

### 巻頭言

#### 1 本音の議論を

矢川元基

### 時論

#### 2 南相馬の放射線教育

福島の子供たちと保護者への科学的な放射線教育が必要である。

秋庭悦子

#### 4 緊急被ばく医療から健康リスク評価へ—長崎から福島への4ヶ月

松田尚樹

### 東日本の巨大地震に学ぶ(1)

#### 13 プレート収束域にできた日本列島

4枚のプレートが集まる場所にある日本列島。3月11日の巨大地震の仕組みと、今後の日本の地震活動を解説する。

尾池和夫



福島第一原子力発電所1号機の原子炉建屋カバー工事の模様(東京電力HP)

### 解説

#### 16 福島原発事故と放射線健康リスク

放射能の健康影響についての情報が氾濫している。国連科学委員会や国際放射線防護委員会などによる世界の放射線防護の基準をふまえた上で、放射線の健康リスクについて概説する。

山下俊一

#### 22 河川系における放射性核種の移行特性—チェルノブイリ事故研究等からの知見

福島事故で放出された放射性核種は地表面の広域汚染をもたらし、その一部は河川に移行している。ここではチェルノブイリ事故・大気圏内核実験影響の関連研究を参照し、河川における放射性核種の移行の特徴を紹介する。

松永 武, ユーリ トカチェンコ

#### 27 食品中の放射能濃度の簡易測定法について—NaI(Tl)シンチサーベイ測定における留意点は何か?

厚生労働省は食品中の放射能濃度についての暫定規制値を示した。この確認において、第一段階のモニタリングでは、空間線量率を測定できるNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを適用する方法もある。

佐々木道也

#### 31 原子力の研究開発機関におけるメンタルヘルス—産業医としての関わりから

原子力施設で働く職員は、さまざまなストレスにさらされているが、一体どのような特徴があるのだろうか。原子力機構に産業医として関わってきた立場からこれを紹介する。

友常祐介, 松崎一葉

#### 36 原子力損害賠償制度を見つめ直す—制度の背景, 仕組みとその課題

福島事故による損害は、原子力損害賠償法制の想定を超えた様相を呈しており、現行制度を補完する法案が審議されている。この制度に関する経緯と現状の仕組みや課題を紹介する。

富野克彦

表紙の絵「街外れの市」 製作者 櫻田 久美

【製作者より】 パリ郊外の旅の途中、街はずれの小さな広場に、少しさびしげな市が立っていた。深まりゆく秋の風情がよく似合っていて、なぜか郷愁を誘われた。そんな情感を作品に込めて描いたものである。

第42回「日展」へ出展された作品を掲載(表紙装丁は鈴木 新氏)

## 解説

### 44 福井県における原子力教育・研究開発

エネルギー利用の中心的地域の一つである福井県。福井県やJAEA、関西電力、福井大学による原子力研究・教育・開発の取組みと、それらが連携した拠点化の動きを紹介する。

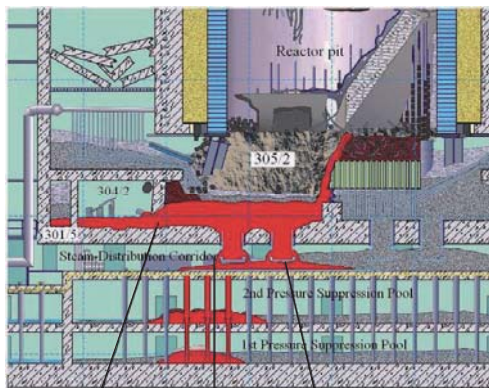
竹田敏一、来馬克美、一宮正和、鈎 孝幸

## 報告

### 39 チェルノブイリから25年〜クルチャトフ研究所 ベリホフ総裁 レベル7の事故を語る

ベリホフ総裁は原産主催の会合で、チェルノブイリ事故と福島事故への教訓をテーマに講演した。

桜井久子



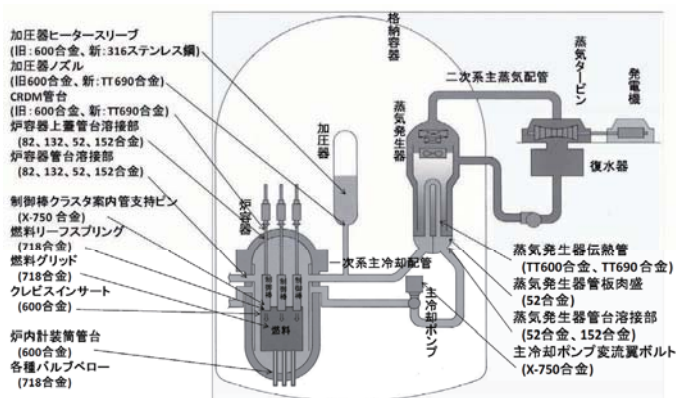
Horizontal stream Large Vertical Flow Minor Vertical Flow

Spreading of Lava-like fuel containing masses

## 連載講座 第3回 材料が支える原子力システム

### 48 Ni 基合金

耐食性と耐リラクセーション性に優れる Ni 基合金。軽水炉ではその特性を生かし、蒸気発生器伝熱管材料やボルト材など原子炉機器・配管部材として数多く使用されている。米澤利夫



PWR 系統図と主な Ni 基合金使用部位

## 6 NEWS

- 原子力委が来年度予算で基本方針
- 保安院が「ストレステスト」の実施を指示
- 食品安全委、累積線量100ミリ Sv まで
- エネ研、原発なしで GDP 5%減と予測
- 成長戦略会議、国民議論踏まえ結論を
- 政府が再生戦略を閣議決定
- 「原子力安全庁」設立で試案
- 原子力損害賠償で中間指針
- 緊急時避難準備区域解除へ
- 日弁連が原子力発電撤退の意見書
- 海外ニュース

## ATOMOS Special

### 世界の原子力事情(17) 東欧編

### 54 スロバキア

一仏に次ぐ世界第2位の原子力割合

杉本 純

## 談話室

### 41 広島から福島へ

8月6日に広島と福島を訪れて見たもの。澤田哲生

### 56 文系の女子学生から見た原子力

渡邊早紀子

## ジャーナリストの視点

### 43 福島の被災者は怒る、問う、求める

寺島英弥

### 21 From Editors

57 新刊紹介 『よくわかる身のまわりの現象・物質の不思議』 藤本 登

60 「2012年春の年会」研究発表応募・参加事前登録のご案内

61 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、意見受付公告、英文論文誌 (Vol.48, No. 10) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

## WEB アンケート

7・8月号のアンケート結果をお知らせします。(p. 58) 学会誌記事の評価をお願いします。

<http://atomos.aesj.or.jp/enq>

学会誌ホームページはこちら

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

## 本音の議論を



東洋大学教授・計算力学研究センター長，  
原子力安全研究協会理事長

**矢川 元基**(やがわ・げんき)

日本学術会議会員(総合工学委員長)，日本工  
学アカデミー理事，東京大学名誉教授，国際  
計算力学連合会長，韓国成均館大学ワールド  
クラスユニバーシティ教授。東京大学工学系  
研究科博士課程修了後，東京大学大学院工学  
系研究科教授，日本応用数理学会会長，日本  
シミュレーション学会会長を歴任。

今年3月に起きた福島第一原子力発電所事故直後の対応において格納容器からのベントが大きな話題となった。設計圧力をかなりの程度超えて，このまま進むと格納容器が爆発してしまうという恐れがあったのである。真っ暗闇，高放射線環境下，まともに作動している計測装置もなく，現場で指揮，作業に当たっておられた方々は時間との戦いの中，厳しい判断を迫られ本当に大変であったであろう。筆者はこのとき以前携わった格納容器限界圧力に関する研究のことを思い起こしていた。シミュレーションと実物モデル実験を用いて格納容器がどこまで耐えられるかを調べるというものである。当時，このような限界実験は行われておらず，いざというときに格納容器がどこまで耐えられるか誰にも理解されていなかったのである。研究は成功し，設計圧力の3倍程度までは耐えられるという貴重なデータが得られたのであるが，問題は，この研究が実際にスタートするまでのいきさつにある。要は，格納容器といった安全の最後の砦が壊れるなどという現実をあらわにすることは避けたい，見たくないといった類の雰囲気の関係者のなかに少なからず存在したのである。同じような雰囲気が原子炉圧力容器の破壊リスク確率を計算する研究会を立ち上げたときにも少なからずあった。圧力容器は絶対に壊れないことが前提で原子力設計が成り立っているのに，いまさら圧力容器が破壊する確率がゼロでないとなればその前提が崩れるというのがその理由であった。

さて，学術は，その性格から認識科学与設計科学に分けることができる(提言：知の統合—社会のための科学に向けて—，日本学術会議，2007)。「認識科学」と「設計科学」の区別は，前者が「curiosity-driven」(好奇心駆動型)，後者が「mission-oriented」(使命達成型)，あるいは，前者が「あるものの探求」，後者が「あるべきものの探求」である。社会や産業にイノベーションをもたらすことを目指した研究開発では，基礎研究の成果を応用につなぐことが必要である。言い換えれば，「あるものを探究」する認識科学与「あるべきものを探究」する設計科学の協同が必要となる。つまり，認識科学は多種多様な知を導出し，設計科学はこれらを活用して人工物の創出や方策の案出を図る。設計科学は複雑に絡んだ条件や目標とする仕様を満たす解を案出する課題解決型研究であり，解決方法を導くために多種多様な知識を組み合わせて活用することが必要とされる。

このことを，原子力研究開発の歴史に関連させれば，欧米原子力先進国ではまず認識科学から出発して設計科学へと進んでいった。すなわち，多くの基礎研究を積み重ねながら，時には失敗もしながら，知識を蓄え，その集大成として原子力利用技術を獲得したのである。一方，わが国では，逆の道をたどってきたといえる。1960年代後半，筆者の大学院生時代に指導教官からこれをまず勉強しなさいといわれて渡された書物が当時発刊されたばかりの米国機械学会 ASME 設計基準(コード)であった。原子力利用技術の集大成であり，豊富な認識科学研究の凝縮物であるこの ASME コードを逆にたどれば，原子力先進国米国に倣ってこれからの日本が行うべき研究の種が自然とわかってくるであろうと指導教官は意図されたのであろう。あるいは，ゼロから積み重ねるよりこのような方法をとれば米国のような原子力先進国にすぐに追いつけると思われたのかもしれない。仮に，認識科学を本音，設計科学を建前とすれば，米国など欧米原子力先進国では本音から建前へと本来あるべきコースをたどってきたが，日本は，本音からではなく建前から入った。日本人特有の器用さで「ものづくり」としては世界一の製品を造ってきたかも知れないが，どこかにまだ借り物技術のひ弱さが見られないだろうか。

(2011年 8月10日 記)



## 南相馬の放射線教育



秋庭 悦子(あきば・えつこ)

内閣府原子力委員会委員  
早稲田大学商学部卒業。NPO 法人あすかエネルギーフォーラム理事長、(社)日本消費生活アドバイザー・コンサルタント協会常任理事などを経て。2010年1月より現職。

はじめに

3.11の津波による福島第一発電所の事故の対策は、7月19日に収束への道のりのステップ1への到達が発表され、まずは一安心した。発電所で命がけの作業して下さっている方々に心より感謝を申し上げたい。まだまだ道のりは長いですが、冷温停止に向けて着実に進むことを願っている。一方で、発電所の外では、日にちがたつにつれ、空間放射線量は低下しているものの、肉牛やシイタケなど食品への影響や学校の校庭の汚染、内部被ばくの問題など消費者の不安が大きくなっている。

私は原子力委員に就任する前に、生活者の視点でエネルギー問題を考えるNPO活動を行っていたために、福島県の浜通りには何度も訪れており、地域の方たちと交流を重ねていた。NPO法人設立間もない頃に、富岡町のリフレ富岡にて「暮らしの中の放射線」をテーマに「エネルギートークサロン」を開催したが、大熊町の農家の女性たちが快く地域の方々に参加を呼び掛けて下さった。また一昨年は、東京に大熊町のふるさと塾の女性たちが採れたてのヒラメを持って来て下さり、東京の主婦たちと一緒に料理をしたことも楽しい思い出となっている。あんなにお世話になった大熊町や浜通りの方たちが、不自由な避難生活を強いられていると思うと、いてもたってもいられない気持ちである。

とにかく、交流を通じて知り合った方々の安否を確認し、4月半ば、東北新幹線の開通を待って、まずは富岡町と川内村の方々が避難なさっている郡山市の福島ビッグパレットに向かった。その後、週末ごとに大熊町、楢葉町、浪江町、双葉町の避難先を訪問した。大熊町の女性からは、防災無線で避難が呼びかけられたときには、すぐに帰れるものと思い、お財布一つ持って近所の集会所に行ったと聞いた。また、各町長からは何千人もの住民を連れて、自分の決断で避難しなければならなかった苦しさを伺った。中でも、浪江町長は津波で犠牲になられた方を捜索できなかった無念さを涙ながらに話され、

心に重く受け止めた。その後、相馬市と南相馬市にある遺体安置所を訪ね、お参りさせていただいた。

### 1. 南相馬市での「はかるくん」の出前講座

南相馬市の避難所でボランティア活動をしている友人に会った時、緊急時避難準備区域となっている地域では、放射線について不安を持ちながらも仕事や様々な理由で多くの方たちが住んでいることを知った。5月末ですでに7万人の人口のうち、3万人が住んでおり、スーパーやレストランも数軒営業を始めていたが、病院や学校は閉鎖されていた。子供たちはバスで30キロ圏外の小学校に通学している。友人がボランティアをしている託児所で、お母さんたちから子供たちへの放射線影響についてご心配されていることを伺い、個別にお答えするよりも学校単位で専門家を派遣して正しい情報を知っていただく必要があると痛感した。

そこで、(財)日本科学技術財団が行っている簡易放射線計測器「はかるくん」の出前授業を利用することにした。6月半ばに30キロ圏外の鹿島区の八沢小学校で5年生を対象に「はかるくん」の授業を行った。八沢小学校には小高区や原町区の6つの学校の児童が通学しており、通路に仕切りをして教室にしたり、校庭にユニット教室を建てて対応している。子供たちは長袖長ズボン姿で半分以上がマスクを着け、教室の窓は閉め切っていた。「はかるくん」の授業では、まず「放射線と聞いて思いつくことは？」と聞くと即座に「被曝」「原発」「プルトニウム」という答えが返ってきた。「放射線はどこから飛んでくるの？」と聞くと「雨」「原発」という答えであった。さらに「はかるくん」で身近な塩や湯の花などを計測した後、「質問は？」と聞くと「菅総理や枝野長官は、直ちに影響はないと会見でいっていますが、どれぐらいあびると癌になるのでしょうか」「放射性物質は主にどんな環境にあるのでしょうか」と大人顔負けの質問だった。質問には同行いただいた東北大学名誉教授の馬場護先生にお答えしていた

だいた。「放射性物質はすでに地面に沈着しており、マスクを外してもいいですよ」と言われても誰も外さなかったことが意外だった。この子供たちが大人になった時を考えると、今、放射線・放射能について、正しい基礎知識をしっかり身に付けてほしいと願わずにはいられなかった。このままいくと、子供たちは放射線に負のイメージしか持たないことになるであろう。

子供たちの授業の後、保護者の質問会に移ったが、質問は「夏場にエアコンを使っても大丈夫か」「家庭菜園でつくったものを食べてもよいか」「野菜の汚染は個人でも測定できるのか」「井戸水で生活しているが大丈夫か」など、この地域での日々の暮らしに密着した質問が多かった。その後、鹿島小学校で授業を行っている4人の校長先生たちとも話し合ったが、「家庭でも線量計で測っている方が増えているが、多くの人は放射線について知らないことからくる不安が多い。正しい情報を知ること、情報はどこでもらえるのかをみんなにわかりやすく伝えてほしい。」と言われ、単発の専門家による講演会ではなく、この地域の状況に応じて、専門家と保護者のコミュニケーションの場を積み重ねる必要性を感じた。

## 2. 今こそ放射線教育が必要

八沢小学校での放射線の授業で気付いたことは、子供たちも保護者も放射線の基本的な知識について、よく知っていることと知らないことが混在していることであった。例えば、内部被ばくをご心配になっているものの身体の中にも放射性物質があることは知らない人も多い。しかし、考えてみれば当然である。現在、小中学生を持つ保護者は、今まで放射線教育を受けたことがない人がほとんどである。本年度、学習指導要領が新しくなった中学校では、30年ぶりに理科の授業で放射線に関する項目が復活することになっており、これから指導法や教材について検討しようとしていた矢先であった。学校によっては、この事故で取り上げることを逡巡しているところもあるそうだが、このような状況であるからこそ、科学的な事実を教え、子供たちが判断できるようにすることが重要だと思う。また、学校教育と合わせて保護者

の放射線教育にも取り組む必要があるのではないだろうか。子供たちがせつかく学んでも、家庭で不安に駆られた大人に打ち消されてしまえば、何にもならない。この機会に全国の学校でぜひ、保護者も合わせての放射線教育に積極的に取り組んでほしいものである。また、専門家の方たちにも、今こそ各地で放射線についての科学的な知識を広めていただきたいと願っている。

## 3. さらに不安が増す南相馬の人々

7月半ば、南相馬市の託児所で行われる子供のための夏祭りのお手伝いをするために3回目の訪問をした。ヨーヨー釣りや輪投げ、ビンゴゲームなど2日間で300人以上の子供たちが訪れ、大盛況であった。しかし、子供たちの笑顔に比べて、お母さんたちの顔はさらに不安の色が濃くなっていた。「牛肉もシイタケも汚染されているとなると、いったい子供たちに何を食べさせればいいのか?」「今はセシウムが問題になっているけど、それ以外の物質が問題になることはない?」「水道水は大丈夫と言われているけど信用できない」。そして、「緊急時避難準備区域が解除になっても校庭が除染されない限り、子供を地域の学校に通学させるつもりはない」などと言われた。また、「南相馬ではデマみたいな情報が頻繁にでており、いったい何を信じればいいのかわからない。こんなに不安なのに、どうして国はしっかり説明をしてくれないの?」「国や自治体は安全の基準ばかり押し付けてくるが、安心の基準はどこなのか示してほしい」と厳しく問われた。

もっと組織的に取り組む必要があると痛感していたところ、日本原子力研究開発機構が福島事務所を設置して、環境修復に取り組むとともに、県内の学校や市民グループに講師を派遣し、放射線をテーマにセミナーを開催することになったのは朗報だった。すでに60校以上の申し込みがあるとのこと。早速、南相馬の小学校でも質問会を開催していただくことになった。ぜひ、地域の人々の不安にしっかり応えて、信頼されるようになっていただきたいと期待している。

(2011年8月1日 記)



## 緊急被ばく医療から健康リスク評価へ 長崎から福島への4ヶ月



松田 尚樹(まつだ・なおき)

長崎大学 教授  
金沢大学薬学部卒。細胞生物学を起点にして現在の専門は放射線生物・防護学。放射線取扱主任者。

### 出 動

私は地方大学の研究教育用放射線施設の管理を任されている生物系教員に過ぎない。大学病院で緊急被ばく医療研修が行われると、放射線という一点の繋がりで受講生や協力者の立場で不定期に関わってきたが、原子炉や原子力発電については、まったくの素人である。

3月13日の日曜日、そんな私に長崎大学緊急被ばく医療チームとして福島に出動するよう大学から連絡が入り、深夜に集合場所である放射線医学総合研究所に他のメンバー4人とともに赴いた。14日に近隣の自衛隊駐屯地からヘリコプターで福島県庁近くの河川敷に着陸し、自治会館4階に設置された医療支援連絡室に合流した。

ここでは避難所および保健所での住民スクリーニングと患者搬送の調整が行われていた。このとき福島市内では空間線量はさほど高くないにも関わらず、浜通りでは表面汚染が13,000 cpmを越える住民が多数おられること、翌日よりスクリーニングレベルを100,000 cpmに引き上げることなどを伝えられた。放射線管理区域内で汚染があったといってもせいぜい数1,000 cpm程度という状況に馴れきってしまっている身としては、まず耳を疑うしかなかった。

15日からは、主に福島医科大学病院で高線量被ばく患者の一時受入れおよびトリアージ(患者の重症度、緊急度、被ばく状況に基づく処置優先度による分類)施設としての整備に関わることになった。その後は全員が当直状態に入り、発電所から搬送された負傷者の手当てと線量評価、医大キャンパス内のダストモニタリングデータに基づく内部被ばく線量推定と小児に対する安定化ヨウ素剤投与の検討、患者対応シミュレーション、放射線健康リスク講演会などを行った。

16日の建物外バックグラウンドは、NaIシンチレーションサーベイで8.34  $\mu$ Sv, GMサーベイで5,500 cpm, 地表面の汚染は約20,000 cpm, 積雪面では約44,000 cpmに達していたが、そんな環境で2日も過ごせばもう驚かなくなった。雨と雪のおかげで頭髮も10,000 cpmを超え、19日に帰路東京のホテルでシャワーを浴びるまでそ

のままの状態であった。脱毛のしきい値に遠く及ばないことはわかっていたが、あまり気分のいいものではなかった。

18日からは快晴になった。青空と雪を戴いた山々が美しく、凜とした空気も澄んでいる。しかし、発電所から60 kmも離れた福島市の放射線環境は明らかに高く、なんでだろうね、と我々も首を捻っていたが、テレビにもネットにも、その意味を知らせるものはなかった。そのため、この日から公園やグラウンドで散歩やジョギングを楽しむ市民もおられたようである。私も、空いている時間に散歩をかねて環境試料のサンプリングに出かけた。違うのは、私はある程度の体内取込みは承知の上で、そしてその健康リスクが無視できる程度のものであることを理解した上での散歩だったが、多くの市民はそうではなかったということだ。

### 不安と諦め

我々を第1陣として、長崎大学からは福島医大に継続的に医療系スタッフが派遣されることになった。その流れで4月19日から2度目の福島入りとなった。この間、20 mSv/年を暫定的な上限値として計画的避難区域が設定され、さらに新学期に向けて学校の校庭における線量率の目安が発表された。

回復したばかりの新幹線で降り立った福島は、当初の混乱からは脱しているかのように見えた。食事でも普通通り摂れるし、ガソリンの供給も問題ない。風呂にも入ることができる。福島医大の緊急被ばく医療チームも、きわめて組織的に種々のシミュレーションをこなしていた。川俣から飯舘そして南相馬。国道6号線から東に入らない限りは、長閑な、おそらく事故前と何も変わらない風景が続く。しかし、人々には復興への力強い足取りよりも、むしろ不安と諦めが広がっているように感じた。

不安の原因の一つは、データの氾濫である。数多くのデータが公表されているが、データの解釈とそれに基づく判断が伴っていない。おまけに専門家の意見は、どうも一致していない。その上に、避難しろと言われるが、それもいつまでという保証はない。だから今のところは

諦めるしかない。福島医大の多くの先生とのディスカッション、そして医療救護班とともに赴いた南相馬の老婦人から得た印象に、これからどうすればよいのか、私は混乱した。

#### 御用学者へ

5月に入ると、マスコミを中心にホットスポットの存在が疑われるようになり、またモニタリングポストの高さが問題になりつつあった。いずれも7月末時点で特定避難勧奨地域やモニタリング高さ地表1mへの統一といった公式の対応がなされているのは、彼らの指摘もあながち間違っていないなかったということかもしれない。

ただマスコミが関係しなくはない風評被害が顕在化していたこともあり、長崎の国際ヒパクシャ医療協会主催の報道機関を対象にしたシンポジウムが東京で開催され、長崎大学の山下俊一教授と私が講演を行った。折しも20 mSv/年の是非を巡って論争が繰り広げられていた時期であり、それが原子力発電所の是非とある意味で意図的に結合し、大丈夫です＝原発推進派＝御用学者というドグマができあがっていた。

100 mGyを細胞や動物に照射して様々なエンドポイントにおける変化を調べている身としては、100 mGyに対しても応答し、対処しようとする生命の不思議に感心するばかりで、20 mSvであれ100 mSvであれ十分に対応範囲だろうという生物屋としての「見立て」がある。けれども、この見立てを科学的に証明するのは難しいので、100 mSv以下では発がんのリスクが増える証拠はありませんよ、という通り一遍の説明になる。

報道関係者以外の様々な聴衆の集まったこのシンポジウムはUstreamでネット配信され、動画投稿サイトのYouTubeにも登場し、コミュニケーションサービスのTwitterでも飛び回り、おかげで御用学者の仲間入りとなった。嫌な響きだが、いつもお世話になってきたある先生に、それは名誉なことではないですかと言っていたき、そのように思うことにした。

#### 内部被ばくをめぐる

長崎では、私の福島滞在中からすでにホールボディカウンタ(WBC)による体内放射能の測定を行っていた。被験者の多くは、3月11日の地震発生の時点で福島県内の浜通り南部のプラント等に出張中の長崎県内企業関係者で、帰着後の16日に測定した被験者から、早くもI-131のピークが検出されたとの報告を電話で受けた。その後、長崎大学病院の国際ヒパクシャ医療センターを診療窓口として、長崎県内の自治体や企業、そして長崎大学からの福島派遣者を中心に、特殊検査としてのWBC測定は継続的に行われ、7月中旬には測定者数は450名を超えた。

ごく初期のデータの間接状況について、広島と長崎で交互に毎年6月初頭に開催されている原子爆弾後障害医療研究会で発表したところ、発表前からその抄録集を入手した中国新聞に内容が掲載され、全国に波紋が広がった。実効線量は外部被ばくと内部被ばくの合算で求められ、放射性物質の一般環境への放出の生じた今回の事故では、初期の空間中に浮遊する放射性物質の吸入摂取(inhalation)、沈着した土壌等から再浮遊した放射性物質の吸入(resuspension)と飲食物を通じた経口摂取(ingestion)による内部被ばくは当然想定されるが、単なる想定と、実際に検出されたということの違いは一般市民にとって大きい。検出されても、その量を健康影響のモノサシに当てて判断すれば良いわけだが、内部被ばくの危険性を煽るかのような専門家のコメントが報道に多く取り上げられたこともあり、検出されること自体が許せないという風潮、そしてホールボディカウンタ至上主義が広がった。

放射線による不安を訴える人を受け入れ、体内放射能を測定して健康リスクを正しく評価すること自体は、国際ヒパクシャ医療センターにとって当然の役割である。したがって住民個人からの受診希望も可能な限り受け入れられている。放射性ヨウ素は検出されませんでしたよと伝えたとときの母親の表情に広がる安堵感は、何物にも代え難い。自分の子供の体のことですから、安心させてもらわなくても良いので隠さずに正しい値を教えてくださいという母親の真摯な眼差しには答えなければならない。

しかし、ごく数名の福島県民を選び長崎まで出向いて測定前後の被験者を密着取材し報道するようなドキュメンタリー、無断で撮影した測定室の写真の被験者自身によるブログ公開とtwitterなどへの広がり、被験者自身による報道機関への取材売込みなどが、果たして本当に社会的に意味のあることなのかは疑問である。その一方で、このように住民の持つ内部被ばくの不安に対して、当局はいささか楽観的に考えすぎているかという感もある。

エンドレス・サマー

私の実験ノートは3月11日を最後に白紙が続いている。今のような状況をまさか予想していたわけではないが、甲状腺由来の培養細胞に放射性ヨウ素を取り込ませて分子応答を探るテーマの基礎実験をしていた。3月11日以降、まるで長い夏休みに入ってしまったかのような感もある。

#### エンドレス・サマー

早く長い夏休みを終えて実験を再開したいが、これからは県民健康調査へのコミットメントと県内の学協会を介して福島への支援活動は続く。刻々と変化している状況に正しくアジャストした、息の長い支援を続けていきたい。

最後に、高線量被ばく者の大量発生という、当初最も恐れていた事態に繋がらなかったことに心から感謝し、そのようなクライシスと背中合わせの現場で復旧作業にあたっている関係者の尽力に敬意を表したい。

(2011年8月3日記)



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

## 原子力委が来年度予算で基本方針—事故復旧と安全対策が中心

原子力委員会は7月19日、2012年度の原子力関係経費の見積りに関する基本方針を決定した。福島第一原子力発電所の事故への対応が喫緊の課題となっていることを受けて、原子力関係経費に係る取組は、事故からの復旧および原子力発電の安全対策の強化に係るものを中心とするとした。

こうした基本認識に基づき、12年度の原子力関係経費の見積りに際して、関係府省が目指すべき重要な政策目標として、①原子力災害対策本部の定めたロードマップにおける中長期的課題への対応、②原子力安全確保対策の強化、③被ばくした人々の長期健康管理の取組、④国

際社会における責任ある行動の推進、⑤信頼回復への対応、⑥当面の課題克服と将来に向けた研究開発・人材の確保への対応——を挙げ、基本方針とした。

その他の核燃料サイクル、放射性廃棄物、放射線利用、人材育成、保障措置および国際への取組については、国益の損失を避けるために継続が必須の分野に限ることとした。

また、当該地震により被害を受けた原子力研究開発施設についても同様の考え方に則って復旧を進めるとしている。

## 保安院が「ストレステスト」の実施を指示

原子力安全・保安院は7月22日、福島第一原子力発電所事故を踏まえた他の発電所への安全性総合評価、いわゆるストレステストの実施を各事業者に対し指示した。定期検査中で起動準備の整った原子炉を対象とする1次評価と、全発電所を対象とする2次評価からなり、地震・津波、安全機能の喪失に対する安全裕度などを評価する。

保安院は原子力安全委員会に対し、7月15日と21日に、評価の手法・計画や評価対象とする安全上重要な機器、地震や津波に対する評価フローなどを説明した。地震については、安全委の耐震設計審査指針の基準を上回る地震動に対し、各建屋、系統、機器等の対象部位における評価値が許容値を超えることで、損傷、機能喪失するか否かを評価し、その限界となる値を求める。1次評価では、指針類や技術基準に規定された許容値との比較を行う。2次評価では、構造健全性、機能が失われる限界値を明らかにするなど、全体的な安全裕度を明らかにする。また、当初は、2次評価のみだった地震と津波との重畳、シビアアクシデント・マネジメントも、1次評

価にも盛り込まれた。また評価の進め方には、「自らの発電所の有する余裕や潜在的な脆弱性を把握し、安全を向上させるためのプロセスの一環」として、本取組の位置付けを明確化した。

さらに、建屋、機器等の評価結果を踏まえて、安全設計における安全裕度に関しては、地震、津波等により、どの範囲まで損傷・機能喪失すれば、燃料の重大な損傷に至るかを評価。安全上重要な機器等の一連の機能喪失が生じる「クリフエッジ」を特定し、潜在的な脆弱性を明らかにする。

保安院では事業者に対し、提出期日を特定してはない。定期検査で停止中、または稼働中で年内に検査終了予定の原子炉については、1次評価をまず行い、稼働中で年明け以降に定期検査実施予定の原子炉については、年内2次評価を先行実施した後、次回定期検査からの再起動段階で1次評価を実施する。1次、2次評価とも、保安院が事業者からの評価結果を確認した後、安全委員会に報告されることとなる。

## 食品安全委、生涯累積線量およそ100ミリ Sv まで

内閣府の食品安全委員会(小泉直子委員長)は7月26日、一般公衆の放射性物質の食品健康影響評価を取りまとめた。各核種について、経口摂取による個別の評価値を算出するには至らず、外部被ばくも合わせ、低線量放射線の健康への悪影響が見出されているのは、「生涯の累積線量として、おおよそ100ミリ Sv 以上」とする専門

家ワーキンググループによる結論を示すにとどまった。今後、パブリックコメントを踏まえ、厚生労働省に答申される運び。

食品安全委員会では、福島原子力災害発生に伴う環境中の放射能検出を受け、厚労省の要請により、食品健康影響評価の検討を行ってきた。諮問からまもなく示さ



れた緊急取りまとめを受け、厚労省は暫定規制値を定め、引き続き同委では専門家ワーキンググループを設置し、最終的な評価をまとめるべく、4月から計9回の会合を持ち、検討を進めてきた。評価に際しては核種として、暫定規制値が定められたヨウ素、セシウム、ウラン、プルトニウム、アメリカシウム、キュリウム、ストロンチウムについて、国際機関の公表資料、関連の文献の調査、有識者からのヒアリングなど、幅広く知見を収集し、検討。しかしながら経口摂取による健康影響に関するデータは乏しく、化学物質としての毒性が鋭敏なウランを除き、耐容1日摂取量の設定ができる動物実験成績や疫学

等の知見は得られなかった。

これらを踏まえ同グループでは、低線量放射線の影響に関する検討に着手し、入手した文献について、研究デザインや対象集団の妥当性、統計学的有意差の有無、推定ばく露量の適切性、交絡因子の影響などの観点から整理。悪影響が確認されるのは、生涯累積線量で約100ミリSv以上との判断に至った。また、小児に関しては、より影響を受けやすい可能性があるなどと言及した上、評価書では、食品からの放射性物質の検出状況、日本人の食品摂取の実態なども踏まえてリスク管理をすべきとしている。

## エネ研、原発再稼働なしの場合 GDP 5.6%減と予測

日本エネルギー経済研究所は7月28日、2011年度および2012年度の「短期エネルギー需給見通し」を発表した。原子力発電については、(1)定期点検などにより現在停止中の原子力発電所が2011年9月以降に順次再稼働する「9月再稼働ケース」、(2)定期点検などにより現在停止中の原子力発電所および今後定期点検入りする原子力発電所が再稼働しない「再稼働なしケース」——の2つのケースを想定している。

2011年度の1次エネルギー国内供給は震災や節電の影響を受けて、生産活動や経済が落ち込むことから、前年度比3.8%減と予測。2012年度には、震災からの復興により生産活動や経済の回復が見込まれるとし、同2.6%前後の伸びに回復すると見通している。

エネルギー起源のCO<sub>2</sub>排出量については、9月再稼働ケースの場合、2011年度は原子力発電の稼働率低下に伴

い火力発電の割合が高まるものの、エネルギー消費の減少に伴い前年度比1.2%減を見込んでおり、2012年度には再稼働による設備利用率の向上や新規プラントの運転開始を見込むものの、生産活動や経済の回復に伴うエネルギー消費量増加で同1.8%増となる。一方、再稼働なしケースでは、2011年度には原子力発電所が順次停止していくに伴う化石燃料消費量の増加で同3.2%増となり、2012年度には原子力発電所が全基停止するために発電用の化石燃料消費量が大幅に増加することから、同9.3%増を見込んでいる。

再稼働なしケースでは、2012年度夏期に既存の火力発電をフル稼働させても最大電力需要に対して7.8%の供給不足が生じる。このことにより、2012年度夏期の実質GDPへの影響は、供給不足がない場合に比べて5.6% (7.7兆円)の減少になるとしている。

## 政府・成長戦略会議、「減原発」国民的議論踏まえ結論を

政府・新成長戦略実現会議のエネルギー・環境会議(議長=玄葉光一郎・国家戦略担当相)は7月29日の会合で、「革新的エネルギー・環境戦略」策定に向けた中間的整理を行った。東日本大震災、福島原子力事故を踏まえ、エネルギー基本計画を白紙で見直す状況に立ち、省庁横断的に、目指すべきエネルギー・ベストミックス、エネルギーシステム、国民合意形成のあり方を議論してきたもの。玄葉大臣は同日の記者会見で、今回の中間整理に関し、「減原発」の方向性を打ち出したいとする一方、最終的な絵姿は、国民的議論を踏まえて結論を出すべきとの考えを述べた。

エネルギー・環境会議では、震災前に策定された「原子力発電への依存度を2030年には5割とする」としたエネルギー基本計画を白紙から見直す必要から、再生可能エネルギーなどのグリーン・イノベーション関連の戦略について、強化し、前倒すべく検討を進めた。また、こ

れまで前提としてきた原子力の安全性、大規模集中で地域独占を旨としてきた電力システムの有効性、発電単価等の徹底的検証を課題として指摘した。

中間的整理ではベストミックス、エネルギーシステム、国民合意形成の3つの理念ごとに計9原則を提示。原子力発電については、「原発への依存度低減のシナリオを描く」、「原子力政策の徹底的検証を行い、新たな姿を追求する」、「『反原発』と『原発推進』の二項対立を乗り越えた国民的議論を展開する」の原則のもと、安全性を高めて活用しながら、依存度を下げていくこととしている。同時に、再生可能エネルギーの比率を高め、省エネによる需要構造の抜本的改革、化石燃料のクリーン化・効率化を進めるなど、エネルギーフロンティアを開拓し、新たなベストミックス実現を目指す。

基本理念に則った戦略工程としては、①省エネルギー、②再生可能エネルギー、③資源・燃料、④原子力、

⑤電力システム、⑥エネルギー・環境産業——の6つの重要課題ごとに、それぞれ今後3年、20年、20～50年を目指した短期・中期・長期の考え方を明示した。原子力では「聖域なき検証・検討」、「原子力安全の徹底」、「原発への依存度低減に関する国民的議論を踏まえた対応」

をミッションとし、短期的には事故の徹底検証、既存炉の安全対策と定期検査後の対応、損害賠償制度の整備、廃炉プロセスの整備、原子力事業、安全行政・規制の徹底検証などを優先課題として掲げている。

## 政府が再生戦略を閣議決定、国民的議論呼びかけ

政府は8月5日、福島原子力発電所の事故の反省を踏まえた新成長戦略の見直し方針である「日本再生のための戦略に向けて」を閣議決定した。

同方針の「革新的エネルギー・環境戦略策定に向けた中間的な整理」で、戦略策定の3つの基本理念として、(1)「新たなベストミックス実現に向けた三原則」①原発への依存度低減のシナリオを描く、②エネルギーの不足や価格高騰等を回避するため、明確かつ戦略的な工程を策定する、③原子力政策に関する徹底検証を行い、新たな姿を追求する、(2)「新たなエネルギーシステム実現に向けた三原則」①分散型のエネルギーシステムの実現を目指す、②課題解決先進国としての国際的な貢献を目指

す、③分散型エネルギーシステム実現に向け複眼的アプローチで臨む、(3)「国民合意の形成に向けた三原則」①「反原発」と「原発推進」の二項対立を乗り越え国民的議論を展開、②客観的なデータの検証に基づき戦略を検討する、③国民各層との対話を続けながら革新的エネルギー・環境戦略を構築——を掲げている。

また「当面のエネルギー需給安定策—エネルギー構造改革の先行実施」の中で、6つの重要課題の一つである原子力については、①聖域なき検証・検討、②原子力安全の徹底、③原発への依存度の提言に関する国民的議論を踏まえた対応——をミッションとしている。

## 細野原発相が「原子力安全庁」設立で試案

細野豪志・原発担当大臣は8月5日、原子力安全・保安院の経済産業省からの分離を中心とする原子力安全規制に関する組織見直しについて、試案を発表した。試案は、各府省に分かれていた原子力安全規制関係の業務を「一元化」し、新組織を内閣府または環境省の外局とする2案となっている。12年度からの施行開始を目指し、今後、関連法案の国会提出に向け準備を急ぐ考え。

細野大臣は、今回試案の中で、(1)当面、保安院の経産省からの分離などを中心に進める、(2)今後の原子力・エネルギー政策の見直しや事故の検証を踏まえた安全規制組織のあり方について広範な検討を進める——の2段階で見直しを行い、12年度末を目途に成案を得ることとした。

試案では、保安院の原子力発電や核燃料サイクルに関する規制部門を経産省から分離、原子力安全委員会とも統合。文科省の試験研究炉の規制、環境モニタリング、核セキュリティなども合わせ、「原子力安全庁(仮称)」を

発足させる。現在の原子力安全基盤機構(JNES)も所管する。

原子力安全委員会については、規制と利用の分離により、中核機能であるダブルチェック機能の意義が薄れることから、位置付け・役割の見直しを行い、新組織のもと、原子力安全審議会(仮称)を設置し、専門的立場から、助言・意見を受ける機能を持たせる。

また新組織には、平時から事故発生を想定した指揮命令系統の明確化や訓練を実施する体制を整備すべく「緊急事態専門官」の新設や、事故発生時の緊密な連携のため地方組織の充実も図る。

第2段階では、より実効的で強力な安全規制組織を目指し、事故の収束への中長期的取組と安全確保、安全規制に係る人材確保・養成を始めとする重要課題について、12年度末までに成案を得よう広範に検討を進めていく。

## 原子力損害賠償で中間指針、風評被害の範囲を整理

福島原子力事故に係る文部科学省の原子力損害賠償紛争審査会(会長＝能見善久・学習院大学法務研究科教授)は8月5日、中間指針を取りまとめた。審査会が既に公表した第1、2次指針を踏まえ、事故が未だ収束せぬ状況下、賠償すべき損害として、一定の類型化が可能な損

害項目・範囲を示したもの。産業界における風評被害についても、賠償範囲となる産品、産地などが整理された。

住民の避難等に係る賠償については、政府指示による避難区域、屋内退避区域、計画的避難区域のほか、局所的に年間積算線量が高く推定されるとして新たに設定し

た特定避難勧奨地点や、自治体による一時避難要請区域（南相馬市）も対象区域となったが、自主避難に関しては、今後の検討事項となった。

風評被害の範囲に関しては、食用の農林水産物（畜産物を除く）では、福島、茨城、栃木、群馬、千葉、埼玉の各県産のもの、水産物では、福島、茨城、栃木、群馬、千葉の各県産などとなっており、事故発生以降、実際に生じた消費者の買い控えや価格低下による営業損害、検

査費用等が賠償対象となる。牛肉では、7月8日以降に生じた被害について、東北・関東中心に全17道県で産出されたものが対象となった。また、福島県内に主な事業所のある食品産業でも、事故発生以降の製品買い控えなどが対象となっている。

観光業の風評被害では、放射能汚染に対する消費者の心理を踏まえ、福島のほか、茨城、栃木、群馬の各県に営業拠点を置く企業も含まれることとなった。

## 政府、「ステップ1」終了で緊急時避難準備区域解除へ

政府・原子力災害対策本部は8月9日、福島第一原子力発電所事故収束の道筋「ステップ1」終了を受け、緊急時避難準備区域の一括解除を含む今後の避難区域見直しの考え方をまとめた。

緊急時避難準備区域の解除に向けては、①水素爆発の発生可能性、②原子炉の冷却失敗の可能性および万一の場合の影響、③使用済み燃料プールの冷却失敗の発生可能性、④地震・津波による使用済み燃料プールの損壊などの発生可能性、⑤原子炉から放出が続いている放射性物質による影響——について、評価を行った結果、妥当性が確認できたとしている。緊急時避難準備区域の設定は、広野町、楡葉町、川内村、田村市、南相馬市の5市町村にわたっており、政府は今後、1か月を目処に各市

町村より復旧計画提出を受け、地域の実情を踏まえ、一括解除とする考え。また、放射線被害に対する住民不安に応えるべく、8月中を目処に除染に関する基本方針を取りまとめることとしている。

警戒区域の縮小および計画的避難区域の見直しに関しては、事故収束工程の「ステップ2」完了後、原子炉の冷温状態確保などにより、放射性物質の放出が厳格に管理された時点で、検討を行う。

また、対策本部は、避難区域の見直しと合わせ、発電所から20km圏内の警戒区域で、これまで対象外としていた3km圏内についても、一時立入りを8月中にも開始することを決定した。

## 日弁連が意見書、原子力発電とサイクル撤退を

日本弁護士連合会は7月15日、「原子力発電と核燃料サイクルからの撤退を求める意見書」を取りまとめ、関係大臣、原子力安全委員会、電力会社などに提出した。

それによると、「原子力政策を抜本的に見直し、原子力発電と核燃料サイクル政策から撤退すること」を要求。具体的には(1)計画中・建設中を含む原子力発電所の新増設を止め、再処理工場、高速増殖炉などの核燃料サイクル施設は直ちに廃止、(2)福島第一および第二原子力発電所、敷地付近で大地震が発生することが予見されるもの、運転開始後30年を経過したものは、直ちに廃止す

る、(3)上記以外は、10年以内のできるだけ早い時期にすべて廃止する。廃止までに、安全基準について国民的議論を尽くし、安全基準に適合しない限り運転(停止中の原子力発電所の再起動を含む)は認められない——と主張している。

今後のエネルギー政策については、再生可能エネルギーの推進、省エネルギーおよびエネルギー利用の効率化を政策の中核とするべきと強調している。

(以上の資料提供は日本原子力産業協会)

## 原子力学会の田中会長、新規規制機関の独立性確保を指摘

日本原子力学会の田中知会長は8月15日、日本記者クラブで会見し、新しい規制機関には許認可権と人事権、予算権を与えると同時に、政治から独立した立場であることが必要だと述べた。これに対し記者からは政治からの独立について、細野大臣発言の「政治家のガバナンスが必要」というのと反対になるのではないかと質問があり、田中会長は「災害対策本部長は政治家でよいが、規制庁は政治家のコントロール下にあるのではなく、独立し

た機関がよい。原子力の利用については原子力基本法で、平和目的に限定されているので、政府が特別な意図をもって、コントロールすることのないようにという意味だ」と回答した。さらに「新しい規制庁はこれまでより、はるかに専門性を高めるとともに、緊急時には機動的に実践的に働かなければいけない。職員が2、3年で入れ替わる組織では専門性は高まらない。米国NRCのシステムのように、ノーリターンや資格制度などとりい

れる必要がある」と述べた。

また今後の原子力政策の行方については、「原子力学会は、原子力平和利用技術の推進・発展に貢献するという理念を前提にしている。その上で、学会では原子力のメリット・デメリットを提示し、今後については国民の

皆さんに判断していただくことになると思う」と述べた。

\*詳細は [http://www.aesj.or.jp/information/fnpp201103/com\\_jnpcinterview20110901.pdf](http://www.aesj.or.jp/information/fnpp201103/com_jnpcinterview20110901.pdf)

## 原子力学会、福島県内の6市町に放射線検出器贈る

日本原子力学会は8月17日、福島県内の6市町に放射線検出器を贈った。学会が会員の義捐金で購入したもの

で、福島、郡山、伊達、相馬、南相馬、川俣の6市町に、計35台が贈られた。

### 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

#### [英国]

## セラフィールド MOX 加工工場が閉鎖へ、福島事故が影響

英国・原子力デコミッション機構(NDA)は8月3日、稼働率が低迷していたセラフィールド MOX 燃料加工工場(SMP)を閉鎖するとの方針を発表した。

福島原発事故の影響により、日本の10電力会社所有のプルトニウムを MOX 燃料に製造し、プルサーマル計画に使用する見通しが不透明になったことから、NDA では SMP の今後について再検討。燃料製造契約への影響や変化した商業リスクを分析した結果、SMP 維持のために英国国民にさらなる財政負担を強いるよりは、実質的に最も早い時期に閉鎖するのが唯一合理的な行動と判断したと説明している。

NDA は今後も、日本のプルトニウムを国際的な安全基準に則って安全に保管するとともに、その再利用に関する日本の電力会社の方針を責任を持って支援していくため、さらなる協議を行う方針。

2002年に操業を開始した SMP は、エンジニアリングおよび技術上の問題等により、設計上の生産能力である年間120トン(重金属換算)よりはるかに少なく、9年間の稼働期間に生産した MOX 燃料は15トン程度といわれている。

08年には顧客からの MOX 製造注文を仏アレバ社に下請けに出さざるを得なくなるという状況に陥ったが、NDA は09年10月、操業実績の向上を図りつつ、既存の製造契約を遂行する方針を公表。NDA の商業輸送部門である国際原子力サービス(INS)が、SMP の操業継続を保障するために新たな契約の確保を命じられた。また昨年5月には、日本原子力発電を含む日本の電力10社の英国でのプルトニウム全量を SMP で MOX 燃料に加工し、日本に輸送することで全体的な枠組み合意に達していた。

なお、今回の決定は SMP のみに係わる商業的な問題によるもの。英国には現在、原子力の民生利用で抽出したプルトニウムが120トン存在し、このうち28トンが海外顧客の所有である。これらの長期的な管理方法を探るため、政府は今年2月から5月まで①長期貯蔵の継続、②固化後に地層処分、③MOX 燃料に加工し、新規および既存の炉で再利用——などの選択肢を公開協議に付した。

これらのうち、英国政府は③案を「最も有望と思われる予備的な政策見解」として提案。難点として、SMP の稼働率が低く、多額の経費を投じて新たな加工工場を建設する必要がある点を指摘していた。核拡散の不安が少なくなど同案の有用性や合理性が、安全面や金銭的な価値といった要求事項に見合っていると検証されれば、実行に移される可能性も少なからずあると見られている。

## 2度目の日本への固化体返還を開始

英国の国際原子力サービス(INS)社は8月2日、日本の使用済み燃料再処理から出た高レベル廃棄物ガラス固化体の2度目の返還を開始した。

INS は廃棄物の入ったキャニスタ76本をセラフィールド・サイトで3基の輸送容器に封入し、まず鉄道で近隣の港湾に輸送。そこから INS および日本の電力会社らが出資するパシフィック・ニュークリア・トランスポート社(PNTL)の専用輸送船パシフィック・グレーベ号に積み替え、日本に向けて出港した。パナマ運河経由で9月前半に日本に到着する予定だ。

再処理後の残渣をガラス固化して発生国に返還するのは再処理委託契約に伴う義務事項で、英国政府の政策に則ったもの。INS によると、輸送容器は国際原子力機関の厳しい輸送基準に従い極めて堅固に製造されており、約130トンの重量がある。

日本への返還は昨年1月から3月にかけて、初回分と

して東京電力を始めとする電力4社分の固化体28本が、輸送容器1基に詰められて青森県むつ小川原港まで運ばれた。今後約10年かけて、合計920本の固化体が英国から輸送される。

なお、フランスからのガラス固化体1,310本は、2007年までにすべて日本に返還済みである。

### [フランス]

## EPR 建設計画、営業運転を2年先送り

フランス電力(EDF)は7月20日、フランス北西部ノルマンディ地方で建設中のフラマンビル3号機(FL3)の営業運転開始年月について、昨年7月に公表した予定から2年繰り延べた2016年になると発表した。

FL3は過去15年間に同国で初めて建設される原子炉というだけでなく、同国初の欧州加圧水型炉(EPR)となる予定だが、世界初のEPRとしてフィンランドで建設中のオルキルオト3号機と同様、建設スケジュールは遅れ気味。これに伴い、建設費も当初予定の33億ユーロから60億ユーロに倍増するとしており、今後、英国などで建設されるEPR計画にも少なからず影響を及ぼすと見られている。

遅延の原因についてEDFでは「構造的および経済的な理由による」と説明。工業管理の観点から実施すべき作業の範囲——特に鉄筋やアンカープレート使用量の当初見積りが甘かったことも含め、土木エンジニアリング作業の評価を見直さねばならないと釈明した。また、今年初頭に建設現場で2件の死亡事故が発生し、うち1件の影響により同作業が数週間にわたって停止。今年前半の作業を実質的に遅らせる要因になったとしている。

それでも福島事故発生前、今年2月の決算報告時には、EDFは「2014年に運開」との見通しを堅持していた。しかし、事故後にEU域内すべての原子力発電所で課されることになった包括的な安全評価審査が計画の遅延に拍車をかけた。EDFは指摘。審査結果は今年9月にも仏原子力安全規制当局に提出する予定だとしている。

EDFではこうした課題を解決するため、今後は次のような新しい手法を作業パートナー達との連携手法に取り入れると決定した。すなわち、(1)すべての課題を盛り込んだ信頼性の高いスケジュールを新たに策定する、(2)2012年に予定されている丸天井の設置など、大きな節目の時期に合わせてプロジェクトの進捗状況を評価する公開協議を定期的に建設サイトで開催する、(3)作業の管理と監督で新たな慣行を構築する、(4)サイトで作業する90企業を交えた委員会を創設するなど、作業パートナーやチーム間の調整を取る、(5)安全性等に関する要件を整理統合する——などである。

### [米国]

## ブルーリボン委が使用済み燃料で報告、中間貯蔵施設の建設勧告

米国でユッカマウンテン計画に替わる使用済み燃料および高レベル放射性廃棄物(HLW)の管理処分対策を昨年3月から検討している政府の有識者特別(ブルーリボン)委員会は7月29日、中間報告書を米エネルギー省(DOE)に提出した。一つかそれ以上の集中中間貯蔵施設の建設を促すなど、5月に輸送・貯蔵小委員会が提示した勧告案を土台とする内容で、最長100年の中間貯蔵期間中に、最低1か所の最終地層処分場建設サイトを一から選定し直す方針。一方、技術審査が中止されているユッカマウンテンの適性については「審議を求められていない」として見解を示さなかったほか、処分場建設候補サイトについても具体的な提案をしていない。

同報告書を受理したDOEは声明文の中で、米国が将来のクリーン・エネルギー社会へ向かう上で、原子力の果たす重要な役割を引き続き確信していると明言。国内原子力産業の再生とそれに伴い創出される新たな雇用と輸出の機会を約束するとともに、使用済み燃料の安全で確実、かつ長期的な処分を保証する持続的な方策の発見に全力を尽くすと断言した。

同報告書が勧告している戦略における主要な7項目は以下の通り。

(1)科学的根拠や地元の同意の下、段階的で透明性のあるアプローチで廃棄物管理処分施設の建設サイトを新たに選定する、(2)廃棄物を輸送・貯蔵、処分するための統合プログラムの策定と実施で専任機関を新たに創設する、(3)放射性廃棄物基金の残金および廃棄物料の年間支払いによる収入を同プログラムで利用する権利を保証する、(4)使用済み燃料と高レベル廃棄物の安全な処分のため、可能な限り迅速に一つかそれ以上の最終地層処分場建設を急ぐ、(5)バックエンドの包括的・統合管理計画の一部として、可能な限り迅速に一つかそれ以上の集中中間貯蔵施設の建設を急ぐ、(6)新型炉および燃料サイクル技術の研究開発と実証を安定的かつ長期的に支援する、(7)世界レベルの核不拡散問題および原子力施設と放射性物質の安全保障取組みで国際的なリーダーシップを取る。

これらの勧告を実行に移すには、放射性廃棄物政策法(NWPA)を始めとする関連法規の改正が必要だと同委は指摘。ただし、迅速なアクションを取る必要性に鑑み、これらの法整備を待たず複数の分野で廃棄物管理プログラムを軌道修正すべきだとしている。

同報告書によると、原子力産業の黎明期には使用済み燃料の冷却期間は数年から数十年と考えられてきたが、現実問題として米国の使用済み燃料の大多数はそれより

も長い期間、発電所敷地内で貯蔵されている。しかし、これらは一般的に最低5年ほどでキャスクに封入、乾式貯蔵するのが最も安全な方法であり、100年間あるいはそれ以上の中間貯蔵に適したオプションだとしている。

同報告書は今後、10月末まで公開諮問に付される予定。最終報告書の提出は来年1月末になる見込みだ。

### [トルコ]

## シノップ建設計画、「日本との交渉、7月末メド」

2019年までに黒海沿岸シノップに140万kW級原子炉を4基程度建設するという計画について、トルコ政府の日本に対する忍耐もついに限界に近づいたようだ。

昨年12月に優先権を与えた日本政府および東芝との交渉は、今年3月の福島事故により中断。エネルギー・天然資源省のT・ユルドゥズ大臣は「日本側が(当初期限の3月末以降も)交渉期限の延長を望むのなら協力する用意がある」として、震災後も日本とその技術に対する信頼が揺らいでいないことを強調していた。

しかし同大臣は7月14日、建設計画について7月末までに日本から明確なロードマップを盛り込んだ提案が示されるとの見通しを表明。未確認情報では、この期限までに交渉継続の意思を示さない限り日本との交渉は棚上げし、他国との交渉を開始するとの同省高官の弁が伝えられている。

日本では菅首相が7月13日に長期的な脱原発政策への転換を個人的意見として表明。海外輸出についても改めて議論が必要としていることから、トルコとの交渉が白紙に戻る可能性も高くなった。

一方、枝野幸男官房長官は7月26日の記者会見で、トルコ政府が日本の優先交渉権を7月末にも打ち切るとの報道に関し、「事故の教訓を活かし、高い水準の原子力が実現するよう国際貢献を進めていく」とのわが国の立場を明示。トルコとの交渉の状況については、「具体的なことは話せない」とした上で、経済産業省からトルコへ職員を派遣していることを明らかにした。

### [インド]

## 韓国と原子力協力協定を締結

インド政府は7月25日、韓国との原子力平和利用に関する二国間協力協定に調印した。原子力発電所の機器・設備を商業取引する枠組となるもので、2030年までに80基の原子炉輸出を戦略目標とする韓国が、2032年まで

に、6,300万kWの民生用原子炉建設計画を掲げるインドの原子力市場に参入することが可能になった。

2008年に原子力供給国グループがインドへの原子力資機材禁輸を解除して以来、インドはすでに、米国、カザフスタン、モンゴル、ナミビア、アルゼンチン、ロシア、フランス、英国、カナダと同様の原子力協力協定を締結済み。一方、日本との協定は、インドが核不拡散条約に加盟していない点などがネックとなって交渉が進展していない。

今回の原子力協定締結はインドのP・パティル大統領が韓国の李明博大統領を訪問し、両国が包括的な経済・戦略パートナーとして社会保障と情報・通信の分野で協力合意したのに併せたもの。両国首脳は昨年1月、同協定の締結に向けた協議の開始で合意していた。実際の調印はインド原子力省のS・パネルジー長官と韓国外交通商部の金星煥長官が行っている。

### [中国]

## 嶺澳Ⅱ-2が営業運転開始

中国広東核電集团有限公司(CGNPC)は8月8日、同国で14基目の原子炉となる嶺澳原子力発電所二期工事2号機(PWR, 108万kW)が営業運転を開始したと発表した。

同炉は今年5月3日に国内送電網に接続され、7月23日に定格出力に到達。初併入時には6月15日の営業運転開始を予定していたが、福島事故の影響等により延期されたと見られている。日中科学技術交流協会によると、中国では同事故後、運転中の14基で安全点検を実施し、すでに作業を完了。7月からは建設中の原子力プロジェクトについても実施しており、今月末に結論を出す予定である。また、認可申請中のプロジェクトは承認審査が中断されている。

嶺澳Ⅱ-2号機はフランスの原子炉設計をベースに中国が改良したCPR1000で、同設計の初号機となった同1号機と同じく、中広核工程設計有限公司や中国核工業第二研究設計院、中国核動力研究設計院(NPIC)の共同設計。建設工事は核工業華興公司や核工業23公司、中建二局などが担当したほか、東方電気や上海電気、中国一重、中国二重といった国内企業約200社が機器を製造するなど、国産化率は64%に達している。

同炉の運開により、広東大亜湾および嶺澳原子力発電所の合計出力は6基610.8万kWとなり、年間の総発電電力量は450億kWhに達するとCGNPCでは予想している。

## 連載 東日本の巨大地震に学ぶ(1)

## プレート収束域にできた日本列島

(財)国際高等研究所所長  
尾池 和夫(おいけ・かずお)

専攻は地震学。1963年京都大学理学部卒、71年理学博士。88年京都大学理学部教授。副学長、京都大学総長を経て、2009年より現職。「新版 活動期に入った地震列島」(岩波科学ライブラリー)、「日本のジオパーク」(ナカニシヤ出版)など著書多数。

福島第一原子力発電所1号機の設置許可が出て、海拔35mの断崖が10mまで削られ、GEに引き渡されて発電所の建設工事が開始された1967年の頃、地球科学では、プレートテクトニクスの仮説が登場して発展し始めた時であった。

今、仮説ではなく、実測しながら見ているプレート運動のことを、できるだけ普通の言葉で解説したい。固体地球の運動の中で、2011年東北地方太平洋沖地震の発生を位置づけ、この巨大地震の発生の仕組みと、日本列島の今後の地震活動を、5回の連載で解説したい。

## I. プレートの運動

固体地球の表層は、構成している物質という視点で見ると、地殻と呼ばれる岩盤で覆われている。地殻は花崗岩などの酸性岩、安山岩などの中性岩、玄武岩などの塩基性岩から成っていて、厚さが10kmから50kmくらいである。その下にマントルという固体地球で最大の体積を占める部分があり、そのさらに内部に中心核がある。マントルは橄欖(かんらん)岩などの超塩基性岩から成っていて、地殻との間の物質境界が明瞭である。

一方、固体地球の表層は常に動いており、運動という視点で見ると、表層はリソスフェアと呼ばれる板状の岩盤に覆われている。リソスフェアは、地殻とマントルの上部を含んでいて、プレートと呼ばれる多くの板に分かれていて、それらは相対的に移動している。したがって、プレートとプレートの境界では、お互いにすれ違っていたり、押し合っていたり、離れていたりにしている。

プレートは50kmから100km程度の厚さを持つ岩盤で、その下にあるアセノスフェアの動きに乗って、それぞれ固有の方向に移動している。アセノスフェアを含むマントルは、常に対流を起こしている、ある場所では上昇し、また別の場所では水平に移動し、あるいは沈降している。

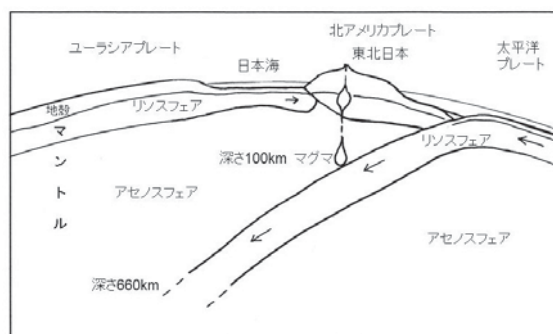
プレートの境界では造山運動があり、火山噴火、地震などの変動を起こす。また、地震や海底の噴火などで津波が起こる。そのようなプレートの境界近くを変動帯と呼ぶ。

プレートは、球面上を幾何学の法則に則って運動して

いる。離れていく境界ではマントルの物質を引き出して、新しくプレートが生まれる。出会う境界では衝突し、隆起して山脈を作り、重いプレートが軽いプレートの下に潜り込んで行くという相対運動を起こす。

私たちが住んでいるのは、ほとんどの場合、固体地球の表面の陸地で、足下の大地が、ほとんどの地域では陸のプレートの上面である。プレートはゆっくりと移動している。移動する速さは、速くても1年に5cmから10cmくらいの速さで、爪が伸びる速さや髪の毛が伸びる速さに例えることができる。しかし、1年に10cmであっても、それが1000万年続けば、1000kmも移動することになる。

日本列島の周囲には、太平洋プレート、フィリピン海プレート、北アメリカプレート、ユーラシアプレートの4枚のプレートが集まって来て押し合いをしている。そのうちの2枚の海のプレートが重いプレートで、陸のプレートの下に潜り込みながら陸側を押し。



第1図 東北日本の断面図

リソスフェアは多くのプレートに別れて相対運動をしている。プレートは地殻とマントルの上部で構成されている。

海のプレートが陸のプレートに潜り込む境界で巨大地震が起こる。日本列島の周りがあるプレート境界を概観すると、太平洋プレートが北アメリカプレートの下に、ほぼ西の方向へ潜り込むところに日本海溝があり、フィリピン海プレートが西日本の下に、北西方向へ潜り込む境界に、南海トラフと呼ばれる比較的浅い海溝があり、その続きが南西諸島に沿ってある琉球海溝である。

また東北日本の西側には、日本海が沈み込みを始めようとしている境界があり、日本海東縁プレート境界と呼ばれている。

太平洋プレートが潜り込む日本海溝に沿って、2011年東北地方太平洋沖地震が起こった。フィリピン海プレートが潜り込む南海トラフでは、2040年頃に次の巨大地震が起こると考えられている。

2011年東北地方太平洋沖地震が起こる少し前、2011年1月17日、神戸市で、「地震活動期に入った日本列島」と題して、私は全国から集まった多くの方々に講演した。そのときのレジメに次のように書いた。実際に日本列島に巨大地震が起こる前に書いたものであり、この方が私の思いがよく伝わると思う。

「2004年、インド洋に大津波を起こした地震はスマトラ沖地震と呼ばれているが、震源の点、つまり破壊の始まりの点はスマトラ島沖であっても、地震断層面の破壊は、その震源から北へアンダマン諸島に沿って、はるか1000キロ以上走った。海洋プレートが陸のプレートに出会って沈み込むと、ちょうどピンポン玉を指先でへこませたときのように、円弧状の沈み込み境界ができる。その陸側には島が隆起して弧状に並ぶ。日本列島は『花綵(はなづな)列島』と呼ばれる。インドネシアは『エメラルドの首飾り』と呼ばれ、日本と同じように美しい自然を持っている。両方とも同じ仕組みでできた列島であり、同じような地震や噴火の現象が起こる列島である。

アンダマン諸島の巨大地震で起こった直接的な災害は、1つは大津波による被害、2つ目は強震動による破壊、3つ目は地殻変動による沈降で起こる長期の浸水である。インドネシアと同じ変動帯に住む日本の人々にも、巨大地震の仕組みをよく学習し、一方で住んでいる地元で起こる地震の仕組みを知って、それをもとに震災へ備える心構えを持っていただければと願っている。」

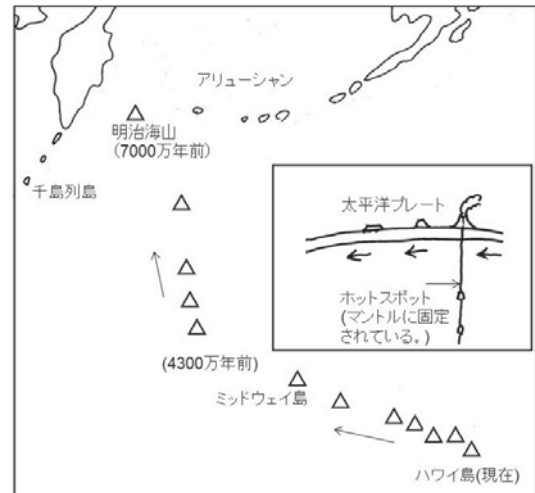
## Ⅱ. 太平洋プレートの歴史

太平洋プレートは、チリ沖のイースター島から北アメリカへ続いている東太平洋中央海嶺で、中生代ジュラ紀に誕生して、今でも拡大を続けているプレートである。

太平洋プレートの移動する範囲で、ハワイ諸島の位置にホットスポットがある。そこでは、マンツルの深部から常にマグマが上昇して、プレートを突き破るように噴火する。その跡が、太古からの海底火山の列となって、ハワイ諸島から並んでいる。その並びは、くの字に折れ

曲がってカムチャツカ半島に向かう。ハワイに近い西北西への海山の並びをハワイ海嶺と呼び、折れ曲がって北北西へ向かう海山列を天皇海山列と呼んでいる。

この並びで太平洋プレートの移動の歴史がわかる。プレートが北に向かって移動していたのが、4000万年前くらいのときに西北西に移動の向きが変わった。その時期は、インド・オーストラリアプレートが、ユーラシアプレートに衝突した時期であると考えられる。この向きの変化が日本列島の成因に深く関連している。



第2図 ホットスポットの上を移動する太平洋プレートの運動の軌跡とその仕組み  
4000万年前頃に今の方向に向きが変わった。

## Ⅲ. 日本海の拡大と日本列島の形成

地球が生まれたのは、今から46億年前であるが、その100分の1くらいの時間、地球の最近の歴史4600万年の中で、日本列島の歴史を位置づけることができる。つまり、日本列島はたいへん若い列島だと言えるのである。

太平洋プレートの移動してくる途中にあるハワイの位置から続くホットスポットの跡の軌跡から、前章で述べたように、ほぼ7000万年前には、太平洋プレートがほぼ北へ動いていたのが、今から4000万年前頃に西北西方向に移動の向きを変えた。向きを変える前には、太平洋プレートが南方から島々を運んできては、大陸の端に付けて大陸を成長させていた。

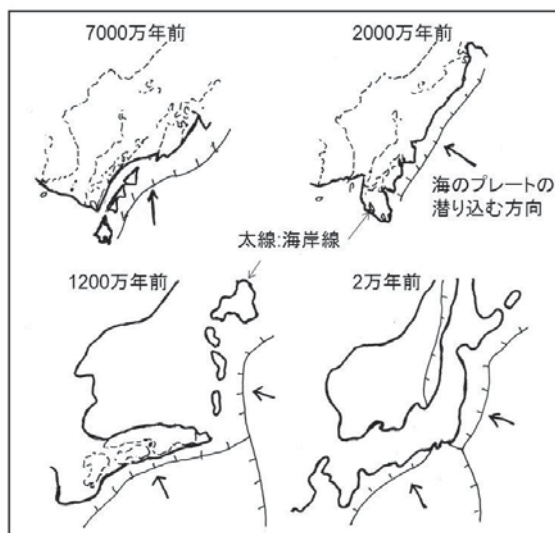
大陸の端から太平洋プレートがユーラシアプレートの下に潜り込み始め、その結果、マンツルから上昇する大規模な運動が起こって、大陸の端が開き始めた。今から1600万年前頃から、ユーラシア大陸の端の割れ目が拡がって大きな湖ができ、やがて外海とつながって日本海が生まれた。

こうして大陸から離れてできた島が本州である。東北日本は一度海に沈んだが、やがて東北日本と西南日本が押し合いを始め、その境界が隆起した。その地域がフォッサマグナと呼ばれる中部山岳地帯の一部となった。フォッサマグナとは、幅を持った地域の呼び名であり、



西の境界が糸魚川—静岡構造線で、東北日本と西南日本の境界となっているが、東の境界はあまり明瞭には見えていない。

日本列島の岩盤には、古くから大陸の端にあった部分もあるが、主には付加体と呼ばれる海洋で堆積した地質でできている。海洋プレートが、海底に堆積した珊瑚や放散虫などの遺骸からなる岩石を載せて運んで来て、海溝から潜り込むときに、相手側の陸の先端がブルドーザーのように作用して、堆積物を剥ぎ取りながら大陸の端に付加し、珊瑚の遺骸は石灰岩の地層となり、放散虫の遺骸はチャートの地層となった。これは断続的に今でも続いており、本州は日本海から遠いほど新しい岩盤でできているという構造になった。



第3図 日本海拡大と日本列島の形成

- 7000万年前：大陸の端に付加体ができた。
- 2000万年前：海のプレートの潜り込む方向が変わった。
- 1200万年前：日本海ができて東北日本は沈降した。
- 2万年前：氷期で日本列島は大陸と陸続きになった。

一般論として繰り返すが、大陸のプレートは古いプレートで、ずっと地球の表層を構成している。一方、海洋プレートはマントルからの物質で、海嶺で生まれ、冷却しながら海嶺から離れて移動して海溝から潜り込む。

移動する海底で、プレートの上にさまざまな岩石が堆積する。海嶺の近くでは、熱水鉱床ができる。長い時間移動する間に放散虫の死骸を含む珪酸塩質のチャートができる。生物の遺骸で石灰岩が堆積する。海溝に近づくと陸から来た土砂が堆積する。海溝から潜り込むときに、それらが剥ぎ取られて付加体となる。

大洋を横断した海洋プレートが海溝で潜り込むまで、長い時間をかけて移動して、海溝近くまで来たプレートの上には分厚い堆積物が積もっている。堆積物はプランクトンの遺骸や宇宙から飛んで来た塵が主であるが、例えば100年で1mm程度の速さで堆積するとしても、2億年たてば、それだけでも2000mの厚さになる。

この堆積岩は、低温と高圧の変成岩となり、日本列島に広く分布する三波川変成帯のように、広域変成帯を形成した。日本列島では現在では南海トラフで付加体が形成されている。付加体の形成は一般的ではなく、東北日本では付加体を形成せずにプレートが潜り込んでいる。

海洋プレートは潜り込んで、温度が摂氏1000度くらいになると、海洋プレートから水が絞り出されて、マントルの融点を下げ、マグマが発生する。マグマは密度が周囲の岩石より小さいのでマントルの隙間を通過して上昇し、さらに地殻の中の古い付加体を溶かしながら上昇してマグマ溜まりとなる。その上に火山列ができる。その並びの海溝側の端が火山フロントと呼ばれる。

マグマは噴火する火山になることもあり、噴火しないまま花崗岩の岩体を広く形成することもある。西南日本の広い範囲に分布する中生代の花崗岩が、後者の代表的な例である。

このような変遷を経て、日本列島が今の弧状列島の形となった後に地球は氷河時代を迎えて氷期と間氷期を繰り返すようになり、海水準が低下したときには、大陸と陸続きになった。最新氷期には、水に覆われた大陸から象が暖かい本州に渡ってきた。この時期のことを最終氷期と呼ぶ人が多いが、地球は次の氷期に向かっているので、最新氷期と呼ぶ方がいい。

日本列島の骨組みができるとき、フィリピン海プレートが北へ移動するようになり、伊豆小笠原弧がこのプレートに乗って北上して本州に衝突した。南で生まれた丹沢地塊が本州に近づき、800万年から600万年前頃、丹沢と本州との間にフィリピン海プレートが潜り込む境界ができて、そこに堆積した地層と丹沢が本州に付加された。

伊豆半島の北部では、70万年前から火山活動がはじまり、箱根火山が激しく活動し、水蒸気爆発があって芦ノ湖が生まれ、10万年前から富士山が活動し、関東ローム層ができた。2万年前頃の最新の氷期には、海面は今より130mほど低い位置にあって広く陸化した。1万年前からは温暖化して、6000年前の縄文時代前期で最も暖かい時期になり、海面は今よりも2mから3mほど高い位置にあった。

日本列島は、こうしてできた本州に、千島、北海道、伊豆小笠原、四国、九州、琉球などが加わって構成されている。日本列島は、世界でも珍しい若い大地で構成されている。本州弧の西には世界で一番若い海があり、東には世界で一番古い海があるという構造ができた。

激しい隆起運動が豊かな栄養を海に供給する。日本の人びとは、プレートが4枚も集まってくる変動帯にあり、地震や噴火や津波とともに活動しているこの列島のことを知って、起伏に富んだ景観、四季折々の変化と世界一の海洋生物多様性という豊かな自然の恩恵を受けながら、災害から身を守る暮らしの知恵を身につけていることが重要である。 (2011年7月15日 記)

# 福島原発事故と放射線健康リスク

福島県立医科大学, 山下 俊一  
長崎大学大学院

## はじめに

平成23年3月11日に起きた、未曾有の東日本大震災の惨禍により被災された方々に心より哀悼の辞を述べさせて頂きたい。大地震、大津波に襲われた東京電力福島第一ならびに第二原発は、その後、全電源の喪失に伴う封じ込めの失敗と、一方では危機脱出による安定化成功という、異なる2つの運命をたどっている。事故の詳細と対応の適切さなどについては、今後の検証を待たなければならないものの、本稿では、放射線の健康影響についての正しい理解を、『健康リスク』という視点から考える。事故後5ヶ月経った福島第一原発ではいまだその収束が見えないが、放射能環境汚染の地で、現場に立脚していかん健康管理を固めるかを紹介する。重要な点は、広島・長崎の原爆被災後の長期健康影響調査の一度の被ばくの結果が、世界の放射線防護の基準となり、国連科学委員会(UNSCEAR)や国際放射線防護委員会(ICRP)の科学的事実と政策決定の根拠となっていることである。またチェルノブイリ原発事故の教訓は、外部被ばくのみならず、内部被ばく、さらに慢性微量放射線被ばくの健康影響についても多くの示唆を与えている。福島の現状から健康影響の課題を探り、広範囲な放射能環境汚染と情報氾濫の中で、放射線健康リスクの考え方について概説する。最後に、全福島県民を対象として始まった健康管理調査の概要を紹介する。

## I. 放射線被ばくについて

放射線の被ばく様式には、外部被ばく、内部被ばく、全身被ばく、局所被ばく、汚染などに分けられるが、すべてその受けた線量と線量率により健康影響の有無や程度が決まる。広島・長崎の12万人にも及ぶ原爆被爆者の調査研究成果が、外部被ばくのデータではあるものの、大規模疫学調査として世界の放射線防護規制の基本となっている。すなわち、放射線の健康影響には2つの

タイプがある。まず急性放射線障害、これは例えば1,000 mSv 以上一度に被ばくすることで多くが吐気、頭痛、下痢、脱毛などの身体症状や徴候が現れるもので、しきい値があり確定的影響と呼ばれる。一方、晩発性放射線障害には、将来発生するかもしれないがんなどがあり、放射線被ばくによりその可能性(リスク)が高まる。放射線被ばくの場合(100~1,000 mSv 以上)では、多数の被ばく集団と非被ばく集団の比較によりリスクの上昇を検証することができる。その結果、線量依存性に発がんリスクが増加することを確率的影響と呼ぶ。このような放射線と発がんの因果関係を推測可能な長期疫学調査(被ばく歴、定期検診、腫瘍登録、死亡登録)は極めて少なく、広島・長崎の原爆被爆者から得られた知見が最も信頼でき、現在も継続されている調査により世界に貴重な情報を発信している。

その結果、原爆被爆者では100 mSv 以下の被ばくの場合、健康影響、すなわち発がんリスクは検出されていない。さらに他の疫学調査の国際的な集約解析の結果からも明らかな発がんリスクの存在を100 mSv 以下では証明することはできていない。しかし、この確率的影響を重視し、100 mSv 以下でも100 mSv 以上の被ばくと同様に被ばくした線量に比例して発がんリスクが増加するというモデル、すなわち直線しきい値なしモデルという原則で、放射線防護の勧告がつけられている。できるだけ可能な限り放射線の被ばくを少なくするという基本原則に基づいている。これは一度に被ばくした場合も、少ない量少しずつ被ばくして積算被ばく線量が同じ値になっても、同じ線量率での防護基準の策定となっている。もちろん生物学的には少ない量を少しずつ浴びる場合の方が、遺伝子損傷修復能力が働き、はるかに発がんリスクが低いことは容易に想像されるし、実験系では証明されている。人類は、進化の過程で常に遺伝子損傷修復能力を獲得発展させ、過酷な環境に適応し、『いのちの絆』を紡いできたのである。

日本では一般公衆の被ばく線量限度を年間1 mSv と設定している。通常、私たち世界平均で年間2.4 mSv の積算線量である。人類は過去も現在もそして未来も微量

*Fukushima Daiichi Nuclear Accident and Radiation Health Risk*: Shunichi YAMASHITA.

(2011年 8月11日 受理)

放射線と共存している。平常時での安全防護基準の考え方についての理解は重要であるが、非常事態における福島県では、微量放射線量の慢性被ばくによる健康リスクを、他の発がんリスクの存在とも比較しながら総合的に考えることがより重要となる。すなわち、健康リスクを基本に現在の放射線安全防護の基準は厳しく設定され、国際原子力機関(IAEA)の安全基本指針 Basic Safety Standard としても常に更新されている。リスクゼロの世界はなく、リスク・ベネフィットを冷静沈着に総合的判断する必要があるが、これら規制値の決め方は各国の政策決定に委ねられている。

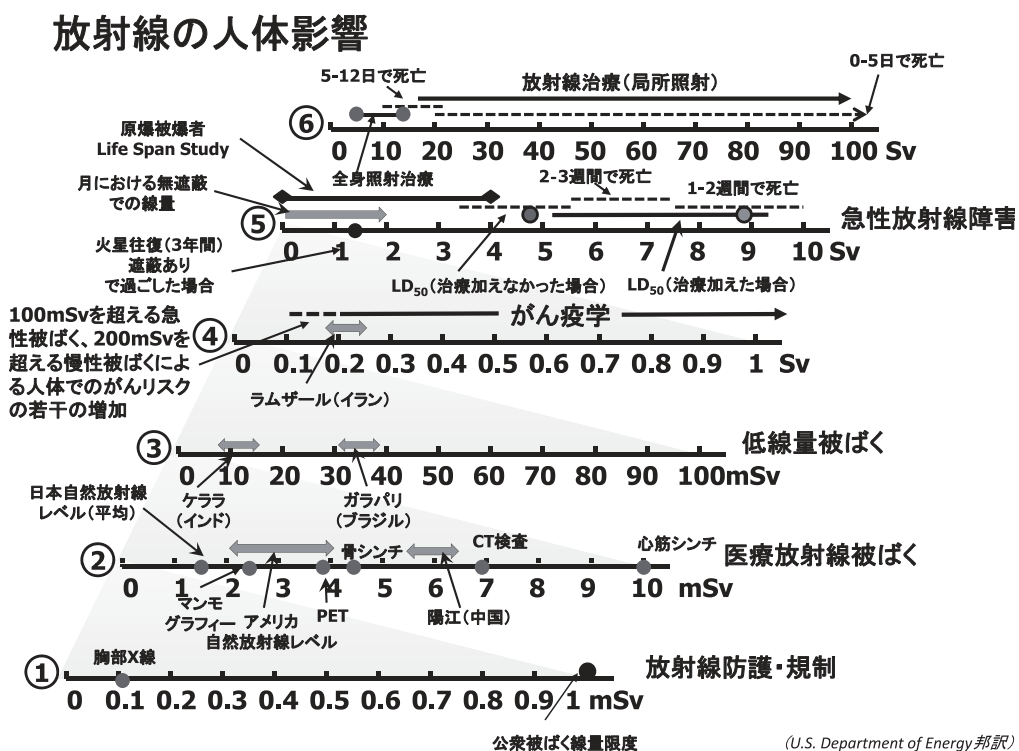
以上のようなリスク教育の普及により、防護基準による放射線健康リスクへの理解が普段から国民に受け入れられていたら、今回の風評被害や放射能恐怖症への対応も異なっていたのではないかと反省させられる。既に第1図のように米国では被ばく線量と健康影響についての情報公開が日常から推進されている。すなわち、オープンに正しい放射線リスクコミュニケーションが地道に行われることが現代リスク社会では重要となる。また理科教育のリテラシーも大切で、突然、普段聞き慣れない単位や単語が飛び交う現状では、正確にそれらを理解できなければ、数字だけが独り歩きし、いたずらに混乱を招く主因ともなる。

## II. チェルノブイリの経験

私自身は、チェルノブイリ原発事故で「核に汚染された大地」で長年仕事をし、国際機関と一緒に調査研究も

してきた。1986年4月26日の事故直後には大量の放射性ヨウ素が環境中に放出され、5月1日のメーデーでは音もいもしない放射性物質が街頭行進する人々の上に静かに降り注ぎ、当初は吸入による被ばく、そしてその後は食物の汚染などによる体内被ばくが問題となった。日本と比較しても広大な放射性セシウムで汚染された土壌に住み続け、さらに汚染された食物を少なからず食べ続けてきた数百万人の住民の年間被ばく線量は、数ミリから数十 mSv まで幅があるが、明らかな発がんリスク、すなわち確率の影響は、今までのところ放射性セシウムの内部被ばくでは確認されていない。本学会誌にも2002年特集「チェルノブイリ事故から15年」の教訓として、すでに事故の医学的影響を報告している。守られるべきは乳幼児、子供、妊婦である。

チェルノブイリでは、事故直後に大量に放出された放射性ヨウ素の食物連鎖による、特に牛乳の汚染による子どもたちの甲状腺内部被ばくが大きな問題となった。放射性ヨウ素は物理的半減期が8日であり、半年後ではほぼ消失したが、百万人に一人という稀な小児甲状腺がんが、チェルノブイリ周辺ではその後激増し、25年間で6,000例近く、当時の乳幼児が成長した後でも甲状腺がんの手術を受けている。一たん体内に取り込まれた放射性ヨウ素は甲状腺に選択的に取り込まれ、その生物学的半減期は数ヶ月に及ぶといわれている。一方、事故後に生まれた子供たちには発症せず、今日、小児甲状腺がんは平常レベルで推移している。さらに国際共同調査研究の結果、内部被ばく線量に応じて小児甲状腺がんの発がん



第1図 米国エネルギー省配布資料；被ばく線量と健康影響の関係

リスクの増加が報告されている。

すなわち、チェルノブイリ原発事故後の一般住民における健康影響は、事故当時、乳幼児から小児において甲状腺がんの激増であり、この集団における生涯がんリスクの増加であると国際的なコンセンサスが得られている。今回の福島原発事故でも、放射性ヨウ素の甲状腺内部被ばくが最大の問題となり、食の安全に向けた規制がいち早く守られた。このことにより福島県や近隣県においては農林水産物の流通制限以外に、風評被害という大きな代償を払ったが、幸い放射線ヨウ素による甲状腺被ばくのリスクは激減したものと推測される。しかし、今日なお子供の内部被ばくに対する不安は大きく、0歳から18歳までの長期的な甲状腺健診の必要性が福島県健康管理調査検討会で決められた。これは事故直後の放射性ヨウ素内部被ばくが懸念されるための対応策である。現在の放射性セシウムによる甲状腺への影響を不安視する必要はないが、引き続き甲状腺被ばく線量再評価による検証が必要である。

さらに世界の科学者が合意し、IAEAやWHOが共同で出版したチェルノブイリフォーラムの報告書([http://www.who.int/ionizing\\_radiation/chernobyl/assessment\\_mitigation/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/assessment_mitigation/en/))では、放射線被ばくによる一般住民における最大の問題点は精神心理的影響であることが明記されている。この轍を踏まないためにも、現地におけるきめ細かな対応が必要とされる。

### Ⅲ. 東京電力福島第一原発事故

さて、3月11日以降、日本に激震が走り、すべてが変革のときにあるといわれている。チェルノブイリの原発事故が、東西冷戦構造の崩壊、そしてソ連邦の解体に向けた遠因であったように、日本はチェルノブイリの教訓を生かし、崩壊ではなく新生への道を模索しなければならない。そのような視点から福島原発事故の経過と、環境中の放射能レベルから健康影響を考えてみたい。

震災後の大津波襲来直後から原発周辺半径3 km圏内住民への退避指示、そして半径10 km圏内住民への避難指示から始まり、さらに安全なところへの半径20 km圏内住民への避難が再指示された後も、水素爆発による放射性降下物の健康影響が懸念され、30 km圏内での長引く屋内退避指示が状況の深刻さを示している。事実、避難民の1次スクリーニングの汚染評価レベルが10万cpmでカットオフ値とされた。さらに原子力災害現地対策本部であるべきオフサイトセンターの機能不全など当初は混乱の極みであった。3月15日午後には北西への風にのり、60 km離れた福島市でも雪交じりの中で放射性降下物が環境中に漂い、広範囲にわたる環境汚染と人体影響への懸念が表明されてきた。福島県内にある環境モニタリングポストのデータでは、水素爆発の時の風向きに従い各市町村へ放射性降下物が拡散し、周囲を汚染

させたことが後から判明した。

当初は空間線量率が高い地域も観測されたが、放射性ヨウ素は物理学的半減期が8日で減少スピードが速いものの、半減期30年の放射性セシウムは比較的長く土壌や木々の上に沈着することになった。直ちに健康影響はないとする政府見解が繰り返し述べられてきたが、ついに葛尾村、浪江町、飯館村、川俣町の一部、そして南相馬市の一部に「計画的避難勧告」が4月11日に出された。さらに屋内退避区域の半径30 kmについては、「緊急時避難準備区域」として新たに設定された。これら被災者の被ばく線量の再評価は不可欠であり、長期的な健康管理が望まれる。福島県が独自に環境放射能モニタリングを展開し、4月中旬には国の発表とほぼ同じ線量マップを策定している(<http://www.pref.fukushima.jp/j/monitoring.mesyu0502.pdf>)。

その後、ホットスポットに住む周辺住民に対して「特定避難勧奨地点」も加わり、県民の不安と混乱がますます増長されている。現在の福島県内における国指定のその対応策として、学校のグラウンドをはじめ種々の汚染地域での除染活動が行われているが、この被ばく線量低減の活動と長期健康管理が表裏一体となり、住民の重い足かせとならないような配慮と支援策が望まれる。

一方、福島原発事故現場で働く作業員などは直接被ばくの危険性が高い状況下であり、常に労災対応の準備が被ばく医療として必要となる。しかし、避難住民をはじめ大多数の福島県民においては、100 mSvを越す積算線量を受ける危険性はまずない。ましてや1,000 mSv以上を浴びる確定的影響は全く心配する必要はない。唯一、放射性降下物の影響で、環境中および土壌中の放射能、すなわち放射性同位元素である放射性ヨウ素(半減期8日)や放射性セシウム(半減期30年)が増加し、私たちの体へ外部ならびに内部被ばくの原因になると懸念されている。しかし、その被ばく量も、実際の測定を行えば、個々人の行動パターンや線量分布の多様性、さらには放射性物質特有の半減期などから、理論的な積算値よりも低い被ばく線量であろうことは容易に推測される。今日に至るまで福島県各地域の環境モニタリングのデータはいずれの観測地点でも減少傾向が続いている。

このまま減少することを祈りたいが、一方では稲わらの放射性セシウムの汚染から牛肉汚染問題へと拡大し、食の安全に対する信用失墜と風評被害に伴う甚大な被害をそれぞれの自治体に負わせている。すなわち、大量の放射性降下物が広範囲に降り注いだ事実は拭えず、適切な対策が迅速に取られる必要がある。国民の不安と市場の混乱を沈静化するためにも、適切な除染活動など規制機関の責任ある対応が重要である。この意味では、当初3月末には内部被ばく年間積算線量5 mSvを上限目安として、異なる食品についての安全暫定規制値が示されている。引き続き7月末には放射性汚染食物の体内摂取

制限の基準値として食品安全委員会が3,000を越す膨大な論文を検証し、その結果、内部被ばくに関する信頼に足るデータは皆無に近く、唯一、外部被ばく線量の疫学調査のデータから生涯追加累積線量基準を100 mSv と評価した。私自身はこの高い見識を支持するが、実際の福島の現場における実効性ならびに復興に向けた具体的な規制対応については乗り越えなければならない課題が多いことも事実である。

#### IV. 放射線健康リスクについて

科学の力によるリスクの評価・分析とともに、正しいリスクコミュニケーションが必要なことは自明である。そしてリスクを低減・阻止するためのリスク管理に規制科学が用いられる。当初は危機回避で、白黒はっきりしたクライシスコミュニケーションが、国の基準が出る前に現地にいち早く入った専門家から発せられた。すなわち100 mSv 以下では発がんリスクは証明できないために、直ぐに100 mSv にならない現状は過剰な心配は不要という考え方である。微量な被ばくを無視してよいはずはないが、低線量被ばくの危険を過度に煽ることも厳に戒められなければならない。その後、4月に入り、計画的避難地域の指定に20 mSv の年間積算線量が提示され、そして文部科学省は学校のグラウンド使用許可など規制値を年間20 mSv の積算線量で示した。この考え方が少なからず混乱を招き、ICRP の勧告が正しく国民に理解されず情報災害をもたらすことになったようだ。あたかも積算で年間20 mSv を超すと危険という大きな誤解である。

基準値の設定では安全域が幅広く取られているものの、白黒はっきりしないグレーゾーン領域における便益と不利益を総合的に判断してリスクの受容を説明すべき政策決定が理解されづらかったともいえる。この政策決定をどう国民が受け止め、放射線のリスクをどう理解判断するかは一人一人異なる。これがリスク認知という大きな問題である。科学者が国際基準に従いしっかりと説明責任を果たすこと、そして社会から今回の原発リスクがどのように受容されるかという問題も重要なポイントとなる。

4月12日には国際原子力事象評価尺度のレベル7とIAEAに暫定報告された。これは大気圏への放射性物質の総放射線量が、評価のレベル7に該当するためであり、その量はチェルノブイリの事故の約1割程度に相当するものであった。政府からの情報の出方とタイミングの遅さも国民のリスク認知に影響を与えたと考えられる。現在、地道な除染活動が各自治体で展開されているが、もはや測定なくしては安全指標のみならず、安心確保に向けた説明根拠を提示することができない状況にある。しかも数値だけが独り歩きし、その意義や健康リスクの評価を国民とともにうまく共有できない状況では、

より科学者の責任は大きいといえる。放射線健康リスクについて、地道にリスクとベネフィットについての住民への説明対応が現場で望まれている。

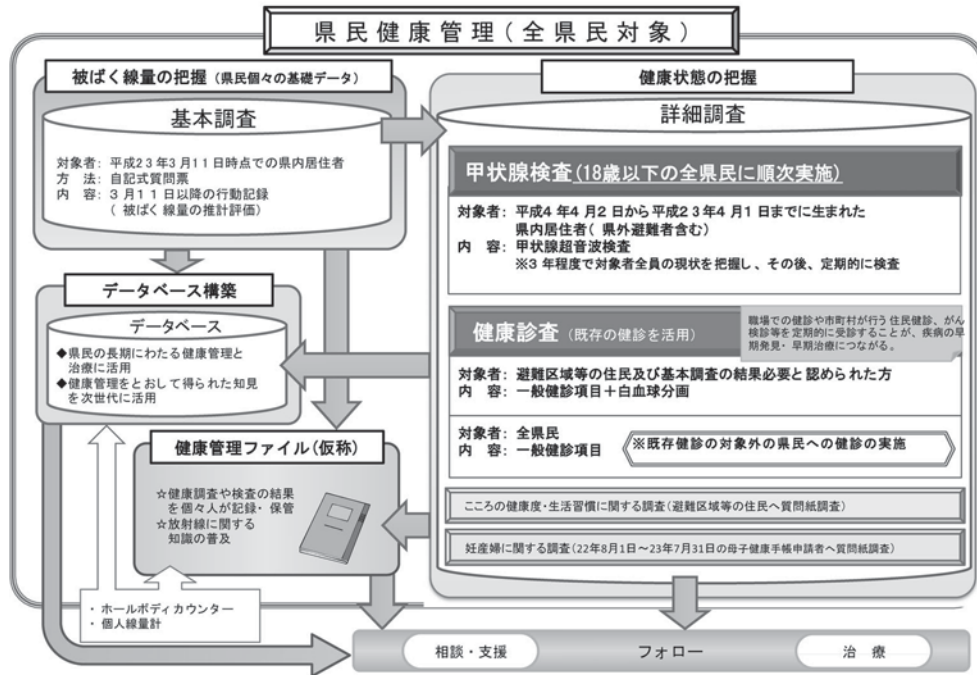
事故後、早期に現地に入った科学者や研究者そして医療関係者の多くは、それぞれの専門性を生かして真摯に住民対応を続けてきた。平時の安全防護基準の考え方を再考し、事故後の非常時から復興に向かう準備と対応が、放射能環境汚染の福島では必要である。そのための指針の一つが、ICRP 報告書111号である。すなわち段階的にできるだけ早く被ばく線量を低減し、平時のレベルに戻すという取組みの指針である。今後、現地では継続して環境モニタリングと健康モニタリングが不可欠であり、そのための新たな拠点が必要となる。

今回の教訓の一つは、放射線健康リスクに関わる情報の過少から情報氾濫と交錯までその真偽を監視し、政府の見解や指示を客観的中立的に公平無私に評価し、真に国民の信を問える新たな被ばく医療体制の再整備ではないかと考えられる。原発推進でも、原発反対でもないイデオロギーに縛られない第三者評価機関が必要だが、これも非常時であればこそ、平時ではない発想で既存の枠組みを超えた新たな機構改革が可能となると期待される。

#### V. 福島県民健康管理調査事業

東京電力福島第一原発事故は、福島という名を世界に轟かせ、環境汚染による健康、そして社会問題へと拡大している。不確実で不確実な低線量の放射線健康リスク問題であればこそ、個人の被ばく線量再評価のために、3月11日震災直後から3月末までの各自の行動について、記憶を頼りに早い時期に確かな情報を集め、外部被ばく線量の推定が望まれる。そして風評被害を阻止し、精神的影響を最小限とした長期健康管理が求められている。原爆被爆者もチェルノブイリの被災者も、健康影響調査が系統的に開始されたのは、それぞれ5年後からであった。福島では事故の収束は未定だが、すでに全福島県民を対象とした健康管理調査検討会が立ち上がり、オブザーバー参加での各省庁の協力を受けて着実に議論が展開されている。その上で、県の委託を受けて福島県立医科大学が県民の安全と安心に係る各種プロジェクト策定と実践に真剣に努力している。

第2図に示すように、全県民を対象とする健康管理は、6月末からの先行地区の基本調査の結果も受けて、8月から問診による本格的な全県民基本調査が始まる。同時に、詳細調査の内容が協議されているが、その大枠は甲状腺超音波検査と既存の健診を活用した健康診査、さらにこころの健康調査と妊産婦に関する調査が内定し、今後、具体的なロードマップが示される予定である。特に、データ収集から登録、管理、解析等、当然福島県内だけの取組みでは不十分である。学際複合的そして国際的な取組みにより、山積する課題解決に尽力する必要がある。



第2図 福島県民健康管理調査事業の概要図(7月24日)

ある。すなわち、国内はもとより世界の叡智を結集し、原発事故の長期にわたる健康問題を見守ることが、福島を日本一の長寿県にすることにつながり、日本の底力を発揮することになると期待される。

### さいごに

東京電力福島第一原発事故後の放射線の健康影響をがんリスク、すなわち確率的影響を中心に紹介した。特に、放射能恐怖症や過剰な心的ストレス状況の改善に、最大限の努力が要求される。不安と不信が渦巻く現地では、『正しい情報源、正しい情報伝達、そして正しい理解』が必要なことは自明であるが、科学の不確実性、そして限界があることも念頭に、現代リスク社会での科学者と住民との真摯な対話が求められている。そのためには、権威ある信頼できる中立的な組織や機関が、客観的な健康リスク評価に基づく情報発信をコンスタントに出し続ける責務がある。環境汚染に伴う低線量慢性外部被ばくと内部被ばくの2つの問題には、不確実不確定、すなわち確率論的な部分があり、直ぐに安全か危険かの一定の基準を示すことが困難なグレーゾーンが存在する。微量の被ばくを軽視して良いはずはなく、同時に、低線量被ばくの危険性を過度に煽るべきではない。冷静で前向きな議論を通じ、その上で健康リスクを正當に評価し、より安全側に立った防護基準であることを理解し、各自が復興に向けた選択と覚悟をしなければならない。最終的には被災者が納得できる議論と施策を提供することが、国や関連機関、そして学術団体に望まれている。

最後に、1日も早い原発事故の収束を願い、被災者一人一人のご健勝と福島の復興と再生を祈念すると同時

に、この国難に立ち向かう学会員の継続したご支援とご協力を切望したい。

### —参考文献—

- 1) 山下俊一監修, 正しく怖がる放射能の話, 長崎文献社, (2011).
- 2) 長崎・ヒバクシャ医療協力会編集, 21世紀のヒバクシャ, 長崎新聞新書, (2011).
- 3) 宮崎真, 穴戸文男, 山下俊一, “放射線被曝と健康モニタリング”, 臨床検査, 55〔8〕, 802-806(2011).
- 4) 長谷川友史, “緊急被ばく医療ネットワークの再編が必要”, 日本医事新報, 4556〔8〕, 78-80(2011).
- 5) 柴田義貞編集, リスク認知とリスクコミュニケーション—放射線リスクの正しい理解をめざして, 長崎大学GCOEプログラム放射線健康リスク制御国際戦略拠点, 長崎大学発刊, 2011年3月24日.
- 6) 光武範史, 山下俊一, “放射線被曝と甲状腺発癌”, 日本内科学会雑誌, 99〔4〕, 786-791(2010).
- 7) S. Yasumura, “Fukushima Beings 30-year odyssey in Radiation Health”, *Science*, 333, 684-5(2011).
- 8) Christiduoulesu JP, *et al.*, “Short-term and long-term health risks of nuclear-power-plant accidents”. *NEJM*, 364〔24〕, 2334-9(2011).
- 9) V. Saenko, *et al.*, “The Chernobyl accidents and its consequences”, *Clin. Oncol.*, 23, 234-243 (2011).
- 10) K. Suzuki, M. Yamauchi, Y. Oka, M. Suzuki, S. Yamashita, “Creating localized DNA double-strand breaks with microirradiation”, *Nat. Protoc.*, 6〔2〕, 134-139 (2011).

- 11) V. Saenko, S. Yamashita, Chernobyl thyroid cancer 25 years after: in search of a molecular radiation signature, *Hot Thyroidology* (www.hotthyroidology.com), HT 8/10, (2010).
- 12) J. Lochard, *et al.*, ICRP Publication 111—Application of the commission's recommendations to the protection of people living in long-term contaminated areas after a nuclear accident or a radiation emergency, *Ann ICRP*, **39** [ 3 ], 1-4, 7-62, (2009).
- 13) R. Clarke, *et al.*, Application of the commission's recommendations for the protection of people in emergency exposure situation, ICRP Publication 109, *Ann ICRP*, **39** [ 1 ], 1-110 (2009).
- 14) W. Weiss, "Towards a coherent conceptual framework for emergency preparedness/response and rehabilitation—the application of the new ICRP recommendation given in ICRP 103", *J. Environ. Radioact.*, **100** [12], 1002-4 (2009).
- 15) K. Tanaka, *et al.*, "Dose-rate effectiveness for unstable-type chromosome aberrations detected in mice after continuous irradiation with low-dose-rate  $\gamma$  rays", *Radiat. Res.*, **171**, 290-301 (2009).
- 16) S. Yamashita, Z. Carr, M. Repacholi, "Long-term health implications of the Chernobyl accident and relevant projects of the World Health Organization", *Health Phys.*, **93**[ 5 ], 538-541 (2007).
- 17) YE. Demidchik, VA. Saenko, S. Yamashita, "Childhood thyroid cancer in Belarus, Russia and Ukraine after Chernobyl and at present", *Arq. Bras. Endocrinol Metabol.*, **51**[ 5 ], 748-762 (2007).
- 18) K. Suzuki, *et al.*, "Qualitative and quantitative analysis of phosphorylated ATM foci induced by low-dose ionizing radiation", *Radiat. Res.*, **165**, 499-504 (2006).
- 19) UNSCEAR Report 2000 Annex G. Biological effects at low radiation doses, p. 73-174 (2001).

### 著者紹介



山下俊一(やました・しゅんいち)  
福島県立医科大学副学長  
日本甲状腺学会理事長, 日本内分泌学会  
監事

## From Editors 編集委員会からのお知らせ

○学会誌記事執筆者のための

テンプレートを用意しました  
執筆要領と合わせてご利用下さい



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

○「投稿の手引」「和文論文テンプレート」を  
改定しました。

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

### —最近の編集委員会の話題より— (8月5日第3回編集幹事会)

#### 【論文誌関係】

- ・福島第一原子力発電所事故関連論文の受理・審査・掲載状況が報告された。
- ・英文論文誌の新出版社移行手続の進捗状況が報告された。
- ・編集委員会からの学会賞(論文賞)の推薦論文について検討した。
- ・審査区分の再編に関するスケジュールを決定した。
- ・論文著作権譲渡書類について専門家に問い合わせることとした。

- ・投稿論文審査関係についての報告と懸案論文の対処について検討した。
- ・論文投稿手引の改正が回議により承認されたことが報告された。

#### 【学会誌関係】

- ・現在の記事企画について報告があった。事象関係の記事は9月号までに掲載され、今後は、環境・人体への影響、放射線教育を含めた社会面の記事を充実・強化していくことを確認した。
- ・特別シンポジウム、秋の大会から学会誌記事にふさわしいセッションを選出し、打診を行っていくことを確認した。
- ・学会誌の発送・請求業務の代行書店から来年度の学会誌年間購読料の問い合わせがあり、今年度と同じ金額とすることを確認した。
- ・今年度は、学会誌編集予算収支に大きく影響を及ぼす広告が少ない。編集委員は積極的に新規開拓をするようになった。

編集委員会連絡先 <<hensyu@aesj.or.jp>>

# 環境における放射性核種の分布と動態

## 2. 河川系における放射性核種の移行特性

### —チェルノブイリ事故研究等からの知見

日本原子力研究開発機構 松永 武,

State Concern Nuclear Fuel, Kiev, Ukraine ユーリ トカチェンコ

福島原子力発電所の損壊により大気中に放出された放射性核種は、地表面の広域汚染をもたらしている。地表面土壌に沈着した放射性核種の一部は河川に移行する。河川での放射性核種の移行は長期的である一方、降雨時の短期変化も重要であり、さまざまな時間スケールを伴っている。また、放射性核種ごとの挙動の相違も大きい。本稿では、チェルノブイリ事故・大気圏内核実験影響の関連研究を参照し、河川における放射性核種の移行の特徴をまとめた。

#### I. はじめに

大気から地表面に人工放射性核種が降下して、自然環境と人を含む生態系に影響を与えるという移行経路の研究は、1950年代～60年代の大気圏内核実験の影響に関して、すでに行われてきた。1986年のチェルノブイリ事故以後、研究の必要性の高まりと、実証データの集積を受けて、より一層の研究が進められてきた。本稿では、大気から地表に沈着した放射性核種の移動経路の中で、表面水系への移行の問題を取りあげる。土壌から河川への移行と流下は、放射性核種ごとの性質の相違がはっきりと表れるプロセスである。

本稿では、これらのプロセスの特徴を簡潔に述べるとともに、大気圏内核実験起因核種とチェルノブイリ事故起因核種に関する研究等から、その特徴が明らかな実例を示す。

#### II. 土壌から河川への移行

##### 1. 土壌中での存在状態

###### (1) 基本的な存在状態

大気から地表面に沈着した放射性核種の土壌中での存在状態は、河川への移動性に大きく関わる。そこで、土壌中での存在状態を核種ごとに端的に記す。土壌における放射性核種の分布特性の詳細については、本企画で解説があらためて用意される。

*Migration of Atmospherically Derived Radionuclides in River Systems; Findings from Researches Related to the Chernobyl Accidents and Nuclear Weapon Tests: Takeshi MATSUNAGA, Yuriy TKACHENKO.*

(2011年 7月28日 受理)

##### 【<sup>137</sup>Cs】

<sup>137</sup>Csの多くは、土壌中で粘土等と強く結びついて、移動性の小さな状態として存在している。粘土の中で特に層状ケイ酸塩粘土鉱物では、構成原子(ケイ素、酸素)の作る四面体による六員環の大きさがセシウムのイオン半径に近いと、その六員環の中にセシウムを強く固定する。<sup>137</sup>Csの固定材料となる粘土鉱物は土壌表層に多く存在するので、大気から土壌に沈着した<sup>137</sup>Csは、土壌表層に長くとどまることになる。

##### 【<sup>90</sup>Sr】

土壌中で<sup>90</sup>Srは粘土鉱物・土壌有機物等に強く固定されることはなく、多くがイオン交換態で存在していると考えられる。

##### 【<sup>239,240</sup>Pu】

<sup>239,240</sup>Puは腐植物質と錯体を形成しやすい<sup>1)</sup>。腐植物質とは落葉・植物遺体等が、微生物により分解を受けた後、重合反応を経て生ずる高分子有機物群である。腐植物質は土壌有機物の主体であり、かつ土壌表層に多い。したがって、大気から土壌に沈着した<sup>239,240</sup>Puの多くは、土壌の表層の有機物に捕捉された形態で存在すると考えられる<sup>1)</sup>。

##### (2) 土壌中核種分布の報告事例

水系移行との関わりを念頭において、土壌中での核種の分布についての報告をみている。

##### 【深度分布】

チェルノブイリ事故に汚染を受けた未攪乱土壌では、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr、<sup>239,240</sup>Puのいずれもが土壌表層(おおむね0～5 cm)に集中していることが示されている。ただし、<sup>90</sup>Srは相対的により大きな下層浸透をしていることが報告されている<sup>2)</sup>。30～40 cmの深さに<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Srが到



達している地点も少数ながら存在し、地点間相違も重要である<sup>2)</sup>。チェルノブイリ事故地の近傍は、燃料微細粒子による汚染が卓越しており、燃料微細粒子の土壤環境での“溶解”が核種移動の律速因子として働いたことに留意する必要がある<sup>2)</sup>。

【土壤水】

土壤中の核種間の移動性の相違は、それぞれの核種の土壤水への溶出の程度に表れている。Sokolik ら<sup>3)</sup>はチェルノブイリ発電所の北方、ベラルーシの汚染土壤を研究し、土壤水と土壤固相との間の分配比を示している。<sup>90</sup>Srは小さな分配比を示し(10~150 ml/g)、<sup>137</sup>Csでは大きく(310~1,410 ml/g)、それぞれの移動性の難易度を示唆している。ウクライナの北西部には湿地が点在し、有機物蓄積の多いピート性の土壤になっている。そのような場所では、<sup>137</sup>Csの移動性が、他の土壤に比較して、数倍大きいことが見いだされた。これは、(1)湿地土壤では粘土鉱物が少ないこと、そして(2)湿地土壤に高い有機物が粘土鉱物と<sup>137</sup>Csとの結びつきを弱めるためと考えられる。このような土壤では、<sup>137</sup>Csの土壤水中濃度はより高く保持されるため、表面水系への移行は相対的に大きいと推察される。

2. 河川への流入プロセス

(1) 基本的な特性

土壤から河川への核種の流入プロセスに関しては、3つの特性がある。第1は、微量流入・長期継続という特性である。このことは、土壤での<sup>137</sup>Cs、<sup>239,240</sup>Puの不動性が高く、<sup>90</sup>Srでもその多くが残存する事実と表裏の関係にある。たとえば、1950年代~60年代初期に集中して行われた大気圏内核実験起因の核種の一部は土壤から河川に未だに移行し続けている(第1表)。第2に経時変化である。早期、すなわち地表面沈着が続いている間そして沈着停止後の早期の期間では、水面に直接沈着した成分が河川水中の核種の主体となる。土壤・草木に沈着した成分の一部の早い流出が、さらに加わる。沈着停止後、土壤では、核種の土壤構成材料との固定化、深部移行が時間とともに進行する。以後は、いったん土壤構成材料と結びついた成分の一部が、土壤浸食や降水・土壤水への溶出の結果として、河川へ流入するという2次移動が主体となる。

土壤から河川への核種の流入プロセスに関する第3の特性は核種間相違である。土壤中の存在形態で触れたように、<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Sr、<sup>239,240</sup>Puの3者は、土壤構成材料との結びつき方が異なる。このため、河川への流入形態、流入の大きさ、経年変化の面で核種ごとの相違が生じる。たとえば、チェルノブイリ発電所至近の河川では、河川水中の主要汚染核種が、放出量として上回っていた<sup>137</sup>Csから可溶性のより大きな<sup>90</sup>Srに数年後に交替した(第1図)。同種の現象は、フィンランドでも報告されている。

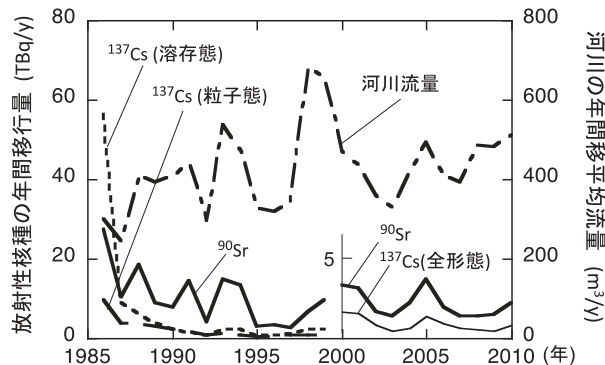
第1表 大気降下物由来の放射性核種の河川移行割合

核種	河川系	年間移行割合*1	評価対象年代	報告
自然起因核種				
<sup>7</sup> Be	久慈川	3.2%*2	1987~88	4)
<sup>210</sup> Pb	久慈川	6.4%*2	1987~88	4)
大気圏内核実験起因核種				
<sup>137</sup> Cs	久慈川	0.04%	1987~88	4)
	斐伊川-宍道湖	0.3%	1954~69	4)
		0.15%	1969~93	4)
	国内複数河川	1.3%*2	1960~62	山県ら
<sup>90</sup> Sr	江戸川	0.2~0.4%	1962~69	鎌田ら
	阿賀野川	1~2%	1962~69	鎌田ら
	淀川	1~2%	1962~69	鎌田ら
チェルノブイリ事故起因核種*3				
<sup>137</sup> Cs	Iput(イプチ)	0.4%	1987~99	6)
	Besed(ベセジ)	0.1%	1987~99	6)
	Pripyat(プリピャチ)	0.7%	1987~99	6)
	Dnieper(ドニエプル)	0.56%	1987~99	6)
<sup>90</sup> Sr	Iput	2.2%	1987~99	6)
	Besed	1.9%	1987~99	6)
	Pripyat	4.3%	1987~99	6)
	Dnieper	3.6%	1987~99	6)

\*1流域地表面蓄積量に対する年間移行割合

\*2年間降水量に対する移行割合

\*3各河川での観測点：Iput River-Dobrush(ドブルーシ)；Besed River-Svetilovichi(スベチロビッチ)；Pripyat River-Belaya Soroka(ペーラヤ・ソロカ)；Dnieper River-Nedanchichi(ネダンチチ)



第1図 Pripyat 川下流における<sup>137</sup>Cs、<sup>90</sup>Srの移行量と河川流量の変動(チェルノブイリ市観測点)(2000年以降、移行量スケール拡大に留意)(データ提供機関：RADEK, Ecocentre Ukraine)

(2) 河川への流入に関する研究事例

【微量流入・長期継続】

大気から地表に降下した核種が河川に移行するプロセスについては、大気圏内核実験によるフォールアウトがピークを示した1960年代に山県らが報告をしている。国内の数河川での平均値として、その年に降下した<sup>137</sup>Cs

の1.3%が年間に流出し、その年以前に降下した $^{137}\text{Cs}$ では0.06%が年間に流出することを推定した。核実験のピークから約25年後の1987～88年の研究で、松永ら<sup>4)</sup>は、久慈川(茨城県)において、大気圏内核実験起因の流域蓄積量の0.04%が年間に運ばれていることを見いだした。大気圏内核実験起因の $^{90}\text{Sr}$ についての移行について、鎌田らは1962～69年に江戸川(東京都)、阿賀野川(新潟県)、淀川(大阪府)の各水系で研究し、流域土壌からの $^{90}\text{Sr}$ の年間移行率が土壌蓄積量のそれぞれ0.2～0.4%、1～2%、1～2%であることを示した。以上の研究は、河川流域土壌に蓄積した大気圏内核実験由来の $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{90}\text{Sr}$ が僅かながら河川下流に運ばれていること、20年以上経過しても長期的に継続することを示している(第1表)。また、 $^{90}\text{Sr}$ の方が $^{137}\text{Cs}$ よりも河川移行率が大きなことも示唆される。さらに、流域の違いは移行率に関して数倍の相違をもたらすことが示唆される。

#### 【経年変化】

チェルノブイリ事故では、ウクライナ、ベラルーシ、ロシアにまたがるドニエプル川の上流域が広く汚染された。汚染した流域土壌からドニエプル川の上流各点に流入する核種の年平均濃度の経年変化<sup>5)</sup>を第2図aに示す。 $^{137}\text{Cs}$ の河川水中の濃度は、沈着後の年から5年程度の間、急な低減が続く。その後の低減率は小さく、低濃度ながら長期に継続する(第1表)。第2図aにおいて、1986年の値を1として相対化した経年変化は、初期汚染の大きさや河川系によらず類似する(第2図b)。このことは、第1近似として、多くの河川は同種の濃度低減特性を備えていることを示唆し、数値モデルの実現につながっている。

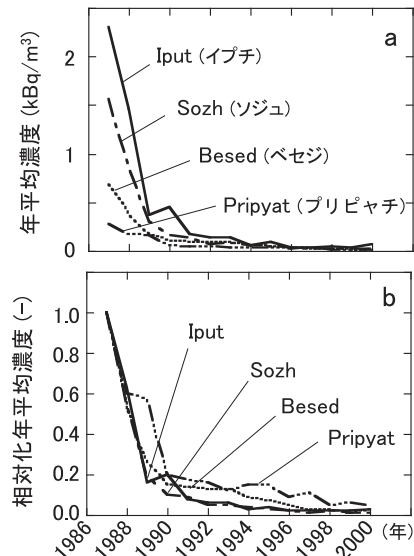
### Ⅲ. 河川内での遠方移動

#### 1. 移動形態と移動性

##### (1) 基本的な特性

汚染を受けた土壌から近傍の河川に核種が流入し、汚染の小さな下流域に汚染が流下してくるという構図はしばしば見いだされる<sup>4-6)</sup>。この河川内での遠方移動を特徴付ける第1の要因は、核種が水に溶解して流れるか(溶存態)、あるいは水中に浮遊する泥等に含まれて移動するか(粒子態)という移動形態である。移動形態は、核種が遠くまで運ばれるかどうかを決める要素になる。本稿で対象にしている核種の中では、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{239,240}\text{Pu}$ については、多くの場合、粒子態が移動量の半ば以上を占める。 $^{90}\text{Sr}$ については90%以上が溶存態で移動する。

溶存態の区分の中で、コロイド態という状態が存在する。これは、水中の無機コロイドや有機コロイド、あるいは両者の複合物に取り込まれた状態である。これらのコロイドは、ある環境条件(pH, イオン強度など)では比較的安定に存在する。そのため、コロイドに取り込まれた核種が、安定に遠方まで運ばれることが起こる。



第2図 ドニエプル水系上流河川における $^{137}\text{Cs}$ 汚染の経年変化<sup>5)</sup>

#### (2) 流況の効果

河川での核種の移動に関し、河川の流況はとても重要な因子である。すなわち、平水時では、水中懸濁物の濃度は低く、溶存態での移動が卓越する。ところが、降雨時や雪解け時期の増水期では、水中懸濁物の濃度と河川流量はともに増加する。両者の相乗効果によって、粒子態の核種移動量は顕著に増加する。この効果は、固相吸着性が高い $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{239,240}\text{Pu}$ の移動に関して大きな影響を持つ。チェルノブイリでは一方、発電所から約30 km下流のキエフ人造湖までの区間では河川流速が抑えられ、 $^{137}\text{Cs}$ を含む粒子の沈降が起きている。また、雪解け時・降雨時に増水した河川の周辺が大規模に冠水して、土壌の $^{90}\text{Sr}$ が溶存態で洗い出される現象が観測されている(第1図、流量に呼応した $^{90}\text{Sr}$ 運搬量)。

浮遊粒子で運ばれる $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{239,240}\text{Pu}$ では、流況に応じた浮遊粒子の運搬と堆積に伴い、汚染源から離れた地点でも、それらの核種濃度の高い場所がつくられることがある。たとえば、核施設からの放流水の影響を受けたエニセイ川、再処理施設の下流にあるロヌ川で報告がある。堆積物は出水で再び河川水に巻き上げられ、一部は海に到達する。この結果、浮遊粒子に含まれる核種は河川内で滞留と移動を繰り返す複雑な流下挙動を示す。 $^{90}\text{Sr}$ は汚染のない支流からの水の流入による希釈を受け、濃度を減じながら下流まで運ばれる。

### Ⅳ. 河川系の放射性汚染対策

#### 1. 河川の放射性汚染対策

チェルノブイリ事故は、大河川ドニエプル川の流域で起きた事故であり、河川の放射性汚染対策に関して貴重な教訓をもたらしている。放射性核種で高度に汚染した事故地の近傍では、河川が運び出す放射性汚染を抑える

ために、事故の直後から種々の対策が講じられた<sup>7)</sup>。しかしながら、広域的な汚染の移行抑止には、後年に行われた大規模な築堤工事以外に効果がなかった。以上の経験から、放射性核種の摂取に係わる段階での対策が現実的には最も有効であると考えられている<sup>7)</sup>。

## 2. 河川に係わる被ばく経路と被ばく寄与

河川はわれわれの生活に深く関わっている。河川水は飲料水源、工業用水源、そして灌漑用水源として用いられる。そこに産する魚類に関しては、産業としてあるいは趣味としての捕獲・摂取が行われる。河川は水遊びや景観の場も提供している。河川が我々の生活に身近であるため、河川の放射性汚染への心配は大きい。一方で、河川の放射性汚染に関する被ばく評価では、河川経路の寄与は、土壌中の核種(<sup>137</sup>Cs等)からの外部被ばく等の他の経路に比較して小さい<sup>7,8)</sup>。実際、チェルノブイリ事故<sup>6)</sup>により汚染を受けたドニエプル川流域における上流域では、土壌中の核種(<sup>137</sup>Cs等)からの外部被ばくが大きく、水経路の相対的寄与は極めて限られている。一方、下流では、水経路の相対的寄与は大きくなるが、その被ばく線量は小さい。こうした理学的な線量評価と人々の心配とを、どう一緒に考えていけばよいかは、河川汚染に限らず、環境の放射性汚染対策に共通する大きな課題である<sup>7,8)</sup>。

## 3. 湖沼の放射性汚染対策事例

チェルノブイリ事故により汚染した河川では経年的な汚染低減が示されているが(第1図, 第2図), 流出の小さな閉鎖性の湖沼では食用になる大型の魚の汚染が継続している。そこで、水生生物の放射性核種濃度の低減を目的として、塩化カリウムや生石灰(CaO)の散布が研究された<sup>9,10)</sup>。

### (1) 塩化カリウム散布

セシウムと化学的性質が類似するため、湖沼水・河川水のカリウム濃度と魚類中の<sup>137</sup>Cs濃度との間には負の相関がある。この知見に立って、Smithら<sup>9)</sup>はチェルノブイリ事故で汚染した湖沼でカリウム濃度を増加させて、魚類中の<sup>137</sup>Cs濃度が低減するかどうかを研究した。湖水のカリウム濃度を約10倍増加させたところ、最大約40%の<sup>137</sup>Cs濃度の減少が観察された。ただし、湖水のカリウム濃度を高めると、底質に保持されている<sup>137</sup>Csが湖水中に溶出して、湖水の溶存<sup>137</sup>Cs濃度は高まる。それでもカリウムとの拮抗により魚の<sup>137</sup>Cs濃度は低下する。この方法の適用には次のような条件が必要である。湖沼の閉鎖性が大きいこと、本来の湖水中カリウム濃度が低いこと、そして湖水が飲用・灌漑に用いられていないことである。湖沼の閉鎖性が小さいと、カリウム濃度を維持するのに、塩化カリウムを投入しつづければならぬ。スウェーデンで行われた同様な試みは、

この理由で不成功に終わっている。

### (2) 生石灰散布

チェルノブイリ事故地近傍では、<sup>90</sup>Srを含む燃料微細粒子による高い汚染を受けた湖沼が存在する。また、<sup>90</sup>Srによる湖沼の汚染を想定し、その対策を事前に考えることもできる。淡水魚類への<sup>90</sup>Srの取込みは、湖水中のカルシウム濃度が高いほど小さい。そこで、Håkanson<sup>10)</sup>は湖水中の水・浮遊粒子・堆積物と魚類の系における<sup>90</sup>Sr、カルシウムの移行を表す生態系モデルを用いて、カルシウム濃度を意図的に上げた場合の淡水魚中の<sup>90</sup>Sr濃度の変動を研究した。湖水中のカルシウム濃度を上げるには、生石灰(CaO)を散布することを想定した。湖水へ生石灰を散布することはlake limingとよばれ、酸性降下物による湖沼の酸性化対策としてスウェーデンでは実施経験のある操作である。モデル研究の結果、生石灰散布は湖水中の<sup>90</sup>Sr濃度を上げるケースもあるが、それにかかわらず、魚の<sup>90</sup>Sr濃度ピークを25~40%下げることがあると評価された。とくに、湖岸周辺の湖水を涵養する地域に散布すること、早期に散布することが効果を上げ、また持続させると結論された。この方法においても、適用湖沼に関して十分な留意が必要である。すなわち、小規模、貧栄養性、酸性、低カルシウム濃度ということが効果を期待できる条件となる<sup>10)</sup>。また、湖内外の動植物へ悪影響をもたらす可能性も考慮されなければならない。

## 4. 放射性汚染対策効果の評価

水系の放射性汚染に関しては、止水を中心とする工学的な措置、取水や摂取に対する措置<sup>7)</sup>さらに閉鎖性湖沼への特殊な操作<sup>9,10)</sup>など、種々の方策が考えられてきた。これらの対策の選択にあたっては効果の大きさと付随する経済・環境・社会負担を総合的に考慮しなければならない。これらの因子は、自然環境条件、社会条件の点で非常に地域性が高い。放射性汚染生起後の実施時期も、それらの因子を大きく左右する。したがって、多数の影響因子を考慮した、複数の対策のメリット・デメリット比較ができること、対策の決定に有用である。

そこでチェルノブイリ事故を契機に、欧州・CIS諸国では放射性汚染対策の評価システムが次々と開発されてきた。すなわち、計算機を利用した意志決定支援システム(DSS)である。このシステムでは、与えた複数の対策シナリオの下での環境中の核種移行と人への被ばく線量計算を、まず行う。次に、対策により得られるメリットと種々のデメリットの大きさを対策シナリオに応じて算出し、複数の対策の優劣を分析する。分析結果を対策決定者に提供することにより、自然科学的見地から真に効率的で、かつ社会的に受容できる対策の施行に寄与することを目標としている。水系汚染に関しては、Monteら<sup>8)</sup>によるシステム(MOIRA-PLUS)がある。このシス

テムは、水系における放射性核種の動態モデルをベースにし、個別の対策の効果と負担の算出モジュールを備えている。たとえば、汚染した河川上流域氾濫原の隔離ダム建設という対策と、下流の取水施設での浄化機能強化という対策について、集団線量の低減の大きさ、両者の経済費用、野生動植物への悪影響等を相互に比較する。

DSSでは計算機システムが中心的な構成要素に見える。しかしながら、実のところは、たとえば環境中の核種動態モデルの基礎となる長期的な観測、動植物影響に係わる生態系の理解、さらに放射線被ばくの低減目標の考え方など幅広い分野での蓄積がDSSを実現している。

## V. おわりに

大気から地表面に沈着した人工放射性核種が、河川へ移行し、流下するプロセスの一端をここにまとめた。このプロセスは、沈着した総量に比較すると微量な核種移行を長期にもたらず。核種間の移行性の相違は大きい。ドニエプル川水系におけるチェルノブイリ事故起因の $^{137}\text{Cs}$ では、地表蓄積量の0.1~0.7%/yが河川で移行し、経年的に大きく低下する。これに対し、 $^{90}\text{Sr}$ では2.9~4.3%/yであり、経年的な低下は小さい。遠方への流下挙動は核種ごとに特徴的である。 $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ では多くが浮遊粒子で運ばれ、河川内滞留と移動を繰り返す。 $^{90}\text{Sr}$ は希釈を受けながら、遠方下流まで運ばれる。河川の放射性汚染に関する被ばく評価では、河川経路の寄与は、他の経路に比較して、かなり小さい。ただし、人々の懸念は大きい。河川の放射性汚染対策として、放射性核種の摂取に係わる段階での対策が現実的には最も有効であると考えられている。種々の対策の効果を比較するシステムが開発されており、対策のメリット・デメリットを総合的に評価するために有用と考えられる。

本稿の執筆にあたり、Lars Håkanson, Luigi Monte, 佐藤努の各氏からご教示を得ました。記して感謝いたします。V. Kanivets氏からは、最新の観測データの提供を受けました。地名表記については猪越千明氏の助けを得ました。

### — 参考資料 —

- 1) T. Matsunaga, S. Nagao, "Environmental behavior of plutonium isotopes in the area affected by the Chernobyl accident", *Humic Substances Res.*, **5/6**, 19-33(2009).
- 2) 原子力安全研究協会, チェルノブイリ原子力発電所に係る影響低減技術基礎調査等, 文部科学省委託研究報告書, 平成11年度~15年度.

- 3) G. Sokolik, *et al.*, "Distribution and mobility of  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  and  $^{241}\text{Am}$  in solid phase-interstitial soil solution system", *Radioprotection-Colloques*, **37**, CI-259~264 (2002).
- 4) T. Matsunaga, "The fate of several radionuclides derived from atmospheric fallout in a river watershed", *Trace Elements* (eds. B. Markert and K. Friese), Elsevier, p.549~564(2000).
- 5) O. Zhukova, *et al.*, "Water migration of Chernobyl radionuclides in rivers of Belarus", *Radioprotection-Colloques*, **37**, CI-723~728(2002).
- 6) IAEA, *Radiological Conditions in the Dnieper River Basin*, Radiological Assessment Reports Series, IAEA, Vienna, p.185(1996).
- 7) J. T. Smith, *et al.*, "A critical review of measures to reduce radioactive doses from drinking water and consumption of freshwater foodstuffs", *J. Environ. Radioact.*, **56**, 11~32(2001).
- 8) L. Monte, "Regional-scale application of the decision support system MOIRA-PLUS: an example of assessment of the radiological impact of the Chernobyl accident on the fresh water ecosystem in Italy", *J. Environ. Radioact.*, **102**, 73~83(2011).
- 9) J. T. Smith, *et al.*, "Application of potassium chloride to a Chernobyl-contaminated lake: modelling the dynamics of radiocaesium in an aquatic ecosystem and decontamination of fish", *The Science of the Total Environment*, **305**, 217~227(2003).
- 10) L. Håkanson, "A general management model to optimize lake liming operations", *Lakes & Reservoirs: Research and Management*, **8**, 105~140(2003).

### 著者紹介



松永 武(まつなが・たけし)  
日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)環境放射化学



ユーリ トカチェンコ  
(Yuriy TKACHENKO)  
State Concern Nuclear Fuel, Ukraine  
(専門分野/関心分野)環境放射能  
モニタリング

# 食品中の放射能濃度の簡易測定法

## NaI(Tl)シンチサーベイ測定における留意点は何か？

電力中央研究所 佐々木道也

水、野菜、魚等の食品中の放射能濃度については、厚生労働省から暫定規制値が示されており、規制値以下であることの確認のためには、放射線測定に基づく放射能濃度評価が必要である。食品中の放射能濃度は、基本的にGe半導体検出器によって測定されるものの、1次スクリーニングの段階においては、空間線量率を測定できるNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを適用する方法もある。この測定方法を実際に現場へ導入する際に留意すべき点は何だろうか？本解説では事例を交えながら検討する。

### I. はじめに

#### 1. 飲食物の摂取制限値

2011年3月11日の東日本大震災に起因する福島第一原子力発電所の事故により、ヨウ素、セシウム等の放射性物質が大気中に放出された。これらの放射性物質は、水、野菜、魚などの食品からも検出されており、その範囲は、近隣県のみならず、関東およびその周辺まで拡大していることがメディアによって報じられている。

厚生労働省は、原子力安全委員会が「原子力施設等の防災対策について」<sup>1)</sup>の中で定めた数値、すなわち「災害対策本部等が飲食物の摂取制限措置を講ずることが適切であるか否かの検討を開始するめやす値」を、飲食物摂取制限の暫定規制値として導入<sup>2)</sup>しており、水、野菜、魚等に含まれる放射性物質について、第1表で示す濃度以上の値が検出された場合には、出荷制限等の措置がとられている。

#### 2. 食品中の放射能濃度測定

物質中の放射能濃度、特にガンマ線を放出するものに対しては通常、Ge半導体検出器を用いた核種分析測定が行われている。一方、「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」<sup>3)</sup>にあるように、緊急時は、食品中の放射能濃度を、より簡易に測定する方法として、空間線量率の測定に用いられるNaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いた測定方法がある。これは、「第1段階のモニタリング」として、迅速性を重視したスクリーニング的なものであり、Ge半導体検出器による正確な測

第1表 飲食物摂取制限の暫定規制値

対象	放射性ヨウ素 (混合核種の代表： <sup>131</sup> I)
飲料水 牛乳・乳製品	3 × 10 <sup>2</sup> Bq/kg 以上
野菜類(根菜、芋類を除く)	2 × 10 <sup>3</sup> Bq/kg 以上
対象	放射性セシウム
飲料水 牛乳・乳製品	2 × 10 <sup>2</sup> Bq/kg 以上
野菜類 穀類 肉・卵・魚・その他	5 × 10 <sup>2</sup> Bq/kg 以上

定をする必要があるか否かを判断するための測定といえる。

この測定方法は、文部科学省が発行した放射能測定法シリーズのNo.15「緊急時における放射性ヨウ素測定法」<sup>4)</sup>が基となっており、<sup>131</sup>Iの標準溶液線源による機器校正の方法等が記載されている。しかし、実際に標準溶液線源を用いた機器校正は、非密封アイソトープの取扱いが必要であるなど、各使用者が行うのは容易ではない。

そこで日本アイソトープ協会は、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いたヨウ素およびセシウムの測定について、2Lマリネリ、タッパー、あるいはポリビンなどに測定物を充填した状態で測定することで、表示された計数率や線量率(cpsあるいはμSv/h)から放射能濃度(Bq/kg)へ換算するための係数をまとめた。この係数は、「緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について」<sup>5)</sup>として、以下のホームページで公開している。

Regarding a Simplified Monitoring Method of Activity Concentration in Foodstuffs: Michiya SASAKI.

(2011年 7月14日 受理)

<http://www.jriais.or.jp/index.cfm/6,15084,c.html/15084/20110421-182029.pdf>

<http://www.jriais.or.jp/index.cfm/6,15496,c.html/15496/20110620-095125.pdf>

上記ホームページの換算係数を用いることで、NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータ等を用いた食品中の簡易な放射能濃度測定が、標準溶液を用いなくとも可能となった。本稿の執筆時点では、放射性セシウムが主要核種であるため、後者のURLに示された換算係数を用いることで食品中のセシウムの放射能濃度が評価できる。

一方、第1表に示した暫定規制値は、非常に低い放射能濃度であるが、福島第一原子力発電所の事故により、バックグラウンド線量率が上昇している地域もある。このような地域においては検出すべき放射能レベルである暫定規制値と、バックグラウンド(BG)の計数率(あるいは線量率)のレベル、測定方法の検出限界値を考慮した上で、測定方法を検討/導入する必要がある。

本稿では、この換算係数の使用方法の実例を紹介し、バックグラウンド線量率およびその変動を考慮した検出下限値の評価について解説する。

## II. NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータによる測定と検出限界値の評価例

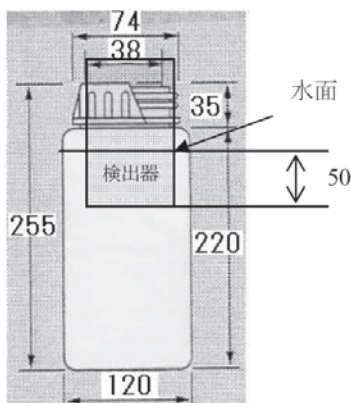
### 1. TCS-172(B)および171(B)による測定例

前出のホームページを参考に、一例として、日立アロカメディカル社製のTCS-172(B)およびTCS-171(B)の使用を想定して、2Lのポリビンの先端5cmを測定物中に挿入した評価を考える。(第1図)

測定および数値の読取りは、文献3)に記載されている方法に沿って行われる。

TCS-172(B)の場合、計数率から放射能濃度への換算係数は67.8(Bq/kg/cps)であるので、例えば、事前に測

#### ④2Lポリビンタイプ(アイボーイ広口びん 2L)



第1図 食品の放射能濃度測定の例文献5)より図の一部を許可を得て抜粋)

定したBG計数率が300 cps、ポリビンに測定物を充填し、第1図のように、測定器を挿入した状態で測定した計数率が350 cpsであった場合、正味の計数率は350-300=50 cpsとなる。この数値に換算係数を乗じた値、すなわち、50×67.8=3,390 Bq/kgが、測定対象の放射能濃度と算出される。

逆算すると、例えば野菜の場合、放射性セシウムの食品基準である500 Bq/kgを測定によって評価する際には、500/67.8=7.4 cpsが判断基準となる正味の計数率になる。

一方、TCS-171(B)の場合、換算係数は $1.92 \times 10^4$  (19,200) Bq/kg/( $\mu$ Sv/h)であるから、例えば事前に測定したBG線量率が0.05  $\mu$ Sv/h、ポリビンに測定器を挿入した状態で測定した線量率が0.1  $\mu$ Sv/hであった場合、正味の線量率は0.1-0.05=0.05  $\mu$ Sv/hであり、これに換算係数を乗じた値、すなわち、0.05×19,200=960 Bq/kgが、測定対象の放射能濃度と算出される。

同様に逆算すると、例えば野菜の場合、放射性セシウムの食品基準である500 Bq/kgを測定によって評価する際には、500/19,200=0.026  $\mu$ Sv/hが判断基準の正味の線量率となる。

### 2. 検出下限値の評価と計算例

通常、日本のBG線量率は0.03~0.08  $\mu$ Sv/h(東京都新宿区の例)であるが、現在は、福島第一原子力発電所の事故によってBG線量率が上昇している地域がある。そのような地域では、バックグラウンドの変動に、検出に必要な正味の計数率や線量率(例えば7.4 cpsや0.026  $\mu$ Sv/h)が埋もれてしまう可能性があるため、測定場所において、検出下限値が問題ないことを確かめた上で、簡易測定法を用いることが正確な評価に繋がる。

日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法：2005」<sup>6)</sup>によれば、サーベイメータの検出限界評価式は、次式で示される。

$$A_{DL} = CF \times \frac{\frac{k^2}{2\tau_r} + \sqrt{\left(\frac{k^2}{2\tau_r}\right)^2 + 4 \times (1 - k^2 \times r_1^2) \times k^2 \times \left\{ n_B \left( \frac{1}{2\tau_r} + \frac{1}{2\tau_B} \right) + r_1^2 \times n_B^2 \right\}}}{2 \times (1 - k^2 \times r_1^2)}$$

ここで各パラメータは、

$A_{DL}$ : 検出限界(Bq)

$k$ : 定数(一般的には3)

$\tau_r$ : 測定時のサーベイメータの時定数(s)

$\tau_B$ : BG測定時の時定数(s)

$n_B$ : BG計数率(cps)

$CF$ : 換算係数(Bq/kg/cps)

$r_1$ : BG変動に起因する相対誤差

$r_2$ : 換算係数の相対誤差

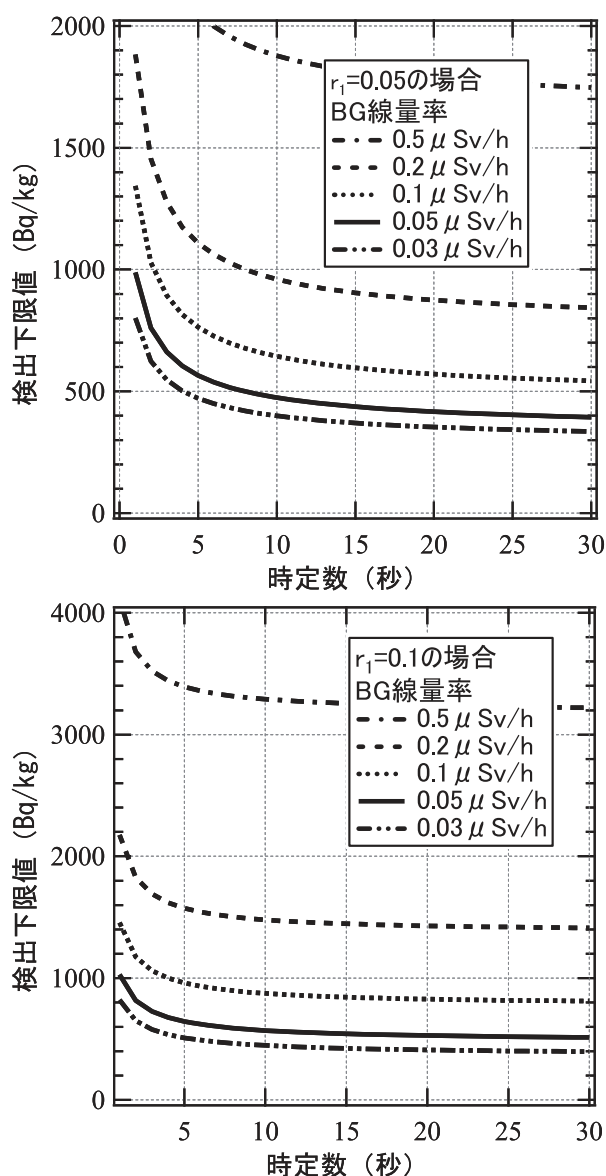
を意味している。本来、これらは実験的に求めるパラメータであるが、ここでは次のように仮定した。

- ・ 換算係数の相対誤差  $r_2$  については、10%<sup>a)</sup>
- ・ BG の変動に起因する相対誤差  $r_1$  については、5%、もしくは10%
- ・ BG 計数率と BG 線量率の換算については、文献5)の換算係数を参考に、283(cps/( $\mu$ Sv/h))

以上の条件における検出下限値の計算例を第2図に示す。同図では、横軸をNaIシンチレーションサーベイメータの時定数(s)、縦軸を検出下限値(Bq/kg)として表している。

### 3. BG 線量率の低減方法の検討

このように、飲食物の暫定規制値である200 Bq/kg や 500 Bq/kg という数値は、きわめて検知しにくいわずか



第2図 検出限界値と時定数の関係

<sup>a)</sup>文献5)によれば、「校正時の正味の読取り値と比較し、差が10%以内であることを確認する」とされているため、多めに見積もって  $r_2=0.1$  とした。

第2表 鉛厚さと線量率の低減傾向<sup>a)</sup>

鉛厚さ (cm)	屋内での線量率 ( $\mu$ Gy/h)
0	0.054
0.1	0.045
0.2	0.038
0.3	0.033
0.4	0.032
0.5	0.031

な放射能であり、判断基準となる計数率や線量率が、検出下限値を上回ることが予測される場合には、検出下限値を向上させること、すなわち、鉛遮へいなどによって、BG 線量率を低減させる必要がある。

鉛遮へい体による線量率低減の必要性は、文献4)においても“エネルギー補償型 NaI は、ヨウ素測定の場合、BG を0.02~0.03  $\mu$ Gy/h に下げる必要がある”と述べられており、その効果として、次の実測値が掲載されている(第2表)。

また、文献7)には、鉛遮へい体による BG 計数率の低減傾向を、鉛厚さの関数としての式が掲載してある。この関数を用いて評価した BG 計数率低減の推定結果を、第3表に示す。食品中の放射能濃度の制限値を現場で評価する際には、現場の BG 線量率や測定条件によるが、測定対象と検出器を覆うような数 cm 程度の鉛遮へいが必要になることも考えられる。

### Ⅲ. まとめ

NaI(Tl)シンチレーションサーベイメータを用いた食品の放射能濃度の確認では、必要とする検出下限値に加えて、測定場所の BG 計数率、用いる検出器と測定方法、およびそれらに依存する放射能濃度への換算係数など、検出限界の評価に必要なパラメータの値を整理し、どの程度 BG 計数率を低減させるべきかを事前に検討してから導入/実施することで適切な測定が実現できる。

(検討例)

- (1) BG 線量率が0.2  $\mu$ Sv/h の場所において、TCS-171 (B)を用いた測定を考える。
- (2) 測定方式として2Lのポリビンの先端5cmを測定物中に挿入した場合を想定し、時定数を30sとした条件で  $r_1$  を評価(後述)した結果、0.1程度であったとする。
- (3) この条件で評価式を用いると、検出下限値は1,400 Bq/kg と評価される。
- (4) 500 Bq/kg を判断レベルとすると、BG 線量率は0.03  $\mu$ Sv/h まで低減する必要がある。BG 線量率は0.2  $\mu$ Sv/h であるから、第3表を参考にすると、2cm程度の鉛遮へい体を設置すれば判断レベルを下回る検出下限値が得られることが推定できる。

第3表 鉛厚さと線量率の低減傾向の推定結果

鉛厚さ (cm)	BG 線量率 = 0.03 $\mu$ Sv/h	BG 線量率 = 0.05 $\mu$ Sv/h	BG 線量率 = 0.1 $\mu$ Sv/h	BG 線量率 = 0.2 $\mu$ Sv/h	BG 線量率 = 0.5 $\mu$ Sv/h
0	0.030	0.050	0.100	0.200	0.500
0.2	0.021	0.035	0.070	0.140	0.350
0.4	0.016	0.027	0.054	0.108	0.270
0.6	0.013	0.022	0.044	0.088	0.221
0.8	0.011	0.019	0.037	0.075	0.187
1	0.010	0.016	0.032	0.065	0.162
1.2	0.008	0.014	0.028	0.057	0.141
1.4	0.007	0.012	0.025	0.050	0.124
1.6	0.007	0.011	0.022	0.044	0.109
1.8	0.006	0.010	0.019	0.039	0.097
2	0.005	0.009	0.017	0.034	0.085
2.2	0.005	0.008	0.015	0.030	0.076
2.4	0.004	0.007	0.013	0.027	0.067
2.6	0.004	0.006	0.012	0.024	0.060
2.8	0.003	0.005	0.011	0.021	0.054
3	0.003	0.005	0.010	0.019	0.048

本稿の執筆にあたっては、放射線影響分科会、ならびに日本アイソトープ協会の山田崇裕氏より有益なご助言を賜った。ここに記して感謝いたします。

(付録)  $r_1$ の評価方法(文献5)の方法に準拠)

測定対象とする食品群と同等の食品群で汚染のないものを複数サンプル用意する。これらをポリビンに充填し、放射能濃度を測定する手順どおりにBG計数率測定、放射線測定を複数回・複数サンプルに対して実施する。

このとき、

$N_B$ : サンプルを置いた場合の計数率

$N_{B0}$ : サンプルを置かない場合の計数率

$$r_B = (N_{B0} - N_B) / N_B$$

として、 $r_B$ を複数サンプル、複数回実施して求め、その標準偏差を  $r_1$ とすることができる。

#### — 参考資料 —

- 1) 原子力施設等の防災対策について、昭和55年6月(平成22年8月一部改訂)、原子力安全委員会。  
<http://www.nsc.go.jp/shinsashishin/pdf/history/59-15.pdf>
- 2) 放射能汚染された食品の取り扱いについて、食安発0317第3号、平成23年3月17日。  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r9852000001559v.pdf>

- 3) 緊急時における食品の放射能測定マニュアル、平成14年3月、厚生労働省医薬局食品保健部監視安全課。  
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000001558e-img/2r9852000001559v.pdf>
- 4) 緊急時における放射性ヨウ素測定法、平成14年改訂、文部科学省、科学技術・学術政策局、原子力安全課防災環境対策室。  
<http://www.kankyo-hoshano.go.jp/series/lib/No15.pdf>
- 5) 緊急時における食品の放射能測定マニュアルに基づく食品中の放射能の簡易分析について、日本アイソトープ協会。
- 6) 日本原子力学会、日本原子力学会標準「クリアランスの判断方法：2005」AESJ-SC-F 005:2005。
- 7) 服部隆利、電力中央研究所報告 T 01015, (2002)。  
[http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/cgi-bin/report\\_reference.cgi](http://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/cgi-bin/report_reference.cgi)

#### 著者紹介



佐々木道也(ささき・みちや)  
(財)電力中央研究所  
(専門分野/関心分野)放射線計測、放射線防護



## 解説

# 原子力の研究開発機関におけるメンタルヘルス 産業医としての関わりから

筑波大学 友常 祐介, 松崎 一葉

日本原子力研究開発機構に産業医として関わってきた立場から、職場を取り巻く環境と、その変化から職員に生じているストレスについて考察し、厳しい環境の下で精神的な健康と高いモチベーションを保つために必要な考え方や原子力機構が行っている取組みについて紹介する。また東日本大震災が原子力機構とそこで働く職員に与えた影響についても考察する。

## I. はじめに

私たちは2003年より日本原子力研究開発機構(原子力機構)の核燃料サイクル工学研究所(核サ研)で産業医として働いている。核サ研は、核燃料の製造や使用済み核燃料の再処理、地層処分についての研究開発を行っている事業場である。このような原子力の事業場の産業医というと、放射線業務などの有害業務に対する健康管理が主たる業務となる印象を持つ人も多いだろう(私自身も当初はそうであった)。しかし、他の職場と同様に、職員のメンタルヘルスの問題が職場に大きな影響を与えており、仕事の半分以上をメンタルヘルスの問題に費やしているといっても過言ではない。

原子力学会誌にメンタルヘルスの記事が掲載されるのは、若干、違和感を感じるかもしれない。けれども、原子力の事業場で産業医をやってきた私にとっては、今後、原子力が日本、世界に求められている役割を果たしていくためには、原子力に関わる労働者のメンタルヘルスの問題は避けては通れない道であると考えられる。本稿が原子力に携わる関係者のメンタルヘルスの改善につながればと願いながら綴る次第である。

## II. 原子力に携わる労働者のストレス

### 1. ストレスの特徴

原子力の事業場で働く職員のストレスにはどのような特徴があるだろうか。一般的には、放射性物質と隣り合わせの職場であり、被ばくのリスクがある環境下に置かれていることが挙げられる。しかし、原子力災害の頻度はそれほど高くないため、被ばくのリスクが直接的なストレス要因となることはそれほど大きくないように感じ

る。私が普段、職員と接していて、よく問題になるストレスとして3つほど例を挙げ、検討してみたい。

1つは、「仕事は増える一方だが、人、予算は増えない」といったすでにどこの職場でも生じている共通の悩みである。2つ目は、職員一人ひとりに求められる仕事の質がここ数年で大きく変化したことにより、身体面も精神面もついていけない、ということである。3つ目は、事業場において何らかの事象、事故が発生した際には、住民、周辺環境へ大きな影響を生じることが予想されるため、管理基準の厳格化とそのルールの厳守を求められているが、これに伴って生じるストレスである。

### 2. 人は増えないが、仕事は減らない

この悩みは、おそらく原子力だけでなく、どの業界でも問題になっていることであろう。私たちの研究グループは筑波研究学園都市の教育研究機関をはじめとして、様々な事業場で産業医を務めている。どこの事業場からも「仕事は減らせないが、人、予算は増やせない。それでもメンタルヘルスの問題を減らすことはできるのか」といった要望があるが、これまでの研究成果に基づいて、ある一定の成果を出すことができている、と考えている。

その参考となるのが、筑波研究学園都市の教育研究機関を対象として5年に一度実施している職場のストレスに関する大規模な疫学的調査である。筑波研究学園都市は、国の政策により多数の教育研究機関が集約されているといった特色があり、研究者の数は日本の他の地域に比して群を抜いて多い。

本研究の結果から、特に事務系の職員と研究系の職員を比較すると興味深い結果が得られた。研究系においては、量的な負担や質的な負担が非常に大きい一方で、達成感や裁量権が得られており、心身の健康度については、研究系の職員のほうが事務系の職員よりも良好な状態にあったということがわかった。また、共分散構造分

*Mental Health in the Atomic Energy Research Institution*  
—From the Viewpoint of Occupational Physician :  
Yusuke TOMOTSUNE, Ichiyo MATSUZAKI  
(2011年 8月9日 受理)

析の結果からは、精神的な健康度に対して、量的、質的負荷などのストレス増強要因よりも、裁量権、達成感などのストレス緩和要因が3倍程度強く作用していることがわかった。つまり、仕事を減らすよりも達成感を与える方が約3倍もストレス軽減効果があるということである。

裁量権、達成感の与え方、感じ方は職場や職種によって異なるため、その方法について一概に述べることはできないが、一つの手かがりとしては努力-報酬不均衡モデルを意識しながら、努力と報酬が不均衡にならないように労務管理をすることが挙げられる。ストレスは「仕事の要求度」や「費やした努力」に対して得られる「報酬」のバランスが悪くなったときに生じる。要求度とは、仕事の難易度の高さや、責任や負担の重さなどである。たとえ負担の重い仕事であっても、努力に応じた報酬が得られれば主観的なストレスは軽減される。一方で、努力に見合った報酬が得られない場合には大きなストレスを感じる。例えば、業務遂行に長期間を要したにも関わらず、途中で方針が転換され費やした多大な労力が水の泡になってしまう、といった状況が挙げられる。努力-報酬不均衡モデルという報酬とは、金銭的報酬やキャリアの報酬だけでなく、上司や同僚、外部機関からの評価や、やりがいのある仕事へのチャレンジなど「心理的な報酬」なども含まれる。したがって、仕事を結果のみで評価するのではなく、努力の過程も含めて評価をするなどの工夫も非常に重要であると考えられる。

### 3. 求められる職務の急激な変化

2つ目に、ここ数年で職員に求められる仕事の質が大きく変化していることが挙げられる。核サ研は、国策である核燃料サイクルにおける核燃料の製造と使用済み核燃料の再処理の実務を担っている。つまり、工場のラインで工程の管理・運転を行う職員が多く、いわゆる現場での仕事がメインであった。しかし、民間への技術移転が進むにつれて、次世代につながる研究開発が求められるようになり、自らの存在価値について考えるためにデスクで頭を悩ます時間が多くなっている。

また、近年のトピックスとして施設の耐震性に関する問題が上げられる。職員と話をすると「現場の運転業務をずっとやってきたのに、耐震性の診断と安全基準の検討など、経験したことがない仕事をやっている」といった話がでることもしばしばである。このようなことから、仕事の質が大きく変化してしまい、ストレスを抱えて体調を崩す職員は少なくない。原子力という専門性や機密性が極めて高い職務においては、特定の分野の仕事に長く従事せざるを得ない。つまり、職員の適応能力が低いということではなく、他の環境への適応がスムーズにいかない業務上の特性があると考えられるべきであろう。

また、原子力の安全性には前例となる基準がなく、次々と変化する状況に対応しなければならないといった質的

負荷の高さも影響している。本来であれば、産業医が原子力を取り巻く環境と職員の苦悩を理解し、個人の適性や背景を考慮して、かつ職場のトータルの生産性が向上できるように助言できればよいのであろう。しかし仕事が多面化している状況においてはそのような環境調整も難しい。産業医は職員と職場のコミュニケーションの潤滑油となり、お互いの苦悩を労いながら、少しでも意欲を持って職務に取り組むための支援をすることしかできないことは非常にもどかしいところではある。

### 4. 原子力に特有のストレス

3つ目には事業場における様々な事象に伴って生じるストレスが挙げられるが、これは事業場の雰囲気から生じるストレスともいえるかもしれない。「事故」からストレスが生じることは理解できるが、あえて「事象」としたことに理由がある。原子力の世界においては、万が一「事故」が生じた際に周辺に与える影響が甚大であるため、惨事につながる可能性が低い「事象」ですら発生させたいけないという雰囲気が漂っている。

もちろん、事象、事故が頻繁に生じているわけではないし、そうなるのは困るのであるが、原子力災害により生じうる事態を考えれば、このような雰囲気が生じるのも当然のことでもある。しかし、本来危険と隣り合わせであるはずの職員の中に「安全、安心を守ることをストレスと感じてはいけない」といった意識が生じ、ストレスを無意識に抑圧しているのでは、という印象を受けることがある。これは産業精神医学の立場からすると好ましいことではない。ある集団において共通のストレスが生じている際には、それをお互いに認め合い、ストレスとなっている要因についての認識を共有しておくことが、精神的な健康を保つために非常に重要になる。

また、自分が抱えているストレスを相手が理解している、相手のストレスを理解できている、と感じることは、お互いの信頼関係にもつながる。相手が何を考えているかわからないまま仕事をしていると信頼関係が築けず、精神的な健康にも悪影響を及ぼす。当然、ストレス要因は、関係者の認識を共有しても解決できるものばかりではない。しかし、誰にでも「話してみても自分が何に悩んでいるのかが整理できた」「悩んでいるのは自分だけではないことがわかり、気が楽になった」といった経験があるだろう。組織においても、職員のストレス要因となっていることを認識、議論することにより、個々のストレス耐性が向上し精神的な健康が保たれるだけでなく、組織の脆弱な部分が明らかになり、トラブルの未然防止につながることも多いのではないだろうか。

最近ではリスクコミュニケーションといった取組みが活発になってきており、周辺住民の方に、安全性について説明するだけでなく、存在しているリスクについても積極的に話し合うことにより、不安の軽減につながられ

ることができる」と聞いている。「安心」は感情的な問題でもあり、知識を得ることや取組みを目にすることだけではなく、関係者の中での信頼関係が構築できるかが重要になる。

原子力に関わる労働者は、事務系、技術系、研究系などの職種や職位などの立場に関わらず、原子力が世界で求められている役割を果たすべく職務に邁進している人がほとんどである。それが故に一人ひとりが非常に大きな使命感、責任感を有している一方で、「弱音を吐いてはいけない」といった無意識の想いがあるかもしれない。しかし、周辺住民とのリスクコミュニケーションがあるように、職場の中のもっと小さい単位でのリスクコミュニケーションのようなものを行って、互いの信頼関係を構築するための取組みの必要性を感じている。

### Ⅲ. モチベーション維持への取組み

このような厳しい状況の中で、人事労務部門と産業保健スタッフが連携して、職員一人ひとりが自ら精神的、身体的健康を維持し、高いモチベーションを保って職務に取り組むことができるように支援する活動が始まっている。これは、従来から行われている「疾病への対応」としてのメンタルヘルス活動ではなく、積極的にモチベーションを向上させるための取組みである。

本取組みの実施にあたって、中心的な考え方になるものが「首尾一貫感覚(Sense of Coherence: SOC)」という概念である。この概念は「なぜ病気になるのか」といった病気の原因を考える疾病生成論的な考えの対称に位置し、「なぜ健康でいられるのか」という健康生成論的な考えから生まれてきたものである。

これはユダヤ系米国人の保健医療社会学者アロン・アントノフスキー(社会学)が、ユダヤ人の強制収容所という極度に過酷な体験をした人を対象とした研究から生まれた概念である。明日、ガス室に送られ、皆殺しになるのではという究極のストレス下でも、精神的健康を保ち、その経験を人間的な成長や成熟の糧にさえして明るく元気に生きている女性を調査対象に、なぜ、彼女らはそのような過酷な環境下でもストレスに上手に対処できたのかを研究したものである。

首尾一貫感覚は、ストレスの原因に対して「有意味感」、「把握可能感」、「処理可能感」という3つの感覚からなっている。「有意味感」とは直面した出来事をポジティブにとらえることができる力である。有意味感が低いと、仕事の意義がわからないと真剣に取り組めない、やらされ仕事にとらえてしまう、といった傾向がある。一方で、有意味感が高いと、自身にとって興味がない仕事であっても、「いつか役に立つかもしれない」といったとらえ方で仕事に取り組むことができる。「把握可能感」とは直面した出来事や問題を把握しその後を予測する力である。把握可能感が低いと、つらい場面において、「つ

らさが永遠に続くのでは」と、直面している問題のみに意識が集中してしまう。把握可能感が高いと、状況についての見通しを元に考えることができ「今週を越えれば、少し余裕ができる」、「来月はずっと忙しいので、早めに相談しておこう」など、現在と将来におけるストレスの影響を主観的にも客観的にも小さくすることができる。「処理可能感」とは一見先の見えないつらい出来事でも、「何とかなる」と考えることができる力のことである。処理可能感が低いと、これまでの業績についても「これまでは偶然うまくいっただけ」、「今後はうまくいかないかも」と状況をネガティブにとらえてしまう。処理可能感が高いと、これまでの経験を元にして、自分にできること、できないことを的確に把握し、必要な準備や努力をすれば対処できるととらえることができる。

首尾一貫感覚についての研究は数多くなされており、この感覚を強く持っている人においては、心身の不調を来すリスクが低いだけでなく、社会的な健康も保持しながら人生を送ることができるとされている。

原子力の世界で働く職員にはまさしくこのような感覚が重要となる。前述したように、原子力の世界においては、自身が携わっている仕事の意義を見いだすことの難しさや、スパンの長い仕事をしているがゆえに、自身が置かれている状況が見えなくなる、どのように業務を進めていけばよいかかわらなくなるといったことが頻繁にある。したがって、首尾一貫感覚に基づいて仕事をとらえることができるか、職員の人材育成ができるかが重要となる。

一般的には、有意味感を高めるには、仕事の意味や位置づけ、展望を見せて、意義を感じさせながら仕事をさせること、把握可能感を高めるには、先々の見通しを示し、仕事の全体像を把握させること、処理可能感を高めるには、「前はこれだけできたじゃないか」、「今回はこういった努力をすればできるのでは」と、自信のない部分を支えることが有効とされている。

この取組みは開始されたばかりであり、私たちも期待と不安が入り交じっている状況にはあるが、試行錯誤を繰り返しながら効果的な取組みとしていきたいと考えている。

## Ⅳ. 東日本大震災による変化

### 1. 職員を取り巻く環境

原子力についての記事を執筆する際に、3月11日の大震災の影響は避けては通れないだろう。当初、茨城県は被災地として認知されておらず、報道を見ても県内の状況が正確に伝わっていなかった。私たちも震災後まもなく現地に入ったが、被災状況を目の当たりして改めて震災の影響の甚大さを実感した(茨城県内でも地域によっては被害状況が大分異なっていた)。多くの人が実感しているであろうが、震災後に私たちの思考過程は大き

く変わってしまった。これまで前提として考慮に入れていなかったことについても、震災後は「交通機関の運行状況はどうなっているだろうか」、「これまで関係していた企業は通常通り対応してくれるだろうか」といったことを必ず思考過程の中に組み入れるようになってしまい、迅速な意思決定ができなくなっているように感じる。

当然ながら、原子力機構においても施設、インフラの被害は甚大であり、震災直後は所掌する施設の保守管理に全精力を注いでいた。数ヶ月たった今でも、従来の業務に戻っていない施設、事業もある。

また、福島原子力発電所に関する問題に対しては、原子力機構は原子力に関する専門的な知識、技術を有した指定公共機関であることから、震災直後から様々な支援(福島支援)を行っており、これに伴う新たなストレス要因が生じている。したがって、適切な健康管理を行うため、個別面談だけでなく組織的な活動も開始している。

職員との面談からは「このような大変な状況の中で、自身のケアを優先することはできない」、「いまこそが原子力機構の使命を果たすときだ」、「被災地の方々と比べれば私たちは恵まれている」といった意識を感じる。これは職員のモチベーションが高いことの裏返しでもあるが、一方で抱えているストレスを抑圧し、自己の犠牲を省みず職務に当たっている状況ともいえる。

通常時においてもGW明けから6月は、新年度からの疲労が表面化し、心身の不調を訴える労働者が多くなる時期である。したがって、今年度は震災もあったため職員との健康相談の機会を増やしたが、6月末時点では思ったより職員からの自発的な相談件数は多くなかった。職員がモチベーションを保ち、心身ともに良好な状態で職務に従事できているため相談件数が少ないのかとも考えたが、個別に声をかけて話を聴いてみると「実は」と堰を切ったように抱えるストレスについて話す職員も多いことに気づいた。おそらく、前述のような気持ちで職員の中にあり、「自分は弱音を吐ける立場にはない」といったことを考えているのではないだろうか。

当然、急性期を乗り切るためには、こういったメンタリティーは必要であるが、長期にわたって緊張状態を維持すること不可能に近い。実際に、震災後1~2週間程度を境に、精神的にも身体的にも疲労感が認められ、仕事の質も低下しているのではといった印象も感じられた。

このようなストレスイベント時には、仕事や家庭で置かれている状況や立場が異なるため、精神状態は人によってかなり異なっている。また、目の前のことに集中し、ストレスとなっていることを忘れようとする人も多いだろう。その結果、「地震については気になっているが、誰もその話題について切り出さないで話せない」といった状況が生じる。一つ事例(右上段参照)を挙げて抱えている気持ちを抑圧することのリスクについて考え

#### 【事例】

震災後、40代男性が家族についての相談で来室。震災時には安全衛生関係の仕事をしており、震災発生直後から、緊急時対策本部に詰めることとなり数日間帰宅できない状況が続いていた。職場も被災したが自宅の被害も甚大で、電気、水道、電話が断絶された。数日間家族(妻、小学生の子供)と連絡を取ることができず、安否確認もできなかったが、立場上、職務を優先していた。震災3日後には、近くの避難所に逃げているといったことが職場の同僚を通じて確認できたが、顔を合わせてお互いの安否を確認できたのは1週間後であり、妻は本人の姿を見て泣き崩れてしまった。

自宅に戻った後も、本人は相変わらず多忙で被災した自宅の片付けなどを手伝えることはままならず、妻は余震のたびに「また大きな揺れが来たらどうすればいいのか」といった恐怖を感じながらじっと家で我慢する日々を過ごしていた。

その後、少しずつ日常生活は元に戻りつつあるが、妻は子供や本人を送り出した後に、涙を流してしまうことがあるとのことで、本人は「どう接すればいいかわからない」、「どのように声を掛ければよいのでしょうか」と悩んでいるとのことであった。

てみたい。

本事例では、地震に被災して大きな不安と恐怖を感じたにもかかわらず、その体験を家族と共有することができず抑圧していたことにより、家族間での感情的な問題が生じたということが考えられる。妻は、地震の恐怖、安否確認ができないことによる不安、子供を守るための不便な避難生活などから、心身に大きなストレスがかかっていた。その後、夫の無事を確認できたこと、自宅に戻れたことで安心できたと考えられる。しかし、少しずつ通常の生活に戻り、夫を仕事へ、子供を学校へ送り出すようになり「また大きな地震が来たら、もう会えないかもしれない」といった気持ちになり、涙が流れてしまう、といった状況になっていると考えられた。職員に対しては、しっかりと時間をとって「地震があって本当に大変だったね」、「日常は戻ってきたけど、また地震があって離ればなれになるのは怖いね」など、お互いの感情を認め合うこと、また、精神的に落ち着いたたら、緊急時の連絡方法や集合場所など、具体的な対策を決めておくことをアドバイスした。

職員からの個別の相談ニーズは今後も存在すると考えられる。また、産業保健スタッフが主導し、職場単位での小規模なレクチャーにより、ストレスになっていることについて話し合う機会を設けて、認識を共有する機会も必要になるかもしれない。

## 2. 期待される役割の変化への対応

福島支援業務には、電話相談対応、現地での環境モニタリング、国に対する人的支援、一時帰宅者のコーディネート、地域における原子力に関するレクチャーの実施などが挙げられるが、状況は次々と変化している。

電話相談対応は、外部からの電話相談に応じるものであり、企業内のカスタマーセンターをイメージしてもらえばよい。相談内容は「自分がいるところは安全なのか」、「どうすればいいのかわからない」といった漠然とした内容から「自宅の放射線量を計測してほしい」、「食品は安全なのか」といった具体的なもの、さらに「どうやって責任をとるつもりなのか」、「現地で相談対応をするように」といった感情的なものまで様々なようである。テレビで特定の食品や地域についての報道があれば、その後には相談が増加する、住民の原子力に関する知識が高まることにより、レベルの高い質問も増加するという傾向もある。相談の多くは、不安をしっかりと傾聴し、相手の背景を考えた対応をすることにより「安心できた」、「ありがとう」といった言葉で終了するようだ。しかし、こちらから電話を切ることはできないため、数時間にわたって相談が続き、相手の感情面の訴えを正面から受け止めてしまい、大きな精神的なストレスを感じ、頭痛などの身体症状や不眠、抑うつ気分を訴える職員もいる。本業務に対応できる職員は、原子力に関する幅広い知識を持ち、なおかつ自らの仕事を中断することが迫られるため、非常に限られてしまう。施設を持っている部署では、運転はしてはなくても保守管理のための人数が必要である。また、取り扱う放射性物質については知識、経験を持っているが、住民からの幅広い質問に適切に対応することに相当苦慮する職員もいる。したがって、一定の職員に本業務が集中し、精神的なストレスが非常に高くなる傾向にあるため、精神・心理面での支援が必要になる。

核サ研ではこれらの福島支援業務を「健康管理が必要な業務」ととらえ、組織としての支援も開始している。具体的には、福島支援業務への従事前後において調査票を用いた健康チェックを所属と産業保健スタッフで実施し、健康問題の有無を確認している。当然、調査票だけで判断はできないため、本活動の中で産業保健スタッフ、所属でコミュニケーションをとり、個別のリスク評価を行うとともに、福島支援に必要な管理体制(従事日数や回数、必要なフォロー体制など)を検討することを考えている。

本稿を執筆している最中にも、職員には次々と新しい取組みについての依頼が来ており、今後の状況によって期待される業務の内容が刻々と変化する可能性がある。近年の原子力機構では、自ら存在価値を証明しなくてはならないことが多かったが、今回の震災によって、外部から活躍が期待されるといった状況が生じている。これは、現時点では職員のモチベーションにとっては非常に

よい効果を生んでいる部分もある。しかし、福島県に対する支援は長期化することが予想されるため、支援業務はボランティアというスタンスでは、職員のモチベーションは長続きしないだろう。このような状況下においては、協力を惜しむ職員はおらず、多くが自分に何かできることはないかといったモヤモヤしたものを抱えているため、今後どのように関わっていくかを検討することも必要となる。実際に、本来の業務については手が着いていない状況もあり、職員の中からは「この状況はいつまで続くのか」、「いつになったら本来の業務に戻れるのか」といった不安の声も聞かれている。5月には福島支援本部が新設され、原子力機構の主たる業務の1つとなったが、今後も継続して職員への意識付けを行っていくことが重要になると考えられる。

## V. さいごに

私たちが産業医の立場から見てきた原子力機構の環境とその変化についてまとめてみた。職員の置かれている環境が多くの変因に左右され、急激な変化に対応することが求められるため、職員に多大なストレスが生じている。しかし、本稿で執筆したことは、私たちの考えの中だけに留めているものではない。経営層をはじめとして職員とのコミュニケーションの中で意見を伝え、必要な対応を話し合い、できることは始めている。今後も産業医という立場から、原子力の分野で働く職員を少しでも元気にするための積極的な活動を継続することを約束し、筆を置くこととしたい。

### —参考資料—

- 1) アーロン・アントノフスキー, 健康の謎を解く, 有信堂, (2001).
- 2) 松崎一葉, 笹原信一郎, “大学・研究所のメンタルヘルス”, 臨床精神医学, **33**, 869-875 (2004).
- 3) Y. Tomotsune, *et al.*, “Characteristic and changes of mental health among workers in Tsukuba Research Park City—From a Large Scale 5-Year Cross-Sectional Study”, *J. Phys. Fitness, Nutrition Immunol.*, **18**, 195-204, (2008).

### 著者紹介



友常祐介(ともつね・ゆうすけ)  
筑波大学  
(専門分野/関心分野)労働安全衛生, 産業医学



松崎一葉(まつざき・いちよう)  
筑波大学  
(専門分野/関心分野)産業精神医学, 宇宙航空精神医学

# 原子力損害賠償制度を見つめ直す 制度の背景、仕組みとその課題

日本原子力産業協会 富野 克彦

3.11東日本大震災に伴って発生した福島原発事故による原子力損害は、その規模、深刻さ、期間等において、かつてのジェー・シー・オー(JCO)臨界事故とは比較にならないものとなっている。そのため、50年前に制定された原子力損害賠償法制(原賠制度)の想定を質、量共に超えた様相を呈しており、現在、賠償支援機構法や仮払い法等の現行制度を補完する法案が審議されている。平時にはほとんど話題に上らなかった原賠制度がクローズアップされている今、この制度に関する創設、仕組み、JCO事故、課題等を紹介する。

## I. 原子力損害賠償制度の起こり

第二次世界大戦直後の1946年、米国政府は原子力法を整備して原子力を軍事利用から平和利用への拡大を図り、さらにはアイゼンハワー大統領による「アトムス・フォア・ピース」演説の翌年1954年に新たな原子力法による許認可制度を整備するなど、民間による原子力平和利用を奨励した。そのような背景の下、巨額の賠償リスクの負担を嫌った民間企業側の強い要請もあり、原子力法を一部改正するプライス・アンダーソン法が1957年に制定され、原子力事業の被許可者に対する損害賠償措置の強制や、賠償義務者の責任額の制限などを備えた、初めての原賠制度が誕生した。

その後、米国が各国へ原子力プラントを輸出するにあたり、製造者や供給者の原子力損害賠償責任を免責とする法的制度を導入国に要求し、原賠制度は各国に原子力導入に不可欠なものとして受け入れられることとなった。さらに、多数の国が国境を接する欧州においては、国内の原賠制度に加えて国家間の原子力損害賠償ルールを規定する国際条約が作られた。

その結果、現在では原子力発電を行っているほとんどの国に原子力法体系の一部として原賠制度が整備されており、また世界には3系統の国際条約が存在している。しかし、我が国を含めすべての原子力導入国の条約加盟が実現している訳ではない。

## II. 日本における原賠制度の検討過程

我が国の原子力に関する法律制度は、1955年制定の原

*A Review of the Nuclear Compensation Regime—Background, Principles, Problematic Matters of the Regime:*  
Katsuhiko TOMINO.

(2011年 7月29日 受理)

子力基本法を中心に、組織法、規制法、災害対策措置法、損害賠償法と全般にわたっており、産業活動に関する法体系としては整備されているといえよう。

1956年の日米原子力協定に基づく細目協定締結の際の米国から、あるいは1957年の日英原子力協定交渉での英国から、我が国への核燃料提供につき提供者側の責任に関わる免責条項の要請がなされ、これらを機に我が国における原賠制度の本格的な検討が始まった。

原子力委員会は1958年に「原子力災害補償についての基本方針」を決定し、「原子力災害補償専門部会」の答申内容を骨子として、1960年に「原子力災害補償制度の確立について」を決定した。その後、1961年に原賠制度の根源となる「原子力損害の賠償に関する法律」(原賠法)と「原子力損害賠償補償契約に関する法律」(補償契約法)が成立し、以後、この原賠二法はおおむね10年ごとに見直しが行われている。最近では2009年4月17日に法改正が行われた。

## III. 原賠制度の基本的な仕組み

我が国の原賠法の第1条に「被害者の保護を図り、及び原子力事業の健全な発達に資することを目的とする」と明記されている通り、原賠制度は、万一の事故時に加害者側への損害賠償請求を容易にし、十分な賠償の確保により被害者保護を期することの一方で、事業者の巨額の賠償負担を保証する仕組みを明確化し、原子力事業の健全な発展を促すことを旨とする制度である。原賠制度を形作る基本的な原則は各国においてほぼ共通しており、次の5つに整理できる。

### 1. 賠償責任の厳格化

損害賠償における過失責任の原則は民法上の極めて重要なものであるが、原子力事故において加害者の過失を証明することは被害者にとって相当な負担となるため、

原賠制度では原子力事業者(=運転者)に対して「無過失責任」が採用されている。我が国の原賠法には第3条にこれが規定されており、第1項のただし書きにより「異常に巨大な天災地変又は社会的動乱」による場合のみ原子力事業者は免責となる。

このように、加害者の責任につき、通常「不可抗力」として免責とされる範囲を大幅に限定する厳格責任は、大気汚染防止法などの環境法や製造物責任法などにも採用されている。

## 2. 原子力事業者への責任集中

民法上は加害者が賠償責任を負うのが原則であるが、原賠制度においては加害者が原子力事業者に限定されることで責任を集中している。これは原子力事故が発生した場合に、巨額な賠償責任が原子力産業に関わる製造者、供給者、工事会社など幅広い関係者にまで及ぶ可能性があるため、これが原子力産業への広範な企業参入の障壁となる恐れがあり、また被害者にとっては賠償請求先が不明確になるという不利益があり、これらを回避するためである。我が国の原賠法は第4条に原子力事業者への責任集中が規定されており、さらに第5条で他者への求償権も制限されている。

## 3. 賠償責任金額の制限

原賠制度は原子力事業者に対して「無過失責任」や「責任集中」による厳しい賠償責任を負わせる一方で、事業者の賠償責任金額に制限を設定している。多くの国では一定金額以上の損害については事業者の賠償責任を免除し、事業者の負担金額を明らかにすることで、事故を起こした事業者に経営の見通しを与えることを可能にしている。なお、我が国のほか、ドイツ、スイス、スウェーデンのように責任限度額を設定せずに事業者に無限責任を負わせる国も存在する。

## 4. 損害賠償措置の強制

賠償義務の確実な履行を迅速に行えるように、原子力事業者は一定額の資金を賠償に備えてあらかじめ保険等により措置しておくことが強制される。この金額は多くの場合、事業者の賠償責任限度額と同額であり、万一の事故の際に被害者への迅速な賠償を可能にすると同時に、事業者にとっては偶発的な賠償負担が保険料などの経常的な支出に置き換えられることとなり、経営の安定化につながる。

我が国の原賠法には第6条に損害賠償措置が規定されており、さらに第7条では損害賠償措置は「原子力損害賠償責任保険契約及び原子力損害賠償補償契約の締結」もしくは「供託」により、一事業所あたり1,200億円(原子力炉の運転等の種類により1,200億円以内で政令に定める金額)とされている。

「原子力損害賠償責任保険契約」は原子力事業者が保険料を支払って損害保険会社と結ぶ保険契約であり、その引受けは日本原子力保険プールによって行われている。



第1図 事業者責任と賠償措置額の関係

「原子力損害賠償補償契約」は原子力事業者が国に補償料を納付し、保険でカバーされない①地震、噴火、津波によって生じた原子力損害、②正常運転によって生じた原子力損害、③事故発生から10年経過後に請求された原子力損害に関する原子力事業者による賠償を政府が補償する契約である。したがって、賠償措置額の範囲内の原子力損害は、原子力事業者による保険契約または補償契約により埋め合わされる(第1図)。

なお、巨額の賠償措置額を確保するために、保険による措置の上に事業者共済制度等を導入している米国やドイツのような国もある。

## 5. 国家補償

損害額が賠償措置額を超える場合、運転者が免責される損害の場合、賠償措置が機能しない場合など、賠償措置によって埋め合わせられない損害は国が補償することにより、被害者は確実に救済を受けると同時に事業者も保護される。国の政策として原子力を進めるうえで、民間企業である原子力事業者による原子力事故に対して国が最終的な損害賠償を確約することは、原賠制度の重要な特色である。

我が国の原賠法には、国の措置として第16条に賠償措置額を超える原子力損害について、政府は原賠法の目的(被害者の保護と原子力産業の健全な発達)を達成するために必要があると認めるときには、原子力事業者に対し必要な援助を行うと規定されている。また、この援助は国会の議決により政府の権限の範囲内で行うとされている。さらに第17条では原子力事業者が免責される「異常に巨大な天災地変又は社会的動乱」の場合などには、政府が「被災者の救助及び被害の拡大の防止のため必要な措置を講ずるようにする」とされている。これら措置について具体的な内容を規定したものは見受けられない。

## IV. JCO 臨界事故時の経験

1999年9月に発生したJCO臨界事故は日本において初めて原賠法が適用された事例であり、当時の制度に沿って賠償対応する中で、次のような貴重な経験が得られた。

### 1. 原子力損害の範囲の判定

原子力事業者が負担すべき損害賠償となる原子力損害は第2条第2項に規定されているが、賠償請求者とJCO間の迅速かつ円滑な賠償を進めるため、原賠法を所管する科学技術庁(当時)は「原子力損害調査研究会」を設置して、初めてとなる原子力損害の範囲の判定の指針を作成した。この経験を踏まえて直近の2009年原賠法改正の際、指針作りが「原子力損害賠償紛争審査会」の役割として付け加えられ、今回の事故に関する指針は原子力損害賠償紛争審査会において作成されている。

### 2. 仮払いの実施

JCO 臨界事故においては、事故後2～3ヶ月が経過しても賠償基準の提示や賠償金の支払い開始がなかったことから、被害者への対処の一環として、茨城県および関係自治体の仲介により、JCOは請求額の半分以上を仮払いすることとなった。元来、仮払いは法的な根拠に基づくものではないが、今回の福島原発事故においても、JCOの場合と同様に、東京電力は仮払いを実施している。

### 3. 損害額が賠償措置額を超えた場合の扱い

JCO 臨界事故による損害賠償額は、当時の核燃料加工工場の賠償措置額である10億円を大きく超えて約150億円にも上ったが、原賠法第16条に規定される国の援助が発動されることはなく、賠償のための資金は親会社が対処することとなった。

## V. 福島原発事故により顕在化した課題

福島原発の事故により発生した原子力損害賠償は、極めて大規模な自然災害が事故の引き金になったこと、放射性物質の多量の放出を伴うこと、広範囲に影響を与えたこと、損害発生期間が長く容易に収束が見通せないことなどの点において、JCO 臨界事故の賠償とは大きな違いがある。これらにより、以下のような原賠制度の課題が改めて明らかになった。

### 1. 事業者の責任範囲の曖昧さ

事業者の免責規定については、上記Ⅲ-1節で述べたが、この「異常に巨大な天災地変」の明確な定義はないため、今回の事故原因である巨大な津波が「異常に巨大な天災地変」に該当するかどうか、この条項の適用をめぐる様々な議論が起きた。

ともあれ、政府は現在、事業者が一義的に賠償責任を有することを前提として、賠償に関する手続きを進めている。

### 2. 無限責任を担保する仕組みの不透明さ

賠償措置額を超える原子力損害に関連しては、上記Ⅲ-3～5節で述べたが、政府による事業者に対する「必要な援助」の内容はあまり定かなものとされており、今回のような巨額な原子力損害が見込まれる場合には極めて重要な事項となっている。

今回事故で予想される巨額な賠償額に対応するため、

損害賠償措置を超える賠償額に関しては、現在「原子力損害賠償支援機構法案」が国会で審議されており、今後細部が明らかになるものと思われるが、一部、米国の原賠制度と似た部分もあるものの、従前の原賠制度とは異なり、賠償にあてる資金拠出の枠組みを設ける点において特徴的な措置になっている。

### 3. 国をまたぐ損害賠償問題

今回の福島原発事故では高濃度の放射性物質が他国に飛散することはなかったが、近隣諸国間との国をまたぐ原子力損害賠償問題の可能性が以前にも増して意識されるようになった。万一、国境を越えた他国に原子力損害が及んだ場合、各国の国際私法に基づいて賠償対処が行われることから、各国での訴訟の多発、裁判の長期化、被害者間の賠償の不公平など、被害者にとっても事業者にとっても多くの問題を抱えることになる。原賠制度が各国間をまたぐ損害賠償に有効なものとするためには、二国間あるいは多国間において原賠制度に関する条約を締結する必要があるが、いまだ我が国を始め近隣アジア諸国は原賠制度に関するいずれの条約にも加盟していない。

## VI. 結言

不幸にして、大震災に伴って発生した今回の原発事故は、現行の原賠制度の想定を超える規模となった。しかし、多大な損害が発生している以上、これに対する賠償問題の円滑、迅速、公正な処理が、現行の原賠制度に基づく紛争審査会の指針や政府による援助措置によって確実に行われることを願うとともに、前回のJCO 臨界事故が原賠制度の改正に影響を与えたと同様、今回の事故を通じて我が国の原賠制度がさらに拡充され、進化することを期待する。

### —参考資料—

- 1) 科学技術庁原子力局監修, 原子力損害賠償制度, 通商産業研究社, (1995).
- 2) 下山俊次, 未来社会と法 IV. 原子力, 現代法学全集54, 筑摩書房, (1976).
- 3) 文部科学省ウェブサイト,  
[http://www.mext.go.jp/a\\_menu/anzenkakuho/baisho/1304756.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/anzenkakuho/baisho/1304756.htm)
- 4) 日本原子力産業協会政策推進部, あなたに知ってもらいたい原賠制度, (2010).

### 著者紹介



富野克彦(とみの・かつひこ)  
(社)日本原子力産業協会  
(専門分野/関心分野)原子力政策/特に原子力損害賠償制度, 原子力産業の海外展開, 核燃料サイクル, 新型炉



## 報告

## チェルノブイリから25年

## クルチャトフ研究所 ベリホフ総裁 レベル7の事故を語る

日本原子力産業協会 桜井 久子

平成23年6月中旬、日本原子力産業協会は協力協定を有するロシア国立研究センター「クルチャトフ研究所」のエフゲニー・パープロビッチ・ベリホフ総裁(=写真)が来日したのを機に、東京都内で「チェルノブイリ事故から25年—福島第一原子力発電所事故への教訓」と題する講演会を開いた。4号機の事故の収束に大きな力を発揮した同研究所の実績を紹介するとともに、「チェルノブイリ原発事故は原子力産業の発展のみならず多方面に影響を及ぼした。が、事故に備え、対策を講じることは事故前にもできたはずである」と述べ、国際原子力事象尺度(INES)でレベル7を記録した同事故を述懐した。



1986年4月26日のチェルノブイリ事故直後、政府は事故の規模を把握、首相自らが議長となる政府調査団が作られ、原発敷地内に対策本部を設置、副首相が対策本部長を務めた。チェルノブイリ原発(旧ソ連製 RBMK 型炉)の設計、製造の監督機関であったクルチャトフ研究所(KI)は、政府の対策本部の科学技術面の支援のため、事故数日後に専門家からなる機動本部を現地に派遣した。同年5月から11月にかけて放射性物質の放出を抑えるためにシェルター(石棺)建設作業が行われた後、KIは総合調査団(最大で3,500人)を現地に派遣した。ソ連崩壊後、同原発の処理はウクライナの所管となり、国際的な枠組み Intersectoral Scientific-Technical Centre (ISTC) "Shelter" の核放射線安全局の科学監督者として参加していくこととなった。常にKIの職員1,000人が現地で作業、職員の参加は自由意志であった。非常時の従事者の許容被曝線量は250 mSvであったが、KIの職員は1,000 mSvを限度値とした。

4号機の事故は反応度事故であり、一瞬にして出力が急上昇、水蒸気爆発で原子炉建屋が破壊され、炉心が吹き飛ばされた。水素爆発の寄与についていまだに議論が続いているが、水が黒鉛とジルコニウムと反応するよりも先に圧力管内の圧力が急上昇して上蓋遮蔽盤が垂直に持ち上げられたのだと思う。この結果、何百万キュリーの放射性物質が放出された。実態を確かめるにはヘリコプター上空から観測するしかなかった。飛行1回あたり

の被曝線量は10 mSv。蒸気ではなく黒鉛燃焼による白煙があがり放射性物質が放出されていた。

最大の懸念は燃料の所在であり、各種測定データを送るためのBUOYとよばれる測定装置をヘリコプターから設置し、温度、風速、熱流速、また、主にガンマ線量を計測した。5月15日の段階で燃料が原子炉建屋内に96%以上あることがわかった。建屋の外側～敷地内に0.3～1%、敷地外3～80 kmで1.5%以下、80 km以上の場所で1.5%以下であった。1986年8月、IAEAでレガソフ第一副所長が報告したが、今日まで行われた調査結果から、その報告がおおむね正しかったことがわかっている。

放射性物質の外部拡散で3つのルートを危惧していた。①(雨、風、火災による)大気への放出。火災鎮火のため上空から砂散布。シェルター建設；②水蒸気。破壊された建屋の様々な区画に大量の水流入により吸上作業；③チャイナ・シンドローム。事故3日後にヘリコプターからみた光景では既に炉心(燃料)は落下しており、1箇所に集まっていれば再臨界を起こし、地下水に浸透、プリピャチ川、ドニエプル川、黒海を汚染し、ウクライナのみならずヨーロッパを汚染する危険があった。炭鉱夫の英雄的な仕事により炉の下面にトンネルを掘って熱交換器を設置、コンクリート床を冷却した。また、地中に鉄板を打ち込み、雨水対策を施すなどして放射性物質の移動を防いだ。

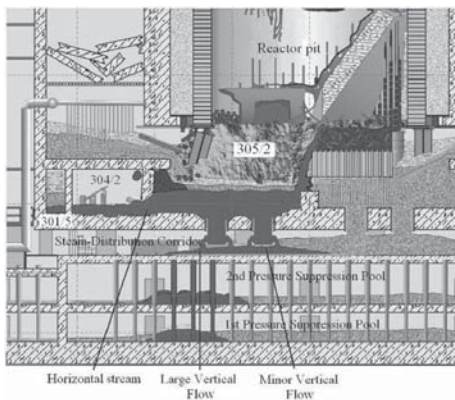
完成したシェルターには穴も多く、それを通じて放射性塵埃が外部へ放出することが懸念された。内部の燃料含有物質(FCM)の状況を知るための94の測定チャンネルからなるモニタリングのほか、大気、地下水汚染など

*Twenty-five Years after Chernobyl Accident—Lectured by Academician Evgeny P. Velikhov, President of National Research Centre "Kurchatov Institute", Russia: Hisako SAKURAI.*

(2011年8月5日 受理)

の複数のモニタリングシステムを作った。これらのシステムは常に更新され今も作動している。さらに、燃料、放射性物質の所在や形状を長い時間をかけて調査しなくてはならなかった。シェルター建設の際に建屋に投入したコンクリートに阻まれ炉周辺区画へのアクセスは難しく、原子炉建屋に150個の穴を掘削、最長10 mほどの水平の貫通部を設けパイプを埋め込み、強い放射能条件下でも撮影可能なペリスコープやカメラを開発して撮影した。この映像により炉心がもはや存在しないということに皆が納得した。温度、熱流速、ガンマ線量のほか、再臨界の可能性を調べるために中性子線も計った。ガンマ線量は32 Sv/h。これより高い箇所もあった。さらに、国内および諸外国提供の高性能ロボットは高い放射線量下では作動せず、KIで開発した構造的にシンプルなロボットも使用した(10 Sv/h 以上でも作動)。

調査の結果、FCMには、炉心の残がいや塵(ホット・パーティクル)、溶けて固まった溶岩状燃料(Lava)、ウラン水溶液があることがわかったが、比較的均一に分布していた。なお数ミクロン単位の塵は人間が呼吸する際に最も危険なものである。数十 Sv/h の線量の区画ではサンプル採取の作業がわずかに数秒しかできず、数百 Sv/h の線量でいまだにアクセスできない場所もある。事故前の燃料重量190.2トンのうち、～5%が外部に放出、～80%が炉内に、残りはアクセス不可の場所にあることがわかった。Lavaは1,500℃以上でCsは既に揮発、上下2段のサブプレッションプールに流出した(下図)。



塵の飛散を防ぐために樹脂を散布したが、竜巻、地震、突風等でシェルターが破壊されるとウラン量で換算して5トンの放射性塵のうち、100 kgが外部放出と予測される。水は放射性物質を拡散させると同時に、放射性物

質を濃縮させて再臨界をもたらす恐れもある。現在のシェルターでは雨水等が年間約2,000 m<sup>3</sup>が流入し、蒸発が年1,500 m<sup>3</sup>、漏れが年～800 m<sup>3</sup>確認されている。UO<sub>2</sub>の燃焼度にも関係するが、Lavaに水が混入すると再臨界の危険が高まる。U-235(1.1%濃縮度)水溶液の濃度90 g/l以上で臨界危険性が増すが、実際の濃度は0.3 g/lであり、臨界危険性はないと考えられる。が、常時モニタリングは必要である。

シェルターは潜在的に崩壊する危険性があり、ロシアとウクライナの専門家はそのリスクを軽減するためあらゆる方策をとってきた。1989年にKIは第2のシェルター計画を提案、今日の新シェルターの原型となった。その後、ロシアとウクライナの専門家による研究をベースとし、既存のシェルターの外側に設ける第2シェルター建設の国際プロジェクト(Shelter Implementation Plan:SIP)が計画され、2008年には既存シェルターの安定化作業が完了した。新しいシェルターは既存シェルターの上にアーチ型の覆いをスライドさせて設置するが、新シェルターの建設完成(～2012年)、4号機の解体、燃料や廃棄物の撤去作業(2012年～)の予定は約5億米ドルもの資金不足から遅延している。ウクライナは国際社会に対し国際チェルノブイリ基金へのさらなる資金供与協力を依頼している。

新シェルター完成後、燃料・放射性廃棄物の取出し、最終処分にはさらに何十年もの歳月が必要とされる。燃料の形状もいろいろあり、それに合った回収技術を考えなければならない。Lavaも時間が経つと埃となるがフック化物の形で回収する方法も検討されている。

福島第一原発では、燃料がどこにどんな状態にあるのかを把握する必要があるが、チェルノブイリと同様な措置をとることが必要なのではないかと考える。また、ロシアが有する炉心溶融挙動の研究や水素爆発のプロセス実験、さらには、原子力潜水艦の解体から放射能汚染土壌の除染・処分から得られた経験、知見を福島第一原発事故の収束に活用することができるのではないかと考える。

#### 著者紹介

桜井久子(さくらい・ひさこ)

(社)日本原子力産業協会

(専門分野)国際協力、主に、ロシア・旧ソ連地域との原子力協力事業に従事。

# 談話室

## 広島から福島へ

From Hiroshima (Wide Islands) to Fukushima  
(Happy Islands).

東京工業大学 澤田 哲生

2011年8月6日広島そして福島で見て想ったことを綴ってみたいと思います。

はじめに

『そうだ福島に行ってみよう!』と、子ども宣言を聞いて思い立った。それは、2011年原爆忌広島朝8時30分、広島平和祈念式、子ども代表による『平和への誓い』が終わり、続いて菅総理が登壇しようという時だった。祈念式後、帰路の市バスの中。原爆忌の号外(中国新聞)を、何度となく広げて閉じて、心無しか頭を傾げている女性がいた。号外のタイトルは『エネ政策見直しを』。

### 66年目の原爆忌

ここに来るようになって、何回目だろうと思いつつ、グラウンドゼロに今年も立った。線量計を取り出した。数値が安定した。0.20  $\mu\text{Sv/h}$  だ。少し高いな。ここは、一般参列者席。今年は黒い雲が空を覆い、そう暑くはない。平和記念公園の杜は、まさに蝉時雨の嵐だ。クマゼミの“カンシャ、カンシャ、カンシャ〜”の鳴き声がとてもうるさい。が、そのうち泣き声のようにも聞こえて全身に迫ってくる。



バスなか

7:00 「南妙法蓮華経〜」と太鼓を叩きながら唱える黄色い袈裟をまとった10人ほどの僧が、記念碑への参道をゆく。気温は29℃。線香があたりに漂う。人々が続々と献花に足を早める。場内アナウンサーが、手元のパンフに挟んである折り紙で“ペーパークレーン(折り鶴)”を織って奉納してくださいと呼びかける。

7:22 “Diplomatic Mission”の看板嬢に導かれ、大使らが入場。今年は、EU、英米露の大使を含む約60カ国の代表が集まったとか。中には、ハンディビデオをパンしながら入場の方も。大使といえども観光気分だ。

7:35 馬淵前国交相。横路衆院議長、谷垣自民総裁、福島瑞穂



平和祈念館



原爆記念碑&ドーム

さん、片山さつきさん、山口公明党首、西岡参院議長、松本外相、中川さん、衛藤さんなどが続々入る。福島さんが通りかかるなり、私の隣の喪服のご婦人が「ふ・く・し・まさあ〜ん!」と黄色い声をあげた。福島さんはその声の主を確かめるように、何度も振り向いた。つい先週、長野で開催された『みんなのエネルギー・環境会議』のパネルで一緒したばかりだった。ご婦人は隣の娘さんに「かわいい方ねえ」と。ことほど左様に福島さんは人気なのだ。菅総理は黒塗りで直に最前列に乗り付けた。今度はご婦人の娘さんが「あら、あれって特別待遇。無駄遣じゃないの」とつぶやいた。

07:55 献水。開会前の慣しである。被爆し、水を求めてさまよった人々への鎮魂である。

08:00 『ブッハッ、ブッハッ〜』重厚で悲壮感漂い腹の底に響くプラスの音。中学生プラスバンド隊員たちが記念式の開始を知らせる。場内アナウンスが「定刻になりました」という。まずは、原爆死没者名簿の奉納。アナウンスが、今年で累計27万5,230名と伝える。

08:02 式辞

08:07 献花

08:15 「黙祷!」のアナウンス。ゆったりと衝かれる平和の鐘が響く。周囲の杜からはクマゼミの蝉時雨。そして、そのさらに外側から遠吠えのようなシュプレヒコールが熱気を含んだ空気を伝って聞こえてくる…

蝉しぐれ鐘は泣く平和の鐘に

08:16 被爆二世松井一實市長の平和宣言。今年の新しい試みは、市民から公募した被爆体験を宣言に盛り込んだこと。市長の目線が伺える。宣言の後半は3.11に関してだ。福島のは66年前の広島の姿を彷彿とさせるといい、“核と人類は共存できない”との思いから脱原発を

主張する人々、原子力管理のなご一層の厳格化とともに、再生可能エネルギーの活用を訴える人がいますと言及する。そして政府は早急にエネルギー政策を見直し、具体的対応策を講じていくべきですと。平和宣言が国家のエネルギー政策に踏み込んだ言及をするのは恐らく始めてであろう。その場において、松井市長は、長崎で被爆し死んでいった永井博士の思い(『長崎の鐘』)をいまどのように自身の心のなかに位置づけているのだろうか、ふと思った。私たち皆ももう一度深く考えるべきことか。

08:23 放鳩

黒い雲鳩舞い巻いて原爆忌

08:24 平和への誓い—こども代表

市内の小学6年生の代表男女各1名が力強く宣誓。

……(66年前)悲しみに満ちた広島に草木が芽生えました。人々は平和への強い思いをもって、復興に向けて歩み始めました。——(中略)——

わたしたちは。人間の力を信じています。

人間は、相手を思いやり、支え合うことができます。

人間は、お互いに理解し合い、平和の大切さを伝え合うことができます。

わたしたちは、今を生きる人間として、夢と希望があふれる未来をつくるために、行動していくことを誓います。……

子ども宣言を聞いて、わたしたち日本人の未来は福島にあると思った。

8月6日午後6時、第42回福島わらじ祭り

米どころ“瑞穂のくに”福島への移動中に、福島市は今夜祭りだとの情報を得た。福島在地霊に引寄せられたのだろうか。原爆忌の夜に引寄せられた地でまつりとは気が利いている。

福島駅17:35, 0.32  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ だ。ここに来るとまずはラジウムそばを頂く。『今月のおすすめトッピング:ラジウムたまご(温泉たまご)60円』と札が張ってあった。駅中のショッピングモールも駅外も人人人、うねるように老若男女が歩いている。目指すは『わらじ祭り』のメイン舞台がある栄町の交差点広場である。駅中で野菜を売っていたので、福島産のトマトとキュウリを購入した。駅前

の露天で0.50  $\mu\text{Sv}/\text{h}$ 。広場に向かう途中、キュウリの一本漬けをおやつに買った。愛想の良い店主と女将だった。広場に向かう途中、すでに何組もの踊りの連がたむろしていた。肌も露だ。その脇を、浴衣姿の子ども達が父親に手を引かれて急ぐ。私もつい足早になる。広場につくと、聞き覚えのある声が拡声器か



きゅうり

ら流れてきた。プラザートムの『わらじ〜、わらじ〜、わらじっ、わらじ〜〜』というラップのお囃子だった。広場ではちょうど台湾の舞踏団が龍の舞を披露していた。震災だからこそあえて応援に駆けつけたという。こういうときの外国からの応援は心強い。さすが台湾だ。

そして、ラップのわらじ〜に合わせて、各連の踊りが始まっ



第42回わらじ祭り(台湾の龍の舞)

た。ダンス教室、大学生、高校生、サークルなどなどの連が次々に思い思いの振り付けをこらして、おどりながら練り歩いていく。みんな笑顔で、威勢がいい。福島心意気と朗らかさを見た。

復興への心意気

祭りの輪の中において何か違うと感じた。メディアから伝わってくる福島と随分印象が違った。そしてハッと思った。私は20数年前、ベルリンの壁が崩壊するときドイツに住んでいた。日本の友人が、日本の新聞テレビでは「ドイツ全土がまるで革命前夜だ。君の住んでいるところもさぞかし大変だろう。気をつけろ」という。ところが生活者の目線ではそんな気配は全くない。ベルリンのごく局所的な出来事だったのだ。

ヒロシマ、ナガサキになぞらえて、福島をフクシマと綴るのは間違いであると強く感じた。この朗らかで、心根の強い福島の人々に失礼なのではないかと思った。



福島学院大学 踊り連

確かに、ここ福島市と浜通りをはじめとする避難地域とは事情が違うことを忘れてはならない。福島県からはすでに小中学生の1割ほどが県外に移住しているという。私たちは今から未来に向けて、個々人がそれぞれにできる復興に向けての実践を模索しないといけない。

わらじ祭浴衣の童父の掌

(2011年 8月6日記)

## ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

### 福島は被災者は怒る、問う、求める

河北新報社 寺島 英弥

3月11日の大震災発生直後から、現場を歩いてきた。雪の石巻に始まり、大船渡、陸前高田…。廃墟となった街や集落を訪ね、人の話を聴き、「ふんばる」という社会面連載を、後輩の記者たちと一緒に取材してきた。その間、心に重く抱えていたのは郷里のこと。

のどかな人情、豊かな海の幸、夏の野馬追と相馬盆歌。そんな田舎の相馬市に80代の両親が暮らす。南に45キロの福島第1原発が異常事態となり、爆発が起き、建屋の屋根が飛び、原子炉でメルトダウンが進む危ぐが報じられるたび、焦りが募った。「放射能なんて、この年になると怖くもない」という親の言葉に甘え、離れて仕事をする自分に憤った。

帰郷したのは震災からようやく2週間後。「原発事故のあおりで若い職員らが避難し、残ったわずか10人で、70人のお年寄りの命を守っている」という同市内の老人保健施設からのSOSを受けて、取材に走った折だった。以来、「取材者であり、否応なく当事者である」という、われわれ東北生まれの地元紙記者の宿命を痛みとともに携えている。

津波を命がけで乗り越えながら放射能のため漁の自粛に耐える相馬市の漁業者、「風評は、育てたコメの放射線量を自ら測って晴らしたい」と実証田を作った南相馬市の農家、計画的避難の指示にも「長年の村づくりの種を守るために残る」と語った福島県飯館村の農家の夫婦、街に踏みとどまる住民のために毎日の糧を焼き続けた南相馬市のパン屋の主人、「帰村の時、若者が働ける場を守る」と現在も操業を続ける飯館村の工場主。多くの仲間と馬を津波と原発事故からの避難で欠きながら鎮魂の野馬追に涙した相馬市の騎馬会士…。

連載「ふんばる」、そして震災直後から書き続けるブログ(『余震の中で新聞を作る』)の取材を通して、原発事故のために日常と暮らしを奪われた多くの同郷人と出会い、その声を伝えてきた。「現地に通って、放射線は心配しないのか」とよく言われたが、「古里なんだ。そんなの関係ない」と答えている。「そこに人がとどまり、暮らしている限り、記者が声を聴きに行くのは当たり前。こちらも、いまふんばらずに、いつふんばるんだ？」と。

以下は4月30日夕、飯館村を訪れた東京電力副社長(当時)の説明会で聴き、ノートに記した住民の発言のごく一部。本ブログ29回「怒りの夜」を読んでみていただきたい。

「どれだけ体内被ばくをしているか、分からない。測定する機械があるのなら、持ってきてほしい。中国製の測定器で測ったら、私の(家の)周りの放射線量は10~15マイクロシーベルトだった。工程表というが、現場で作業を担っている人の健康はどうか。過去にもデータ改ざんの実績があるあなたたちに、『脱原発』を宣言してほしい。でないと、みんなうそじゃないかと思えてくる。今日の説明会で終わりにしないで。村の再建に、(東電の)若い幹部を参加させなさい。今までマスコミを使って『安全だ』と言ってきたことを、今後は一切やらないで。取材に来ているマスコミの人たちも、よろしくお願いします」

「静かに耐える東北人」などと言わないでほしい。原発事故の責任者を求めて住民の怒りが爆発したこの集会での発言は、これまで原発報道にも「客観」というものが存在しなかったとの指摘と感じた。客観とは、正確な情報やデータの開示を得て初めて成りたつ。本紙報道では、放射性物質拡散予測の「SPEEDI」の結果が初めて公開されたのは事故2カ月近く経過した5月3日。原子炉で最悪の事態が起きていたという重大なニュースも、はるか事後のこと。その間、村の住民は頼るべき情報もなく、不安と混乱を余儀なくされた。

「問題の深刻さに一番詳しい人が指摘すべき」との発言も集会ではあった。原子力の専門家たちはその当時、何を語ってくれたのか。8月5日付本紙にノンフィクション作家柳田邦男さんの「日本原子力学会の7月7日の責任不問要請は前代未聞」との論考が載った。社内でも「同感」との声が上がった。家も生業も古里も未来も失いかけている被災者にはどう説明するのか。心ある研究者は、すぐにでも飯館村や南相馬、相馬両市の山間部、伊達市や福島市を訪れ、住民にじかに話を聴き、除染に参加し、知恵を出してほしい。

(2011年8月16日記)



寺島英弥(てらしま・ひでや)

河北新報社 編集局編集委員

54歳。早大法卒。東北を歩いての連載に長く携わる。フルブライトで2002~03年に米留学。著書に『シビック・ジャーナリズムの挑戦』など。

## 福井県における原子力教育・研究開発

福井大学 竹田敏一, 若狭湾エネルギー研究センター 来馬克美,  
日本原子力研究開発機構 一宮正和, 関西電力 鈎 孝幸

福井県は15基の原子力発電所や高速増殖原型炉「もんじゅ」など様々な原子力施設があるエネルギー利用の中心的な地域の一つである。また、福井県のエネルギー研究開発拠点化計画や福井大学の国際原子力工学研究所など様々な機関による原子力研究・教育・開発の取組みが行われている。本解説では、福井県、日本原子力研究開発機構、関西電力および福井大学のそれぞれの取組みとそれらが連携した拠点化の動きを紹介する。

### I. はじめに

福井県では、昭和45年に敦賀1号機、美浜1号機が営業運転を開始して以来、安全性の確保を大前提に、これまでに計15基の原子力発電所が建設されている。それらは現在、年間約770億 kWh、関西圏の消費電力のおよそ半分、日本の原子力発電所の約1/4の電力を供給し、国のエネルギー政策に大きく貢献している。

また、福井県では平成17年3月、高速増殖原型炉「もんじゅ」をはじめ、様々な炉型の原子力発電所が立地する特性を活かし、福井県を原子力を中心としたエネルギーの総合的な研究開発拠点地域とするため、「エネルギー研究開発拠点化計画」を策定した。この拠点化計画は、「安全・安心の確保」、「研究開発機能の強化」、「人材の育成・交流」、「産業の創出・育成」の4つの柱とし、16項目の基本施策と8項目の重点施策の実現に取り組んでいる。

この計画の着実かつ迅速な実現を図るため、平成17年7月には、総合的なコーディネートの役割を担う「エネルギー研究開発拠点化推進組織」を(財)若狭湾エネルギー研究センターに設置した。このエネルギー研究開発拠点化には、若狭湾エネルギー研究センター、福井大学、日本原子力研究開発機構、関西電力(株)、日本原子力発電(株)等が参画して、上記4つの柱を推進する研究開発、人材育成等を実施している。

本年3月11日の東日本大震災による福島第一原子力発電所のレベル7の重大事故に鑑み、各組織では、特に原子力プラントの安全性、原子力防災・危機管理の研究活動も今後の目標にして活動が続けられている。以下に各組織の活動状況・今後の方針について記載する。

*Nuclear Education, Research and Development in Fukui Prefecture* : Toshikazu TAKEDA, Katsumi KURUBA, Masakazu ICHIMIYA, Takayuki MAGARI.

(2011年 7月15日 受理)

### II. 福井大学での取組み

福井大学での原子力教育・研究は、平成16年に設立された大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻と平成21年に開所された附属国際原子力工学研究所で実施している。大学院工学研究科原子力・エネルギー安全工学専攻の学生定員は、博士前期課程27名、後期課程12名で、独立専攻として学科の枠を超えた総合的な教育研究組織となっている。この専攻は、日本のエネルギー事情と原子力エネルギーの役割の重要性、原子力の環境および社会における重要性、原子力技術者の不足という現実に鑑み、「安全と共生」をキーワードとして、原子力とエネルギーにおける諸問題に関する研究を推進し、同時に、この分野において活躍できる高い倫理観を持つ高度専門技術者を育成することを目的としている。

一方、福井大学附属国際原子力工学研究所は、大学および原子力関連機関等の研究者と連携し、世界トップレベルでの特色ある研究開発を行うとともに、国内外の若手研究者やリーダーシップを発揮できる人材を育成することを目的として平成21年4月に開所された。県の拠点化計画のうち、研究開発機能の強化に大いに貢献している。

以下、現在実施している「原子力教育・研究の広域連携拠点化の活動」、さらには今後、発展したいと考えている「原子力防災・危機管理への研究の抱負」について述べる。

#### 1. 原子力教育・研究の広域連携拠点化

附属国際原子力工学研究所では、研究・教育面で大学間の連携を図るために文科省の国際原子力人材育成イニシアティブ「北陸・中京・関西圏を中心とした大学連携による次世代原子力人材育成」を、平成22年度のFS (Feasibility study)として実施した。関西・中京・北陸

圏を中心とした大学の教員を集め、学生の入口・出口について議論し、日本の大学において原子力を理解してもらうための短期コース、さらには国際セミナーの必要性について議論した。特に短期コースでは、原子力の入門コースとして炉物理、燃・材料、熱流動等のエッセンスを各大学の先生持ち回りでを行い、他分野から就職した新社会人への導入教育、院試前の4年生や学部生の進路決定の一助としてもらうために実施すべきとの声があった。また、3～5回の集中開催による通常版並びにアドバンス版の短期コースの提案もあった。平成23年3月10～12日には、これらの結論を受け、フランスCEAのブシャール氏、ナボ氏、米国ANLのソフ氏による講演会を含む「国際シンポジウム」を開催した。

また、平成22年9月には、福井大学附属国際原子力工学研究所を中核とした敦賀地区における原子力教育研究の広域連携拠点化の在り方等を検討するために、「敦賀地区における原子力教育研究の広域連携拠点化検討委員会」を設置した。この委員会の下の部会で原子力教育研究の広域連携拠点化を構築していくためには、「福井県国際原子力人材育成センター」の事業との連携を積極的に行い、また、既存の主な原子力ネットワークとの連携体制の構築・活用方法、研究炉誘致に向けた取組み等が望まれることが示された。

## 2. 原子力防災・危機管理

研究所には、原子力工学基礎分野、原子力工学研究開発分野、医学物理・化学分野、原子力防災分野があるが、原子力防災分野の教員数は現在ゼロである。今回の福島第一原子力発電所の重大事故を踏まえ、原子力防災分野を原子力防災・危機管理分野と変更し、その研究内容を充実させる予定である。この分野では、今回の津波による全電源喪失も含めたシビアアクシデント(苛酷事故)解析、さらには解析を通じた事故防止、緩和方式の研究、地震動、津波の解析手法の開発や原子力施設の耐力に関する研究、原子力事故の確率論的安全評価手法の研究等を実施したい。また、この分野では、電力、メーカ、日本原子力研究開発機構との協力による研究開発、さらに福井県、敦賀市との連携を通しての行政へのフィードバックが重要と考えており、II-1節で述べた広域連携と合わせて発展していく予定である。

## III. 若狭湾エネルギー研究所での取組み

福井県は、15基の原子力発電施設や多くの研修・研究施設が集積しており、また50年間にわたる立地・建設・運転の経験と人材の蓄積を有する「原子力先進県」である。これからも、安全・安心の確保や原子力・エネルギーの研究開発等に取り組むとともに、国際的な原子力の安全技術と人材育成において、その役割を担っていく。

## 1. アジア等の原子力の安全技術と人材育成への貢献

福島第一原子力発電所の事故により、原子力の安全性向上が必要不可欠となっており、原子力に係る質の高い人材育成は極めて重要である。アジアをはじめ世界の原子力の安全技術・人材育成への貢献を目標に、福井県を国際的な原子力人材育成の拠点とするため、国内外の研修生等の受入れ総合窓口として、平成23年4月に「福井県国際原子力人材育成センター」を設置した。このセンターでは、福井県に集積する人材育成機能等を最大限に活用して、魅力ある研修事業等を進めていく。海外研修としては、アジアを中心に、新たに原子力発電の導入を計画している国等に対して、福島第一原子力発電所の事故の教訓等を盛り込んだ研修をこの秋から行っていく。また、平成24年度には、敦賀市内に、「原子力安全研修施設」や「福井大学附属国際原子力工学研究所」が整備されることから、研修事業の充実や研究者の受入れ促進等を図る。国内人材については、大学等からの要望や事業者が求める原子力人材像を踏まえた実践的かつ効果的な研修等を行い、国際的にも活躍できる質の高い原子力人材の育成に取り組む。

## 2. 原子力安全研修施設

日本原子力発電(株)が中心となり、海外からの研修生も受け入れる人材育成の拠点として、昨年末、原子力安全研修施設の建設が敦賀市沓見でスタートした。施設の延べ床面積は約8,800 m<sup>2</sup>で、「研修・保修訓練エリア」、「運転訓練エリア」、「宿泊エリア」の3エリアからなる。研修内容としては、原子力安全の観点から、安全文化や安全技術について机上研修と実技研修を組み合わせた体系的な研修を行う。本研修施設は、日本原電の社員研修以外にも、地元企業の技術者や学生、アジアを中心とする海外研修生など、国内外の人材育成に広く活用されるものであり、平成24年度中の施設運用を目指している。

## 3. 県内企業の技術者の技能向上に向けた技術研修の実施

原子力発電所においては、トラブルの未然防止のため、保全業務にかかる安全性、信頼性ととともに、将来における技能の維持・継承が求められている。このことから、国の支援を得て、県内企業の原子力発電所に従事する技術者の技能向上研修を平成17年度から実施し、これまでに、受講者は6千人を超えている。また、保修業務従事者の技能レベルを客観的に評価する制度を福井県独自に創設し運用し、これまでに682名が受講し、576名が合格している。

最後に「エネルギー研究開発拠点化計画」の充実について触れる。福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、地域住民の「安全安心の確保」および過度な原子力依存度を改

める「エネルギー源の多角化」に関する研究開発が重要となってきた。そこで5月31日に、国、県、大学、研究機関、事業者などで構成する「実務者検討会」を設け、「原子力防災・危機管理機能の向上」、「新エネルギー・自然エネルギーの普及」について検討を開始したところである。検討にあたっては、地域産業の振興につなげるという視点も入れながら研究開発の方向性を詰めていきたいと考えている。検討結果については、11月に開催される「エネルギー研究開発拠点化推進会議」で審議し、平成24年度以降、具体的な研究開発や事業に取り組んでいくこととする。

#### IV. 日本原子力研究開発機構の取組み

高速増殖炉は、発電しながら同時に消費した燃料以上の燃料を生産することができることから、ウラン資源の利用効率を飛躍的に高め、エネルギー資源の輸入に頼らずに安定したエネルギーを得ることを可能にする。高速増殖原型炉「もんじゅ」は、熱出力71.4万kW、電気出力28万kWのプルトニウム・ウラン混合酸化物(MOX)燃料を用いたナトリウム冷却型の高速増殖原型炉で、わが国初の高速増殖炉発電プラントである。「もんじゅ」はわが国の高速増殖炉実用化に向けた原型炉として、実証炉・実用炉の設計、運転保守に不可欠な技術情報を提供する重要な役割を有している。

以下では、この役割に沿って「もんじゅ」を用いる研究開発を中心に述べるが、その前提はあくまでも安全性であり、今般の福島第一原子力発電所の事故を踏まえて一層の安全性への配慮が不可欠と考えるものである。

現在の原子力政策大綱では「研究開発の中核と位置付けられる『もんじゅ』の運転を早期に再開し、10年程度以内を目途に『発電プラントとしての信頼性の実証』と『運転経験を通じたナトリウム取扱技術の確立』という所期の目的を達成することに優先して取組むべきである。その後、『もんじゅ』は(中略)高速増殖炉の実用化に向けた研究開発等の場として活用・利用することが期待される。(中略)これらの活動には国際協力を活用することが重要であるから、『もんじゅ』及びその周辺施設を国際的な研究開発協力の拠点として整備し、国内外に開かれた研究開発を実施し、その成果を国内外に発信していくべきである。」とされている。

「もんじゅ」では、所期目的の達成に向けた取組みの中でナトリウム冷却FBRの炉心や高温ナトリウム機器などの設計技術を検証し、FBR実用化に向けた研究開発に用いている技術の信頼性の確保に繋げるとともに、実機での運転、保守・補修経験に基づくプラント技術を確立することが重要である。

また、福井県エネルギー研究開発拠点化計画では、重点施策の一つとして「高速増殖炉(FBR)を中心とした国際的研究開発拠点の形成」が掲げられている。日本原子

力研究開発機構では、国内外の研究者が集う高速増殖炉の実用化に向けたプラント運用技術の研究開発拠点を敦賀市に形成し、国際的に特色ある拠点として地域の発展・活性化に貢献するため、「もんじゅ」から得られるプラントの運転信頼性や保全技術向上の課題解決を行うFBRプラント工学研究センターを一昨年に開設した。

国際的に見れば、西側諸国で稼働可能な2基の原型炉のうちフランスのフェニックス炉が一昨年に停止したため、残された西側諸国唯一の原型炉「もんじゅ」への世界からの期待は大きい。

以上から、「もんじゅ」は次の3つの研究開発を行う場として位置づけ、これらを推進している。第一にFBR開発にとって重要な、発電炉としての運転・補修情報等を得るための「原型炉データ取得の場」、第二にFBR開発を行うことを計画しているすべての国にとって必要な、FBR用燃料・材料等の照射データを得るための「照射試験の場」、そして、今後FBR開発を行う新興国や、開発を一時スローダウンし再び注力しようとする先進国等のFBR技術者、研究者の技術レベル向上に必須な「教育訓練の場」である。

「もんじゅ」は昨年5月6日、14年5ヶ月ぶりに原子炉を起動して性能試験を再開した。第1段階の性能試験である炉心確認試験は、同年7月22日に計画通り20項目の試験をすべて終了した。炉心確認試験を通じて得られたAm-241を多く含む炉心の炉物理特性等、一連の試験結果は、実証炉・実用炉設計の不可欠な技術情報になるとともに、同成果を広く研究者に提供して解析精度向上等の高速炉研究に役立てているところである。今後は「もんじゅ」が国際的研究開発拠点としての位置づけを確立し、地域との連携と世界に貢献を果たせるよう努めていく所存である。

#### V. 電力会社での取組み

##### 1. 緒言

東日本大震災の発生からしばらくの間、福島第一原子力発電所の事故は「未曾有」の規模の津波が原因で「想定外」という論調が新聞紙面を賑わした。公衆への被害を及ぼさない原子力開発に努めてきた関係者にとって、長期の居住不能の地を作り出した「事故」が、果たして「未曾有」という一言で免責されるのかと考えると、それは断じて否である。最悪を想定した準備が十分でなかった部分があると、原子力技術者の一人として大いに反省するところである。

福島第一原子力発電所の事故を踏まえ、原子力利用には、究極の安全対策が求められており、研究・開発の優先順位は事故以前と異なったものとなるのは必定である。残念ながら、本稿の時点では、新たな方向性が整理できていないため、事故前の研究開発について紹介することとしたい。



## 2. 原子力発電等に係る研究開発の取組み状況

### (1) 原子力発電に係る研究開発の取組み

原子力分野の研究テーマには

- (1) 原子力発電所の安全・安定運転を支える技術
- (2) 原子燃料サイクルの確立に向けた技術、高速増殖炉サイクルの実用化に向けた技術
- (3) 放射性廃棄物の合理的な処理処分の具体化に向けた技術

等があり、国、産業界、電力事業者で研究課題、範囲を明確にした上でこれらの研究を実施している。また、研究開発の効率化の観点から事業者共通の研究課題については共同で資金を出し合うこととしており、

- (1) メーカー等と実施する電力共通研究
- (2) 電力中央研究所が遂行能力を有する研究課題については電中研に要請する研究
- (3) 個々の電力会社のニーズに基づく個別研究

等に分別し、効率的な研究体制を構築している。

なお関西電力では、当社ニーズの個別研究にあって、原子力に関係する現象解明的な基礎研究、直接的な発電所ニーズの解決のための研究等については、基本的に後述する原子力安全システム研究所に依頼している。

### (2) 地域共生活動としての研究開発

関西電力は地域共生活動の一環として、福井県エネルギー研究開発拠点化計画に参画し、原子力関連技術の地域移転、それら技術を活用した産業育成を行っている。例えば「福井クールアース・次世代エネルギー産業化プロジェクト」は、低炭素化社会の実現に向けヒートポンプ、リチウム電池等の技術開発を産学官で推進している。

### (3) 原子力安全システム研究所 (INSS) における取組み

関西電力は美浜2号機のトラブルの反省から、原子力発電の安全性と信頼性の向上に資することを目的に平成4年に、社会、技術を研究する機関としてINSSを設立した。社会面に関してはヒューマンファクター研究センター、社会意識研究プロジェクト、エネルギー問題研究プロジェクトの3部門、また、技術面については高経年化研究センター、原子力情報研究プロジェクト、技術支援研究プロジェクトの3部門を設置し、約60名が研究活動を行うとともに、大学の講師、小中学校教育の教材提供等、地元と連携した地域共生活動にも積極的に取り組んでいる。なお、高経年化対策を充実する観点から、昨年に熱流動実験棟を建設するとともに、日本原子力研究開発機構と共同利用できる高性能検査設備を「ふげん」発電所構内に設置した。更なる研究成果を期待しているところである。

## 3. さいごに

世界経済が拡大するに従い、化石燃料を巡る世界的覇権争いは熾烈を極めているが、未来にわたって日本国民が繁栄していくためには、エネルギーの確保が水や食料と同じく不可欠であることに変わりはない。

日本国民から改めて信頼を勝ち得、原子力エネルギー利用を推進することができるか、この数年間の我々原子力技術者の真摯な努力・姿勢にかかっているといっても過言ではない。筆者も微力ではあるが貢献できるよう努めて参りたい。

## VI. 結言

福井県の「エネルギー研究開発拠点化計画」に基づいた、福井大学、若狭湾エネルギー研究センター、日本原子力研究開発機構、電力会社の原子力教育・研究開発について紹介した。各組織では、それぞれのポテンシャルを最大限に活用したユニークな活動を実施している。さらに、より強調したいのは、各組織間の連携が非常に強いことである。教育面においても、学生のみならず社会人教育を、大学だけでなく各組織の施設を有効に使うの実学を目指している。研究開発にしても、各組織独自のユニークな成果に加え、それらを統合して福井県での研究開発が着実に実を結びつつある。今後、さらなる発展ができるよう頑張って参りますので、皆様方のご協力・ご助言を、お願い申し上げます。

### 著者紹介



竹田敏一(たけだ・としかず)  
福井大学  
(専門分野/関心分野)原子炉物理、高速炉システム



来馬克美(くるば・かつみ)  
若狭湾エネルギー研究センター  
(専門分野/関心分野)原子力安全行政、原子力人材育成



一宮正和(いちみや・まさかず)  
日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)高速炉システム工学、プラント工学、構造力学



鉤 孝幸(まがり・たかゆき)  
関西電力(株)  
(関心分野/専門分野)原子炉設計、原子力安全防災

連載  
講座材料が支える原子力システム  
より高い信頼性のために

## 第3回 Ni 基合金

東北大学 米澤 利夫

耐食性と耐リラクセーション性に優れる Ni 基合金は、航空機など他工業での使用実績から、原子炉機器・配管部材として軽水炉の開発当初から用いられてきた。特に、塩化物環境下での耐応力腐食割れ性から海水リークがあっても応力腐食割れの心配のない蒸気発生器伝熱管材料として、また、中温領域での耐リラクセーション性からボルト材やスプリング材などに多用されている。Ni 基合金は目的・用途に合わせ多くの合金が開発されているが、本稿では、主な Ni 基合金、原子炉用材料としての各種 Ni 基合金の特性、その改良・開発研究動向等について紹介する。

## I. 緒言

ニッケル(Ni)は18世紀半ばに合金鋼の合金元素として着目され、19世紀後半に始まった耐食鋼の開発、1910年代の多くのステンレス鋼の開発につながった。なかでも300系ステンレス鋼はトン単位で製造が行われるなど、広く実用化され、Niが多用された。

最初の Ni 基合金は、20世紀初めに耐海水材として開発された、Ni-Cu 合金としての400合金である(本合金の発明者の名をもじり、Monel と名付けられた)<sup>1)</sup>。その後、Ni は銅(Cu)よりもイオン化傾向が大きい卑な元素であるが、鉄(Fe)や亜鉛(Zn)に比べてイオン化傾向が小さい貴な元素であり、また、Ni の腐食生成物は Fe に比べて緻密で保護作用が強く、不動態化特性も優れているなど、Ni の多くの優位性が明らかとなり、ほとんどの環境で Fe よりも優れた耐食性を示すことがわかった。Ni は単体でアルカリや非酸化性の酸、ハロゲンガスなどに対し、優れた耐食性を示すうえ、クロム(Cr)、モリブデン(Mo)、Fe、Cu などと容易に合金化できることから、これらの元素を添加して耐酸性、耐孔食性、高温での耐酸化性、機械的性質などに優れる Ni 基耐食合金が数多く開発され、航空機産業、海水熱交換器など多くの産業分野で用いられている。

これらの使用実績を基に、原子炉材料分野では、1950年代の加圧水型軽水炉(PWR: Pressurized Water Reactor)および沸騰水型軽水炉(BWR: Boiling Water Reactor)の開発当初から Ni 基合金が用いられてきた。

原子炉用 Ni 基合金として大きな使用実績があるの

は、まず、PWR 用蒸気発生器(SG)伝熱管材料と、異材溶接継手といえよう。すなわち、オーステナイト系ステンレス鋼でしばしば問題となる塩化物環境下での応力腐食割れ(SCC: Stress Corrosion Cracking)に対する抵抗性が高いとして開発された600合金は、PWR 原型炉 Shippingport や PWR 実証炉 Yankee Rowe の SG 伝熱管材で用いられた347ステンレス鋼に替わり、最初の PWR 商用炉 Connecticut Yankee 以降から世界中の PWR の SG 伝熱管材に実用化された。さらに、600合金は熱膨張係数がオーステナイト系ステンレス鋼とフェライト系鋼の熱膨張係数の中間に位置することから、異材溶接継手に欠かせないものとして原子炉材料として多用された。このほかに、原子炉用材料としての Ni 基合金としては、X-750合金、718合金が挙げられよう。これらは1950年代当時、既にジェットエンジン部材に多用されていた使用実績と、その優れた特性に基づき、軽水炉、重水炉のボルト材として X-750合金が、スプリング材として718合金が採用された。このように、Ni 基合金は、その特徴を生かし、軽水炉の多くの部位に用いられており、PWR を例に、Ni 基合金の用いられている部位を第1図に示す。

そのほか多くの Ni 基合金が、軽水炉のみならず、次世代炉への適用など検討されており、本稿では、主な Ni 基合金、原子炉用材料としての各種 Ni 基合金の特性、その改良・開発研究動向等について紹介する。

## II. 各種 Ni 基合金と原子炉用材料への適用

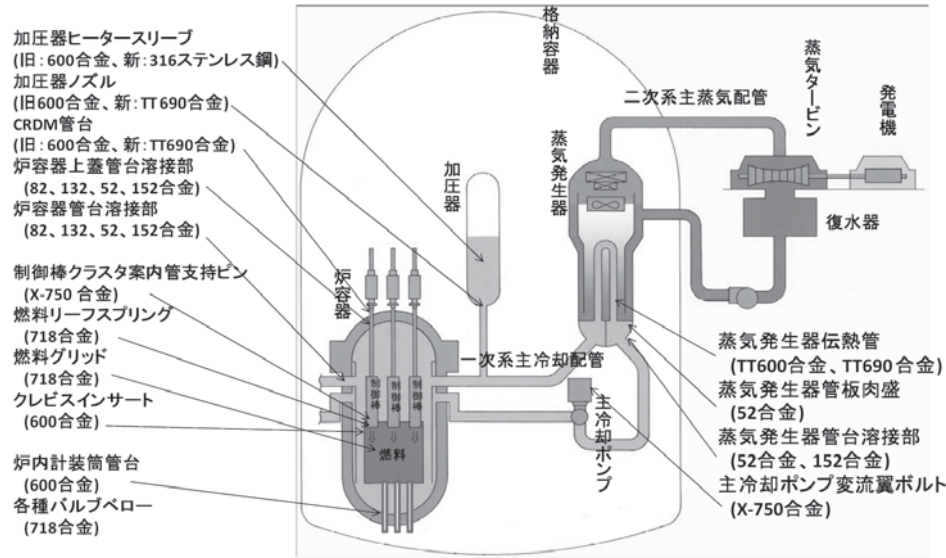
工業用純 Ni や開発された多くの Ni 基合金は、まさに20世紀の材料開発の花形ともいえ、多くの工業分野で使用されてきた。その用途は、化学工業、石油化学工業、火力・原子力発電プラント、熱エネルギープラント、熱

*Materials for Nuclear Energy Systems—Towards High Reliability*(3); *Ni Based Alloys*: Toshio YONEZAWA.

(2011年 4月1日 受理)

第1回 軽水炉用ステンレス鋼

第2回 高速炉炉心用改良ステンレス鋼



第1図 PWR 系統図と主な Ni 基合金使用部位

処理工業，石油精製工業，ガス製造，紙・パルプ工業，公害防止産業，廃棄物産業，海洋工業，農芸化学，自家発電，電子工業，電気通信工業等々と，多岐にわたっている。これらの Ni 基合金の主な種類と特徴を第2図に，化学成分と機械的性質を第1表に示す。

1. Ni-Cu 合金

Ni-Cu 合金としては400合金がその代表である。400合金は，高い熱伝導率と，高い耐食性の利点を有していることから，初期の CANDU 型重水炉において SG 伝熱管材に採用された。このほか，Cu-Ni 合金ではあるが，耐海水性，海水中での耐微生物腐食性に優れるキューブロニッケルも，一部の PWR で海水冷却の復水器伝熱管材に用いられた。

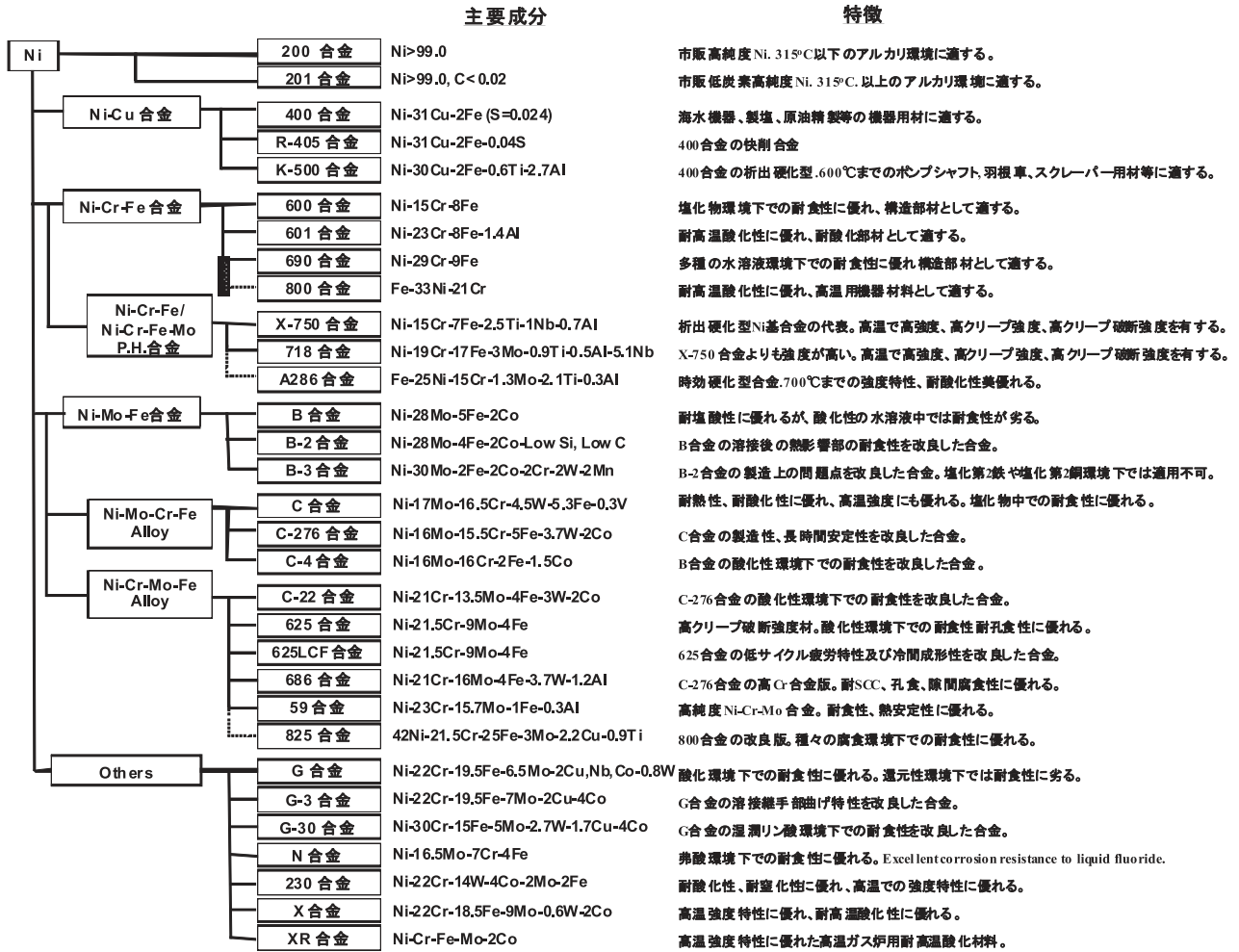
2. Ni-Cr, Ni-Fe-Cr, Ni-Fe-Cr-Mo 合金

Ni-Cr 合金，Ni-Fe-Cr 合金および Ni-Fe-Cr-Mo 合金としては，X-750合金，718合金，600合金，690合金，800合金などが挙げられ，原子炉用材料として幅広く用いられた Ni 基合金の代表ともいえよう。

X-750合金はジェットエンジン部材等，航空機での優れた使用実績と，耐クリープ特性，すなわち，耐リラクセーション性に優れ，250~400℃の中温領域での強度が高く，かつ延性も高いことから，軽水炉，重水炉用ボルト材として多用されている。A286合金も X-750合金と同様に，軽水炉用ボルト材として多用された。また，718合金も中温領域で耐リラクセーション性に優れ，高強度かつ高降伏比を有していることから，軽水炉，重水炉用

第1表 主な Ni 基合金の化学組成と引張性質

合金系	合金名	Ni	Cr	Mo	Fe	W	C	Co	V	Cu	Ti	Al	Nb (+Ta)	B	Nb	引張強さ (MPa)	降伏強さ (0.2%耐力) (MPa)	伸び (%)	
Ni	200	≥99.0*	-	-	≤0.40	-	≤0.15	-	-	≤0.25	-	-	-	-	-	≥379	≥103	≥40	
	201	≥99.0*	-	-	≤0.40	-	≤0.020	-	-	≤0.25	-	-	-	-	-	≥345	≥83	≥40	
Ni-Cu	400	≥63.0*	-	-	≤2.50	-	≤0.30	-	-	28.0-34.0	-	-	-	-	-	≥483	≥193	≥35	
	B-405	≥63.0	-	-	≤2.50	-	≤0.30	-	-	28.0-34.0	-	-	-	-	-	≥550	≥240	≥40	
	K-500	≥63.0	-	-	≤2.0	-	≤0.25	-	-	27.0-33.0	0.35-0.85	2.30-3.15	-	-	-	≥1100	≥790	≥25	
Ni-Cr-Fe	600	≥72.0*	14.0-17.0	-	6.0-10.0	-	≤0.15	-	-	≤0.50	-	-	-	-	-	≥552	≥241	≥30	
	600M	≥72.0*	14.0-17.0	-	6.0-10.0	-	≤0.05	-	-	≤0.50	-	-	-	1.0-3.0	-	≥586	≥241	≥30	
	601	58.0-63.0	21.0-25.0	-	13.0**	-	≤0.10	-	-	≤1.0	-	1.0-1.70	-	-	-	≥552	≥207	≥30	
	690	≥58.0	27.0-31.0	-	7.0-11.0	-	≤0.15	-	-	≤0.50	-	-	-	-	-	≥586	≥241	≥30	
参考	800	30.0-35.0	19.0-23.0	-	≥39.5	-	≤0.10	-	-	≤0.75	0.15-0.60	0.15-0.60	-	-	-	≥517	≥207	≥30	
Ni-Cr-Fe/ Ni-Cr-Fe-Mo	X-750	≥70.0*	14.0-17.0	-	5.0-9.0	-	≤0.080	≤1.0	-	≤0.50	2.25-2.75	0.40-1.0	0.70-1.20	-	-	≥1103	≥689	≥20	
	718	50.0-55.0*	17.0-21.0	2.80-3.30	17.0**	-	≤0.080	≤1.0	-	≤0.30	0.65-1.15	0.20-0.80	4.75-5.50	≤0.0060	-	≥1275	≥1034	≥12	
参考	A286	24.00-27.00	13.50-16.00	1.00-1.50	**	-	≤0.08	-	0.10-0.50	-	1.90-2.35	≤0.35	-	0.010-0.01	-	≥895	≥585	≥15	
Ni-Mo-Fe	B	**	≤1.00	26.0-30.0	4.0-6.0	-	≤0.05	≤2.5	0.2-0.4	-	-	-	-	-	-	≥690	≥310	≥40	
	B-2	**	≤1.00	26.0-30.0	≤2.0	-	≤0.02	≤1.0	-	-	-	-	-	-	-	≥760	≥350	≥40	
	B-3	≥65.0	1.0-3.0	27.0-32.0	1.0-3.0	≤3.0	≤0.010	≤3.0	≤0.20	≤0.20	≤0.20	≤0.50	-	≤0.20	-	≥760	≥350	≥40	
Ni-Mo-Cr-Fe	C-276	**	14.5-16.5	15.0-17.0	4.0-7.0	3.0-4.5	≤0.010	≤2.5	≤0.35	-	-	-	-	-	-	≥690	≥283	≥40	
	C-4	**	14.0-18.0	14.0-17.0	≤3.0	-	≤0.015	≤2.0	-	-	≤0.70	-	-	-	-	≥690	≥276	≥40	
	C-22/22	**	20.0-22.5	12.5-14.5	2.0-6.0	2.5-3.5	≤0.015	≤2.5	≤0.35	-	-	-	-	-	-	≥690	≥310	≥45	
Ni-Cr-Mo-Fe	G-25	≥58.0	20.0-23.0	8.0-10.0	≤5.0	-	≤0.10	≤1.0	-	-	≤0.40	≤0.40	3.15-4.15	-	-	≥827	≥414	≥30.0	
	62SLCF	≥58.0	20.0-23.0	8.0-10.0	≤5.0	-	≤0.030	≤1.0	-	-	≤0.40	≤0.40	3.15-4.15	-	-	≥97.5	≥525	≥46.0	
	686	**	19.0-23.0	15.0-17.0	≤5.0	3.0-4.4	-	≤0.010	-	-	0.02-0.25	-	-	-	-	≥690	≥310	≥45	
	59	**	22.0-24.0	15.0-16.5	≤1.5	-	≤0.010	≤0.3	-	≤0.50	-	0.1-0.4	-	-	-	≥690	≥310	≥45	
	825	38.0-46.0	19.5-23.5	2.5-3.5	≤22.0	-	≤0.05	-	-	1.50-3.0	0.6-1.2	-	-	-	-	≥586	≥241	≥30	
	G	**	21.0-23.5	5.5-7.5	18.0-21.0	≤1.0	≤0.05	≤2.5	-	1.5-2.5	-	-	1.75-2.5	-	-	≥621	≥241	≥35	
	G-3	**	21.0-23.5	6.0-8.0	18.0-21.0	≤1.5	≤0.015	≤5.0	-	1.5-2.5	-	-	≤0.50	-	-	≥621	≥241	≥40	
	G-30	**	28.0-31.5	4.0-6.0	13.0-17.0	1.5-4.0	≤0.03	≤5.0	-	1.0-2.4	-	-	0.30-1.50	-	-	≥586	≥241	≥30	
	N	**	6.0-8.0	15.0-18.0	≤5.0	≤0.50	0.04-0.08	≤0.20	≤0.50	≤0.35	Al+Ti≤0.50	-	-	≤0.010	-	-	≥690	≥280	≥40
	230	**	20.0-24.0	1.0-3.0	≤3.0	13.0-15.0	0.05-0.15	≤5.0	-	-	-	-	0.20-0.50	-	≤0.015	-	≥760	≥310	≥40
X	**	20.5-23.0	8.0-10.0	17.0-20.0	0.20-1.0	0.05-0.15	0.5-2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	≥690	≥276	≥35	
	**	20.5-23.0	8.0-10.0	17.0-20.0	0.20-1.0	0.07-0.15	≤1.0	-	-	-	≤0.03	≤0.10	-	≤0.008	-	≥690	≥220	≥40	



第2図 主なNi基合金の種類とその特徴(点線：参考材, P.H.：析出硬化型)

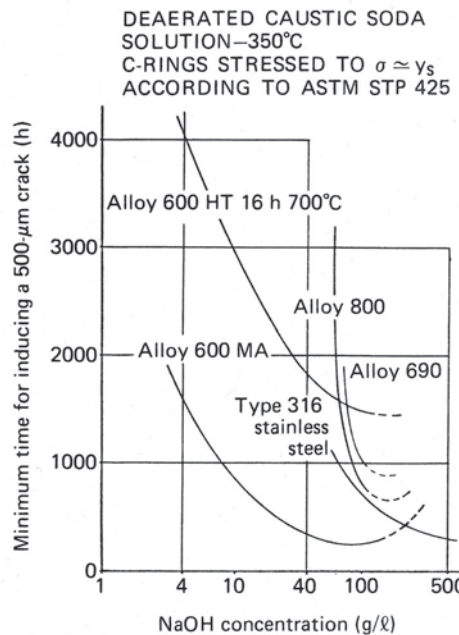
スプリング材として多用されている。

600合金はオーステナイト系ステンレス鋼でしばしば問題となる塩化物環境でのSCCに対して極めて優れた抵抗性を示す<sup>2)</sup>ことから、1950年代末にPWRのConnecticut YankeeのSG伝熱管材に採用され、以降、世界中のPWR, CANDU炉で使用されてきた。

また、Fe基のFe-Ni-Cr合金ではあるが、800合金は第3図<sup>3)</sup>に示すように高温水中での耐粒界応力腐食割れ(IGSCC:Inter-granular Stress Corrosion Cracking)性やアルカリ雰囲気での耐IGSCC性に優れることから、一部のPWR SG伝熱管材やCANDU炉SG伝熱管材に適用されている。

3. Ni-Mo, Ni-Mo-Fe, Ni-Cr-Mo, Ni-Cr-Mo-Fe 合金

Ni-Mo合金, Ni-Mo-Fe合金, Ni-Cr-Mo合金およびNi-Cr-Mo-Fe合金の原子炉材料への適用としては、BWRで鋭敏化に起因したオーステナイト系ステンレス鋼のIGSCC対策材として、また、高濃度塩化物環境下と、高温アルカリ環境下での耐食性が要求される超臨界圧軽水炉用材料の一部に625合金が検討された。また、625合金の薄板や帯製品で、特にペローズ用として低サイク



第3図 600合金, 600合金700℃熱処理材, 690合金, 800合金, 316ステンレス鋼の350℃NaOH溶液中SCC感受性の比較

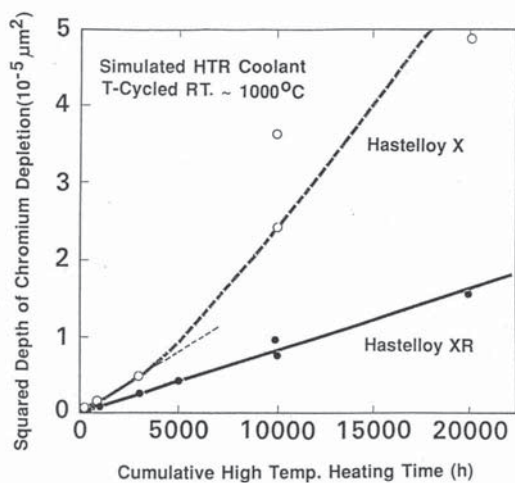
ル疲労と冷間加工性を向上させた625 LCF 合金が開発されている。また、C-22合金(22合金)は、酸化性環境での耐食性にも、還元性環境での耐食性にも優れていることから、米国の Yucca Mountain Project で高レベル廃棄物保管容器用候補材として検討されている<sup>4)</sup>。

4. その他の Ni 基合金

900℃以上の高温で使用される多目的高温ガス炉用材料として、在来合金に比べて高温ヘリウム中での不純物の影響を受け難い、比較的安定な合金である X 合金が検討されていた。しかし、この X 合金の高温ヘリウム中での耐食性をさらに改善する目的で、Cr, Mn 量を高めて Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の酸化被膜の上に Cr<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub> のスピネル酸化層を形成させ、表面被膜の保護性を向上し、アルミ (Al), チタン (Ti) をできるだけ低くして局部酸化を阻止し、B 濃度を制御して1,000℃までのクリープ破断強度を高め、さらに誘導放射能の問題からコバルト (Co) を低くした XR 合金 (Ni-22Cr-9Mo-19Fe-0.9Mn-0.3Si-0.07C-0.005B) が日本で開発された。第4図は高温ガス炉模擬環境下で室温から1,000℃までの加熱・冷却繰返しによる XR 合金と改良前の X 合金の積算加熱時間に対する Cr 欠乏層生成状況を比較した結果であり、XR 合金が耐酸化性に優れていることがわかる<sup>5)</sup>。XR 合金は実験炉 HTTR に適用され、第4世代原子炉としての、超高温ガス炉などでの実用が期待されている一方、XR 合金のアドバンスト材として、タングステン (W) を添加した Ni-Cr-W 合金の開発もなされている<sup>5)</sup>。

Ⅲ. 経験した腐食問題と材料の改良・開発

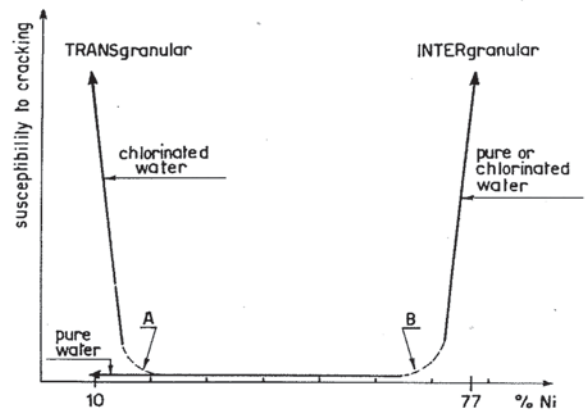
1959年にフランスの H. Coriou は、オーステナイト系ステンレス鋼や Ni-Cr-Fe 合金, 600合金, X-750合金などの高温純水中での粒界 SCC 感受性を調べた結果から、第5図に示すように、Ni 量が増すと、高温純水中



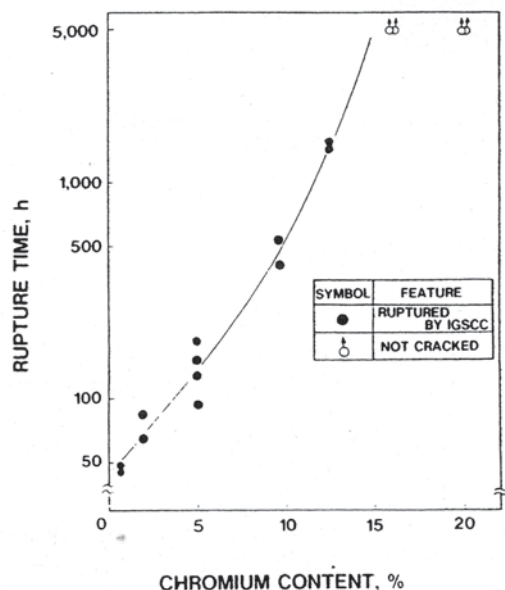
第4図 高温ガス炉模擬環境下で室温から1,000℃までの加熱・冷却繰返しによる XR 合金と改良前の X 合金の積算加熱時間に対する Cr 欠乏層生成状況の比較

での IGSCC 感受性を増すと発表し<sup>6)</sup>、その10数年後、PWR 実機で IGSCC が検出された。1972年に Obrigheim の600合金製 SG 伝熱管拡管部で認められた IGSCC や、1978年に美浜3号機の X-750合金製制御棒クラスター案内管支持ピンで認められた IGSCC がそれである。また、1983年には A-286合金でも IGSCC が認められた。それ以降、この PWR 1 次系水中での Ni 基合金の IGSCC を PWSCC と称し、研究が一気に加速した。

第6図は PWR 1 次系模擬水中 SCC 破断時間と Cr 含有量との関係を示し、IGSCC 感受性は Ni 量には直接関係せず、Cr 量が増すと耐 IGSCC 性が増し、600合金(約15% Cr)よりは800合金(約20% Cr), 800合金よりは690合金(約30% Cr)の方が耐 IGSCC 性に優れることが知られている。また、PWR 1 次系水模擬環境下では、600合金や690合金では、溶体化処理後に700℃近辺で時効し、結晶粒界に Cr 炭化物(600合金では M<sub>23</sub>C<sub>6</sub>, 690合金では



第5図 18%Cr系オーステナイト系材料の350℃脱気純水 (Cl 濃度: 1 g/l) 中 SCC 感受性に及ぼす Ni 含有量の影響



第6図 Ni 基10% Fe 系合金の360℃温度加速 PWR 1 次系模擬水中 SCC 破断時間に及ぼす Cr 含有量の影響

$M_{23}C_6$ を析出させると耐粒界 SCC 性が増し、ニオブ (Nb) を添加し炭素 (C) を安定化させると耐 IGSCC 性が低下することが判明している。

このような知見から、600合金の耐 PWSCC 性を改良した材料として、第7図に示すように、従来の Mill Anneal に700℃付近で所定時間の特殊熱処理 (TT) を施した TT 600合金や、さらに耐 PWSCC 性を改良した TT 690合金 (690合金に TT 処理を施したもの) が開発され<sup>7)</sup>、世界中の多くの PWR SG 伝熱管材や、各種の PWR 1次系耐圧バウンダリー構造部材に適用されている。また、BWR 模擬環境下では、Nb を添加し C を安定化させると耐 SCC 性が向上することが知られており、Nb を 2.5%程度添加した新600合金が開発されている<sup>8)</sup>。

X-750合金についても、従来は強度特性のみが規定され、溶体化処理、時効処理がまちまちであったが、第8図に示すように、1,080℃付近の高温で溶体化処理をし、715℃付近で時効処理を施すと耐 PWSCC 性が良好であることが判明した<sup>9)</sup>。その後、BWR 模擬環境下でも耐 IGSCC 性に優れていることが判明し、耐 IGSCC 高強度材料として PWR や BWR で適用された。これもやはり

粒界に  $M_{23}C_6$  を析出させると耐粒界 SCC 性が增大することが知られている。一方、A-286合金については、X-750合金のような耐 PWSCC 性に及ぼす熱処理条件依存性が認められず、A-286合金製のボルトは X-750合金の改良熱処理材やオーステナイト系ステンレス鋼冷間加工材製に交換され、A 286合金は現行の軽水炉では用いられなくなった。

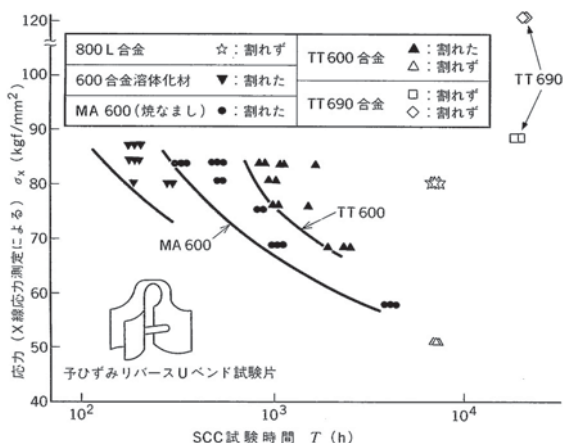
718合金については1980年代に一部のスプリング材で PWSCC が検出されたが、それらはいずれも切欠きや、予き裂が存在する条件下でのみ、割れが検出され、PWSCC 発生に対しては実用上問題がないとされている。ちなみに718合金についても X-750合金のような耐 PWSCC 性に及ぼす熱処理条件依存性が認められない。

#### IV. 溶接性と溶接材料

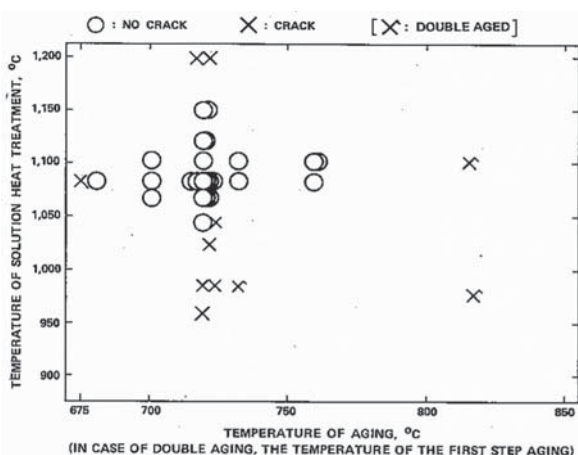
Ni 基合金の溶接性は比較的容易なものもあるが、多くは18Cr-8Ni 系のオーステナイト系ステンレス鋼に比較すると劣り、高温割れ感受性が高く、湯流れ性も劣る。そのほか、Ni 基合金の溶接では、溶接継手部で C、酸化物、イオウ (S)、リン (P) のほかに、鉛 (Pb)、ヒ素 (As)、アンチモン (Sb)、ビスマス (Bi)、スズ (Sn) 等の低融点元素の付着がないようにきれいに研磨、洗浄する必要がある。これらの元素が付着していると、溶接欠陥や Ni 化合物を生じて低融点金属脆化を生じることがある。Ni 基合金の溶接材料としては、第2表に示すものがよく用いられる。Ni 基合金自身の溶接に際しては、溶接材料として、基本的には共金系が用いられるが、脱酸の目的から共金に Nb 等を添加した合金が用いられることが多い。

Ni 基合金は、前述したように、熱膨張係数がオーステナイト系ステンレス鋼と低合金鋼の中間にあり、オーステナイト系ステンレス鋼と低合金鋼との異材溶接継手製造の場合には、溶接部の残留ひずみ、残留応力を低減するのに有効な合金である。前掲の第1図に示すように、炉容器や加圧器、蒸気発生器などの圧力容器本体は低合金鋼で製作されていることから、オーステナイト系ステンレス鋼で製作されている配管材や管台、セーフエンド部材との異材溶接部では従来、600合金系の182合金、132合金や82合金が異材溶接継手の溶接材料として多用されてきた。近年、これらの合金を用いた BWR のコアシュラウドサポートや、PWR の加圧器管台、炉容器上蓋管台、炉容器出口管台、蒸気発生器入口管台などの異材溶接部の一部で、IGSCC が検出されており、690合金系の52合金、152合金異材溶接継手への変更やピーニング施工等による引張残留応力の除去等の処置がなされつつある。

Ni 基合金の溶接手法としては、被覆アーク溶接 (Shielded Metal Arc Welding: SMAW)、ティグ溶接



第7図 PWR SG 伝熱管材料の360℃温度加速 PWR 1次系水中での耐 SCC 性



第8図 X-750合金の溶体化処理温度(縦軸)と時効処理温度(横軸)と PWR 1次系模擬水中耐 IGSCC 性との関係

第2表 主な Ni 基合金溶接材料一覧

合金名	規格名(AWS)	Ni	Cr	Mo	Fe	C	Si	Mn	Ti	Al	Nb (+Ta)
82	A5.14 ERNiCr-3	≥67.0	18.0-22.0	-	≤3.0	≤0.10	≤0.50	2.5-3.5	≤0.75	-	2.0-3.0
182	A5.11 ENiCrFe-3	≥59.0	13.0-17.0	-	≤10.0	≤0.10	≤1.0	5.0-9.5	≤1.0	-	1.0-2.5
132	A5.11 ENiCrFe-1	≥62.0	13.0-17.0	-	≤11.0	≤0.08	≤0.75	≤3.5	-	-	1.5-4.0
52	A5.14 ERNiCrFe-7	残	28.0-31.5	≤0.50	7.0-11.0	≤0.04	≤0.50	≤1.0	≤1.0	≤1.10	≤0.10
152	A5.11 ENiCrFe-7	残	28.0-31.5	≤0.50	7.0-12.0	≤0.05	≤0.75	≤5.0	≤0.50	≤0.50	1.0-2.5
625	A5.14 ERNiCrMo-3	≥58.0	20.0-23.0	8.0-10.0	≤1.0	≤0.10	≤0.50	≤0.50	≤0.40	≤0.40	3.15-4.15
718	A5.14 ERNiFeCr-2	50.0-55.0	17.0-21.0	2.80-3.30	残	≤0.08	≤0.35	≤0.35	0.65-1.15	0.20-0.80	4.75-5.50

(Gas Tungsten Arc Welding:GTAW), ミグ溶接(Gas Metal Arc Welding:GMAW), サブマージアーク溶接(Submerged Arc Welding:SAW), レーザービーム溶接(Laser Beam Welding:LBW), 電子ビーム溶接(Electron Beam Welding:EBW)が用いられている。このほか、固相溶接として、Friction Welding(FRW), Inertia Friction Welding(IFW), Friction Stir Welding(FSW)も検討されている。

## V. 更なる信頼性向上のための最新研究動向

以上に記したように、Ni 基合金は軽水炉や CANDU 炉で多用されてきたが、Ni 基合金製の多くの部材で IGSCC が検出された。そこで、耐 IGSCC 性に優れた Ni 基合金として、TT 690 合金や、その溶接材料としての 52 合金、152 合金が開発され、実機への適用が進められている。現在までに、350~360℃と温度加速した PWR 1 次系模擬環境下で、最長で 20 万時間近い SCC 試験を行い、SCC が発生しないとのデータが国内外で取得されている。

しかし、その一方で、近年、TT 690 合金に 20~40% の一方向圧延を付与し、350~360℃と温度加速した PWR 1 次系模擬環境下での SCC き裂進展試験を行った結果、TT 690 合金でも、MA 600 合金の 1/5~1/10 程度の比較的大きなき裂進展速度で IGSCC が進展した<sup>10)</sup>、との複数の研究発表がなされ、大きな反響を呼んでいる。これらの研究発表に共通するのは、用いられた TT 690 合金が、実験室溶解材や、少量溶解材であったことである。現在、米国をはじめ、日本、フランス等の多くの研究機関で、問題の研究報告の再現性が検討されている。

現状では、同じ TT 690 合金、52 合金、152 合金でも、材料によってき裂進展速度は異なるとの報告がなされ、実機に用いられている TT 690 合金材や 52 合金、152 合金では、20~40% の一方向圧延を付与し、350~360℃と温度加速した PWR 1 次系模擬環境下でも、SCC き裂進展速度は、MA 600 合金の 1/100~1/1000 と小さいとの報告がなされている。問題の研究発表に用いられた材料の特異性が議論されている。

## VI. まとめ

主な Ni 基合金の基本特性と、軽水炉、重水炉、次世代炉等原子炉への Ni 基合金の適用および、その改良・開発研究動向等について紹介した。Ni 基合金の歴史は浅く、さらなる研究が今後とも重要と考えられる。本稿が今後の研究開発に参考になれば幸いである。

### —参考資料—

- 1) A. Monell, U.S. Patent 811, 239 Issue date: Jan. 1906.
- 2) H. R. Copson, *Symposium on Physical Metallurgy of Stress Corrosion Fracture*, Interscience Publishers, New York, (1959).
- 3) P. Berge, J. R. Donati, *Nucl. Technol.*, **55**, 88-104(1981).
- 4) E. Richey, *et al.*, Proc. 13 th Int. Conf. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems, (2007), CD-Rom.
- 5) T. Kondo, *Proc. 12<sup>th</sup> Int. Corrosion Congress*, NACE, Houston, TX, (1993).
- 6) H. Coriou, *et al.*, *Proc. 3<sup>eme</sup> Colloque de metallurgie sur la corrosion*, pp.161-169(1959).
- 7) T. Yonezawa, *et al.*, *Proc. Second Int. Symp. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems—Water Reactors*, Monterey, CA, Sept. 9-12, 1985, pp.593-600(1985).
- 8) K. Yamauchi, *et al.*, *Int. Conf. and Exposition on Fatigue, Corrosion Cracking, Fracture Mechanics and Failure Analysis*, Vol.2, p.11-22(1985).
- 9) 米澤利夫, 他, 日本金属学会誌, 48(3), 238-247(1984).
- 10) D.J.Paraventi, W.C.Moshier, Workshop on Cold Work in Iron- and Nickel-Base Alloys, June, 2007.

### 著者紹介



米澤利夫(よねざわ・としお)  
東北大学  
(専門分野/関心分野)原子力材料学, 環境強度学専門。各種原子力材料を開発。

# ATOMOS Special

東欧編

世界の原子力事情 第17回

## スロバキア—仏に次ぐ世界第2位の原子力割合

京都大学 杉本 純

オーストリア北東の隣国スロバキアは人口約540万人、エネルギー資源に乏しく、低品位の褐炭および水力以外に見るべきものがない。旧チェコスロバキア時代から、石炭、石油など従来の主要エネルギー源からの脱却を余儀なくされ、原子力発電の開発に取り組んできた。1958年、ボフニチェに最初の高圧冷却重水炉の建設を開始し、1972年に運転を開始したが、事故のため1977年に閉鎖している。その後、旧ソ連製の44万kW級の加圧水型炉であるボフニチェ1～4号機の建設が70年代に開始され、1979年から1985年にかけて順次運転を開始している(第1図参照)。

ボフニチェ1,2号機は、たび重なる事故のため、西側諸国から安全性が懸念されてきた。独立後の1993年、スロバキアの原子力安全委員会は、ウィーンに本部のある国際原子力機関(IAEA)に対して安全性向上のための検討を要請し、これに応じてIAEAは専門家を派遣し、運転手順の見直しなどの改善策を提案した。しかし、同発電所がウィーンの東北東約100kmに位置することから、オーストリア政府が1,2号機の閉鎖をスロバキアのEU加盟の条件として強硬に主張したこともあり、スロバキア政府は2001年、1,2号機の閉鎖を決定し、2004年のEU加盟後の2006年に1号機が、2008年には2号機が閉鎖された。

一方、首都ブラチスラバの東方約100kmに位置するモホフチェには、80年代にやはり旧ソ連製の44万kW

級の加圧水型炉の1～4号機の建設が開始された。1,2号機はそれぞれ1998年、1999年に運転を開始した(第2,3図参照)が、3,4号機は資金難のため1992年から建設が中断されていた。チェコ同様、スロバキアもエネルギー資源不足ばかりでなく、環境問題の観点からも原子力発電の推進が必須であることから、3,4号機の建設は2009年ようやく再開され、運転開始はそれぞれ2012年、2013年の予定で建設が進められている。

上述のように、スロバキアには現在、ボフニチェとモホフチェ各2基の計4基の原子炉が運転中であり、2008年までに、外国資本の協力により、耐震性の増強、計測・制御系の改良などが行われた(第4図参照)。現在、同国の発電量に占める原子力の割合は約52%と我が国の約29%より高く、フランスについて世界第2位である(2010年)。2008～10年の原子力発電所の平均稼働率も我が国の約63%に比べ約89%と高く、モホフチェ3,4号機が



第1図 ボフニチェ原子力発電所 ©SE



第2図 モホフチェ原子力発電所 ©SE



第3図 発電所における子供への広報活動 ©SE

*Slovakia—World No.2 in Nuclear Share Next to France:*  
Jun SUGIMOTO.

(2011年 8月15日 受理)





第4図 モホフチェ原子力発電所の改良制御系 ©SE

完成すれば、原子力の割合はさらに上昇する。2008年に発表されたスロバキア政府のエネルギー保障戦略によれば、ボフニチェ3,4号機の約40年間に及ぶ運転が終了する2025年頃までに、120万kW級の新原子炉をボフニチェ・サイトに建設するとともに、ボフニチェ3,4号機の寿命延長か120万kW級の新原子炉を同国東部のコロフチェに建設するとしている。

2008年にスロバキアの規制当局が実施した世論調査によれば、同国の両発電所にある原子力プラントの安全性について、回答者の21%が「間違いなく安全」、53%が「どちらかと言えば安全」、15%が「どちらかといえば安全ではない」、3%が「間違いなく安全ではない」、8%が「不明」となっており、安全との回答が計74%を占めていた。国民からの原子力発電の安全性に対する期待と信頼度は高いといえよう。両発電所で発生した使用済燃料は、ボフニチェ発電所のサイト内に建設した長期貯蔵施設に保管し、地下貯蔵施設の建設は遅くとも2030年に完成させ、2037年には移送を可能とする計画となっている。原子力発電所の所有および運転は、スロバキア電力(SE)が担当しているが、スロバキア政府は2006年、同電力の株式の66%をイタリアのENEL社に売却し民営化を進めている。

福島事故後の2011年5月30日、ドイツでは連立与党が2022年までの原子力発電全廃に合意したが、スロバキアのラディツォバー首相は、スロベニアのパホル首相と共同記者会見を行い、両国はエネルギー需要の多くを原子力に依存していることから、原子力発電を停止する予定



第5図 聖マルティン教会

はない、と明言している。

余談だが、筆者がウィーン赴任中、ブラチスラバまでは車で約1時間、日曜日でもデパートが開店していることもあって何度か訪問した。2004年にはビザ取得のため同地を初訪問し、日本大使館に赴いた。その帰途、ドナウ川のほとりの教会が美しかったので水彩画でスケッチした(第5図参照)。その教会が、マリア・テレジアを含む歴代18名のハンガリー王と王女の戴冠式が挙行された聖マルティン教会である。スケッチをしているアジア人が珍しいのか、描いている途中、地元の中高生や観光客に囲まれ、あれこれ話し掛けられた。その中の1人に「中国人か」と聞かれたが、和製の顔彩絵の具で描いていたこともあり、「日本人だ」と胸を張って答えたことを覚えている。素人画で恐縮であるが、その雰囲気は少しでも伝わればと思い掲載させて頂く。

参考：World Nuclear Association Web.

#### 著者紹介

杉本 純(すぎもと・じゅん)

本誌, 53〔8〕, p.59 (2011)参照.


 談話室

## 文系の女子学生から見た原子力

東京女子大学 渡邊早紀子

私の地元であるひたちなか市は複数の原子力施設のある東海村に隣接していることもあり、私にとって原子力はとても身近なものでした。特に、1999年に起きた臨界事故は忘れられない出来事の一つです。事故当日、私の地域でも屋内退避が勧告され、翌日は学校が休校となるなどし、幼いながらもただごとではないと感じました。また、祖母から聞いた「事故後に訪れた旅行先で祖母が茨城県からやって来たことを店員が知ると、商品に触れないでくれと言われた」という話がとても印象に残っています。事故直後で敏感になっていたのですが、原子力に関わりのない地域の方が誤解をしていたことに大きなショックを受けました。この経験から、原子力に対する正しい理解の普及が重要であると強く感じるようになり、WiN-Japan 主催のエネルギー・原子力に関する交流会に参加するきっかけとなりました。

近年、環境負荷が少ないという利点から原子力に対する関心が高まってきましたが、『原子力』という言葉からは核兵器や原爆などネガティブなものを連想する人や理解するのが難しいといった印象を持つ人が多く、敬遠されやすい分野であると感じていました。実際、この交流会の参加者を募るに当たって、女子学生を集めるのはとても困難なことでした。特に、私の周りには文系学生しかおらず、原子力分野に対して興味を持っている人はほとんどいませんでした。また、参加を希望してくれた学生からは「本当に原子力について何も知らないけど、参加しても平気？」などといった不安の声もありました。確かに原子力分野は専門的な言葉が多く、理解することは簡単なことではありませんが、この交流会をきっかけに原子力や原子力施設を持つ地域に少しでも関心を持ってほしいという思いが私にはあったので、「大丈夫。実は私もよく分かっていないから」と一緒に勉強しようと呼びかけていきました。

交流会では、WiN-Japan の会員の方々が原子力について丁寧に説明して下さいました。会場の照明を例に日本の総電力のうち約3割が原子力発電によるものであることや東京で使われている電気が福島で発電されていることなどを知ると、会場の学生からは驚きの声も漏れていました。また、実物の原子炉の部品の一つである燃料ペレットは思ったよりも小さく、こんなに小さいものから莫大なエネルギーが生まれるという説明を受け、原子

力が他のエネルギーに比べて効率よく発電できるかを実感しました。大型霧箱の実演では実際、目には見えない放射線がどのようなものなのかを目にするという貴重な体験をさせて頂きました。日常生活においても私たちが様々なものから微量な放射線を受けているということは知っていましたが、実際に放射線がどのように発生しているのかまでは想像が付きませんでした。霧箱を通して目にした放射線の飛跡はとても幻想的で、現れてはすぐに消える姿はいくら見ても飽きませんでした。

テーブルトークでは、学生たちが積極的に疑問をぶつけ、原子力に対する知識を構築することができたのではないかと思います。私のテーブルでは、放射性廃棄物についてさらに詳しく説明させて頂きました。日本は原子力先進国であるという認識が強かったのですが、意外にも再処理は海外に委託している状態であり、数年後には再処理された低レベル放射性廃棄物を青森の六ヶ所村が受け入れるということ、国内だけでなく世界中の国々が日本の原子力発電に携わっていたことを初めて知りました。また、原子力発電の話だけでなく、食品に対する放射線照射などの原子力の平和利用のお話も聞かせて頂きました。食卓に並ぶものに放射線を当てるということに最初は不安を覚えましたが、正しく行えば食品の長期保存が可能となり、無駄な廃棄を防げるというメリットを聞き、このように様々な形で私たちは原子力と付き合っていけるのだと感じました。

東日本大震災により福島原発で事故が起きたことで、原子力の平和利用に対する抵抗感は増したことでしよう。私の周囲でも、震災直後は放射線を恐れる友人が多数いました。しかし、交流会に参加した友人はそうした不安を感じている友人に対し、「私たちは日常的に放射線に浴びているし、東京では人体に影響が出るほど検出されていないから大丈夫」と落ち着いて対応していました。また、ゼミで福島原発が取り上げられた際も、この交流会で学んだことを思い出しながら今後の日本のエネルギーの在り方について議論でき、それぞれが原子力を身近なものとして真剣に捉えるようになったのではないかと思います。

今後もこのような活動に積極的に参加していき、多くの人が原子力に関心を持つ世の中にしていきたいと思えます。  
(2011年5月25日 記)

## 新刊紹介

### よくわかる身のまわりの現象・物質の不思議

国立天文台編, 174 p. (2011. 2), 丸善出版.  
(定価1,300円+税) ISBN 978-4-621-08149-5

身のまわりの物質の状態や物理量とその性質, そして単位やエネルギーについて, 多くの図や写真, イラストを使うことで, 分かりやすく記述された入門書です。未来の科学者である高校生以下の子どもたちを対象に国立天文台が編集をしています, 子どもたちに対して出前授業や科学実験を行う研究者にとっても, 子どもたちへの理解を促す手法や表現を学ぶ参考書といえます。

本書は『マイファーストサイエンス』シリーズの第3弾であり, 大きな視点から宇宙, 惑星, そして地球科学の魅力を伝えた第1弾「よくわかる宇宙と地球のすがた」, 少し身近な地球環境と地球にすむ生物について解説した第2弾「よくわかる気象・環境と生物のしくみ」の続編です。身のまわりで起こる自然現象や自然界の法則, 「モノ」の存在する仕組みを, 身近な事例を挙げて, 分かりやすく説明しています。

記述内容は, pH, 危険な気体, 元素周期表, 融点・沸点,

密度, 溶解度, プラスチック, 理科室にあるおもな薬品の性質, 水の性質, 主な化学反応, 原子の構造とイオン, 電池, 長さ, 質量, 速さ, 滑車・輪軸・てこ, 力, 力とエネルギー, 熱と温度, 熱現象, 音, 電気, 電気回路, 磁気, 電磁波, 光, 放射線です。例えば, 放射線では, 同位体, 放射線と放射能の違い, 半減期, 放射性物質の管理, 自然放射線, 放射性同位元素や放射線の利用について書かれています。



本書全体の印象としては, 身近なものを利用した実験(11円電池(10円と1円硬貨で簡単にできる電池)や一斗缶の大気圧確認実験)を入れることで分かりやすいものになっていますが, 原子の構造に原子核内(素粒子など)の記述が少ないことには, 少し物足りなさも感じます。また, 最後の放射線が, 前述の元素周期表や原子の構造, エネルギーとの関連付けが少ないことは, 少し残念な点です。しかし, 子どもたちの理解の範囲が, この程度であると認識すれば, 納得ができます。次年度からは中学校理科3年次で, 放射線に関する学習が行われます。学校での授業でも使え, 教員自身も楽しく学べる入門書が必要とされています。ぜひ専門家の方々の支援をお願いします。(長崎大学・藤本 登)

### 日本原子力学会誌 ATOMOS 広告のご案内

一般社団法人 日本原子力学会

「日本原子力学会誌」は, 特集・解説・講演等, 広く原子力に関わる記事を掲載し, 我が国の原子力研究, 産業の発展に資するべく, 努力しております。学会誌は毎月約8,000部が発行されており, 電力, メーカー, 大学, 研究機関を中心とする会員および賛助会員の原子力関係者はもとより, 広く原子力関係機関, 市町村, マスコミ等にわたっております。本誌への広告掲載は, 発展の一助になるものと信じておりますので, ぜひ, 広告の掲載をお願い申し上げます。

#### ■賛助会員料金(消費税別)

表2	150,000円	前付	110,000円
表3	140,000円	後付	100,000円
表4	190,000円	差し込み	230,000円

#### ■一般料金(消費税別)

表2	160,000円	前付	120,000円
表3	150,000円	後付	110,000円
表4	200,000円	差し込み	240,000円

※差し込みは本誌に同封となります。

■上記の金額は, 1ページあたりのモノクロの料金です。カラーの場合, 1ページあたり120,000円追加となります。

また, 版下・フィルム製作費は別途申し受けます。

■過去1年以上毎月出稿された機関につきましては10,000円引きとなります。

■連絡先 105-0004東京都港区新橋2-3-7新橋第二中ビル3F, 一般社団法人日本原子力学会 学会誌編集担当 富田, 野口  
TEL 03-3508-1262, FAX 03-3581-6128, E-Mail: hensyu@aesj.or.jp

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

# 福島原発事故に対して広い分野の情報提供に期待

多視点からの検証に期待の声も

(7月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」7月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は46名の方から、回答がありました。

## 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。7月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	解説	リスク学から見た福島原発事故	4.58
2	解説	福島原発で起きた原子炉建屋の損傷	4.46
3	ジャーナリストの視点	もう一つの原発震災	4.29
4	巻頭言	文明の先を見据える	4.29

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	解説	リスク学から見た福島原発事故	4.26
2	ジャーナリストの視点	もう一つの原発震災	4.00
2	巻頭言	文明の先を見据える	4.00
4	報告	世界原子力大学へ行こう!	3.79

福島原発事故に関連する記事が上位を占めています。

## 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 福島事故に対する精力的な編集が続いており、広い視野の技術者がいる原子力界のわかりやすい情報提供として有効と思われる。
- (2) 「巻頭言」が、かなりあとになって出てくるのは、違和感がある。
- (3) 報告「福島第一原発事故の諸外国の原子力開発政策」に関して、国による原子力政策の違いは、エネルギー事情に大きく依存していると思われるが、そのあたりをもう少し深く記述してほしい。
- (4) 学会誌の配布を Web 配信に切り替えることについて、検討してほしい。

## 3. 編集委員会からの回答

- (1) 上記コメント(2)に関して、この措置は、福島第一原発事故に関連する特集記事のための一時的な措置であり、8月号からは従来通りの配置に戻っております。
- (2) 「FOCUS」やその他の記事にさまざまなご意見が寄せられていますので、それらを参考に今後の記事企画を進めていきたいと思っております。

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

# 原発事故の事実を知りたいという大きなニーズが

信頼回復に向けた活動を望む声も多く (8月号の Web アンケート結果)

「原子力学会誌」8月号に対して寄せられた Web アンケートの結果をご紹介します。今回は139名の方から、回答がありました。

## 1. 高く評価された記事

Web アンケートでは、各記事の内容および書き方について、それぞれ5段階で評価していただいています。8月号で高く評価された記事について、「内容」、「書き方」に分けてそれぞれ上位4件をご紹介します。

第1表 「内容」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (内容)
1	解説	福島第一原子力発電所事故から学ぶ	4.21
2	解説	ポスト3.11時代の科学技術コミュニケーション	4.20
3	ジャーナリストの視点	「言葉の備え」を問う	4.00
4	巻頭言	国民の信頼を回復するためには、われわれの総力の結集を	3.96
4	解説	福島第一原子力発電所に何が起ったのか	3.96

第2表 「書き方」の評価点の高かった記事(上位4件)

順位	記事の種類	タイトル	評点 (書き方)
1	巻頭言	国民の信頼を回復するためには、われわれの総力の結集を	3.93
2	ジャーナリストの視点	「言葉の備え」を問う	3.81
3	解説	福島第一原子力発電所事故から学ぶ	3.78
3	解説	福島第一原子力発電所に何が起ったのか	3.78

今月号も福島原発事故に関連する記事が上位を占めています。

## 2. 自由記入欄の代表的なコメント、要望等

- (1) 福島原発事故の解説を原子炉工学的側面から環境にいたるまで、幅広い分野にわたり、いち早く掲載していることが、原子力学会誌の使命を果たし、大変意義深い。
- (2) 今後、掲載を希望する記事として、わかりやすいものから専門的なものまで幅広く記事を掲載してほしい。
- (3) 各記事においては、事実と根拠、分析、判断、意見を分けて書いてほしい。
- (4) 福島原発事故以後を見据え、学会として中長期的にわたり、どのように取り組むべきか議論を深めていただきたい。

## 3. 編集委員会からの回答

上記(3)にあるように、事実とその根拠をわかりやすくまとめてほしいと言う要望が多く、いろいろな情報が飛び交う中で、事実を知りたいという読者のニーズが感じられます。できるだけ、そのようなニーズに応えていきたいと思えます。

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