

### 巻頭言

- 1 「システム1」と「システム2」を理解することで、見えるものがある

勝間和代

### 時論

- 2 サイクル路線の転換よりも取組体制の強化を

「国を挙げてのバックエンドへの取組の強化」こそが、今、必要とされている議論のテーマである。

山名 元

- 4 重要原子力施設直下・近傍の活断層

原子力規制委員会による発電所敷地内破碎帯の調査の背景とその問題点を解説する。

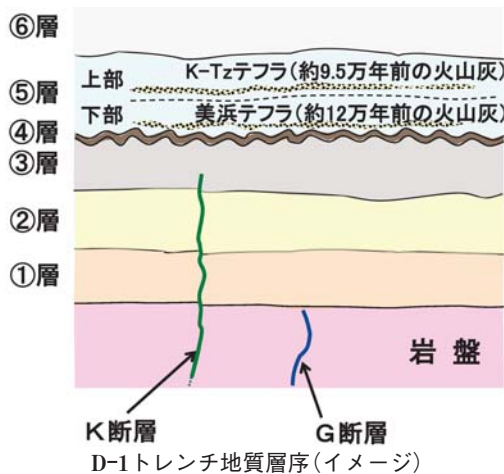
奥村晃史

### 解説

- 22 敦賀発電所のD-1破碎帯問題の現況について

敦賀発電所2号機の原子炉建屋の下にあるD-1破碎帯は、少なくとも後期更新世以降は動いておらず、「耐震設計上考慮する活断層ではない」。原電がそれを判断した論拠を示すとともに、原電と有識者会合との見解の相違点について述べる。

星野知彦, 安藤将人

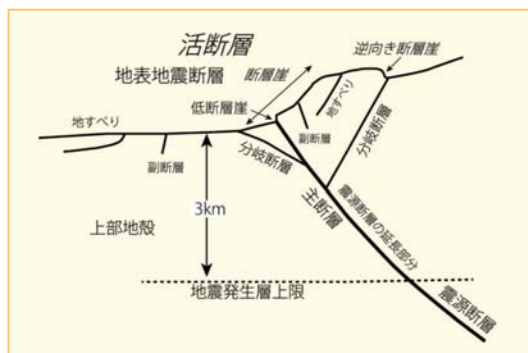


### 解説

- 12 地震と断層、そして活断層とは何か—思いこみや風評を排して冷静な対応を

活断層を防災に利用するためには、地表地震断層の挙動を予測しなければならないが、そこには誤解や思いこみが入る余地がある。このことを理解して冷静に活断層等に対応する必要がある。

山崎晴雄

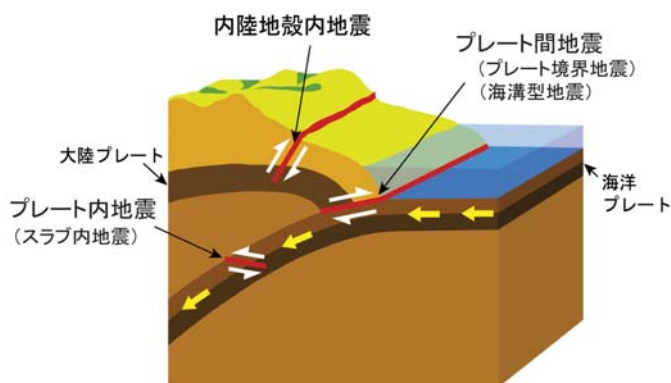


地表地震断層のさまざまな出現形態

- 16 新規制基準で要求される基準地震動—最近の被害地震から得られた知見を反映して

耐震設計において基本となる基準地震動を対象に、その評価の変遷や新規制基準で要求される事項について解説する。また、最近の被害地震から得られた新たな知見や基準地震動評価の高度化への反映について紹介する。

釜江克宏



基準地震動策定で考慮する発生様式ごとの検討用地震

表紙の絵(日本画)「森へ—北の国から」 制作者 猪熊 佳子

【制作者より】阿寒湖のほとりエゾマツの森です。静かで強い命の営みが息づく世界を、キタキツネに託して描きました。

第44回「日展」へ出展された作品を掲載(表紙装丁は鈴木 新氏)

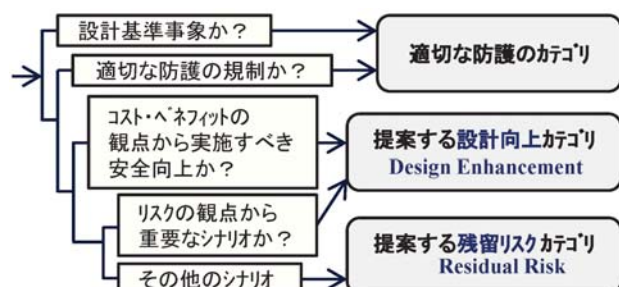
## 解説

### 28 福島原発事故の背景に迫る

福島原発事故の背景には、日本社会に根ざす問題が多々存在する。事故は、この国の原子力開発の歴史の集大成であり、その過程でのさまざまな誤りの帰結と言ってよい。 北村俊郎

### 32 米国原子力界が福島第一事故から学んだこと—一日米の原子力安全規制は強い連繫を

米国は福島第一原子力発電所事故から何を学び、規制をどのように変えようとしているのか。米国原子力学会が昨年末に開いた会合をもとに、今後の規制の動向を占う。 山口彰



原子炉安全規制の枠組(NUREG-2150の図に加筆)

### 37 大地震から学んだ教訓と人工構造物の設計

東日本大震災は被災地に建築・インフラ・まち・都市を構築してきた土木分野・建築分野だけでなく、工学分野の研究者や技術者に大きな衝撃を与えた。これに対処するためには、学問分野を超えた総合的な議論と実行が必要である。 和田章

## 会議報告

### 48 安全性と持続可能性を備えた高速炉サイクルの実用化を目指して 小野 清



高速炉システムに関する国際会議(FR 13)のもよう

## 6 NEWS

- 規制委、敦賀2の活断層評価を変えず
- 学会事故調が中間報告
- 伊方3号、新基準先取りし安全対策
- エネ基本計画見直し始動
- 規制委が新制度の審査方針
- 避難解除等区域復興再生計画を決定
- 原産協会が原子力産業動向調査
- 東京電力が原子力改革プラン実行へ
- 海外ニュース

## 報告

### 43 平成24年度原子力に関する世論調査の結果—原子力利用に対する反対が減少し中立へ移行

前回調査と比べると原子力を必要とする人の割合は横ばいだが、反対する人の割合は減少している。 横手光洋

### 46 RIC 2013(Regulatory Information Conference; 規制情報会議)に出席して

会合では規制者と被規制者と横並びで、かつ適正な安全を向上していくという姿勢が如実だった。 松井一秋

## アトモス時評

### 50 原子力の再出発は変化の受け入れから

昨年の11月号から今年の2月号までのアトモスを通読した。 大牟田 透

## 会告

### 53 一般社団法人日本原子力学会「第3回総会」のご通知

- 27 From Editors
- 49 新刊紹介「フランス原子力庁 加圧水型炉、高速中性子炉の核燃料工学」 川島正俊
- 「理工系のための原子力の疑問62」 関 泰
- 52 アトモス時評の指摘事項について
- 54 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、新入会一覧、フェロー基金寄付のお願い、フェロー基金寄付者芳名一覧、英文論文誌(Vol.50, No.6)目次、和文論文誌(Vol.12, No.2)目次、主要会務、編集後記、編集関係者一覧
- 55 論文誌編集委員会からのお知らせ

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

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

# 「システム1」と「システム2」を理解することで、見えるものがある



経済評論家，中央大学ビジネススクール客員教授

**勝間 和代** (かつま・かずよ)

1968年東京生まれ。早稲田大学ファイナンスMBA，慶応大学商学部卒業。当時最年少の19歳で会計士補の資格を取得，大学在学中から監査法人に勤務。現在，株式会社監査と分析取締役，内閣府男女共同参画会議議員，国土交通省社会資本整備審議会委員として活躍中。著作多数，著作累計発行部数は480万部を超える。

経済学の一分野に、「行動経済学」があります。この中で提唱される「限定合理性」を理解することで、原子力の未来が見えてくるものがあると思います、紹介します。

旧来の経済学では、「完全合理性」と呼ばれる、一人一人がスーパーマンのような人材で、情報収集も完全であり、自分の好みをよく知っており、将来予測も完全にできる、というある意味、かなり非現実的な前提に基づいてモデルを組み立てていました。

ところが、私たちがそんな人たちでないことは、このコラムを読んでいるみなさんが一番よくご存じですよね？そのことに、心理学を学んだのちに経済学分野に参入した一部の学者が異を唱え始め、「限定合理性」、すなわち、人間は合理的だが、その合理性にはさまざまな限界があると言うことを、さまざまな実験や数式で説明し始めました。それが「行動経済学」です。

行動経済学で最も有名な学者は「ダニエル・カーネマン」氏で、ノーベル経済学賞も取っています。そして、氏の最新著作の名前が「ファスト&スロー」です。この表題のファストとは、直感的かつ自動的に行われる速い判断(システム1)、スローとは、論理的で計算などを伴いじっくりと行われる判断(システム2)のことです。

私たちは、物事を判断するときに、システム2を使っていると考えがちですが、実はほとんどの判断はシステム1を介していると氏は指摘します。いわゆる「直感，無意識の判断」です。なぜなら、システム2を使うことはたいへんな労力を要するので、私たちににとっては、原則「不快」なことなので、なるべく避けたいのです。

では、このシステム1、判断は正しいのでしょうか？残念ながら、さまざまなバイアスがあります。そのバイアスの1つに「WYSIATI」という長たらしい名前をついたバイアスがありますが、こちらは「What You See Is All There Is」の略でして、すなわち、私たちのシステム1の判断は「これまで、見てきて、聞いてきて、体験してきたことの範囲でしか、理解もできないし、行動もできない」というものです。

すなわち、このコラムを読んでいるみなさんのWYSIATIと、平均的な日本人のWYSIATIは全く違う心象風景だし、データだし、経験なのです。

そのことを前提とせずに、多くの原子力に関するコミュニケーションは、ある意味、システム2を介して「合理的なデータや予測，判断」に基づくことが行われてきたのではないかと思います。しかし、この合理性にはもともと限界がありますし、加えて、システム1については何も触れてきていないのではないのでしょうか？

システム1はこれまでの情報や経験から学習を行います。特にその学習の中で「嫌悪感」と呼ばれているものがあります。この点は、ダニエル・カーネマン氏はあまり触れておらず、臭いの専門家であるレイチェル・ハーツ氏の「あなたはなぜ「嫌悪感」をいだくのか」などの著作が参考になるのですが、要は、私たちが自分の身体的な中長期に対するリスクに関する恐怖を「嫌悪感」という形で学習していくのです。

ある意味、いまのさまざまな論評・風説は、一般的な情報を見聞きする人たちに、それぞれの人のシステム1に対して、「WYSIATI」と「学習する恐怖」という2つの仕組みから、システム2の動きを阻害し、合理的な判断をする土壌を阻害していると私は考えています。

では、この2つの呪いをどうやって解いたらいいのでしょうか？それはもう、これからのその感覚を持っている人たちが見て、聞いて、「学習する恐怖」の反対である「学習する安全」を「WYSIATI」の中で知っていくしかないのです。

原子力の分野は、ある意味、システム2が発達した人が多く、システム2を使うことを苦にしないため、システム1を中心に思考する人たちとのコミュニケーションがうまくいかないことが多いと考えています。

しかし、システム1とシステム2という、2つの大きな思考体系が一人一人に存在すると考えれば、今後の未来も予測しやすくなるのではないのでしょうか？

(2013年4月15日 記)





## サイクル路線の転換よりも取組体制の強化を



山名 元(やまな・はじめ)

京都大学原子炉実験所 教授  
 東北大学工学博士。1981～96年、動力炉・核燃料開発事業団にて核燃料サイクル工学研究開発に従事。1996年より京都大学原子炉実験所・助教授。2002年より同実験所教授。専門は、アクチニド化学や再処理化学工学。

### 1. はじめに

核燃料サイクル政策の空白期間が続いている。昨年、原子力委員会で核燃料サイクル政策の見直しが行われ、「当面の六ヶ所再処理工場の利用を進め、将来の直接処分や再処理の選択の可能性を残す“併存シナリオ”」が新政策として提案されているが、その後、組織的な混乱もあって政策審議が止まった状況が続いてきた。脱原子力方針の見直しが進む中で、「バックエンドに対する国の基本姿勢」の空白が続く状況は、早く改善されねばならない。新たに始まったエネルギー政策の再審議と並行して、核燃料サイクル政策の再検討が早期に進められることを期待するばかりである。

### 2. 燃料サイクル政策の議論

福島第一原子力発電所事故以降、原子力バックエンドの問題に対する国民の認識が格段に高まったが、「原子力の負の側面」の印象が強調されすぎて、燃料サイクルや地層処分の議論がステレオタイプな印象論や定性的な議論に偏っていることが懸念される。社会に対する姿勢の改善が重要なのは論をまたないが、社会的問題の側面ばかりが強調されて、技術的分析や考察が希薄なままバックエンド戦略の是非が議論されるのは好ましくない。

また、再処理リサイクル路線を「旧来的レジームの否定」という感覚で批判する論調が多いのも目につく。再処理に代わるべき直接処分や長期貯蔵の技術的問題や社会的問題等を十分に吟味しないまま“再処理モラトリアム”を語ることは無責任とも言える。本来、将来の原子力展望や不確定性を視野に、時間軸に沿った量的な分析を行った上で、資源展望、廃棄物管理、経済性、世代間責任、核不拡散、国際関係等の視点から評価を行い、社会的合意や理解を条件として、従来から構築してきた事業の枠組みや立地などの“現存条件”を加味した現実的な検討が行われることが必要である。

こうして見ると、福島事故後の“原子力の異常な言論空間”の中で核燃料サイクル政策の在り方を審議したこと自体、あまり健全なものではなかったと言える。原子力利用や

エネルギー政策に関する冷静な議論が始まった今こそ、改めて、バックエンド戦略の本筋からの議論を進めるべきだ。

### 3. “閉サイクル”と“開サイクル”

再処理リサイクル路線は、核燃料物質を発電体系に閉じ込めて、核分裂生成物核種だけを廃棄物として社会環境から隔離(地層処分)する“閉サイクル(Closed Cycle)”の概念である。その主眼は、資源目線で見ると「アクチニド元素のポテンシャルの最大利用」であり、廃棄物管理目線で見ると「廃棄物の分別処分とアクチニド廃棄量の低減」である。これに対して、直接処分路線は、“開サイクル(Open Cycle)”概念であり、「アクチニド元素の限定利用」と「全てを廃棄物とすること」を前提とする。“閉サイクル”と“開サイクル”は、資源利用の観点や放射性廃棄物の処分の在り方という観点で全く違う理念である。

再処理リサイクル路線(閉サイクル)は、処分体の量を削減でき、回収される核燃料物質の有効利用と天然核燃料物質への依存度の低減を図れる可能性を有する。具体的には、地層処分面積の削減や、将来の資源的な自由度の拡大というメリットを有するので、資源に乏しく廃棄物処分上の制限が大きな日本で、“閉サイクル”概念を安易に捨てることは難しいと見るのが妥当だ。資源や廃棄物の今後の様々な不確定性が予見される状況で、技術面や社会面での準備が不十分な直接処分路線への切り替えを、現時点で判断することは難しい。コストは重要課題であるが、当面の再処理リサイクルのコストは0.4～1円/kWh程度と見られるので、このコスト負担へのユーザーの理解が得られるなら、再処理リサイクル路線を維持することは可能だ。

また、青森県によるサイクル事業への協力という“貴重な価値”の存在や、再処理事業の停滞による原子力発電への影響などを考えると、現状での再処理路線からの急激な転換は、現実的でない。当面は、中間貯蔵の強化と六ヶ所工場の利用を出来るだけ進めて「軽水炉での閉サイクル(プルサーマル)」を運営してゆくことが、妥当な判断ではないだろうか。プルサーマルは、核燃料物質

利用のパフォーマンスとして決して完全なものではないが、貯蔵する使用済燃料のボリュームを大きく削減できるという効果があり、さらにバックエンドの停滞による原子力発電の停止リスクを低減できる。暫定的ながら“軽水炉での閉サイクル”を維持し、将来の、より優れた“高速炉の閉サイクル”につなげる可能性を探求する開発を継続するという方向性は妥当である。

#### 4. 柔軟に考えるべき取組

世界を見ると、直接処分事業を進めるフィンランド、脱原子力ながら直接処分が停滞するドイツ、直接処分計画の仕切り直しと将来技術オプションの探求を進める米国、プルサーマルでの閉サイクルを維持しながら第四世代炉の可能性を探るフランス等、各国が「それぞれの取組」を続けているのが実態である。国際関係の中で存続している我が国が、現時点において、バックエンドの「完全解」を提示できるわけがない。そもそも、バックエンド戦略は、「リサイクルか・ワンスルーか」といった二者択一判断を急ぐものでもなく、量的にも時間的にも、もっと「アナログ的」なものではないだろうか。「軽水炉サイクルを当面うまく回しながら、将来の受け皿としての高速炉技術の可能性を探求する。状況を見ながら先の判断を下す。」とする「併存シナリオ」の考え方は、十分に成立する。フランスの姿勢がまさにそれである。高速増殖炉の研究開発は、このような柔軟な姿勢の中で着実に進めてゆくものであって、旧来の開発戦略を単純に継続するという発想に甘んじてはいけない。

我が国における将来の原子力シナリオとしては、①原子力利用を中期的に終わらせる、②軽水炉利用を長期に継続する、③軽水炉を第3・4世代炉にシフトさせる、等の様々なケースがあり得る。そのいずれにも対応できるような「当面の閉サイクル維持」を維持することは、新たな原子力利用計画に沿って、綿密に量的な調整を図りながら再処理とプルサーマルを実施していくことで、現実的に可能である。

#### 5. バックエンドへの取組の強化

今は、燃料サイクル路線の選択の結論を急ぐより、もっと重要な課題について考える必要があるのではないか。それは「国としての、バックエンド取組の本質的強化」である。我が国においてバックエンドの技術開発や事業化が遅れてきた原因は、国の方針に沿って各々のプレーヤが開発や事業を進めてきたものの、それが全体として有機的に機能せずに、決してベストな体制では進んでこなかったことにあると感じるからである。例えば、文科省下での研究開発と経産省下での事業が別々であること、発電事業でのバックエンド事業と研究開発でのバックエンド事業が乖離していること、実施主体が分かれすぎていること、関係法令の複雑さ等、である。

一例としては、似たような放射性廃棄物(核種)が、事業種の違いによって別な法律によって規制され、別々な処理処分事業に供されるというような矛盾を挙げることができる。また、発電や研究等の事業において、バックエンド対策が副次的なものとして先送りされてきたことも確かである。バックエンドへの取組が、万全でなかったといえればその通りだと言わざるを得ない。

今後の原子力バックエンドへの取組は、複雑で長期にわたる難しい事業であるから、国の総力を挙げて効率的かつ統一的に取り組みねば、目指すべき路線の実現にも齟齬をきたす可能性が高い。仮に、再処理リサイクル路線を暫定貯蔵路線や直接処分に変えたとしても、現状の体制のままでは責任の継承や目標が希薄になり、問題の先送りになる可能性が高い。事業の活動や責任の継続性を保証するには、バックエンドへの取組体制を強化してゆくべきである。

我が国における今後の“バックエンド課題”は半端なものではない。たとえば、①再処理や中間貯蔵の実施、②原子炉の廃止措置、③高レベル放射性廃棄物の地層処分、④低レベル放射性廃棄物の処分、⑤研究開発施設等の廃止措置、⑥高速炉の研究開発、等である。さらに、震災以降では、⑦福島第一の廃止措置、⑧広域の汚染環境の修復と派生する汚染廃棄物の処分、という未曾有の困難な課題が加わった。特に、福島第一発電所の状況を回復することは、我が国が避けて通れない「チャレンジなテーマ」である。“事業者責任”といった原則だけで対処できる域を越えつつある。これらの課題に対して、専門的な技術開発を進め、開発成果を実用し、若者の参画を求め、国民の協力を得てゆくためには、大きな取組の変革が必要であろう。原子力利用に伴う様々なレガシー(負の遺産)や、先送りされてきた本質問題に真正面から取り組むような「力を集中できる体制」に変えてゆくことが優先の課題なのである。

事業の困難さや責任期間の長さを考えると、国の主導による新しい統合的な体制や資金の仕組みを作り、民間事業や独立行政法人の枠を超えた全国集約型の組織を中心として、使用済燃料管理や他のレガシーの清算事業を一元的に進めるような、一歩進んだ姿を考えたい。今後の、長期にわたる人材の確保についても同様である。英国では、国営原子力施設の長期にわたる廃止措置を国が責任をもって遂行するために、NDA(Nuclear Decommissioning Authority)という機関を作り、国費を投入して対応に当たっている。国の事情は違うが、日本にもNDAのような組織が必要なのではないだろうか。

#### 6. 結論

「国を挙げてのバックエンドへの取組の強化」こそが、今、必要とされている議論のテーマであると考える。

(2013年4月15日 記)





## 重要原子力施設直下・近傍の活断層



奥村 晃史(おくむら・こうじ)

広島大学 大学院文学研究科 教授  
世界各地で過去の大地震の痕跡を調査して  
長期的地震危険度評価の基礎データを発掘し、  
その活用につとめている。1987年東京  
大学大学院理学系研究科地理学専門課程博  
士課程修了。通商産業省工業技術院地質調  
査所研究員。1996年より現職。

2012年10月から、原子力規制委員会が組織した『原子力発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合』による発電所敷地内破碎帯の調査が進められ、一部については破碎帯を活断層とする評価が下されている。活断層は耐震安全設計で考慮すべき対象として従来から評価が行われてきた。しかし今調査が行われている破碎帯と活断層の関係や、それらが施設に与える影響について十分な説明は行われておらず、何が問題で何が行われているのか、理解は困難と思える。本稿では調査の背景から解説して問題点を指摘してみたい。

日本のような変動帯の地盤には、数億年前から続く地殻変動によって無数の断層が存在する。そのうち、最近数十万年間に繰り返し活動し、将来の活動が予想されるものを活断層と呼ぶ。活断層の活動とは地震であり、日本列島の場合、地下およそ2~20 km程度の深さでプレート運動に起因する力が作用して発生する。M 6.5~7.0より大きい地震では、地震を発生させる岩盤全体が食い違い、地表にまで変位を生じる。活断層研究が地形調査を重視するのは、大地震の繰り返しが地表変位を累積させて目に見える段差や、河川・尾根の水平方向のずれを形成するからである。

破碎帯とは断層の動きで割れ目が発達して岩石が砕かれたり、すりつぶされて断層粘土の形成が起きたゾーンである。断層面は厚さをもたない剪断面からなるが、剪断面ができる過程や食い違いの繰り返しによって厚さをもつ破碎帯が成長する。大地震で地表に断層が達する時、明瞭な剪断を生じるが破碎は起こらない。破碎帯の形成は数百 m 以深の温度圧力下で繰り返される剪断によることが多いようである。日本列島の大部分は過去数百万年間にキロメートルオーダーで隆起して、かつて地下深くに存在した岩石が過去の断層・破碎帯と共に露出している。

活断層は地震観測や歴史記録のない大地震を記録して

おり、大地震発生の可能性を直接に示している。原子力施設の耐震安全審査では、従来から基準地震動を設定するための震源として検討することが求められてきた。2010年9月に公表されたIAEA Specific Safety Guide, No. SSG-9(SSG-9)は、地震動に加えて、施設直下・近傍での断層変位発生の可能性を検討することを求めた。断層変位として、地震を起こす断層の動きに伴う変位、それに付随する断層に誘発される変位、および褶曲に伴う変形が考慮される。そして、断層変位が施設の安全に影響を与えることが確実な証拠とともに示された場合、新設、操業継続について見直すべきであるとされている。

同年12月に原子力安全委員会が定めた『発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き』(新し手引き)では断層変位に関し、当時検討中であった地盤の支持性能評価の章に次の文章が挿入された。「ただし、耐震設計上考慮する活断層の露頭が確認された場合、その直上に耐震設計上の重要度分類Sクラスの建物・構築物を設置することは想定していないことから、本章に規定する事項については適用しない。」これと、「いずれかの調査手法によって、耐震設計上考慮する活断層が存在する可能性が推定される場合は、他の手法の調査結果も考慮し、安全側の判断を行うこと。」を組み合わせることで、現在、活断層の存否と廃炉が直結するかのようなきわめて保守的な議論が行われている。

さらに、目下審議中の『新安全基準(地震・津波)骨子案』では、基本的要求事項の最初の項目に「重要な安全機能を有する施設は、将来活動する可能性のある断層等の露頭がないことを確認した地盤に設置すること。」と明記され、その詳細には、「震源として考慮する活断層のほか、地震活動に伴って永久変位が生じる断層に加え、支持基盤を切る地すべり面が含まれる。」「『将来活動する可能性のある断層等』としては、後期更新世(約12~13万年前以降)の活動が否定できないものとする。」とされている。

2006年に改訂された『発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針』(新指針)に既存施設が適合するか否かを点検するために、耐震バックチェックが2007年から実施された。新指針に前後して2005年能登半島沖地震や2007年新潟県中越沖地震では、基準地震動を上回る地震動が発生した。その原因の一つに活断層の不十分な認定があったことから、バックチェックでは活断層の長さや連動性、そこから生じる地震動のモデルについて慎重な点検が行われ、機器・配管の耐震性能と合わせて安全性が確認された。また、新手引きに先んじて一部の施設については断層変位についても検討が行われた。

しかし、2011年東北太平洋沖地震と津波、福島第一原子力発電所事故の衝撃は、従来の地震予測・防災、原子力施設の耐震安全設計と審査プロセスすべてが不適切であったかなような批判を招き、想定を超える自然現象への不安、科学・技術への不信を植え付けた。その批判は不当であり、科学技術に関する不安・不信はあまりにも誇張されている。

さらに、2011年4月11日福島県浜通り地震に関わる誤解も、不安を増幅して断層変位問題をクローズアップする一因となった。この地震では、一般に東西圧縮応力下にあると思われる東北日本で正断層が活動し、地表に断層変位が現れた。東北太平洋沖地震で東北日本が最大数m東西に引き延ばされた結果、圧縮の場で引張による正断層が誘発されたのではないかと考えられた。この考えは、正断層の動きが過去に繰り返されたこと、2011年以前から引張を示す地震が多く発生していたこと、東北太平洋沖地震はこの規模の地震を誘発しないと分析されたことなど、地震後の調査により否定されている。しかし、誤解に基づく活断層と関係ない断層や破碎帯が変位を生じるとの不安は、そのまま引きずられている。

2011年春から原子力安全・保安院で活断層と地震に関わる意見聴取会が開催され安全性の再検討が行われた。その中で活断層の連動性に続いて敷地内断層の問題が主に検討された。2012年9月に発足した原子力規制委員会で敷地内破碎帯等の問題が最初の検討事項の一つとなり、破碎帯等を調査するための有識者会合が組織されるにいたった。地球惑星科学関連4学会への依頼は、破碎帯等調査のために活断層認定、活断層調査、活断層調査計画の立案等に詳しい研究者を推薦することであった。これは矛盾している。なぜなら、活断層調査は変動地形に基づく活断層認定を基本とするが、破碎帯調査は断層岩・断層物質分析や構造地質学の課題である。結果的に

有識者のほぼ4分の3が活断層・変動地形の専門家、4分の1が断層岩・断層物質の専門家となった。

このような有識者会合による調査の問題点は、調査対象と調査メンバーとのミスマッチである。実際の調査対象は破碎帯等であって活断層ではない。対象施設の工事以前の地表には地形を根拠に活断層と呼べるものは存在しない。存在するのは、岩盤中の破碎帯や不連続面、割れ目、あるいは局所的な岩盤と第四系の変形であって、活断層が新たな調査によって見つかったわけではない。そこに変動地形学の対象は存在しない。変動地形学者に、基盤岩中の破碎帯・不連続面・割れ目の観察や分析だけから活断層か否かを判断することはできない。大飯・敦賀では、重要施設から離れた地点で掘削調査中に偶然基盤岩を覆う中期～後期更新世の地層を食い違わせる不連続面が発見された。そして、それが活断層であることや、施設直下に連続することが不明にもかかわらず、可能性が否定できないことだけを理由に施設直下の活断層の存在が結論されている。

活動の可能性が活断層の存在に直結するような議論や、破碎帯の性状に関わらず活断層とみなすような議論が繰り返し行われているが、そこに予断はないだろうか。事業者が調査結果から活動を否定しても、それが検討すらされないことが多い。施設の耐震安全性調査の主体は事業者であり、調査を行わせてきたのは原子力安全・保安院と原子力規制委員会である。有識者会合で、事業者の調査結果を無視するかのよう議論が進められることを制止する義務は原子力規制委員会にある。事業者の調査結果を信頼することなしに適切な審査を行うことはできない。

SSG-9に述べられているように、断層変位から施設の安全性を考えるには二つの段階がある。第1は断層変位の可能性を示す信頼すべき証拠であり、第2は断層変位が施設に影響を与えるかどうかの検討である。第1段階をクリアするためには、施設直下に存在する破碎帯・不連続面・割れ目そのものを調査して活動履歴と将来の活動性を検討できる構造地質学や断層岩の専門家が必要である。第2段階では、地盤の安定性が工学的な見地を含めて検討されるべきである。そのためには構造地質学、岩盤力学、地盤工学の立場からの調査と解析が必要であり、さらに施設そのものについても検討が必要である。断層変位の認定は安全性評価の入り口であってゴールではない。

(2013年4月22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。

## 規制委、敦賀2号機の「活断層」めぐる評価を変えず

原子力規制委員会は4月24日、敦賀発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合の第4回評価会合を開き、日本原子力発電の敦賀原子力発電所の2号機下の破砕帯について議論した。会合では規制委員会の有識者と原電の主張はすれ違いのままに終わり、規制委員会は破砕帯を「活断層の可能性が高い」と評価する見解を変えなかった。

この日の会合で原電は、「大規模トレンチ内のG断層及びD-1破砕帯は薄片試料観察の結果、いずれも正断層センスであり、また走向・傾斜も類似していることから、同じものである」と主張。これに対し規制委は、「破砕部に残された構造は、断層が何回か活動をしている場合、薄片試料観察により最新活動面の変位センスを断定することは相当難しい」「仮に最新活動面の変位センスを識別できたとしても、それは各々の地点において相対的に最も新しい活動面が認定できたにすぎず、活動時期を

特定できるものではない」と反論。また「大規模トレンチ内のG断層及びK断層の上に乗っている堆積層(⑤層下部)に約12万年前の火山砕屑物(テフラ)があり、それが、その地層を変位・変形させていないことから、活断層ではない」との原電の主張に対して、規制委員会は鉱物の分析によるテフラの同定方法が不十分であるなどと述べ、両者の見解はすれ違いのままに終わった。

一方、原電は24日、同会合の審議の進め方に対し、「年代判定や変位センスなどについて技術的決着をつけないまま一方的に不十分とし議論を打ち切った」ことなどは遺憾であるとのコメントを発表した。同社では対象となっている破砕帯について6月末までに調査を終了して最終報告書を提出する予定で、規制委員会に対してはこの最終報告を踏まえて、評価会合において改めて議論を行うよう求めている。

(原子力学会編集委員会)

## 学会事故調が中間報告、福島原発事故の背景と根本原因を究明へ

日本原子力学会の東京電力福島第一原子力発電所事故に関する調査委員会(学会事故調)は3月27日、近畿大学で開かれた同学会主催の「春の年会」で中間報告を公表した。福島原発事故については「想定を超える津波により原子炉の冷却機能が失われた」ことが直接的な主な原因であり、その上でシビアアクシデントについての様々な取組みが不十分だったことが被害を拡大させたと分析している。

福島第一原子力発電所事故の根本原因の究明を進めている同事故調が特に注目し、検討を進めている論点は、①リスク評価と深層防護、②外的ハザードへの対応、③シビアアクシデント対策、④原子力防災、⑤環境の除染と修復、⑥コミュニケーション、⑦原子力学会の役割と責務などの7点である。

このうち外的ハザードの対応について中間報告では、「同じ自然災害である地震に比べ津波に対しては設計や備えが十分ではなかった」とし、今後はIPEEE(外的ハザードに対するプラント固有の耐性評価)などにより包括的にリスク評価を行うとともに、性能目標に整合した設計基準の設定、設計基準を超過する外的ハザードに対する備えとしてクリフエッジを回避する安全余裕と深層

防護による設計などを合わせて対処することが重要であると指摘した。

シビアアクシデントについては、その発生の想定が不十分だったために十分な対応ができなかったと分析。総合的リスクを低減するマネジメントを導入するとともに、事故シナリオに依存することなく、あらゆる事象を検討して教育訓練を行うことで、発電所のマネジメント能力を高めることが必須であると述べている。

また、緊急時避難については、施設の状態に関してあらかじめ決められた判断基準に基づいて予防的防護措置が放射性物質の環境への放出以前に迅速に実施できるような準備を確立しておく必要があると指摘した。

中間報告ではさらに、学会の役員など289人を対象に行ったアンケート結果も紹介。事故を防止できなかった原因やこれからの取組みの姿勢についての提言などを調査した。

中間報告は、事故の分析調査において基盤ともいえる安全の考え方に重点が置かれたが、現在、同事故調では、関連の部会等で幅広い視点での検討を進めており、今年中に、それらの専門家の視点からの最終報告をまとめることとしている。

(同)



## 伊方3号機、新基準先取りし安全・信頼性対策

四国電力は3月14日、伊方発電所3号機に可搬型放水砲の配備など、原子力規制委員会で検討中の新安全基準骨子案が要求する事項も先取りした安全性・信頼性向上対策を6月末まで完了させると発表した。同機は新安全基準が適用される7月以降、最初に再稼働を目指すものとみられている。

同電力は福島発電所事故を踏まえ、伊方の緊急安全対策やシビアアクシデント対策のほか、独自の信頼性向上対策を継続的に実施。12年11月には、3号機に非常用外部受電設備を設置するなどの計画を発表した。今回の対策はこれらの信頼性をさらに高めるもので、原子炉停

止、原子炉冷却・格納容器破損防止、格納容器破損時の緩和、電源確保の各対策に関する計6項目からなる。

原子炉の自動停止が必要となった際、制御棒が挿入できなかった場合にも、補助給水ポンプを自動起動させ除熱を図る。また、安全上重要なポンプの信頼性向上や冷却水源の多様化により、原子炉冷却を持続し格納容器の破損を防止する。さらに、格納容器が破損し、万一放射性物質が外部に放出されるような場合にも、破損部に放水できるよう可搬型の海水放水設備や大型ポンプ車を配備する。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

## エネ基本計画見直し始動、年内メドに一定のまとめ

経済産業省の総合資源エネルギー調査会・総合部会(部会長＝三村明夫・新日鐵住金相談役)は3月15日、政権交替後としては初の会合を開催し、エネルギー基本計画見直しに向けた議論を再スタートさせた。

福島原発事故後のエネルギー政策の見直しについては、同調査会下の基本問題委員会が11年10月から12年11月の間に計33回の会合を開催。「30年代に原発稼働ゼロ」を可能とするよう政策資源を投入するとして「革新的エネルギー・環境戦略」策定につながったが、政権交替に伴い仕切り直す格好となった。月1回程度会合を持ち、

年内を目処に一定の取りまとめが行われる見込み。

今回、始動した総合部会は基本問題委員会より人員を絞り込み、エネルギー基本計画とともに、これまで国家戦略室の下で行われていた電力需給対策についても検討を行う。

初回の会合では資源エネルギー庁が、これまでのエネルギー政策の変遷などを説明。震災・原子力事故後の情勢を、生産・調達、流通、消費の観点から整理した上で、26項目の論点を掲げた。

## 規制委が新制度の審査方針、施行後5年間の猶予も

原子力規制委員会は3月19日、7月から施行する原子力発電所の新安全規制に伴う審査方針について審議した。原則として7月の施行段階で、必要な機能をすべて備えていることを要求するが、シビアアクシデントやテロ対策のためのバックアップ対策となる「特定安全施設」については、試行後5年間の猶予期間を設ける方向となった。

原子力発電所の新安全基準は現在、骨子案が2月に取りまとめられた後、続く規則条文案作成に向けた検討が進行中。同日の委員会会合で田中俊一委員長は、「施行と同時に混乱なく運用できるものでなければならない」とし、新たに導入されるバックフィットは施行時だけでなく繰り返し実施されることから、「明瞭かつ普遍的なシステム」となることを求めている。また、新規制導入の各節目時点以降で基準を満たしていないものは、運転再開の前提条件を満たさないものと判断するが、基準適

合を求めるまでに一定の期間を置くことを基本とすることとした。

今回の規制導入にあたっては、施行までの期間が短期間となることから、シビアアクシデントに対応した信頼性向上対策については、施行から5年までの間に実現を求めることとしている。また、稼働中のプラントについては定期検査終了時点で、事業者が運転を再開しようとするまでに基準を満たしているかを判断する。

また、19日の会合で原子力規制庁は、新規制施行後の審査手順案を示した。ハード・ソフトを一体的に確認することが合理的との考えから、これまで段階的に行ってきた設置変更、工事計画、保安規定の認可に関し、申請を同時期に受け付け、並行して審査を実施する内容。これまで原子力安全・保安院下で実施してきたストレステストは、手続き上の要件としないこととなっている。

## 「避難解除等区域復興再生計画」を決定

政府は3月19日、福島原子力災害被災地の復興に向けたインフラ、生活、環境、産業に係る向こう10年程度の具体的取組み内容を示す「避難解除等区域復興再生計画」を決定した。福島復興再生特別法に基づき、7月に策定された「福島復興再生基本方針」に即して首相決定となったもの。避難区分に応じた復興のあり方、公共インフラ復旧などの広域的な地域整備の方向性、市町村ごとの計画からなる。本計画策定に際し、根本匠復興大臣は、住民・企業に判断材料を提供し、帰還促進を図りたいとしている。

福島県内で避難指示区域対象となっている11市町村のうち9市町村では4月1日までに、避難指示解除準備区

域、居住制限区域、帰還困難区域への再編を終える。今回の再生計画はこれらの区域ごとに、短期(2年後)、中期(5年後)、長期(10年後)ごとに復興の姿や進め方を示している。

一方、今も依然として放射線量が高く、立入が制限されている区域が存在していることから、広域的な地域整備の方向として、(1)広域的な道路ネットワーク構築、(2)海岸・河川・土砂災害対策、(3)小名浜港と相馬港の機能強化、(4)漁業の再開に向けた漁港の復旧、(5)JR常磐線の復旧——といった公共インフラ復旧と機能強化のほか、生活環境再生のための基盤整備、産業の創出・再生などについて、具体的取組み内容を記載している。

## 原産協会が原子力産業動向調査、86%が長期停止の影響を予想

日本原子力産業協会は3月27日、「原子力発電に係る産業動向調査2011」をまとめた。回答企業の約87%が原子力発電所の停止長期化に伴い、売上げ等に影響があるとしている。このほかに今後、予想される影響としては、「人員の配置転換」(約25%)、「雇用の縮小」(約16%)、「他分野への資源(資金・人員等)の重点化」(16%)、「技術力の低下への懸念」(約15%)などをあげている。

この調査は、原子力産業の現状と今後の動向を企業に聞いたもの、福島原発事故後としては初の調査となる。今回からは原子力発電所の長期停止による立地地域への影響を調べるために「立地道県内における地元雇用者数」と「原子力発電所の運転停止に伴う各社への影響」を設問に加えた。

原子力関係支出高(機器・設備投資費、運転維持・保守・修繕費、各種引当金繰入額、人件費等を含む)は電気事業者が約1兆8,000億円で前年度比約3,000億円(約16%)減少、鉱工業他の原子力関係売上高が約1兆7,000億円で前年度比約800億円(約5%)減少となっている。鉱工業他の受注残高は約2兆2,000億円で前年度より約

1,000億円(約5%)の減少。

また、原子力関係従事者数(事務系・その他を含む)は約4万6,000人。電気事業者の従事者数は対前年度比で約300人(約3%)増加の約1万2,000人で、鉱工業他の従事者数は同約100人(0.3%)減の約3万4,000人。原子力関係従事者数における地元雇用者数(発電所立地道県居住者。ただし一部電気事業者は立地道県の高校・大学等卒業者の数値を回答)は電気事業者約7,000人(地元雇用者比率約60%)、鉱工業他約1万1,000人(同約32%)で合計約1万8,000人となり、従事者数全体の約39%を占めている。

2012年度の原子力業界の景況感については86%(対前年度比+約14%)の企業が「悪い」と回答。2013年度の景況感についても約75%が「もっと悪くなる」と回答した。

調査対象は同協会会員企業および原子力発電産業に係る支出や売上、従事者を有する営利を目的とした企業570社のうち回答のあった208社(電気事業者11社、鉱工業他197社)。2012年10月25日～12月21日に調査を実施した。

## 東京電力が原子力改革プラン実行へ

東京電力は3月29日、福島原発事故を総括した「原子力安全改革プラン」をまとめた。安全文化を社内に浸透させるため原子力安全の監視義務を負う取締役会の意思決定を補佐する「原子力安全監視室」を設置するほか、リスクコミュニケーターという専門職を置いて事故時に社会への説明を適切に行うなど、信頼回復への全社的な態勢強化を図る。

改革プランのなかで東京電力は、技術面での原因分析とともに、事故の備えが不足した組織内に内在する問題

を解決するため、「従来の安全対策に対する過信とごりを一掃し、当社組織内にあった問題を明らかにして、安全への取組みを根底から改革する」とした。また事故の背後要因に、「安全意識」、「技術力」、「対話力」の不足があったことを問題点とあげている。さらに、「安全は既に確立されたもの」と思い込み、稼働率などを重要な経営課題と認識した結果、事故の備えが不足し、これを助長する構造的な問題として「負の連鎖」が原子力部門に定着していたことを指摘。事故当時の経営層全体に、原

子力発電に関わる企業としてのリスク管理に甘さがあったとして、今後は原子力安全リスクの管理状況の監視・監督機能を改善・強化に取り組むとした。

具体的には、組織の本質的な問題を解消するため、「経営層からの改革」、「経営層への監視・支援強化」、「深層防護提案力の強化」、「リスクコミュニケーターの設定・ソーシャル・コミュニケーション室の設置」、「発電所および本店の緊急時組織の改編」、「平常時の発電所組織の見直しと直営技術力強化」の6つの対策を打ち出した。

そこでは経営層が自ら率先して安全文化を組織全体に浸透させる考えを第一に、原子力安全の監視義務を負う取締役会の意思決定を補佐する「原子力安全監視室」を設

置し、原子力安全に関する活動を執行側と独立した立場から評価、監視・助言させる。また、深層防護に則った費用対効果の高い安全性向上対策を強化すべく「安全性向上コンペ」などの改善提案の仕組みを構築する。加えて事故の当事者としてリスクを公表し、対策を広く社会に伝える視点に立ち、リスクコミュニケーション活動の充実に向け専門職、社長直属の組織を整備。震災直後の現場対応に混乱をきたした教訓を踏まえ、米国にならった緊急時対策へと改編する。平常時についても、原子力安全に関する俯瞰機能の強化を目的に発電所組織を見直していく。

## 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

### [米国]

## 米国で30年ぶりコンクリート打設、V・C サマー 2 号機

サウスカロライナ州のサウスカロライナ・エレクトリック&ガス(SCE&G)社は3月11日、ウェスチングハウス(WH)社製 AP1000を採用したバージルC サマー原子力発電所 2 号機建設計画で原子炉系統設備用のコンクリート打設を完了したと発表した。同社が州営電力のサンティー・クーパー社と進めている同原発 2, 3 号機増設計画は、2012年2月のボーグル 3, 4 号機増設計画に続いて同年3月に米原子力規制委員会(NRC)から建設・運転一括認可(COL)を発給されたが、ベースマット用鉄筋の認可修正問題でボーグル計画の進展が滞ったことから、これに先んじて米国で三十余年ぶりとなる原子炉建設計画の正式着工を果たした。

SCE&G 社とサンティー・クーパー社は2008年3月に同建設計画の COL を NRC に申請。5月には東芝傘下の WH 社およびショー・グループ(昨年7月にシカゴ・ブリッジ&アイアン社が買収)とエンジニアリング・資材調達・建設(EPC)契約を締結しており、110万kW AP1000の2基を2017年および18年に完成させるとしている。

現在、V・C サマー 発電所 サイト では 1 号 機 (PWR, 100.3万 kW) が 過去 30 年に わたり 安定的 に 稼働。また、WH 社によると、同計画では並行して、タービン系統や周辺機器の作業も継続中。次世代型原子炉となる両炉の完成に向けて、運転員の訓練も進められている。

米国ではこのほか、テネシー州で COL を必要としない古い許認可に基づきワッツパー 2 号機が建設中。プログレス・エナジー社もレヴィ・カウンティ計画で、ボー

グルと V・C サマー 両計画に続く COL 発給を待っている。

一方、米国サザン社の最大子会社であるジョージア・パワー社は3月14日、ジョージア州のボーグル原子力発電所サイトで3号機用原子炉系統設備のコンクリート打設を完了したと発表した。ボーグル 3, 4 号機増設計画(各 PWR, 110万 kW)では V・C サマー 2, 3 号機計画と同じく、ウェスチングハウス(WH)社製 AP1000を採用している。完成日程は当初計画から1年遅延し、サマー計画と同じ2017年と18年を予定。3号機のコンクリート打設作業ではサマー 2 号機と全く同じ、76m×49m のエリアに厚さ1.8m のベースマットを敷設するため、5,350 m<sup>3</sup>のコンクリートを41時間かけて投入した。

認可手続きについては、サザン社のもう一つの子会社であるサザン・ニュークリア社(SNC)が2006年8月に事前サイト許可(ESP)を米原子力規制委員会(NRC)に申請した。翌08年3月に建設・運転一括認可(COL)を申請した後、同年4月に WH 社、ショー・グループ(昨年7月にシカゴ・ブリッジ&アイアン社が買収)とエンジニアリング・資材調達・建設(EPC)契約を締結。12年2月には、米国で新たな許認可制度が採用されてから初めて、34年ぶりの建設・運転認可が同計画に対して発給された。

同計画の資金調達に関しては、地元ジョージア州の公益事業委員会が資金調達コストを建設期間中に電気料金に上乗せして回収することを認めているほか、10年2月に米エネルギー省(DOE)から原子炉建設計画に対する融資保証としては初めて、83.3億ドルの適用が認められた。こうした背景からジョージア・パワー社では、割引の形で20億ドルまで潜在的な利益を顧客に還元できると明言。3, 4 号機は天然ガスを含めた次善の利用可能技術より、少なくとも40億ドルの付加価値を提供可能だと強調している。



両炉の建設と運転は SNC が担当する一方、所有権の 45.7% はジョージア・パワー社が保有。このほか、オーグルソープ社、地元の州営電力、ダルトン市営電力が共同所有者となる予定だ。

## NRC、フィルタの設置問題先送り

原子力規制委員会(NRC)は3月19日、米国内で福島と同様の事故発生の可能性がある31のBWRで炉内圧力を安全にベントするシステムを一層改善するため、2種類のアプローチで取り組むようNRCの技術スタッフに命じた。議会や産業界の意見を汲み、事故時の放射性物質放出量を軽減するフィルタの設置を直ちに義務付けるのではなく、1年間の技術評価期間を設け、フィルタ設置のほかに既存システムの冷却性能などを向上させて対処するアプローチの両方を考慮するようスタッフに指示。事故時の炉心溶融物冷却と放射性物質保持のための最終規則を4年間で策定するため、総合的な規則制定活動も開始することになる。

今回の一つ目の指示は、マークI、II型の格納容器を有するBWRに信頼性の高い強化ベントを設置するよう事業者に通達した昨年3月の指令をさらに改善要請する内容。具体的には、損傷した原子炉内で上昇した圧力と温度および放射能レベルに対処可能となるベント要件を確定する方針だ。発電所職員が事故の条件下でベントを安全に操作可能になることも徹底させるとしており、そのための「指令の改善」は60日で完了するようスタッフに命じている。

二つ目のフィルタリング規則を制定するための技術評価に関しては、1年間の猶予をスタッフに与えたもので、この間に分析作業を終えるため、さまざまな関係者からの意見もさらに募集。規則案と最終規則のすべてを2017年3月末までに策定しなければならないと言明している。

## ニュースケール社も申請、米国のSMR 開発支援計画

オレゴン州を本拠地とするニュースケール社は3月27日、米エネルギー省(DOE)が同月11日付けで発表していた小型モジュール炉(SMR)開発・商業化促進プログラムの2度目の募集要項(FOA)に対して、基本合意書(LOI)を提出した。

昨年3月に公表された最初のFOAでは、同年11月にDOEがパブコック&ウィルコックス社の「mPower」設計を商業化支援対象設計の一つに選定。落選したニュースケール社は残りの対象枠に、ウェスチングハウス社やホルテック社とともに再びトライする考えで、締切り日

の7月1日までに詳細な申請書を提出するとしている。

オバマ大統領は今年2月の一般教書演説の中で一層持続可能なエネルギー源への移行を加速すると約束。SMRの開発支援計画はその一部となるもので、DOEのチュー長官(当時)もSMRを含めた革新的エネルギー技術は、世界のクリーン・エネルギー競争において米国に重要な競争力をもたらしつつ、国内の一般家庭やビジネス環境にも低炭素なエネルギーを提供する助けになると指摘した。政府が資金提供する公募プログラムで革新的なSMRを上市することにより、米国内に新たな雇用と事業を創出する狙いがある。

同計画では有望なSMR設計2件が2025年頃までに営業運転の開始を可能とするため、5年計画でエンジニアリング、設計認証および許認可を政府がコスト支援。少なくとも経費の50%は産業界負担だが、昨年の発表で議会が割当てた連邦予算は合計で4億4,200万ドルとなっている。

ニュースケール社はSMRの開発・商業化を唯一の目的に設立された企業で、軽水炉で実証済みの技術を元に、自然循環による炉心冷却などで独自の技術を開発中。同社のSMRは水中や地下にも設置できる小型一体型炉で、モジュールの100%を別工場で製造し、鉄道やトラックでサイトまで輸送することが可能だ。また、1基あたりの出力は4.5万kWで、最大12基組み込むことにより、54万kWまで出力を拡大できる。

2011年10月に大手EPC契約企業のフルアー社が3,000万ドル以上の投資を約束したほか、昨年3月にはDOEのサバンナリバー国立研究所(SRS)がサウスカロライナ州のSRSにおける開発と建設を支援することで同社と協力合意文書を締結済みである。

### [英国]

## EDF社のヒンクリーポイントCに開発合意書

エネルギー気候変動省(DECC)は3月19日、EDF・エナジー社のヒンクリーポイントCプロジェクト(EPR×2基)に対し開発合意書(DCO)を発給した。英国では大規模な公共事業について、計画審査庁の審査を経た上で、DCOを取得することが要求されている。これでEDF・エナジー社は、新規建設に必要な許認可をすべて取得したことになる。

同社はこれまでに欧州委員会承認(昨年6月)、サイト許可取得(昨年11月)、EPRの包括的設計審査完了(昨年12月)など数々の許認可手続きをクリアし、許認可関連最後の手続きとなるDCO発給の行方が注目を集めていた。

DECCのE・デイビー大臣が議会でDCOの発給を發

表した日は、くしくも英国の原子力新規建設をテーマにした「NNB2013」が、英議会からほど近い会議場で開催されていたのと同じ。NNBでスピーチした同社のカドゥー・ハドソン新規建設担当役員は、DCO取得により「プロジェクトの準備は整った」と指摘。同時に、「行使価格(政府による電力の買取り価格)と長期固定価格買取制度(CfDs)に関する財務省との協議は継続中であり、合意に達しない限り最終決定は下せない」と強調した。

## 政府、原子力で世界をリードすることをめざす将来戦略

英国政府のビジネス・技術改革・職業技能省(BIS)とエネルギー気候変動省(DECC)は3月26日、同国が民生用原子力利用で世界でも主導的な立場になるまでの方向性を示した戦略報告書、「英国の原子力の将来」を共同発表した。原子力が同国の将来のエネルギー・ミックスの中で重要な役割を担うという明確な期待の下、原子力を通じたビジネス・チャンスの拡大によって経済成長と雇用の創出を刺激するため、同国政府と原子力産業界が一貫性のある長期的なアプローチとして詳細に練り上げた計画。両者が一体となって国内の原子力市場を商業基盤として構築するのみならず、世界をリードすることを目標に、意欲的な戦略を示した。

英国では昨年9月に産業界全体に関する新たな政府戦略を打ち出しているが、今回の原子力戦略は有望な部門に対する支援戦略の一部という位置付け。折しもDECCはこの1週間前、新設計画では初となる開発合意書をEDF エナジー社のシンクリーポイントC計画に発給したばかり。先触れとして、新設計画の短期的チャンスに焦点を当てた「原子力供給チェーン活動計画」が昨年12月に公表されているが、同戦略は実質的に、議会上院・科学技術特別委員会が2011年に取りまとめた英国の原子力研究開発能力に関する報告書等への対応作業の中で策定された。この作業の直接的な結果として6つの文書——「原子力供給チェーンの能力改善による経済的利点」、「原子力産業ビジョン声明」、「原子力研究開発ロードマップ」など——が今回の将来戦略と同時に公表されている。

### [スイス]

## ミューレベルク原発、最高裁判決で運転可能に

スイスの連邦最高裁判所は3月28日、ミューレベルク原子力発電所(KKM, BWR, 39万kW)の運転期限を今年6月末までとした連邦行政裁判所(FAC)の昨年3月の判決を破棄した。同炉の安全性を認め、同国のその他

の稼働中原子炉と同様、期限を切らずに運転可能との裁定を下したものの。

1972年に運開したKKMに対して、連邦政府の環境運輸エネルギー通信省(DETEC)は2009年、国の安全要件を満たしている限り無期限に運転期間を延長できるとの判断を下した。さらに福島事故後の11年5月、連邦政府は国内の原子炉5基の平均稼働年数を50年と設定した上で、これらすべてを34年までに段階的に閉鎖する政策を公表。KKMは運開後50年目に当たる22年まで運転できると見られていた。

しかし、KKMの炉心シュラウドにヒビがあると主張する反対派住民の提訴を受け、FACはDETECが政治的判断により課した50年の稼働許容年数を排除。KKMの操業を今年6月末までに制限したほか、事業者であるBKW社には運転継続のための新たな申請書を、長期運転に関する包括的保守管理概念とともにDETECに提出するよう指示した。

BKW社はこの裁定に控訴した上で、昨年8月に要求されたすべての文書を提出。スイス連邦原子力安全検査局(ENSI)は同年12月に、それらの文書を通じてKKMの長期運転の妥当性が裏付けられた根拠を承認した。その一方、2017年以降の運転継続を見越した包括的な改修工事をBKW社に指示しており、その実施計画を6月末までに提出するよう命じていた。

今回の最高裁判決を受けて、BKW社は「これで改修工事の実施計画の作成に集中できる」と歓迎している。

### [南ア]

## 原子力拡大計画にロシアが協力

ロシアの原子力総合企業ロスアトム社は3月28日、V・プーチン大統領が南アフリカ共和国のJ・ズマ大統領と共同宣言を発表し、南アにおける原子炉新設のみならず、同国の原子力産業全体の発展のためにロシアが支援するなど、エネルギー分野での協力や本格的な戦略パートナーシップの構築で両国が合意したと発表した。

この合意は、両国にブラジル、インド、中国を加えた「BRICS 5 개국」の首脳会議が南アで開催されたのを機に、両国間で調印した様々な分野の協力合意の一つという位置付けで、エネルギー分野の協力の中では中心的役割を担うもの。南アは福島事故後を経てなお、エネルギー・ミックスの中に原子力を残した統合資源計画(IRP)を打ち出しており、同国で豊富なウラン資源の採鉱から原子力機器の国内設計・製造を通じた原子炉と研究炉の建設まで、先進的な原子力産業の構築を含めて、ロシアは技術的および財政的な支援をトータルに提供していく。

# 地震と断層，そして活断層とは何か 思いこみや風評を排して冷静な対応を

首都大学東京 山崎 晴雄

東京西郊の主要な活断層である立川断層の調査では、人工物を断層が繰り返しずれた跡である断層破碎帯と見誤るといふ事態が生じた。その原因について検討し、大地震の際、地表に現れる地表地震断層の活動様式などに誤解と思いこみがあったことを指摘した。そして、誤解を防ぐために、地表地震断層やその繰り返しの結果である活断層についての解説を行った。活断層は将来、大地震を引き起こす可能性があり、それを防災に利用するためには、地表地震断層の挙動を予測しなければならないが、そこには知識等の不足により誤解や思いこみが入る余地が大きくなる。このことを理解して冷静に活断層等に対応する必要がある。

## I. 活断層調査と思いこみ

東京西郊に位置する活断層である立川断層で行われたトレンチ発掘調査では、調査を実施した東京大学地震研究所がセメント材料と思われる人工物を、繰り返し断層がずれることで岩石がすりつぶされて形成される断層破碎帯と見誤り、2013年2月の一般公開で調査を見学した市民約1万人やマスコミに誤った説明をしたとして、3月末に大きなニュースになった。調査の担当者は記者会見で「思いこみによって人工物を断層破碎帯と判断してしまった」と説明した。これは真実だと思うが、問題はどのようにしてセメント材料を断層破碎帯と思いこんでしまったのか、ということである。この答えは、4月7日夜にNHK総合テレビで放映されたNHKスペシャル「メガクエイク」を見てすぐにわかった。番組では調査トレンチ内で数人が「断層破碎帯」を観察している様子が映されたあと、「断層の説明が誤りであったことが発表された」という短いナレーションが入り、すぐ次の場面に変わった。しかし、その後の、断層活動を説明するコンピュータグラフィック(CG)の映像を見てびっくりしてしまった。トレンチ発掘調査現場と思われる広い空き地から、立川を想像させるモノレールのある市街地に向かって地震断層の亀裂が稲妻のように走り、市内では道路を横切って断層のずれによる段差が現れ、モノレールの橋脚が倒れ落ちる様子が映されたのである。この番組の制作者は、地震研の調査結果の説明に合わせてこのCGを作ったが、説明が誤りで放送に使えなくなったため、そ

こだけをカットしてCGはそのまま放映したものと思われる。しかし、このCGには大きな誤りを導いた思いこみがそのまま残されていた。

立川断層は約2万年前の氷河期に多摩川の河原であった広い扇状地(現在は干上がって立川段丘となっている)を上下に食い違わせている。だが、扇状地を構成する未固結の砂礫層が厚い(40m以上)ため、地下深部の固結した砂・泥質堆積物が断層によって食い違ってずれても、その上の厚い砂礫層の中でずれば分散してしまい、表層付近では地層(砂礫層)が緩く傾くだけで、ずれや段差はほとんど現れない。このように地層が切れずに、撓んで緩く傾いているものを撓曲という。そのため、立川断層沿いでは急な崖は全く存在しておらず、どこでも非常に緩い坂が認められる。撓曲が立川断層の大きな特徴であることは、同断層を最初に記載した論文<sup>1)</sup>ですでに指摘されている。

つまり、立川段丘の下で断層が動いても地表にはCGで描かれるような明瞭な段差は現れず、砂礫層の撓曲によって既に存在している緩い坂の傾斜が少し急になるだけなのである。この撓曲構造を理解しておらず、断層が動けば地表に明瞭なずれ(段差)を伴う地震断層が現れるはずと思いこんで調査を行い、都合の良い垂直な構造が見つかったので、それを破碎帯と決めつけたのである。これまでの理学的な活断層調査は、さまざまな地学情報から帰納的に活断層の存在を推定したのであるが、これを防災や予測に利用するには、活断層から発生する地震のマグニチュード(M)や断層のずれの大きさ(変位量)などの情報を既存の知識から演繹的に取り出さねばならない。このとき、「専門家」といっても、断層運動に関する知識の不足ないしは誤解から思いこみや決めつけが生じるのである。多数の「専門家」が調査に関与しながら、そ

*Earthquake and Seismogenic Fault, and What is the Active Fault; Eliminate a Delusion and Rumor for Active Fault and Give a Calm Response*: Haruo YAMAZAKI.

(2013年 4月17日 受理)



の誤りを指摘できなかったのも、上記の思いこみや決めつけが関係者の間で共有されていたからであろう。

## II. 風評化する活断層

活断層に関するニュースやマスコミの論評を見ると、誤解による情報が紹介され、それが恐怖をあおって、活断層をただ恐れ忌避するという風評化が進みつつあることがわかる。活断層に関する最大の誤解は、断層のずれ(断層変位という)による被害がもっとも激しく、その近傍では構造物は皆破壊されてしまうというものだ。確かに、断層のずれと破壊された建物の映像を見せられれば、断層は恐ろしいと思うのは当然である。しかし、これまでの事例からみると、実際の地震災害で大きな被害、とくに人命に係わる被害は、断層のずれによる構造物等の崩壊ではなく、断層とは直接関係のない、津波や軟弱地盤での非耐震性建物の崩壊、あるいは延焼する火災で引き起こされているのである。活断層のずれを怖いと恐れるだけでは災害の本当の原因を見逃し、むしろ被害を拡大してしまうことになりかねない。立川など地盤の良い武蔵野台地の上で本当に恐れ、対応を考えねばならない地震災害は、密集化が進みつつある木造住宅地域で発生する可能性のある延焼火災なのである。

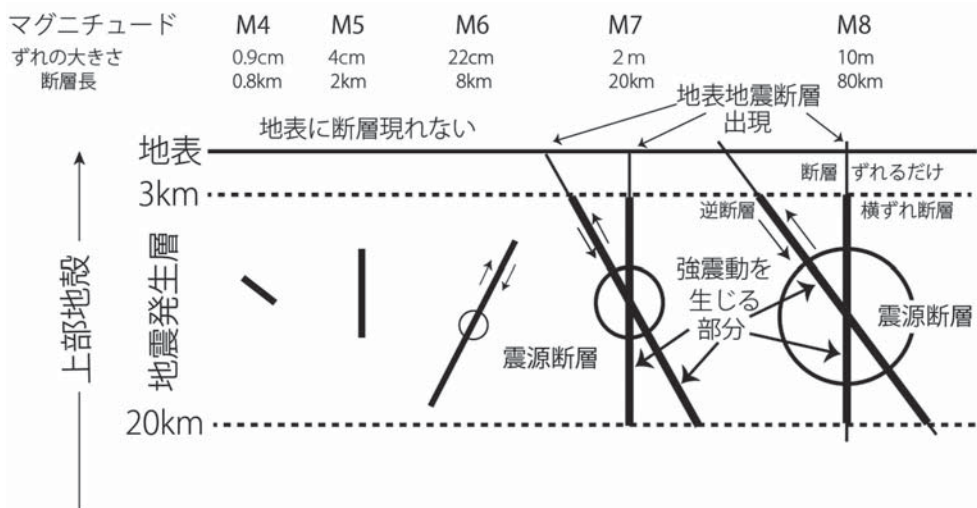
このような活断層に関する誤解を解き、風評を排除するには、関心のある人々に地震や活断層に関する知識を丁寧に説明し、活断層が認識された過程を説明しながら、その実際を理解してもらうことしか他に方法はないようだ。以下、このような考えの下、断層運動で生じる地表の現象を説明しながら、地震と活断層の関係について解説する。

## III. 地震と断層

地震はその大きさにかかわらず、地下の断層運動で引き起こされる。断層運動とは、地下の岩盤中の破断面(弱線)である断層を境に両側の岩盤がずれ、食い違う現象

である。日本列島の浅部内陸地殻内の場合、断層を動かすエネルギーはプレート運動などの余録として地殻内にゆっくり蓄積されるひずみである。このひずみはある範囲ごとに地殻内の弱線である断層に集中し、そこに応力集中が起きる。応力が断層面の摩擦強度を上回る状態に達すると断層面を境に両側の岩盤が滑って食い違い、その結果、断層面から強い地震動が発生するのである。このような地震を引き起こす地下深部の断層を震源断層という。日本列島の内陸部では、地震を起こす断層運動が発生する深度はある程度限定されている。日本列島の地下深部は高温で、地下約20 km以深では岩石が柔らかくなってひずみを蓄積できない。一方、表層近くの地下約3 km以浅の部分も岩石の強度が低く、ひずみを蓄えられない。したがって、ひずみが貯まり地震が発生する断層運動が起きるのは、硬い岩盤の分布する地下3~20 km程度の範囲である。この部分は地震発生層と呼ばれる。

地震発生層の中には弱線が多数存在し、応力の方向と断層面の強度に応じて弱いところが断層運動を起こすのである。断層のずれで起きる地震のエネルギーの指標は地震モーメント( $M_0$ : 単位  $N \cdot m$ )で表され、 $M_0 = \mu AD$  の関係が知られている<sup>2)</sup>。ただし、 $\mu$ は断層面の剛性率(単位 Pa)、 $D$ は断層面上でのずれの大きさ(変位量: 単位 m)、 $A$ は断層の面積(単位  $m^2$ )である。内陸地震で $\mu$ に大きな地域差がない場合、断層から発生する地震の規模(マグニチュード:  $M$ )は断層の面積と変位量に依存する。 $A$ は断層の平面上の長さ $L$ と深さ方向の幅 $W$ の積だが、地震発生層の厚さ(約17 km)で $W$ の上限が押さえられているので、断層が大きくなると $M$ は断層長 $L$ と変位量 $D$ に依存するのである。 $D$ と $L$ の間にもスケールリング則が成り立つので、 $M$ の大きな地震は断層長 $L$ に比例する。つまり、長い断層は大きな $M$ の地震が発生する可能性がある。第1図は日本列島の浅部内陸地殻の断面で、断層長とマグニチュード、それに地表への断



第1図 地震発生層と震源断層、地表地震断層の関係

層の出現の関係を示したものである。Mの小さな地震では震源断層の長さやずれは小さく地震発生層の中だけに限られ、地表には断層のずれは現れない。しかし、Mが7以上と大きくなると、震源断層のずれは地震発生層の幅全域に及び、地震発生層の上限を突き抜けて地表にまで達するようになる。地表に現れた断層を地表地震断層という。

地表地震断層は地下の震源断層から地表に延びてきたもので、そのずれの向きや変位量は地下深部の震源断層の特徴を知る重要な手がかりと考えられた。そのため、大地震で地震断層が出現すると、研究者は詳細にその様子を記載してきた<sup>3,4)</sup>。しかし、地震時に地表に現れるのは震源断層に直接続く地震断層の主断層だけではない。地下から延びてくる断層が地表付近の比較的強度の弱い地層の中で枝分かれする分岐断層や、地震動などにより主断層とは直接関係しない断層が誘発されてずれ、副断層と呼ばれる小規模なずれが現れる(第2図)。地震後、詳細な調査を行っても、変位量の大きな主断層は別として、それ以外の小さな断層を成因によって区別するのは困難なことが多い。そのため、明らかに表層の重力作用などで形成されたと考えられる断層以外は全て構造的断層と見なして、地表地震断層と呼んでいる。つまり、地震時に地表に現れる断層にはさまざまな成因のものが含まれているのである。

このほか、震動による地盤の圧密や液化化、地すべりなどでも地表に2次的な断層が現れることがある。ただし、地すべり等が原因であるものは地表地震断層には含めない。また、前述の立川断層の場合のように、表層地盤の条件によっては地表には明瞭な主断層は現れず、撓曲状の変形あるいは開口亀裂群が出現することもある。1948年福井地震(M7.1)は厚い沖積層に覆われた平野の下で断層運動が起きたものだが、地表では不規則な亀裂が帯状に幅広く現れただけであった。しかし、地震後の測量によって幅数kmの間で上下方向に70cm、水平方

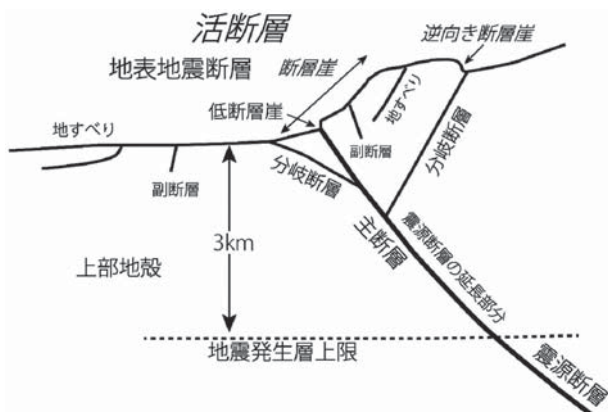
向に約2mの地盤の食い違いが起きていたことがわかった<sup>5)</sup>。厚い軟弱地盤に覆われていたため、地表地震断層は肉眼では確認できない幅広い撓曲として現れたと考えられる。

#### IV. 地表地震断層の繰り返しと活断層

地表に地震断層が出現するような大きな震源断層の運動は、少なくとも1000年以上の長い休止期間にゆっくりひずみが蓄積し、摩擦強度の限界に達するとほぼ一瞬といえる数十秒の時間で断層がずれるという、間欠的な動きを繰り返していると考えられる。これは、地殻のひずみ速度が時間的に大きく変化せず、断層の摩擦強度も大きく変化しなければ、断層は一定の間隔で同じ大きさの地震を引き起こすという考えが根拠になっている。

断層運動で地表に現れた地表地震断層のずれ・食い違いは、次に続く長い休止期間のうちに浸食や堆積作用で削れたり埋められたりして、小規模なものは消えてしまう。主断層などずれの大きなものだけが浸食等に耐えて次の活動時期まで地表のずれを残している。そして、次の活動で新しいずれが付け加わって、地形や表層部の地層の食い違いは大きく成長していく。その結果、主断層に沿っては大きな崖などの明瞭な地形の不連続や地層の食い違いが形成される。このような断層運動の繰り返しによって地表に形成される特別な地形を断層地形という。

神戸に大震災をもたらした1995年兵庫県南部地震では、淡路島の北西部に長さ約10kmの地表地震断層が出現した。神戸市街地のある六甲山の麓から南西方向に延びた地下の震源断層の一部が地表に姿を現したものである。野島断層と呼ばれるこの断層は地震発生前から活断層としてその存在が知られていた。第3図(a)はその地図上の位置を示したものだが、地表地震断層は淡路島北西部の海岸沿いに現れ、地表に東側隆起最大1.2m、右横ずれ最大2.5mのずれを残した。地表地震断層は淡路島北部の津名丘陵の北西縁を限る、直線的に延びる急斜面の基部(麓)に沿って出現した(第3図(b))。地震断層の出現地点では東側の花崗岩と西側の大坂層群とが接する断層破碎帯が認められ、長い歴史を持つ断層の再活動であることがわかる。さらに、東側の津名丘陵では、丘陵を構成する花崗岩の上に、西側と同じ大坂層群が分布しており、東西間の高度差は500mに達する。これは鮮新世以降の最近の地質時代に断層が繰り返し活動した結果であり、それに沿う急斜面は断層運動で作られた断層崖と考えられる。これから、逆に、最近の地質時代に繰り返し活動して、断層崖のような地形を形成してきた断層は、状況に大きな変化がない限り、今後も活動を繰り返すと考えられる。多田文男<sup>6)</sup>はこのような将来活動して大地震を引き起こす可能性のある断層を「活断層」と名付けた。つまり、断層地形を伴い、あるい

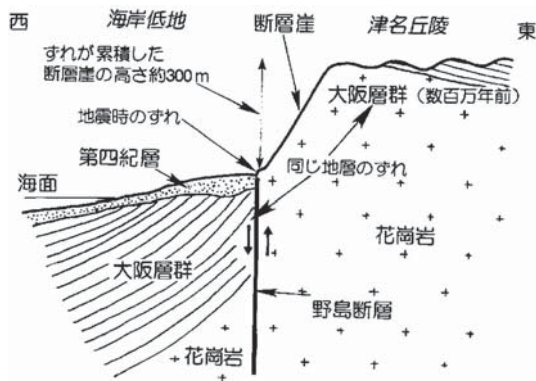


第2図 地表地震断層のさまざまな出現形態  
断層地形を作る主断層や大きな分岐断層のほか小規模な副断層、それに表層部の重力作用による地すべり性の断層などが現れる。





第3図(a) 1995年兵庫県南部地震で淡路島北西部に現れた地表地震断層  
地震前から存在が知られていた活断層の野島断層が再活動した。(山崎晴雄, 1998)<sup>7)</sup>



第3図(b) 淡路島北部の東西断面  
地震断層の出現位置は大きな断層崖の麓と一致

は最近の地質時代に繰り返し活動した地質学的証拠のある断層は、今後も活動し大地震を引き起こす可能性がある活断層と考えられるのである。

このように、地表地震断層や活断層について、その考え方を基に解説を行ったが、最近このような本来の意味を越えて用語が使われるようになってきたことが気になる。たとえば、2013年4月13日早朝に淡路島で起きた震度6弱の地震(M6.3)に関して、「未知の活断層が動いた」という報道がたくさんあった。活断層とは地表に認められる断層のことを指すのだが、この地震の震源域周辺には活断層は知られておらず、疑わしい地形や地質構造も存在しない。この地震のMは大きいですが震源断層の

ずれは地震発生層の中だけにとどまり、今回もあるいは過去においても地表に達するものではなかったのである。つまりこの報道は震源断層を活断層と誤解しているのだ。毎日発生する小さな地震は断層のずれが地震発生層の中だけにとどまっており、皆未知の断層が動いたものなのである。これを活断層と誤解する背景には、「活断層は危ない」という風評に乗ってニュースの注目度を高めたい、という気持ちが無意識に働いているのかもしれない。

このように、活断層や地表地震断層という用語は、従来の定義や慣用的な使い方を越えて社会で使われるようになってきた。そして、そこには多くに誤解や思いこみが含まれ、その結果、風評を生み、あるいは助長する可能性がある。そのようなものを排除して、冷静に活断層や地表地震断層に対応するために、本稿がその一助になれば幸いである。

#### —参考文献—

- 1) 山崎晴雄, 立川断層とその第四紀後期の運動. 第四紀研究, 16, 231-246, 1978.
- 2) 宇津徳治総編集・嶋悦三, 吉井敏尅, 山科健一郎編, 地震の事典. 朝倉書店, 220, 1987.
- 3) 松田時彦, 1891年濃尾地震の地震断層. 地震研究所速報, 13, 85-126, 1974.
- 4) 山崎晴雄, 小出仁, 佃栄吉, 「1978年伊豆大島近海地震」の際現われた地震断層. 地質調査所特別報告, 7, 7-35, 1979.
- 5) H. Tsuya, ed., The Fukui Earthquake of June 28, 1948. Rep. spec. comm. the study of the Fukui Earthquake, 197p, 1950.
- 6) 多田文男, 活断層の二種類. 地理学評論, 3, 980-983, 1927.
- 7) 山崎晴雄, 活断層と地震防災. 地質学論集地震と地盤災害—1995年兵庫県南部地震の教訓—, 51, 135-143, 1998.

#### 著者紹介



山崎晴雄(やまざき・はるお)  
首都大学東京 都市環境科学研究科  
(専門分野)地震地質学, 第四紀学, 地形学,  
地質環境の長期安定性の研究, 活断層の  
活動史解明



# 新規制基準(地震・津波)で要求される基準地震動 最近の被害地震から得られた知見を反映して

京都大学 釜江 克宏

東京電力福島第一原子力発電所事故を受け、原子力規制委員会は新しい規制基準(地震・津波)を策定しつつある。本稿では、耐震設計において最も基本となる基準地震動を対象に、その評価の変遷や新規制基準で要求される事項について解説する。また、事故の原因となった2011年東北地方太平洋沖地震(M<sub>w</sub>9.0)など、最近の被害地震から得られた新たな知見や基準地震動評価の高度化への反映について紹介する。

## I. はじめに

2011年3月11日14時46分、東北地方太平洋沖を震源とする超巨大地震が発生した。地震当日の午前中、皮肉にも旧原子力安全委員会の耐震安全性評価特別委員会において日本原子力発電(株)東海第二発電所の審議が行われ、活断層の認定、基準地震動の評価、主要な施設の耐震安全性評価が適切に行われていると判断された(耐震バックチェック)。この地震の規模を表すマグニチュード(モーメントマグニチュード)はM<sub>w</sub>9.0で、気象庁による観測史上最大であった。次章以降で記述される気象庁マグニチュードより適用範囲が広いため使われた。地震発生後の巨大な津波によって、太平洋沿岸の広い地域で甚大な被害(2013年3月6日の警察庁発表による死者15,881人、行方不明者2,676人)となった。また、この地震では東京電力福島第一原子力発電所において、想定を大きく超えた津波によって全電源が喪失し、原子炉の冷却機能を失ったことによって炉心溶融、水素爆発を招き、放射性物質の漏洩・逸散によって甚大かつ最悪な原子力災害を引き起こされてしまった。あれから2年、原子力発電所を取り巻く環境は大きく変化した。

環境省の外局として原子力規制委員会(以後、「規制委員会」という。)が設置され、旧原子力安全委員会や旧原子力安全・保安院などの事務が一元化され、その事務局として原子力規制庁が設置された。規制委員会では、今回の福島第一原子力発電所での事故を受け、新たな安全基準の作成や原子力災害対策指針の改訂などが急ピッチで進められている。

一方、本稿とも関係するが、活断層問題が社会的関心

事になっており、敷地内(重要施設の直下も含め)に存在する断層(破碎帯等)が耐震設計上考慮すべき活断層であるのか否か、規制委員会の専門家会議におけるその評価手続きや議論、またその結論について、科学的知見に基づいた客観的な判断が求められている。

新たな規制基準(地震・津波)では、重要な安全機能を有する施設は、活断層の露頭がないことを確認した地盤に設置することを要求しており、専門家会議の判断は非常に重要であり、科学的根拠に基づいた慎重な議論を期待したい。

このような現状を踏まえ、本稿では原子力発電所の耐震安全に大きく関わる基準地震動の評価について、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(1981年7月)、改訂耐震指針(2006年9月)、新規制基準(地震・津波)(2013年7月施行予定)へとどのように高度化されてきたのか、また高度化に際しての東北地方太平洋沖地震や最近の被害地震の知見の反映などを解説する。基準地震動は活断層の認定、その地震規模評価と主要な施設・設備の耐震設計を繋ぐ重要な位置づけにあり、その策定に際しては観測データに基づく新知見の導入や科学的な根拠に基づくことが重要であり、かつ大前提とすべきである。

## II. 原子力発電所の耐震設計における 基準地震動評価の変遷

原子力発電所の耐震指針は、1978年9月に原子力委員会が定めたものに基づき、同年10月に原子力委員会から分離独立した原子力安全委員会(2001年省庁再編によって総理府から内閣府に移管)によって1981年7月に一部見直しの上、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」として制定された。この耐震指針の基本は1977年6月に原子力委員会が定めた「発電用軽水型原子炉施設に関する安全設計審査指針」に示され、それまでの安全

*Design Basis Ground Motion Required on New Regulatory Guide; Introduction of Lessons Learned from Recent Disastrous Earthquakes*: Katsuhiko KAMAE.

(2013年 4月8日 受理)

審査の経験や地震学・地質学等の知見を工学的に判断して策定された。その後、地震学や地震工学など関連分野における新たな知見の蓄積や耐震技術の著しい改良や進歩を反映し、耐震指針の改訂に向けた議論が2002年から始まった。中でも大きな契機となったのは1995年兵庫県南部地震の発生である。この地震の規模を表すマグニチュード(気象庁マグニチュード)は $M_j7.3$ であった。改訂に向けた議論には4年の歳月を要し、2006年9月に全面的に見直され、改訂耐震指針が旧原子力安全委員会で決定された。その後、改訂耐震指針に基づく耐震バックチェックが旧原子力安全・保安院及び旧原子力安全委員会によって全国54基の原子力発電所などを対象に順次行われていた。その間、2007年新潟県中越沖地震( $M_j6.8$ )、2007年能登半島地震( $M_j6.9$ )、2009年駿河湾の地震( $M_j6.5$ )などが発生し、得られた知見はその都度耐震バックチェックに反映され、厳正な審査が継続中であった。

そんな中、2011年東北地方太平洋沖地震( $M_w9.0$ )が発生した。この地震を契機に規制委員会に検討チーム(発電用軽水型原子炉施設の地震・津波に関わる新安全設計基準に関する検討チーム)が設置され、新規制基準(地震・津波)骨子案が策定され、パブコメも終了し、7月施行に向けた作業が進められている。新規制基準(地震・津波)では2011年東北地方太平洋沖地震における想定を大きく超えた津波の来襲による福島第一原子力発電所での事故を受け、津波に対する安全設計への数多くの要求事項が新たに追加された。詳細は省略するが、重要な施設等が設置された敷地に津波を直接到達、流入させないことなど、非常に厳しい要求内容となっている。以上のように、原子力発電所の耐震安全の確保及び向上に向けた取り組みは、大きな被害地震などを契機に変遷してきた。ここでは耐震設計上重要な基準地震動に焦点を当て、特に重要な項目についてのみその変遷を第1表にま

とめる。

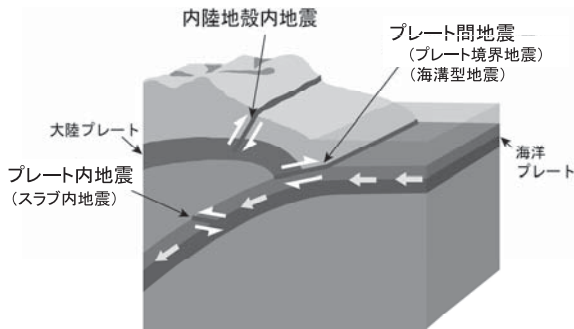
重要度の高いAs, AクラスやSクラス(改訂耐震指針でAsクラスとAクラスが統合)の施設に対しては、静的解析と併用される動的解析の手法にきわめて目新しい特徴的な概念が導入されている。旧耐震指針(1981年)では過去の歴史地震だけではなく、活断層の活動によって発生する地震を想定して基準地震動を策定することが求められており、活断層の活動度に応じた2種類の地震(設計用最強地震と設計用限界地震)を想定した上で基準地震動S1とS2が評価された。S2の評価には仮想的な直下地震( $M_j6.5$ )も併せて想定することが求められた。活断層の活動度を評価する判断基準の主たるめやすは、設計用最強地震としては10,000年前以降の活動の有無、設計用限界地震としては50,000年前以降の活動の有無とされた。改訂耐震指針(2006年)では、活断層の定義が変わり、後期更新世(約12~13万年前)以降の活動が否定できないもの、その認定に際しては最終間氷期の地層又は地形面に断層による変位・変形が認められるか否かによることとなった。

活断層の調査として、変動地形学的調査、地表地質調査、地球物理学的調査が求められ、認定に際しては敷地からの距離に応じてこれらの手法を適切に組み合わせることで総合的に判断することが求められた。また、改訂耐震指針では耐震設計上考慮すべき地震を検討用地震と呼び、地震発生様式ごとに区分した上で、活断層による内陸地殻内地震のみでなく、プレート間地震及び海洋プレート内地震の3種類の地震(第1図)を選定することが求められた。活断層の定義や検討用地震の選定については新規制基準(地震・津波)にも引き継がれた。ただし、活断層の認定において後期更新世以降の活動が明確に判断できない場合には、中期更新世以降(約40万年前以降)まで遡って判断することが新たに明示された。この件に関し

第1表 基準地震動に関連する項目の変遷

項目	1981年旧耐震指針	2006年改訂耐震指針	新規制基準(津波・地震)
重要度分類	4分類(As, A, B, C)	3分類(S, B, C)	3分類(S, B, C)
地震の選定	歴史地震 内陸地殻内地震(活断層による地震)	内陸地殻内地震(活断層による地震) プレート間地震, プレート内地震	内陸地殻内地震(活断層による地震) プレート間地震, プレート内地震
活断層評価	1万年前以降( $S_1$ 地震として) 5万年前以降( $S_2$ 地震として)	後期更新世以降(約12万年~13万年前以降)調査結果によってはより古い時代に遡る	後期更新世以降(約12万年~13万年前以降)調査結果によっては中期更新世(40万年前)まで遡る
直下地震	$M_j6.5$ (震源距離10 km)	震源を特定せず策定する地震動として規定 (規模ではなく、地震動で規定)	震源を特定せず策定する地震動として規定(規模ではなく、地震動で規定)(最新の知見を反映)
地震動評価	2種類の基準地震動 $S_1$ , $S_2$ に対して 応答スペクトルによる手法 (点震源評価:大崎スペクトルなど)	基準地震動 $S_s$ に対して2種類の手法を併用 応答スペクトルによる手法(耐専スペクトルなど)と断層モデルによる手法	基準地震動 $S_s$ に対して2種類の手法を併用 応答スペクトルによる手法(耐専スペクトルなど)と断層モデルによる手法
津波	規定なし	地震随伴事象として簡単に規定	基準津波の評価, 津波安全設計手法を規定





第1図 基準地震動策定で考慮する発生様式ごとの検討用地震

て、活断層の定義に変更があったのではなく、改訂耐震指針等の運用をより明確に行うための措置であると言われている。

基準地震動評価では、地震は本来有限な領域での破壊現象であるが、旧耐震指針では歴史地震や活断層による地震の震源像を規模(マグニチュード)と震源距離(地震を点震源と考えた敷地までの距離)に単純化して表現し、経験的な応答スペクトル(地震動強さを周期ごとに示すスペクトル:例えば「大崎スペクトル」)を用いて人工的に作成する手法が推奨された。

改訂耐震指針では、その後の地震学や地震工学など関連分野における新たな知見の蓄積や1995年兵庫県南部地震以後開発が進んだ断層モデルによる地震動評価手法の併用が求められた。特に震源断層が近い場合にはこの手法による結果を重視することも明記された。こうした断層モデルによる基準地震動評価の有効性などは次章で紹介する。こうして評価される基準地震動は、「震源を特定して策定する地震動」と位置づけられ、新規制基準(地震・津波)にも引き継がれた。

一方、活断層調査など詳細な調査を実施しても、なお敷地近傍において発生する可能性のある地震の全てを事前に評価しうるとは言い切れないことから、観測記録に基づき「震源を特定せず策定する地震動」として、全ての申請に対して共通に考慮すべき地震動が求められた。この地震動の要求は旧耐震指針ですべての申請で $M_j 6.5$ の仮想的な直下地震による地震動を求めたことと同じである。日本をはじめ世界的にも地震観測網が整備され、震源近傍域での観測記録が得られるようになったこと、 $M_j 6.5$ という曖昧な規模指定や地震動評価の信頼性などが改訂の動機のようなものである。この地震動は地震外力の最低レベルを規定するものであり、観測記録の蓄積などに基づき、継続的な見直しが必要かつ不可欠であり、新規制基準(地震・津波)の運用においても最新の知見が反映されようとしている。

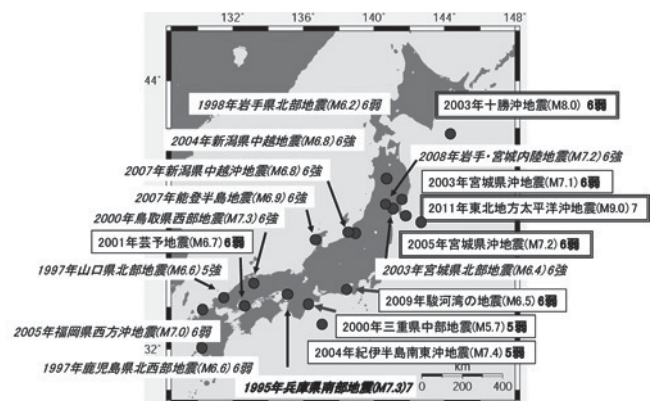
改訂耐震指針では、その基本方針に「残余のリスク」(策定された地震動を上回る地震動の影響が施設に及ぶことにより、施設に重大な損傷事象が発生すること、施設から大量の放射性物質が放散される事象が発生すること、

あるいはそれらの結果として周辺公衆に対して放射線被ばくによる災害を及ぼすこと)のリスクの存在が明記され、基準地震動を上回る地震動が生起する可能性に対して適切な考慮を払い、このリスクの存在を十分認識した上で可能な限り小さくするための努力が求められた。ただし、現実的に求められていたのは基準地震動を上回る可能性(確率)のみで、「残余のリスク」そのものへの対応は十分行われてこなかった。特に、津波に対しては地震随伴事象としての考慮のみで、具体的なリスクへの言及はなかった。新規制基準(地震・津波)でも「残余のリスク」の考え方は受け継がれ、地震や津波のような外的要因に対する設計の強化のみでなく、設計上の想定を超える事態の発生を前提とした取り組み(シビアアクシデント対策)が求められている。

最後に、冒頭でも紹介したように、新規制基準(地震・津波)では安全上重要な施設は将来、活動する可能性のある断層等の露頭がないことを確認した地盤に設置することが明記された。ここで言う断層等とは地震を起こす断層に加え、断層活動に伴い副次的に永久変位を生じさせるかもしれない断層や支持基盤を切る地すべり面も含まれている。この要求事項は敷地内断層の議論と大きく関わり、原子力発電所の耐震安全と活断層との関係をはかりにくくしているようにも感じる。今一度、活断層とは何か、その活動による原子力発電所への影響を「残余のリスク」の観点からも考えるべきではないのか、多くの分野の専門家による議論の必要性を強く感じる。

### Ⅲ. 最近の地震で得られた知見とその反映

改訂耐震指針の契機ともなった1995年兵庫県南部地震以降、数多くの被害地震(人的あるいは物的被害が報告された地震)が全国的に発生しており(第2図)、その発生様式は前述(第1図)の3つに分類される。これらの中には原子力発電所の耐震安全を議論する上で何らかの影響を与えた地震がいくつか存在する。1995年兵庫県南部地震では、活断層(六甲淡路断層帯)と地震の発生、震源



第2図 1995年兵庫県南部地震とそれ以降の被害地震分布図中□はプレート内地震を、2重□はプレート間地震を、その他は内陸地殻内地震を示す。また地震名のははマグニチュード、観測された最大震度を示す。



近傍の地震動の特徴や生成メカニズムを考える上での貴重なデータが入手でき、その後の断層モデルによる地震動予測の開発、実用化へと発展した<sup>1)</sup>。断層モデルに基づく地震動予測手法は、原子力の分野でも基準地震動策定において改訂耐震指針や新規制基準(地震・津波)で求められている。その後、2007年新潟県中越沖地震(M<sub>j</sub>6.8)が発生した。この地震は改訂耐震指針による耐震バックチェックの最中に発生した地震で、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所を直撃した。観測された地震動は旧耐震指針に従い想定されていた地震動を大きく(2倍程度)上回り、敷地内では震度7程度の揺れであったことが報告された。稼働中の原子炉は全て正常に停止し、原子炉の冷却も問題なく行われ、「止める」、「冷やす」、「閉じ込める」の重要な安全機能が確保され、その後の調査で重要な施設・設備に地震による目立った損傷は確認されていない。設計上の安全裕度の重要性が指摘された。

この地震が突き付けた課題はいくつかある。まず、この地震を引き起こした断層はどこか?地震前からわかっていた断層か?地震直後はなかなか精度の良いデータが得られず、この議論に答えが出たのは数カ月後であった。結果として震源断層が南東傾斜を主とするもので、既に存在が確認されていた活断層(F-B断層)にほぼ対応することが明らかにされた。ただし、M<sub>j</sub>6.8程度の地震の震源断層が事前に特定できるか否かについては議論が必要とされた。前述の「震源を特定せず策定する地震動」の妥当性を検証する地震規模ではある。

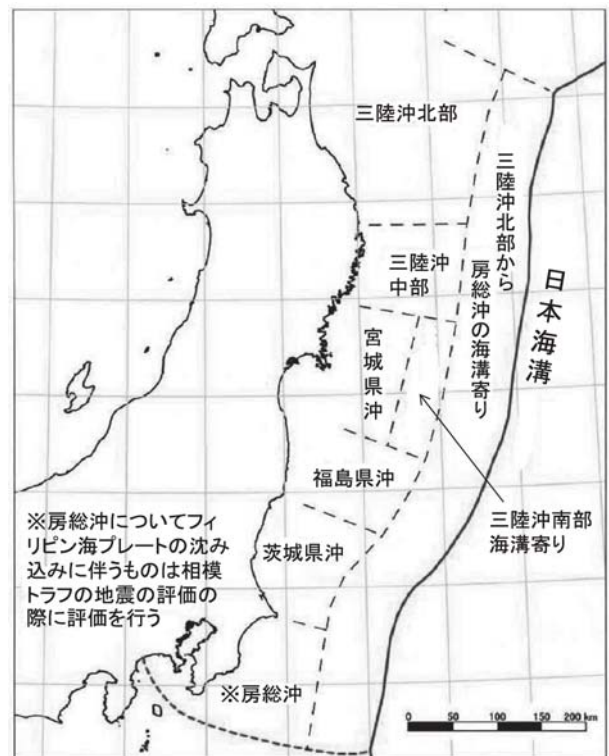
一方、この地震による地震動はM<sub>j</sub>6.8の地震として地震発生前に予測可能であったか?地震直後から震源モデルに関する検討が行われ、短周期地震動の生成に関わる強震動生成域の応力降下量は過去の内陸地殻内地震の平均値よりやや大きく(1.5倍程度)、この結果は最大振幅の距離減衰特性の特徴と整合的であること、また柏崎側の1号機の最大振幅が顕著に大きかった理由は、地震波の伝播経路特性(褶曲構造による地震波の焦点効果)であったことが種々の解析によって明らかにされた。この結果は新規制基準(地震・津波)へも引き継がれた断層モデルによる手法の適用と、その準備としての地下構造調査の重要性をあらためて認識させるものである。

同様なことが浜岡原子力発電所でも起こった。2008年駿河湾の地震(M<sub>j</sub>6.5)における同一敷地内の5号機とそれ以外の号機との観測記録の顕著な違いである。現在も継続的に調査や分析が行われているが、現時点までの結果として、柏崎刈羽原子力発電所のような周辺も含めた地下構造(褶曲構造)の影響ではなく、5号機直下に局部的に存在する低速度層が5号機での地震動を増幅させた可能性が指摘されている。このような知見を受け、新規制基準(地震・津波)では必要に応じ敷地や敷地周辺での3次元の地下構造に基づき検討することを要求している。ただし、3次元の地下構造モデルによる地震波の

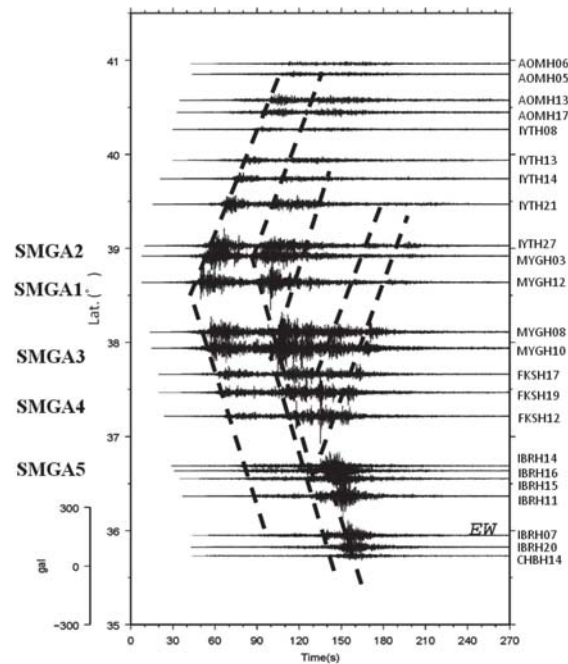
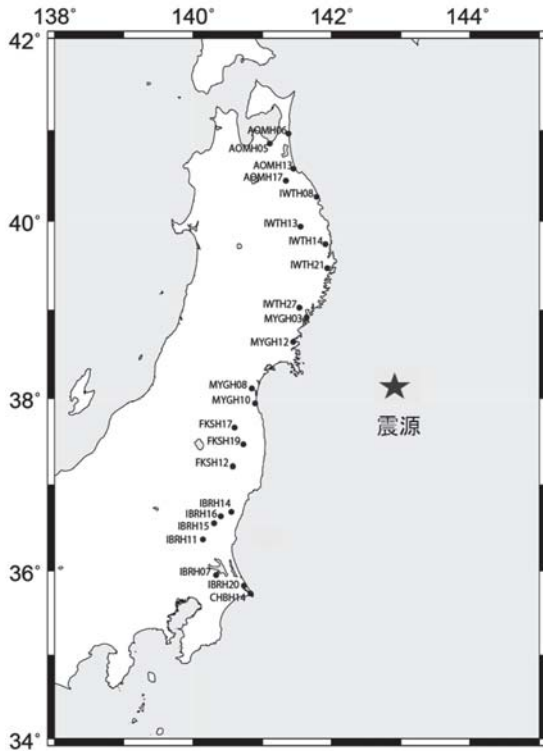
伝播が計算できたとしても、浜岡原子力発電所での現象を事前に予測できたかどうか疑問であり、原子力発電所での地震観測をより充実させ、それらの分析・検討など継続的な取り組みのもとに基準地震動の高精度化を図っていくことも重要である。

最後に2011年東北地方太平洋沖地震について紹介する。東北日本では太平洋プレートの潜り込む日本海溝沿いで巨大地震が繰り返し発生している。地震調査研究推進本部からは第3図のように三陸沖から房総沖にかけて、過去の地震歴(M<sub>j</sub>7~M<sub>j</sub>8程度の地震)に基づく想定震源域でのそれぞれの長期評価(将来発生する可能性のある地震の規模と確率)が公開されていた<sup>2)</sup>。

1995年兵庫県南部地震以降、全国的規模で強震観測網(防災科学技術研究所 K-KET, KiK-net など)が整備された。第4図にはその一部の観測記録を北は青森県から南は千葉県まで時間軸を揃えて示す。もちろん、太平洋沿岸に立地する福島第一原子力発電所を初めとするすべての原子力発電所サイトで貴重な観測記録が得られている。第4図から、地域ごとに特徴的な地震動であったことが見て取れる。まず、宮城県以北では顕著な2つの波群が見られ、茨城県や千葉県では1つの波群しか顕著なものは見られず、その中間に位置する福島県では非常に複雑な波群構成となっている。図にはそれぞれの波群の伝播を示す走時(地震波が震源からある地点に到達するまでに要した時間)を破線(地震波の伝播速度を一定と仮定すると直線となる)で示したが、それぞれの交点に該



第3図 地震調査研究推進本部・地震調査委員会による三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価における評価対象領域

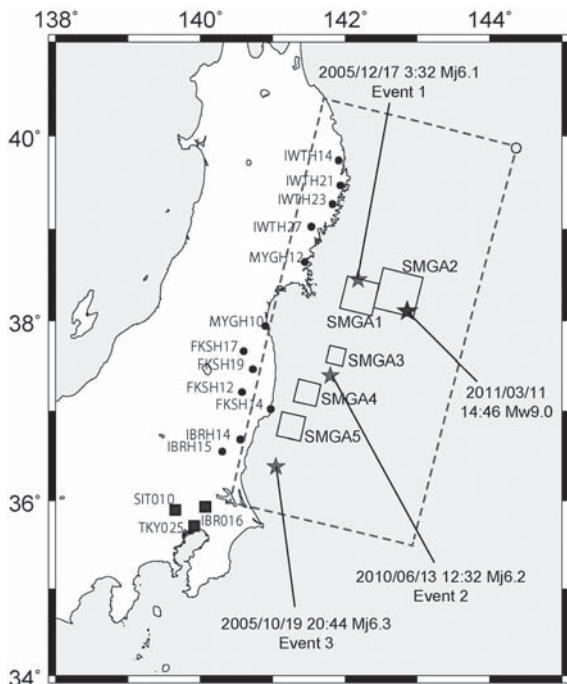


第4図 2011年東北地方太平洋沖地震の観測波形(加速度)とその観測点位置(防災科学技術研究所 KiK-net による) 図中の SMGA1~SMGA 5は、第5図に示す5箇所の強震動生成域に対応する。

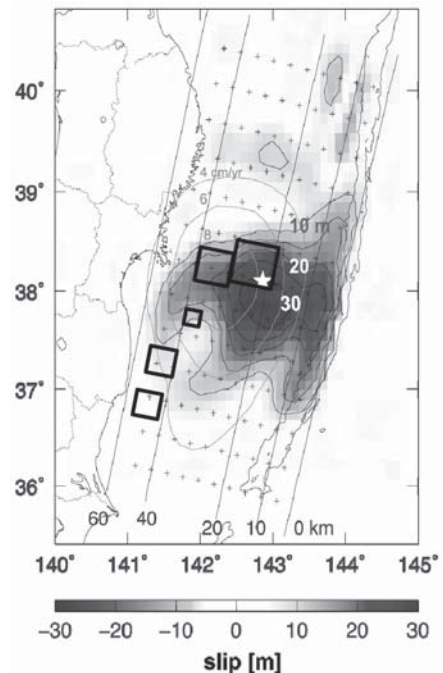
当る場所にそれぞれの波群を生成した領域(強震動生成域)が存在するものとし、震源モデル(5カ所の強震動生成域)を提案した<sup>3)</sup>(第5図)。このモデルは少なくとも0.1~10秒の観測地震動を説明できるモデルとして提案されており、今回の地震の震源像全体を表現できるモデルではない。第6図に示すように津波の生成から求めた

震源モデル(すべり分布)<sup>4)</sup>と第5図のモデルは相補的であり、今回の超巨大地震の震源像全体が見取れる。

さて、地震の規模は想定できなかったとして、地震動はどうであったか。多数の観測記録が得られ、過去の地震から得た経験的な地震動特性(代表的には距離減衰特性)との比較検討が行われた結果、 $M_w$ 9.0の規模は経験

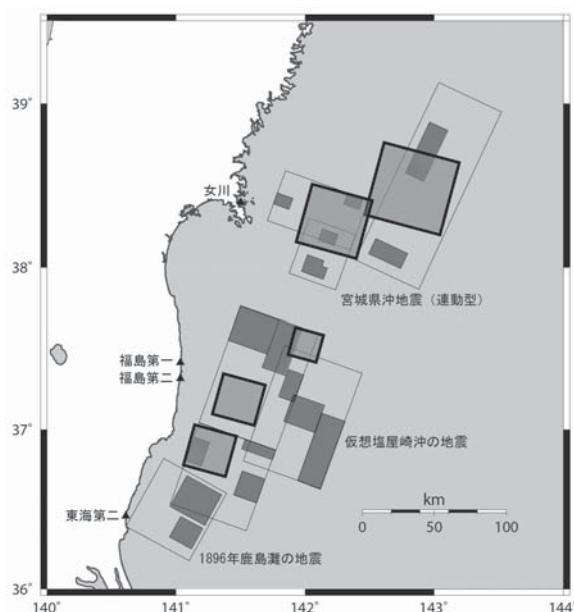


第5図 2011年東北地方太平洋沖地震の震源モデル (5箇所の強震動生成域の場所と大きさ)



第6図 津波データに基づき評価された震源モデル(すべり分布)と強震動生成域(5箇所の□)との比較





第7図 太平洋沿岸3箇所の原子力発電所(女川, 福島第一・第二, 東海第二)におけるプレート間地震の想定震源域(モデル)と2011年東北地方太平洋沖地震の5箇所の強震動生成域モデル(□)との比較  
 図中, 宮城県沖地震(運動型)は女川原子力発電所での, 仮想塩屋崎沖の地震は福島第一・第二原子力発電所での, 1896年鹿島灘の地震は東海第二原子力発電所でのプレート間地震の想定震源域

式の適用範囲外であるが, 震源域の広がりや不均質な破壊過程などを考慮すれば, 十分予測可能な範囲であることが報告されている<sup>5)</sup>。また, 前述したように複数の単純な強震動生成域を設定することによって工学的に重要な0.1~10秒までの地震動の再現が可能との報告もある。さらに, それぞれの強震動生成域の場所(宮城県沖, 福島県沖, 茨城県沖)は耐震バックチェックにおける3つのサイト(女川原子力発電所, 福島第一, 第二原子力発電所, 東海第二原子力発電所)での想定プレート間地震の震源域とほぼ整合し(第7図), 評価されていた基準地震動の大きさも結果として観測結果と大きな違いはなかったことが報告されている。今後, 得られた知見や課題を新規制基準(地震・津波)における検討用地震(プレート間地震)の想定や震源のモデル化, 基準地震動評価にどのように反映させていくべきか, 重要な課題である。

#### IV. おわりに

原子力発電所の耐震安全に大きく関わる基準地震動評価について, 1981年に制定された旧耐震指針から, 新たな知見の蓄積などを反映した2006年改訂耐震指針, 一昨年の東日本太平洋沖地震による福島第一原子力発電所事故の教訓や反省を踏まえた新規制基準(地震・津波)の骨子案に至る変遷などを簡単に解説した。地震学, 地震工学や関連分野の発展や地震観測記録の蓄積などを背景に将来の地震時の地震動が科学的に予測できるように

り, 基準地震動策定にも取り入れられてきた。原子力関連施設への適用によって予測手法が高度化されてきたとも言える。ただし, 震源の不確かさなどは依然として存在し, その考慮は特に近い地震に対しては重要であり, 改訂耐震指針以降求められた残余のリスク評価を基準地震動の超過確率の参照のみでなく, 施設・設備の脆弱性, 事故シーケンスなど総合的なリスクを考え, そのリスクを可能な限り減らす努力や取り組みによって今回のような想定外にも対応できると信じる。

設計基準としての基準地震動の策定は非常に重要であり, 科学的根拠を持って行うことが肝要である。ただし, それを超える可能性を否定せず, 新規制基準(地震・津波)でも改訂耐震指針から引き継がれた「残余のリスク」をより具体的に評価するとともに, 2007年新潟県中越沖地震などで顕在化した設計裕度や今般のストレステストから得られた施設の脆弱点に対してさらなる裕度向上を図ることによって継続的に原子力発電所の耐震安全性を向上させることができる。十分な科学的根拠もなく過大な基準地震動を要求することは技術者の思考停止を招き, 安全性向上に資するものではない。また, 新規制基準(地震・津波)では重要な施設直下に活動する可能性のある断層等の露頭がないことが要求された。主となる断層の運動による地表変位(永久変位)を高精度で予測することは現在の科学では困難であることは否定しない。ただ, 活動する可能性のある断層等と同じ扱いをするのではなく, 活動の仕方や過去の履歴(調査結果)なども考慮し, 現時点での知見や技術を駆使した将来の活動によるリスク評価が行われるべきではないか, そういう取り組みによって新たな技術開発も期待できる。

#### —参考資料—

- 1) 地震調査研究推進本部地震調査委員会: 震源断層を特定した地震の強震動予測手法(「レシピ」)(平成21年12月21日改訂版), 2009, [http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09\\_yosokuchizu/g\\_furoku3.pdf](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_furoku3.pdf).
- 2) 地震調査研究推進本部: 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(一部改訂), 2009年3月9日.
- 3) 川辺秀憲, 釜江克宏, 2011年東北地方太平洋沖地震の震源のモデル化: 日本地震工学会論文集, 第13巻, 第2号, 77~87, 2013.
- 4) T. Saito, Y. Ito, D. Inazu, R. Hino, Tsunami source of the 2011 Tohoku-Oki earthquake. Japan: Inversion analysis based on dispersive tsunami simulations, Geophysical Research Letters, 2011.
- 5) 東京大学地震研究所: 地震動の距離減衰特性(更新), 東北地方太平洋沖地震特集サイト, 2011.

#### 著者紹介



釜江克宏(かま え・かつひろ)  
 京都大学 原子炉実験所  
 (専門分野/関心分野)地震工学, 地震動予測



# 敦賀発電所の D-1 破碎帯問題の現況について

日本原子力発電(株) 星野 知彦, 安藤 将人

敦賀発電所 2 号機の原子炉建屋の下には D-1 と呼ばれる破碎帯が通っている。原子力規制委員会の有識者会合では、これが「耐震設計上考慮する活断層」であるか否かを審査しているが、有識者会合と原電の見解が対立している。本稿では、原電がこれまで行ってきた破碎帯調査の内容を紹介し、D-1 破碎帯が少なくとも後期更新世以降(約12万~13万年前以降)動いておらず、したがって、D-1 破碎帯は「耐震設計上考慮する活断層ではない」と原電が判断した論拠を示すとともに、原電と有識者会合との見解の相違点について述べる。

## I. はじめに

原子力規制委員会「敦賀発電所敷地内破碎帯の調査に関する有識者会合」(以下、有識者会合)では、日本原子力発電(以下、原電)の敦賀発電所敷地内の破碎帯(岩盤中の帯状の割れ目で、断層運動や熱水の影響によって岩石が砕かれた部分)が、耐震設計上考慮する活断層であるかどうかについて、評価を進めている。

### 1. 敦賀発電所敷地内の浦底断層と破碎帯

敦賀発電所は福井県敦賀半島の端部に位置し、1号機(BWR, 357 MW)、2号機(PWR, 1,160 MW)が設置されている。さらに、敷地北側では安全審査中の3,4号機(改良型PWR, 1,538 MW×2基)の準備工事が進められている。

発電所の敷地は主に山地からなり、約6,500万年前に形成された黒雲母花崗岩、花崗斑岩、アプライトからなる江若花崗岩と約2,100万年前に貫入したドレライトおよび、それらを覆って分布している第四系と呼ばれる堆積層から構成される。

敷地には、北西—南東方向に浦底断層と呼ばれる活断層および複数の破碎帯が確認されており、このうち D-1 と呼ばれる破碎帯は2号機の直下を通っている(第1図)。

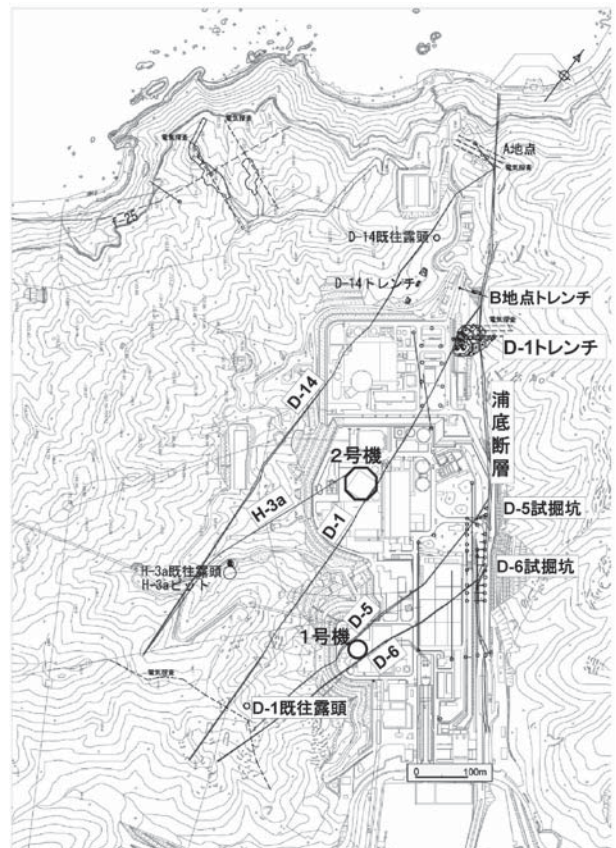
浦底断層については、これまでの調査により北東側が隆起した直線性の高い断層で、後期更新世以降(約12万~13万年前以降)も繰り返し活動し、最終活動時期は約4,000年前以降であることがわかっている。

### 2. 「耐震設計上考慮する活断層」とは

有識者会合における審議の状況について説明する前

*Status of the D-1 Shear Zone Issues of Tsuruga Power Station* : Tomohiko HOSHINO, Masato ANDO.

(2013年 4月18日 受理)



第1図 敦賀発電所敷地内の破碎帯

に、まず耐震設計上考慮する活断層の定義について整理する。

原子力発電所の安全審査では、2006年9月19日に原子力安全委員会が定めた「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(以下、耐震設計審査指針)と、2010年12月20日に同じく原子力安全委員会が定めた「発電用原子炉施設の耐震安全性に関する安全審査の手引き」(以下、手引き)に基づいて耐震設計の審査が行われる。

耐震設計審査指針では、「耐震設計上考慮する活断層」としては、後期更新世以降の活動が否定できないものと

する。」と書かれ、手引きでは、「いずれかの調査手法によって、耐震設計上考慮する活断層が存在する可能性が推定される場合は、他の手法の調査結果も考慮し、安全側の判断を行うこと。」と書かれている。

また、手引きには、「ただし、耐震設計上考慮する活断層の露頭が確認された場合、その直上に耐震設計上の重要度分類 S クラスの建物・構築物を設置することは想定していないことから、本章に規定する事項については適用しない。」とも書かれている。

以上から、後期更新世以降に活動した可能性が否定できないものは、耐震設計上考慮する活断層として取り扱われることになり、また、その直上に原子炉建屋を設置することは今の耐震設計審査指針では想定されていない、ということになる。

有識者会合は、この耐震設計審査指針と手引きの判断基準に基づき破砕帯の評価を行うことにしている<sup>1)</sup>。

### 3. 破砕帯調査の経緯

2006年の耐震設計審査指針改訂では、耐震設計上考慮する活断層の活動時期が5万年前以降から12万～13万年前以降に変更され、当時の原子力安全・保安院および原子力安全委員会は改訂された指針に照らした耐震安全性の評価(耐震バックチェック)を開始した。原電は追加の調査結果も踏まえて浦底断層の活動時期を再評価し、浦底断層を耐震設計上考慮する活断層であるとし、敦賀発電所の耐震設計の再評価を開始した。

2011年3月の東北地方太平洋沖地震後、中断していた耐震バックチェックの審議が同年11月に再開され、敦賀発電所について、「活断層の近接箇所の地層変位の評価方法を明らかにし、当該手法に基づく原子炉建屋等に対する影響評価を行うこと」が指示された。原電は浦底断層の活動によって、原子炉建屋周辺の地盤がどのように傾き得るのか、あるいは破砕帯が引きずられて動くかどうかについて、食い違いの弾性論およびFEMによる数値解析を行うとともに、破砕帯の活動性に係わる調査を行うことにした。

2012年4月には、旧原子力安全・保安院「地震・津波に関する意見聴取会」による破砕帯現地調査が行われた。この調査では、破砕帯が自ら動いて地震を起こすものではない(起震断層ではないとの意味)と考えられるが、破砕帯の性状が活断層と似ていることなどから、破砕帯が浦底断層に引きずられて動く可能性を否定するためには破砕帯を覆う堆積層の年代評価などの調査をさらに行って検討することが必要であること、という見解が示された。また、追加調査の方法として、(1)破砕帯は浦底断層に近づくほど影響を強く受けるので浦底断層の近傍で調査を行うこと、(2)上載地層法(後述)による評価を基本にすること、が示された。

2012年5月、原電は旧原子力安全・保安院の意見聴取

会のコメントを踏まえ、追加調査計画を作成し意見聴取会で説明し了承を得た。敦賀発電所の敷地内には破砕帯が複数あるので、追加調査計画では、(1)断層ガウジ(後述)を伴う、(2)連続性がより良い、(3)直線性がより高い、(4)浦底断層の近くまで分布している、(5)原子炉建屋の直下に分布する、などの観点から、調査対象とする破砕帯を選定し(第1図)、同年6月、追加調査に着手した。

同年9月に原子力規制委員会が発足し、有識者会合が設置されて以降は、現地調査と評価会合が実施され、敦賀発電所敷地内の破砕帯の審査が進められている。

2013年2月5日、原電は中間報告書『敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 D-1破砕帯について』を原子力規制委員会に提出した。同年3月8日の第3回評価会合において、原電はそれまでの調査結果をまとめた報告を行うとともに、その内容を同年3月15日、中間報告書(その2)『敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 D-1破砕帯について』<sup>2)</sup>として原子力規制委員会に提出した。これらの報告書は、いずれも原電のホームページに掲載されている。

次章以降は、この中間報告書(その2)に基づいて、D-1破砕帯の調査状況および原電と有識者会合との見解の相違点について述べる。

## II. D-1破砕帯の調査状況

### 1. D-1破砕帯調査の概要

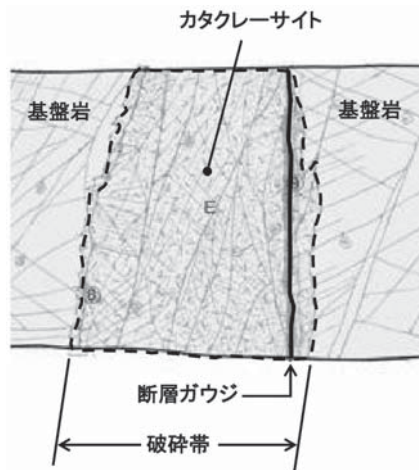
D-1破砕帯が耐震設計上考慮する活断層か否かを判断するためには、複数の調査を行い、その結果を組み合わせることで総合的に判断することが必要であることから、原電は、ボーリング調査、露頭調査、トレンチ調査、ピット調査、年代分析、断層破砕部の微細構造観察等の様々な調査を行っている。

調査状況の具体的な説明に入る前に、ポイントとなる用語を整理する。

断層はその動き方に応じて大きく3種類に分類される。引張応力によって断層面を境にして上盤(上側の地層)が下盤(下側の地層)に対してずり下がるものを「正断層」、逆に、圧縮応力により上盤が下盤に対して乗り上がるものを「逆断層」、せん断応力により水平方向にずれるものを「横ずれ断層」という。また、断層が水平方向に伸びている方向を「走向」、断層面の水平面に対する傾きを「傾斜」という。また断層のずれの向きを表す言葉として「変位センス」が使われる。

破砕帯は、含まれる岩の固結の程度などからいくつかに分類される。固結していないもので粘土質が多いものを「断層ガウジ」、固結しているものを「カタクレサイト」という。カタクレサイトは断層運動によって地下深部で破砕された岩盤が、その後、地中の高い圧力で固まったもので、古い年代に形成されたものである。一方、断層ガウジは地表近くで比較的新しい年代に形成された





第2図 敷地内破碎帯の例

ものであることから、断層ガウジを調べることで最終活動面の変位センスを知ることができる。第2図に破碎帯の例を示す。

断層が動いた年代は、断層が動くことで変位・変形を与えられた地層の年代と、その後に断層を覆って堆積した地層の年代から求めることができる。この方法を「上載地層法」という。地層の年代はそこに含まれている「テフラ」(噴火によって放出された火山灰、軽石等)等を分析すること等で求めることができる。

#### (1) ボーリング調査

地下深くの地質の把握のためボーリング調査を追加で実施した。2号機の原子炉建屋の北側3箇所および南側3箇所のボーリング調査でD-1破碎帯が確認された。D-1破碎帯はいずれもカタクレーサイトと断層ガウジからなり、走向はおおむね南北方向、傾斜は高角度西傾斜であった。また、断層ガウジから採取したサンプルの薄片観察では、最終活動面が正断層・右横ずれの変位センスを有していることがわかった。

#### (2) D-1既往露頭調査

2号機の南側にはD-1破碎帯が地表に露出している場所があり、これをD-1既往露頭と呼ぶ(第1図)。

D-1既往露頭の調査では、D-1破碎帯がそれを覆っている堆積層に変位や変形を与えていないことがわかった。この堆積層は、鬼界アカホヤ(K-Ah)と呼ばれる約7,300年前のテフラが降灰した以降に堆積した地層である。

D-1既往露頭でのD-1破碎帯は、アプライトと呼ばれる細粒の火成岩から成るカタクレーサイトと断層ガウジからなり、走向が北北東-南南西方向、傾斜が高角度西傾斜であった。D-1既往露頭の断層ガウジから採取したサンプルの薄片観察によれば、最終活動面は正断層・右横ずれの変位センスを有していることがわかった。

#### (3) D-1トレンチ調査

D-1破碎帯が浦底断層の活動に伴って同時に活動する可能性を評価するため、D-1破碎帯の延長線上の浦底断

層近傍にD-1トレンチと呼ばれる間口約60m×奥行約80m×深さ約40mの大規模なトレンチを掘削した。D-1トレンチでは、第3図に示すように、Gと呼ばれる破碎部と、Kと呼ばれる上層地層のせん断跡を示す、せん断面が確認された。有識者会合ではこれらをG断層、K断層と呼んでいるので、以下この言葉を用いる。

D-1トレンチの地層は、花崗斑岩からなる基盤岩とそれを覆う堆積層からなっている。堆積層は下位から順に①層～⑨層に分類され、このうち⑤層は堆積構造の違いから上部と下部に区分される。

各堆積層の年代を調べるため、8箇所について連続的にテフラ分析を行ったところ、⑦層から大山倉吉テフラ(DKP)と呼ばれる約6万年前のテフラが、⑤層上部から鬼界葛原(K-Tz)と呼ばれる約9.5万年前のテフラが見つかった。

また、⑤層下部からはカウント数は少ないが、角閃石からなるテフラが見つかった。角閃石の屈折率と主成分からこのテフラは福井県美浜町気山で確認された約12万年前に降灰した美浜テフラとよく一致することが分かった。このテフラはD-1トレンチの広範囲にわたり⑤層下部に産出することを確認しており、また⑤層において古い時代のテフラが下から順番に堆積していることなどから、⑤層下部は美浜テフラが約12万年前に降灰した時期に堆積したものであると判断される。

G断層はD-1トレンチのうち北側ピットと呼ばれるピットで確認された。G断層はカタクレーサイトと断層ガウジからなり、走向が南北方向、傾斜が高角度西傾斜である。採取したサンプルの薄片観察によれば、最終活動面が正断層・右横ずれの変位センスを有している。第4図に示すように、G断層はそれを覆っている①層に変位や変形を与えていない。①層は約12万年前の美浜テフラを含む⑤層下部より下位にある。これらより、G断層は少なくとも約12万年前以降は動いていないことがいえる。

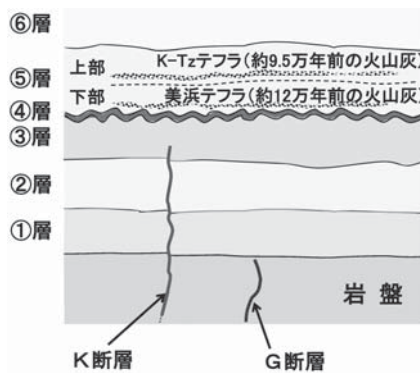
K断層はD-1トレンチ北壁面から西壁面の堆積物中に逆断層として確認された。K断層は灰白色の断層ガウジを伴う破碎部からなり、D-1トレンチの西端で南北方向から北北西-南南東方向に走向を変え、傾斜は西傾斜である。採取したサンプルの観察によれば、最終活動面は逆断層の変位成分が主体である。第4図に示すように、K断層は③層の中に確認されるが③層の途中で変位は認められなくなり、⑤層下部に変位や変形を与えていない。これらより、K断層も少なくとも約12万年前以降は動いていないことがいえる。

また、K断層の南方への延長の有無を確認するため、第5図に示すように、2号機の原子炉建屋とD-1トレンチの間を横切るように斜め方向のボーリング調査(B14-2)を行った結果、断層ガウジを有する破碎部が3箇所確認された(1箇所はD-1破碎帯)。薄片観察の結果、こ





第3図 D-1トレンチで確認されたG断層とK断層



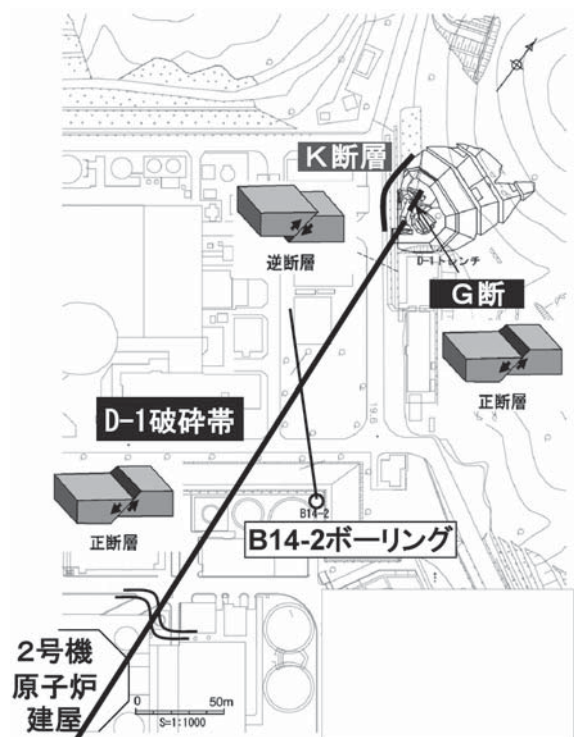
第4図 D-1トレンチ地質層序(イメージ)

れら破砕部の最終活動面はいずれも正断層の変位センスを有していた。一方、K断層は逆断層の変位センスを有していることから、K断層は少なくともB14-2孔より南方(原子炉建屋側)には延長していないと判断される。

## 2. D-1破砕帯の連続性と活動性の評価

D-1破砕帯は、おおむね南北方向の走向および高角度西傾斜の特徴を持つ連続性が良い破砕帯である。

(1)D-1破砕帯とG断層が正断層の変位センスであるこ



第5図 D-1破砕帯の連続性

と、(2)K断層の走向がD-1トレンチの中で南北方向から北北西-南南東方向に変化すること、(3)K断層は逆断層の変位センスであり少なくともB14-2孔より南側に延長しないことから、D-1破砕帯はK断層ではなくG断層に連続すると判断される(第5図)。

D-1トレンチでは、G断層は⑤層下部より下位にある①層に変位や変形を与えていない。また、K断層は、D-1トレンチ北壁面で、⑤層下部(約12万年前の美浜テフラを含む地層)に変位や変形を与えていない。

以上より、D-1破砕帯(G断層を含む)およびK断層は、少なくとも後期更新世以降活動しておらず、したがって、耐震設計上考慮する活断層ではないと判断される。

### 3. 浦底断層とD-1破砕帯の同時活動性の評価

#### (1) 活動履歴に基づく検討

浦底断層の最終活動時期は、約4,000年前以降であり、平均活動間隔は5,000年 $\pm$ 2,000年<sup>3)</sup>と推定されるが、D-1破砕帯は少なくとも約12万年前以降は活動していない。約12万年前以降、浦底断層は十数回~四十回程度活動していたと考えられるが、この期間にD-1破砕帯には活動した形跡がない。すなわち、後期更新世以降の広域応力場(東西方向からの圧縮応力場)において浦底断層とD-1破砕帯は同時に活動しておらず、広域応力場が今後短期間では大きく変化しないことも併せて考えると、浦底断層とD-1破砕帯は今後同時に活動することはないものと判断される。

#### (2) 力学的な観点からの検討

浦底断層の活動に伴うD-1破砕帯を含む地盤の安定性について数値解析によって評価した。

数値解析では、まず浦底断層が活動した場合の敦賀発電所の地盤の傾斜とせん断ひずみを、断層長さ、傾斜角、断層幅等の不確かさを考慮した上で、食い違いの弾性論により評価した。次に、最も厳しい(地盤の傾斜角が最大となる)条件で、地盤を詳細にモデル化した2次元FEMによる解析を行った。

その結果、浦底断層のごく近傍において、破砕帯の一部にせん断破壊や引張応力の発生が見られるが、その範囲は限定的で、また、原子炉建屋近傍における破砕帯の地盤の安定性は十分に確保されていると考えられる。

## III. 原電と有識者会合との見解の相違点

原電のD-1破砕帯の評価に対して、有識者会合は2013年3月8日「日本原子力発電株式会社 敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について(案)」<sup>4)</sup>を作成し、「現在まで得られたデータ等をもとに『敦賀発電所敷地内の破砕帯については、耐震設計上考慮する活断層である可能性が高い。』旨判断できる。」とした。

D-1破砕帯に対して、有識者会合と原電が正反対の判断を下しているのはなぜか。そこにはD-1破砕帯とG

断層、K断層との関連性について、以下の3つの論点がある。

#### 1. G断層は2号機の直下を通るD-1破砕帯と連続しているかどうか

原電は、D-1破砕帯とG断層の「走向と傾斜が合致していること」、「最終活動面が正断層の変位センスであること」からD-1破砕帯はG断層に連続していると判断した。

これに対し、有識者会合は『日本原電はG断層をD-1破砕帯と特定した根拠を明確にしていない。』としている。

#### 2. D-1破砕帯の活動時期はどう判断されるか

原電は、「⑤層下部に約12万年前の火山灰である美浜テフラを確認」、「⑤層下部がG断層(D-1破砕帯につながっている)とK断層の上を覆っている」ことから、D-1破砕帯(G断層を含む)とK断層はともに後期更新世以降活動していないと判断した。

これに対し、有識者会合は、美浜テフラのカウンタ数が少ないとしてデータとして採用せず、D-1既往露頭の調査結果から、D-1破砕帯について『日本原電は、D-1破砕帯の活動時期は約7,300年前より古いことしか示していない。』としている。また、K断層については、K断層が変位、変形を与えている③層の礫は、⑤層と同様、比較的新鮮であるとの理由から、『K断層のずれは、基盤および上位の地層に及び、後期更新世以降の活動を否定できない。よって、K断層は耐震設計上考慮する活断層である。』としている。

#### 3. K断層はD-1破砕帯と関連するののか

原電は、「K断層は逆断層、D-1破砕帯は正断層であり両者は同一のものではない」、「K断層はD-1トレンチの西端部で向きを変え2号機の原子炉建屋の方向には延びていない」、「K断層がD-1トレンチから南方に2号機の原子炉建屋に向かうとすればB14-2ボーリングでK断層の特徴である逆断層の破砕部が見つかるはずであるが見つからなかった」ことから、K断層はD-1破砕帯ではなく、2号機の原子炉建屋の方向に延びていないと判断した。

これに対し、有識者会合は『K断層は、断層の形状(走向傾斜)の類似性、およびその位置から、D-1破砕帯と一連の構造である可能性が高い。』としている。

## IV. おわりに

敦賀発電所敷地内の破砕帯について、原電は、耐震バックチェックの意見聴取会了承を得た追加調査計画に基づき、調査を行ってきた。これまでの調査から、2号機の原子炉建屋の直下を通るD-1破砕帯は後期更新世以降

(約12万～13万年前以降)活動しておらず、したがって、耐震設計上考慮する活断層ではないと判断するための根拠となるデータが得られてきた。今後は、原子力規制委員会とのコミュニケーションをとりながら、科学的な根拠に基づく議論ができるよう、引き続き調査を継続し、さらにデータを補強していく。

この調査に当っては、変動地形学、地質学(火山灰年代分析、構造地質学)、岩盤力学など多くの専門家のご助言をいただいた。ここに感謝を申し上げる。

#### —参考資料—

- 1) 大飯発電所敷地内破砕帯の調査に関する有識者会合事前会合配布資料「大飯・現調1-3」「関西電力(株)大飯発電所の敷地内破砕帯調査に係る基本方針について(案)」, 2012年10月23日, 原子力規制委員会。
- 2) 「敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 D-1破砕帯について 中間報告書(その2)」, 2013年3月15日, 日本原子力発電(株)。
- 3) 「沿岸海域における活断層調査 柳ヶ瀬・関ヶ原断層帯

浦底—柳ヶ瀬山断層帯 成果報告書」, 2012年5月, 産業技術総合研究所・東海大学, p.33.

- 4) 「日本原子力発電株式会社 敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について(案)<改訂版>」, 2013年3月8日, 原子力規制委員会 敦賀発電所敷地内破砕帯に関する有識者会合。

#### 著者紹介



星野知彦(ほしの・ともひこ)

日本原子力発電(株) 開発計画室  
(専門分野/関心分野)機械工学/耐震設計,  
プラント建設, 原子炉保全, ミドル・メディア  
コミュニケーション



安藤将人(あんどう・まさと)

日本原子力発電(株) 東海第二発電所安全管理室  
(専門分野/関心分野)原子力工学/炉心管理,  
原子炉安全, プラント性能評価, 海外  
原子力情報



## From Editors 編集委員会からのお知らせ

—最近の編集委員会の話題より—  
(5月7日第11回編集幹事会)

#### 【論文誌関係】

- ・英文誌の出版状況が報告された。Web投稿・審査システムにより4月期に17論文が投稿された。内6論文が海外から。7月号入稿済み。出版社が読者拡大のための種々の宣伝や、無料公開を実施している状況が報告された。
- ・英文誌の50周年記念 Review 論文の進捗状況が報告された。未投稿1件。
- ・Web上審査報告書の書き方基準を検討した。
- ・Progress in Nuclear Science and Technology の J-Stage 登録及び Scopus 採録を申請することとした。
- ・7月の幹事会は拡大として、新任委員に審査方法等のガイダンスを行うこととした。
- ・Most Popular Article Award については継続して検討することとした。

#### 【学会誌関係】

- ・学会誌編集委員会の体制強化案として「各分会・各連絡会・各委員会から編集幹事会への出席をお願いしており、今回2回目として、原子力安全部会からご出席いただいた。原子力安全部会で発行した報告書を数回のシリーズにして、学会誌に掲載していただくよう依頼した。
- ・学会誌記事 PDF 化について、HP で公開する場合、有料または無料での公開など、どういった形で公開するか議論した。今後も引き続き検討を行っていく。
- ・今後の記事企画について検討を行った。巻頭言、時論等7月号以降の企画案を検討し、打診を行うこととした。
- ・校閲専任委員1名の退任の申し出がありました承された。
- ・新年度の学会誌編集委員会の委員構成について検討を行った。

編集委員会連絡先 <<hensyu@aesj.or.jp>>



# 福島原発事故の背景に迫る

原子力安全推進協会 北村 俊郎

福島第一原発事故から2年が経過し、電力会社は防潮堤建設や非常用電源の増強などの対策を進めているが、それは主に直接的原因に対応するものである。国会事故調の委員長がいみじくも「メイドインジャパン型の災害」と評したが、今回の事故の背景には、日本社会に根ざす問題が多々存在する。事故は、この国の原子力開発の歴史の集大成であり、その過程でのさまざまな誤りの帰結と言ってよい。

## I. 積み上げられた事故の背景

### 1. 事故の原因

事故原因に関し、NRC 元委員長ヤツコ氏は「設計と立地の誤り」と直截な指摘をした。現委員長のマクファーレン氏も「その誤りを長年放置したこと」と述べている。両氏の見解にさらに「外部からの警告に接して敏速な対応を取らなかったこと」を加える必要がある。日本原子力発電の東海第二原発が、警告により防護壁を造り、過酷事故を免れているからである。

国も東京電力も事故前に、外国の原発での全交流電源喪失の情報を把握し、大津波に襲われた場合、重要設備が水没することも認識していた。さらに千年に一度の大津波が近い将来に来ることはない科学的に推測していたわけでもない。東京電力の幹部は、発生が現実性を持って感じられない津波襲来より、直面している経営上の問題を解決する方が大切と判断した。

彼らは、なぜか極めて非合理的な考えをしてしまった。その理由を知るには、我が国の原子力開発の歴史を見る必要がある。

### 2. 歴史を振り返る

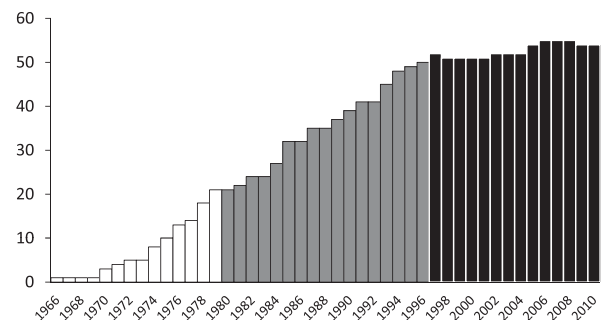
我が国の原子力開発の歴史を第1図のように3つの時期に分けて振り返り、福島第一原発事故の背景となったことがらを指摘する。

#### (第一期) 1965～1978年

日本は農業から工業へ大きく産業構造が転換し、高度経済成長を成し遂げた。新幹線開業、アポロ11号など科学技術の素晴らしさを讃えた時期でもあったが、負の側面は次の時代に送られた。

欧米で実用化したばかりの原発の早期導入を政治家、官僚、産業界が決定。アメリカ型軽水炉は、小型大出力で経済性に優れていたが、自然災害が多く、狭い国土を

## 第一期 第二期 第三期



第1図 我が国の原発基数の推移

前提とはしていなかった。自前の評価能力は育っておらず、設計変更には巨額の費用と時間を要したため、契約は元設計のままターンキー方式で締結された。

初代原子力委員に名を連ねた湯川秀樹博士は、自前の研究を積み上げず、安全性も十分確かめず、アメリカからの輸入に頼って商業炉の稼働を急ぐ拙速さに嫌気がさし、委員を辞任した。

アメリカの原子炉メーカーなどに派遣された技術者は、貪欲に技術を習得。同時に、合理性、経済性重視の考え方を身に付けた。原発のコスト優位を強調する関係者が増え、福島第一原発の立地にあたって、東京電力の幹部は海拔が低い方が取水用電力の消費が少なく有利とした。

軽水炉初号機の敦賀原発は日本原子力発電に集結したオールジャパン体制で始まったが、まもなく東京電力や関西電力などは技術者を外向解除。自前のサイトでの建設を目指し、早期建設と発電実績に邁進した。まだ地震発生メカニズムの知見もなく、立地では強固な岩盤の他は人口密度、大消費地への適当な距離など経済性が優先された。

発電が開始されると初期故障の対応に追われ、根本的な設計立地問題は後回しにされた。人材面では機械工学、電気工学、化学などが中心となり、原子物理系の人材は薄くなった。安全システム研究は、やや専門的な分野となった。

*What is the Background of Fukushima Daiichi Accident?* : Toshiro KITAMURA.

(2013年 3月22日 受理)

電力会社の原子力部門は、過去のしがらみはなく内部で自由闊達な議論ができた。電力会社の社長や副社長に原子力部門出身者が就くようになると、社内で原子力部門の特別扱いが定着。部門間の人事交流もなく、社内で独自の文化を持つようになった。

国は原発を国策として民間に任せ、電力会社は国の支援を最大限に受けることで両者が協力。原発開発が国民の目から見えづらくなった。

1974年、立地支援策である電源三法が成立している。送電線への落雷による停電、クラゲ来襲等があったが、過酷事故につなげての検討はされなかった。この時期、大地震や津波がなく、関係者は自然災害に対する危機感を抱くことがなかった。

当初、メディアは原発を夢のエネルギーと賛美した。立地地域は原発建設を歓迎、国策協力で誇りを抱いた。電力会社との安全協定を結び、原発のリスクについては国、電力会社を信頼し、反対運動は特定のグループが「ためにする」反対と見ていた。1974年の原子力船「むつ」放射線漏れをメディアが大きく報道し、風評被害が出たころから原子力界は情報開示に神経質になり内に籠るようになった。

#### （第二期） 1979～1996年

良質豊富な労働力と安価な石油で、家電、自動車、機器などの産業が急成長。合理化、大型化、大量生産により生産性が上昇、高度成長はピークに達した。1980年代のバブル期には財テク、贅沢指向となった。その後、1987年ブラックマンデー、バブル崩壊、湾岸戦争、ソ連崩壊と続き、1995年阪神淡路大震災が起きた。

原発は50基、世界第3位となった。同一サイトに複数基を建設したことで管理が複雑化した。二度のオイルショックを経験し、原発を国策としてより強く意識。建設が花形となり、古い原発の設計上の問題点を言い出すことはタブーとなった。国内外では事故トラブルが多数発生。関係者はその対応に忙殺された。1979年スリーマイル島の事故で、軽水炉に危険性があることが判明。アメリカでは、多様化した非常用発電機設置を義務付けたが、日本では肝心の緊急時の対応、対策が進まず、メルトダウンでもあの程度の外部影響と、逆に問題を矮小化した。

7年後、チェルノブイリ事故が発生したが、炉型の違い、社会体制の違いを強調した広報活動を展開し、過酷事故対策で欧米に立ち遅れはじめて。原発は稼働率を上げるために対症療法を繰り返したが、大事故の起きる確率は低いと考え、備えはほとんどされなかった。

規制当局も安全基準の見直しに消極的であり、当局の独立性、人材の質と量、独立法人への過度の依存、役割認識不足、形式的な防災訓練、書類偏重の検査などに問題があったが、改善されなかった。第二期も大きな自然災害が原発を襲うことはなかった。

立地自治体では次第に原発事故に対する危機感が薄れ、核燃料税創設など原発の経済効果に関心が向かっ

た。自治体は担当職員増員や諮問委員会など充実を図り、安全協定も強化。法的根拠のないまま原発運営の足かせとなっていった。反対派が国を相手取って原発訴訟を起す戦略に出ると、国と電力会社は古い原発でも十分安全という説明をせざるを得なくなり、根本的な安全議論はタブーとなった。

この時期、メンテナンスでの外注化が進み、メーカー系列、電力子会社系列による多層構造の体制を構築した。これで定年退職後の社員や地元の雇用の受け皿づくりも進んだ。外注化は電力会社の技術力を空洞化させ、現場力の低下や組織の風通しの悪化を招いた。技術的にメーカーや学者が電力会社を支え、電力会社が規制当局を支える構図になり、規制当局と電力会社との不適切な関係が常態化した。

政治家、官庁、電力会社、メーカー、関係団体、地元自治体、地元経済界は関係者の利益を確保する体制を構築。大学も就職や研究費の業界依存を強めた。電力会社の原子力部門では、自由闊達さがなくなり、下からの意見が上がりにくい危ない組織になった。世代交代で技術者たちの古い原発に関する技術伝承は不十分になった。不況にもかかわらず労使協調で賃上げを続け、トップクラスの処遇となった電力会社は、社員が保守的傾向を強めた。規制当局内も、幹部職員の在籍期間は短く育成制度もなく、制度の見直しや規制の変更に手がつかず事故対応に終始した。

#### （第三期） 1997～2012年

2001年の同時多発テロ、2008年リーマンショックをきっかけに世界的な大不況の中、成長が止まり、中国などの追い上げが始まった。急激な人口減少、高齢化で国も地方も大幅な財政赤字となった。宮城沖地震、十勝沖地震、新潟中越沖地震があり、はじめて原発が被災した。1998年動燃「もんじゅ」でナトリウム漏洩事故。情報隠蔽体質が大問題になった。1999年、JCOで臨界事故が発生。死者と住民避難が起きた。電力会社は、燃料製造という周辺の問題とし、過去に原発でも臨界事故が発生していたが過酷事故対策につなげなかった。

2002年、各電力会社で過去に数多くの隠蔽、改ざん、偽装などが繰り返されたことが明らかになり、トップが退陣して世論をかわし、安全文化の問題と決めつけ、真の原因を追求しようとしなかった。規制当局もこれに絡んで、内部告発を受けても放置し、告発者の情報を漏らす失態があったが、政治やメディアの追求も不徹底だった。

美浜原発の非常用冷却装置作動、3号機2次系配管破裂など過酷事故の予兆があったが、規制当局は過酷事故対策を規制ではなく自主運用とした。2007年、柏崎刈羽原発が地震で被災し、各社は耐震強化に集中した。浜岡原発は2基が廃炉となったが、柏崎刈羽原発では建屋が想定外の2倍の地震動に耐えたことを強調し、津波対策は不十分だった。電力会社は不祥事、不適切な規制で低迷する稼



働率を上げることに全力で取り組み始めた。産総研が貞観津波再来の警告を出したが、東京電力は対応を先送りし、自治体もプルサーマル計画に気を取られ反応しなかった。海外での過酷事故対策の情報も、裁判への影響、地元への説明、長期停止を恐れた国や電力会社は取り上げなかった。「もんじゅ」の挫折と再処理工場未完成でプルサーマル計画が浮上。使用済燃料は中間貯蔵に向かった。

国は原子力立国計画を立て、エネルギー安全保障と温暖化対策の決め手として、原発のゆるやかなリプレースと原子力カルネッサンスに対応したプラント輸出を目指したが、過酷事故対策や原子力界の体質改善の視点を欠いていた。立地地域では雇用を中心に原発依存が定着。増設やプルサーマルなど目先の問題にとらわれていた。世論調査では地球温暖化もあり、今までになく原発推進に支持が集まった。

IAEAより規制の独立性の問題指摘があったが、政治も手をつけず、規制当局も電力会社に情報などを依存することを続けた。電力会社でも内部チェック機能は骨抜きのみであった。関係企業、地元などへも共同体化が進み、これがしがらみとなる一方、官僚主義と前例踏襲により既得権を守るばかりで、大きな方針転換ができない組織となった。電力会社では、世代交代がさらに進み、技術の継承や経験に不足が生じてきた。

## II. 個別問題の発生メカニズムと影響

第I章で今回の福島第一原発の事故の背景が、歴史のなかで積み上げられてきたことを指摘してきたが、第II章ではこれらを問題別にまとめ、発生メカニズムや、影響などについて明らかにする。

### 1. 形式主義

形式主義は、常に原子力安全を脅かしてきた。自治体も参加しての防災訓練のシナリオは訓練時間と動員体制を考慮して作成され、訓練はいわばお芝居であったが、メディアもその様子を淡々と伝えるだけであった。この訓練では潜在的脅威に対する意識を覚醒させることは期待できなかった。

長期の外部電源喪失がないとした原子力安全委員会も、実態を調べずに判断していた。規制当局の書類中心の形式的検査は、関係者を疲弊させ、現場の安全を脅かしていた。

立地自治体の首長は事故のたびに、原発内に立ち入り、それをメディアに撮らせて住民アピールをしていた。

発電所員は消防ポンプの操作方法も知らず下請け任せにしていた。運転員は津波でバッテリーまでが使えなくなる電源喪失の訓練はしていなかった。東京電力が津波の脅威がまだ土木学会で正式に認められていないことを理由に対応を先延ばししたことは形式主義の悪用である。形式主義が蔓延した理由は、実力の低下、マンネリズム、無責任、安易さ、危機感のなさ、効率優先であった。

### 2. 三原則に対する裏切り

原発は、民意が確認されないまま、官僚、産業人が中心となって国策として進められてきた。国政選挙では原発は争点にならず、原子力平和利用三原則の「民主」とは違った。輸入によってスタートしたため、自前の技術力ではなく「自主」ではなかった。規制についてもアメリカの模倣だった。「公開」も、電力会社の事故隠しや規制当局の消極的姿勢が続き、後に発覚した。原子力の関係者には人類が手にした新しいエネルギーの開発という共通の目的意識があり、これが、特権意識、困難な問題の先送りと隠蔽、共同体化などを生み、国民から遊離したものとなった。国策民営の枠組みの下、関係者の都合や利益が守られ、将来にツケが回された。

当初から原発の是非に関する二項対立の構図が存在し、推進派と反対派は互いの存在を認めず、本来、科学的議論をするべき安全性についても、同じテーブルで話し合いができなかった。双方とも「結論ありき」で、ロジックや証拠集めに無理があった。不利な情報は小さく扱うか、握りつぶす。仲間だけで議論することが続いた。推進派は反対派と議論するのは無駄であり、相手にせずの態度を取った。これに対して反対派は国などを相手取って訴訟を起こした。これで国をはじめとする推進派は、追加の安全対策を言い出せない「安全神話の罫」に陥った。

### 3. 誤った安全の考え方

福島第一原発の事故は、安全の考え方に間違いがあったことを明らかにした。科学技術は実態であるにもかかわらず、日本人は実態の安全より心の平和(安心)を求める傾向がある。安全管理の原則は資金や労力が限られているため、危険はリスク順に取り除くべきだ。アレバ社シャロン工場では、見学者にヘルメットを着用させないが、日本流安全は事務棟から中央制御室までの廊下でもヘルメットを着用させる。ルールを複雑にしたいくない、ヘルメット着用の負担を皆で分かち合うべきとの農耕民族的発想だ。一事が万事と考え、小さいことの積み重ねを大切にしている。この結果、手厚い安全対策をしているつもりが、コストばかり掛かる焦点の定まらない手ぬるいやり方になっている。欧米では、過酷事故に対して厳しい規制をかけ、品質保証活動は電力会社の自主性に任せているが、日本ではその逆をやってきた。事故を防ぐには、不安全状態の探索、対策の予算的裏付けこそ必要だが、「安全第一」、「安全文化」と言葉で注意力を喚起し、安全になったような気分になっていた。

どんなに安全対策を打ったとしても、残余のリスクが残るが、潔癖性の強い日本人はこの現実を認めようとせず、結果的に無防備な状態となっていた。国も電力会社も残余のリスクを明らかにすれば、原発の危険性を認めたとになり、反対派に攻撃され、安全審査に絡む裁判にも影響する、防災訓練に関して自治体への説明が大変になると考え、残余のリスクの話避け続けた。国内外



の重大事故に対する評価でも、スリーマイル島事故、チェルノブイリ事故、JCOの臨界事故に対して、自国の原発との共通点を探すのではなく、設備、社会体制、規則、人の資質などの違いを強調し、日本の原発の危険性につながらないようにした。本来は、軽水炉で過酷事故が起きること、原子炉の監視システムに根本的問題があること、事故対応における要点、放射能を環境に出したことによる被害の大きさ、経済性優先が危険につながることなどに着目すべきであった。関係者でも、事故の確率が1万年に1回を、「生きている間は起きない」と錯覚し、3台の非常用発電機が同じ場所にある危険性に気づかなかつた。また、一般人への説明では、例外的なこと、前提条件にはあえて触れず、説明を単純にした。内部で警鐘を鳴らす者は疎んぜられ、安全文化の育つ土壌ではなかった。

#### 4. 共同体化

原子力関係者は「原子力村」と呼ばれるまでに共同体化した。共同体の目的は「原子力によるエネルギー確保の実現」であるが、電力会社は地域独占で安定した経済基盤を持ち、処遇や取引で、特定の対象に便宜を与えることができたため、共同体は、政治家、官僚、電力会社、メーカーを中心に、金融機関、学者、メディア、自治体、労働組合、漁協、各種団体まで及び、「共同体構成員の利益確保」が目標に加えられた。共同体の構成員は、共同体を守るために、物理法則や歴史の教訓、内外の警告を無視し、モラルに反し、時には法律に抵触した。内部は、官僚主義、秘密主義で硬直化し、自由な発想を制限し、共同体の意思に反したり、箴言したりする者は排除するようになり、自浄機能を失った。好ましくない情報は切迫感をなくしたり、留め置かれたりした。問題が明らかになっても、既得権と体制維持がなにより優先され、内部に波風を立てないよう、対策は前例に従って小出しにされた。「防災体制を海外に合わせるべき」との意見に対する規制トップの「寝た子を起こすな」発言は象徴的である。

#### 5. 歴史観を持たない経営

東京電力では、社内で原子力部門が独立したパワーを持って経営判断に影響を与えていた。役員はそれぞれ部門の利益代表であり、役員会の判断はボードとしてではなく、部門の意思を迫認する場であった。勝俣前会長は事故後の記者会見で「わたくし共は、各部門にそれぞれ責任を持って業務を任せる経営スタイルを取ってきた」と述べている。

また、本来業務を過度に外注し責任が分散。技術の空洞化、内外の監視セクションの無力化が行われた。既存の方針や計画、いままでのいきがかりにとらわれて、根本問題の解決を先送りして、経済力をバックにした政治力で乗り切ろうとした。

経営トップがしっかりと歴史観を持ってこれまで

の原子力開発で積み重なってきた問題を認識し、惰性を断ち切るために「ちゃぶ台返し」をやる必要があったが、経営トップは、体制維持と前任者の方針を受け継ぐには誰がふさわしいかで選ばれ、根底から改革しようとする者は選ばれなかった。小泉総裁は「自民党をぶっ壊す」と公言して、郵政改革を進めた。55年体制が崩壊寸前という歴史観を持っていたのだ。1993年に社長になった東京電力の荒木氏は、「普通の会社になろう」と合理化の号令をかけたが、原子力部門への歴史的認識は不足していた。

フランスの政府や大企業では、トップはグランゼコール出身が大半を占めているが、エリートたちは日本の大学のような「高校の延長であるマス教育」ではなく、「少数精鋭の高度専門教育」で、広範にわたる知識と教養がたたきこまれ、優れた能力を社会に出てから何のために、どう使うかの自覚ができています。功罪はあるが、フランスでは社会の仕組みとしての伝統的エリート育成システムが存在する。日本ではエリートたちは、そつなく状況を把握し、所属する組織のリスク回避に巧みである一方、権限、予算、人数、天下り先を拡大することに努める。電力会社では、入社早々に、体制維持が最重要であることを教え込まれる。福島第一原発の事故の背景に見えるものは、国策として原発を推進してきた経済産業省などの官僚と東京電力の歴代の経営者が、体制維持にはふさわしかったが、原発を扱うにはふさわしくなかったということである。

### Ⅲ. おわりに

社会はさまざまな失敗を糧に進歩を遂げてきた。歴史に学ぶことは、その実例を知ることである。学ぶことのもうひとつの意味は、過去に置き去りにしてきた課題を正しく認識し、蒔かれた失敗の種を発芽させないことである。福島第一原発の事故後も、原因の背景に迫る対策をせずに、直接的な対策しか取らないのであれば、この国は潜在的危険がある原子力を継続する資格はない。社会の中に、原子力をやるためのしっかりした土台を作ることが、原発再起動に向けて、原子力規制委員会の新安全基準作り以上に大切なことである。

#### —参考資料—

- 1) 戸部良一、他、失敗の本質—日本軍の組織論的研究(中公文庫)。
- 2) 松本三和夫、構造災(岩波新書)。
- 3) 調査・検証報告書、福島原発事故独立検証委員会、日本再建イニシアティブ。
- 4) 国会事故調報告書、東京電力福島第一発電所事故調査委員会、徳間書店。

#### 著者紹介



北村俊郎(きたむら・としろう)  
原子力安全推進協会  
(関心分野/専門分野)人材育成、労働安全

# 米国原子力界が福島第一事故から学んだこと 日米の原子力安全規制は強い連繫を

大阪大学 山口 彰

米国原子力学会は2012年11月に「シビアアクシデント評価とマネジメント：福島第一の教訓」と題する会議を開催した。大きなテーマの一つは“福島第一の事故を踏まえ、原子力安全規制の総点検が必要となるのか？”である。米国が福島第一から何を学び、原子力規制はどこに向かうのかを考える。わが国で、合理的で最高水準の安全確保を達成し、それに説明性があるためには、原子力安全規制は日米間での連携と意見交換を深めることが重要である。

## I. はじめに

米国原子力学会(ANS)の2012年冬季会合(サンディエゴ, 2012年11月11-15日)にて、「シビアアクシデント評価とマネジメント：福島第一の教訓」に関する会議が開催された。同会議の技術委員長を務めるマサチューセッツ工科大学の Buongiorno 教授は、事故の教訓に関する多くの分析を終えた現時点こそ、それらを取りまとめるに良い機会であるとの認識を示した。わが国でも、東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調, 2012年7月5日), 東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調, 2012年7月23日), 福島原子力事故調査委員会(東電事故調, 2012年6月20日), 福島原発事故独立検証委員会(民間事故調, 2012年2月17日)と主要な報告書が刊行されたところであり、時宜にかなう企画である。

まず米国原子力学会の関心のポイントを把握するために12日の午後から実質3日間にわたるこの会議の全容を述べる。最初に、“福島後の短期的および長期的な規制の変化：日本での事故は原子力安全規制の総点検を求めるとか”についてパネルが開催された。パネリストには米国原子力規制委員会(NRC)の Apostolakis 氏, 日本の経済産業省(現在, 原子力規制庁)の Yasui 氏, フロリダ大学の Diaz 氏, フランス IRSN の Bruna 氏が招かれた。“福島第一および日本の他のプラントからの教訓”は2つのセッションで8件の講演と議論が行われた。それらに加え、過去のシビアアクシデントを概観する“TMI, チェルノビル, そして福島第一：3つの事故の全体像”, 事故の社会的側面を扱う“福島後のコミュニ

ケーション：我々が学んだことと変えるべきこと”の2つのパネル討論が企画された。Nuclear News の2013年1月号<sup>1)</sup>は、同会議のセッションのうち、以上の議論を紹介している。

その他には、“原子力産業への福島第一の影響”, “福島第一事故についての日本と国際社会の見方”のパネルが開催されている。また、事故過程の解析・分析を行う“シビアアクシデントの進展とシナリオ再構築”と“事故の現象論”は、それぞれ2セッションと3セッションで議論された。さらに、“安全上重要な設備と格納容器”, “シビアアクシデントマネジメント”, “外部事象とシビアアクシデント”(2セッション), “各国の対応と影響”, “環境影響モデルとサイトクリーンアップ”があった。

本稿では、Nuclear News の記事<sup>1)</sup>を参考に、米国が福島第一から何を学び、原子力規制はどこに向かうのか、何を変えようとしているのかについて解説する。

## II. シビアアクシデント評価とマネジメント

### 1. 原子力安全規制の総点検

#### (1) 安全規制の全体戦略

オープニングパネルの論点は、福島第一事故を受けとめ原子力安全規制を総点検(オーバーホール)するべきかという問いかけである。Apostolakis 氏は、事故後に設置され、2011年7月に報告書が発行された短期タスクフォース(NTTF)の成果(教訓と実施すべき対応に関する提言)について語った。大きな特徴は、実施時期を3段階にわけた提言がなされたことである。第1段階(Tier 1)は遅滞なく実施するもの、第2段階(Tier 2)は原資または重要なスキルの制約により直ちには実施できないもの、第3段階(Tier 3)は規制活動とする前にさらにNRC 内部で検討する必要があるもの、である。

2013年4月に開催された東京 PSAM(確率論的安全評価と管理)国際会議<sup>2)</sup>での Apostolakis 氏の講演では福島

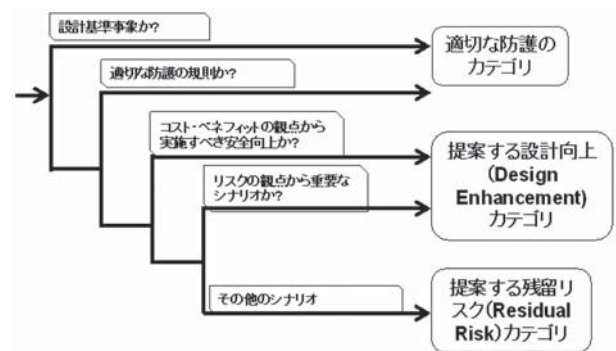
*What US Nuclear Society has Learned from Fukushima Dai-ichi Accident ; Japan should Establish Tight Partnership with US in Nuclear Safety Regulation : Akira YAMAGUCHI.*  
(2013年 4月30日 受理)



第一事故を受けて NRC は以下を実施したと述べた：① 既設炉の安全向上対策，② 運転継続のリスクを確認，③ 教訓と良好事例の国際社会での共有，④ 考慮すべきさらなる教訓の検討の継続。NRC の基本姿勢は，原子力を利用する，しかし公衆を脅威にさらさないということであり，それにそって合理的な手順を踏んでいる。上記①に相当する Tier 1 では福島第一事故で見いだされた主要な弱点の対策を含めて設計基準を超える外的事象に対して，炉心の冷却，格納機能，使用済燃料冷却を 3 フェーズで実施するとした。初期フェーズは運転員による恒設設備を，第二（遷移）フェーズは事業者によるサイト内可搬設備を利用する。最終フェーズはサイト外からの設備搬入を行う。さらに，MK-I および MK-II 格納容器の BWR について，全電源喪失時においても除熱して圧力を制御する“信頼できる強化ベント”の設置を求めた。リスクの観点，コスト・ベネフィットの観点から重要な対策は直ちに実施し，その充分性はリスク評価で確認する。その上で，長期の対策の検討を継続して実施する冷静な対応であると思う。

続いて Apostolakis 氏は，新しい問題が生じるたびに対策を講じた，いわゆる“パッチワーク規制”についても触れた。実は，福島第一事故の前，2010年にリスク管理タスクフォース(RMTF)を，NRC は設置している。NRC の全ての活動に，リスク情報と実績による規制の方針を包括的に全体的に採用できるようにするという戦略構想を構築するためである。深層防護とリスクの考慮に配慮した適切な防護のための規制の枠組こそ必要であるとした。同氏はさらに続ける。これこそリスク評価の関係者がリスク情報活用規制として長い間必要性を述べてきたものである。NRC の仕事はリスク管理である。深層防護はさらなる障壁を加えることによりリスクを管理する方法であり，リスク管理に確率論も決定論もない。

Apostolakis 氏は，新しいリスク管理の規制枠組の提案(NUREG-2150)<sup>3)</sup>を紹介した。彼自身，これを“深層防護の再定義”と呼ぶ。NTTF の提言は，設計基準事故を規制の根拠とする原子炉のみを対象としているが，新しい枠組は原子力利用全般に適用できるものである。RMTF は，運転経験や確率論的リスク評価などの最近の方法から得られる知見を統合して設計基準事故の概念を見直す必要性を認識し，いくつかの設計基準外事象に対応するために“設計向上(design enhancement)”と呼ぶ設計規則と新しいカテゴリーを作成して規制枠組を拡張することを提案した。設計向上事象と 3つのカテゴリーの考え方を第 1 図に示す。このカテゴリーでは安全確保の指標としてリスクを用い，実績ベースで手段・対策を定期的に見直し，コストを考慮して，サイト固有の特徴を踏まえたものとする。現状では“適切な防護(設計基準事故)”と“残留リスク(設計基準外)”の 2つのカテゴリーとなっているが，新しく提案した枠組では，“設計



第 1 図 原子炉安全規制の枠組(NUREG-2150の図に加筆)

向上”が新たに加わって 3つのカテゴリーとなる。設計向上カテゴリーには，全電源喪失やリスクの観点から重要なシナリオが含まれる。それら以外のシナリオは残留リスクである。

(2) 安全規制における多様な観点

原子力安全規制の総点検は，原子力の問題にとどまらず，社会，政治，経済など多くの分野に関連する問題であると，前 NRC 委員長の Diaz 氏は言う。議論は長く問われ続けた“How safe is safe enough?”という問いかけにまで及ぶ。チェルノビル事故から25年を経てその問いは忘れられていた。重大な事故を含めさまざまな事象が発生しているのに現状の規制枠組で扱うことができると考えられていた。規制システムがうまく機能しているとの確信があった。しかし，“Fukushima が全てを変えてしまった”と Diaz 氏は続けた。福島第一事故の後も“規制の主要目的”の達成度はどうかという問いであれば“まあまあ”という答えになるであろう。しかし，社会学，心理学，政治的，財政的な側面を考えればそうはならない。原子力は社会政治的な問題であるという現実を，福島第一事故後の規制に反映しなければならない。2012年 6月の米国機械学会の報告<sup>4)</sup>は同様の指摘をする：“たとえ大規模自然災害によるものであるとしても日本の福島第一事故で経験した社会的経済的影響(Socio-political and economic consequences)は許容しえない”。

Diaz 氏によれば規制枠組の本質は規制機関と事業者との“契約”である。事業者は安全に，規制機関は規制枠組と監視に，それぞれ責任を持つ。その契約が水泡に帰したのである。この活動が実行可能で，公衆が防護されていることを保証するために，産業界と規制機関は協働するのである。原子力の開発と成長を支持するのであれば，この契約は産業界の発展に不可欠であり，継続させなければならない。

これらを踏まえて安全規制の総点検が必要かという問いに答えるならば，3通りの答え方があるだろう。まず日本ではこの規制機関と事業者の契約は適切ではなかった。したがって安全規制の総点検は“必要”である。福島第一事故の主要な教訓に対して既に重要な対策を実施した米国などでは答えは“おそらく必要”である。重要な対



策とは、炉心冷却や電源などに関して対処すること、規制体系の本質的な見直しを行うこと、より包括的な長期のレビューを計画することである。“不要”と答えることは、事故の歴史という現実、すなわちスリーマイル島、チェルノビル、福島第一を、さらにその他の経験を含め否定することである。さらにもうひとつ他の現実も否定することになる。原子力はもう安全ではない、環境の観点から受容できないと社会に認知されるリスクを背負ったのである。日本やドイツが脱原子力に舵を切った理由は社会がそのように見ているからと Diaz 氏は分析する。

将来の規制のボトムラインとして彼は以下を指摘する。(1)原子力プログラムそのものをリスクにさらさないために規制の変化は必要である。変化させるべき点には過酷な事態を伴う稀有事象(内的、外的)を含めなければならない。(2)“How safe is safe enough?”は社会政治と経済の織りなす社会にとってのリスクによって決定される。(3)規制がこれで十分だということはない。規制は公衆の健康と生命の防護の先を行かなければならない。規制要求を超えて目に見える持続的な向上を社会は要求する。原子力産業界は今こそこれを理解し、安全の責任を受けとめ、リーダーシップを発揮しなければならない。

### (3) ストレストテストで何が分かるのか

フランス IRSN の Bruna 氏は、シビアアクシデントが起きると原子炉はどうなるのかの評価、いわゆるストレストテストの結果について報告した。福島第一事故を受けて、極端な外部事象に対するフランスの58基の原子力発電所の脆弱性を検討するよう、Fillon 首相は命令した。この検討はその後、欧州全体で行われることになる。外部事象、特に長時間に及ぶ冷却喪失と電源喪失に対して適切なリスク管理ができるのが評価のポイントである。

設計要求と安全要求に対する各プラントの適合度はどうか、これは Bruna 氏のいう頑健性(Robustness)の指標となる。評価の結果、施設の配置や実装、モニタリング、材料の保守、設計エラーなどで不適合が見いだされた。現在ほど地震マップが整備されていなかった30年以上前に建設された古い発電所の耐震要求への不適合は特に問題視された。また、長期にわたるささいな改良の積み重ねが安全性に及ぼす影響は、得てして見落とされがちになるとの理由から注目された。

次のポイントは、基本安全設計要求を超える外的事象に対するプラントの頑健性である。主要な構造物や設備には大きな耐震安全裕度があると事業者は主張するが、評価手法に不確かさがあることが指摘され、更なる検討が継続されている。地震や洪水はそれに付随する他の影響をもたらしうる。火災、爆発、配管破損、これらは重要な安全系や緊急手順に影響を及ぼすかもしれない。

長期間の電源喪失や複数の施設に影響する事故で外部

からの支援ができないような設計基準外事象や、外部事象起因のシビアアクシデントのためにフランスは新たなアプローチを提示した。まず、あらゆる状況においても確保されるべき安全機能のリストを作成する。それを確保するための“強化安全コア”は、現状の安全の枠組で考慮されているものより厳しいハザードレベルでも機能しなければならない。また、長期にわたる事故状態に対応できなければならないし、火災や爆発などの外的事象に対しても防護されていなければならない。

ストレストテストは外部事象に対するプラントの脆弱性を増すような潜在的問題を同定し、それを改善する必要があることを示すと、Bruna 氏は結論した。以下は今後も改善が必要な点である：(1)施設が設計と安全要求に適合していることをいつでも確認できる方策の導入、(2)現状の安全の枠組で考慮されない状況に対処するための、強化安全コアのようなアプローチ、(3)外部ハザードに対する更なる防護の提示、(4)更なる改善点を同定するためにプラントの状態を頻繁にレビューすること。

## 2. 福島第一の教訓と未知への備え

福島第一ならびに他のプラント(東海第二と福島第二)から得られた教訓に関するセッションでは、リスク、アクシデントマネジメント、ブラックスワン(想定外)、公衆リスクなど、設計基準外事象にどう対処するかが関心の中心であった。

事故から20ヶ月が経過しているが、データに明確でないところ、理解しがたい意思決定などが残っている。東京電力の Kawano 氏は1号機の非常用復水器(IC)の運転状況が緊急対策センターになぜ伝わっていなかったのか理解できないと述べる。コンサルタントの Levy 氏は、消火系を用いて注水すべきであった、また3号機で高圧注入系を用いたことが圧力を高め冷却を困難にする原因となった、自動減圧系が使えなかった等と主張する。さらに、事故よりもずっと前の段階で、津波対策が十分であると判断した東京電力に過誤があったと何人かが指摘した。さらに、全電源喪失の考慮とシビアアクシデントの訓練と対応でも東京電力は誤ったと Levy 氏は述べる。

Sehgal 氏は福島第一事故における土壌汚染の重要性を指摘し、住民にとって最大の困惑は住居を奪われてしまったことであると述べる。福島第一のような事故を防止しその影響を緩和するためのバックフィットを行わない理由として、コスト・ベネフィット分析を用いてはならないと指摘する。このような事故を起こさないことこそがベネフィットである。一方、どの程度の低線量までならば放射線影響がほとんどないかということについては、今後も研究が必要である。長年、シビアアクシデント研究に携わる Sehgal 氏の主張である。

ブラックスワンという言葉がしばしば使われる。皆が

驚くような事象であるが、後になって考えれば予見できたし起こっても不思議はないというものである。Greene氏は、鳥を比喩にこれを“カナリア、ダチョウ、そしてブラックスワン”と展開した。カナリアは鉱山で空気汚染の警告として使われる。ダチョウは砂の中に頭を埋める特徴があることから、警告に耳を塞ぐことの喩えとされる。Greene氏は沸騰水型軽水炉の格納容器の広汎な研究を引用して、規制機関の対応の歴史を振り返り、シビアアクシデントの影響緩和のためのプラントの主要な改良は、NRCの現在のバックフィットのコスト・ベネフィットルールに適合しないと述べる。彼は、NRCと産業界にその場しのぎのパッチワーク対策から脱却することを求めている。そのためには、シビアアクシデントマネジメントに対する対症療法的アプローチが適切性に疑問を呈し、バックフィットルールとそのコスト・ベネフィット評価の根拠を再検討することが必要であると述べる。

Robert氏はその他のプラントから得られた教訓について論じた。福島第二発電所の4基の原子炉は、非常用ディーゼル発電機と最終ヒートシンクが失われたが、隔離時冷却系と消火系を使うことができた。ただし、残留熱除去ポンプに電源を供給するために、放射性廃棄物建物から熱交換器建物に電源ケーブルを引き回す必要があった。福島第二ではこのようにしてうまくいったが、他のプラントでは条件によっては困難であったかもしれない、とRobert氏は続けた。

これらの議論の範囲では、福島第一以外の発電所におけるシナリオやリスク管理の成功についてはほとんど語られていないようである。過酷事故に至っても不思議ではない状況の中で安全が確保できたその分岐点はどこにあるのか、また安全確保の経緯などの分析からリスク管理として何が有益な知見であるかを日本から体系立てて発信すべきと思う。

### 3. 原子力におけるコミュニケーション

危機的状況におけるコミュニケーションもまた、本会合の重要なテーマであった。“福島後のコミュニケーション：我々が学んだことと変えるべきこと”のパネルはアルゴンヌ国立研究所のシニアフェローDickman氏が座長を務めた。同氏はセッションの導入として、原子力界は危機コミュニケーション計画を全く持っていなかったことが明らかになったと指摘し、確固たる危機コミュニケーションスキルを産業界が確立することの重要性を強調した。ANSは自己改革をするために1週間も経たずしてメディアやブログを通じて教育用パンフレットを配布し始めた。ANSは確かに良い仕事をしたが、今から思えばもっと前にやるべきだったとのことである。パネルには産業界とメディアから4人のコミュニケーション専門家が登壇した。

最初はLimbach氏、“今の時代は、ニュースはいつでも流れ、ジャーナリストは複数のチャンネル、新聞、デジタル新聞、テレビ、ウェブサイト、ブログ、ツイッターを通じてコミュニケーションをする。産業界は、ジャーナリストとの良好な関係を確立し、継続的に協働することが必須である。さらに危機時には直ちにメディアと連絡できることが重要である。ニューヨークタイムズ紙の友人は、記事の内容により締め切りは1時間ごと、時には20分ごとになる。正しい情報を持っているか、ただの見解にすぎないのかに関わらず、批判は時を待たずして向けられるのである”と述べる。彼女は、“ジャーナリズムと公衆の双方にとって今やインターネットは最初の情報基地である。デジタルプラットフォームの活用的重要性は論をまたない。デジタルプラットフォームは情報を発信する場と考える人が多いが、一般の人々が何を考え、発言し、実践しているかを探り当てる場でもある。それは、危機管理の協働や実践がうまく機能するための重要な情報源となる。原子力界がコミュニケーションを再構築する、産業界がもっと関与する、事実に基づいて教育的であり興味を持たれるようにする、そのためにはどうすればよいのであろうか。福島の記事のときのさまざまなデジタルチャンネルをモニタすればその答えが見えてくる”と述べる。

また、Limbach氏はコミュニケーションにおける画像や情報画像などの可視性の重要性も強調する。人々は、文章はあまり読まず、ヘッドラインだけを読みそして写真を見る。うまく作られた情報画像は言いたいことを理解してもらうのに実に重要、原子力業界は福島第一事故以来、情報画像の使い方がうまくなったが、まだ改善の余地があると指摘する。良好なコミュニケーション戦略のもうひとつ重要な要素は良い報道官がいるかどうかである。彼女はNEI(原子力エネルギー協会)のFertel会長を例にあげた。事故の直後の何が起きているのかほとんど分からない状態で、彼の冷静な振る舞い、情緒や共感の表現はとても効果的であった、産業界にとって構築すべき重要な素地であると指摘した。リスク認知と行動は事実と感情によって決まる。事実をきちんと伝えてもリスク認知の感情的側面をうまく扱わないコミュニケーションは失敗である。関心が高く信頼が低い(高関心低信頼)という状態では、事実を伝えるよりも感情を考慮するほうが大切である。混乱している人々は、感情に配慮されるまで事実を聞こうともしない。感情に配慮する一つの方法はボディランゲージ、聴衆と共感するのである。

NEIのKerekes氏は原子力分野の危機状態ではあらゆる類の報道に包括的に備えなければならないと指摘する。例えばハリケーンサンディのときには原子力施設の対応状況は実に良好であったが、メディアは原子力報道をさかんに行った。中には否定的な報道もあった。ワシ



ントン DC の反原子力グループの記者が、もしも洪水が起きたら原子力発電所どうなるかとの推測に基づいて記事を書いた過熱報道である。これによる影響は大西洋沿岸部で大きかった。今でも原子力に関する恐怖をあおる行動が見られる。馬鹿げたことではあるが、現実である。変えることはできない。このような現実を認める必要がある。原子力界は自らに親近感をもってもらなければならない。技術の神秘性を溶かさなければならない。

デジタル空間を活用することの重要性は、Karekes 氏も主張する。福島第一事故後の水曜日までに NEI のウェブサイトは 880 万アクセスと、事故前の 100 倍となった。NEI は活発なブログを長年運営してきた。ツイッターや YouTube も用いている。また Facebook も使い始めた。NEI は公衆との多様な接点をもつためにこのような方法を今後も活用していく。

南カルフォルニアエディソン (SCE) 社の Culverhouse 氏は、アウトリーチ活動の重要性を指摘する。SCE のプラントは南カルフォルニア、地震域にある。メディアへのプレス、ブリーフィングなどを事故後に頻繁に行った。また、ロータリークラブ、市民組織、協会などで 200 回以上のアウトリーチ活動を行ったとのことである。

危機コミュニケーションについてはマスメディアの役割が注目されることが多いが、ソーシャルメディア(ブログ、ツイッターなど)の活用、その影響の分析、それを効率的に行う体制づくりが求められるであろう。

### III. まとめ：わが国の安全規制はどこへ

米国 NRC の福島第一事故への対応は、実施すべきことの優先度と実施可能性を踏まえた冷静で合理的なものであった。原子力エネルギーは基幹エネルギーであり、安全に利用するという信念のもとであらゆる安全確保方策を模索していったからこそ、そのような対応が可能であったのではないかと。対策に伴うリスク低減効果とリスクの抑制の程度を確認し、諸外国の実践状況を調べ、その他の教訓はないかを継続的に検討する。同時に、タスクフォース等を組織して規制の枠組の再構築を矢継ぎ早に検討する。このような議論のプロセスを経ることこそが重要である。こうして、対策の効果とリスクの体系的な分析に基づく規制アプローチとそれを実現するに必要な規制の枠組が現実のものとなる。当然、この枠組が適切であるのかを問い続けることが必須である。

ANS の会議名は、“シビアアクシデント評価とマネジメント”であった。本文中でも 2013 年 4 月に東京にて PSAM 会議での Apostolakis 氏の講演を引用している。PSAM は、“確率論的安全評価とマネジメント”である。2 つの会議の名称は、原子力の安全の本質はシビアアクシデント、リスク評価、リスク管理という言葉に込められていると思う。東京 PSAM で Apostolakis 氏は、“appropriately balances defense-in-depth and risk

considerations: 深層防護とリスクの考慮をうまくバランスさせる”規制の枠組が必要とした。日本からは、近藤原子力委員長にもご登壇いただいた。近藤氏は、“a prudent combination of defense-in-depth and risk insights: 深層防護とリスク的洞察を賢明に組み合わせる”ことにより設計基準外事故を防護するロバストな能力が備わると述べた。共通する指摘は、リスクを評価し、リスクと不確かさの観点から深層防護を構築するべきということであると思う。規制の枠組として残留リスクを明示することは、安全目標と安全規制基準とが不可分であるという示唆でもある。

NUREG-2150 には、“深層防護の概念は、NRC と事業者にとって十分に役に立ってきたし、現在でも価値あるものである。しかし、一貫性をもって用いられなかったし、どの程度までの深層防護で十分かというガイダンスを用意しなかった”とある。続いて、“リスク評価は潜在的可能性のある暴露シナリオについて貴重なそして現実的な洞察を与える。その他の技術的分析と相まって、リスク評価は適切な深層防護方法を決定するための情報をもたらす”と記載してある。また、深層防護を以下のように特性づけている。リスク情報を精査し (risk-informed)、実績を反映した (performance-based) 深層防護による保護 (protection) により以下が確かめられる: (1) ハザードの存在、それに続く事故のシナリオ、それらに関する不確かさによって、放射性物質が障壁を超える事象を防止し、放射性物質を閉じ込め、その影響を緩和するために用意した障壁、管理 (control)、人員の組み合わせが適切であること、(2) 用意した障壁と管理のいくつかあるいは全てに失敗すること (人間過誤も含む) によるリスクが、受容できる程度に低く維持されること。

わが国で、合理的に達成しうる最高水準の安全確保を実現し、それに説明性があるために、原子力安全規制は日米間での連携と意見交換をもっと深めるべきではないか。

#### — 参考資料 —

- 1) Post-Fukushima: Do nuclear safety regulations need a major overhaul?, *Nuclear News*, Jan. 2013, 62-67.
- 2) <http://www.psam 2013.org>
- 3) U.S. NRC, A Proposed Risk Management Regulatory Framework, NUREG-2150, April, 2012
- 4) AMSE, Forging a New Nuclear Safety Construct, The ASME Presidential Task Force on Response to Japan Nuclear Power Plant Events, June 2012.

#### 著者紹介



山口 彰(やまぐち・あきら)  
大阪大学 大学院工学研究科  
(専門分野)原子炉工学, 伝熱流体力学, 確率論的リスク評価



# 大地震から学んだ教訓と人工構造物の設計

東京工業大学 名誉教授 和田 章

東日本大震災は、この被災地に建築・インフラ・まち・都市を構築してきた土木分野・建築分野だけでなく、人々の生活を豊かにしようと努力してきた各種の工学分野の研究者や技術者に大きな衝撃を与えた。自然の猛威は非常に大きく抜けないから、完璧とはいえない人間の作るものはこれに耐えられず破壊されることがある。これに対処するためには、学問分野を超えた総合的な議論と実行が必要であり、最大級の自然の猛威とこれを受ける人工構造物のあらゆる挙動を俎上に載せて真剣に議論する必要がある。

## I. 東日本大震災

2011年3月11日午後2時46分、恐ろしい地震と津波が起きた。2年が過ぎ、復興の兆しはようやく見えてきたが、東日本大震災の影響は東北地方だけでなく、日本全体に広がっている。東北地方太平洋沖地震(M9.0)と名付けられ、世界の大きな地震の10%は日本の周辺で起きているというなかで、明治以来の最大級の地震である。

歴史上、東北日本を襲った津波は、869年貞観M8.3、1257年正嘉M7.5、1611年慶長M8.1、1677年延宝M8.0、1896年明治M8.5、1933年昭和M8.1などがあり、貞観地震では仙台市の近郊の当時国府がおかれていた多賀城にまで津波がきて、溺死者1,000人の記録があるといわれている。明治三陸地震では21,959人の尊い命を失い、1933年3月の昭和三陸地震では3,064人の尊い命を失っている。

明治の震源はこのたびと同じプレート上のより遠くで起き、昭和の震源はさらに遠い太平洋側の別のプレート上で起きたといわれ、このたびの地震は規模が大きくさらに近くで起きた。

## II. 忘れられていた大津波

「天災は忘れた時分にやってくる」の言葉で有名な寺田寅彦(1878-1935)は、昭和三陸地震の起きた1933年の5月に随筆『津浪と人間』を書いている。始めの部分に「(地震)学者の方では『それはもう十年も二十年も前にとうに警告を与えてあるのに、それに注意しないからいけない』という。するとまた、罹災民は『二十年も前のことなどこのせち辛い世の中でとても覚えてはられない』という。これはどちらの云い分にも道理がある。つまり、これが人間界の『現象』なのである。」と書いている。78年

*Design and Engineering of Structures after the Big Earthquake Disasters* : Akira WADA.

(2013年 3月24日 受理)

が過ぎ、防潮堤も作ってきたし、子供達には津波の怖さを教育し、避難の指示も出された。それでも、全体として明治の三陸地震以上の被害を起こしてしまった。

最近では2004年12月のスマトラ島沖地震(M9.3)で非常に大きな津波が起き、23万人近い死者が出ているから、津波の怖さを知らなかったわけではない。きちんと対策をしてこなかったのである。津波の恐ろしさは「波というより100 kmにもわたる奥行きで海面全体が高くなり数十分以上の間続けて押し寄せてくる」ことにある。防潮堤の高さを越える津波に襲われると、陸地側の広さは有限だから防潮堤内部も外部と同じ海面高さになってしまう。津波に勢いがあると、陸地の幅が狭くなるところでさらに海面は高くなるから恐ろしい。

## III. 東日本大震災の被害

明治三陸地震でも昭和三陸地震でも、建築物の被害は少なかったといわれる。上に述べたが、明治の地震も昭和の地震も、2011年3月の地震よりさらに遠くで起きていたからであろう。日本の建築の耐震性は、建設された時代、構造設計者、構造の種類などによって異なるが、2008年5月に起きた四川省汶川地震とほぼ同じ午後3時前の時間帯に、非常に大きな地震動が東北・関東の地域を襲ったにもかかわらず、構造そのものの倒壊が少なかったことは、せめてもの救いである。

M9.0の大地震であったため、揺れの時間が長かったことによる恐怖感を感じた人が多い。特に、減衰の小さな超高層建築のとまらない大きな揺れは、計算通りではあるが、関係した設計者に衝撃を与えている。千葉県浦安などで起きた地盤の液状化は大問題であり、エレベータの停止、外壁や天井の被害が非常に多かったことも大きな問題であり、工法を改善しなければならない。これらの被害も揺れの時間が数分以上と長かったことが大きな原因といわれている。

福島原子力発電所の事故は深刻である。安全を確保

するための鉄則は「止める、冷やす、閉じ込める」といわれてきた。非常用の電源さえ動けばこの対応ができたにもかかわらず、外部電源が失われ、燃料タンクが津波で破壊され、非常用発電装置が水没したため、現実とは思えない悲惨な状況になった。これからは、「止め続ける、冷やし続ける、閉じ込め続ける」を旗頭に原子力発電所の安全を確保しなければならない。この発電所は1971年に稼働して、40年間、東京に電気を送り続けた。これからは、廃炉に向けての大きな仕事が残っているが、関係者の努力によって着実に進むことを期待する。

#### IV. 復興の考え方

住宅・学校・病院・公共施設・事務所・工場などの一般的な建築に関する我々がここで考えなければならないことは、大きな津波で流されてしまった被災地の復興である。住むところだけでなく産業の復興が必要である。寺田寅彦の先の随筆に「津浪に懲りて、はじめは高い処だけに住居を移していても、五年たち、十年たち、十五年二十年とたつ間には、やはりいつともなく低い処を求めて人口は移って行くであろう。そうして運命の一万数千日の終りの日が忍びやかに近づくのである。」といい、「これが、二年、三年、あるいは五年に一回はきつと十数メートルの高波が襲って来るのであったら、津浪はもう天変でも地異でもなくなるであろう。」と書いている。このたびの津波の規模は数百年から千年に一度といわれている。これに対処できる人々の住み方と生き方を考えなければならない。当分は良いだろうとしてまちづくりを続ければ、数百年後に同じ災難に襲われる。

これは、日本人がどこに住み、どこで仕事をすれば良いかという国土利用の問題であり、津波の恐ろしさだけを考えたら低いところには建築を建てないのが正しい判断である。ただ、衛星写真を見て分かるように、津波の被害を受けた地域は居住に適した平地であり、被災した土地にも私有権の問題があるから、実行には大英断が必要である。

三陸や仙台の入江や湾には山から川が流れている。津波はここを遡上していくから、単純に海岸線を高い防潮堤でまもっても意味はない。狭い川なら水門を設け警報後に締めることもできるが、広い川の場合は川の両岸にも内陸に向かって高い堤防が必要になる。中程度の防潮堤でよいとして、町の中に緊急避難のための鉄筋コンクリート造の避難棟を建てることも行われている。ただ、少子高齢化の時代であり、階段を急いで上ることのできない人も多いから、簡単ではない。津波に負けない住宅や学校を丈夫な10階建て以上の鉄筋コンクリート造で作る、非常用発電でエレベータを動かし、ここに逃げ込む方法も考えられる。

木造住宅や鉄骨の工場は流されることを覚悟で作るのか、このような建築は建てないことにするのか、簡単に

結論は出ない。百年に一度、千年に一度のためにコンクリートの防潮堤を造るだけでは、人々の日々の生活、美しい景観や素晴らしい自然を台無しにしてしまう。

#### V. 日本学術会議の活動の一つ「巨大災害から生命と国土を護る」

日本学術会議という国の機関があり、この設置目的は、科学が文化国家の基礎であるという確信の下、行政、産業及び国民生活に科学を反映、浸透させることにあり、1949年1月に内閣総理大臣の所轄の下、政府から独立して職務を行う「特別の機関」として設立された。60年以上が過ぎ、仕組は少しずつ変わっており、現在では3つの部により成り立ち、このうち第三部は理学工学を担当している。このなかに土木工学・建築委員会があり、この問いかけにより、2011年12月から2012年11月まで、「巨大災害から生命と国土を護る—30学会からの発信—」(学協会連絡会を含めて30学会)として、日本原子力学会のご協力も得て、連続シンポジウムが開催されてきた。

2012年5月には30学会・共同声明「国土・防災・減災政策の見直しに向けて」を発表した。

##### 三十学会・共同声明

国土・防災・減災政策の見直しに向けて  
—巨大災害から生命と国土を護るために—  
平成24年(2012年)5月10日

東日本大震災以降、中央防災会議、内閣府、国土交通省、文部科学省等を中心に、政府は大地震・大津波に対する対策に全力を傾注している。これを受けて、東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会は、「巨大災害から生命と国土を護る—24学会からの発信」連続シンポジウム(全8回のうち1回から3回)を開催し、学会の壁を越えて本質的な議論を展開してきた。これらの議論に基づき学協会連絡会は、大災害から国民の生命と国土を護ることを期して、政府に、次の方針を国土・防災・減災政策に盛り込むことを要望する。

1. 首都直下、東海・東南海・南海地震等の巨大地震が、日本の政治・経済・社会の根底を揺るがすことのないように、被害を軽減する実効性のある総合的な防災・減災政策に全力を傾けること。巨大災害の発災および復旧の非常時においては、国家の責任のもとで、機動力のある特例的な対応が取れるよう法制度の整備を含め準備をしておくこと。
2. 従来、政府の検討対象から除きがちであった低頻度で巨大、あるいは甚大な震災について、有効な対策の有無に関わらず検討対象としてとりあげること。情報公開により、地震研究と国土・防災・減災

政策の連携を促進し、総合的で抜け落ちのない対策を目指すこと。

3. 今後想定されるハザードについて、常に柔軟性を持たせ、想定を上回る規模のハザードも起こりうるという前提にたち、国土計画・都市計画・防災減災計画を検討すること。産学官の英知を結集し、国民が検討の経過や結果を広く共有するための基盤を整備し、継続的に維持・更新していくこと。
4. 数十年～百数十年に一度の頻度で起きる大災害には、構造の強化・施設の整備による防災政策で対処すること。数百年～千年に一度の頻度で起きる巨大災害には、人命の犠牲を最小にするべく、避難設備の整備と避難教育の充実を組み合わせた総合的な減災政策で対処すること。
5. 災害の多い我が国の歴史と東日本大震災の教訓をもとに、古来の災害履歴を踏まえた、リスク分析を行うことによって、より安全な場所への居住や産業の立地誘導を図ること。地域の歴史・風土・自然環境を踏まえたハザードマップと地域減災計画を立案し、継続的な教育や準備により日常防災を実現すること。
6. 人口減少・高齢化、エネルギー問題、国家財政の厳しさ等を踏まえ、地方と共に中長期的な国土総合計画を作成し、国民に周知すること。国土総合計画は、国土計画、都市計画、農山漁村計画、防災・減災計画等が総合的に検討されるものであり、太平洋軸と日本海軸の相互バックアップ体制の確保なども含め、日本列島のランドデザインの観点をもつこと。

以上、政府への要望を述べてきたが、学術の世界においても、学会がそれぞれ専門分野に分かれて検討するのではなく、学会の壁を越えて議論し、総合的により良い方向を見いだす努力が重要である。当学協会連絡会は、従来の縦割りの弊害を見直し、学会間の連携を深め、国土・防災・減災政策に関する諸課題に取り組む決意である。

東日本大震災の総合対応に関する学協会連絡会  
環境システム計測制御学会、空気調和・衛生工学会、こども環境学会、砂防学会、地域安全学会、地理情報システム学会、地盤工学会、土木学会、日本応用地質学会、日本火災学会、日本活断層学会、日本機械学会、日本計画行政学会、日本建築学会、日本原子力学会、日本コンクリート工学会、日本災害情報学会、日本自然災害学会、日本集団災害医学会、日本森林学

会、日本地震学会、日本地震工学会、日本地すべり学会、日本造園学会、日本地域経済学会、日本都市計画学会、日本水環境学会、農業農村工学会、廃棄物資源循環学会

この活動をまとめた「学術の動向」2013年3月号の特集号が発行された。この編集後記に編集委員会副委員長の北里 洋は「私は、海洋の研究者である。その立場から一言感想を述べさせていただく。本特集に限らず、国土の防災・減災は、人が住む陸上環境の保全を主に議論している。その結果、日本の海岸線のほとんどはコンクリートの防潮堤によって取り囲まれ、陸と海との物質循環が阻害される。3.11以降、東北地方太平洋側の沿岸の多くの場所で、コンクリートの防潮堤が壊れ地盤沈下が起こったところに塩性湿地が生まれ、多くの野生生物が戻ってきている。また、海と陸との物質循環もよりスムーズになり、沿岸の海は豊かさを取り戻しているように見える。こういった沿岸の自然が戻っている時に、国土をコンクリートで囲んでしまってよいのだろうか？もちろん、国民の安全を護ることは何より大事である。ただ、それとともに、豊かな日本の自然をも護る、複合的な視点を持っていたいと思う。日本学術会議は、人文・社会科学、生命科学、理学工学分野にまたがる、科学者の集まりなのである。」と貴重な文章を書かれている。全く同感であり、そのためにも、防潮堤でまちを護るのでなく、住宅や学校やまちを津波のこない高台につくるべきと心底から考える。適切な高台がなく、元の地に住宅地を復興せざるを得ない場合は、低層の木造住宅を建てるのではなく、思い切って10階建て以上の鉄筋コンクリート構造のしっかりした建築を建てて欲しい。この方法によれば、将来の津波にも耐えることができ、高い防潮堤の建設や大規模な地盤の嵩上げ工事も不要になる。

## VI. 繰り返し日本を襲う大地震・大津波

寺田寅彦は先の随筆の後半に「津浪の恐れのあるのは三陸海岸だけとは限らない。寛永安政の場合のように、太平洋沿岸の各地を襲うような大がかりのものが、いつかはまた繰り返されるであろう。」と書いている。この随筆の書かれた11年後には1944年東南海地震が起き、続けて1945年三河地震、1946年南海地震、1948年福井地震など、大きな地震が敗戦国日本を襲った。

この後にも、1964年新潟地震、1968年十勝沖地震、1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震などが起こっているが、1950年以降の復興時期の日本には、巨大な地震の発生が比較的少なかったともいえる。南海トラフを震源とする大地震の発生が近づいていると言われていたが、これは間違いのないことであろう。「天変地異」といってはられない、日本の大問題、日本人全員の問題である。



## VII. 極めて稀に起こる自然の猛威に 対する減災の考えによる対処

極めて稀ではあるが起こらないとはいえない非常に大きな自然の猛威があり、これに襲われた場合の被害が極めて甚大なとき、この災害の危険性はこれら2者の積で表せるから、絶対値としては大きくならないことがある。ただ、数百年に一度といえども、東日本大震災のような悲惨な災害は避けねばならず、このような場合への対処の方法を考えなければならない。これには、次の4段階で考えると分かりやすい。防災ではなく、減災の考え方に属するが、この考え方は、災害を極力減らすように努力するが、被災の可能性を正面から考え、これに対処する方法である。

### 1. Locations

国土計画、都市計画、道路、建築の用途に応じた設置位置、安全なところに住宅やまちを作り、工場などの設置場所を考える。

### 2. Structures

防波堤、防潮堤、堤防、土木・建築などの構造物を丈夫に、長持ちするように作る、耐震性・耐風性の確保。

### 3. Operations

地震学の研究、地震速報、津波予測、警報、避難経路の整備、避難訓練、敏速な避難、その他のソフト対策。

### 4. Risk transfer

国内の異なる地区に生産施設を複数配置して生産停止を避ける、港湾施設・工場・船舶などの被害額を保険によって他者に転嫁する。

## VIII. 文明が進むほど自然災害はその 劇烈の度を増す

寺田寅彦は、先にも引用したが、防災・減災に関わる多くの貴重な随筆を残している。その一つ「天災と国防」は関東大震災から11年後の1934年に書かれており、80年後の今にも通じる記述である。ここに、重要と思う部分をそのまま引用させていただく。

「しかしここで一つ考えなければならないことで、しかもいつも忘れられがちな重大な要項がある。それは、文明が進めば進むほど天然の暴威による災害がその劇烈の度を増すという事実である。

人類がまだ草昧の時代を脱しなかつたころ、がんじょうな岩山の洞窟の中に住まっていたとすれば、たいいてい地震や暴風でも平気であつたろうし、これらの天変によって破壊さるべきなんらの造営物をも持ち合わせなかつたのである。もう少し文化が進んで小屋を作るようになって、テントか掘っ立て小屋のようなものであつて見れば、地震にはかえって絶対安全であり、またたとえ風に飛ばされてしまつても復旧ははなはだ容易である。とにかくこういう時代には、人間は極端に自然に従

順であつて、自然に逆らうような大それた企ては何もしなかつたからよかつたのである。

文明が進むに従つて人間は次第に自然を征服しようとする野心を生じた。そうして、重力に逆らい、風圧水力に抗するやうないろいろの造営物を作つた。そうしてあつた自然の暴威を封じ込めたつもりになっていると、どうかした拍子に檻を破つた猛獣の大群のように、自然があばれ出して高樓を倒壊せしめ堤防を崩壊させて人命を危うくし財産を滅ぼす。その災禍を起こせたもとの起こりは天然に反抗する人間の細工であると言つても不当ではないはずである、災害の運動エネルギーとなるべき位置エネルギーを蓄積させ、いやが上にも災害を大きくするように努力しているものはたれあろう文明人そのものなのである。

もう一つ文明の進歩のために生じた対自然関係の著しい変化がある。それは人間の団体、なかなずくいわゆる国家あるいは国民と称するものの有機的結合が進化し、その内部機構の分化が著しく進展して来たために、その有機系のある一部の損害が系全体に対してはなはだしく有害な影響を及ぼす可能性が多くなり、時には一小部分の傷害が全系統に致命的となりうる恐れがあるようになったということである。

単細胞動物のようなものでは個体を切断しても、各片が平気で生命を持続することができるし、もう少し高等なものでも、肢節を切断すれば、その痕跡から代わりが芽を吹くという事もある。しかし高等動物になると、そういう融通がきかなくなつて、針一本でも打ち所次第では生命を失うようになる。」

寺田寅彦は80年も前に、地震災害が、人々の命を奪い構造物を壊すだけでなく、大規模化と集中に向けて進んだ社会システム、平常時の効率と便利さを追求した社会そして経済活動に及び、災害が激化することを予言している。

## IX. 構造物の設計と実際の施工に必要な塑性変形能力

構造物が脆弱であることを表すとき、ガラス細工のような構造という。ガラスのヤング係数はアルミニウムと同じで鋼の1/3であり、弾性変形追随性は大きい、塑性変形能力はほとんどなく、ガラス表面の傷などの部分的な欠陥をきっかけに破損してしまうからである。このような脆性材料で構成される構造物に塑性理論を応用することはできない。

鋼構造、鉄筋コンクリート構造などの設計および実際の施工を成り立たせているのは、これらの構造物に適度な塑性変形能力を持たせるように作つてあることにある。

ガラス細工で構造物をつくる場合を想像してみる。例えば、現場で梁の長さとその両側の柱の内法間隔が合わないとき、柱の弾性変形を利用して無理に梁を接合する

ことがある。このように、竣工後に設計では考えていない応力が作用していることが、至るところで起こる。別の言葉で言えば、過大かつ不確定な内部釣合い応力が多くの部材に生じていることになる。強風や地震動を受けて構造物に生じる応力に、上記の不確定な内部応力が加算されるため、塑性変形能力のないガラス細工のような構造物では、一部の部材が早期に破断してしまい、構造物全体の強さは設計者の意図通りの大きさには達しない。非常に危険である。

このような構造物が地震動を受ける場合には各個撃破現象、ドミノ倒し現象、連鎖破壊、ジッパー・フェイル現象(衣服のボタンの代わりに用いられるジッパーを開くときのように、一部の破壊が次々に伝播していく現象、カスケード・フェイルともいう)が生じやすくなるといえる。一方、部材、接合部および構造物に塑性変形能力がある場合、たとえ不確定な内部応力が存在していても、応力は再配分され、外力に対してすべての構造部材が一致団結して協力して抵抗するので、実際の構造物の強さは設計者の思い通りの値に達する。この考え方を支えているのが塑性変形能力のある部材、接合部、骨組の場合に成り立つ構造物の「塑性理論」である。この考え方は研究チームの強さから社会システムの強さ、複雑な人工構造物や人工システムの安全性確保にまで、すべてに適用できる重要な原理である。

## X. 塑性理論の理解と許容応力度設計の成り立ち

塑性理論とは、「下界の定理」、「上界の定理」、「解の唯一性定理」の3定理を示す。これらの原理は、構造部材、接合部さらに構造物が外力を受けてそれぞれの耐力に達したあと、塑性変形や塑性回転は増加するが、耐力劣化が起こらず、それぞれ耐力が維持できるような場合、つまり靱性のある構造物であれば、いかに複雑で大規模な構造物についても成り立つ。下界の定理は「もし、ある任意の荷重係数 $\lambda$ において、外荷重に釣合い、構造物中のどの部分でも降伏条件を満足している曲げモーメント分布が求められれば、その荷重係数 $\lambda$ は真の崩壊時の荷重係数 $\lambda_p$ に等しいか小さい」、上界の定理は「もし、ある想定した崩壊メカニズムにおいて、正の荷重係数 $\lambda$ を持つ荷重によりなされた外部仕事、塑性ヒンジでなされる内部仕事に等しい場合、その荷重係数 $\lambda$ は真の崩壊時の荷重係数 $\lambda_p$ に等しいか大きい」、解の唯一性定理は「もし、ある荷重係数 $\lambda$ において、釣合い、メカニズム形成および降伏条件の3つの条件を満足する曲げモーメント分布を求めることができれば、その荷重係数は真の崩壊時の荷重係数である」として説明される。

下界の定理は「構造物を弾性と仮定し、与えられた外荷重による応力分布を求め、この応力分布に比較して、

材料安全率(1/2, 2/3など)を考慮して決めた部材強度が上回るように構造部材や構造物を設計する弾性許容応力度設計の体系」を下支えしている。

現代の構造力学の祖、英国のCambridge大学のSir John Baker教授(1901-1985)らは、1930年代初期にロンドンで工事中の幾つかの鋼骨組建築物を用いて歪み測定を行った。この研究を継ぐ同大学Jacques Heyman名誉教授(1925-)はBakerの研究を次のように伝えている。「この研究調査により、従来の弾性仮定のもとに計算された応力値と測定結果の間には驚異的な食い違いがあることを明らかにした。鉄骨製作や工事の過程の小さな違いが構造の実際の応力状態にかなりの影響を与える。その上、本質的にこれらの違いを予測することはできないこともはっきりした。実験直後には、このように考えた。しかしながら、水槽をぶら下げて荷重を与える方法で行った3層の実大骨組の終局状態までの実験から、鉄骨製作や工事による初期の違いは、最終的な崩壊のふるまいのときには、部材に生じた塑性変形により「拭き去られて」しまう。そして、最終的な崩壊荷重は初期の違いから独立しているように見えた。」

Jacques Heymanは人工物の成り立ちに材料、部材、骨組の塑性変形能力が必要であることを長年訴えてきた。“The Science of Structural Engineering”, 1999, Imperial College Pressに書かれた分かりやすいお話があるので、ここに、引用し和訳する。

建築構造物の設計・施工にあたり、それぞれの国には最低基準としての設計外力が法律に決められている。ただ、優秀な設計者は、本当に将来襲ってくる地震・強風は基準を超えることを覚悟している。そのためにも、構造部材、接合部、構造物全体には靱性つまり塑性変形能力を持たせることが必要であり、塑性変形を起こす構造物の最後の姿を見極めて設計することが非常に重要である。さらに、塑性変形能力に期待したこの理論は、弾性設計を行おうとする構造物にとっても、その手順を裏打ちする重要な理論であることを忘れないでほしい。

### — 参考 —

#### 「三本足のスツールと四本足のスツールの話」

ミルクメイドが三本脚のスツールに座って、牛の乳を搾っている。ミルクメイドの体重が600N(61Kg)のとき、各脚は幾らの力に対して設計すべきであろうか。スツールは対称に支持され、メイドはスツールの中心に座っているとす。答えはもちろん200Nとなる。

同じミルクメイドが今度は四本脚の正方形のスツールに座り、スツールの形は対称、荷重は中心に作用しているとす。このとき各脚は幾らの力に対して設計すべきか。四本脚なので150Nとなるが、これは必ずしも正しい答えではない。粗野につくられ剛なスツールが小屋の堅い床に置かれると、三本の脚は接地し、ミルクメイド



の体重を支えるが、四本目の脚は床から離れるはずである。その隙間がたとえ1mmより小さくても、この脚に生じる力はゼロである。静的な釣合を考えると、対角にあって接地している二本の脚の中央に荷重が作用しているから、浮いている脚の対角にある接地している脚にも力は作用しないことになる。結果として、ミルクメイドは接地している対角の二本の脚によって支えられ、脚に働く力は300Nになる。

スツールの置き方は自由であり、四本のうちどの二本の脚が最初に接地するかは分からない。すべての脚は300Nの力を伝えるとして設計しなければならない。四本脚のスツールは静定構造(Statically determinate structures)を超えた冗長な不静定構造(Statically indeterminate structures)である。釣合式は3つしかないから、釣合式だけで各脚に生じる力を求められるのは、静定構造の三本脚のスツールだけである。ナビエは四本脚の問題を解く方法、つまり弾性論を示した。この問題を解くためには、脚の軸剛性はもちろん、座る部分の板の曲げ剛性などの弾性に関する情報が必要になる。問題は非常に複雑になる。しかし、この難しい方程式は電子計算機を用いれば、簡単に解くことができる。結果として四本の各脚にかかる力はどれも150Nとなるはずである。もちろん、構造技術者が用いる弾性解析のプログラムでは、床は平らで、四本の脚の長さは同じという仮定条件が使われる。弾性解析を行うために、このように単純な仮定を設けることになる。平らでない床に粗野に作られたスツールを置くとし、さらにその置き方は自由とすると、ナビエの弾性論に基づいた方法では脚に働く本当の力を求められないことが分かる。

ここで、スツールの設計に弾性設計法を用いるとし、各脚に作用する軸力は150Nとしてスツールが製作されるとする。許容応力度設計を進めるためには、適当な荷重係数が必要になり、これを3とすると、各脚はここで計算された力の3倍の強さをもつようにつくられる。脚は軸方向に変形能力を持っているとする。各脚の強さが450Nで作られたスツールの中心に徐々に荷重を作用し、その変化の様子を調べる。上に述べてきたように、始めのうちは、二本の脚が荷重を伝達する。荷重が900Nに達したとき、これらの脚は縮み始め、残りの二本の脚が効いてくる。そして、各脚に450Nの力が作用したとき、荷重は1,800Nに達する。

弾性解析結果では各脚に150Nの力が作用するとされ

ているにもかかわらず、実験によると、全荷重が600Nのとき、二本の脚の力はゼロで、残りの二本の力は300Nであるとなる。それにもかかわらず、荷重係数3に相当する1,800Nの荷重に達したときには、各脚の力は均等化される。塑性、変形能力が弾性計算の持つ欠点を助けてくれることが分かる。

構造物に塑性変形能力があるときのみ、弾性設計の持つ問題点は解決される。構造要素のなかに不安定または急激に強度を失う性質があることを脆性というが、もし始めに力を受け持っていた脚が安定して縮む代わりに、座屈して急激に耐力低下を起こすとスツール全体は壊れてしまう。設計法の基本として弾性解析が使われ、各脚が荷重係数3として、 $3 \times 150\text{N}$ の強さでちょうど設計されているとすると、設計者は荷重係数3を信じているから、1,800Nの大男が載ることもできると考える。しかし、実際には、荷重が900Nのとき、スツールの対角にある二本の脚が450Nに達し、これらの脚は座屈してしまう。このときの荷重係数は $900/600$ または1.5となり、これは非常に危険で小さく、スツールは92Kgの男が載ると壊れてしまうことになる。

構造物の設計において重要なことは、構造部材が予想外の力を受けたとき、それまで負担していた力を保持したまま塑性変形できる能力、靱性をそれぞれの部材や骨組に持たせることである。鋼材の脆性的な引張破断、急激に耐力低下を起こす座屈現象、コンクリートのせん断破壊、圧壊などが起きないように設計すべきである。一方、鋼構造の梁のフランジ、超高層ビルの柱、航空機の翼に使われるストリンガーなど、部材に靱性を持たせることが難しい場合は、その構造部材にとって最も厳しい荷重状態、応力状態を考えることが必要である。上に述べた例でいえば、四本脚のスツールの各脚には、全荷重の半分の力が作用することを考えるように。部材断面をこの状態に対し十分に強く設計すれば、部材の座屈、柱のせん断破壊など、危険な壊れ方の可能性は無くなる。

#### 著者紹介



和田 章(わだ・あきら)  
東京工業大学名誉教授、日本学術会議第三部会員  
(専門分野)建築構造学、地震工学、耐震設計、超高層建築、大空間構造





# 平成24年度原子力に関する世論調査の結果

## 原子力利用に対する反対が減少し中立へ移行

日本原子力文化振興財団 横手 光洋

(財)日本原子力文化振興財団では2007年1月から2012年11月にわたって計6回世論調査を続けてきたので、その概要について報告する。なお、数値データについては財団のホームページから参照可能である。  
(<http://www.jaero.or.jp/data/01jigyou/tyousakenkyu.html>)

### 1. 調査方法

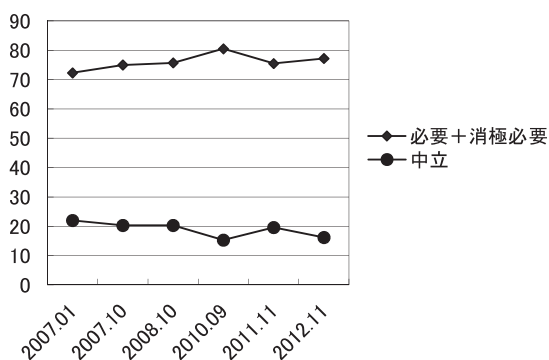
調査の方法の概要は、以下の通りである。

- ・調査方法：留め置き法
- ・調査対象：全国の15歳から79歳の男女個人
- ・サンプリング方法：住宅地図データベースから世帯を抽出し、個人を割り当て
- ・サンプル数：1,200人
- ・実施期間：至近のケースでは2012年10月31日～11月12日

### 2. 調査結果(原子力に対する態度)

#### (1) 放射線利用の必要性

「必要」と「どちらかといえば必要」をあわせて77%であり、前回(2011.11)に比べて、統計的に有意でないがわずかに増加している。(第1図)

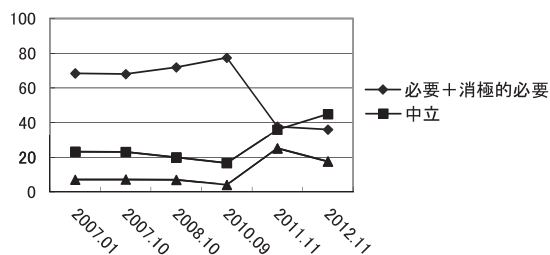


第1図 放射線利用の必要性

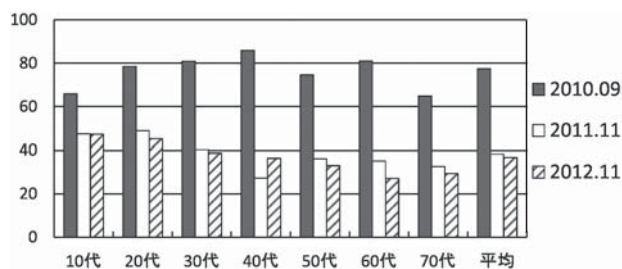
#### (2) 原子力発電の必要性

「必要」と「どちらかといえば必要」をあわせて36%であり、前回(2011.11)に比べてほぼ横ばいであるが、特徴的なことは、反対(消極+積極)が約8%減少し、これが中立に移行していることである。

また、年代別にみると、原子力利用に対する賛成(消



第2図 原子力発電の必要性

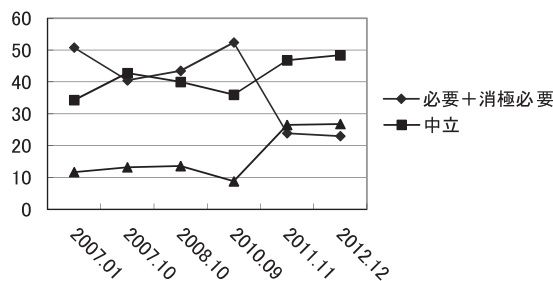


第3図 年代別原子力利用に賛成(消極も含む)

極的賛成も含む)が40代と60代における落ち込みが大きくなっている。(第2, 3図)

#### (3) 核燃料サイクルの必要性

「必要」と「どちらかといえば必要」をあわせて23%であり、前回(2011.11)からほぼ横ばいである。(第4図)



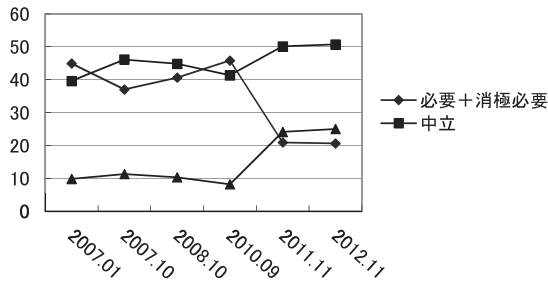
第4図 核燃料サイクルの必要性

#### (4) プルサーマルの必要性

「必要」と「どちらかといえば必要」をあわせて20.6%であり、前回(2011.11)と比べてほぼ横ばいである。(第5図)

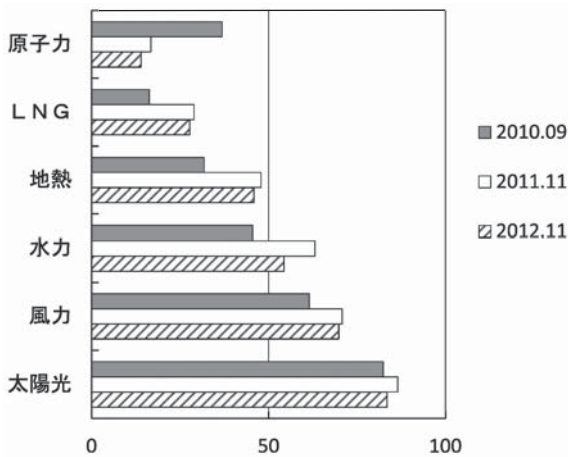
Public Opinion Survey Result in FY 2012; Decrease in Opposition to Nuclear Power: Mitsuhiro YOKOTE.

(2013年 3月26日 受理)



第5図 プルサーマルの必要性

(5) 今後の日本が利用すべきと思うエネルギー(複数回答可)



第6図 今後、日本が活用していくべきと思うエネルギー

震災前(2010.9)に比べて、原子力は大幅に低下し、他は大なり小なり増加しているが、特にLNG、地熱、水力の増加が大きい。(第6図)

### 3. 調査結果(個別の分析)

(1) 社会的価値観(複数回答可)

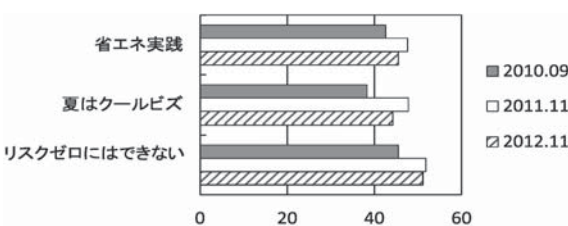
震災前(2010.9)に比べると、いずれも増加しているが、「夏はクールビズ」と「リスクはゼロにできない」が大きめの増加になっている。(第7図)

(2) 関心分野(複数回答可)

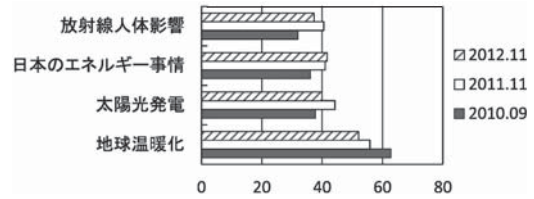
関心分野は、地球温暖化、太陽光発電の開発状況、日本のエネルギー事情、放射線の人体影響の順であるが、震災前(2010.9)に比べて、地球温暖化に関する関心が大きく下がっている。「日本のエネルギー事情」についての関心は少しであるがあがっている。(第8図)

(3) 情報源(複数回答)

- ・原子力やエネルギーの情報源として、テレビ、新聞、インターネットの順であり、順位は震災前(2010.9)



第7図 科学技術、環境などに対する考え方

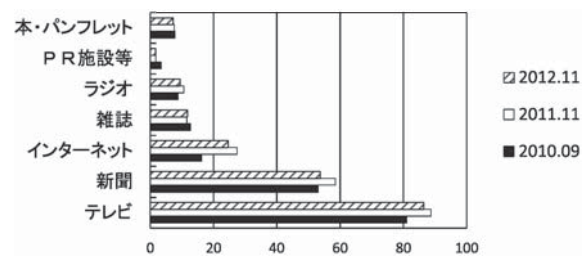


第8図 原子力、放射線、エネルギー分野への関心

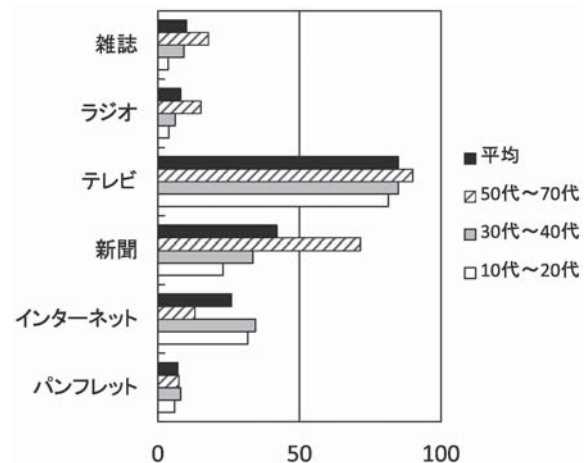
と変わっていないが、テレビ、インターネットが大きく増加している。

- ・理解に役立つ情報源

インターネットは50代から70代で有意に低く、新聞では50代から70代で有意に高く、ラジオ、雑誌は50代から70代で有意に高い(第9、10図)



第9図 原子力やエネルギーの情報源



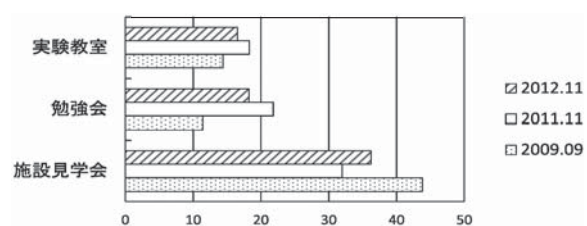
第10図 年代別理解に役立つ情報源

(4) 参加したいイベント(複数回答可)

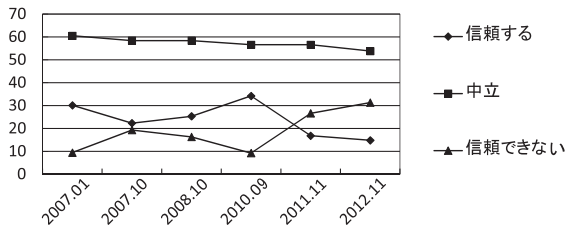
施設見学会、勉強会、実験教室の順であるが、震災前(2010.9)に比べて、勉強会は増加し、施設見学会が大きく減少したが少しもどってきている。(第11図)

(5) 専門家に対する信頼度

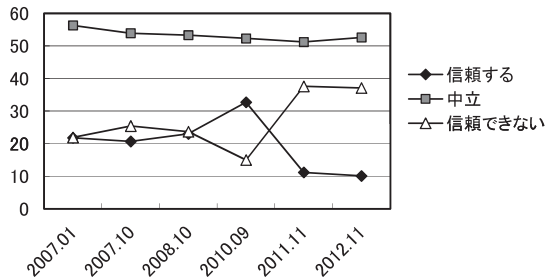
専門家や国・自治体に対する信頼度は前回(2011.11)から若干下がり気味であるが大きな変化は見られず、低



第11図 参加してみたいイベント



第12図 原子力に携わる専門家に対する信頼



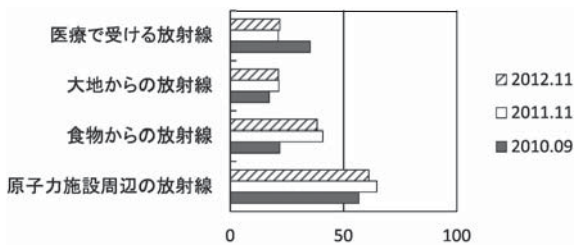
第13図 国や自治体に対する信頼

位安定傾向にある。(第12, 13図)

(6) リスク認知(複数回答可)

放射線に関するリスク認知は震災前(2010.9)と比べると、

- ・食物からの放射線のリスク認知が大幅に増加



第14図 放射線に対し不安に思う事柄

- ・逆に医療で受ける放射線のリスク認知が大幅に減少している。(第14図)

4. 福島事故関係の質問に対する回答

前回(2011.11)から、福島事故関連の質問を追加したので、紹介する。

(1) 福島関係の情報取得の積極性

昨年度に比べて、本年度は19ポイント近く積極的に情報を取得しようとする人の割合が減少している。(第15図)

(2) 福島事故に起因して心配していること

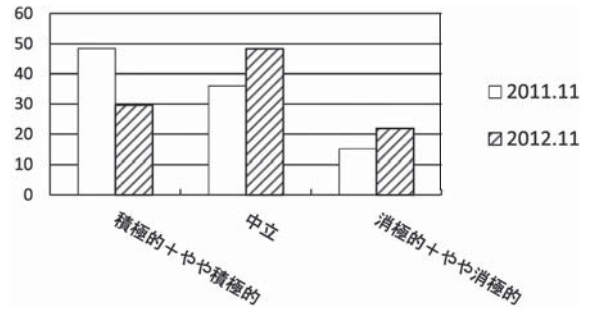
一番心配していることは、放射線の影響についてはあるが、前回(2011.11)と比較すると

- ・被災者の生活, 居住地域の安全性, 電気代の値上げへの心配が増加し,
- ・事故の収束, 電力不足, 日本経済への影響等への心配が減少している,

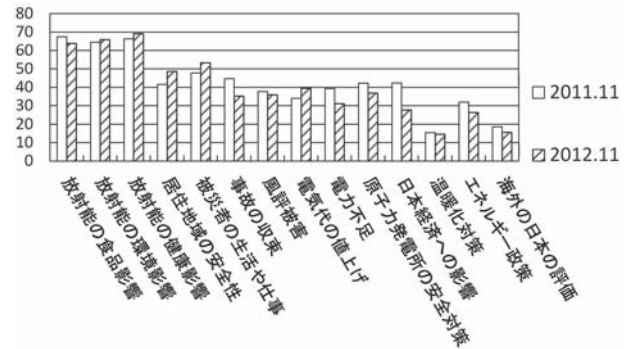
という結果が出ている。(第16図)

5. おわりに

今回の調査結果の震災前(2010.9)や前回(2011.11)との比較での特記事項として、下記の項目が挙げられる。



第15図 福島関係の情報取得に関する積極性



第16図 福島事故関連で心配していること

- ・「原子力発電の必要性」に賛成する人の割合は横ばいであるが、反対する人の割合は減少している。
- ・「社会的価値観」では、「夏はクールビズ」と「リスクはゼロにできない」が少し増加している。
- ・「原子力, 放射線, エネルギー」への関心では、震災前(2010.9)に比べて、地球温暖化に関する関心が大きく下がっている。「日本のエネルギー事情」についての関心は少しであるが増加している。
- ・「参加したいイベント」では震災前(2010.9)に比べて、勉強会が増加し、施設見学会が大きく減少したが少しもどってきている。
- ・放射線に関するリスク認知では震災前(2010.9)と比べると、食物からの放射線のリスク認知が大幅に増加し、医療で受ける放射線のリスク認知が大幅に減少している。
- ・「福島事故関連情報取得の積極性」では、積極的に情報を得ようとしている人の割合が減少し、「福島事故関連」で心配していることとして、被災者の生活, 電力不足, 電気代の値上げをあげている人が増加している。

なお、本調査は、電力中央研究所の委託により日本原子力文化振興財団が実施したものである。

著者紹介



横手光洋(よこて・みつひろ)  
日本原子力文化振興財団 理事  
(専門分野/関心分野)原子力発電所運転管理, 原子力広報





## RIC 2013 (Regulatory Information Conference ; 規制情報会議) に出席して



エネルギー総合工学研究所 松井 一秋

25周年記念となった2013年の RIC への参加者国数は新たにデンマークを加えて33か国、登録者数で3,200名強と巨大なもので、米国財政問題による連邦予算削減の中にもかかわらず、米国原子力規制庁(NRC)の力の入れどころが分かる。ワシントン DC の北側のベセスダにある NRC の本部の目と鼻の先にあるホテルとそれに付随する会議場で3月の12日から14日までの三日間の開催であった。

初日と二日目の午前は5人の規制委員のプレナリースピーチならびに、NRC, NEI, 運転事業者によるパネルを設けていた。初日と二日の午後と三日目の午前は技術セッションで、モデレーターのほか技術リードをNRCが用意し、5から6人のパネリストはNRC, DOE, NEI, 事業者、いわゆるメーカーから、国際的なセッションでは各国の関係者や国際機関、IAEAやNEAからの方々に、大学関係者はほとんど一人も見かけない。被規制活動たる産業と規制者の対話という性格からすれば当然であるが、我が国のように何かと学者が引っ張り出される傾向とは大きく異なる。ホールの外のホワイトには、NRCの各事業紹介のポスターが並んでいて、説明者が対応し、関係資料が積まれている。

被規制者と横並びでの公平、公開、透明性を確保し、かつ適正な安全を向上していくという姿勢が如実であり、翻って我が国の状況とは比べものにならないが、良いお手本があるということでもあるように思う。

### コミッショナーのスピーチ(3月12日と13日の午前中)

前任の委員長ヤツコは、他の4人の委員や事務局からも総好かんを食らい、昨年辞任して、7月に地質学者であるアン・マクファーレン女史がオバマ大統領から任命され、続いて上院でも承認されていた。新委員長であるマクファーレンは経歴も准教授であったが、放射性廃棄物問題の見直しということでオバマ大統領の肝いりで設置されたブルーリボン委員会(BRC)の委員に地質の専門家として任命されていたという経緯があった。5人の委員は政治的任命によるが常に2党対立ということではなく、それぞれの信念に基づく言動であるが、前任のヤツコ氏は高レベル廃棄物の地層処分プロジェクトであった「ヤッカ・マウンテン」をつぶすために民主党長老

のリード上院議員により送り込まれた刺客とみなされていた。その後任かつ地質学者ということ、加えて、もともと委員長の任に値するのかわられていたが、どちらかというとその発言は安全運転をうかがわせるものであった。なお彼女の任期は前任者の残りということで今年の6月いっぱいである。

しかし開口一番が、予測不能性で福島を意識してのこととは思われるが、地層処分に対する彼女の姿勢を示しているかもしれない。現在の廃炉についてのNRC規則について、60年内という期間は長すぎるとして再検討をとっている。「廃棄物への確信」、信頼を発展させる明快な言語による公衆との向き合い、地質学のパラダイムチェンジ、福島関係では自然災害の最新情報による再評価などに言及した。

もう一人の女性委員のスベニスキはにこりもしない小柄な女性で、安全保障関係のバックグラウンドではあるが、ジョークの連発から始めたスピーチであった。ただし、舟橋洋一氏の「メルトダウン—カウントダウン」の英訳が出たのか彼のインタビューについて言及し、人とリーダーシップの重要性を指摘した。

確率論的安全評価の大家であるMIT教授のアポストラキスの話は聞いていないが、福島は決して低頻度事象ではなかったと言ったようである。確かに千年に一度ぐらいたと10のマイナス3乗で、まあ低頻度、例えばマイナス6乗とかと比べるとはるかに大きいのは確かである。

元エネルギー省で、NERI、第4世代など米国原子力開発再興に功のあったマグウッドは、今年のRICはわざわざ福島事故を避けての企画であったがとして、国会事故調の黒川レポートについて言及、さらに本人とも面

談して痛く感銘したようである。しかし彼の黒川レポートの取り上げ方は、日本、日本人ということに限らず、ひろく原子力関係者全員に対して、個人としても組織としても己はなんなのか、正しいことを、なすべきことを行っているのか自分に問いかけろというものである。(Ask what you are)過去の成功、経験に過信してはならない、これは黒川氏の日本社会、日本人への痛烈な指弾に対してのマグウツの翻訳、反応と見るべきであろう。

オステンドルフ氏は適正な防護はゼロリスクを意味しない、コストと便益のバランスが求められるとした。また政府事故調報告とNRCタスクフォースの報告(NTTF)の勧告の違いの分析についても言及した。

二日目のプレナリーパネル(NRC, 運転事業者, NEI)でのピエトランジェロ氏(NEI)は、日本から帰ったばかりとして、日本の事業者は規制側との会議に関して不平ばかり言ってないで、建設的な意見をテーブルに上げるべきであると発言した。

#### 更田委員のプレゼン(3月13日午前12時より12時45分)

二日目の昼食時に新規制委員の更田氏の、いわゆる新安全基準骨子案の紹介があったが、その開催の噂はあったものの、前日までアナウンスはなく、東京から持ってきたと思われるチラシが二日目に突然積まれていた。規制庁の山形氏の司会で始まったプレゼンは使ったスライドはほぼ内容としては日本語版と同じようではあったが、「性能要求」を大幅に取り入れた格好で、例えばフィルタ・ベントにしてもマストではないと発言している。火災についての質問で、米国では除外規定があるが今回の案ではどうなっていると聞かれて、3月末の会合から議論を始めることになっていると更田氏は答えた。本件については、米国では多くのプラントが除外の対象となっていること、火災PRAにより他のリスク低減策の採用が認められているとのことである。

更田委員の発言は、パブコメやシンポなどの反応を見て、微妙に方向を調整しているのではないかとかがわかるものであった。会場雰囲気全般としては、無音の日本人参加者が多く、重苦しい雰囲気ではあったが誠実な受け答えもあり、良好な雰囲気での幕引きとなったと思われる。立ち見の聴衆も多く、質問者はすべて非日本人であった。

骨子案についてのパブリックコメントは4,000件以上寄せられているが、取りまとめと分析中で論評は避けた。停止中の原発の再開について、新基準に基づかないPRAが要求されるが、日本にはまだリスク情報の活用経験に乏しいとした。

しかしこちらの関係者によると、日本の新安全基準の米国への跳ね返りを懸念し、日本の厳しい規制について

の説明責任を果たすべきで、スライドで説明されてもねという声もあると聞いた。マーク1,2型のBWRは米国に31基もあるようで、フィルタ・ベントなどで日本側で厳しい要求となるとその影響がありうるので心配ということのようである。なお本件は翌週のNRC委員会で投票となり、フィルタ・ベントの採用という事務局提案は3対2で否決され、一種の棚上げとなった。ベント強化の指示はすでに昨年施行されている。マクファーレン委員長は賛成、マグウツは棚上げ案ということであった。

#### 安全文化についてのNRC政策声明(TH-36)

INPOと共同して、安全文化の定義から始め、安全文化と運転事象には明確な結びつきがあるとして、事業者や規制者の「共通言語」イニシアティブを立ち上げ、何回かのワークショップを経て、9つの特色と意思決定としてまとめている。国会事故調なども参考にしていて、そのまともな取り上げ方には驚いた。事業者代表としてであろうNFS(燃料加工)の担当は、安全文化の膾炙にあたっては、現場の環境や歴史が優先することにはなるとしていた。

#### おわりに

何もかもNRCを見習ってなどというのは子供じみているのだが、今回の事故を受けて、しがらみを一掃しての出直しをとする意気込みもあると思うものの、彼我の違いには愕然とせざるを得ない。その米国にしても、産業界(タワーズ・ベリン報告, 1994年)や議会の突き上げだけでなく、自助努力による改革の積み上げにより、今日の、我々から見ると羨ましい体制が出来上がっているわけで、まさにローマは一日にして成らずではないかと感ずるところである。

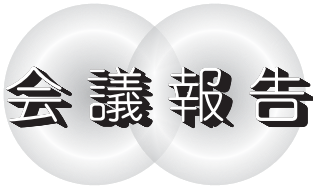
我が国の規制は事業者のとりこになっていたというのが、国会事故調の黒川レポートの糾弾で、異論のあるところだが、関係者間の議論が社会的にも納得のいくものとなるような、まさにすべての関係者の努力が今求められているはずである。産業界を中心とした技術的な見地や専門性を取り込むための、規制当局と産業界とのコミュニケーションの重要性は変わらない。

なお、本会議の資料などは、下記サイトから入手できる。  
<https://ric.nrc-gateway.gov/agenda.aspx>

#### 著者紹介

松井一秋(まつい・かずあき)  
エネルギー総合工学研究所  
(専門分野/関心分野)エネルギー分析・研究開発, 原子力エネルギー利用など





## 安全性と持続可能性を備えた高速炉サイクル の実用化を目指して

International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles  
—Safe Technologies and Sustainable Scenarios (FR13)

2013年3月4～7日(パリ, フランス)ー

IAEAの主催、フランス原子力・代替エネルギー庁(CEA)とフランス原子力学会の実施による高速炉システムに関する国際会議(FR13)が、福島第一原子力発電所の事故後、原子力の安全性と必要性が議論される中、2013年3月4～7日の4日間にわたりパリで開かれた。本会議は、2009年12月に京都で開かれたFR09に続くもので、会議の参加者は、前回のFR09からさらに増えて26か国4国際機関から650名にも上った。日本からは約60人が参加した。会議では、基調講演9件、招待講演57件を含む約220件の口頭発表と約155件のポスター発表があり、発表論文は375件に達した。

オープニングセッションでは、CEAのベア大会議長からの「福島第一の事故があった中でも、炭酸ガス放出の削減などの観点からフランスでは高速炉の開発を止めることはなく、安全性に重点を置き開発を進めている」との開会挨拶の後、フランス環境・持続可能開発・エネルギー省のミシェル総局長が、高速炉サイクル開発の歴史と現状を紹介しFR13の重要性を説いた。この後、主催者を代表してIAEAの天野事務局長(ビデオメッセージ)、第4世代原子力システムに関する国際フォーラム(GIF)を代表して佐賀山前議長などから、それぞれ高速炉サイクル開発の重要性とFR13への期待が表明された。

プレナリーセッションでは、日本の近藤原子力委員長の報告を含め6か国2国際機関から基調講演が行われ、最新の高速炉サイクルの開発状況が紹介された。ナトリウム冷却高速炉(SFR)について、中国では実験炉の建設を終え実証炉CFR-600の設計を開始しており、2025年頃には運転を開始する予定である。フランスは600MWeの技術実証炉ASTRID(マルクールに建設予定、技術上および設計上の技術革新の実証を目指すとともにアクチノイドの燃焼を段階的に実証する炉)による安全性の実証を計画しており、2016年頃より詳細設計に入り、運開は2025年の予定である。インドでは原型炉PFBR(500MWe)が2014年には臨界に達する見通しであり、商用炉としてCFBR(2×500MWe)を計画中である。ロシアはBN-800が2014年の運開を目指しており、鉛ビスマス冷却高速炉SVBR-100が2017年に、鉛冷却高速炉BREST-300が2020年に運開を目指している。米国では原子力の研究開発プログラムのためのロードマップがまとめられており、具体的なR&Dとして小型モジュール炉(SMR)、新材料、先進的なエネルギー転換システムなどが挙げられている。

テクニカルセッションでは、高速炉設計、安全性、材料、燃料サイクル、シナリオと経済性、運転と廃炉など10個の分野に分けて発表が行われ、活発な議論が交わされた。FR13は核エネルギーの有効利用と廃棄物の最適化を目的に安全性と持続性に焦点を当てた会議であり、安全性では、第4世代炉に向けた安全要件の国際標準化を図った安全設計クライテリア(SDC)が大きなトピックスとなった。SFRの技術開発の最近の傾向として、受動的な安全特性(自然循環など)および炉心溶融時のコアキャッチャなどのシビアアクシデント対策が着目され、炉心・燃料開発の分野では、溶融燃料の早期排出やボイド反応度抑制が着目されている。また、近年のSFRプロジェクトの中では、「もんじゅ」と「常陽」の再起動への期待感が示された。

SDCに関するパネルディスカッションでは、GIFのアクティビティとして、SFRのSDCがIAEAの安全基準の階層構造を参考に作成され、特にナトリウムや高速炉に特有な内容の充実化が図られたことが紹介された。また、第3世代炉に比べ安全性が高まっていることをより明確に示すべきという観点が示された。今後に向けては、SDCの構築や国際標準化だけでなく、第4世代炉において安全性をいかに実効的に高められるか、またその実証性が重要とのメッセージが発せられた。一方、先進的核燃料サイクルの持続可能性に関するパネルディスカッションでは、国によって燃料サイクル全体や部分的な開発が行われている点が報告され、世界的な協力の重要性が表明された。福島第一の事故を受けて、公衆の理解を得るためには、資源の再利用と放射性廃棄物の管理が重要な視点であるとの指摘がなされた。

ヤングジェネレーションイベントでは、いかに一般大衆と対話するかについて議論が行われ、FR会議が世界規模のコミュニティとして重要な役割を今後も果たすこと、教育が重要な役割を持つことが結論としてまとめられた。

最後に、FR13は世界の高速炉技術を高める上で重要なフレームワークであったことが確認され、会議に多くの参加者があったことは、高速炉開発の拡大を反映しており、若い研究者の存在が未来につなぐ上で重要であることがFR13事務局より表明された。次回の会議(FR17)は2017年、ロシアで開催される予定である。

(日本原子力研究開発機構・小野 清,  
2013年4月1日記)



## 新刊紹介 フランス原子力庁 加圧水型炉、高速中性子炉の核燃料工学

Henri Bailly, Denise Mesessier[監修], Claude Prunier 著, 今野廣一[訳], 751 p. (日本語版2012.11.23), 丸善プラネット, (定価: 本体6,000円+税)  
ISBN 978-4-86345-145-2

本の題目通り, フランス原子力庁(CEA)が傘下の専門家を中心に編集した実用的な専門家向けの教科書である。もともと1996年にフランス語で作成された原本が, フランス語から英訳され, その日本語訳として昨年11月に刊行されたもの。

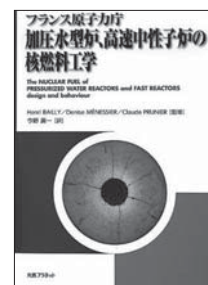
本書は, 加圧水型炉(PWR), 高速中性子炉(FR)の炉型別に編集したものでなく, 燃料としての機能で解説していることが特徴的である。序は, 「FR燃料はゼロから開発が始められたが, PWR燃料はWESTINGHOUSE社によって確立された初期の知見に基づいて開発された。」という説明から始まり, 結言では「FRの混合酸化物燃料の製造と照射の実績から蓄えられた知識の積み上げで, PWRでのプルトニウムのリサイクルは急速に実用化することができた。さらに, 運転パラメータの変更なしにプルトニウム含有率を上昇させるのは, これらの燃料には柔軟性と適合性があることを示している。」とまとめている。

構成は, 第I部から第VIII部まで48章(634ページ)からなり, かつての百科事典形式と言える。多くの文献が各部ごと独立に記載されていることもこの本の特徴で使いやすい。

基本構成(それぞれの部は5~7章)は, 第I部 燃料および燃料研究, 第II部 燃料製造, 第III部 燃料物質の炉内でのふるまい, 第IV部 被覆管および構造材料, 第V部 加圧水型原子炉用燃料集合体, 第VI部 高速原子炉用燃料集合体, 第VII部 吸収体要素, 第VIII部 使用済燃料管理, 第IX部 付録の1: 燃料要素計算の基礎, 第X部 付録の2: 燃料棒と燃料ピンの照射後試験, 第XI部 付録の3: 核分裂ガス放出モデルの方程式である。核燃料工学で重要な燃料被覆管と構造材料, 炉型と燃料集合体について多くのページを割いており燃料工学を知る上で有用な図書である。

多くの専門家(主にCEA所属)による分担執筆であり, その背後には多くの経験・実績が詰まっている。この図書は, 核燃料とその関連分野の設計・開発・研究者が必要部分を選択的に読むことを想定して作られている。読み手の関心により毎回読み取るものが変わると予想される。炉心設計・安全解析分野の専門家にとっても, 燃料との係わりを把握するためにつつきやすく有用といえる。多くの図表, 写真があり, 関係者にはよい教科書として使える。全体として日本語訳は「かたい」がこれは訳者の方針であろう。「訳註, あとがき・参考文献」からは, 訳者の原子力利用・開発への情熱が感じられ, この部分は読者にとってはボーナスと言えよう。

(東芝原子力エンジニアリング(株)・川島正俊)



## 理工系のための原子力の疑問62

関本 博, 222 p. (2013.3), サイエンスアイ新書 SIS-274 (定価1,100円+税) ISBN 978-4-7973-4945-0

福島第一原子力発電所事故が起き, 世論は大きく脱原発となり, 原子力政策は大きく動く可能性があり, 多くの国民が原子力をより深く理解する必要がでてきた。

いままでの大きな事故と同様に, 今回も人間の誤りが指摘されるであろう。これを素直に反省し, 改善することにより安全性は格段に高められる。また, 人間の誤りや故障に影響されないような原子炉も提案されている。

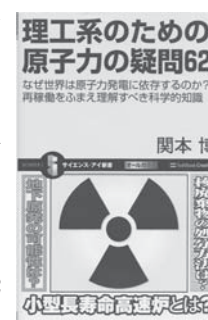
いま日本で, 脱原発を実行したとしても, 原子力の圧倒的

な能力を考えると, 国産エネルギー資源が乏しい日本では, かならず原子力を利用すると思われる。

原子力は, 安全以外にも廃棄物処理や核拡散・核ジャックといった問題を抱えており, 将来どのように利用していくかは重要な問題である。

本書は以上のような事柄について62の疑問に答える形式でわかりやすく説明している。ただしそのためには, ある程度の科学的な説明をする必要があり, 原子力発電の原理については基礎から丁寧に説明なされている。

(元日本原子力研究所・関 泰)



## アトモス時評

## 原子力の再出発は変化の受け入れから

大牟田 透(おおむた・とおる)

朝日新聞社 論説委員

京都大学理学部(原子核物理学), 文学部(社会学)卒。地方支局, 東京本社科学部, 福岡報道センター, アメリカ総局(ワシントン)などを経て, 2013年2月から現職。福島第一原発事故時は東京の科学医療部長だった。



東日本大震災・福島第一原発事故発生から3カ月後の2011年6月に, 東京本社の科学医療部長(当時の呼称は科学医療エディター)を退き, 経営企画室に移った。編集部門を離れるのは, 1984年の入社以来初めてのことであった。地震前に内示されていた異動を1カ月余遅らせてもらったものの, 「このタイミングで紙面づくりの最前線を離れることになる」と天を仰ぐ思いだった。

1年7カ月余で現職の論説委員へ異動することになったときに, このアトモス時評のお話をいただいた。各種事故調査委員会の活動など, 編集部門を離れていた間に起きた様々な動きに関しては, 一般読者と同程度の情報にしか触れてこなかった。この間の出来事等に関連してはトンチンカンな論評をする恐れ, なきにしてもあらずだ。現在キャッチアップを急いでいるのでご海容いただければ幸いである。

本論に入ろう。昨年11月号から今年の2月号まで, 4冊のアトモスを通読した。最も優れた論考と感じたのは11月号の北村正晴氏による「原子力安全論理の再構築とレジリエンススペースの安全学」であった。1月号のアトモス時評で日本経済新聞の滝順一氏も取り上げている。今後, 原子力安全について考え, 発言するすべての関係者に一読を勧めたい。

北村氏の論考から重要記述をいくつか抜き出す。

- 「元々は知られていた7層の安全論理が, 現実には3層だけの論理に縮退し劣化していたのはなぜか?」という形で問われなければならない。
- 今後は「知りつつ沈黙している」事態を回避するための別な対策が必要である。
- これまでに経験されてきた「想定外」事象は実際には「想定除外」扱いを受けた事象である。

北村氏はこうした問題意識に基づいて, 原発の安全性向上には「システムも環境も変化するし脅威はいつでも襲ってくる可能性がある」という基本認識に立って安全を考える「レジリエンスエンジニアリング」が有効と説いている。

論考を読んで, 以前から原発取材のたびに感じていた隔靴搔痒感の正体がわかった。こちらが社会環境やリスク認識の変化に基づいて尋ねても, 事業者側は「原発は成熟した技術であり, 今さら改良したり対策を講じたりする必要はない」という地点から一歩も歩み寄らないのである。議論のかみ合う道理がない。

外部環境もリスク認識も大きく変わっているのに, 即応を怠ってきたのが日本の原発ではなかったか。「今後の安全論理においては『変化』への対処が本質的に重点である」との北村氏の主張に賛同するものである。

例えば, 1950年代の原発黎明期からしばらくは, 核拡散も原発への攻撃も国家を対象に考えればよかった。今はテロリスト集団への警戒を怠れない。「東日本大震災におけるエネルギーインフラの被害調査と問題分析」(小泉安郎氏ほか, アトモス12月号)によると, 米国原子力規制委員会は2001年の9.11同時多発テロの後, テロによる全電源喪失の危険性を指摘し, いかなる状況下でも炉心冷却維持ができるよう事業者に対応を求め, 日本にも伝達していたという。しかし, 日本はこうした情報を生かさなかった。

地震や活断層に対するリスク認識も随分変わってきた。地球の表面はマントル対流によって動く何枚かの岩板(プレート)で覆われているというプレートテクトニクスは今でこそ常識だが, 地球科学で定着したのは60年代後半以降のことだ。断層はかつて上下にずれるものと思われていたし, 東日本大震災以前に日本周辺でマグニチュード9クラスの巨大地震が起きうると考えていた地震学者は多くはなかった。

外部環境やリスク認識は変化するのが当然だ。では, 今の原発は本質的に, 現在の外部環境や厳しくなったリスク認識に対応できる成熟した技術なのだろうか。ここに使用済み核燃料の処分問題も加えられるだろう。

これらの問題を真正面からとらえ, 米国は10年以上前に「第4世代原子炉」を提唱した。核拡散抵抗性やより高い安全性, 廃棄物の減量などを目指している。国際的な

枠組みには日本も加わっているが、これまでは事業者が全くといっていいほど関心を示さず、お付き合いの域を出なかった。今回読んだ4冊のアトモスにも問題意識は希薄だった。

福島第一原発事故を受けて、社会が原子力関連技術者に期待しているのは、一部の論考に見られた「同様の事態を二度と起こさせないように対応することは技術的に不可能なことではなく、技術の敗北ではない」といった強弁ではない。

北村氏が指摘している通り、海外でも国内でも外部環境やリスク認識の変化に伴って安全上の課題が指摘されており、対応する技術もあったというのなら、なぜ手が打たれなかったのかを明らかにすることだ。その上で、精神論的な反省に終わらせるのではなく、安全上の指摘や教訓にきちんと即応するために必要な仕組みを作ってみせなければ信頼は回復できない。

事故直後、疑問に思ったのは「フクシマの教訓を生かし、大地震に直撃されてもテロリストに襲われても原理的に安全に止まり、放射性物質も漏らしにくい新しい原発を開発してみせる」といった声がいっこうに聞こえてこないことだった。第4世代原子炉が軽視されてきたことも一脈通じる。

電気事業者が既存原発の停止で身動きがとれない状況では現実味に欠けるということかも知れないが、思い切った飛躍を図る発想があっている。

その点で、アトモス1月号掲載の若手座談会「どうしたら若い人たちに原子力の魅力を伝えられるか」には、その萌芽が感じられ、好ましかった。「より安全な、パッシブセーフティを押し進めたい」「事故後、産業界は何にチャレンジしていくかということのアピールが少ない」「軽水炉にしてもまだまだ研究してチャレンジしなければいけない課題がものすごくたくさんある」などの発言が光る。

もしかすると、短期あるいは中期的に日本には原発ゼロの時代が来るかも知れない。だが、たとえそんな事態になっても長期的にみると人類が原子力を完全に捨て去ることはないのではないかと。ただ、遠い将来も、現在のように火力発電所のボイラーを原子炉に置き換えただけのプリミティブな利用が続いているとは考えにくい。膨大なポテンシャルがあるが扱いを間違えると厄介な原子力を、どんなブレークスルーで使いこなすかが問われている。

だから、若手座談会の一人が言うように「原子力のメリットとデメリットの両方を、きちんと理解してもらうことが必要」なのだ。それこそが原子力の本質であり、最大のチャレンジと考える。

11月号に「原子力産業界における人材育成の課題」を寄せた徳田充氏も「今後、我が国が最先端の技術開発を行

い、安全技術の開発導入や新型安全炉とも呼ぶべきものの開発など、核エネルギーの安全な利用拡大を世界の中心となって推進していく必要があるのではないかと説く。その意気や良し、である。

徳田氏はまた、事故後、電気事業者が「原子力安全」「防災」「危機管理」に軸足を置いた人材育成に移行してきているとして、緊急時対応要員に対して過酷事故に備えた対応能力(プラントの設計思想や事故後の炉心状態などに関する知識)の養成、過酷事故事象を採り入れた実践的な訓練の実施などの対応を行っていると報告した。「今さらか」の思いはあるが、福島をめぐる東京電力の対応を考えると間違いなく喫緊の課題である。十分な習熟を期待したい。

政府事故調を率いた畑村洋太郎氏は1月号の「福島原発事故が教えるもの」で、「他分野の知見を十分に学び取るだけの謙虚さと柔軟さを持たなければならない」「事故は起こるものとして、どのようなことが起こるのか、その被害を最小にするにはどうすればよいのか、という逆方向の考え方が必要である」「原発に関する知見を常に最新のものに更新し、原発の技術を生きている状態に保たなければならない」とまとめている。

傷ついた原子力技術に関して、大きな治療方針は示されたというべきであろう。それを具体的な処方箋に落とし込む作業を進めていただきたい。

最後に、どうしても解せぬ点について。

12月号の「『福島の事故は、なぜ防止できるのか』について」と題する解説である。米国の論文を紹介したものであって大変参考になった。

ただ、文献リストを見ると、原論文名は「Why Fukushima was Preventable?」(実際は?はない)とある。これが邦題で「なぜ防止できるのか」と現在形になっている理由が分からないのだ。「福島の事故が防ぎ得たわけ」とでも過去形で訳すべきではないのだろうか。原論文を見ると、「もし東京電力や原子力安全・保安院が国際的な最良慣行(ベストプラクティス)と指針に従っていれば、原発が巨大津波に襲われる可能性は予知できたとであろうと考えられる」とあり、明らかに将来的な防止可能性ではなく、地震に先立つ予見・防止可能性を論じた論文と思われるのだ。

アトモスの解説は原論文が再発防止策をまとめたものであるかのように表現しているが、これは歪曲ではないだろうか。

著者ならびに編集部の見解を伺いたい。

(2013年2月19日 記)

#### 【お知らせ】

本頁 右段 下から20行目の指摘事項に関する、著者、編集委員会の見解は、次ページを参照下さい。



## 本号50～51ページに掲載のアトモス時評(大牟田 透氏)の指摘事項について

本号50～51ページに掲載の大牟田透氏執筆のアトモス時評「原子力の再出発は変化の受け入れから」で、2012年12月号に掲載した斯波正誼氏執筆の解説「『福島はなぜ防ぎ得たのか』について」の表題について、コメントがありました。

大牟田 透氏のコメントならびに斯波正誼氏の回答、編集委員会からの回答を記載します。

### ●大牟田氏のコメント●

最後に、どうしても解せぬ点について。

12月号の「『福島はなぜ防ぎ得たのか』について」と題する解説である。米国の論文を紹介したものであって大変参考になった。

ただ、文献リストを見ると、原論文名は「Why Fukushima was Preventable?」(実際は?はない)とある。これが邦題で「なぜ防ぎ得たのか」と現在形になっている理由が分からないのだ。「福島はなぜ防ぎ得たのか」とでも過去形で訳すべきではないのだろうか。原論文を見ると、「もし東京電力や原子力安全・保安院が国際的な最良慣行(ベストプラクティス)と指針に従っていれば、原発が巨大津波に襲われる可能性は予知できたであろうと考えられる」とあり、明らかに将来的な防止可能性ではなく、地震に先立つ予見・防止可能性を論じた論文と思われるのだ。

アトモスの解説は原論文が再発防止策をまとめたものであるかのように表現しているが、これは歪曲ではないだろうか。

著者ならびに編集部の見解を伺いたい。

### ●斯波氏(著者)からの見解●

ご照会のありました私の論文の表題の件につき申し上げます。大牟田記者は現論文に鑑み、「防ぎ得たのか」ではなく、「防ぎできたか」とすべきであると指摘されましたが、プリサイスに翻訳すれば全くそのとおりであります。ただ、決して反論するわけではありませんが、日本語では時制の違いに鈍感で、私も「できたか」としななければならないと思っております。学会のご意見にもよりましようが、直せということであれば従います。同様に原論文の著者が再発の防止に全く関心がないとは考えにくく、現に海外には多くの稼働中の原子炉が存在する事実もあるので、12月号掲載の他の論文も同様でありましようが、この論文が事故の原因の究明に絞るべきとのご指摘は拝聴いたします。

### ◆編集委員会校閲コメントおよび対応◆

- ・編集過程において、以下の校閲コメントを著者に投げかけました。

#### 【校閲コメント】

「なぜ福島は防ぎ得たのか」(文献1)のタイトルと矛盾しています。文献が正しいとすれば、「なぜ福島は防ぎ得たのか」ではないでしょうか。

- ・これに対して著者からの回答；

#### 【著者回答】

ご指摘のとおり、表題の和訳も原文と同様の肯定文にするべきであります。従って「福島はなぜ防ぎ得たのか?」に変更いたします。

- ・これに対する校閲所感と対応

#### 【著者回答に対する校閲所感・対応】

この回答は「防ぎ得たのか」と現在形になっていたもので、多少違和感があったが、「原文も、肯定文であったので、それに従った」とのことで、了解し、再コメントはしなかった。

日本原子力学会誌 ATOMOS 編集委員会(2013年3月22日)