

### 巻頭言

#### 1 ～原子力を支える人材・技術の確保に向けて～

三村申吾

### インタビュー

#### 2 「もんじゅ」は人類への貢献につながるように活用を

—有明朗人氏に聞く



「もんじゅ」の在り方委員会の座長を務めた同氏は、「内外の研究者が『もんじゅ』を国際的に利用できる施設として活用し、人類への貢献につなげることができるよう活用していかなければならない」と述べる。聞き手 澤田哲生

### 時論

#### 4 温室効果気体の増加と気候変動

地球は温暖化しつつある。その原因は何か、気候は今後どのように変わるのか、この気候変動問題にいかに対処すべきか。中澤高清

#### 6 東日本大震災時の女川原子力発電所—現場からの報告

女川原子力発電所は東日本大震災時に地震や津波に見舞われたにも拘らず、冷温停止できた。その要因は何か。渡部孝男

### 解説

#### 20 原発をめぐる司法判断が分かれはじめた

この問題の背景には、科学技術をめぐる不確実性への対応をめぐる社会的なコンセンサス形成の正当性と手続きの妥当性や、世の中の規範や価値観を調整する回路の不在の問題がないだろうか。佐田 務

### 解説

#### 14 研究炉の長期停止で人材育成に懸念—学会分科会、研究炉の役割明確化と戦略化を提言

国内にある研究炉や臨界実験装置が停止している。このため原子力学会は専門の分科会を立ち上げてこの問題を検討し、人材育成に不可欠な研究炉等の役割を明確化し、国の公共財と位置づけるべきだとする提言をまとめた。上坂 充、峯尾英章



#### 40 科学的な議論の場をデザインするには—PA から参加型 RC へ

参加型リスクコミュニケーション (RC) は、専門家と一般市民の間にある認識のずれを見いだす役割をもっている。その際、公平性と有効性の二つが有効な評価軸となる。西澤真理子

#### 45 低線量の放射線健康影響リスクコミュニケーション—地域参画型リスクコミュニケーションの実践

福島原子力発電所事故後の低線量の放射線健康影響リスクを対象として、地域コミュニティ協働による新たな地域参画型リスクコミュニケーション手法を構築した。山野直樹

### 談話室

#### 50 福島原発事故から見てきたリスクコミュニケーションを巡る課題への一考察

佐藤映子

## 25 OECD/NEA 福島第一原子力発電所事故後の5年—原子力安全の改善と教訓

福島第一原子力発電所の事故後、OECD/NEAとその加盟国は原子力発電所の安全対策の検討を進め、2013年に基本的な問題点を教訓として公表。さらに2016年2月には事故後5年の報告書を公表した。

成合英樹

## 30 技術基盤としての核データと核計算コードシステム

—日本における開発動向とその意義

核計算コードシステムの開発は、原子力技術研究開発の基盤をなすだけでなく、人材育成にも大きく貢献する。汎用放射線挙動シミュレータやモンテカルロ炉心計算コードなど現在進行中の開発プロジェクトを核データとの関係に留意しつつ紹介し、その意義と期待を述べる。

吉田 正

## 35 岩盤の力学挙動に対する数値解析モデルについて

岩盤は種々の岩石から成り、大小様々の不連続面で構造化された半無限体である。そうした岩盤に対する数値解析モデルは近年、大幅に精緻化されつつある。

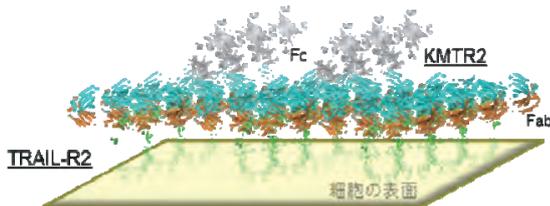
京谷孝史

## サイエンス

## 51 抗がん剤の作用メカニズムの『鍵』を原子レベルで解明

がん細胞に特異的に細胞死を誘導する完全ヒト抗体の立体構造を、ヒトの細胞表面にある受容体との複合体状態で解明した。これにより、抗体の作用により細胞死が誘導されるというメカニズムを世界で初めて明らかにした。

玉田太郎



腫瘍細胞の表面における KMT2R によるヒト TRAIL-R2 の高度な会合状態 (モデル図)

## 理事会だより

## 62 福島復興への対応と学会活動への取り組み

## 8 NEWS

- 上坂氏が原子力学会新会長に
- 福島県内3市村の避難指示解除を決定
- 海外ニュース

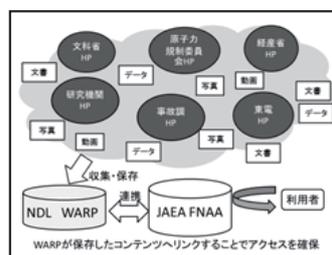
## 報告

## 55 福島事故に係る情報の保存とその利用の取り組み

—アーカイブの構築・運用と今後の課題

JAEA 図書館では福島原発事故以降、同事故に関する情報を収集し、「福島原子力事故関連情報アーカイブ (FNAA)」として公開している。

早川美彩ほか



## 私の主張

## 60 核変換が地層処分に果たすべき本来の役割

大山幸夫

## 福島からの風

## 61 福島の未来に向けて

藤木亜唯花

## 19 From Editors

- 63 会報 学術的会合の予定、人事公募、寄贈本一覧、新入会一覧、「2016年秋の大会」見学会案内、英文論文誌 (Vol.53, No.8) 目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧

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

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

# ～原子力を支える人材・技術の確保に向けて～

## 巻頭言



青森県知事

三村 申吾 (みむら・しんご)

東京大学文学部卒。1992年に百石町長就任、2000年に衆議院議員就任、2003年6月より現職。

東日本大震災から5年余りが経過し、この間、原子力発電所の停止等により、化石燃料の輸入が大幅に増加するなど、我が国のエネルギー政策においては、国家安全保障の重要性と、安定供給、経済効率性、環境適合及び安全性の観点から、柔軟で強靱なエネルギー需給構造を確立していくことが喫緊の課題となっています。

青森県は従来から、原子力、再生可能エネルギー、化石燃料それぞれのメリットを最大限活かしたエネルギーのベストミックスに向け、さらには、将来の核融合エネルギーの実現をめざし、エネルギー産業の振興に取り組んでいます。

原子力政策においては、原子力発電及び核燃料サイクルの推進が、エネルギー資源に乏しい我が国を支える重要な政策であり、確固たる国家戦略であることを理解し、安全確保を第一義に、原子力施設の立地に協力してきました。

国においては、福島第一原子力発電所事故の反省と教訓を踏まえ、世界最高水準の安全性を確保するための安全規制体制を構築し、事業者においては、原子力規制委員会による安全性の確認を出発点として、さらなる安全性の向上を不断に追求していくことが求められています。また、事故を経験した我が国は、二度と原子力事故を起こさない決意で、事故の教訓を国際社会に広め、世界の原子力安全の向上と原子力の平和利用に貢献していく責務があります。

原子力を平和利用する産業は、発電のみならず、多くの方の命を救う医療分野など、様々な分野で私たちの生活を支えています。我が国が将来にわたって、原子力産業を発展させ、原子力施設の安全を確保していくためには、それを支える人材・技術の維持強化が必要不可欠であり、一方で、人材・技術の確保のためには、原子力産業に明るい未来と展望がなければなりません。

青森県は、原子力関連施設の立地環境を活かして、原子力分野の人材育成、研究開発においても積極的に貢献していくため、その活動の拠点となる施設整備を六ヶ所村で進めています。

拠点施設では、人材育成活動として、学生、社会人等を対象に、原子力安全・防災、放射線管理などの専門的知見を有する人材の養成、放射線取扱主任者等の国家資格取得のための講習、作業管理者、中堅技術者の養成、原子力・放射線の基礎研修などのカリキュラムを検討しており、原子力関連施設等での実地研修を特色とした活動を展開していきたいと考えています。

また、研究開発活動としては、①高レベル放射性廃棄物に含まれる有用な放射性同位元素の分離抽出と利用、②サイクロトロン加速器等を活用した放射性同位元素の医学・工学等への応用、③新たな放射線計測技術の開発と応用、④放射線利用等による新材料の開発、の4つの基本テーマを柱とした研究を進めることとしています。

さらに、量子科学技術研究開発機構六ヶ所核融合研究所、環境科学技術研究所、東北大学六ヶ所分室などにおける研究成果を、新たな地域産業につなげる取組も進めたいと考えています。

拠点施設において、産学官が連携しながら、人材育成・研究開発活動を展開することによって、多くの若者が、原子力関連の実践的かつ高度な知識・技術を習得し、原子力産業における雇用促進が図られるとともに、原子力分野の教育と研究の拠点形成が進み、本県の人づくり、産業づくりにつながっていくことを期待しています。

拠点施設が、産業界、教育・研究機関の皆様、オールジャパンで利用していただけるよう、魅力ある施設づくりに努めて参りますので、皆様の御支援、御協力をお願い申し上げます。(平成28年6月23日記)

## INTERVIEW

# 「もんじゅを動かし、 その成果によって人類のために貢献を」



有馬 朗人氏 (ありま・あきと)

東京大学理学部物理学科卒業，理学博士。東大理学部教授，東大総長，理化学研究所理事長，参議院議員・文部大臣，科学技術庁長官などを経て，2006年から武蔵学園学園長。核物理研究等で文化勲章。

## 「もんじゅ」の在り方に関する検討会座長 有馬朗人氏に聞く

聞き手 本誌 澤田 哲生

東京工業大学



原子力規制委員会からの勧告にもとづいて設置された「『もんじゅ』の在り方に関する検討会」は，9回にわたる会合を終えて報告書をまとめた。同検討会の座長を務めた有馬朗人氏は高速炉について，「軽水炉によるウラン利用を続ければ，いずれウラン燃料は枯渇する。その意味からも高速炉は必要だ」と指摘。「内外の研究者が『もんじゅ』を国際的に利用できる施設として活用し，人類の貢献につなげることができるよう活用していかなければならない」と述べる。一方で国内の原子力をめぐる状況については「原子力を連携して取り組む姿勢と，それを統括する司令塔がない」とし，将来に向けてはアカデミアを含めた各セクターが協力し合う「知の統合」の必要性を訴えた。

### ウランはいずれ枯渇する。 そのために高速炉は必要だ。

—「もんじゅ」の在り方に関する検討会を終えられた。その感想を。

有馬 最初に技術というものがもつ特性からお話ししましょう。ロケットにしる，あるいは高速炉にしる，それを自分たちの力で作って動かし，さまざまな失敗を経た上でないと，本当に自分のものにはなりません。技術とはそういうものです。

高速炉の研究開発に現時点で取り組んでいる国のうち，一番進んでいるのはロシアです。中国やインドも手がけています。そんな中で，かつての西側と呼ばれる国々で稼働可能な高速炉を現在，持っているのは日本だけです。

私はかつて，高速炉を手がけるロシアの幹部の招待を受けて同国の高速炉を見学しに行ったことがあります。けれども彼は最後まで，肝心の炉を見せてくれることはありませんでした。彼から成功談の話はたくさん聞きましたが，ロシアの高速炉開発ではどのような失敗があ

り，それをどう克服したかについては全く教えてくれませんでした。肝心の技術は何も教えてはくれないということ，その時に思い知らされました。

そのような中で「もんじゅ」は国際的にも唯一，協力関係にある国々に公開している施設です。「もんじゅ」は世界に誇れる施設であり，私はここを，高速炉を開発する国際拠点にすればいいと思っています。

一方で高速炉開発の背景にはウラン資源の問題があります。今のように軽水炉でウランを利用していけば，遅かれ早かれウラン資源は枯渇します。その時期についてはいろいろな見方がありますが，どんなに長く見積もっても100年以内であることは間違いありません。その時には高速炉が最有力の選択肢となります。そのための開発を，今から準備しておかなければなりません。それを考えた時に，すでに1兆円をつぎこんだ「もんじゅ」を活用しない手はありません。「もんじゅ」は，高速炉開発において，世界の最前線に位置する機会を提供するものです。日本の若い職員がそれを活用してさまざまな知見を得ることは，将来の人類のために貢献することでもあります。

また、「もんじゅ」を開発していくにあたっては、大学との連携も不可欠です。福井や京都や大阪など、近くにはいろいろな大学があります。これらの大学の連合的なものを作ることも選択肢です。「もんじゅ」は国内的にも、また国際的にも開かれた、人類の資産として活用すべきです。

### 「もんじゅ」の主要部分に問題はない

—学会誌では「もんじゅ」で働く若手職員をまじえた座談会を開きました。現場の職員に聞いたら、今もナトリウムループを動かしており、それだけでもデータがとれている、技術をモノにするためには自らが動かし、そこでデータをとること、そしてさまざまな苦労をすることこそが重要だと聞きました。

同感です。福島第一原子力発電所を例にとっても、初期のものはほとんどが米国製です。日本の技術が生かされてくるのは5号機以降でしょう。自分の力でやらないことには自分の技術にはなりません。そうしないと、本当の意味での科学技術は進んでいかないので。

「もんじゅ」で起きたこれまでの事故やトラブルは、所員の失敗ではありません。温度計の問題にしても、また炉内中継装置落下にしても、設計がまずかった。その弱さがのちに露呈しました。一方で「もんじゅ」の主要部分は、これまでも全く問題がありません。これまで事故が起きたところはすべて、ローテクの部分です。

とはいえ「もんじゅ」を担ってきた動燃や核燃料サイクル開発機構、そして原子力機構のトップマネジメントに、問題がなかったとは言えません。これまでの経営陣には一丸となって、「もんじゅ」を本気で動かしたいという熱意や迫力や覚悟の面で足りなかった部分があると思います。

### 関係主体間の連携が不十分だ

—文科省や原子力規制委については。

各主体間のコミュニケーションが悪いと思います。米国ではNRCやDOEは電力会社を含めたいろんな主体と、しっかりとコミュニケーションしており、そのことが原子力の全体をよい方向へと動かしています。日本の場合には基本的に縦割りが強すぎます。「『もんじゅ』の在り方に関する検討委員会」でも原子力規制委と意見交換をしたいと希望したのですが、かないませんでした。さらには経済産業省なども含めて意見交換や相談する機会を持ちたかったのですが、それも実現できませんでした。それらを実現するためには、官邸による強い関与が必要だったと思います。

### 原子力行政を統括する司令塔がない

—今後について。

「在り方検討会」としては最終報告をまとめ、その後の

ことについては文部科学省に託しました。

報告では新しい運営主体に必要な要件を盛り込みました。これを満足するような組織を作ることは国の仕事です。これからは文科省主導で官邸や経産省、内閣府を含め政府内に横串を通して、その組織作りをしっかりとやってほしいと思います。

なお経産省は「もんじゅ」を超えてフランスのプロトタイプ高速炉“ASTRID”計画に関する日仏協力を重視しているようですが、我が国で実用化するためには、例えば技術獲得や人材育成を含め、それで本当に大丈夫なのかという懸念があります。また、文科省の中にはかつての科技庁にあった原子力局がありません。原子力分野では、原子力委や文科省の原子力担当部門や経産省のエネルギーを含めた全体を統括する司令塔がありません。政府としては原発の再稼働も重要課題でしょうが、大学との連携や人材育成、科学技術の発展という視点も重要です。そのためにも文科省にもっとがんばってもらわなければなりません。

—若い人向けのメッセージを。

「もんじゅ」を動かし、その成果によって人類のために貢献してほしいと思います。日本には「もんじゅ」があること、日本の科学技術力を世界に示すとともに、国際的に人材を集め、協力しあってほしいと思います。

—学会誌では知の統合にも関心を持っています。

地震分野ではかつて、地震の専門家と建築の専門家の本格的な交流が全くありませんでした。それが始まったのは阪神大震災からです。これは医学でも生物学でも農学などの間でもそうで、それらの交流はきわめて不十分です。原子力分野でも、理学と工学の間には壁がありません。原子力工学や核物理にしてもそうです。

ともあれ核物理は、原子核、原子力という分野にメスを入れました。あとは、さまざまな人たちが協力して、その応用をめざしていろいろな問題に立ち向かっていかなければなりません。

天災はコントロールできません。しかし技術はコントロールできます。失敗学の畑村洋太郎氏の話によると、原子力に比べ火力は安全だと今は思われていますが、その火力には200年に近い歴史があり、火力のボイラーは昔はよく爆発したそうです。それが爆発しなくなるようになったのはたった数十年前のことで、その時から火力は何とか安全に運転できるようになったということです。

原子力の歴史はたかだか50年ほどです。東京電力福島第一原子力発電所事故を教訓とし、技術でこれを克服して原子力を生かし、それをもって人類に貢献するという道を選ぶべきです。私たちにはそれができる力があります。

(編集協力：佐田 務)



## 温室効果気体の増加と気候変動



中澤 高清 (なかざわ・たかきよ)

東北大学名誉教授, 客員教授  
東北大学助手, 助教授, 文部省宇宙科学研究  
所客員助教授, 国立極地研究所客員助教授,  
東北大学教授, 同大気海洋変動観測研究セン  
ター長等を経て2012年から現職。理学博士,  
専攻は気象学, 大気科学。

### 1. はじめに

18世紀後半の産業革命を契機に活発化した人間活動により,  $\text{CO}_2$ や $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ といった温室効果気体が大量に発生し, それに伴って大気中の濃度が増加の一途を辿っている。このような増加は大気の温室効果を強めて近い将来の気候を大きく変えると考えられ, 国際的な関心事となっている。地球温暖化と総称されるこの問題に対処するためには, 原因となっている温室効果気体の循環を明らかにし, 将来の気候を高い確度で予測するとともに, 濃度増加の抑制対策を確かなものにする必要がある。本稿では, 代表的な温室効果気体の増加及びそれに伴う気候変動について, 最近の科学的知見を概説する。

### 2. 温室効果気体の増加と原因

大気中の温室効果気体の系統的観測は, 1950年代末に南極点とハワイ・マウナロアで $\text{CO}_2$ について行われたのが始まりであり, その他の気体については1980年代に入って本格的に実施されるようになった。系統的観測が行われる前の濃度は, 南極やグリーンランドで掘削された氷床コアに含まれる過去の空気を分析することにより推定されている。これらの結果から,  $\text{CO}_2$ 濃度は産業革命前には280ppmであり, 20世紀半ばまではゆっくりと, それ以降は急速に増加し, 現在の400ppmへ達したことが明らかである。 $\text{CH}_4$ と $\text{N}_2\text{O}$ も同様な傾向を辿っており, それぞれ700ppbから1840ppb, 270ppbから328ppbへと増加した。すなわち, この250年間に大気中の $\text{CO}_2$ は43%,  $\text{CH}_4$ は163%,  $\text{N}_2\text{O}$ は21%も増加したことになる。また, 南極のドームC基地やドームふじ基地で掘削された3000m以上に及ぶ深層氷床コアの分析結果と比べると, 最近の濃度は過去80万年のなかで突出して高く, 自然要因による変動の数十倍から百数十倍も速く上昇していることがわかる。

このような濃度増加がどのような原因で生じたかを具体的かつ定量的に解明することは, 温室効果気体の放出と大気中濃度ならびに気候変動との関係を理解する上で不可欠であり, 様々な手法を用いて多くの研究がなされてきた。これまでの研究を総合すると, 産業革命以降の濃度増加は人間活動に起因しており, 放出量と吸収(消

滅)量およびそれぞれに関わる諸過程の相対的寄与は時代とともに変化してきたことが明らかである。最近の全球収支を各気体についてまとめると以下ようになる。

地球表層における主な炭素貯蔵庫は, 大気と海洋, 陸上生物圏であり, 大気-海洋間と大気-陸上生物圏間では, それぞれ $\text{CO}_2$ 分圧差と光合成・呼吸によって大量の $\text{CO}_2$ が年々交換されている。現在, このような自然循環の中に人為起源の $\text{CO}_2$ が加えられ, 各貯蔵庫に配分されている。人為起源の $\text{CO}_2$ は, 化石燃料燃焼やセメント製造, 土地利用改変(主に熱帯での森林破壊)によって発生し, その量はエネルギー消費, セメント製造, 森林に関する統計を基に推定されている。大気に放出された $\text{CO}_2$ は, 一部が海洋と陸上生物圏に吸収され, 残りが大気に留まる。大気残留量は濃度の系統的観測から, 海洋と陸上生物圏の吸収量は, 大気中の $\text{O}_2$ 減少の解析や各種の循環モデルによる解析など, 多くの方法を用いて推定されている。結果に違いはあるものの, 総合的に見ると, 最近(2005-2014年)は化石燃料燃焼が主たる放出源であり(87%), 残りが土地利用改変(9%)とセメント製造(4%)から放出されており, その内の26%が海洋により, 30%が陸上生物圏により吸収され, 44%が大気に残留している。なお, 陸上生物圏は, 熱帯での森林破壊によって $\text{CO}_2$ を放出しているが, 北半球中高緯度の森林がそれを上回る量の $\text{CO}_2$ を吸収しており, 現在は正味の吸収源として働いている。

現在, 大気には自然起源と人為起源の $\text{CH}_4$ が加えられており, その大部分はOHラジカルやCl,  $\text{O}(^1\text{D})$ との反応により消滅している。大気残留量は $\text{CH}_4$ 濃度の系統的観測から求められ, 放出量と消滅量の推定には, フラックスの直接測定やプロセスモデルによる計算の結果を時空間的に積算する方法(ボトムアップ法)と, 観測された大気中の $\text{CH}_4$ 濃度や同位体比の変動をモデルで解析する方法(トップダウン法)が採用されている。手法や研究による違いは未だ大きい, 2000年代の収支を大まかに見ると, 大気に放出された $\text{CH}_4$ の60-40%は食料やエネルギーの確保といった人間活動によるものであり, その約2%が大気に残留していたことになる。 $\text{N}_2\text{O}$ の収支評価についてもボトムアップ法とトップダウン法が適

応されている。推定された最近の収支は、大気に放出される  $\text{N}_2\text{O}$  の 40% は人為起源(特に食料生産に関わる農業活動)、残りが自然起源であり、その多くは成層圏での光解離および  $\text{O}(^1\text{D})$  との反応によって消滅するが、総放出量の 20-25% が大気中に残留していることを示している。なお、PFC および代替フロンである HFC や HCFC といったハロカーボン類ならびに  $\text{SF}_6$  も強力な温室効果気体であり、排出抑制の対象となっているが、人間が作り出した物質であるので、生産量や特性は把握されており、大気中濃度の監視も行われている。

### 3. 気候変動の進行

上で述べたように、大気中の温室効果気体は急増しており、それに伴って温室効果が強まり、地上付近の気温が上昇している可能性がある。実際に、系統的な気象観測から得られた地域的影響が少ない地上気温データを検討してみると、全球平均気温は 20 世紀初頭より上昇し始め、2015 年に最も高くなっており、1880 年代と 2010 年代の気温差が  $0.9^\circ\text{C}$  であることを示している。したがって、過去 100 年にわたって地球が温暖化してきたことは確かである。このような気温上昇の原因を具体的に理解することは長年にわたる大きな科学的課題であり、多くの研究が行われてきた。たとえば、世界の代表的な気候モデルが参加し、世界気象機関(WMO)が中心となって推進している世界気候研究計画(WCRP)の下で行われた第 5 期結合モデル相互比較計画(CMIP5)においては、(1)温室効果気体の増加のみを考慮すると、モデルは 20 世紀半ば以降の気温上昇を過大評価する、(2)太陽活動や火山噴火といった自然強制力のみを考慮すると、逆にモデルは 20 世紀半ば以降の気温上昇を過小評価する、(3)自然強制力に加え、人為強制力(温室効果気体や硫酸エアロゾル)を考慮することにより観測された気温変化は再現できる、ということが示されている。「気候変動に関する政府間パネル」第 5 次評価報告書(IPCC AR5)では、これらの結果を基に、20 世紀半ば以降に観測された地上気温の上昇は人間活動に伴う温室効果気体の増加による可能性が極めて高い(95%以上の確信度)と結論づけている。なお、放射強制力(放射を介して気候に関与している要素が変化した場合に気候系に現れる影響を定量的に表現する尺度)を検討してみると、産業革命前(1750 年)から今日までの温暖化への寄与は、 $\text{CO}_2$  が 65% と最も大きく、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$ 、CFC-12 などがその後続くことがわかる。

CMIP5 では、代表的濃度経路(RCP)と名付けられた 4 つのシナリオ(RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5)を基にして将来の気候予測が行われ、得られた結果は IPCC AR5 にも採用されている。ちなみに、RCP の後に続く数値は、1750 年から 2100 年までの放射強制力(単位は  $\text{W}/\text{m}^2$ )を表しており、RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 はそれ

ぞれ低位安定化シナリオ(産業革命前からの気温上昇を  $2^\circ\text{C}$  以内に留めることを想定)、中位安定化シナリオ、高位安定化シナリオと呼ばれ、いずれかの時点で気候を安定化させることを意識したものとなっており、RCP8.5 は厳しい排出抑制をとらない現状成り行きシナリオである。このモデル予測によると、2081-2100 年での全球平均地上気温の上昇は、RCP2.6 で  $0.3\text{-}1.7^\circ\text{C}$ 、RCP4.5 で  $1.1\text{-}2.6^\circ\text{C}$ 、RCP6.0 で  $1.4\text{-}3.1^\circ\text{C}$ 、RCP8.5 で  $2.6\text{-}4.8^\circ\text{C}$  の範囲ということになる。なお、気温の上昇は全球様に起こるのではなく地域によって異なり、特に北極域で顕著であり、海上より陸上で大きい。また、氷河の融解や海水の熱膨張などにより、この 100 年間に 19cm の海面水位の上昇が観測されているが、このような傾向は今後も続き、2081-2100 年には RCP2.6 で 26-55cm、RCP4.5 で 32-63cm、RCP6.0 で 33-63cm、RCP8.5 で 45-82cm の上昇が予測されている。

人為起源の温室効果気体による気候変動は、単に地上気温や海面水位の上昇を招くだけでなく、降水分布が変化し地域や季節による差が激しくなる、夏季の土壌水分が減少する、極端な高温・降水現象が多発する、海水温が上昇する、海洋循環が変化する、北極海の海水域や氷河、北半球春季の積雪面積が減少する、台風が巨大化する、などといった大規模な気候システムの改変を引き起こすと考えられる。また、気候変動への寄与が最も大きい  $\text{CO}_2$  は、大気へ放出された後に一部が海洋に吸収されるので、海水を酸性化させ、海洋生態系に深刻な影響を与えると懸念されている。さらに、温暖化に伴って温室効果気体の循環が変化し、大気中の濃度をさらに増加させるという正のフィードバックが働くと考えられる。

### 4. おわりに

地球は 20 世紀初頭より温暖化しており、特に半ば以降については温室効果気体の増加が主因である可能性が極めて高い。このような増加は、エネルギーや食料、資源などの獲得といった人間の生存に不可欠な行為と密接に関係しているため、温暖化は当分の間は続くと考えられる。しかし、我々の生活基盤は現在の気候に適応したものとなっており、短期間に大きな気候変化が起こるとその基盤が危うくなる。また、主要な温室効果気体は長寿命であり、一旦大気中の量を増やしてしまうと、長期にわたって温暖化が継続する。従って、温室効果気体の急激な排出を抑制して気候変化を緩やかにすることが肝要であり、また変化した気候に適応することも併せて検討しておく必要がある。これらを確かにするためには、今後、温室効果気体の循環をはじめとして、気候に関わる諸過程の理解をさらに向上させ、それを踏まえてより高度化した気候モデルによる将来予測が不可欠である。

(2016 年 4 月 28 日 記)



## 東日本大震災時の女川原子力発電所 ～現場からの報告～



渡部 孝男 (わたなべ・たかお)

東北電力株式会社 取締役 副社長  
2011年3月11日の東日本大震災当時女川原子力発電所長。その後、火力原子力本部原子力部長を経て、2015年6月より現職。

### 1. はじめに

本稿では、主に東日本大震災時の女川原子力発電所(以下、「当発電所」という。)の状況、当発電所が福島第一原子力発電所と同じ規模の地震や津波に見舞われたにも拘らず事故に至らず冷温停止できた主な要因、地域住民との協調、そして今後に向けた更なる安全対策の取り組み等について述べる。

### 2. 女川原子力発電所の概要

当発電所は、太平洋岸の牡鹿半島に位置し(仙台から約70km)、1号機は1984年に、続いて2号機は1995年に、3号機は2002年に営業運転を開始した。全号機とも沸騰水型軽水炉(BWR)である。また、発電所の敷地高さは海拔14.8mであった。

### 3. 地震発生

2011年3月11日午後2時46分に発生した地震(震源地 三陸沖約130km、深さ約24km)は、マグニチュード9.0という日本国内観測史上最大を観測した(図1)。当発電所の立地する宮城県牡鹿郡女川町での観測震度は震度6弱(宮城県内最大震度7)であった。この時、1号機の原子炉建屋地下2階に設置された地震計は、最大加速



図1 震源地と女川原子力発電所の所在地

度567.5ガル(水平方向)を観測した。また、この地震に伴い津波が襲来し、当発電所では同日午後3時29分に最高約13mの津波水位を観測した。国土地理院によると、牡鹿半島一体が地震後約1m沈下したとのことから、津波が発電所に達したときは、敷地高さは約13.8mであったと推定される。そのため、津波が敷地に乗り上げてくることはなかった。

### 4. 主要設備被害

プラントは3基とも安全に停止したが、少なからぬ被害があった。

#### (1) 重油タンクの倒壊

1号機補助ボイラー用の重油タンクは海拔約2.5m(地盤沈下約1mを考慮した値)の位置に設置されていたため津波によって倒壊し、重油が港湾に流された。津波襲来前の残油量は約600キロリットルと推定される。環境への影響を最小限にするために、大津波警報が解除された後、オイルフェンスや油吸着マットを海に敷く等の対策を講じた。

#### (2) 遮断器焼損

3月11日午後2時57分に1号機タービン建屋地下1階にある常用系の高圧電源盤から火災が発生した。本火災は発電所自衛消防隊により消火され、午後10時55分に鎮火したことを確認した。火災原因は、常用系高圧電源盤の遮断器が吊り下げ型構造のため、地震により激しく揺れてアークが発生し、ケーブルの絶縁被覆を溶かしたために大量の煙が発生したものと推定される。

#### (3) 原子炉建屋付属棟地下3階の一部浸水

前述のとおり津波が敷地に乗り上げることはなかったが、2号機の原子炉建屋付属棟の一部が浸水した。最初に強い押し波により海水ポンプ潮位計発信器のチューブボックスの蓋が壊れ、海水ポンプ室(B)が浸水した。次に、この海水が配管とケーブルの貫通部隙間に流れ込み、トレンチ(洞道)を通り原子炉建屋付属棟地下3階が一部浸水した。浸水した水は放射性物質が含まれていないことを確認した上で建屋外に排水した。本浸水により非常用ディーゼル発電機2台が使用不可となった。

## 5. 事故に至らなかった主要因

当発電所が事故に至らず冷温停止できた要因としては、最初に電源が確保されていたことが挙げられる。各号機とも地震・津波後、非常用ディーゼル発電機が使用可能であり、また外部電源も1回線使用可能であった。

次に敷地が津波より高かったことである。敷地高さについては、1号機の設置許可提出時から検討に検討を重ね、14.8mに決定した。さらに決定後も適宜津波高さの予測を行い、予想値が敷地高さを超えないことを確認してきた。また、2号機の設置許可申請時には、敷地の法面をコンクリートで補強した。このため3月11日の津波においても法面の崩れ等は見られなかった。

前述の要因に加え、事前に準備をしっかりとっていたことも大きく寄与した。2005年の宮城県沖地震や2007年の新潟県中越沖地震等の知見を踏まえ、2008年から2009年にかけて耐震裕度向上工事を実施した。本工事による改造箇所は1号機から3号機の合計で約6,600箇所に上る。また、2009年から免震構造の新事務棟の建設を行っており、2011年夏ごろ竣工予定であったが、竣工までの間に万一地震が発生した場合に備えて、既存の事務棟についても耐震補強工事を実施していた。そのため、震災時においても緊急対策室の機能を維持することができた。また、所内では放射線管理区域で発生する火災の対応訓練や、運転員による電源喪失訓練を始めとする各種事故対応の訓練を運転訓練シミュレータで行っていた。

## 6. 地域社会との協調

地震・津波により、発電所から女川町に通じる道路は寸断され、発電所は孤立状態となった。また、発電所周辺地区も津波により壊滅的な被害を受けたため、周辺住民は発電所に避難を求めてきた。最初はPR(広報)センターに受入れたが、PRセンター内は停電していたため、次に発電所構内の事務棟に受入れた(図2)。その後もさらに人数が増えたため、最後は発電所の体育館に受入れることとなった。避難者の数は、3月14日に最多の364名となり、避難生活は6月6日までの約3ヶ月に及んだ。また、周辺住民だけでなく、津波発生時に沖出ししていた漁船も瓦礫のために元の港に帰港できず、発電所の専用港に避難してきた(図3)。

避難生活の間、避難住民には原則体育館以外への立入りを禁止してもらい、発電所構内からの出入りについても警備個所と調整の上でルールを定めるなどして、発電所の保安維持の観点で協力をお願いした。また、体育館には情報収集のためにテレビを設置した。

当社は避難住民や発電所構内の人員に食料、水、毛布等を提供するためにヘリコプターを手配し、3月12日から14日で計20回の運搬を行った。また、運搬後の帰途で避難住民の中の妊婦や要健康支援者を搬送した。

このように避難住民と発電所員や協力会社社員は、衣



図2 避難初期：事務棟での避難の様子



図3 漁船が発電所専用港に避難している様子

服や食料などの物資および地域の被害状況や福島第一原子力発電所の事故状況などの情報を共有し、また発電所の保安維持等においても協調することにより本難局を乗り切った。

## 7. 更なる安全対策

当発電所は、3月11日の地震・津波に対しては適切に対応できたが、更なる安全対策を実施している。

3月11日の津波の知見をもとにした津波高さの再評価を行い、海拔約29mの防潮堤の建設を行っている。また、3月11日の地震等での知見を踏まえ、基準地震動についても再評価し、この再評価結果に基づき、更なる耐震裕度向上工事を実施中である。

その他にも、竜巻や火山等の自然現象に対する対策の強化や、発電所内で発生が想定される内部火災や内部溢水に対しての適切な対策の実施、福島第一原子力発電所事故の教訓として電源の強化、冷却機能の向上、閉じ込め機能の向上等が主要な対策として挙げられる。

また、運転員のシミュレータ訓練はもとより、緊急時通報訓練や火災対応訓練など、非常時に備えた様々な訓練を日々真剣に繰り返し行うことに努めている。

## 8. おわりに

当発電所は、過去の教訓と安全対策等の継続実施、および発電所員、協力会社社員、地域住民が協力し合うことにより、東日本大震災の難局を乗り越えることができた。本事例は、様々な分野における危機管理においても有用であることから報告するものである。

(2016年5月31日記)