

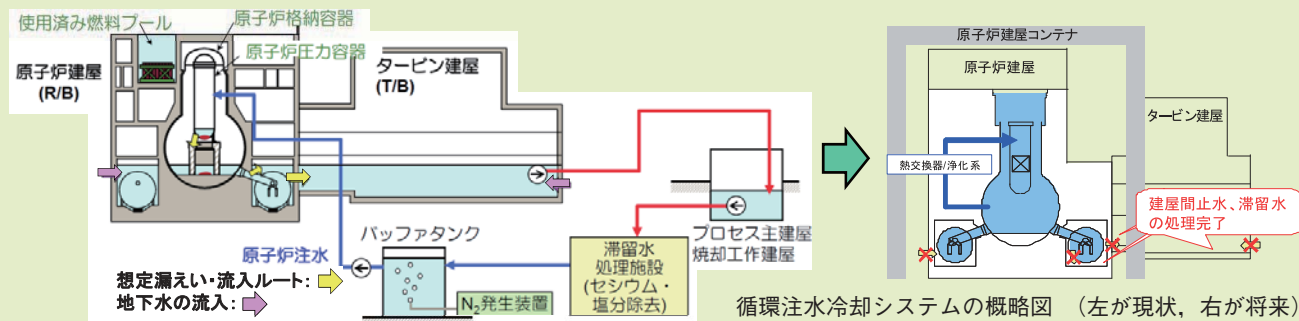
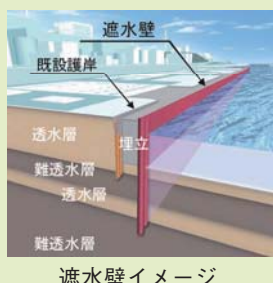
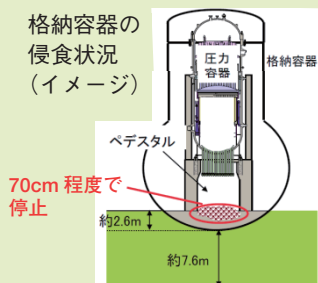
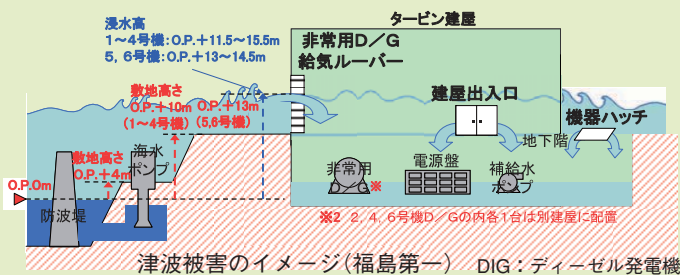
巻頭言

- 1 止め続ける, 冷やし続ける, 閉じ込め続ける 和田 章

時論

- 2 原発事故後の世の中の論調に対する社会学的視点からの分析「囚人のジレンマ」からの脱却は可能か 武田 徹

特集 福島第一原子力発電所事故の対応と今後の計画



時論

- 4 原子力・放射線リテラシーの再構築 初等・中等教育における我が国の原子力・放射線に関する教科書記述の状況を概説し, 今後取り組むべき課題を考える。 工藤和彦
- 6 福島第一原子力発電所事故時の防災対応 今回の事故対応を考えると, 「謙虚さをも含む深い専門性」が薄くはなかったか。 小佐古敏荘

- 15 事故対応の概要と今後の安全性のあり方 この事故はどのようなものだったのか。そこから得られる教訓と, 今後とるべき対策とは何か。 福田俊彦
- 20 事故時の対応状況とプラント挙動 1~4号機では事故発生直後, どのようなことが起こったのか。ここでは各号機の解析結果をもとに, プラントの挙動を示す。 宮田浩一
- 25 事故後の取り組みと今後の中長期計画 昨年12月にプラントは冷温停止状態となり, ステップ2に到達した。事故発生からこれまでの取り組みと, 今後の中長期計画について紹介する。 山下和彦
- 30 地震・津波の影響について プラントを襲った地震と津波は, どのようなものだったのか。観測, 調査, 分析の結果を示す。 土方勝一郎

表紙の絵(日本画) 「凌霄の花」 製作者 白木加菜子

【製作者より】 凌霄花(ノウゼンカズラ)は一際鮮やかな橙色の花で, 蔓は名前の通り, 空を凌ぐほど高く伸び艶やかに葉を繁らせます。しかしそんな華やかさとは対照的に, 開ききった花は一度風が吹くとあっけなく散ってしまいます。儚さと咲いては散る命の移ろいを表現しました。

第43回「日展」へ出展された作品を掲載(表紙装丁は鈴木 新氏)

解説

35 日本の津波対策の歴史とシミュレーションの進展

津波にたびたび襲われてきたわが国では、解析に裏付けられた対策がとられてきた。

藤間功司

40 原子力損害賠償法の特色と課題—賠償スキームも含めた「安全・安心」を確立する

福島での事故による損害賠償額は、莫大なものになる。賠償責任はいったい、誰が負うのか。原賠法の特色や対応スキームと、課題を整理した。

澤 昭裕, 竹内純子

46 福島原発事故の民間事故調査委員会に参加して

もし適切な設計がなされ、SA に対して十分な備えがなされていれば、福島原発での被害はずっと小さくできたのではなかろうか。

遠藤哲也

50 確率論的安全評価(PSA)と確率論的リスク評価(PRA)

学会のリスク関連標準は今後、PRA と呼ぶ。学会標準はリスク評価の要件と具体的方法を規定するものであるというのが、その理由である。

山口 彰

53 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3回 CO₂回収・貯留(CCS)

CCS は地球温暖化に有効な技術だ。その現状と課題について述べる。

高木正人

報告

58 福島第一発電所事故に関する世界のリーダー・若者との議論—2011年度



世界原子力大学 夏期研修参加報告

川久保陽子, 後藤弘行,
三宅基寛

8 NEWS

- 政府、再稼働の安全判断基準を提示
- 原燃が新型遠心機で濃縮開始
- 原子力機構が5展示館の運営を停止
- 原災対策本部などの議事概要を公表
- 安全委、SBO 対策などの指針類見直し
- 日本の対トルコ協力が進展
- 総合資源エネ調、選択肢の審議佳境
- 災害対策本部、3市村で警戒区域を解除
- 放医研、被ばく医療関係資料を公開
- 海外ニュース

ANGLE

視角

- 60 これからの放射線教育について思うこと
横山須美
- 61 これからのエネルギーについて—ある庶民のつぶやき
森崎利恵子
- 62 エネルギー政策も地産地消で



築160年の古民家に住んでいる。その暮らしは事故で大きく変わった。
境野米子

ジャーナリストの視点

- 63 除染について書くことの迷い
杉本 崇

会告

- 64 一般社団法人日本原子力学会「第2回総会」のご通知

45 From Editors

- 49 新刊紹介 「放射線防護の実用的知識」

宇根崎博信

65 原子力学会の財務状況について

- 66 会報 原子力関係会議案内、主催・共催行事、人事公募、フェロー基金寄付お願い、英文論文誌(Vol.49, No.6)目次、和文論文誌(Vol.11, No.2)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/>

止め続ける，冷やし続ける，閉じ込め続ける



東京工業大学名誉教授，日本建築学会会長，
日本学術会議会員

和田 章（わだ・あきら）

1946年岡山県生まれ，1968年東京工業大学卒業，1970年修士課程修了後に日建設計入社。1981年工学博士を取得し，1982年1月東京工業大学助教授，1989年11月同大学教授，2011年3月定年退職。

大規模な装置，大規模な組織は非常に多くの部分や人々が直列的，並列的に能力を発揮し，複雑に補い合っ
てその機能を維持している。野球の守備でサードとショートの間線に引き，自分の受け持ち範囲のみを守っ
ていたのでは勝てない。補え合えば良いといっても，ただのサードとショートではやはり勝てない。それぞれ
がプロの力を持ち，補い合う必要がある。地震から構造物，原子力などのすべての専門家と関係者が，原子力
発電所の事故を他人事とせず，身を引締め真剣にあたらねばならない。さらに，原子力発電設備の安全性を
確保するためには，非常時に「止め続ける，冷やし続ける，閉じ込め続ける」を旗頭にしたり取り組みが必要である。

建築物から大きな発電所まで，何を作る場合にも安全性，使いやすさ，場合によって美しさが重要であるが，
経済性を無視することはできない。安全性を高めれば高めるほど建設費は上昇する。応じて，壊れる可能性は
ますます低くなる。壊れた場合に失う費用と壊れる可能性の積と施設の建設費の総和が，自然の猛威を受ける
環境に人工物を長く存在させるときの総費用になる。このたびの事故で分かるように，原子力発電所が破壊し
た場合の被害総額は長い年月も含めて非常に大きく，建設費の100倍近いオーダーになろう。このように失う
ものが非常に大きい場合，建設費の上昇だけでなく補強費の上昇を受け入れてでも，より安全性を確保し，壊
れる可能性を減じることが有効なことは明らかである。

原子力発電所建屋の設計は建築の仕事であり，耐震工学への偉大な貢献で文化勲章を受けられた武藤清先生
が基本思想を作り，今に至っている。単純な論理として，一般の建築の3倍の地震力に抵抗させようとしてい
る。その後の設計には時代時代の最新の技術が使われているが，この単純な「3倍強く作る」の方法は今でも生
きている。これが中越沖地震を受けた柏崎刈羽の原子力発電所を救ったともいわれ，東日本大震災においても，
揺れそのものによる原子力建屋の被害が生じていないことを期待する。

耐震工学の分野に長くいて，言い難いことだが，津波高さについても一般の建物に考えていた3倍の高さの
津波を考慮して防潮堤またはシェルターを作れば良かった。この新設または増強に要する費用は原子力
発電所全体の建設費に比べて部分であり，失うものの大きさに比べれば微々たるものである。この簡単なこと
が指摘できなかった我を反省する。

18世紀に産業革命そして製鉄業が始まり，大きな鉄橋が作られていった。自然災害とは無縁に見えるイギリ
スでも，初期の鉄材の脆さ，座屈原理への無知などが原因となり多くの橋が崩落していった。世界の鋼構造技
術はこれらの事故を糧に進展したことは間違いなく，イギリスでは問題のある橋梁を補強しつつ使っているも
のも多い。残念なことだが，原子力発電に関わる技術の進展も例外ではなく，世界で3度目の大事故を起こし
てしまった。我々技術者だけでなく，電力会社の経営者，政府，そして国民も，初期の設計に問題があると分
かったら，不便さを乗り越えてでも，協力して改良と補強を続けることが必須である。

最大の難儀は，大自然の猛威が昨日まで襲ってこなくても明日襲ってくるかも知れない，50年後かも知れな
いことにある。しかし，原子力発電所のような人工物の場合は，発生確率とは関係なく，誰が何と言っても，
明日来るとして今日対策を講じる必要がある。構造物の安全確保だけでなく建築内の加速度も低減できる免
震構造は，フランスに建設中のITER熱核融合実験炉にも使われており，原子力発電所の総合的な耐震性確保
のために必須の技術である。我が国に残されている防災上のもう一つの大問題は，過疎地を増やしつつ進む大
都市への集中と過密化である。集中しているところでも，大地震時に倒壊さえしなければ傾いても良いとして，
ほとんどの建物や道路は作られ続けている。今は楽しみ，問題は将来が解決してくれるという楽観はすでに通
用しない。

（2012年 3月27日 記）

（電子版公開にあたり学会誌掲載版に一部追記しました）



原発事故後の世の中の論調に対する社会学的視点からの分析

——「囚人のジレンマ」からの脱却は可能か



武田 徹(たけだ・とおる)

ジャーナリスト・評論家・恵泉女学園大学教授

専門はメディア論, 日本近代社会史。著書に2002年に刊行した『核論』を増補した『私たちはこうして原発大国を選んだ』(中央公論新社), 『原発報道とメディア』(講談社)などがある。『流行人類学クロニクル』(日経BP社)で2000年サントリー学芸賞受賞。

筆者が2002年に刊行した『核論』(勁草書房)で指摘したことは、原子力利用推進側と反原発運動側が、ゲーム理論で言う「囚人のジレンマ」に近い構図で向きあってしまっているということだった。

囚人のジレンマとは、共犯関係にあった二人が逮捕され、留置場に別々に収容されたケースを想定するゲーム理論の概念だ。捜査は功を奏さず、二人が犯罪を実行した証拠はいまだに出ていない。捜査の壁にあたった検察は、二人の容疑者に対してそれぞれ別に「仲間より先に犯行を認めたら罰が軽減される」と交換条件をもちかけて自供を促す。ところが容疑者たちは、黙秘を貫けば実は二人とも無罪になる可能性もあるのに、別の牢に入っている相棒が自分だけ助かれればいいと考えて裏切るかも知れないという不信感から、自分から犯行を認めて自供をしてしまい、結局、処罰を受ける。

こうして相互不信に至って「最善の結果——この場合は二人とも無罪放免される——」を望みつつも、それを選ぶことができなくなる。そうした矛盾した事態を指して「囚人のジレンマ」という言葉が使われる。

これはまさに原子力をめぐる推進と反対の構図そのものではないか——。推進側は今の原発は十分に安全だと主張してきたが、反対派はそれを信じなかった。しかし実際には推進側も後から開発された技術などを適用すれば原発の安全性をさらに高められることを知っているのだが、コストの問題以上に、それを明らかにすると反対派は鬼の首を取ったように「今まで安全だと言っていたのは嘘だった、もう何もかも信用できない」と騒ぎ出して収拾がつかなくなることを恐れ、「今のままでも十分に安全なのだから良いか」とばかりに口をつぐんでしまう。

こうして推進側と反対派が相互に不信感をもって向き合ってきた結果、より安全な原発に向けて改良することができない。

『核論』ではこうした構図の中で事故が起きたり、犠牲者が出たりすることを懸念していた。不幸なその懸念は残念ながら的中し、福島原発事故という結果に至ってしまった。

○「今よりも環境を悪くしたくない」と切実に願う

確かに東日本大震災の津波は想定を大きく超えるものであったようだ。だが、もしも福島第1サイトに6基もの原発が密集していなかったら、全電源喪失後の対応にも多少の余裕がありえ、事故の大きさも違っていただろう。今は反原発運動の高まりのため新規用地獲得は不可能だ。そこで反原発運動が強くなる前の、原発用地の獲得が容易だった70年代までの時期に確保した用地を使って、原発を次々に増炉してゆく。それもまた反対・推進の対立構造の中で「辛うじて」選ばれた道だが、その選択が事故のリスクをむしろ増やしてしまう。相互不信で向きあう中で、最善の結果が選べないということでは、これも「囚人のジレンマ」的だ。

ならばせめて事故の後に今度こそ原子力利用をめぐる「囚人のジレンマ」からの脱却をと願いたいだが、現在のところ事態はそうは展開していない。

たとえば津波被災で発生したがれきの広域処理を拒否する動きがある。福島原発に近い場所で発生したがれきならまだしも、宮城県や岩手県で発生したがれきについても受け入れを拒否する自治体がまだまだ多い。

なぜ拒否するのか。受け入れ拒否を宣言した自治体の市長が新聞のインタビュー取材に答え、「今より環境を悪くしたくないと考えている」と説明していた。

今より悪くしたくない——。それは自然な心情だろう。がれきを持ち込んで地域の放射線量が増えたら、それが癌の発生などの原因になるかもしれない。もちろん何も起きないかもしれないが、何か起きるかもしれない原因を自分の意志で作ることは避けたい、そう考えるこ

とはスジが通っている。

しかし「今より環境を悪くしたくない」という判断は、放射線量を意識した「量的なものではなく、質的なもの」だろう。確かに宮城や岩手のがれきであっても、札幌よりは福島に近い以上、放射能を帯びている可能性はゼロではない。どの程度の線量かよりも、そうした可能性を備えるという「質」が拒否の理由になる。

確かに放射線微量被ばくの影響は、まだ量的に説明できる定説が作られている段階にはなく、「万が一の可能性」を相手取らざるを得ない。そうした性格が、この種の質的判断に基づく拒絶を用意したともいえる。しかし、そこで結論を引くのではなく、こうした判断が導かれる理由をもう少し考えてみたい。

○囚人のジレンマ構造の自覚から始める

最近刊行された桂秀実『反原発の思想史』（筑摩書房）を先日読んだ。桂によると日本で反核（兵器）運動に遅れて反原発運動が起きたのは新左翼活動家たちが毛沢東思想を「誤読」した結果だったのだという。

中ソ対立が深まる過程で、米ソがそれぞれに東西の先進国陣営を原子力利用体制で束ね、生産力増強においてしのぎを削っている状況に対して、毛沢東は近代化から置いてけぼりを食らいつつある「第三世界」に軸足を置いて批判した。

全共闘運動の中で近代日本社会の一国主義的な「戦後民主主義」の欺瞞を批判し始めていた一部の新左翼運動家は、そんな毛沢東の立場にラディカルな近代批判、近代文明批判の思想があると考え、近代化の象徴としての原子力の平和利用＝原発をも批判するようになる。

実際には中国はその後、ソ連から離れた自前の原子力利用技術開発に進むのであり、毛に反原発の思想などなかったのだが、この「美しい誤読」によって始められた日本の反原発運動は80年代には反近代文明、反科学技術の姿勢を共有するエコロジー運動やニューエイジ思想と結びついてゆく。そして、チェルノブイリ原発事故後に、旧来の左翼運動と袂を分かった「ニューウェーブ」を自称する「普通の市民」の運動にと至る。

こうした反原発運動は当初こそ毛沢東思想に反近代的なベクトルを誤読した「初志」が残っていたが、エコロジーやニューエイジ運動と接近する過程で自らの身体周辺の安全と健康を最優先するようになる。がれきの受け入れを全面的に避ける対応は、こうした反原発運動の延長上にある。

しかし、自分自身の身体的安全確保を求める場合、時として他者の危険を顧みない結果を導く。桂は福島事故の後に生じた脱原発運動の大きなうねりは国内原発に対して廃炉などの要求をするが、第三世界への原発輸出に政府が踏み切るという報道には全く無関心だったことを例に挙げ、毛沢東の第三世界自立の論理に端を発した反

原発運動が、第三世界への「危険」の押し付けを許容する論理に至ってしまったことを問題視するが、自己中心的な安全確保の姿勢は、たとえばがれき広域処理でもうかがえよう。

しかし放射能を帯びている可能性のあるものは一切受け入れないでいると被災地の復興が立ちゆかず、結果的に日本全体の国営を損って、その損失は巡り巡って自分にも及ぶはずだ。がれき受け入れ拒否は実は拒否する当事者にとっても最善の解決策になっていないのだ。

○相互不信をほどいてゆく必要

先にも書いたように、この自己中心主義は自己を守ることの徹底だ。人間は誰も自己保存を望むということをおもえば、そうした姿勢が導かれることには必然性がある。だからこそ「がれきを受け入れろ」と外から強制はできない。強制するような空気の醸成もまずいと思う。不安感を覚えている人に対して不信感を抱き、向きあう。その結果、最善策を選べないというのはまさに囚人のジレンマ的構図そのものだ。政府やマスメディアはそのあたりに十二分に気を付けるべきだ。

今、必要なのは現在、自分たちが置かれている「囚人のジレンマ」的状況についての自覚をうながすことではないか。たとえば放射線に対して量的な評価をしない理由が、政府の安全性評価に対する不信感に原因があるのだとしたら、第三者機関の測定を徹底させ、信頼回復に努める。万が一の健康被害がでないように身体検査体制など環境整備を行い、安心感の醸成に努める。こうして対立の構図を導いている原因をひとつずつ遡っては解決してゆくことが重要だ。

桂は、反原発思想がたどってきた軌跡を改めて意識し、安全/危険の文脈の中だけでなく、その初志にあった近代社会や戦後日本を批判的に検証する作業に立ち回り、原発を論じるべきだと訴えていた。確かにその通りかもしれない。たとえば日本の戦後復興、高度成長は地方を過疎化した。そんな過疎の問題と原発誘致の歴史は無関係ではない。過疎に苛まれ、原発誘致による交付金で生きながらえる道を探らざるをえなかった地方の実情がある。しかし、過疎という意味では津波被災を受けた地区の多くもまた過疎地であり、もしも復旧が遅れれば過疎化は一層拍車がかかるだろう。その解決のために過疎問題の根絶ないしは軽減化を目指す必要性において原発問題と津波被災地の復興問題は繋がる。こうして近代社会の生んだ問題を見定め、その解決のために何をすればいいかを考える。そうした思考法もまた、ただ安全危険の尺度だけで物事を考える閉鎖性を乗り越えるきっかけになればいい。いずれにせよ、囚人のジレンマを逃れること、それこそを目標に掲げるべきなのだ。

(2012年4月10日 記)



原子力・放射線リテラシーの再構築



工藤 和彦(くどう・かずひこ)

九州大学東アジア環境研究機構 特任教授
1971年九州大学大学院工学研究科生産機械工学専攻博士課程修了。長崎大学講師，九州大学工学部応用原子核工学科講師，助教授，教授，エネルギー量子工学部門教授を経て2011年より現職。原子力安全工学，原子炉物理学などの研究，教育に従事。

はじめに

2011年3月11日以降，国民は原子力発電所の事故状況や放射能汚染，放射線被ばく等について多量の情報を各種のマスメディアから得てきた。多くは信頼のおけるデータ，解説や意見であるが，時には専門的に見て不正確あるいは事実の一部のみを誇張しているとしか思われない記述も見受けられる。情報の洪水の中から国民一人ひとりが正確な情報を理解し自分の行動を選択するには，国民の原子力や放射線に関するリテラシーのレベルを上げることが大きい課題であり，原子力学会をはじめとする専門家にはその責任があると考えられる。本稿では，初等・中等教育における我が国の原子力・放射線に関する教科書記述の状況を概説し，今後取り組むべき課題を考える。

初等・中等教育の教科書

学校教育においては教科書だけで知識が習得されるものではないが，全国の児童・生徒が共通に学ぶ基本的な知識が集約されたものであるだけに，教科書が正確かつ生徒に理解しやすく記述されていることは極めて重要である。教師は正確で分かりやすい教科書をもとにそれぞれの工夫をこらして授業計画を立てていける。

学習指導要領はほぼ10年ごとに改定され，1947年以後8回の改訂が行われてきた。8回目の改訂として2008年3月に小・中学校，2009年3月に高等学校の「新学習指導要領・生きる力」が告示された。学習指導要領およびその解説は文部科学省のホームページに掲載されているので参照いただきたいが，教科書執筆者にとって最も重要な指針であり，教科書が検定を受けて検定済み教科書として公認される際の「物差し」にもなっている¹⁾。小学校は2011年度，中学校は2012年度からこの新学習指導要領に基づいて編さんされた教科書での授業が始められている。高等学校においては，数学と理科は2012年度から，その他の科目は2013年度から新しい教科書を用いた教育がはじまる。

2008年の新学習指導要領の中で特筆すべきことは，中学の理科第一分野(物理・化学関連)の学習指導要領およ

び解説で「原子力発電ではウランなどの核燃料からエネルギーを取り出していること，核燃料は放射線を出していることや放射線は自然界にも存在すること，放射線は透過性などをもち，医療や製造業などで利用されていることなどにも触れる」として，約30年ぶりに中学生に対して放射線に関する教育を行うことが求められていることである。

教科書におけるエネルギー・原子力・放射線の記述

原子力学会「原子力教育・研究」特別専門委員会(2011年度からは教育委員会の中の原子力・教育研究小委員会として活動，主査筆者)はこれまで15年近く初等・中等教育において使用される教科書のエネルギー・原子力・放射線関連記述の調査を行って報告書を公表してきた²⁾。

1995年の最初の調査では高等学校の理科・社会科の教科書におけるエネルギー・原子力・放射線関連の記述を調べた。理科では物理及び総合理科の中で放射線や原子核，原子炉や原子力発電所についてある程度詳しい記述がある。一方で社会科(現代社会，政治・経済，地理A)では，例えば「いったん事故が起こると，放射能の及ぼす影響は大きく，放射性物質によって地球上はおおわれてしまう。」，「1979年のアメリカのスリーマイル島の原子力発電所の事故でも，周辺地域に多大な放射線被害をもたらした。」，「チェルノブイリ事故に関連して「その後の放射線被ばくなどによる死者は7000人とする報告もある。」といった根拠が不明確な記述も見受けられ，これらのことを指摘した。

2004年から2005年にかけて調査した中学校および高等学校教科書では，資源・エネルギーの観点から原子力発電の供給状況(総発電量の約35%を供給した)を取り上げた記述が多く見られた。一部で温排水による環境破壊の問題(実際には起きていない)を取り上げた教科書もあった。また，放射線被ばくに関して「短期的な被ばくでは2-3Svが致死量と言われている。」(実際は2Svの被ばくでは5%の人が死亡，4Svで約50%の人が40日以内に死亡と言われている)といった誤解されやすい記述もあり，訂正を提案した。合わせてこの時にエネルギー

や放射線に関する教育を早い時期(初等教育)から始めることの重要性を指摘した。

2011年1月には新学習指導要領に基づいて文科省の教科書検定を受けた小学校教科書を調査した。社会科の学習指導要領に「電気の確保については、需要の増加に対して、主として火力、原子力、水力の発電所から送りだされる電気によって安定供給が図られていること、……について取り上げられることも考えられる」とあり、各発電方式を公平に取り扱っている教科書があった。理科の教科書の一部で原子力発電を説明しているものもあったが、風力発電や太陽光発電など自然エネルギーに多くの説明がなされているものが多かった。

2011年後半から新学習指導要領に基づく中学校教科書を調査し、2012年3月に報告書をまとめた。東日本大震災および福島第一原子力発電所事故を記述するために社会科、理科、技術・家庭科のいくつかの教科書について訂正申請がなされて検定を受けていたので、これも調査対象とした。社会の地理と公民の教科書では世界と我が国のエネルギーの状況を踏まえて原子力発電を説明しているが、我が国のエネルギー政策が再検討中ということもあり、今後の原子力利用についての記述はない。前述のように中学校理科で放射線について教えることが新たに求められている。したがって、理科の第一分野のすべての教科書で原子力・放射線が適切に取り上げられている。1社だけだが、放射能の単位であるベクレルやウラン、セシウム、ヨウ素の半減期を紹介するなど原子力発電所事故を意識した積極的な説明をしている教科書もあった。このような記述を増やすことが放射線への理解を深めることになると期待したい。

今後の初等・中等教育に求めること

2012年3月にまとめた報告書では教科書記述について以下の提言を行った。これらは初等・中等教育段階に対する意見ではあるが、専門家間での意見交換、議論の際にも当てはまることであると考えている。

(1) 福島原子力発電所事故の正確・公正な記述

今後、原子力関係では、社会科、理科を始め他の教科でも東京電力福島第一原子力発電所事故に関する事柄が取り上げられることと思います。取り上げる内容は、国、諸機関の報告書(刊行物)、あるいはメディア情報などに基づいて記述されることになると想定されますが、その扱いには極力正確で公正な扱いをした資料を参照されることを要望いたします。

(2) エネルギー・環境関連用語の適切な使用

近年、エネルギー・環境関連の用語が増えてきております。それらの用語も専門的に使う用語と、日常的に使われているものの間に齟齬を来すものも散見(再生可能エネルギーと新エネルギー・クリーンエネルギー・グリーンエネルギー、廃棄物処理と処分の混同など)されます。

これらは誤解を与える可能性もあるため、記述に際しては極力公用(関係省庁から発行されている“白書”など)として使っている用語を使用することを要望いたします。

(3) 最新の図表の使用

科学技術の進展に伴い、エネルギー・環境関連の図やグラフは使われているシステムや機械類の構造などが変わってくることに伴い、実際とは違った情報を与える可能性があります。このため掲載する図やグラフの採用に当たっては極力最新情報を参照して採用することを要望いたします。

(4) 資源可採年数に関する最新データの参照

資源の可採年数は科学技術の進展に伴い、かなり短期間でも変わってくることから、可能な限り最新のデータ(最新のエネルギー関係白書、環境白書、国際エネルギー機構(IEA)など)を参照されることを要望いたします。

また、エネルギー需要や供給(需給)関係や温暖化ガスなどの排出量のデータも毎年更新されるために、最新のデータを参照されることを要望いたします。

まとめ

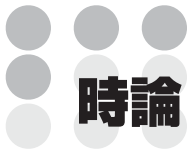
原子力発電所事故によって多くの被災者が甚大な被害を被った事実を厳粛に踏まえて、学会員は国民の安全確保のために専門家集団として全力を尽くして対応する義務がある。よく言われるように、信頼を築くには大変な時間と努力がかかるが、それは事故により一瞬で壊れるものであることを改めて噛みしめて、社会の信頼が回復されるように必死の努力をすることが必要である。社会人や婦人などの成人層に原子力、放射能、放射線を正しく理解していただくことはもちろん重要であるが、若年層に十分な知識をもってもらふことは今後の原子力界に優秀な人材を確保するためにも不可欠である。

これまで述べたように、初等・中等教育の教科書ではエネルギー、原子力、放射線に関する説明は次第に改善されバランスが取れた記述になってきたが、今回の原子力発電所事故によって安全性への認識を一変させてしまった。2013年度から使用される高校の教科書では事故に関連して原子炉の安全性、わが国の原子力利用について多くの訂正申請が出されている。正しい理解を求めるには現実を踏まえて誠実に発言・活動していくほかはない。

(2012年4月7日記)

—参考資料—

- 1) http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/index.htm (文科省学習指導要領のURL)
- 2) 高等学校、中学校、小学校の教科書について、「初等・中等教育における「エネルギー」の扱いと学習指導要領に関する要望書」を下記の時期に公表した。
平成8年5月、平成16年12月、平成17年8月、
平成21年1月、平成22年1月、平成23年1月、
平成24年3月



福島第一原子力発電所事故時の防災対応

2011年3月11日の東日本大震災・津波、それに続く福島第一原子力発電所の事故は大きな衝撃でした。被災された方々には心からお見舞い申し上げます。学会からのこの時論の原稿依頼に、当初、筆者は躊躇しました。関係者の多くの努力にも関わらず、事故後の全体的な対応としては残念な状況でしたので、正確な事実陳述が“暴露もの”にならないかと考えたからです。

この1年間は長く憂鬱な日々でした。1年たった今でも、汚染された土壌、環境に苦しむ住民の方々、健康被害、食品の放射能汚染を心配する多くの人々、また原発の現場の高線量下での原発作業員などの状況が気遣われるためです。また、3.11以降、約1年間で、マグニチュード(M)2からM7までの地震は福島県で1,600回以上、茨城県でも1,200回以上で、これも憂鬱であります。

次には、なぜこのような事態に至ったのかの最終的なまとめがなされていないこと。さらに、多くの国民への衝撃により、嫌原子力、脱原子力が叫ばれ、向こうが見えないままに、4月現在、既存の停止中の原発の再稼働は困難な状況にあります。今夏の電力事情は極めて厳しいと考えられます。

これだけ大きなインパクトのため、多くの国民の不安感、嫌原子力の感情はある意味当然でしょう。これからどう展開するか。原子力の信頼回復への道のりは長く、険しい。なぜ、事前にこのような事態を避ける方策が取れなかったのか、なぜ、事故が発生した際に有効な緩和策が取れなかったかについて、大きな反省と、分析、その対応を論ずる必要があります。

原子力の安全は、事前の立地や設計段階での安全確保、運転中の安全確保、廃炉、放射性廃棄物処分の安全確保などなどによるわけではありますが、原子炉事故時の対策(防災対策)、事故影響緩和における安全なども考慮に入れる必要があります。福島事故後も、立地、設計、事前の事故評価などが問われ、多くの論点から考察が加えられています。それ以外、現在も続く施設内での高線量下での事故対応作業、高線量の瓦礫処理作業のみならず、施設外の一般環境での、緊急時の放射性雲の挙動や緊急時の退避や避難、汚染された土壌とそのクリーンアップ、食品の摂取制限、住民の被ばく評価、管理も原子力の安全として考慮の必要があります。この後半の部分は、環境放射線、人の健康影響評価の領域で、電力会社、原子力安全・保安院(保安院)、文部科学省(文科省)の防災環境対策室、原子力安全委員会(原安委)、地方行政(都道府県、市町村、地域の衛生研究所や原子力セ



小佐古敏荘(こさこ・としろう)

東京大学大学院教授

昭和52年東京大学大学院・工学系博士修了(工学博士)。(社)日本保健物理学会会長、アジアオセアニア放射線防護学会(AOARP)会長、元ICRP第4委員会委員など。専門：放射線安全、遮蔽、計測

クター)などが関連し、統一的な運用は弱かった。事故後に土壌、作物などの汚染があり、農水省、水産庁、厚労省、食品安全委員会などが関連し状況は複雑になった。この錯綜した状況下で原安委は調整役として有効に機能しなかった。

筆者は、3月16日から4月30日まで内閣官房参与として事故対応の中枢部の騒乱の中におり、主として環境、放射線対策を中心に、関連する人々と協力し提言、助言を行ってきました。そこでの様々な出来事、葛藤について、それを素直に直接的に吐露するには困難があります。ただ、全体にわたり今後役立ててほしいことが幾つかありますので、それらを述べさせていただきますと思います。

緊急時対策は、東電、保安院、文科省、原安委、官邸を中心に行われます。福島事故発生後、すぐに保安院には緊急時対応センター(ERC)が組織されましたが、主力はプラント班で破損原子炉の事故対応で多くの人員が配されました。それに比べると、放射線班、医療班の人手は薄かった。緊急時初期は炉心の大幅な損傷に人々の大きな関心があり、後者の対応は薄かった(地方行政は逆であったが)。これは、原子炉事故の想定が原子炉の中小規模の事故を基礎としており、大規模地震、津波、原子炉炉心溶融等の大規模複合災害による広域の放射能拡散、放射能汚染を重視していなかったためでもある。

原子力産業は巨大な複合産業で、その全容を一気に把握、判断することはなかなか難しい。特に巨大大事故の緊急時対策においてはそうである。前述のプラント班の例のように、我が国では「ハード」が強くて「ソフト」が弱い。原子炉事故のたびにハードの対策を講じてきた。JCO臨界事故時にも、筆者は政府の活動の中にいたがその際もそう思った。JCO事故時の不手際に対して深い反省の後、防災指針、防災マニュアルなどを再整備、改訂してきた。それなりによく出来たものであったし、官僚諸兄もそのことをよく理解していた。しかし福島事故においては、これらがうまく回らなかった。JCO事故から11年半たち、担当のお役人は何世代も交代し、その知識と経験は十分に継承されていなかった。

これは保安院、文科省のみならず原安委にも言える。

また、官邸、政治と官僚機構、専門家との役割が不明瞭であった。通常であれば、省庁間の調整は、事務担当の内閣官房副長官が事務次官等会議で取り仕切り、すべての省庁の事務次官による省庁間調整を官邸で行っていた。しかし、2009年に政治主導の声の下、これが廃止されてしまった。事故時の総合的な調整は困難であった。この点は、「阪神・淡路大震災時の日本の災害対応の問題点は、災害対応資源の欠落ではなく、現実的な計画と災害対応全体を調整する機関の不存在であった」と元米国危機管理官のレオ・ボスナー氏も似た事例として指摘¹⁾している。

今後、様々な面から今回取られた危機対応に検討が加えられると思うが、ここでは「謙虚さをも含む深い専門性」が全体として薄かった点を指摘したい。電力会社の方々も事故対応では懸命な努力を続けられており敬意を表しますが、事故前の地震、津波、事故対応策に欠けた点はなかったのか、事故時の様々な対応、対策に抜かりはなかったのか。さらにこれらを総合的に考えるマネージメントはきちんと機能したのか。政府、官僚機構も、省庁間縦割りの弊害もなく、情報伝達、国民への説明、現地の被災住民への説明がうまく出来たのか。数年おきに異動のある官僚に専門性が備わっていたのか。研究者、学者は事故時の有効な情報を専門的にきちんと提供できたのか、教科書通りの通り一遍の話で押し切ろうとしなかったのか。「オールジャパンの協力」と言いながら本格的な専門家をうまく事故対策システムに組み込んだのか。メディアはパニックを煽ることなく正確で適切な情報を流すことができたのか、「今日から専門家、昨日から専門家」を便利に使いこなさなかったのか。被災している地域住民の視点を意思決定のメカニズムの中に取り込んでいったのか。などなどである。

とりわけ各部門のトップのマネージ能力、専門性は厳しく問われたと思う。平時は委員会と相談してでいいわけだが、緊急時には次から次へと「専門家としての決断」を迫られる。現在、議論されている原子力安全規制庁のトップの力量と専門性、また、そこで規制にあたる役人の高い専門性を強く求めたい。規制庁の担当官には十分な教育、再教育システム、資格化が必要である。従前の例ではハードには相当の金を払うが、ソフト、教育、人材育成などにはなかなか資金が回らない。他の分野でも、電子機器の開発においてハードな技術開発はうまくいったが、国際的な標準化や規格化では全く遅れを取り、ビジネス全体としてはうまくいかなかった例などがある。

世界的な企業エクソン社も1989年の原油タンカー「バルディーズ号」の原油流出事故でアラスカ沖の広大な海域の環境汚染の結果、数千億円の被害を出した。その後になり初めて、安全、環境保護に対してしっかりとした

対応を取るようになった。大規模な資源、エネルギー産業は、常に大規模事故後の環境影響に対する配慮が必要である。そのことをトップがよく理解していることが必須である。

やはり原子力は難しいと思う。原子力は、核不拡散、計量管理、セキュリティ、エネルギー資源論、国家のエネルギー戦略から、技術的な検討(材料、システムの運用、安全システムの構築等々)、放射線の人体影響、放射性廃棄物の処分問題、原子炉事故と防災計画、公衆合意、メディアとの関係などなど、検討、研究事項は実に多種多様である。原子力は各要素を並列し組み上げるだけでは無理で、有機的に総合的にこれを理解する人たちによってマネージされなければ安定ではない。そのような人材と教育システムを準備、用意できるかということである。

被災された現地の方々には様々な局面で惨めな思いをされたわけですが、今回、緊急時において避難した体育館などでは、住民は政府からほとんど直接に情報を受けていなかった。「事故は落ち着いたのか、あるいはさらに避難が必要か、今日の夕刻にどうなるか、明日どうなるか」の情報がなく困ったわけである。現地ではテレビ等のメディアからの情報で判断をしていた。ERCに対しても、筆者は、早い時期に「米国危機管理庁(FEMA)では危機時には早期に現地向けの新聞を日々発行する」事例を伝え、お願いをしたが初期の対応は叶わなかった。保安院は東京での官邸や役所の記者会見のために、かなりのエネルギーを使い余力はなかった。しかし一番情報を求めているのは現地で被災し避難している人々で、東京での頻繁なメディア対応に振り回されるべきではない(中々、難しいことではあるが)。

この稿での指摘以外にも、オフサイトセンターの機能、広域環境汚染への対処、初期の放射線線量評価と健康影響、食品の放射能汚染などなど触れるべき課題は多いが、次の機会としたい。なお、初期、1カ月半の参与としての課題抽出と提言は国会等に提出された報告書²⁾にまとめてありますので、ご関心の向きは参照ください。

最後に、ここで挙げた事例は、最大限の努力をされ事故対応をされた方々を責めるものではなく、原子力防災の仕組みとしての反省点の指摘として受け止めていただければ幸いです。

(2012年4月20日 記)

—参考資料—

- 1) レオ・ボスナー、「近代消防」, No.5, pp 40-43(2011).
- 2) 小佐古敏荘、「福島第1原子力発電所事故に対する対策について(参与提言を中心に)報告書」, 2011年4月27日.



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。

政府、再稼働の安全判断基準を提示

政府は4月6日に関係閣僚会合を開き、原子力発電所の再稼働の安全性に関する判断基準を提示した。事故調査・検証委員会や原子力安全・保安院での意見聴取会での検討結果を踏まえてまとめたもの。

基準は3つから構成。基準(1)は、地震や津波による全電源喪失が起きたとしても、その事象の進展を防ぐために電源車の配置や電源・注水機器の浸水対策、格納容器の破損対策、慣例・計装設備対策を行うよう求めている。基準(2)は、そのような場合でも、炉心や使用済燃料ピット、使用済燃料プールの冷却を継続し、福島原発事故のような燃料損傷には至らないことを国が確認するもの。基準(3)は、事業者が、基準(1)を含めた安全性・信頼性向上のための実施計画と事業姿勢を明確化することを求めた。その内容は保安院がストレステストの1次評価

の審査において取り組みを求めた事項と、保安院が「東京電力(株)福島第一原子力発電所事故の技術的知見について」で示した30の安全対策からなる。

具体的には地震等による長時間の外部電源喪失の防止のための外部電源対策、共通要因による所内電源の機能喪失の防止/非常用電源の強化のための所内電気設備対策、冷却注水機能喪失の防止のための冷却・注水設備対策、格納容器の早期破損/放射性物質の非管理放出の防止のための格納容器破損・水素爆発対策、状態把握・プラント管理機能の抜本的強化のための管理・計装設備対策——からなる。

なお基準(3)に含まれる保安院が示した30の安全対策は次の通り。

東京電力福島第一原子力発電所事故の技術的知見から得られた30の対策

技術的知見(30の対策)	
○外部電源対策	対策1 外部電源システムの信頼性向上
	対策2 変電所設備の耐震性向上
	対策3 開閉所設備の耐震性向上
	対策4 外部電源設備の迅速な復旧
①所内電気設備対策	対策5 所内電気設備の位置的な分散
	対策6 浸水対策の強化
	対策7 非常用交流電源の多重性と多様性の強化
	対策8 非常用直流電源の強化
	対策9 個別専用電源の設置
	対策10 外部からの給電の容易化
	対策11 電気設備関係予備品の備蓄
②冷却・注水設備対策	対策12 事故時の判断能力の向上
	対策13 冷却設備の耐浸水性確保・位置的分散
	対策14 事故後の最終ヒートシンクの強化
	対策15 隔離弁・SRVの動作確実性の向上
	対策16 代替注水機能の強化
	対策17 使用済燃料プールの冷却・給水機能の信頼性向上

③格納容器破損 ・水素爆発対策	対策18 格納容器の除熱機能の多様化
	対策19 格納容器トップヘッドフランジの過温破損防止対策
	対策20 低圧代替注入への確実な移行
	対策21 ベントの確実性・操作性の向上
	対策22 ベントによる外部環境への影響の低減
	対策23 ベント配管の独立性確保
	対策24 水素爆発の防止(濃度管理及び適切な放出)
④管理 ・計装設備対策	対策25 事故時の指揮所の確保・整備
	対策26 事故時の通信機能確保
	対策27 事故時における計装設備の信頼性確保
	対策28 プラント状態の監視機能の強化
	対策29 事故時モニタリング機能の強化
	対策30 非常事態への対応体制の構築・訓練の実施

原燃が新型遠心機で濃縮開始、15か月ぶりに生産運転

日本原燃は青森県の六ヶ所ウラン濃縮工場で、新型遠心分離器の慣らし運転を終了し、3月9日から濃縮ウランの生産運転に移行した。

同工場は2010年12月に旧型の遠心機によるウラン濃縮を全て停止し、新型遠心機への更新作業を行ってきた。新型遠心分離器による初期導入分(75トン SWU/年)(RE-2A)の前半分に当たる37.5トン SWU/年ラインを、昨

年12月28日から慣らし運転を行ってきた。

今後は初期導入(RE-2A)のうち、後半分(37.5トン SWU/年)について12年12月に運転開始を目指し、その後、10年程度かけて、1,500トン SWU/年規模の濃縮ウランの製造を達成する計画だ。

(資料提供：日本原子力産業協会)

原子力機構が5展示館の運営を停止

日本原子力研究開発機構は3月15日、民主党行政改革調査会から指摘を受けていた改革事項について、文部科学省の指導を踏まえ、「対応方針」を取りまとめ、全国にある展示館9施設のうち5施設について一般来場者の受入れを行わないなどの対策を新年度から実施すると発表した。

対応方針では公益法人などへの会費支出をゼロベースで見直し、今後は毎年度、会費の支出先・目的・金額などをホームページ上で公表する。

また、入札や契約のあり方について、関係法人との随意契約は原則行わないことにした。

展示館の見直しについては、9施設ある展示館のうち5施設で、今年度末までに一般来場者の受入れは行わず、展示物などは視察者への説明などに活用していく。

残りの4施設についても、今年夏に向けた原子力・エネルギー政策の議論を踏まえつつ、地元との信頼関係を損なわない範囲で見直しの検討を進める、としている。

今年度末で運営を停止する5展示施設 マアクアトム(福井県敦賀市)=産学連携を中心とした施設として活用予定、マエムシースクエア(福井県敦賀市)=プレスセンター、会議室、研修施設などで活用、マアトムワールド(茨城県東海村)=福島県住民の内部被ばくの測定の受付・結果説明の場として活用、マテクノ交流館リコッティ(茨城県東海村)=核不拡散・核セキュリティ支援センターとして今年度から活用、マ人形峠展示館(岡山県鏡野町)=展示物は視察者などへの説明に活用。

(同)

原災対策本部などの議事概要を公表

政府の原子力災害対策本部および政府・東京電力統合対策室(旧福島原子力発電所事故対策統合本部)の議事概要がこのほど公表された。

いずれも事故発生から緊急時対応で多忙だったことから、いままで作成がなされておらず、記者会見でその一部が公表されていたのみ。枝野・現経産相による公文書管理法に基づいた議事録作成の指示が1月に出され、各省庁関係者が作成していた議事メモや大臣発言要領などを収集・整理して3月1日時点で整備したもの。

第1回原子力災害対策本部(本部長＝菅直人首相＝当時)は事故発生当日の昨年3月11日、首相官邸の4階大会議室で緊急災害対策本部の後、午後7時3分から19分間開かれた。連続開催のため本部員以外の閣僚も同本部に出席し、本部員ではないが班目春樹・原子力安全委員長も出席した。

そこでは原子炉は制御棒が挿入され停止し、外部電源喪失で非常用電源が立ち上がったがその後、津波で停止、全電源が喪失。現在、冷却できない状況に陥っていること、電池で動く冷却などが動いているが、8時間しかもたないことなどが報告された。そのため8時間を超えて炉心の温度が上がるようなことになると、「メルトダウン」に至る可能性もあることから、「陸路および空路でディーゼル発電機の代わりになるものを輸送中」などの状況が書かれている。

また、発電所外部への放射性物質の漏洩の情報はその時点では確認されておらず、「直ちに特別な行動は不要」としているものの、「10km範囲の人をどこかの時点で避難させる必要があるかも知れない」などの議論も行われている。

その後、菅首相が北澤防衛相に原子力災害派遣を要請、8トンの電源車を空輸するためには大型ヘリコプターが必要で、米軍に依頼する可能性や米国大使からの「オファー」もあったことなども記載されている。

これらの結果、福島県と大熊、双葉、浪江、富岡の4町と福島第一原発から半径10km圏内の海域に対して、原子力災害対策特別措置法に基づく指示として、「放射性物質による外部への影響は確認されておらず、現時点で、直ちに特別な行動を起す必要はないものの、防災行政無線やテレビ、ラジオなどによる情報に注意し、新たな指示が出された場合は、その指示に従うよう、区域内の住居者などに対して周知されたい」との内容が公示された。

現場では、非常用炉心冷却装置での注水不能事象が同日16時36分に発生したとして、「原子力緊急事態宣言」の発令に至ったなど、原子力災害発生直後からの政府中枢での議論の経緯が公表されている。

(同)

安全委、SBO対策や津波評価などの指針類見直し進める

原子力安全委員会は3月22日の臨時会議で同委専門部会長らより、安全設計審査指針など3指針類の見直しを柱とする福島原子力発電所事故を踏まえた検討状況について報告を受けた。11年3月の大地震・津波とこれに伴う原子力災害の教訓から、安全確保策の抜本的見直しに向け、昨夏より同委の専門家会合で審議を進めてきたもの。

これを受け班目委員長は、事故の教訓を踏まえた調査検討に関し、「すべてが抽出され尽くしているわけではない」などとして、各部会による今回の検討状況が、あくまで途上にあることを強調。その上で今後、原子力安全規制体系の見直しが見込まれることから、「原子力規制庁の下で規制に係る具体的基準等が鋭意整備されていくもの」などと述べた。

安全設計審査指針の見直しでは特に、「指針27」関連で、全交流動力電源喪失(SBO)対策について優先的に検討を行い、(1)SBOの発生頻度を合理的に達成できる限り低いものとする、(2)SBOが発生した際には原子炉を安全に停止し、停止後の冷却を確保し復旧できる、(3)炉心および使用済み燃料プールに貯蔵された燃料の損傷

を防止するための措置ならびに損傷に至った場合も環境放出を低減するための措置が可能——を今後のSBO対策の基本的考え方として提言している。その上でSBO対策に係る技術的要件を抽出し、指針に反映すべき事項を整理した。例えば、SBO発生時の原子炉等の冷却手段については、「非常用電源とは独立した代替電源の設置を求め、これにより原子炉停止後の冷却を確保すること」を指針に反映することとしている。また、SBO対策に引き続き、最終ヒートシンク喪失対策に係る検討も行った。

耐震設計審査指針の見直しでは津波について、これまで地震随件事象として、わずかな記述に留まっていた。しかし今後はこれを独立した項目立てとし、基準津波の策定など津波評価に必要な規定を設けるとともに、名称を「地震・津波指針」(略称)に変更することも提言している。また、マグニチュード9の地震が想定できなかった理由について、地震調査研究推進本部からヒアリングを実施するなど、地震動評価の向上に関する検討も行った。

防災指針の見直しでは防災対策を重点的に実施する区

域として、「予防的防護措置を準備する区域」(PAZ)および「緊急防護措置を準備する区域」(UPZ)の設定と、区域ごとの防護措置内容について述べているほか、緊急時モニタリング、安定ヨウ素剤の予防的服用など、被ばく医療のあり方についても、防災対策に係る専門的・技

術的事項を提言しており、これらを踏まえ、防災基本計画、地域防災計画、関係法令・規定類等の見直しが図られるよう求めている。

(同)

対トルコ協力が進展 原子力協定—実質合意に達す

外務省は3月23日、日本とトルコとの原子力協力協定の締結交渉が実質合意に達したと発表した。両国では昨年1月より協定締結交渉を行ってきたが、この3月1、2日にトルコ・アンカラで行われた協議を経て合意に至ったもの。今後は協定案文の確定作業に入ることとなる。

今年1月の玄葉光一郎外務相のエルドアン・トルコ首相表敬では、わが国の大震災・原子力事故により遅れをみたものの、引き続き両国間の原子力協力を進めていくことが確認されている。

現在、日本の二国間原子力協力協定は、カナダ、英国、フランス、豪州、中国、米国、ユーラトム、カザフスタン、韓国、ベトナム、ヨルダンの10か国・1地域で発効

済み、ロシアが署名済みという状況だ。

トルコでは電力供給の増強に向け、17年頃の原子力発電導入を目指しており、わが国とは、10年12月に経済産業省との覚書が既に締結されている。

年率9%前後の経済成長を続けているトルコは、電力供給の面でもロシアとアックユ原子力発電所建設計画(4基)に合意した後、次のシノップ原子力発電所(4基)の建設についても韓国、日本と導入交渉中。さらに最近では中国ともイーネアダ原子力発電所の建設計画を含めた交渉を開始している。

(同)

総合資源エネ調，エネルギー・ミックス選択肢の審議佳境

経済産業省の総合資源エネルギー調査会・基本問題委員会(委員長=三村明夫・新日本製鉄会長)は3月27日、前回会合までに行った各委員からのエネルギー・ミックスの選択肢に関する意見照会集約を、原子力発電の比率で「0%」、「5%」、「20%」、「25%」、「35%」と、数字を示さない意見とに類別し、これらに関する基本的考え方・視点も加えた「A」～「F」の категорияに再整理し議論した。今後は、5月のエネルギー・環境会議への選択肢提示に向け、さらに集約を図り検討を進めていく。

27日の会合で示されたエネルギー・ミックス選択肢「A」～「F」の原子力発電比率(各委員提示の数値は5%単位で丸め)と基本的考え方は以下の通り。

A【数値なし】=社会的に最適なエネルギー・ミックスは、社会的コストを負担させられた最終需要家が選ぶもの。その前提として、数字の議論の前にエネルギーセキュリティ等の考え方を議論して、「市場の失敗」等に対応する政策を考えるべき。

B【0%】=原発事故の甚大な被害や地震国という現実を直視し、原子力発電比率をできるだけ早くゼロにするとともに、エネルギー安全保障、地球温暖化対策の観点

等から、再生可能エネルギーを基軸とした社会を構築する。

C【5%】=原子力発電に関わるすべてのコストを事業者負担させる。電源選択を市場メカニズムに委ねれば、結果的に原子力発電の比率は低下し、ゼロになる可能性も低くない。

D【20%】=原子力発電の安全基準や規制体制の再構築を行った上で原子力発電への依存度を低減させるが、多様な電源構成によるエネルギー安全保障向上、原子力平和利用国としての責任や人材・技術基盤の確保等の観点から、一定の原子力発電比率を維持。

E【25%】=事故の教訓を活かし、わが国の原子力発電技術の安全性を格段に高め、エネルギー安全保障や地球温暖化対策の観点から、原子力発電を引き続き基幹エネルギーとして位置付け、世界のエネルギー問題に貢献。

F【35%】=エネルギー安全保障と経済成長を両立させつつ、最先端の低炭素社会を構築するため、国民から信頼される安全規制体制を確立し、現状程度の原子力発電の設備容量を維持。

(同)

災害対策本部，3市村で警戒区域を解除

政府の原子力災害対策本部は3月30日、川内村、田村市、南相馬市の警戒区域および避難指示区域について見

直しを行った。

いずれの市村も警戒区域を解除し、川内村と田村市に

については避難指示区域を避難指示解除準備区域に、南相馬市については避難指示区域を帰還困難区域と居住制限区域及び避難指示解除準備区域に設定した。既に川内村と田村市は4月1日より見直しを実施され、南相馬市については対象区域が広域で人口が多いため、必要な準備期間を考慮して4月16日午前0時に見直しを実施する。

他町村については、関係者の合意が早期に得られるよ

う、引き続き県や町村、住民などと協議・調整を進めていく。また、事故発生後1年間の推定積算線量が20ミリSv超の特定避難勧奨地点については、解除後1年間の積算線量が確実に20ミリSv以下となることが確認されれば解除される。

(同)

放医研、被ばく医療関係の教育・学習参考資料を公開

放射線医学総合研究所はこのほど、被ばく医療を中心として医学生に教授すべき基本事項を体系的に整理した「医学教育における被ばく医療関係の教育・学習のための参考資料」を作成した。本資料は、昨年改訂された医学教育モデル・コア・カリキュラム中の放射線防護・被ばく医療関係の項目等に着眼して作成されたもの。放射

線の基礎から放射線の医学利用、防護、被ばく医療を対象としている。

放医研では同資料をホームページで公開している。
(<http://www.nirs.go.jp/index.shtml>)

(資料提供：放射線医学総合研究所)

海外情報

(情報提供：日本原子力産業協会)

[米国]

カーネギー財団が報告書「福島原発事故は防げた」

米国のシンクタンクのカーネギー国際平和財団は3月6日、東京電力と原子力安全・保安院が原子力安全に関する国際的な良好事例や基準、最新の安全確保対策に基づいて設計を改善していれば、福島原発事故は防げたとする報告書を公表した。

欧米ですでに取られている深刻な外部事象への対策や国際原子力機関(IAEA)が策定した洪水指針等に触れた上で、福島第一原発など日本の発電所でこうした対策が実行されなかった理由を分析。決定的な回答は出せないとしつつも、対策として最も重要なファクターが何であるかや、誰に事故の責任があるかに関するコンセンサスが日本には欠けているようだ」と指摘している。

同報告書によると、東電と保安院の津波リスク評価手法は少なくとも次の3点で国際的な基準から遅れを取っていた。すなわち、(1)1000年に1回という頻度の巨大津波が発電所周辺地域を冠水させていたという証拠に十分な注意を払わなかった、(2)津波の脅威に関するコンピュータ・モデリングが不適切だった。津波リスクが著しく過小評価されていることを示唆する08年の暫定シミュレーションに対し、東電は十分なフォローを行わず、事故の4日前に保安院に報告しただけ、(3)保安院も東電のシミュレーションを審査せず、適切なモデリング装置の開発促進を怠った——である。

諸外国、特に欧州の国々では、原発の重要な安全シス

テムは日本より厳重に防護されており、99年にフランスのルブレイ工原発で洪水により一部の電源を喪失する被害が出た後、欧州各国では堤防を高くするなど、規制当局が深刻な外部事象に対する発電所の防護策を強化。米国でも88年以降、米原子力規制委員会が各原発に対して、4～8時間の完全な交流電源喪失に耐えられるよう要求しており、特に9.11以降はB5b対策と呼ばれるテロ対策要件を満たすための改善が行われた。

このほか、IAEAは2003年に原発での洪水対策について安全指針を策定。04年のスマトラ沖地震による津波でインドの原発が被害を受けた後はこれを改定するなど、津波リスクの評価と対策強化を促していた。報告書によると、日本の事業者もこうした事実を認識しており、東電も福島第一原発の防護策を改善することは可能であった。しかし、日本の方法論では津波の高さ評価に注意が集中するあまり、瓦礫の影響など他の要因を考慮せず、IAEAの指針を満たしていなかったとしている。

同報告書はさらに、潜在的な根本原因として以下の点を特定した。例えば、保安院は原子力促進の政府機関および原子力産業界のどちらからも独立の立場を有していなかったし、日本の産業界は耐震安全性に意識が集中し、それ以外のリスクを除外。官僚と事業者の縦割り構造によって、原子力当局者は外部の専門家から助言を得るのを良しとせず、原子力事業者の方でも、現場の知見の効果的な活用に失敗した可能性がある。そしておそらく、最も重要な点は、多くの関係者が過酷事故など起こるはずがないと信じていたことだと強調している。

報告書は最終的に、福島事故が提起したものについて分析。原子力発電について、これまで知られていなかっ

た致命的な欠陥を暴露したというよりも、外部からの圧力や良好事例の進展、そうしたプロセスを効果的に監督する規制当局などによって、発電所の安全性を定期的に再評価する重要性を改めて強調したことでであると締めくくっている。

[カザフスタン]

カザトムプロム、2011年に約2万トンのウラン生産

カザフスタンの国営原子力企業であるカザトムプロムはこのほど、2011年の操業実績(速報値)を発表した。ウラン生産量が約2万トンに達するなど、2009年にカナダを抜いて世界第1位に躍り出て以来、主導的な地位を維持。これに加えて、新たな燃料製造工場の建設等、燃料サイクルのフロントエンド部分で事業の多様化を進めるなど、野心的な戦略を展開している。

世界原子力協会の記録では、2010年実績で1万7,803トンを生産した同国だが、11年の生産量はこれを9%上回る1万9,450トン。世界全体の生産量である5万5,400トンの約35%を占めるまでになった。同社によると、このうち1万399トンが世界の稼働中原子炉に長期契約で供給されており、世界全体の原子炉所要量の17%をカザフスタンが賄っている計算。2011年中はこれら既存契約に加えて、フランス電力や米国の複数のエネルギー企業とも新規契約を結んだとしている。

[韓国]

古里1で定検中に電源喪失

韓国原子力安全委員会は3月13日、古里原子力発電所1号機(PWR, 58.7万kW)で2月の定期検査中に一時的な電源喪失事象が発生していたことが明らかになったとし、詳細な原因調査を開始すると発表した。

それによると、古里1号機では2月9日に原子炉停止状態のまま発電機保護リレーの試験を実施したところ、午後8時34分頃、12分間にわたって外部電源からの供給が遮断され、非常用ディーゼル発電機も作動しない状態となった。その後、この状態は無事収束。使用済み燃料貯蔵プールと原子炉には冷却水が満たされていたほか残留熱除去系が作動中だったため安全上の問題はなかったが、韓国水力原子力(KHNP)が同事象を安全委に報告したのは3月12日のことだった。

韓国原子力安全委員会は3月16日、古里原子力発電所1号機で2月に一時的に外部電源を喪失する事象が発生したにもかかわらず、その報告が1か月近く遅れた件について、関係者全員への聞き取り調査、および非常用電

源の故障に関する徹底的な調査の経過を公表した。

この事象は同炉で定検中の2月9日に発電機保護リレーの試験を行った際、約12分間外部電源供給が遮断され、非常用ディーゼル電源も作動しない状態になったものの。残留熱除去系の作動等により安全上の問題はなかったが、事業者のKHNPが12月まで同事象を報告しなかった点を重く見、安全委は即日、原子炉の停止を命じ、現場調査団を派遣していた。

原子力安全技術院の専門家23名で構成される調査団は、発電所従業員と所長、本部長およびKHNP本社の幹部を対象に報告隠蔽の正確な経緯を取調中で、これまでのところ、発電所所長までは事象を把握していたことが確認された。また、電力供給システムの調査については、事象発生時に起動しなかった非常用ディーゼル発電機の性能試験を15日に実施。内部の電磁弁が故障していたことが判明した。このため、安全委は残りのディーゼル発電機1台についても性能を徹底確認するとしている。

現在、停止状態にある古里1号機では、すべての外部電源が接続されており、原子炉の冷却機能と安全性は維持管理されている。安全委は調査の結果いかんで必要に応じて関係者を厳重に処罰する一方、再発防止に向けて発電所従業員の人的ミスとモラルハザード防止のための安全文化強化対策、電源システムの安全性強化策および原子炉停止時も安全な状態を24時間監視できる方策案など、総合的な対策を検討していく。

報告が遅れた理由についてKHNP社は、「軽微な事象であり、直ぐに修復できたため」と説明。手動の非常用電源を起動するまでもなく復旧できると判断したと現地報道で伝えられている。

[国際]

ソウル核サミット、核セキュリティ強化で合意

核セキュリティ・サミットが3月26日から27日、ソウルで開催された。同サミットには世界53か国と4国際機関等から、オバマ米国大統領、メドベージェフ露大統領など首脳級36名を含む代表が参加した。野田首相は27日の全体セッションおよびワーキング・ランチに出席した。

核セキュリティに対する取組みに関し、各国の基本的姿勢、各国の具体的取組みや国家間の協力協調の分野などについて発言・意見交換を行った。

全体セッションは、「核セキュリティ強化のための国際協力措置と国内措置、将来への約束」をテーマに議論が行われ、野田首相は復興が着実に進展していることや福島事故から得た知見・教訓をテロ攻撃などへの備えにも生かしていくことなどを述べた。

福島第一原子力発電所事故の対応と今後の計画

東京電力(株) 福田俊彦, 宮田浩一, 山下和彦, 土方勝一郎

福島原子力事故から1年以上が経過し、現在、各プラントは冷温停止状態を維持しつつ、廃止措置に向けて中長期的な取組を進めている。一方、事故そのものの調査についてもさまざまな観点から教訓を引き出す努力を続けている。今回、特集「福島第一原子力発電所事故の対応と今後の計画」については、事故の当事者として、特に技術的な見地から以下の4編に取りまとめて報告する。

「事故対応の概要と今後の安全の在り方」では、事故対応の全体概要を述べるとともに、そこで得られた教訓を原子力発電所の安全へ反映する方向性を示す。次に時系列的に解説を進め、「事故時の対応とプラント挙動」では、事故時の1～4号機のプラント挙動を対応状況と現場調査、解析結果を説明する。続く「事故後の取組みと今後の中長期計画」では、事故の収束に向けた道筋ステップ1, 2を経て、冷温停止状態に至った取組と今後の廃止措置に向けた中長期計画について説明する。最後に、今回の事故をもたらした「地震・津波の影響について」解説し、今回の地震と津波が発電所に及ぼした影響に関する各種調査、シミュレーション解析結果に基づく評価を示す。

事故対応の概要と今後の安全のあり方

福島事故の教訓を今後の安全にどう生かすか

東京電力(株) 福田 俊彦

I. はじめに

昨年3月の東北地方太平洋沖地震に伴う津波の影響により福島第一原子力発電所事故に至り、放射性物質を放出したことにより今なお避難されている方はもとより、多くの方々にご迷惑、ご心配をお掛けしていることを誠に申し訳なく思っている。

福島原子力事故については、これまでさまざまな報告や発表がなされているが、一部には誤解に基づくものもある。事故後1年余りが経過したのを期に実際の事故対応をした当事者として、できるだけ正確なデータに基づき改めて事故対応全体の概要を整理するとともに、そこから得られた教訓に対する今後の原子力発電所の安全のあり方についての方向性を報告する。

「事故時の対応とプラント挙動」、「事故後の取り組みと今後の中長期計画」、「地震・津波の影響について」についての詳しい報告は、この後に続く特集記事に譲る。

II. 事故対応の概要

1. 東北地方太平洋沖地震と津波

2011年3月11日14時46分頃発生した東北地方太平洋沖地震は、「宮城県沖」、「三陸沖南部海溝寄り」、「福島県沖」、「茨城県沖」等の複数領域が連動して発生した国内観測史上最大、世界の観測史上4番目の規模であるマグニチュード9.0の巨大地震であった。この地震に伴い長さ約500 km、幅約200 kmにわたり、プレート境界の断層が動いたことにより大きな津波を発生した。

貞観津波等の新たな知見についても調査・研究は進められていたが、このような広い範囲の連動については、国の防災関係の研究機関でも想定していないものであった。

今回の地震による福島第一原子力発電所周辺地域の震度は6強と中越沖地震時の柏崎刈羽地域の震度と同じであり、また、原子炉建屋で観測された加速度は、一部で設計に用いる基準地震動Ssによる加速度を上回ったが、中越沖地震時の柏崎刈羽原子力発電所と比べるとやや低いレベルであった。

Summary of Fukushima Nuclear Accident and Future Nuclear Safety: Toshihiko FUKUDA.

(2012年4月15日 受理)

一方、福島第一に到達した津波の高さは、設計上考慮していた土木学会手法による評価値(OP+5.4 m~6.1 m:OPとは小名浜港工事基準面)の2倍以上となるOP+13.1 mと推定された。

2. 地震のプラントへの影響

福島第一原子力発電所は地震により外部電源が喪失したものの、後日回収した詳細なプラントデータによると、地震加速度大で原子炉が自動停止、非常用ディーゼル発電機が起動し、その後、津波が到達するまでの間、高圧注水系等の運転操作が問題なく実施されており、プラントパラメータ等にも異常が認められていない。

また、観測地震動データに基づく解析結果によると、安全上重要な設備の応力等は評価基準値よりも十分低いレベルとなった。(第1表参照)

さらに、5号機、6号機の格納容器内も含む全域、1~4号機のタービン建屋、屋外設備等目視により確認できる範囲の調査によれば、安全上重要な設備に地震による損傷は確認されていない。

これら3つの観点からの調査結果により、今回の地震の揺れが原子炉の安全性に影響を及ぼさなかったと評価している。

3. 津波のプラントへの影響

地震発生約40分後頃から津波が福島第一に襲来し、1~4号機主要建屋(敷地高さOP+10 m)周りの浸水高さはOP+約11.5~15.5 mに、5、6号機主要建屋(敷地高さOP+13 m)周りの浸水高さはOP+約13~14.5 mに達した。このため建屋出入口、機器ハッチ、非常用ディーゼル発電機給気ルーバー等を通じ、地下にあった非常用ディーゼル発電機室、電気品室等に海水が浸入した。また、屋外(敷地高さOP+4 m)にあった非常用海水ポンプは水没した。(第1図参照)

福島第二については、津波推定高さが約9 mであり、OP+12 mの主要建屋周囲への浸水は限定的であったため、福島第一と比較して電源設備等への被害が少なく、結果として、その後の事故対応の困難さが大きく異なった。

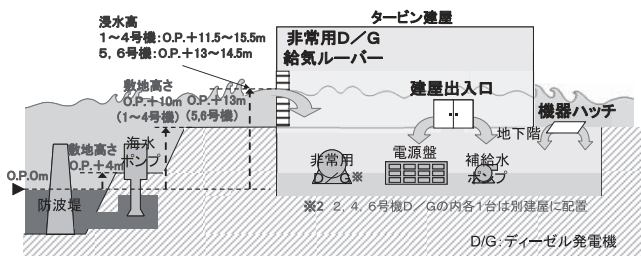
福島第一の津波による被害状況を整理すると、1~4号機では、外部電源喪失、非常用ディーゼル発電機機能

第1表 1～3号機耐震性評価結果

単位：MPa (但し原子炉建屋は無次元)

設備	1号機		2号機		3号機	
	計算値	評価基準値	計算値	評価基準値	計算値	評価基準値
原子炉建屋	0.14×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0.43×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0.17×10 ⁻³	2×10 ⁻³
炉心支持構造物	103	196	122	300	100	300
原子炉圧力容器	93	222	29	222	50	222
主蒸気系配管	269	374	208	360	151	378
原子炉格納容器	98	411	87	278	158	278
停止時冷却系	8	127				
残留熱除去系	228	414				
その他*	-	-	45	185	42	185
			87	315	269	363
					113	335

* その他に記載した評価対象設備：(3号機) 高圧注水系蒸気配管



第1図 津波被害のイメージ(福島第一)

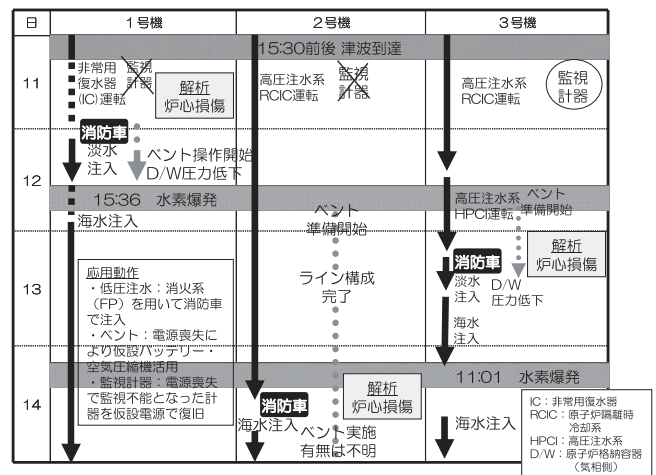
喪失、電源盤機能喪失、直流電源喪失に加え、非常用海水系の除熱機能も喪失するという多重の安全機能を、複数号機において喪失するという極めて厳しい状況になった。一方、5、6号機では6号機の非常用ディーゼル発電機(空冷式)が1台と電源盤の機能は健全であったことから、隣接する5号機に電源融通することにより、冷温停止を達成することができた。(第2表参照)

また、全電源の喪失は監視機能の喪失、照明の停電や通信設備の制約等インフラ設備への影響も招き、屋外における余震による津波リスクや津波による瓦礫の影響も含め、事故対応の作業環境も極めて厳しいものとなった。

第2表 福島第一の被害状況

	1F-1	1F-2	1F-3	1F-4	1F-5	1F-6
外部電源		×				×
非常用ディーゼル発電機	×	△	×	△	△	○
非常用高圧電源盤(M/C)	×	×	×	×	×	○
常用高圧電源盤(M/C)	×	×	×	×	×	×
非常用低圧電源盤(P/C)	×	△	×	△	×	○
常用低圧電源盤(P/C)	×	△	×	△	△	×
直流電源	×	×	○→△	×	○	○
海水ポンプ	×	×	×	×	×	×

○：機能維持
 △：上流側の給電、関連機器の水没等による機能喪失
 ×：当該機器本体の被害等による機能喪失



第2図 事故対応の概要

4. 津波到達以降の事故対応の状況

津波到達以降の事故対応の時系列概要を第2図に示す。

1号機では津波到達後の全電源喪失により、監視計器の機能が喪失し、文字通り手探り状態での運転操作を余儀なくされた。高圧系である非常用復水器は、電源喪失に伴い、格納容器隔離弁が自動閉鎖することにより、その機能を失い、原子炉の冷却ができなくなったため、シビアアクシデント解析コード(MAAP)の解析結果によれば、3月11日夜という早い時間に炉心損傷に至ったと考えられている。

このようなシビアアクシデントへの対処方法としてアクシデントマネジメント策を整備してきていたが、今回の事態はその前提を大きく外れ、ディーゼル駆動消火ポンプによる原子炉への代替注水や格納容器ベントは、準備していた手順書通りには実行できなかったため、臨機の応用動作として中越沖地震対策で配備していた消防車による原子炉への代替注水、手動操作や仮設機器(小型発電機、コンプレッサ)を用いた格納容器ベント等を実施した。津波による瓦礫等の影響や高い放射線環境という極めて厳しい状況下における作業であったことから、その作業には時間を要し、12日には原子炉建屋上部で水素爆発が発生するに至った。

2号機、3号機については、津波到達後、電源を喪失したものの、高圧注水系がしばらく機能していた。その

間に原子炉への代替注水や格納容器ベントの準備作業を進めていたが、他号機の水素爆発の影響を受け、作業のやり直しが発生したり、高圧注水系から低圧注水系に移行する際の主蒸気逃がし安全弁による減圧操作に時間を要したこと等により、原子炉の冷却が一時不能になり、炉心損傷を回避することができなかった。

ただし、遅れたとはいえ、その後、原子炉への注水を達成したことにより、事故のさらなる悪化の防止には一定の貢献をしたと評価している。

5. 水素爆発の要因等

上述のように、水素爆発の発生が事故の対応を一段と困難にするとともに、事故の連鎖を引き起こした。水素爆発発生要因は以下のように評価している。

1号機については、炉心損傷に伴い水蒸気とジルコニウムの反応による水素が発生し、格納容器内に滞留、その水素が原子炉建屋に漏えいして爆発に至った。格納容器内は窒素による不活性化が機能し爆発しなかったが、原子炉建屋内での水素爆発までは想定できなかった。3号機については、1号機の爆発を受け、原子炉建屋上部から水素を排気する工事の準備を進めていたが、間に合わなかった。

4号機については、地震時停止中であったが、隣接する3号機のベント時に水素ガスが非常用ガス処理系配管を通じて回り込んで滞留し、爆発したものと評価している。(第3図参照)

2号機については、建屋最上階のプロアウトパネルが1号機の爆発の際に開放されたことにより、建屋内の換気が促進され、爆発に至らなかったと推定している。

6. 使用済燃料プールの状況

使用済燃料プールは、1, 3, 4号機の原子炉建屋で水素爆発があったものの、コンクリートポンプ車等による注水(1, 3, 4号機)や燃料プール冷却浄化系を用いての注水、冷却(1~4号機)を達成した。

中でも、4号機はすべての燃料が使用済燃料プールに保管されている中で爆発があったが、ヘリにより水位を確認、その後、コンクリートポンプ車等による注水を実施し、燃料より上部に水位を確保できていたこと、また、プール水の核種分析の結果からも、プール自体に損傷はないと考えられる。

Ⅲ. 事故の教訓と今後の安全のあり方

1. 事故の分析と課題の抽出

今回の福島第一の事故は、津波による浸水を起因として、多重の安全機能を同時に、それも複数号機で喪失したことによって発生した。

また、アクシデントマネジメント策として期待していた設備についても、津波による全電源喪失により、ほぼ全ての設備が機能を喪失するという、その取組の前提を大きく外れる事態となった。

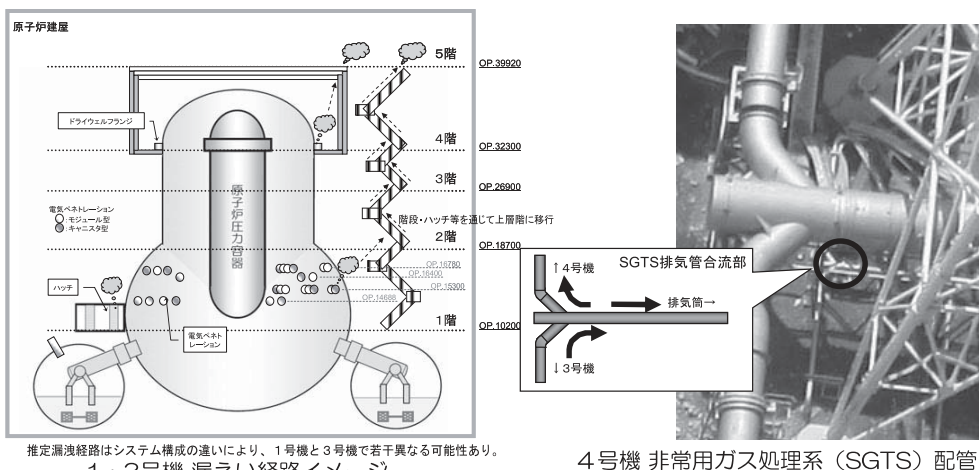
このように、「長時間に及ぶ全交流電源と直流電源の同時喪失」と「長時間に及ぶ非常用海水系の除熱機能の喪失」が最も重大な問題点として抽出された。(第4図参照)

そのため、臨機の応用動作として、さまざまな操作や復旧作業を実施したが、今回の事故があらかじめ準備していた対策の前提を外れたこと、また、現場の作業環境が極めて厳しい状況であったことから、実施にあたっては多くの困難に遭遇し、時間も要した。

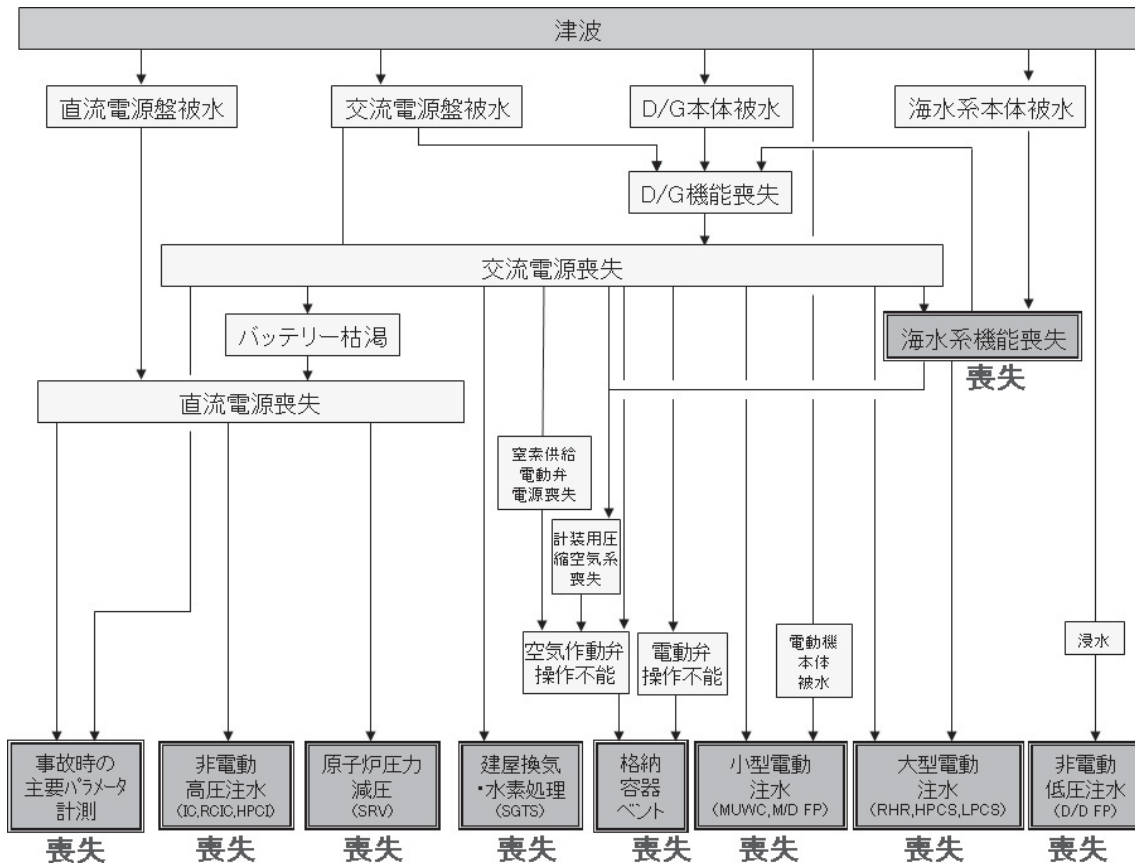
地震や津波との複合災害の特性として、短時間に外部からの支援を受けがたい状況であったことも対応を困難にした。

このように、設計基準事象を超え、想定したシビアアクシデントも超える事故に対する備え(ハードもソフトも)が結果として十分でなかったことが、事故の拡大を防止できなかった要因であり、今回の事故の大きな教訓と考えている。

このため、環境条件が悪い場合でも、炉心の注水・冷却が切れることなく確実に実行できるように、以下が達成すべき事項である。



第3図 水素爆発の要因



第4図 重要な機能喪失に至った要因

- (1) 速やかに高圧注水設備による注水手段を確保すること
- (2) 高圧注水機能を喪失する前に減圧手段を確保すること
- (3) 減圧段階では、安定した低圧の注水手段を確保できていること
- (4) 確実な格納容器ベント手段(熱の大気放出による除熱)を確保すること
- (5) 海水による冷却機能の復旧手段を確保すること
- (6) 以上の操作および状態監視に必要な計測ができる手段を確保すること

2. 事故の教訓を踏まえた今後の対応方針

前述の事故原因と抽出された課題を踏まえて、対応の方針を以下のように整理した。

・方針1：徹底した津波対策

津波による非常用電源等の喪失を防止するために、原子炉建屋を中心に、内部への浸水防止対策を行う。加えて、原子炉建屋内部の安全上重要な機器が設置されているエリア各々に対して浸水防止対策を行う。

・方針2：柔軟な対策による機能確保

全電源喪失や最終ヒートシンクの喪失が発生した場合でも、燃料損傷を防止するため、敷地内の高所に配備した資機材を機動的に用いて電源や最終ヒートシンクを回復する。また、この対応のための手順を整備し

訓練を行う。

・方針3：炉心損傷後の影響緩和策

万一、燃料損傷が生じた際にも、その影響が周辺に拡大することを抑制するため、水素爆発の防止や放射性物質の放出低減の方策を講ずる。

・その他：インフラ、サポート体制の強化

事故対応を行うために必要な計測・制御設備の強化や緊急時体制の強化、緊急時用資機材の配備等を行う。

3. 安全対策の具体例

上述の対応方針に従った対策の具体例を以下に示す。

(1) 徹底した津波対策

①敷地内への浸水、津波の衝撃回避防止対策

- ・高さ海拔15mの防潮堤(堤防)の設置

②建屋内への浸水防止対策

- ・原子炉建屋への防潮壁、防潮板の設置
- ・建屋外壁扉等の水密化
- ・配管等の貫通部の止水

③建屋内重要機器室への浸水防止対策

- ・非常用電気品室など、重要機器室扉の水密化

(2) 柔軟な対策による機能確保

全電源喪失や最終ヒートシンク喪失時の燃料破損防止のための柔軟な対策例は以下に示す。

①高圧注水設備(1時間以内に必要)

事故当初、原子炉圧力が高い時期に重要な蒸気駆動

の高圧注水設備である原子炉隔離時冷却系に対する柔軟な対策として、手動起動手順の確立、直流電源確保のための電源車等を配備

②減圧装置(4～8時間以内に必要)

減圧のための主蒸気逃がし安全弁の駆動用に、N₂、電源確保が必要であり、柔軟な対策として、予備ポンペ、可搬式バッテリーを配備

③低圧注水設備(4～8時間以内に必要)

ディーゼル駆動消火ポンプの確実な起動、さらには、消防車の配備及び連結通水ラインの設置、海水使用の手順化

④除熱・冷却設備

a. 格納容器ベント(1～2日以内に必要)

ベントに必要な電動弁、空気作動弁の開操作の柔軟な対策として、電源車、可搬式発電機、可搬式バッテリー等の配備及び可搬式空気圧縮機またはポンペの配備、並びに手動で開操作できる構造変更

b. 停止時冷却モードによる除熱(3～7日以内に必要)

電源の確保とともに、代替ポンプや可搬式熱交換器設備を配備

c. 使用済燃料プールの除熱

柔軟な対策としては、消防車の配備、消火配管の活用、また、計測設備による監視が重要

⑤監視計器の電源確保(1時間以内に必要)

可搬式バッテリー、電源車及び可搬式充電器を配備

(3) 炉心損傷後の影響緩和策

①水素滞留の防止

原子炉建屋の換気促進のため、建屋屋上への穴を開ける措置(トップベント)やブローアウトパネルを開放する措置の設備・手順の確立

②放射性物質の放出抑制

水を通した圧力抑制室ベントの確実な実施及び消防車等による格納容器への注水手順の準備

(4) インフラ、サポート体制の強化

- ・変電設備の耐震性向上策の検討や送電系の信頼性向上等外部電源の強化
- ・瓦礫撤去手段の整備
- ・通信手段の確保

・照明設備の確保

・装備品や放射線管理に必要な資機材の配備

(5) その他の中長期的技術検討課題

・非常用復水器が直流電源喪失により隔離され、冷却機能喪失したことを踏まえ、隔離信号のあり方について整理・検討

・格納容器ベントの信頼性を向上させるため、ラプチャーディスクを積極的に作動させる方策を検討

・放射性物質の放出低減のため、フィルタを介してのベント設計を検討

・今回の事故時に水位計が大きく実際と異なって指示をしていた事例を踏まえ、事故時に必要な計測装置を研究・開発

IV. まとめ

福島第一の事故を起こした当事者として、体験したこと、集約したデータ等を基に、教訓を得るべく努め、これまでに整理できた調査事実の提示や炉心損傷を未然防止するための対策を中心に取りまとめた。これらについては、当社原子力プラントにおいて着実に具体化するが、国内外の原子力発電所の安全性向上にも活用していただきたいと考えている。今後、引き続き徹底した調査・検証を継続し、そこから教訓をくみ取り、報告していく。

最後に、福島原子力事故に対して、ご支援・ご協力をいただいている政府、関係諸機関、メーカー等の皆さまに感謝の意を表したい。

—参考資料—

- 1) 福島原子力事故調査委員会、福島原子力事故調査報告書(中間報告書)、東京電力、2012年12月2日。
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/111202_c.pdf

著者紹介



福田俊彦(ふくだ・としひこ)
東京電力株
(専門分野/関心分野)原子力発電所の建設、保守、運営管理、品質マネジメントシステム、耐震・構造工学

事故時の対応とプラントの挙動

東京電力(株) 宮田 浩一

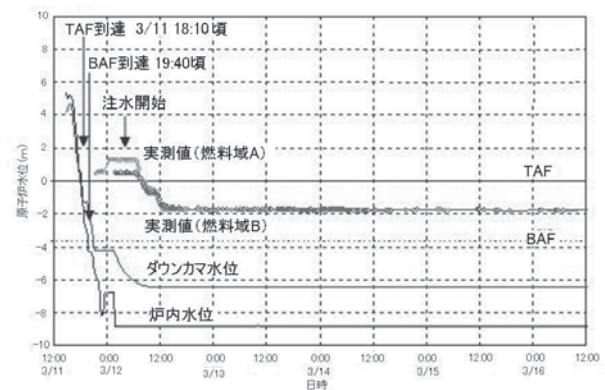
福島第一原子力発電所は、2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震の影響で外部電源が喪失したものの、原子炉は緊急停止し、非常用ディーゼル発電機により電源を確保し、原子炉の冷却を維持した。その後、15時27分に第一波の津波を観測して以降、設計上考慮していた津波を大幅に上回る津波が押し寄せ、冷やす・閉じ込めるに関するほぼ全ての安全機能を喪失し、その結果、1～3号機で炉心が損傷し、1, 3, 4号機で水素爆発が生じ、また使用済み燃料プール(SFP)の冷却も失われたため、外部からの注水等を実施した。1, 3号機はサブプレッションチェンバー(S/C)からのベントにより原子炉格納容器(PCV)の減圧ができたため、放射性物質(FP)の放出の抑制に成功したが、2号機のS/Cベントは成功しなかった。

I. 1号機

地震の揺れにより、原子炉は緊急停止し、外部電源が喪失した影響で、主蒸気隔離弁が閉止し、原子炉が隔離された状態となった。この状態で、原子炉圧力が上昇し、原子炉圧力高の信号を受けて非常用復水器(IC)が自動起動し、その後、原子炉圧力容器(RPV)の温度低下率が適正な範囲となるよう運転員が手動で起動・停止操作を実施し、原子炉水位を維持していた。

11日15時30分に前後して津波が襲来し、設計基準を大幅に超える津波であったことから、電源供給の動脈にあたる電源盤を含め、電源設備全般が使用不能となり、交流だけでなく直流も含めた全電源が喪失した。全電源の喪失に備えて、隣接プラントからの電源融通手段(高圧、低圧)をアクシデントマネジメント策(AM策)として整備していたが、隣接プラントの電源も喪失し、かつ、電源盤の機能も失われていたため、短時間での電源復旧は不可能な状態となった。このとき、津波の影響でほとんどの安全機能を有する設備が使用不能となっていたが、プラント設備の状態を把握することは極めて困難な状態にあり、またプラント状態の把握のための計装設備も使用できなくなったことから、何ができるか、何をなすべきか、といったことすら分からない状態に陥っていた。

全交流電源喪失時には、ICにて原子炉水位を維持する手順としていたが、ICが機能せず、また、そのような場合に手順として用意されている低圧ポンプによる原子炉注水のための原子炉減圧もできない状態となっており、炉心水位が低下し(第1図)、炉心損傷に至った。18時過ぎに、直流電源が一時的に戻った際にICを作動さ



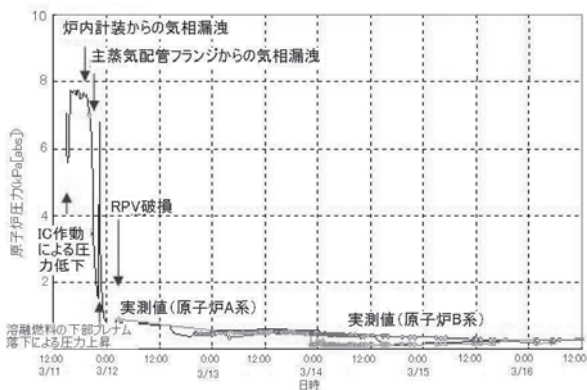
第1図 原子炉水位の測定値と解析結果(1号)

せたが、解析上では既に水位が有効燃料頂部(TAF)を下回っており、また、ICの効果も限定的であった。11日21時過ぎに、原子炉水位が確認できるようになり、TAF以上の指示となっていたが、後日の調査により、このとき既に水位計が誤指示を出していたと推定している。

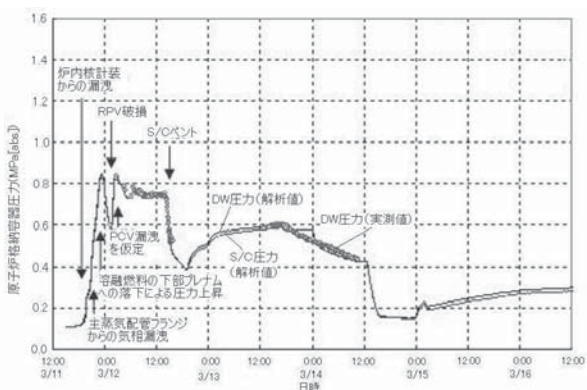
原子炉圧力は、11日20時過ぎに約6.9 MPa[gage]であることが分かったが、次に測定できた12日3時前には約0.8 MPa[gage]となっていた(第2図)。

MAAPコードによる解析によれば、12日2時前にはRPVが損傷し、溶融した炉心のほぼ全量がRPV下部のペデスタル領域に落下している。この間、逃し安全弁(SRV)の操作はしていないが、炉心損傷の影響で、核計装配管の損傷や主蒸気管フランジ部からの漏洩などが生じ、RPV破損に先立ち、原子炉圧力が低下したものと推定している。

一方、ドライウェル(DW)圧力は、12日0時頃に初めて指示が得られ、事故の状態を考慮しても過大と考えられる600 kPa[abs](最高使用圧力427 kPa[gage])を示した(第3図)。その後、DW圧力は840 kPa[abs]まで上昇し、上記の原子炉圧力の値と比較すると、その時点で



第2図 原子炉圧力の測定値と解析結果(1号)

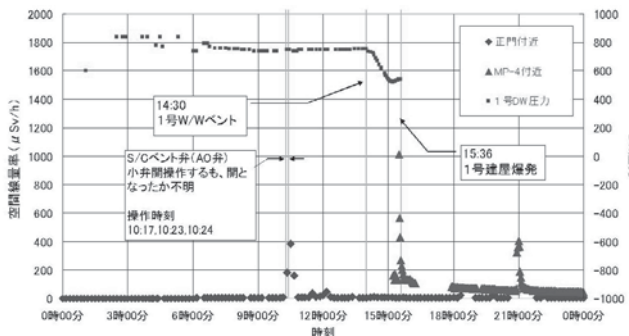


第3図 DW圧力の測定値と解析結果(1号)

RPV と DW とは均圧していたものと考えられる。

消防車による注水ができたのは12日4時頃であり、炉心が損傷した後ではあるものの、ペDESTALに落下した溶融炉心とコンクリートとの反応(MCCI)の進展は抑制でき、コンクリート浸食は約70 cm と評価している。

DW 圧力が600 kPa[abs]であることが分かって以降、S/C バント操作に入り、全電源が喪失していたことにより現場操作を余儀なくされ、作業が難航したが、周辺住民の避難終了を確認後、12日10時過ぎに小弁操作を実施し正門付近の線量が一時的に上昇した(第4図)。12日14時過ぎに大弁を操作し、この段階でDW 圧力が低下し、バントに成功したが、正門付近の線量は上昇していない。なお、当時の風向を考慮した場合、当該バント等によるFPの拡散経路上では、周辺と比べて相対的に線量



第4図 DW圧力とモニタリングデータ(12日)

が高くなっている部分は見当たらない。

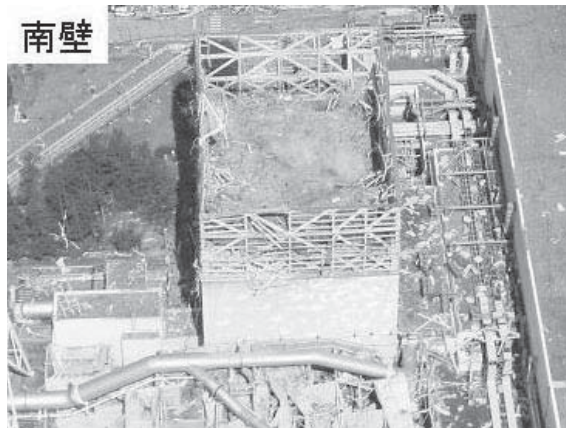
12日15時過ぎに原子炉建屋が爆発し、当初、原因が直ぐには判明しなかったが、炉心損傷に伴う水—金属反応で生じた水素が原子炉建屋に漏洩し、これが爆発したものと推定した。1号機の爆発は、原子炉建屋オペレーティングフロアの壁が横方向に抜ける形となり、天井部分はそのままオペレーティングフロアに落下したため、外観上は床が見えない状態となっている(第5図)。これは、1号機のオペレーティングフロア壁の構造が鉄骨構造であり、爆発による過圧で早い段階で損傷し、爆圧が直ぐに抜けたことで生じたものと考えられる。

PCV から水素が漏洩する経路としては、ベント—非常用ガス処理系(SGTS)ラインの逆流の可能性を完全には否定できないが、電源喪失時閉の流量調整ダンパがあること、それにもかかわらず原子炉建屋が著しく汚染していること、PCV ヘッドフランジのシールは漏洩ポテンシャルが高いことから、このシール部から漏洩したものが支配的と考えている。

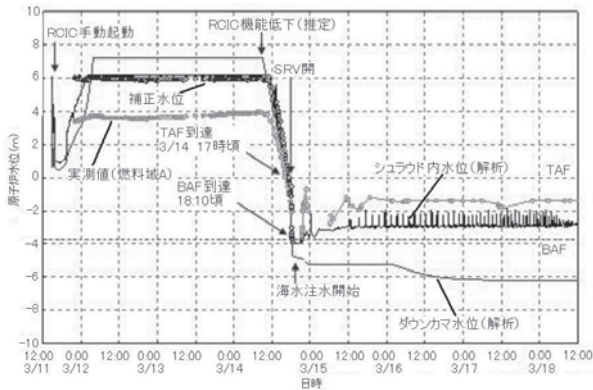
Ⅱ. 2号機

地震の揺れにより、原子炉は緊急停止し、1号機と同様に原子炉が隔離された状態となった。運転員は手順に従い原子炉隔離時冷却系(RCIC)を手動起動することで原子炉水位を確保し、原子炉圧力はSRVの自動開閉により安定的に維持されていた。原子炉水位高(L8)でRCICが自動停止したが、12日15時39分に手動で再起動した。

津波により直流電源を含む全電源が喪失し、プラントパラメータの監視ができず、RCICの制御もできなくなったが、津波による影響が出る前にRCICを再起動したことから、その後、約3日間にわたりRCICにより原子炉水位を維持できていた(第6図)。この間のRCICの運転状態については、電源喪失していることでRCICがL8でトリップせず、原子炉水位が主蒸気管付近まで上昇していることから、RCICタービンが二相流で駆動されていたものと推定している。このような運転状態



第5図 爆発後の原子炉建屋(1号)

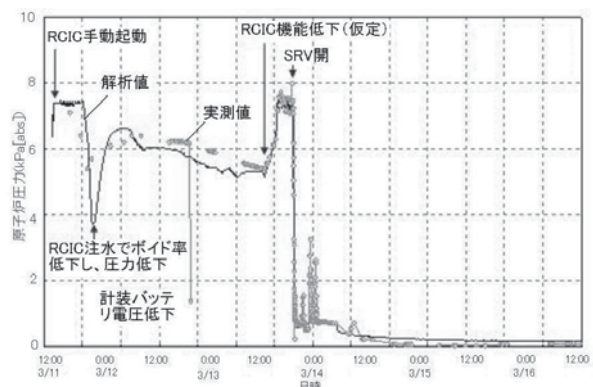


第6図 原子炉水位の測定値と解析結果(2号)

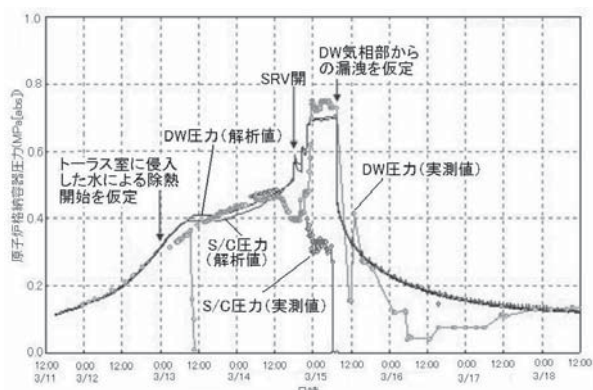
は、単位体積当たりのエンタルピーが高い冷却材が流出することになるので、これを仮定することで、原子炉圧力が低めに維持されたことを説明できる(第7図)。

また、この間、DW圧力が通常予想される圧力より低く推移したが、類似プラントである4号機では、S/C外側のトラスルームに津波によるものと思われる水位が形成されていることを踏まえ、2号機でも津波により海水がトラスルームに進入したことを模擬し、S/Cからの除熱に寄与したとの評価を実施したところ、実機のDW圧力の挙動を再現できた(第8図)。

14日13時頃には原子炉水位が低下したため、RCICによる注水が停止したと判断しており、自動車のバッテリーを用いてSRVにより減圧し、消防車による注水を



第7図 原子炉圧力の測定値と解析結果(2号)



第8図 DW圧力の測定値と解析結果(2号)

開始したが、注水が十分ではなく、炉心が損傷した。

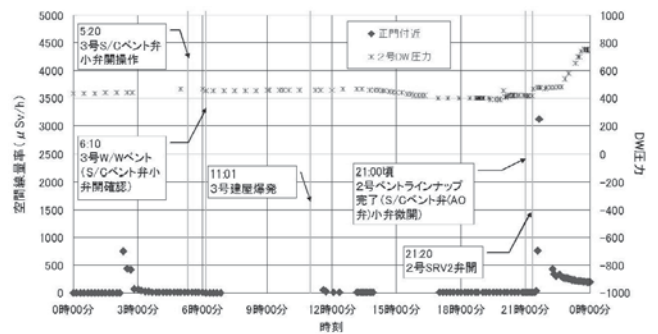
炉心損傷以降、炉心部分での水—金属反応による水素が発生し、DW圧力が上昇しているが、14日21時過ぎにS/Cベント小弁の操作を実施したところ、正門付近の線量が一時的に上昇した(第9図)。ただし、この操作でラプチャーディスクが開放したか否かは不明である。

15日6時過ぎに、衝撃音が確認され、同時期に2号機のS/Cの圧力が絶対圧でゼロ(真空)を示したことで、2号機のS/Cが大きく破損した可能性が指摘されていた。しかしながら、地震計の記録から、同時帯の衝撃音は4号機の原子炉建屋爆発起因であることがわかり、また、2号機のDW圧力は15日7時20分に730 kPa[abs]を指示していたこと、14日夕刻からDW-S/Cの圧力に、物理的には考えにくい乖離が見られていたことから、S/Cの圧力計の指示が不良である可能性が高いと見ている。15日7時以降、特段の操作はないものの、DW圧力が大幅に低下し、正門付近の線量が大きく上昇したことから(第10図)、この段階以降で大量のFPの放出があったものと推定している。

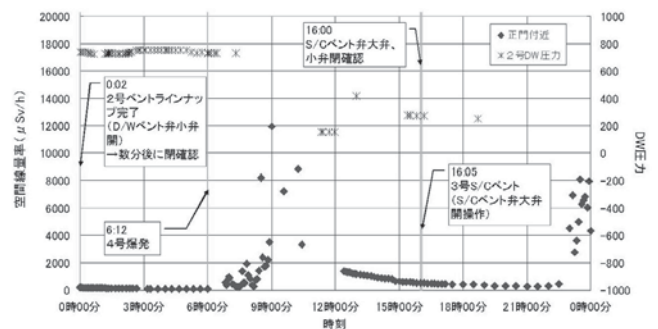
なお、1,3号機と異なり、2号機で水素爆発は発生していないが、これは、原子炉建屋オペレーティングフロアのブローアウトパネルが1号機の爆発の影響で開放していたことで、原子炉建屋に漏洩してきた水素が換気されたことによるものと考えられる。

Ⅲ. 3号機

地震の揺れにより、原子炉は緊急停止し、他号機と同様に原子炉が隔離された状態となった。運転員は手順に



第9図 DW圧力とモニタリングデータ(14日)



第10図 DW圧力とモニタリングデータ(15日)

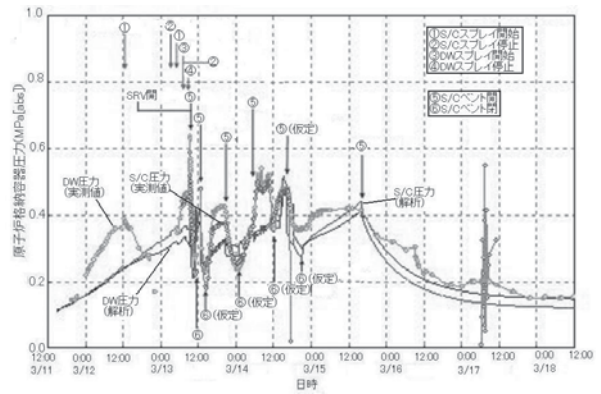
従い RCIC を手動起動することで原子炉水位を確保し、原子炉圧力は SRV の自動開閉により安定的に維持されていた。

津波により全交流電源が喪失したが、直流電源が残存していたことから、プラントパラメータを監視しながら RCIC、高圧注水系(HPCI)により原子炉水位を維持した(第11図)。RCIC 停止後、HPCI が水位低(L2)で自動起動して以降、原子炉圧力が約 1 MPa 程度に低下していたが(第12図)、これは、原子炉水位を安定的に維持するため、運転員が HPCI の運転を止めないよう操作したため、HPCI タービンへの駆動用蒸気が継続的に供給されたことで生じたものである。

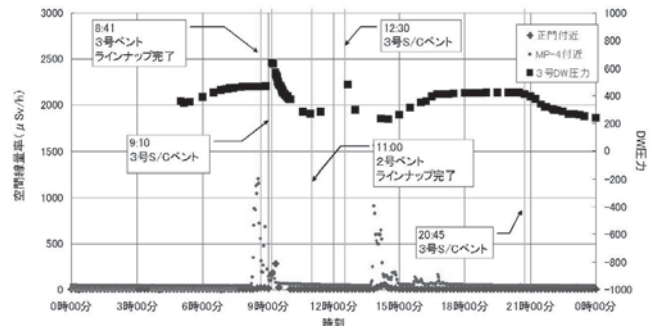
13日 3 時頃、HPCI の停止に伴い、原子炉水位が低下したため、2 号機と同様、SRV により減圧し、消防車による注水を開始したが、注水が十分ではなく、炉心が損傷した。

DW 圧力が最高使用圧力を超えたため、PCV の損傷を回避すべく S/C ベントを複数回実施した。この間は DW 圧力の上昇を繰り返していることから(第13図)、格納容器の損傷はないか、限定的であったと考えられる。

なお、1 回目のベント時には、直接線等により正門付近のモニタリング値が一時的に上昇したものの(第14図)、2 回目以降のベント時にはモニタリング値の有意な上昇はみられず、また、放出された FP の拡散経路上では、周辺と比べて相対的に線量が高くなっている部分



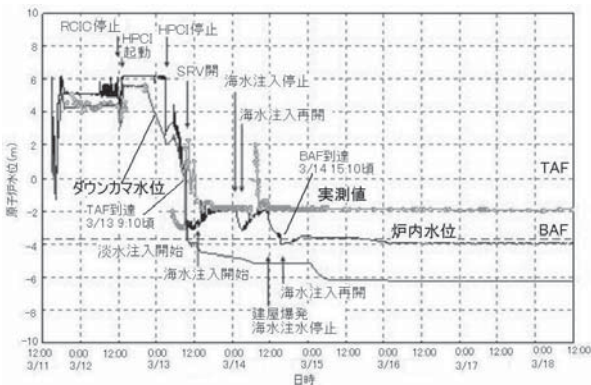
第13図 DW圧力の測定値と解析結果(3号)



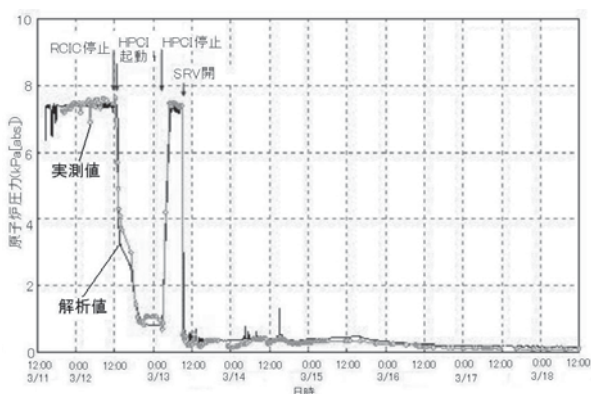
第14図 DW圧力とモニタリングデータ(13日)

は見当たらない。

1 号機での爆発を受け、3 号機での爆発を回避するため、高い放射線環境や火花発生回避など、厳しい作業環境のもとにブローアウトパネルの開放などの準備を進めていたが、14日11時過ぎに原子炉建屋が爆発した(第15図)。1 号機と同様、炉心損傷に伴う水—金属反応で生じた水素が原子炉建屋に漏洩し、これが爆発したものと推定した。水素が漏洩する経路も 1 号機と同様と考えており、SGTS チャコールフィルタの線量調査の結果(第16図)からも、線量が比較的小さいことから、逆流の影響は小さかったものと考えている。



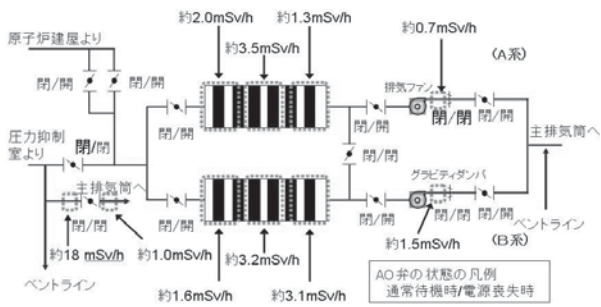
第11図 原子炉水位の測定値と解析結果(3号)



第12図 原子炉圧力の測定値と解析結果(3号)



第15図 爆発後の原子炉建屋(3号)



第16図 SGTS線量測定結果(3号)

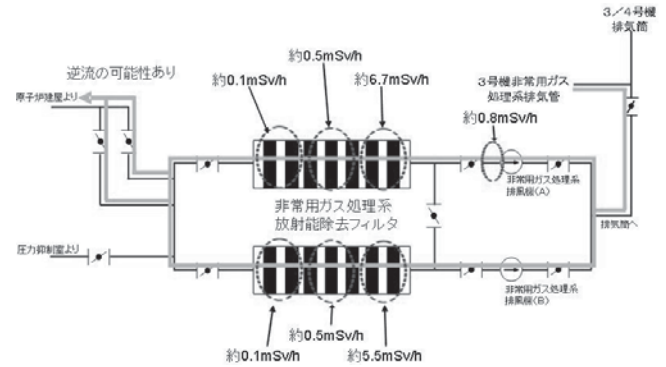
Ⅲ. 4号機

4号機は定検停止中であり、全燃料がSFPにある状態で、津波により直流電源を含む全電源が喪失し、プール水温が上昇していった。他のSFPに比べて相対的に崩壊熱が大きく、当初、プール水位の低下により3月下旬には燃料が露出していくことが懸念される中、3月15日6時過ぎに建屋が爆発した(第17図)。懸念された水位に関しては、16日にヘリコプターで上空から目視したところ、水面が確認でき、燃料が露出していないことがわかった。後日の調査で、プールゲートが開き、原子炉ウェル(当時満水)から水が流入したことで、燃料の冷却に寄与し得る水量が増加したと評価した。その結果、水位低下の進行は緩やかになったと考えられる。20日以降、SFPへの放水、さらには注水を開始したことで、SFPの水位を維持することができた。また、4月以降、複数回のSFP水サンプリングを実施しており、いずれの結果からも燃料の大幅な損傷を示すデータは認められていない。

4号機の炉心には燃料がなく、上述のようにSFPでも燃料が過熱するようなことはなかったものの、水素爆



第17図 爆発後の原子炉建屋(4号)



第18図 SGTS線量測定結果(4号)

発が発生した。この水素は、SGTS チャコールフィルタの線量調査の結果(第18図)から、フィルタトレインの出口側の線量が高いことから、3号機ベント流が流入したと推定した。また、原子炉建屋内の爆発状況の調査結果から、5階床面が上方に向かって変形していることや4階のダクトが散り散りになっていたこと等から、4階のダクトが爆発源になっていたと推定している。

—参考資料—

- 1) 福島原子力事故調査報告書(中間報告書), 平成23年12月2日, 東京電力(株).
http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu11_j/images/111202_c.pdf
- 2) 福島第一原子力発電所1～3号機の炉心状態について, 平成23年11月30日, 東京電力(株).
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_09-j.pdf
- 3) 福島第一原子力発電所3号機非常用ガス処理系線量測定および弁状態確認結果, 平成23年12月26日, 東京電力(株).
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_111226_01-j.pdf
- 4) MAAPコードによる炉心・格納容器の状態の推定, 平成24年3月12日, 東京電力(株).
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/images/handouts_120312_02-j.pdf

著者紹介



宮田浩一(みやた・こういち)
東京電力(株)
(専門分野)原子力安全設計・評価

事故後の取組みと今後の中長期計画

東京電力(株) 山下 和彦

福島第一原子力発電所の事故以来、当社は政府等関係者の協力のもと、収束に全力を挙げて取り組んできた。その中で、2011年4月17日に事故の収束に向けた当面の道筋を取りまとめ、収束に向けた数多くの作業は全てこの道筋に則り行った。本稿では、その活動の概要及び、現在中長期ロードマップに基づいて行っている廃炉へ向けた取組みについて紹介する。

I. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原子力発電所に於ける事故により、福島県の皆様をはじめ広く社会の皆様に対し、大変なご迷惑、ご苦労、ご心配をお掛けしていることを、誠に申し訳なく思っている。

私たちは、避難されている方々の1日も早いご帰宅を実現するとともに、国民の皆様にご安心していただけるよう、原子炉の安定的な冷却の維持や放射性物質の放出抑制に向け、引き続き全力で取り組んでいく。

福島第一原子力発電所の事故後、当社及び政府・協力企業は、原子炉や燃料プールの注水冷却、電源復旧等の緊急事態対応に注力してきた。

関係者の懸命の努力により、7月19日には「事故の収束に向けた道筋」のステップ1を達成した。さらに、12月16日には原子炉は「冷温停止状態」となり、「放射性物質の放出が管理され、放射線量が大幅に抑えられている状態」(ステップ2)に到達と判断した。

現在は、「東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」(以下「中長期ロードマップ」)に基づき、原子炉の廃止に向けた種々の取組みを行っている。

II. 事故後の取組み

以下の課題ごとの目標を達成することで、ステップ2の達成を確認した。

【課題1：原子炉】「冷温停止状態」に到達

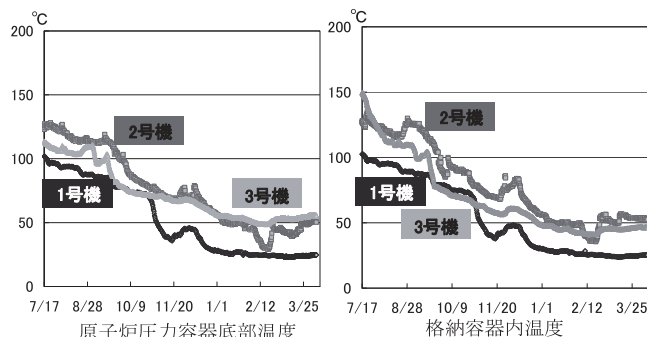
- (1) 損傷した燃料が压力容器及び格納容器内のどこに存在しているかを正確に把握することは難しいが、原子炉压力容器底部温度および格納容器内温度は100℃以下で安定(第1図)。
- (2) 格納容器内を冷却し、蒸気発生を抑えることで、格納容器からの放射性物質の放出は管理され、放射

線量が大幅に抑えられている(第2図)。これによる敷地境界の被ばく線量は、最大0.02 mSv/年と評価(これまでに既に放出された放射性物質の影響を除く)。

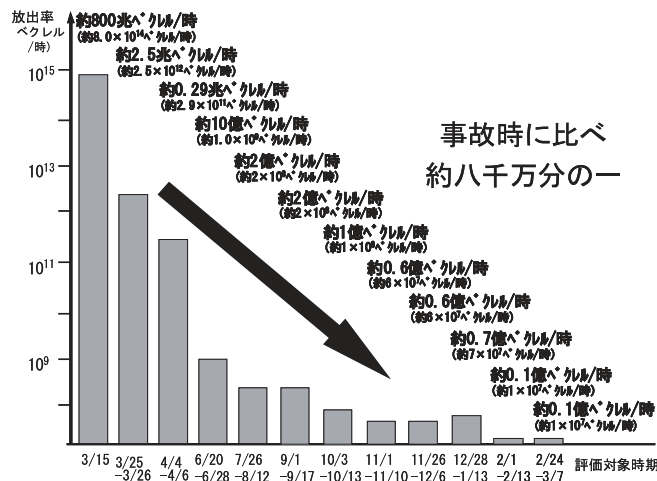
(3) 循環注水冷却システムの中期的安全が確保されていることを確認。

【課題2：燃料プール】「より安定的な冷却」に到達

- (1) 「使用済み燃料プール循環冷却システム」を設置し、安定的な冷却を継続。(1号機：2011年8月10日～、2号機：5月31日～、3号機：6月30日～、4号機：7月31日～)



第1図 压力容器底部温度及び格納容器内温度の推移



第2図 1～3号機からの放射性物質(セシウム)の1時間当たりの放出量

Fukushima Daiichi: Post Accident Countermeasures and Mid-and-long-Term Action Plan: Kazuhiko YAMASHITA. (2012年 4月10日 受理)

(2) 腐食防止のため、塩分除去も順次実施。

【課題3：滞留水】 処理施設を安定的に稼働させて「滞留水全体量を減少」

(1) 滞留水処理施設の安定的稼働・処理により、滞留水全体量を制御。

- ・地下水(サブドレン)汲み上げによる、建屋内流入水量の低減策を実施予定。
- ・多核種除去設備^aの設置工事中。
- ・処理工程で発生したスラッジや濃縮廃液等の保管・管理の継続(タンク約17.5万トン(2012年4月6日現在)、更なる設置を計画中)。

(2) サリー本格運用開始(2011年8月18日)に伴い、滞留水の水位は当面の目標レベル(OP 3,000^b)を維持し、滞留水の全体量は、豪雨や処理施設の長期停止(約1ヶ月)にも耐えられるレベル(第3図)。現在、循環ルートの縮小等について検討中。

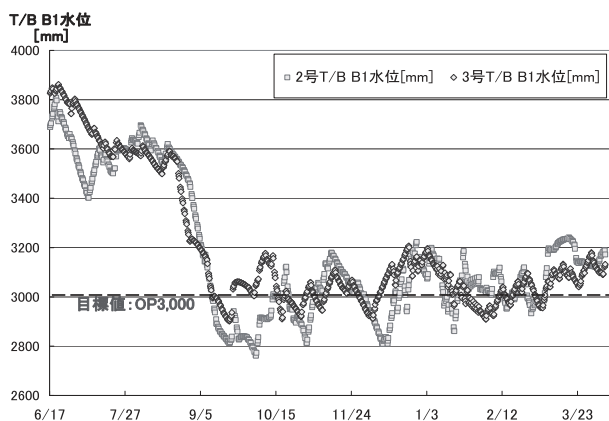
【課題4：地下水】 海洋汚染拡大防止のため、遮水壁工事に着手

(1) 1～4号機の既設護岸の前面に遮水壁を設置する工事に着手(万一の大規模漏えいにより、地下水が汚染した場合の海洋放出防止を図る)(第4図)。

(2) 建屋内滞留水の水位をサブドレン(地下水)の水位より低くすることにより、建屋内滞留水の漏出を防止(サブドレンの放射性物質濃度分析で確認)。

【課題5：大気・土壌】 放射性物質の飛散抑制のため、1号機原子炉建屋カバーを設置

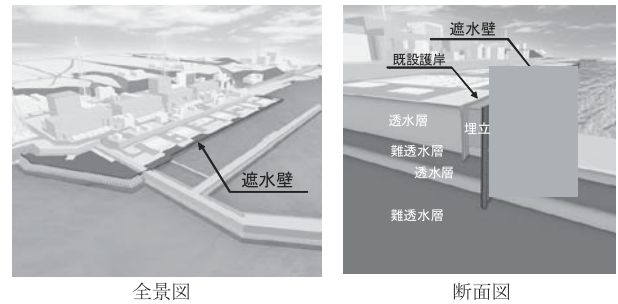
- (1) 1号機の原子炉建屋カバーを設置(2011年10月28日)。
- (2) 放射性物質の飛散を防ぐため、飛散防止剤を散布。
- (3) 瓦礫の撤去及び放射線量に応じた保管・管理により、発電所敷地内の放射線量を低減。



第3図 タービン建屋(T/B)内滞留水量の管理

^a 既設設備(主にセシウムを除去)で除去できない核種の除去設備)

^b 福島県小名浜地方の平均潮位を“0”とし、高さを表す単位。OP 3,000とは、平均潮位より3,000 mm上であることを示している。



第4図 遮水壁イメージ

- (4) 格納容器ガス管理システムを設置。
 - ・格納容器内圧力を大気圧程度に維持し、放射性物質の放出量を管理。
 - ・1号機：2011年12月15日、2号機：10月28日、3号機：2012年3月14日

【課題6：測定・低減・公表】 特措法に基づく基本方針閣議決定により、本格的除染開始

(1) 国・県・市町村・東京電力連携によるモニタリングを実施。

(2) 本格的除染を検討、開始。

(国の実施事項)

・「除染推進に向けた基本的考え方」と今後2年間に目指すべき当面の目標、作業方針について示す「除染に関する緊急実施方針」を決定。

・「2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」公布(2011年8月30日)。

(東京電力が参画している活動)

・広域モニタリング等の結果を通じて得た成果や東京電力の知見を基礎に、国が警戒区域などで実施する除染モデル実証事業が円滑に実施されるよう、本事業の受託者である日本原子力研究開発機構(JAEA)に協力(出向など)。

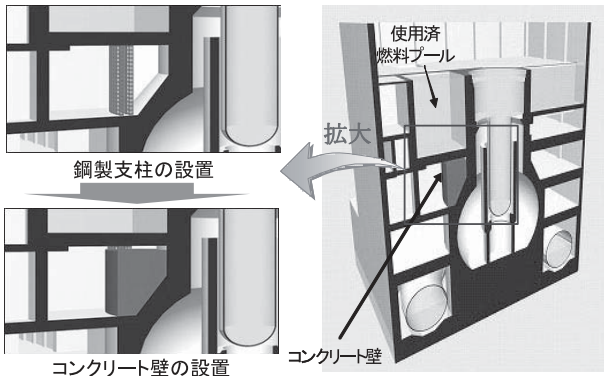
【課題7：津波・補強・他】 全号機の原子炉建屋の耐震安全性評価を完了、4号機の支持構造物設置完了

(1) 各号機原子炉建屋の現状の耐震評価により、補強しなくとも耐震安全性を確保できることを確認。

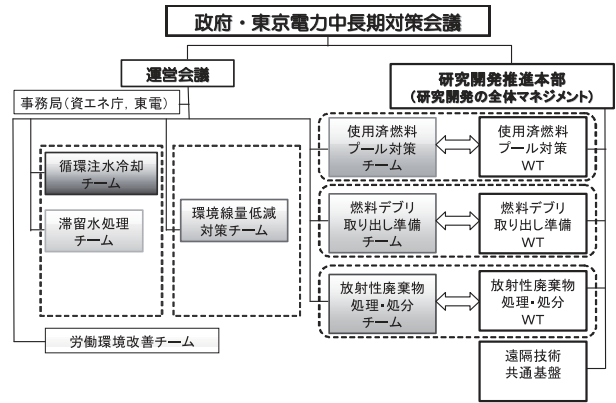
(2) 設備の健全性は確認できたが、安全余裕向上のために4号機燃料プール底部に支持構造物を設置(第5図)。

(3) 4号機原子炉建屋が傾いているのではないかとの情報が流れたことから、改めて原子炉建屋5階床面から原子炉ウェル水面までの水位測定を実施し、床面と原子炉ウェル水位は水平であり、4号機原子炉建屋は傾いていないことを確認。

(4) 余震に伴う津波対策として仮設防潮堤を設置(OP + 14 m)(2011年6月30日)。



第5図 4号機燃料プール底部支持構造物設置



第6図 運営会議体制

- 【課題8：生活・職場環境】 仮設寮建設・現場休憩所開設により生活・職場環境を改善
- 【課題9：放射線管理・医療】 放射線管理強化や医療体制整備等により健康管理を充実
- 【課題10：要員育成・配置】 要員育成を継続、要員の安定的確保策を継続検討

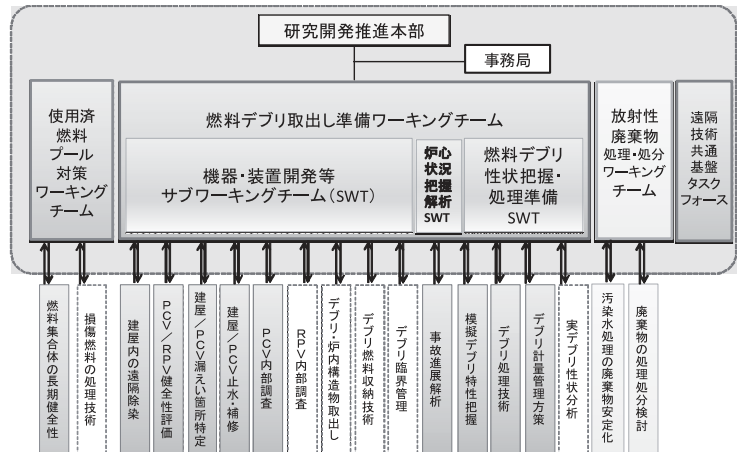
- (2) 設備の信頼性向上等を継続し、継続的に設備改善を実施。循環ループ縮小についても段階的に実施。
- (3) 現行滞留水処理施設では除去が困難なセシウム以外の放射性物質を除去する多核種除去設備を2012年内に導入予定。
- (4) 第2期中には、タービン建屋/原子炉建屋間止水、格納容器下部補修を実現後、建屋内滞留水処理を完了。原子炉冷却はより安定的な冷却となる小循環

Ⅲ. 今後の中長期計画

1. 廃炉への取組み体制

政府の協力に基づき「政府・東京電力中長期対策会議/運営会議および研究開発推進本部」を設立。上記会議の場にて中長期計画の進捗管理を行う。

- ・運営会議： 中長期ロードマップにおける個別の各計画の進捗管理を実施(第6図)。
- ・研究開発推進本部： 中長期ロードマップを実施するために必要な各研究開発プロジェクトの進捗管理を実施。12テーマの研究開発が進行中(合計18テーマを計画)(第7図)。



第7図 研究開発推進本部体制

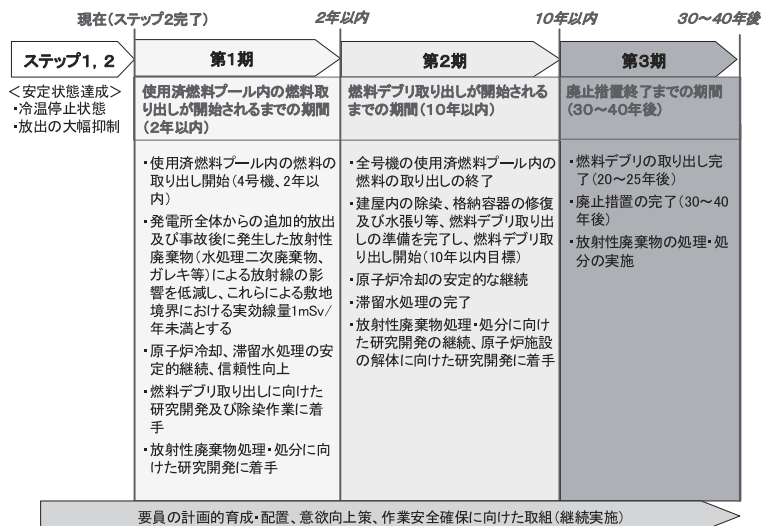
2. 中長期ロードマップ

中長期ロードマップでは、廃止措置終了までの期間を3つに区分し、今後実施する主要な現場作業や研究開発等のスケジュールを可能な限り明示した(第8図)。

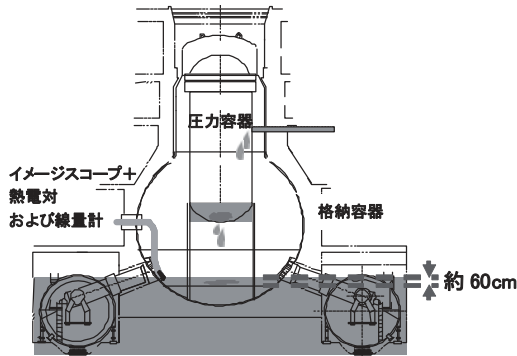
その中で、至近3年間については年度ごとに展開し、可能な限り時期的目標を設定。さらに4年目以降については、次工程へ進む前に追加の研究開発等を検討するための判断ポイントを設定した。

【原子炉の冷却・滞留水処理】

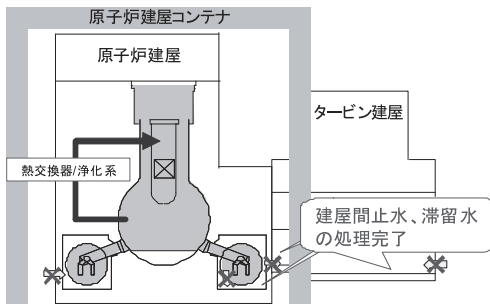
- (1) 燃料デブリ取り出し終了までは循環注水冷却を継続し、冷温停止状態を安定的に維持。さらに冷温停止状態の継続監視を補完するため、格納容器内の部分的観察を実施(第9図)。



第8図 中長期ロードマップの概要



第9図 2号機格納容器内部分的観察(水位の確認)



第10図 タービン建屋/原子炉建屋間止水

ループ化の検討を進める(第10図)。

【海洋汚染拡大防止計画】

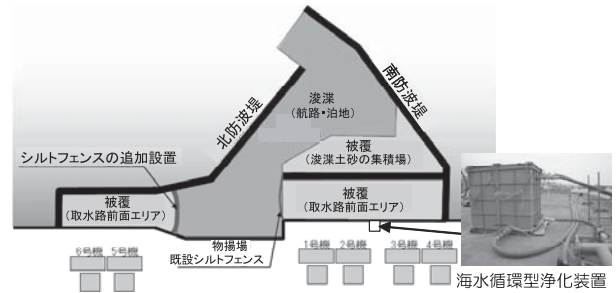
- (1) 万一、地下水が汚染した場合の海洋流出防止のため遮水壁を構築予定(2014年度半ばまで)。
- (2) 取水路前面エリアの海底土を固化土により被覆し、海底土中の放射性物質の拡散を防止。加えて海水循環型浄化装置の運転を継続し、港湾内の海水中の放射性物質濃度を、告示に定める周辺監視区域外の濃度限度未満とする(2012年度中を目標)(第11図)。
- (3) 大型船の航行に必要な水深確保に向けた浚渫により発生する土砂についても、同様の被覆を実施。
- (4) 以降、構築した設備等を維持・管理しつつ、地下水、海水の水質等のモニタリングを継続中。

【放射性廃棄物管理及び敷地境界の放射線量の低減】

- (1) 発電所全体からの追加的放出及び敷地内に保管する事故後に発生した放射性廃棄物(水処理2次廃棄物、ガレキ等)による敷地境界における実効線量1 mSv/年未満を達成させる(2012年度内を目標)。
- (2) 水処理2次廃棄物の保管容器の寿命を評価した上で、保管容器等の設備更新計画を策定(2014年度内を目標)。
- (3) 現在実施している陸域、海域の環境モニタリングを継続。

【敷地内除染計画】

一般公衆、従事者の被ばく線量低減、作業性向上を目的に、免震重要棟等の執務エリア、作業エリア等から計画的・段階的に除染を実施し、敷地外の線量低減と連携



第11図 港湾内海底土の被覆等イメージ

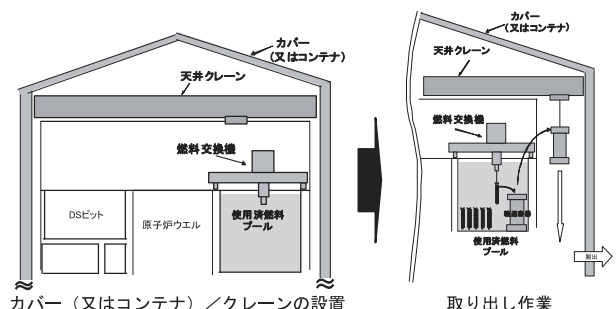
を図りつつ、低減を実施中。

【使用済燃料プールからの燃料取出し計画】(第12図)

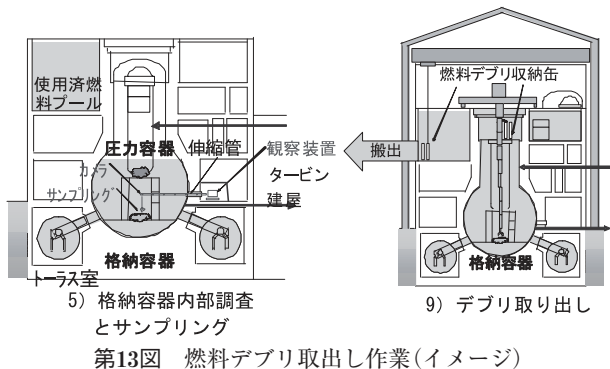
- (1) 4号機：ステップ2完了後、2年以内(2013年中)に取り出し開始。
- (2) 3号機：ステップ2完了後、3年後程度(2014年末)を目標に取り出し開始。
- (3) 1号機：3,4号機での実績等を把握し、ガレキ等の調査を踏まえて計画立案し、第2期中に取り出す。
- (4) 2号機：建屋内除染等の状況を踏まえ、既設設備の調査を実施後、計画立案し、第2期中に取り出す。
- (5) 第2期中に、全号機の燃料取出しを終了。
- (6) 取り出した燃料の再処理・保管方法について、第2期中に決定。

【燃料デブリ取出し計画】

- (1) 初号機での燃料デブリ取り出し開始の目標をステップ2完了後10年以内に設定。
- (2) 以下のステップで作業を実施する。作業の多くには遠隔技術等の研究開発が必要であり、これらの成果、現場の状況、安全要求事項等を踏まえ、段階的に進めていく。
 - 1) 建屋内の除染
 - 2) PCV 漏えい箇所の特定
 - 3) PCV 下部の補修
 - 4) PCV 下部水張り
 - 5) PCV 内部調査とサンプリング(第13図)
 - 6) PCV 上部の補修
 - 7) PCV/RPV 冠水
 - 8) PCV 内部調査とサンプリング
 - 9) デブリ取出し(第13図)



第12図 プール燃料取出し作業(イメージ)

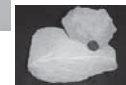


5) 格納容器内部調査とサンプリング
9) デブリ取り出し
第13図 燃料デブリ取り出し作業(イメージ)

性状調査

調査のポイント
 ・ガレキ・スラッジ・除染廃液など従来の廃棄物と性状が異なる(核種組成・塩分含有など)。
 ・各技術開発に資する基本情報を把握。

従来廃棄物との相違点例
 ・主要核種：Co-60、C-14など。
 →今回：Cs-137、Sr-90など。
 ・海水が5~9割混入しNa濃度がTMIの5倍。
 →Cs吸着性能低下、廃棄物発生量増加。
 ・スラッジなど化学組成が不明なものも存在。
 →分析により同定が必要。



アウトプット
 ・核種別の放射能濃度
 ・含有成分
 ・物理化学的特性 等

除染や燃料デブリ取り出しに伴い高線量で輸送が困難な試料が多量発生すると想定されるため、1F近傍にホットラボ施設を設置する検討も必要

第14図 放射性廃棄物の処理に係る研究開発(廃棄物の性状調査)イメージ

【原子炉施設の解体計画】

- 1) 1~4号機の原子炉施設解体の終了の目標をステップ2完了から30~40年後に設定。
- 2) 解体・除染工法等の検討に必要な汚染状況等の基礎データベースの構築，遠隔解体などの研究開発，必要な制度の整備等を実施し，解体工事で発生した廃棄物処分の見通しが得られていることを前提に，第3期に解体作業に着手。

【放射性廃棄物の処理・処分計画】

- 1) 事故後に発生した廃棄物は，従来の廃棄物と性状(核種組成，塩分量等)が異なることも踏まえ，2012年度中に研究開発計画を策定(第14図)。
- 2) 研究開発成果を踏まえ，既存処分概念への適応性，安全性等を見極め，処分に向けた安全規制，技術基準等を整備することで廃棄体仕様を確定。
- 3) これに基づき，処理設備を整備後，処分の見通しが得られた上で，第3期に処理・処分を開始。

Ⅳ. おわりに

今後，避難されている住民の皆様の一刻も早いご帰還を実現し，地域及び国民の皆様様の不安を解消するためにも，当社，資源エネルギー庁，原子力安全・保安院は，適切な協働体制の下，中長期ロードマップに基づき，廃止措置等に向けた中長期の取組みを着実に進めていく。

あわせて，今後の現場状況や研究開発成果等を踏まえ，本計画について定期的に見直すとともに，中長期の取組み状況を公表するなど，透明性を確保していく。

最後に，ステップ2の完了は，技術協力や現場作業等において多くの方々の献身的な努力と尽力があったからこそ到達できたものであり，厚く御礼申し上げます。また，海外各国から多大なる協力や貢献をさせていただいていることに対し，この場を借りて感謝申し上げます。

—参考資料—

- 1) 「福島第一原子力発電所・事故の収束に向けた道筋」の進捗状況(平成23年12月16日)，原子力災害対策本部，政府・東京電力統合対策室。
- 2) 東京電力(株)福島第一原子力発電所1~4号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ(平成23年12月21日)，原子力災害対策本部，政府・東京電力統合対策室。

著者紹介



山下和彦(やました・かずひこ)
 東京電力(株)
 (専門分野/関心分野)原子力発電所の建設，保守，運営管理

地震・津波の影響—発電所で観測した地震動と津波

東京電力(株) 土方 勝一郎

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震に際して、福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所で確認した地震動と津波についての分析・検討を行った。地震動は、原子炉建屋基礎版上および敷地地盤における観測記録を分析し、基準地震動 S_s との比較を行った。津波は、敷地における調査と、広域の観測記録をもとにした津波インバージョン解析により波源を推定した結果を示す。また、この波源を用いて両発電所に襲った津波高さの違いの要因を分析した。

I. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震は、関東から北海道の太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。この地震は、日本海溝で発生した地震としては過去に例を見ない巨大なものであり、同地震前に土木学会¹⁾、地震調査研究推進本部²⁾、中央防災会議³⁾で示されていた地震規模を大きく上回るものであった。

この地震の揺れと津波は、福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所に大きな影響をもたらした。地震の揺れ(地震動)については、両発電所の原子炉建屋基礎版上や敷地地盤等に設置された地震計による観測記録の分析から、耐震設計に用いる基準地震動 S_s を大きく上回るものではなかったことを確認した。一方、津波については、両発電所における想定を大きく上回るものであり、特に津波の高さが大きかった福島第一原子力発電所では、全電源喪失の原因となった。

本稿では、地震動について、原子炉建屋基礎版上および敷地地盤における観測記録を分析し、基準地震動 S_s との比較を行った結果を示す。また、津波について、敷地における調査結果を示すとともに、北海道から千葉県に至る広域の痕跡高・遡上高、検潮記録、地殻変動および浸水域の記録をもとに津波インバージョン解析を行い、波源を推定した結果を示す。また、このモデルを用いて、福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所に襲った津波高さの違いの要因についても分析した。

II. 地震の影響

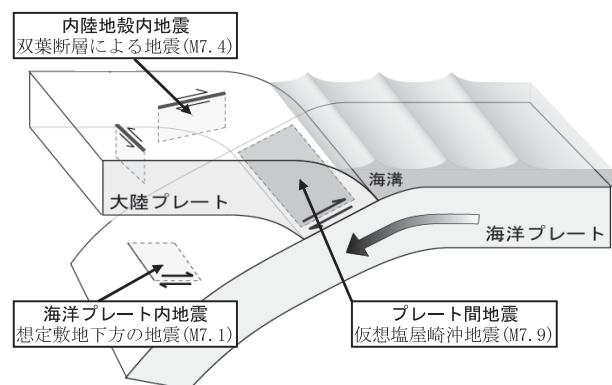
1. 耐震設計に用いる基準地震動 S_s について

耐震設計に用いる基準地震動 S_s は、2006年に改訂された「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」に基

Effect of Earthquake and Tsunami : Katsuichirou HIJIKATA.

(2012年 4月12日 受理)

づき策定されている。福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所における基準地震動 S_s の策定概要を第1図に示す。「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」として、特に敷地に大きな影響を及ぼすと考えられる地震を第1図に示すように発生様式ごとに選定し考慮している。また、「震源を特定せずに策定する地震動」として、詳細な地質学的調査によっても震源位置と地震規模をあらかじめ特定できない地震も考慮している。これらの評価結果に基づき、第1図に示すように、3つの基準地震動 S_s を策定しており、その最大の加速度値は600 galである。なお、基準地震動 S_s は、せん断波速度 $V_s = 700$ m/s 以上の硬い岩盤の上部に地盤がないものとして仮想的に設定する自由表面(以下、解放基盤表面という)において策定している。



S_s -1	<ul style="list-style-type: none"> 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、内陸地殻内地震とプレート間地震の評価結果を包絡。 最大加速度振幅：450 gal
S_s -2	<ul style="list-style-type: none"> 「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」のうち、海洋プレート内地震の評価結果を包絡。 最大加速度振幅：600 gal
S_s -3	<ul style="list-style-type: none"> 「震源を特定せず策定する地震動」 最大加速度振幅：450 gal

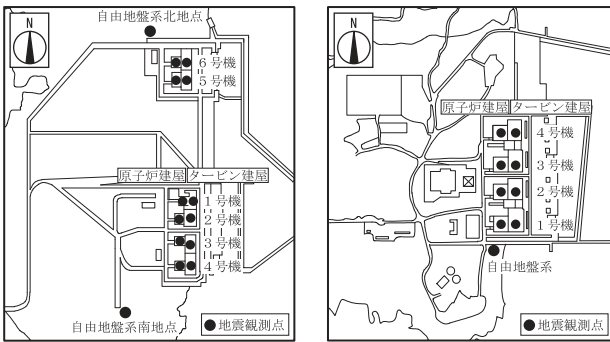
第1図 福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所における基準地震動 S_s の概要

2. 原子炉建屋基礎版上における地震動

原子炉建屋においては、第2図に示すように、福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所の全ての号機で観測記録が得られている。原子炉建屋最地下階(基礎版上)で得られた観測記録の最大加速度値を第1表に示す。また、第1表には、第3図に示すように解放基盤表面に基準地震動Ssを入力した際の原子炉建屋基礎版上の応答を比較のためにあわせて示す。福島第一原子力発電所における観測記録の最大加速度値は、2号機、3号機、5号機の東西方向で、基準地震動Ssに対する最大応答加速度値を上回った。一方、福島第二原子力発電

所における観測記録の最大加速度値は、全ての号機で基準地震動Ssに対する最大応答加速度値を下回った。

それぞれの発電所の中で、水平方向の加速度が最大となった福島第一2号機東西方向および福島第二3号機南北方向の応答スペクトルを基準地震動Ssに対する応答と比較して第4図に示す。福島第一原子力発電所における観測記録の応答スペクトルは、一部の周期帯で基準地震動Ssに対する応答スペクトルを上回っているものの、おおむね同程度であった。一方、福島第二原子力発電所における観測記録の応答スペクトルは、福島第一原子力発電所のそれよりも全体的に小さく、基準地震動Ssに対する応答スペクトルを下回るものであった。



(a) 福島第一原子力発電所 (b) 福島第二原子力発電所
第2図 地震観測点の配置

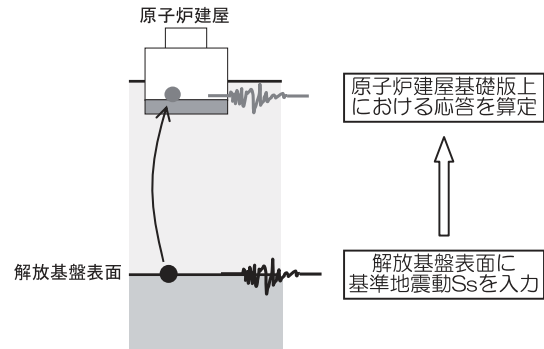
第1表 原子炉建屋基礎版上における観測記録と基準地震動Ssに対する応答値との比較

観測点 (原子炉建屋 基礎版上)	観測記録の 最大加速度値 (Gal)	基準地震動Ssに対する 最大応答加速度値 (Gal)					
		南北方向	東西方向	上下方向	南北方向	東西方向	上下方向
福島第一	1号機	460	447	258	487	489	412
	2号機	348	550	302	441	438	420
	3号機	322	507	231	449	441	429
	4号機	281	319	200	447	445	422
	5号機	311	548	256	452	452	427
	6号機	298	444	244	445	448	415
福島第二	1号機	254	230	305	434	434	512
	2号機	243	196	232	428	429	504
	3号機	277	216	208	428	430	504
	4号機	210	205	288	415	415	504

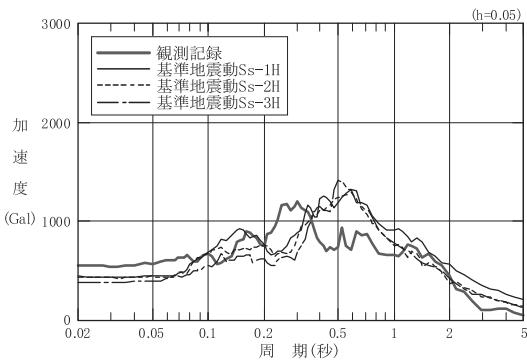
※ 太字で示す観測記録の最大加速度値は、基準地震動Ssに対する最大応答加速度値を上回っている。

3. 解放基盤表面における地震動の推定

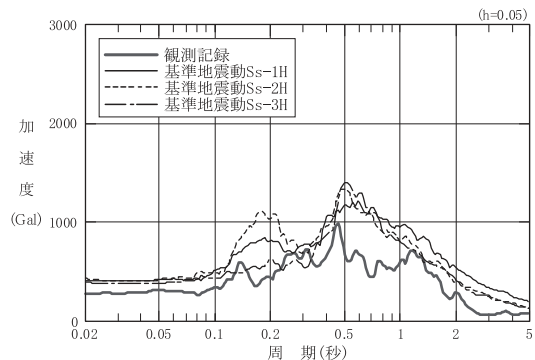
敷地地盤においては、第2図に示すように福島第一原子力発電所では2箇所、福島第二原子力発電所では1箇所、地中に設置した地震計による観測記録が得られている。解放基盤表面において策定された基準地震動Ssと観測記録の比較を行うため、第5図に示すように、O.P. (小名浜港工事基準面) - 200 m の地中での観測記録から解放基盤表面(福島第一: O.P. - 196m, 福島第二: O.P. - 168 m)における地震動(以下、はざとり波という)を推定した。福島第一自由地盤系南地点および福島第二自由地盤系における推定結果の応答スペクトルを基準地震動Ssと比較して第6図に示す。推定されたはざとり波の応答スペクトルは、福島第一原子力発電所および福島



第3図 基準地震動Ssに対する原子炉建屋の応答の概念図



(a) 福島第一2号機 東西方向



(b) 福島第二3号機 南北方向

第4図 原子炉建屋基礎版上における応答スペクトルの比較

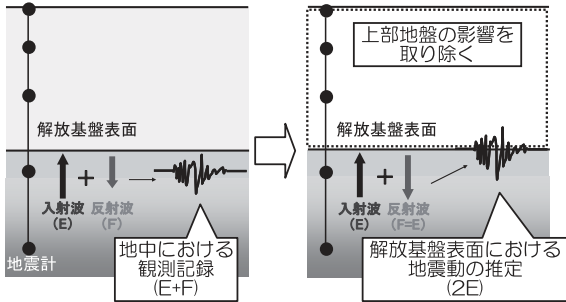
第二原子力発電所のいずれの地点においても、一部の周
期帯で基準地震動 S_s を超えているものの、大きく上回

るものではなかったことが確認された。

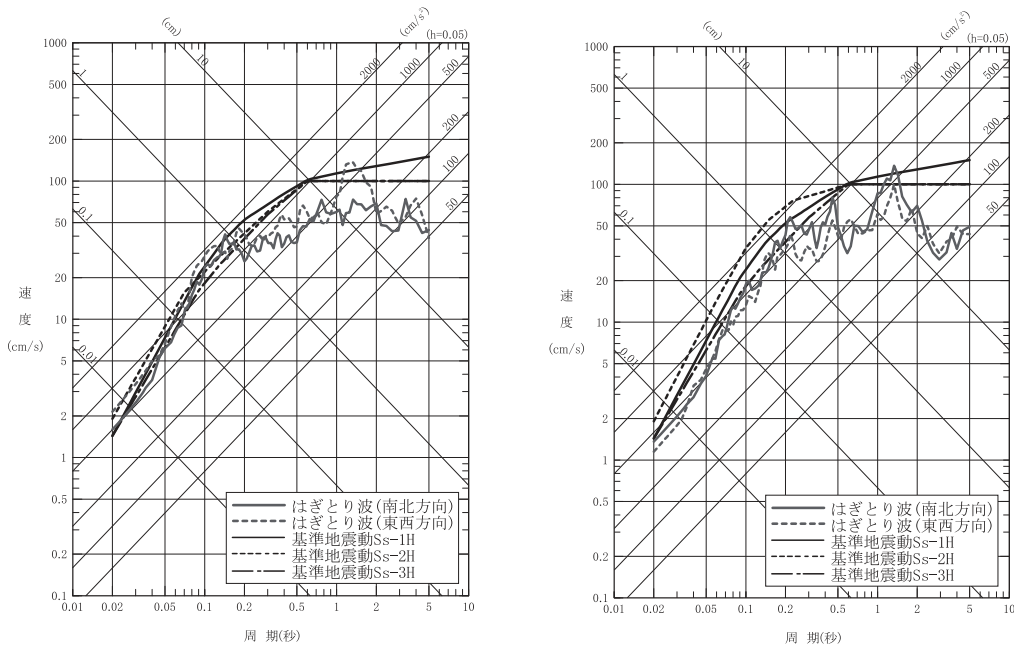
Ⅲ. 津波の影響

1. 津波調査結果

福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所
において、東北地方太平洋沖地震に伴う津波の浸水域・浸
水高・浸水深を把握するため、両発電所の建屋や斜面等
に残された津波の痕跡について調査を行った。福島第一
原子力発電所の調査結果を第7図に、福島第二原子力発
電所の調査結果を第8図に示す。なお、潮位計及び波高
計は、地震あるいは津波によって損傷し十分な記録は取
得できなかった。



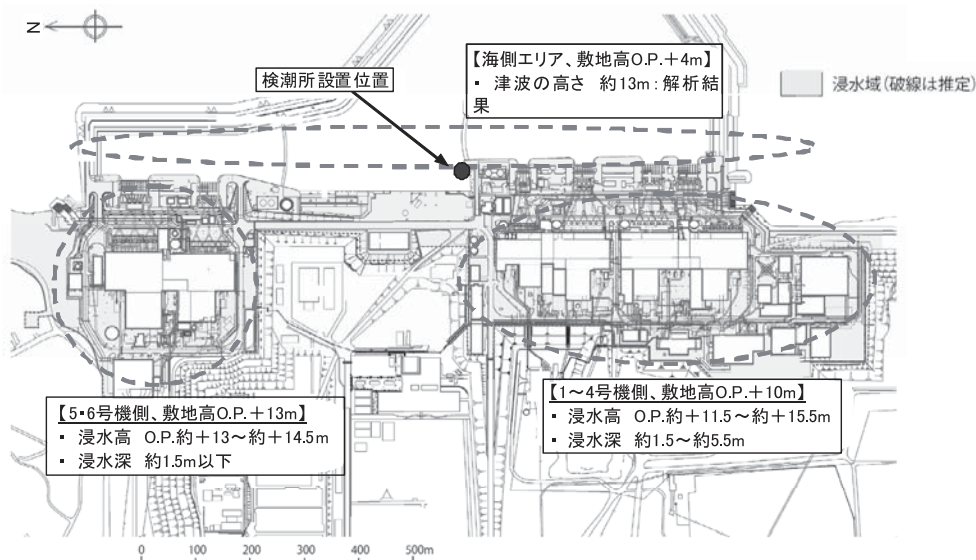
第5図 解放基盤表面における地震動推定の概念図



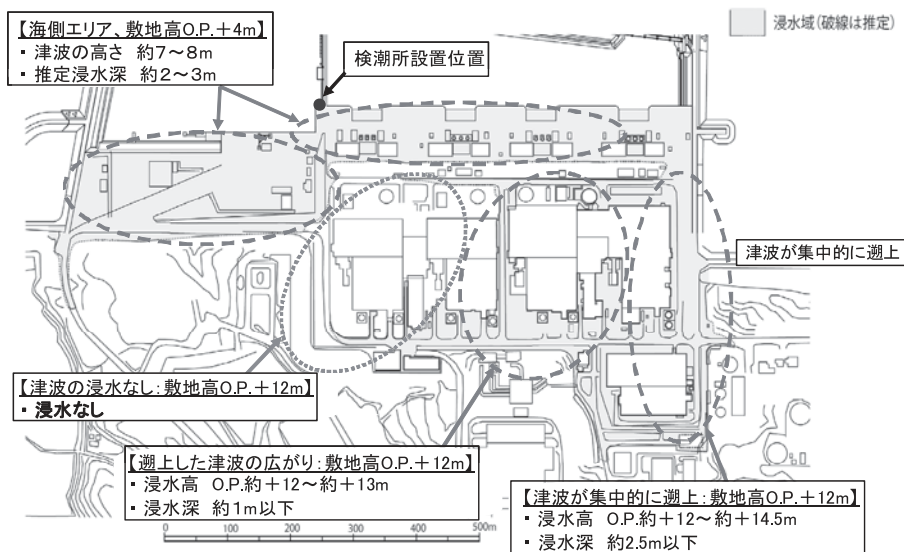
(a) 福島第一 自由地盤系南地点 (水平方向)

(b) 福島第二 自由地盤系 (水平方向)

第6図 はぎとり波と基準地震動 S_s の応答スペクトルの比較



第7図 福島第一原子力発電所における津波調査結果



第8図 福島第二原子力発電所における津波調査結果

福島第一原子力発電所においては、海側エリア(敷地高 O.P. + 4 m)から斜面を超えて主要建屋設置エリア(敷地高 O.P. + 10 及び 13 m)への遡上により、ほぼ全域が浸水した。浸水高は、1～4号機側主要建屋設置エリア(敷地高 O.P. + 10 m)で O.P. 約 + 11.5～約 + 15.5 m (浸水深約 1.5～約 5.5 m)、5, 6号機側主要建屋設置エリア(敷地高 O.P. + 13 m)で O.P. 約 + 13～約 + 14.5 m (浸水深約 1.5 m 以下)であった。なお、1～4号機側主要建屋設置エリア南西部では、局所的に浸水高が O.P. 約 + 16～約 + 17 m (浸水深約 6～約 7 m)であった。

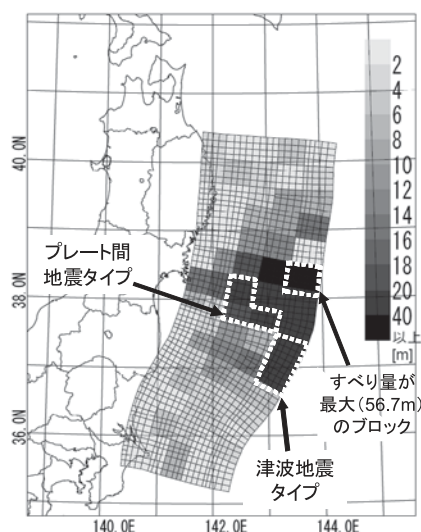
福島第二原子力発電所においては、海側エリア(敷地高 O.P. + 4 m)から斜面を超えて主要建屋設置エリア(敷地高 O.P. + 12 m)への遡上は認められず、主要建屋設置エリアには南東側の道路から集中的に遡上し、1, 2号機の建屋周辺及び3号機の建屋南側が浸水した。4号機の建屋周辺には浸水しなかった。浸水高は、海側エリア(敷地高 O.P. + 4 m)で O.P. 約 7 m (浸水深約 3 m)、主要建屋設置エリア(敷地高 O.P. + 12 m)で O.P. 約 + 12～約 + 14.5 m (浸水深約 2.5 m 以下)であった。なお、1号機側建屋南側から免震重要棟にかけて、局所的に浸水高が O.P. 約 + 15～約 + 16 m (浸水深約 3～約 4 m)であった。

このように、福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所では、来襲した津波の規模に差異が認められた。なお、津波に関する用語は以下の定義で用いている。

- ・津波の高さ： 平常潮位から海面が上昇した高さ
- ・浸水高： 建物や設備に残された痕跡の基準面からの高さ
- ・浸水深： 建物や設備に残された痕跡の地表面からの高さ
- ・遡上高： 遡上した津波の痕跡のうち、最も内陸のもの基準面からの高さ

2. 津波波源モデルの推定と再現計算結果

東北地方太平洋沖地震に伴う津波について、広域(北海道～千葉県)の津波観測記録を最もよく説明できる津波波源モデルを推定した。波源モデルは、約 500 km × 約 200 km の領域を 80 ブロックに分割し、ブロックごとの最適すべり量分布を、津波インバージョン解析により求めた。津波インバージョン解析では、浸水高・遡上高、検潮記録、地殻変動及び浸水域を再現できる断層面のすべりの位置と大きさを、津波数値シミュレーションから逆算して求めた。その結果得られたマグニチュードは Mw 9.1 であり、地震動の検討から得られた地震規模 Mw 9.0 (例えば気象庁⁴⁾) と同等となった。また、最大すべり量は 56.7 m であった。すべり量分布を第 9 図に示す。すべり量が大きい領域は、プレート間海溝沿いの領域では宮城県沖から福島県沖にかけて、プレート間のや



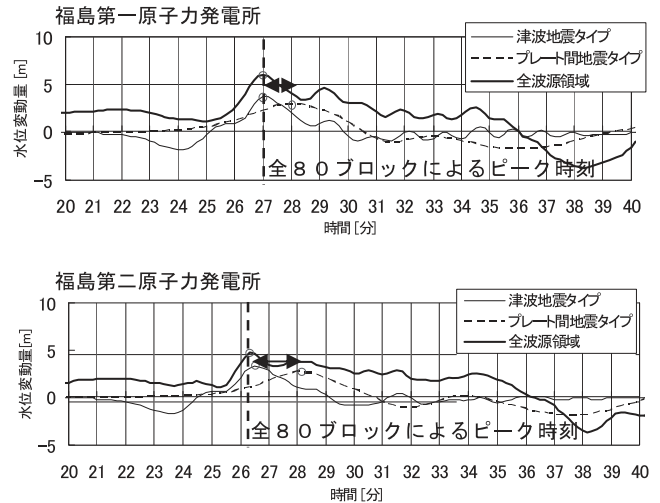
第9図 インバージョンにより推定した波源モデルのすべり量分布

や深い領域では宮城県沖に分布している。プレート間海溝沿いの領域からは、いわゆる津波地震タイプの相対的に周期の短い津波が、プレート間のやや深い領域からは、いわゆるプレート間地震タイプの相対的に周期の長い津波が形成される。なお、第9図においては、80ブロックをさらに細分化した格子を示した。これは、再現計算において、プレート境界面の凹凸に応じて、細分化した格子ごとに異なる傾斜を与えるための分割である。

推定した波源モデルを用いて津波の再現計算を行った結果、北海道から千葉県に至る広域の痕跡高・遡上高、検潮記録、地殻変動及び浸水域の記録をバランス良く再現するとともに、両発電所敷地内の浸水高及び浸水域をよく再現できていることを確認した。再現計算結果による両発電所の検潮所設置位置における津波の高さは、福島第一原子力発電所でO.P.約+13m、福島第二原子力発電所でO.P.約+9mであった。

再現計算結果を用いて、福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所における津波の分析を行った結果、ピーク水位は、津波地震タイプからの波とプレート間地震タイプからの波の重ね合わせが主な要因となり、形成されていることがわかった(第10図)。すなわち、発電所のピーク水位の形成に大きく寄与しているのは、第9図に位置を示す、福島県沖のプレート間海溝沿い領域を波源とする津波地震タイプからの波と、宮城県沖のやや深いプレート間領域を波源とするプレート間地震タイプからの波である。なお、今回の津波インバージョン解析の結果で、すべり量が最大となったブロックからの波は、発電所におけるピーク水位の時刻よりも遅れて到達するため、ピークの形成には寄与していない。

福島第一原子力発電所と福島第二原子力発電所における津波の規模の差異については、第10図から、福島県沖の津波地震タイプによる波と宮城県沖のプレート間地震タイプによる波について、福島第一原子力発電所では2つの波の重なり度合いが強く、福島第二原子力発電所で



第10図 福島第一と福島第二の津波高さの差異
(沖合水深約150m地点)

は重なり度合いが弱いことが、来襲した津波の規模の違いの主な要因であったと考えられる。

—参考資料—

- 1) 土木学会, 原子力発電所の津波評価技術, (2002.2).
- 2) 地震調査研究推進本部, 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について, (2002.7).
- 3) 中央防災会議, 日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会: 強震動及び津波高さの推計について, (2005.6).
- 4) 気象庁, 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」について(第28報), (2011.3).

著者紹介



土方勝一郎(ひじかた・かついちろう)
東京電力㈱
(専門分野/関心分野)耐震設計, 地震動評価, 構造物の振動解析

解説

日本の津波対策の歴史とシミュレーションの進展

防衛大学校 藤間 功司

わが国には684年まで遡る津波の古記録がある。それは、わが国が再三、津波被害を被ってきた証でもあるが、対策の歴史でもある。1933年昭和三陸津波の後には、現在の総合津波防災とよく似た対策が立てられた。1960年チリ津波の後には海岸堤防が建設された。そして、現在は再び総合防災へ舵を切った。それは昭和三陸津波後の対策と異なり、数値シミュレーションの技術に裏付けされたものである。ただし、その限界も理解しておく必要がある。

I. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震津波によって、はじめて津波の恐ろしさを実感した人が多いだろう。小さな津波の方が圧倒的に発生頻度が高く、巨大津波は極めてまれである。

日本被害津波総覧¹⁾の中に、東北地方の太平洋側での津波記録が記載されている事例は1896年から100年間に80回あるが、最大の値が3m以上(気象庁の津波警報で「大津波」に相当)なのは、そのうち5回のみである。津波常襲地域といわれる三陸地方でも、この程度の頻度である。したがって、われわれはどうしても経験から‘学習’してしまい、命が奪われかねない大きな津波が、まさか今起こるわけがないと思ひ込んでしまう。

まれにしか起こらない巨大災害にどのように対するべきなのか。この問いに答え、巨大津波から人命や財産、地域社会を守っていくには、理学・工学・社会学など様々な観点から津波を研究していくしかない。しかしここでは、日本の津波被害と対策の歴史を振り返り、今後の対策を考えるうえで不可欠な数値シミュレーションの進展について解説しよう。なぜなら、世界で日本ほど津波記録が豊富な場所はなく、また日本ほど津波被害に遭い、対策を考えてきた国はないのだから²⁾。

II. 津波とその対策の歴史

1. 昭和三陸津波(1933年)以前

最古の文書に残る津波は、684年の白鳳地震で、土佐・熊野の沿岸、更に北伊豆でも影響があったとされる。

なお、津波の影響力を表す指標に、飯田・今村の津波規模階級 m がある。 $m = 1, 2, 3, 4$ はそれぞれ津波記録の最大値が2, 4, 8, 16m であることに対応し、首藤

(1992)³⁾によると、 $m = 1$ で木造家屋が破壊され、集落の被害が発生しはじめ、 $m = 2$ で集落の50%が被災し、 $m = 3$ でほぼ100%の被害率になる。このパラメータを使うと、白鳳地震津波は $m = 3$ である。

869年の貞観津波($m = 4$)は文書に残るものの、その証拠は極めてまれであった。1980年代後半から津波堆積物にその証拠を求める動きが始まり、仙台平野での掘削結果が公表されたのは1990年であった。

記録に残り、かなり詳細に検討できるものの最初は、1498年の明応地震津波($m = 3$)であろう。影響は紀伊から房総に及んだ。この津波で浜名湖から海へ流れ出る川が広がり、1里余の渡しとなった。今切と呼ばれ、浜名湖には常時海水が入るようになった。近淡海(ちかつあはうみ)である琵琶湖の対として、遠江の語源であった遠淡海(とほつあはうみ)が消滅したのである。

1605年2月3日に室戸沖、2月6日に東海沖、と連動型の地震が発生し、いずれも $m = 3$ の慶長津波をもたらした。震害の記録がほとんどないことから、地震の揺れから類推するより大きな津波を発生させる、いわゆる津波地震だったと思われる。この場所の連動型地震は、その後、1707年宝永地震、1854年安政南海・安政東海地震、そして1944年昭和東南海地震・1946年昭和南海地震と、比較的規則正しく発生しているが、その最初の記録である。

1611年12月、三陸沖を波源とする慶長三陸津波($m = 4$)が北海道から福島までに襲来した。駿府記に、「世曰津波云々」と書かれたのが、この現象を津波と記録した最初である。宮古市本町の現在の町並みは、この津波からの復興に際して作られた。

1677年11月、房総半島東方沖を波源として延宝房総沖津波($m = 3$)が発生、福島、千葉から伊豆半島東岸、伊豆諸島に影響した。

1703年12月、元禄地震が房総半島南端で発生。津波($m = 3$)が犬吠埼から伊豆半島、東京湾にも襲来。伊豆大島では波浮池が決壊し海とつながった。

History of Tsunami Disasters and Countermeasures in Japan and Development of Tsunami Numerical Simulations : Koji FUJIMA.

(2012年 1月15日 受理)

1707年10月、我が国最大級の一つとされる宝永地震に伴って、 $m = 4$ の津波が紀伊半島沖で発生した。伊豆半島から九州までの太平洋岸、大阪湾・播磨・伊予・防長にも被害を与えた。山の上からの観察記録に、「海上は静かにして遙か沖に居た他国の回船は見物していた」と、岸近くと離れた海上での津波の特性差が報告されている。

1771年4月、八重山・宮古両列島を襲う $m = 4$ の八重山津波が発生。その最大遡上高は80 mともされている(確認できるのは30 m)。このとき、高台に移転した役所・住居も、2年後には元の位置に戻ってしまう。高地移転の最初の失敗例である。

1792年5月、島原半島普賢岳の眉山崩壊により、有明海に大津波が発生。対岸の肥後・天草にも大被害が生じ、「島原大変肥後迷惑」と称されることとなる。

1854年12月、遠州灘に安政東海地震津波($m = 3$)が発生し、房総から高知の沿岸を襲う。これから32時間後、紀伊半島沖で安政南海地震津波($m = 3$)が発生し、紀伊半島から四国、九州に影響が及んだ。「いなむらの火」は、このときの和歌山県広村(現・広川町)での話である。主人公浜口悟陵の築いた堤防は1858年に完成し、1946年南海地震津波に対して効果を発揮した。

1896年6月、旧暦の端午の節句の夜、明治三陸大津波($m = 4$)が三陸地方を襲った。典型的な津波地震で、避難する人がほとんどなかったため、死者22,000人にも達した。被害総額は710万円から879万円と推定され、当時の国家予算の約1割に及んだ。実はこの頃、まだ地震が津波の原因であると解明されていなかった。明治三陸津波では地震の揺れがあまり強くなかったため、海底地滑りや海底火山の噴火などを原因とする主張もあったが、潮位記録に波長の長い水位変動(津波)が記録されており、そのような長周期の波をつくるのは地震による地盤変位しか考えられず、地震が原因であると解明されたのである。

2. 昭和三陸津波からチリ津波まで

1933年3月3日、雛祭りの早朝、激震後、昭和三陸大津波が襲来した。激しい揺れを感じて避難した人が多かったが、それでも死者・行方不明者は3,000人を超えた。

地震から僅か3ヵ月後の1933年6月に、対策のあり方について文部省震災予防評議会が「津波予防に関する注意所」を提示した。その内容を踏まえ、国・県が組織的・系統的に救援・復旧・復興を行った。基本は高地移転で、宮城県では60集落、岩手県では38集落が移転した。また都市部では市街地全体を安全地域に移転することが不可能なので、原地復帰するものの、海辺には運送業・倉庫などの建築物を配置し、住宅は後方に配置して避難路を整備するという方針が立てられた。また防潮林や防

波堤にも言及されている。このように、現在進められている総合津波防災にも通じる対策が取られている。ただし、その効果が科学的に検証されていたわけではないから、その対策はあくまで経験に基づくものであった。

こののち、津波予報への努力が始まり、1946年には三陸地方を対象として開始された。

その後、1944年12月の東南海地震、1946年12月の南海地震などによる津波で被害が出たが、東南海地震は戦中で被災記録が十分に整理されていない。南海地震では被災記録は残っているが、物資不足のため、将来への方針はほとんどない。

3. チリ津波以降

戦後の混乱の後、経済復興が進んだが、その時期は頻繁に台風災害が起こっていた。1953年9月の13号台風は愛知県を中心に大被害を出し、堤防を越えた波が背後を洗掘して堤防の破壊が始まることが確認された。さらに1959年9月には伊勢湾台風が来襲し、伊勢湾沿岸で5,000人も人命が失われた。これを受け、表法面(海側)・裏法面(陸側)・天端(上辺)の3面をコンクリートで被覆した3面張りの海岸堤防が建設されることになってゆく。

そのような中、1960年5月、チリ沖で発生したチリ地震津波($m = 4$)が、北海道から沖縄までの太平洋岸を襲った。当時の気象庁の津波警報は遠地津波(遠い地域で発生して長い距離を伝播してくる津波)に対応しておらず、津波警報を出すことができなかったこともあり、津波の高さは高くても5~6 m程度だったが、100名以上が亡くなった。また国家予算の2.2%の損害が出た。

このときの津波の高さはたいてい2~3 m程度で、高くても5~6 mであったため、対策として構造物による対応が行われることになった。折からの高度経済成長によって、それを実行する経済力が備わっていたことも背景にある。このときの特別措置法には「津波対策とは施設の新設または改良」のことであると記されている。世界最初の津波防波堤などが建設され、完成直後の1968年十勝沖地震津波に対して完璧な効果を発揮する。津波予報の国際的な連携が始まる。

4. 日本海中部地震津波と北海道南西沖地震津波

1976年に東海地震の危険が叫ばれるようになったとき、これまでとは違う動きが現れた。これまでは津波による被災後にその後始末もかねて津波対策が議論されたが、津波常襲地域と見なされる場所での津波対策のあり方を前もって検討しようということである。建設省と水産庁が共同で調査研究を実施し、1983年3月に津波常襲地域総合防災対策指針(案)が提示された。この指針(案)の特徴は、構造物対策に地域計画(災害に強い街づくり)や防災体制(津波警報、避難、防災教育など、いわゆるソフト対策)も加えた総合防災になっていることである。

すなわち、過去200年間くらいの間の確実な資料が多く得られる津波のうちで最大の津波を計画対象津波とし、構造物の設計外力となる津波は計画対象津波より小さくてもよい、つまり計画対象津波は防災構造物を乗り越える場合があると明記したのである。ただし、防災施設は地震で損傷したり津波で破壊してはならないとされた。

そのような中、1983年5月に日本海中部地震津波($m=3$)が発生し、約200名の命を奪った。津波は太平洋側のものと誤って信じていた人への不意打ちとなった。

さらに、1993年7月、北海道南西沖地震津波($m=3$)が発生した。奥尻町青苗5区は日本海中部地震津波を対象として建設された4.5mの高さの堤防で守られていたが、11mの津波に襲われて壊滅した。これによって、「過去200年間くらいの間の確実な資料が多く得られる津波のうちで最大の津波」より大きな津波が発生することもあることが認識されるとともに、防災構造物を乗り越える巨大津波への対応の重要性が再認識された。

そして、構造物だけでなく、防災構造物、津波に強い街づくり、防災体制の組み合わせで津波対策をする「地域防災計画による津波対策強化の手引き」が1997年に関連7省庁で合意された。そこでは、信頼できる資料の数多く得られる既往最大津波とともに、現在の知見に基づいて推定される最大地震により引き起こされる津波も取り上げ、より大きな方を対象津波とするよう求めている。また都市型の津波災害や津波地震、遠地津波への配慮も求めている。

5. 東北地方太平洋沖地震津波とその後

2011年3月11日、宮城県沖を震源とする超巨大地震が発生し、岩手、宮城、福島を中心に甚大な被害が出た。津波の高さは最大で40mに達し、北海道でも5m、四国でも2mの津波が襲撃して被害が出ている。この津波の大きさは、日本史の中でも最大級といってよく、死者・行方不明者は約2万人で、海岸堤防や防波堤をも破壊し、原子力発電所の事故まで引き起こした。

この大災害の後、様々な側面から津波対策の議論が行われている。現在も議論が継続しているため、まだ総括することはできないが、津波防災対策の方針が大きく変わることはないと思われる。ただし、防災施設を上回る津波に対する対応が必ずしも明確に位置づけられていなかったこと、防災構造物の設計外力を超えた場合の予測・対応が不足していたと反省された。そこで、「頻度の高い津波」に対しては防災構造物で対応するが、「最大クラスの津波」に対しては災害に強い街づくりやソフト防災に基づいて防災計画を策定する、とされ、防災構造物は超過外力に対して直ちに破壊せず一定の機能を保持する粘り強い構造の開発を目指す、とされた。

Ⅲ. 津波シミュレーションの進歩

1. 津波数値計算の目的

前章で述べたように、わが国には長い津波被害・対策の歴史がある。そして、対策を支えているのが数値シミュレーションである。津波の数値シミュレーションは、被災メカニズムの解明(現象の再現)、構造物の安定性の検証、ハザードマップ作成、津波予警報への利用、防災教育への利用など様々な目的で行われている。2011年東北地方太平洋沖地震津波後の復興におけるゾーニングにも使われている。目的が違えば、重視する点や条件も異なるが、どのような目的で行うにしても、その精度に限界があることも十分に理解しておく必要がある。ここでは、シミュレーションの進歩を概述し、計算精度を上げられない原因についても解説する。

2. 津波数値計算の始まり

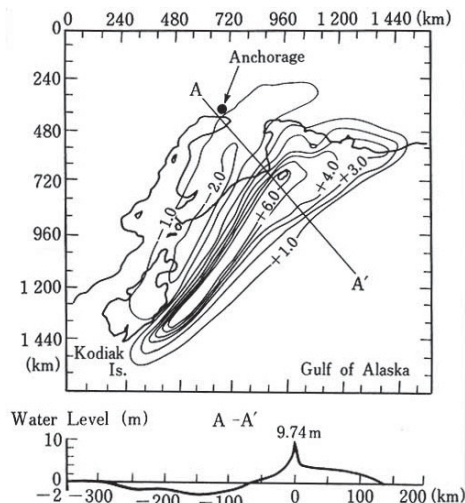
1960年代に、大型の水理実験で津波防波堤の効果を確かめる研究が始まった。津波数値計算で津波防波堤の減衰効果を確認したのもこのころである。津波発生から沿岸への到達や陸への打ち上げを数値計算で追いかけてやるとする試みも、1960年代後半に始まるが、最大の難関は初期波形の決定であった。沿岸で観測された津波波形から初期波源の位置、初期波形を推定する逆伝播法で推定するしかなかった。1970年代に、飛躍的な進歩が始まる。それを可能としたのは、Mansinha-Smylieの方法により津波初期波形を断層パラメータから決めることができるようになったことである。さらに電子計算機の発達で大量の津波数値計算を支えてきた。

3. 津波初期波形

地震波が記録されると、それから地震を起こした断層運動を表す断層パラメータが求められる。これに基づき、海面の鉛直変位を計算し、津波初期波形とする。断層面を1枚のみとする均質解から始まったが、より複雑な鉛直変位分布を求めるため、いくつかの部分断層の集合だとする不均質解へと発展してきた。現在では数十枚もの断層を考慮することもある。これらで求められる鉛直変位を初期値とする静的変位法のほかに、動の変位法も提案されている。

さて、推定された初期波形がどれだけ真実に近いのか、実は直接確かめることはほとんどできない。沿岸で測られた津波と比べ、より確からしいものを推定するか方法がないからである。津波発生箇所の水深は極めて大きく、精度よく水深変化を測るのは望み薄である。

現実には測られた海底変位は、1964年アラスカ大地震の例のみである。第1図がそれであり、A-A'断面に沿った変位を下に示してある。長さ450kmほどの緩やかな変位の上に、下幅30kmの鋭いピークが載っている。前



第1図 1964年アラスカ大地震での鉛直変位⁴⁾

者は地震から決まる断層パラメータから計算できるが、後者は津波を倍近くにするにもかかわらず、これを前もって評価することは今のところできない。津波数値計算は、出発時点からこうした誤差を含んでいるかもしれないのである。

さらに、安政東海地震津波の目撃談では、津波発生の様子を「地大に震ふ已にして西方に爆声を聞く百雷の響の如し之を望めば巨大なる水柱の如き者海面に隆起して空際に登り忽ち海暝暗黒となりぬ忽ち変じて巨大なる水輪となり下田伊豆諸島に向て進行し一方は駿河湾に向て進行す水柱の処は忽ち凹き事盆の如く暫時にして水又凸を為し一凸一凹数回の後海上漸く収まる…」としている。このような挙動は、地震動の永久変位を初期条件に長波近似方程式を解く通常的手法では再現できない。

4. 数値モデル

(1) 支配方程式

津波波長は水深に比べ、極めて長い。太平洋の平均水深は4,200 mであるが、第1図のアラスカの津波ではその100倍もの長さである。もっともピークのところは波長にすれば60 kmだが、それでも10倍以上である。このように、水深に比べて波長の長い波を長波という。

まず、近地津波(日本近海で発生した津波)を対象としよう。波高は高々10 mであり、水深や波長に比べて極めて小さい。こうした波を微小振幅波といい、線形長波理論で扱うことができる。波を駆動する原因は、重力加速度で決まる水圧である。波面の高い場所が低い場所より、水面から海底までの全水圧が大きいことが、波を伝える力となる。その全量を見積もる算定には、水面近くの僅かな差は省かれている。水の水平運動は水面から海底まで一様である。

浅海にたどり着くと、波高と水深とに大差がなくなる。こうなると、波面の高さを見積もれないから、その影響を入れた非線形長波理論に切り替える。近地津波の

計算は、これを使って実施することが多い。波面の高い所ほど早く進む。水の水平運動は水面から海底まで一様である。

浅海に入って、特に河川に入った津波によく見られるように、波面の曲面形状が目立つようになると、水の軌道が曲がるため、遠心力に起因する加速度が重力加速度に加わって影響する。曲率の大きい波の山は遅れ、谷は早く進む特徴がある。波長の短いものほど、波頂曲率が大きいから遅い。さまざまな構成波からなる場合、進行に伴って、長い波長の成分波は先に、短いものは後にと分かれていく。このことから分散効果といわれ、それを含んだものが分散波方程式である。水の水平運動は一様ではなくなっている。前述のとおり、近地津波では線形長波・非線形長波を使用するのが普通だが、場合によっては分散波理論が使用されることもある。

陸地の形状によっては、長波近似を当てはめられないことがある。地形の変化が急で、そこを上下する水の鉛直内部構造が複雑になると、3次元性を入れた解析が必要となる。ただし、数値計算量が膨大になるので、現在でもまだ限られた領域のみ3次元で扱うのが普通である。

大洋を伝播する遠地津波の場合、線形で良いのであるが、分散性を無視できないことが多い。初期波形に含まれる成分波が多様で、伝播距離が長いからである。線形分散波方程式を使って日本近海まで計算し、非線形長波理論に引き継いでいく。

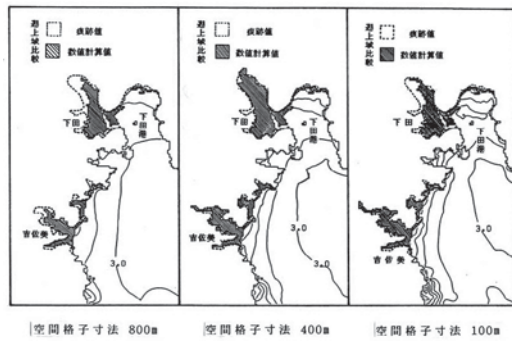
このように、支配方程式に関しては、どのような現象かが分かれば、(計算時間の問題はありますが)適切なものを選べるようになってきている。ただし、自動的に切り替える技術はまだなく、計算を行う技術者の物理的理解力・想像力がそのまま計算の限界になる。

(2) 格子サイズ

格子の大きさは解の良否に直接関係する。1波長の中に、少なくとも20格子点、できれば30個以上の格子点が含まなければならないというのが、通常津波数値計算の判断基準だが、河川遡上の場合などは100格子以上が望ましい。こうしないと、数値誤差の集積が解を信頼できないものになってしまう。

海底地形の表現精度も格子寸法に依存している。島周りや、一様傾斜斜面などの場合にのみ、地形の解像度と解の精度との関係が知られている。

第2図に計算例を示す。1854年安政東海地震津波は、駿河湾で発生した。これが、伊豆半島の先端を回り込み、東岸の下田で被害をもたらした。当時、ロシア艦隊が碇泊しており、旗艦ディアナ号などが被災した。同行していた画家が津波の模様などを描き残している。この津波を再現する計算で、左の図は格子寸法を800 mとした。陰を付けたのが計算による浸水域、点線が記録より再現された浸水上端である。下田では計算値がかなり小さい。格子を400 mと半分にすると、かなり再現性が良い。



第2図 空間格子寸法の変化による計算結果の違い⁵⁾

しかし、さらに100 mと小さくすると、また悪くなる。理由は分からない。恐らく初期波形に問題があるのか、あるいは海底地形の精度の問題か、その両方であろう。

(3) 水深データ

線形長波の波速、エネルギー伝播速度は、水深の1/2乗に比例する。このため、水深の浅い方へと曲がり込む屈折が生じ、波当たりの場所的な分布ができる。この現象は地形に完全に支配されるから、良い海図があるかないかが計算精度を決める決定的な要因になる。わが国では、1983年の日本海中部地震津波以降、海の基本図が精密に作られたが、他国ではそうも行かず、軍事機密に属する場合もあり、精度の良い津波計算の妨げとなっている。

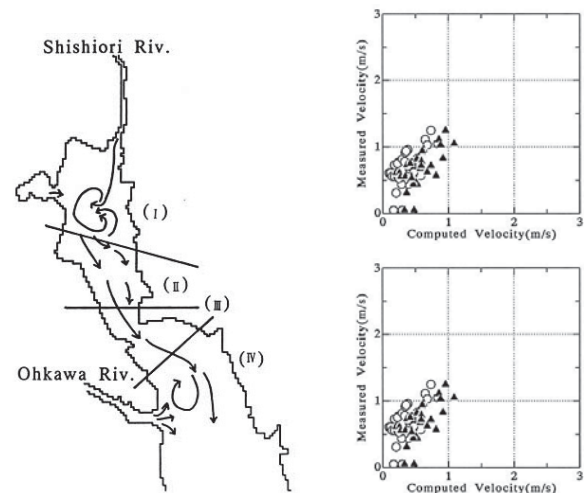
5. ハザード解析

最近では、計算で津波による浸水进行评估するだけでなく、地形変化や漂流物、建物の倒壊など具体的な被害予測も行っている。ここでは、地形変化を例に解説しよう。

津波のときに大量の砂が動かされる。浸食も堆積も大規模に生ずる。1498年の明応地震津波で浜名湖が海とつながってしまった事例はすでに述べた。

逆の堆積ももちろん発生する。静岡県南伊豆町入間には1854年安政東海地震津波による大量土砂堆積の伝承がある。入間の旧家である外岡家からは、立ち上がれば南側の畑が見えたが、津波ののち、家と畑の間に出来上がった砂丘のため、見えなくなったという。砂丘の高さは約8 mであった。昭和になって水道工事のため、掘った所から往事の流木などが出て、この高さが確かめられた。

こうした浸食堆積を数値計算しようとしたとき、一番問題となるのが流速再現の精度である。高さの検証には、痕跡高や潮位記録などが使えるが、流速測定値はないに等しい。連続的に撮られた航空写真やビデオ映像を使い、限られた場合だけデータが得られ、わずかに検討が行われているだけである。第3図はその先駆的な例で、1960年チリ津波の気仙沼湾での流速の実測値と計算値を比較したものである。湾奥の領域Ⅰでは計算値が極めて小さく、領域Ⅱでは比較的良い、などの差が認められた。大量の水を取放水する発電所では、こうした砂の動きを精度よく予測して置く必要がある。



第3図 気仙沼湾での流速比較(左:領域区分, 右上:領域Ⅰの結果, 右下:領域Ⅱの結果)⁶⁾

Ⅳ. おわりに

数値計算は、津波を評価し、対策を立てる上で非常に有用なツールである。しかし、その精度には限界があることも事実である。技術的に進歩させなければいけない点も多いが、前章で説明した要因の中で何が結果に効いており、またどのような影響を与えるか分析し、誤差を前提とした使い方をする必要もある。このような分析手法は発展途上であり、今後整備してゆく必要がある。

— 参考資料 —

- 1) 渡辺偉夫, 日本被害津波総覧[第2版], 東京大学出版会, 238 p.(1998).
- 2) N. Shuto, K. Fujima, A short history of tsunami research and countermeasures in Japan, *Proc. Japan Academy, Ser.B*, 85[8], 267-275(2009).
- 3) 首藤伸夫, 津波強度と被害, 津波工学研究報告, 第9号, 101-136(1992).
- 4) G. Plafker, Tectonic deformation associated with the 1964 Alaska earthquake, *Science*, 148, 1675-1687(1965).
- 5) 佐山順二, 他, 屈折に関する津波数値計算の誤差, 第33回海岸工学講演会論文集, 204-208(1986).
- 6) 高橋智幸, 他, 土砂移動を伴う津波計算法の開発, 海岸工学論文集, 39, 231-235(1992).

著者紹介



藤間功司(ふじま・こうじ)
防衛大学校システム工学群
(関心分野/専門分野)海岸工学, 津波工学,
海の波の数値計算。

原子力損害賠償法の特徴と課題

賠償スキームも含めた「安全・安心」を確立する

特定非営利活動法人 国際環境経済研究所 澤 昭裕, 竹内 純子

我が国において初めて「原子力損害の賠償に関する法律」(以下、「原賠法」という)が適用されたのは、1999年9月30日に発生したJCO臨界事故に際してであった。しかし、当該事故は国際原子力事象評価尺度(INES)のレベル4、すなわち、事業所外への大きなリスクを伴わない事故であったため、賠償問題が大きく取り扱われることはなかった。しかし、今般の福島第一原子力発電所事故による損害賠償は、その金額が莫大なものになると予想されること(いまだ事故収束には至っておらず、推計値でしかないが、2011年10月3日に「東京電力に関する経営・財務調査委員会」が発表した報告書によると「一過性の損害分として約2兆6,184億円、年度ごとに発生しうる損害分として初年度分約1兆246億円、2年度目以降単年度分として、約8,972億円)及び事故のきっかけが1000年に一度とされる規模の大地震及び津波であったことから、賠償責任の所在を含めて大きな論争となった。いまだ決着していない中ではあるが、原賠法の特徴と福島原子力発電所事故への対応スキームを解説しつつ、同法に関連して浮かび上がる課題をここに整理する。

I. 原子力損害賠償制度の成り立ちと概論

原子力損害賠償制度は一般的に、「被害者保護」及び「原子力事業の健全な発展」を目的とする。導入の歴史的経緯が、米国がジェネラル・エレクトリック(GE)社等の米国原子力製造事業者が製造物責任を負うことのないよう輸出相手国に制定を要求し、各国がその要求を受容して整備したものであることから、賠償制度の基本原則も世界的にはほぼ共通している。

- (1) 責任の厳格化： 原子力損害の範囲を、原子炉の運転等に起因する事故に厳格に限定。
- (2) 責任の集中： 原子力事業者だけに全ての責任を集中。基本的に無過失責任。
- (3) 損害賠償措置の強制： 民間保険または政府との補償契約への強制加入により事業者の支払い能力を確保。
- (4) 賠償金額の制限： 事業者の経済的責任が無限大にならないよう、賠償責任限度額を設定。しかし、日本、ドイツ、スイス等の例外あり。
- (5) 国家補償： 事業者が賠償責任を果たしきれない場合等については、国家が補償。

現在、我が国はベトナム、インドネシア、カザフスタン、UAE、モンゴル等各国と二国間協力文書を締結し

Challenges for the Act on Compensation for Nuclear Damage : Akihiro SAWA, Sumiko TAKEUCHI.

(2012年 3月21日 受理)

て新規原子力導入に協力しているが、そうした国々でもほぼ同様の制度が構築されている。

なお、国境を超えて被害が拡大した場合に備え、複数の国際条約(パリ条約、ウィーン条約、原子力損害の補完的補償に関する条約)も存在しているが、日本はいずれも未加盟である。

II. 我が国の原子力損害賠償法

我が国では、昭和36年、原賠法及び「原子力損害賠償補償契約に関する法律」(以下、「補償契約法」という)が制定された。基本原則は上述した各国の原子力賠償制度とほぼ同様であるが、いくつかの特色を持っている。以下に条文を確認する。

通常民法の不法行為責任は、行為の違法性(権利侵害)、加害者の故意または過失(注意義務、回避義務双方を怠ったこと)、損害の発生、行為と損害の間の相当因果関係の4要件を充足して初めて発生するとされる。しかし、原子力事故については、被害者の損害賠償請求を容易にし、その保護を十分なものとするため、原賠法は原子炉等を設置している原子力事業者が無過失責任を負うことを規定している(同法第3条)。但し、「損害が異常に巨大な天災地変又は社会的動乱によって生じたものであるときは、この限りでない」(同法第3条第1項)と免責要件を定めている。

また、メーカーや工事事社等の民間企業が巨額の賠償責任を負うことを恐れて参入しなくなる事態を避け、原

子力産業を健全に育成することを目的に「原子力事業者以外のものは、その損害を賠償する責めに任じない」(同法第4条第1項)として、原子力事業者に責任を集中させている。

なお本法では、原子力事業者の賠償責任を有限にする旨の条文はなく、無限責任が課されていることになる。

責任要件を厳重にするだけでなく、事業者が賠償を行う十分な資力を持ちうるよう、損害賠償資力に関する措置を講じることを義務付け(同法第6条)ている。具体的には、民間の保険会社等との原子力損害賠償責任保険契約(同法第8条)、政府との原子力損害賠償補償契約(同法第10条)を締結することが義務付けられており、事業者が巨額の損害賠償責任を負って資金不足に陥ること、また、それにより被害者が十分な賠償を得られない事態を避けることとしている。事故当時の福島第一原子力発電所の保険契約及び補償契約の金額は法律制定当時のそれぞれ50億円から数次の改定を経て1,200億円に引き上げられていた。当該事故は地震及び津波によって発生したため、責任保険の免責事項に該当し、補償契約に基づき1事業所当たり1,200億円まで政府により補償される。しかし、今回の賠償はその措置額を遥かに超えるものとなることは冒頭述べた通りである。

措置額を超えた場合の被害者保護はどう図られるのか。原賠法第16条第1項は「政府は(中略)この法律の目的(=被害者の保護及び原子力事業の健全な発達という二つの目的が併存：筆者注)を達成するため必要があると認めるときは、原子力事業者に対し、原子力事業者が損害を賠償するために必要な援助を行うものとする」とし、第2項は「前項の援助は、国会の議決により政府に属せられた権限の範囲内において行うものとする」と定める。なお、原子力損害が異常に巨大な天災地変または社会的動乱によって生じたものであるとき、すなわち、第3条第1項ただし書の免責に該当するときには、「政府は(中略)被害者の救助及び被害の拡大の防止のため必要な措置を講ずるようにする」(同法第17条)とされる。

Ⅲ. 今次震災が明らかにした原子力損害賠償法の問題点と今後の方向

1. 現行の対応スキーム

福島原子力発電所事故の賠償責任については、事業者である東京電力が一義的に負うこととなっている。しかし、その額が損害賠償措置額を大きく超えていることから、政府は「原子力損害賠償支援機構法」を定め(平成23年8月10日公布・施行。以下、「機構法」という)、同9月に原子力事業者(12社計)と政府がそれぞれ70億円ずつを出資して「原子力損害賠償支援機構」(以下、「機構」という)を設立した。機構は、東京電力と共同して特別事業計画を策定し、内閣総理大臣及び経済産業大臣の認定を経て、政府が交付した国債の償還を請求することが認

められる。

また、「原子力被害者早期救済法」(平成23年8月5日公布)により、国が被災者への仮払いを行うこと及び原子力被害応急対策基金を設ける地方公共団体に対して補助を行うことを定め、早期救済を図っている。

国が行う資金的援助は、いずれも将来、東京電力から特別負担金や求償権の行使という形で返還されることが事実上前提となっている。

2. 問題点① 免責について

震災直後に大きな議論となったのは、この東日本大震災が同法第3条第1項ただし書にいう免責要件に該当するレベルの天災地変であったのかということだ。当初、東京電力も免責の適用主張を検討していた様子が伺える。事故直後の東京電力経営陣は、「想定外」という言葉を繰り返しているが、これは「予見不可能な災害」に起因する事故であるという主張をにじませたものではないだろうか。

しかし、事故直後から政府が免責は認められない旨宣言したことを受け、東京電力は、免責の主張をせず(留保して)賠償を行っている。原賠法第16条による国の援助を得られることを前提とした判断だと考えられるが、もし東京電力が免責の主張にこだわったとすれば、被災者が数年単位の長い時間補償を待たねばならない事態が発生する可能性があった。当時の世論の状況や政治的な環境を踏まえれば、東京電力が免責を主張するという選択肢は實際上現実的ではなかったと言えよう。

ただし、今後原賠法の検討が進められる過程においては、この免責要件の具体的な解釈を明確化していくべきである。免責要件の解釈の不安定性は、被災者に不安を与えるのみならず、投資対象としての電力会社の地位にも大きな影響を与えるからである。

森田章同志社大学教授は、国民負担を極小化することを基本に東京電力に一義的な責任を負わせ、政府が支援するという現行の対応スキームが、東京電力の資金調達能力を著しく劣化させ、結果として政府の負担を増やしていることを指摘している¹⁾。東京電力のみならず、原子力発電所を保有しない沖縄電力以外、震災から約1年間、それまで資金調達の柱であった社債をほぼ発行できなかったことをみても、事故賠償リスクの所在の不透明さから生じるファイナンスに対する影響は明らかである。(2010年度は10電力合計で1兆50億円の社債を発行したが、2011年度は沖縄電力が6月に100億円、3月に東北電力が600億円を発行したのみであり、電力10社のファイナンスはほとんどが銀行からの借入金に依存しているのが現状である。)

事業者にもそもそも免責を認めるか否かについては、立法当時も当然大きな議論となった。被災者保護の徹底を掲げ一切の免責を認めないドイツの例に倣うか、それ以

外の国が採るように、不可抗力に当たる場合にも事業者に責任を求めるのはあまりに酷であり、民事責任の一般原則からの乖離が大きすぎるという見地に立つのか。あるいはまた、免責を認めることとして、その事例を具体的に列挙するのか、一般条項として書くにとどめるのか。具体的列挙の利点は判断が容易で明確だが、事前に具体的事例を列挙するのは法技術的にも非常に困難であり、現行原賠法の通り一般条項を置くしかなかっただろう。

しかし、解釈の不安定性を今以上に排除することは重要な論点である。星野英一東京大学名誉教授(当時助教授)が「(免責事由については)保険、特に国家補償との関係で立体的に見る必要がある」と述べている²⁾が、その考え方は今でも当てはまる。今後の原賠法見直しにおいて、下記Ⅲ-3, 4節問題点②, ③に述べる国の措置や保険と関連して、解釈上の問題やリスク分担のあり方についての検討が詳細に行われることを期待する。

その意味で、今回政府が免責要件は適用しないと一方的に宣言したことは、被災者への補償が速やかに行われることとなったという結果においては妥当性があろうが、政治的判断が法的解釈論に優先しており、国と事業者の責任について、議論が未成熟なままとなったことは将来に課題を残したと言わざるをえない。

そもそも政府が免責要件は適用しないと宣言するのであれば、今回の大震災及び津波という「天災地変」は、少なくとも政府にとっても想定内だったということになり、それまでの政府の安全審査・保安行政についての不作為(事業者に対する津波対策の強化指示など)についての不作為が問題となりうる余地がある。その場合には、国家賠償責任の問題も浮上することは必定だが、その点は政府が上記の宣言をした時点で内部的にきちんと検討されたのだろうか。もしされたのであれば、その検討内容を開示するべきだろう。

いずれにせよ、原賠法の第3条第1項については、制定に至るプロセスにおいて、上述してきた各論点について、相当深い議論がなされていたことを踏まえ、今回の賠償処理問題とは切り離して、再度冷静な議論がなされることが必要である。

3. 問題点② 国の措置について

各国の原子力損害賠償制度の共通原則をI章に述べたが、事業者に無限責任を負わせ、国が必要な「援助」を行うとした同法第16条は、我が国独自のスキームである。立法当時の議論を振り返る。

昭和34年12月12日、故我妻榮東京大学名誉教授を会長とする原子力災害補償専門部会は「損害賠償措置によってカバーしえない損害を生じた場合には国家補償をすべきである」と答申した。原子力事業が国を挙げて取り組む政策である以上、被害者の保護に欠けるところがあるてはならないという趣旨からである。

序文には「原子力事業者に重い責任を負わせて被害者に十分な補償をえさせて、いやしくも泣き寝入りにさせることのないようにするとともに、原子力事業者の賠償責任が事業経営の上に過大な負担となりその発展を不可能にすることのないように、適当な措置を講ずることが必要」とあり、基本的な政策理念が明らかにされている。答申全体からは、原子力という未知の技術に起因する災害補償制度構築に手探りで取り組んできた関係者の強い意思が感じられる。

しかし、法案の政府部内調整では、たとえ国の政策として原子力事業を推進するにしても、民間事業者が主体である限り、その事業において発生した被害について、国が直接損害賠償責任を負うことは不合理であるとの消極論が強く、結局、同法第16条第1項は先述した通り、政府が「事業者が損害を賠償するために必要な援助を行う」と規定するにとどまった。また同時に、同法の目的も、「被害者の保護」に加えて「原子力事業の健全な発達」が挿入され、国が直接的に被害者に賠償責任を負うのではなく、賠償責任を一義的に負う事業者に対する資金援助を通じての間接的な支援にとどまるという構造が明示的に形成されたのである。

法案成立後、我妻教授は、部会の答申と法は立脚する構想が異なる、と批判している。「原子力の平和利用という事業は、歴史上前例のないものである。その利益は大きいであろうが、同時に、万一の場合の損害は巨大なものとなる危険を含む。従って、政府がその利益を速進する必要を認めてこれをやろうと決意する場合には、被害者の一人をも泣きね入りさせない、という前提をとるべきである(原文ママ)」としたうえで、「事業者の助成と保護という衣を着て、煮え切らない態で『援助』するというだけである(16条)。実際問題としては、政府と国会の良識によって被害者が保護されることになるであろう」と述べている³⁾。

同様に、故竹内昭夫東京大学名誉教授(当時助教授)も、法の文言通り、賠償の履行に必要な限りは無制限な援助が約束されているならば理想的な体制だろうとしたうえで、そもそも答申の構想に則って立法がなされなかった理由が、国の財政能力からみて困難という政府部内の意見を反映した結果だとすると、国の関与については「後退」を意味し、事業者に不安を与えていると指摘している。さらに「衆議院の科学技術振興対策特別委員会で、『被害者の保護に遺憾なきを期するため、政府は充分なる援助を行うと共に、あらかじめ、この被害者保護の目的に沿うよう……事業者の…利益金積立等について指導を行うべきである』という妙な付帯決議がなされたりすると、いったい政府や国会は必ず援助するつもりなのかどうか、甚だ疑わしいということになってしまう。」⁴⁾としている。

結局、故我妻教授が第38回衆議院・科学技術振興対策

特別委員会が参考人として述べた通り、理論的にすっきりしない点があること、そして、政府及び国会の良識に運用が委ねられてしまうことが、当初から危惧されていたのである。

原子力産業の健全な発達に資するために国が助成を行うことはできても、民間原子力事業者が第三者に与えた損害を国が賠償することはできないとする理屈は、他の産業災害とのバランスを考えれば一理あるが、原子力損害の特殊性を考えれば一理でしかない。原子力事業は国のエネルギー政策の一環であり、官民が一体となって推進してきたという実態もある。大きな事故が発生すれば、経営基盤が根本から損なわれて実質的に破綻してしまいかねない民間の事業者のみが賠償責任を負う構造になっている現行原賠法は、被災者の保護が充分担保されているとは言い難いのではないだろうか。

4. 問題点③ 保険及び国家補償—原賠法見直しに向けて

損害賠償資力に関する措置、すなわち保険及び国家補償は、被災者への補償を現実化するための最も重要な課題といえよう。先述した原子力災害補償専門部会の法学者委員たちは、法制度の構築と同時に、どのような民間保険が可能なのかを検討していた。日本私法学会が立法当時に開催したシンポジウム「原子力災害補償」での議論に詳しい⁵⁾。

私企業が運営する原子力発電所の事故での補償については、まず民間の保険でカバーすることが前提と考えられるが、民間保険である以上は引き受け可能な危険の範囲・性質にも、そして量(金額)にも当然制限が生じる。立法当時、原賠法第8条に定める民間保険会社との原子力損害賠償責任保険契約が1施設あたり50億円と定められたのは、当時、日本の損害保険会社全てが共同で一つの原子力保険プールを結成し、さらに海外の再保険引受を含めて、確保しうる民間保険がその金額であったからだ。

そして、(1)賠償額が保険金額の50億円以内であったとしても免責条項その他により生じる「穴」、(2)賠償額が50億円を超えた場合の excess loss という「穴」、それぞれを埋めるには、国家補償が出ていかざるをえないとの議論に立っている。故竹内昭夫東京大学名誉教授は、国の関与について、①国が民間の保険を再保険する、②民間保険に上積みして国家補償を行う(a:民間保険が引き受けない部分についての国営保険、b:法律上の義務として行う補償、c:原子力事業者との契約によって補償を行う補償契約)など様々な態様を挙げて整理したうえで、「国内のすべての保険だけでなしに国外の再保険を利用しても、なお完全な被害者保護を図れないとすれば、国家補償より方法はない」と報告している⁶⁾。

今後の震災で民間の保険会社は原子力損害賠償責任保険契約を慎重に見直すであろう。危険を可及的に分散し

うる保険及び国の関与はどうあるべきか。原子力発電所再稼働に向けては、民間の保険と国家補償をどう組み合わせ、万一の事態における被災者保護を図るのかの具体的スキーム構築は、先述した免責要件に関する解釈の不安定性排除と共に、今後、原賠法見直しの最重要論点であると思料する。

V. 事例—米国スリーマイルアイランド事故関連費用について

過去、人類が経験した原子力発電所事故の中から、賠償に関する事例として、米国スリーマイルアイランド原子力発電所(TMI)2号機の炉心溶融事故に関わる費用の分担・回収方法を紹介する。

1. 概要

TMIを所有するGPU(General Public Utility Corporation)は、米国北東部のペンシルベニア州、ニュージャージー州で電気事業を行う垂直統合型事業者3社の持株会社で、その電力供給子会社3社はTMI1号機、2号機(出力各89万kW、96万kW。PWR)を共同所有していた。

当時は両州とも、電力小売市場は自由化されておらず、GPU子会社3社の電気料金は、それぞれの州の規制機関による規制料金であった。

GPUは当時、米国で17番目に大きい電気事業者であった。資産規模は46億ドル(現在価値で約1.4兆円)、需要家数は150万軒、売上高は13億ドル(約4,000億円)。

1979年3月28日、TMI2号機において冷却ポンプ故障と操作ミスから、炉心溶融と水素爆発が発生。発電所外への放射性物質の放出も確認されたが、地域住民の平均被ばく量は0.01 mSv程度と推定されている。

1号機は定期点検のため停止中であり、2号機事故の物理的影響はほとんどなかったものの、1985年まで再稼働できなかった。

2. 事故に伴って発生した主な費用

(1) 周辺地域への原子力損害賠償費用—0.71億ドル

退避した周辺住民への賠償、風評被害の賠償、裁判費用等含めて0.71億ドル(約200億円)—全額保険で賄われたため、損害賠償に関するGPUの負担はなかった。

(2) 発電所停止に伴う代替電力調達費用—約6億ドル

GPU傘下の3社は卸電力市場から代替電力を調達。1979年4月から1981年6月末までの27か月だけでも約6億ドル(約1,800億円)に達した。(TMIの発電単価0.4セント/kWhに対し、卸電力市場からの調達費用は4セント/kWhと10倍)。この費用は1979年6月、両州規制当局により電気料金への転嫁が認められた。

(3) 追加的廃炉準備費用—約9.7億ドル

2号機の安定化、燃料取出し、原子炉格納容器の除染

など、通常の廃炉費用(別積立て。ただし、2号機は営業開始から間もなかったため、廃炉費用の積立てもほとんどなかった)とは別の追加的廃炉準備費用は約9.7億ドル(約2,700億円)と、GPUの年間売上高にほぼ匹敵する額となった。同費用の電気料金転嫁を当局に申請したものの認められず、資金繰りが悪化した。

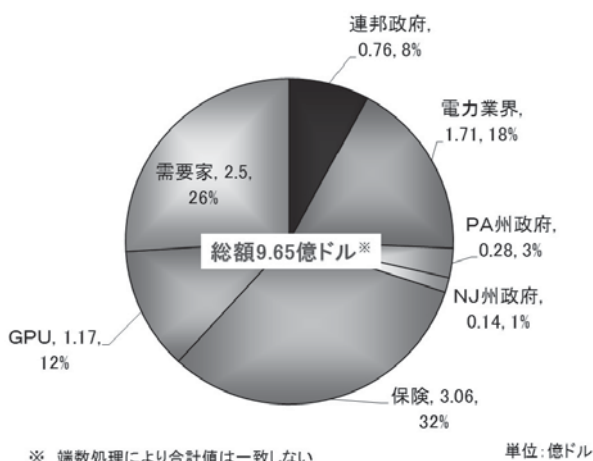
3. ペンシルベニア州知事による裁定

事故発生から2年4か月後の1981年7月、莫大な廃炉費用により、GPUの経営破綻が現実味を帯びる中、ペンシルベニア州ソーンバーグ知事が社会全体での費用負担を提案した。(1)事故は国難であるとともに廃炉技術の蓄積は国家利益追求の良いチャンスであること、(2)公衆の安全・健康のためには遅滞なき廃炉準備作業が必要であり、そのためにはGPUの財務健全性を確保すべき、(3)GPUに加え、原子力の利益享受者、責任者も費用を負担すべき、という原則に基づく「三方一両損」の提案である。具体的な費用分担案については第1図を参照されたい。

なお、株主責任については、株価が7割低下、配当も停止していたこともあって議論の俎上にはのぼらなかったが、事故直後はGPUを糾弾する論調も多く、GPUの全額負担を求める意見も多くあったという。

関係者の中には提案への拒否反応もあった模様だ。今となっては当時の新聞記事等を手掛かりに推測するほかないが、連邦議会議員の中にも州政府と需要家の負担で対応すべきとの意見があったのを、ソーンバーグ知事が自案を丁寧に説得して回った様子がかがえる。最終的に、巨額の廃炉準備費用は事業者の経営合理化等による資金ねん出で賄されるレベルのものではないことを関係者が共有し、現実的な解決策として受け入れられた。

これにより、廃炉準備費用ねん出の道筋が付き、GPUの経営も安定したため、電力の安定供給を維持しつつ廃炉準備に向けた事故処理作業も順調に進んだという。1993年に事故関係作業は無事完了している。



第1図 廃炉費用に関わる具体的な費用分担

翻って福島第一原子力発電所事故の現在の状況を見るに、東京電力は、巨額の賠償費用、廃炉費用等に加え、火力で原子力を代替するに伴う燃料費の急増という二重、三重の負担を背負っている。こうした状況では、通常の破綻処理であれば、東京電力はすでに倒産・破産しているはずであるが、上記の原賠法や機構法では、東京電力は莫大な債務を抱えながら、通常営業を行いつつ、債務を履行していくことが想定されている。

こうした状況は持続可能なものとは言いがたく、近い将来、東京電力は、電力供給事業と債務処理についての主体を分離したうえで、再起を図ることが避けられないだろう。その際、債務の内実たる被害者に対する迅速な補償と的確な廃炉や除染について、電気料金、税金、今後東京電力に注入する政府の資本の配当・上場益などを原資に、どのように負担を分担していくのかについて、現実的な検討を至急始めるべきだ。ここでのTMIの例を見ても、強力なリーダーシップを取れる人材が、その検討を主導していくことが必要である。

VI. 賠償スキームも含めた安全・安心の確立に向けて

エネルギー政策は、安全性、安定供給、コスト、品質、環境制約等の総合的な観点から現実的な検討を行うこと、また、楽観論によるのではなく、確たる技術に基づく計画づくりが必要である。筆者らの私見では、今後少なくとも一定期間は、電力供給の一部を原子力発電によって行うという選択肢が必要だと考えている。その際の大前提となるのが、ハード面での安全性確保はもちろん、事故時の収束に向けたコントロールをゆだねられる人材や組織のトレーニングを通じた地元住民の安心であることは言を俟たない。しかし、現実のビジネスとして原子力発電を継続していくためには、そうした社会的信頼に加えて、安定的なファイナンスを確保できることが必須条件となる。

機構法の附則第6条には、「原子力損害賠償制度・原子力発電所事故の収束に係る国の関与及び責任の在り方等について検討を加え」、「賠償法の改正等の抜本的な見直しをはじめとする必要な措置を講ずる」と規定されている。上記に指摘した問題点が、この機会に再検証され、最善のスキームが構築されることが期待される。

今回の政府の責任範囲の曖昧さは、東京電力のみならず、他の原子力発電所を保有する電力会社にもファイナンスの面で大きな課題を生じさせた。原子力事業は「国策民営」と言われ、いざというときは政府が前面に出て金融的な問題の処理に取り組んでくれるものと、電力会社に資金を融資してきた金融機関は考えていた。実質的な政府保証が存在するものと信じていたわけである。しかし、機構法の制定過程で、現行の原賠法の構造が再認識され、それほど政府に期待することはできない

ということが明らかになった。その結果、今後の原子力発電事業自体はもちろん、原子力発電事業を行っている電力会社の事業全体に対するファイナンスのリスクが大きいのという認識が一般化しつつあることは、Ⅲ-2節問題点①で詳述したとおりである。

電力会社が条件の悪いファイナンスしか得られなくなった場合、送電線整備や発電所建設などの中長期設備形成に必要な資金調達を行いがたくなるうえ、利子は電気料金に乗せて回収せざるをえず、結局、国民負担の増加を招くこととなる。国の責任範囲が曖昧であるままでは、国のエネルギー政策全体に悪影響を及ぼすことは明らかだ。

さらに、日本は現在、原子力賠償に関するいずれの国際条約にも未加盟である。島国であり偏西風の風向など考慮しても越境損害の恐れが少ないと考えられること、自国の原子力賠償制度が十分に整っていること、周辺のアジア諸国も加盟していないことなどが理由である。しかし、今回の事故で周辺各国が見せた非常に強い反応を鑑みても、また、福島事故の後もアジア各国は原子力を積極的に導入するというエネルギー計画を変更していないことから、国際条約への加盟も改めて検討されるべきであろう。

米戦略国際問題研究所のジョン・ハムレ所長は、脱原発は長期的視点で考えた場合、より大きなリスクを抱え込むことにつながることを指摘したうえで、必要なプロセスの一つに賠償に関する法的枠組みの整備を挙げている⁷⁾。日本が、「被害者保護」及び「原子力事業の健全な発展」を目的とする原子力損害賠償制度をどう進化・具体化させるのか、世界が注目しているといっても過言ではない。

今後エネルギー政策として原子力をどう位置づけられるかによって、原賠法のあり方が変わってくることは当然だ。しかし、日本政府が原子力を選択肢として残すのであれば、現行の原賠法があいまいにしてしまった国家補償に関する問題点、すなわち、制定当時の政府部内調整によって生じた部会答申の政策理念とのギャップを解決することが必要条件となることは明らかである。

—参考資料—

- 1) 日本経済新聞「経済教室」2011年7月12日。
- 2) 星野英一「民事責任の問題」私法22号。
- 3) 我妻栄「原子力二法の構想と問題点」ジュリスト236号。
- 4) 竹内昭夫「原子力損害二法の概要」ジュリスト236号。
- 5) 私法22号。
- 6) 竹内昭夫「保険および国家保証の問題」私法22号。
- 7) 日本経済新聞「経済教室」2011年8月5日。

著者紹介



澤 昭裕(さわ・あきひろ)
特定非営利活動法人 国際環境経済研究所
(専門分野)エネルギー・環境政策



竹内純子(たけうち・すみこ)
特定非営利活動法人 国際環境経済研究所
(専門分野)エネルギー・環境政策, 自然保護



From Editors 編集委員会からのお知らせ

—最近の編集委員会の話題より—
(5月11日第11回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・英文誌のTaylor&Francis社からの発行に関して、次のことを決めた。①賞の新設に関して、1つはJNST Most Popular Article Awardとして、発行後1年間のダウンロード数で表彰することとした。長期に関しては、継続して検討する。②5月号が4月25日にアップロード済み、冊子体Issue3-4が5月10日に事務局に到着した。③Instructions for Authorsに関しては、出版社との調整が必要。
- ・次年度編集委員を確定した。グループ編成に関しては、規則、電子化、査読進捗、学会賞の4グループとする。編集委員会全体会議は行わず、新任の委員だけを集めて説明を行う。
- ・英文誌50周年記念企画として、各分会から推薦されたReview候補から、各分野責任者に1件を選んでもらうこととした。計算部会推薦は依頼することとした。招待論文として、15ページまで無料とする。
- ・インパクトファクター向上策について検討した。

- ・震災関連論文を含め、投稿論文審査状況について報告があった。震災関連はReviewを追加して受付を延長する。同審査要領の一部改訂を承認した。
- ・学会持ちの英文校閲の中止に伴い、投稿規程、英文論文審査・査読要領、審査・査読に関する留意点(担当編集委員用、査読委員用)の一部改訂を承認した。
- ・JNST特集号の希望があり、実施方法等検討することとした。

【学会誌関係】

- ・主要記事の打診、執筆状況の確認を行った。9月号からの記事企画を鋭意行っていく。
- ・次年度の学会誌編集委員の体制について検討した。体制の変更に伴い、編集委員会運営内規、学会誌記事作成要領を修正した。
- ・今後、目安箱は事務局で取り纏め・管理し、投書があった場合は事務局が編集委員会に報告し、対応することになった。
- ・執筆者に送付しているファイルのうち、「記事執筆の目安」「執筆要領」を一つに纏めて、内容を簡略化し、分かり易くすることとした。

編集委員会連絡先<<hensyu@aes.j.or.jp>>

福島原発事故の民間事故調査委員会に参加して

元 原子力委員会 委員長代理 遠藤 哲也

民間事故調の発足

2011年3月11日に起こった日本史上最大のマグニチュード9.0の巨大地震と津波は東日本に壊滅的な被害を及ぼしたが、更にこの地震と津波は福島第一原発を直撃し深刻な打撃を与えた(第一発電所地域で震度6の地震)。IAEAの定めた原子力事象評価尺度(INES)のレベル7というチェルノブイリ事故(1986)と並ぶ大事故であり(スリーマイル島事故はレベル5)、文字通り triple disaster であり、環境汚染を加えれば quadruple disaster であった。

原子炉は、目下一応「冷温停止状態」にあり、更なる水素爆発や再臨界のおそれとはとりあえずなくなっているが、溶融した炉心はそのままだし、汚染水はたまり続けているし、特に炉心が溶融した廃炉作業となると数十年かかるであろう。被曝・避難した人々は10万人を超え、元の土地に戻る目が立っていない人々も少なくない。除染にも気の遠くなるような時間と労力を必要としよう。

この原発事故は、「原子力事故に国境なし」のことわざ通り世界中に大きなインパクトを及ぼし、わが国に対してはもちろんのこと、世界中に対しても少なからぬ影響を与えている。このような事故を二度と起さぬために、又万一事故が起こったとしてもその影響を最小限に食い止めるために、事故の原因を徹底的に究明し、今後何を為すべきか、今後の原子力政策に何を反映すべきかを考え、事故を検証するために本格的な調査の必要性が感じられた。

そのため、いくつかの検証委員会が設けられたが、主なものとして東京電力自身によるもの、日本政府によるもの(委員長・畑村洋太郎 東京大学名誉教授)、国会史上異例のことだが国会によって設けられたもの(委員長・黒川清 元日本学術会議会長)などがあげられる。そのうち東電によるものは、何分にも事故の直接の当事者

As a Member of the Independent Commission on the Fukushima Daiichi Nuclear Accident: Tetsuya ENDO.

(2012年 3月22日 受理)

であるから外部委員会のチェックをうけたとは言え、自己弁護ととられかねない。目下進行中で6月中旬に完成するといわれる政府や国会によるものは力をバックとする強い権限を持ったものだが、事故における日本政府の責任をどこまで追及できるかとの懸念もないわけではない。そこで、何のしがらみもない独立の立場から、資金も自前で事故を検証しようと民間の「事故独立検証委員会」を設立することとなった。

この民間事故調は2011年10月に発足し、約半年間の調査ののち、2012年2月28日に結果を公表した。約400ページに及ぶ報告書である。

委員は次の6名から構成されていた。

- 委員長 北澤宏一 (前科学技術振興機構理事長)
- 委員 遠藤哲也 (元国際原子力機関理事会議長)
- 委員 但木敬一 (弁護士)
- 委員 野中郁次郎 (一橋大学名誉教授)
- 委員 藤井真理子 (東京大学先端科学技術研究センター教授)
- 委員 山地憲治 (地球環境産業技術研究機構研究所長)

この一覧表からわかるように、この6人は自然科学者、社会学者、弁護士、外交官など多岐にわたる学識経験者から構成されており、原子力技術の専門家は山地氏一人であった。なお報告書の作成に必要な調査と検証は、この委員会の下に中堅、若手の大学やシンク・タンク研究者、弁護士など約30人から成るワーキング・グループを設置して実施された。本報告書はワーキング・グループの努力に負うところが大きい。

民間事故調の調査・検証

調査の過程で菅前首相をはじめ300人を超える関係者と長時間インタビューを行った(菅前首相の場合3時間位のインタビュー)。次に面接者を順不同で例示する。なお、個々のインタビューについては、関係者の許可を得て、将来とりまとめ公表したいと考えている。

菅直人前首相、枝野幸男経済産業相(前官房長官)、海江田万里元経済産業相、細野豪志環境・原発事故担当相、

福山哲郎前官房副長官，大塚耕平前副厚生労働相，近藤駿介原子力委員会委員長，班目春樹原子力安全委員会委員長，久木田豊原子力安全委員会委員長代理，深野弘行原子力安全・保安院長，広瀬研吉内閣府参与，小佐古敏莊東大教授(当時，内閣官房参与)，田坂広志多摩大学院教授(同)，下村健一内閣審議官，森口泰孝文部科学事務次官(当時，文部科学審議官)，谷口富裕前国際原子力機関事務次長，福島伸享衆議院議員，酒井一夫放射線医学総合研究所放射線防護研究センター長，吉岡齊九州大副学長(政府事故調査・検証委員会委員)しかし，東京電力からはOBの方々の話を伺うことはできたが，現首脳陣の協力は全く得られず残念であったし，原子力安全・保安院，文科省からも満足のゆく説明が得られなかった。民間事故調の調査は政府事故調や国会事故調と違って任意のものであるから，これは致し方のないところであった。

報告書の指摘した主な問題と提言

報告書は，第一部 事故・被害の経緯，第二部 原発事故への対応，第三部 歴史的・構造的要因の分析及び第四部 グローバル・コンテキストの4部から構成されている。第一部及び第二部については，政府事故調の中間報告書は大いに参考となった。第三部と第四部は本事故調独特のものである。報告書は，我田引水かもしれないが問題点を誰にも遠慮なく，ザックリと切り下げているが，それをみると，福島事故の引き金は，言うまでもなく地震，津波，つまり「天災」にあったが，天災をこのような大事故にしてしまったのは，「人災」の要素が大きかったように思われる。歴史にイフ(if)はないが，もし日本が外部からの声に謙虚に耳を傾けていたならば，もし原子力施設に対して適切な設計がなされていたならば，もし過酷な事故(シビア・アクシデント)に対し十分な備えがなされていたならば，あるいは大事故を避けることができたかもしれないし，少なくとも影響を大幅に減じることができたのではなかったかと思われる。

「天災」に対しては人間はどうしようもないところがあるが，「人災」に対してはその多くは人間の智でもって克服できるものと筆者は確信している。

以下に報告書が指摘した問題点を順不同だが列記する。

- ・原子力災害をタブー視する「絶対安全神話」が事故の根源的要因

規制当局や電力事業者だけでなく，地域住民ひいては国民全体が神話を受け入れ，事故の可能性を論じることが難しい状況が生まれた。一方，反原発運動が盛り上がると，逆に神話を強化する方向に動いた。

- ・過酷事故(シビア・アクシデント)への備えを怠った東京電力及び政府の組織的な怠慢

「絶対安全神話」に毒されて，シビア・アクシデント

は起こらないものとの自縄自縛に陥り，事故への備えをおろそかにしていた。官民双方とも備えが不十分であったが，この事故の最終責任は国にある。

- ・原子力カムラの内部でのもたれあい
 - 産(電力及びメーカー)・官・政・学・マスメディアを含めた「中央の原子力カムラ」と積極的に原発との共存を求める「地方の原子力カムラ」という内向きな組織の2つの原子力カムラが存在。「みんなが空気を読み合っただけで動いて来た。」
- ・「国策民営」の旗印の下での責任の所在のあいまいさ
 - 国が原子力政策を決定し，事業者が運営する「国策民営」方式で，安全規制に対する責任の不明確。
- ・初動対応における官邸主導によるかつ現場への場当たりのな過剰介入
 - 菅前首相の個性が正負両面に出た。総指揮官が配下の官僚不信のままに細部に介入することによって指揮命令系統に混乱が生じた。(不信と介入のスパイラル)
- ・国民とのコミュニケーション不足による政府(及び東京電力)に対する国民の信頼の喪失

あいまいな説明，発表情報の混乱，SPEEDI(緊急時迅速機能影響予測システム)など情報開示の遅れが繰り返され，政府の情報発信に対する不安や失望感が強まった。放射能汚染の拡大や住民退避を懸念する海外に対しては，さらに脆弱な情報発信しか行われなかった。」

- ・原子力安全規制がガラパゴス化し，世界標準から取り残されており，規制を実施する能力が規制機関に不足していた

「決められたことをチェックするだけ」「木をみて森を見ず」のごとく形骸化した原発の検査体制と，縦割り行政の弊害については，関係者の多くはそのように感じてはいたが，自分一人言い出してもどうしようもないと思っていた節がある。規制機関の人材不足を新しく発足する原子力規制庁が果たして補うことができるだろうか。

- ・国際社会からの助言，勧告の無視

例えば，9.11に関しテロ対策についての米国原子力規制委員会(NRC)からの助言(B.5. b)^aやIAEAの各種の勧告に対し，政府，電力ともこれを無視ないし十分に耳を傾けなかった。上記B.5. bについては，受け取った原子力安全・保安院はその重要性を認識しなかったのかもしれない。

^a B.5. bとは，2001年9月11日の米国における同時多発テロ事件後，原子力施設に対するテロ対策強化の一環として，2002年2月にNRCより事業者に対して出された命令である。この中で，例えば「各事業者は，プラントの大規模な機能喪失が発生した状況においても，炉心冷却，格納容器の機能及び使用済み燃料プールの冷却能力の維持回復するための戦略を実施することが求められている。」

次に民間事故調報告書のいくつかの提言を列記する。

- ・原子力推進行政から独立した原子力安全規制機関の設置
原子力規制と推進の分離は従来から日本に対し繰り返し勧告されてきたが、福島事故の後、ようやくにして実現する運びとなった。原子力安全・保安院は経産省から切り離され、環境省の外局として原子力規制庁となる。内閣府にあった原子力安全委員会も原子力規制庁に移行する。だが、伝えられる原子力規制庁(等)はどれも中途半端のようだ。この改革で果たして規制庁の独立性と専門性が確立されるのだろうか甚だ心もとない。新しい皮袋には新しい酒を入れなければならない。
- ・過酷な災害や事故に対応する本格的な実行部隊の創設
- ・首相への科学技術の助言機能の強化
- ・常に危機に備え防災計画の見直しを図ること
バックチェックの必要性
- ・日本が原子力安全、核セキュリティ、核不拡散で国際協調できる体制の構築

報告書に対する反響

民間事故調の報告書は前述のとおり、2012年2月28日に邦人記者会見を通じて公表された。続いて、3月1日に外国人記者に対して説明が行われ、筆者はその双方に出席したが、いずれも超満員の盛況であった。その後も、

特に、外国プレスからの単独インタビューの要請が引き続き続いている。このことは、この報告書が事実上この種の報告書で一番手だったことであろうが、何よりもこの問題に対する内外からの関心の高さを示すものといえよう。

質疑応答を通じて外国人記者の特に関心があったと思われるのは、例えば次のような諸点であった。

- ・本件原発事故の法的責任
(東電、行政、原子力安全委等)
- ・核セキュリティについて
B5bはなぜ無視されたのか等
事故後、日本は核セキュリティに改善措置をとっているのか等。
- ・東京電力はなぜ調査に応じなかったのか
- ・今回の事故は津波が主因とされているが、地震によっても原子炉は損傷を受けたのではないか
- ・菅前首相の行動等について

新聞、TVの取りあげ方も、論説等も含めて、内外ともに前向きであった。報告書は、関係者への配布だけでは到底間に合わなくなり、急ぎよ、印刷、市販ということになり、すでに10万部位の売上げとなっていて、ある意味で嬉しい悲鳴をあげている。

福島第一原発事故

平成23年	3月11日	午後2時46分	東日本大震災発生
		3時27~35分	第一原発に津波が襲来
		3時37~41分	1~3号機が全交流電源喪失
		7時3分	原子力緊急事態宣言
		9時23分	半径3キロ圏内に避難指示、10キロ圏内に屋内避難指示
	12日	午前5時44分	避難指示を10キロ圏内に拡大
		7時過ぎ	菅直人首相が視察のため第一原発に到着
		9時過ぎ	東電が1号機のベント作業に着手
		午後3時36分	1号機が水素爆発
	14日	5時55分	海江田万里経産相が1号機の海水注入を指示
		6時25分	避難指示を20キロ圏内に拡大
		7時4分	1号機に海水注入開始
	15日	午前11時1分	3号機が水素爆発
午前5時30分頃		菅直人首相が東電本店訪問。政府・東電統合対策本部設置	
23日	6時過ぎ	4号機で水素爆発。2号機圧力抑制室の圧力が急低下	
	11時	20~30キロ圏に屋内退避指示	
	午後9時頃	原子力安全委員会がSPEEDIのデータを初公表	
	4月12日	原子力安全・保安院、国際事故評価尺度レベル7と評価	
5月12日	22日	20キロ圏内を警戒区域に。計画的避難区域、緊急時避難準備区域も設定	
	5月12日	東電が1号機の炉心溶融を発表	
9月30日	9月30日	緊急時避難準備区域を解除	
	12月2日	東電の社内事故調が中間報告	
	16日	野田佳彦首相が「冷温停止状態」を宣言	
	26日	政府の事故調が中間報告	
平成24年	2月27日		民間事故調が報告書発表

終わりに

前にも述べたとおり、事故検証の目的はこのような悲劇を二度と繰り返さないことであり、この報告書がその目的に幾分なりとも役立つことを願う。民間の委員会であるから、調査、検証に不十分な点もあり、今後、権限と力のある政府なり国会の事故調査が補ってくれることを期待している。3つ合わせて目的により接近できるものと思う。

これからの課題は、事故の徹底的な究明から、国内的及び国際的な教訓を得ることであり、その教訓を速やかに実行に移し、原子力の安全規制の見直しに生かすべきである。惰性や原子力ムラのもたれあい、縦割り行政の弊害を打破することである。又、ポピュリスト的な反原発ムードに流されず、冷静かつ現実的に対応してゆくこ

とである。

今回の事故によって、原子力に対する国民の信用は大きく損なわれてしまった。事故の対応に対する政府及び電気事業者への信用、信頼は地に墜ちたといってもよからう。これを回復するのは容易なことではなく、長い時間を必要としようが、この決め手の一つは透明性である。国民の信頼なくして原子力は成り立たない。

(2012年3月25日 記)

著者紹介



遠藤 哲也(えんどう・てつや)

一橋大学客員教授、日本国際問題研究所
シニア・フェロー

(関心分野)核不拡散、核セキュリティ、
北朝鮮問題

新刊紹介

放射線防護の実用的知識

クラウス・グルーベン著/岡田 淳, 吉田勝英訳, 194 p.

(2011.12), 講談社.

(定価3,800円) ISBN 978-4-06-155798-7

まず本書を一読して、これまでにはなかったテキストだな、という印象を受けた。いい意味で「教科書」らしくないとも言えよう。

本書では、最初に放射線防護に対する物理単位、原子核物理の基礎、放射線に関する基礎的な事項に触れた後、放射線防護に関する安全規制などの制度面の実例を取り上げている。その後、各種放射線源、環境放射能の話から原子力発電所の概論へと移り、電離放射線の生体への影響、放射線事故、非電離放射線と話が展開される。

これらの章立てのみを見ると、一般的な放射線概論のテキストと同じような構成ではあるが、タイトルにある「放射線防護」をキーワードとして全面に出し、序論に掲げられている「放射線源によって起こされる潜在的危険性を正しく判断する」ことを本書の通奏低音として流していることが、本書をユニークなものとしている所以であろう。

放射線防護の観点から、関連する諸分野について基礎から

応用まで幅広く扱い、基礎的な事項をカバーしつつも実用・応用面に力点をおき、かつ、「読み物」としても十分に楽しめるというスタイルには、筆者の30年以上にわたる講義での経験が十分に反映されているものと思われる。内容や構成からいって、放射線防護・放射線管理を志望する学生や実務入門者が、一般的なテキストで放射線や放射能に関する一通りの基礎を学んだ後、個別の専門的な方向に進むにあたって、自身の知識を幅広い関連分野に拡げて深めるための一助として本書は多に活用できよう。

放射線防護に関わる多種多様な関連分野のすべてをテキスト1冊に詰め込むことは当然不可能である。本書を用いた学習を経て、読者が興味を深めたい分野については各々の専門書を紐解いていくことが重要であるが、この点において、読者向けの専門文献や資料の一覧が含まれていればなお良いと感じた。

なお、本書には放射線防護に関連した原子力工学関連の記述も豊富に取り入れられているが、専門用語の訳語が随所でやや不正確であるという印象を受けたのが残念である。訳者達のご専門外であるということもあろうが、改訂版の出版の際には是正いただくことを期待したい。

(京都大学・宇根崎博信)



確率論的安全評価(PSA)と確率論的リスク評価(PRA)

大阪大学 山口 彰(標準委員会リスク専門部会長)

日本原子力学会標準委員会リスク専門部会は、リスク評価に関連する標準策定をすることを任としている。従来、これら標準の表題に確率論的安全評価(PSA)という言葉を用いていた。福島第一原子力発電所の事故を踏まえ2011年12月に策定した津波リスク評価標準では確率論的リスク評価(PRA)とした。今後策定するリスク評価関連の標準においても確率論的リスク評価(PRA)と呼ぶこととする。もちろん、PSAという名称を否定するものではない。学会標準はリスク評価の要件と具体的方法を規定するものであるためである。PRAから得られる全てを安全確保活動に活用し、有効な安全向上策を構築する一連の行為はPSAであると考えている。本稿は、日本原子力学会標準でPSAを改めPRAとした背景を解説する。

I. はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う津波により、福島第一原子力発電所においてシビアアクシデントが現実のものとなった。日本原子力学会は、直ちに標準委員会リスク専門部に津波PSA分科会を設置し、津波PRA標準¹⁾を制定した。福島第一原子力発電所の事故の教訓として、津波に起因するリスク評価が必要であると考え、そのための手法を早急に提示すべきと考えたからである。津波PRA標準の審議の過程で、津波PSA分科会を津波PRA分科会と改称した。標準の表題も“確率論的リスク評価(PRA)”とした。標準委員会リスク専門部会がこれまでに発行した標準の表題は、全て“確率論的安全評価(PSA)”としていたが、今後発行する標準はPRA標準とすることとした。本稿では、PSAを改めPRAとした背景を解説したい。

II. リスクの定量化とPSAの役割

原子力安全委員会²⁾は、原子力利用に際して万一の事故などで放射線や放射性物質が人々の健康や環境に悪影響を与える可能性(リスク)の存在を完全に否定することはできず、原子力安全の目標はこのようリスクを社会が容認できる水準に抑えることにあるとした。すなわち、原子力施設のリスクの程度を評価する必要があり、リスク評価に関連する標準策定はリスク専門部会が担っている。リスク専門部会の役割は、リスク情報活用のための考え方、各原子力施設におけるPSAの手法および

それから得られるリスク情報を各分野において活用するための具体的方法を中心に標準を整備することである³⁾。既に、日本原子力学会は、原子力発電所の出力運転状態におけるレベル1、レベル2、レベル3のPSA実施基準、停止時PSAの実施基準、地震に起因するPSAの実施基準、確率論的安全評価用のパラメータ推定に関する実施基準、リスク情報活用に関する実施基準の7種類を策定している(第1表参照)⁴⁾。

原子力安全委員会の共通問題懇談会⁵⁾によれば、PSAは、原子炉施設の異常故障等の起因事象の発生頻度、事象の及ぼす影響を緩和する安全機能の喪失確率及び事象の進展・影響を定量的に分析・評価することにより、事故の発生確率や事故の影響あるいは両者の積(リスク)の形で表された結果を基に原子炉施設の安全性を総合的に評価するもので、安全確保対策を体系的かつ定量的に評価するうえで有効な方法である。

原子力安全委員会の安全目標に関する中間取りまとめ⁶⁾は、シビアアクシデントのリスクを定量化するPSA技術が開発されているとし、その解説に、PSAと呼ばれる定量的リスク評価技術はシミュレーションモデルを用いて推定することにより、原子力施設等の安全性を総合的に評価する手法とある。性能目標案⁷⁾では、我が国の原子力安全規制活動によって達成し得るリスクの抑制水準(安全目標)を定め、PSA手法を安全規制活動等に活用することが、より効果的な安全確保活動を可能とすると共に、安全性の一層の向上に寄与するとした。

原子力安全・保安院⁸⁾は、PSAによって得られる「リスク情報」を安全規制に適切に活用していくことは、安全規制の科学的合理性を向上させ、それによって、安全規制の透明性の向上が図れるとともに、効果的・効率的

Probabilistic Safety Assessment (PSA) and Probabilistic Risk Assessment (PRA) : Akira YAMAGUCHI.

(2012年 4月6日 受理)

第1表 日本原子力学会のリスク関連標準(太字は PSA または PRA のタイトル)

所 掌	学会標準表題	策定年月
地震 PSA 分科会	原子力発電所の地震を起因とした確率論的安全評価実施基準：2007(AESJ-SC-P006:2007)	2007年 3月
レベル 1 PSA 分科会	原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準：2008(レベル 1 PSA 編)(AESJ-SC-P008:2008)	2008年 4月
レベル 2 PSA 分科会	原子力発電所の出力運転状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準：2008(レベル 2 PSA 編)(AESJ-SC-P009:2008)	2008年 4月
レベル 3 PSA 分科会	原子力発電所の確率論的安全評価に関する実施基準：2008(レベル 3 PSA 編)(AESJ-SC-P010:2008)	2008年 4月
PSA 用パラメータ分科会	原子力発電所の確率論的安全評価用のパラメータ推定に関する実施基準：2010(AESJ-SC-RK001:2010)	2010年 6月
リスク情報活用ガイドライン分科会	原子力発電所の安全確保活動の変更へのリスク情報活用に関する実施基準：2010(AESJ-SC-RK002:2010)	2010年10月
停止時 PSA 分科会	原子力発電所の停止状態を対象とした確率論的安全評価に関する実施基準(レベル 1 PSA 編)：2010(AESJ-SC-P001:2010)	2011年11月
リスク専門部会	原子力発電所の確率論的リスク評価標準で共通に使用される用語の定義：2011(AESJ-SC-RK003:2011)	2011年12月
津波 PRA 分科会	原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：2011(AESJ-SC-RK004:2011)	2011年12月
内部溢水 PRA 分科会	原子力発電所の内部溢水を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準：201*(AESJ-SC-RK00*:201*)	策定中

な安全規制の実現に資するとの見解を示した。

つまり、PSA はシビアアクシデントのリスクを定量化してリスク情報を得、原子力施設等の安全性を総合評価し、安全確保対策を体系的かつ定量的に評価し、そして安全確保を効果的に実施する手法である。

Ⅲ. PSA なのか、それとも PRA か

近藤と谷口⁹⁾は、PSA は、リスク制御の手段の検討に有益な情報が提供できること、公衆のリスクを定量化する作業ということで PRA と呼ばれているが、リスクの絶対値よりは、この作業の過程で得られる、設計や運転管理上の選択がプラント安全あるいは被害の発生するシナリオに与える影響といった情報のほうが安全確保に係わる諸活動に有用であり、PSA との呼称にも意味があると指摘する。さらに、いずれの名称もそれなりの意味があるので、作業実施者あるいは解説者がその意図に基づき選択するもので、あえて統一する必要はないとする。

国外に目を転じれば、先駆的な PRA 研究である NUREG-75/014¹⁰⁾を始め、米国では PRA という用語を使用している。1984年に NRC より PSA の手順書¹¹⁾が発行されている。ここでは PSA としているが、PRA の結果を決定論的評価と統合させて原子力発電所の安全性に関する総合的評価を実施するための手順とあり、安全の総合評価を意識するがゆえの表題である。原子力エネルギー協会(NEI)¹²⁾は、原子力発電所の運転や保守に伴う

リスクを定量化する手法が PRA (PSA ともいう)であると述べている。米国の1995年の政策声明書¹³⁾は、規制に用いるものはリスクであるとする。

米国原子力規制委員会の Apostolakis¹⁴⁾は、呼称は忌避事象(undesirable event)に依存するのであり、炉心損傷や格納容器損傷を扱う限りは PSA がよからうし、急性死亡あるいは晩発性死亡を扱うなら PRA が適切と思うとする。PRA という用語は米国で主に使われているが、他の国では PSA とされているようである。いずれの用語も許容される(Interchangeable)との考えを示した。

国際原子力機関(IAEA)¹⁵⁾は PRA を安全に係る決定に用いることを PSA と定義している。また、PRA の結果を安全に関する意思決定に用いることが PSA であると述べている¹⁶⁾。

福島原子力発電所事故に関する日本国政府の報告書¹⁷⁾の教訓27では、原子力発電施設のリスク低減の取組みを体系的に検討する上で、PSA が必ずしも効果的に活用されてこなかったことを指摘し、稀有な事象のリスクを定量的に評価するのは不確実性を伴うが、リスクの不確かさなどを明示することで信頼性を高める努力をすべきとした。

これらに共通する考え方は原子力施設のリスクを評価するプロセスは PRA であり、安全確保に関する諸活動や安全に関する意思決定に活用するとき PSA と呼ぶこと、そして規制にはリスクを用いるということである。

IV. リスク専門部会の見解

原子力安全について様々な局面で意思決定が必要となる。それには、リスク情報を用いることが安全確保において有効であり重要である。リスク情報を安全確保活動に活用するという観点から、これを PSA と呼ぶことは適切であると考えられる。しかし、そのためには定量的なリスク評価によりリスク情報を得る必要がある。その行為には PRA との呼称がふさわしい。

日本原子力学会の標準は、リスク評価の要件と具体的方法を規定するものである。したがって、標準の表題としては PRA とするが良いと考えている。しかし、リスクを評価することを目標としてはならない。リスク情報を安全の更なる向上に継続的に活用してはじめて意義があり、これは PSA と呼ぶべき行為である。日本原子力学会の標準がリスク評価の手順を与え、リスク情報を原子力安全の向上に活用することは、“PRA の結果を用いて PSA を実施する”と言ってもよい。

日本原子力学会は、地震や津波以外の外的事象などを含め、PRA 標準を順次策定する予定である。これが定めるリスク評価手順に基づきリスク情報を得て、安全向上に努めること、すなわち PSA を行うことが肝要である。日本国政府の報告書には、不確かさに関する知見を踏まえつつ、PSA をさらに積極的かつ迅速に活用し、それに基づく効果的なアクシデントマネジメント対策を含む安全向上策を構築するとある。その根拠となるところが学会標準の定める PRA である。

V. まとめ

日本原子力学会の策定するリスク関連の標準は、PRA と呼ぶこととする。これは PSA という名称を否定するものではなく、学会標準はリスク評価の要件と具体的方法を規定するものであるという理由による。PRA から得られる全てを安全確保活動に活用し有効な安全向上策を構築する一連の行為が PSA である。

本稿は、日本原子力学会標準委員会リスク専門部会での意見交換に基づくものである。山下正弘副部会長、成宮祥介幹事、関西電力(株)の安田宗浩氏には有益なご意見ならびに関連する文献情報をいただいた。ここに感謝申し上げます。

—参考資料—

- 1) AESJ-SC-RK004:2011, 日本原子力学会原子力発電所に対する津波を起因とした確率論的リスク評価に関する実施基準:2011, 日本原子力学会.

- 2) 原子力安全委員会ホームページ.
- 3) 日本原子力学会標準委員会運営内規.
- 4) <http://www.aesj.or.jp/sc/s-list.html>.
- 5) 共通問題懇談会中間報告書, 原子力安全委員会, 平成元年.
- 6) 安全目標に関する審査審議状況の中間とりまとめ, 原子力安全委員会, 平成15年.
- 7) 発電用軽水炉型原子炉施設の性能目標について—安全目標案に対する性能目標案について—(原子力安全委員会, 平成18年).
- 8) 原子力発電所の安全規制における「リスク情報」活用の基本ガイドライン(試行版), (原子力安全・保安院, 平成18年).
- 9) 近藤駿介, 谷口武俊, “原子炉施設の確率論的安全評価(PSA)—欧州における利用の現状—”, 原子力工業, 第35巻, 第4号(1989).
- 10) NUREG-75/014(WASH-1400): An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants.
- 11) NUREG/CR-2815(BNL-NUREG-51559 Vol.1, Rev.1 January 1984): Probabilistic Safety Analysis Procedures Guide.
- 12) NEI 06-09 Rev 0, Risk-Informed Technical Specifications Initiative 4 b, Risk-Managed Technical Specifications(RMTS) Guidelines, Industry Guidance Document, November 2006.
- 13) 60FR42622: Use of Probabilistic Risk Assessment Methods in Nuclear Regulatory Activities; Final Policy Statement, Aug.16, 1995.
- 14) Nuclear News, March 2000.
- 15) IAEA, Report of the Advisory Group on Development of a Manual for Probabilistic Risk Analysis and its Application to Safety Decisions. IAEA, Vienna, 14-18 May 1984.
- 16) IAEA-SR-111/1 Probabilistic Safety Assessment in Nuclear Safety International Developments, L.V. Konstantinov(1985 IAEA の PRA セミナー).
- 17) 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—, 平成23年6月, 原子力災害対策本部.

著者紹介

山口 彰(やまぐち・あきら)
大阪大学
(専門分野)原子炉工学, システム工学



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3回 CO₂回収・貯留(CCS)

(公財)地球環境産業技術研究機構 高木 正人

CO₂回収・貯留(CCS)は化石燃料からエネルギーを取り出す際に発生するCO₂を分離回収し、地中や海洋に隔離することによって、大気中への排出を抑制する技術であり、地球温暖化防止のために、原子力、再生可能エネルギーと並んで有効な技術である。各国で活発な研究開発が行われ、多くの実証プロジェクトが計画されている。気候変動政策が不透明であることに対して、初期の投資額の大きさやパブリックアプセプタンスが実施に向けての課題となっている。

I. はじめに

本稿では、化石燃料の利用動向としてCO₂回収・貯留(Carbon dioxide Capture and Storage: CCS)について解説する。CCSは化石燃料からエネルギーを取り出す際に発生するCO₂を分離回収し、地中や海洋に隔離することによって、大気中への排出を抑制する技術であり、地球温暖化防止のために、原子力、再生可能エネルギーと並んで有効な技術である。本稿ではまず、CCSとは何かについて解説した後、地球温暖化防止のためにCCSに期待するCO₂削減量、プロジェクト動向、我が国での取り組み、および現状での課題について述べてみたい。

II. CCSという技術：概要と位置づけ

1. CCSの概要

CCSは発電所や製鉄所などの固定排出源から発生するCO₂を分離回収し、貯留場所まで輸送し、(地中貯留の場合には)地中の貯留層に圧入し、隔離することによって、大気中へのCO₂の排出を抑制する技術である(第1図)。技術を要素別に概観すると次のようになる。

(1) CO₂の回収

固定発生源からCO₂を分離回収するプロセスである。回収時の消費エネルギーおよび回収コストの低減はCCSの大きな課題のひとつであり、このため低エネルギー消費、低コスト型の分離回収技術がさかんに研究開発されている。CO₂の濃度を高めるには、空気の代わりに酸素によって燃焼や酸化を行う酸素燃焼法などの燃

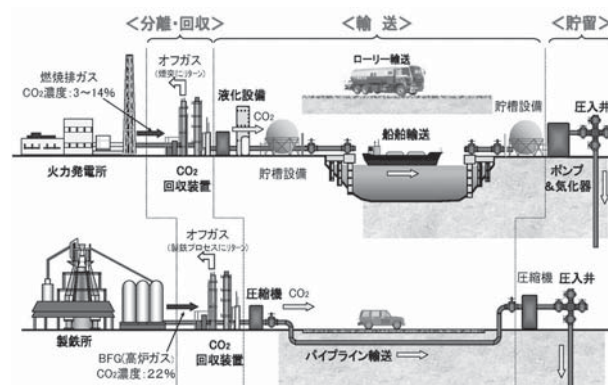
焼・酸化プロセスの改善による方法と、発生するCO₂を化学吸収、物理吸収、膜分離、深冷分離などの方法によって分離回収する方法がある。

(2) 輸送

分離回収したCO₂を貯留層まで輸送するプロセスである。パイプライン、タンカー、ローリー輸送が考えられる。パイプライン輸送では、回収されたCO₂を脱水、昇圧し、パイプラインに送り込む。海外ではCO₂が液体状態となる10 MPa以上で行われることが多い。北米ではすでに自然源や人為的発生源から生じる3,000万トン以上のCO₂が毎年、6,200 kmに及ぶ米国とカナダを結ぶパイプラインを通じて輸送されている。一方、輸送距離が大きくなるとパイプラインでの輸送コストは増大するため、タンカー輸送が有利となる。日本においては陸上パイプラインの敷設コストは極めて高いことから、タンカー輸送も有望な選択肢となり得る。タンカー輸送の場合にはCO₂を液化して輸送を行う。

(3) 貯留

海洋隔離は非常に有効なCO₂の隔離法であるが、国際



第1図 CCSの概要と構成要素

Global Utilization Trend of Natural Gas and Fossil Fuels after Fukushima Dai-ichi Nuclear Accidents(3); Carbon Dioxide Capture and Storage (CCS): Masato TAKAGI.

(2012年 4月2日 受理)

的な合意が得られていないため、本稿では CO₂ 地中貯留について記述する。CO₂ 地中貯留は CO₂ を地下の空間に圧入して閉じ込め、貯留する技術である。したがって、貯留場所には「CO₂ を貯留するための空間」、「CO₂ が逃げ出さないためのシール層」および「シールのための構造」が必要である。「CO₂ を貯留するための空間」としては多孔質で浸透性のある岩石が適しており、堆積層が有力な候補になる。また、「CO₂ が逃げ出さないためのシール層」としては低空隙率・浸透率の頁岩や泥岩などがあげられる。「シールのための構造」としては貯留層の上部にシール層(キャップロック)を有する構造が必要であり、ドーム構造(背斜構造)などがあげられる。また、CO₂ の貯留量を大きく取るためには、CO₂ が占有する体積を小さくするように、超臨界状態で貯留する。このため、貯留層の深度が、圧力・温度条件を満たす 800 m 以上であることが必要である。

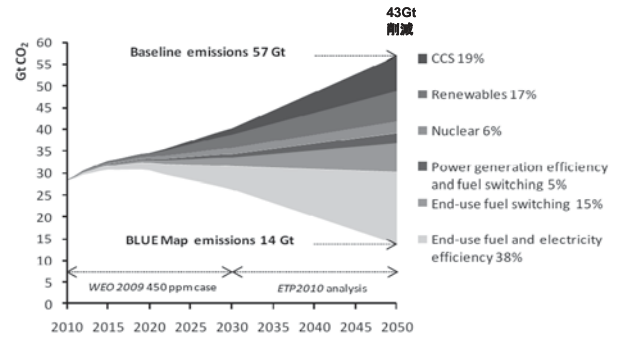
このような貯留の条件を満たす場所としては堆積盆地がある。堆積盆地とは、泥や砂、火山噴出物が堆積した地層が厚く分布する場所のことであり、貯留層としては第 2 図に示す石油・ガス田、石炭層、および地下深部塩水層(帯水層)があげられる。

石油・ガス田の CO₂ 貯留ポテンシャルは世界全体で 6,750~9,000 億トンと推定されているが、地下深部塩水層は 1~10 兆トン以上とさらに大きな貯留ポテンシャルを持っている。このように世界の地中貯留のポテンシャルは少なく見積もっても約 2 兆トンあるとされている¹⁾。

2. CCS の位置づけ

CCS は大気中の CO₂ を大量かつ比較的安価に削減できる技術であり、また既存の技術を組み合わせることで対応できるため、再生可能エネルギー等が普及するまでの Bridging Technology として極めて重要であると国際的に認識されている。

IEA (国際エネルギー機関) による²⁾と、2050 年に CO₂ を半減させるシナリオを成立させるためには、2050 年で



第 3 図 2050 年半減シナリオと CCS (IEA エネルギー技術見通し 2010)

はベースラインから 48 Gt CO₂ の排出削減が必要であり、対策技術ごとの寄与率は省エネが 36%、再生可能エネルギーが 21% であり、CCS は 19% と 3 番目に大きな必須の技術である(第 3 図)。また、もし CCS 技術が利用できなければ、2050 年までに CO₂ 排出量を 50% 削減するという目標を達成するための全体的なコストが 70% 増加するだろうということが示されている。したがって CCS は、世界の CO₂ 排出量の相当量の削減を達成するために必要な CO₂ 排出削減術のポートフォリオの重要部分である。

II. CCS のプロジェクト動向

1. 世界の CCS プロジェクト動向

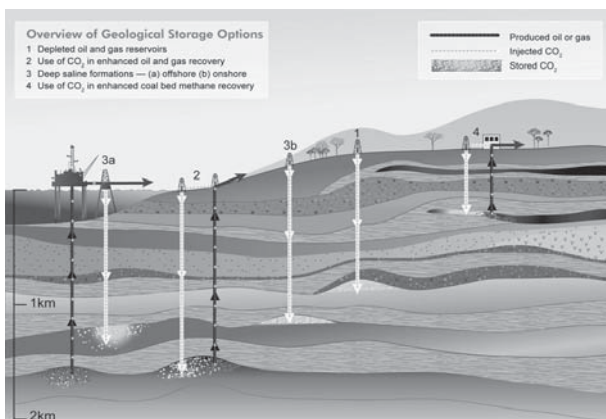
最初に商用状態にある IEA が一貫(integrated)プロジェクトと認定した 5 つのプロジェクトを紹介する。

Sleipner: 1996 年から圧入開始。事業主体は Statoil。北海の沖合 Sleipner ガス田から発生する天然ガスを分離回収し、年間 100 万トンの CO₂ を天然ガス田近傍の Utsira 深部塩水層(深度 1,000 m)に圧入。55 米ドル/t CO₂ の炭素税がかかるため、それより経済的と判断。貯留ポテンシャルは 6,000 億トンあり、天然ガスの採取終了後も CO₂ 受け入れを続ける予定。

In Salah: 2004 年 8 月から圧入開始。事業主体は Sonatrach (アルジェリアの天然ガス会社)、BP、Statoil。貯留層はサハラ砂漠の天然ガス採取サイトの近傍の Krechba 深部塩水層(深度 1,800 m)。圧入量は 100 万トン/年。1,700 万トンの CO₂ を貯留する計画。

Snohvit: 2008 年圧入開始。ヨーロッパ初の LNG プラントから CO₂ を分離回収。事業主体は Statoil。Barents 海の沖合 Snohvit ガス田から天然ガスと CO₂ を採取し、Hammerfest 付近 LNG プラントに 160 km の海底パイプラインで輸送し、CO₂ を分離して LNG を製造。分離回収した 70 万トン/年の CO₂ はパイプラインで沖合プラットフォームに戻り、天然ガス層より下の深度 2,600 m の Tubasen 砂層に圧入。

Rangley: 1986 年から CO₂ を石油増進回収(EOR)用に利用。Rangley Weber Sand Unit はロッキー山脈地域の最大の油田で 1933 年に発見された。ガスは分離されワ



第 2 図 CO₂ の貯留場所 (CCS に関する IPCC 特別報告書¹⁾ を加工)

イオミングのLaBargeフィールドからのCO₂とともに再圧入されている。1986年から最大225百万トンのCO₂が貯留層に貯留された。コンピュータシミュレーションによるとほとんどすべてがCO₂溶液や炭酸水素塩として地層水に溶解している。

Weyburn Midale：年間約2.8百万トンのCO₂がノースダコタのthe Great Plains Synfuels Plantの石炭ガス化プラントで回収され、320 kmのパイプラインで国境を越えてカナダ、サスカチュワン州に輸送され、EORのために枯渇油田に圧入される。商業プロジェクトであるが、世界の研究者によって圧入されたCO₂のモニタリングがなされてきた。IEA Greenhouse Gas R&D ProgrammeのWeyburn-Midale CO₂ Monitoring and Storage ProjectはCO₂の地下の挙動を科学的に研究しモニタする最初のプロジェクトであった。カナダの石油工学研究センターが運営。現在、第二フェーズ(2007～2011)。CO₂の圧入・貯留のベストプラクティスマニュアルが作成される予定。

商用プロジェクトとしては、さらにオーストラリアのゴルゴンプロジェクトが追加される。実施者はChevron, Shell, ExxonMobilなど。43 BillionドルのLNGプロジェクトで、ガス田は130～200 kmのオフショアにあり、40 trillionのガスを生産。うち、14%がCO₂であるため、年間3.4～4百万トン(プロジェクト期間で120百万トン)のCO₂を回収する。回収されたCO₂はパイプラインでバロー島から2.3 kmの塩水層に圧入する。深度2,300 m。圧入には8～9本の井戸を使用する。さらに圧力調整用の井戸を4本程度設置の予定である。2014年末に圧入を開始の予定であり、2009年の投資判断以降、2012年までに地質およびダイナミックシミュレーションモデルの精度向上をはかり、圧入井および圧力調整井の計画を作成した。現在、井戸の設計を終了し、井戸の掘削を開始したところである。

世界のCCSの動向は、グローバルCCSインスティテュート(GCCSI)が発表した“The Global Status of CCS:2011”に詳しい⁴⁾。ここでは、プロジェクトを進行度に合わせて、Identify, Evaluate, Define, Execute, Operate, Closureの6つに分類して表示している。最初のIdentifyはサイトのスクリーニング段階、Evaluateはサイト評価とプレFS段階、Defineは絞り込まれた候補地における詳細なサイト調査とFSの実施段階、Executeはプロジェクトの実施・圧入設備の建設段階、そしてOperateで運転開始である。最後のClosureは圧入が終了し、廃坑となる段階である。このGCCSIのプロジェクトリストを基に、プロジェクトの開始年とCO₂年間処理量を、排出源・回収技術別(第4図)および貯留層・貯留技術別(第5図)に再整理した。このように表示することによって、技術動向の把握が容易となる。

まず、CO₂回収技術であるが、2011年段階で運転中の

プロジェクトの排出源は天然ガス生産が主であり、石炭等からの合成ガス製造や発電所のCCSプロジェクトは2014年からようやくスタートする。このときの発電所からの回収で見ると、初期は燃焼後回収(Post)と燃焼前回収(Pre)が均衡しているが、次第にPreが多くなっていく。酸素燃焼(Oxy)は比較的少ない。合成ガス製造のプロジェクトも含めると、燃焼前回収の占める割合が大きいことがわかる。

次に貯留技術を分析する。貯留PJの大部分はEORである。Sleipner, SnohvitおよびIn Salahといった塩水層貯留のPJが有名であるが量的には小さい。2014年から開始される合成ガス製造や発電所のCCSプロジェクトも、一部の例外を除き貯留先はEORである。枯渇ガス田や塩水層への貯留PJは2015年頃から出現し、以降、次第にその割合が増えていく。

これは天然ガス生産では生産プロセスの中にCO₂回収が含まれるので新たな回収工程を持つ必要がなくCO₂の処理コストが小さいこと、さらにEORによって増油収入が得られるため、炭素価格や政府の補助という要素がなくとも自立できる可能性が大きいためである。

2. わが国の動向

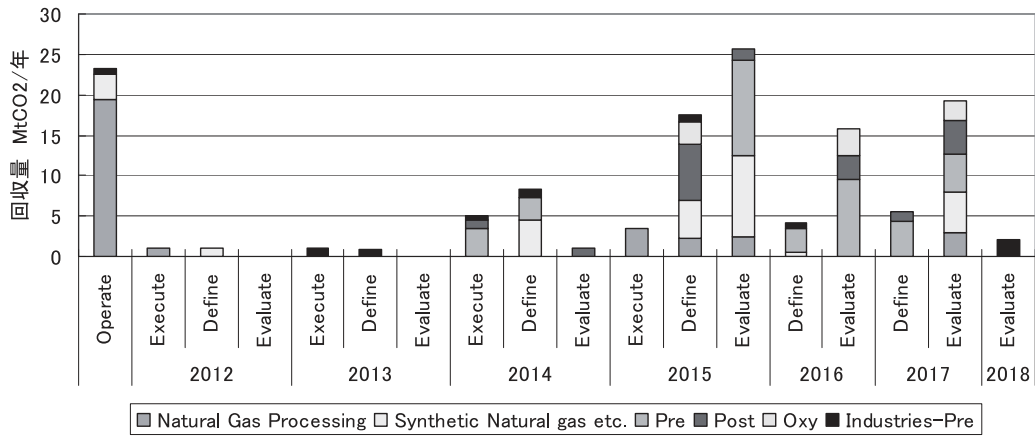
CCSの研究に関して、わが国では、1980年代末から基礎研究が開始され、1995年からの2年間の先導研究を経て、1997年から「CO₂の海洋隔離に伴う環境影響予測技術開発」が、また2000年から「CO₂地中貯留技術研究開発」、2002年からは「CO₂炭層固定化技術開発」が開始された。このように、わが国では世界に先駆けて、CCSの研究開発がなされてきた。

上記の「CO₂地中貯留技術研究開発」⁴⁾においては、長岡地区の陸域地下深部塩水層への約1万トンのCO₂の圧入実証試験を中心に、モニタリング技術や地中でのCO₂の挙動シミュレーションなどの基礎研究、わが国におけるCO₂貯留層調査と貯留ポテンシャルの算出、およびCCSの経済性評価とわが国でのCO₂削減技術としての有効性評価などが実施された。

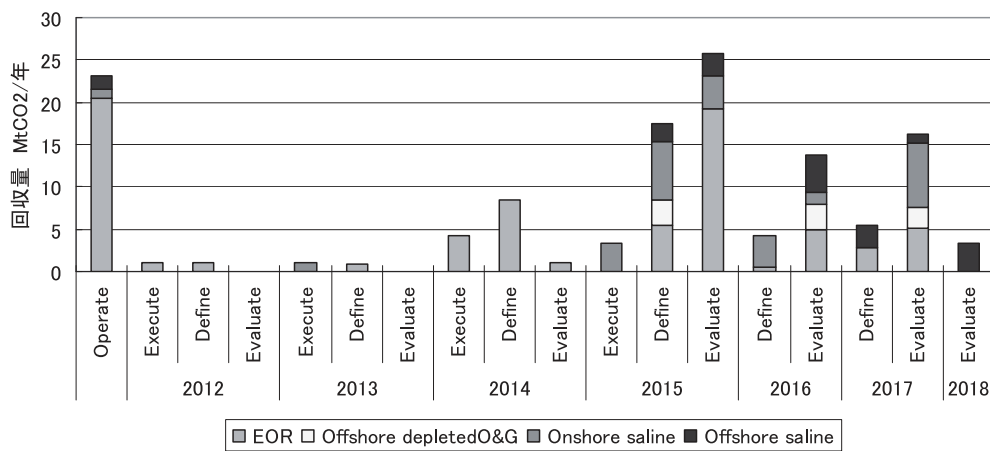
(1) 貯留ポテンシャル

わが国におけるCO₂貯留ポテンシャルの算出は、1993年に石油資源探査の公開データを基に実施された成果を基に、2005年には新しい坑井データの追加とCO₂貯留ポテンシャルの計算方法の再検討が行われ、貯留量の見直しがなされた。

わが国では、北海道、東北から新潟にかけての日本海側、仙台から房総にかけての太平洋側および山陰から九州北部にかけて貯留層となりうる堆積層が認められる。また、内水面では東京湾、大阪湾、伊勢湾などにも堆積層が認められる。一方、瀬戸内地域では厚い堆積層を欠き、浅い基盤深度に花崗岩類や古い時代の酸性岩類が分布しているため、貯留には適さない。



第4図 CO₂回収プロジェクトの動向



第5図 CO₂地中貯留プロジェクトの動向

2005年度の検討では、わが国の貯留層を明確なクロージャー構造を持つカテゴリ-Aとそれ以外のカテゴリ-Bに大別した上で、さらに下記の5タイプに分類した。番号は調査データの多寡の程度を示し、数字が小さいほど調査データが豊富であることを示す。これらの堆積層へのCO₂貯留ポテンシャルを第1表に示す。カテゴリ-Aで301億トン、カテゴリ-Bを含めると、わが国でのCO₂貯留ポテンシャルは1,461億トンとなる。

(2) 長岡でのCO₂圧入実験

長岡で実施したCO₂圧入実施試験の概要は下記の通りである。また、第6図に設備状況を示す。

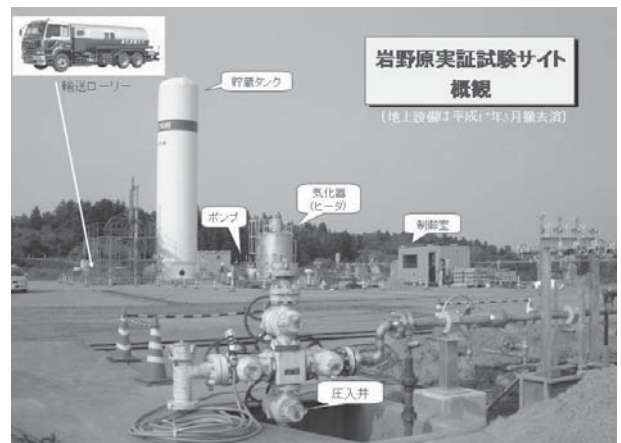
- ・場所：新潟県長岡市深沢町字岩野原
(帝国石油(株)南長岡鉱山内の岩野原基地)
- ・貯留層：地下1,100mの地下深部塩水層
貯留部：砂岩層、厚さ約60m、平均浸透率6.7md
(md：ミリダルシー、浸透率を表す単位)

第1表 我が国のCO₂貯留ポテンシャル

(出典：RITE CO₂地中貯留技術開発H17年度成果報告書より作成)

地質データ	カテゴリ-A (背斜構造への貯留)	カテゴリ-B (層位トラップなどを有する地質構造への貯留)
油ガス田	A1 35億t-CO ₂	B1 275億t-CO ₂
基礎試験	A2 52億t-CO ₂	
基礎物探	A3 214億t-CO ₂	B2 885億t-CO ₂
貯留概念図	坑井	坑井
貯留メカニズム ・ Structural & stratigraphic trapping ・ Residual gas trapping ・ Solubility trapping ・ Mineral trapping		
小計	301億t-CO ₂	1,160億t-CO ₂
合計	1,461億t-CO ₂	

(註1) 内陸盆地ならびに内湾(瀬戸内海、大阪湾、伊勢湾など)は対象とせず
(註2) 地下800m以深、かつ、4000m以浅が対象



第6図 長岡でのCO₂圧入実験

シール部：泥岩層、厚さ約140 m

- ・坑井：圧入井1本、観測井3本
- ・圧入期間：2003年7月から約1.5年
- ・CO₂圧入量：10,400 t
- ・坑口温度：34℃
- ・CO₂圧入レート：約20及び40 t-CO₂/日

モニタリングは圧入井から40 m, 60 m, 120 mの距離に観測井を設け、温度・圧力測定、弾性波トモグラフィー、物理検層（掘削された孔井内に測定器を降下させ、地層中の地質情報等を連続的に測定する技術）を実施した。また、観測井間の弾性波トモグラフィーの結果を用いて地中でのCO₂の貯留状況を可視化した。圧入量の増大とともに、CO₂は地層の傾斜方向に沿って拡大する傾向が認められた。また、圧入されたCO₂は、安定してシール層下の貯留層に留まっていることも確認された。

（3）大規模実証試験

長岡でのCO₂圧入試験を受けて、経済産業省では年間10万 t-CO₂規模のCCS実証試験を計画している。2008年にCCSにフォーカスした調査会社として日本CCS調査株が設立され、大規模実証試験の候補地選定やFSを実施してきた。この結果を基に、経済産業省は2012年2月に、実証試験に必要な施設の設計・建設等を2012年度から2015年度にかけて実施すべく、委託先を募集した。

実施計画書によると、北海道の苫小牧地区で商業運転中の製油所（2ヶ所）の水素製造装置を排出源として、CO₂含有ガスから分離回収した気体CO₂および既分離CO₂を液化した液体CO₂を圧入基地へ輸送し、圧入基地では、これらのCO₂をそれぞれ圧縮、昇圧・加温して統合し、年間15～25万トン程度（排出源の操業状況等による）を2層の貯留層に圧入するとのことである。予算は、4年間で最大470億円が予定されている。

III. CCSの課題と今後

プロジェクト動向のところで見たとおり、2014年からは炭素価格の安定や政府の補助を念頭に発電所等からのCCSプロジェクトが計画されている。しかし、現状ではCCSの実施については、下記に示す様々な課題がある。

第1に、各国において、気候変動に取り組むことが確固たる決定になっていない。このためCO₂削減を支援する政策が十分でない。炭素価格も低迷し、財政危機から国の補助も不透明な状況であり、企業が投資できる状況にない。

第2に、CCSについて、人々が十分理解しているとはいえない。CO₂の地中貯留等における漏洩等の安全や環境リスクについての十分な説明が必要である。

第3は、CO₂の回収を中心にエネルギー消費が大きいしコストが高い。また、排出源と貯留先のマッチングが

十分でない場合には、輸送に相当のコストがかかることを覚悟しなければならない。また、貯留についても、場所によっては事前調査に多大な費用がかかるであろうし、圧入後のモニタリングについても、長期の観測を行うとすると、費用が馬鹿にならない。

最近、英国Longannetプロジェクトの中止が報道されたが、このようなケースは今後も起こり得る。CO₂削減のための世界規模での政策の確立が望まれる。CCSを安定的に進めるためには、十分にタイミングのよい、かつ安定した政策のサポート（インセンティブ、法規制体系など）、コスト、消費エネルギー、リスク低減のための技術開発、早い段階からの、Community Engagementの3つが必要である。

2012年3月の時点では、福島原発事故を受けての原子力の低迷、シェールガスの躍進、再生可能エネルギーの発展の姿が見えている。また、ユーロ危機を初めとして経済情勢は芳しくなく、CCSの展開にブレーキがかかっているように見える。今後のエネルギーや経済の姿を見通すことはなかなか容易ではないが、この中で間違いなのは技術開発である。低コスト、低エネルギー、安全性等についてのCCSの技術開発と実証試験を通じての技術習熟の早急な実施が求められている。

本稿のベースは、経済産業省補助事業「二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業、二酸化炭素地中貯留技術研究開発」、NEDO委託事業「革新的ゼロエミッション石炭ガス化発電プロジェクト、発電からCO₂貯留までのトータルシステムのフィージビリティスタディ」の中で実施した。経済産業省およびNEDOの関係各位に謝意を表す。

—参考資料—

- 1) IPCC, “Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation”, (2011).
- 2) IEA, “Energy Technology Perspective 2010”, (2010).
- 3) GCCSI, “The Global Status of CCS: 2011”, (2011).
- 4) RITE, 平成17年度二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業二酸化炭素地中貯留技術研究開発 成果報告書, (2006).

著者紹介



高木正人(たかぎ・まさと)
地球環境産業技術研究機構
(専門分野/関心分野)環境問題/特に CCS



福島第一発電所事故に関する世界のリーダー・若者との議論

2011年度世界原子力大学(WNU)夏季研修参加報告

日本原子力研究開発機構 川久保 陽子, 関西電力(株) 後藤 弘行,
日立 GE ニュークリア・エナジー(株) 三宅 基寛

2011年の世界原子力大学夏季研修では東京電力福島第一原子力発電所の事故が注目を集め、筆者らは事故に関する経験等の情報発信に努めるとともに、世界各国のリーダーや若者と事故後の原子力を取り巻く課題やその解決策を議論した。この経験を通して、原子力の今後の在り方を具体的にイメージし、また各国の日本の復興への期待を感じることができた。“事故を二度と起こさない”という同じ志をもつ若者とのネットワークを得たことも重要な成果であった。

I. 世界原子力大学夏季研修の概要

「世界原子力大学夏季研修(World Nuclear University Summer Institute: WNU-SI)」が2011年7月9日から8月21日に、英国・オックスフォード大学で開催された。本研修は、原子力に携わる30歳代前後の若者(フェロー)が、世界の原子力の課題や将来像について議論し、リーダーシップを学び、ネットワークを築くことを目的としている。2011年度も先進国、発展途上国、技術系、政策系等を問わず、幅広い分野の若者が集まった。2011年度のフェローの出身地を第1表に示す。講師には国際機関や政府機関、国際企業の役員など、世界で活躍するリーダーが招かれ、参加フェローは講義・講演やグループ討論で、直接に意見交換することができた。

本研修は、講義・講演、施設見学、グループ討論と課

第1表 2011年 WNU-SI 参加フェローの出身地

地域	国・地域(人数)
北米	米国(9), カナダ(7)
南米	アルゼンチン(2), メキシコ, ブラジル, チリ(1)
ヨーロッパ	英国(7), フランス, ドイツ, イタリア, ベルギー(3), スペイン, ロシア, フィンランド, ハンガリー, クロアチア, スロバキア(1)
アフリカ・中東	南アフリカ(3), イスラエル(2), ケニア, ガーナ, ナイジェリア, エジプト, UAE(1)
アジア・オセアニア	中国, 韓国(6), 日本(3), 台湾, オーストラリア(2), タイ, マレーシア, インド(1)
合計	78名(男61名, 女性17名)

Discussion on Fukushima in WNU-SI 2011: Yoko KAWAKUBO, Hiroyuki GOTO, Motohiro MIYAKE.

(2012年 3月12日 受理)

題研修で構成されるほか、フェローは同じ宿舎で共同生活を営み、パーティやレジャー等、私的な交流も盛んに行われた。本研修の概要は参考資料を参照されたい。

なお、筆者ら3名は、日本原子力産業協会の「向坊隆記念国際人材育成事業」による参加費支援を得て参加した。この事業を通じて2009年に4名、2010年に4名が参加しており、2012年も5名が参加予定である。

II. 福島第一発電所事故に関する議論

今年度の WNU-SI での中心的話題は福島第一原子力発電所事故であった。第1週には、今回の研修の指導者(メンター)である、日本原子力産業協会の小西俊雄氏による特別セッション「Fukushima」が設けられ、事故の経緯と現状、国内外への影響、日本の対応と課題等が紹介され、筆者らもそれぞれの活動、経験を紹介した。各講義、講演、グループ討論においても、筆者らは日本の安全設計、安全対策やその反省点、それぞれが事故を通じて感じた疑問や問題意識を発信し、議論した。その中で印象的だったものを紹介する。

1. 安全の更なる向上とその仕組みについて

「このような事故を繰り返さないために」というキーワードの下、安全性の向上やそれを世界で継続する仕組みについて議論を行った。例えば、原子力施設の設計や



第1図 研修の風景

運転管理への最新の知見の反映や事故の影響緩和策 (mitigation) の導入に対する国際機関のレビューや強制力のある勧告、原子力施設の安全設計を複数の国で検証するといった方策が効果的であるという意見があった。一方で、画一的でなく、各国の技術力や社会環境を考慮した最適な対策の導入や、企業や政府の技術情報の流出に対する懸念の払拭、集中的なバックフィットによる企業への負荷への対処といった課題もあげられた。また、筆者から世界原子力発電事業者協会 (WANO) の議長である Laurent Striker 氏へ「今回の大震災のように、これまでの技術知見や想像を超える事象に対し自分達の安全が十分でないことをどうやって知りうるのか」と質問したところ、「ベストを尽くすことは、十分ということではない」、「他国、他産業等、他の文化を学ぶこと、他の文化から指摘を受けることが自分たちのベストの上を想像するきっかけになる」と、印象的な示唆を得た。

2. 公衆の原子力に対する信頼回復について

今回の事故により、原子力事故のリスクが公衆に印象づけられた。こうした状況において、原子力に携わる者や組織に対する公衆からの信頼を得るにはどうすればよいか、多くの意見があった。規制の独立性、透明性、技術力は頻繁に指摘されたが、中でも、事業者と規制当局の双方が高い技術力を有し、それを競い合っていることが公衆から見えることが重要であるという意見が印象的であった。また、「国民から正しいリスクの理解や原子力活動への支持を得るためには、政府の原子力政策が一貫しており、その決定プロセスが透明であることが不可欠であるが、日本の政策決定プロセスはブラックボックスで決定も唐突に感じる」という意見が聞かれ、日本に対する諸外国の印象を知ることができた。

3. 事故の国際的影響について

福島第一原子力発電所事故の国際的な影響についても、多くの講師やフェローから言及された。特に隣国の韓国では、日本から飛来する放射性物質に対する公衆の懸念が大きく、事故直後は公衆の原子力に対する受容性が大きく低下したことが報告された。韓国人のメンター及びフェローによる「福島事故後の韓国の反応」と題したセッションでは、公衆の放射性物質への不安の払拭、原子力への信頼回復のための対応が紹介された。特に、規制当局の独立性を確保するための体制変革、追加の安全措置を迅速に行い、一定の効果を上げたことが報告された。また、原子力を取り巻く課題に対しては、地理的、文化的に近いアジアの国同士で協調して取り組むことの重要性も強調された。地震・津波国であるイタリアやチリのフェローからは、日本の震災後の経験を共有し、協力することの重要性も指摘された。

4. 日本へのエール

事故に対する反省だけでなく、他国フェローや講師からは今後の日本の原子力産業に対する期待の声も多く聞

かれた。「日本の原子力発電の事業者、メーカーが高い技術、品質、及び経験を有していることは広く認知されている」、「日本がこの事故の経験を通じてさらに安全性を高めることを確信している。こうして高められた技術や、公衆からの信頼回復の経験には各国が注目しており、それは人類共通の財産となりうる」といった声が聞かれた。また、各国のフェローとは、事故の教訓や、安全性の向上・信頼回復のための国際協力の仕組みを議論することもあり、各自、今回の事故の要因や課題を共通のものとして捉え、日本の復興を応援していることを感じた。

Ⅲ. まとめ

WNU-SI では、福島第一原子力発電所事故に関して活発な議論が行われたが、この研修を通じて筆者らは、これからの日本の原子力の目指すべき姿をイメージすることができた。また日本の復興、原子力の信頼回復への努力が世界中から注目、期待されていることを肌で感じ、「事故を二度と起こさない」という同じ志をもつ若手との心強いネットワークを作ることができた。これらの研修で得た成果は、今後の原子力のキャリアにおける指針とモチベーションを与えるものとなった。今後も日本の若者が WNU-SI へ参加し、彼らの原子力人生への糧を得ると共に、日本の情報や価値観を発信し、世界へ貢献することを期待する。

— 参考資料 —

- 1) World Nuclear University
<http://www.world-nuclear-university.org/>
- 2) 大釜和也, 他, “世界原子力大学へ行こう!”, 日本原子力学会誌, 53〔7〕, 509-513(2011).
- 3) 日本原子力産業協会「向坊隆記念国際人育成事業」
http://www.jaif.or.jp/ja/wnu_si/index.html

著者紹介



川久保陽子(かわくぼ・ようこ)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野)核不拡散・保障措置



後藤弘行(ごとう・ひろゆき)
関西電力㈱
(専門分野/関心分野)原子力発電所の運転管理



三宅基寛(みやけ・もとひろ)
日立 GE ニュークリア・エナジー㈱
(専門分野/関心分野)軽水炉の安全設計

これからの放射線教育について思うこと

藤田保健衛生大学 横山 須美

先日、診療放射線技師を目指す学生に講義の中で、「人への影響を考慮した放射線量を表す単位は？」と聞いたところ、すぐに回答が返ってこなかった。やっと専門教科を習得始めたところといえども、将来、放射線を扱う職業を目指している学生であり、原子力発電所事故のことが連日、TV、ウェブ、新聞紙面等で大きく取り上げられていることを考えると、「シーベルト」なり「グレイ」といった即答を期待していた。これは大きな誤算である。

医療人を目指すのだから、原子力発電所の事故は、直接関連する分野でない。事故から1年も経過すると、原子力発電所事故現場から離れた地域で暮らしている、しかも、まだ、小さな子どもへの健康影響について高い関心を示さないであろう学生にとっては、遠い世界の出来事になってしまっているのかもしれない。

しかし、原子力発電所事故直後からしばらくは、全国の診療放射線技師に対して、福島への汚染サーベいの派遣要請があった。本大学病院でも福島から避難してきた人のサーベイを実施したとのことであった。このような事故が再び起こってはならないが、決して他人事として考えてほしくない。

一方、現在でも全国各地で一般市民向けの放射線、放射線の人体影響に関する講演会は様々なレベルで実施されている。そのたびごとに多くの人が集まるようだ。

4月からの新たな食品中放射性物質の基準導入のため、2月には名古屋でも厚生労働省が主催する『食品に関するリスクコミュニケーション—食品中の放射性物質対策—』が開催された。

今回の事故以降も名古屋では関係省庁の人から直接話を聞くことができる機会は少ない。私も良い機会だと思い、一市民として講演会に参加した。当然のことながら会場は満員であった。食品を取り扱う大手百貨店の社員や小売業者、大学・研究機関関係者、そして、主婦の方もいた。

講演会では、食品中放射性物質の健康影響、これまでの食品中放射性物質の暫定規制値と新基準の違い、検査方法、農業生産現場での米やその他の農産物の調査対応状況等について説明があった。関係省庁とステークホルダー(関係者)がともに議論して、意思決定を行うといったものではないが、「リスクコミュニケーション」と銘打っているだけに、このような講演会には珍しく多くの質問時間が設けられていた。

販売業者などからは、基準の決め方や自主的に測定した物から放射性物質が検出された場合の対応など運用面での質問が多かったが、主婦と名乗る方からは「流通している食品の汚染が心配で、何も口にすることができな

い。すべての食品、商品に対して放射線測定を実施して、安全だとお墨付きをもらわないと困る。検出下限以下でも、セシウムが含まれているなら、その値を記載してほしい。」といったような声もあった。

確かに暫定規制値を超えた食品が流通したが、短期間で回収された。この量を数回摂取した程度では放射線の影響が明らかになるレベルには達しないだろう。

随分と過剰な反応に思えるが、これまで声には出さないうまでも、「なんとなく不安」と考えている人がいるのは確かだ。過剰に反応する人が少数でもその声を聴き、「やはり危ないのか。」と不安の輪が広がりがねない。

意思決定におけるステークホルダー関与の重要性が国際的にも指摘されているが、少数派の声により規制値までもがより低く設定されることには疑問である。余計に「やはり危険なのか。」と不安を煽ることにならないか。

講演会でも説明者が「基準値はそれを超えたから、危険というレベルではない。」と切々と述べていたが、なかなか伝わらないだろう。

しばらくは、地域に関係なく一般市民の放射線、放射線影響への関心は続くであろう。このような人々に放射線についての説明を行う専門家は、放射線、放射線影響に関する豊富な知識量を備えておくことは当然のことながら、地域、習慣等、様々な要因で異なる一般市民の疑問に対して、どのようなことが知りたいのか、どう説明すれば偏った考え方に陥らずにすむのかといったことをよく考えるとともに、一度ならず、繰り返し、繰り返し説明することが、今一番大切なことであると考えている。

そのためには、より多くの放射線関連の専門家、説明者が必要となるだろう。次世代、次々世代の教育も欠かすことができない。

今年度から中学校では、移行期にあった新指導要領が本格的に導入される。約30年ぶりに理科教育の授業で放射線、原子力が取り上げられることになる。そこで学生が知識として習得するのはどれほどのものかは計り知れないが、意思決定のツールとして、科学的事実が十分に伝わることを願うばかりである。同時に、意思決定を行うのは、その知識を習得した人自身であるということも学んでもらいたい。

そして、現在の放射線関連学科の大学生の方々にも、遠い国の出来事ではなく、危機意識をもって、自分の身近な問題として今回の事故を捉えてもらい、かつ、知識だけを振り回すのではなく、心で対話できる人間になってもらいたい。私も常にそれを心がけたいと思う。

(2012年4月11日 記)

視角 Angle

これからのエネルギーについて —ある庶民のつぶやき—

エネルギー広報企画舎 森崎利恵子

2006年5月に策定された新・国家エネルギー戦略の一部として、同年8月に原子力立国計画が取りまとめられた。その中では、エネルギー自給率の低さと地球温暖化問題といった、日本を取り巻くエネルギー問題への対策のため、日本は「原子力も新エネルギーも」必要であると明記されていた。原子力と新エネルギーはエネルギー政策という乗り物の車輪の両輪ということだが、原子力の影や陰の部分を一応自覚しつつも、光や陽の部分の前面に押し出していることだったと思う。

一方、今回の東京電力福島第一原子力発電所事故は、他国の事例ではなく自分たちの現実として、原子力の影や陰を私たちに強く突きつけた。ただ語弊を恐れずに申し上げれば、これで私たちの光に傾いていたバランスが正しい方向に修正されたようにも思う。原子力に限らず科学技術というのは、光と影の両方を見やってこそ、現実的な議論ができるものだ。とはいえ、これまであまり実感を伴っていなかった原子力の影は、光を信じてきた私に重くのしかかる。この影ゆえに、光をあきらめざるを得ないのだろうか、と。

原子力の影は頭から離れないものの、改めて当時の原子力立国計画を見直してみると、その背景にあった日本を取り巻く状況は今も変わっていない。エネルギー自給率の低さは相変わらずであるし、二酸化炭素の排出量削減についても、京都議定書の目標達成は厳しい。また原子力に代わるほど、新エネルギーが急成長しているわけでもない。今、停止中の原子力発電の穴を埋めている火力発電は、自給率を上げるでも二酸化炭素を削減するでもない。むしろ火力発電への依存はそれに逆行する。当時、それなりの労力をかけて策定された計画である。やはり簡単にひっくり返るほど軽いものではないはずだ。であるならば、今は「省エネ」という車輪が加わって三輪車になったとして、貴重なエネルギーの選択肢から「原子力」を消し、「新エネルギー」と「省エネ」だけにするのは何とも心許ない。それよりも、「原子力」という車輪をより強固なものにし、安全性を最大限高めるという方が当面のエネルギー政策において現実的ではないだろうか。

私は「新エネルギー」「省エネ」の車輪を否定しているのではない。バランスよく安定的にこの乗り物が前進するためには、これらも強固にする必要がある。「今ある設備で、エネルギーの無駄遣いをしない」という省エネは、誰もが取り組めるものだし、取り組まねばならない。しかし、もう少し効果を上げるため新しい設備を導入するとなれば、そう簡単ではない。例えば、太陽光発電やエコキュートを備え、地熱を利用したり断熱性能の高い

家。自宅の太陽光発電で充電できる電気自動車があればなおいい。私の憧れである。しかし今の価格では私が真正面から手に入れるのは到底無理で、補助金に相当頼らざるを得ない。それに補助金とはあくまでも補助であって、そもそもある程度の資金があつての話。ということで私は、「省エネ・新エネ」を個人の経済力に大きく左右される高価な買い物だと思っている。太陽光発電を購入して月々の電気代も抑えられるような経済力を有する人と、買い取り制度で電気代が上がる庶民との格差はますます広がるかもしれない。

個人的な僻みになって申し訳ない。しかし私でもできる限り省エネ・新エネ製品を買って貢献したい。だから補助金や値下げによって庶民にも手が届くようにしてもらいたいのだ。であれば日本という国の力が頼り。国の力も人・モノ・カネだ。高品質で安価な製品づくりを目指す「人材」、製品の材料そして製造に必要なエネルギーとなる「資源」、個人の経済力格差を補てんする「財源」。「人材」はある。しかし「資源」は乏しい。製品の原材料やエネルギー資源は多くを輸入に頼っている。「財源」も怪しい。この国は「モノづくり」で稼いできた。そのモノづくりは今、他国からの追い上げも厳しく、これまでになかった電力安定供給への不安から、海外移転による国内空洞化も懸念されるようになった。それでは自慢の人材も海外に流出してしまう。日本の産業が一層元気になって国が潤わない限り、私たちの普通の暮らしすら危ぶまれる。私の省エネ・新エネ住宅は、このまま夢で終わるのか。

そうならないためにも、日本のあらゆる産業が盛り返し、持てる技術力を最大限に発揮してもらいたいと思う。それは原子力や新エネルギーにおいても言えること。原子力の分野では今回の経験を決して無駄にせず、世界の原子力安全を担う気概でこの困難に立ち向かってもらいたい。新エネルギーも他国での導入を後押しできるような良きモデルを構築してもらいたい。日本ならそれができると信じている。目指すべきはトータルのハッピー。「木を見て森も見渡せる」視点を、国民全体で持てるようになりたい。

(2012年4月10日 記)

森崎利恵子(もりさき・りえこ)

1973年生まれ。1997年九州大学応用原子核工学専攻修了。主に女性層や次世代層を対象に、原子力や放射線を正しく理解していただく出前授業や科学実験教室の講師を務める。WiN (Women in Nuclear) 会員。

エネルギー政策も地産地消で

境野 米子

茅葺きのどっしりとした家構え
淡い茶褐色の土壁、白い障子
真っ黒な太い柱、広い座敷
吹き抜けの天井、囲炉裏

昔の家は、なんと豊かで美しいのだらうと思います。築150年の古民家に一目惚れでした。敷地に横井戸があり、水が湧いて流れていたことが、大きな決め手になりました。茅屋根や床は腐り、かなり傾いていましたが、柱、梁、建具はしっかりしていると言われ、土壁を落として柱だけにして大改修しました。暮らし始めて17年がたちます。街中に生まれ育ったせいか、田舎暮らしに憧れていました。また子どもの体が弱かったので、安全な食べ物を食べさせたいと食にこだわり、田畑も見よう見まねで耕し、味噌、梅干、たくあん、豆腐なども手作りして暮らしてきました。

しかし福島第一原子力発電所の事故で、わが家の豊かな暮らしのすべてが失われたと思っています。毎年楽しんで摘み、保存食として来客の方にも喜んでいただいた露の臺(ふきのとう)、土筆(つくし)、タケノコ、コゴミ、タラノメ、シイタケなど、いっさい収穫しませんでした。また敷地を一回りすると採集できる蓬(よもぎ)、ドクダミ、山椒、母子草、ユキノシタ、オオバコなど20種類を超える草を陰干しして刻み、煎じてお茶にして飲んできましたが、あきらめました。取った草や枯葉は堆肥にし、裏山の杉の葉は焚き付けにし、枯れ枝は積み上げて囲炉裏で燃やしてきました。囲炉裏で木を燃やす煙が茅屋根を燻蒸し、害虫駆除や防カビ・殺菌になるので屋根の維持には欠かせません。しかし囲炉裏の線量が非常に高いとわかり、灰を捨て、積み上げた薪は何日もかけてすべて処分しました。17年間維持してきた茅屋根も、息の根を止められました。今は杉の葉、枯葉、草まで、ゴミとして捨てています。敷地に積んでおくと、ホットスポットになってしまうのです。自然循環が断ち切られた悔しさ、情けなさは、たとえようがありません。でも何よりもつらいのは、休みごとに孫を連れて集まってくる子どもたちや、甥っ子や姪っ子たち、友人たちで賑わっていた我が家に、誰も来なくなってしまったことです。

原発事故から8ヶ月過ぎた古民家の線量は、囲炉裏やテレビとコタツがある居間で0.50~0.59 $\mu\text{Sv/h}$ 、来客用の部屋は0.63~0.74 $\mu\text{Sv/h}$ 、台所は0.34~0.42 $\mu\text{Sv/h}$ 。台所が比較的低いのは、増築部分なので屋根が茅ではなくトタンだからと思われます。畑でも、草を積んだ場所は高い線量です。庭は1.00~1.07 $\mu\text{Sv/h}$ 、畑は1.16~



1.28 $\mu\text{Sv/h}$ 、畑に積んである枯れ草と落ち葉は3 $\mu\text{Sv/h}$ 。茅を積んだ屋根の線量の高さがわかると思います。そして我が家のホットスポットは、隣接する別棟、ここは夫の書斎と

書庫ですが、その雨樋下で6 $\mu\text{Sv/h}$ 。放射能の測定を指導している友人が、6台の計測器を使い、1箇所10回の測定をした結果です。庭木は「松も杉もいらない。枯れてもいいから思いっきり切ってほしい」と植木屋に頼み、丸坊主に剪定し、すべての窓を洗って拭き、畳も建具も拭いてもらいましたが、4月現在でも家の中の線量は下がりません。雨でも風でも、掃除でも減らない線量に、正直がっかりしています。家久根(いぐね)や樹齢数百年の樺(けやき)に守られていることが、線量が下がらない大きな要因と言われています。エコ的な暮らしをしていればいるほど、この原発事故では大きな影響を受けたと思っています。

国や福島県が、原発事故後に再生可能エネルギーへ大きく舵を切ったことを喜びながらも、乗り越えねばならない壁がたくさん見えてきて、大丈夫かなと不安も感じます。磐梯朝日国立公園での地熱発電は国内最大規模の出力27万kWを目指し、楡葉・広野沖合いの風力発電は原発1基分の総出力100万kW。その巨大開発が、最大の不安要因です。相も変わらず巨大燃料基地から大都市へと運ぶ非効率的・非経済的なエネルギー。使っていない電気で放射性物質の影響を受け続け、がれきの受け入れすら「放射性物質の拡散だ」「がれきを運ぶのは非経済・非効率」などと拒否され、何の罪もない子どもたちまで「そばに寄るな」などと言われる理不尽さに腹が立ち続けてきました。そんな非情な国に暮らす一人として、都市に電気を送り続ける相も変らぬ構図に、胸の痞え(つかえ)が取れません。東京の電気は東京で作るのが、一番効率的・経済的なのではないでしょうか。エネルギーも、地産地消でいって欲しい、いくべきだと思っています。

(2012年4月6日記)

境野米子(さかいの・こめこ)

1948年群馬県前橋市に生まれる。福島県在住。生活評論家・薬剤師。古民家を修復し、木炭浄化槽を設置し家庭の雑排水の浄化に取り組む。健康、野菜料理、化粧品の選び方などについて月刊誌に連載中。

ジャーナリストの視点 Journalist's eyes

除染について書くことの迷い

朝日新聞 杉本 崇

3月から、福島県以外でも国の予算で除染が始まった。国の方針では、長期的には年間1ミリシーベルトまで下げることを目指すとしている。ただ、1ミリシーベルトまで除染するのは妥当かと、原子力の専門家に尋ねれば、ほとんどの場合「やりすぎで、非現実的だ」という答えを頂く。ただ、低線量の被曝でも影響があるという不安が広がった世の中では、1ミリシーベルトまで徹底的な除染を求める声も依然根強い。低線量の放射線でも不安に思う心情に対し、「DNAの修復機能を考慮しておらず科学的にあり得ない、疫学研究で証明できていない」と書くだけなら簡単だ。だが、私は新聞記者として、納得してもらえらるまで、十分に説明する記事を書き続けられていなかったと反省している。現場を歩き、どう説明すればよいのか、迷いも生まれてしまっていたのも事実だ。

震災後の私の取材歴を簡単に説明すると以下のようになる。昨年3月の震災の翌朝からの1週間は被災した医療現場にいた。10階の渡り廊下が崩れ落ちた病院では、けがをした入院患者や資材を運び出していた。断水した病院では、人工透析に大量の水を必要とする患者が列を作っていた。こうして、福島県内の病院を回っていたため、実は原子炉建屋の爆発など最も緊迫していた時をリアルタイムで知らない。福島市や郡山市にいたためかもしれないが、そのときは放射能よりあふれる入院患者がどうなるかの方が大きな問題のように思っていた。

東京に戻ってからは、各地の空間線量を掲載する地図を作っていた。3月24日になって、浪江町赤宇木の数値が初めて公表された。これまで見たことがない、毎時75.0マイクロシーベルトという高い値だった。福島第一原発から放出され、地表に降り積もった放射線の量がいかに膨大かを実感した。毎日、紙面に地図を載せるたびに、「自分の街はどうなっているんだ」という問い合わせが増えていった。

5、6月になると、局所的に線量が高い「ホットスポット」が話題になり始めた。このころから除染の取材をするようになった。ただ、除染のやり方はまだ手探り状態だったところも多かった。私自身、高压洗浄で道路を洗えば線量はもっと下がるものだと思っていたため、紙面で何度か紹介したこともあった。だが、千葉県で、通学路を水で洗ってこする小学生の父親に

話を聞くと、汗をぬぐいながら、放射線が下がらないことにいらだっていた。

そこで、生活圏でどんな除染なら効果的なのか、8月に特集を組んだ。専門家に助言を仰ぎつつ、屋根、道路、田畑など場所別に効果のある方法を紹介した。同時に除染がいかに大変かも目の当たりにしていたので、まず毎時1マイクロシーベルト(年間で5ミリシーベルト程度)を目指すことが、現実的であることを紹介した。私の所には、反発する声は寄せられなかった。

その後、低線量被曝の不安がより広がって、徐々に年間1ミリシーベルトまで除染すべきだという声が強まっていくのを感じていた。白血病の急増など低線量被曝を過大視するインターネット上のデマに対しては、否定する記事も書き続けていた。これは、書いておいてよかったと思っている。

だが、除染に対してははっきりとした数字を書くのは難しいと思うようになっていた。年間5ミリシーベルトが現実的という考えはずっと変わっていない。ただ、取材を続けるにつれ、子どもへの影響を心配し、線量が下がらないことを悩みつつも必死な思いで除染に取り組む姿を取材したあとに、「線量は下げ止まりするから、ある程度で折り合いを付けるべきだ」と書きにくかったのは事実だ。

年間1ミリシーベルトまで除染するのは、非現実的と考えた研究者に伺いたい。市民にその根拠を丁寧に説明しましたか。それはメディアの責任と言うのは簡単だが、除染の現場を取材すると、低線量なら放射線の危険性はないと語る教授は多いが、一緒に現場で除染に汗を流してくれる教授はあまりいなかったという話を聞く。一緒に汗を流した人と、外から語る人の言葉ではどちらが心に届くだろう。批判を恐れず、少しでも不安が解消するよう、現場に赴き、自らの言葉で放射能にどう向き合うべきか話して欲しい。

(2012年4月8日記)



杉本 崇(すぎもと・たかし)

朝日新聞記者

1980年生まれ、2004年に入社、埼玉、山形での事件、行政取材を経て、2010年から東京本社科学医療部に。