

### 巻頭言

- 1 新会長就任挨拶「リーダーシップを發揮し信頼の回復を」 野村茂雄

### 時論

- 2 長期エネルギー需給計画とインテグレーション

「エネルギー基本計画」の議論が進んでいる。日本の長期エネルギー需給計画について考えてみる。 荻本和彦

### 解説

- 10 推進派と反対派の協働的分業を—「ポスト福島事故」をめぐる社会的課題

福島原発事故では政府の危機管理体制に問題があり、安全向上をめざす知見が反映されなかった。それはなぜか。今後はどうすればいいのか。 佐田 務

- 15 福島第一原子力発電所事故を踏まえた関西電力における安全確保対策の取組状況

事故を受けて関西電力の各原子力発電所ではただちに緊急安全対策に着手し、その後も継続的に安全確保対策を実施してきた。当社における安全確保対策の取組状況について説明する。 吉原健介

- 21 原子力災害の再発を防ぐ(その1)—地震安全ロードマップ策定の意義と重要性

東日本大震災と中越沖地震ではともに、原子力発電所が設計の想定を大きく超えた地震動に見舞われた。このような設計想定を超える地震に対しては、どのように安全を確保すべきだろうか。 宮野 廣, 中村隆夫, 成宮祥介

- 26 内外における発電電分離の動向と評価—求められる客観的なメリット・デメリット比較

発電電分離をすればバラ色の将来が実現するかなのような情緒的な議論がまかり通っている。しかし客観的なデータに基づく限り、発電電分離によりデメリットを上回るメリットが得られるとは考えにくい。 矢島正之

表紙の絵(染屏風)「初夏の実り」 製作者 池辺絹江

【製作者より】 初夏の陽を受け、大きく葉を広げ伸び伸びと育つ“ズッキーニ”。やわらかい色合いの花と次々に実をつけ大きくなってゆく様子を見るのは、毎日楽しみでした。暑い夏に元気を分けてもらった様な気がします。種をいただいた友に感謝！です。

### 解説

- 31 欧州での原子力発電の現状と今後の見通し

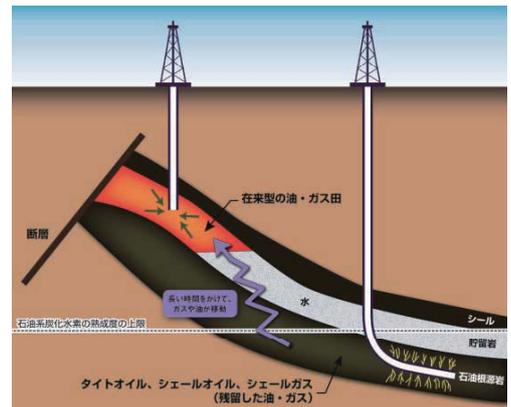
福島での事故後、ドイツは脱原子力に回帰し、イタリアは新規計画を断念した。しかしフィンランドや英国では新規建設工事や計画が続行され、中欧・東欧諸国でも新規建設の動きは止まっていない。 東海邦博

- 37 21世紀のアジアを巡るエネルギー安全保障—2011年版 IEA 世界エネルギー見通しから

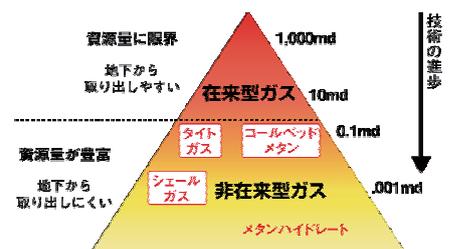
エネルギー需要は今後、アジアで伸びる。化石燃料と再生可能エネルギー、原子力、シェールガス革命を経験しつつある天然ガスなどをどう組み合わせることが経済発展によいのか。 田中伸男

- 43 福島第一原子力発電所事故後の天然ガス及び化石燃料の利用動向—第4回(最終回)シェールガスの動向天然ガス埋蔵量の急増とLNG需給への影響と展望

シェールガスの登場により、世界の天然ガスの可採年数は60年から、少なくとも160年を超えるのは確実にになった。政治や商業、技術リスクの低い資源開発になったシェールガスを展望する。 伊原 賢



非在来型の石油やガスの起源「石油根源岩」



天然ガスの資源量トライアングル

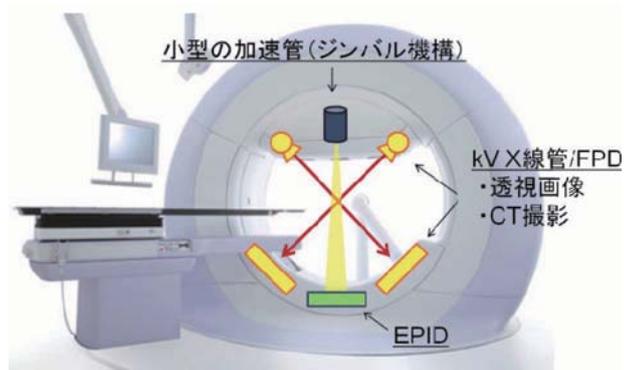
## 解説

### 49 気候変動政策と IPCC —科学と政策の応答と課題

IPCC は気候変動・地球温暖化に関する論文をもとに、科学的・技術的・社会経済学的な評価を行う機関だ。その報告書は気候変動枠組み条約や京都議定書の採択を後押ししてきたものの、評価が国際政治に十分に反映されているとはいえない。 浅岡美恵

### 54 放射線・粒子線がん治療と医学物理の最前線—第1回 X線がん治療の現状, 課題, 展望

放射線療法は体への負担は小さいものの、腫瘍周辺部の正常組織に照射される問題がある。しかし近年の新しい治療法は、それらの欠点を克服しつつある。 平岡真寛



四次元放射線治療装置

## 報告

### 58 原子力産業界のソウルサミットに出席して

原子力産業界のトップが核セキュリティを再認識し、共同声明を発表した。 持地敏郎

### 60 原子力分野で高まる女性研究者・技術者の重要性—震災・事故対応の現場報告を通して

男女共同参画委員会

## 談話室

### 62 「根拠なき安全神話」から「リスクテイク」へ

「リスクは取るもの」の原則を徹底し、具体的なリスク低減の「最善の策」を採るべきである。 田下正宣

## 4 NEWS

- 福島原発からの放出量は90京ベクレル
- 安全規制改革法案, 国会へ
- 2012年度の原子力関係経費は10%減
- 大飯3, 4号再起動へ向け議論進む
- 政府, 帰還に向け被災自治体と協議
- 原産, 国内原子力産業動向調査
- 「原産年次大会」開催
- 日口原子力協定が発効へ
- ウクライナとチェルノブイリ事故の教訓を共有
- 海外ニュース



4号機原子炉建屋の外観(東京電力 HP, 5月28日)

## 談話室

### 64 都会の青大将

瀧口克己

## ジャーナリストの視点

### 66 「東海村の大いなる挑戦」

大久保陽一

### 20 From Editors

36 新刊紹介 「原子力災害に学ぶ放射線の健康影響とその対策」 松本智裕

70 日米欧学生交流 「カリフォルニア大学滞在記」 宮澤 健

67 会報 原子力関係会議案内, 主催・共催行事案内, 人事公募, 新入会会員一覧, 英文論文誌(Vol.49, No. 7) 目次, 主要会務, 編集後記, 編集関係者一覧

学会誌ホームページはこちら

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

## 新会長就任挨拶 リーダーシップを発揮し信頼の回復を



第34代(平成24年度)会長

**野村 茂雄**(のむら・しげお)

早稲田大学大学院理工学研究科博士課程修了(工学博士)、動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所 核燃料技術開発部長、日本原子力研究開発機構 核燃料サイクル工学研究所長を経て2009年より同機構理事。

わが国の原子力の利用と開発発展に大きく貢献してきた日本原子力学会の平成24年度会長に選任され、その責任とともに原子力を取り巻く状況の厳しさを重く受け止めております。昨年3月11日に発生した未曾有の原子力事故の影響は実に深刻であり、6～7割の国民が原子力への不安、放射線のリスクを恐れています。本年5月には国内の原子力発電所が42年振りで全機停止しました。わが国の最近の貿易収支は、代替火力発電の原油やLNG輸入の大幅増で過去最大の赤字となり、実体経済まで巻き込み、原子力そのものが瀬戸際に立っています。

原子力を巡るさまざまな議論において、我々の主張が時に内輪に閉じた「原子力村」の論理として一蹴される場面が多々あります。民主主義を構成する市民の理解力、政治の判断力が決定的に重要ですが、民意に任せればうまくいくとは限りません。リーダーシップと説明責任を持って建設的に行動する「専門家の出番」がここにあります。正しい知識や科学的な情報、論理構成に基づく考えなどを提供する役目を負っている専門家が、傍観し沈黙したままでは、原子力の危機は乗り越えられません。一方、専門家とは、「信頼」があって始めて社会的に認められる存在であり、この信頼が事故で大きく損なわれているのが実態です。まさにマイナスからの信頼回復に向け、事故の真因と遠因を謙虚に受け止め、深く本質に迫る思考過程や行動パターンへの進化を遂げる地道で組織的な取り組みが必要です。原子力学会が率先してこの使命を果たすべきであり、その真価が問われていると考えます。

原子力発電は、持続的安定で経済的な代替電源が見つからない状態では、中長期に必要な基幹電源であり続けると確信します。過酷事故を確実に回避できる多様で多重な安全思想や現場対策を中心に、相互理解・社会的合意形成を目指したトランス・サイエンスの領域での広範なリスク・コミュニケーションを、学会としても徹底的に行うべきです。この努力がないまま原子力そのものを問題視するポピュリズムの思考が蔓延している状況での原子力利用は、深刻な混乱を招き、負の連鎖を招く恐れがあります。

学会では、事故発生直後に原子力安全調査専門委員会を立ち上げ、技術情報、放射線影響、及びクリーンアップの各分科会を中心に、シンポジウム、フォーラムなどで、提言や正しく分かりやすい情報の発信などの専門的活動を展開してきました。さらに今年度、切実かつ喫緊の課題である「除染による環境修復」や「事故原因の徹底究明と廃炉に向けた中長期措置」について、総力を挙げてこれに取り組むべく「福島特別プロジェクト」を創設しました。放射線影響分科会、クリーンアップ分科会を中心に、関連する部会、専門委員会、支部等と連携した体制で、現地における活動を中心としつつ、学術的な知見も最大限に活用し、幅広い活動や総合的調査を目指しております。

原子力利用を目指す海外からの期待は大きく、連携も重要です。グローバルな展望で世界最高レベルの原子力安全や開発・利用に貢献するとともに、これらを担う人材育成についても取り組みます。また学会は一般社団法人に移行しましたが、厳しい財政状況に直面しています。経営改善特別小委員会では、経営や財務の改善、合理化に引き続き取り組みます。会員諸氏の一層のご指導、ご支援、さらには専門家としての自主的、積極的な諸活動の展開をお願い申し上げます。

(2012年 6月23日 記)



# 長期エネルギー需給計画とインテグレーション



荻本 和彦(おぎもと・かずひこ)

東京大学 特任教授  
東京大学工学部卒業。電源開発に入社し、直流送電、電力系統解析、技術戦略などに従事、2008年より東京大学生産技術研究所エネルギー工学連携センター特任教授(現職)。

エネルギー政策基本法に基づき政府が策定する「エネルギー基本計画」の議論が進んでいる。日本の長期エネルギー需給計画について考えてみる。

## 1. 長期エネルギー需給計画を策定する理由

エネルギー需給になぜ長期計画が必要なのか。これは、エネルギーの需要の大きさ、化石燃料の価格、CO<sub>2</sub>の価格や排出量の制約、太陽光発電のコストから、地震・津波の発生などを含め、諸条件が極めて不確実な中で、社会経済を支えるエネルギーの需給を持続可能なものとしたいと考えるからである。エネルギーの需給構造は、化石燃料資源の価格や供給量、環境制約、技術の進展などの外部条件の変化とともに、より最適なものになり得るが、そのためにはインフラ整備のための莫大な資金を要し、多くの利害関係者が存在する。10年単位の期間を対象とするエネルギー需給計画では、産業構造、人口構成、ライフスタイルの変化を考慮することも必要となる。

長期エネルギー需給計画の難しさは、不確実性ばかりではない。選択肢に完璧なものはなく、どれにも“スネに傷がある”。化石燃料の価格高騰や紛争による供給途絶、原子力の社会受容性の低下の課題、太陽光発電や風力発電の出力の変動や導入量の確保など、長期のエネルギー需給の要請に応えられる万能の選択肢はない。したがって、長期エネルギー需給計画では、どの選択肢がベストかではなく、各々の“スネの傷”を正確に把握したうえで、最悪の事態を回避し、望ましいエネルギー需給を実現する最適な組み合わせを探る「エネルギーシステムインテグレーション」の視点が重要となる。

## 2. エネルギー需給の考え方は変わる

過去の我が国のエネルギー需給計画は、経済成長に伴うエネルギー需要の拡大に対してエネルギー供給を確保するための計画だった。しかし、地球温暖化問題への対応のための「低炭素」という新しい視点が登場し、化石燃料があっても使えない/使いにくいという制約が顕在化した。さらに、新興国の発展に伴うエネルギー需要の増大により化石燃料の供給制約という安定供給の視点が強

くなった。シェールガスの採掘の本格化で切迫感が少し薄れているが、エネルギー消費の増大による化石エネルギーの価格高騰、供給不足の可能性は大きい。エネルギー需給の持続可能性を最終的に確保するために、化石燃料の利用を徐々に削減することは不可避である。

エネルギー需給の低炭素化と安定供給のため、期待されてきたのが原子力発電と再生可能エネルギーである。しかし、日本の総発電量の約7%を賄う水力発電を100年かけて整備してきたように、再生可能エネルギーなど持続可能なエネルギーの導入にはそれなりの時間がかかる。しかし、課題はそればかりではない。再生可能エネルギーの中で量的に期待されている太陽光発電や風力発電は、稼働率が低く大きな設備容量が必要であることに加え、出力が変動しかつ不確定であるという大きな“スネの傷”がある。したがって、これらの導入率が高いエネルギー需給においては、「電力システムの需給バランスのための需給調整力の確保」という課題が顕在化する。また、この課題は、再生可能エネルギー発電に加え、発電量を調整することでは経済性が低下する石炭ガス化発電や原子力発電の増加により、現在、需給調整を担っている水力・火力発電の運転量が減少するという理由でも発生する。このため、電力システムの需給調整力の確保は、今後の持続可能なエネルギー需給に向けた世界共通の課題であり、既設、新設の火力発電、揚水発電などによる需給調整力の向上は可能であるが、さらなる課題解決のためには、供給側の対策には限界がある。

## 3. 需要のインテグレーション

長期のエネルギー需給計画に影響を与える大きな要素として需要がある。需要の大きさはエネルギー需給計画に決定的な影響を与える。震災後、節電という言葉聞かない日はないが、注意すべき点は、持続可能な節電、すなわち省エネルギーへの取り組みを強化すべき点である。省エネルギーの可能性を追求しこれを反映することは、今後のエネルギー需給計画の重要な要素である。しかし、長期エネルギー需給計画における需要の役割はもう一つある。前項で述べた供給側では最終的に解決でき

ない電力システムの需給調整力確保への貢献である。

省エネルギーに加え電気を使う時間をずらすことで電力需要の形は変えられる。筆者の研究でのシミュレーション解析によれば、分散エネルギーマネジメントシステム(分散EMS)を導入した500万世帯に、太陽光発電が豊富に発電して電力需給に余裕のある時間帯に安くなる電気料金を適用することで、ヒートポンプ給湯機を自動的に昼間に運転することができる。分散EMSの働きで、生活や生産性を犠牲にせず、煩わしさをしに需要を調整できるようにする(これを「需要の能動化」と呼ぶ)ことで、電力システムの需給調整の課題を解決することに大きな期待が集まっている。

最近、HEMS(Home Energy Management System)やBEMS(Building and Energy Management System)といった住宅や商業ビル用の分散EMSに関することばを聞く機会が多い。新しい技術と料金等の制度を組み合わせ需要を能動化することは、「エネルギーシステムインテグレーション」の重要な視点である。

#### 4. 目的・目標と評価指標

エネルギー需給の究極的目標である持続可能性は、互いにトレードオフの関係のある経済性、安定性、環境性の3つの軸に分解される。計画の様々な前提条件は、想定によるものが多く不確実性も大きいことから、多様なケース検討に基づく分析・評価とこれに基づく議論が必要となる。したがって、このような議論を行うためには、互いに通じる「ことば」を使って人々がそれぞれの考え方を示し、計画について合意してゆくことが必要であり、そのような「ことば」には、想定されるエネルギー需給状況の良し悪しを評価できる情報を、時間の経過の影響を含めて極力定量的に表現することが求められる。

この「ことば」として必要となるのが「評価指標」である。すなわち、経済性に関して発電コスト、環境性に関してCO<sub>2</sub>排出量など、明確な定義のもと、具体的に算出可能な評価値に照らして、エネルギー需給についての長期かつ分野横断的に選択肢を検討することができる。

定量的な評価指標を得るためには、そのための解析をより高い精度で、より効率よく行うツールやデータベースを整備し、使いこなすことが必要となる。長期エネルギー需給計画の策定・評価には様々な解析モデルが用いられるが、右肩上がりの需要の伸びばかりではなく、経済社会構造など21世紀の変化をよりの確に反映できるように、モデルも進化させていく必要がある。

目的・目標に基づく評価指標の設定、将来の様々なパラメータの想定、適切なツールを使った分析を行うことにより、様々な設備、需要、燃料費、技術、制度・施策の選択に対し、どのような経済性、安定供給、環境性そして将来の社会の姿を実現できるかを評価することで、エネ

ギー需給計画に関する継続的な意思決定が可能となる。

#### 5. 長期エネルギー需給計画の策定に向けて

震災による福島第一原子力発電所の事故により日本国内の状況は大きく変わり、エネルギーについてホットな議論が毎日交わされている。これほど、エネルギーに世の中の関心が集まったのは1970年代のオイルショック以来であろう。エネルギーの一分野である電力についても、電源、送配電、需要、情報・通信などの各分野の技術、関係ルールや料金などの制度、設備の建設や燃料の調達、そしてそれらを担う組織や人間など様々な要因について考える必要がある。

原子力発電は、長期エネルギー需給計画において、相当量のエネルギーをカーボンフリーで一定の経済性と安定性で供給することができる一方、安全性、廃棄物処理、長期のウラン燃料の安定供給などの課題を持つ選択肢である。我が国において、原子力発電を活用することができる、長期エネルギー需給における様々な問題を緩和することができる。これができるかどうかは、原子力発電所の設計・建設・運用・廃止・燃料と廃棄物処理という広い分野の技術をさらに磨き、その実力を発揮できる組織・制度を整備することにかかっていると見える。

長期エネルギー需給計画は、専門家ばかりではなく一般の人々も参加して、あらゆる可能性の下で選択肢を組み合わせる「エネルギーシステムインテグレーション」を駆使し、私たち自身の将来を考えることにほかならない。

米国では、昨年夏に、米政府やベンチャーキャピタルから多額の融資を受けていた有望企業のSolindraを始めとする複数の太陽電池パネルメーカーが倒産した。以来、太陽電池産業不信の議論が、メキシコ湾での石油流出事故や福島第一発電所事故などと対比して行われている。

この原稿を書いている5月、日本では、筆者も参加する電力需給検証委員会を中心として、今夏に向けた電力需給について、足りるか足りないかの議論が続いている。

John Perlinは、著書「A Forest Journey—The Story of Wood and Civilization」の中で、文明の興亡と森林資源の関係を著した。この本は環境の大切さと同時に、化石資源の利用以前の社会を支えたエネルギー資源であった森林資源の重要性を述べ、約2000年にわたるクレタ、ミケーネ、ギリシャの各文明が、暖房・調理から、製陶、精錬、建材に不可欠な森林資源というエネルギーの条件により発展し滅亡したことを分析している。

「過ぎたるは猶及ばざるが如し」ということばを我々日本人は中国から学んだ。このことばは、今後の日本のエネルギー需給を考えるときに、今すぐに何事をも解決しようとするのではなく、長期的な目的・目標を掲げて時間軸を意識して取り組むことの大切さを教えてくれているのではないだろうか。

(2012年5月4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。

## 福島原発からの放射性物質放出量は90京ベクレル

東京電力は5月24日、福島第一原子力発電所の事故によって大気に放出された放射性物質の量は合計で90京ベクレル(ヨウ素換算)だとする推定結果を発表した。セシウム137の推定放出量は日本原子力研究開発機構などが推定していた結果とほぼ同等だが、ヨウ素131については他機関の推定結果の約3倍となった。

この結果は、昨年3月12日から3月31日までの間に放出されたものを推定したものの。核種別には希ガスとヨウ素131が各50京ベクレル、セシウム134とセシウム137が各1京ベクレルとなっている。なお4月以降の放出量は3月中の放出量の1%以下しかないと推定しているため、この推定量には含めていない。評価は、同発電所敷地内でのモニタリ

ングカーなどによる測定データや気象庁の観測値を放射性物質の大気への拡散を計算するプログラムへ入力して行った。

また昨年3月26日から9月30日までに海洋に放出された放射性物質は、ヨウ素131が1京千兆ベクレル、セシウム134が3千5百兆ベクレル、セシウム137が3千6百兆ベクレルだと推定している。同発電所の南北放水口付近で行った海水中の放射性物質濃度のモニタリングデータを元に、一般財団法人電力中央研究所にて放射性物質の海洋への拡散を計算するプログラムを用いて評価した。(学会誌編集委員会)

## 安全規制改革法案、国会へ

原子力規制の改革をめざす政府案と自民、公明両党の対案が5月29日、衆院本会議で審議入りした。両案ともに原子力安全委員会と原子力安全・保安院を統合する点では一致しているものの、政府案は原子力規制庁を環境省の外局として設置するのに対し、自公案は原子力規制委員会を設置した上で規制庁はその事務局となる内容となっている。政府は自公両党とすり合わせた上で、法案の早期成立をめざす。

政府と自民・公明両党は29日、衆院で法案の趣旨を説明した。政府案では環境省の外局である原子力規制庁が

規制の要となっており、規制庁の中に原子力安全調査委員会が設置される。環境大臣が長官を任命し、事故発生時の指揮権は原子力災害対策本部長を務める首相にある。

一方の自公案では、国家行政組織法三条に基づく独立性の高い原子力規制委員会が規制の要となっており、国会の同意を得て首相が委員を任命する。長官以下の人事は原子力規制委員会が行い、同委員会が緊急時の指揮権をもつ。またJNESも規制庁の中に統合する内容となっている。(同)

## 2012年度の原子力関係経費は10%減

2012年度の国家予算が4月5日に成立し、原子力委員会が毎年取りまとめている原子力関係経費政府予算の総額は約3,894億円(対前年度比10.1%減)となった。一般会計が約1,065億円(同9.0%減)、エネルギー対策特別会計・電源開発促進勘定が約2,829億円(同10.5%減)。

電源開発促進勘定の内訳は電源立地対策費が約1,448億円(同20.7%減)、電源利用対策費が約1,034億円(同22.5%減)、原子力規制庁(環境省)が発足することを想定した原子力安全規制対策費が約347億円となってい

る。原子力安全規制対策費は原子力組織制度改革法案が成立した後は、原子力委の集計から除外されることになっている。

原子力予算総額の省庁別内訳は、文部科学省が約2,095億円(同14.2%減)、経済産業省が約1,366億円(同24.6%減)、環境省が約361億円(前年度はゼロ)、外務省などその他の省庁計で72億円(同7.7%減)。

(資料提供は日本原子力産業協会、以下も同じ)

## 大飯3,4号再起動へ向け議論進む

原子力発電所に関する4大臣による会合の第4回目が

4月9日、首相官邸で開かれ、4月6日の会合で取りま

とめた再起動に当たっての判断基準に対し、関西電力が政府に提出した大飯3, 4号機の安全性・信頼性向上のための実施計画について検討を行い、「判断基準に照らしておおむね適合」していることを確認した。

4大臣会合が4月6日に取りまとめた原子力発電所再起動に当たっての安全性に関する判断基準ではまず、政府・事故調査委員会や原子力安全・保安院の専門家意見聴取会によるこれまでの調査・検証の結果を踏まえ、福島事故の原因および事象の進展に関する「基本的な理解」を示しており、「安全上重要な設備・機器が津波や浸水という共通の要因により同時に機能喪失したところに大きな問題があった」と分析。一方で、地震の影響については、「安全上重要な設備・機器が安全機能を保持できる状態にあった」と推定している。

また枝野幸男経産相は4月14日に福井県庁を訪れ、西川一誠知事らと会談し、関西電力の大飯3, 4号機に関

して、4大臣会合で議論を行ってきた安全性および再起動の必要性について説明し、理解を求めた。

枝野大臣は、西川知事のほか、大飯発電所を立地するおおい町の時岡忍町長、田中敏幸・県議会議長とも県庁内で会談を行った。これを受け福井県の専門委員会は、16日に原子力安全・保安院からの説明聴取。18日には大飯発電所の視察を行うなど、県の立場で安全性に関する評価・検討を開始した。

枝野経産相は17日の閣議後記者会見で、今回の福井県訪問に関し知事からは、「立地地域が果たしてきたこれまでの努力について、消費地では十分に理解されていない」といった発言があったことを述べた。さらに、「滋賀県、京都府の理解を得ることは福井県、おおい町の理解を得る前提で大変重要」として、近隣府県も含め、丁寧な説明が必要との考えを強調した。

## 政府、帰還に向け原子力被災自治体と協議

政府は4月22日、第5回「原子力災害からの福島復興再生協議会」(議長＝平野達男・復興相)と双葉地方8町村会との意見交換会を福島市で開いた。同協議会では国が(1)福島の再生に向けた今後の課題、(2)福島研究開発・産業創造拠点構想、(3)福島県内の除染状況、(4)福島復興再生基本方針骨子(素案)——を示し、意見交換を行った。また、双葉地方8町村会との意見交換会では、先に同町村会が2回にわたって政府に要望していた事項について政府が回答したほか、現状の空間線量率と今後の変化予測や中間貯蔵施設のイメージなどを提示した。

同協議会には平野復興相のほか細野豪志・原発担当相、枝野幸男経産相、佐藤雄平福島県知事、井戸川克隆・

双葉地方町村会代表、菅野典雄・相馬地方市町村会代表、市長会代表、町村会代表、商工会議所会長、農協会長らが出席した。

国が示した福島復興再生基本方針の骨子は今後、福島復興に向けての必要事項の確認や地元関係者から意見集約を行うために、取りまとめたもの。原子力災害からの復興・再生の意義や目標、実施すべき施策の基本的な事項、放射線への不安解消など生活環境の改善のために実施すべき事項、産業復興への施策、新たな産業創出・国際競争力の強化に寄与する取組み——などを挙げている。

## 国内原子力産業の売上高、事故前までは順調な伸び

原産協会はこのほど、2010年度の「原子力発電に係る産業動向調査」の結果を取りまとめ発表した。11年9～11月にかけて、電気事業者、鈾工業、商社など計547社を対象にアンケートを実施し、212社より回答を得たもの。東日本大震災・原子力事故発生以前のデータだが、原子力関係の輸出高の大幅増などから、「産業全体は堅調に推移した」と分析している。

10年度には鈾工業などの原子力関係受注残高が2兆3,213億円(対前年度比18.2%増)、同海外向け売上高が1,314億円(同21.6%増)となり、いずれも大きな伸びを見せた。また、電気事業者の支出高、鈾工業他の売上高は、多少の増減はあるものの前年度からおおむね横ばいで、従事者数も増加していることから、「堅調な推移」とみている。原子力関係支出高は電気事業者で2兆1,420

億円(同0.3%増)、鈾工業他で1兆8,043億円(同0.9%減)。一方、従事者数は、電気事業者で1万2,147人(同4.1%増)、鈾工業他で3万4,035人(同1.0%増)となった。

11年度に向けた景況感としては、10年度と比べて「悪い」と回答した企業の割合が72.3%と大きく増加。売上高についても「減少」が57.5%で過半数を占めた。12年度に関しても景況感、売上高ともに、「悪くなる」がそれぞれ74.6%、73.9%の回答となっており、全般に一層の悪化傾向との見方がうかがえる調査結果となった。

各社にとっての課題としては「政府の政策方針・法令等の把握」(44.2%)や、「業界動向の把握」(28.4%)をあげており、業界全体では、「日本政府の省庁間の連携、統一的な原子力政策」(54.5%)、「福島第一原発災害の収

束」(51.5%)、「国民からの原子力に対する信頼の回復」(46.0%)などが指摘された。

今後の有望分野については、「デコミッションング事業に関するサービス分野」を回答した企業が31.1%で、

前年度より大きく増加。「海外(輸出)事業に関するサービス分野」(29.1%)、「プラント事業に関するサービス分野」(26.5%)がそれに次いでいる。

## 「原産年次大会」開催、福島復興願い今後の道筋問う

日本原子力産業協会の「第45回原産年次大会」が4月18日、東京国際フォーラムで開幕した。福島事故の発生から1年、「再生への道筋を問う——Think Globally, Act Locally」が基調テーマ。「福島の復興なくして日本の原子力の将来はない」(今井敬会長)との思いを胸に、今後、日本が目指すべき方向性を探った。大会には、世界36か国・地域、3国際機関からの114名を含め、国内外から約900名が参加した。

開会に当たり、今井敬・原産協会会長は所信表明を行い、昨年3月の東京電力・福島第一原子力発電所の事故により、いまだ多くの人々が避難生活を余儀なくされていることについて陳謝した。今井会長はさらに、「今後、世界のいかなる場所においても、また、いかなる天変地異があろうとも、再び同様の事故が発生することのないよう」に、安全対策の徹底と透明性の一層の向上を図り、「失われた信頼の回復に努めなければならない」と強調した。その一方で、原子力発電所の再稼働について「安全性が確認されたものについて、国が前面に出て、周辺地域をはじめ国民の理解を得た上で、速やかに再稼働して

いくべきだ」との考えを示した。

特別講演で政府の方針を述べた細野豪志・原発事故担当相は、「日本のエネルギー政策が、あらゆる面で岐路に立っているのは間違いない」と述べた上で、「政府および事業者が今回の事故を真摯に反省し、懸命に努力していかなければならない」と指摘した。

その一環として現在、政府が国会に提出している原子力規制庁の設置について、野党案が提出される方針が示されていることに対して、細野大臣は「組織の独立性については双方とも同様であり、野党案にも真摯に耳を傾け、柔軟な対応をしていきたい」とし早期成立を目指す考えだが、「委員会の合議制では、原子力事故の危機を乗り越えていけるのか、野党と話し合っていきたい」と語った。

さらに同大臣は、米国のTMI原子力発電所事故を契機に1979年設立された原子力発電運転協会(INPO)を例に、「日本も事業者による自主的で継続的な取り組みをぜひ求めていきたい」と強調した。

## 日ロ原子力協定が発効へ

玄葉光一郎外相は4月3日、来日中のロシア国営原子力企業「ロスアトム」のキリエンコ総裁と会談し、日露原子力協力協定の批准手続きが終了したことを通告する口上書を交換した。これにより同協定は5月3日に発効した。

同協定は2009年5月に東京で署名され、日本では11年12月9日に国会承認を経て、批准のための手続きが進められていた。今後、ロシアとの間で、移転される核物質、原子力関連資機材、原子力技術などの不拡散・平和的利用の道が開けることになった。

## ウクライナとチェルノブイリ事故の教訓共有で協定締結

日本とウクライナは4月18日、旧ソ連(現ウクライナ)のチェルノブイリ原子力発電所事故での教訓などを福島原子力発電所事故対応などに生かすため、「原子力発電所における事故へのその後の対応を推進するための協力に関する日本国政府とウクライナ政府との間の協定」を締結した。玄葉光一郎外相と来日中のヴィクトル・バローハ・ウクライナ非常事態相が署名した。

チェルノブイリ原発事故からウクライナが得た知見を

福島事故に生かすとの考えから、事故対応、その後の低線量被ばくでの人間および環境への影響、生活環境の復旧、住民の保護、放射性廃棄物の取り扱いなどの情報を共有する。

協力方法は、(1)情報交換、(2)研究者、技術者その他の専門家の交流、(3)共同セミナーの開催——など。両国は協力のための「合同委員会」を設置し、毎年1回、日本またはウクライナで会合する。

## 海外情報 (情報提供：日本原子力産業協会)

### [欧州] ストレステスト結果まとまる、追加 で詳細審査を実施

福島事故以降、欧州連合(EU)加盟の原子力発電国でストレステストの実施を主導していた欧州原子力規制者グループ(ENSREG)および欧州委員会(EC)は4月26日に結果報告書を採用するとともに、同報告書に盛り込まれた勧告や行動計画の実施を誓約する共同声明を発表した。欧州各国の原発で著しい安全性改善措置が取られているとする一方、発電所の追加視察を含め安全面でいくつかの詳細審査・分析を追加で実施するなど、数か月以内にフォローアップの準備を行うといった行動計画の策定で合意した。EUのG・エッティンガー・エネルギー委員が同報告書について、「詳細さと数値が不足している」と評価したと伝えられており、6月に予定されていた最終報告書の取りまとめは今秋にずれ込む見通しだ。

ストレステストは福島事故後、欧州理事会の要請により、EU域内15か国およびスイスとウクライナの全原子力発電所・140基以上における包括的な安全性とリスクを評価するため、ENSREGとECが西欧原子力規制者協会(WENRA)の策定した仕様に従って実施。主要な審査課題は、(1)自然災害に起因する事象、(2)安全系の喪失、(3)過酷事故対策——の3点で、「安全性」と「セキュリティ」の2系統で並行的に裕度を審査した。

実施プロセスは3段階で構成されており、(1)各国の発電所事業者が2011年10月末までに安全改善に関する評価と提案で報告書を作成、(2)各国の規制当局が事業者の報告書を同年12月末までに独自に審査し、(3)今年1月1日から欧州多国間の規制者で構成されるピアレビュー・チームが各国の報告書審査と分析——を開始していた。

ENSREG報告書はこうしたレビューの主な結論として以下の点を導き出した。まず、国により実行の度合いは異なるものの、すべての国で原子力発電所の安全性を改善する実質的な措置が取られており、福島事故の予備的教訓に照らし合わせた頑健性の改善方法、脆弱部分と強靱な部分の特定と言った点で欧州全体の統一性が取れている。

報告書はまた、すでに決定済み、あるいは検討中の安全対策として、過酷事故の発生防止およびその影響緩和のための可動機器追加調達、性能強化した固定機器の設置、過酷事故管理の改善、レスキュー・チームなどの適切な人材訓練対策を列挙。多くの場合、重要な改修は近い将来に実施されるとしている。

改善の必要な4分野：

ピアレビュー結果はこのほか、欧州レベルでさらに改善すべき分野として次の4つを特定した。

- (1)「自然災害と裕度の評価における欧州ガイダンスの策定」=全体として設計ベースの地震・洪水対策はENSREG仕様に沿っているが、設計事象を超える裕度およびクリフ・エッジ効果の評価が難しい場合は統一性に欠ける。よって、これらに対する欧州の評価ガイダンスをWENRAが策定するよう勧告する。
- (2)「定期的な安全審査」=今回のレビューにより、定期的な安全審査が発電所の安全性と頑健性の維持・改善に効果的ツールとして貢献できることが明らかになった。このことから、ENSREGは少なくとも10年に1回の頻度で自然災害対策を再評価する必要性を強調すべきだ。
- (3)「閉じ込め性能の健全性」=原発から放出される放射能から住民と環境を守る最後のバリアとして、閉じ込め機能の重要性が福島事故により改めて強調された。よって、軽水炉での1次系減圧や水素爆発の防止など、認知済みの対策を迅速に実行に移すことは各国規制当局の考慮すべきレビュー結果の一つ。
- (4)「自然災害に起因する事故の防止と影響緩和」=福島事故はまた、設計ベースを超える深刻な自然災害による過酷事故を考慮した多重防護を強化すべきだということを示した。したがって、そうした事故の発生防止と影響を制限する対策の実施も規制当局が考慮しなければならない点である。

〈ENSREGとECの合意事項〉

これらの勧告は、ENSREGとECの共同声明の中で実施に移すことが明記された。両者が合意したフォローアップの内容は、(1)航空機衝突影響調査等のため発電所の追加視察の手配、(2)ENSREG報告による勧告の実施、(3)国際原子力機関が9月に採択した安全性改善のための行動計画の実施、(4)原子力安全条約・臨時会合における検討結果の考慮、(5)各原子力発電所の情報をウェブ上に公開——など。

ECでは今回のENSREG報告を参考資料として6月の欧州理事会に提出する予定である。

### [カナダ] 安全委がポイントルプロー原発燃料 の再装荷を許可

カナダ原子力安全委員会(CNSC)はこのほど、2008年から改修工事中だったポイントルプロー原子力発電所(CANDU, 68万kW)での燃料再装荷をニューブランズ

ウィック原子力発電会社(NBPN)に許可した。4年ぶりの再起動には改めて CNSC の承認が必要で、それまで同発電所は「保証された停止状態」にとどまる。実質的な運転再開は今年の後半になる見通しだ。

ケベック州に立地する同発電所は1983年に営業運転を開始したが、NBPN は運転期間の延長を念頭に2008年3月から14億カナダドルをかけた大がかりな改修工事を実施。カランドリア・タンクの燃料チャンネルに水平に挿入される全380本の圧力管を、両端に装備する760個の端栓とともに取り替えている。

燃料チャンネルの交換については昨年11月に作業が完了したが、同炉の運転認可切れが今年2月17日に迫っていたため、CNSC は昨年10月と12月に同発電所の運転認可延長に関する公聴会を開催。NBPN 社の提出情報および CNSC スタッフによる勧告を審査した結果、同発電所の運転に際して住民や従業員および環境の健全性を保証する適切な方策が講じられていると評価し、運転期間を17年6月末まで延長する判断を下していた。

## [英国]

### 余剰プルチウムで PRISM の活用研究

英国の国立原子力研究所(NNL)は4月4日、GE 日立ニュークリア・エナジー(GEH)社の小型ナトリウム冷却高速炉「PRISM」を利用した余剰プルチウムの処分研究で協力していくため、同社と了解覚書(MOU)を調印したと発表した。

PRISM は GEH 社が10年以上にわたって開発してきた受動的安全性能を持つ次世代型の簡略設計小型炉。モジュール技術等の採用により36か月で建設できる。NNL では PRISM システムなら、2018年までに140トンに達するという英国の余剰プルチウム処分に役立つと同時に、60万 kW 程度の発電も可能と認識。このため、燃料サイクル分析における NNL の専門能力と技術経験および様々な研究施設を提供しつつ、英国における PRISM 炉の建設と利用の可能性を共同で探るとしている。

英国では昨年12月、政府が余剰プルチウムの大部分を MOX 燃料に転換し、民生用原子炉で再利用する政策が最も望ましいと確認。ただし、それ以外に国民に財政的負担をかけないプルチウム管理の代替案があればいつでも受け入れると明言しており、原子力デコミッション機構が今年2月、改めて代替案の募集を呼びかけている。

## [トルコ]

### 中国と原子力協定締結、原発建設で交渉開始へ

トルコ政府は4月9日、中国と原子力の平和利用分野における2国間協力協定、および双方のエネルギー省が同分野での協力同意書(LOI)に調印したと発表した。

2023年までに3か所で原発を建設という目標達成のため、アックユ原発建設で協力を決めたロシアやシノップ原発で交渉中の日本と韓国のほかに、中国とも原子力協力について交渉していくのが目的。詳細は明らかにされていないが、現地報道では中国がシノップ計画の交渉相手として加わる可能性が示唆されており、日本にとって手強い競争相手となりそうだ。

今回の協力文書は、トルコの T・R・エルドアン首相が北京の温家宝國務院首相を公式訪問したのに合わせて調印されたもので、多くの分野における両国間協力の一つ。これに先立ち、2月には中国の習近平国家副主席がトルコを訪れ、同国北西部イーネアダにおける第三原発建設計画の協力交渉開始でトルコの A・ババジャン副首相と合意に達していた。

## [ヨルダン]

### 原子力導入計画、候補設計を2社に絞る

ヨルダン国営のペトラ通信は4月29日、同国初の原子力発電所建設発注先を選定している原子力委員会(JAEC)が、候補企業を仏アレバ社と三菱重工の合弁事業体であるアトメア社およびロシアのアトムストロイエクスポルト(ASE)社の2社に絞り込んだことを伝えた。

福島事故後の教訓も踏まえ、これら2社の提案する設計が最も厳しい安全要項とヨルダンの必要事項を満たせる「ベストな2件」と判断したもの。同国は今後、2019年の完成を目標に、技術的な問題に関する2社との協議を継続するが、日本とヨルダン2国間の原子力協力協定は今年2月に発効。アトメア社が原子炉建設を受注した場合でも輸出が可能だ。

ヨルダンでは大容量の原子炉よりも、出力70万~100万 kW 程度の中型炉が適切と考えており、2009年時点で、(1)ロシアの100万 kW 級 VVER(ロシア型 PWR)、(2)日仏企業連合の「ATMEA 1」、(3)韓国の OPR(出力100万 kW)か APR(100万~140万 kW)、(4)カナダ・SNC ラバリン社の改良型 CANDU 6 (EC 6)か第3世代プラスの ACR1000を候補としていた。

これらのうち、JAEC はロシアと日仏連合およびカナダから昨年6月末に技術提案書を受領。これに先立つ3

月19日には、福島事故の原因となった事象や故障を考慮した安全分析を入札パッケージに含めるよう、参加企業に要請していた。このように安全性を徹底的に考慮した統合的な技術評価の結果、カナダの重水炉設計を候補から外すことになったと見られている。

日仏連合の「ATMEA1」はMOX燃料のフル装荷も可能な第3世代プラスのPWRで、フランスの安全規制当局は今年2月、同設計が同国の安全規制と技術的要件を果たすとともに、地震や洪水、大型航空機の衝突からも重要機器が保護されることが明確になったという審査結果を表明。その安全性を保証している。

## [中国]

### 秦山2-4号機が営業運転開始

中国核工業集团公司(CNNC)は4月8日、同国15番目の商業炉となる秦山原子力発電所2-4号機(PWR, 65万kW)が正式に営業運転を開始したと発表した。

同発電所2期工事の4基がすべて完成したことになり、CNNCでは第11次5か年計画(2005~10年)期間中の着工が明記されていた2期工事の3、4号機建設計画が完全に終了したと宣言。同国の自主開発による標準大型PWRの建設・管理・操業でブランドが創設されるなど、原子力業界の自立促進に向け強固な基盤が築かれたと強調している。

秦山2-4号機は同国初の原子炉である秦山1発電所1号機(PWR, 30万kW)を大型化した「CP600」設計で、昨年11月に送電網に接続された。福島事故後に運開した原子炉としては、昨年8月に営業運転入りした嶺澳2-2号機(PWR, 108万kW)に次ぐもので、同国の原子力発電設備は1,257.8万kWに拡大。秦山サイトの1期~3期発電所だけでも7基・435万kWが完成したことになり、年間発電量は330億~340億kWhが見込めるとしている。

## [韓国]

### 古里1電源喪失通報遅れで改善策

韓国政府の知識経済部は4月13日、4分野15項目の推進課題で構成される原子力発電所の運転改善総合対策を確定し、公表した。2月に古里原子力発電所1号機で発生した一時的な電源喪失事象の報告が1か月以上遅れた反省から、非常用ディーゼル電源などの特別点検を7月までに実施するほか、運開後20年以上が経過した古い原

子炉については機器の交換を早める方針。また、人的要素の介入なしに自動的に原子炉の事故事象が通知されるシステムの構築などを通じて再発防止と安全性の強化を図る考えだ。停止中の古里1号機については、国際原子力機関(IAEA)の特別点検により再起動するか否か決定するとしている。

この運転改善総合対策は国務総理が主催する国家政策調整会議で決定したもので、(1)設備の健全性強化、(2)透明性の向上、住民とのコミュニケーション強化、(3)事業者である韓国水力原子力(KHNP)の組織の健全性と能力の強化、(4)協力企業の能力向上——が主な柱。

(1)に関しては、今月20日までの日程で外部の専門家による立ち会いの下、非常用ディーゼル電源の性能試験を実施中なのに続き、発電所の操業全般に対して7月まで特別点検を実施する。

20年以上稼働している古里1~4号機、靈光1、2号機、月城1号機、蔚珍1、2号機の9基については5月に脆弱性の高い機器を特定し、6月には予算や交換時期などの措置計画を策定。また、計画的に実施する予防整備点検についても、項目を100項目に倍増し、期間も現在の20~30日を35~45日に延長するとしている。

(2)では、6月までに民間組織による監視機能を大幅に拡大・強化する。これまで地元自治体トップや住民代表などに限られていた原子力発電所への立ち入りを、市民団体などにも許可するよう手続きを緩和。事象発生時に自動的に通知される警報システムを年内に開発するほか、KHNPは発電所の24時間運転監視システムを本社に構築することになる。

(3)に関しては、安全確保を最優先とする運転目標や指標を設定し、IAEAの安全文化評価レビューチーム(SCART)を受け入れるなど、外部機関の審査を通じて安全文化を再生させるとともに従業員の意識改革を図る。長期勤務により運転が惰性に流れるのを防ぐため、外部の人材招聘や顧客と接する職務の配置循環も重要だ。

(4)では、海外の良好事例の分析等を通じてKHNPの自己管理監督能力を強化。米国のエクセロン社や仏電力(EDF)など、大容量の原子力設備を有する事業者の先進的な操業管理手法を導入して管理監督能力の向上を図る。また、専門的人材の確保状況や事業の遂行経験などを総合的に考慮して協力企業の能力と教育を強化。1社で10億ウォン以上の契約が取れるような企業の新規参入を促進し、品質を向上させるとしている。

## 推進派と反対派の協働的分業を 「ポスト福島事故」をめぐる社会的課題

佐田 務

東京電力の福島第一原子力発電所で事故が起きて数ヶ月の間、官邸を中心とした政府当局の危機管理対応は混乱をきわめた。その多くは、対応すべき過大なタスクにこたえきれないことによる対応体制の不備によるものだったが、なかには情報発信の意図的な制限などのように、恣意的な作為も含まれていた。そこではエリートパニックが起こった可能性がある。また福島事故以前には、安全向上をめざすさまざまな対策や知見が提案されていたにも関わらず、それが反映されないままに放置された。そのことが、事故の影響を拡大した可能性がある。本稿では政府の危機管理体制の問題と、安全向上をめざす知見が反映されなかった原因およびその解決へ向けた提案を述べる。

### エリートパニック

エリートパニック。災害時に一般の人々がパニックになることを恐れて、エリート自身がパニックに陥ることを言う。

カロン・チェス<sup>1)</sup>によれば、危機時にパニックになるのは普通の人々ではなくエリートの方であること、そして「エリートパニックがユニークなのは、それが一般の人々がパニックになるとして引き起こされている点」にあると述べた。その上で、「彼らがパニックになることは、私たちがパニックになるより、もっと重大」であり、「彼らは立場を使って情報資源を操れるので、手の内を明かさないうちでもできる」と続けて、情報発信を意図的に制限することがあると述べている。

カロンの言葉を紹介したレベッカ・ソルニットは「災害ユートピア」<sup>2)</sup>の中で、1906年にサンフランシスコを襲った大地震や1985年のメキシコシティ大地震、1979年のスリーマイル原発事故、2005年のハリケーンカトリナ、2001年の同時多発テロを例に、危機時の対応に関する膨大な例の検証を行っている。その結果を要約するならば、このような危機時において一般の人々がパニックになることはわずかのケースを除いてほとんどなく、一般の人々は冷静に行動することが多いと結論づけている。さらに災害直後には、むしろ相互扶助的コミュニティと利他主義が活性化し、災害ユートピアともいえるべき世界が出現することが多いとも述べている。一方でパニックはむしろ、エリートの方でしばしば見られると

いう。

一方、2011年3月に福島原発で事故が起きてまもなく、原発近くに住む人々は避難指示を受けた。提供される指示や情報が極めて突然で断片的だったために、避難指示をうけた自治体の首長や職員や住民は、通常ではありえないほどの大きな対処能力を求められた。浪江町ではその避難指示さえも届かず、町長や役場の職員はテレビなどからの情報をもとに独自に避難活動を始めた。

しかしながら福島原発近くの各自治体の首長や役場の職員や住民は、対処すべき行動を冷静かつ懸命にこなした。避難に際しては交通手段の手配や避難所の確保などさまざまな問題が起きたが、彼らは大きなパニックを起こすことなく、見ず知らずの土地へとほとんど着のままで脱出した。また、避難する人と突然やってきた彼らを受け入れる人たちの間に、大きなトラブルは皆無だった。

もちろん、パニックが全く起きなかったわけではない。事故直後には飲料水のペットボトルを求めて買いだめが起きたり、放射線被ばくを避けるためにはイソジンを飲めばいいなどのデマが流れたりすることもあった。しかし、これらはむしろ、福島原発からある程度離れた都会でより顕著に見られた。逆に食料や燃料が欠乏している避難所においては、多くの人々が利他的に行動し、心温まるような多くのエピソードが生まれた。危機時においても避難者が冷静に行動したことを多くの海外メディアが賞賛したことは、周知の通りである。

こうした一般の人々の対応とはうらはらに、原発対応を担う官邸はパニックに陥っていた。SPEEDIによる情報提供は人々がパニックになるという理由で発信されなかった。細野豪志首相補佐官(当時)はその理由について

*Social Issues Related to "Post Fukushima Accident":*  
Tsutomu SATA.

(2012年 5月14日 受理)

て、「国民がパニックになることを懸念した」(朝日新聞2011年5月4日)と説明している。エリートパニックがまさに、文字どおり起きたのである。

それでは、福島原発事故後におけるエリートパニックは、どのようにして起こったのだろうか。それは、どのようにして防ぐことができるのだろうか。

### 対応体制の不備による失敗と恣意的な失敗

エリートとは、社会システムの中で上位を占めるとともに、社会的な影響力が強い集団をさす。原子力の場合、それは官邸や保安院などの役所、電力会社の幹部、一部のアカデミアなどがそれにあたる。これらの中で福島原発で事故が起きた際の対応主体として最上位に位置したのが、官邸だった。

福島原発で事故が起きたのち、これらのエリートには大きな対処能力が求められた。事故発生直後は、その規模が未曾有のものであることはわかったものの、事故の原因はおろか、原発のその時点での正確な状況さえ分からなかった。そんな中で官邸や保安院や東電には、通常には考えられないほどの重要な案件を検討し、それを迅速に実行することが求められた。

この事故をどう収束させるのか。そのためには何が必要なのか。万一を考えてどの範囲までに住む人々を避難させればよいのか。自治体や住民やメディアから問い合わせが殺到する中で、何をどう伝えればいいのか。官邸を中心としたエリートの中核には、緊急かつ重要で膨大な量のタスクが殺到した。

そのような状況下でも彼らは、懸命にタスクをこなそうと懸命に努力した。その結果として福島原発は暫定的とはいえ安定状態へと移行した。現在に至るまで放射線被ばくによる死亡者も出すこともなかった。

しなしながら彼らには、さまざまな失策もあった。

情報発信面に限るならば、その失敗の多くは、対応すべき過大なタスクにこたえきれないことによる対応体制の不備によるものだった。前述の避難に関する指示の不徹底は、故意に行われたのではない。自治体に十分な情報が適時的確に伝わらなかったのは、通信手段の途絶などによりそれをしようとしてもできなかったか、あるいはそこまで手が回らなかったかのどちらかであった。

しかし、SPEEDIの情報発信については、前述したように意図的な制限が行われた。このことが避難者に無用の被ばくをもたらしたということで、政府はのちに大きな不信感をいだかれることとなる。

また官邸は事故直後、専門家の指摘とはうらはらに、炉心溶融という言葉の使用を回避し続けた。事故直後の3月12日に炉心溶融の可能性に言及する発言を行った原子力安全・保安院の中村幸一郎審議官は、官邸から会見内容に関する事前の連絡がなかったことを理由に叱責された<sup>3)</sup>。また保安院は3月18日の時点では炉心が溶融し

ている可能性が強いと判断していたにもかかわらず、炉心溶融という表現を避け続けた。政府が炉心溶融を正式に認めたのは、事故から2か月後の5月16日のことである。これも、情報の意図的な制限にあたる。

### 危機管理体制の不備が露呈

これらのパニックが起こった最大の原因は、国家的な危機の大きさに対して政府側が事前に用意してした対応体制の不備にある。原発事故に対しては原子力災害対策特別措置法によって対処することになっていたが、この法律はもともとJCO事故の反省を経て作られたものであり、これほどの大規模なものを想定していなかった。国家的危機レベルに相当する福島事故に見合う管理体制は、日本では何も用意されていなかった。

一方、国家レベルではなく、原子力分野の関係者もまた、このような大事故を真剣には想定していなかった。平成21年版原子力白書は、日本の2008年における原発の計画外自動スクラム割合は運転7,000時間あたり0.07回で、世界の中で最低水準にあると記述している<sup>4)</sup>。また原子力学会は2009年2月のポジション・ステートメントで、我が国の原子力発電所の「計画外停止頻度は諸外国に比較して非常に低く、安全で信頼性が高い」と述べていた。

このようなデータを背景に日本の原子力関係者は、国内の原発は世界的に見ても相当高い水準にあるという意識を持っていた。だから過酷事故を想定したさまざまなマネジメントは真剣に考えられることなく、危機管理意識も危機管理体制も不十分だった。彼らは安全神話という言葉こそ使わなかったが、意識面においてそれを内面化していたことは十分、推定できることだった。

### 過信と慢心

また、東京電力など原発を抱える電力会社や規制当局に対しては、事故が起こる前に、安全向上をめざすさまざまな対策や知見が提案されていた。それにも関わらずいくつかの重要なことがらが放置された。

例えば大津波の可能性の軽視や、非常用電源の地下設置、重要施設の水密性、ベントフィルターの未設置、アクシデントマネジメント対策が規制要件になっていない——などは関係者から以前に指摘されていたにもかかわらず、反映されることはなかった。

ではなぜ、こうした対策や知見が反映されなかったのか。

この理由の一つが、前述した安全実績に基づく過信や慢心である。これまで日本では、深刻な大事故は起きることがなかった。このため政府や電力会社には、スリーマイルやチェルノブイリなどの海外の事例を他人事と考えてきた節がある。そこには広瀬弘忠<sup>5)</sup>が指摘したように、関係者には安全実績をもとに自らを特別視する「選民的なメンタリティ」があった可能性がある。

## 推進派と反対派との不和

対策や知見が反映されなかった二番目の理由が、福島原発事故独立検証委員会が指摘するように、「安全向上策を講じることによって、これまでの安全水準が十分ではなかった」と自治体や反対派から非難されることを恐れたことである。さらに安全向上策を提案することで、自治体から「改良が終わるまで運転を停止させられることを恐れた」<sup>6)</sup>ことである。

これは、電力会社と自治体とが安全向上をめざして率直にものを言うことができる関係になかったことを意味する。

言うまでもないことだが、日本では原発の社会的受容はきわめてやっかいな問題を抱えている。原発立地を無条件に歓迎する立地点はどこにもない。このため電力会社や国は原子力発電所を立地するにあたって、膨大な労力を費やしてきた。立地を受容してもらうためには、安全性を納得してもらわなくてはならない。その際に担当者は熱心に説得すればするほど、説得は自らにも向けられていった。結果として無謬性を内面化していった可能性がある。

さらに電力会社などの原子力推進派と原発に反対するグループとの間は、きわめて険悪な関係にあった。両派はそれぞれ、自らが住む世界の中で自説の正当性を主張しては相手を非難し、溜飲を下げるが多かった。それぞれの主張や正義は身内の中でしか成立しないものだった。武田徹が指摘しているように、両者は「半分だけの縮減された箱庭的な正しさ」<sup>7)</sup>から一歩も出ることはなかった。より安全な知見や提案がなされると、反対派はそのことをもって過去の規制のあり方や安全管理の体制に不備があったとして規制当局や電力会社の瑕疵を糾弾することに終始し、規制当局や電力会社は防衛的な姿勢でこれに対応してきた。

このため両者が、本当の意味での安全向上をめざした対話を行うことはほとんどなく、そのことが結果として安全向上を阻害するとともに、今回の事故を引き起こした遠因となっている可能性がある。だとすれば、この問題は今も解決されないままで、同じようなことがらは再生産される可能性がある。

この推進派と反対派について整理する。

国内において原子力を進めているのは、政府では原子力委員会と経済産業省などの役所、産業界が東電などの電力会社とメーカー、学が大学や原子力機構、原子力学会などである。

これらの推進派を構成する主体は、ネットワークとして維持されている。それを媒介する第一のファクターが、財とサービスのフロー、要するにお金の流れである。2つ目の要素が、人間の交流である。3つ目が原子力に対するものの考え方や文化、そして情報の流通である。

ここで言う文化とは、原子力推進派の中で共有されている目標や規範である。

推進派の顕在的な目標は、原子力計画を円滑に進めることにある。その上位目標には、エネルギー自給率の向上がある。また、彼らが無意識のままに共有している文化の一つが、パターナリズムである。

パターナリズムは、「家父長的な意識または支配」と訳される。これを原子力分野に適用して述べるならば、原子力を進める側の人々には、エネルギーや原子力のような難しい問題の選択は、専門的な知識や深い判断力を要するから、自分たち専門家にその決定を委ねた方がうまくいくという専門家支配の考え方となる。

それに沿って原子力政策はこれまで、政府と専門家による内部ネットワークで主要な原子力政策が決定されてきた。こうした専門家優位の決定方式はテクノクラシーと呼ばれ、中央集権的な考え方とも親和性をもつ。吉岡斉が提唱するサブガバメントシステムは専門家と政府とその専門分野での政策の多くを事実上決めてしまうために、その上位にある国会の介入が少ないことを指摘したものである。

なお、原発に反対するグループは、原子力政策に対する市民参加の関与が少ないこうした政策決定過程に不満を抱き、いささか強引にこれに異議申し立てをしているということもできる。

続いて、原子力反対派の分析に入る。

日本の反対運動はこれまで、労組系・政党系グループと立地点に根ざした住民運動型の反対グループが長くリードしてきた。1988年以降にはこれに、都市型の反対運動が加わる。

これらの反対運動を分析する枠組みには、大きく4つのものがある。

1つ目は集合行動論で、人々の偶発的な集合行動に焦点を当てるものである。フランス革命やアラブの春、そして日本では幕末の「ええじゃないか」がこれに該当する。また1988年の反原発ブームと現在の反対運動の盛り上がりも、部分的にはこれに当てはまる。

2つ目の資源動員論<sup>8)</sup>は、強い目的志向を持って組織戦略を重視する運動で、米国での婦人参政権獲得運動のように、地道に戦略を練ってめざすものを獲得する社会運動がそれにあたる。

3つ目の新しい社会運動論とは、トウレーヌ<sup>9)</sup>らが提唱した理論で、国家の介入に異議を申し立て、自分たちの生活は自分たちの手の中ににぎりたいたいという思想がベースにある。例えば、給食に反対して手作りの弁当を持たせたい、無農薬野菜を栽培して流通させるなどのように、身近な問題を掲げることが多いのが特徴である。こうしたグループが日本にはたくさんあり、それらの中には今、原発は身近な生活を脅かすものだとして、原発反対運動グループとしても活性化しているものが多数ある。

そして国内の反原発運動は、これらが混在した形で存在している。

## 首都圏に原発を

次に地域政治学の視点からこの問題にアプローチする。梶田孝道<sup>10)</sup>は受益権、受苦圏という概念を使って成田空港問題を分析しているが、ここではこれを原発問題に適用して述べる。

ここで言う受益圏とは、そのことによってメリットを受ける人たちやエリアである。受苦圏はそのことによってデメリットを被る人たちやエリアである。

例えば、自分たちの村のゴミを処理するために村の中のゴミ処理場を作る場合には、この受益圏と受苦圏がほぼ一致している。このような場合にはそれが迷惑施設であっても、社会的受容の問題は起きにくい。そのゴミは、自分たちが出したものにほかならないからだ。

しかし、そのゴミ処理場が大規模化し、村の外からもゴミが運び込まれるようになると、ゴミ処理場の近くに住む人々には、なぜ私たちはよその町のゴミまで引き受けなければならないのかという不満が出始める。さらにそれが国際空港や基地や原発になると、その主な受益圏はその施設から遠く離れた大都市あるいは国全体に広がり、受益圏と受苦圏がかけ離れる。両圏はかい離するほど、社会受容がより難しくなる傾向がある。

ここでの不満を解消するために行われているのが、経済格差を利用した支援や給付である。立地点では原発立地に伴って雇用や経済効果が生まれ、電源三法交付金などが給付される。そのことで立地点は、原発に伴うデメリットのほかにメリットが共存するというジレンマ圏へと変わる。

しかしこの方法は、立地点にある不満と不安というデメリットをお金で解決するものである。このため立地点に住む人々の中には、このような方法で原子力を進める側に対して、不誠実や支配の意志を感じることもある。そしてそこに、彼らの被害者意識を救うために、外部からの働きかけを受け入れる余地が生じる。これが成田空港では当時の学生運動を、原発問題では都会型の反原発運動を受け入れる素地となる。

この問題を解決するには、デメリットをさらに上回るメリット、つまりお金を積み増しすることではない。基本的には受益圏と受苦圏が分離していることに最大の問題がある。都会で作る電気をなぜ地方が引き受けなければならないのか。そこには、都会ではなく地方に立地するのは、実は危険だからではないのかという不安と、中央に対する不信とが、根底にある。

このため本当にこの問題の解決をめざすのであれば、受益圏と受苦圏と一致させることが望ましい。それは電気の大消費地に、原発を作るという発想である。

例えば首都圏に原発を作る。このことによって立地点

の人は、危険を押し売りされていないという納得が得られるのではないか。もちろん今は、原発を新設すること自体が難しいので、これは遠い先の話しになる。

## 原発を自治体と共同で運営

2番目の提案に入る。

今の原子力政策は経済産業省、文部科学省、原子力委員会、電力会社と関連団体の首脳、アカデミア、官邸、国会、地方自治体、地域住民、ロビイスト、オピニオンリーダー、反対派、メディアなどが決定に関与している。

その中でもドライビングフォースは政府や電力会社、一部のアカデミアが持っており、立地地域の自治体や住民は、そのベクトルを修正する側でしかない。ここでは政策を決定する側と、それを受け入れるまたは拒否するという側という厳然とした立場の差が存在する。言い方を変えれば、それは主体と客体、能動と受動ということになる。

このため立地点にとっての戦略は、原発に絶対的な安全を要求することや、最大限の利益供与を引き出すことが一つの目標になる。そしてこのことが、前述したように電力会社と自治体とが安全向上をめざして率直にものを言う関係になかったことを構造的に決定づけていた可能性がある。

だとすれば、自治体との参加や協働によって、両者の関係の再構築を考えてみてはどうか。例えば、原子力発電所を電力会社から切り離した株式会社にし、その株を電力会社と自治体が共同で持ってみてはどうだろうか。

そこでは原発の立地に伴って国や電力会社から立地点に給付される交付金などを廃止し、自治体は原発という独立の株式会社から得られる配当をうけることとし、両者が協同でより安全でより効率的な運営をめざしてもらってはどうか。

自治体は電力会社に何かを頼むのではなく、一緒になって原発を運営していくパートナーになってもらってはどうか。そうすれば電力会社と自治体はともに、安全向上とともに共通の利益を追求することになる。そのことによって両者は率直に意見を交換できるのではなかろうか。

## 反対派と協働的分業を

最後に原発反対派の主張を分析した上で、3番目の提案を行う。

彼らが原発に反対する顕在的な争点はもちろん、原発の安全性にある。さらに彼らの主張を丹念にひも解いていくと、そこには中央と周縁、つまり中央が危険な原発を地方に押し付け、蹂躪(じゅうりん)しているという主張がしばしば見られる。

彼らには、原発政策は専門家や霞が関が中心になって決めており、市民参加が全く不十分だとの認識がある。

さらにその背景には、大量の電気を使うような今の世界を浪費文明と位置付けるとともに、広くには行き過ぎた近代合理主義への批判がほの見える。だとすれば、推進派と市民運動型の反対派とのコンフリクトは文化体系の違いからくるものであり、ある種の文化衝突といってもいいかもしれない<sup>1)</sup>。

推進派と反対派の主張は多くの点で異なっているものの、共通点もある。エネルギーをめぐる社会構造や運営、そして環境負荷の軽減をめざした社会の実現は、両者が一致した関心事項である。また、この世の中でエネルギー問題に限らず、あらゆる分野において権利を主張するだけで義務を果たさそうとはしないフリーライド(社会的ただ乗り)の問題などは、推進派と反対派が一緒になって考えて取り組むことができる課題である可能性がある。

推進派と反対派は原発の是非をめぐるおおよそ半世紀にわたり、お互いを論破することに終始し、すれ違いの論議を繰り返してきたのではなかろうか。だとすればここで発想を転換し、両者が原発以外の共通テーマで協働作業を手がけてみるのはどうだろうか。

例えば、推進派は反対派の主張に対し、再生可能エネルギーの進歩や省エネを過剰に評価しており、定量的な議論が甘いと主張することが多い。だとしたら彼らが定量的な検討ができるように、例えば、政府が原子力に反対する市民グループに資金援助し政府の職員を市民グループに派遣して、定量的な検討を一緒に検討してもらってはどうか。そして私たちは政府案と、定量的な視点をも踏まえた市民グループ案の両方を見て、どちらかを選ぶあるいは両方の利点を折衷した政策選択をしてはどうか。

## おわりに

推進派と反対派の不和が原発の安全向上を阻害し、それが福島での事故を招いた遠因の一つであるならば、両者の二項対立的な不和の問題は、私たちがその解決に向けて真剣に取り組まなければならない問題の一つである。

推進派と反対派がおりなす原発論争は、皮相的には工学的あるいは経済的なテーマで議論されることが多い。けれども、この問題で根底的に問われようとしているのは、私たちがこれからめざそうとしている社会はどうあるべきかという、とても哲学的なテーマではないかとい

う気がする。その中核には私たちの生活の自律性のありようやフリーライドの問題、そして欲求の無制限な膨張が自動的に充足される今の世の中の価値観の間直しが含まれているように思える。

そしてもし、根底にひそむ問題がそのように共有されたものであるならば、両者の今日の対立は目標解決へ向けた手段の選択あるいは社会運営に関するものでしかない。その共有された問題の所在とその解決をめざした志向とを十分意識することによって、両者の敵対的分業は相補的分業に変わる可能性がある。

私たちは今、そのことを真剣に模索する段階に来ているのではなかろうか。

この文章は、2012年3月に開かれた日本原子力学会「春の年会」社会環境部会セッションにおいて述べた講演内容を加筆修正したものです。

## —参考資料—

- 1) 2) レベッカ・ソルニット「災害ユートピア」, 亜紀書房, (2010).
- 3) 国会 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会会議録, (2012).
- 4) 原子力委員会「平成21年度版 原子力白書」, (2010).
- 5) 広瀬弘忠, 「神の国意識」の崩壊, 日本原子力学会誌「アトモス」, 54〔2〕, 78~79(2012).
- 6) 福島原発事故独立検証委員会報告書, (2012).
- 7) 武田徹「私たちはこうして『原発大国』を選んだ」, 中公新書, (2011).
- 8) 塩原勉編「資源動員と組織戦略」, 新曜社, (1989).
- 9) アラン・トゥレーヌ「声とまなざし」, 新泉社, (1983).
- 10) 梶田孝道「テクノクラシーと社会運動」, 東大出版会, (1988).
- 11) 佐田務「原発論争」, 電気タイムス, (1996).

## 著者紹介



佐田 務(さた・つとむ)

日本原子力学会社会環境部会「福島事故に関する社会的要因分析コアグループ」幹事  
専門は社会学。

## 解説

## 福島第一原子力発電所事故を踏まえた関西電力における安全確保対策の取組状況

関西電力(株) 吉原 健介

福島第一原子力発電所事故では、巨大な津波によって長期間にわたる全交流電源喪失、冷却機能喪失によって炉心損傷、大量の放射性物質の放出に至った。事故を受けて、各原子力発電所では直ちに緊急安全対策に着手し、その後も継続的に安全確保対策を実施してきたが、本稿では、原子力学会「2012年春の年会」の福島第一原子力発電所事故特別セッションで報告した内容をもとに、関西電力における安全確保対策の取組状況について説明する。

## I. はじめに

福島第一原子力発電所事故では、地震によって外部電源喪失は発生したものの、非常用ディーゼル発電機は全て正常に起動し、原子炉の冷却に必要な安全系の機器は正常に起動したことが確認されている。

しかし、その後襲来した巨大な津波により、電源関係設備の被水や海水ポンプの損壊等により交流電源の供給と海水冷却機能が長時間にわたって失われたため、燃料の重大な損傷、格納容器の閉じ込め機能喪失による放射性物質の大量放出など深刻な事態に陥った。

停止後も崩壊熱を発生する原子炉において、電源供給機能、冷却機能の確保は、安全確保の観点から必須であり、いかなる事態においても、これらの機能が全て失われることがないように、対策を講じることの重要性が認識された。

関西電力が有する原子力発電所はすべて加圧水型軽水炉(PWR)である。PWRでは、蒸気発生器を介して炉心の燃料を冷却できるという特徴があり、蒸気発生器で発生した蒸気によって駆動するタービン動補助給水ポンプを用いて蒸気発生器に給水し、発生した放射性物質を含まない蒸気を直接大気中に放出することで、全交流電源喪失、海水冷却機能喪失時にも崩壊熱の除去が可能である。長期間の全交流電源喪失、海水冷却機能喪失時にも、この方法で継続的に炉心の冷却が可能となるように冷却手段の整備を行った。

## II. 安全確保対策の概要

## 1. 対策実施に向けた冷却シナリオの立案

まず、長期間の全交流電源喪失、海水による冷却機能喪失時に、燃料の損傷を防止するための方策として、蒸気発生器からの冷却を継続するためのシナリオを検討した。検討にあたっては以下の事項を考慮した。

- ・ 1次冷却材の自然循環の成立性
- ・ 冷却による炉心への反応度添加
- ・ タービン動補助給水ポンプの運転継続
- ・ 1次冷却材ポンプシール部からの漏えいによる1次冷却材インベントリーの低下

PWRでは、1次冷却材ポンプによる強制循環が失われた状態でも、炉心で熱せられた1次冷却材が炉心よりも高い位置に設置された蒸気発生器に流入し、ここで冷却されることによって生じる温度差(密度差)を駆動力として自然循環が発生する。これは交流電源が利用できない場合に、炉心から除熱を行う上で極めて重要な特性である。崩壊熱は時間と共に減少していくが、長期的にこの自然循環が継続されることを確認した。

1次冷却材温度が低下すると、炉心には正の反応度が添加される。このため全交流電源喪失時に蒸気発生器2次側から冷却を行うことによって再臨界に至るおそれがないかを確認した。各ループの1次冷却材配管には高濃度のホウ酸水が貯留された蓄圧タンクが接続されている。タンクは窒素ガスによって約4 MPaに加圧されており、1次冷却材圧力の低下に伴い、自動的に高濃度のホウ酸水が注入される仕組みとなっている。このホウ酸水によって再臨界を防止しつつ冷却が可能であることを確認した。蓄圧タンクからホウ酸水が注入されるまでの未臨界性、蓄圧タンクからホウ酸水が注入された後の未臨界性についてそれぞれ確認し、1次冷却材の冷却曲線を検討した。

*Current Situation of Safety Assurance Measures in the light of Fukushima Daiichi Accident taken by Kansai Electric Power Co., Inc. : Kensuke YOSHIHARA.*

(2012年 5月7日 受理)

一方、蓄圧タンクに封入されている窒素ガスが1次冷却材中に流入すると、自然循環を阻害する可能性があることから、蓄圧タンクからの窒素ガス流入防止のために1次冷却材が一定の圧力に低下した時点でタンク出口弁を閉止する必要があることを確認した。タンク出口弁の閉止には交流電源が必要であるため、電源車から電気を供給できること、また電源車からの給電開始時間と冷却シナリオの整合性について確認した。

タービン動補助給水ポンプは蒸気発生器で発生した蒸気を駆動源として運転されるポンプである。蒸気発生器の圧力の低下によるタービン動補助給水ポンプの運転性能について確認を行い、蒸気圧力が0.3 MPa程度まで低下してもタービン動補助給水ポンプによって蒸気発生器への給水が可能であることを確認した。

1次冷却材ポンプは3段構成のシールを採用しており、通常運転時の1次系圧力に対して、非接触式限定漏えい型のNo.1シールでNo.2シールに加わる圧力を大幅に低減し、No.2シールでNo.1シールを通過したシール水の系外への漏えいを防止する設計となっている。全交流電源喪失時にはシール水の注入が停止するため、No.1シールを冷却材が通過することにより、1次冷却材インベントリが減少する。1次冷却材を減圧すれば、このインベントリの減少を停止することができるため、これを考慮して冷却の目標圧力を設定した。

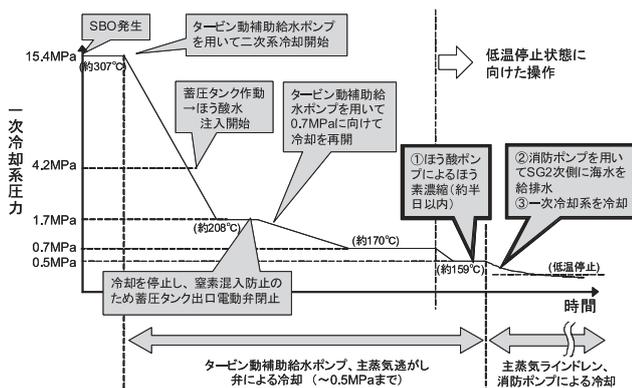
以上の検討に基づき、全交流電源喪失時の冷却シナリオを第1図のとおり立案した。

このシナリオに沿って炉心の冷却を行うにあたっては、現場での操作が必要なことから、その時間的な成立性について確認するために、解析コード(RELAP-5)を用いて挙動解析を行った。第2図に示すとおり、事故発生後約1日弱で1次冷却材圧力を約1.7 MPa、170℃の安定な状態に到達させ、維持することができることを確認できた。

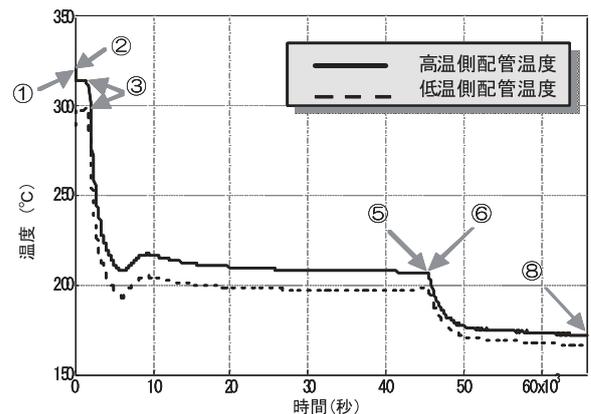
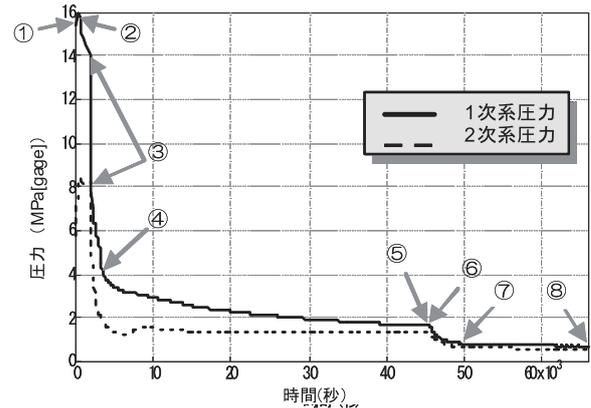
## 2. 安全確保対策の具体例

### (1) 電源確保対策

前節のシナリオをもとに各発電所において緊急安全対



第1図 全交流電源喪失時の冷却シナリオ



| 番号 | 主要な事象進展・操作             | 時刻    | 備考                               |
|----|------------------------|-------|----------------------------------|
| -  | ・SBO発生<br>・RCPからの漏えい開始 | 0秒    | RCPからの初期漏えい率は21gpm/RCP           |
| ①  | 原子炉トリップ                | 1.5秒  | -                                |
| ②  | タービン動補助給水ポンプ起動         | 1分    | -                                |
| ③  | 主蒸気逃がし弁手動操作開始          | 30分   | RCS温度208℃を目標に冷却                  |
| ④  | 蓄圧タンク作動                | 約1時間  | RCS圧力4.2MPa[gage]                |
| ⑤  | 蓄圧タンク出口弁を手動閉止          | 約12時間 | RCS圧力1.7MPa[gage]                |
| ⑥  | 主蒸気逃がし弁手動操作            | 約12時間 | RCS温度170℃を目標に冷却                  |
| ⑦  | RCPからの漏えい停止            | 約14時間 | RCS圧力0.83MPa[gage]               |
| ⑧  | 安定冷却状態到達               | 約19時間 | RCS圧力0.7MPa[gage]<br>(RCS温度170℃) |

第2図 冷却シナリオの成立性評価結果

策を実施したが、ここでは大飯発電所を例に電源確保対策を説明する。

まず、平成23年4月に500~610 kVAの電源車を各原子炉ごとに1台配備した。これは、中央制御室におけるプラント監視機能を維持し、蓄圧タンク出口弁の閉止など、冷却シナリオを実現するために必要な設備を作動するために必要な容量を満足するものであった。

電源車が接続されるまでの時間は、バッテリーによって監視装置への電源供給が行われるため、プラントの状態は継続的に監視が可能である。しかし、バッテリーが枯渇すれば監視計器の電源が失われるため、バッテリーが枯渇するまで(約5時間)に、電源車が接続できるよう24時間の接続体制を構築するとともに、訓練によって接続操作の習熟、時間短縮を図ってきた。

その後、タービン動補助給水ポンプのバックアップとして電動補助給水ポンプが運転可能となるよう電源車を追加配備し、さらに余熱除去系を用いた低温停止への移

行が可能となるように、余熱除去ポンプや原子炉補機冷却水ポンプの運転が可能となる大容量(1,825 kVA)の空冷式非常用発電装置を平成23年9月に原子炉ごとに2台配備するなど、継続的に電源供給機能の強化を図り、多様な手段で炉心冷却が行えるよう対策を充実するとともに、電源の接続方法についても、コネクタの改良など操作の容易化を図ってきた。

今後、さらに海水ポンプや高圧注入ポンプなど多様な機器を運転できるように恒設の発電装置を設置し、電源の多様性や分散配置、接続方法を一層充実する予定である。

(2) 水源確保対策

長期的に燃料の冷却を継続するには、冷却水の確保が必要である。PWRでは、蒸気発生器を介して炉心の冷却を行うため、蒸気発生器への給水源について、発電所内に貯留されている真水を有効に活用するための手順を整備するとともに、最終的に海水を利用するために必要な資機材の配備、手順の整備を行った。

タービン動補助給水ポンプの第1の水源は復水ピットである。復水ピットは耐震Sクラスの設備であり、建屋内に設置されている。この復水ピットの枯渇に備え、後備の水源としてC-2次系純水タンクと呼ばれるタンクが発電所内の高台に設置されている。これらの水源を用いれば6日程度の蒸気発生器への給水が確保できるが、さらに後備の水源として2次系純水タンク(予備)を使用し、最終的には海水を復水ピットに補給する手順を整備した。

復水ピットや使用済燃料ピットへ海水を補給するために、ガソリン駆動のポンプ(消防ポンプ)とホースを配備した。ポンプの必要台数は復水ピットへ海水補給を開始する時点の崩壊熱や使用済燃料ピットの熱負荷をもとに

決められるが、これに余裕を見込んだ台数のポンプを配備した。

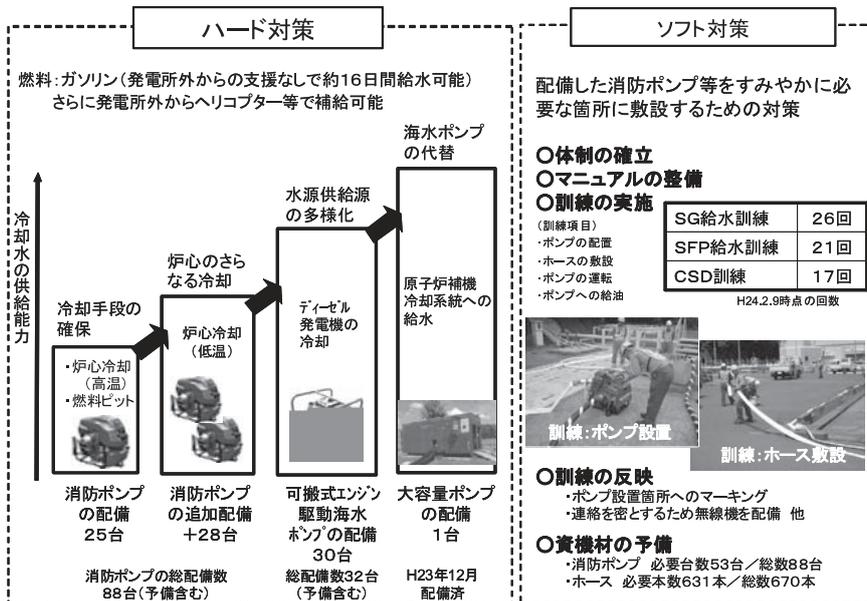
タービン動補助給水ポンプは、その駆動源として蒸気発生器で発生した蒸気が必要なため、1次冷却材温度を100℃未満にすることはできない。したがって、蒸気発生器を用いて原子炉を低温停止状態に移行するためには、タービン動補助給水ポンプ以外の設備によって蒸気発生器に給水し、蒸気発生器で蒸気を発生させずに熱交換することによって1次冷却材を冷却しなければならない。

通常の原子炉停止の際には、余熱除去ポンプ、余熱除去冷却器を用いて1次冷却材を循環冷却することによって低温停止に移行するが、当初配備された電源車では、余熱除去ポンプが運転できなかったため、蒸気発生器に消防ポンプを用いて海水を直接供給し、低温停止に移行する手順を整備した。しかし、第3図に示すように平成23年9月に空冷式非常用発電装置が配備され、さらに平成23年12月に海水ポンプの代替となるディーゼル駆動の大容量ポンプが配備されたことにより、余熱除去系を用いた低温停止への移行操作が可能となった。これにより、低温停止への移行手段が多様化されるとともに、低温停止までの期間についても短縮が可能となった。

(3) 浸水防止対策

浸水防止対策としてまず実施したのは、前述の冷却シナリオにおいて必要とされる機器などの重要な機器が設置されたエリアへの浸水口となる扉や壁貫通部の特定と、当該箇所へのシール施工である。

福島第一原子力発電所では、平成14年に土木学会がまとめた手法によって評価された津波高さを約9.5 m上回る高さまで浸水したことを踏まえ、同程度の津波に対する浸水防止を図るため、当社各発電所において前述の土



第3図 水源確保への対応(大飯発電所の例)

本学会手法によって評価された津波高さに9.5 mを加えた高さを考慮すべき浸水高さとし、シール施工による浸水防止対策を実施した。

扉へのシール施工の効果については、浸水量評価を行い、シールによって浸水が制限され、重要機器の機能維持が図られていることを確認した。

なお、重要機器への浸水口となり得る扉については水密扉への取替えを順次実施している他、防波堤のかさ上げや防潮堤の設置などを実施中である。

(4) その他の対策

福島第一原子力発電所事故では、1号機の原子炉建屋で発生した水素爆発が、その後の対策実施を非常に困難にしたとされている。爆発の原因となった水素は、燃料棒の被覆管などに使用されているジルコニウムが、高温の蒸気と反応して発生したものと推定されるが、PWRにおいても燃料が露出するような事態に至れば、同様の反応によって水素が発生する可能性がある。

水素と酸素の濃度がある一定の条件を満たせば、爆発的に燃焼するため、格納容器容積が小さいBWRでは通常運転中から窒素を格納容器内に封入し、酸素濃度を低下させ(不活性化)、水素が発生したとしても燃焼を防止

するようにしている。一方、PWRでは格納容器容積が大きいことから、水素濃度が爆ごう限界以下に維持され、大規模な水素爆発の発生が防止されている。

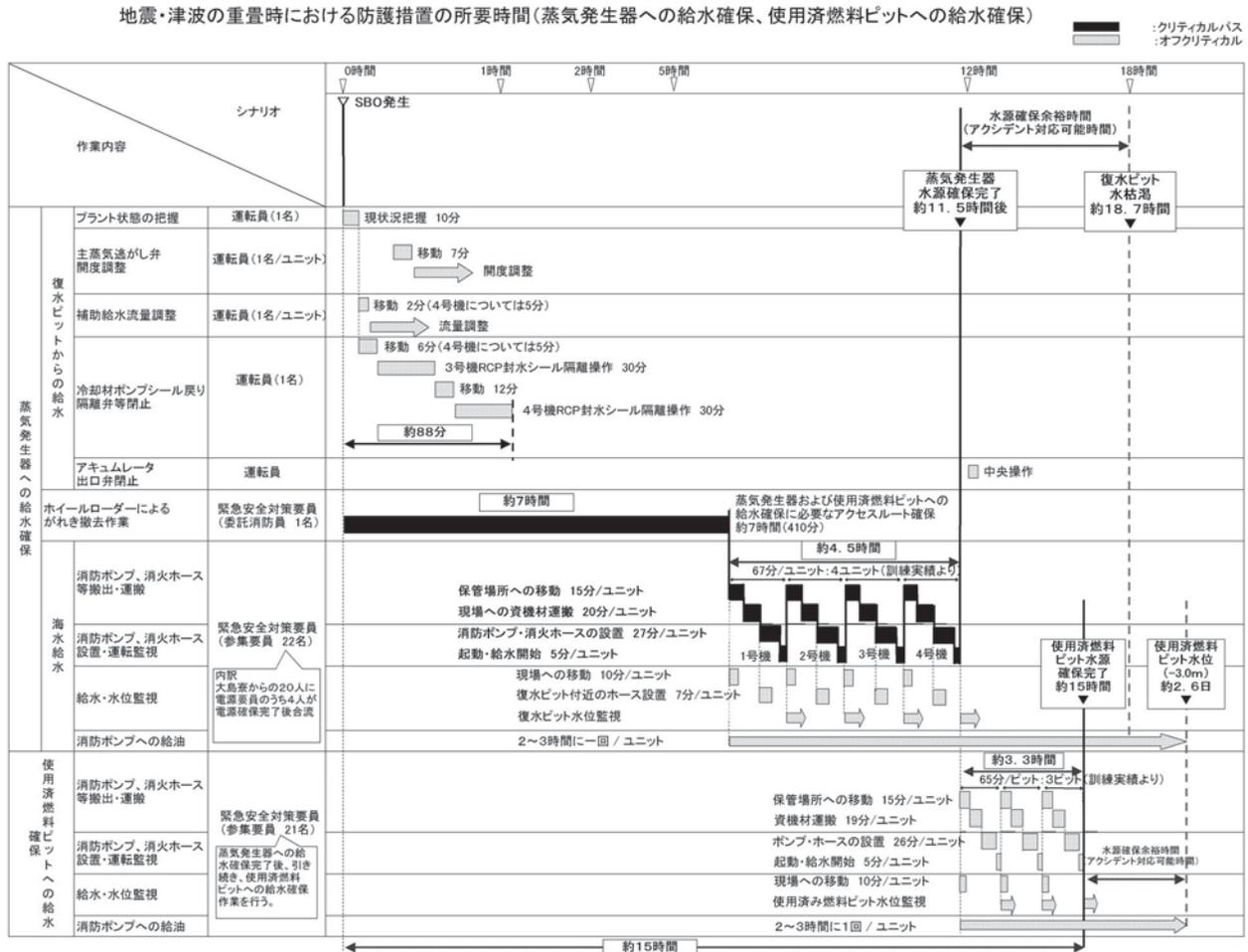
このようにそれぞれ格納容器内での水素爆発防止対策は取られていたものの、福島第一原子力発電所事故では、格納容器から漏えいした水素が不活性化されていない原子炉建屋で爆発を起こしたため、水素爆発防止対策についても、今一度確認を行った。

PWRでは、仮に格納容器から水素が漏えいしたとしても、水素濃度が低いため格納容器外での爆発の可能性は小さいと考えているが、格納容器を取り囲むアニュラスに水素が漏えいした場合を考慮して、ファンによってフィルタを通して大気中に放出する手順を整備した。

また、今後さらに格納容器内の水素濃度を長期的に減少させるために、触媒式水素再結合装置を設置することとした。

3. 安全確保対策の実行可能性評価

上記のような安全確保対策を緊急時にも実行可能なものとするためには、ハードの整備だけでなく、教育・訓練や体制といったソフト面の整備が必要である。



第4図 安全確保対策の実行可能性評価の例

(<http://www.aesj.or.jp/information/session.html>)

訓練や手順の整備は、ハードの導入と合わせて開始し、その後も様々な条件での訓練を行うとともに、訓練結果を手順や設備の改善に反映するなど、継続的な取組みを行ってきたが、ここでは、地震・津波によるがれきの散乱などといった悪条件下で、必要な時間内に緊急安全対策が実行可能かという観点から行った評価について説明する。

地震・津波が発生し、全ての交流電源と海水冷却機能が喪失したという条件のもとで、燃料の冷却を継続的に行うためには、バッテリーが枯渇するまでの時間に、後備電源である空冷式非常用発電装置を接続・起動するとともに、復水ピットが枯渇するまでに、消防ポンプを用いて海水を復水ピットに供給することが必要である。すなわち、復水ピットの後備水源であるC-2次系純水タンク、2次系純水タンク(予備)については、地震によって使用できない状態であると仮定する。

大飯3,4号機の場合、事故後5時間以内に空冷式非常用発電装置の接続・起動、同18.7時間以内に復水ピットへの海水補給開始が必要である。

空冷式非常用発電装置の接続・起動については、装置の移動は必要ないが、消防ポンプによる復水ピットへの海水補給については、事故後に消防ポンプ、ホースの敷設が必要であるため、敷設ルートのがれき除去が準備作業として必要となる。

地震による発電所内の道路の被害状況の想定をもと

に、がれき除去に要する時間、訓練結果を踏まえた電源接続時間や給水ルートの敷設時間、さらに、継続的に空冷式非常用発電装置や消防ポンプを運転するための燃料の補給インターバルなどを評価し、発電所内に常駐している要員と召集要員によって安全対策の実行が可能かを第4図のとおり評価を行った。

#### 4. 安全確保対策の効果の定量評価

福島第一原子力発電所事故以降、種々の安全確保対策を講じてきたが、これらがどの程度原子力発電所の安全性向上に寄与したのかという点については、なかなか具体的に示すことが困難であった。

平成23年7月に、原子力安全・保安院から原子炉施設の安全性に関する総合的評価、いわゆるストレステストの実施を求める文書が出され、関西電力は平成24年4月末までに7プラントの1次評価結果を提出した。

評価は、設計上の想定を超える事象に対して、どの程度の安全裕度が確保されているかという観点から実施し、それぞれのプラントに対して、想定を超える地震、津波に対して、燃料の冷却機能が全て失われる地震動の大きさや津波による浸水高さをクリフエッジと定義し、このクリフエッジが、想定に対してどの程度の裕度を有しているかを数値で示した。第1表にこれまでに提出した当社各プラントの評価結果を示す。

いずれのプラントにおいても、安全確保対策によって

第1表 ストレステスト評価結果一覧

|                                   | 燃料       | 高浜3号機<br>(平成24年4月20日時点評価)           | 高浜4号機<br>(平成24年4月1日時点評価)            | 大飯1号機<br>(平成23年12月1日時点評価)            | 高浜1号機<br>(平成23年12月1日時点評価)            | 美浜3号機<br>(平成23年12月1日時点評価)           | 大飯3/4号機<br>(平成23年10月1日時点評価)         |
|-----------------------------------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                                   |          | クリフエッジ<br>下段:対象となる設備                | クリフエッジ<br>下段:対象となる設備                | クリフエッジ<br>下段:対象となる設備                 | クリフエッジ<br>下段:対象となる設備                 | クリフエッジ<br>下段:対象となる設備                | クリフエッジ<br>下段:対象となる設備                |
| 地震<br>(津波との<br>重量も同じ)             | 炉心       | 約1.77倍(973.5gal相当)<br>高電圧用開閉装置      | 約1.77倍(973.5gal相当)<br>高電圧用開閉装置      | 約1.63倍(1141gal相当)<br>高電圧用開閉装置        | 約1.70倍(935gal相当)<br>原子炉コントロールセンタ     | 約1.76倍(1320gal相当)<br>原子炉コントロールセンタ   | 約1.80倍(1260gal相当)<br>高電圧用開閉装置       |
|                                   | 使用済燃料ピット | 約2.00倍(1100gal相当)<br>使用済燃料ピット       | 約2.00倍(1100gal相当)<br>使用済燃料ピット       | 約2.00倍(1400gal相当)<br>使用済燃料ピット        | 約2.00倍(1100gal相当)<br>使用済燃料ピット        | 約2.00倍(1500gal相当)<br>使用済燃料ピット       | 約2.00倍(1400gal相当)<br>使用済燃料ピット       |
|                                   | (基準地震動)  | 550gal                              | 550gal                              | 700gal                               | 550gal                               | 750gal                              | 700gal                              |
| 津波(地震との重量も同じ)                     | 炉心       | 約4.1倍(10.8m)<br>タービン動補助給水ポンプ        | 約4.0倍(10.8m)<br>タービン動補助給水ポンプ        | 約4.0倍(11.4m)<br>タービン動補助給水ポンプ         | 約4.1倍(10.8m)<br>タービン動補助給水ポンプ         | 約4.6倍(11.1m)<br>タービン動補助給水ポンプ        | 約4.0倍(11.4m)<br>タービン動補助給水ポンプ        |
|                                   | 使用済燃料ピット | 約10.7倍(28.0m)<br>消防ポンプガソリン保管高さ      | 約10.7倍(28.0m)<br>消防ポンプガソリン保管高さ      | 約5.0倍(14.4m)<br>消防ポンプガソリン保管高さ        | 約10.7倍(28.0m)<br>消防ポンプガソリン保管高さ       | 約13.5倍(32.0m)<br>消防ポンプガソリン保管高さ      | 約5.0倍(14.4m)<br>消防ポンプガソリン保管高さ       |
|                                   | (想定津波高さ) | 2.60m                               | 2.60m                               | 2.85m                                | 2.60m                                | 2.37m                               | 2.85m                               |
| 地震と津波の重量時に<br>おけるSBO<br>(またはLUHS) | 炉心       | 約8.2日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン        | 約7.6日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン        | 約7.2日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約8.1日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約11日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約7.2日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン        |
|                                   | 使用済燃料ピット | 約7.5日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン | 約7.5日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン | 約7.2日後(運転中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  | 約7.5日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  | 約8.3日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン | 約7.2日後(運転中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン |
| 全交流電源喪失(SBO)                      | 炉心       | 約19日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約18日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約31日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン*1        | 約15日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン*1        | 約12日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約16日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン*1       |
|                                   | 使用済燃料ピット | 約16日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  | 約16日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  | 約15日後(運転中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン*1 | 約14日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン*1 | 約8.8日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン | 約10日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  |
| 最終ヒートシンク喪失(LUHS)                  | 炉心       | 約19日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約18日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約31日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン*1        | 約15日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン*1        | 約12日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン         | 約16日後<br>水源補給用<br>消防ポンプガソリン*1       |
|                                   | 使用済燃料ピット | 約16日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  | 約16日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  | 約15日後(運転中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン*1 | 約14日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン*1 | 約8.8日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン | 約10日後(停止中)<br>ヒット水補給用<br>消防ポンプガソリン  |

\*1:タンク等の水源枯渇後に消防ポンプにより海水を補給するが、発電所備蓄ガソリンは既に枯渇しており使用できない。

想定を超える地震、津波に対しても燃料を冷却する手段が準備されており、その裕度を定量的に評価することができた。

### Ⅲ. さらなる安全性向上への取り組み

福島第一原子力発電所事故発生以降、同じ原子力事業者としてそのような事故を二度と起こしてはならないとの決意のもとに、安全確保対策の立案、実施、検証、改善を実施してきた。

平成24年3月には、原子力安全・保安院が「東京電力株式会社福島第一原子力発電所事故の技術的知見について」をまとめたが、関西電力はこれらの知見に対する大飯3、4号機の対策について、すでに実施済みおよび実施中の対策と併せて平成24年4月に実施計画を取りまと

めた。実施計画に基づき必要な対策を逐次講じていくが、安全確保対策に終わりではなく、安全性を向上させる観点から有効な知見が新たに得られた場合には、積極的に取り組んでいくことが、われわれ原子力事業者に求められる姿勢である。

今後も常に現状に満足することなく、継続的な安全性向上の取り組みを行っていく所存である。

#### 著者紹介



吉原健介(よしはら・けんすけ)  
関西電力㈱  
(専門分野)シビアアクシデント対策、安全解析



### 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—

(6月1日第12回編集幹事会)

#### 【論文誌関係】

- ・平成23年度の編集委員会(論文誌)活動報告の内容について報告があった。
- ・各グループの平成23年度の活動と、次年度への課題が報告された。
- ・編集委員会運営内規が回議により承認された旨報告が有った。また、審査・査読に関する留意点の表現を見直した。
- ・英文誌50周年記念 Review 論文の部会からの推薦の集計が報告された。これを参考に、各分野において依頼先1件を決めることとした。
- ・英文誌出版の進捗状況について報告が有った。

#### 【学会誌関係】

- ・平成23年度の編集委員会(学会誌)活動報告の説明があった。
- ・主要記事の内、時論記事の件数が少なくなっているので、増やしていくことを申し合わせた。

- ・「編集委員会運営内規」、「学会誌記事作成要領」は前回の幹事会で改定案が承認され、運営内規については編集委員全員のメール審議を行い、5/31付で正式に手続きが終了した旨の報告があった。
- ・これに伴い、HPに掲載している記事作成手順書などを見直し修正した旨の報告が事務局よりあった。幹事会終了後、HPなど、順次差替え作業を行う。
- ・今後は、新刊紹介や書評の投稿提案は受け付けないこととした。新刊紹介や書評を希望する場合は、先ず編集委員会にその書籍の提供を受ける。提供された書籍について編集委員会でその採否を決める。採用された場合は編集委員会が執筆者を決め執筆を依頼する。これは第三者による公正で客観的な評価を行うため。なお、執筆者と直接関係のない編集委員が独自に記事提案する場合は従来通り。
- ・8月号以降の記事企画について議論した。いくつか今後のテーマ案が出されたので、企画を詰めていくこととした。

編集委員会連絡先<<hensyu@aesj.or.jp>>

# 原子力災害の再発を防ぐ(その1)

## 地震安全ロードマップ策定の意義と重要性

法政大学 宮野 廣, 大阪大学 中村隆夫, 関西電力(株) 成宮祥介

2007年7月に中越沖地震が発生し、更にその3年半後に東日本大震災が日本を襲った。いずれの場合にも震源近傍の原子力発電所は大きな地震動に見舞われたが、その後に大津波が発生したかどうかにより事故の明暗が大きく分かれることとなった。今、私達は今回の福島第一原子力発電所事故の未曾有の過酷さの前に、4年半前に起きた中越沖地震のことをともすると忘れがちになるが、2つの地震の共通点は、原子力発電所が設計の想定を大きく超えた地震動に見舞われたことにある。日本原子力学会は、中越沖地震の後、「原子力発電所地震安全特別専門委員会」を設置し、設計想定を超える地震に対してどのように安全を確保すべきかを検討してきた。そして東日本大震災が発生した昨年初めには、ほぼその検討結果が報告書としてまとまりつつある状況にあった。福島第一原子力発電所事故後の緊急事態からようやく立ち直りつつある現在、今回取りまとめた地震安全ロードマップに関する報告書の意味するところ、すなわち「原子力発電所の安全をいかに確保すべきか」を改めて問い直してみるのが重要である。日本原子力学会は、この報告書の提言しているところを原点とし、引き続き「原子力安全」の確保のあり方について検討していくことが求められている。

今回、4回のシリーズで、本委員会の活動に参加した日本原子力学会の委員、及びその検討に協力した日本地震工学会、日本機械学会の委員により、本委員会が取りまとめた地震安全ロードマップ報告書の内容と、中越沖地震及び東日本大震災を踏まえた原子力安全確保のあるべき方向について解説する。

### I. 地震安全ロードマップの目的と意義

2007年7月16日に発生した新潟県中越沖地震(M=6.8)は、震源に程近い位置(震央距離=1.6 km)にある東京電力柏崎刈羽原子力発電所に大きな影響を与えた。同発電所の7基の原子炉のうち、3, 4, 7号機が運転中、1, 2, 5, 6号機が定期点検中であつた。この地震のもとで、運転中の原子炉はすべてスクラム機能が作動して自動停止し、その後の炉心冷却も安全機能に支障を来すことなく実行され、全号機の冷温停止状態が達成された。原子炉建屋基礎版上で観測された地震動の最大加速度(東西水平成分で比較)は設計値の1.2~3.6倍であり、稼働中の号機に限っても2.5倍に達した。この大きな地震動のもとで、原子力発電所の緊急時の安全確保機能である「止める」、「冷やす」、「閉じこめる」が正常に作動したことは国際的にも高く評価された。中越沖地震は柏崎刈羽原子力発電所に設計想定を超える大きな地震動

をもたらしたが、地震による原子力発電所の被害は軽微なものであり、原子力発電所の安全性は確保された。

#### 1. 活動の目的

日本原子力学会では、中越沖地震での柏崎刈羽原子力発電所の被災を契機に、地震に対する原子力発電所の安全性を更に確かなものとすべく、2007年12月に「原子力発電所地震安全特別専門委員会(以下、本委員会という)」を設置し、地震発生時の原子力発電所の安全性の確保に必要な、地震動の大きさの想定の考え方、建物・機器の構造強度・安全機能の確保、また不確定要素やシステムとしての安全評価の考え方などの論点に対して、関連する様々な分野の技術者、研究者により包括的に技術・研究課題を抽出、整理して取りまとめた<sup>1)</sup>。

本委員会の活動の目的は、以下の通りである。

- (1) 地震時の安全確保の基本的考え方を明らかにする。
- (2) 必要な技術・研究課題を整理するとともに、その解決のための研究開発と方策の検討を行い整理し、解決のスケジュール、成果目標などをロードマップとしてまとめる。

*Prevent Recurrence of Nuclear Disaster*(1); *Purpose and Significance of Road-map towards Seismic Safety*: Hiroshi MIYANO, Takao NAKAMURA, Yoshiyuki NARUMIYA.

(2012年 5月15日 受理)

- (3) 地震安全が全体として進むべき方向に関してコンセンサスを形成し、それを社会に発信、実行する。

## 2. 活動の意義

原子力発電所の地震安全を議論する上で必要な関連分野として、原子力施設の安全に係わるシステム安全工学、地震工学、地震学、構造工学などの多分野があり、それらの専門家が共同して検討することが不可欠である。そこで、原子力安全分野、地震工学分野、機械構造分野の3つの分科会及びロードマップワーキンググループを設置した。これは、原子力発電所の地震安全確保に関わる立地・設計段階から、運転段階までの活動における広い技術分野を全てカバーできるようにしたものである。また、原子力安全分野と地盤、土木、建築などの地震工学分野、および機械構造分野の検討では、それぞれ安全分科会、地震工学分科会、構造分科会が分担して専門家による深い議論を進めることを狙ったものではあるが、お互いに密接な関係があるものであり、お互いの理解を行うと同時に、ロードマップの構築の共同作業により、垣根を越えた連携を行うことで地震分野の体系化を図った。

安全分科会は、日本原子力学会の特別専門委員会傘下に設置した。地震に関する各専門分野を束ねるメカニズムのひとつは、横串となる原子力の安全確保に関する基本的考え方であり、安全分科会は、これを「原子力発電所の設計と評価における地震安全の論理」(以下、「地震安全の論理」という)としてまとめた。これを基にこの考え方を各分野に展開し、それぞれの取り組むべき課題の議論に供した。

地震工学分科会は、入力地震動、構造系の応答、耐震設計などの地震工学的課題の検討を行い、日本地震工学会(以下、「地震工学会」と称する)に協力を要請して検討を進めた。

構造分科会は、日本機械学会の動力エネルギーシステム部門と連携して検討を進めた。

このように、本活動は、日本原子力学会が中心となり、関連する他学会に協力を呼び掛け、原子力発電所の「地震安全」はいかにあるべきかについて、広範囲の専門分野にまたがる深い議論を行ってきたことに大きな意義があると言える。

## II. 原子力安全の基本的考え方と深層防護の思想

### 1. 原子力安全の基本的考え方

ここで改めて原子力発電所の安全とは何か、何を目的にどのような対応がなされているのか、を基本から見直してみる。原子力発電所の炉心には多くの放射性物質が内包されている。そのほとんどは原子燃料ペレット内に留められているが、燃料の核反応による核分裂生成物の

形でも存在している。炉心以外にも、取替え用の燃料等を保存している使用済み燃料プール(ピット)にも多くの燃料がある。原子力発電所の「原子力安全」の目的は、これらに起因する放射能により人や周辺環境に対する影響を顕在化させないことにある。この目的は福島第一原子力発電所事故の前には「災害防止上支障のないこと」と法令で記載されてきたことであった。今回、原子力基本法の改正法案において、第二条に「放射線による有害な影響から人の健康及び環境を保護する」と明記されたのは、その目的を明確に表現したものであると考える。

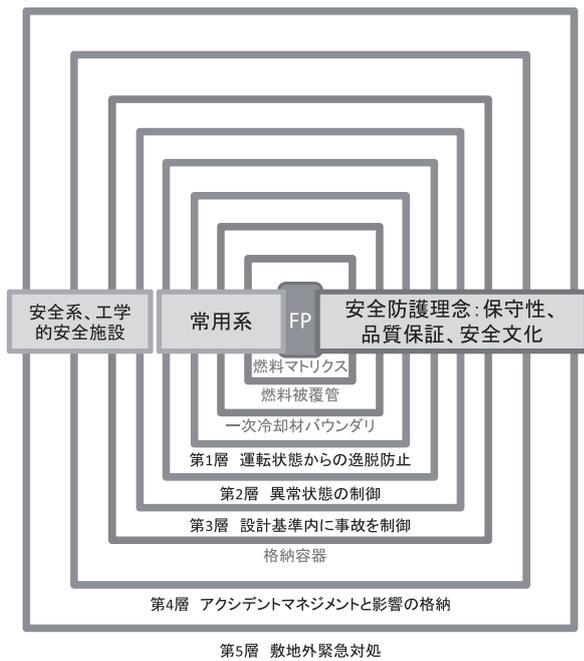
この目的は、原子力発電所の全ての運転状態において、供用期間中を通じて確保されていなければならない。炉心に燃料を装荷し炉出力を上昇させていく過程においても、100%の出力で維持する通常運転中においても、放射能を限定した系統の中に閉じ込めている。また、設備は故障することは否めない。時として人的過誤による誤操作なども発生することが考えられる。そういう異常な状態を超える冷却材喪失事故などの設計想定事故も考えられる。そのような状態においても、周辺環境へ放射能による著しい影響を与えないことが原子力発電所には求められる。これらの事態の起因となる外的事象、たとえば地震、津波、火災などの事態が発生してもその目的は変わらない。

この目的を厳格に達成するため、原子力発電所においてはその立地から設計、建設、運転に至る全ての過程で、様々な工夫と策がなされている。それらを支える基本的な考え方として、深層防護の概念がある。

### 2. 深層防護の概念

第1図に深層防護の概念を示す。これは国際原子力機関(IAEA)のINSAG-12<sup>2)</sup>に示されている図であるが、各防護層の目的と達成手段、そして各層に共通理念が示されている。5つの防護層は、通常運転からの逸脱防止(第1層)、異常状態の制御(第2層)、事故状態の制御による設計基準事象からの逸脱防止(第3層)、アクシデントマネジメントと影響の格納(第4層)、サイトの外の緊急対処(第5層)により構築されている。図に少し細い幅の囲いが描かれているが、これは物理障壁である。第3層までの物理障壁として、燃料ペレット、燃料被覆管、冷却材バウンダリーが描かれている。また、複数の層をまたいで貢献する設備が描かれている。第1層と第2層は常用設備で、第3層から第5層には安全系と工学的安全設備で達成されている。さらに全ての層に共通する理念として、保守的な設計、品質保証、安全文化が挙げられている。

本学会誌解説記事「原子炉施設の確率論的リスク評価の動向と今後への期待」第3回<sup>3)</sup>にて山口が述べているように、深層防護の重要な目的は、①防止、②影響緩和、③緊急対処の3つに尽きる。「①防止」は、安全設計で対



第1図 深層防護の概念

処すべき領域である。適切な安全余裕を持たせた安全設計、設計・建設・運転の高い品質、異常検知と安全系作動による異常拡大防止、多重性・多様性を持たせた工学的安全設備による設計基準状態からの逸脱防止により、構成される。「②影響緩和」は、特定の事故シナリオを限定せず、考えうる様々なシナリオに対して、アクシデントマネジメント策を用意し、それらが有効に機能しないことを想定して格納機能により放射性物質を過大に放出しないことである。「③緊急対処」も、②と同様、特定シナリオに限定せずに、総合的な緊急時計画を作り訓練を行うことである。これらは基本的に必要なことである。

深層防護の概念に則して設計された原子力発電所は、様々な事象が起こることを想定し、燃料に大きな損傷がなく、周辺の公衆の安全と健康に影響をもたらさないことを安全評価で確認することとしている。起こり得る事象として、2つのカテゴリーを考える。1つは運転時の異常な過渡変化(異常過渡)で、原子力発電所の寿命中に発生が予想される機器の故障や運転員の誤操作により引き起こされる外乱で原子力発電所が異常な状態に至る事象である。簡単に言えば軽い異常で、タービンが停止してしまうような事象、外部電源が喪失してしまうような事象などである。この異常な過渡変化事象に対して、事象が終息し、燃料と原子炉の1次系がすべて健全で、原子力発電所を通常の運転状態に復帰できることが確認される。もう1つのカテゴリーが事故である。異常な過渡変化事象を超える状態で、発生する頻度はまれであるが、原子炉施設からの放射能放出の可能性があるため、安全性を評価する観点から考えておくべき事象である。具体的には、冷却材喪失事故や反応度事故が対象となる。こ

れらの様々な事故に対してそれぞれ評価を行い、燃料の冷却が維持されて放射能放出の恐れがないことを確認する。

これらの異常な過渡変化事象や事故を設計基準事象という。解析評価においては、結果が最も厳しくなるような機器が1つ機能しないこと、すなわち単一故障を想定する。他にも、様々なパラメータや特性に保守的な仮定を置き、参照する測定データなども保守側に参照するようにして、全体の包括性が確保されるような枠組みとしている。

### Ⅲ. 地震安全の論理

上述のようにして確立した安全確保の考え方を地震安全の論理に取りまとめた。地震時安全確保のためには、設計上考慮すべき地震動、すなわち基準地震動を定め、その地震動以下の地震動において、安全機能が確実に遂行されることを担保するように適切な余裕を持たせた耐震設計を行い、諸所に存在する不確かさを考慮し安全評価により確認する、というプロセスが必要となる。

まず、基準地震動の策定については、原子炉の運転期間を考慮し、原子炉のリスクを十分に低く抑えるような発生頻度と大きさの地震動を設定する。地震時の安全確保の観点から適切な基準地震動を設定するには、知識および認識の不足に係わる不確かさを低減させる努力を継続するとともに、確率論的概念を導入することが必要である。

次に、耐震設計では、基準地震動以下の地震動に対して事故の発生防止に重点を置くことが重要であるが、拡大防止および影響緩和についても異常過渡が事故へ拡大するのを防止するという観点から、事故の発生防止と同様に高い耐震重要度分類に位置付け、基準地震動以下の地震動に対して原子炉の安全を確保するように設計することが適切である。

基準地震動以下の地震動に対して、安全機能を担う機器の機能が設計により担保されていれば、内的事象に対する安全評価により確認された機能と同等の働きを各防護レベルの機器が果たすことから、機器の構造設計評価を行って地震時に所定の機能が確保されることを確認することで、基本的には内的事象と同様の安全評価は不要と考えられる。ただし、地震時には耐震重要度の低い機器のいくつかと同時に損傷して機能を果たすことができないという事態も想定すべきであり、こうした状況を踏まえて、地震時における原子炉の挙動が内的事象に対する安全評価で対象としている事象により包絡されるか否かについて十分な検討を行うことが必要である。

基準地震動を超える地震動は、発生頻度は極めて小さいものの、その発生を完全には否定できないため、こうした地震発生時の原子炉の安全性を確認することが必要である。基準地震動を超える場合には、耐震重要度が高

い機器であっても同時に、複数の機器の機能に期待できなくなる場合も想定されることから、地震時確率論的リスク評価(地震PRA[PSAと同じ])を導入することが合理的である。地震PRAを行うことにより、発生頻度と影響の両方を定量的に把握して、基準地震動を超えるような地震動に対して発電所の有する潜在的なリスクが十分に小さいことを確認することが可能となる。

## IV. 地震安全確保の課題

### 1. 地震安全確保のプロセス

前章で述べた地震安全の論理を基に、地震安全確保のプロセスを再構成すると第2図のような論理体系となる。このプロセスは図中の1)~9)の項目で構成されているが、「耐震設計」のプロセスだけでなく、内的事象を対象とした、安全設計、安全評価との関係も含めている点が新しい。すなわち、図の各技術的要素の中で、「2)基準地震動の設定」における確率論的手法による発生頻度の評価、「5)決定論的安全評価」における耐震設計への評価、「8)構造/耐震上の余裕の把握」、「9)地震時確率論的安全評価」の4つについては、地震安全の論理を構成する要素として従来の原子力発電所の安全確保のプ

ロセスに、新たに付加したものである。

これら4つの技術要素は、中越沖地震において設計で想定していた基準地震動をはるかに超える地震動を受けても、なぜ発電所の被害は軽微であったかを明らかとする上で重要であり、地震時の安全を確保する上で必要な事項を示しており、福島第一原子力発電所事故の場合にもその重要性は変わらないと考える。

### 2. 技術課題の抽出

前述の地震安全確保のプロセスの中の4つの項目について、これまでの取り組みで不足している事項に着目し、研究課題としての緊急性や重要性について検討した。

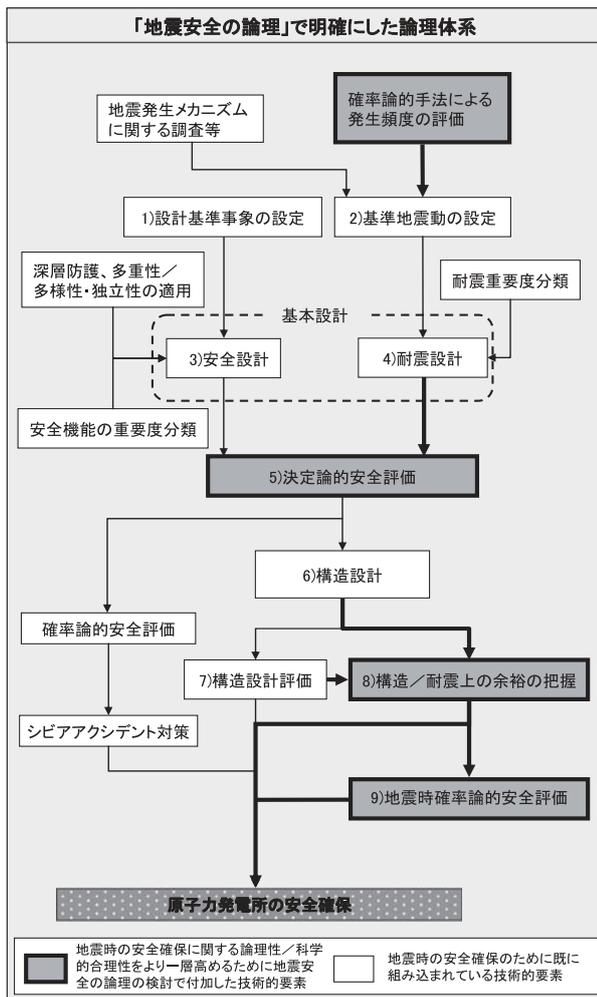
地震安全ロードマップを策定する視点から、技術課題等の現状を把握した上で、地震安全に係わる地震・地震動、構造設計、安全評価の分野を俯瞰し、地震安全の論理を具現化するための手法整備やデータ収集などの個別技術要素について検討した。それらの分野に関わる日本機械学会の機械構造分野の専門家や、日本地震工学会の地震工学分野の専門家との議論を重ねることを通じて、地震安全に関する各技術分野の考え方や扱いについての過去の論点や課題などを調査し、地震安全の論理との関係を整理した。その上で、より堅固な地震時安全確保に向けた体系を確立するために、今後取り組むべき技術課題を抽出した。

地震安全の論理を基に抽出した技術課題は次の通りである。

まず、地震安全の論理については、今までの耐震設計を離れ、リスクの考え方を基本としてプラント全体の受容可能なリスクから地震時の安全確保体系を再構築することが考えられる。また、地震に伴う火災や溢水、津波に関する安全確保の論理についても今後検討する必要がある。

次に、地震・地震動であるが、従来の地震発生メカニズムに関する科学的調査の結果に加えて、地震によるハザードを適切に評価する方法を検討し、更にリスクの観点から、基準地震動とすべき地震の発生頻度がどの程度であるべきかを検討することが重要である。具体的には、基準地震動の発生頻度をどの程度に設定し、その基準地震動に対して、どのような耐震設計をすることで炉心損傷頻度や周辺公衆の健康影響リスクを、性能目標や安全目標を満足するものとしてできるかというようリスク論に基づく検討を行うことが必要である。

建屋や機器においては設計上の余裕があるため、基準地震動を超える地震動が起こっても、必ずしも直ぐに安全機能が喪失するわけではない。そのため、安全機能を維持できる地震動の大きさを把握することが、諸対策を事前に講じておくことを可能とする観点から重要である。しかし、現状では、実際にどの程度の大きさの地震動まで安全機能が発揮できるのかは完全には把握できて



第2図 「地震安全の論理」で明確にした論理体系

いない。このため、安全機能を担う建屋や機器の耐力の余裕を定量的に把握しておくことが、安全確保の説明性や透明性を高めるのに有効であると共に、地震PRAの基となる機器耐力データを把握する上でも重要となる。

最後に、現在行われている基準地震動に対する耐震設計といった決定論的なアプローチと基準地震動を超える残余のリスクの評価という、基準地震動を境にした2つの評価体系の組合せではなく、将来は地震動全体に対する地震時の安全性を論理的に説明できるような一貫性を有した評価手法の確立が求められる。

以上の技術課題は、福島第一原子力発電所事故の場合の地震評価についても同じことが言える。福島第一原子力発電所事故の場合は、更に津波というより厳しい地震随伴事象が加わったわけであるが、この場合においても地震を津波に置き換えることにより、設計想定を超えた津波に対して同様の技術課題について、今後取り組んでいく必要がある。

## V. ま と め

この解説シリーズは、福島第一原子力発電所事故の経験に基づき、原子力災害を二度と起こしてはならないとの強い思いから、今後いかにして原子力発電所の安全を確保すべきかについて考えることを目的としている。

その際、わが国で最も重要かつ注意すべき災害要因である地震への備えはどうあるべきかについて、中越沖地震を発端としてシステム安全、地震工学、機械構造の分野から設計想定を大幅に超えるような地震動に対し検討を行ってきた「原子力発電所地震安全特別専門委員会」での活動の視点に立ち、原子力発電所の安全確保のあるべき姿についてその要点を紹介するものである。

本稿では、関連複数分野での検討の基となるべき地震安全の論理を明示した。それを横串として安全分野はもちろん、機械構造や地震工学の分野にまたがる検討を行うことで、原子力安全と、地震工学および機械構造など複数分野間での議論が展開され、異分野間の考え方の交流が図られ、原子力に関連する学会間の交流が相互理解を深める上で大きな成果を生んだと考える。今後もこのような交流を継続していくことが、原子力の安全確保に大いに役立つものと期待される。

また、今回のアプローチは、今後、福島第一原子力発電所事故の対する安全性向上の検討を進める上で原点とすべきものであり、確率論をどこまで取り入れるのかは重要なポイントである。この経験を活かして福島第一原子力発電所事故以降の原子力安全確保の活動をいかに進めるべきかについては、第2回の解説の中で議論することにした。加えて、今回の検討に参加した地震工学分野および機械構造分野の専門家は福島第一原子力発電所事故をどう捉えているか、今後の活動をどう進めるべきと考えているかについては、第3回以降に解説する予定である。

### — 参 考 文 献 —

- 1) 原子力発電所の“地震安全”に関する検討報告書—地震安全ロードマップ—, 日本原子力学会 原子力発電所地震安全特別専門委員会, 2012年3月.
- 2) INSAG-12, Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants 75-INSAG-3Rev.1, IAEA, 1999.
- 3) 山口彰, 原子炉施設の確率論的リスク評価の動向と今後への期待, 第3回「リスク評価を正しく活用することへの期待」, 日本原子力学会誌, 54(3), 184~190(2012).

### 著 者 紹 介



宮野 廣(みやの・ひろし)  
法政大学, 日本原子力学会標準委員会  
(専門分野/関心分野)システム安全・設計, 流動・振動, 耐震, 規格基準



中村隆夫(なかむら・たかお)  
大阪大学  
(専門分野/関心分野)耐震設計, 高経年化評価, 環境疲労, 規格・基準



成宮祥介(なるみや・よしゆき)  
関西電力㈱  
(専門分野/関心分野)安全評価, 確率論的リスク評価, 規格・基準

# 内外における発送電分離の動向と評価

## 求められる客観的なメリット・デメリット比較

慶応義塾大学 矢島 正之

わが国では、2011年の東日本大震災と福島第一原子力発電所の事故を契機に、発送電分離についての議論が盛んになっているが、そもそも発送電分離に関しては内外で電力自由化が本格化した1990年代から2000年代初めにかけて散々議論されてきた課題であり、そのメリット・デメリットについても出尽くした感がある。その結論は、発送電分離には無視できないデメリットも存在しているということである。

本稿では、まず、発送電分離が必要とされる理由と発送電分離の形態について述べた後、内外における発送電分離の経験を概観する。次に、発送電分離のメリット・デメリット比較について述べ、最後に、わが国における今後の発送電のあり方について考えてみたい。

### I. なぜ発送電分離が求められるのか

電力市場が自由化されるということは、発電市場や小売市場に新たな参入者が登場することを意味している。これらの分野に競争が導入されても、既存の電力会社が自然独占である送電や配電の系統を有しており、競争が導入される発電や小売の分野にも従事している場合には、既存電力会社による新規参入者に対してのなんらかの差別が生じる可能性がある。具体的には、既存電力会社が発電のコストを低く、送電のコストを高く設定するなどの、いわゆる内部相互補助や、新規参入者の系統の利用に関してのなんらかの差別的取り扱いにより、新規参入者の系統利用を妨げる可能性が考えられる。そのような場合には、発電や小売の市場が自由化されても、競争は活性化せず、料金が下がらないであろう。この問題を解決するのが発送電分離である。送電を中立的な独立機関として分離すれば、発電や小売に従事する新規参入者に対して差別をする必要はなくなると思われるからである。

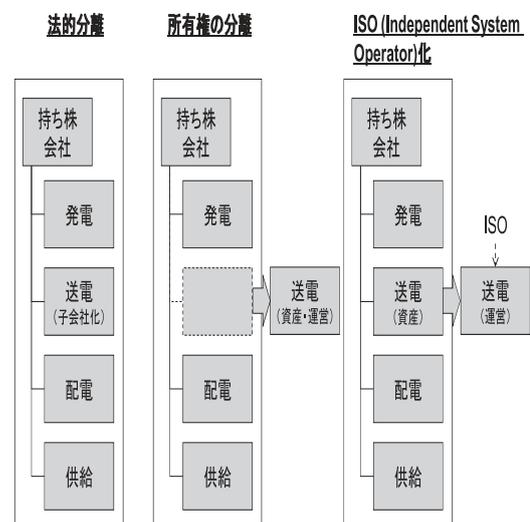
### II. 発送電分離の諸類型

送電や配電の独占的な部門と発電や小売の競争的部門の分離の方法としては、会計上の分離、法的分離(別会社化)、所有権の分離(資本関係のない独立の組織の設立)などがある。法的分離と所有権の分離は構造分離と呼ばれる。構造分離には、系統を所有しないが、系統運

用のみを行う独立機関 (Independent System Operator: ISO) の設立を含めることができる(第1図)。

### III. 内外における発送電分離の動向

欧米動向を概観する前に、まず、わが国の動きについて述べておく。わが国では、2003年の電気事業法改正で、「貯蔵が困難で瞬時瞬時に需給を均衡させる必要がある電気の特性から、発電設備と送電設備の一体的な整備・運用を維持し、電気の安定供給を図る必要」から構造分離は行わず、会計上の分離にとどめることとなった。また、電力会社の送配電部門から独立した中立機関(中間法人)を設立し、系統アクセスに関するルール策定、監視、斡旋・調停などを通じて、電力会社の送配電部門の公平性・透明性の確実な担保を図ることとなった。



第1図 発送電分離～構造分離

*The Trend and Evaluation of Unbundling in Electricity Industries in Foreign Countries and Japan: Masayuki YAJIMA.*

(2012年 5月13日 受理)

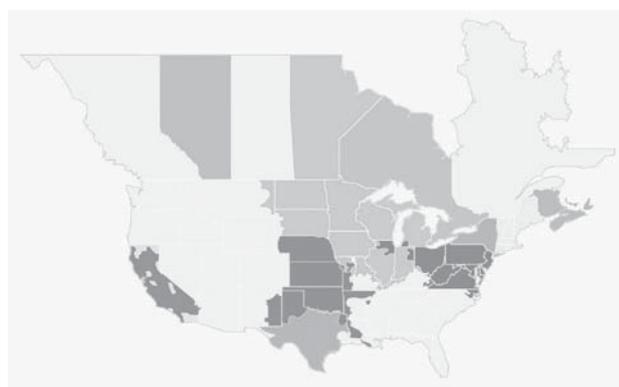
この中立機関として電力系統利用協議会が設立され、2005年4月から運用が開始されている。さらに、送配電部門の公平性・透明性を担保するために、情報遮断、内部相互補助の禁止、差別的取り扱いの禁止を行為規制として定めた上で、その実効性を確保するため、行政による事後監視・紛争処理体制の整備を行うこととなった。

このように、わが国では、「安定供給確保の観点」から垂直一貫体制を維持することとなったが、欧米の動向を見ると、米国では一貫体制と発送電分離が併存しており、欧州では、欧州委員会の「原理主義」的な考え方の下、構造分離が進められている。

米国では、1999年12月に、FERC(Federal Energy Regulatory Commission, 連邦エネルギー規制委員会)は送電線を所有・運用する電気事業者に対して、より広域的に、協調的に系統運用を行う独立の機関として「地域送電機関」(Regional Transmission Organization: RTO)の自主的な設立を求めた(第2図)。

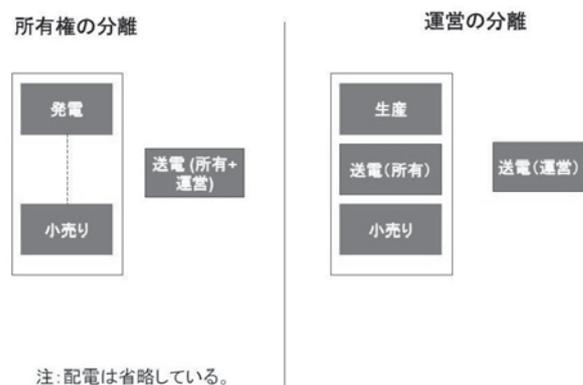
RTOは、送電運用のみを行う機関でも、送電線を所有・運用する機関でもよいとされた。米国では、所有権の分離の強制は財産権の問題から難しいため、大部分のRTOは運用のみを行う機関である(第3図)。

さらに、FERCは、2002年に「標準市場設計」(Standard Market Design: SMD)に関する規制制定案(Notice of Proposed Rulemaking: NOPR)を発表した。SMDは、米国最大の卸電力市場であるPJM Interconnectionをモデルとした市場設計であり、垂直統合の分離と送電運用者による卸電力市場の運営に特徴づけられる(「プール・モデル」)。同NOPRは、全米の卸電力市場を標準化し、取引を活性化し、すべての市場参加者が公平な送電サービスを利用できるようにすることを意図したものである。SMDに対しては、垂直統合一貫システムを有する南東部などの反発が強く、2005年7月にFERCはその全米への適用を断念した。



注：グレーで塗ったところが、独立の送電機構(RTO/ISO)が設立されている地域(カナダと米国)。

出所：Federal Energy Regulatory Commission  
第2図 北米における独立の送電組織



第3図 米国のRTO～所有権の分離と運営の分離

米国では、2000年夏から2001年初めにかけて、カリフォルニア州の電力危機を経験しており、その時点で自由化を決定していなかった州政府は、電力市場の自由化に関して否定的なスタンスをとるようになってきている。2006年6月にFERCの委員長がWood氏からKelliher氏に交代すると、連邦政府の自由化政策にも変化が見られるようになった。2007年の命令890で、ネットワークへのより公平なアクセスを徹底化する現実路線に転換している。

命令890は、1996年の命令888で採用したオープンアクセス料金表(Pro Forma Open Access Transmission Tariff: OATT)を改正し、送電線利用可能量の算定に際して送電サービス提供者の恣意性を排除するため、送電可能容量の算定方式を統一し、一層の透明性を図るものである。なお、1996年の命令888は、送電線のオープンアクセス料金表の作成により、誰もが同一料金のもとで差別されることなく送電線へのアクセスを認めるものであった。

命令890の発布により、プール・モデルは相対化され、垂直統合型電力会社が所有する送電系統への第三者アクセスモデル(相対取引モデル)も認められ、両者が並立するようになった。米国では、現在では、発送電分離に関する議論はあまり聞かれなくなっている。さらに、2009年3月19日にWellinghoff氏がFERCの委員長に就任したが、同氏は、エネルギー利用効率、デマンドサイドマネジメント、プラグインハイブリッド、電気自動車、スマートメータ、電力貯蔵の支持者であり、環境政策を重視し、自由化政策についてはほとんど言及していない。

米国における最近の自由化見直しの中で注目すべきは、発電部門を再規制する動きがあることである。自由化に際して発電を売却しなかった州では再び規制を導入することが可能である。逆に、発電を売却した場合には、たとえ発電市場における競争が機能しない(例えば、市場支配力行使による卸電力の価格高騰)ことが分かったとしても規制の世界に戻ることはできない。

EUでは、米国カリフォルニア州の電力危機のような危機は経験しておらず、欧州委員会は、「エッセンシャ

ル・ファシリティ・ドクトリン」(“Essential Facilities Doctrine”：「不可欠施設の理論」)に基づき、「原理主義」的に発送電分離を促進してきた。「エッセンシャル・ファシリティ・ドクトリン」とは、ある事業を行う上で不可欠な施設を保有する者は競争者に対して平等かつ合理的な条件の下でその施設を提供しなければならない、また、提供拒絶は競争法違反となるという理論のことである。もともと欧州では、「エッセンシャル・ファシリティ・ドクトリン」の理論はなかったが、1990年代に米国から導入された。

EUでは、2003年に発効した第2次電力指令で、電力会社は送電と配電の法的分離が義務づけられた。法的分離とは、別会社化であり、持ち株会社の下で送電や配電部門を子会社として位置づけることを認めるものである。さらに、2009年に採択された欧州指令では、加盟各国は、所有権の分離、送電線の運用を独立の組織に委ねるISO化、法的分離された送電子会社の独立性と規制を強化するITO(Independent Transmission Operator)のいずれかを選択しなくてはならない。ITOは欧州委員会の当初の提案には入っていなかったが、閣僚理事会の強い意向を踏まえて、オプションに加えられることになった。ITOは独立の送電計画策定と資金調達を行う。送電計画は毎年、規制当局に届け出る。また、監査役会(supervisory board)のメンバーは親会社のみならず、第三者の株主などから任命しなくてはならない。就任前3年間に親会社の役員であった者はITOの役員にはなれない。ITOの役員であったものは、辞めてから4年間は親会社の役員になれない。このような独立性担保のためのルールを設定することにより、EUでは、所有権の分離は強制されていない(第4図)。

#### IV. 発送電分離のメリットとデメリット

発送電分離の主たるメリットは、送電システムへの公平なアクセスを確保することで競争が活性化することにより期待される価格引き下げであるが、デメリットも存在している。デメリットは、短期の問題としては、事故の復旧の際に情報連携などで問題が生ずること、発送電の協調的な運営から生じる経済的メリットが失われること(範囲の経済性の喪失)などが挙げられる。

構造分離の長期の問題としては、発電と送電の投資の



注：配電は省略している。

第4図 EUにおける発送電分離の3つのオプション

整合性の確保がある。発電と送電の投資主体が異なる場合には、両者の整合的な投資により、投資コストを最小化することは難しい。また、発電と送電のバランスのとれた投資が行われないと信頼度の確保も難しい。信頼度確保のためには、十分な発電設備が存在したとしても、同時に十分な送電設備が存在しなくてはならないからである。

鉄道の例であるが、英国では、上下分離により誕生したインフラを保守・運営するレイルトラック社が列車の運行に対して十分な設備投資を行うべきであったのに、設備投資を削減し、設備の劣化により事故が多発した。このため、同社は、大規模な補修工事を余儀なくされ、多額の負債で2001年会社更生法申請している。

垂直統合の経済性に関しては、多くの実証分析がその存在を明らかにしているものの、電力自由化に際しては、このような研究成果が考慮されたとは言い難い。発送電分離については、ネットワーク・アクセスの公平性を重視するだけでなく、客観的に費用便益分析を行うべきである。米国では、広域的かつ独立的な送電機構(RTO)形成の妥当性を検討するために、費用便益分析を行っている。

このような発送電分離のメリット・デメリットを踏まえ、発送電分離をどのように評価すべきであろうか。発送電分離が必要なのは、発電市場が競争的になっているにも関わらず、送電システムを有する事業者による発送電の内部相互補助やなんらかの差別的取り扱いにより、新規参入者のシステムへのアクセスが妨げられており、その結果競争が活性化せず、料金が下がらない場合である。

しかし、競争の源泉である発電市場に有効な競争が存在しているかという疑問である。画期的なコストダウンに結びつく革新的な技術をもった新規参入者が登場しているわけではないからである。競争の源泉である発電市場は、もともと十分競争的な状況とはなりにくい。このような場合に、密接に協調して運営されなくてはならない発電と送電の分離を行えば、上述したような新たなコストが発生する。また、電力は発電と消費のリアルタイムでの均衡を確保していかななくてはならない、需要の価格弾力性が小さい、電力供給設備の建設には長い時間がかかるため、短・中期的に供給能力を拡大することは極めて限定されるなどの特徴を有し、市場支配力が行使されやすい。カリフォルニア州の自由化では、規制当局との取引で既存電力会社が売却した火力発電を主に州外7社が購入し、その発電能力もバランスよく配分されていたものの、卸電力市場で市場支配力が行使された。このような経験を踏まえ、米国の多くの識者は、今日では電力は特殊な財であり、市場支配力の行使に脆弱であることや、電力市場での競争を有効に機能させることの難しさを認識するようになった。カリフォルニア州の電力自由化で、エンロンが行使した市場支配力は、その破綻で

初めて明るみに出た。このことは、電力の場合、市場支配力の監視がいかに難しいかを物語っている。

米国では、発送電分離を行い卸と小売を自由化した州と、垂直統合した電気事業の小売規制を行っている州の電気料金の推移を見ると、前者は自由化以前も現在も全米平均と比べ同程度の乖離率で上回っており、後者は、逆に一貫して全米平均と比べ同じような乖離率で下回っている。このようなパフォーマンスの違いは歴然としており、連邦政府はもはや発送電分離にこだわっていない。

EUは、欧州委員会の原理主義的な考え方に基づき、構造分離を行っているが、所有権の分離を行った英国やイタリアでは、料金の上昇率が高いのに対し、構造分離に消極的であり法的分離にとどめたフランスでは、低位で推移している。発送電分離を徹底化するほうが料金の上昇度が抑えられているわけではない。

また、信頼度(停電時間の長さ)も、所有権の分離に消極的な姿勢を示していたドイツやフランスでは、所有権の分離を行ったポルトガル、スペイン、英国等と比べ高い。

自由化市場では、長距離大容量送電が増大することにより、従来よりも強靱な送電線が必要とされる。さらに、最近では、間欠性の再生可能エネルギー発電の増大で、一層強靱な送電線を構築していくことが求められている。それにも関わらず、欧米では、送電線の増強や新設が進んでいない<sup>a</sup>。米国では、送電線投資に対して高めの報酬率を認めたものの、それにより送電線の建設が進んでいるわけではない。金銭的なインセンティブの問題ではなく、環境問題や地域住民の合意などがネックとなっているからである。既存電力会社が、送電線の新增設をなんとか進めてきたのは、「供給義務」を負わされてきたからだといえるだろう。

米国では、自由化されても依然既存事業者から供給を受けるコア需要家に対して安定供給を行うために十分な設備を確保すべきであるとの考え方が、州規制当局の間で広まりつつある。米国では、これを資源充足性義務(Resource Adequacy Requirement)と呼んでいる。この観点に立てば、発電から供給まで一体で供給義務(コア需要家に対して安定的に供給する義務)を課し、着実に発電・送電設備を建設させることが必要ということになるだろう。言い換えれば、コア需要家に供給する既存事業者が責任をもって発電というモノづくりを行い、しっかりしたネットワークで確実に届けることが必要であるということになる。発送電分離の是非に関する検討に際しては、資源充足性義務の観点も考慮しなくてはならないだろう。米国では、多くの消費者団体は、電力自

<sup>a</sup> 欧州では、ノルディック諸国、バルト諸国、英国、その他欧州諸国において協調的な地域送電網が存在している。米国においては、東部系統、西部系統、テキサス系統の3つの地域的な系統が存在し、ほぼ独立で運営されている。欧米では、電力自由化の進展や再生可能エネルギーの増大に対応して、送電系統の連系強化が求められている。

由化は失敗だったと考えている。

## V. 発送電分離で再生可能エネルギー発電は増大するか

最近、再生可能エネルギー電源の促進のために、送電部門を分離すべきとの見解も聞かれるが、徹底的な発送電分離を行った英国では、再生可能エネルギーの導入は進んでいない。逆に、これまで発送電分離に消極的な姿勢を見せていたドイツでは、同電源は飛躍的に増大している。再生可能エネルギー電源の促進は、発送電分離の有無というより政策支援のあり方に依存している。欧州における再生可能エネルギーの大量導入は、固定価格買取制度によるところが大きい。

この制度では、発送電分離しているか否かに関わらず、発電した電力は電力会社が優先的に買い取る。固定価格買取制度の導入に際して、発送電分離が条件となるわけではない。既存事業者が、系統制約ゆえ再生可能エネルギー電源の受け入れを必要以上に断る可能性を懸念する声もあるが、そのような場合には、優先接続、優先アクセス、優先給電等の優先的取り扱いに関する規定を政府の審議会のような中立的な場で決めればよい話である。再生可能エネルギー電源が大量導入される場合には、系統運用の重要性が一層増してくる。今後、信頼度確保がこれまでも増して喫緊の課題となってくる中で、発電と送電は、一体的に運営される必要があるだろう。

再生可能エネルギーの促進との関連でマイクログリッドなど分散型エネルギーシステムを構築していくために、発送電分離が必要であろうか。認識しなくてはならないことは、マイクログリッドはいまだに試験段階にある技術だということである。発送電分離で競争が活性化するとしたら、このような技術をリスクを負ってまで導入しようとするであろうか。

わが国では、特定の供給地点における需要に応じ電気を供給する特定電気事業制度があり、いわばミニ電気事業が認められている。分散型エネルギーシステムを構築していく場合には、同制度を新しい時代の要請に応じて見直していけばよい。分散型エネルギーシステムの構築と発送電分離とは無関係な話である。

## VI. わが国における発送電のあり方

電力自由化は、1982年のチリに始まり、1990年代に世界的な広がりを見せた。発送電分離に関しても、様々な試みがなされてきており、われわれは有益な教訓を学ぶことができる。

競争促進のために必要と考えられた発送電分離を行って分かったことは、分離には無視できない技術的な問題や経済的なコスト、すなわちデメリットが発生するというところである。そのようなデメリットの一つとして、事故の復旧の際に情報連携などで問題が生ずることが挙げ

られるが、発送電分離をした場合、事故の復旧に時間がかかることは、2003年の北米大停電で明らかにされたことである。また、2011年3月11日の東日本大震災では、発送電一貫体制が、電気の早期の復旧を可能にしたといえるだろう。

発送電分離を検討する場合には、メリット・デメリット比較が客観的に行われなくてはならない。理論に固執することなくプラグマチックにアプローチすることが必要である。

わが国の今後の電気事業の構造を議論する場合、「構造分離の代替物」として設立された電力系統利用協議会(ESCJ)のこれまでのパフォーマンス評価から始めるべきであろう。供給事業者の変更率が低いのは、ESCJの機能に何か問題があるのか、またはそもそも競争的な事業者があまり存在していないからなのかについての検証が必要である。

さらに、電気事業制度の検討に際しては、自由化政策(効率化政策)だけでなく、エネルギー起源の環境政策、エネルギー・セキュリティ政策との整合性を図っていくことが必要である。エネルギー・セキュリティの観点からは、エネルギー資源国に対するバーゲニングパワー強化のために、わが国では大規模かつ強大なエネルギー産

業を作っていくことを考える必要がある<sup>b</sup>。地球温暖化問題の解決に関しては、垂直統合を分離し、発電と小売に多数のプレーヤーが登場し、これらのプレーヤーが市場で取引するという複雑なプロセスを通じるよりも、垂直一貫事業に対する規制を通じてのほうが、目標を効果的に達成しうると考えられる。実際、電気事業の垂直統合は、多くの複雑なプロセスを調整するための取引コストを最小化するために伝統的に採用されてきた。

現在、発送電分離をすれば打ち出の小槌のようにすべてバラ色の将来が実現するかのような情緒的な議論がまかり通っているが、我々は、内外における約20年に及ぶ電力自由化とそれに伴う発送電分離に関する様々な経験から、有益な教訓を引き出すべきである。客観的なデータに基づく限り、発送電分離によりデメリットを上回るメリットが得られるとは考えにくいだろう。

#### —参考資料—

- 1) 矢島正之、電力改革再考、東洋経済出版社、(2004)。
- 2) 矢島正之、発送電分離はデメリットがメリットを上回る、Business i ENECO、(2011)。
- 3) 矢島正之、電力政策再考、産経新聞出版、(2012)。

#### 著者紹介



矢島正之(やじま・まさゆき)  
慶應義塾大学大学院特別招聘教授  
(専門分野)公益事業論、電気事業経営論

<sup>b</sup> 欧州では、電力自由化の結果、M&Aが活発化し、E.ON, GDF SUEZ, EDF, Enel, RWE, Centrica, Iberdrolaの7強時代となっている。これに対し、米国では、電力自由化の進展で、私営電気事業者(Investor-Owned Utilities)は300社から200社程度に集約されたが、日本と比べると数は非常に多く、また規模が小さい。



# 欧州での原子力発電の現状と今後の見通し

海外電力調査会 東海 邦博

欧州の原子力開発動向については、本誌2010年1月号～8月号で欧州全体および主要国の状況を報告した。当時、欧州では「原子力カルネッサンス」と呼ばれる世界的な原子力再始動の動きを受けて、各国で新規建設推進の機運が高まっていた。

しかし、2011年3月11日の福島第一原子力発電所事故は、このような動きに大きな影響を与えた。前年に脱原子力を見直したドイツは再び脱原子力に回帰する一方、新規建設が具体化しつつあったイタリアは計画を断念した。また、スイスは50年の運転期間を超えた原子炉から順次閉鎖し、その後の建て替えは行わないことを決めた。脱原子力を見直しつつあったベルギーは再び脱原子力に舵を切った。さらに、欧州一の原子力大国フランスでは、2012年5月の大統領選挙で減原子力を公約に掲げる野党・社会党オランド氏が選出され、今後、原子力政策の見直しが予想される。

他方、他の欧州の原子力発電国は、これまでのところ脱原子力や減原子力の動きは見せていない。フィンランドや英国では新規建設工事や計画が続行される一方、中欧・東欧諸国でも新規建設の動きは止まっていない。EU加盟国およびスイスを合わせた欧州28か国のうち16か国で原子力発電所が運転されているが(第1図参照)、事故後、明確に政策転換したのは前述の4か国に留まる。以下、福島事故から1年を経過した欧州の原子力発電の現状と今後の見通しを紹介する。

## I. 福島事故後の原子力開発のこれまでの経緯

前回紹介したように、欧州(EU)でも、近年において気候変動とエネルギー・セキュリティが最も重要なエネルギー・電力の政策課題となり、その対応策として省エネルギー、再生可能エネルギー、原子力開発が重視されてきたことは日米と変わらない。特にEUは気候変動において、ポスト京都に向け2009年に2020年の温室効果

*The Actual Situation and Future Perspective of Nuclear Power in Europe* : Kunihiko TOKAL

(2012年 5月15日 受理)

ガス(GHG)削減目標(90年比で20%削減)を法制化するなど日米に先行してきた。また、合わせて再生可能エネルギーおよび省エネルギーの開発目標も設定し法制化するなど、その目標達成にも意欲を見せてきた。

原子力開発については、チェルノブイリ事故の影響で反原子力・脱原子力政策を取る加盟国が存在することから、EUとして開発目標を設定したり、積極的に推進を謳うことはされていない。EUの場では原子力は重要なエネルギーと位置付けられながらも、その開発は各国マターとされ、各国の権限に基づいて開発が進められている。特に近年は加盟国の原子力発電国等で、CO<sub>2</sub>削減には原子力が不可欠との認識が高まり、それまでの脱原子力政策を見直したり、新規建設に着手・計画する加盟国も出現していた。

このEUと加盟各国の原子力に関する関係は福島事故後も変わっていない。加盟各国の合意を得て欧州委員会は早速、原子力発電国に対して、原子力施設について地震・津波・洪水など自然災害への対策を含めたストレステストの実施を求めた。その結果はすでに各国から提出され、2012年春に中間報告、さらに2012年夏には最終報告が発表されることになっている。

しかし、一部の加盟国は、このストレステストの結果を待たず、すでに原子力発電所の運転停止あるいは建設計画の凍結を決めた。

## II. 脱原子力国

### 1. ドイツ

#### (1) 脱原子力路線へ回帰

その筆頭がドイツである。2010年秋に既設炉17基の運転期間の延長を決め、脱原子力の見直しに踏み切ったばかりであったが、福島事故後を受けて、一転、政府は以前の脱原子力路線に回帰した。2011年6月、最も古い7基(故障で停止中を含めると8基)を即座に閉鎖するとともに、残りの9基も2022年までに段階的に閉鎖することを閣議決定し、7月には脱原子力を再規定した改正・原子力法案が議会で採択され8月には発効した。

このドイツでの反・脱原子力運動の歴史は古い。70年



第1図 欧州の原子力発電国と各国の原子力発電の基数(2011年初め現在)

出典：日本原子力産業協会「世界の原子力発電開発の動向2011」より作成

代から反体制運動と並行して反核運動が活発化し、86年のチェルノブイリ事故後は、環境保護運動も加わって原子力発電所を対象にした反対運動が激化した。政党では原子力発電推進であった社民党(SPD)が反対に転じ、反・脱原子力の動きは本格化していった。

その結果、98年に政権に就いたSPDと緑の党の連立政権は、32年間の運転期間の後、閉鎖することで電力会社と合意、2002年にはこの脱原子力政策を盛り込んだ原子力法の改正が行われた。

しかし、2005年に首相の座に就いた原子力推進のキリスト教民主社会同盟(CDU)のメルケル氏は、この脱原子力の見直しに着手した。2005年からの社民党との大連立時には叶わなかったが、2009年には同じく原子力推進の自由民主党(FDP)と連立政権を組むことに成功し、2010年には平均12年間の運転期間の延長を規定する原子力法の改正を実現した。ただ、この見直しでも、原子力は再生可能エネルギー(以下再エネと略)の大規模開発までの「つなぎ」との位置付けに留まった。

## (2) 再エネ電源拡大：様々な悪影響

ドイツは2002年の脱原子力以前から再エネの開発に力を入れてきた。90年代にはすでに、固定価格買取制度(高い価格で電力会社に発電電力を買い取らせる)が導入され、再エネ開発が促進されてきた。その結果、2012年現在、風力が2,900万kW、太陽光が2,500万kWにも達し、再エネが発電電力量の20%を占めるに至っている。

福島事故後もこの再エネ開発推進路線は変わらない。というより、メルケル政権は、すでに2010年の長期エネルギー見直し「エネルギー・コンセプト」で、2020年に発電の35%、2030年に50%、2050年には80%を再エネで

賄うという野心的な再エネ開発計画を打ち出しており、これ以上の再エネ開発の加速化は難しい状況にある。

理由の一つは、再エネ導入コストが需要家の大きな負担になってきたことがある。特に近年、コストの高い太陽光発電の導入が予想以上に進展したことなどから、家庭用需要家の月額電気料金8,000円のうち1,100円が再エネ買取費用が占めるなど負担感が高まっている。このため、政府は買取価格の大幅な引き下げや市場原理の導入などを始めた。

第二に電力系統・供給信頼度への影響がある。これまでのところ、再エネ電源を理由とした大規模な停電事故は発生していないが、短時間の停電や電圧・周波数低下の回数が増加しているとの苦情が産業用需要家側から出ている。

## (3) 脱原子力が悪影響を拡大

実際、再エネ導入拡大の中、急な脱原子力への回帰で電力供給への影響が懸念される情勢である。政府サイドは2～3年以内に1,000万kWの火力が建設されるのに加えて、ドイツと隣国との間に張り巡らされた国際連系線で電力輸入ができるとし、需給上の問題はないとする。2011～2012年の冬は、7基の閉鎖により850万kWの供給力が失われたにもかかわらず、暖冬であったこともあり、火力の焚き増し、近隣国からの電力輸入で乗り切ることができた。しかし系統規制当局は、需給逼迫の恐れは今年もあったし、今後も続く警鐘を鳴らしている。

中期的にも課題は多い。風力電源は主にドイツ北部に建設されてきたが、今後も洋上風力は北部に建設される。そのため、北部から需要中心地である南部への送電

線の大規模な増強が必要になるが、その建設は地元住民の反対などで遅れが予想されている。また、再エネ電源にはバックアップ電源として火力が必要となるが、その建設もどの程度進むか予断を許さない。さらに、再エネ買取コストは10年後には現在の倍になるとの試算もあり、電力多消費産業の中には電力価格の上昇で国際競争力が低下し、海外移転する企業も出て来た。

また、大手電気事業者は脱原子力の影響で2011年は大幅な赤字となり、今後、2万人のリストラなどを計画する一方、連邦政府を相手取った賠償訴訟も起こしている。

## 2. その他の国

### (1) イタリア：原子力再始動を断念

一方、イタリアは2011年6月の国民投票の結果、新規建設計画の中止を決めた。

イタリアは86年のチェルノブイリ事故後の国民投票で既設炉の閉鎖、新規建設の中止を決め、脱原子力に踏み切ったが、2008年に政権に返り咲いたベルルスコーニ政権は、原子力開発再開を謳った法律を制定し原子力の再始動に乗り出した。これを受けて電力会社 ENEL はフランス EDF と共同で4基のEPRを建設する計画を打ち出した。

今回の国民投票は、原子力のほか、スキヤンダルを抱えるベルルスコーニ首相の信任を問う案件も含まれており、福島事故を受けての原子力反対票もさることながら、政権への不信が大きく反映したものとなった。また、投票に先立ちローマ法王が異例の投票への参加呼びかけを行ったことも影響した。その結果、投票率は成立に必要な50%を超え57%に達し、そのうち95%が新規建設計画の中止に賛成票を投じることとなり、イタリアでの原子力開発の再始動は当面、不可能となった。

### (2) スイス：脱原子力へ

他方、原子力発電プラント5基を運転するスイスは、すでに政府がその建て替え計画の大筋を認めていたが、福島事故を受けて計画の中止と既設炉の段階的廃止を決めた。

スイスはチェルノブイリ事故後、90年に国民投票で原子力モラトリアムを決めたが、2005年には原子力法を改正し、既設炉の運転継続に加えて新規建設も可能とした。これを受けて、電力会社3社は共同で2基の建設を計画、すでに概要承認も政府に申請しており、2011年2月には1基について州民投票が行われ賛成多数で承認された。

しかし、福島事故を受けて、連邦政府はこの概要承認の審査を凍結した。さらに2011年5月には既設炉の運転期間を50年とし、2019年から2034年の間に順次閉鎖すること、その更新はしないことを閣議決定した。続いて6月には下院がこの閣議決定の内容を反映させた動議を採択、上院での審議の後、12月に下院で最終採択された。

ただし、これで脱原子力が確定したわけではない。確定には原子力法の改正が必要になるが、その制定は2012年末以降と見られている。また、その後、国民投票が行われる可能性もあり覆る可能性もなしとしない。実際、2012年2月の世論調査では64%の人が原子力は必要と回答している。

そのため、反対派からは早期の閉鎖を求める動きも出てきた。反対派は、連邦行政裁判所に、ミューレベルグ原子力発電所の2012年内の閉鎖を求めて訴えを起こしていたが、2012年3月、裁判所はこの訴えを認める判決を下した。電力会社のBKWおよび連邦政府はこれを不服として控訴している。

### (3) ベルギー：再び脱原子力へ

また、ベルギーでは2003年に運転期間を40年に限定する脱原子力法が制定されたが、2009年10月、政府は2015年以降停止が予定される3基について、10年間の運転期間延長を電力会社と合意した。しかし、その後、政治的混乱で組閣できない状態が続き、その合意は法制化されない状態が続いていた。

やっと2011年12月に成立した連立政府は脱原子力を掲げており、現在、前述の3基について2015年以降も運転継続するか諮問委員会を設置して検討中である。電力規制当局(CREG)は昨年10月、2015年に3基を閉鎖すると需給が逼迫する恐れがあるため、運転期間を1~2年延長すべきとの報告書を提出しているが、この勧告が新政権に受け入れられるかどうか定かではない。

また、新政権は原子力発電会社に対して原子力発電税の倍増、および一定の原子力発電量を他社に利用させることを求めており、ベルギーでの原子力発電事業は厳しい状況下にある。

## Ⅲ. 原子力発電維持国

一方、福島事故後も原子力発電の継続を明確にしている国も多数存在する。

### 1. フィンランド

#### (1) 建設、計画続行

その筆頭が1基建設中のフィンランドである。既設炉にはストレステストを実施し、安全策の強化を要請しながらも、運転の継続に問題はないと結論した。また、建設中の炉については、緊急を要する新たなリスク要因や不備は認められないとして建設の続行を決めた。

また、新規の計画も続行する方針である。フィンランドには、運転中の4基、建設中の1基に加えて計画が2基あるが、2011年6月に成立した国民連合党を中心とする6党による連立政権は、前政権下でこの2基について交付された原則決定はそのまま認め、今後、早期に建設許可を与えるとの方針を示した。ただし、この2基以降の建設計画については、原則決定の交付はしないことも明らかにした。

建設主体の電気事業者(TVO, フェノンボイマ社)もそれぞれ継続を表明しており、現在、炉型の選択作業が行われている。

世論調査では、福島事故後、新規建設については賛成と反対が相半ばしたが、既設炉の運転継続には85%が賛成している。これはフィンランドがロシア依存からの脱却という政治的な課題を抱えていることもあるだろう。石油の大半、天然ガスの全量、電力の一部をロシアからの輸入に依存しており、原子力開発によってこのロシア依存の軽減を図ることが悲願となっている。

## 2. 英国

### (1) 建設計画続行

同じく新規建設計画を持つ英国も原子力維持の方針である。安全面では、安全規制当局(ONR)が、英国の既設炉(ガス炉とPWR合計18基・1,200万kW)には、安全上基本的な脆弱さはないとするとともに、新規建設を制限・縮小する理由は見当たらないと結論した。また、日本で発生した大規模地震や巨大津波は英国では起こり得ないこと、英国で運転中、計画中の原子炉の炉型は福島第一発電所と異なることなども指摘されている。

また、政策的にも英国は原子力開発を堅持している。政府は原子力は安全、廉価かつスケールメリットも持った低炭素電源であり、クリーンで経済発展する英国の将来に向けて原子力が中心的な役割を果たすとしている。

この政府の原子力政策は世論も支持している。福島事故後の調査によると、世界24カ国の平均では原子力反対が62%と上昇したのに対して、英国では反対・賛成がそれぞれ50%と拮抗した。またBBC放送によると、与野党を問わず英国議員の過半数は福島事故後も原子力を支持している。

### (2) EDF エナジーは計画継続

しかし、政府の開発継続方針を受けての事業者の対応は分かれた。ガス炉とPWR合計8基を運転する仏EDFの子会社EDF エナジー社は、2つのサイトにEPRを2基ずつ合計4基建設する計画を維持する方針である。同社は、既設炉について高波防壁や耐震強化などを行う一方、新規建設については、福島事故の影響による遅れはあるものの計画続行を表明している。サイトの一つであるシンクリーポイントについては、2011年7月にサイト許可申請、また11月には建設許可申請が受理されており、2012年中には最終的に建設するかどうか決断する予定である。

一方、英国に子会社を持つドイツのE.ON, RWEは共同会社ホライズン・ニュークリア・パワー社を設立し、2つのサイトに合計600万kWの設備を建設する計画であったが、2012年3月、断念することを発表した。両社はドイツ政府による脱原子力政策を受けて本国での業績が悪化しているのに加えて、フィンランド、フラン

スで建設中のEPRのコスト増、福島事故による安全強化に伴うコスト増の可能性などから原子力への投資リスクが増大したと説明している。

政府は、このような原子力投資リスクを低減するため、許認可手続き面での支援に加えて、電力市場制度の見直しを行う方針であり、2011年7月には「電力市場改革(EMR)」白書を発表した。このEMRでは、①CO<sub>2</sub>排出量取引における下限価格、②低炭素電源を対象とした固定価格買取制度、③再エネのバックアップ電源を確保するための固定費支払い制度、④排出量基準制度(石炭火力のCO<sub>2</sub>排出を厳しく規制)の導入などが計画されている。

## 3. フランス

### (1) 減原子力の社会党が大統領に就任

一方、発電の75%が原子力による欧州一の原子力大国フランスは、厳しい局面を迎えている。2012年5月の大統領選挙で減原子力を掲げる社会党のオランド氏が勝利したためである。

フランスは福島事故後も前サルコジ政権下、原子力開発政策を維持・継続してきた。

58基・6,600万kWの既設炉について、原子力安全規制機関(ASN)は、過酷事故への対応措置を速やかに実施すべきとしながらも、フランスの原子力発電所は十分な安全レベルにあり、運転停止する必要は認められないと結論した。また、原子力政策についても政府はいち早く、エネルギー・セキュリティや温室効果ガス削減のため原子力は不可欠とし、フランスが今後も原子力開発を継続してゆくことを表明した。

しかし、野党最大勢力で左翼陣営の中心である社会党は減原子力を打ち出した。同党は、事故発生直後は従来の方針どおり原子力維持の姿勢を示していたが、脱原子力を唱える環境保護政党や、減原子力に傾く世論に引張られる形で、大統領選挙に向けて政策を転換した。社会党は2012年2月に発表した選挙公約で、減原子力政策(2025年までに現在75%の原子力発電比率を50%に低減)に加えて、現在運転中の軽水炉で最古のフェッセンハイム発電所の閉鎖することを表明した。同発電所はドイツ、スイスとの国境にも近く、これまでにもこれらの国の地方自治体や反対派から閉鎖要求が出ていたが、福島事故後は過去に近隣で地震が発生していたこともあり、閉鎖要求が強まっていた。

### (2) 急激な減原子力は不可能

それではオランド政権の誕生でフランスの原子力政策がどの程度変わるかであるが、当面は大きな変化はないだろう。また中期的にもドイツのような急な原子力発電所の閉鎖は不可能であり、公約どおりの減原子力は難しいものと思われる。

これは一つにはフランスの原子力発電比率は75%とド

イットの20%に比べて圧倒的に高く、エネルギー・セキュリティや気候変動と言った問題はさておいて、脱原子力の及ぼす社会・経済的な影響が桁外れに大きいということがある。フランスの原子力産業はGDPの2%、40万人の雇用を生み出す、自動車産業、航空産業に次ぐ大産業である。

このことは社会党も十分認識している。大統領選挙に向けての環境保護政党との合意事項には、新規建設の中止や燃料サイクル事業の縮小が盛られていたが、前述のように社会党自身の公約からはこれらは除かれる一方、建設中のフランマンビル3号機(EPR)の建設続行は認めた。

また、社会党は大きな支持基盤の一つである労働組合の意向・利益(基本的に原子力推進)を無視できないという事情もある。オランダ新大統領は、5年間の任期中はフェッセンハイム以外は閉鎖しないこと、今後のエネルギー政策の決定を行うに当たっては大規模な討論会を開催するとしており、拙速に減原子力を推し進めることはないものと考えられる。実際、大統領選挙では、原子力は争点の一つではあったものの、最大の争点は経済・雇用問題であり、一般の人の関心は高くなかった。

いずれにしても、ユーロ危機で経済・雇用が悪化している現在のフランスにとって、大幅な電気料金の値上げ、産業の弱体化に繋がる、大規模かつ拙速な減原子力を実施する余裕はなく、新政権は早晩、減原子力の見直しに迫られる可能性が高い。

#### 4. その他

10基を運転しているスウェーデンは、2010年に脱原子力から既設炉の建て替えのための新規建設は容認する方向に政策転換したが、福島事故後もその方針を変えていない。

一方、スペインも原子力発電の維持を表明している。スペインは前社会党政権下で脱原子力政策を打ち出したものの、気候変動対策上、運転期間の延長を一部の原子力発電所に認めるなど柔軟な措置を講じてきたが、2012年1月に政権に就いた人民党政府は脱原子力政策の明確な見直しを表明している。政府はその一環として、ガローニャ発電所の運転期間を2019年まで延長する方針である。

また、東欧・中欧の国々も基本的に運転・新規建設の続行を明言している。ロシア型PWR2基を運転するブルガリアは、2基から1基に減らしたが、福島後も建設計画を維持している。また、CANDU炉2基を運転するルーマニアも2基新設する計画である。さらに、新たに原子力開発に着手する予定のポーランドも2029年までに2サイトで3基建設する計画である。チェコも既設の4基に加えて2基建設する計画である。イグナリア発電所を閉鎖したリトアニアは隣国2国と共同で1基を建設する計画である(第1表)。

第1表 中欧・東欧での原子力発電所建設計画

| 国     | 発電所名         | 状況                                |
|-------|--------------|-----------------------------------|
| スロバキア | モホフチェ3,4号機   | 2009年、建設工事再開。ボフニチェでも増設計画あり        |
| ブルガリア | コズロドイ3号機     | 2012年3月、ベレーネサイトでの2基建設から変更         |
| チェコ   | テメリン3,4号機    | 2013年にメーカーを決定する予定                 |
| ルーマニア | チェルナボーダ3,4号機 | 2011年、一部出資会社の撤退で運転開始時期を延期         |
| スロベニア | クラスコ発電所2号機   | 2010年、建設許可を申請                     |
| ハンガリー | パクシュ発電所増設    | 2010年、電力会社MVMが2基の計画を発表            |
| リトアニア | ヴィサギナス発電所    | 2011年7月、日立を戦略的投資者として選定            |
| ポーランド | サイト未定        | 2029年までに2サイトで3基の建設を計画。国民投票を求める動きも |

出典：各種新聞・ウェブサイトのニュースなどより作成

## IV. まとめ

以上、福島事故後の欧州各国の原子力開発状況を見てきた。各国の政治・エネルギー事情によって状況は大きく異なっており、一言で総括することは難しいが、エネルギー・セキュリティや気候変動、さらには経済・雇用の観点から、原子力を不可欠とする国が多数存在するということができるだろう。

とは言え、中期的にみると、欧州での原子力発電の見通しは楽観できるものではない。もともと欧州の既設炉は運転開始から20年以上経過しているものが大半であり、欧州での新規建設は建て替えという意味合いが強く、中期的には原子力比率の増大には繋がらないと見られていたが、福島事故で状況は厳しくなりそうである。2011年11月発表の国際エネルギー機関(IEA)の見通しでは、原子力発電比率(2009年現在28%)は2035年にはシナリオ(CO<sub>2</sub>削減努力の度合いによる)によって18~31%となるが、福島事故を受け、新たに低・原子力シナリオ(OECD諸国全体で9%)も提示された。また、同年12月発表の欧州委員会による長期エネルギー想定では、2050年の原子力発電比率は各種の脱炭素シナリオによって14~26%とされる一方、低・原子力シナリオでは2.5%と想定されている。低・原子力シナリオというのは、

既設炉が現行法で決められた運転期間で閉鎖される一方、建て替えの新規建設が行われなるとの仮定に基づくものである。

無論、これらはあくまでも想定であり、低・原子力シナリオが必ずしも現実となるわけでない。原子力に替わって最も増大すると予想されている再エネ電源(IEA見通しで2035年に35~55%、欧州委員会想定では2050年に40~83%にまで増大)の開発が想定どおり進まないこともある。実際、前述のドイツの例に見るように、再エネ拡大にはコストや送電系統運用・建設などで様々な問題がある。

また、再エネ電源を補完するとされる石炭、ガスなどの化石燃料電源の開発も想定ほど進まないかもしれない。燃料価格の高騰に加えて、将来、それらの電源への設置が必須とされるCO<sub>2</sub>回収・貯留方式(CCS)の開発が遅れる可能性があるからである。

原子力推進サイドとしては、より原子力比率の高いシナリオの実現のため、既設炉の寿命延長、新規建設の拡大を目指し、既設炉の安全強化、安全性能に優れる第三世代炉の導入、さらには第四世代炉の開発を着実に進めてゆることが求められる。そのためには、まず原子力発電に対する一般の人々の信頼の回復が必須である。福島

事故による安全面への懸念は今後も残ることになるだろうが、社会的・政治的に原子力発電が受け入れられる環境を取り戻すことが不可欠である。また放射性廃棄物の処理・処分施設の立地・建設の進展も欠かせない条件となるだろう。

また、資金調達も重要な課題である。短期的には中・東欧での新規建設はこの資金調達ができるかどうかにか大きく依存している。中・長期的には、建設コストが妥当な水準で抑えられ、化石燃料価格やCO<sub>2</sub>排出量取引価格が相対的に高い水準で維持されて原子力の競争力が高まれば、資金調達はより容易になるだろう。

電力の安定供給に欠かせない原子力発電の維持・拡大を目指しての、欧州各国での今後の取り組みが注目される場所である。

### 著者紹介



東海邦博(とうかい・くにひろ)  
一般社団法人 海外電力調査会  
(専門分野/関心分野)欧州の電気事業(特にフランス)

## 新刊紹介 原子力災害に学ぶ放射線の健康影響とその対策

長瀧重信著, 152 p. (2012.01), 丸善出版.  
(定価2,500円) ISBN 978-4-621-08502-8

福島第一原発事故の発生から1年以上が経過した。この間、多くの国民が、「何をすべきか?」「何ができるだろうか?」と問い続けてきた。本書は、その解答を探すための一つの指針を与えるのではないだろうか。著者である長瀧重信氏は、放射線影響研究所理事長、国際被曝医療協会会長などを歴任され、内科医として、原爆やチェルノブイリ原発事故による被曝者の健康影響の調査・研究に携わってこられた。本書の多くのスペースは、過去の原子力災害の概要と被曝影響の記述に割かれている。とりわけ、チェルノブイリ原発事故の現地調査、国際会議での議論、住民への健康影響と対応についての記述は、読み応えのあるドキュメンタリーである。現在の問題を解決する答えは「過去の人類の経験」の中にあると考える著者が、実体験を次世代に正確に伝える姿勢が如実に表れている。

著者の言葉を借りれば、原子力災害の「被害者の健康影響に対する恐怖は、経験したものでなければわからない」。被害者に対する体と心のケアは、救援・復興活動において最優

先されるべきである。本書には、災害直後の避難から調査、除染、そして補償に至るまで種々のプロセスにおける留意点が述べられている。これら全てのプロセスにおいて、科学的な情報を正確に社会に伝えることはサイエンティストの責務である。例えば、100 mSv以下の放射線の発ガン影響のように、影響の有無が科学的に不確実である場合に、「何が起ころるか分からない」といった社会に混乱を招く発言に対して、著者は警鐘をならす。不確実な範囲での政策や規制の決定には、国際的なポリシーを参考にし、被害地域のあらゆるファクター(経済、環境、倫理、心理など)を検討すべきであると主張する。このような作業は、「放射線のポリシーとサイエンスの架け橋」をわたすことである。サイエンティストは専門知識を示し、被害者の被害を最小限に抑え、一日も早い通常生活への復帰を目的として、この作業に協力すべきだと訴える。

福島の原子力災害からの復興は、今後半世紀にわたる我が国の一大ミッションとなった。このミッションに携わる行政、医療、教育、報道関係者、そして将来の放射線研究者を目指す若者に薦めたい一冊である。

(京都大学放射線生物研究センター・松本智裕)



# 21世紀のアジアを巡るエネルギー安全保障

## 2011年版 IEA 世界エネルギー見通しから

前国際エネルギー機関事務局長 田中 伸男

2035年までを見ると、エネルギー需要は中国、インドなどアジアで伸びる。限りある化石燃料を奪い合うことなく、持続可能性の制約のもと、風力太陽光などの再生可能エネルギー、より安全な原子力、シェールガス革命を経験しつつある天然ガスなどをどう組み合わせるかが経済発展によいのか。福島原発事故以後の日本に期待される貢献は何か。アジアでのエネルギー安全保障のあるべき姿は何か。IEA 2011年版(WEO 2011)見通しを読み解いてみた。

### I. エネルギーにおける相互依存性

ワシントンにある戦略国際問題研究所(CSIS)で福島後のエネルギー戦略についてのパネル討論に招待され、久しぶりに米国の友人達と話す機会を得た。福島事故から1年目ということで原子力に関する議論が盛り上がった。ある友人は「米国は民主党の大統領のもとでもエネルギー安全保障のために原子力を保持することは当然であると考えている。」とした上で「日米の原子力産業は密接に提携しており、製造、技術、人材、運用、規制などあらゆる面で日米が協力していくことが、今後多くの途上国が原子力を安全に、かつ核不拡散のルールの下で活用することを可能にする。だから日本が原子力を辞めるのは米国にとって本当に困るのだ。」と本音を語ってくれた。

また去年10月に開かれた国際エネルギー機関(IEA)閣僚理事会に前事務局長として招待され、旧知のエネルギー大臣たちと話す機会があった。皆口々に「日本に原発をやめてくれなんて誰も言っていない。安全に続けてくれ、そしてぜひ福島事故の教訓をシェアしてほしい。そうすれば世界中の原発がもっと安全なものになる。」と激励された。

もう一つのお話。去年の秋到北京を訪れた時、もう引退した中国政府高官からこう聞かれた。「田中さん、日本は原発をどうするのでしょうか。再稼働がないと日本は大量に天然ガスを輸入するのでしょうか。そうなればガスの価格は大きく上がり、インフレになる。これは大変な社会問題を起こすので本当に困ります。」真剣な表情だった。これらの例から分かるのは、日本の政策決定がいろいろな形で他の国々に影響を与えるということである。福島原発事故を受けて日本ではエネルギー政策の見直し

が行われている。ぜひその結果が世界のエネルギー市場や政策にどのような影響を及ぼすのかという点も念頭において議論されるべきであろう。IEAの世界エネルギー見通しはそのためのいろいろな材料を提供してくれる。

### II. 前例のない不確実性の時代

IEAの2011年版世界エネルギー見通し(WEO 2011)によれば、エネルギー市場ではかつてなかったほどの不確実性が見られるという。欧州での金融不安に加え、2012年は世界中で大統領選挙や国政選挙があり、中東北アフリカでのアラブの春など政治の変動も続いている。イラン危機は起こるのか？ プーチン大統領のロシアは変わるのか？ 中国を中心とするアジアの成長は続くのか？ そして福島後の原子力政策は。エネルギーは昔から政治に振り回されてきた。現在の石油、ガス、原子力、再生可能エネルギー事情について見てみよう。

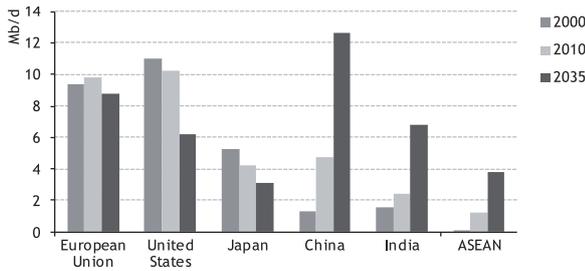
#### 1. アジアの成長と石油市場

第1図は、中国、インド、ASEAN、米、欧、日本の石油輸入の見通しである。今後の石油需要の増加はそのほとんどが新興国の輸送分野で起こる。これに対し先進国では、石油需要は2008年をピークとして徐々に減少していく。グラフのように、石油の輸入という点から見ればさらに傾向は顕著になる。特に米国ではシェールガスと同様の方式で軽質タイトオイルの生産が増加、省エネ努力もあって輸入は急速に低下、2035年には中東から石油を輸入する必要がなくなる。米国を中東にコミットさせる米イスラエル関係に大きな変更はないだろうが、他方で中東石油への米国の依存ゼロは中東の地政学に変化をもたらす可能性がある。

既に最大のエネルギー消費国である中国が2020年頃には最大の石油輸入国に、2035年には最大の石油消費国となり、アジアの途上国は石油需要の4分の3を輸入に依

*Energy Security in the 21st Century: Messages of the IEA's World Energy Outlook 2011*: Nobuo TANAKA.

(2012年 4月1日 受理)



第1図 主要国の石油輸入量

存することになる(現状は約半分)。

他方、供給面では、今後の供給増の中心はイラク、サウジなど中東 OPEC 諸国である。生産規模を現状維持するだけでも巨大な投資が必要とされるが、中東の政情不安に対する外国企業の警戒や国営石油企業の収益が国内で社会的支出増に回されてしまうことから、油田開発への投資は慢性的不足になるというシナリオ(deferred investment case)が WEO 2011にある。このシナリオ(投資が想定より3割減)では、ここ5年以内に石油価格はバレル当たり実質で150ドルになる。おそらく価格の乱高下(volatility)も構造的に続く。21世紀はアジアの世紀になることは間違いないが、石油のセキュリティは限られた資源を奪い合わなければならない新興アジア諸国の問題になる。

短期的に注意する必要があるのはイランに対する制裁措置によって石油、ガス供給に混乱が起こる可能性である。日本は石油の8割以上、ガスの2割がホルムズ海峡を経由して輸入されている。現在、日本の原発で稼働中は1台であり、このまま再稼働がないと5月には全ての原発が停止してしまう。その状態でホルムズ海峡危機が起これば大変なことになる。石油には180日に近い備蓄があるが、ガスの備蓄は20日程度であり、特にカタールからのガスに依存する度合いの高い一部の電力会社の電力供給に大きな支障が起こる。ワシントンの友人たちによれば、イスラエルによるイランの原子力施設爆撃は以前考えられたより、はるかに可能性が高まっており、それも早い時期に起こる可能性がある。確かにイラン危機は津波のように千年に一度では済まない。安全を確保した上での原発の再稼働が急がれる。これは政府が複合的なエネルギー供給の危機管理ができるかのテストである。

## 2. 天然ガスは救世主になれるか

いろいろな条件にもよるが、将来、石油に取って代わる可能性があるのが天然ガスである。IEA は去年6月にガス黄金時代シナリオを発表したが、北米でのシェールガス開発に端を発する非在来型ガス革命は天然ガスの地政学を変える可能性がある。これまで液化天然ガスの輸入国になりそうだった米国を自給させ、さらに輸出の可能性を開く。米国以外でもシェールガスや炭層メタンなどは中国、豪州、インドネシア、インド、ポーランド、

南アフリカにも資源が確認されており、現在の消費を前提に世界全体で天然ガスは250年分の埋蔵量になると言われる。豪州は2020年ごろにカタールを抜いて世界最大の液化天然ガス輸出国になる。在来型天然ガスがロシア、イラン、カタール、アルジェリアなどの少数国に偏在していたのと比べ、世界各地域に広く非在来型ガスが賦存していることによるエネルギーセキュリティ上の意味は大きい。

また天然ガスは石炭と比べて熱量当りの二酸化炭素の排出が半分であり、大気汚染を起こす粉塵もなく地球環境対応にも有利である。発電コストも相対的に安い。他方、天然ガスは輸送のためパイプラインか液化施設が必要であり、初期投資が大きくなる。米国ではシェールガスの生産技術特性からくる低価格が再生可能エネルギー、原子力、石炭に代わる電源としてガスを押し上げている。中国も最近発表された第12次5カ年計画の中で天然ガスの利用を大幅に拡大している。IEA の見通しでは中国のガス需要は現在、ドイツ並みの1,100億 m<sup>3</sup>が2035年には EU 全域並みの6,300億 m<sup>3</sup>に拡大する。中国のエネルギー政策が石炭からガスへの転換をさらに進めるならば、ガスの黄金時代は間違いなく起こる。また今後、風力、太陽光など変動する再生可能エネルギー源を大量に使うためのバックアップ電源としてのガス火力発電に期待が集まる。

ガスを大量に使うということになれば、ガスの安全保障が重要になるということでもある。欧州では二度にわたるロシアとウクライナのパイプライン紛争でガス供給途絶の事態を招いた反省から、ガスの備蓄、パイプラインでのガス逆送、停止条件付き供給契約などの措置をとった。また供給ソース多様化に加え LNG での輸送やパイプラインルートが多様化が図られている。日本も今後は北米や豪州からの LNG 輸入などのソースの多様化に加え、国内のパイプライン網の整備をした上でロシアからのパイプラインによる輸入も考えるべきではないか。ソース、輸送手段の多様化はエネルギーセキュリティ向上のための基本的手段である。さらに天然ガスのコモディティ化が進めば、石油と異なる需要を持つガスはその需給関係に沿った市場価格を付けるはずである。今の日本は安定供給を図るため長期契約による液化天然ガスでしか輸入していない。そのため米欧に比べ高価格に甘んじざるを得ないが、ソースやルートが多様化、パイプラインの導入、スポット物の活用、そして需要を動かす制度の導入などの工夫でガス価格を引き下げることが可能である。

## 3. 福島事故後の原子力はどうなる

IEA では WEO 2011に低原子力シナリオを用意した。もし OECD 各国が建て替えも含め原発の新規建設を諦め、非 OECD 諸国が新政策シナリオ(コペンハーゲン

ン合意を各国が導入するという最もありそうなシナリオ)の半分のペースでしか原発新設ができないとしたら、他の燃料への転換需要とその結果としての安全保障と環境持続可能性にどのような影響が出るかを明らかにした。それによれば、2035年までに電源としての原子力の比率は現在の13%が7%に低下する。原子力の穴を埋めるため代替燃料として石炭需要が現在の豪州の一般炭輸出量の2倍、天然ガスは現在のロシアの輸出量の3分の2、再生可能エネルギーは現在のドイツの発電量の5倍が追加的に必要になる。また二酸化炭素排出が約9億トン増加する。すなわち、輸入が増えることで安全保障上のリスクが増し、資源価格上昇や再生可能エネルギーの増加による電力料金の上昇が起り、地球環境にも悪いという三重苦に陥るのだ。国によってもインパクトの受け方が異なる。特に化石燃料の自給率が低く、再生可能エネルギー利用もいまだ十分でない国、例えば、日本、韓国、フランス、ベルギーなどにとって安全保障上のマイナスの影響がより大きく出る。

確かに福島事故を受けて、ドイツは従来の脱原発方針を加速し、2022年までに全ての原発を停止すると決めた。しかし再生可能エネルギーで全てカバーできないので、隣国フランスからの原子力、ポーランドやチェコの石炭火力で発電された電力輸入と、ロシアから160億 $m^3$ の天然ガスの追加輸入が必要になるであろう。ドイツがEUの隣国に全く相談なく脱原発加速を決断したことは、ドイツ国内の政治判断上必要であったとしても欧州全体のエネルギー安全保障をないがしろにする可能性がある。スイスは確かにドイツに追隨して脱原発へ舵を切ったが新しい小麦粉を備蓄し、順次古い粉で作ったまじいパンを安全保障ということで食べる国民が簡単に原子力をあきらめるとは考えにくい。その他で大きく政策を変えたところはない。経済発展にとっても相対的に安価で安定的な電力供給は重大事で新興国の中国、インド、ロシア、韓国の4カ国は世界の原発建設計画の8割を占める。産油国のUAEやサウジアラビアは経済成長に伴う国内での電力需要拡大を原子力で賄う計画を持つ。トルコやベトナムが3・11以後も日本からの原発輸入に積極的なのは、福島後の日本の原子力技術、運用、規制がより安全なものになるとの確信から来ていると思われる。これらの原発需要に答えるためにも、また近隣国に安全に原子力を利用してもらうためにも、日本が原子力技術を保持することは必要ではないか。

国民の理解を得るにはまず福島での放射性物質の除染がある。チェルノブイリ事故とは違い、日本にはセシウム分離技術がすでにあると聞いた。これを駆使して県民が出来る限り早く地元に戻るようにしたい。安全に関して言えば、政府の事故調査委員会をはじめ民間事故調、国会の調査委員会が立ち上がり、まもなく福島事故の詳細な調査結果が出るであろう。畑村政府事故調委員

長の言うように、福島事故はヒューマンエラーが原因であり、準備さえ出来ていれば防げたと思う。いわゆる「原子力村の安全神話」がその主要な原因だとしても、一般論で片付けることなく女川、福島第二、東海第二発電所では津波が来ても防げた事故が、なぜ福島第一では防げなかったのかをしっかりと明らかにしてほしい。それが去年IEA 諸国の閣僚達に言われた教訓を世界と共有することになると思う。米国NRCをはじめとする各国規制機関やIAEAとの連携強化し、例えば規制のバックフィットシステムを導入することも日本の規制を国際スタンダードへ合わせるために重要だろう。また今回の事故はテロリストに格好の目標を与えてしまう結果となった。今後はシビアアクシデント時の危機管理対策に加え、核セキュリティ対策のために自衛隊の関与を高めることも検討されるべきだ。

今回のトモダチ作戦を見れば分かるように、原子力は元々軍事技術として導入されたものであり、エネルギーだけでなく一国の安全保障の根幹として軍が関与している国が多いなかで、日本は世界でただ一つの被爆国として平和利用に徹してきたという歴史がある。しかし日本は核武装が可能な国と世界から見られていることが、日本の地政学的安全保障上暗黙の効果をあげていることも世界の外交専門家の常識である。幸いにも国の安全保障のために歯を食いしばっても原子力を維持するのだという決断を今まで我が国は国民に求めなくても済んでいただけなのだ。今回の福島第一発電所の事故は初めてその決断を国民に求めているように見える。

#### 4. 再生可能エネルギーは主役になれるのか

福島原発事故以来、再生可能エネルギーへの期待が高まっている。ドイツは脱原発を加速し、再生可能エネルギーの発電量シェアを、現在の16%から35%にまで拡大するとしている。あと10年足らずでそこまで再生可能エネルギーの拡大ができるかどうか、極めて疑問だが、もしできるとしても電力グリッドへの投資などそのためのコストは膨大だろう。さらにドイツの決定の問題は政治状況によって政策を右に左に頻繁に変更することである。不確実性が高い環境では民間企業は巨大なエネルギーインフラへの投資をためらう。

ドイツができるのだから日本でもすぐ再生可能エネルギーに移行すればよいという短絡的な議論がある。残念ながら事はそう簡単ではない。ドイツを中心とする欧州は長い時間をかけて準備してきた。風力や太陽光などの新しい再生可能エネルギーは未熟技術にどう下駄をはかせるかという補助金問題であるとともに電力市場政策問題である。補助金政策(Feed In Tariff)についてはスペインなどの失敗に学ぶ。最近のIEAのレポートによれば、コスト低下に連動して徐々に補助率を下げるか買取り量に上限を付けるかしないとバブルが起ってしま

う。日本で近く導入される強制買取り制度にもこのような考え方を導入すべきであろう。

2番目の電力市場政策問題というのは、電力系統線連係を強化して市場を大きくするという技術問題とともに、小規模発電事業者の参入促進のため発送電分離をどう行うかという電力市場デザインの問題である。欧州は発送電分離を原則として新規参入を進めるとともに、系統線接続をメンバー国間に拡大することで電力供給の安全保障と持続可能性=地球環境問題の2つに同時に答えようとしてきた。電力市場を大きくすれば緊急時の融通が可能になるし、時々刻々変動する再生可能エネルギーも使いやすくなる。ひいては地方分散型の電力システムを安定的にグリッド全体の中に吸収することができる。IEAのレポート「変動する再生可能エネルギーをどう活用するか」(Harnessing Variable Renewables)では再生可能エネルギー活用ポテンシャルを各国比較している(第2図)。

それによれば、風力の活用で成功しているデンマークは発電の63%を変動型再生可能エネルギーに頼ることが技術的に可能であるのに対し、日本ではわずか19%に留まる。これは第1に、電源構成の柔軟性に違いがあるからである。日本では原子力や石炭をベースロードにしているが、需給の変動にあわせて立ち上げたり止めたりできる水力、揚水、ガス、地熱などの割合が比較的少なく、また第2に欧州と異なり、外国との系統接続がない上に国内の系統接続も弱く電力市場の機能不全がある。

実はIEAは4,5年に一度加盟国に対してエネルギー政策レビューを行うが、日本政府に対してはこの10年以上にわたって系統接続の脆弱性を取り上げてきた。東西で周波数が異なるのは先進国では極めて異例であり、緊急時には深刻な停電のリスクがあると申し上げてきた。2011年3月11日の東日本大震災、津波と福島第一原発事故によってIEAの主張が正しかったことが証明されてしまったのは誠に残念としか言いようがない。今後は東日本の発電機を更新するときに50~60ヘルツの両方で発電できる機械を使い、全ての更新が終わる十数年後をターゲットにして60ヘルツに統一することは可能だし、すぐにでも方針を決断すべきだろう。また韓国やロシア

との国際的連係線接続を考えたらよい。エネルギー市場は今後ますます電力依存を高めていく。したがって21世紀のエネルギー安全保障には地球環境の持続可能性の維持のもとで電力の安定供給を実現するための新しいメカニズムが必要である。

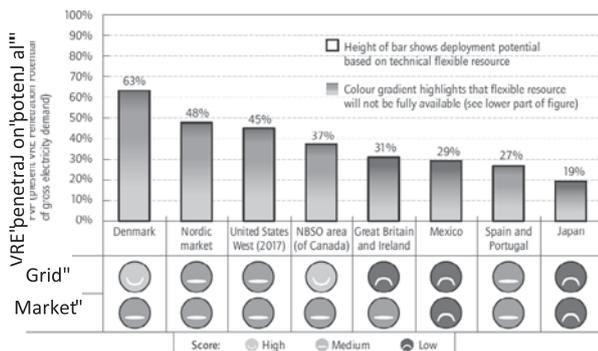
### Ⅲ. 21世紀のエネルギー安全保障とは

#### 1. エネルギー自給率

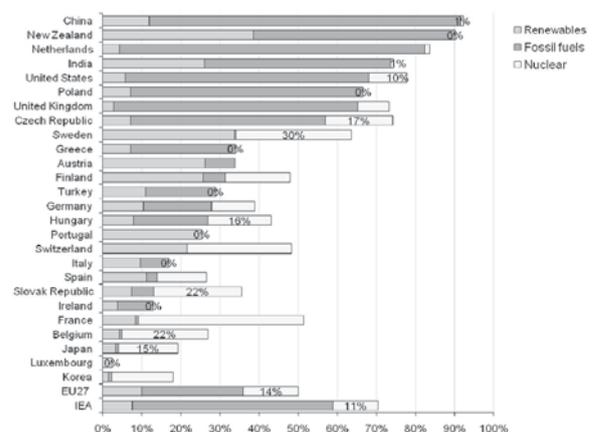
第3図の国別エネルギー自給率比較を見ていただきたい。左が再生可能エネルギー、中が化石燃料、右が原子力である。再生可能エネルギー+化石燃料の自給率で各国をランキングしてある。ロシア、カナダ、豪州、ノルウェーなど燃料輸出国は100%以上の自給率になるので省略してある。自給率が低い国が原子力によってそれを補完していることが一目瞭然である。日本、韓国、フランス、ベルギーなどが原子力を放棄することは国際的に見れば自殺行為ではないか。

フランス、ベルギーと日韓では実は少し違う現実がある。それは欧州では各国が異なるエネルギーミックスを持つがEU全体(第3図のEU 27を参照)でみれば、再生可能エネルギーと化石燃料と原子力をうまくバランスさせ50%の自給率を維持している点だ。電力とガスのネットワークを国家間で係しEU共通ルールで規制しつつ一つの統合市場として安全保障の実を上げ、同時に持続可能性を維持しようとしているのだ。EUの中でも東欧諸国は地球環境のための脱石炭と安全保障の観点から、ロシアからのガス依存を押さえるための切り札が原子力と考えており、原発の新規立地計画または増設計画を維持している。

ポーランド、ハンガリー、チェコ、スロバキアの東欧4カ国は独自にヴィシグラート4カ国協力フレームワークを持ちエネルギーセキュリティが首脳ベースの協力案件である。原子力に加え、彼らが注力するのがバルト海とアドリア海を結ぶ南北パイプラインであり、カスピ海沿岸のガスをトルコ、バルカン半島経由で欧州へ運ぶナブコ計画などロシアに依存しないガスパイプライン網である。



第2図 国別再生可能エネルギー導入ポテンシャル



第3図 各国のエネルギー自給率比較

EUはさらに壮大な計画を持つ。北アフリカや中東と電力系統線を結びそこで風力と太陽光で発電された電力を欧州に運ぶデザートテック計画である。欧州はこれをEnergy for Peaceと称している。限りある炭化水素資源の奪い合いはやめて無制限にある自然エネルギーをキリスト教諸国とイスラム圏が分かち合おうという夢のような計画である。ちなみに原子力の平和利用(Atoms for Peace)も原子力技術がほぼ無尽蔵なエネルギー源をもたらし、世界平和に貢献するという20世紀の夢を目指したものだ。 (The Economistの3月10日号は福島事故の結果、原子力のコストは大幅に上がり「夢は破れた。(The Dream that failed.)」というコラムを書いている。)

北米はカナダと米国に豊富に見つかったシェールガスや軽質タイトオイル、さらに豊富なウラン資源を持ち、福島後も原子力も堅持する政策によって海外からの輸入燃料を最小限にとどめるenergy independenceを目指している。こちらはあながち夢ではなくなりつつある。ではアジアではどうか。巨大な将来の需要国、中国とインドはあらゆるエネルギー資源獲得に血道をあげている。これを好機到来と見る資源輸出大国の豪州。他方、原子力輸出に活路を見いだそうとする韓国。アジアで鍵となるのは化石燃料大国ロシアの動きであろう。IEAのWEO 2011はロシアに関する特別章を設けて分析している。供給サイドでは、西シベリアでの石油ガスが枯渇しつつある中で、ロシアは難しい北極海より東シベリアやサハリンの資源活用を考えざるを得ない。国内での省エネも重要だ。OECD並の省エネができれば今、現在で天然ガス1,800億 m<sup>3</sup>の追加輸出ができる(純輸出がほぼ2倍になる)。需要サイドを見れば現在、化石燃料輸出の7割をヨーロッパへ出しているが、これを引き下げて東アジアへ重点を移すのがロシアのエネルギー安全保障戦略だ。いずれ中国がロシアのガスを大量に買うことは間違いないが、まだ価格が折り合っていないようだ。

そこでロシアは日本や太平洋諸国の需要を期待する。日本に対しては石油や液化天然ガスに加え、系統線接続による電力での輸出にも興味がある。ガスだけでなく石炭火力、原子力、水力などあらゆる電源が可能だ。シベリアの水力は潜在力の5%しか使われていないという。立ち消えになった天然ガスパイプライン構想も日本の原発利用に限界があれば復活が考えられる。ドイツが第二次石油危機後の1980年代にパイプラインでロシアからのガス輸入を始めるときに安全保障上の問題が大きな議論になった。レーガン政権の反対にもかかわらず、時のシュミット首相の英断で踏み切った。東西ドイツが統一されるに至ったのはこの決断で独露間の地政学が変わったことも影響しているであろう。翻って、日本が北方領土の返還を主張するだけでは4島は戻って来ない。今年ロシアがAPECの議長国、プーチン新大統領が9月にウラジオストックでサミットをホストする。今こそ日露間

の系統線接続やパイプライン構築で日露間の地政学を主体的に変える好機なのだ。

日本近海に大量にあるメタンハイドレートも重要だ。まだ現在の原油価格では競争力がないとしてもこの技術開発を進めておくことで将来自給率を上げることができ、安全保障上の戦略的価値がある。

## 2. エネルギー安全保障を高める技術開発

メタンハイドレートや高効率太陽光電池、第4世代やモジュール型原発などの発電そのものの技術開発以外にもエネルギー安全保障に貢献できる技術は多い。

第1にスマートグリッド技術。変動する電力供給と変動する需要を効率的にマッチするためのスマートグリッド技術が重要である。日本は2011年の夏をなんとか20%の節電で乗り切った。これは素晴らしい実績であるが、節電や省エネの精神作興運動では足りない。スマートメータなどの利用でピーク電力需要を抑える一方、グリッド自体のスマート化で、変動する再生可能エネルギーの供給と需要をうまくマッチさせる市場メカニズムを作らねばならない。再生可能エネルギーは本来、分散型で利用することで価値が出る。バイオマス利用のコジェネなどと組み合わせて地産地消するのに向いているが、それを可能にするのがスマート&マイクログリッドだ。

第2に蓄電技術。石油と違って貯蔵が難しく長距離輸送でロスが出ることが電力依存時代の安全保障のネックとなる。したがって電力の貯蔵技術が重要だ。揚水発電は、原子力、再生可能エネルギーと組み合わせて使える蓄電システムであるが、空気圧利用やいろいろなイノベーションが将来は可能であろう。技術進歩で普及が進めば電気自動車のバッテリーを蓄電装置として使うのがスマートグリッドのアイデアでもある。水素の形でエネルギーを貯蔵する燃料電池、ケミカルハイドレートでの輸送貯蔵手段などの、いわゆる「水素経済」もインフラ整備が課題だが、忘れることはできない。国際間のような長距離送電のための直流高圧送電の上を行く超電導送電は送電ロスがゼロになるため究極の蓄電技術でもある。

第3にCleaner Coal技術。石炭は安価で豊富であり、地球環境問題に目をつぶれば最も安全保障上は都合のよい資源である。特に中印には石炭が豊富にあり、2035年までの石炭火力の利用増大は全てこの2カ国で起こると予想できる。二酸化炭素排出を押さえながら石炭を使うには高効率石炭火力発電設備と二酸化炭素の分離貯蔵(CCS)技術が要る。CCSはコストが高く(二酸化炭素の価格がトン当たり100ドルにならないと競争力が出ないと言われる)、現在のところ、これを中印が実施するインセンティブや国際的義務はない。日本は中国、インドでクリーン石炭発電の技術開発と制度(例えばCDM)作りに協力することで貢献できる。CCSは地中に二酸化炭素を埋めるだけでなく藻を使って燃料に変換する光合成

応用の技術もある。

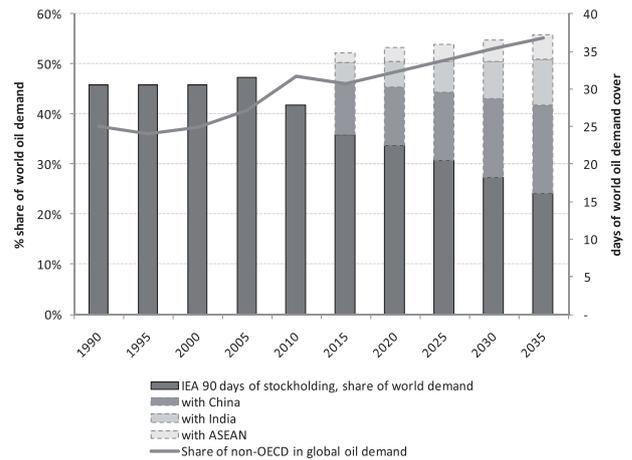
最後に、海に囲まれた日本は、波、潮力、海洋温度差発電など海洋エネルギーの技術開発にもアドバンテージがあるはずだ。

### 3. 結論：アジアワイドのエネルギー安全保障

21世紀には石油のセキュリティ問題というのは、すべからく新興アジア諸国の問題になると書いた。第4図はIEAが加盟国に課している純輸入90日間の戦略備蓄義務が世界の石油需要の何日に当たるかを過去と未来について計算したものである。

IEA諸国の備蓄量(濃い部分)は輸入量が低下するにつれて低下し、代わりに、中国、インド、ASEAN諸国(薄い部分)で増加、2035年ではそのウェイトは逆転する。IEAが今後とも従来通り備蓄放出を通じて石油市場にインパクトを与えようとしても、備蓄義務を倍増しない限り、中印、ASEANの協力なくしては不可能になるのである。筆者がIEA事務局長時代に最大の努力を払った中印のIEA加盟はこのためである。中国はIEAに加盟するよりも、むしろ自分のリーダーシップのもとでアジア版IEAを作ることを優先するものと思う。そのときIEA加盟国、なかんずく石油のほぼ全量を輸入に頼るような脆弱なエネルギーセキュリティの国、日本はどうするのか。

まず韓国との協力を深めるべきだ。国内で先日の停電で明らかになったように電力網に弱点があり、日本と同様に、原子力依存のミックスを持つ韓国とはお互いに系統線接続し、緊急時に電力融通をすることが利益になるはずだ。ASEAN諸国は豊富な化石燃料を有し自給率は現在でも120%以上と高いが、将来の緊急時に備えるため、ガスパイプライン網と電力系統線連係計画を持っている。またインドネシアやベトナムは原子力をオプションと考えている。日韓にとってまず自らの系統線を接続した上でロシア、中国、ASEANなどのアジア諸国へと系統連係を拡大していくことが戦略の基本であるべきだ。このアジアスーパーグリッド構想は、現状ではアジアに欧州のような政治経済統合に向かう意思が見られない以上簡単ではない。しかし経済の統合は事実上EU並みに進んでおり、平和的経済拡大は誰にとっても重要な共通テーマであろう。時間はかかっても将来的には電力グリッド、ガスパイプライン網をアジア全域に広げることがセキュリティと環境の持続可能性を高める共通戦略に



第4図 90日石油備蓄のインパクト

なりうるのではないか。エネルギーは今後ますます電力依存を高めていく。したがって21世紀のエネルギー安全保障には地球環境の持続可能性の維持のもとで電力の安定供給を実現するための新しい安全保障メカニズムを一国の枠を超えて構築する必要があり、欧州のモデルは参考になる。Energy for Peace in Asiaである。

福島原発事故を受け、日本では今ゼロベースでエネルギー政策の見直しが行われつつある。21世紀のアジアにおけるエネルギー安全保障のあり方も念頭に入れながら国内のエネルギーミックスおよび電力市場のデザインをするべきであろう。これまでのタブーを排して福島第一原発事故の全容を解明し、その教訓を世界とシェアしてほしい。海外の友人達から、日本はどうしてこうも内向きになってしまったのかと聞かれることが多い。世界中の眼が日本に注がれている今こそ、そうではないことを示す好機ではないか。

#### —参考資料—

- 1) IEA World Energy Outlook 2011.
- 2) Deploying Variable Renewables(2011, International Energy Agency).

#### 著者紹介



田中伸男(たなか・のおお)

日本エネルギー経済研究所特別顧問  
国際エネルギー機関(IEA)事務局長、  
OECD科学技術産業局長、経済産業省通商機構部長、在ワシントン日本大使館公使、  
経済産業研究所副所長、産業資金課長などを歴任。

## 解説シリーズ

## 福島第一原子力発電所事故後の天然ガス及び化石燃料の利用動向

## 第4回(最終回) シェールガスの動向—天然ガスの埋蔵量の急増とLNG需給への影響と展望

石油天然ガス・金属鉱物資源機構 伊原 賢

国際エネルギー機関 IEA は2011年6月、世界が「ガス黄金時代」を迎えたとするレポートを公表した。そのシナリオによれば、世界の天然ガス需要は2035年に08年比で62%も増加すると予測。エネルギー全体の需要が年率1.2%で増えるなか、天然ガスは年率2%と約2倍の勢いで伸び続け、世界のエネルギー構成での役割が飛躍するとの見方だ。それを支えるのが非在来型天然ガスの存在だと言われ、中でもシェールガスの登場により、世界の天然ガスの可採年数は在来型ガスの残存確認可採埋蔵量をベースとした60年から、少なくとも160年を超えるのは確実になった。政治や商業、技術リスクの低い資源開発になったシェールガスを展望する。

## I. 福島原発事故後のエネルギー問題

2011年3月11日に発生し、収束の見通しがいまだ不透明な福島第一原子力発電所の事故により、日本だけではなく世界のエネルギー政策が大きく見直しを迫られている。当面の展開については、電力需要の抑制、火力発電のフル稼働、液化天然ガス(LNG)、石油の追加需要とすることになる。

石油や天然ガスは、エネルギー源の価値を決める最も本質的な基準である「エネルギーの産出/投入比率」が20倍~100倍と、石炭(30倍)、原子力(20倍)や風力や太陽光といった再生可能エネルギー(5倍~20倍)と比べて高いため、第2次大戦後の人口爆発、エネルギー消費増大を支えた。公衆衛生インフラは整備されることとなり、暖衣飽食で清潔な生活の一翼を担ってきた。しかしながら、化石燃料には二酸化炭素の排出問題や資源量を心配する向きがあるのも事実だ。

国際エネルギー機関 IEA は2011年6月、世界が「ガス黄金時代」を迎えたとするレポートを公表した。そのシナリオによれば、世界の天然ガス需要は2035年に08年比で62%も増加すると予測。エネルギー全体の需要が年率1.2%で増えるなか、天然ガスは年率2%と約2倍の勢いで伸び続け、世界のエネルギー構成での役割が飛躍す

*Global Utilization Trend of Natural Gas and Fossil Fuels after Fukushima Dai-ichi Nuclear Accidents*(4); *Shale Gas Evolution*: Masaru IHARA.

(2012年 4月12日 受理)

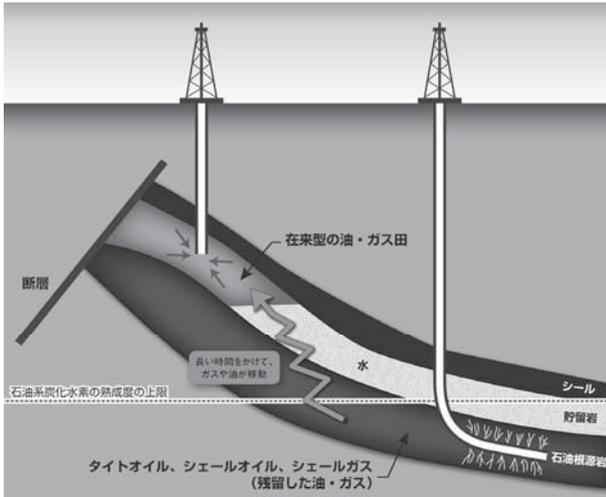
るとの見方だ。それを支えるのが非在来型天然ガスの存在だ。

## II. 非在来型天然ガスとは何か、その可能性は？ 賦存環境

エネルギー需給のひっばく懸念、技術の進歩に伴い、地下からの回収が難しいと考えられていた「非在来型」の天然ガスが、シェールガスを中心に注目されている。天然ガスは化石燃料のなかでは、同じ発熱量に対する二酸化炭素の排出量が少ないため(石炭100:石油80:天然ガス55)、天然ガス供給増への期待感の高まりと見てとれる。開発ブームの先駆けとなった米国では、「シェールガス」の供給量と埋蔵量の伸びが大きいため、世界の天然ガス市場の4分の1を占める「米国内のガス需給見通し」が近年一変した。

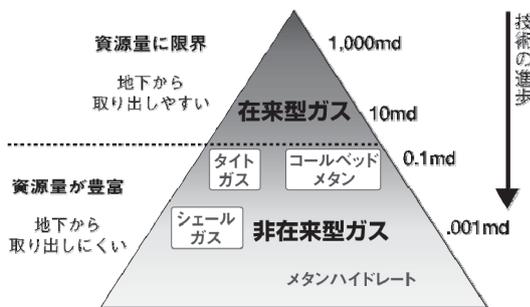
非在来型の石油やガスは、経済的な石油炭化水素量を発生しうる岩石である「石油根源岩」がその起源だ(第1図)。「石油根源岩」は藻やプランクトンなどの泥質物質からできている。有機物量に富み、石油系炭化水素が生成される。隙間の多い岩石の中の貯留層に集積され取り出しやすい「在来型」に比べ、「非在来型」は、ガスの流れやすさが劣る(浸透性がかなり低い)岩石に残留または吸着した状態のため、地下に穴を開けた状態で自然に地上に噴き出てくる「在来型」と違って、地下から取り出しにくい。

非在来型天然ガスには、現状、タイトガス・コールベッドメタン・シェールガス<sup>a</sup>という3つの開発対象がある



出所：伊原賢 作成

第1図 非在来型の石油やガスの起源「石油根源岩」



1md=9.87×10<sup>-16</sup>m<sup>3</sup> ※「浸透率」の単位(岩石中のガスの流れやすさを示す)  
出所: SPE 103356論文 を基に作成

第2図 天然ガスの資源量トライアングル

が、その期待される資源量は膨大だ(第2図)。2008年には米国の天然ガス日産量562億立方フィート/日(年間20.56兆立方フィート<sup>b)</sup>)の50%が非在来型天然ガスだったことは世界中のエネルギー関係者に衝撃を与えた。コールベッドメタンも米国以外では、石炭化が適度に進み(ガス吸着量の大きい瀝青炭~無煙炭)、空間的の広がりを持ち、かつ、良好な浸透性が保持されている石炭層を陸上に有するオーストラリア、インド、インドネシアを中心に開発が進んでいる。欧州のシェールガス・ポテンシャルも技術的回収可能量が639兆立方フィートと注目され、スウェーデン、ポーランド、ハンガリー、英国、ドイツ、フランス、オーストリアほかで開発評価が進められている。

<sup>a</sup> タイトガス：浸透率0.1ミリダルシー未満の砂岩に含まれる天然ガス

コールベッドメタン：石炭層に吸着したメタン

シェールガス：タイトガスよりも浸透率が2桁以上低い(0.001ミリダルシー未満)泥岩の一種である頁岩(シェール)に含まれる天然ガス(1ミリダルシー=9.87×10<sup>-16</sup>m<sup>3</sup>)

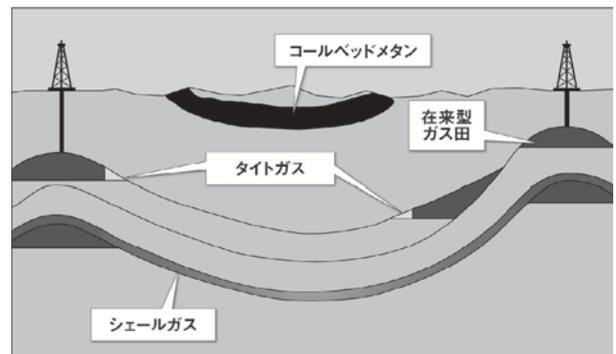
<sup>b</sup> 1兆立方フィート=283.2億m<sup>3</sup>

1フィート=0.3048m

第3図に非在来型天然ガス資源の賦存環境例を示す。米国のテネシー州とアラバマ州にまたがるチャタヌーガ堆積盆地では、非在来型天然ガスの3点セットであるタイトガス、コールベッドメタン、シェールガスが確認されている。

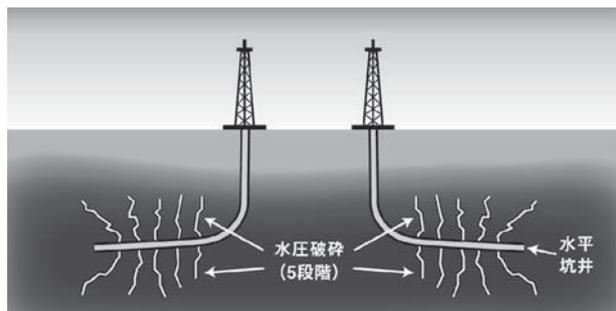
### Ⅲ. どういった経緯で登場したのか？

非在来型天然ガスの登場は、「1980年以降の米国内ガス供給の動き」を時間軸で追うとわかる。産業用へのガス使用拡大を目指し、連邦政府や州税の控除対象として80年代から注目された砂岩からのタイトガスの開発には、垂直井に水圧破碎を施しガスを産出していたが、最近の対象は炭酸塩岩・火山岩・石炭層・シェールに広がりを見せており、水平坑井や多段階フラクチャリング(第4図)が適用されるようになってきた。北米を中心に90年代初頭にはコールベッドメタンにも注目が集まった。その効果があって生産余力は1986年に日量160億立方フィート/日まで膨らみ、1985年から2000年までガスバブルの時代を迎えたのだ。バブル期の1995年にはガス価格は\$1.58/MMBtu(1MMBtu=25.2万kcal)まで下がって需要が伸び、生産余力は40億立方フィート/日まで落ち込んで、米国の天然ガス消費の伸びをどう支えるかが課題となった。2000年に入ると、LNG輸入も念頭に入つつも、その救世主としてシェールガスに注目が集まったのである。



出所：米国地質調査所

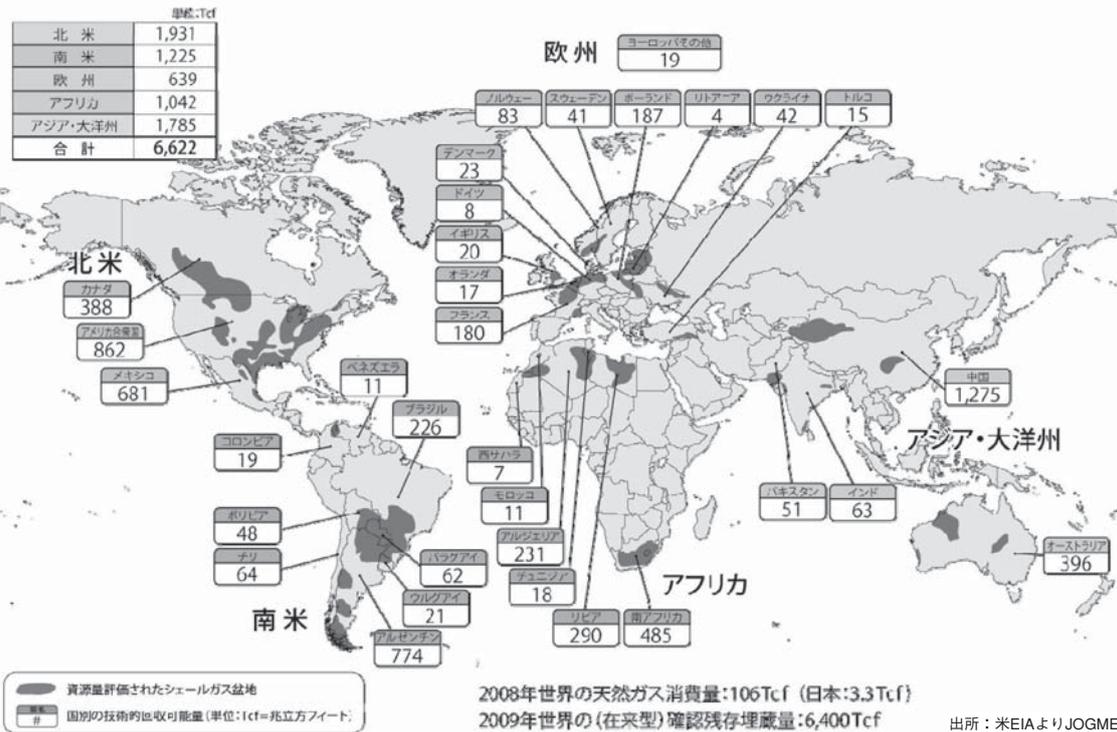
第3図 非在来型天然ガス資源の賦存環境  
(米国のチャタヌーガ堆積盆地)



出所：SPE 107053を基に作成

第4図 水平坑井と多段階の水圧破碎のイメージ

世界のシェールガス資源量評価(技術的回収可能量)<sup>\*)</sup> ※市場に出回る経済合理的な回収量は、市場ガス価によるため、技術的回収可能量より小さい。



第5図 世界のシェールガスの技術的回収可能量の分布(2011年4月)

開発の主要技術(水平坑井<sup>c</sup>、水圧破碎<sup>d</sup>ほか)も進歩した。1つの坑口位置から複数の水平部分をもつ坑井も出現した。水平部分の長さが2 kmを超える水平坑井や水平部分への多段階水圧破碎も広く適用されるようになった。水平坑井の水圧破碎において、割れ目が貯留層中に広がらず上下に成長し、帽岩(キャップロック)を壊し、他の貯留層や帯水層につながってしまうと、ガスの回収に支障をきたす。そこで、割れ目に関する情報を少しでも多く得るために、割れ目そのものを観測し、その成長や広がりも把握できるようになった。

開発技術の一見地味だが、たゆまない進歩(Quiet Revolution)が確実に天然ガスの可採埋蔵量増加につながっていることが、確認されたシェールガス構造の大き

さと生産量の伸びから分かるのだ。

IV. 非在来型ガスによる技術的回収可能資源量の増加、世界需給への影響

シェールガスの開発は米国中堅企業により主導されたが、その資源としての規模の大きさに、大手石油会社も続々参入した。技術の進歩が20世紀までは地下からの回収が困難と考えられていた「シェールガス」を米国の新たな巨大天然ガス資源へと押し上げたのだ。この非在来型ガスを在来型ガスへ押し上げるうねりは、世界的展開を見せている。まずは、カナダ・欧州・中国ほかへの普及が目される所だ。

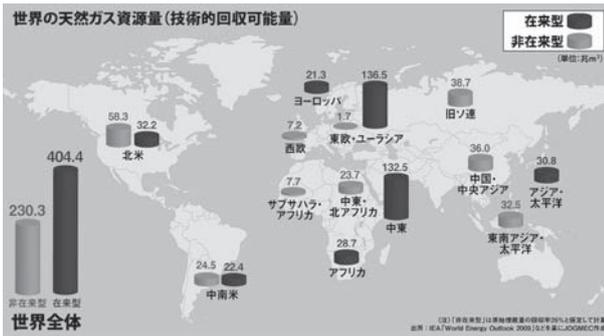
米国エネルギー情報局 EIA は2011年4月にシェールガスの「リスクを含む原始埋蔵量」と「技術的回収可能資源量」を各々25,300兆立方フィート、6,622兆立方フィート(第5図)と推定した。世界の在来型天然ガスの残存確認可採埋蔵量約6,600兆立方フィート(2009年末)、年間の天然ガス消費量106兆立方フィート(2008年)と比べても膨大なことが分かる。

水平坑井や水圧破碎など技術の飛躍的な進歩により、世界中に眠っている膨大な量の天然ガスの存在が明らかとなり、非在来型ガスの技術的回収可能量は230.3兆m<sup>3</sup>と試算され、少なく見積もっても、残された在来型(404.4兆m<sup>3</sup>)の60%弱も存在することが明らかとなった(第6図)。

「技術的回収可能量」は、経済合理的に市場に出回る「残存確認可採埋蔵量」と等価ではない。輸送インフラも含

<sup>c</sup> 石油や天然ガスの閉じ込められた岩石の層に沿って掘削される井戸(坑井)のこと。通常の垂直・傾斜井に比べ、岩石との接触体積が多く取れるため、一坑当りの生産量を数倍に増やすことができ、80年代後半より広く、石油開発に使われるようになった。石油や天然ガスの地下からの回収率を向上させる万能薬とも言われる。

<sup>d</sup> 原油や天然ガスが存在する地層に圧力をかけて作った人工的なフラクチャー(割れ目)により、原油や天然ガスの流れにくさを改善する技術。坑井を介して、水・酸・合成化合物から成る流体に圧力をかけて作られた地層の割れ目に、流体に混ぜた砂の粒子を圧入・保持させることで、圧力を除去した後も割れ目が閉じないようにする。1940年代後半に開発され、60年強の歴史があります。その後の技術進歩に伴い、地層に沿って段階的に作ったフラクチャーの分布もモニタリングできるようになり、シェールガスといった非在来型天然ガスの生産増に大きく寄与している。



第6図 世界の天然ガス資源量分布(技術的回収可能量)

めた市場に出回るガス価格に見合う「生産コスト」を実現できたとき、はじめて残存確認可採埋蔵量の議論ができる。

以上を基に、「技術的回収可能量」の半分が経済合理的に地下から取り出せるとすると、世界の天然ガスの可採年数は在来型ガスの残存確認可採埋蔵量をベースとした60年から、少なくとも160年を超えるのは確実に言ったと言えよう。

シェールガスは非在来型ガスのなかでも手付かず状態で、資源量も膨大だ。また、収益性も高いが、投資もそれなりに必要だ。このため、資金面での強力なパートナーが求められる。日本の商社も増大する生産量に注目し、2009年より参入を開始した。井戸1本あたりの生産量はそれほど多くないが、大きく広がっているシェールガス鉱床にパートナーの協力を得て、何千本もの井戸を掘れば、生産量の伸びが期待できる。LNGプロジェクトと比べガス生産を始めるまでの時間が短く、市場の動きに連動しながらの生産量調整も容易なのが、事業者にとって魅力のあるビジネスモデルだ。

シェールガス開発が盛んな米国では石油メジャーが続々と参入した。2008年に石油メジャーの英国BPや米国ExxonMobilのガス生産量は前年比マイナスだった。しかし、米国の石油中堅企業のChesapeakeやAnadarko、XTOは前年比2桁の伸びを示した。この差はシェールガスを取り扱っているかどうかにかかっているとされている。

このため石油メジャーは開発技術の取得を目指し、中堅企業との連携を活発化させた。2009年末にExxonMobilはXTO社を約4兆円で買収して関係者を驚かせた。米国のシェールガス開発ノウハウを欧州の新規事業へ展開するもくろみと言われる。時を同じくガス生産の大手Devon社はメキシコ湾の水深300mを超える優良資産(Cascade, Jack, St. Malo: 可採埋蔵量3億~9億バレル)を13億ドルで売却し、その資金を米国内のシェールガス開発に集中すると発表した。政治や商業、技術リスクの低い資源開発になったことを裏付けている。

## V. 環境への影響

開発による周辺環境へのインパクトは「開発推進派と環境派の攻防」の視点から論じられている。シェールガスの開発業者にとって、ガス井掘削活動の維持拡大のため、水圧破碎と帯水層汚染との因果関係の解明は緊急の課題となっている。

環境派が挙げる3つの懸念事項は、①大量の淡水の使用、②水圧破碎による地下水汚染およびガス漏洩、③水圧破碎後に地上に戻る水の排水に伴う環境汚染となる。周辺環境として人口の密集も開発を妨げる要因となる。

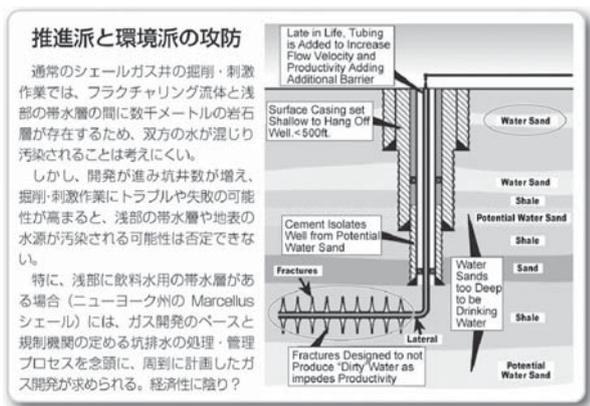
### 1. 水圧破碎技術の環境面へのインパクト

2010年に開催されたWorld Energy Congressにおいて、IHS-CERAの代表Daniel Yergin氏は、シェールガス開発を21世紀に入って最も大きなエネルギー革新/革命と位置付けた。水平坑井と水圧破碎技術の進歩なしでは、シェールガス開発は現実のものとならなかったろう。扱いが厄介でなく、経済合理性を持ち、市場に近いガス供給源を持つことは政治的なリスク軽減にもつながる。さらにメタンリッチな天然ガス資源は、石炭や石油といった他の化石燃料資源に比べてCO<sub>2</sub>の排出割合が低く、シェールガス開発を魅力的なものにしている。テキサスA&M大のStephen Holditch教授は、「今後20年、天然ガスの使用を促進することはクリーンエネルギー供給の望みにつながる」と述べた。

しかしながら、シェールガスの開発エリアが人家や地下の帯水層に近づくと、フラクチャリングによる環境汚染のリスクが世論の関心(恐れ、疑問)を呼ぶようになった。米国外では、「米国での水圧破碎への世論の動き」を、米国政府の反応やメディアの報道をウォッチして、そこから学ぼうとしている。NSI Technologies社のMichael Smith社長は、「フラクチャリングは通常、帯水層の下方数千フィートの貯留層に対して行われるため、また化学物質はほとんど環境に優しいため、多くの関心は杞憂(きゆう)に過ぎない」と述べている。天然ガスが地表まで流れる流路が作られる確率は極めて小さいと考えられる。坑井設計の不手際が地表に近い坑井内であれば、環境汚染の原因となりうるだろう(第7図)。Smith社長は明言していないが、もし坑井が地下で大きな断層を貫いているとしたら、水圧破碎では多量の水を高圧で地下に圧入するため、それが断層に伝わり微小な地震を発生させる可能性はある。

### 2. 水圧破碎への世論の関心

環境対策には、今までの経験やノウハウが大事になる。水圧破碎に用いられるフラクチャリング流体<sup>6)</sup>は水、砂(プロバント)、化学物質から構成される。環境規制の観点からも、フレッシュな水源をフラクチャリング流体



出所：各種資料より作成

第7図 シェールガス開発による周辺環境へのインパクト (イメージ)

に用いることには限界があり、生産水を処理しフラクチャリング流体として使用することが、シェールガスの生産増に欠かせない。その点で、フラクチャリング流体を早く地層に圧入させるためのポリマーである「摩擦減少剤：Friction Reducer」の開発が重要だろう。その際、地層への付着を防ぐため併用される殺生物剤 (biocide) やスケールインヒビター<sup>1</sup>との相性も大切になる。

天然ガスの開発・生産活動は、浅部の帯水層や地表の水源を汚染するリスクをはらんでいる。干ばつ時の掘削やフラクチャリング用の水確保も容易ではない。規制や検査、関係機関 EPA、米国議会、産ガス州政府との連絡調整がリスク軽減に必要となる。それらをクリアした上でシェールからのガス生産はある程度可能となるだろう。ただ、浅部の帯水層や地表の水源を汚染する可能性をゼロにすることはできない(ニューヨーク州は2010年8月に2011年7月までの新しいガス井掘削のモラトリアム/一時停止を設定)。若干の漏えいやリーク、地下の汚染事例は直接的に水供給システムに影響を与えるものではないが、水圧破碎を伴うシェールガス開発の社会的受容性を低下させるものとなるだろう。化学物質の成分は公開対象となるが、製法は企業の守秘義務に抵触する課題もある。

一方、非在来型ガスの開発技術のうち、水圧破碎の作業には多量の水やポンプ類の移動が必要となり、雇用創出に大きく貢献する(ペンシルベニア州の雇用増4万8,000人)。米国連邦議会はシェールガス開発に伴う雇用創出手段として、この開発を支持している。

上記のような世論の関心は映画でも紹介されている。

・開発推進派の映画：

Haynesville (www.haynesvillemovie.com)

<sup>1</sup> 水圧破碎を行うために加圧して坑井に送り込む流体。

<sup>2</sup> 溶解限度を超えて析出した固形物をスケールと呼ぶ。インヒビターには、その析出を抑制する有機フォスフォネートや無機重合リン酸塩などが使われる。

Gas Odyssey (www.gasodyssey.com)

・環境派の映画：

Gasland (www.gaslandthemovie.com)

Split Estate (www.splitestate.com)

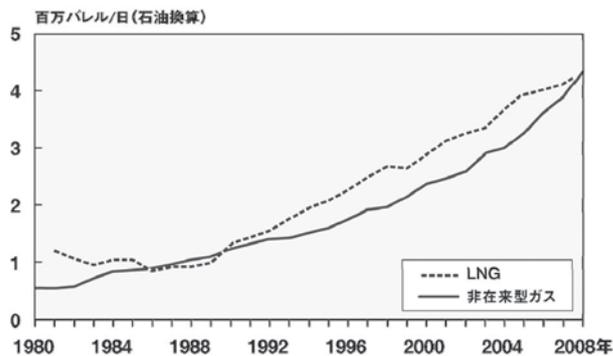
ガス生産に伴う水(Flowback)の汚染リスクをはじめ、開発規制や検査、関係機関との調整などリスク軽減は欠かせない。これらの問題を克服したうえでシェールからの安定的なガス生産も可能になるだろう。

#### IV. 今後の展望(非在来型が天然ガスの主役になるか?)

非在来型のタイトガスは、2009年末に米国の天然ガス生産の統計上の分類で在来型ガスに組み入れられた。生産量が増加し、もはや開発が難しいガスではなくなったからで、在来型と同じ土俵で勝負できるということだ。シェールガスもタイトガスと同じような技術を使って取り出すので、将来は非在来型から在来型の天然ガス資源として扱われる可能性が高いと思う。

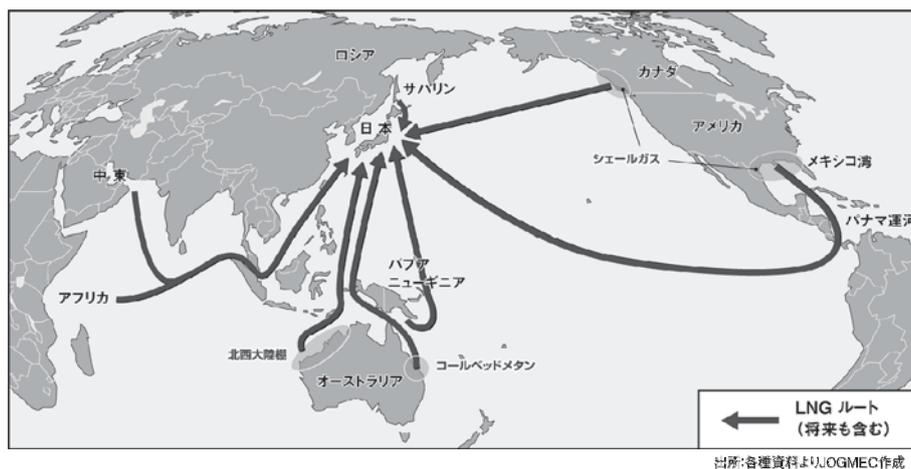
この「シェールガス」という非在来型ガスを在来型ガスへと押し上げるうねりは、世界的高まりを見せている。まずは、カナダ・欧州・中国ほかへの開発技術ノウハウの伝播が注目される所だ。当地での開発課題となる技術・インフラのリスクと、それらがガスの生産コストに及ぼす影響に注目すると、伝播の速度が見えてくる。世界の非在来型ガスの生産レベルは、2008年で石油換算400万バレル/日強とLNGの市場規模(8兆立方フィート、世界全体ガス消費の7.5%)と拮抗しながら上昇を続けている(第8図)。シェールガスの登場によって増えた「世界のガスの大供給余力」は、原油価格にリンクさせているLNGの価格フォーミュラに変革を与えられる。日本もその恩恵を受け、現在の長期契約の取引形態も変わるかもしれない。天然ガス価格を現状レベルの\$15~16/MMBtuよりも安く仕入れることができるよう、本邦の電力・ガス会社も活動中だ(第9図)。

21世紀に入って脚光を浴びるようになったシェールガ



出所：EPRINC 資料を基に作成

第8図 世界の非在来型天然ガスの生産レベルはLNGの市場規模と拮抗



第9図 日本へのLNG供給ソース

スによる天然ガスの大供給余力は、開発による周辺環境へのインパクトに細心の注意を払うことで、人口増や東日本大震災といった災害に対応した世界のエネルギーミックスを考える際に、再生可能エネルギーが経済合理性を確保する当分の間、工夫の余地を広げることになると思う。この大供給余力を背景に、天然ガスサプライチェーンの充実、天然ガスの利用技術の普及が望まれるところだ。

## —参考資料—

- 1) 伊原 賢, シェールガス争奪戦, 日刊工業新聞, (2011).
- 2) 月刊科学雑誌「Newton」2012年1月号, 大特集 電力とエネルギー, 伊原賢協力.

## 著者紹介



伊原 賢(いはら・まさる)  
石油天然ガス・金属鉱物資源機構  
(専門分野/関心分野)石油工学(地下の石油・天然ガス資源を地上に取り出す技術)/  
メタン化学

## 目安箱への投書のご案内

日本原子力学会 編集委員会

編集委員会は、読者・会員・投稿者・査読委員等からのご意見、ご提案をいただき、よりよい学会誌・論文誌編集活動を目指すべく、意見窓口「目安箱」を設けております。

- ・学会誌・論文誌の企画、編集、掲載記事や論文に関すること。
- ・論文査読方針・審査方針およびシステムに関すること\*
- ・新刊図書の書評の推薦

などについてのご意見・ご要望がございましたら、学会ホームページ<http://www.aesj.or.jp/publication/meyasu.html>, または E-mail (aesj 2005 meyasu@aesj.or.jp) にてお寄せください。編集委員会にて検討後、担当者より回答させていただきます。

学会誌、論文誌の編集活動への皆様の積極的なご参加をお願いいたします。

\*個々の査読コメント等に関するお問い合わせ、ご意見等については受け付けかねますので、ご了承ください。

# 気候変動政策と IPCC

## 科学と政策の応答と課題

気候ネットワーク 浅岡 美恵

IPCC は気候変動・地球温暖化に関する科学的・技術的・社会経済学的な評価を行い、その知見が広く利用されることを任務として1988年に設立された。第1作業部会(自然科学的根拠)、第2作業部会(影響、適応、脆弱性)、第3作業部会(気候変動の緩和と適応)が既に発表されている論文を評価し、1990年(第1次)、1995年(第2次)、2001年(第3次)及び2007年(第4次)に評価報告書を作成・公表してきた。これらには「政策決定者向け要約」が付けられており、気候変動枠組み条約の採択、京都議定書の採択・発効、その後の交渉を後押し、温暖化の悪影響を最小化する取組みが進展してきたとはいえものの、2013年以降の国際枠組み構築には至っておらず、科学が国際政治に十分に反映されているとはいえない。2020年以降のすべての国の枠組みは2015年までに採択するとされている。その成否は2013~14年に公表が予定されている第5次評価報告書と国際政治の受け止めにかかる。

### I. IPCC の役割

IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change : 気候変動に関する政府間パネル)は、世界気象機関(WMO)と国連環境計画(UNEP)によって、1988年に設立された<sup>a)</sup>。総会、科学的根拠に基づき、気候システム及び気候変化についての評価を行う第1作業部会、生態系、社会・経済等の各分野における影響及び適応策についての評価を行う第2作業部会、気候変化に対する対策(緩和策)についての評価を行う第3作業部会と各国における温室効果ガス排出量・吸収量の目録に関する計画の運営委員会である温室効果ガス目標に関するタスクフォースから構成されている。

これまでに、1990年に第1次評価報告書(FAR)、1995年に第2次評価報告書(SAR)、2001年に第3次評価報告書(TAR)、2007年に第4次評価報告書(AR4)が、公表されており、2013~14年に第5次評価報告書が作成・公表される予定となっている。また、2011年に再生可能エネルギー源と気候変動緩和に関する特別報告書(SRREN)及び極端現象に関する特別報告書(SREX)が公表された。

IPCC自身は、地球温暖化問題に関する科学的な判断基準の提供を目的とし、新しい調査や研究を行うものではなく、すでに発表されている論文を調査して、評価を行う組織である。IPCCに対する信頼の根源は、世界中

から結集されたそれぞれ立場の異なる多数の科学者が、独自の調査や研究を行うのではなく、すでに発表されている膨大な数の論文を調査して評価を行い、そのコンセンサスを得ているという点にある。

2013年以降の枠組みを合意することが期待されていたCOP15(コペンハーゲン)の直前の2009年11月に、英国イーストアングリア大学気候研究ユニットの電子メールが流出した事件は、「クライメイトゲイト事件」として耳目を集めた。同大学に設置された独立レビュー組織が検証し、2010年7月、「IPCC 評価報告書の結論を蝕むような行為のいかなる証拠も見出されなかった。」とされた<sup>b)</sup>。その後も、国連の温暖化交渉では、IPCCは、最も信頼できる温暖化の科学の集約であると認識されている<sup>c)</sup>。

本稿は、気候変動問題に関するNGOの視点から、温暖化交渉におけるIPCCの役割について述べるものである。

### II. 科学と国際合意の相互関係

IPCCの役割は、その設立過程及び評価報告書にSPMと略称される「政策決定者向け要約」が付けられていることから明らかなように、気候を安定させ、危険な気候変動の影響を回避する(気候変動枠組み条約2条)ための国際合意の形成に向けて、科学からの結論を示すことにある。気候にかかる科学には不確実性が伴う。政策立案過程も、「基本的には、一般的な不確実性の下での連続

*Climate Change Policy and IPCC; Policy Responses to Science's Warnings and Their Respective Problems to be solved* : Mie ASAOKA.

(2012年 3月21日 受理)

<sup>a)</sup><http://ipcc.ch/>

<sup>b)</sup><http://www.cce-review.org/index.php>

<sup>c)</sup>2010年12月 COP16でのカンクン合意でも、AR4の知見が引用されている。

したプロセスである」(SAR 第3作業部会 SPM 21)。ここに、気候政策の難しさがある。

今日から振り返ってみれば、IPCC の評価報告書は、第1次から第4次にかけて次第に、その精度と信頼性を高めてきたことがみてとれるが、それぞれの報告書は、作成・公表された時点での国際的合意の形成過程における課題の解決に一定の役割を果たしてきた。しかし、複雑な国際政治のもとで、第1次評価報告書以来の指摘である温室効果ガスの大幅排出削減の道筋の合意には至っていない。日本や国際政治の気候政策が足踏みをしている間にも、現実の気候の変化は加速的であり、科学者の間では全球の平均気温が産業革命前から2℃を超えることは避けられず、そのときが近づいているとの認識も指摘されている。温暖化の進行に手遅れとならずに科学と政策の進展が間に合うために、IPCC の役割は、これから正念場を迎える。

### III. 科学と政治の対話 I—第2次評価報告書まで

#### 1. 国際政治の課題として認知された1980年代

CO<sub>2</sub>の温室効果についての知見は19世紀に遡る。キーリングが1958年からハワイのマウナロア観測所で大気中のCO<sub>2</sub>濃度の観測を開始し、キーリング曲線と呼ばれるCO<sub>2</sub>の長期的上昇を実測値で示した。IPCC が設立された1988年は、気候変動の科学が国際政治において認識された年である。6月にトロントで第1回気候会議が開かれ、米国航空宇宙局のジェームス・ハンセンが米国上院エネルギー委員会で証言し、11月にIPCC が設立され、12月の国連総会でその設立が認知された。翌1989年11月、ノルトヴェイグで大気汚染と気候変動の関係閣僚会議が開かれ、IPCC の中間報告後、速やかに、気候変動枠組み条約の交渉を開始するように求めた。

#### 2. 第1次評価報告書と気候変動枠組み条約

1990年8月に公表されたFARは、そのSPMで、「特段の対策がとられない場合、CO<sub>2</sub>などの排出量が大幅に増加し、気温が上昇する。長寿命の温室効果ガスの濃度を現在の濃度に安定化するためには、人為的排出の60%以上を直ちに削減する必要がある」と警告した。同年秋の第2回気候会議で条約交渉が始められることになり、1992年5月に気候変動枠組み条約が採択され、1992年6月の地球サミットで各国の署名のために解放された。地球温暖化への国際政治の取組みの第1ステップであった。

各国の利害、とりわけ米国の抵抗のため、気候変動枠組み条約では、究極の目的の達成のために、衡平の原則に基づく共通だが差異ある責任、予防原則などの原則(3条)が掲げられたが、先進国(附属書I締約国)とその中のロシア・東欧諸国を除く国(附属書II締約国)と途上国とに分けてその取組の枠組みを定めるにとどまった。と

りわけ排出抑制・削減の責任については、附属書I国(先進国)についても2000年までに90年の水準に戻すという努力義務にとどまり、2000年以降については何も合意できなかった(条約4条II項(a)(b))。温暖化の影響がその「兆し」の段階で、気候や地理的環境、発展の段階が異なるおよそ200の国の間で一足飛びの合意に至ることは不可能といえ、大枠での合意づくりから始めることは賢明ともいえるが、当初からその不十分さは認識されていた。発効後、第1回の締約国会議(COP1)で目標の妥当性を検討すると条約の条項に基づき、1994年に条約が発効するや、1995年5月にベルリンで開かれたCOP1で目標が交渉の焦点となり、1997年のCOP3で附属書I国について数値目標を含む法的文書を採択するとベルリンマンデート<sup>d)</sup>が採択された。そこに盛り込まれるべき数値目標(QELROs)の意味や法的拘束力性にはあいまいさが残ったが、FARはこの段階までの交渉を推進させたといえる。他方で、先進国と途上国という枠組み及びそれぞれの排出抑制・削減の中身は、その後も今日まで交渉の焦点であり続けている。

#### 3. 第2次評価報告書と京都議定書

1995年12月に公表されたSARは、1960年代から70年代にかけての全球平均気温が低下傾向にあったことについて、SO<sub>2</sub>などエアロゾルの冷却効果を総合することで科学的に整合性をもって説明し、気候変動のリスク評価への信頼性を高めた。COP2でのジュネーブ宣言はSARを「現在で最も包括的で権威ある科学的報告書」とし、「地球気候が人為的影響を受けていることは明らかである。何らかの対策がとられなければ、地球の平均気温は1990年と比較して2100年までに約2℃(1~3.5℃)上昇、平均海面は50cm上昇するといわれている。産業革命前の2倍の大気中濃度で安定化するためには、地球全体の総排出量は最終的に現在の50%以下にまで削減されなければならない。」と述べている。

なお、COP2で米国はそれまでの交渉姿勢を一転させ、排出量取引など経済的制度の導入と目標を法的拘束力のあるものとするを求めた。

### IV. 科学と政治の対話 II—2013年以降の気候政策へ

#### 1. 第3次評価報告書と京都議定書の発効

1997年12月、COP3で京都議定書が採択されたが、森林吸収源の算定方法や京都メカニズムの制度設計など

<sup>d)</sup>COP1で、条約の義務は気候変動問題の解決に不十分であることを確認し、COP3までに新たな条約あるいはそれに代わる法的文書に合意すること、法的文書には目標に必要な政策・措置及び2000年以降の附属書I国の温室効果ガス排出量及び吸収源による吸収に関する数値目標を盛り込んだものとするを合意した。

詳細運用ルールをめぐって交渉が難航し、2000年12月のハーグでの COP 6 は決裂した。翌2001年2月、ブッシュ大統領が京都議定書交渉からの離脱を宣言した。同じ頃に TAR 第1作業部会及び第2作業部会の報告があり、それらの SPM では、観測成果と気候モデルの信頼性が増し、近年得られた強力な証拠によると、最近50年間に観測された温暖化のほとんどは人間活動によるものであると結論づけ、気候変化に関する情報や理解の空白を埋める必要性を指摘した。2001年7月の COP 3 再開会合で、EU が日本の森林吸収源についての要求を丸のみしてポン政治合意に至り、2001年11月の COP 7 で議定書の詳細運用ルールとなるマラケシュ合意が採択された。こうして、ようやく先進国の京都議定書批准の準備が整い、日本は2002年6月に EU とともに批准したが、ロシアの批准が遅れたため、京都議定書は2005年2月16日に発効した。

## 2. 2013年以降の国際枠組み合意 I 2°C 目標

京都議定書3条9項では、京都議定書第1約束期間(2008~12年)の最終年の7年前までに第2約束期間の目標等についての検討を開始しなければならない。発効以降の交渉の焦点は2013年以降の次期枠組みに移行した。TAR 及び AR 4 の第2作業部会は、工業化前から2°C程度の気温上昇で生態系の3割が絶滅する可能性などを指摘している。紆余曲折を経てであるが、全球平均での気温上昇を工業化前から2°C未満に抑えるとの長期目標が、2009年のコペンハーゲン政治合意(COP15)、2010年のカンクン合意(COP16)、2011年のダーバン合意(COP17)で確認されており、国際的コンセンサスとなっている。

AR 4 は TAR の分析を一步進め、確実性の程度を明確に示し、かつ地域レベルでの影響評価に踏み込んでいることが特徴である。具体的な事象の可能性について、ほぼ確実(99%超)、極めて高い(95%超)、非常に高い(90%超)、可能性が高い(66%超)、どちらかといえば(50%超)、どちらも同程度(33~66%)など、数値をもって確率を記述し、評価への信頼性を高め、政策決定者の理解を深めようとしている。将来の気候を予測するモデルの能力の信頼性が次第に増し、地域的にも詳細な情報が得られるようになってきたことによる。

AR 4 の SPM<sup>9)</sup>では、過去100年間に0.74°C上昇(第3次評価報告書では0.6°C)しており、気候システムの温暖化には疑う余地がないと記述している。大気や海洋の世界平均気温の上昇、雪氷の広範囲にわたる融解、世界平均海面水位の上昇が観測されていることはいまや明白であり、北半球高緯度域における農業・林業の管理への影

響、ヨーロッパにおける暑熱に関係した死亡など、地域的な気候変動が自然・人間環境に影響を及ぼすその他の影響についての確信度は中程度としている。さらに、海面水位の上昇の可能性は非常に高いとし、人間活動の影響は気候のその他の側面にも及んでいることが明らかと結論づけた。

こうした変化をもたらした原因として、世界の大気中の CO<sub>2</sub>濃度上昇の主要な原因は化石燃料の使用であること、20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどは、人為起源の温室効果ガス濃度の観測された増加によってもたらされた可能性が非常に高いとした。温暖化懐疑論に終止符を打つものといえる。

今後の気候変動とその影響について、現状の緩和策の程度では世界の温室効果ガス排出量は今後数十年間増加しつづけるとし、今後20年間に10年当たり約0.2°Cの割合で気温が上昇すること、現在以上の速度で増加し続けた場合、世界の気候システムに引き起こす変化の規模は、20世紀に観測されたものより大きくなる可能性が非常に高いとしている。

そして、水、生態系、食糧、沿岸域、健康に分けて、世界の平均気温の変化に伴う影響を、事例をあげて図示し<sup>10)</sup>、気候変動の速さと程度によっては、人為起源の温暖化により急激あるいは不可逆的な影響が引き起こされる可能性があることを警告するものとなっている。また、気温の上昇が約2~3°C以上である場合には、すべての地域で正味の便益の減少か正味のコストの増加のいずれかを被る可能性が非常に高いと結論づけている。

## 3. 世界の排出削減シナリオが課題に

2°C目標を実現していくための削減の経路の指標として、AR 4 の SPM.6. (第1表)で、気温上昇と大気中の濃度の安定化水準及びそのために必要な CO<sub>2</sub>と温室効果ガス全体の世界全体でのピークアウト時と2050年における排出削減量が示されている。CO<sub>2</sub>濃度を350~400 ppmv、温室効果ガス濃度を445~490 ppmv にとどめる(カテゴリー I)には、2015年には排出を頭打ちにし、2050年に世界全体で2000年比85~90%削減の必要がある。その場合、ある程度2°C程度にとどめることができる可能性があるが、適応策も必要と指摘されている。

また、AR 4 には、先進国と途上国とでこれらの削減量を分担するについて、2020年までに先進国は90年比25~40%削減が必要とのシナリオも示されている(第2表)。公平かつ実効性のある国際枠組みの構築とすべての主要国の参加による意欲的な目標の合意を「前提」としてではあったが、コペンハーゲン合意に基づき、日本が国連に届け出た「2020年に90年比で25%削減」との日本の中期目標の根拠はここにある。

<sup>9)</sup>[http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr\\_spm.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ipcc/4th/syr_spm.pdf)

<sup>10)</sup>IPCC AR 4 統合報告書 SPM.7. 世界平均気温の変化に伴う影響の事例

第1表 ポスト TAR の安定化シナリオの特徴とそれに伴う長期的な世界平均平衡温度及び熱膨張のみに由来する長期的な海面水位上昇

| カテゴリー | 二酸化炭素安定化濃度(2005年=379ppm) | 温室効果ガス安定化濃度(二酸化炭素換算)(エアロゾル含む)(2005年=375ppm) | 二酸化炭素排出がピークを迎える年 | 2050年における二酸化炭素排出量の変化(2000年比のパーセント) | 気候感度の最良の推定値を用いた平衡時の世界平均気温の工業化以降からの上昇 | 熱膨張のみに由来する平衡時の世界平均海面水位の工業化以降からの上昇 |
|-------|--------------------------|---|------------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
|       | ppm                      | ppm   | 西暦               | %                                  | °C                                   | m                                 |
| I     | 350~400                  | 445~490                                     | 2000~2015        | -85 ~ -50                          | 2.0 ~ 2.4                            | 0.4~1.4                           |
| II    | 400~440                  | 490~535                                     | 2000~2020        | -60 ~ -30                          | 2.4 ~ 2.8                            | 0.5~1.7                           |
| III   | 440~485                  | 535~590                                     | 2010~2030        | -30 ~ +5                           | 2.8 ~ 3.2                            | 0.6~1.9                           |
| IV    | 485~570                  | 590~710                                     | 2020~2060        | +10 ~ +60                          | 3.2 ~ 4.0                            | 0.6~2.4                           |
| V     | 570~660                  | 710~855                                     | 2050~2080        | +25 ~ +85                          | 4.0 ~ 4.9                            | 0.8~2.9                           |
| VI    | 660~790                  | 855~1130                                    | 2060~2090        | +90 ~ +140                         | 4.9 ~ 6.1                            | 1.0~3.7                           |

AR4第3作業部会表SPM.6から作成

第2表 IPCC 第4次報告第3作業部会 BOX. 13.7.)から

| 温室効果ガス濃度(ppm) | 地域  | 2020年(1990年比)            | 2050年(1990年比)           |
|---------------|-----|--------------------------|-------------------------|
| 450           | 先進国 | -25~-40%                 | -80~-95%                |
|               | 途上国 | 多くの途上国で大幅な削減             | すべての途上国で大幅削減            |
| 550           | 先進国 | -10~-30%                 | -40~-90%                |
|               | 途上国 | ラテンアメリカ、中東、東アジアで基準年からの変化 | ほとんどの途上国で基準年からの変化       |
| 650           | 先進国 | 0~-25%                   | -30~-80%                |
|               | 途上国 | 基準年どおり                   | ラテンアメリカ、中東、東アジアで基準年から変化 |

#### 4. 再生可能エネルギーの可能性

AR4では削減と緩和の政策に関する第3作業部会が充実しており、エネルギー供給における温室効果ガスの排出削減策として、①省エネルギー、エネルギー効率向上、②燃料転換、③再生可能エネルギー、④原子力利用<sup>a)</sup>、⑤二酸化炭素貯留(CCS)をあげ、その技術的、経済的可能性を提示し、適応策の重要性についても強調している。

なかでも、AR4第3作業部会から2009年に出されたSRRENは、6つの再生可能エネルギー源<sup>b)</sup>の気候変動

の緩和における科学、技術、環境、経済及び社会的側面の貢献に関する文献評価である。その要約(SPM)によれば、再生可能エネルギーは気候変動の緩和ポテンシャルが大きいだけでなく、社会経済、エネルギーアクセス、確実なエネルギー供給、環境や健康への悪影響の減少など、より広範な便益を供するものであり、シェアを増加させるためにはエネルギーシステムの変化を促す政策が必要であること、それらの政策により技術やインフラへの投資の増加を促すことを求めている。

また、2008年のリーマンショックにもかかわらず、再生可能エネルギーは急速に拡大し、その53%が途上国で導入されていること、既存のエネルギー価格よりも高いが、既に経済的競争力を持つ再生可能エネルギーもあること、コスト削減が普及ポテンシャルの増加、気候変動

<sup>a)</sup> マラケシュ合意では、原子力のCDMとしての利用は差し控えるべきと明記されている。

<sup>b)</sup> バイオエネルギー、直接的太陽エネルギー、地熱エネルギー、水力、海洋エネルギー、風力エネルギー。

第3表 IPCC と国際合意の動き

| 年    | IPCC         | 国際交渉・合意   |
|------|--------------|---|
| 1988 | IPCC設立       | 第1回世界気候会議   |
| 1990 | FAR          |   |
| 1992 |              | 気候変動枠組み条約採択   |
| 1995 | SAR          | COP1ベルリンマンデート   |
| 1996 |              | CO2 ジュネーブ宣言・法的拘束力                                     |
| 1997 |              | 京都議定書採択   |
| 2000 |              | COP6 決裂   |
| 2001 | TAR          | ブッシュ政権 京都議定書から離脱宣言<br>COP6 再開会合でボン合意、<br>COP7 マラケシュ合意 |
| 2002 |              | EU,日本 京都議定書批准   |
| 2005 |              | 京都議定書発効   |
| 2007 | AR4          | COP13 パリ合意  |
| 2009 | SRREN        | COP15 コペンハーゲン合意                                       |
| 2010 |              | COP16 カンクン合意  |
| 2011 |              | COP17 ダーバン合意  |
| 2012 |              | COP18 京都議定書II 合意予定                                    |
| 2013 | 第5次評価報告書公表予定 |   |
| 2014 |              |   |
| 2015 |              | COP21 2020年以降の国際枠組み合意予定                               |

緩和をもたらすと指摘している。その後も世界で急激に拡大し、発電原価及び技術のコスト低下が進んでいる。

### 5. IPCC と国際政治への反映の限界

このような IPCC の警告にもかかわらず、気候変動のリスクを最小化する国際的な削減の道筋についての交渉は、遅々として進んでいない。2011年のダーバンでの COP17で、2013年の COP18で京都議定書第2約束期間の先進国の目標を採択し<sup>1)</sup>、2015年までに、条約のもとのすべての国についての2020年以降の目標等について合意すべく交渉が続けられるとされたものの、先進国と途上国の間だけでなく、先進国間においても米国や日本と EU との間での立場の収れんには至っておらず、各国が提出した削減目標やこれまでの排出実績だけでは2℃目標に黄信号が灯っている。まず、各国の国内の温暖化政策の進展が求められる。

## V. 気候の安定に向けて

IPCC は科学の立場から気候変動に関する知見を深め、政策決定者に提供し、国際交渉の進展を促し、これまでの国際合意形成に重要な役割を果たしてきたといえる(第3表)が、政治が気候の異変に十分に対応できていないのが現実である。科学のもつ不確実性を払拭しきれ

<sup>1)</sup>米国は京都議定書を批准しておらず、カナダは第2約束期間からの離脱を表明し、日本とロシアは第2約束期間の目標を受諾しないことを表明している。

ない事象についての将来予測への本来的な保守性は、政治における政策転換の怠慢の正当化につかわれやすい。

第5次評価報告書は2013~14年に作成、公表される予定である。AR4以降、健康への影響、生態系・生物多様性への影響、農業・食糧安全保障への影響が以前よりも深刻となり、海洋酸性化等への理解が進み、水資源、沿岸システム、健康、生態系・生物多様性、農業・食糧安全保障への影響が現実化している。とりわけ、東南アジアが気候変動に非常に脆弱な地域であること、海面上昇による全球的な経済被害は、2100年に4℃上昇の場合で4,000億ドル/年、2℃上昇で3,300億ドル/年と推計されている。

第5次評価報告書には、2015年に採択が予定されているすべての国の削減義務と行動についての合意を採択できるかがかかっている。そのためには、科学の更なる進展と、国際政治とその基礎となす各国の国内政治が IPCC の警告の真意を理解し受け止めることが必要である。不可逆の気候の変化が現実となる以前に、国際政治を進展させるすべての国・地域での、政治を動かす市民の認識と行動が求められている。

### 著者紹介



浅岡美恵(あさおか・みえ)  
気候ネットワーク代表・弁護士  
(関心分野)地球温暖化、エネルギー問題、  
情報公開

## 放射線・粒子線がん治療と医学物理の最前線

## 第1回 X線がん治療の現状，課題，展望

京都大学 平岡 真寛

放射線療法には、(1)機能・形態を温存しながら治癒に導ける、(2)いかなる部位でも自由に照射できる、(3)体の負担が少なく、合併症を有する患者や、高齢者にも適応できる、という大きな利点を有している。他方、手術療法に比べて局所制御の点で劣るがんが少なくないこと、腫瘍周辺部の正常組織に放射線が照射されることに伴う放射線障害の出現が問題とされている。近年、根治性の向上を図る一方で、放射線障害の軽減を実現する新しい治療法が登場し、放射線治療は新たな時代に入った。IT技術を活用した定位放射線治療、強度変調放射線治療はその代表であり、更に動きに対応できる4次元放射線治療が実用化されつつある。

## I. はじめに

放射線療法の歴史は、レントゲン博士がX線を発見した1895年に始まる。その後、治療機器、治療技術の研究開発、あるいは基礎となる放射線生物学の進歩に支えられ、放射線療法は、手術療法、薬物療法と並ぶがん治療の三本柱の一つとして認知されるに至っている。

手術、放射線治療、化学療法、それぞれの治療法には固有の利点、欠点がある。放射線治療には、(1)病気の部分を切除しないで治療するため機能・形態の温存に優れている、(2)いかなる部位でも(手術の困難な部位でも)照射できる、(3)手術に比べて体の負担が少なく、合併症を有する患者や、高齢者にも適応できる、という大きな利点を有している。各種のがん治療法を生存率、生存期間だけでなくQOL(Quality of Life:治療後の生活の質)の観点からも評価しようという近年の意識変革の中で、また高齢化社会の急速な到来とともに、放射線療法のこれらの特長は今後より大きく評価されるものと考えられる。

他方、放射線療法の問題点は、第1に手術療法に比べて局所制御の点で劣るがんが少なくないこと、第2には、腫瘍周辺部の正常組織に放射線が照射されることに伴う放射線障害の出現である。

日本では、過去の不幸な歴史が関係した放射線アレルギーもあって、放射線治療の欠点が過剰に意識され、利点が過小評価されてきた。実際、新たにがんと診断された患者のうち、米国では66%が、ドイツでは60%が初回治療として放射線治療が行われているのに対して、我が

国では25%(2005年)にしか用いられていない現状にある。近年の急速な高齢化社会の到来による高齢者がんの増加、本稿でも述べる放射線治療の進歩に伴い、放射線治療を受ける患者は急増しており、今後10年以内に40%の新規がん患者が放射線治療を受けるものと推定されている(第1図)。

## II. 放射線治療の生物学的な基礎

放射線による細胞損傷の主たるターゲットは細胞核内にあるDNAである。DNA損傷に伴い細胞は分裂できなくなり死に至る。

細胞レベルで放射線感受性を規定する因子として細胞周期、酸素濃度がある。すなわち、M期(細胞分裂期)の細胞は放射線感受性が高く、S期(DNA合成期)後半の細胞は感受性が低い。通常の放射線療法に用いられるX線、 $\gamma$ 線、電子線では、酸素濃度の影響が大きく、酸素濃度が少ないと感受性が著しく低下する。酸素の少ない低酸素細胞と酸素に富んだ細胞では、同じ生物効果を得るに必要な線量に2.5から3倍の差がある。この低酸素細胞はヒト腫瘍にも存在しており、放射線による根治性を下げる要因になっている。

放射線治療は、がんと正常組織の放射線感受性のバランスに成り立っている。すなわち、放射線治療が成立するためには正常組織とがんに感受性の差があり、後者の感受性が高いことが放射線にて治癒を得るために必要である。

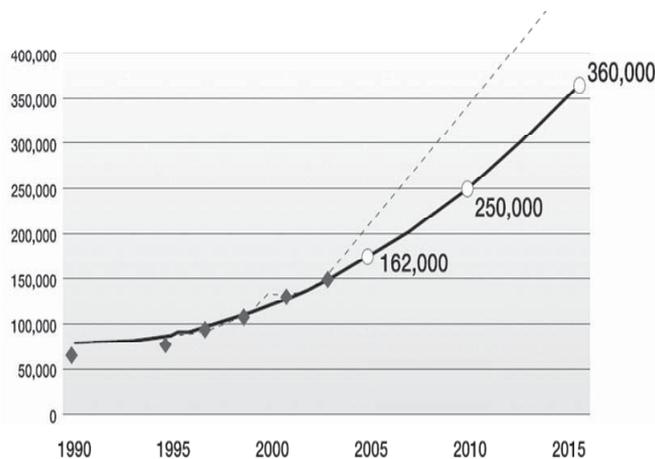
1回の線量を上げれば、殺細胞効果は上がるが、正常細胞へのダメージも大きくなる。放射線治療においては急性期と晩期の有害事象があるが、臨床的に問題となる晩期有害事象への影響が特に増大することに注意が必要である。1回の線量を減らせば、副作用は小さくなるが、

On the Frontiers of Radiation & BNCT Cancer Therapy and Medical Physicists Training(1); *Current Status and Perspectives of X-ray Radiation Therapy*: Masahiro HIRAOKA.

(2012年 3月14日 受理)

## 放射線治療を受ける患者数は急増

7



◆：日本放射線腫瘍学会構造調査  
○：厚生労働省がん研究助成金(14-6)

第1図 放射線治療を受ける患者数の年度別推移

がんの診断を受けた患者の放射線治療を受ける割合は、1994年の15%から2005年には25%に増加しており、更なる増加が予想されている。先進国では、米国66%、ドイツ60%とおおむね60%の患者に活用されている。

がん細胞は死なずに残る。通常行われる治癒を目的とした分割照射法では正常細胞とがん細胞の感受性の差を利用しており、1回の線量を1.8~2.0 Gyとし、1日1回、週5日、合計30~33回、総線量として60~66 Gyを照射するのが一般的である。

この分割法、総線量について近年大きな進歩がみられる。強度変調放射線治療(IMRT)の登場によって正常組織の線量を大きく軽減することが可能となったため、通常分割法にて前立腺に総線量80 Gy超の照射が行えるようになったのである。この線量増加により、放射線治療による前立腺がんの治療成績は飛躍的に向上し、手術と並ぶ根治治療法として評価されるに至っている。また、前立腺がんは従来の1回2 Gyよりももっと大きな線量が有効であることが生物学的に示唆されており、1回線量を2.5~4 Gyまで増加して、治療期間を短くする臨床試験も行われており、今後の展開が期待できる。

### Ⅲ. 放射線治療の物理的な基礎

放射線治療は外部照射治療と小線源治療に大別され、さらに後者は組織内照射治療と腔内照射治療に分けられる。後者は、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線が用いられる。ここではX線を用いる外部照射について述べる。

体外から放射線を照射する外部照射は、もっとも広く用いられている照射技術である。代表的な機器は医療用直線加速器(リニアック)であり、それから発生する高エネルギーX線が通常用いられる。外部照射には、非侵襲的に、患者の負担が少なく、任意の部位に照射できるという大きな利点があるが、周囲の正常組織にも一定の

#### 日本の状況

2005年で25%、2015年には40%のがん患者が放射線治療を受けると推定

#### 欧米の現状

がん患者の66%(米国)、60%(ドイツ)が放射線治療を受けている

#### 背景

- ▶ 高齢化社会の急速な到来
- ▶ 切らずに治す放射線治療への期待
- ▶ IT・画像技術等による放射線治療の高度化

線量が照射されるという欠点を有している。しかし近年では高エネルギーX線を用いた定位放射線治療、強度変調放射線治療といった高精度放射線治療が急速に普及してきており、また粒子線治療も可能となっており、以前に比べて正常組織の線量低減化ができるようになってきている。いずれにせよ、治療をするべき病巣(ターゲット)に選択的に放射線を均一に照射し、その周囲正常組織への線量を可及的に減らすべく、高精度な放射線治療計画を行うことが重要である。

放射線治療においては放射線治療計画が極めて重要である。CTシミュレータ、治療計画用コンピュータを用いて、治療すべきターゲット、照射したくない周囲の正常組織を的確に描出し、腫瘍への線量集中性を高めた計画を実施することが放射線治療の正否を決める。

#### 1. 原体照射法

原体照射は、回転照射中に照射野の形状を変化させターゲットに合わせた線量分布を得る方法であり、35年前に故高橋信次博士が発明した革新的治療技術である。コンピュータによる制御技術の進歩、および各種機器の開発により、幅0.5~10 mmの多分割絞り(マルチリーフコリメータ)を回転照射中に自由に制御可能となり、臨床の現場で普及している。原体照射は2次元治療としては最も腫瘍に選択的な線量分布が得られる手法であり前立腺がんへの有用性も高い。

#### 2. 定位放射線治療

原体照射より更に一段と腫瘍への線量集中性を高めたのが定位的放射線治療である。細くした放射線ビームを

3次元的に腫瘍に集中して照射することで、腫瘍への線量集中性を著しく高めることが可能となる。対象となるのは4 cm以内の小さな病変である。正常臓器への照射線量を減らすことで、1回線量を上げることが可能とし、より高い治療効果を得ることができる。最初に実用化されたのは、脳内病変に対するガンマナイフである。これは、照射ユニットの中に201個の<sup>60</sup>Co  $\gamma$ 線の線源を配置し、 $\gamma$ 線ビームを集中させるものである。その後登場したのが、細いビームのX線を用いて3次元的な多軌道にて照射を行い、病変部に線量を集中させるリニアックを用いた方法である。分割照射が可能で、より安全に治療が行えるという利点があり、脳内病変のみならず、体幹部の病変にも適応が拡大している。体幹部定位放射線治療と言われる本治療法は、早期の肺癌に対して良好な成績が得られ、手術不能症例の標準治療として評価がほぼ確立されている。手術が可能な患者に対する有効性についても臨床試験が国内外で実施されており、その先鞭をつけた日本の試験では、高齢者に対する有用性が示されている。アジアに多い肝がんも定位放射線治療の良い適応である。

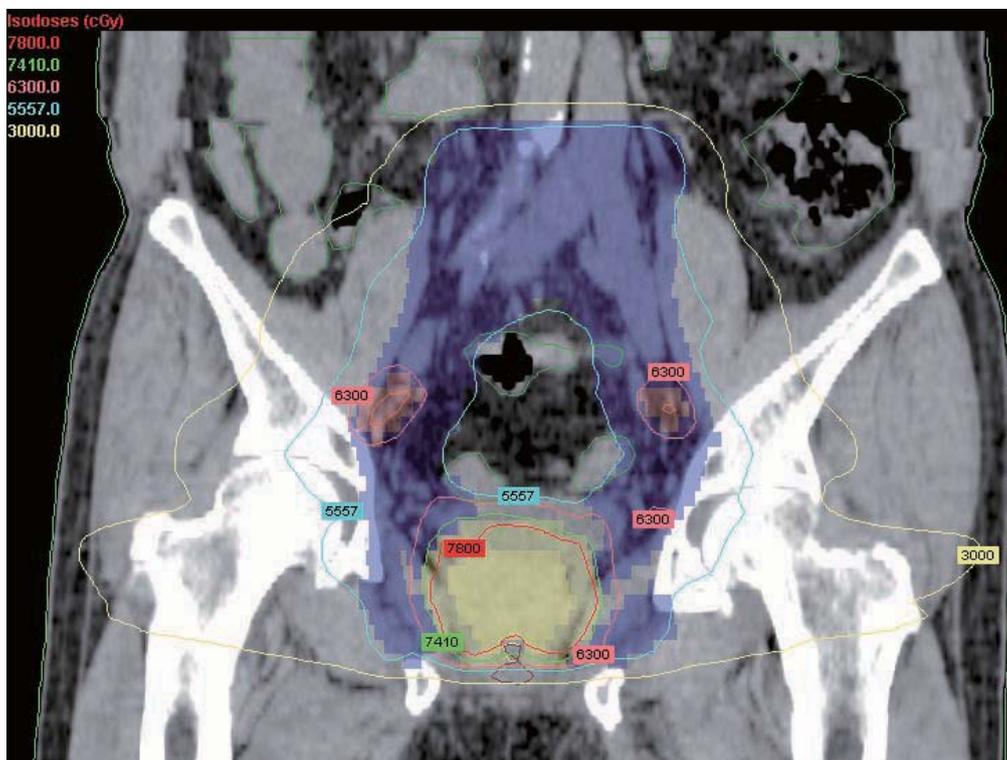
### 3. 強度変調放射線治療(Intensity-Modulated Radiation Therapy : IMRT)

照射する病変(ターゲット)が不整形な形状でありながら、隣接して脊髄などの危険臓器が存在する場合、従来

の照射法では、ターゲットへの十分な線量と危険臓器への安全な線量のどちらかを犠牲にするしかなかった。強度変調放射線治療は、コンピュータを用いて最適な照射法を探し出すことにより、双方の条件を満たす治療計画を実現する革新技術である。これによって正常臓器の線量増加なしに腫瘍への投与線量を安全に増加したり(dose escalation)、腫瘍の線量を保ったまま正常組織の線量を抑えて合併症を軽減することが技術的に可能となった。最も臨床例が多いのが前立腺がんであり、局所制御率の改善と隣接する直腸等の合併症の低減が示されている(第2図)。また、上咽頭がん、中咽頭がんにおいて、放射線治療の最大の問題であった唾液腺障害を有意に下げることが示されている。2008年の保険収載の折には前立腺がん、頭頸部がん、脳腫瘍の3腫瘍が保健適応となっていたが、2010年の改訂では限局した悪性腫瘍すべてが適応となった。米国においては、ほぼ100%の放射線治療施設で本治療が行われており、数多くのがんにおける有用性が示されている。日本では、放射線治療医、医学物理士のマンパワー不足により、実施施設は20%に達しておらず、IMRTを希望する患者のニーズに全く対応できていない状況である。

## IV. 放射線治療の展望

定位放射線治療、強度変調放射線治療といった高精度治療の最大の問題点の一つは動きに弱いことである。こ



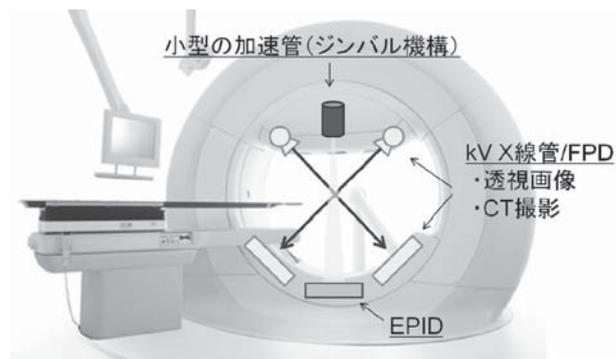
第2図 前立腺がんに対するIMRT

受診時に前立腺がんが周囲のリンパ節まで広がっていた、前立腺に78 Gy、リンパ節転移部に66 Gy、周囲のリンパ節に58 Gyの予防照射を施行。その一方で、最も放射線に弱い消化管の線量は低下させている。必要なところに必要な線量を投与できるIMRTの特徴を示している。

これは粒子線治療についても言える。肺がんや肝臓がんでは、多くの場合、呼吸移動に伴い上下に1 cm以上動く。動きが少ないとされる前立腺においても、ガスや糞便の有無・量による直腸の変形、尿のたまり具合による膀胱の変形により、前立腺は移動する。これらの動き・移動に呼応して的確に照射するためには時間軸を加えた4次元治療の実現が必須である。4次元治療装置の開発はX線、粒子線いずれにおいても精力的に進められている。最先端研究支援プログラムでは、4次元治療に対応する放射線治療システムの開発が30のプログラムの一つに採択され、北海道大学が陽子線の、京都大学がX線の開発を進めている。実用化に関してはX線が先行しており、米国で開発されたサイバーナイフと日本で開発されたVero 4 DRTが臨床の現場で活躍している。

Vero 4 DRT(第3図)は、2000年より三菱重工業(株)と先端医療センター(神戸)、京大病院放射線治療科が共同して開発を行った全く新しいタイプの放射線治療装置である。高い精度を実現するOリング型フレーム、あらゆる角度から同時撮影できる2対のkV X線透視イメージングシステム、治療ビームを用いて病巣位置を画像化するEPIDなど、高精度放射線治療に必要な多数の機構を備えているが、中でも首振り可能な小型の加速管が動体追尾照射を実現したキー技術である。ちなみに、本加速管は高エネルギー加速器機構と三菱重工業が開発したものである。これらの技術の結集により、従来の方と変わらない短い時間でがんの追尾放射線治療が可能となった。また、優れたイメージングシステムにより、治療ビームが病巣を正確に捉えていることをリアルタイムで視認することができる。2011年9月には、肺腫瘍に対して世界初の動体追尾放射線治療(リアルタイムモニタリング下での)を実現した。

もう一つの潮流は診断と治療の統合である。放射線治療技術の進歩により複雑な形状であってもそれに合わせた高線量域を作り出すことが可能となった。画像診断において現在、大きなパラダイムシフトが起こっている。各種の生体情報を画像化(可視化)するバイオイメージング(分子イメージング)への展開である。このバイオイメージングは放射線治療においてもきわめて重要な情報を提供してくれる。たとえば放射線治療抵抗性とされる



第3図 開発した4次元放射線治療装置

小型加速管の開発により、Oリング構造の装置が可能となった。加速管と一体化したジンバル構造の導入により、腫瘍追尾機能を付加できた。治療に用いたビームを直接観察できるEPID、体の中を見る透視装置、回転することによりCTを得る1対のX線管も装備している。

低酸素領域あるいは増殖能が盛んな領域の画像化である。IMRT技術を活用すれば、それらの部分に選択的に高線量を投与することが可能であるため、個々のがんの生物情報に合わせた、すなわち個々の患者に合った個別化放射線治療が実現できる。

多様な生物情報を有し、動いているがんに対して最適化された放射線治療を実現することが今後10年の大きな目標である。

#### 一参考文献一

- 1) M. Hiraoka, Y. Matsuo, K. Takayama, "Stereotactic body radiation therapy for lung cancer: achievements and perspectives". *Jpn. J. Clin. Oncol.*, **40**[9], 846~854 (2010).
- 2) 放射線治療計画ガイドライン2008, 日本放射線科専門医会, 日本放射線腫瘍学会, 日本医学放射線学会編.

#### 著者紹介



平岡真寛(ひらおか・まさひろ)  
京都大学医学研究科  
(関心分野)がん治療/特にがんの放射線治療



## 原子力産業界のソウルサミットに出席して

日本原子力研究開発機構 持地 敏郎

今回の Seoul 2012 Nuclear Industry Summit for Nuclear Security and Safety (NIS)が前回 Nuclear Security Conference 2010を受けて、世界の原子力産業界トップが一堂に会し、核セキュリティの重要性を再認識し、共同声明を発することができたことは、核セキュリティ強化に向け、さらに一歩前進できたものと期待する。

2012年3月26～27日、韓国ソウルにて開催された第2回核セキュリティサミットに先立ち、同サミットのサイドイベントとして、3月23～24、「ソウル2012核セキュリティと原子力安全のための原子力産業界サミット(NIS)」及び「2012ソウル核セキュリティシンポジウム」が開催された。上記NISは、韓国水力原子力発電機(KHNP)主催により、2010年の第1回ワシントン核セキュリティサミット直後に開催した産業界のイベント(Nuclear Security Conference 2010:核セキュリティにおける民間団体の役割をテーマにした会議)に引き続き開催されたもので、産業界の核セキュリティ活動へのより現実的な協力に関する内容について議論し、最後に共同声明を発表した。

昨年12月頃、NIS事務局は、「核セキュリティ及び原子力安全の強化における原子力産業界の役割」をテーマとして、高濃縮ウランの民生使用の最小化(WG1)、機微情報の管理(WG2)、福島以降のセキュリティと安全の関連性(WG3)の3つのWGを設置した。各WGは10名程度の産業界の最高責任者レベルのメンバーで構成され、それぞれのテーマ及びNIS共同声明案についてEメールベースで議論することとなった。NIS事務局が各WGメンバーの意見を集約し、かつNIS事務局外に設置されたIAC(国際アドバイザー委員会)に意見を求めるというプロセスを3回繰り返し、仕上げていくといった方策が取られ、NIS直前に最終的なWG報告書案及びNIS共同声明案が取りまとめられた。日本からのWGメンバーにはWG1に原子力機構(岡田理事及び筆者)、WG2に日本原燃(大和副社長)、WG3に関西電力(八木社長、NIS当日は高杉原子力事業部副本部長)が参加した。

NIS当日(3月23日)は36カ国118企業・団体等の原子力産業界から200名以上の代表者らが参加し、極めてハイレベルで大掛かりな国際会議となった。

*Seoul 2012 Nuclear Industry Summit for Nuclear Security and Safety* : Toshiro MOCHIJI

(2012年5月8日 受理)

### 1. 開会セッション

NIS組織委員長 Jong-Shin 氏(韓国水力原子力発電機社長)、韓国原子力産業会議会長 Joong-kyum Kim 氏及び韓国 H.E.Hwang-sik Kim 国務総理からの開会挨拶に続き、WNA(世界原子力協会)、WINS(世界核セキュリティ協会)、WANO(世界原子力発電事業者協会)及び米国 NEI(原子力エネルギー協会)から、それぞれ核セキュリティの課題における産業界の役割、核セキュリティのベストプラクティス、核セキュリティと安全のシナジー、ワシントン Nuclear Security Conference 2010の成果及び2012ソウル NIS への期待、などについて基調演説が行われた。

### 2. ワーキングセッション

各WGメンバーが壇上に上がり、それぞれの検討テーマに関する背景や現状、及び議論の進め方等を概括した活動サマリーが紹介されるとともに、今後の産業界として取り組むべき行動としての勧告が提案された。

#### 2-1. WG1(高濃縮ウランの民生使用の最小化)

原子力機構(岡田理事)が参加したWG1(高濃縮ウランの民生使用の最小化)では、当初200基以上の研究炉で高濃縮ウランが使用されていたが、RERTR(Reduced Enrichment for Research and Test Reactors)プロジェクトやGTRI(Global Threat Reduction Initiative)活動による低濃縮ウラン・シリサイド燃料の開発等により、現在は100基程度に減少していること、低濃縮ウラン・シリサイド燃料への転換が難しい高性能研究炉用には、現在、低濃縮ウラン・モリブデン燃料が開発中であるが、技術的課題が残っており、国際的な支援が必要であること、低濃縮ウラン燃料への転換には、使用済燃料の管理(米国返還)が深く関与しているが、その米国への返還プログラムが2016年5月に期限が切れ、その後の管理方針が示されていないこと、医療用Mo-99製造の80%は高濃縮ウランターゲットが使用されており、残り20%が南ア(SAFARI)、オーストラリア(OPAL)、アルゼンチン(RA-3)などの原子炉で低濃縮ウランターゲットが使用されていること、現在、経済的かつ効率的な製造方法と

して高密度の低濃縮ウランターゲットの開発などが行われているほか、一部の国では $(n, \gamma)$ 反応のような濃縮ウランを利用しない方法に取り組んでいること、また、これらの技術開発にはIAEAやOECD/NEAなどの国際機関が重要な調整役を果たしている、などの現状が報告されるとともに、概要以下の勧告案が示された。

- ・技術的、経済的に実行可能な場合の研究炉燃料の低濃縮化及び医療業界へのMo-99の安定供給を前提に、RI製造のための低濃縮ウランターゲットへの移行を通じて高濃縮ウラン使用の最小化に向け更に努力すること、これらに関する経験や技術を適切な条件のもとで共有する。
- ・原子炉の運転に高濃縮ウラン燃料を使用しない、また、医療用RI製造に高濃縮ウランターゲットを使用しない新技術開発の国際プログラムを継続する。新技術の開発及び医療用RI製造の現状に関する全体的な評価のための国際的なフォーラムの組織化、国際機関を推奨する。
- ・低濃縮ウランをベースとした技術を推進するための国家の制度的な取組の重要性を認識する。

#### 2-2. WG 2(機微情報管理)

機微情報管理の国際指針の作成への支援、機微情報管理に関するベストプラクティスの共有への支援、サイバー脅威に対する防護への留意を継続及びセキュリティ文化の更なる向上などの勧告案が示された。

#### 2-3. WG 3(福島以降のセキュリティと安全の関連性)

核セキュリティと安全を一体的に検討することによって、公衆と環境の保護に対するシナジー効果増強のための努力、新たな脅威に対する効果的な対応や設計基礎脅威(DBT)の補足のために、許容可能な核セキュリティ情報やベストプラクティスを共有、核セキュリティ統治の改善や関連システムの補完における重要な国家の役割を認識、IAEA等、国際機関が参加した産業界レベルでの定期的な国際会議の設立などの勧告案を示した。

#### 3. パネルディスカッション

午後のパネルディスカッション(OECD/NEA, WANO, WINS, CNNC(中国), Electronuclear(ブラジル), GE-Hitachi(米国), INPO(米国), INVAP(アルゼンチン), JAIF(日本), Khalifa 大学(UAE), KNS(韓国), 合計11機関が参加)では、原子力安全と核セキュリティの強化について、日本原子力産業界協会(JAIF)の服部理事長のほか、Khalifa 大学、KNS, CNNC からショート・スピーチを行った。服部理事長は、福島原発事故後1年を受け、同原発の現状や事故から得られた教訓を紹介するとともに、日本における原子力安全性強化のためには、これら教訓を国際社会で共有、シビアアクシデント対策の強化、規制体系の再構築化や安全に特化した新組織の設置などを挙げた。最後に、本パネル議長の米国NTI 理事長 Ms. Rohlifing 女史が、ワシントンサミット

以降の2年間で大きな進展があったこと、透明性の向上やグローバルスタンダード及びIAEAの権限・予算の強化などが必要である旨、総括した後、本NISメインイベントである共同声明案がNIS組織委員長(韓国水力原子力発電(株)社長)から読み上げられ、満場一致で採択された。

共同声明には、各WGからの勧告などが盛り込まれた。(http://www.seoul-nis.org/eng/bbs/data\_list.asp)

#### 4. テクニカルツアー

NIS 2日目(3月24日)は、原子力発電所、原子力発電用設備の製造工場及び原子力研究所(KAERI, KEPCO NF, KHNP-CRI)の3種類のテクニカルツアーが組まれており、筆者らは、原子力発電所のツアーに参加して、早朝より韓国南部に位置する古里及び新古里原子力発電所を見学した。韓国の原子力発電は、1978年に古里発電所1号炉が商業運転を開始以来、現在では21基が稼働している。韓国の全発電量の35%が原子力発電によるもので、著しい経済成長に大きく貢献してきたとされている。我々が訪問した古里及び新古里発電所サイトには、米国からの導入技術による古里1~4号機及び導入技術を国産化した標準炉を改良した新古里1号機(OPR 1000)が運転中である。また、実際に見学した新古里2号機(OPR 1000)は年内運開に向け試運転中であり、UAEへ輸出されるとしている次世代型炉新古里3~4号機(APR 1400)が建設中であった(それぞれ2013年9月及び2014年9月運開予定)。さらに新古里4号機の隣には建設準備中の5~6号機の建設用地が確保されており、また7~8号機も計画されている。

#### 5. 全体的な印象

各WGが取りまとめた報告書や共同声明は、数か月にわたったEメールベースでの議論が中心であったことから、コメント提出の遅れやメンバー間の議論が不足、また、一部メンバーから議論終盤になってWG報告書や共同声明を発すること自体に消極的な意見が出されるなど、最終的には妥協の産物の感もあるが、NIS前日までかかってまとめ上げた事務局には敬意を表したい。世界の原子力産業界トップが一堂に会し、核セキュリティの重要性を再認識し、共同声明を発することができたことは、核セキュリティ強化に向け、さらに一歩前進できたものと期待する。また、今回のNIS参加者の多くが、韓国産業界及び政府が一体となって強力に原子力推進に取り組んでいることを実感したものと思われる。

#### 著者紹介



持地敏郎(もちじ・としろう)  
日本原子力研究開発機構  
(専門分野/関心分野)原子力平和利用と  
核不拡散・核セキュリティ



## 日本原子力学会「2012年春の年会」 男女共同参画委員会セッション報告

### 原子力分野で高まる女性研究者・技術者の重要性 —震災・事故対応の現場報告を通して

日本原子力学会 男女共同参画委員会

福井大学にて開催された日本原子力学会「2012年春の年会」で、「福島事故対応に参加した女性たちの体験談」と題した企画セッションを開催した。東京電力(株)の小川由起子さんからは「福島第二原子力発電所における東日本大震災への対応について」、関西電力(株)の樋口奈津子さんからは「福島での電力支援チームの活動について」と題した講演をいただいた。講演後、現在から将来に向けての原子力分野に対する女性の関わり方について、サイエンス・カフェ方式でグループディスカッションを行った。本企画セッションを通じて、原子力分野における女性研究者・技術者の位置づけは、今後ますます重要になっていくものであることが確認された。

#### I. はじめに

日本原子力学会男女共同参画委員会では、毎回の日本原子力学会春の年会及び秋の大会において、様々な視点からワーク・ライフ・バランスをテーマとしたサイエンス・カフェを開催している。2012年3月19日から21日に福井大学にて開催された日本原子力学会「2012年春の年会」では、「福島事故対応に参加した女性たちの体験談」として、原子力分野で活躍する2人の女性から各1件の講演をいただいた。講演後、現在から将来に向けての原子力分野に対する女性の関わり方について、サイエンス・カフェ方式でグループディスカッションを行った。以下に、2件の講演概要と、原子力分野に対する女性の関わり方の現状認識と将来展望を述べる。

(大阪大学・黒崎 健,  
(株)テブコシステムズ(当時)・小林容子)

#### II. 福島第二原子力発電所における東日本大震災への対応について

東北地方太平洋沖地震発生当時、私の勤務する福島第二原子力発電所では、4機のユニット全てが定格熱出力で運転中であったが、全て地震により停止した。この数十分後、津波の襲来により原子炉冷却に係る設備が大きな被害を受けた。被害は主に港湾沿いに設置されている設備に限られてはいたものの、原子炉冷却に係る設備に必要な電源盤や電動機が被水したため、ポンプを回すことができなくなっていた。

大津波警報が継続して発令されており、また強い余震が続いていたものの、冷却設備の復旧は緊急を要することから、瓦礫が散乱しているなか、所員は現場確認に急いだ。

被災当時は復旧作業に必要な重機や資機材も不足しており、また福島第一原子力発電所の状況悪化に伴い周辺放射線量が上昇していたことから重装備で作業を行うなど、大変厳しい環境の下で作業を行わなければならなかったが、3月15日には4機のプラント全てを冷温停止状態へ移行することができた。

復旧作業や復旧支援業務(医療厚生、通報連絡等)には、女性も男性とともに従事したが、ここまで複雑かつ過酷な状況での勤務について当初は定めがなかったため、その場に応じた検討を行いながら対応することとなった。例えば、復旧作業及び復旧支援業務に従事した女性に対する早期の内部被ばく検査(ホールボディカウンタ)、放射線被ばくに関する説明会等を行った。また、生活用水設備を修理した際には、女性が優先的にシャワーを使用できるようにするなど、衛生面でも配慮がなされた。

これまで、非常事態発生時における設備への対策が議論の主体となってきたが、「人」のケアもとても重要であると実感した。

なお、現在の福島第二原子力発電所の周辺放射線量は低くなっており、多くの女性が震災前と同じ状態で勤務している。

(東京電力(株)・小川由起子)

#### III. 福島での電力支援チームの活動について

私が福島へ派遣されたのは昨年のお盆明け、ちょうど大規模な一時帰宅や車両持出しが行われていた時期である。そのような中で、4日を福島市内の宅地モニタリ

Session Report for the AESJ Gender Equality Committee at 2012 Annual Meeting of AESJ : The AESJ Gender Equality Committee.

(2012年 4月9日 受理)

グに、1日を南相馬市の一時帰宅スクリーニングに従事した。

宅地モニタリングは、住民の方々と直接対面する作業となるため、非常に緊張感を伴うものであったが、支援本部に掲げられた「福島支援本部活動三原則」の一つである「地域の目線で考えて行動すること」を常に意識しながら現場に向かった。道ですれ違った住民の方からは、「うちにも来てくれるの？」と尋ねられたり、立会いをお願いしていないにもかかわらず、ほとんどの方が我々の作業をご覧になっていたことから、モニタリングに対するニーズは高かったと思う一方、それだけ不安が大きいのだということを感じ取ることができた。

確かに、「Sv」という単位は震災前と比べものにならないほど世の中に浸透しているし、実際、現地でも当たり前のように聞かれた。しかし、「Sv」という単位を知って、線量計の数値を見たところで、その解釈については、震災以降、様々なところから様々な情報が発信されており、どれを信じていいのかわからない状況が続いている。住民の方々が、これらの情報をどう解釈し、どう対応すればよいのか、混乱するのは当然と言えよう。

我々電気事業者は、これまでも放射線について様々な広報活動を行い、情報発信をしてきたつもりでいたし、私自身もとりわけ、女性層や若年層との対話活動などには積極的に参加し、自分の言葉で説明することを心掛けてきた。しかし、今回の福島第一発電所の事故で、多くのごく普通の国民が放射線を意識し、関心を持つようになった。当然、わいてくる疑問や不安も、より生活に密着したものが増えてくる。今後は、そういった周辺状況の変化も踏まえ、放射線やそれ以外の様々なリスクやそれらのリスクへの向き合い方など、国民全体で考えていくようなしくみや意識の改革が必要ではないかと感じた1週間であった。(関西電力(株)・樋口奈津子)

#### Ⅳ. まとめ(原子力分野に対する女性の 関わり方の現状認識と将来展望)

福島第一原子力発電所事故により、一般の方々がこれまで以上に原子力に興味を持つようになった。特に、こ

れまで男性と比べると比較的原子力にはあまり興味を示さなかったと思われる女性が、原子力に興味を持つようになった。その理由の一つに、原子力が日々の生活と密接にリンクするようになったことが挙げられる。例えば、原子力に対する女性ならではの観点の中には、食べ物や子供に対する放射線の影響や電力需要といった生活に直結するものが多いと予想される。一方、男性ならではの観点の中には、原発の安全性や将来のエネルギー政策といった、社会的な部分が多いと予想される。このような状況の下、原子力と社会との関わりとして、例えば、一般からの疑問に専門家が回答することを想定した場合、これまでは、男性からの疑問に対して男性が答えるだけでよかったと思われる。ところが、今後は、従来の男性からの疑問に加えて、これまでとは異なる趣旨の疑問が、女性から出てくるようになるだろう。

これに対して、これまで通りの男社会的な対応でよいのだろうか。答えは否である。つまり、女性からの女性ならではの疑問に対しては、やはり女性が回答したほうが説得力が大きいと思われる(もちろん、専門家や情報発信者は、男性、女性に関わりなく、一般の人々には多様な関心事があることを十分ふまえた上で、多様な分野にわたって説明能力をみがくことが望ましい)。ところが、現在は、原子力分野に携わり、技術的なことが理解でき、それを一般の方々に噛み砕いて説明でき、かつその機会を有する女性の絶対数が少ない(原子力に限らず理工系分野においては、男性研究者・技術者の数は多いが、女性研究者・技術者の数は一般的に少ない)。したがって、原子力分野における女性研究者・技術者の位置づけは、今後ますます重要になっていくものと考えられる。これに対応するためにも、今後、原子力に関して、特に女性を対象として、中学生・高校生に対しての正しい知識の啓蒙、大学における教育と人材輩出、原子力関連企業における人材育成等を積極的に推進し、原子力に携わる女性の数を増やしていくことが重要であるといえる。

(大阪大学・黒崎 健、  
(株)テプコシステムズ(当時)・小林容子)

# 談話室

## 「根拠なき安全神話」から「リスクテイク」へ

エネルギーシンクタンク(株) 田下 正宣

### 1. はじめに

3.11地震津波による福島第一原子力発電所(以降「福島第一」と略記)の事故で、「これほど原子力プラントが脆弱だとは思わなかった」というのが多くの原子力関係者の思いではないだろうか。地震・津波が直接的原因であることは既に多くの報告があり、また当事者である東京電力と規制当局が事故以前に十分な対応をしていなかった点も多くの指摘がなされている。しかし「本当にそれだけなのか?」との疑問から概観的に TMI 事故と福島第一の事故との比較を行い、原子力安全について私の意見をまとめた。

### 2. TMI と福島第一の違いは何か

TMI と福島第一の事故の主要な比較を、第 1、第 2 図に示す(図の数値は概数、図中の□ポイントは 4. に記す Vent & Filter 設置を想定した場合に対応する)。

第 1 点は軽微なトラブルと運転ミスからシビアアクシデント(SA: Probabilistic Safety Assessmentでは Core Disruptive Frequency に対応)に至った TMI と、外部事象を発端に発電所内部の機能不全により SA に至った福島第一の違いである。

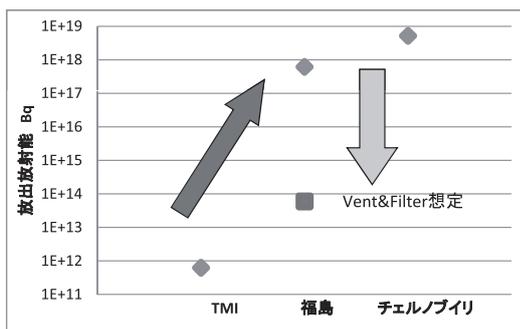
第 2 点は TMI では大規模な水素爆発が生ぜず、格納容器(CV)は機能した。米国は TMI 後、むしろ意図的にリーク(Vent)させる方が公衆災害を少なくできることから、CV の設計圧力で Vent 開始に変更した。福島第一では Vent 開始条件が CV 設計圧力の 2 倍なことから、CV 上部フランジ等のシール部分が高温になり意図せざるリークを生じ、大規模水素爆発を招いた。これにより CV は放射性物質漏洩防止機能を果たさず、早期大量放射性物質放出事故(PSA では Large Early Release

Frequency に対応)に至った。外部放出放射量の TMI との差は 6 桁程度である。Vent & Filter が設置されていれば外部放出放射能は大幅に削減されたと考えられる。

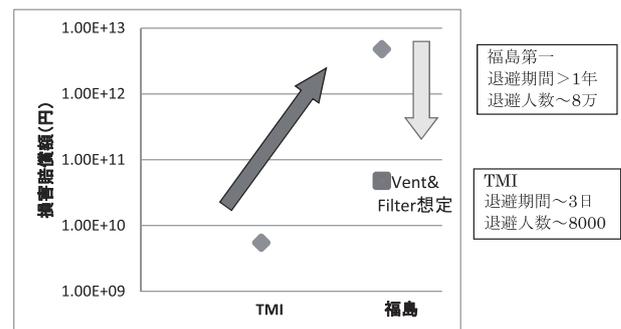
第 3 点は TMI ではほとんど放射性物質放出がなかったのに対し、福島第一からの大量放射性物質放出による被害が時々刻々拡大したことである。TMI の損害賠償は 73 M\$ (約 55 億円)で、最大法定賠償額(12.6 B\$)を大幅に下回った。福島第一の損害賠償は政府試算では合計約 4.8 兆円に上り最大法定賠償額 1,200 億円を大きく上回り、GDP の約 1% に相当する。その差は約 1,000 倍に近い。また避難者数、避難日数は TMI に比較し共に 10 倍、100 倍以上である。また TMI では 3 日程度の退避期間で生活の営みは問題にならなかったが、福島第一では今後数年に及ぶ土壌汚染除去、帰宅困難者への対応など必要費用は膨らみ、加えて生活設計などに不安を招いている。直接的健康被害はないが、国民に与えた精神的、間接的国民経済へ与えた影響は極めて大きい。原子力安全の基本である放射線の健康に与える影響について専門家間の見解相異と、政府緊急時対応の拙さから国民は大きな不安を抱き、混乱を招いた。Vent & Filter が設置されていれば損害賠償、間接的国民経済への影響も大幅に少なくなったと思われる。

### 3. Tail Risk とは?

金融関係の用語で、最善の対策を施してもリスクは残り、一般的には  $3\sigma$  (0.7%) より低い頻度で生じる損害を Tail Risk と言われている。また Risk は必ず誰かが取るもので、 $3\sigma$  より高い頻度の損害は、民間事業者(企業、銀行等)が保険及び自己資金等により責任を負う。



第 1 図 外部放出放射エネルギー



第 2 図 損害賠償額 (円)

Tail Risk は金融界では国(または国立銀行)が負うことである。この点から原子力賠償責任法は事業者の無限責任を規定しているが、事業者が最善の対策を施していれば、本来は米国と同様に国が無限責任を負うべきである。一方、原子力安全では通常「残余リスク」と訳される「Residual Risk」という概念がある。概念的には、ある基準事象以下の確率で生じるリスクである。原子力安全神話から「Residual Risk」には触れない、タブー視の傾向があり、原子力界では Residual Risk について「何か」、「どう対応するか」、「誰がその責任を負うか」等の議論が希薄であった。より工学的には Damage Control という概念がある。事故が生じて「最終守るべき物は何か」に基づき、被害・損害を最小にする最善の対策を講ずることを意味する。すなわち最善の策を講じていたか否かが問われる。基準事象を越えた事象に関するリスクを低減するために必要な「最善の対策」を施す必要があるが、その負担を負うことが事業者か国かは別としてリスクテイクである。「最善の対策」が失敗することもあり、これが Tail Risk であり、国がリスクを取る。原子力安全の最終目的は言うまでもなく「国民の健康・環境・財産」であり、SA 防止は主要な予防・防止処置であるが、最終目的ではない。

最終目的を守る上で低線量率放射線の健康に与える影響について、今後着実な研究の推進と世界の専門家間の統一見解が必要である。これにより過小評価も、過大評価もなく直接・間接を含めた損害額は適正なレベルになる。

#### 4. 原子力安全強化の方向性

福島第一事故の反省と教訓とは、原子力の持つ潜在的危険性(リスク)が顕在化し、多くの国民生活に多大な影響を与えた現実を直視することである。「リスクは取るもの」の原則を徹底し、具体的なリスク低減の「最善の策」を採るべきであると考えられる。

##### (1) Level 4 対応(ハードウェアによるリスク低減)

今回の事故の教訓の最重要点は、一般公衆の健康と財産を守るために大量放射性物質の外部放出防止である。最善の策は IAEA の深層防護の定義にある LEVEL 4 対応策(事故の進展防止と SA の影響緩和策)の強化である。現在の最善策は、確実な水素爆発防止設備の強化とフランスが既に設置している Vent & (Sand) Filter であろう。これにより大量放射性物質の外部放出に伴うリスクは大幅に低減可能である(機能的には4桁以上の Trap 性能)。

##### (2) 機能見直し等による Risk 低減

SA 防止の点から安全設備の多重性、多様性、独立性の向上に加えて、事故対応の習熟によるリスク低減が不可欠である。機能、設備の見直し強化すべきは強化し、結果として機能的、設備的に不要、緩和すべきことは削除、緩和するなど「現実のリスク」低減を図ることが肝要

である。いたずらな設備強化はかえって事故確率を増加させ、事故時対応を複雑にする。「Simple is Best」の方針が好ましい。一例として「止める」「冷やす」「閉じ込める」の3原則のうち、2.に記したごとく、米国での CV 機能は TMI 以降大幅に変更され「絶対漏らさない」から「適切に漏らす」に緩和した。これにより米国では CV リーク試験を毎年一度から最近は7.5年に一度に変更した。すなわち機能の変更に伴い重要度の低い試験を削減した。更に言えば、定期検査時の検査項目数は日本が2,000程度に対し、米国は100程度であり、米国では検査をなくしてもリスクが大きく変化しない項目は簡素化した。これによりプラント稼働率は日本70%、米国約90%と大きな差を生じている。

##### (3) 決定論と Risk 論の調和(リスクの具体化)

原子力安全は当初より決定論による3原則を用いてきた。商用原子力発電を開始した1956年から既に約14,000炉年の運転経験があり、TMI、福島で合計4炉のSAを経験した。決定論と Risk 論の「合の子」ともいえる「Residual Risk」という曖昧な概念を脱却し、より合理的な Risk の把握と対策を明確にする。すなわち、従来の DBA である LOCA を越えた BDBA (Beyond Design Base Accident) 事象について、原点に立ち返り各種事象(サイバーテロ含めたテロ事象含む)の Risk (頻度と損害)をしっかりと整理・分析の上、必要な対策をとる。

##### (4) 洞察力による運転リスクの低減(足腰の鍛錬)

今後、我が国の認可制度は実効的強化が必要であり、体制・枠組みのみでなく、質の向上を図ることが重要である。原子力発電所は部品点数が多く、運転保守が安全を確保する上で重要な役割を担っている。決められた手順に従うことは重要であるが、すべてではない。ことに事故は稀なことであり、シナリオ(想定)通りに推移する保証はない。米国では5週間ごとにシミュレーターによる SA 対応のきびしい訓練が義務付けられ訓練している。事故時の状況把握能力、洞察力と対応能力は安全確保するうえで極めて重要である。リスク概念を取り入れ、安全設備を強化したにせよ、最後に安全を守るのは人であり、日ごろの訓練である。

#### 5. 終りに

世界的には人口増加、温暖化対策として原子力(FBR含む)がエネルギー問題解決の有力な選択肢であることに変わりはない。

原子力関係者は、安全の考え方を「原子炉の安全」から「国民の健康、環境、財産を守る安全」へ変え、国民が信頼できる制度にし、正しく国民に伝える責務があり、その実行と実績を示すことが世界へのメッセージではないだろうか。

いま、叡智と不断の努力が求められている。

(2012年4月13日 記)

# 談話室

## 都会の青大将

東京工業大学名誉教授 瀧口 克己

### 田舎の生活

私は1945年、敗戦の約半年前に広島県呉市で生まれ、満1歳前後に田舎に移り住んだ。父が、教員、海軍工廠養成所寮監を経て農業を継いだためである。現在は市町村合併で、広島県三次市に含まれているが、当時、双三郡布野村大字戸河内という山間の小さな村落の中である。広島市、三次市、松江市を結ぶ路線バスの下布野停留所から約1里(4 km)位離れており、上布野にあった小学校までも山越え約1里であった。

農家であり、母屋、蔵、味噌倉、門と塀で囲われた内庭、外庭などで家は構成されていた。母屋の裏は竹山、敷地の西側と南側の一部には石垣がめぐらされていた。少し離れた場所の木小屋は作業場や倉庫などとして利用していた。外庭の端に鶏小屋、池、汲み取って利用しやすい所に離れ便所があった。水は裏山から竹樋で引いてきていた。満13歳になるまで、私はそこで暮らした。

自然、野生との接点は多く、捕らえて飼う野鳥は、メジロ、ウグイス、スズメ、ヤマガラ、ヒヨドリ、イカル、キジバト、カラスなどであった。ツバメ、モズ、キツツキなどは捕らえることができなかった。ハヤブサ、トンビ、タカ、フクロウなどは怖い存在であった。

小川では、ドジョウ、ハヤ、フナ、カジカ、ナマズ、ウナギなどが獲れ、イモリもいた。時々、オオサンショウウオも見かけた。

小動物としては、モグラ、ネズミ、イタチ、テン、それにムササビなどが出没した。ウサギ、タヌキ、イノシシが獲れた時は味噌汁にして、小学生にふるまわれることもあった。そういう日はランドセルに金属製の椀をくりつけて登校した。小学校に給食はなく、春と秋に農繁休暇があった。

キツネは姿を見せず、冬に小屋を壊して多くの鶏を浚い、雪の上に特有の足跡を残していくズル賢い奴であった。一匹一往復分の足跡だけを残して、10羽ちかくの鶏全てを浚うという術を持っていた。雪が融けて山の中腹で多量の鶏の羽毛を見つけて感心していた。

イナゴ、ハチの子は食料、クワガタ、カブトムシは子供の玩具だった。水田の畦に植えた大豆の芽を食べるカメは困った動物であった。蛇は危険な方から、マムシ、ヤマカガシ、シマヘビ、アオダイショウ(青大将)であった。

近所に初老のマムシ獲り名人がいた。常に、幅2 cmぐらいで、先端に割れ目をいれた、長さ60~70 cmの竹板を用意していた。それでマムシを自分の傍まで誘き寄せ、早業で顎の下を掴まえる。首のうしろに歯で切れ目を入れて皮を剥ぎ、内臓を取り除いて竹板の先端で首を挟んで手を離すと、マムシは竹板に巻きつく。そのまま軒下で乾燥させたものを、富山の置き薬屋さんが買い取っていった。

それが好きな人は希であるにもかかわらず、家の守り神といわれ、特に大切にされていたのが青大将である。ツバメの巣を襲い、卵や雛を食べたり、鶏小屋に入り込んだりするが、ネズミを獲るという点では猫と同様に農家にとって、大変重要な動物であったのであろう。

何しろ、ネズミの悪行は、許しがたいものであった。米を貯えておく木製の箱をかじって穴を開け、米を食べる。木箱があまり役に立たず、大切な物が鋭い歯で傷つけられる。ネズミは農家の大敵であり、その天敵は農家の大事な味方なのである。

悪童は青大将を捕まえて、尻尾を持って振り回して放り投げたりもしていたが、全体的には大切にされていた。それゆえか、青大将も大変おとなしく、実におっとりしていた。暖かくなるころ、石垣の間から出てきて小道に長々と寝そべり動かない時は迷惑至極であった。これが、私の知っている青大将であった。

### 横浜での経験

現在、私は横浜市に住んでいる。我が家に、青黒くて1~1.5 mはあろうかという長い蛇が時々現れていた。ある時、少し遠くの山林に捨てるべく、捕まえようとした。するとどうであろうか。鎌首を持ち上げ、喉の部分を扁平にし、大きく口を開け、シャーという音を出して、攻撃体勢をとり、威嚇してきた。私の知っている青大将とは似ても似つかぬ所業なのである。てっきり、横浜港から上陸した性質の悪い外来種であろうと思った。

しばらくして、庭の隅に積んであった建設足場用の鋼パイプの間にその蛇が入り込んだのを見た。どこに行ったのか鋼パイプを持ち上げて調べていた。なんと、私めがけて、その蛇は飛び掛ってきた。驚いて、思わず、鋼パイプを落としてしまった。その蛇の尻尾が置いてあったパイプと落としたパイプの間に挟まって、蛇はそこか

ら動けなくなりました。

近くの交番に電話し、事情を説明して、助けを求めた。装備を整えたお巡りさんに来ていただいたが、なかなか捕まえるまでには至らない。高枝切り鋏を利用して、やっとお巡りさんに持ってきていただいた大きなビニール袋にその蛇を入れることに成功した。少し離れた場所に小さな林があったので、そこで放していただくようお願いした。

外来種だと思い込んでいたが、後で気になって、インターネットで青大将のことを調べてみた。そこで、青大将も鎌首を持ち上げたり、首を扁平にしたり、飛び掛ったりすることを知った。あれは、外来種ではなく、青大将であったらしい。

私は、昔、田舎で知っていた青大将と、都会で出会った青大将の性格が大きく異なる原因を考えてみた。大きく異なる点は育った環境である。気持ちが悪いと思われながらも、大切にされてきたか、単に気持ちが悪い方が良いと思われてきたかである。都会の青大将が何か直接危害を加えられてきたとは考えにくい。役割を認められ、正当に評価されてきたか、単に嫌われてきたかの差である。

嫌われているうちに、その相手に対する性格が悪くなっていくという相互作用は私の思い込みである。横浜市という都会で見かけた青大将と、昔、布野村という田舎で見っていた青大将との違いがその証左であることじつげている。以来、私は、嫌われることによって、その相手に対する性格が悪くなることを「都会の青大将」としている。

### 感謝と尊敬

「都会の青大将」的な相互作用は悪循環であり、どちらが原因でどちらが結果なのかよくわからない、いわゆる「鶏と卵」の関係にある場合がほとんどである。どんどん良くなっていく事柄に関しても、どちらが先かわからない点は同じである。

嫌われるということには、積極的なことばかりでなく、感謝されない、尊敬されない、ということも含まれる。私は常々、人に何かしていただいたならば、それに見合う報酬を支払うべきであるが、報酬は金員のみではなく、感謝や尊敬もその一部であると言っている。

米国ニューヨーク市の消防士は士気が高いので有名である。ニューヨークでは、男の子供が最初に欲しがる玩具はミニ消防車である場合が多いという。消防士は人気の職業であり、尊敬と感謝の目を集めている。

我々の周りには、ニューヨーク市の消防士とは逆の悪循環に陥っている仕事がありはしないか考えてみる必要がある。どう思っているか自問するとよい。政治家に対してはどうであろうか。官僚に対してはどうであろうか。義務教育の先生に対してはどうであろうか。警察官

に対してはどうであろうか。鶏と卵の関係で、どちらが先かは定かではないが、感謝も尊敬もせずに、過剰な責務を求めすぎではないであろうか。私は我が国の現状を憂いている。

更に、私は、テレビや新聞など、マスメディアの無作法、不見識と、それを許している現在の我が国の雰囲気不安である。マスメディアの公衆に対する洗脳にも似た影響力は非常に大きく、マスメディアの有り様は社会の有り様であるともいえる。

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による東日本大震災で、原子力発電所事故が発生したが、2011年5月下旬のテレビ番組で、女性コメンテーターが原子力事故に関して、「そんなことは専門家にやらせればいいことです」と発言した。私は「やらせる」という言い方にびっくりした。専門家というところを弁護士や医者と同じく置換えてみればよい。せめて、「任せる」とか「お願いする」といった言い方になるのではなかろうか。「やらせる」という言い方から、感謝や尊敬の気持ちは感じられない。

地震発生から3ヶ月後の6月11日の有名新聞に、「経験も歴史もさておいて、想定外とたたまる「原子力村」の方々ほどには心は強くない」とあった。私は、このような下品な表現は社会の木鐸にふさわしくないと思う。

### 今、すべきこと

言いたいことは多々あるけれども、嘆きや非難からはあまりよいものは生まれません。今、我々は、いや、私は何をすべきかを考えなければならない。

現在、我が国は、原子力発電に関して大きく揺れている。我が国は、すでに40年を越えて原子力発電を利用してきたが、このたびの原子力発電所事故を契機として、改めて、我々国民は原子力発電とどう向かいあうのかを問われている。

原子力発電は国防を含めた広い範囲に影響を及ぼす。関連技術も非常に多様である。軽々に方向を定める問題ではない。

今、私がすべきことは、原子力、放射線、地震、津波など、関連する事柄を正しく理解するための勉強だと思っている。私は、一応、鉄筋コンクリート建築構造の専門家として仕事をしてきた。専門領域内でも、わからないこと、知らないことが山ほどある。物事を正しく理解することの重要性は専門家、非専門家を問わない。関係者に対する感謝や尊敬の念も、関連する事柄に対する正しい理解があって初めて生まれてくる。

### 原子力学会への期待

正しく理解しよう。よく勉強しよう。そう思っている人は少なくない。そのような人々に、息長く、手をさしのべていただくことを、日本原子力学会に期待している。

(2012年5月8日記)

## ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

### 「東海村の大いなる挑戦」

毎日新聞 大久保 陽一

東日本大震災と東京電力福島第1原発事故は、多くの人々にとって、それぞれの世界観や価値観の変更を余儀なくされた出来事だった。私は、新聞社に入社して以来、国内最多の14基の原発が立地する福井県、国内初の「原子の火」が灯った茨城県に勤務し、原発報道に携わった。いずれの県でも思い出深い取材は山ほどあるが、特に、茨城県東海村が策定を進めるまちづくり戦略「原子力センター構想」は、今後の原子力と地域社会のあり方を考えるうえで、一つのモデルケースになるべきものだと考える。全国ニュースでは、村内に立地する東海第2原発を巡って、村上達也村長が廃炉を国に求めたなどの出来事が大きな話題となるが、構想そのものが取り上げられることはそれほど多くはない。だが、村長の発言は、原子力と村が将来にわたってどのように向き合っていくかのビジョンを踏まえたものであり、それとも大きくかわる構想に注目してみたい。

構想は、「東海村が原子力の安全研究と人材育成の世界的な役割を担う」ことを目指すもので、(1)原子力の人材育成、(2)平和・安全規制の基盤研究、(3)大強度陽子加速器施設(J-PARC)を活用した最先端研究、(4)社会科学などの知を結集し、政策提言を行う——の4本柱からなる。国策で原子力が進められてきた村のこれまでの「20世紀型の原子力センター」だったとし、今後は、原子力と地域社会が調和した「21世紀型」のまちづくりを推進するという。

構想の中核となるのはJ-PARCだ。新薬開発などの医療分野、高機能リチウムイオン電池開発などの産業面に加え、素粒子物理学をはじめとする基礎研究への貢献など多方面への成果が期待できる。ちなみに、村上村長が構想のモデルとしたのは、J-PARCと同様に加速器を用いた研究をしている欧州合同原子核研究所(CERN)だ。現地では実験施設やオフィスビル、宿泊施設、図書館、食堂などさまざまな施設が整備され、地元雇用も生むなど経済面での波及効果もある。

また、もう一つの柱、平和・安全規制の基盤研究では、「核不拡散・核セキュリティ総合支援センター」や、国際原子力機関(IAEA)の査察時の試料分析を行う「高度環境分析研究棟(CLEAR)」など村内に立地する原子力研究施設の活用を視野に入れる。さらに、廃炉措置が01年から始まっている東海原発についても、

構想は、そこで蓄積される廃炉技術に熱い視線を送る。

構想策定の議論がスタートしたのは10年6月だ。有識者や一般村民も加わって活発な議論が続けられてきたが、震災で状況は一変した。冒頭で、世界観、価値観の変更を余儀なくされたと書いたが、震災後の議論はまさにその通りになった。一例を挙げれば、「原子力エネルギー」に対する「疑念」がわき上がったように見える。震災前の議論では、村内に立地する原子力施設を広く包括し、活用することを前提としてきたが、今年4月に開かれた策定会合では、東海第2原発を構想に含まないことを了承した。わざわざ具体名を挙げて、「構想には含まない」と宣告するのは異例である。これは、福島原発事故の被害が継続している現状に加え、推定最大5.4メートルの津波に襲われた東海第2原発も、もう少しで全電源喪失に陥るところだったという現実が影響している現れだろう。ただ、原子力エネルギーに対しては一步引いた形だが、「原子力研究」が重要だという視点は、震災後も変わりはない。さらに、福島原発事故収束の「先導役」を目指すとの基本方針も加わった。今夏の取りまとめに向け、現在、詰めめの議論が進められている。

では、村が構想の先に見据える将来像とは何か。それは、村内に集積する原子力の技術を最大限活用し、世界的な規模での「脱原発」に貢献することにほかならない。今後、廃炉技術や安全対策、放射性廃棄物の処理の重要性はますます高まる。そして、これらの技術は世界的にも東海村に集中している。国内で初めて原子の火が灯った東海村は、原子力施設が集積するという「強み」を踏まえ、脱原発に大きく舵を切ったのである。その最初の一里塚となるのが原子力センター構想だ。

(2012年5月16日 記)



大久保陽一(おおくぼ・よういち)  
毎日新聞  
33歳。慶大卒。毎日新聞社入社後、05年～10年、福井支局勤務。その後、12年3月まで水戸支局を経て、今年4月から東京本社編集編成局経済部。