層も一定程度いる。これらの層はわりに固定化しており、そういう人たちの意識はなかなか変わらない。むしろ、それを前提にして、流通段階ではしっかりと検査をする、それでも価格が戻らないのであれば、原賠法などの経済的なしくみでその損失を補填するということだと思います。

一方で、少しずつ薄れているとはいえ、今も風評被害が残りに残っている要因というのは、1F の廃炉が継続しているためだと思います。新聞が福島のことを報道する場合には、今でも 1F の話題が圧倒的に多い。1F では汚染水が発生しトリチウム処理水として保管し続けているという話題は、福島イメージダウンにつながる。その上、今も数万人の人たちが強制避難を余儀なくさせられているのも事実です。それが風評被害を長続きさせてい

る最大の要因ではないでしょうか。

滝 事故から 7 年たつと、福島の記事は食品の安全性や全袋検査のことはほとんど触れられなくなり、1F の廃炉や汚染水の話ばかりになる。そうすると一般の人のイメージは、それに引きずられ、食品を選ぶときに福島産をためらわせる理由になっている、なり続けるだろうという懸念があるということですね。だからといって福島の記事を書かないわけに我々はいかないので、できることとすれば、それは全袋検査の話を書き繰り返すかどうかなという話になります。

澤田 そういう実態が知られていないということですね。帰還状況も町や村によって随分違う。西本さんがお住まいのところは 8 割以上帰っておられるけど、帰還できることになったのにほとんど戻らない町の記事が報じられると、1F の廃炉と同じようなイメージになる。どちらも全然進んでいないというイメージです。

西本 1F の報道ばかりされると、全国の人たちはまだそういう不安なところかなと見るのは確かでしょう。けれども実際住んでいる人たちはどんな日々の生活をしていますという補足がしっかりととられればと思います。とはいえ、そんな話マスコミにはおもしろくも何ともないかもしれません。ともあれ、風評の問題自体が、1F 事故によって引き起こされたわけだから、そこをもっと掘り下げてほしい。

## トリチウム処理水をどうするのか

澤田 今、問題になっているのはトリチウム処理水で、それが海洋に放出できない。汚染水ほどではないがやはりトリチウムが含まれているサブドレンからの水は、管理放出されています。トリチウム水放出の問題は、風評被害になると漁業関係者は思っておられるのでしょうか。そこにはどんな手続上の問題、あるいは何が障壁になっているのでしょうか。

関谷 トリチウムの安全性がどこまでわかっているかという問題と、トリチウム水の放出によって社会的影響、経済的影響がどれくらいあるのか、要は魚が売れなくなるのではないかと懸念の問題とがあります。その懸念が全くなければ、問題ないと思います。しかし、その懸念がある以上、解決策がない限りは実現は難しいと思います。

澤田 日本を含め世界の原発では昔から、トリチウム水を流しています。今述べたサブドレン水は、1F の現場に造られた凍土壁の内側に多数の井戸を掘っていてそこから吸い上げた水なのですね。これは管理して海に流している。管理というのは主にサブドレン水に混じっているセシウムやトリチウムの管理です。トリチウムは国際基準よりも厳しい値以下に希釈して海に流しているのです。このサブドレン水もいわば壊れた炉心に浸かっ

ている水です。

けれども、1Fの汚染タンクにたまっただけは、特別な扱い、ラベルがついている。“溶け落ちた炉心を通り過ぎてきた”というラベルです。そういう考え方でよいでしょうか。つまり事故のネガティブイメージを色濃く背負っているということですか。

関谷 そうでしょう。そのほかにこの問題に関しては、海外への影響がすごく大きいと考えられます。福島県内の農産物や海産物に不安を感じている海外の人は我々の調査結果をみてもかなり多い。海産物は特にです。福島は今も、人も住めない、飲み水も飲めないような状況だと誤解している人たちが多く。それは福島が、震災直後のイメージで止まっていて、かつ毎年3月にしか報道されず、しかも1Fサイトの状況しか報道されないからだと思います。だから、仮にトリチウム水を放出することになったら、海外からの反響が大きいと思います。それらの経済的な影響の問題が解決されないままに放出するというのは、とてもリスク大だと思います。

滝 それは福島県産の水産物に限らず、東日本全体の水産物に対して影響がでる可能性があるということですか。

関谷 そうです。台湾や韓国では東日本産の海産物に不安感が高い。自国の海産物についても放射性物質に汚染されているのではないかと不安がある。魚は回遊しており、海はつながっているからというのが理由だと思います。その不安感が、今も上書きがされないまま、事故直後のイメージが残っているのだと思います。

小島 青森の再処理施設では同じようなものを、前から流し続けています。震災前は1Fでも、海に流していました。

澤田 1Fに限らず、どの原子力発電所からも日常的にトリチウムは放出されてきています。そもそも地球環境には宇宙線などの影響で日々大量のトリチウムが発生している。

滝 これは100ベクレルを決めた時の後悔の問題と同じです。トリチウム水の問題はまさにその後悔を繰り返さないかというのがポイントで、どういう排出基準を決めて、どういう手順で流していくか、どういうふうに説明するか。これらを後悔がないように、政府であれ東電であれメディアであれ、それをきちんと勉強し論理を構築した上で、こう決めたいということを内外に説明しないと、後悔の繰り返しになりますね。

井内 ほかの原発や再処理施設でもトリチウム処理水を流しているということ、一般の人があまり知りません。その周知と併せて、1Fで一定の処理をしてトリチウム処理水を流す方向に持っていかないと、どんどん増え続けるタンクがどうしようもないではありませんか。

西本 住民があまり知らない。

小島 いや、地元住民の中でも知っている人はかなりいます。ただ地元住民が承認したとしても、この問題は海外メディアも含め、メディアと世論がどう判断するかで様相は大きく変わっていくので、まさに政治的な力学に左右されるのではないかと思います。

佐田 国内外の基準の相場に合わせて、いずれ放出するという選択肢もありますが、その量がすでにかなり膨大になっています。一方でトリチウムは半減期が12年ですから、放っておけばだんだん放射能のレベルが落ちるということもあります。

関谷 トリチウム水を、排出基準に合わせて流すかどうかという議論は政府ではまだ、一切されていません。

西本 汚染水タンクがどんどんふえていくのに、どうするかということ私たちは知りたいのだけれども、国も東電も大切な事には何も答えてくれない。7年を過ぎた今でもです。残念です。

澤田 そこには安全神話と同じ構造が見えますね。臭いものには蓋をしておけという無責任の構造です。

関谷 漁協や漁連の人たちにも、公式には意見は求められていないと聞いています。トリチウム水やその処理について詳細な説明がなされていない。

滝 今年の夏に、住民を対象にした説明会をやるという報道がありました。

佐田 東電は今、トリチウム処理水を保管するタンクを1週間に3基つくっています。そのうちの2基はかつてのフランジ型を溶接型にリニューアルするもので、残りの1基が、新たに出てくるトリチウム処理水のためのものです。このタンク1基の価格が300万円なら、トリチウム処理水を放出しないことで年間1億5,000万円の経費が追加的にかかっている計算になります。だから、この金額は、もし放出する際には、経済的な損失補填の原資となります。

関谷 とはいえ、放出が漁業に対してどれだけの被害が起こるか、社会的なコストはどの程度かということを検討しないと、議論できないと思います。

## 石棺を含め、必要な議論を避けることが不信を招く

澤田 少しまとめます。100ベクレルの基準値を定める時に、きちんと広報活動や背景説明をやっていたらよかったということがまず、一点あります。しかし、これは今のトリチウム水の問題も、同じ轍をふんでいないでしょうか。アカデミアとして何をすべきでしょうか。

佐田 水俣病の時に沿岸海洋の魚介類が有機水銀の影響を受けたのですが、水俣のみかんも風評被害を受けました。その時に農業関係者は水俣みかんを、現地のローカルな地名である日奈久ミカンと名前を変えました。しかし、福島ではそのような方策はとれません。

先日、陛下が相馬漁港を訪問された時に、宮内庁が海

産物を買ったという報道がありました。このようなこと  
がら、イメージの向上としては効果があると思いま  
す。

これは戦争の時に、将軍が最前線の人を慰問して士気  
を鼓舞することと似ていると思います。ふつうの人に  
一つのストーリー、物語を投げかける。そのストーリーと  
いうのは幻想でしかないのですが、それによってイメ  
ージが変わる。情報発信をきちんとやることももちろん大  
切ですが、そのような追加的な方策もあるのかもしれま  
せん。

少し話が戻りますが、福島事故直後の緊急時に、いろ  
いろなことが暫定的に決まりました。しかし、その暫定  
的な決定が時間がたっても見直されず、それが固定化し  
て弊害をもたらす可能性があることが三つあります。一  
つは基準です。それは食品に関することと、避難に関す  
るものです。二つ目はトリチウム処理水の放出の基準で  
す。三つ目は石棺の話です。これについては事故直後に  
当時の民主党政権が、1Fの炉心からデブリを取り出し  
てそれを福島県外に搬出するという方針を打ち出しまし  
た。その方針については今も、修正されていません。け  
れども、本当に炉心からデブリを取り出すことができる  
のか。さらに、取り出したデブリを県外に持っていくこ  
とは可能なのか。緊急時に決めたことを非難するつもり  
はありません。けれども時間の経過とともに、見直さな  
ければならないことは議論を始めるべきです。

なおトリチウム処理水の問題と食品の風評の問題は、  
根が同じだと思います。それらを含め、私たちが取り組  
まなければならない、いくつかの大きな課題があると思  
います。

井内 普通の人たちは、量にかかわらず漠然と放射線  
を怖がる傾向があり、それが風評被害にもつながって  
いると思います。学校教育でも「放射線の正しい怖がり方」  
をきちんと教えて、若い世代がもう少し冷静な相場観を  
持てるようになれば、世の中の風潮がいくらかは改善さ  
れるのではないのでしょうか。また、福島の米については  
全袋検査をやっており、放射線が検出限界以下である  
ということを今さらでももっと周知することが大切だと思  
います。

それから、私たちが福島にバスツアーで行ったとき  
に、普通に山菜が食べられるようにルールに変えてほし  
いと思います。一般食品の基準値については、元々それ  
が暫定的な流通規制値だったのであれば、一律に縛るの  
ではなく、自主判断でリスクを負ってでも食べたければ  
食べてよしというルールに緩めてほしいです。食べても  
大丈夫であるケースが積み重ねられれば、放射線をむや  
みに怖がるという風潮が少しは変わるのではないでしょ  
うか。そうしたことが、やがてはトリチウム処理水の問  
題解決にも結びつけばと期待します。

西本 1Fではトリチウム処理水のために近くの丘陵

が削られ、タンクがどんどん設置されています。けれど  
もこれから、その汚染水タンクをどうするのか。その回  
答を、地元に住んでいる私たちや漁連の人たちは一番知  
りたい事だと思っています。

私たちは高校生と20年間、さまざまな活動をしてき  
ており、今年も年間1,000人近くの大学生や高校生がハッ  
ピーロードネットを訪問し、桜の手入れや双葉郡の視察  
をしてくれています。彼らが実際に福島に来て、見て、  
肌で感じていって初めてわかること、地元の野菜を食  
べ、まだ人の住んでいない景色を見て、それらを含めた  
現地の風を肌で感じていくことでも、少しは変わるの  
かなと思います。だからこれからも、私はそういう機会を  
たくさん作りたいと思っています。

先週もハーバード大学の学生たちが来ましたが、彼ら  
はまだ、福島は震災後の混乱した状態だと思っていたと  
言っていました。そのような人たちにもきちんと伝えて  
いく。私たちがやるべきことは、それだと思います。ま  
た、原子力学会の方には、難しい言葉ではなくて、地域  
の住民にわかるようにきちんと話してほしい。最初のこ  
ろと比べて、その後でいろんなことがわかったことがあ  
ると聞きました。その中で伝えるべきことは、きちんと  
発信してほしい。それは専門家としての責任ではないか  
と思います。

滝 福島が状況がよくなったということと言うと、政  
府の原子力政策にくみしているという批判をうけること  
があります。他方でメディアはいまだに、科学的事実を  
無視して怖さを強調し過ぎであるとの見方もあります。  
そうしたお互いの非難合戦みたいな話がなくなればと思  
っています。

また、西本さんが、福島では普通に暮らしていると言  
われた。確かにそういう面もありますが、他方でまだ帰  
還すらできないエリアもあるし、フレコンパックの山も  
あります。それを見れば、まだ普通ではないということも  
事実です。その両面があるということ、それら全体がわ  
かるような報道が必要だし、そういう理解を広めるよう  
なことが一番必要だと私は思います。

もう一つ、政府と学会に対して言いたいのは、議論を  
抑制している。例えば石棺の話にしても、このまあいっ  
たら何とかしなければならないことがわかっているの  
に、その議論をしない。それは思考停止というか、ある  
意味で言論を縛っている部分があります。それが、今の  
政府や学会に対する不信のもとです。議論の必要性を  
知っているのに黙っている。もちろん議論をすることによ  
って混乱が生じるかもしれないけれども、それを恐れて  
思考停止になるのはやめてほしい。

西本 それは、正しい。

澤田 石棺の問題は根が深い。2016年夏ころ原子力  
損害賠償・廃炉等支援機構の山名元理事長がその可能性  
を表明した。ところがいわば袋叩きにあった形で封印さ

れてしまった。これは安全神話の形成のプロセスと同じです。それ以来、学者は右向け右状態です。

小島 メディアはある意味で、一般の人々に様々なことがらを伝える巨大なリスク・トランスレーターです。その記者たちに向けてもう一回、100ベクレルの基準値の意味はどういうものか、トリチウムとは何かなどということ、きちんと教える連続セミナーみたいなものを専門家集団がやったらどうでしょうか。国立がん研究センターはそういうことを今もやっています。がんに関して、例えば今、話題の放置療法のどこがおかしいかという議論までやっていました。そういう機会を設ければ、記者も勉強したいので来る。そこでの議論が政府の方針と対峙するようなことがあっても、物議を醸すことを恐れないでやってほしい。とにかく第一歩を踏み出すアクションが必要です。

関谷 人々には消費選択の自由や居住の自由があります。科学的に正しい、社会的に正しいという論理の押し付けでは、この問題は解決しないと思っています。福島県産を食べるべきだなどということではなく、検査体制や検査結果に関する最低限の事実と、現在は、安全が確保されるようになってきているという事実を周知することが重要です。人によって、そのことに納得する人もいれば、納得しない人もいますでしょう。福島県産を選択する人もいれば、しないひともいますでしょう。しかし、それは別にして、検査体制や検査結果などの事実、現状をまずはどれだけ理解してもらうかということが大事だと思っています。

海外に対しても、今の東京電力福島第一原子力発電所の現状はどうなっているのか。福島県内で皆さんはどういう暮らしをしているのか。これをまずわかってもらってからでないと、議論は進みようがない。

放射線教育については事故を経験した以上、それをしっかりとやっていくことは日本の、日本国民の義務だと思います。それは効果があるなしに関わらず、長期的、継続的にやるべき話で、それは風評の話とは別です。

また、「理科」と「社会」の話は異なります。例えばトリチウムが安全だからといって、それで社会が納得するかというと、簡単にはそうならない。セシウムの問題も同様です。だから、安全だからいいだろうということではなく、社会の論理にあてはめる必要があります。

この7年間で地元の人がどれだけ被害を受けてきたのか。例えば農産品など販路が変わってしまった、消費者が離れてしまった。観光だと小中学生の教育旅行などの動員数が事故前の水準まで戻らない。事故前の状態に、そんなに簡単に戻るものではない。復興を見据えながらも、事故から7年たったこの現実も、しっかりと見

ていく必要があると思います。

澤田 風評被害については相応のメカニズムがある。100ベクレルの基準値と風評被害のなかなか重いものがある。これからきちんとした情報提供をどうやっていくか。廃炉や石棺のことも含めて、原子力学会がやり続けていかなければいけない問題が共有できたのではないかと思います。

本日は長時間ありがとうございました。

(編集協力：斎藤 隆, 2018年6月18日 実施)



井内千穂 (いうち・ちほ)  
元ジャパントイムス編集者、フリージャーナリスト



小島正美 (こじま・まさみ)  
元毎日新聞編集委員、食生活ジャーナリストの会 代表幹事



関谷直也 (せきや・なおや)  
東京大学大学院情報学環 総合防災情報研究センター 准教授



滝 順一 (たき・じゅんいち)  
日本経済新聞 編集委員



西本由美子 (にしもと・ゆみこ)  
NPO ハッピーロードネット 理事長



佐田 務 (さた・つとむ)  
本誌



澤田哲生 (さわだ・てつお)  
司会 東京工業大学



## INTERVIEW

### 原発事故後の福島の米農家に学ぶ 「ありのまま」の光



福島市の米農家、加藤晃司さん・絵美さん夫妻に伺いました

聞き手 服部美咲

福島市西部に広がる果樹栽培地域で米農家を営む加藤晃司さん・絵美さん夫妻は、2009年に晃司さんの祖父母が営んできた米農家を継ぎ、(株)カトウファームを設立した。加藤夫妻は福島県が15年の歳月をかけて独自改良を重ねた「天のつぶ」を栽培し、それは県内に留まらず都内やインターネットなどでも好評を博している。「天のつぶ」は2011年に満を持して世に出たものの、東京電力福島第一原発事故の不運に見舞われた。今回は加藤絵美さんに、福島の米農家の原発事故後の日々と未来への希望を伺った。

#### 福島で米づくりを始めたきっかけ

服部 もともと福島県内でお勤めをされていた加藤さんご夫妻が、福島で米農家を継がれることを決めたきっかけは何だったのでしょうか。

加藤 1996年に夫の祖父母が米農家を始めました。「田んぼがあって、設備も機材も整っているけれど、人手だけがない。やってみないか」と夫に相談を受け、米農家を継ぐことを決めました。私は農業には縁もゆかりもなかったのですが、「福島の自然の中でのびのびと働けるんだろうな」という漠然としたイメージを持っていました。

初年度はお米の収量が予想を随分下回りました。米農

家では、米の収量はその年の収入を決めるので、「今後どうやって生活していけばいいんだろう」と途方に暮れました。その後、夫が栽培の勉強や試行錯誤を重ね、収量を徐々に上げていくことができましたが、お米がとれないって本当におそろしいことだと実感しました。

服部 日本の農家の平均的な耕地面積は2~3ha(1ha=10,000㎡)とされています。加藤さんご夫妻は、どれくらいの面積を耕作されているのでしょうか。

加藤 今年は約45haの作付けをしています。この地域(福島市西部)の土壌は水はけが良く、水田よりは桃などの果樹栽培に適しています。稲作に使う機械は買い替えにもメンテナンスにも費用がかかりますし、米づくり自体があまり儲かる仕事ではありませんので、わざわざ設備投資してまで米づくりを継がれる方は年々減ってき

ました。高齢になって私たちに田んぼを任せる方も増え、毎年4~5haずつ作付面積が広がっています。

原発事故の後は、土壌中の放射性セシウムが稲に吸収されるのを防ぐため、田おこし(濁いた状態の土を掘り起こして粉碎する工程)をした後に塩化カリウムを土に混ぜています。1袋20kgの塩化カリウムを10a(1a=1,000㎡)ごとに数袋ずつ撒きます。手作業ではとてもできませんので、原発事故の後に専用の機材を入れました。しかし、機械に塩化カリウムを積み込むのはやはり重労働です。

去年までは実質夫と2人で作業をしていたのですが、今年は1人従業員を雇いました。それに加えて、農繁期には近所の方々や、南相馬市からいらした方、会津の農家さんにも作業を手伝っていただいています。

## 福島米農家として、できるところまでやってみようと思った

加藤 私は福島生まれですが、特別に「福島が大好き」と思って育ったわけではありません。でも原発事故をきっかけに、福島県内のいろいろな地域の生産者の仲間たちと出会うことができました。それぞれ考え方も立場も違いますが、一歩引いて見渡したときに「福島の生産者が皆良くなっていくといいな」って思ったんです。そのために、福島の生産者仲間の誰かが突破口を開けたらいいなとも思います。

近日、ベトナムで福島の米を使ったおにぎりを売るというイベントを計画しています。「楽しいイベントにしよう」と思っていますが、同時に「何か辛いことを言われるかもしれない」という恐怖もあります。ポロポロに傷ついて落ち込んで帰ってくることになるかもしれません。それでも、もしかしたら福島に少しでも明るいニュースを持ち帰れるかもしれない。福島に少しでも明るいニュースが増えれば、今悩んでいる福島の生産者が「よし、農業を続けて行こう」と思えるきっかけが生まれるかもしれません。福島のお米が世界に流れてゆく足跡を、小さな1歩でもいいから残してこられたらいいとも思っています。

私は「自分ひとりだけの売り上げをあげたい」というよりは「福島の農業にとって良いことかどうか」と考えながら活動するようにしています。そのことにやりがいも感じます。もちろん、原発事故の際に「落ちるところまで落ちた」という感覚を体験したということによる影響もあると思います。

服部 原発事故直後の「落ちるところまで落ちた」という感覚は今でも覚えておられますか。

加藤 原発が爆発した瞬間のテレビの映像を今でも鮮明に覚えています。福島の住民として、農業者として、なにかもが終わったのかもしれないとすら思いました。

それでも「米農家としての私」と「福島の住民としての私」ができることを考えました。原発事故直後は福島で米づくりを続けられるかどうかはわからない状況でしたし、まずは福島の米の安全性ではなく、「福島の住民としての私」のありのままの日常を発信することにしました。自分の子どもたちが遊んでいる写真や普段の農作業の様子などをFacebookで発信して、福島に生活する私の何気ない日常風景を見てもらうことが第一段階だと思いました。

その後、「福島で農業を続けていい」という国の方針が決まりました。でも、それはあくまでも「米を栽培してもいい」というだけのことですから、世の中が受け入れてくれるかどうかまではわかりません。それでもなぜ米づくりをやめたくなかったのか、自分でもわかりません。ただ、やれるところまでやりたいとは思いました。今後万一国の方針が変わって「福島で米づくりをすることが違法行為だ」と言われるまでは、福島で米を作り続けよう。それが、私たち夫婦が長い時間話し合っ出した答えでした。何かの勝算や希望があったわけではありません。ただ私たちは福島の米農家として、粛々と米をつくり続けようと思ったんです。

## 精神的な風評被害の深刻さ

### —「福島で米をつくる私は悪者なの？」

服部 2012年から実施されている米の全量全袋検査でも、2015年以降は1度も放射性物質が基準値(100Bq/kg)を超えて検出されることはありません。それどころか99%以上は放射性物質不検出という状況が続いています。それにも関わらず、誤った情報や認識に基づく発言をされる方や、いまだに福島の米に対する不安を感じる方はおられるようです。

加藤さんご自身が、福島の米に対する放射線関連の不安や、いわゆる風評を感じる場面はありましたか。

加藤 ありました。ときには「福島で米を栽培すること自体が悪なのか」と考え込んでしまうこともありましたが。私は、福島の米農家であると同時に子どもを育てる母親でもあります。周りで自分の子どもたちと同じくらいの年齢のお子さんを育てているママ友が「福島のもは子どもに食べさせない」と言っている中で、私は自分で作った福島の米を子どもたちに食べさせているわけですから。それはとても辛いことでした。「福島の米は安全なんだ、福島で米づくりをしていることも、子どもに自分の作った米を食べさせていることも何ら悪いことではないんだ」と頭では理解していても、「私は母親として失格なんじゃないか」と考えてしまうことすらありました。3年間くらいは、ずっと苦しかったです。

原発事故から7年が経過して、「放射線は気にならない」という人に多く出会うようになりました。福島に好意的な興味を持ってくださる方が増えてきていることも

確かです。一方で、福島のものを食べることに不安を感じて拒まれる方にも、いまだ少なからず出会います。

今年の春、東京で「福島の米は食べても大丈夫なの？」と訊かれたことがありました。その方は、聞きなれない用語や数字をたくさん使って「福島の食べものは安全じゃない」という意味のことを語っておられたのですが、私はとっさに言い返すことができず、とても悲しい思いをしました。

原発事故の後、何度か放射線やその健康影響に関する勉強会に行き、私自身は安心することができました。しかし、日常の中で突然「福島の米は危険だ」と言われたときに、反射的に「福島の米は大丈夫です」と言える明確な数字や根拠を示すことまではできません。

農協に卸している農家さんや、私たちのように流通業者に卸している農家は、震災直後で米の絶対量が少なかったことも影響したのか、米の価格そのものは覚悟していたよりは落ち込みませんでした。個人間の取引をされていた果樹農家さんに比べると、米農家は経済的な風評被害よりもむしろ「精神的な風評被害」が深刻だったのではないかと私自身は感じています。

## 失敗してもいい。「やりたい気持ち」を大切にしたい

服部 加藤さんは、生産と販売だけではなく、県内外で積極的に風評払拭イベントに参加されるなど、福島の農林水産物そのものの情報発信にも力を入れていらっしゃいますね。

加藤 情報発信と共に、なるべくたくさんの人と出会って仲良くなる機会を作りたいと考えています。なんとなく福島の農林水産物を避けてこられた方がたまたまイベントにいらして、私たち福島の生産者と仲良くなったことをきっかけに「福島のもの食べてみようかな」と言っていただくこともよくあります。1度のイベントでお話できる人数は限られていますが「ああ、今1人に伝わったな」と感じる瞬間はとても嬉しいものです。その積み重ねが大切なのかもしれないとも思います。

こういった個人との出会いが私自身の売りに直結



するようなことはまずありません。ただ、人との信頼関係がつながることは、今日の前のお米が売れること以上に、福島のお米を未来につなげる作業でもあるんじゃないかなと思っています。

服部 「たまごかけごはん専用の天のつぶ」を販売されるなど、商品開発でも新たなチャレンジを次々となさっていますね。

加藤 「たまごかけごはん専用の天のつぶ」は、大阪で開催された福島の風評払拭イベントがきっかけとなって生まれました。イベントの壇上でロバート・キャンベルさんが「たまごかけごはん専用のお米があってもいいよね」と仰って、その場で鈴木正晃氏(福島県副知事)が「それはできそうですね」と応じられたのを聞いて、「これはチャンスだ」と思いました。万一失敗したとしても、チャンスがあったら何でもすぐにやってみようと思って活動していますので、このときもすぐに販売に向けて動きました。

服部 栽培や販促の工夫をされて、設備も整えて、未来に福島のお米をつないでいきたいという思いが伝わります。加藤さんご自身のお子さんたちに田んぼを継いでもらいたいという思いはありますか。

加藤 自分たちの子どもというよりも、やりたい気持ちさえあれば誰でも継げる可能性を作りたいと思っています。子どもが継がなくても、福島のお米はつないでいきたい。そのために法人化もしました。若い人が自分から何かをやりたいという気持ちを大切にしたいです。失敗してもいいから、やりたいことがあるならなんでもやってみた方がいい。私自身もそう思って米農家を継ぐことに賛成しましたし、米づくりも販売もしてきました。

## 人の心を解かすのは人の心であってほしい

服部 米づくりをしてきて、様々な面でご苦労の多いことと思います。それでも「米づくりをしていてよかった」と感じることはありますか。

加藤 農作業そのものよりは、「稲が育っている」という瞬間が一番嬉しいです。早朝に田んぼに入って「あっ、稲の花が咲いた」という瞬間は、言葉に尽くせないほど、自分の子どもみたいに愛しいです。

稲は、ある程度育つまでは雑草との戦いなんです。「これで稲が勝ったな」というときまで、とにかく毎日雑草を抑えなくてははいけません。稲が勝ったらもう大丈夫です。日々稲を見て、少しずつ「稲が勝ってきた」ということが見えると、安心します。

服部 「稲が雑草に勝ったらもう大丈夫」という感覚は、風評と安心との関係にも少し似ているように感じます。

加藤 確かにそうですね。風評払拭も、米づくりと似

たところがありますね。

服部 今後、福島農業が元気になるために必要なことはなんですか。

加藤 楽しそうに農業をしている生産者が増えることじゃないかなと思います。お米が売れて経済的に儲かることももちろんハッピーです。でもそれ以上に、県外から人が遊びに来てくれることや、「福島の農家ってなんだか楽しそうに生きているんだな」と思ってもらえることが、何よりも嬉しいと感じます。

私たち福島生産者が楽しそうに生活して作物を育てている姿を、少しでもたくさんの人に発信できれば、福島農業はもっと元気になるんじゃないかなと思います。福島で米づくりをしている人の暮らしを見たり活気を感じたりすることで、放射線を気にして福島のお米を固く避けていた人の気持ちがほどけていくことがあるかもしれません。

私は、人の心を解かすのは、最後は人の心であってほしいと願っています。そして、もしも人の心を解かすのが人の心のあたたかさや農業への熱意であるならば、福島農業は絶対に大丈夫です。

## 福島生産者のありのままの日常生活を知ろうとすること

服部 福島米農家として、今の思いや消費者へのメッセージを聞かせていただけますか。

加藤 私は「福島のものを食べない」という選択も尊重したいと思っています。たとえ福島のものを食べなくても、私たち福島生産者の生活や気持ちを少しでも知ろ

うとしてくださる方にも出会いました。その方は、福島ものは食べられないけれど、福島生産者の実態を知ろうとして、わざわざ海外から福島まで来てくださいました。福島ものは食べられなくても、「知ろうとする」というアクションを起こしてくださった方の存在に、私は未来への希望を感じました。

私たちは、ただ何も考えずみやみくもに原発事故の後の福島で農業を続けてきたわけではありません。原発事故がなければ出会わなかっただろう仲間ができましたし、そういう意味ではただ苦しいだけの日々ではありませんでしたが、楽しいだけの7年ではありませんでした。放射線についての勉強もしましたし、日々の苦労もたくさんありました。悔しい思いもした人もいるでしょうし、必死に発信しても伝わらないことへの怒りに飲み込まれてしまった人もいるかもしれません。福島農業者としての誇りを取り戻させてほしい。福島農業者であるという誇りを持ち続けたい。それが私の願いです。

まずは、福島農家として、そして福島で子どもたちを育てるひとりの母親として、「たくさん葛藤の中を揺れ動きながら今、ここに生きて、子どもを育てて、農業を営んでいる」というありのままの日常の姿を知ろうとしてもらえたら、とても嬉しいと思います。

(編集協力：佐田 務，2018年6月22日 実施)

服部美咲（はっとり・みさき）

フリーライター

慶応義塾大学卒。医学・工学系ライター。

# 福島の高評被害の現状と課題

## 流通対策から生産認証制度へ

福島大学 小山 良太

東日本大震災、東京電力福島第一原子力発電所事故から7年が経過した。福島県では、作付制限、農地の除染、カリウム散布による吸収抑制策など、生産面での対策を行った結果、栽培レベルで安全性を確保することが可能になっている。「入口」の段階で安全性を担保し、流通経路にのる「出口」段階でさらに全量全袋検査を行い、安全と安心を担保するという2段階の仕組みとなっているが、その取り組みが周知されておらず、事故直後のイメージのままの消費者が現在でも存在している。

**KEYWORDS:** Nuclear disaster, Radioactive contamination, Harmful rumor, Food safety, Inspection system, J-GAP, FUKUSHIMA, Risk communication,

### I. 震災8年目の福島

東日本大震災、東京電力福島第一原子力発電所事故から7年が経過した。震災翌年の2012年から6年間実施してきた福島県産米の全量全袋検査結果では3年連続基準値超えがゼロとなった。現在、年間60億円近い費用がかかるこの検査方式をいつまで続けるのか検討が始まっている。食品中放射性物質検査はモニタリング法に基づくサンプル検査が基本であるが、福島県のみ独自の「全量」検査を実施してきた。米は水田を利用する作物であり、2011年の事故初年度は様々な要素の影響を受け作物中の放射性物質濃度の分散が大きかったこととその要因が明らかになっていなかったため、全農地、全農家、全玄米を検査することとなった。水田の放射能汚染実態と収穫された米における放射性物質移行メカニズムが解明されていなかった米だけは特別の検査を実施してきたのである。

しかし、事故当時の農業用水の影響や土壌中カリウムの欠乏がセシウムの吸収を促すことなど様々な試験研究の成果が蓄積され、作付制限、農地の除染、カリウム散布(標準施肥量)による吸収抑制策など、生産面での対策が強化された。その結果、栽培レベルで安全性を確保することが可能になった。つまり、福島県産米は「入口」の段階で安全性を担保し、流通経路にのる「出口」段階でさ

らに全量全袋検査を行い、安全と安心を担保するという2段階の仕組みとなっているのである。本来、消費者、流通業者としては米に放射性物質が混入していないという安全性の担保を求めており、それは「入口」で確実に実施されるものである。その実効性をモニタリング検査(サンプル方式)で確認するのが安全性確保の考え方である。入口における生産段階での対策が確立していなかった当時、やむなく出口において全量全袋検査を実施し、検査漏れを防ぐ対策を施してきた。

生産面における放射能汚染対策が実施されている現在、流通段階における全量全袋という検査方式を見直すことは理にかなっている。問題は、生産面での対策が実施されていることが多くの流通業者、消費者に周知されていないことである。周知のための期間の確保と啓発の取り組みが必要である。

見直しという言葉だけが独り歩きをし、安全対策、検査体制が縮小されるかのような報道がなされないように注意する必要がある。消費者、生活者はこのような報道がなされた場合でも福島県産米の努力と対策の結果、入口段階で安全性を担保している事実を知っておく必要がある。

### II. 福島県における放射能汚染対策

東京電力福島第一原子力発電所事故からの7年間、福島県産農産物に関して、米は毎年約35万トン、1,000万袋を全量検査し、米以外の果樹、野菜、畜産物等は毎年2万検体を超えるモニタリング検査を実施してきた。その結果、山菜、きのこなど野生植物を除く作物では、放

*Current situation and problems of rumor damage caused by radioactivity in Fukushima* : Ryota Koyama.

(2018年6月25日 受理)

放射性物質の基準値を超えるものはなくなり、検出限界を超えるものもほぼみられなくなった。これは農地の除染、カリウムの施肥などの吸収抑制対策、移行係数の高い作物から作付転換、過去に放射性物質の検出された農地などにおける作付自粛など、結果として総合的な対策が福島県において自主的に実施されてきた成果である。

原発事故の直後から考えると、当時はどこにどれくらい放射性物質が存在するのかが不明なまま、既存の法律の下に作付制限や流通対策が施されたため対策漏れが生じ、基準値超えの農産物が出荷されてしまった。これが風評問題を拡大する結果となった。そこで2012年度より新しい放射能汚染対策として、農地の測定が行われ、空間線量については全地域、一部地域では農地内の放射性物質の含有量、さらには土壌成分の分析も行われるようになった。このような農地の測定事業をベースに、土壌中100g当たり25mgのカリウムが存在するとセシウムの吸収が抑制されるという研究成果<sup>1</sup>を反映した吸収抑制対策が行われるようになったのである。

また、米の全量全袋検査は、自給的農家も含め全農家の生産した米を全量全袋という単位で検査する取り組みであり、2012年度から5年間継続実施してきた。検査制度として適正かどうかに関しては様々な意見があるが、一定の成果があったと考えられる。流通面において、既存のモニタリング検査では流通業者や消費者に短時間で説明することが困難であった放射性物質検査の基準やモニタリング方法、統計的意味、放射能自体のリスクなどについて、全量を検査しているという一言で説明できる検査システムに転換したことにより、説明力が飛躍的に増加した。農協の販売担当者や県の担当課、農業者は放射性物質の専門家ではないため、事故後に修得した知識をもとに、検査のリスクと安全性を説明しなければならない状況であった。この問題を全量全袋検査という大がかりな制度設計によって克服したのである。

さらに生産面では圃場の管理や生産履歴、経営状況などデータベースが整備されるきっかけにもなり、現在福島県が推進しているGAP(Good Agricultural Practice: 食品安全、環境保全、労働安全等の持続可能性を確保するための農業生産工程管理の認証制度)対策の基盤になっているのである。

### III. 放射能汚染対策からGAP推進へ

この7年に及ぶ福島県における放射能汚染対策は、農家段階における生産管理の意識を高める結果となったといえる。兼業農家が8割を超え、高齢農家、自給的な農家が大宗を占める福島県農業において、生産管理を含む新しい農業のあり方を推進することは、通常時では困難

<sup>1</sup> 福島県・農林水産省、『放射性セシウム濃度の高い米が発生する要因とその対策について～要因解析調査と試験栽培等の結果の取りまとめ～』、2013年1月23日。

であったと思われる。放射能汚染対策は結果として、圃場、生産、加工、流通、消費という一連のフードシステムのなかで、生産物を管理、記録することを恒常化させる契機となっているのである。

問題は、米の全量全袋検査を含む放射能汚染対策がいつまで続くのかということ、対策費がなくなった後どのように検査体制を維持・転換するのかという点である。米の全量全袋検査は毎年約60億円の費用がかかり、うち賠償金が約50億円支払われている。福島県のコメの生産額は約750億円であり、1割弱にあたる経費がかかっていることになる。2018年度は検査開始から7年目を迎えるが、2014年度以降事実上基準値超えの米は検出されていない。安全性は確保されたのではないかと、これ以上費用をかけることは経済性にかけるとはならないかという意見が出されるようになってきている。原子力災害に関わる損害賠償や各種補助事業に関して、これを管轄する復興庁は震災から10年目の2020年には解散することが決まっている。そのため、おそらく放射性物質検査、放射能汚染対策の制度は大きく転換するのはないかと想定できる。

安全性の確保、時間の経過、財政的な問題から放射能汚染対策が転換・縮小した場合、これまで培ってきた全県的・全品目的な生産管理、安全性への意識などが後退してしまうのではないかと懸念される。

そこで福島県では放射能汚染対策を実施する上で培ってきた体制をGAP推進上に位置付けようとする取り組みが始まっている。

福島県におけるGAP推進は、生産者自らが、より良い農業の実践のため放射性物質対策や環境保全等の点検項目を定め、実践、点検、見直し改善を繰り返すことと定義し、認証に当たっては、それぞれの経営理念に合わせてグローバルGAP、JGAPなど各機関の認証を受けている。

特徴的なのは、FGAP(ふくしま県GAP)という、福島県が認証する新たな制度を設けたことである。これは、放射性物質対策も含めた農水省ガイドラインに準拠したGAPであり、認証機関は福島県となる。FGAPと他の認証GAPで求められる点検項目は異なるが、取り組むべき基本項目(食品安全、環境保全、労働安全、工程全般の基本的な部分)は同様であり、GAP推進という視点ではベースとなる取り組みである。JGAPやグローバルGAPには、生態系や人権、国際取引に関係する管理点(点検項目)が含まれるがFGAPの認証基準には含まれない。FGAP認証取得後、これらに追加的に取り組むことにより、他のGAP認証取得にスムーズにステップアップしていくことを想定している。

2020年の東京オリンピックでは、野球・ソフトボールの一部試合を福島県で開催することが決まっている。FGAPは農水省ガイドラインに準拠した公的認証GAP

であり、オリンピックの調達基準を満たしている。夏場の開催時に旬のモモなど県産の農産物を供給したいという思惑から、FGAPという導入的な認証制度を新設し、広く普及を図ろうという意図がある。FGAPの特長は、審査手数料を無料とし、認証までの期間を約3か月と定め、県内農業に詳しい審査員を配置することで適切かつ円滑な審査を担保する点である。農家がGAP認証上の課題と捉えている、費用、時間、説明に関する部分をサポートする形で設計した結果である。

#### IV. JA Fukushima 未来における GAP 推進

避難区域を除くと相対的に放射性物質の影響が大きかったのが、福島県中通り北部である。福島県東北のJA Fukushima 未来福島本部(前JA 新ふくしま管内)では田畑一つ一つを調べて、詳細な汚染マップをつくる「どじょうスクリーニング事業」を実施してきた。福島市内のすべての果樹園と水田を一枚一枚調査した。生産者にとって目の前の田畑の現状を知るには、測定して放射性汚染の実態を把握するしかない。測ったうえで、放射性物質の特徴や吸収抑制対策の効果を理解すれば、「なぜ自分の田畑から数値が出ないのか、なぜこの農産物からは放射性物質が検出されないのか」を実感できる。自らが「実感」できなければ消費者や流通業者に「説明」できない。この考え方は営農指導の基本である。

この事業には福島県生協連(日本生協連会員生協に応援要請)の職員・組合員も参加し、産消提携で全農地を対象に放射性物質含有量を測定して汚染状況をより細かな単位で明らかにする取り組みであった。延べ361人の生協陣営のボランティアが参加した。福島市内の水田・樹園地を対象に約10万地点の測定を行った。この取り組みが現在のGAP推進につながっているのである。

福島県は個別農家を中心にFGAPを含め各種認証を推進し、農協は生産部会など団体認証を中心にJGAPの認証に取り組んでいる。福島市、伊達市、相馬市、二本松市などを管内とするJA Fukushima 未来は2017年5月に水稲、もも、なし、果樹、きゅうり、野菜(そさい)の6分野のGAP協議会を立ち上げた。果樹GAP協議会には、りんご、ぶどう、おうとう、プラムが、野菜GAP協議会にいちご、ミニトマト、にらなど9品目が含まれているが、2020年オリンピックまでは、それぞれの品目ごとにJGAP認証を受けることを目指している。これは、一品目でも問題があった場合、部会内の全品目が認証取り消しとなってしまうというリスクを避けるためである。現在700人余りがJGAP取得の希望を出しており、250人規模での認証取得が想定されている。GAP取得に関しては、GAP取得のコンサルタントによる研修、営農指導員141名による認証希望農家への担当制の配置(1指導員1~2戸)が検討されている。

GAPの取得は有利販売のためだけに行うことではな

く、これまで培ってきた放射能汚染対策などネガティブチェックから食品安全、環境保全、労働安全等の持続可能性を確保するための生産工程管理の取組というポジティブチェックへと産地としての戦略を転換することであり、その工程の中に放射能対策も含むことで、損害賠償制度等に左右されず安全対策を継続していくという考え方である。

今回のJA Fukushima 未来のGAP対策に関して、コンサルタント契約料や審査手数料などは、福島県内の農林水産業再生総合事業としての復興特別会計47億円のうち、福島県が実施するGAP対策費3億円からの補助対象となっている。

JA Fukushima 未来は、2016年3月にJA 新ふくしま、JA 伊達みらい、JA みちのく安達、避難地域を含むJA そうまの4農協が合併して誕生したばかりの農協である。生産部会等の統一などは長期的な視野で進めることとなっていた。今回のGAP協議会は合併農協として新しい産地全体での取り組みでもあり、原発事故後の新たな産地形成という福島県農業に課せられた課題への取り組みの一環ともなっている。

#### V. 原子力災害基本法の必要性

原子力災害にともなう放射能汚染対策に関して、県普及員や農協営農指導員は、放射性物質検査や作付・出荷制限、営農再開事業など緊急時の対応に追われてきた。流通面では風評問題から市場における地位低下の常態化という構造的な問題にも直面している。このような中で、放射性物質は入ってません、なので安全ですというネガティブチェックにもとづく認知の段階から、適切な生産工程管理の上で安全な農産物を供給していくというポジティブな政策への転換が福島県におけるGAP推進といえるだろう。この中で、放射能汚染対策に取り組んでいくという考え方に立っている。問題はGAP対策へ移行できる農家がどの程度いるのか、普及する体制を整えられるか、そして2020年東京オリンピック以降に原発事故から始まった検査と認証の仕組みを継承できるかという点である。

現在、見直しが検討されている福島県独自の米の全量全袋検査に関して、その実施主体は地域の協議会であり、その中心は農協組織である。これを全県的に標準化し、情報共有していく機能は行政機関である福島県と福島県農協中央会である。3,300億円に迫ろうとしている農産物の損害賠償の窓口は福島県農協中央会である。被災自治体や立地協同組合組織がこれだけの取り組みを進めるなかで、国・政府の本格的な役割発揮が求められる。立法府では、これまで想定されてこなかった規模の原子力災害に対して総合的・包括的な法令を整備する必要がある。また、この間の原子力災害対策に関しても総括的な報告書の作成が急務である。特に、日本の放射能汚染

に対して懸念を持つ諸外国に対しては、公的な報告書を基に安全対策の実態を粘りよく説明していくことが必要である。再稼働に伴う避難計画の策定など既存の法制度の中では対応が困難であり、福島における原発事故の教訓を組み込んだ法制度の整備が求められる。

今回の原発事故では、事故被害地域での放射能汚染対策を進めるうえで大きな障壁となったのが、大規模な原発事故対策に特化した法律がないことであった。「原子力災害対策特別措置法」は1999年東海村JCO臨界事故を受けて制定された法律であるが、今回の福島原発事故のような規模と範囲は想定されていなかった。「災害救助法」も地震、火山の噴火など自然災害に対応した法律であり、長期間の避難を余儀なくされる原子力災害を想定していなかった。2020年には震災10年を迎える。復興庁も解散の予定である。これを機に、大規模・長期間の影響を考慮した「原子力災害基本法」のような原発事故対応への基本理念を示した上位法の制定が求められる。

#### — 参考資料 —

- 1) 濱田武士・小山良太・早尻正宏, 福島に農林漁業をとり戻す, みすず書房, 2015年.
- 2) 小山良太・小松知未・石井秀樹, 放射能汚染から食と農の再

生を, 家の光協会, 2012年.

- 3) 小山良太, 東日本大震災からの復興と地域研究—福島県における原子力災害研究に注目して—, 地域経済学研究, 第33号, 日本地域経済学会, 2017年.
- 4) 小山良太, 農業復興と情報, 災害情報, No.14, 日本災害情報学会, 2016年7月.
- 5) 小松知未・小山良太・小池晴伴・伊藤亮司, 米全量全袋検査の運用実態と課題—放射性物質検査に関する制度的問題に着目して—, 農村経済研究, 第33巻第1号, 東北農業経済学会, 2015年.
- 6) 小山良太「原子力災害の復興過程と食農再生」『計画行政』第38巻第2号, 日本計画行政学会, pp.9-14, 2015年5月15日.
- 7) 小山良太・小松知未, 放射線量分布マップと食品検査体制の体系化に関する研究—ベラルーシ共和国と日本の原子力発電所事故対応の比較分析—, 2012年度日本農業経済学会論文集, 日本農業経済学会, 2012年.

#### 著者紹介



小山良太 (こやま・りょうた)

福島大学食農学類

(専門分野/関心分野) 農業経済学, 地域経済学, 協同組合学, フードシステム/原子力災害, 風評被害, 食の安全,

### ■お知らせ■

## 日本原子力学会誌, 日本原子力学会誌「ATOMOS」 J-STAGE 電子アーカイブ化に伴う過去記事の登載・無料公開について

2016年に登載が採択されました, 日本原子力学会誌(以下, 原子力学会誌)ならびに, 日本原子力学会誌「ATOMOS」(以下, 学会誌アトモス)は, 今年度より電子アーカイブ作成の作業に入ります。

1959~2001年に学会誌に掲載された論文(一般記事を除く)は, すでにJ-STAGEにて電子アーカイブ化され, 無料公開しておりますが, この度, 2002年から現在(発行から半年経過した記事)までの記事をJ-STAGEにおいて無料公開することとなりました。

すでに2008年1月号から現在までの記事は, 当会HP「立ち読みのページ」で無料公開しておりますが, 2002年から2007年12月号までに掲載された記事に関しては, インターネット上での公開はしていません。

つきましては, 2002年から2007年12月号に掲載された著者の方で, J-STAGEに記事を登載・無料公開することに問題がありましたら, 2018年12月24日(月)までに当学会まで, ご連絡くださいますようお願い申し上げます。なお, 期限までに異議がない場合は, 順次電子アーカイブ化の作業に入らせていただきますので, ご了承ください。

本件連絡先

一般社団法人日本原子力学会事務局 学会誌編集担当宛て

TEL 03-3508-1261, FAX 03-3581-6128

E-mail: hensyu@aesj.or.jp



# トリチウムの環境動態及び測定技術

環境科学技術研究所 柿内 秀樹

環境中には天然起源のトリチウムと人為起源のトリチウムが存在する。まずトリチウムの基礎的な知見を整理するとともに人為起源のこれまでのトリチウムについて概観する。またトリチウムは水素の同位体であるため、環境中に広く分布している。この環境中のトリチウムを分析するための手法について現状を紹介する。

**KEYWORDS:** tritium, chemical speciation, water, FWT, OBT, LSC, NG-MS, normal release, accidental release, monitoring

## I. はじめに

現在東京電力福島第一原子力発電所では廃炉に向けて作業が進んでいるが、炉内には多くの汚染水が存在し障害となっている。炉内の汚染水は多核種除去装置により処理して、ほとんどの放射性核種を取り除くことができるが、トリチウムだけは取り除くことができない。福島第一原子力発電所事故に伴い放射性セシウムが環境中に拡散したが、その放出された量が多かったこと、及び $\gamma$ 線を放出する核種であるため、比較的解析が容易であることから多くの観測がなされ、それに伴い一般の理解も進んでいる。一方後述するが、トリチウムの分析には時間と労力と特別な機器を必要とし、環境中のトリチウムに関して情報が十分と言えない。そこで福島第一原子力発電所のトリチウムを含む処理水の取り扱いについて、様々な議論を進める上で、まずトリチウムの性質や環境中の挙動、その分析法等について基礎的な知見を整理する。

## II. トリチウムについて

### 1. 基本的な性質

トリチウム( $^3\text{H}$ , T)は原子核が陽子1個、中性子2個からなる水素の放射性同位体である。トリチウムは半減期12.3年で壊変して $^3\text{He}$ になり、この時低エネルギーの $\beta$ 線(最大18.6keV, 平均5.7keV)を放出するので生物への影響は少ない放射性核種とされている。 $\beta$ 線の最大飛程が空気中で5mm, 水中で6 $\mu\text{m}$ であることから、人の放射線防護を考えると体内被ばくのみを考慮すれば

*Tritium in the environment and its evaluation methods* : Hideki Kakiuchi.

(2018年6月22日 受理)

よい。トリチウムは $^1\text{H}$ や $^2\text{H}$ とほとんど同じ挙動をすることから、水素をもつ分子や化合物に入ることができる。トリチウムは環境中では水や分子状水素、メタンなどの単純な分子から複雑な高分子化合物まで広く分布する放射性核種である。国際放射線防護委員会(ICRP)が提示しているトリチウムの化学形別の線量係数(Sv/Bq)、すなわち単位摂取放射能当たりの実効線量は吸入摂取の場合トリチウム水(HTO)の線量係数は、分子状水素(HT)の10,000倍となっている。また、HTOを経口摂取した場合、植物等と結合した有機結合型トリチウム(OBT)の線量係数はHTOの約2.3倍である。したがって、トリチウムによる被ばく線量を評価する場合にはその化学形も十分考慮する必要がある。

### 2. トリチウム濃度の規制値

日本では、法規制の濃度限度(実用発電用原子炉の設置・運転等に関する規則の規定に基づく線量限度を定める告示)により、原子力関連施設からのトリチウムの放出の基準として、周辺監視区域外の水中濃度限度は60,000Bq L<sup>-1</sup>とされているが、飲料水についての基準は特に定められていない。世界保健機関(WHO)では飲料水に放射性核種が含まれ、年間を通じて摂取した場合に、0.1mSvの線量になる濃度をガイダンスレベルとして表している<sup>1)</sup>。トリチウムの場合、成人における線量換算係数(1.8 × 10<sup>-8</sup>mSv Bq<sup>-1</sup>)および飲料水の年摂取量(730L年<sup>-1</sup>; 1日当たり2Lに相当)として10,000Bq L<sup>-1</sup>と評価している。表1に各国で定められた飲料水の濃度基準と1年間を通じて摂取した場合の線量を示す<sup>2)</sup>。平常時では公衆の線量限度は年間1mSvが勧告(ICRP Pub. 60)されているが、国によって様々な裕度をもたせた規制値が定められている。また、トリチウムの濃度限

表1 飲料水のトリチウム濃度限度と1年間飲んだ場合の被ばく線量

|         | トリチウム濃度限度(Bq L <sup>-1</sup> ) | 被ばく線量(mSv 年 <sup>-1</sup> ) |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|
| EU      | 100                            | 0.001                       |
| アメリカ    | 740                            | 0.01                        |
| カナダ     | 7,000                          | 0.09                        |
| ロシア     | 7,700                          | 0.10                        |
| スイス     | 10,000                         | 0.13                        |
| WHO     | 10,000                         | 0.13                        |
| フィンランド  | 30,000                         | 0.4                         |
| オーストラリア | 76,103                         | 1.0                         |

度を定める時の数字の丸め方にも差異がある。

### Ⅲ. 環境中のトリチウムの起源

#### 1. 天然起源トリチウム

天然においてトリチウムは、宇宙線で生成した中性子と大気中の窒素や酸素の核反応により定常的に生成されており、その量は年間当たり約  $7 \times 10^{16}$  Bq 程度と見積もられている、この天然トリチウムの生成と壊変は地球全体では平衡状態にあり、地球上の存在量は  $(1 - 1.3 \times 10^{18})$  Bq と推定されている。主に成層圏下部で生成した原子状のトリチウムは、速やかに安定な化学形(主に水)に変化して対流圏に移行する。その後、地表の水循環系に組込まれ、雨、水蒸気、河川水、湖水、海水、地下水などに分布する。一部は光合成で植物に取り込まれ有機物として食物連鎖に組込まれる。

#### 2. 核実験起源トリチウム

1950-60年代に行われた大気圏内核実験により量として、 $(1.8 - 2.4) \times 10^{20}$  Bq が環境へ放出されたと推定されている。核実験により生成したトリチウム(核実験トリチウム)は、天然トリチウムと混合して雨として世界中に降下した。大気圏内核実験は1960年代前半に活発に行われたため、1963年に雨のトリチウム濃度は最大値を示した(図1)。成層圏までもたらされたトリチウムは、1963年以降大気圏内核実験停止に伴い、約1年の滞留時間で対流圏に降下していったので、放射壊変および海水へ移行することにより、日本を含め世界中の降水中

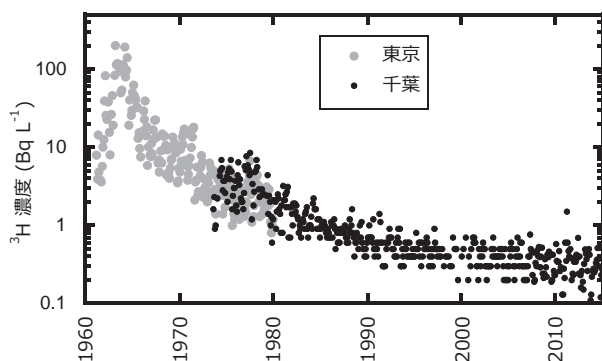


図1 東京および千葉における降水中トリチウム濃度 (1961-2015)

のトリチウム濃度は年々減少していった。近年では関東地方における降水中トリチウムの年平均濃度は  $0.4 \text{ Bq L}^{-1}$  を下回っている。天然トリチウム存在量の200倍以上が核実験で地上に放出されたと考えられているが、現在でも天然存在量の10倍程度は残っている計算になる。しかし、核実験起源トリチウムが海に移行しても、海には大量の水が存在するので希釈され、その濃度の増加はわずかである<sup>3)</sup>。この核実験トリチウムは最終的に海へ移行する以外に、その一部は地下水へ移行し、そこで蓄えられたトリチウムは大気圏内核実験停止以降も、河川水や湖水のトリチウム濃度を増加させ、現在でも降水中トリチウム濃度より高い河川水が多く観測されている<sup>4)</sup>。また、地下水に移行したトリチウムは、その後新たなトリチウムの供給が絶たれるため、その濃度はその半減期に従って減少していく。このことを利用し、核実験トリチウムは水文学における地下水循環のトレーサとして利用されている。そのためには後述するように微量のトリチウム濃度を正確に測定する技術が必要となる。

#### 3. 原子力関連施設起源トリチウム

原子力発電所や核燃料再処理施設などの原子力関連施設では、燃料中<sup>235</sup>Uの三体核分裂、冷却水に含まれる<sup>2</sup>Hやリチウム、制御棒中ボロンと中性子の反応によってトリチウムが生成する。トリチウムは回収や閉じ込めが技術的に困難な放射性核種であることと、トリチウムの人体影響が他の核種に比べて非常に小さいことから、トリチウム水として海洋や大気へ計画的に放出されている。排水及び排気中のトリチウムは放射能濃度規制を満たした濃度であるが、放出と採取の時期が一致すると、原子力発電所の放水口周辺の海水にトリチウムが検出されることが報告されている。核燃料再処理施設や原子力発電所の周辺で環境試料にトリチウム濃度の増加が観察されることがあるが、被ばくは問題となるレベルではなく、核実験の影響を大きく受けていた1960年代前半と比較してもその影響は小さい<sup>5)</sup>。イギリスやフランスでは核燃料再処理工場から海洋へ放出されたトリチウムにより広い海域で濃度の増加が報告されている。この時海藻や水生生物においてトリチウムの生物濃縮は確認されていない。また、気体として排気筒から環境へ放出されたトリチウムの一部が、直接あるいは雨で降下して施設周辺におけるトリチウム濃度を上昇させた事例が報告されている。その他の局所的にトリチウムが放出された事例として、イギリスのカーディフ(Cardiff)湾において、アマシヤム(現:GEヘルスケア)の放射性化合物の製造工場からトリチウムが放出されたものがある。この放出の特徴は、原子力発電や再処理工場の放出と比較してOBTとしての放出が大きいという点である。環境において水の形で存在するトリチウムは基本的に濃縮が起

こらないとされている。しかし OBT としてトリチウムが海洋へ放出された結果、一部の水生生物(カレイ類, 甲殻類, 軟体類)で水と有機物の代謝速度の違いから高濃度の OBT が観測された。この時水生生物の海水に対する見かけの濃縮係数は  $10^2$  から  $10^3$  と高いものであった。

#### 4. 事故起源トリチウム

原子力関連施設では運転に伴いトリチウムが生成するが、通常は外部に漏れないよう保管されている。しかし、事故が起こると施設内に保管されていたトリチウムが放出され、周辺環境のトリチウム濃度レベルが一時的に上昇することが報告されている。1986年のチェルノブイリ原子力発電所の事故では、その量は見積もられていないがトリチウムが放出されたと考えられている。事故発生から1ヶ月以内に原子炉から500~1,000km離れた複数の地点で集められた降水に含まれるトリチウム濃度が事故前よりも高かったことが報告されている<sup>6)</sup>。またフィンランドでは事故直後、大気をサンプリングし大気 HTO 濃度が事故前の100倍程度の濃度に上昇し、その後速やかに減少したことが報告されている<sup>7)</sup>。原子力発電所等の事故の場合地上表面近くでトリチウムが放出されるため、成層圏で放出された核実験トリチウムよりはるかに速く降水や大気水蒸気中のトリチウム濃度が低下する。また、2011年の東京電力福島原子力発電所事故によりトリチウムが環境へ放出された。事故時点において、原子炉内に存在したトリチウムが  $1.5 \times 10^{15}$  Bq と見積もられている。陸域に拡散したトリチウムの推定量の報告はないが、海洋への放出量は、海水中トリチウム濃度を測定し、その結果  $(1-5) \times 10^{14}$  Bq と見積もられている<sup>3)</sup>。事故直後、関東地方の降水中トリチウムや大気 HTO 濃度が上昇し、さらに原発に近い福島県内の陸水のトリチウム濃度や植物に含まれる組織自由水中トリチウム (FWT) 濃度にわずかな上昇が見られた<sup>8)</sup>。チェルノブイリ原発事故の影響と同様に、降水中トリチウムや大気 HTO 濃度は速やかに減少した。それと比較すると陸水のトリチウム濃度や植物に含まれる組織自由水中トリチウム (FWT) 濃度は緩やかに減少することが認め

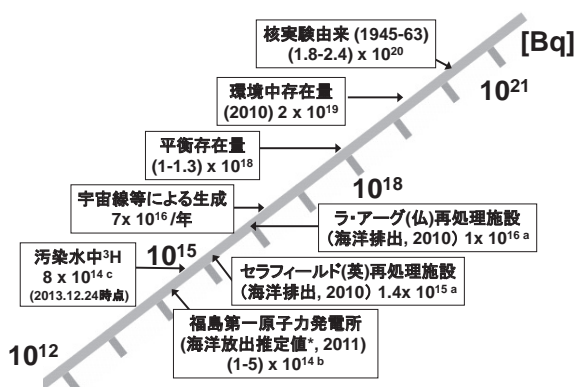


図2 地上におけるトリチウムインベントリー

られた。

以上のまとめとして、図2に地上におけるトリチウムインベントリーを示す。また、先に記述した核実験起源、施設起源、および事故起源を含め、環境中に観測されたトリチウムについて、WHOで定めた飲料水の濃度基準を超えたものはなかった。

## IV. 環境中トリチウムの測定

### 1. 測定装置

前述のようにトリチウムはエネルギーの低いβ線を放出する核種であるため、液体シンチレーションカウンター(LSC)により測定する必要がある。このLSC法は、放射線が作用すると光を出す物質(蛍光物質)を含む溶液(液体シンチレータ)に放射性物質を含む水を混ぜ、出てくる光を測定するものである。河川水、湖水、雨水、海水等の水試料の測定には、溶存物を蒸留して事前に取り除いてシンチレータと混合後、測定を行う。環境試料のトリチウム測定には、低自然計数率仕様の液体シンチレーションカウンターが必要であり、代表的なものにHitachi社LSC-LB7やPerkinElmer社Quantulus 1220等がある。これらの機種によるトリチウム濃度の検出下限値は、水1L当たり0.3~0.6Bqである。この検出濃度レベルは現在の自然環境におけるトリチウムの移行挙動を知るためには不十分であり、さらに低いトリチウム濃度を測定する場合は、電気分解によるトリチウム濃縮を行う必要がある<sup>9)</sup>。

その他に、トリチウムは壊変により<sup>3</sup>Heを生成するため、この生成した<sup>3</sup>Heの原子数を測定して試料中のトリチウム濃度を求めることができる。この方法は、密閉容器中に試料をそのまま長期間保存すれば極低濃度のトリチウム測定ができることが特徴である。この質量分析法は、LSC法にみられるような不純物による誤計数もなく、検出感度も優れた定量法である<sup>10)</sup>。

### 2. 環境中におけるトリチウムの存在形態及び試料採取法

前述のようにトリチウムは環境中で様々な化学形で存在しており、放射線関連施設周辺から環境へ放出された場合、トリチウムは大気や水の動きに従って移行するがその挙動は化学形で大きく異なる。そのため環境中のトリチウムの評価には化学形ごとに考える必要がある。その採取方法は、採取頻度、採取量、操作性、物理的制約等を考慮して、適切と思われる装置・方法を、代表性も考慮して選択する。そこでトリチウムの化学形ごとの分析法を実例とともに紹介する。

#### ・水試料

水試料に含まれるトリチウムをLSC法で測定するには、試料を蒸留精製する必要がある。その他の留意点として、水試料は大気水蒸気と容易に同位体交換を起こす

ため、水試料を採取した時は分析に供するまで気密性の高い容器に保存する必要がある。

#### ・大気試料

大気中にはトリチウムが水蒸気 (HTO)、分子状水素 (HT)、炭化水素状 (主にメタンとして存在、 $\text{CH}_3\text{T}$ ) の化学形で存在する。施設関連のモニタリングのため大気濃度を測定するには、通常2週間から1ヶ月間の連続サンプリングして評価する。大気試料を採取するには真空ポンプにより大気を吸引し、大気中水蒸気をコールドトラップとモレキュラーシーブ等の水分吸着剤を用いて捕集し、水として回収する。さらに HT、 $\text{CH}_3\text{T}$  を化学形別に捕集するため、水蒸気の捕集後に Pt 触媒及び Pd 触媒を用いて逐次酸化を行い、それぞれの化学形の試料を水として捕集する。それぞれ捕集した水試料を回収、蒸留精製した上、低バックグラウンド液体シンチレーションカウンターで測定し、大気中トリチウム濃度を決定する。

一般的に、事故によるトリチウムの放出等がない場合、大気水蒸気当たりの濃度 ( $\text{Bq L}^{-1}$ -水) は降水中トリチウム濃度とほぼ同程度の値を示す<sup>11, 12)</sup>。すなわち、降水中トリチウム濃度と大気 HTO 濃度を水当たりの比放射能として比較したとき、それらはほぼ同じレベルである。また、単位体積当たりの濃度は、大気水蒸気当たりの濃度と大気に含まれる水蒸気量により決まる。日本における降水や大気水蒸気は、夏季に海洋性気団の影響を受けるため、大気水蒸気当たりのトリチウム濃度が低くなる一方、水蒸気存在量は増加する。したがって単位体積当たりの HTO 濃度は水蒸気当たりの濃度変化と比較して緩やかなものとなる。また、大気中の分子状水素 ( $\text{H}_2$ ) 濃度は約 0.5ppmv、メタン濃度は約 1.9ppmv と通年でほぼ一定である。その中に含まれる HT 濃度および  $\text{CH}_3\text{T}$  濃度は HTO 濃度が大きく変動するのに対し、その変化が少なく、季節変動も認められない。それぞれの最近の濃度レベルは  $10\text{mBq m}^{-3}$ -大気を下回り、化学形毎の濃度は  $\text{HT} > \text{HTO} > \text{CH}_3\text{T}$  の順に高い。また、それぞれの化学形の水素原子当たりの比放射能を比較すると、 $\text{HT} > \text{CH}_3\text{T} > \text{HTO}$  の順に高く、HT は HTO より4桁、 $\text{CH}_3\text{T}$  では2桁程度高いレベルで存在している。このことはそれぞれの化学形における起源の違いを表していると考えられる。

#### ・有機物中トリチウム

有機物中に存在するトリチウムは FWT と OBT がある。これらは凍結乾燥等により分離を行う。

FWT 濃度を分析する際、組織自由水を回収し、過マンガン酸カリウム、過酸化ナトリウムを加えて還流して溶存する有機物を分解し、その後蒸留精製を行う。この有機物の分解除去が不十分だとケミカルミネセンスや不純物中の炭素-14 ( $^{14}\text{C}$ ) による誤計数の可能性がある。また OBT 濃度を求めるには、有機物を燃焼して得られ

る水(燃焼水)を LSC 法で測定することが一般的である。この燃焼には、石英管中に試料を入れて酸素気流下で燃焼する装置や金属製の圧力容器中で酸素と爆発的に燃焼させる装置が用いられる。しかし、これらの装置による燃焼法の操作は難しく熟練を要し、さらに、試料水をすべて回収しなければ、正確に試料に含まれる OBT 量を求められない。OBT 濃度を表す時、燃焼水当たりの濃度 ( $\text{Bq L}^{-1}$ -燃焼水) で表すことも多い。例えば、植物中の有機物は光合成により、その生育環境の二酸化炭素と水を利用して生成されるため、この植物を燃焼して得られた燃焼水は植物の生育したトリチウム濃度を反映していると考えられる。

また OBT には周囲に存在する水と容易に同位体交換をするもの(交換型 OBT)と、有機物の炭素骨格と結合して容易に交換しないもの(非交換型 OBT)が存在する。交換型と非交換型を区別しない場合、全 OBT、または単に OBT と称する。正確な OBT 濃度を評価するには、共存する FWT 濃度の影響を受けない非交換型 OBT 濃度として評価することが望ましいが、その分析のためには交換型 OBT を試料から除去する処理が必要となる。本稿において詳細は割愛するが、時間と労力を必要とする OBT 分析の処理工程が、さらに2~3倍ほど必要となる。

質量分析法により OBT 濃度を測定する場合、トリチウムの壊変により生成した $^3\text{He}$ を測定するため、試料の性状によらず測定ができる。そのため、質量分析法は燃焼を行う必要がなく、LSC 法にみられるような誤計数もなく、かつ検出下限が低いのが特徴である。本手法での結果は、重量当たりの濃度、または別途水素存在量を分析し、燃焼水当たりの濃度として表す。

現在、OBT 濃度測定に関して標準化された手法はないが、近年世界的に OBT 分析の相互比較を行い、それぞれの手法の妥当性を確かめることが行われている<sup>13)</sup>。その結果、質量分析法を含め良い結果が得られている。

近年、一般環境のトリチウムレベルは、核実験トリチウムの影響が低下し、そのレベル低下に伴い OBT 濃度

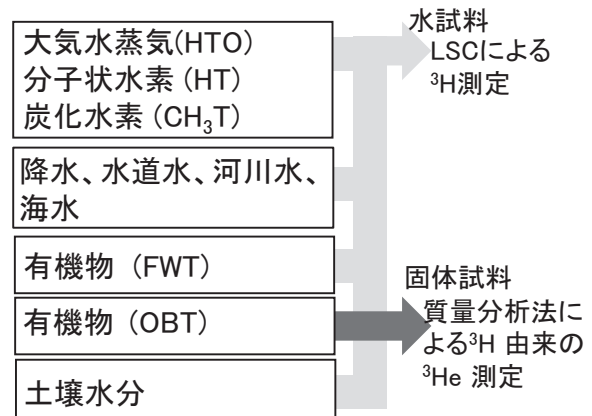


図3 環境試料の分析手法

レベルも低下している。その結果 LSC 法による OBT 濃度の定量は、放射線取扱施設等の周辺環境以外では困難になっている。電気分解によるトリチウム濃縮をして定量するには多くの燃焼水を必要とするため、燃焼水を濃縮してトリチウム濃度を測定することは現在行なわれていない。そのため、環境試料中 OBT 濃度に関するデータは極めて少ない。

### 3. 今後の展望

トリチウムの地域的な線量を評価するには、天然トリチウムや核実験トリチウムの寄与分、および、原子力関連施設から発生するトリチウムの寄与分を弁別して評価する必要がある。しかし、核実験トリチウムの影響が低下している現在、容易に定量できなくなっている。またこれまで概観してきたように、環境試料のトリチウムを定量することは、多くの時間と労力を要する。原子力関連施設から発生するトリチウムを監視するための分析は、ほとんどの状況においては低濃度と考えられるため、このような詳細な分析は、日常的な監視では厳しいと考えられる。より現実的なアプローチは、まずトリチウムの追加的な分析が必要かどうか決定するためのスクリーニングを行うことが考えられる。それ以下であればさらに対策を講じる必要がないという、スクリーニングレベルは、前述した WHO の場合、1年間飲料水を飲み続けて 0.1mSv を超えないレベルとして、 $10,000\text{Bq L}^{-1}$  としている。EU では  $100\text{Bq L}^{-1}$  としており、通常のスクリーニングでは  $10\text{--}20\text{Bq L}^{-1}$  を定量できるように運用されている。この濃度レベルのトリチウム分析であれば、分析に供する試料量が少なく済み、限られた時間の中で多くの分析を行うことが可能である。これらのスクリーニングレベルの使用は、環境試料に含まれるトリチウムの評価に関して信頼性と費用対効果の双方を最大にするため、考えていくべき問題である。

#### — 参考資料 —

- 1) WHO, "Guidelines for drinking-water quality- 4th ed.", 2011.
- 2) Canadian Nuclear Safety Commission, "Standards and guidelines for tritium in drinking water." Canadian Nuclear

Safety Commission, 2008.

- 3) P. P. Povinec, M. Aoyama, D. Biddulph *et al.*, "Cesium, iodine and tritium in NW Pacific waters—a comparison of the Fukushima impact with global fallout," *Biogeosciences Discussions*, 10(2013).
- 4) S. Sugihara, A. Hirose, N. Momoshima *et al.*, "Background Tritium Concentrations of River and Lake Waters in Japan," *Fusion Science and Technology*, 54(2008) 289–292.
- 5) 原子力規制庁. "環境放射線データベース," 2018-04-01; <http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>.
- 6) I. Y. Katrich, "Tritium in natural water after the Chernobyl accident," *Soviet Meteorology and Hydrology* (1990) 80–84.
- 7) L. Salonen, "Carbon-14 and tritium in air in Finland after the Chernobyl accident," *Radiochimica Acta*, 41(1987) 145–148.
- 8) UNSCEAR, "Sources and effects of ionizing radiation. ANNEX C, Biological effects of selected internal emitters—Tritium," *UNSCEAR 2016 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes*, New York: United Nations, 2017.
- 9) 柿内秀樹, "4. 環境分析のためのトリチウム電解濃縮 (< 小特集 > トリチウム分離・濃縮技術)," *プラズマ・核融合学会誌*, 92(2016) 26–30.
- 10) 柿内秀樹, and 赤田尚史, "原子力関連施設周辺での環境トリチウムモニタリングの実際," *プラズマ・核融合学会誌*, 89(2013) 645–651.
- 11) N. Akata, H. Kakiuchi, N. Shima *et al.*, "Tritium concentrations in the atmospheric environment at Rokkasho, Japan before the final testing of the spent nuclear fuel reprocessing plant," *J Environ Radioact*, 102(2011) 837–42.
- 12) M. Tanaka, and T. Uda, "Variation of atmospheric tritium concentration in three chemical forms at Toki, Japan: 2004–12," *Radiation protection dosimetry*, 167(2015) 187–191.
- 13) N. Baglan, C. Cossonnet, E. Roche *et al.*, "Feedback of the third interlaboratory exercise organised on wheat in the framework of the OBT working group," *Journal of environmental radioactivity*, 181(2018) 52–61.

#### 著者紹介



柿内秀樹 (かきうち・ひでき)

(公財)環境科学技術研究所  
(専門分野/関心分野)環境放射能(環境中のトリチウム,  $^{14}\text{C}$ , 及び $^{129}\text{I}$ 挙動)

## 福島復興に向けた「風評被害」への対応 春の年会での理事会セッション

本誌編集委員会

東京電力福島第一原子力発電所事故から7年。福島県の農畜産物の価格が、事故前の水準に戻らない。風評被害はなぜ、起こるのか。この問題にはどう対処すればいいのか。原子力学会の理事会と社会環境部会は春の年会でこれをテーマにしたセッションを企画し、この問題に対する解決策を探った。ここでは登壇した4人の講演と、その後の質疑の概要を紹介する。

**KEYWORDS:** *Social Psychological Perspective towards Effective Countermeasures, Comments from Experience of Care-communication in Disaster Area, Issues Centering on Food Risk: Science and Technology Studies Perspectives, "Reputational Risk, Safety and Security"*

### 「風評」はなぜ起こるのか、どう対処すればよいのか

東京電機大学 寿楽 浩太

#### 「風評」は原子力分野で初めて用いられた

「風評被害」はそもそも、第五福竜丸事件に端を発し、原子力船「むつ」の放射線漏れ事故で広く人口に膾炙するようになった経緯があり、原子力利用と切っても切れない関係にある(関谷 2011)。これまで、情報公開の徹底、対策基金の設置、知識の普及啓発などがこの問題への「対策」として取り組まれてきたが、問題の本質はいわゆる信用問題であり、代替選択肢がある中で人びとがネガティブなイメージが付与された商品を回避することは根本的に避けがたく、市場経済における正常な経済行動に過ぎないとも言える面があるため、対処は困難に直面したまま今日に至っている。また、消費者・市民の意向を忖度して過度な対応をとる流通業者や行政があることも問題を複雑にしている。

他方で、この問題が様々な地域産品の生産者や地域経済に深刻な負の影響を与えることは紛れもない事実だ。

*Recovery of Fukushima and Issue of 'Harmful Rumors':* Khota Juraku, Shoji Tsuchida, Michikuni Shimo, Tatsuhiro Kamisato. (2018年6月18日 受理)

とりわけ、東京電力福島第一原子力発電所事故に関係して、特にこの問題が福島県を中心とする関係地域の復興に大きな影響を及ぼしていることは重大なことと受け止めざるを得ず、喫緊の対処が求められている。今後もトリチウム水に関する対処やデブリ取り出しなど廃炉作業の進展、あるいは汚染土の限定再利用を含めた除染関係の対処に関連して、この問題が改めて顕在化する可能性がある。

本セッションではこうした状況を踏まえ、これまで取られてきた対処を超える、建設的かつ社会的にも健全で適切な解決方策を探ることをめざす。昨今では消費者のニーズは多様化し、むしろ災害や事故の被災地域の復興に協力するために当該地域の産品を積極的に購入したいという消費者も少なくない。このことを活かし、産直通販や直販イベント、小売店との協力、ふるさと納税の返礼品への採用などで販路を開拓したり社会的認知を高めたりするなどの具体的な取り組みも見られる。

本セッションでは、リスクコミュニケーションの実践と理論の両面に通暁する社会心理学の専門家、BSE問題などの食とリスクの問題に関する第一人者である科学技

術社会論の専門家、そして被災地域の実情に詳しい環境放射線学の専門家からの話題提供を得て、福島復興に資

するアイデア等について論じ、具体的な対処の糸口を見いだしたい。

## 社会心理学の視点からのアプローチと対処策の展望

関西大学 土田 昭司

### 風評と潜在欲求

風評とは日本語に特有の文言であり、英語では「rumor 流言(噂)」と称されるものの一種である。社会心理学における「流言」の定義は、以下のとおりである。

- ・人づてに広がる
- ・確実な証拠を持たない
- ・内容が誤っていない場合もある
- ・発生源や伝達者に悪意はない
- ・社会的緊張状態があり、事象が曖昧であり、社会的関心が高い場合に促進されやすい。

流言は社会心理学においてしばしば「社会的な投影検査(projection test)」と表される。投影検査とは、ロールシャッハ検査がよく知られるが、曖昧な刺激に対する反応をもとに無意識領域も含めて保持されている欲求を測るものである。曖昧な情報は、どうにでも解釈できるため、見ている人の心理状態に依存して、どのように見えるかが変わってくる。流言が社会的投影検査とよばれるのは、社会の人々がどのような欲求を持っているかを示す指標となりうるからである。1F事故の場合では、「怖い」「逃げたい」「あれは危ないもの」「原子力発電がなくても電気は足りるじゃないか」など解釈は多様にあり得るが、流言(風評)として広く流布している解釈が社会の多くの人々が保持している欲求であるとみなすことができる。

福島についての風評では、1F事故はいうまでもなく社会的関心が高い話題である。さらに、放射性物質汚染では許容線量については専門家の中でも1mSvなのか20mSvなのかと異なる意見があり、そこには事象の曖昧さがある。このことが流言の抑制を困難にしている。

### 集合行動としての風評と潜在欲求

風評は、見ず知らずの人々同士の相互作用による社会現象であることから集合行動である。集合行動のメカニズムについては、Smelser(1962)による古典的な理論がある。Smelserが指摘した集合行動の発生要因を適用すると、福島産物への風評の発生要因は、次のようになる。

- ・構造的誘発性…「何を買うかは個人の自由」である。
- ・構造的ストレイン…「放射線被ばくは不安だ」という

感情が強まる。

- ・一般化された信念の成長と波及…放射線被ばくを避けるために福島産物を買うべきではないとの信念が多くの人々に広まる。
- ・きっかけ要因…「ほかの人が福島産物を買わないのを見た」「福島産物を買わないように言われた」などの不買行動の契機となる経験をする。
- ・行為への動員…他者に対して積極的に福島産物を買わないように奨める行動・運動をする。
- ・社会的統制の不在…不買しても罰はない。このため社会がコントロールできない。

福島の風評被害に対して改善策をとるには、これらの発生要因それぞれについて対応策を講じる必要がある。発生要因の中で、特に影響が大きく、かつ制度的あるいは行政的に最も制御が難しいものが「感情」、すなわち「構造的ストレイン」であり、これをクリアすることが急務と考える。しかしながら、1F事故前に、原子力に対してネガティブな意見を持っている人は2割程度しかいなかったが、1F事故以降は、逆に原子力にポジティブな人が1割前後にとどまっておき、この状況は事故直後から現在までほとんど変化がみられない。

### 福島の風評被害と科学的知識、福島への肯定的共感

福島の風評被害には、農水産物の購買行動だけでなく、福島への旅行、福島県住民、福島県出身者への不当評価(いじめ)などもある。

福島に関する風評は、基本的には放射線被ばくによる健康被害に対する潜在的な恐怖にもとづくものととらえる視点は問題解決においても意味がある。恐怖は正しい知識を得ることによって打ち消すことが可能である。福島事故の直後から、生協などの小売業者も含めてさまざまな組織が、食物には元来放射性物質が含まれており、微量の放射線は健康被害をもたらさないとのケアコミュニケーションを行ったことは風評被害の防止に効果があったと評価できる。

また、知識の曖昧さを減少させることができるのであれば、不安を和らげることができる。ただし、情報・知識には次の種類があり、不安を断ち切る効果に違いがあ

る。

- ・単純情報 simple…効果大
- ・複雑情報 complex…よく説明すれば効果あり
- ・不確実情報 uncertain…「万一の場合が心配」
- ・多義的情報 ambiguous…「私の方が真実だ」

不確実情報・多義的情報は曖昧さを減少させることができず、むしろ曖昧さを増加させる情報・知識である。放射線被ばくによる健康被害には不確実性が残り、説明は多義的にならざるを得ない点がある。そのため福島

風評について、知識のみによる恐怖に対する効果には限界がある。

風評被害を止めるには、風評の加害者が被害に苦しむ被害者の視点をもって被害の深刻さを理解することが必要である。これはいじめの解決と同じである。福島に寄り添い、福島の助けになりたいとする福島に対する感情や肯定的共感を持つことで、不安を払拭できる。これを広めることが、遠回りなようで、もっとも確実と考える。

## 被災地域でのケアコミュニケーション経験からの示唆

藤田保健衛生大学 下 道國

### はじめに

私は福島第一原子力発電所事故発生後、福島、群馬、栃木、宮城の各県で多くの講演をしてきた。また、会津若松市の放射線アドバイザーを拝命したこともあって、同市では市民、市職員、市議会議員、幼稚園・小・中学校の教員の方々にそれぞれグループ別に話をし、講演後の質疑に対応してきた。また、講演とは別に一般の方々とも対話をし、風評被害に困惑している状況も見聞きしてきた。一般の方々が感じている風評の一端と私が見聞して感じた点などを紹介する。

### ケアコミュニケーションと風評被害

「風評」とは、「(よくない)うわさ、世の中の取沙汰」であり、「風評被害」は、「事故や事件の後、根拠のないうわさや憶測で発生する経済的被害」と辞書にある。そこでは経済的損失だけでなく人格的・心理的な被害も含まれると考えるべきだろう。

福島原発事故での風評は、一般公衆の放射線・能に対する科学的知識の欠如に起因する場合が多い。放射線や放射性物質の特性がよく知られておらず、また量的思考が不足しているため、「放射線を受けると一生抜けない」「放射線は人から人に移る」「少しでも放射線を浴びると危険だ」などという誤った話がよく流布されていることが、講演後の質疑や対話での経験からうかがえた。ここでは基礎的知識や知識体系の欠如に課題があり、リスク(=頻度×害の大きさ)に対する理解、健康影響に対するメカニズムの理解が追いついていない。

事故後6年9ヶ月たった会津若松市では、消費者や流通業者に県・市内の農産物を買控える意識が残っており、取引減少と価格の低落がある。市では農産物のモニタリング検査、コメの全量全袋検査など安全生産体制

をとり、首都圏等で安全性・高品質の宣伝と販売促進をしている。観光産業・教育旅行関係では正確な情報の発信努力に加えて、今は風評被害の言葉を前面に出さずに歴史・文化・自然などのプラス面を積極的に出している。

東京都民1,000人を対象とした調査では、福島県産食品に対する意識割合は、「気にしない」>「躊躇する」>「積極的に食べる」順となっている。ただし、「後年、影響が出る」、「次世代に影響出る」、と思っている人の割合が多いことから、このような点に関する正しい理解の不足が、風評がなくなる理由の一つと考えられる。また、福島県民の放射線に対する理解は都民よりも深いことを考えると、風評は、「他の地域から投げかけられる被害」とも考えられる。

人は、自分が思ったようにしか考えない。このため日本では、「食品に対する基準値が、他の国・機関より厳しい」。これを、「だから安全だ」と考えるか、「だからここまで厳しくしないとイケないのだ」と考えるかは、個々人の意識に拠ることになる。

### まとめ

風評被害をできるだけ少なく軽微にするには、行政と災害発出者が正しい情報を正確にわかりやすく迅速にかつ繰り返して伝達し、受け取り側はそれを正しく理解して理性的に行動することに尽きる。メディアと専門家は両者を繋ぐ役割(事態の正確な伝達と知識の理解促進)として極めて重要である。

また、被害を受けた人が出向いて、正しい知識を伝えることや、小学校からの正しい教育が必要である。なお食品関係の具体策としては、入荷する福島産食品の汚染率や流通市場の放射能調査を定期的に公表している。そのほか市民参加の陰膳調査を定期的に実施している。



# 食とリスクの問題と科学技術社会論からのコメント

## —風評被害, 安全, そして安心

千葉大学 神里 達博

### 概要

2011年の福島第一原子力発電所の事故に伴う放射性物質の環境への拡散により、周辺地域における農作物や水産物に対する汚染の懸念が広がった。実際、基準値を上回る放射性物質も、さまざまな農作物や水産物から検出された。このような状況を背景に、内外で規制の措置が広がった。

その後、徐々に検査態勢等が確立され、データが蓄積されてくるにつれて、措置は緩和されていく。しかし、適切なルールに基づいた検査で、放射性物質の量が基準値を下回ることが繰り返し確認されても、一部の農産物等では需要が戻らない、あるいは価格が戻らないといったことが続いていると聞く。

このようないわゆる「風評被害」に対して、「科学的・制度的に安全が確保されているにもかかわらず、消費者は過度の安心を求めている。このような状況に対しては、一層の啓蒙活動が重要だ」といった意見も時折聞かれる。確かに、科学的知識や制度の実態についての理解の促進は、重要なことであろう。しかしながら、風評被害の要因の一つとしてしばしば想定されがちな、「客観的・科学的な安全に関する理解不足と、主観的・情緒的な安心の過度な追求」というとらえ方は、その全てが誤りでは無いにしても、少なくともいくつかの誤解が内包されていると考えられる。

ここではまず、事故後の食品問題を、近年の他の食品問題等の経緯と比較した上で、いわゆる「風評被害」の問題構造を検討する。加えて、「科学的な安全」と「情緒的な安心」について、若干掘り下げることで、この問題を理解し、また対策を考える上での、補助的な知見を示してみたい。

### 他の食品問題との比較

事故直後、日本産の食品の輸入に対して最も早期に対応をとったのは、アジアの近隣諸国であった。しかしほどなく世界各国に拡大、日本全域、あるいは特定地域からの食品について、輸入禁止や制限、また放射性物質検査証明を求めるなど、規制措置が広がった。また、国内でも、食品衛生法に基づいて、厚生労働省が放射性物質で汚染された食品の出荷・販売の規制を都道府県に通知した。その後、さまざまな食品、あるいは水道などで汚

染が確認されるたびに、規制の対象が拡大していった。

当初の混乱の背景には、放射性物質を伴う環境汚染について、政府は明確な想定がなく、正式な規制基準などもできていなかったことが大きい。この時期に生じた「政府の事態収拾能力」に対する社会的な信頼の低下が、その後の「風評被害」に一定の影響を与えたとも考えられるだろう。

同様の問題構造は、平成期に続発した食品をめぐる社会問題でも見られた。これらは、

- ・新興感染症の世界的拡大
- ・輸入食品・食のグローバル化
- ・環境汚染による微量物質の混入
- ・ダイエット等の健康増進
- ・企業のコンプライアンス・信頼に関わる問題に分類できる。

福島の食問題は、上記のうち、「環境汚染による微量物質の混入」に分類され得る。その類似点としては、

- ・低リスクかつ慢性・高い不確実性
  - ・恐ろしさの社会的なイメージ
  - ・政府が初動対応で失敗、そこがクローズアップされる
  - ・安全宣言のあとにリスクが発覚
  - ・市民のリアクションが二分される
- があげられる。

特にメディアによるアジェンダセッティング(議題設定)と、体制側への信頼性低下によって社会的なリスク感度が上昇し、風評被害論が主題化している。また、存在論的リスクと認識論的リスクの混在によって混乱が激化している。

一方で、異なる側面も指摘できる。平成期に起きた多くの食品問題に伴う「風評被害」は、比較的早期におおむね解消されたが、放射性物質に伴う「風評被害」に関しては、7年が経過した現在も、事故以前の状態に回復しているとは言えない面もある。

放射性物質に関する問題が、他のケースと大きく異なる点の一つは、「発生源の処理」に関する、時間的スケールの違いである。たとえばダイオキシン問題のケースでは、当時発生源とされた「焼却炉」を操業停止としたり、新規のものに交換したりといった形で、ある種、「分かりやすい解決策」が社会的に提示し得た。また、BSE問題でも、それ自身の影響は、事件発生後約一ヶ月で制度化された「全頭検査」の実施などにより、比較的早期に沈静

化している。

これに対して、問題の発生源たる「福島第一原子力発電所」の廃炉には、はるかに長期の時間がかかり、現実にも帰還困難区域が存在し続けている。しかも、事故以前にはこのような甚大で長期的な被害が生じる可能性について、公式に周知されているとは言えず、安全性のみが強調されてきた経緯がある。

実際に放射性物質が多く拡散したのは、事故後のごく初期の段階だけだったとしても、未だに非常に多数の避難者が存在しているということ自体が、この問題に対する社会的な理解を規定する、大きな要因となっているのは否定できないだろう。このような意味で、放射性物質の拡散に伴う「風評被害」については、これまでの他の食品問題とは、次元の異なる対応をとらざるを得ないとも考えられる。

## 「安全」と「安心」

一方、現代は情報を「食べる」時代であり、食をめぐる環境は変容している。現代の食は、単に栄養価やおいしさだけが要求されるわけではなく、付加価値・物語を情報として消費している。この場合、風評はマイナス情報となり、消費にマイナスの影響を与えざるをえない。

また、代替可能性が高いものには風評被害が発生しやすく、代替できないものは被害に強い。つまり、供給者が限られている商品は強い。風評被害は豊かさの裏返しとも言える。

代替可能なもののイメージが毀損すると、どこのもであって同じように風評被害が起こる可能性があるわけ

で、これを踏まえると、同じ立場のステークホルダー相互の互助、保険などによる対処法が考えられる。

なお、「安心は主観的、情緒的なものだから、対応が難しい」、あるいは、「安心をどこまでも追求するのは不合理だ」といった考え方が、一定程度存在しているとも見られることも可能だろう。しかし、「安心は主観に過ぎない」という前提はそもそも、真実だろうか？

安全性は、一般に定量的な数値で科学的に表現できる。しかし、根本の「どれだけ安全なら安全か」は科学の埒外の問題である。安全基準は社会的に決まるものであり、「基準の作られ方」を分析すると、安全がいかに社会的な概念かが判る。例えば自動車とエレベータは、ともに同じ輸送機械だが、エレベータで人が死んだら大事件となる。科学的な側面のみでみているはずなのに、社会的な側面での「基準値のからくり」がある。

専門家からすると市民はゼロリスクを求めているように見える場合があるが、本当にそうなのかは疑問だ。また、「安心を求めすぎる」と言われるケースでも、別の角度から観察してみると、単なる不合理な反応ではなく、実はある種の合理性に基づいた態度であるとも考えられるのだ。安心できないことを言いつのる市民の裏の本音は、「あなた方を信頼できない」であることが多い。「相手を信頼できない」と思っている人に、いくら正しい知識を示しても解決には結びつかない。一般の人は、実際にはかなり知識を持っている。どういう意図で市民が発言しているのかを、きちんと受け止めることが重要である。

## 社会からの肯定的共感をめざして—会場との質疑

会合ではその後、原子力学会の上坂充会長が挨拶。「以前の学会で、司法(大津差し止め訴訟)を考えるセッションを開催した。今年度、同様の議論を深めることができ、勉強を始めたことが良かったと考えている。今回の風評被害についても、前回の『司法を考えるセッション』同様の効果を期待している」と発言。その後、進行を務める寿楽氏が、「社会科学的観点からは、風評被害という現象が起こることは避けがたいこととを感じる。他方で、当該の産品に対して積極的に消費行動を起こす人も結構いる、という状況もある。現代の社会は価値観・行動が多様化しているように思われるから、そこを肯定的に活かすアプローチはないか。この点に関して示唆を与える事例をご紹介いただきたい」と述べた。

これを受けて土田氏は、「神戸生協(コープこうべ)の取り組みを紹介する。神戸生協では、福島事故後、積極

的に事実を伝えるべく、あらゆる食品には放射能があることを示す(たとえばK-40量の比較情報)などして消費者の選択を促した」と発言。寿楽氏は「もちろん、生産者にとって価格や需要量の問題はあるが、社会が多様化する中では、マスのマーケットでは忌避されても、むしろ積極的に購買してくれる層が現れる場合もある。“社会で受容される”ことの意味が変化しているかもしれない。商品流通の現実在即して言えば、中間マーケット段階での取り組みも重要であろう」と続けた。

また、神里氏は「往々にして、何か問題が起こった後に対策を立てたり、基準を作ったり、あるいは食品基準法上の暫定値を設定したりすることがあるが、個人的にはこれが一番よくないと感じる。いったんトラブルが発生すると、社会的信頼性がまったく得られなくなる。

絶対大丈夫ですよ⇒問題が起こっちゃいました⇒基準

作りました、は全く信頼されない。トラブルは起こりうることを準備しておくことが必要。リスクを管理しておく。また、信頼の問題もある。一般のひとが“参加する”ことも重要」と述べた。

さらに寿楽氏の「信頼を得るために、専門家はどのようにふるまうべきか?」「一般の人は、どういうところで“信頼できる”と決めるのか?」との問いかけに対し、下氏は「専門家は、できる限り中立の立場で、事実を正しく伝えることであり、偏った見方をしてはいけぬ。丁寧に、判りやすく。これらによって、“あの人は信頼できるね”を作っていく必要がある」と回答。土田氏は「信頼は、“誰が得をしているの?”という問題の裏返しであり、私たち(専門家)にとって損となることの方が信頼される。トリチウムの問題が象徴的だろう。トリチウムを海洋放出する=電力会社が得する、という考えがあると信頼されなくなる」と述べた。

また、上坂氏は「原子力発電は信頼されていない。信頼を得ることが一番重要。会長として、“実働”の重要性を挙げているが、それに尽きると思う。学会の方にはぜひ、汗をかいてほしい」と発言。さらに寿楽氏は「事前の仕組みとして、保険・互助等の考えが提示されたが、日本にはそういった仕組みがないように感じる。この理由は?社会的な見方からの示唆がないか」と問いかけ、神里氏は「印象論になるが、アメリカの人たちはリスク感覚が強く、危険に対して対峙する、というアイデンティティ・国民性を持っている。最悪の事態をいつも考え、それに対応する。一方で日本は、危険について語ることを、縁起の悪いこと、と捉える風潮がある。新たな事故が起こりうると思うこと、そしてそれに備えて互助システムを作ること、これらを忌避するイメージがあるが、あり得ない事態を考え、対策を考えるべき時期に来ているのではないか」と回答。下氏は「上から目線、すなわち、“教えてあげる”はダメ。相手の話をよく聞くことが肝要で、聞かれたことに丁寧に答えることが重要であり、説得しようとしたり、また見解の異なることに反論したり、ましてや無視することがあってはいけぬ。顔を見て、納得しているかを確認することも必要である」と述べた。

会場との質疑では、「今日の講演は、個人・消費者という観点で議論が進んだが、農業経済・水産経済の専門家の方に話を聞くと、風評被害回避には、流通の形を変えることが有効との考えがある」と参加者が発言。これに対し土田氏は「流通業者が“売っている”、事実には勝る知識はない(売っているから安全、と考える)。それをベースとできる知識が重要。流通業者、業者さんへの情報提供が重要ではないか。世の中の現状を見て安全・安心と思える仕組みに変えていくことが必要で、このための情報を公開する必要がある」と述べた。

また、別の参加者は「リスク認知」を常態化すべきで

はないか。たとえば飛行機の中の線量率、被ばく量等を測定し、次から次へと発信していくことが安心につながるのでは。また、メディアをうまく使うべきと考える。放射線は特別なものでないこと(福島と自然放射線が違わないこと)をわかってもらうことが重要と思う」と提案。これに対し下氏は、「飛行機の線量率は高いことは、発言者や専門家にはよくわかっている。放医研のHPにも載っているが、一般の市民でここまで見に行く人が少ない。これが問題である。また、“自然放射線はいいけど、人工放射線はいや”、という意見・感情もある(こういう決めつけをする方が一定量いる)。そういう人に対して、納得してもらえるかが問題かと思っている」と述べ、土田氏は「人は文脈を読むものである。放射線は放射線が変わらないはずなのに、“違いがあるのではないか”という(例:ラジウム温泉)。自然だから良い、は理屈ではない。福島事故で出てきた放射線と自然放射線は違う、などの感覚をいかに払拭するかが重要である」と述べた。

さらに「専門家が信頼を失っている状況だが、専門家はやはり、情報を出し続けることが重要。我々信頼されていない専門家ではなく、人々に信頼されている、影響力に強い人に響くかもしれない。諦めてはいけぬと思っている。去年の9月、日本学術会議が子どもの被ばくに関する影響、チェルノブイリとの比較など、データをきっちり出した。インターネットではかなり議論になったが、テレビなどでは報道されていない状況。テレビ・新聞など影響力が大きいメディアを活用するには、何をすれば良いのか」との参加者からの問いかけに対し、土田氏は、「一般の人に通用するのは“事実”。パイロットやCAなど、比較的多量の放射線を浴びている人も健康でいる、そういった事実がないと、マスコミは絵にできない。なぜ日本の多くの人々が福島の事故前まで原子力の安全性を信じ、利用を受け入れていたのか。それは日本の原発が事故を起こしていなかったという事実があったからであり、これからまた信頼を取り戻すには、事故を起こさないという事実を積み重ねるしかない」と回答した。

さらに神里氏は「専門家は、メディアはリスクに応じた事実を伝えない、マスメディアの伝え方とリスクの大きさには相関性がないというが、メディアは単に情報を公開する装置ではない。メディアは、①ファクトを伝える、②社会で議論するためのテーマを示す、③社会を監視する、という三つの機能がある。ファクトのみ(=たとえば実験室での研究結果のみ)では弱い。また、人は能動的なリスクと受動的なリスクに対する“許容度”が異なる(たとえば、自殺と他殺など、結果が同じ“死”となっても、能動的なものについては肯定的、受動的なリスクは否定的となる傾向あり)。認知の違いが捉え方の違いを生んでいる可能性もある」と述べた。

最後に座長を務めた寿楽氏が、「今日の議論では、科学的見地と現地での経験の両面から現実の社会のありようが提示されたと考える。工学は本来、非常にプラクティカルなものと考えられるが、これまでの原子力分野のこの問題への取り組み方は必ずしもそうではなかったように思える。社会科学は人間の本性、社会のありようを理解し、分析し、記述しているわけだが、その際に、好ましくないように思われる人間や社会の性質も、それもある程度は仕方ない、という前提に立っているし、それらを変えるのは難しいと理解している。

その観点からすると、教育や啓発によって人の心の中を変えて問題解決につなげようという見通しは、エンジニアリング的に言えば一番厳しい、難しいところだけをとにかく追究して目的を達しようとするようなものだ。この部分の発想を変えてみてもよいのではないか。今日の議論からは、流通などの仕組み作り、社会からの肯定的共感の視点作り等、そうした従来の観点とは異なる建設的な示唆が得られた。その実現に関して学会がどのように貢献できるか、を考えるヒントになるものと思う」と述べて、会合をしめくくった。



\*本原稿は当日の講演内容を、予稿集や当日の放映資料などで一部補足しています。

\*記名の部分のオーサーシップは、記名された方にあります。

#### 著者紹介

寿楽浩太 (じゅらく・こうた)

東京電機大学工学部  
(専門分野/関心分野) 科学技術社会学

土田昭司 (つちだ・しょうじ)

関西大学社会安全学部  
(専門分野/関心分野) リスクコミュニケーション論, 社会心理学

下 道國 (しも・みちくに)

藤田保健衛生大学  
(専門分野/関心分野) 環境放射能, 放射線防護

神里達博 (かみさと・たつひろ)

千葉大学国際教養学部  
(専門分野/関心分野) 科学史, 科学技術社会論, リスク論



### 書籍販売のご案内

#### ■『放射線遮蔽ハンドブック-基礎編-』

一般社団法人日本原子力学会 「遮蔽ハンドブック」研究専門委員会編  
A4判 370 ページ, CD ROM 付, ISBN 978-4-89047-161-4, 定価 5,000 円(税別・送料別)

☆在庫売り切れのため9月中に増刷予定。現在、予約受付中! ☆

20 年前に刊行されました『ガンマ線遮蔽設計ハンドブック』, 『中性子遮蔽設計ハンドブック』の改訂版『放射線遮蔽ハンドブック-基礎編-』を 2015 年 3 月 16 日に刊行いたしました。

ガンマ線, 中性子を一体として扱い, 『放射線遮蔽ハンドブック』としています。内容は計算の方法論を説明した基礎編で, 特にモンテカルロ計算, 核データ, 加速器遮蔽などの項目を大幅に

加筆いたしました。

販売後, ご好評により増刷しております。この機会にぜひご購入をご検討ください。

なお, 放射線工学会 HP で表紙, 目次, はしがき, 概要を公開しております。

<http://www.aesj.or.jp/~rst/>

○ご購入は日本原子力学会ホームページ 書籍販売のページよりお申し込みください○

<http://www.aesj.net/publish/shopping>



## 風評被害への懺悔

フリージャーナリスト 井内 千穂

思えば様々な風評被害に加担してきた。O157 食中毒事件の後はカイワレ大根を買わず、BSE 騒動の折は輸入再開後も米国産牛肉を避けた。理由は単純。当時幼かった息子たちのためにも、不安な食品は避けるのが無難だからだ。そういう食品を抜きにしても別に困らず、日々の食卓でその習慣は定着した。生産者の立場から見ればひどい話だが、そもそも何を買い、何を買わないかは買い手の自由だろう。だからこそ、商品の評判と買い手の自由な判断に影響を与えるような情報提供者の責任は重い。

風評被害とは、「実際にはなんら根拠もないのに、商品の評判を落とす情報によって受ける被害」という定義を目にした。根拠があれば風評ではなく実害である。では、根拠の有無はどうか？

「フクシマは『風評ではなく実害』論」に傾倒する人たちの話を要すれば、論点は二つある。一点は、原発事故による汚染状況をどう見るか、もう一点は、低線量被ばくによる健康影響をどう考えるかだ。確かに、「公式情報より汚染はひどい」、または、「極めて低い放射線量でも有害」という情報を信じるなら「実害」ということになる。逆に、公的な線量マップや然るべき専門家の解説を信じれば、「(人体には)無害」という判断にもつながる。いずれでもない、二つの論点ともに「どうなのかわからない」一般市民の多くは、漠然とした不安のまま風評被害に加担し固定化する年月を経たのではないだろうか。

私自身そんな一人だったが、やがて、「どうなのかわからない」ことに耐えられず、とにかく福島に行ってみたのが震災後5年も経ってからのこと。今ごろ何度か足を運んだぐらいで何がわかるのかと言われそうだが、少なくとも、事故当時より放射線量が下がっても今なお続く浜通りの無人地帯を見た。一方、福島第一原発からわずか15kmの緑豊かな里山で遅しく暮らす人々と出会い、季節の郷土料理を味わった。ごく限られた見聞でも不安は和らぎ固定観念は揺らぐ。以来、「風評」を問い直している。

## Column

### マイストーリーのために・・・

日本文理大学 工学部  
特任教授 北岡 哲子

充実した老後には、知性と友人と健康が必須らしい、いわばシニア版3種の神器だ。

そういえば、以前携わった大学の社会人講座は定年後のシニアパワーで溢れており、勉強になった。まず、人は年齢が高じ体力が下降しても、知識欲は衰えないどころか反比例し上昇する。

また青春時代、友は心から信頼できる数人で十分だったが、晩年になると予定表を埋めるため多くの無難な付き合いを求める。特に男性は、他人に飽きられない楽しい会話を提供できるほどの知性と、毒にも薬にもならない広く浅い人間関係が、リタイア後不可欠になることにやっと気づく。

年齢を重ねれば自ずと、己の中のメモリー量は増加する。ただ、記憶は曖昧であるから、自らの解釈により事実は少しずつ修正、書き換えられながら、積み重なっていく。高齢になるほど、正確な事実より自分なりに編集したストーリーが、唯一無二の自分史となる。多分青年はマイストーリーを構築するため親友を探し、年長者はそれを自慢するため多くの友が必要となるのだろう。

誰が呼んだか「じじい部隊」の活動を、知った。福島県の帰還困難区域、放射性物質で汚染されフェンスで封鎖された無人の町を、定年後の6人が防護服を身にまといパトロールし、町の復興をけん引しているという。たいへんな苦労が伴う厳しい使命だが、濃密な余生と出会った役所幹部OBの爺たちは、充実した老後の定義を体現した「生」を生きておられる印象を受けた。

さて、気の利いた会話を生む教養もなく、忙しくて友人とランチの約束さえままならぬ自分には、孤独な老後がちらつく今日この頃である。

## 原爆の東欧への影響

コメニウス大学  
医学部英語コース 妹尾 優希

スロバキアよりこんにちは。今回は、原爆の経験が東欧に与えた影響についてお話しさせていただきました。

今回は、日本のもう一つの被ばく経験、福島第一原発事故が東欧に与えた影響についてお話しします。まず、事故が起きた直後、すぐに欧州全土の原子炉でストレステストが実施されました。このような安全への見直しが実施されたのは、発電所だけではなく、欧州原子力安全規制グループ(ENSREG)などの原発安全委員会でも行われました。さらに、2013年には、欧州委員会が定める基準に沿った緊急時の行動プランを、2015年までに改定する要請が出されました。この緊急時の行動プランは、火災や地震の他、福島での事故を参考に、洪水の規模ごとの原子炉の保護レベルや、適量の冷却用水が確保されているかなどにも重点を置いています。

スロバキアでは、スロバキア原子力監督当局とスロバキア政府の認証の元、2012年から2013年にかけて、福島原発事故を参考にした訓練が3回行われました。また、スロバキアの国家行動計画書は、事故の規模ごとに司令塔となる機関が明確に記載されています。通常は、原子力会社の管理組合が原子炉の管理し、緊急報告があった場合には1時間以内にスロバキア政府の緊急対策組合が処置の指揮を執る事となっています。その後、被害が拡大した場合は、隣国オーストリアのEU緊急対策組合による指示によって、住民の避難などが行われます。

参考文献：Nuclear Energy Agency.Impacts of the Fukushima Daiichi Accident on Nuclear Development Policies.OECD.2017;7212.  
<https://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2017/7212-impacts-fukushima-policies.pdf>

# Column

## 原子力政策大綱復活論

国際環境経済研究所  
理事・主席研究員 竹内 純子

エネルギー基本計画の改定が話題になっている。本稿執筆時点ではまだ素案が発表された段階だが、その内容は前回計画とほとんど変わらない。策定の過程で2050年の絵姿を議論したことや、再生可能エネルギーの経済的自立を強く求める表現が入っている以外は、何も目新しいことはない。しかしエネルギー政策に関わる「現実」が数年で変わるわけでもなく、結局、日本には捨てられる選択肢は無い、というのが今回の計画の唯一のメッセージなのだろう。しかし、「捨てない」というぼんやりとした状況では動けないのが原子力である。

原子力は、核不拡散や日米原子力協定といった国際的責任、安全規制の確実な実施、施設立地地域への誠実な対処等も含めて、国の強い関与が求められる技術である。単なる発電技術を超えた存在であるので、福島原子力発電所事故以前は、原子力政策大綱を定め、それを受けてエネルギー基本計画を策定していた。しかし震災後、大綱の策定がなくなり、エネルギー基本計画の中でまとめて扱うこととなった。核燃料サイクルや廃棄物処分の課題、プルトニウムバランスの問題、技術開発投資の在り方など、原子力に関する多様な議論は、エネルギー政策の枠内で議論できるレベルを超えている。

原子力政策全般の見直しが迫られる今こそ、専門家による密度の濃い議論を土台とした政府としてのビジョンを策定すべきではないだろうか。今回計画における原子力の記述の薄さが改めてこの課題を浮かび上がらせたように思う。ビジョンも、責任ある意思決定もないまま、川の流れに身を任せるように脱原発していくことがこの国の将来を危うくするのではないかと危惧している。

## 八年前と四十年後

東洋大学社会学部 渡辺 真由

久しぶりに福島ニュースを東京で聞いた。第二原子力発電所廃炉の知らせだ。いずれそうなるだろうなあと思っていたし、それほど驚きもしなかった。今度福島という文字を見た後に、温かい気持ちになれるといいのだが。

そんな今話題の第二原発の近くにある施設に、8年ほど前遠足で行ったことがある。

「エネルギー館」、通称「エネ館」という施設だ。所謂、電力会社のPR館で、無料で遊べる小さな科学博物館のようなもの。一階は電気や光を使った遊びや運動ができるスペース、2階は原発の仕組みや放射能について学ぶスペースとなっていた。原発制御の模型。電気自動車。丸いボールに手を触れると、ヒリヒリと青く光る電流。自然に育てられてきた小学生にとって「エネ館」は刺激的なものだった。未来を先取りしたかのような感覚は今でも覚えている。自宅から30キロしか離れていなかったこともあり、遠足以降、東京の親戚を連れてよく遊びに行っていた。

八年経った今でも、「エネ館」のカードは財布の中に鎮座している。

どうやら今の「エネ館」は、第一原発を視察する人の受け入れ拠点になっているらしい。2年前、広野町にあるサッカー施設「ヴィレッジ」から役目を引き継いだのだ。拠点だった「ヴィレッジ」は、元の姿を取り戻し、今年7月に再開した。復興への第一歩、確かな前進が「エネ館」にあった。

第一原発の廃炉が完成するのは、40年後と言われている。でも、原子力の未来を謳った展示は、過去を語るモノになっているだろう。

もう、はしゃぐことはできない。そんなことは、たった18年しか生きていない私でも分かる。

それでもやっぱり、「エネ館」のカードは捨てられない。

## Column

### 複雑なシステムを「より安全」にできるのか

東京大学大学院  
工学系研究科 原子力国際専攻 渡辺 凜

Charles Perrow は著書「Normal Accidents」の中で、航空・宇宙等の複雑な技術システムを分析し、複雑であるために宿命づけられた事故の発生パターンの存在を指摘した。複雑なシステムでは、緻密に連携した構成要素や、周辺環境との間で「予期せぬ相互作用」が発生する。その発生は予期されていないので、状況が誤認され不適切な対処がなされたり、対応が遅れたりして事故に至る、というものだ。

「予期せぬ相互作用」を事後的に理解することは簡単だが、それを安全対策に活かすことは限りなく難しい。

たとえば、福島第一事故では「新しい免震重要棟が間に合ったこと」、「非常用電源が1台だけ浸水を免れる場所に配置されていたこと」、そして「敷地が広がったこと」が不幸中の幸いだった、という話がある。この話は「予期せぬ相互作用」のラッキーな事例と考えられる。

では、同じように対策を追加すれば、安全性が向上するのか。それは難問だ。テロを考慮したシナリオでは、免震重要棟や敷地の広さが裏目に出るかもしれない。複雑なシステムで対策を増やせば、防げる事故シナリオが増える一方、起き得る事故シナリオも増える。そして、それらを予測することや、目前で繰り広げられる事故の進展に正しく当てはめて理解することは、一層複雑な問題になる。これが我々の手に負えるだろうか。

Perrow は、こうした複雑なシステムで事故が起こることは「時間の問題(normal)」であり、従来の原子力技術は破局的被害の可能性もあるため利用すべきでない、と言い切った。以来、二度の重大な事故が起きている。「複雑なシステムに関する我々の理解が十分なレベルに達することは、ありそうもない」ということを、今一度肝に銘じるべきではないか。

# ミクロ～マクロレベル現象の粒子ベース

## シミュレーション～課題と展望～

### 第2回 第一原理原子・分子シミュレーションの

### 現状と原子力分野での研究進展

日本原子力研究開発機構 町田 昌彦, 奥村 雅彦, 中村 博樹, 山口 正剛

原子力は構造材料から機能材料に至る様々な材料によって支えられていると言っても過言ではない。他の多くの産業技術でもこの構図は変わらず、その基盤となる材料の革新は人類の未来さえも変える力を持っている。これほど重要な材料の研究開発において、根本的で且つ明確な科学的知見をもたらす研究手段が、本稿で紹介する第一原理原子・分子シミュレーションである。これまでに、計算機の発達と相乗し多くの成果が発表されてきたが、本稿では、著者らの研究グループによって得られた原子力研究開発分野における成果を示し、その長所だけでなく解決すべき課題、そして今後の将来展望を議論する。

**KEYWORDS:** *First-Principles Calculation, Molecular Dynamics, Actinide Dioxides Thermal Properties, Grain Boundary, Embrittlement, Clay Minerals, Radioactive Cesium*

#### I. はじめに：最も素朴な粒子法(実存する原子・分子を正確に模擬する)

粒子を用いたシミュレーション手法、即ち粒子法には様々な流儀があるが、その原点は物質が原子・分子という基本粒子から構成され、その運動を可能な限り正確に模擬すれば、物質のあらゆる性質を原理的に理解できると考えたことから始まる。実際、計算機の出現と共にその精神を具体的に示そうと様々な試みが実行に移された。その一連の成果として、実存する原子・分子を可能な限り正確に模擬する現在の分子動力学そして第一原理計算がある。

分子動力学とは、対象とする原子・分子を点粒子(分子の場合：剛体系)としてモデル化し、それらに働く力を決め、多数の原子・分子を系内に配置し、その運動を追跡

*What can be achieved with particle simulation? -challenge and foresight- (2) ; Current Status on First Principles Calculation and its Progress of Application on Nuclear Energy Field : Masahiko Machida, Masahiko Okumura, Hiroki Nakamura, Masatake Yamaguchi.*

(2018年4月6日 受理)

■前回タイトル

第1回 粒子法による大規模津波解析と鉄道を対象とした解析への取り組み

することで、それらが示す統計熱力学的性質(即ち物質の性質)を計算機上に再現する方法である。しかし、原子・分子に働く力、即ち相互作用を事前に決める必要があるため、相互作用のモデルが必要となり、そこに研究者による考え方や個性が反映される一方、実験や観測結果を再現する必要性から、モデルパラメータのフィッティング等が行われ、モデルは現実の物質が示す性質に依存し決められる。当然、一旦決めたモデルには、どのような状況でも適用可能かという点で課題が残る。例えば室温及び周期境界条件下では、実験を凡そ再現できるが、高温や気液界面等の異なる条件下では、モデルの適用限界を超えてしまうかもしれない。そこで、このような課題を抜本的に解決してしまう第一原理分子動力学法が提案された。原子・分子間の力は、そもそも電子に起因することに立ち返り、電子状態をその都度計算し相互作用を求めるため、原理的にモデルを必要としない。現在、計算機の発達により、この究極の計算手法は様々な系に適用されるが、計算対象は数10～数100程度の原子・分子、計算時間は実時間で数100ps程度に留まる。しかし、分子動力学では再現できない化学反応や界面での動力学等の理解に極めて重要な役割を果たしつつある。

ここまで、原子・分子の運動という側面から研究進展



を簡単にレビューしたが、上記の電子状態を計算し原子・分子間の力を得るという手法の利点は、寧ろ物質の構造等の静的性質の詳細な理解が得られることにある(線形応答理論を用いると、線形応答の範囲で動的性質も計算可能となる)。構成原子・分子とその間の力から決まる構造は、その物性を決定づけるが、第一原理計算はそれをほぼモデルやパラメータなしに再現する。しかも、一旦、その系を計算機上で取得できれば、それを詳細に調べること、対象とする材料の深い知見が得られるのである。また、この優れた点は更なる次の展開も可能にしつつある。第一原理計算の意義とは、万能な第一原理計算ソフトウェアが開発されたとすれば、どんな材料でも等しく物性予測ができることである。例えば原子炉構造材料の構成元素をインプットさえすれば、その機械的性質が予測できる一方、アクチナイド元素を対象を移せば、核燃料の熱物性が計算できることである。つまり、物質毎に複雑なモデルの構築が一切必要ないことである。この点を活かせば、個々の材料のモデル化といった個別の詳細研究に縛られず、もっと広い視点で様々な材料の特性を比較しつつ、俯瞰的な材料研究が可能になる。実際、そのような研究が既に成果を示し始めており、新たな高みにも到達しつつある(マテリアルズインフォマティクスと呼ばれている)。

本解説では、第一原理計算の原子力研究開発分野への適用例を示し、当該分野にて欠かすことのできない物質材料の研究開発において重要な役割を果たしつつあることを紹介し、新たな展望も議論する。II. 以降は著者らの研究グループで実施してきた核燃料の高温物性、構造材料の機械的特性、そして、土壤粘土鉱物に吸着した放射性セシウム化学形態解明等の3つの成果を紹介する。

## II. 第一原理計算と原子力分野への適用

### 1. 核燃料の高温物性

MOX 燃料を始めとする酸化核燃料は、取り扱いの制限や高温での実験等の困難さから、測定手段のみで詳細な物性を得ることは容易ではない。従って、計算科学を利用し測定された数少ない物性値を補間できれば、燃料開発やシビアアクシデント(極限環境時)の解析に際し重要な役割を担うことが期待できる。特に燃料開発において必須な熱物性値を任意の条件下で正確に計算可能となれば、その役割は極めて大きい。実際、既に分子動力学計算を用いた熱物性研究の成果<sup>1)</sup>が多数報告されてきた。しかし、通常の分子動力学計算では、原子間ポテンシャルを経験的に定めることが多く、定量的評価に際しては、当然の如くポテンシャル依存性が強く現れる。そこで、著者らは第一原理計算を用いて核燃料の主要成分である二酸化アクチニドの熱物性を評価する手法の研究開発を進めてきた。本節では、その成果として比熱の評価と高温での異常な酸素挙動について紹介する。

酸化核燃料、即ち二酸化アクチニドの場合、熱物性(熱容量或いは比熱)を担っているのは主に結晶中の原子の安定点付近での振動(格子振動)である。この格子振動を第一原理計算で評価することにより、熱膨張の影響も含め比熱が評価可能となる。しかし、実際には二酸化アクチニドでは、格子由来の比熱だけでなく、電子の励起による比熱(ショットキー比熱)も無視できない程大きく、そのショットキー比熱を評価することで初めて実験値を再現することができる<sup>2)</sup>(図1参照)。尚、ショットキー比熱は分子動力学では全く評価不能だが、第一原理計算を用いると、どちらの成分も評価可能であり、一つの計算で比熱への全ての寄与が計算可能となる。これまでの計算は比熱を過小評価してきたが、格子と電子の寄与の両方を第一原理計算から同時に計算することで正確に比熱を再現できることが分かった(図1参照)。

しかし、第一原理計算による格子比熱+ショットキー比熱の高精度評価が適用できる温度の上限は、1,500K程度である。実は高温になると、原子の運動は格子点での振動として表現できない程大きくなるため、格子振動による比熱として捉えることができない。こうしてシビアアクシデントを対象とした場合は、1,500K以上の高温領域での熱物性値が重要となり、別の比熱評価法を考案する必要がある。特に一部の二酸化アクチニドではブレディック転移と呼ばれる、融点より少し低い温度で比熱が急激に上昇する際立った現象が知られており、その原因は酸素原子の異常な拡散にあると考えられてきた。従来、このブレディック転移に対して、様々な原子間ポテンシャルを用いた分子動力学計算がなされてきたが、その転移温度や強度等は、ポテンシャルの違いによって大きく異なっていた。このような問題は、経験的なポテンシャルを必要としない第一原理分子動力学を採用することによって解決可能であるが、第一原理分子動力学は、計算負荷が大きいため殆ど実施されていなかった。しかし、近年の計算機の性能向上や計算技術の発展によ

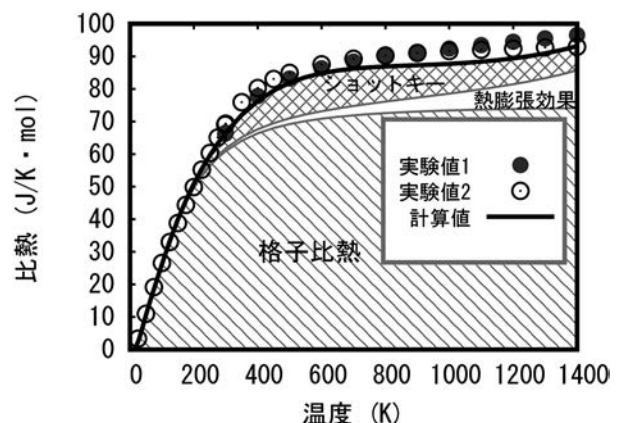


図1 二酸化プルトニウムの比熱  
実線が計算結果で、点が測定値を示している。計算値は格子比熱、熱膨張効果、ショットキー比熱を分割して表示。

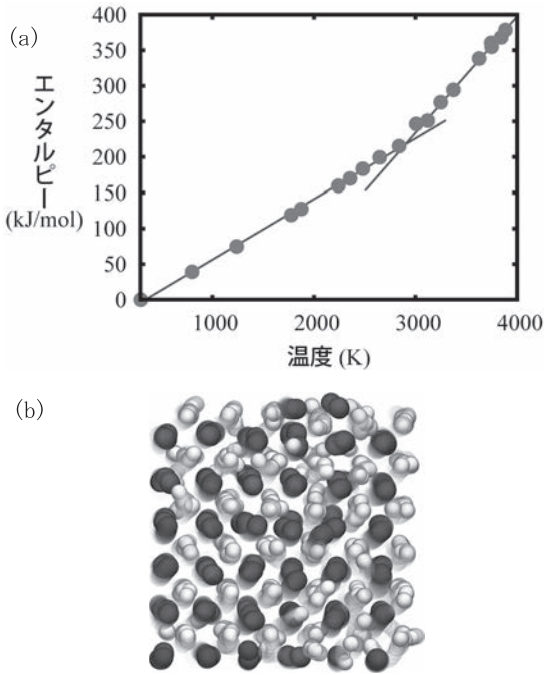


図2 (a)二酸化トリウムのエンタルピー  
点が計算結果で、線はその傾きを示している  
(b)3,500Kで原子の運動の様子(濃い球：トリウム，薄い球：酸素)

て、現実的時間内での計算が二酸化トリウムの場合、可能となりつつあることが判明した。しかも、ブレディック転移の有無さえも明らかでない二酸化トリウムに至っては、その存在の可否を究明することに価値があると考えられる。著者らにより実際に計算された結果を図2に示そう<sup>3)</sup>。図2で示したエンタルピーの温度依存性の計算結果より、3,000Kで明確な傾きの変化が分かる。比熱はエンタルピーの微分であるから、ブレディック転移が3,000Kで発生したことになる。しかも、計算はこれまでに得られていた測定値をほぼ再現した他、測定点だけでは、その精度の低さ故に明確なブレディック転移が見出せなかったことさえも明らかにした。このように第一原理分子動力学は古典分子動力学では決定できないブレディック転移温度を予測可能とした他、シビアアクシデント時に想定される高温領域でもその熱物性を高精度に評価可能であることを示した点で意義ある研究であったと考えている。

以上、核燃料物質の計算科学による熱物性評価について、筆者らの最新の成果を報告したが、第一原理計算を採用することで、実験値を精度良く再現可能とする報告が最近になりとみに増えている。しかしながら、現実の燃料物質は、数種類のアクチニドが混合されたMOX燃料であったり、照射による欠陥があったりと、これまでに計算対象としてきた純結晶とは大きく異なっている。このような現実的な核燃料の熱物性評価も試みられているが、未だ十分信頼できる手法が確立されているとは言えない。今後も第一原理計算を基にした熱物性評価手法の開発を続け、より現実的な核燃料物質に適用可能とす

ることを目標とし、研究開発を進展させたいと考えている。

## 2. 構造材料の機械的特性

原子炉圧力容器鋼には、不純物元素としてリン(P)などが含まれ、そのPが拡散し、図3に示す材料中の結晶粒界に達すると、そこに留まり(トラップされ)、粒界偏析することが知られている。中性子照射下では更に生成した空孔や格子間原子などの格子欠陥を介したPの照射誘起拡散によってもPは粒界に達し偏析する。こうしてPの粒界偏析は粒界に沿った脆性的割れを促進し、延性脆性遷移温度(DBTT)の低下や破壊靱性値( $K_{Ic}$ )の低下をもたらすことが知られている。この現象は粒界脆化と呼ばれ、オージェ電子分光による観察から結晶粒界面の高々2~3原子層以内での不純物原子の偏析が、巨視的な破壊を促進する現象であることが知られてきた。しかし、その偏析元素は、どのように且つどれほど、粒界の原子間結合力を低下させるのか、また、その低下が巨視的な破壊靱性とどのように関連しているかについては、全く理解されていなかった。このような背景下、最近の計算機能力の著しい向上や計算手法の進捗により、対称性の高い対応粒界に対しては、第一原理計算により粒界の原子間結合力の強さ、即ち凝集エネルギーを精度良く計算できるようになった。そして、その計算結果と粒界の凝集エネルギーの変化が、実はマクロな破壊挙動(DBTTや $K_{Ic}$ )と非常によく相関していることが判明し

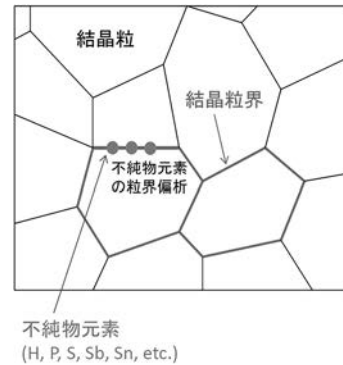


図3 結晶粒界と不純物元素の粒界偏析の概念図

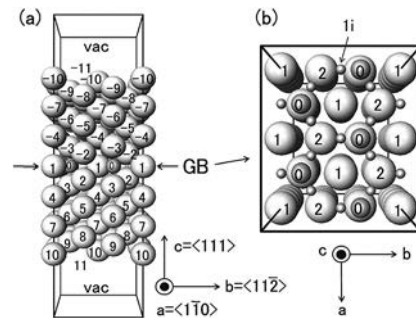


図4 bcc Fe  $\Sigma$  3(111)対称傾角粒界(構造は単純だが比較的高エネルギーの高い粒界GB)の原子モデリング

たのである。図4にて示した粒界は、対称性が高いために比較的少ない原子数でモデリングできるが、エネルギーは高くランダム粒界に近いと考えられる。この粒界を強化するとされるホウ素(B)、炭素(C)、その一方、粒界を脆化するとされるリン(P)、硫黄(S)原子を、置換あるいは侵入させた状態を作り粒界偏析状態を実現した。更にその粒界が割れ、これらの原子が(111)破面に現れた状態を作り、割れる前後のエネルギー差を計算した。このエネルギー差は、偏析元素が粒界の原子間凝集エネルギーをどのくらい低下させるかの指標(脆化エネルギー  $-\Delta 2\gamma_{int}$ )となっている。そのエネルギーを、高純度鉄から得られた粒界破壊のDBTT変化と比較すると(図5参照)、両者間に非常によい相関が得られたのである<sup>4)</sup>。

更に、同様の計算をアンチモン(Sb)、スズ(Sn)に対しても行い、Ni-Cr鋼のSb、Sn、P偏析による $K_{Ic}$ 低下のデータを解析した(図6参照)。その結果、 $K_{Ic}$ の低下は、偏析被覆率から推定される粒界凝集エネルギー低下とよく相関していること、そして、ある一定の粒界凝集エネルギーが、巨視的に観察される粒界破壊の閾値となっており、それ以下に粒界凝集エネルギーが低下することで、Sb、Sn、Pの元素の違いにかかわらず、粒界破壊が始まること等が分かってきた<sup>5)</sup>。

以上、第一原理計算によって精度良く計算可能な粒界

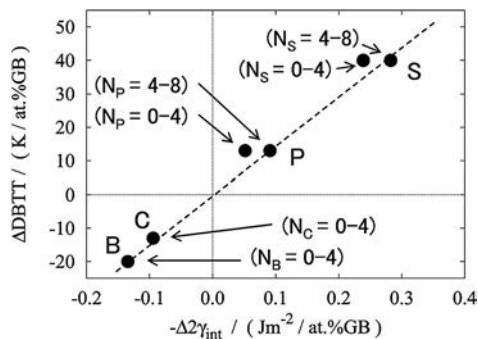


図5 高純度鉄のDBTT(本文参照)変化とB、C、P、S偏析による粒界凝集エネルギー変化( $\Delta 2\gamma_{int}$ )

$N_x$ は偏析量を表す。DBTT変化と $\Delta 2\gamma_{int}$ がよく相関している

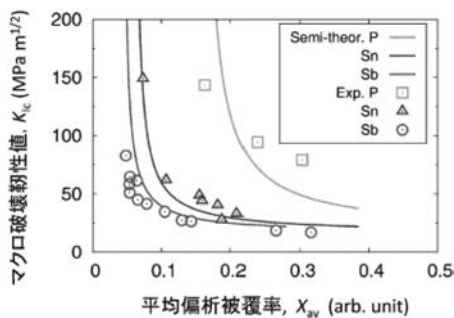


図6 Ni-Cr鋼の $K_{Ic}$ (本文参照)低下の実験データ(Exp.)と、粒界凝集エネルギー低下から推定される半理論曲線(Semi-theor.)

凝集エネルギーが、構造材料の粒界破壊における支配要因の一つであることが明らかとなってきた。一方、破壊のもう一つの大きな支配要因である転位挙動に対する溶質原子の影響も、徐々に第一原理からの計算が可能になってきており、その進展が大いに期待される。

### 3. 放射性セシウムの土壌中での化学結合状態

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震及び津波に起因する東京電力ホールディングス(株)福島第一原子力発電所事故により放射性元素が環境中に放出された。中でも放射性セシウムは表層土壌に強く吸着し、長期間、地表に放射線源として留まるため、住民の長期にわたる被ばくや避難の原因となる。そこで、政府・自治体等は大規模な除染を行い、その結果、多くの地域で空間線量率は減少し、一部住民は帰還するに至った。しかし、この大規模除染によって大量の除染除去土壌が発生し、その保管は国民に大きな負担を与える問題となっている。この問題を解決するためには、除染除去土壌から放射性セシウムを取り除き、保管の必要がある汚染土壌の容積を減らすことが肝要だが、十分に効率的かつ経済的な方法は未だ開発されていない。その理由は、放射性セシウムの土壌に対する吸着現象の機構が分からず、科学的評価ができない上、科学的知見に基づく工学技術の最適化も不可能であり、手探りの状態での技術開発が先行してきたためである。この事態の打開を図るため、著者らは第一原理計算手法を用いて、その吸着機構、即ち吸着化学形態の謎を探索してきた。

従来の多くの研究により、土壌中の風化雲母粘土鉱物がセシウムを強く吸着していることが知られており、図7のような風化雲母粘土鉱物のモデルを構築した<sup>6)</sup>。このモデルに対し、第一原理計算手法にてセシウムの吸着エネルギーを評価した結果、雲母粘土鉱物が風化してできる楔状の構造(図7左上図)がセシウム吸着に本質的な

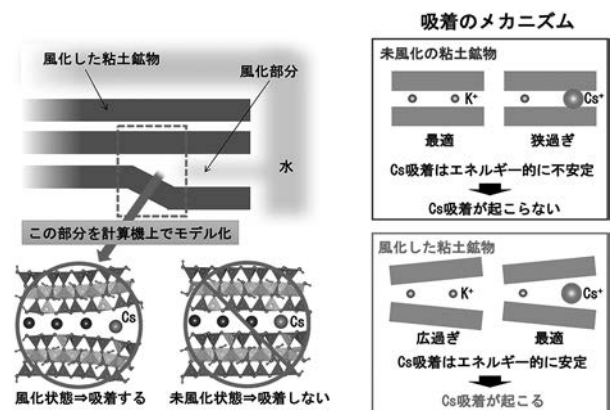


図7 風化した粘土鉱物によるセシウム吸着シミュレーション 粘土鉱物の風化部分(左上図)に着目し、モデルを構築して第一原理計算法によって吸着エネルギーを評価した(左下図)。その結果、風化状態以外では、セシウムを吸着しないことが分かった(右図)。

役割を果たすことが分かった。また、その機構は次のように理解できることが分かった(図7右図参照)。セシウムイオンは元々、雲母粘土鉱物に入っているカリウムイオンと交換し、雲母粘土鉱物に吸着されるが、セシウムはカリウムよりもイオン半径が大きいため、層間の狭い未風化の粘土鉱物に入るとエネルギー的に不安定になってしまう。その一方、風化した粘土鉱物に存在する楔状の半開き構造になると、セシウムイオンの半径にちょうど良い層間距離の部分が見られるため、セシウムを安定に吸着できる。しかも、第一原理計算はセシウムと粘土鉱物中の酸素との間に電荷移動が起こり結合に関与することも明らかにした。これらの結果は、粘土鉱物におけるセシウム吸着様態を初めて詳細に明らかにしたものであり、除染除去土壌の減容技術開発の基礎的知見として重要な結果と考えられる。尚、放射性セシウムの粘土鉱物による吸着現象については、最新の実験及びシミュレーション研究の結果をまとめたレビュー論文<sup>7)</sup>を執筆した。これも参照されたい。

### III. まとめ

本解説では、第一原理計算手法を適用し得られた3つの分野の成果について紹介したが、粒子法という観点から考えると、粒子を原子・分子という物質の最小構成単位とすると、その相互作用は電子状態、即ち電子の波動関数を求めることで計算可能という概念の上に第一原理計算は成立している。このように素朴だが直接的な科学の進展が長い時を経て、多くの科学者によって進められてきたことに思いを馳せ、原子力分野への適用例の成果と今後の進展を考えると、第一原理計算の長所と短所が浮かび上がる。長所は上記のように、その計算手法の普遍性、即ち適用領域が格段に広いということである。扱う体系は異なるが、著者らが使うコード(VAPS)は共通である。しかし、第一原理計算と呼ばれてはいるが、計算手法は厳密ではなく、その近似による限界を理解し、その適用範囲を更に広げる努力が必要である。最近になり、やっと認識されてきたことだが、従来の第一原理計算はそもそも、ファンデルワールス力の重要な一種である分散力を全く記述できていなかった。しかし、その事実を明確に認識していた利用者は少ない。その力による物性への寄与は、計算から完全に抜け落ちていたが、全く気にせず利用されてきたのである。現在はその補正手法が多数開発されたが、このような問題は、人々が精度を高める欲求を募らせれば、次々と今後も顕在化していくだろう。正に技術や社会の成熟と共に発生する課題と同じ構図である。一方、扱える系の空間の大きさと時間が限定的であることにも注意する必要がある。しかし、今はその限界を深く認識しつつも、適用範囲を物質特性

の深い理解やメゾ・マクロの物性との関係へと広げる可能性を追求すべきである。後者の方向性の最近の興味深い挑戦として、AIを用い第一原理分子動力学を実施することで、原子・分子間に働く相互作用の特徴を記憶させ、大規模な分子動力学計算へと系の時空間スケールを拡大させるという方向性がある。これまでは、人が相互作用を深い物理的洞察や知見によりモデルを構築してきたが、第一原理分子動力学を計算機上で実施することで、AIがその得られた膨大なデータを基に特徴量を把握し相互作用モデルを作り、大きく且つ長時間の計算が可能なる計算手法に渡すという発想である。この挑戦は、長らく課題であったシミュレーションのマルチスケール化を自動的に実施すると言う点で優れている。以上、今後の発展に一石を投じるような技術にも触れた。この辺りで本稿を閉じることとする。

#### — 参考資料 —

- 1) 例えば, S. Potashnikov, A. Boyarchenkov, K. Nekrasov, A. Kupryazhkin, J. Nucl. Mater. 419, 217 (2011).
- 2) H.Nakamura, M.Machida, and M.Kato, J. Phys. Soc. Jpn. 84, 053602 (2015).
- 3) H.Nakamura and M. Machida, J. Nucl. Mater. 478, 56 (2016).
- 4) 山口正剛, ふえらむ 15(2010)755-761.
- 5) 山口正剛, まてりあ 54(2015)110-117.
- 6) M. Okumura, H. Nakamura, and M. Machida, J. Phys. Soc. Jpn. 82, 033802 (2013).
- 7) M. Okumura *et al.*, J. Environ. Radioact. 189, 135 (2018).

#### 著者紹介



町田昌彦 (まちだ・まさひこ)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)理論及び計算物理学, 固体物理学, 放射線科学, 生命科学, 環境科学



奥村雅彦 (おくむら・まさひこ)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)環境中のマイクロ現象とその原子・分子シミュレーション解析



中村博樹 (なかむら・ひろき)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)計算物理学, 原子・分子のシミュレーション



山口正剛 (やまぐち・まさたけ)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)固体電子論(第一原理計算), 計算材料科学

# WEO2017 と内外エネルギー情勢への示唆

## 第2回 石油情勢の長期展望と不確実性

東京大学 小宮山 涼一

WEO2017 は、将来の世界の石油需要の伸びは頭打ちになる中でも、既存油田の生産量減退を補うための巨額の投資が必要なため、原油価格は長期的に上昇すると見ている。また、石油市場の不確実性が増しており、その背景には電気自動車等の先進技術の普及拡大や、米シェールオイルの存在があると指摘している。WEO2017 を踏まえ、石油市場の予見可能性の低下は、円滑な石油開発投資を阻害し、需給変動発生時の石油価格高騰リスクを高めるため、燃料価格の変動に強い原子力は、エネルギー市場のリスク対応策として重要になると考えられる。

**KEYWORDS:** oil demand, electric vehicle, automated driving system, oil supply, tight oil, oil price, OPEC

### I. はじめに

リーマンショックが発生した2008年以降の原油価格は、20ドル～100ドル台で大幅な変動が見られ、特に2014年後半に米シェールオイルの影響と世界的な石油供給余剰をうけ急落したが、堅調な世界経済やOPEC・非OPECの協調減産、中東等での地政学的リスク等の要因により、70ドル付近まで上昇している。その中で大きな影響力を行使しているのは、北米のシェールオイルである。従来、シェール生産は高コストと見られたが、技術やノウハウ、地質情報の蓄積により、経済性を高め、低水準の原油価格でも生産可能となって、原油価格のバックストップ的役割を担い、国際石油市場に影響を与えていると考えられる。

一方、バッテリー価格の低下と電気自動車(EV)の技術進歩を踏まえ、石油の消費面では、不確実性もあるが、中国等での次世代自動車の急速な普及浸透により、これまで過去10年間で約1%で伸びている世界の石油需要が将来ピークを迎え、減少に転じるといった石油需要ピークの実現可能性が国際的な注目を集めている。革新的技術の普及への期待により、石油需要の将来展望にも不確実性の高まりが見られつつある。

*Implication from WEO 2017 for energy system-(2) ; Outlook and uncertainty of oil market : Ryoichi Komiyama.*

(2018年5月10日 受理)

■前回タイトル

第1回 持続可能な開発と長期エネルギーシナリオ

このように石油の将来展望は、需給両面において、シェール革命の進行、EVや自動運転技術等の技術革新により、不確実性が従来になく高まっている。石油開発事業は一般に巨額の投資を要するため、不確実性の高まりは投資を困難にし、石油の安定供給に影響を及ぼす可能性もある。本稿では、国際エネルギー機関(IEA)のWorld Energy Outlook 2017(WEO2017)での、石油情勢の長期展望を紹介し、原子力エネルギーへの示唆等について考える。

### II. 石油需要の長期展望

#### 1. 石油需要と電気自動車

世界の石油需要のこれまでの動向を見ると、経済成長とともに増加し、1973年の日量5,500万バレルから2017年には同9,800万バレルまで拡大している。近年は、アジア新興国が世界の石油消費増加を牽引し、近年の原油価格形成には、主としてアジア新興国の石油需要増加が原油価格の下支えとして影響を与えてきた。

これまで世界の石油消費の典型的な長期展望では、世界経済の成長の下、先進国では経済の成熟化と技術の効率化や燃料転換で縮小する一方、それを相殺する水準で、新興国ではモータリゼーション、すなわち所得水準向上による自動車保有台数増加や物流拡大とそれに伴う輸送用燃料需要の増加を受け、世界の石油需要は長期的にも、過去に比べれば緩やかであるが、増加基調で推移すると見られていた。現に、新興国の自動車保有台数は2000年の2.4億台から2015年には5.3億台まで倍増以

上で急伸し、石油需要を押し上げている。

しかし近年のバッテリー価格低下と技術進歩により、EV普及が徐々に進み、将来、先進国では石油消費減少のテンポが加速化し、新興国でも石油消費の伸びが大きく鈍化し、世界全体として石油需要が中長期的に頭打ちとなって減少に転じるという見方が現れている。WEO2017の持続可能な開発シナリオでは、世界全体での電気自動車の急速な普及を見込んでおり、2040年の世界の石油消費は現状比で3割弱も減少し、早々にピークを打ち、急減するとしている(図1)。また、WEO2017では、具体的に言及はされていないが、EVの他に、IoTなど情報技術の活用により、車の先進的運用方策が需要に影響を与える可能性もある。自動運転技術やライドシェアの普及進展が、社会や日常生活における輸送や移動の需要に変化を引き起こし、ひいては自動車保有台数や石油需要に対して、WEO2017の想定以上に大きな影響を与える可能性もありうる。最近では、車、電車、バスなど、様々な交通手段をまとめて、情報システムを通じて運賃等を総合的に管理する形で、移動サービスを提供するMaaS(Mobility-as-a-Service)という考え方が注目を集め、これにより、自動運転やカーシェアリングが進む可能性もある。

実際に世界の石油需要は、第2次石油危機以降の1980年～1983年に、先進国での電力部門を中心とした本格的な脱石油政策により減少し、石油火力新設禁止が実施され需要抑制が発生した。現在、イギリスやフランスがEV普及政策を表明しており、世界的なEV政策の展開の行方が注目される。

しかしWEO2017は、EVの普及可能性を指摘する一方、石油を過去の遺物とする判断は時期尚早であると指摘し、石油の重要性は中長期的に不変であるとも示唆している。価格競争力のある米シェールオイルが石油価格の上限を抑制するほか、EV普及が石油需要の伸びを抑制し石油価格の安定化に作用して、社会の石油離れは簡単には進まないとも指摘している。

また、EV普及は、石油需要に大きなインパクトを与

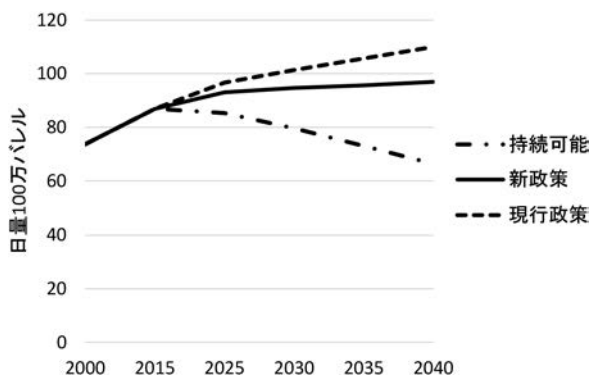


図1 世界の石油需要の展望

(出典) IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, Annex A. Tables for scenario projections (p.641～)をもとに著者作成

える可能性もあるが、急速充電所といったインフラ面の整備状況にも依存すること、自動運転技術など車のあり方を変革する技術の進歩やその石油需要への影響は予測困難であるため、不確実性もある。自動運転はセンサー技術、AI技術、制御系技術から構成されるシステム技術である。車の周辺環境をカメラ、レーダー等で感知し、AI技術で車の動作方針を決定し、車のエンジン、ブレーキ等を操作、制御する一連のプロセスから構成され、全ての動作を車自体が行う。しかし自動運転による車の利便性の向上が自動車の普及パターンに与える影響を見極めることは現時点では困難である。

## 2. 石油需要の長期展望

既述の通り、革新的自動車技術の普及の可能性を踏まえ、WEO2017の世界の石油需要見直しには各シナリオにおいて大きな差異がある。中長期的に堅調な増加を予測するシナリオや、長期的に需要が減少するシナリオまで、予測には大きな不確実性がみられる(図1)。

しかし、最も需要減少が進む2℃目標を達成する持続可能な開発シナリオでも、2040年の国際石油需要は日量7,000万バレルにあり(図1)、世界の既存油田の老朽化や生産減退テンポを考慮すると、石油生産維持に要する巨額投資が将来必要である可能性が高いと考えられる。

また、WEO2017の現時点で最も実現可能性の高いと見られる新政策シナリオでは、2020年代半ばまで世界の石油需要の伸びは依然として堅調だが、以降は大きく鈍化する。2040年に世界全体の自動車保有台数は現在の2倍の20億台に達する一方、EVが2.8億台まで普及し、エネルギー効率化と燃料転換により、乗用車の石油消費量の伸びが抑制されるためである(図2)。しかし、乗用車向け以外の付加価値の高い財を製造する石油化学部門や、船舶、物流など他部門の石油需要は底堅く、2040年まで着実に増加し(図2)、乗用車向けの石油節約分を相殺して、石油需要全体としては増加傾向で推移し、2040年までに日量約1億バレルという歴史的な高水準に達する(図1)。2℃目標と整合性のある持続可能な開発シナリ

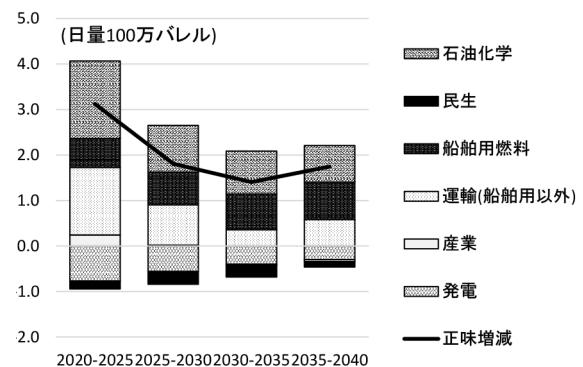


図2 世界の部門別石油需要増加量(新政策シナリオ)

(出典) IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, Annex A. Tables for scenario projections (p.641～)をもとに著者作成

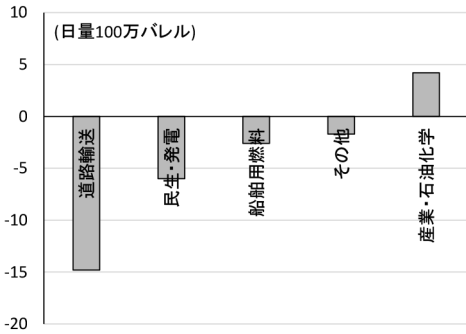


図3 世界の2016～2040年の部門別石油需要増加量(持続可能な開発シナリオ)  
(出典)IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, p.157のTable 4.1をもとに著者作成

オにおいてさえも、石油需要全体が大きく落ち込む中、石油化学産業だけ需要の伸びが見込まれ(図3)、石油代替が物理的に困難であることを示唆している。

このように新政策シナリオは、石油需要を分析する際、乗用車向けの長期展望に着目するだけでは不十分であることを示唆している。WEO2017は、乗用車は国際的に燃費規制が厳しくなる傾向にあるが、トラックなど重量車への規制は相対的に進んでいないと指摘し、耐久消費財の生産や物流、航空、船舶向けにおいて石油は中長期的に重要な燃料であることを示唆している。世界の石油需要の本格的な抑制を考える場合、乗用車向け以外にも利用効率改善や代替燃料導入が進むことが必要条件になると考えられ、社会全体での石油利用の将来像を総合的に考察することが重要となる。

### III. 石油供給の長期展望

#### 1. 米国シェールオイルの影響

シェール革命により、現在、世界最大の産油国である米国の国際石油市場でのプレゼンスが高まっている。米国の石油輸出量は既にアラブ首長国連邦、イラク、クウェートといった代表的な中東産油国の輸出量を上回った。その背景にはシェールオイルが油価下落の環境下でも生産継続できる経済優位性を獲得した点にある。米国内の原油増産と石油化学産業等を活性化して、米国の石油輸出量を押し上げ国際石油市場に大きな影響を与えている。過去5年間、シェールオイル生産量は世界の石油需要の伸びを上回るテンポで伸長し、北米(米国・カナダ)の増産分は世界の石油増産分にほぼ等しく、世界の石油市場拡大はシェールに支えられている。WEO2017は、2010年から2025年までの15年間の米シェール生産量増加は日量800万バレルにのぼり、一か国での石油産出量の伸びとして過去最高になるとしている。

現在、シェールオイルは米国の原油生産量の半分ほどの(図4)、WEO2017の見通しでも、シェールオイルは中長期的に米国の原油生産の半分を占め、現状水準での生産量が維持されることが見込まれている(図5)。また

WEO2017では、シェールを背景に、米国は2020年代後半に石油の純輸出国となり(図6)、米国の石油輸出国化は国際石油貿易の再編を促すとされ、シェールは長期的に国際石油市場での原油供給の中心的役割を担うものと見られる。米シェールの今後の行方が、国際石油需給、ひいては原油価格の展開の大きな鍵を握ることになると考えられる。

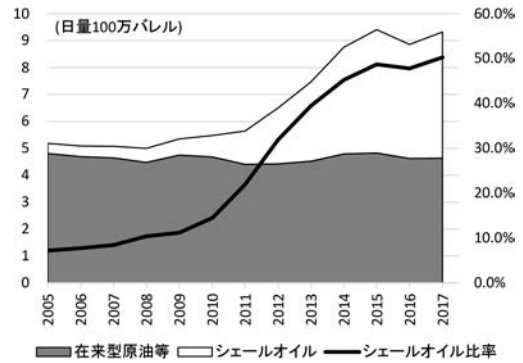


図4 米国の原油生産  
(出典)EIA/DOE, Petroleum & Other Liquids, Crude reserves and production<sup>2)</sup>をもとに著者作成

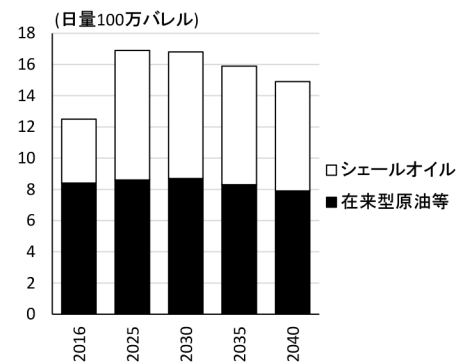


図5 米国の原油生産の展望  
(出典)IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, Annex A. Tables for scenario projections(p.641～)をもとに著者作成

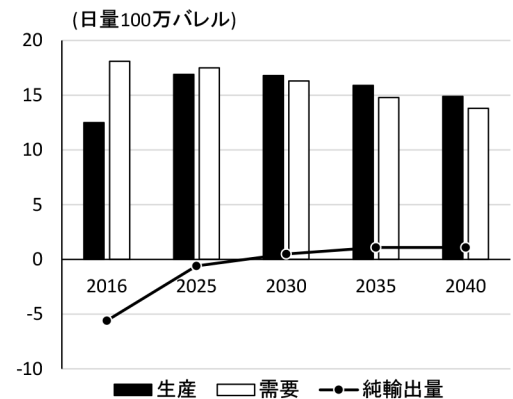


図6 米国の需給の展望  
(出典)IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, Annex A. Tables for scenario projections(p.641～)をもとに著者作成

## 2. OPEC の石油政策

米国産原油が国際石油市場での存在感を増す中、もう一方の石油市場の重要プレーヤーである OPEC の石油政策にも関心が高まっている。近年のシェールオイル急増に対して、世界の石油需給の調整役を担う OPEC 産油国は、市場シェア確保策を優先し、2016 年後半にロシアなど非 OPEC 産油国との協調減産を合意し、主要産油国に産出枠を課して供給量を制御して、石油価格の下落を防ぐ価格維持を重視する戦略を内外に示した。世界の石油供給の大きな比率を占める OPEC の盟主サウジアラビアと非 OPEC の代表的存在であるロシアの提携は意義が大きく、OPEC・ロシアで世界の石油生産量の 5 割を上回るため(米国は 1 割)、石油市場へのインパクトが大きい。ただし WEO2017 は、OPEC の長期の石油供給能力にも地域差があるとして、OPEC 加盟国であるリビア、アルジェリア、ベネズエラでは投資不足等の要因により生産量回復に不確実性があるが、サウジアラビアとイラクといった中東 OPEC が安定供給を維持し、特にイラクが大きく増産して OPEC で第 2 位の産油国になると見込んでいる。

現在の OPEC の石油減産戦略は国際石油市場へ一定の影響を与えていると見られる。WEO2017 は、OPEC の石油戦略の展開として、引き続き産油収入確保のため減産し、価格維持を狙うか、もしくは減産を取りやめ、販売量確保を重視した産油国間での市場シェア競争となる中、供給増加による価格下落によりシェール等の増産の抑制を狙う可能性を指摘しており、OPEC は難しい選択を迫られるとみられる。

OPEC の石油戦略にとって、特に財政収支の考慮が重要となる。国家歳入の多くを石油輸出収入に依存する主要産油国にとって、減産を通じて原油価格の下落を予防し、財政収支の均衡維持は重要となる。しかし、減産により原油価格が上昇すれば、シェールオイルが競争力をつけて再び増加して OPEC の市場支配力が弱まること、また、石油価格上昇を通じて電気自動車普及が加速化し石油需要の伸びを抑えて輸出量が急減して、OPEC の石油輸出収入が減少する可能性が考えられるが、WEO2017 の新政策シナリオでは、OPEC による減産、価格維持政策を見込んでいる。しかし実際には、長期的な減産による価格維持政策は産油国にとって望ましい政策とはならない可能性もあり、難しい石油政策の実施が求められる状況にあると考えられる。

## 3. 石油供給の展望

WEO2017 によれば、長期的に見れば、世界の石油需要が堅調に増加する中、シェールオイル増産を考慮に入れても、既存の石油探鉱開発事業の供給量だけでは世界の石油需要には足りず、供給不足が発生する可能性が指摘されている。図 7 は新政策シナリオにおける 2040 年

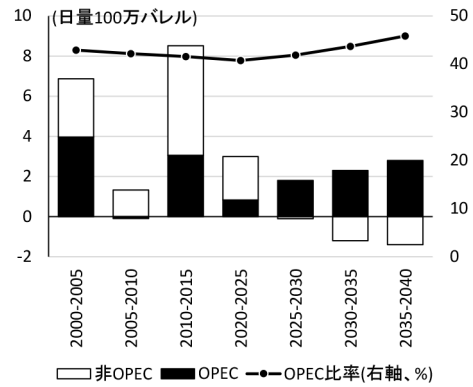


図 7 石油供給増加量の展望

(出典) IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, Annex A. Tables for scenario projections (p.641～)をもとに著者作成

までの OPEC・非 OPEC 別の石油増産量と、石油供給全体に占める OPEC 比率を示している。WEO2017 の見通しでは、シェールオイルが 2020 年代後半にかけて増産を継続して重要な役割を担うが、それ以降、米国を含めた非 OPEC の生産量の伸びが頭打ちになるため、需給均衡を維持するためには OPEC 原油への依存度が徐々に上昇する(図 7)。そのため、WEO2017 では、将来の世界の石油需要の伸びが緩やかになり、シェールオイルの存在を見込んだ上でも、OPEC の国際石油市場への影響力が長期的に拡大することが示唆されている。

また、新政策シナリオでは世界の石油需要の伸びは鈍化するが、既存油田の生産量減退を補うため、2040 年までに計 6,700 億バレルの石油資源開発が必須になり、巨額投資が必要になると指摘されている。需要が伸びない中でも、既存油田の老朽化等により、原油価格に長期的にコスト上昇圧力がかかることを示唆している。

## 4. 原油価格の見通し

WEO2017 の原油価格見通しでは、石油需要の伸びが長期的に抑制される新政策ケースにおいても、2040 年には 110 ドルへ上昇すると見込んでいる(図 8)。既述の通り、たとえ石油需要の伸びが鈍化しても、油田の老朽化、生産減退を補うためには巨額の投資が必要になり、それを反映して原油価格が上昇するためである。

WEO2017 では、過去に発生した低油価環境を踏まえ、「低油価ケース」を想定している。同ケースでは、さらに石油生産が増加し、需要が抑制される市場環境を想定している。供給面ではシェールオイル資源量が他ケースの 2 倍の 2,000 億バレルを超え、米シェール生産が一層増加し、需要面では政策支援によって、世界で EV がさらに拡大し、2040 年には EV 普及量が 9 億台に達して、石油需要の伸びのさらなる抑制を想定している。加えて、低油価でも産油国は石油輸出収入減少による経済上の課題を克服可能との楽観的想定の下、2040 年の原油価格は 60 ドルに維持されるとしている(図 8)。



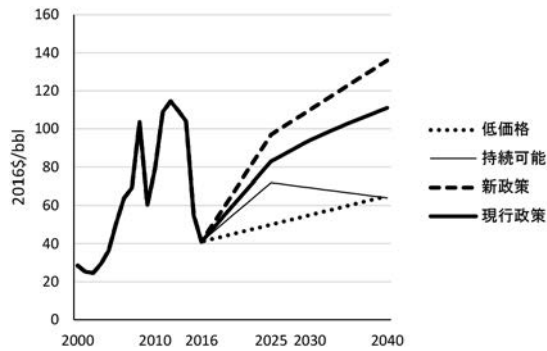


図8 原油価格の展望

(出典) IEA, World Energy Outlook 2017<sup>1)</sup>, Annex A. Tables for scenario projections(p.641～)をもとに著者作成

しかし WEO2017 では、低油価ケースの実現には、強力な政策措置の役割が重要になるとしている。理由は、石油が低価格の場合、消費者サイドで、石油からの燃料転換や省エネのインセンティブがほとんど働かないため、EV 等の先進技術が普及しにくくなる。そのため技術革新やインフラ整備等を支援する政策措置が不可欠になると指摘している。

#### IV. 結語

WEO2017 の長期の石油市場の予測では、不確実性が高まっている点に特徴がある。需要面では、本格的な電気自動車等の普及拡大などが予見され、供給面では米シェールオイルの増産の可能性等が指摘されており、需要、供給の見通しそれぞれで振幅が大きく、原油価格

の見通しにも大きな不確実性が見て取れる。

WEO2017 が示している通り、最大限 EV が普及し、石油需要が大きく減少したとしても、世界の石油需要は 2040 年で日量 7,000 万バレルであり、既存油田の老朽化を考慮すると、引き続き、石油開発に巨額な投資が必要であると見込まれる。しかし、石油市場の不確実性の高まりは、円滑な石油開発投資を困難にするため、十分な供給余力が確保されなくなるなど、石油の安定供給に影響を及ぼす可能性もある。これにより需給が長期的にひっ迫気味になれば、市場での小規模な需給変動発生時に、価格が大きく高騰するリスクが高まる。石油価格は長期的に見ても引き続き電気、ガスなどあらゆるエネルギー源の価格や経済成長に影響を及ぼすと見られ、石油価格の不確実性への備えを強化する上で、燃料価格の変動に強い原子力エネルギーによるエネルギー安定供給の確保は引き続き重要になると考えられる。

#### － 参考資料 －

- 1) International Energy Agency (IEA)/ OECD : World Energy Outlook 2017 (WEO2017), OECD/IEA, 2017.
- 2) EIA/DOE, Petroleum & Other Liquids, Crude reserves and production. (アクセス日: 2018 年 4 月 15 日)  
< <https://www.eia.gov/petroleum/data.php#crude> >

#### 著者紹介

小宮山涼一 (こみやま・りょういち)  
本誌, 60[8], P29(2018) 参照.

## 第4世代原子炉の開発動向

## 第7回 ナトリウム冷却高速炉(SFR)

日本原子力研究開発機構 上出 英樹  
三菱FBRシステムズ 伊藤 隆哉  
日本原子力発電 小竹 庄司

ナトリウム冷却高速炉は、ウラン資源の利用効率を飛躍的に向上させるとともに、プルトニウム他の長寿命 TRU 核種を効率的に燃焼させ、使用済み燃料の減容化・潜在的な有害度低減を可能にする優れたポテンシャルを持ち、実証段階へと進みつつある有望な高速炉概念である。ロシアの BN-800 が 2016 年 10 月より商業運転を開始したことはその実用化に向けて大きな一歩であり、ロシアはこれにより商用段階に入ったとしており、次期炉である BN-1200 では GIF の掲げる安全性、経済性目標の達成を目指している。中国では 600MWe の実証炉の建設を開始し、インドは原型炉 PFBR の運転を目前を控え、これに続き実用炉 6 基の建設計画を有している。ここでは各国のナトリウム冷却炉の開発の進展を概観するとともに、日本における開発状況と今後の方向性をまとめた。

**KEYWORDS:** SFR, Sodium-cooled Fast Reactor, Generation-IV, GIF, Sodium, BN-800, BN-1200, CFR-600, ASTRID

## I. はじめに

ナトリウム冷却高速炉の開発は 1951 年の EBR-I による原子力による初めての発電に始まり、すでに 70 年近くが経過している。その間、各国に実験炉/原型炉/実証炉等が建設され、米国 6 基、ロシア 5 基(カザフスタンの BN-350 含む)、フランス 3 基、イギリス 2 基、ドイツ 2 基(SNR-300 含む)、インド 2 基(PFBR 含む)、日本 2 基(「もんじゅ」含む)、中国 1 基の合計 23 基の建設経験がある。炉心照射データ、安全性関連の試験データ、構造材料等の長期間の使用データが蓄積され、発電システムとしての技術が確立されつつある。実用化に向けた課題として、

最近の規制の動向を考慮した安全性向上、信頼性向上(ナトリウム対策、保守補修等)、経済性向上が必要という国際的な共通認識がある。

特に、DOE-CEA-JAEA の三機関はこれら過去の知見を踏まえ、2013 年に共同して高速炉の開発目的と状況を分析した。その結果、開発目的としては原子力エネルギー

の持続可能性のために閉じた燃料サイクルを確立可能な高速炉が必要不可欠であること、高速炉を開発する場合の冷却材の選定についてガス、重金属、ナトリウムの評価を行い、ガス及び重金属は開発目標を達成可能だが、燃料および安全性に開発リスクがあり、実験炉の建設前に長期の要素技術開発が必要であり、ナトリウム冷却高速炉(SFR)が実用化に最も近いことを共通認識として確認している<sup>1)</sup>。

最近の海外の開発状況はそれを裏付けており、ロシアでは BN-600 の安定的な運転を達成するとともに、BN-800 が 2014 年の初臨界から 2015 年に初送電、2016 年に商業運転に移行するなど、計画的な運転を進めている。BN-1200 では軽水炉と同等の経済性を達成することを目標に開発が進められている。また、インド、中国でもそれぞれ実証炉の建設の着手、実用炉の建設計画を有する段階となっている。ここではこれら開発の盛んな国及び、高速炉の開発を継続しているフランス、米国、韓国の状況を概観するとともに日本における開発状況と今後の方向性をまとめた。

## II. ナトリウム冷却高速炉の特徴

ナトリウム冷却の特徴は連載第 1 回でもまとめられているが、中性子の減速が少ない、熱除去能力に優れており炉心の出力密度を高くすることができる、大気圧下の沸点が約 880℃ と高く冷却系を低圧にできる、系統温度

*The development status of Generation IV reactor systems (7): Sodium-cooled Fast Reactor (SFR):* Hideki Kamide, Takaya Ito, Shoji Kotake.

(2018 年 6 月 15 日 受理)

■前回タイトル

第 6 回 熔融塩炉・トリウム炉

差を大きくとり、空気を最終ヒートシンクとした自然循環による崩壊熱除去が容易、構造材との共存性に優れる等、原子炉として幾つもの利点を有している。

一方、ナトリウムは化学的に活性であり、水や空気と激しく反応する。また、不透明であるため、目視あるいは光学的な手段でナトリウム中の構造物の検査ができない等、還元雰囲気で構造材料を腐食させる懸念は小さいものの、機器・構造の保守点検には解決すべき課題がある。これらの欠点を踏まえ、SFRのエネルギ変換システムとして蒸気発生器を用いる場合には、伝熱管破損によるナトリウム-水反応の影響が炉心に及ばないよう2次ナトリウム系を設置する設計が多く、システム構成が複雑化する。

燃料形態としては、酸化燃料( $UO_2$ - $PuO_2$ )、金属燃料( $U$ - $Pu$ - $Zr$ )が適用されてきており、また、一部の国では窒化物燃料( $UN$ - $PuN$ )の適用も検討されている。高速中性子を使うことで、燃料増殖、使用済燃料に含まれるマイナーアクチニド(MA)の燃焼が可能である。

前述のDOE-CEA-JAEA三機関の分析が示すように、ガス、重金属(Pb-Bi等)でも高速炉であれば持続可能性のための閉じた燃料サイクルを達成可能であるが、炉心燃料の照射データ、安全性試験のデータ(特に、燃料溶融後の挙動と冷却性)、材料強度の長期間データについてはSFRは知見が豊富で、他の概念が実験炉の前に長期間のR&Dを必要とするのに対し、SFRはシステムの基本的な成立性についての技術は確立されており、開発リスクが低いと言える。

### Ⅲ. 国内外の開発状況

#### 1. 海外の開発状況

##### (1) ロシア

ロシアは2010年2月に連邦目標計画(FTP)を承認し、天然ウランと使用済燃料の利用効率向上を確保しつつ、持続可能な閉じた核燃料サイクルを最終的に目指している。

2012年ROSATOMはFTPの下で、新たな原子力技術のプラットフォームを作るブレイクスルー(Proryv)計画を立ち上げ、実績のあるSFR(BNシリーズ)に加え、窒化物燃料を用いた鉛冷却炉サイクルの開発も並行して行うこととしている。いずれも1,200MWe級での実用化を目指している。同計画は、原子炉のシビアアクシデントの防止、閉じた燃料サイクル、放射性廃棄物の削減、核不拡散、原子炉の資本費の削減などを基本方針に挙げている<sup>2)</sup>。

原子力導入戦略としては「2コンポーネントシステム」と呼ばれる計画を公表している<sup>3)</sup>。軽水炉(VVER)と高速炉(BN)の組合せで原子力発電設備容量を増大しつつ閉じた燃料サイクルを段階的に達成する方針としてい

る。原子力導入量の目標を2030年に35GWe、2050年に52GWe、2100年に120GWeとしつつ、このうち高速炉導入量の目標は2030年に数GWe、2050年に約20GWe、2100年に約90GWeとしている。また海外輸出に関しては、先行しているVVERとともに、BNも2030年代半ば頃から輸出を始め、両炉型ともに国内建設する基数と同程度を海外に輸出する計画としている<sup>4)</sup>。

SFRの開発状況は順調であり、世界で最も高い稼働率を維持しているBN-600は、1982年から35年に亘り、年間稼働率75%以上(2014~2017は84%以上)を達成している。これに加え、BN-800の商業運転を2016年10月から開始、順調に運転しており、BN-600、BN-800を実用に供している炉として位置付けている。開発中のBN-1200は第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)の場において設計目標と主要な設備計画などが第4世代炉の目標を満たし得るとされており、軽水炉と同等の経済性を達成することを目標としている。プルトニウムの利用という視点では、BN-600は従来はウラン燃料炉心であったが、MOX燃料を導入しつつある。BN-800では初装荷燃料は $UO_2$ 燃料とMOX燃料の混合(ハイブリッド)炉心であり、燃料交換3回を経てフルMOX燃料炉心に移行する計画としている。2016年8月、ロシア連邦政府は政府政令を公表し、これにより2基のBN-1200を含めた11基の原子炉を2030年までに建設することとしている。

##### (2) インド

インドの原子力開発は、国内に豊富にあるトリウム資源とウラン資源を利用してエネルギーを確保することを目指し、三段階のアプローチで進められており、現在は第二段階に相当するSFRサイクル技術の開発を重点的に推進している。

2018年4月現在、運転中の原子力発電所は22基(PHWR18基、BWR2基、VVER2基)で発電設備容量は6.2GWeであり、原子力の発電比率(2016年)は約3.4%である。建設中の原子力発電所は6基(PHWR4基、VVER1基、PFBR1基)、計画中の原子力発電所は15基(PHWR12基、AES-923基)である<sup>5)</sup>。経済成長率(2014~2018年は年7%でGDPが増大)が高く、人口の約20%は電力を利用できない状況にあることから原子力発電の導入ニーズは高く、原子力発電設備容量の計画値は、13.48GWe(2024年)、22.48GWe(2032年)である<sup>6)</sup>。これら急激な設備容量の増加とそれら設備への燃料供給の観点から高速炉の開発が重視されている。

高速実験炉(FBTR)は1997年から発電(13MWe)を開始している。電気出力500MWeの高速原型炉(PFBR)の建設を2004年に開始し、現状は建設を完了してナトリウムの充填、燃料の装荷に向けて安全審査の対応を行っている。PFBRの後継としてはPFBRの安全性・経済性を向上させ標準化した実用炉FBR(600MWe)の2

ユニット×3セットを建設したのち、1,000MWeの開発を計画している。600MWeの6基までは酸化物燃料だが1,000MWeのプラントからは金属燃料の使用を想定している。このうちPFBRの改良型であるFBR 1&2(600MWe×2基)についてはKalpakkamにサイトが決定しており、1基目は2020年代後半に運転開始する予定となっている。KalpakkamにあるIGCAR(Indira Gandhi Centre for Atomic Research)では蒸気発生器(SG)、ナトリウム中目視検査装置、一体型ナトリウム純化系、金属燃料等の開発、集合体熱流動、炉内流動、ナトリウム火災の研究開発が行われている。

金属燃料の開発についてはFBTRにおける照射、2030年に金属燃料実験炉、その後の1,000MWe実用炉の導入を検討している。

### (3) 中国

2018年2月における中国での運転中の原子力発電所は、軽水炉を中心に39基、発電設備容量は37.0GWeとなっており世界第4位の規模である。建設中の原子力発電所は18基、21.1GWeである<sup>7)</sup>。国家発展改革委員会と国家エネルギー局が2017年1月に発表した、エネルギー発展「第13次5カ年」計画(2016~20年)では、原子力発電設備容量について、2020年末には運転中58GWe、建設中30GWeにするとの目標が掲げられ、軽水炉については自主開発の第3世代炉のPWRに炉型を集約する方針としている。これら急速な原子力発電の容量の拡大と燃料供給の観点から、SFRの開発が重視されている。

国家発展改革委員会と国家エネルギー局が2016年6月に定めた「エネルギー技術革命イノベーション行動計画」の中では、2020年にSFR実証炉を建設するとともに、熔融塩炉、進行波炉、核分裂・核融合ハイブリッド炉等の先進的な原子炉の基礎技術においてブレークスルーを達成し、2030年に閉じた燃料サイクルを実現することとしている。

SFRとしては、実験炉CEFR(電気出力20MWe)の初臨界を2010年7月に達成し送電を開始、2014年12月に100%出力運転を達成した。初装荷燃料はウラン燃料であり、順次、MOX燃料を装荷する計画としている。現状は、長期の改修を行っているため停止している。

実証炉CFR600(電気出力:600MWe)については福建省寧徳市霞浦県で2017年12月に建設を開始し、2023年に試運転開始を予定している<sup>8)</sup>。

実用炉であるCFR1200については、2015年から5カ年の計画で予備概念設計が行われている。炉心燃料は酸化物燃料でタービンは水蒸気サイクルまたは超臨界炭酸ガスサイクルとしている。

また、これらの開発と並行して中国核工業集团有限公司(CNNC)は、米Microsoft社の創業者Bill Gates氏が出資する米原子力ベンチャーTerraPower社との間で合弁会社を設立し、長期間にわたって燃料交換を必要と

しないSFR概念である進行波炉<sup>9)</sup>の実証炉TWR-P(600MWe)の2020年代の運転を目指した開発を進めている。

### (4) フランス

軽水炉58基、63GWeの発電容量を有し発電比率は約72%(2016年)であるが、2015年7月、2050年までの長期的なエネルギー政策を定めた「グリーン成長のためのエネルギー転換法」が成立し、2025年までに原子力の発電比率を50%にすること、原子力発電設備容量の上限を63.2GWeとすることが定められた。

フランス電力(EDF)は原子力発電設備容量の上限を遵守するために、現在建設中のFlamanville 3号機(EPR)の運転開始に合わせてFessenheim 1, 2号機を閉鎖することを決定した。また、EDFはFlamanville以外に英国、フィンランド、中国等でEPRの建設プロジェクトを有しているとともに、仏の原子力メーカであるAREVA(現Framatome)に出資をしたことなど、大規模な次世代炉開発を行うことに消極的な状態とみられる。

SFRとしては、2040年頃の実用炉導入を実現するため、当初2020年代に技術実証炉ASTRIDを運転開始することを目指してフランス原子力庁(CEA)が電気出力600MWeのASTRIDの研究開発を進めてきた。その開発体制は、CEA、AREVA、EDFを中核として、国外機関(DOE、JAEA、欧州等の民間企業)の協力を得ながら進めていた。

上記電気出力600MWeのASTRIDは2018年6月時点で、計画の変更が仏政府内で検討されている。CEAの検討<sup>10)</sup>では電気出力100~200MWeの実証炉を提案しており、実用炉に向けては小型の実証炉、シミュレーション技術、必要な炉外試験の組合せにより、開発費を合理化しつつ開発を行うこととしている。本プログラムの目的は、長期的に閉じた燃料サイクルに移行する選択肢を維持し、使用済燃料のプルトニウムを利用する技術的な実証データを早期に得ること、大型のナトリウム冷却炉の開発能力を維持することとしている。新ASTRIDについては2024年に建設に向けた詳細設計着手の可否を判断することとしている<sup>10)</sup>。

### (5) 米国

米国は、合計99基(2018年2月現在)の商用発電炉が稼働しており、原子力の発電設備容量は世界第一位の105GWeである。米国の総発電量に占める原子力発電の割合は20%前後であり、ベースロード電源としての役割を担っている<sup>11, 12)</sup>。既設発電所の運転免許の有効期間は40年であるが、更新が許可されれば20年の延長が可能であり、2018年2月現在で、86基、約8割超の発電所が更新手続きを終えている<sup>13)</sup>。

新規建設に関しては、2012年~2018年2月の間にNRCへのCOL(Combined Construction Permit and Conditional Operating License)申請は28基があり、そ

のうち12基が承認済み、2基が審査中、4基が審査保留中、10基が申請取下げになっている<sup>14)</sup>。また、承認済みのうち4基の建設に着手した。一方、エネルギー価格の低下や電力需要の低迷に伴う経済的な理由等から、2013年以降2018年2月までに6基の既設炉が閉鎖され、今後、更に数基が閉鎖される見込みである。また、建設中であった4基についてもWH社の破産法適用申請にとりもなない2基の建設が中止となっている。既存軽水炉の代替電源としてはAP1000、ABWR、ESBWRなどを建設する計画であるが、軽水炉に続く将来の原子炉としては、短期的にはDOEが許認可を支援しているSMR(軽水炉の小型モジュール炉)が候補となっている。

2015年8月に発表された「クリーン・パワープラン」では、2030年までに発電所からの炭素排出量を2005年比で32%削減するとしている<sup>15)</sup>。この目標を達成するためには、原子力を含むクリーン・エネルギーの大幅拡大が必要であり、DOEは将来必要となる原子力発電容量が増大するケースも想定している。既存の軽水炉は60年または80年まで寿命延長しつつ、順次寿命に到達したプラントが運転を停止していく。これをリプレースしつつ、更に2050年までに原子力発電容量を倍増させるために、DOEは新型大型軽水炉、小型軽水炉、先進炉を組み合わせて導入することとしている。

先進炉としては「先進炉開発のビジョンと戦略」が設定され、2050年までに米国内と海外で、先進炉がエネルギー・ミックスにおける重要かつ伸長する要素となることを目指すとしており、2030年代初めまでに、少なくとも二つの非軽水炉型先進炉概念について、技術的に成熟し、安全性・経済的利点を実証され、建設に進むだけの十分なNRCの許認可評価を終了することとしている。先進炉としてSFR、ガス冷却高速炉、高温ガス炉、重金属冷却炉、溶融塩炉等が提案されている。DOEは高速炉の課題としては建設費及び許認可の二点を挙げている。DOEは長期的な高速炉産業の維持のため施設整備に着手し、安全試験炉TREATを再稼働するとともにナトリウム冷却の実験炉(Versatile Test Reactor(VTR))の設計に着手している。高速炉の中ではSFRが他概念に比較して高い成熟度を有している(more mature)としているが、資本費、運転費、燃料サイクル費用を考慮した経済性を、最新の設計と技術により向上する必要があるとしている。

#### (6) 韓国

2017年5月に就任した文大統領の脱原子力、脱石炭火力の政策を受け、韓国産業通商資源省(MOTIE)は2017年12月に「第8次電力需給基本計画」(2017~2031年)を提出し、原子力と石炭火力を段階的に削減し、再生可能エネルギーを大幅に拡大するなど、エネルギーの転換を推し進める方針を示した。現在建設中の原子炉はそのまま完成させるものの、新規の建設計画を白紙化する、既

設発電所のうち経年化が進んだ10基の運転期間延長を禁止する等により、原子力発電比率を現在の30.3%から2030年までに23.9%まで削減することを目指している<sup>16)</sup>。

SFRとしては1992年から高速炉KALIMER(150MWe/600MWe、金属燃料、タンク型)が検討された。また、2008年の「将来炉に関する長期計画」に基づき軽水炉の使用済燃料の処理を想定し、PGSFR(150MWe、金属燃料、タンク型)の開発が進められている<sup>17)</sup>。ただし、2017年の政策転換により高速炉開発も影響を受ける可能性がある。

## 2. 日本の開発状況

日本では、1999年7月~2006年3月に実施した高速増殖炉サイクルの実用化戦略調査研究(FS)において、多様な燃料、冷却材、出力のシステムを比較した上で、実用化候補概念の一つとして酸化燃料の大型SFRを選定した。2006年からの高速炉サイクル実用化研究開発(FaCT)では、実用化に向けてSFR実証炉に導入すべき技術の開発及び採否判断を行った。

2011年からは東京電力福島第一発電所の事故の教訓等を踏まえ、SFRの安全性向上を国内だけでなく国際的に進める活動を展開した。すなわち、SFRの安全設計要件/安全設計ガイドラインを世界で認められた国際標準として策定することを目指し、国際機関であるGIFの活動としてSafety Design Criteria/Guideline(SDC/SDG)の構築を進めた。SDCについてはGIFにおいて正式に承認され、各国の規制機関等のレビューを受け、改定が進められている。さらに、SDCを具体的な設計に展開するためのガイドラインの第一段階として安全アプローチSDGが構築され、IAEAならびにOECD/NEAに設けられた新型炉安全検討グループ(GSAR)によるレビューが行われている。

日仏協力については2014年5月5日締結の日仏政府機関間取決め、2014年8月7日締結の日仏実施機関間取決めに基づき、設計及びR&D分野でのASTRID協力を開始し、実証炉の設計仕様の共通化、試験施設の相互利用等によりさらに合理的な研究開発の推進を模索している。R&D協力の例としては材料強度試験、蒸気発生器伝熱管破損時の損耗試験、炉心部を模擬したナトリウム熱流動試験(PLANDTL)ですでに協力が行われており、将来的には再稼働準備中の常陽における照射、大型ナトリウム試験施設(AtheNa)を活用した共同試験による開発の合理化を検討している。

日米協力としては、2012年に設置された「民生用原子力研究開発ワーキンググループ」(CNWG)において金属燃料適用炉心、新材料、シミュレーション、先進燃料等についての協力が行われており、2018年5月には金属燃料を適用した高速炉の安全性にかかる協力を対象とした

取決めが DOE と経済産業省の間で新たに発行された。

2016年12月に高速炉開発会議が示した「高速炉開発の方針」により、「もんじゅ」の廃炉が決定される一方で、高速炉による核燃料サイクルによって期待される高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減、資源の有効利用の効果をより高められるとし、高速炉開発の意義は、昨今の状況変化によっても、何ら変わるものではないとしている。これを受け、2017～2018年において高速炉開発会議の下の戦略ワーキンググループにおいて高速炉開発のためのロードマップの検討が行われている。

#### IV. 今後の展開

海外における SFR の開発は各国のエネルギー戦略と直結している。ロシア、インド、中国は原子力発電の容量の拡大を想定しており、燃料確保、使用済燃料管理の観点から高速炉の開発を重要視し、急速な展開を想定している。このうちロシア、インドは実証炉/原型炉の建設を経て実用炉の建設計画を有する段階となっており、中国も国産実証炉の建設に着手している。ロシアについては BN-600 で安定的な稼働率を 35 年以上達成し、一昨年には BN-800 の商用運転を開始している。現在は、次期炉である BN-1200 を第 4 世代炉と位置付け、経済性についても軽水炉と競合することを目指しており、技術的には実用化段階にほぼ到達していると考えられる。

フランス、米国等の過去に原型炉以上の開発を実施しつつも実用化には至っていない国においては、将来的な高速炉の必要性について共通の認識を示しており、開発が継続されている。

日本では 2018 年において高速炉開発のためのロードマップが議論されている。エネルギー自給率が低い日本において、原子力発電を閉じた燃料サイクルに移行し持続可能性を維持し、高速炉サイクルの実用化によって「技術自給率」を高めていくことはフランス、米国以上に必要性が高い。開発の手段については「高速炉開発の方針」にも示されているように、今後は国際協力による開発の合理化が主眼となっており、フランス、米国等の国際協力を軸に合理的な開発計画を示し、実用化に向けて国内の技術力を高めていくことが重要である。

#### — 参考資料 —

- 1) Y. Sakamoto, et. al., “Selection of sodium coolant for fast reactors in the US, France and Japan”, Nucl. Eng. Des., 254, (2013), p194-217.
- 2) WNA, “Nuclear Power in Russia”, Updated December 2017.
- 3) E.O. Adamov, “Proryv Project as a technological basis of

large-scale nuclear power”, IAEA FR17, 26 June 2017.

- 4) 佐賀山豊, 「ロシアの高速炉開発戦略」, 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ(第5回), 2017年10月31日.
- 5) WNA, “Nuclear Power in India”, Updated April 2018.
- 6) インド衆議院質疑: 質問「GREEN FIELD SITES FOR NUCLEAR POWER PLANTS」に対する Singh 大臣答弁, 2018年4月4日.
- 7) IAEA Power Reactor Information System (PRIS), February 19, 2018.
- 8) CIAE, “The Progress of the Gen-IV Reactor in China” 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ(第4回), 2017年9月14日.
- 9) John Gilleland, Robert Petroski, Kevan Weaver, The Traveling Wave Reactor: Design and Development, Engineering 2(2016)88-96.
- 10) N. Devictor, “French Sodium-cooled fast reactor simulation program” 高速炉開発会議 戦略ワーキンググループ(第10回), 2018年6月1日.
- 11) IAEA Power Reactor Information System (PRIS), February 6, 2018.
- 12) EIA Annual Energy Outlook 2017, January 5, 2017.
- 13) NRC website, “Status of License Renewal Applications and Industry Activities”, Updated February 6, 2018.
- 14) NRC website, “Combined License Applications for New Reactors”, Updated February 6, 2018.
- 15) White House, “Remarks by the President in Announcing the Clean Power Plan”, August 03, 2015.
- 16) (一社)原子力産業協会 原子力産業新聞 2017年12月19日.
- 17) J. Yoo, KAERI, “Status of Fast Reactor Technology in Korea”, The 50th IAEA TWG-FR Meeting, 15-18 May 2017.

#### 著者紹介

上出英樹 (かみで・ひでき)

日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)高速炉サイクルの研究開発, 国際協力



伊藤隆哉 (いとう・たかや)

三菱 FBR システムズ株式会社  
(専門分野/関心分野)高速炉プラント設計, 高速炉の技術開発



小竹庄司 (こたけ・しょうじ)

日本原子力発電株式会社  
(専門分野/関心分野)高速炉サイクルの研究開発, 高速炉安全設計



核融合トリチウム研究最前線  
——原型炉実現に向けて——

## 第3回 トリチウムの調達方法

九州大学 松浦 秀明, 片山 一成  
量子科学技術研究開発機構 日渡 良爾

本稿では、核融合原型炉の初期稼働時に必要となるトリチウムの調達方法として、(1)高温ガス炉を用いたトリチウム製造法、(2)DD核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオ、を紹介する。高温ガス炉を用いたトリチウム製造法の研究開発においては、現在、製造されたトリチウムの炉内管理が重要な検討課題となっている。研究の最前線を報告するとともに、トリチウム調達シナリオに対する考え方を紹介する。

**KEYWORDS:** DEMO, tritium, high-temperature gas-cooled reactor, HTTR

## I. 序論

トリチウムは、放射性核種(半減期約12年)であり、自然界に、核融合炉燃料として十分な利用可能量は存在しない。核融合原型炉の初期稼働時や、それ以前のトリチウム循環系を含む炉工学試験のためには、トリチウムを調達するための、何らかの方策が必要である。本連載記事第2回「原型炉に向けたトリチウムバランスの考え方」では、原型炉の初期稼働に数100g~kgオーダーのトリチウムが必要と見積もられた。炉工学試験に必要なトリチウム量は、最低でも100g程度と考えられる<sup>1,2)</sup>。従来、カナダを中心とした重水減速重水冷却(CANDU)炉を用いて、トリチウムの製造が為されてきた。CANDU炉でトリチウム製造に用いる重水素の中性子捕獲反応は、核融合ブランケットで利用する<sup>6</sup>Li(n,α)T反応と比較して断面積が約6桁小さい。トリチウム製造性能として、1GWの電気出力に対し、1年間に0.17~0.23kg程度の実績が報告されている<sup>3)</sup>。CANDU炉でこれまで蓄えられたトリチウムの多くはITERでの使用や、自然崩壊によって失われる。米国では、軍事利用を目的とし、軽水炉を用いたトリチウム製造が実施されている。必要量に応じた製造と考えられるが、現状1GW程度の電気出力に対し1.5年の運転期間で1.5kg程度の製造量と推定

される<sup>4)</sup>。我が国は、現時点で核融合炉の起動や開発に必要なトリチウムを、自力で製造する方法を有していない。また、今後このような大量のトリチウムを、如何に確保していくのかは明確にされていない。今後の核融合研究に際し、有効で現実的なトリチウム調達「シナリオ」が求められている。一連の議論の発端となることを期し、本稿ではそのひとつの考え方を紹介する。

## II. 高温ガス炉を用いたトリチウム製造法

## 1. 高温ガス炉とそのトリチウム製造性能

高温ガス炉は、次世代原子力システムの有力候補のひとつとして位置づけられており、炉心が黒鉛によって構成されることから、炉心溶融がなく、何らかの原因で崩壊熱除去設備が冷却機能を損なった場合でも、自然冷却が可能である。UO<sub>2</sub>燃料核を複数のセラミックス層で多重に被覆した被覆粒子燃料が採用されており、制限温度(1,600℃)以下であれば、健全性を損なわず、放射性物質を封じ込めることが可能とされている<sup>5)</sup>。エネルギー基本計画(平成26年)、経済財政運営と改革の基本方針2014等において、その研究開発の推進が明記されている<sup>6)</sup>。冷却材(減速材)としてガス(黒鉛)を選択したことにより、発熱密度を低く抑える(中性子の減速を十分に得る)為の設計が施されており、有効炉心体積が大きく、また中性子束が低めとなる反面、燃料近辺に核変換対象物質を装荷できる大きな領域を提供できる。これに伴い濃縮をおこなわず、天然存在比のまま、必要な量の<sup>6</sup>Liを炉心に装荷することが可能となる。また、黒鉛・ヘリウムは、核的には不要な中性子の吸収が少なく、化学的にはLi化合物との相性が比較的良好という性質を持つ。

*Research frontier of tritium for fusion reactor - toward the DEMO reactor - (3); scenarios of tritium preparation* : Hideaki Matsuura, Kazunari Katayama, Ryoji Hiwatari.

(2018年3月1日 受理)

■前回タイトル

第2回 原型炉に向けたトリチウムバランスの考え方

高温ガス炉では、可燃性毒物(BP)として固体状のホウ素化合物(B<sub>4</sub>C)を燃料ブロックのBP孔に装荷する。我々は、可燃性毒物としての<sup>10</sup>Bを<sup>6</sup>Liに置き換えることによる、余剰の中性子を用いたトリチウム製造法を提案している<sup>7)</sup>。全てのBPをLi化合物で置き換えた場合、1GW 電気出力の高温ガス炉を1年間運転することで、1.5~2.4kg程度のトリチウム製造が可能と推定している<sup>7~9)</sup>。

2. Li 装荷用ロッドと実証試験の検討

これまでの炉心計算に基づく検討により、トリチウム製造に対する高温ガス炉の有効性が示されたが<sup>7~10)</sup>、その性能がLi装荷法に大きく依存することも明確となった。現在、研究の焦点はLi装荷(トリチウム封じ込め・回収)法と、その実証(照射)試験の検討へ移行している。図1に日本原子力研究開発機構(JAEA)が保有する、高温工学試験研究炉(HTTR: High Temperature engineering Test Reactor)の外観図を示す。HTTRは熱出力30MWの高温ガス炉で、平成10年に初臨界、平成13年に定格出力30MW、原子炉出口冷却材温度850℃を達成、平成22年に50日間の高温定格出力連続運転を実証している<sup>11)</sup>。HTTRには、照射試験用カラムが装備されている(図2)。試験部は400~800℃、中性子束 $7 \times 10^{17} \text{ n/m}^2 \text{ s}$ 程度の照射環境にあり、炉心へのLi化合物の装荷(バッチ運転で年間0.6g以下のトリチウム生成)が認められている<sup>12)</sup>。現状、炉は停止状態にあるが、今後の再稼働を見込み、将来的な実証試験を目標とした



図1 高温工学試験研究炉 HTTR 外観図[JAEA 提供]  
([http://httr.jaea.go.jp/index\\_top.html](http://httr.jaea.go.jp/index_top.html))

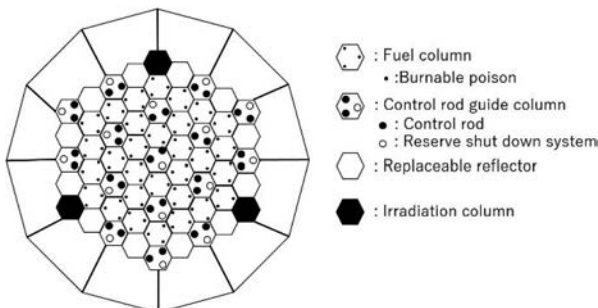


図2 HTTR 炉心水平断面図<sup>12)</sup>

検討を進めている。図3に照射試験用カラムに装荷する照射ブロック及び照射キャプセル(スweepガス管付)の概念図、また、図4に照射ブロックに装荷するカバー付Liロッドの概念図を示す。装荷するカバー付Liロッドは、Liロッド本体を、さらにトリチウム流出防止用Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>製カバーで覆ったものである。図4に例示するLiロッド本体は、米国でトリチウム製造実績のある軽水炉用ロッド<sup>4)</sup>を参考に、試験用として想定した。トリチウム生成による内圧の上昇を防ぐための中空構造、LiAlO<sub>2</sub>層の内及び外側にトリチウム吸蔵用Zr層、Zr層の外側にトリチウム流出防止用Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を有する。ロッド領域の温度を500℃以下に維持する運転を行う場合は、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層のみでロッドから冷却材へのトリチウム流出量を製造量の1%以下に抑えることが可能との解析結果が示されている<sup>8)</sup>。しかし、高温ガス炉の高い発電効率を維持しつつ、トリチウムを製造するためには、ロッド領域の温度を900℃程度まで上昇させた運転が必要であり、この場合はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>のトリチウム透過抑制性能が低下するため<sup>13)</sup>、Zr層を加えて内圧の上昇を抑える必要があると考えている<sup>9)</sup>。図3に例示する照射ブロックは、構造の異なる複数のLiロッドを同時照射し、性能を比較検討することを想定している。HTTRでは最大性能として、1年の連続運転で30g程度のトリチウムの製造が可能と見込んでいる<sup>9)</sup>。標準運転環境(900℃程度の温度)での使用を想定し、より性能の高いLiロッド構造を

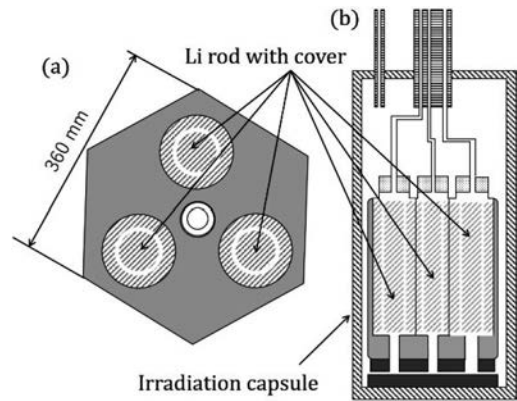


図3 照射ブロック・キャプセル例(a)水平、(b)垂直断面図

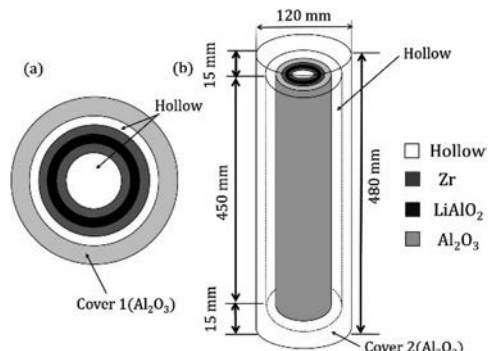


図4 (a)Liロッド本体例(水平断面)、(b)カバー付Liロッド



検討しているところである。

### 3. 水素透過挙動研究とLi装荷用ロッド模擬試験体を用いた実験

各種材料におけるガスの透過挙動は古くから研究されており、緻密なセラミックス材料のガス透過率は極めて小さいことが知られている。先に述べたように高温ガス炉のウラン燃料核も多層のセラミックス被覆により放射性物質を封じ込めている。多くの材料において、ガスの透過速度は、気相中のガス圧に対して材料中へ溶解する量を表す溶解度と、材料中を移動する速さを表す拡散係数の積に比例する。この比例係数を透過係数と称し、各種材料についての透過係数を比較することで、透過し易さもしくは透過し難さが判断される。ただし、材料とガス成分によって溶解度の圧力依存性が異なる場合があるため、注意が必要である。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>は水素透過係数が小さいセラミックスの代表的な材料であり、核融合分野においては、トリチウム透過抑制材の候補材のひとつとして研究されてきた。透過係数が小さな材料に対する実験データの多くは、1,000°Cを超える高温域で取得されている。これは、中・低温域では透過した水素の濃度が低く、濃度測定機器の測定感度以下となるためである。近年では、バリア放電イオン化検出器を搭載した高感度ガスクロマトグラフを用いて700°C~800°Cの中温域での透過係数が報告されている<sup>13, 14)</sup>。実際に水素を透過させる実験は行わず、水素溶解度  $S$  と水素拡散係数  $D$  を別々の実験で取得し、得られた値の積を透過係数  $K=S \times D$  として透過特性が評価される場合もある。図5にステンレス鋼、ニッケル、アルミナ、グラファイト材料の透過係数を示す<sup>13, 15~19)</sup>。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>については、別々の実験で得られた溶解度と拡散係数の積としての透過係数は、非

常に小さい値を示すものの、実際に透過実験で得られた透過係数は、4桁程度高い値を示す。グラファイト材料についても同様で、一般にグラファイト材料は多孔質体であるため、透過実験を行うと速やかに水素が透過するが、別々の実験で得られた溶解度と拡散係数の積としての透過係数は非常に小さい。このように、式の上では、透過係数は溶解度と拡散係数の積として与えられるが、透過量を評価するには、実際に透過実験を行う必要がある。図5に示すようにAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の水素透過係数は、ステンレス鋼やニッケルに比べて3~4桁も低いが、高温ガス炉の高温環境においては、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層のみでのトリチウム封じ込めは難しいと解析されている<sup>13)</sup>。そこで、前項で示したようにAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層の内側に水素吸蔵能が高い材料、いわゆる水素吸蔵金属を配置する方法が提案され、中性子吸収の少ないZrを第一候補として検討が進められている<sup>20)</sup>。Zrの水素吸蔵特性は詳しく調べられており<sup>21, 22)</sup>、水素を多く吸蔵すると水素化物相が形成され、水素拡散速度も変化する<sup>23, 24)</sup>ことが知られている。しかしながら、ロッド内で想定されるようなZr材の片側からのみ水素が供給される場合、水素化物形成によりZr材に吸蔵される水素に加えて、Zr材を透過する水素も生じると想定される。Zrの水素透過現象は単純な溶解・拡散モデルでは説明できず、元の相と水素化物相が共存し相界面が移動する移動境界相モデル<sup>25, 26)</sup>等が提案されているが、水素透過量を精度よく予測できる整理式は確立されておらず、モデルを検証する実験データも十分ではない。最近の報告では、片側を封じたZr管の内側あるいは外側に水素ガスを流通させ、もう一方を真空排気した際の真空側への水素透過挙動が示されている<sup>27)</sup>。水素ガス導入後、比較的速やかに水素透過が観測されており、図4に示す試験用Liロッド構造において、Zr層には透過抑制効果は期待できないが、Zr層-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層間へ透過した水素圧力がある程度高まると、水素化物が形成され始め、暫くの間、水素化物形成平衡圧力で維持されると期待される。

ZrとAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の組み合わせによるトリチウム封じ込め性能を評価するため、模擬試験体によるトリチウム透過試験が計画されている。九州大学アイソトープ総合センター伊都地区実験室に設置される予定の模擬試験体と実験装置の概略図<sup>27)</sup>を図6に示す。内側からZr層-Zr層-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層の片側封じ3重管となっており、図4に示されるLiAlO<sub>2</sub>の位置に相当する領域は空洞となっている。ここにトリチウムを含むガスを供給し、電気炉で加熱する。3重管の加熱部は石英管内に挿入されており、Zr層-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層を透過したトリチウムは、アルゴンバージによりトリチウム回収系に輸送される。実験後、それぞれの空間のトリチウム量を測定し、トリチウムバランスから各層のトリチウム移行量を評価する。Zr層-Zr層間に比較的高い水素分圧を供給した際の、3重管各材料中

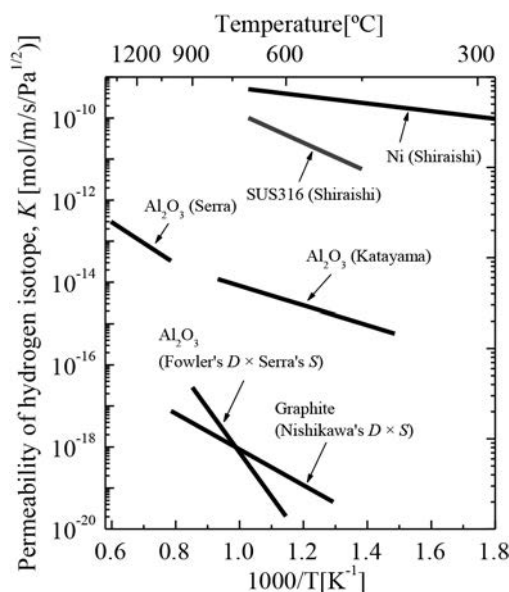


図5 透過係数の比較

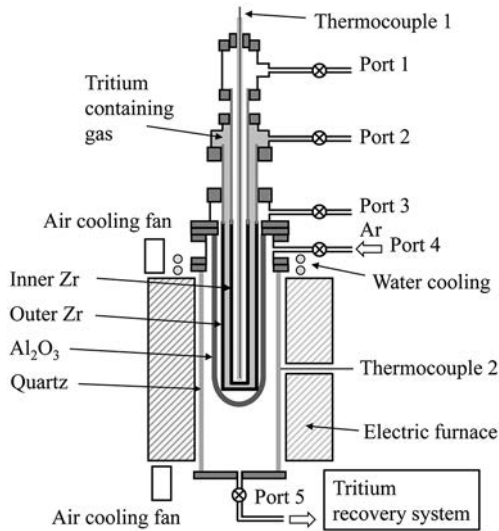


図6 Li 装荷用ロッド模擬試験体及び実験装置概略図

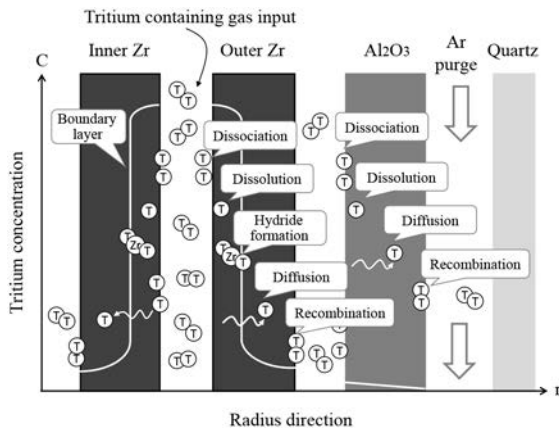
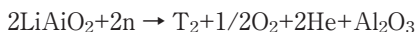


図7 模擬試験体トリチウム挙動概念図

おける半径方向のトリチウム濃度分布とトリチウム挙動の概念図を図7に示す。水素化物形成に寄与するトリチウムと、拡散・透過するトリチウムが存在する。透過により管中心部の空洞及びZr層-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層間の空隙の水素圧力が上昇し、水素化物形成平衡圧力に達する際には、内側Zrの内側、外側Zrの外側にも水素化物層が形成されていることになる。

模擬試験体によるトリチウム透過試験は、Li装荷用ロッド開発の最初のステップであり、実機での実証試験に向けては、取り組むべき課題がいくつかある。特に重要なのは、材料界面での物質移動現象の理解である。現在想定されているロッド構成は、内側からZr層-LiAlO<sub>2</sub>層-Zr層-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>層となっているが、高温環境下では、界面において構成原子の拡散や化学結合が生じ、トリチウム移動に影響を及ぼす可能性がある。LiAlO<sub>2</sub>に中性子が照射された場合、次の核反応によりトリチウムと酸素、ヘリウムが生じる。



Zrは水素のみならず酸素も吸収するため、Zr層-LiAlO<sub>2</sub>層界面にはZrO<sub>2</sub>層が形成されると想定される。緻密な

ZrO<sub>2</sub>が形成された場合は、トリチウムの溶解速度が著しく低下する可能性がある。また、LiがZrへ拡散浸透しLi<sub>2</sub>ZrO<sub>3</sub>層やLiOH層を形成する可能性もある。このような複雑な反応場でのトリチウム挙動の定量的理解は容易ではなく、また材料の健全性保持の観点からも、Zr層-LiAlO<sub>2</sub>層界面にNi等の被覆を施し、水素以外の成分のZr層への浸透を妨げる対策が必要であろう。ただし、この場合LiAlO<sub>2</sub>層細孔内の酸素ポテンシャルが増加することを考慮し、生成するトリチウムの一部がLiOT層を形成するといったLiAlO<sub>2</sub>層に生じる反応についての理解も深めておく必要がある。また、Zr層に透過抑制効果を期待しないのであれば、必ずしもZrは円筒バルク構造とする必要はなく、水素吸蔵面積の増大を図って多孔質Zr層とすることが有効かも知れない。いずれにしても、トリチウム封じ込め技術の確立は、高温ガス炉を用いたトリチウム製造の実現可能性を左右する重要な課題であり、トリチウム挙動の理解を深めながら、段階的に技術開発を進めていく必要がある。現状は、トリチウムが生成されるLi化合物近傍でのトリチウム封じ込め手法の開発に取り組んでいる段階であるが、最終的には、高温ガス炉プラント全体として、多重性、多様性をもったトリチウム封じ込めシステムの構築が図られる。

### Ⅲ. DD核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオ

初期装荷トリチウムを重水素-重水素核融合反応によって入手するシナリオが提案されている。通常、核融合炉では



の反応を利用するものであるが、この反応と同時に反応断面積がDT反応より小さく、発生の頻度はわずかであるが以下のような重水素同士の核融合反応も起こっている。

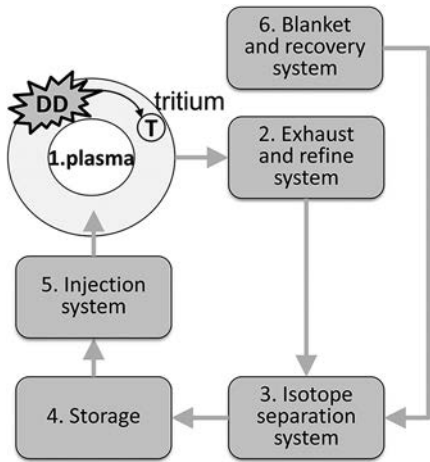


この2つの反応はほぼ同じ確率で発生し、片方はトリチウムを生成し、片方は中性子を発生させる。この反応を利用して初期装荷のトリチウムを生成しようという立ち上げシナリオが提案されている<sup>28)</sup>。DD核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオの考え方を図8に示す。

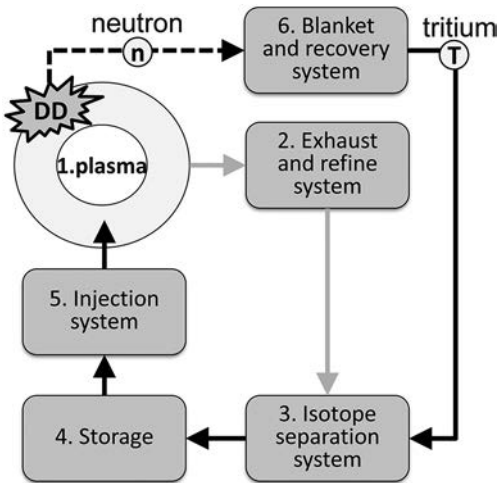
まず、トリチウムを生成するDD核融合反応が起こった場合、図8(a)に示すように生成されたトリチウムはプラズマ中に閉じ込められて、重水素とDT核融合反応を起こす。DT核融合反応が起これば、中性子が発生され、その中性子によりブランケットにおいて消費されたトリチウムより多いトリチウムが増殖される(ブランケットのトリチウム増殖率をTBRといい、TBR > 1.0

である事に対応する)。元々の反応が DD 核融合反応であることから、TBR 分のトリチウムが新たに生成されることになる。

一方、中性子を生成する DD 核融合反応が起こった場合、生成された中性子によってブランケットにてトリチウムが生成される。ここでは、中性子のもっているエネルギーが 2.5MeV と DT 核融合反応による中性子エネルギー 14MeV とは異なるため、それぞれの中性子によるトリチウム増殖率  $TBR^{DT}$  と  $TBR^{DD}$  は異なり、 $TBR^{DT} > TBR^{DD}$  の関係にある。ただし、この反応ではトリチウムを消費せずにブランケットにてトリチウムを生成できているので、トリチウムが増殖されることになる。以上の 2 つの過程を通して、全体としてみると DD 核融合反応が起きることにより、僅かではあるがトリチウムの個数が増えていることになる。この過程を繰り返すことで、トリチウムの密度を徐々に増加させて定格運転まで到達させる事が基本的な考え方である。



(a) DD 核融合反応でトリチウム (T) を生成する場合



(b) DD 核融合反応で中性子 (n) を生成する場合

図 8 DD 核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオの考え方。(a)、(b)の 1. plasma にて DD 核融合反応が起こり、トリチウムが生成するものと、中性子が発生することによりブランケットでトリチウムが生成する 2 経路が存在する。

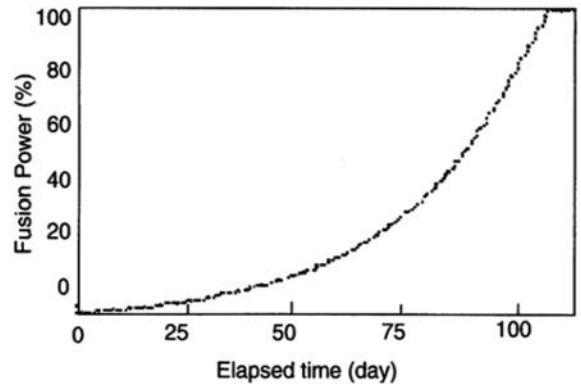


図 9 DD 核融合反応によるトリチウム生成による 3GW クラスの核融合炉の出力割合の解析例<sup>28)</sup>

次に DD 核融合反応を用いた核融合起動シナリオの解析例を図 9 に示す。図 8 の考えに従って、DD プラズマからスタートし、徐々にトリチウム濃度を上げることによって約 100 日程度で定格出力(このケースでは約 3GW)に到達している。

この解析で用いたパラメータとしては、DT 核融合反応率  $1.1 \times 10^{21} \text{sec}^{-1}$ 、DD 核融合反応率  $5.3 \times 10^{18} \text{sec}^{-1}$ 、燃料サイクルの時定数を 2 日、 $TBR^{DT} 1.1$  を仮定している。DD 核融合反応率と DT 核融合反応率を比較すると 3 桁近くも小さいため、DD 核融合によるトリチウム生成は非常にわずかである。これが DT 定格運転に到達するために 100 日程度必要となる原因である。本検討を出発点として、いくつかのモデルの詳細化を行った検討がなされている。例えば、定格運転における核融合出力の違いの依存性、トリチウムサブシステムの詳細化、トリチウム損失モデルの導入等を考慮に入れたいくつかの検討がなされている<sup>29-31)</sup>。

最後に炉心プラズマ立ち上げ制御と DD 核融合による核融合起動シナリオとの関係を述べる。核融合炉の試運転も含めた起動時には、核融合出力を段階的に上昇させる運転が必要となってくる。その際、核融合出力の制御をトリチウムの密度比で行う事が考えられている。この運転方法と DD 核融合による核融合炉起動シナリオは整合しており、プラズマ運転制御の観点からも実現性が高いと考えられる。

起動時に核融合出力制御を行う際、ダイバータにおける熱除去制御のために炉心プラズマ密度は常に高くすることが求められる。その一方で、プラント起動の際は、核融合出力を数%出力から定格 100%まで段階的に制御し、出力上昇させる必要がある。そのためにはトリチウム密度比 ( $f_{nT}$ ) を制御し、トリチウム割合を徐々に上昇させることで、ダイバータにおける熱除去制御に適した高密度に維持できることがわかっている。図 10 にその計算結果を示す。

この結果でわかるように、核融合プラント起動時にダイバータ熱除去制御と整合するように出力上昇させるた

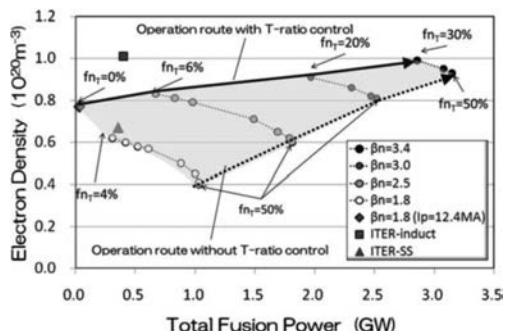


図10 トリチウム密度割合  $f_{nT}$  を徐々に増加させ、プラズマ密度を高く保ちつつ、規格化ベータ値  $\beta_N$  を上げ出力上昇を可能とする (Operation route with T-ratio control) 運転ルート<sup>32)</sup>

めにはトリチウム密度比を制御し、プラズマ密度を高い状態に保ちながら、徐々にトリチウム濃度を増加させる制御が必要である。このことは、初期装荷トリチウムを生成する DD 核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオに関してプラズマ制御の観点からも整合していることを示している。

#### IV. まとめ

DT 核融合炉を研究開発を進める以上、一定量のトリチウム調達法の確立は、炉の初期稼働はもとより、その研究開発の段階からの必須の課題である。これは、核融合炉開発戦略と密接に関係するものであり、開発を推進するに当たりそのシナリオを真剣に考えるべき時期に差し掛かっている。我が国がリーダーシップを持って研究開発に関わっていく為に、盤石な技術の確立が必要であり、本記事が一連の議論に寄与することを期待したい。

最後に、高温ガス炉によるトリチウム製造と DD 核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオの相乗効果について述べておきたい。DD 核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオに関しては、ブランケットからのトリチウム回収の時定数、トリチウムリテンション等による損失 (回収できなくなることもしくは、不活性化) といった不確実性があるとともに、定格出力までの期間 (図9の場合、約100日) は、プラズマを定常放電させるため外部電力を用いた加熱・電流駆動パワーが必要になる。仮に100MWのNBI電流駆動パワー (ビーム変換効率50%と仮定) が必要とすると、100日間の電気代は、100億円のオーダーとなる。

一方で、例えば、100gの初期装荷トリチウムがあると、定格出力まで到達する期間は20日~30日程度に短縮される評価結果が得られている<sup>29, 31)</sup>。この結果を応用すると、高温ガス炉によるトリチウム製造と DD 核融合反応を用いた核融合炉起動シナリオをうまく活用することで、原型炉では費用対効果に優れた核融合炉起動方法を効果的に検討できると考えられる。

#### — 参考資料 —

- 1) J. R. Bartlit, Fusion Eng. Des., 12 (1990) 393.
- 2) 西正孝, 他, プラズマ・核融合学会誌, 79 (2003) 290.
- 3) P. Gierszewski, Fusion Eng. Des., 10 (1989) 399.
- 4) Recommendations for Tritium Science and Technology Research and Development in Support of the Tritium Readiness Campaign, TTP-7-084, PNNL-22873 (2013).
- 5) 沢和弘, 他, 日本原子力学会誌和文論文誌, 6 (2007) 113.
- 6) 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会 原子力科学技術委員会「高温ガス炉技術開発に係る今後の研究開発の進め方について」, 平成26年9月.
- 7) H. Matsuura, et al., Nucl. Eng. Des., 243 (2012) 95.
- 8) H. Nakaya, et al., Nucl. Eng. Des., 292 (2015) 277.
- 9) 松浦秀明, プラズマ・核融合学会誌, 93 (2017) 457.
- 10) 後藤実, 他, トリチウム製造とエネルギー生産を両立する高温ガス炉の核熱設, 日本原子力学会「2016年秋の大会」PL1M03 (2016).
- 11) D. Tochio, et al, JAEA-Technology, 2010-038. (2010).
- 12) 島崎洋祐, 他, 高温ガス炉 HTTR の照射設備, 日本原子力学会「2016年秋の大会」PL1M04 (2016).
- 13) K. Katayama, et al., Fusion Sci. Eng., 68 (2015) 662.
- 14) H. Ushida, et al., Nucl. Mater. Energy, 9 (2016) 524.
- 15) J.D. Fowler, et al, J. Am. Ceram. Soc., 60 (1977) 155.
- 16) M. Nishikawa, et al., Fusion Technol., 28 (1995) 1233.
- 17) T. Shiraishi, et al., J. Nucl. Mater., 254 (1998) 205.
- 18) T. Shiraishi, et al., J. Nucl. Mater., 273 (1999) 60.
- 19) E. Serra, et al., J. Am. Ceram. Soc., 88 (2005) 15.
- 20) J. Izumino, et al., 7PT51, ICFRM-18, Aomori, Japan, Nov.5-10, 2017.
- 21) S. Yamanaka, et al., J. Nucl. Mater., 167 (1989) 231.
- 22) E. Zuzek, et al, Bulletin of Alloy Phase Diagrams, 11 (1090) 385.
- 23) F.M. Mazzolai, et al., J. Less Common Met., 49 (1976) 323.
- 24) G. Majer, et al., J. Phys. Condens. Matter, 6 (1994) 2935.
- 25) 坂本, 他, 長崎大学工学部研究報告, 第13巻, 第21号, 1983.
- 26) Xunxiang Hu, et al., J. Nucl. Mater., 448 (2014) 87.
- 27) K. Katayama, et al., 6PT99, ICFRM-18, Aomori, Japan, Nov. 5-10, 2017.
- 28) S. Konishi, et al., Journal of plasma and fusion research 76, 1309-1312, 2000.
- 29) Y. Asaoka, S. Konishi, S. Nishio, R. Hiwatari, K. Okano, T. Yoshida, et al., Commissioning of a DT fusion reactor without external supply of tritium, in: 18th IAEA Fusion Energy Conf. PDP-08, 2000.
- 30) R. Hiwatari, K. Okano & Y. Ogawa, Fusion Science and Technology, 60:3, 1092-1095 (2011).
- 31) R. Kasada et al., Fusion Engineering and Design 98-99 (2015) 1804-1807.
- 32) R. Hiwatari et al., Fusion Engineering and Design 86 (2011) 1099-1102.

### 著者紹介



松浦秀明 (まつうら・ひであき)  
九州大学大学院工学研究院  
(専門分野/関心分野) 炉心プラズマ・原子  
炉等の核反応体系における集団的核反応,  
中性子・光子工学, 原子炉物理



片山一成 (かたやま・かずなり)  
九州大学大学院総合理工学研究院  
(専門分野/関心分野) エネルギー化学工  
学, 核融合炉におけるトリチウム挙動, プ  
ラズマ分解水素製造



日渡良爾 (ひわたり・りょうじ)  
量子科学技術研究開発機構  
(専門分野/関心分野) 核融合炉概念設計全  
般, 次世代エネルギー技術評価



## From Editors 編集委員会からのお知らせ

— 最近の編集委員会の話題より —  
(7月18日 第1回論文誌編集幹事会)

- ・平成30年5月16日～6月15日に英文誌へ26論文, 和文誌へ2論文の投稿があった。
- ・英文誌インパクトファクターの改善に関して検討した。
- ・英文誌特集号と関連書式の改訂に関する提案があった。
- ・福島事故関連記事の英文化作業の進捗状況が報告された。
- ・英文誌 International Advisory Board に関する運営細則の英語版が提示された。
- ・Pre-Screening に関して説明があった。

(8月7日 第2回学会誌編集幹事会)

- ・60周年記念号の記事企画進捗状況を確認した。すでに部会・連絡会の一部の委員会には依頼状を発信済みで, その他の企画についても具体的な執筆者等の選出作業に入る。
- ・巻頭言, 時論, その他記事の企画の進捗状況を確認し, 掲載予定について検討した。
- ・最先端の研究開発シリーズの企画について, 進捗状況の報告があった。早ければ12月号から掲載開始。
- ・学会誌アンケートのシステム更新について検討した。引き続きアンケートを実施していくが, 回答数が減っているので, てこ入れが必要ではないかという意見があった。
- ・J-STAGE 登載に関する進捗状況の報告と, 案内文掲載について事務局から報告があった。

編集委員会連絡先 <hensyu@aesj.or.jp>

## 福島風評被害のもとを断つために

—チームE(エネルギー問題に発言する会の組織)からの政策提言—

高エネルギー加速器研究機構 川合 将義

東日本大震災から7年経ち、福島の浜通りでもようやく復興の声が聞かれるようになった。そのため、首都圏などでの会合で福島に対する風評被害のことを聞いても、そんなのあるのという反応が返ったりする。また、風評被害なんて事故を風化させるための言葉ではないかと言う人さえいる。確かに福島の食品を避ける人は少なくなった。しかし、次に述べるように福島の人たちの努力にもかかわらず、それは根深く残り、福島の経済を貶めている。すなわち、福島産の食品の他産地に対する相対価格は、震災前の値にまで回復していない。また、韓国、中国、台湾、米国、香港など日本からの食品輸出と来日観光客数トップ5を含む9カ国では、日本の食品に対する輸入規制が続き、また、その影響が福島への観光客が減ったままである。若者が「ボランティア活動で福島に行く」と言うことに眉をひそめるお母さんが少なくないとも聞く。

そうした状況を変えるべく、チームEでは、本提言をまとめ関係大臣等に送った。

### I. 福島の風評対策

東京電力福島第一原子力発電所の事故後、福島では環境回復を目的にボランティア除染とモデル除染が行われた。その後、モデル除染の成果をもとに本格的な除染事業が行われた。今では、自然減衰も加わって福島の住環境や農地の放射線量は、他地域と変わらないぐらいにまで下がった。農地除染では表土剥ぎと反転耕と深耕による転地返しが行われた。幸い、日本の農地にはセシウムを吸着固定しやすい粘土が多く含まれていて、放射性物質の土から植物への移行率は、根菜類を除けば1%以下である<sup>1)</sup>。さらにカリウム施肥による土壌改良によって、作物の汚染を非常に低く抑えることができた。一方、福島の代表的な桃や柿などの果樹は、農家の人により樹皮・樹体の洗浄と皮剥除染が行われた。そして、福島JAを中心に早くから汚染検査が行われ、汚染食品が市場に出ることを防げた。米は特別に開発された装置を用いて、毎年1,000万袋もの全袋検査が行われ、ここ4年間基準値超えはない<sup>2)</sup>。米を含む一般食品は、日本の厳しい規制値(一般食品では国際基準より一桁低い100ベクレル/kg)を優に下回っている。そのため、市場食品

による内部被ばく量評価によれば、年間の内部追加被ばく量は、2015年9、10月時点で0.0015mSv以下で規制目標の1mSvの600分の1以下と報告されている<sup>3)</sup>。

### II. 食品の新基準決定の経緯とその影響

上記の努力があっても依然として風評被害がある。風評の原因として考えられるのは、福島からの避難者が急激に増加したきっかけにもなった世界一厳しく決められた食品の基準である。

食品の基準は、食品安全基本法に基づいて決められる。これは英国の牛海綿状脳症問題に端を発しており、基準作りでは国際的な動向、科学的知見、国民の意見が重視される<sup>4)</sup>。事故直後は、ICRPの勧告を参考に年間内部被ばく5mSvを目標に、放射性物質で汚染された食品の割合(汚染率)を50%と仮定して、一般食品については500ベクレル/kg(国際基準の半分)の暫定基準が決められた。暫定基準の下、秋には基準超えの食品は10%を下回った。そこで、厚生労働大臣が2011年11月28日に年間の追加内部被ばくの目標を1mSv以下とした場合の基準作りを食品安全委員会に諮問した。市場食品による年間の追加内部被ばく量が目標の1mSvを下回るという評価も出た。問題は、国民の合意である。リスクコミュニケーション不足もあり、食品安全委員会は、放射線の基準は低いほど安全だとの考えに基づいて、新基準値を決め、放射線審議会の合意も取り付けて答申した<sup>4)</sup>。なお、汚染率は、コーデックス委員会のガイドラインによれば「汚染食品発生国からの輸入食品が占める割合(占有率)を用いて良い」とされている。新基準作成の際は、日本が汚染食品を発生させたので、国産の食品のカロリーベースでの自給率(占有率)39%をもとに50%が採用された<sup>5)</sup>。これの意味することは、日本産の食品がすべてセシウム汚染しているということである。

とにかく、2012年4月1日から以下の表に示す新しい食品の基準が採用された。EUは、その基準を外れた日本産食品が持ち込まれるのを恐れて新基準での輸入規制をし、他の国もそれに倣った。一方、国内においては、ゼロリスクを求めて、さらに厳しい基準を求める声が出て、福島産の食品への忌避に伴う風評被害が酷くなった。

食品の基準の比較：食品中の放射性セシウムの濃度（単位 Bq/kg）

|     | 食品の種類 | 日本       | 米国       | EU<br>(域内産) | コーデックス委員会<br>(国際基準) |
|-----|-------|----------|----------|-------------|---------------------|
| 基準値 | 乳児用食品 | 50       | 1,200    | 400         | 1,000               |
|     | 牛乳    | 50       | 1,200    | 1,000       | 1,000               |
|     | 飲料水   | 10       | 1,200    | 1,000       | 1,000               |
|     | 一般食品  | 100      | 1,200    | 1,250       | 1,000               |
| 条件  | 内部被ばく | < 1mSv/年 | < 5mSv/年 | < 1mSv/年    | < 1mSv/年            |
|     | 食品汚染率 | 50%      | 30%      | 10%         | 10%                 |

### Ⅲ. 風評の理由

福島県の風評被害に対して厳しい意見の人たちに聞いてみた。その意見は、「福島が汚染された事実は消せない」、「風評被害って未だ有るの？そんな事言うのは、原発事故の風化に繋がる」、「元のように放射能汚染を無くせ」、「食品検査の結果で汚染が見つからないと言っても、測定下限値以下であって、放射性物質がゼロではないのであろう」、「内部被ばくが怖い」とのこと。最初の言葉は、福島県外の人々の意見であり、汚染がある限り風評被害とは思わないとのことだった。風評被害の実態も良く知られていないことも分かった。その後の意見の背後にあるのは「ゼロリスクにしろ」と推察できる。

しかし、この地球上、宇宙線や大地の自然放射能、さらに食品中の放射性元素カリウム 40 などがあるから、ミルクを飲む赤ちゃんですら放射線被ばくをゼロにすることは不可能である。そのため、人は自然放射線を年間あたり世界平均で 2.4mSv、日本で 2.1mSv 浴びる。人類には、その程度の放射線を浴びても耐えられるように、損傷した DNA の修復機能、変異細胞の自然消滅(アポトーシス)やがんへの免疫力等の仕組みが備わっている。このことは、是非知って欲しいし、必要以上に放射線を避けることによるリスクや不経済も知って欲しい。

### Ⅳ. 風評その後と根本的な解決のための提言

福島産の食品は、農家等の必死の努力のお蔭で、多くが測定下限以下であり、世界の中で最も安全性が保証されていると言っても過言ではない。追加内部被ばく量も無視できる。それらのことが知られるようになり、事態は改善しつつあるが、それでもまだ風評被害がある。

福島県産の農産物に対するインターネットによる意識調査の結果が、2017年12月5日に東大より報告された<sup>6)</sup>。この事に関して栃木県の地方紙・下野(しもつけ)新聞で以下のように報じられた<sup>7)</sup>。調査は2017年2月に行われたが、アジア地域では、不安視する人が多く、台湾では81.0%、韓国、中国がそれぞれ69.3%、66.3%であった。欧米ではやや低く、米国で35.7%、英国で29.3%である。日本は30.3%だった。何とも福島での努力もむなしく感じる。別の国内調査によれば、「積極的に福島県産は避けている」と回答した人の割合は、2013年福島県民28.0%、県民以外28.1%が、2017年ではそれ

ぞれ12.0%、19.8%に減ったとのこと。

2017年12月1日にEUは、日本食品の輸入規制を緩和したが、韓国、中国、台湾、米国、香港の食品輸入および訪日観光客数トップ5を含む9カ国が継続している。

こうした状況を変えるために、次の4項目の政策を提言する。

- (1) 市場に入荷する福島産の食品の汚染濃度は、復興庁のホームページで示されているように現在の日本の厳しい基準を下回っている。従い、国は、風評被害の軽減のために、福島産食品の状況と追加内部被ばく量が目標値に比べて桁違いに低いことを報道機関も利用して国内外に伝えること。そして、福島県の食品の販売活動をより一層支援すること。
- (2) 日本に特別厳しい海外の輸入規制の解除を交渉すること。
- (3) 福島産においても食品中の放射性物質の汚染レベルは、他県産同様に平常になっており、管理を解いても良い状況となった。従い、食品の放射性物質による汚染に関する基準は、国際基準(コーデックスの基準)レベルに合わせる。ただし、乳児用食品についてはより厳しいEUの基準を採用すること。それに基づき、海外に対して、我が国の汚染状況が事故以前の状況に戻ったことを示すことが出来、海外での風評被害を払しょく出来る。
- (4) 野生の山菜、きのこ、鳥獣には、基準を上回るものがあるが、それらは嗜好品であって年間を通して多く摂ることはないことを考慮して、汚染検査条件に「摂取の総量規制」も採用すること。その基準は、例えば、年間内部被ばく0.05mSvになる3,500ベクレルとすること。ノルウェーでは、トナカイ肉に対して3,000ベクレル/kgの基準が決められており<sup>8)</sup>、EUでも、嗜好品は緩めようという考えが検討されている。

### Ⅴ. まとめ

上記の提言の根本は、汚染状況が改善したことに伴い国際基準にする事であるが、そのことで現基準を上回る食品の流入を心配する人には、「その基準の1,000ベクレル/kgは10%の汚染率を仮定して決められたもので、全

での食品で均すと現基準と同じ100ベクレル/kgを意味し、それを上回らなければ、年間の追加内部被ばくが1mSvを越える事はないこと」、また、「福島産の一般食品でここ数年間現基準を超える食品が、実績データでは見つかっていないこと」を伝えたい。

また、子供の被ばくを気にするお母さんたちには、粉ミルク、肉、野菜などあらゆる食品中にカリウム40等の自然放射性物質が含まれていて、年間約1mSvの内部被ばくを受けているが、全く問題にならないことを伝えたい。

上記の提言を受け入れて頂くことにより、海外の輸入規制が撤廃され、国内外の福島に対する風評が消えることで、福島産の食品に関わっておられる人々、およびその周りの人たちの顔に笑顔が戻ることを期待したい。そして、2020年の東京五輪を国民皆が喜んで迎えたいものである。

#### － 参考文献 －

- 1) 農地土壤中の放射性セシウムの野菜類と果実類への移行について [www.maff.go.jp](http://www.maff.go.jp) > 報道・広報 > 報道発表資料

- 2) ふくしまの恵み安全対策協議会 放射性物質検査情報, 平成24-29年産玄米. <https://fukumegu.org/ok/kome/>
- 3) 厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部: 事故後の食品安全科学に関するNEAワークショップ, 1-3「食品中の放射性物質の対策と現状」, 2016年11月8-11日福島県福島市コラッセふくしま(2016).
- 4) 唐木英明, 食品安全のための規制, エネルギーレビュー2015.6, pp.7-11(2015).
- 5) 厚労省医薬食品局食品安全部基準審査課長: 食品中の放射性物質に係る基準値の設定に関するQ&Aについて, 食安基発0330第1号(平成24年3月30日).
- 6) 関谷直也, 国内と諸外国における風評被害の実態—2017年度調査および国際比較調査より, 第一回 福島大学・東京大学原子力災害復興連携フォーラム, 2017年12月5日, 東京大学大学院情報学環福武ホール・福武ラーニングシアター(2017).
- 7) 福島県産食品意識調査—欧米よりアジアで不安感一, 下野新聞12月6日(水曜日)版, p.4より引用.
- 8) Astrid Liland, 事故後の食品安全科学に関するワークショップ, 4-2「ノルウェーのトナカイの管理に対する規制と実践的アプローチ」, 2016年11月8-11日福島県福島市コラッセふくしま(2016).

(平成30年6月17日記)



## 書籍販売のご案内

### ■『原子力がひらく世紀(第3版)』

一般社団法人日本原子力学会編, B5判406ページ, 定価1,905円(税別・送料別)

この世に存在するすべての物質に共通する、微細で基本的な構造を解明しようとして、科学者たちが18世紀以来根気よく続けてきた努力は、今から約100年前にアンリ・ベクレルが自然放射線を発見するに及んで、一層の現実感を伴って加速されることとなった。原子物理、または原子科学とよばれるこの分野は、20世紀に入って驚くべき発展を遂げ、我々の宇宙観を一新し、

広い可能性を開拓したのである。歴史的には原子爆弾という、不幸な産物を経過したものの、現在ではその応用は工業、農業、医学での放射線利用、およびエネルギー源としての原子力発電に及んでいる。これらの応用をまとめて原子力の平和利用と呼んで、これをやさしく、じっくり解説するのが、本書の意図するところである。(「発刊の言葉」より抜粋)

○ご購入は日本原子力学会ホームページ 書籍販売のページよりお申し込みください○

<http://www.aesj.net/publish/shopping>





# 談話室

## いちえふ 1 F 沖釣魚紀行—『うみラボ』に参加して—

東京工業大学 澤田 哲生

福島第一原子力発電所(1F)沖合 2km で底もの釣りをした。小松理虔さんの『いわき海洋調べ隊うみラボ』と吉川彰浩さんの『一般社団法人 AFW』の催しに参加した。2018年6月30日午前6時釣り船長栄丸に乗船。梅雨が明けた空は快晴だった。

この日の釣果！超大型クーラー2台に満杯。どれもこれも大物だった。最大は私の隣の榎木さんが釣り上げた80cmのヒラメ。彼は海釣りビギナーだった。異形は、1m級のクロアナゴ。やはり隣の渡邊さんが釣り上げた。私はといえば、40cm級のアイナメを筆頭に5尾をゲット。

今日釣った魚は、すべてアクアマリンふくしまに持ち込まれ、生態調査に供されます。ベクレル数も計測されますが、最近では底ものでもほとんどが検出限界以下とのことです。

### 1. 海洋に浮かぶ“軍艦島”

久之浜はいわきから三つめの駅。久之浜漁港を出港した長栄丸はひたすら北上する。沖合からは阿武隈山脈の勇姿が彼方に横たわる。その阿武隈山系の裾野を縁取る屏風のように切り立った断崖が海岸線にそそり立つ。断崖絶壁の高さはゆうに20mはある。海洋から見るとこの地の地質学的な成り立ちがよくわかる。この断崖絶壁の上に集落が鎮座していたりするのだが、ところどころなだらかな丘陵が海にまで降りてきている地域がある。

こういうところから津波が侵入して行ったのであろう。

小松さんの説明が面白い。いわき市や双葉郡では自生植物の南限と北限が入り混じる。例えば、広野町は温州みかんの北限で、ヒノキも同様だという。また北の相馬氏と南の常陸平氏の庶流とされる岩城氏が闘ぎ合ったのもこの辺りなのである。その名残が夜ノ森(よのもり)であり、これは「余(私)の森」だという。かつて富岡町にあった小良ヶ浜(おらがはま)という漁船数隻の漁港も、俺(おら)が浜のこと。自分の領土であることを主張しあった名残だという。相馬氏は中世から近世にかけて、夜ノ森以北を支配していたのである。相馬氏の現当主は福島第一原子力発電所事故後に声明文を出したという。『相馬野馬追』が事故の年にも開催されたことは、皆さんもご記憶されているでしょう。この祭りの起源は相馬氏の遠祖・平将門の軍事訓練だったという。

そうこうしているうちに、長栄丸は広野火力の沖合に差し掛かった。手前に重油による火力が4基、奥に石炭火力が2基ある。合計440万kwは今首都圏に振り向けられている。そこから北を見れば、海岸線に福島第二原子力発電所、そして福島第一原子力発電所の威容が霧に霞んで見える。阿武隈山系には、要所要所に巨大な鉄塔が山並みを駆け上がるように列をなしている。海洋から見ると、この地に集中的に立地される巨大な火力発電と原子力発電と大消費地である首都圏の構造的関係性がよくわかる。第二原発を通過しながら小松さんが補足す



写真1 全釣果



写真2 第一原発の沖合で語る吉川さん

る。「この第二もようやく廃炉の決定が発表されました。」そうこうして船は第一原発の沖合に停泊した。

海洋から見る第一原発群はまるで海に浮ぶ巨大な艦船のように映った——まるで軍艦島のような。第一原発の両脇は切り立った崖が見えるのと対照的である。誰かがボソッとつぶやいた。「これじゃあ大津波を被れば沈没してしまいますね」そして、吉川さんが手製のジオラマを前に第一原発についてやおら解説し始めた。

## 2. 手製のジオラマが俯瞰する今

吉川さんお手製のジオラマはとてもよくできていた。汚染水タンク群、凍土壁、3号機の屋上のカマボコよう構造物などが事細かに再現されている。立体的なので、海洋から見える平面的な眺望の奥行構造が実感できる。ジオラマに込められた熱意が染み出してくる。「先週、あそこに入ってきました。2号機と3号機の間を通ってきました。今は、全面マスクも防護服もいりません。今ここにいる私たちの格好とはほぼ同じ服装で入れます。3号機の上に据え付けられた丸いカマボコの様な建物の中に私たちも入れます。まだあそこにある使用済み燃料を取り出す作業のために建造されました。」20分くらいで現状と問題点が要領良く解説された。「汚染水タンクにはトリチウム処理水が残っています。薄めて海洋に流すのか、気化させるのか・・・最近、近大でトリチウムだけを取り分ける画期的な方法も見出されたという話には少し希望を持っています。デブリは結構大変だと思います。一体いつ本格的取り出しが可能になるのか。うん年先とはなかなか・・・」と声を詰まらせた。

## 3. 海洋釣り調査

吉川さんの説明を終えて、いよいよ調査釣り——待望の釣り開始。第一原発の間近からやや移動して最初の釣りポイントへ移動した。すると、アイナメ、ソイ、沖メバル、ムシガレイなど底ものがあちこちで面白いように釣れあがり始めた。初っ端からこうだ。

この海域の何と言っても売りは型の良いヒラメである。『座布団サイズ』という70cm以上のヒラメも上がるとかで、釣り愛好家の渡邊さんは、昨夜興奮してあまりよく眠れなかったという。船長によれば、大きなサイズのヒラメは、アタリのあと頑としてズッシリと重くなるので、根掛かりと一瞬間違う。しかし、それでも少しずつリールを巻き寄せることができるので、焦らなくていいからゆっくり巻き続けるのだという。

朝は快晴だったが、徐々に雲がうっすらと広がってきた。海流は結構冷たそうで、気温上昇に伴い海水温が上昇し海面近くが靄ってきた。夏海霧(かいむ)だ。暑すぎず日射も和らぐ。絶好の釣行日和になってきた。見渡す限りの大海原。巡視船はいるらしいが、漁船は一隻もない。まるで太平洋にひとりぼっち。



写真3 40cm級のアイナメ

そうこうしているうちに、私にも最初のアタリが来た。海の底から姿を現したのは型の良いクロソイだった。うみラボ専用の超大型クーラーボックスに魚を取めに行くと、もう既にワンサカと釣果が上がっている。型の良いヒラメも何枚も上がっているではないか。

納竿は12時半。4時間余りの釣レジャーだった。

第一原発の沖合で釣り上げられた魚は、10km圏内と圏外に分けられ、帰港後全てアクアマリンふくしまでの検査に回されていった。

海上の線量は0.02 $\mu$ Sv/h程度に過ぎない。福島県沖では平成24年から試験操業を始めている。その対象魚種はクロダイなど6種を除く全て。そして出荷対象は福島県がモニタリングし、50Bq/kg(自主基準値;国の基準値は100Bq/kg)を下回った魚介類である。

福島に来れば、楽しさの中で学び、学びの中に楽しさがある。まさに楽学両道のフィールドになっている。

## 4. 今後

吉川さんによれば、長栄丸は一般向けの遊漁船営業をしているが、次回の営業運転日にはまだ3名しか申し込みがないそうだ。下船後、私たちは漁港からほど近い食堂『からすや食堂』でランチタイムと相成った。昨年営業しているという。天井が高く、白木を合掌様に組み上げた店内のデザインは斬新で爽やか。夫婦で営まれている。私たちが皆長靴なので、女将が訝って「なんかあったんですか?」と。事情を話すと、なんだそうなのと。

さて、私が注文したのはしょうゆラーメン(500円)。あっさりしていて飽きのこない味。あっという間に胃に吸い込まれた。ラーメンをすする間、悩みや課題を聞いた。

吉川さん——この海の魚を普通に釣って普通に食べて、

海の幸を分かち合いたいという企画を実施予定。地域の人々が昔のようにこの海の恵みを享受する。そんな普通の姿を取り戻したい。操業に不安のある人にも寄り合っ  
てほしい。そんな場を作りたいという。

渡邊さん——ご夫人が行政につとめていて、広島のように事故を記憶の遺産にできる方途を模索中。自分も何かできないかを常日頃考えており、今日もそんな気持ちもあ  
って参加した。今あちこちに少しずつできているその手の施設は、行ってみてもペーパーの資料がある程度で、それではなかなかインパクトも少なく将来に役立てる記憶遺産になりえないのが悩みだという。

誰もがそれぞれの視点で福島の未来にチャレンジしている。そんな姿を体感した釣行だった。“また来よう”と思った。

(2018年7月1日記)



写真4 ランチ風景

### 日本原子力学会誌「ATOMOΣ」アンケートのご案内

日本原子力学会  
編集委員会

編集委員会では、多くの読者から意見を伺いその結果を記事企画に反映し、誌面内容の向上を図るため、2016年9月号より毎月、原子力学会会員を対象に学会誌「ATOMOΣ」のアンケートを実施しております。皆様の率直なご意見・ご要望をお聞かせください。

いただいた回答については集約した上で、学会誌で随時、紹介しております。会員の皆様からのご意見をお待ちしておりますので、ご協力をお願い申し上げます。

- アンケートは所要時間1分です。
- 毎月月初に、AESJ-NEWSで回答URLと回答期限のご案内をお送りしています。
- アンケートに関するお問合せ先  
一般社団法人 日本原子力学会 編集委員会  
学会誌編集長 佐田 務  
E-Mail : q\_atomos@aesj.or.jp

## 科学とコミュニケーションを考える

## 二つのコミュニケーション

青山学院大学 岸田 一隆

コミュニケーションの根本から考えてみましょう。コミュニケーションには送り手と受け手があり、その間でメッセージがやりとりされています。これをもう少し細かく分解すると、(1)送り手が受け手へメッセージを伝達、(2)受け手がメッセージを理解・共感、(3)そのメッセージによって受け手の内面が変化、(4)当初の受け手が送り手に転じてメッセージを返信、の4段階に分けることができます。コミュニケーションというと、メッセージの伝達ばかりが強調されることが多く、「伝える技術」に注目が集まりがちですが、実際には、(2)と(3)の「受け手の学習過程」が決定的な役割を担っています。

受け手の学習がなければ、コミュニケーションは機能しません。理解されることも共感されることもなければ、メッセージは実際には伝わっていないのです。たとえば、理解や共感が行われたとしても、受け手が一切変化しないのであれば、伝わっているかのように見えて、それは何の意味も効果ももたらしません。すなわち、コミュニケーションの成否は受け手が決めているのです。

さらに、コミュニケーションには「情報伝達」と「共感・共有」の2つの機能があります。「情報伝達」が担っているメッセージは「狭い意味での情報」です。それに対して、「共感・共有」が担っているメッセージは「感情・倫理観・価値観」といったものです。

たとえば、親しい人とコミュニケーションをしていますが、妙に話がすれ違うことはありませんか。自分は相手が発している情報を正確に受け取り、より良い解決策や助言を与えているのに、相手は不満げな顔をしているような時です。実は、相手は解決策など欲しいわけではなく、ただ話を聞いて欲しいだけであり、労いや慰めの言葉が欲しいのだということがあります。この時、自分は「情報伝達のコミュニケーション」だと理解していたのに、相手は「共感・共有のコミュニケーション」を発していたのです。

もし、原子力の科学コミュニケーションに、「自分が変わるつもりはない」という難点が横たわっているとすれば、それはすなわち、はじめからコミュニケーションが成立していないことを意味しています。受け手の学習過程の(3)が機能不全だからです。そして、このような現状を前にして、「情報伝達のコミュニケーション」だけで

は何も解決しません。折り合うことが困難に思える価値観の違いを越えるには、「共感・共有のコミュニケーション」が不可欠なのです。

原子力に肯定的な人から見れば、原子力に否定的な意見を一切変えるつもりのない人は頑迷に見えます。ですが、多くの人はずうではないのです。こんなに心配な自分の心を正当化したいのです。「不安なのはおかしいことではない」と言って欲しいのです。ここで原子力の安全性を説いたとしても、相手は「不安な自分の心を否定された」と感じるだけです。まずは、不安な心に寄り添わなくてはなりません。さらに言えば、原子力に肯定的な人こそ、頑迷に思われていることも自覚しなくてはなりません。

「共感・共有のコミュニケーション」はうまく使えば、人々の間の価値観の違いを乗り越えるのに、とても有効です。ところが、このコミュニケーションが思わぬ効果をもたらしてしまった例があります。それはSTAP細胞をめぐる一連の騒動の中で行われた2つの記者会見、小保方晴子氏と笹井芳樹氏が、それぞれ独立に開いた単独記者会見でした。

笹井芳樹氏の会見は科学者としてきちんと「情報伝達」をしていたため、専門家の間では評判がよかったのですが、一般の視聴者には今ひとつ響きませんでした。一方の小保方晴子氏の会見は、専門家から見れば何も言っていないに等しい内容でしたが、一般視聴者の中には深く共感した人もいました。彼女が無意識に発していたのは「共感・共有」でした。

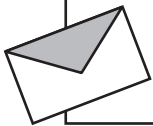
「共感・共有のコミュニケーション」は方法として強力です。ですが、強力であるがゆえに、悪用には注意が必要です。倫理観や価値観に訴えかける「共感・共有のコミュニケーション」には、度を越えれば「洗脳」の危険性があるのです。

実際にどのようなやり方が「共感・共有のコミュニケーション」として有効か、現在はまだ模索の段階であり、悪用の危険性まで考えるのは気が早いように思えるかもしれません。ですが、初期段階から負の側面への対処を考えておくことは、とても大切です。これは現代の科学技術にも求められていることです。

(2018年6月12日記)

# 理事会だより

## 平成 30 年度 新体制で活動を始めました



### 新役員を選任

平成 30 年 6 月 15 日に開催された第 8 回総会において、新役員 11 名(理事 10 名, 監事 1 名)が選任され、留任役員 9 名と合わせて 20 名の新体制で活動を開始しました。

総会当日には第 1 回理事会を開催し、会長・副会長を、選出するとともに、各役員を担当も決定しました。各役員を担当業務は下記のとおりです。

| 役職               | 氏名    | 所属       |
|------------------|-------|----------|
| 会長(福島連絡会, YGN)   | 駒野康男  | MH I NSE |
| 副会長(国際, 事故調)     | 岡嶋成晃  | J A E A  |
| 副会長(教育, 支部)      | 中島 健  | 京都大      |
| 副会長(編集, 原子力シンポ)  | 山口 彰  | 東京大      |
| 理事(総務, 標準)       | 近江 正  | 日本原電     |
| 理事(会員, 編集)       | 小山正史  | 電中研      |
| 理事(財務, 福島)       | 三倉通孝  | 東芝       |
| 理事(福島, 国際)       | 佐藤修彰  | 東北大      |
| 理事(会員, 教育)       | 高橋 信  | 東北大      |
| 理事(経営改善, 広報, 事調) | 田中治邦  | 日本原燃     |
| 理事(部会, 国際)       | 玉田正男  | Q S T    |
| 理事(部会, 編集)       | 千葉 敏  | 東工大      |
| 理事(福島連絡会, ダイバ)   | 土田昭司  | 関西大      |
| 理事(福島連絡会, 企画)    | 中山真一  | J A E A  |
| 理事(企画, 財務)       | 西野由高  | 日立       |
| 理事(広報, ダイバ, 福島)  | 布目礼子  | NUMO     |
| 理事(支部, 教育)       | 深田 智  | 九州大      |
| 理事(総務, 標準, 経営改善) | 藤澤義隆  | 中部電力     |
| 監事               | 中田耕太郎 | 東芝       |
| 監事               | 水田 仁  | 関西電力     |

### 総会の開催

今年の総会について、報告させていただきます。まず、定款の定めに従い議長に会長が選出され、次に、平成 29 年度事業報告・計算書類の審議、続いて、今年度は定款および定款細則の改定が審議されました。今回の改定では、小中学校の先生を対象とした教育会員の設置および役員選任の透明性向上のための条文追加が主要事項となっています。

役員選任の際には、駒野新会長からご挨拶があり、「福島の廃炉・復興の推進と世界への発信」、「未来・やりがいを感じる活動と若手育成」、「理解活動の推進と会員サービス向上による会員獲得」の 3 つの重点項目について所信が述べられました。

また、2 年間にわたり会長を務められた上坂先生を推薦会員に推挙し承認されました。先生は、福島復興や廃

炉の推進を目指す学協会連絡会の体制整備、研究炉再開に向けた提言の発信など重要な課題に取り組み、大きな成果を挙げられました。

### 今年度の主要な取り組み

原子力学会の事業目的は「公衆の安全をすべてに優先させ、原子力および放射線の平和利用に関する学術および技術の進歩を図り、その成果の活用と普及を進め、もって環境の保全と社会の発展に寄与すること」であり、今年度も、この目的を達成すべく事業を進めていくことが基本と考えています。

東日本震災から 7 年を迎えて、引き続き、福島廃炉・復興の支援事業を最重要課題として「福島第一原子力発電所廃炉検討委員会」や「福島特別プロジェクト」の活動を積極的に推進するとともに、体制整備した福島復興・廃炉推進学協会連絡会を通して他学会とのより一層の連携を図って参ります。

学会の財務状況ですが、各委員会・部会・支部および事務局の皆様のご理解・協力による支出削減のおかげで改善していますが、一方、収入側の会員数は年間 100 名程度の減少が継続し、厳しい状況となっています。そこで、今年度の主要事項は、会員サービス向上などによる会員の維持・増強にあると考えています。

総会に提案しました「教育会員」も、この一環として実施したものです。会員種類を増やすことによって間口を広げるとともに、原子力へのご理解を深めていただくためにも有効なものと考えております。現時点では、枠組みを作ったところですので、これを広く皆様に知ってもらい、会員数増につなげることが、今年度に取り組むべきことと考えております。

また、来年 2 月には創立 60 周年を迎えます。この事業としてシンポジウムなどとともに、会員サービス向上や増強策も考えております。なお、事業と言いましても、お祝いということではなく「これまでを振り返り、これから学会として何をしていくべきか」を考える大事な機会ととらえて各種事業を計画して参ります。

会員の皆様から会員サービス向上や会員増強のためにいいアイデアがありましたら、ぜひ教えていただければと思います。学会は会員の皆様で成り立っています。積極的なご参加・協力をお願いいたします。

(総務担当理事 藤澤 義隆)