

巻頭言

1 「全体主義」と対峙するために 藤井 聡

時論

2 原子力発電所安全対策における懸念について

福島事故の検証と総括を行い、そこから得られた教訓をふまえた対策をきちんとすることが重要だと考える。
泉田裕彦

4 信頼回復のためにも、技術の未来を語ろう

リスクを十分に承知した上で、それでもなお取り組むべき価値のある世界が、原子力工学には広がっている。
山本一郎

解説

23 大気拡散計算の役割と制約
—原子力事故時に役立つ計算は可能か？

福島事故後の大気拡散計算では原理と方法が区別されず、現象に目を向けた取り組みがなされていないために、混乱が生じている。大気拡散評価手法をどう取り入れるか、大幅な組み直しが必要ではなかるうか。
山澤弘実

28 被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーション—福島第一原子力発電所事故初期段階における大気中放射性物質濃度分布の再構築

福島事故により環境中に放出された放射性物質のうち、短半減期核種による事故初期段階における内部被ばく線量を評価するために、大気中放射性物質濃度の時空間分布を大気拡散シミュレーションにより再構築した。
永井晴康

34 被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーション—東京電力福島第一原子力発電所事故における周辺住民の初期内部被ばく線量再構築

福島事故に伴う大気拡散シミュレーションと人の実測データのそれぞれから推計された甲状腺線量は、オーダーとしては概ね一致したものの、両者には未だ大きな乖離がある。
栗原 治

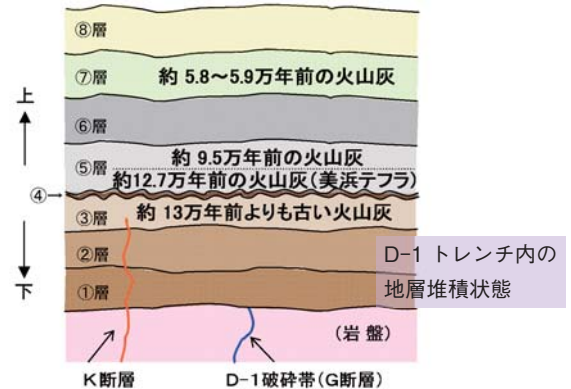
表紙の絵(洋画)「ノエル」 制作者 小島兼一

【制作者より】 ヨーロッパではクリスマスイヴまでの間、街の広場に綺麗なイルミネーションで飾られたメリーゴーランドが設置されます。またクリスマスマーケットの屋台が多く並び人々が集まります。賑やかな歓声と共に美しい冬の風物です。

解説

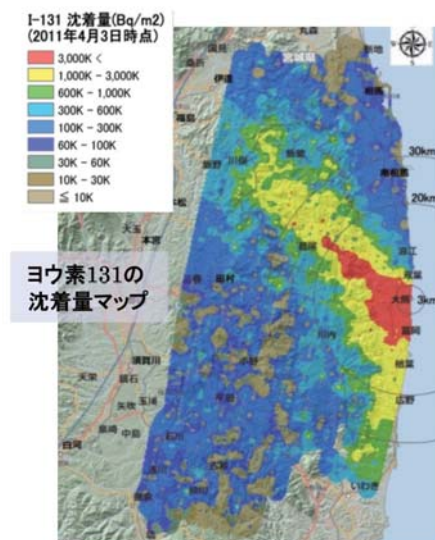
12 敦賀発電所敷地内破碎帯の調査結果

日本原子力発電は敦賀発電所のD-1 破碎帯が、少なくとも後期更新世以降は動いておらず、耐震設計上考慮する活断層ではないことをあらためて確認した。
星野知彦, 内田昌人



18 事故後初期の航空機モニタリングから得られたヨウ素 131 沈着量の分布—日米共同で新しい航空機モニタリング解析手法を開発

米国エネルギー省が事故直後に実施した航空機モニタリングの結果を解析した結果、半減期の短いヨウ素 131 の事故直後の沈着量分布が、明らかになった。
鳥居建男



シリーズ解説

世界の原子力事情 (2)

39 英国の現状と新規プロジェクト

英国では、外資系企業を中心とする3グループが新規原子力発電所建設に名乗りを上げている。状況を呈する英国の新規原子力プロジェクトをめぐる動向を紹介する。 石井敬之

解説

43 大型並列計算機を利用した地震動と地震応答のシミュレーション

従来のものとは桁違いの性能をもつコンピュータ「京」。このような大型並列計算機を利用した地震動と地震応答のシミュレーションが進みつつある。その現状を解説する。 堀 宗朗

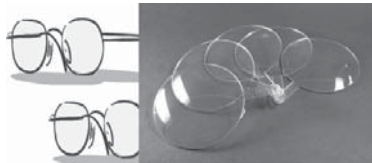


報告

49 JAEA 知財の企業製品化への展開 — JAEA 成果展開事業の紹介

原子力機構では原子力技術研究開発の過程で得られた特許などの技術知財を民間企業に開放して、企業の製品開発に生かす活動を実施してきた。

青嶋 厚, 鈴木義晴, 滑川卓志



植物由来の生分解性樹脂でできたデモレンズ

53 福島第一原発事故時のフランスにおけるマスメディアに対する情報伝達に関する広報スタッフへの意識調査 — AREVA, EDF, CEA, IRSN ヘインタビュー

フランスの原子力関係機関は福島事故の時に、記者へどのように情報を伝えたのか。当時の広報関係者にインタビューを行った。 土田辰郎

ジャーナリストの視点

62 足りなかった想像力

西川 拓

6 NEWS

- 原賠機構の新委員長に原田氏を選任
- 首相、「廃炉の安全対策万全に」
- IAEAで山本大臣、汚染水を説明
- 汚染水処理委が対策技術を広く公募
- 浜岡3・4号機、年度内に新基準申請へ
- 柏崎刈羽6・7号機の審査を申請
- 学術会議、風評被害対策で提言
- 双葉町、8項目の条件付け調査受け入れ
- 病院に併設できるBNCTを実用化
- 海外ニュース

私の主張

58 「生活を見直し、原発を安全にたたく」

ピースボートは、世界各地の人々と交流を図りながら長期の船旅を企画しているNGOだ。その共同代表を務める川崎哲氏は、政情が不安定な国への原発輸出はリスクが大きいと指摘する。 川崎 哲



談話室

60 忠臣蔵におけるデータの取り扱い — 確かな情報の 伝承の努力

荻原 栄



松之廊下 刃傷事件

22 新刊紹介 「専門家が答える暮らしの放射線Q&A」
白木貴子

48 From Editors

57 福島第一原子力発電所廃止措置関連の研究論文募集
53 会報 原子力関係会議案内、人事公募、寄贈本一
54 覧、英文論文誌 (Vol.50, No.12) 目次、和文論文
55 誌 (Vol.12, No.3) 目次、主要会務、編集後記、編集
56 関係者一覧

後付 総目次・著者名索引 (Vol. 55, NOS. 1 ~ 12)

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

学会誌ホームページはこちら

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

「全体主義」と対峙するために

巻頭言



京都大学大学院工学研究科教授、
第二次安倍内閣官房参与

藤井 聡 (ふじい・さとし)

1968年生。京都大学卒業後、東京工業大学教授等を経て現職。専門は実践的公共政策論、人文社会科学研究。著書「プラグマティズムの作法」等多数。

冷静な社会科学的解釈を加えるなら、少なくとも今日の日本の「原発を巡る世論」は相当程度「全体主義」に支配されているやに見受けられる。

そこには理性的な議論も実証的なデータもなく、議論に対する一切の敬意もなく全ての思考が停止した上で、ただただ対象を「潰す」ことだけを目的とした単純で紋切り型の主張だけが野蛮に叫ばれ続けているやに見える。そしてその空気に異論を挟もうものなら、それがどれだけ理性的で実証的で冷静に考えさえすれば万人が納得しうるものであったとしても、文字通りの「袋だたき」が始められる。

こうした「全体主義」については、かのヒトラー期のドイツやスターリン期のロシアの政治社会状況を精緻に分析したハンナ・アーレントが、著書『全体主義の起源』の中で文字通りその「起源」を明らかにしている。

全体主義とは、いわば「神」あらざるモノが「神」として振る舞い始める社会現象であり、ある種の「こわばった空気」が猛威をふるう状況を言うものである。彼女はそんな不条理な「空気」が持つ恐ろしき巨大エネルギーは、一般大衆の精神の内に巣くう様々な「俗情」が複雑に結託しあうことで生み出されるという事実を看破した。そしてその「俗情」の中でも、とりわけ巨大なエネルギーを宿すものと彼女が見つめていたのが、一般大衆の特定階層や既得権に対するルサンチマン、すなわち嫉妬、ねたみの類であった。例えばアーレントはナチスでは裕福なユダヤ人に対する嫉妬、ねたみが長年蓄積され、それがかの「アウシュビッツ」へとつながられていった様を描き出している。

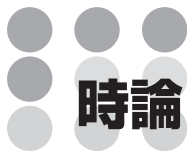
では今日の日本の原発を巡る「空気」を作りあげている「俗情」とは一体何なのか。この問いに対する正確な解答は、より精緻な社会科学的解釈研究に委ねなければならないが、アーレントの研究成果を踏まえるのなら、この空気を単なる「放射能に対する恐怖」だけで説明できぬことは明白である。

例えばその背後には、「既得権」に対する大衆的ルサンチマンが潜んでいる可能性が見て取れる。今日喧しく展開されている「電力自由化の議論」は、公益のためというよりもむしろその既得権の解体それ自身が目的とされているとの解釈は十二分に成立し得るように見える。あるいは戦後民主主義の中で「巨木」にまで育て上げられた「国家それ自体を否定する特定のイデオロギー」もまた、強力なエネルギー源であるやに見受けられる。無論そのイデオロギーもまた、戦後日本人の様々な「俗情」によって形成せられたものであることは言うまでも無い。そして何より、ナチスやスターリンの時代にもあった「大不況」による庶民の「生活苦」もまた、その空気のエネルギーを決定的に巨大化させている可能性も考えられる。

もちろんこれらは単なる理論的可能性にしか過ぎない。しかしそこにこわばった「空気」が濃密に存在していることそれ自体が事実であるとするなら、その背後にこうした何らかの俗情が潜んでいる可能性は何人たりとも否定できぬであろう。

いずれにしても我々が住まうこの現代文明は、電力が供給されねば究極的には死に至る脆弱な存在にしか過ぎない。この自明の一点を見据えた真っ当な議論を展開するためには、こうした「空気」についての冷静な認識が求められている。そうした冷静な認識の他に、理性的で合理的な議論と世論を導き得る契機を我々に与えるものなど、どこにも有りやしないのである。

(2013年9月26日記)



原子力発電所安全対策における懸念について



泉田 裕彦（いずみだ・ひろひこ）

新潟県知事

京都大学法学部卒業後、通商産業省入省。経済企画庁、資源エネルギー庁、国土交通省を経て、岐阜県知事公室参与、岐阜県農林商工部新産業労働局長を歴任。平成16年より現職。

中越沖地震の教訓とその反映

2007年の新潟県中越沖地震では、柏崎刈羽原子力発電所も大きな被害を受けました。特に3号機の所内変圧器の火災で、もうもうと黒煙を上げる映像が全世界に配信されました。この状況のなか、県庁と発電所間には専用回線や衛星回線を利用したホットラインがあるにもかかわらず、連絡をとることができませんでした。原因はこれらの通信機器がある発電所の緊急時対策室のドアが地震で歪んで開かなくなり、入室できなくなったことによるものでした。

この経験を踏まえ、東京電力にいざというときにホットラインがきちんとつながる体制を作ってくださいとお願いし、その結果できたのが、免震重要棟です。地震があっても揺れを吸収し、建物や設備の機能の保全が図られ、県から連絡がとれるような機能を持った施設を作ってもらいました。この施設は、当時は国の規制基準に基づくものではなく、中越沖地震での経験を真摯に検証して対応していただいたものです。

水平展開で、福島第一原子力発電所でも必要だということとなり、この免震重要棟ができたのが福島の事故の8ヶ月前でした。

また、福島の事故で原子炉を冷やすための最終手段が消防車による注水でしたが、なぜ原子力発電所に消防車があったのかというと、これも柏崎刈羽原子力発電所での火災を踏まえた対応として配備していたからです。柏崎刈羽原子力発電所では地震により、消火栓用の配管が破断してしまい、ホースをつないでも水が出ないため、初期消防において何ら対応ができなかった。このため、複数の消防車の配備を行ったものです。

福島第一原子力発電所に、これらの免震重要棟や消防車がなかったら、現在、東京に人が住めなくなっていた可能性もあったのではないかと思います。やはり、事故の経験というのは、真摯に反省してきちんとした対策をとるべきものであると考えています。

〈フィルター付きベント〉

中越沖地震での所内変圧器火災の原因は、変圧器とタービン建屋を結ぶパイプが敷地の不等沈下により外れ、内部の絶縁油が漏れてしまい、これに引火したものです。この対策として不等沈下が起きないように、基礎を一体化する対応を行ったと東京電力から報告を受けました。しかし、今回フィルター付きベント設備を設置するにあたり、基礎の対応が、そのときの対応とは異なっており、原子炉建屋と離れた場所で工事が進められています。もし、地震でベント設備への配管が外れてしまえば、放射性物質が直接出てくることになりかねないと危惧しておりましたが、このたび東京電力の社長から、配管の伸縮継手の破損に備えた交換用品及び交換手段の確保や耐震性に配慮した地下式の第二ベントを追加整備する旨、表明がありました。

フィルター付きベントでは、希ガスを除去することはできません。ベントが行われると、排出された希ガスは、周辺住民を被ばくの危険にさらすこととなります。このため、フィルター付きベントの設置・運用にあたっては、住民の被ばくを避けるため、住民の避難計画と連動したものとし、東京電力と協議を行う必要があります。

このような理由から、東京電力の適合申請について、県との了解が得られない限りフィルター付ベント設備の運用開始ができない旨、申請書に明記することの条件を付して仮承認しております。原子力規制委員会においては、住民の被ばく回避のため地元自治体と事業者との協議を十分に尊重し、原子力発電所内の性能基準に限るのではなく、地域の安全をいかに確保するかという視点で、審査を行っていただきたいと考えております。

規制基準

7月に原子力規制委員会が規制基準を制定しました。原子力規制委員会は決して安全基準とは言いません。これまでは原子力発電所は大量の放射性物質を放出する事故は起きないとして安全基準としていましたが、一定の確率で事故が起きるということを前提としたことから変更

したものです。過酷事故が発生した際に、事故を収束させる体制は、法制度を含め整備されているのでしょうか。

具体的に申し上げますと、定期検査中で停止していた福島第一原子力発電所4号機で、使用済燃料プールの注水機能が停止し、プール水温が上昇していったとき、作業員は放射線の上昇により建屋内に入ることができませんでした。このままの状況が続くと、プール内の水が無くなり、使用済燃料が溶け、放射性物質が放出される可能性が生じました。たまたま水素爆発が起きて、建屋の上部が吹き飛んで外部から注水することが可能となりました。事故で同じ状況が生じたとき、どのような対応を行うのでしょうか。労働安全上の線量限度を超えることを前提とする作業を命じることができるのでしょうか。「じじいの決死隊で行くぞ」とまた言うのでしょうか。国として、国民のコンセンサスを得て制限の線量の変更を行うのか、また事業者が対応できない場合を想定した専門の部隊を作るのか、作らないのか、このような話は一切ありません。

また、福島事故の本質は、原子炉の冷却に失敗したため、放射性物質を閉じ込めることに失敗したというものです。従って何より先に原子炉の冷却に取り組む必要があります。東京電力の原子力・立地本部長であった副社長に原子炉冷却のために海水の注入を決断できるか確認したのですが、「副社長の一存では判断できません。」との回答でした。数千億円もする原子炉を廃炉にしても、冷却を行うことを誰が判断できるのでしょうか。冷却の手段が失われてしまうと最短で2時間でメルトダウンしてしまうと言われてます。短時間で判断を行う必要がありますが、サラリーマンである原子力発電所長が決断できるのでしょうか。速やかに原子力規制委員長が指示できるのでしょうか。総理大臣が指示するのでしょうか。

さらには、北朝鮮が朝鮮半島で紛争があった場合、日本の原発をテロの標的としていたとの報道もあり、テロ等による過酷事故が発生した場合の対応をどうするか、ベントに必要な配管や、電源確保で重要な送電鉄塔等の重要な設備が耐震性能としてはCクラスとなっていること、高温下で誤作動をおこす水位計が未改善であることなど、今回の規制基準で再び事故が発生した時に大量の放射性物質放出を防止できるのでしょうか。

防災対応の一元化

自然災害と原子力災害に対応する防災に係る二重の法体系に課題があると思います。福島県から新潟県まで避難をされてきた方というのは、5回ないし6回、ひどい人は7回も避難場所を変えています。その原因は、自然災害で避難指示を出す人は原則市町村長であるのに対し、原子力災害で避難指示を出す人は総理大臣であるからです。今回のような複合災害時では、統合的な対応を行わないと合理的な避難は困難となります。私も中越地

震の際、旧山古志村の全村避難を経験しましたが、広域自治体が避難を調整するときは、受入の市町村を決めるだけでなく、ここの学校に行きましょうと受入先まで決めて実施しました。今回の福島事故では、政府は20kmの先へ逃げてください、それだけです。南相馬市長が、20kmの範囲にあるのに避難指示の連絡すら無かったと言われました。このような混乱を防止するためにも、法体系を一体化し、指揮命令系統を一元化すべきと考えています。

原子力規制委員会

県では、平成14年の東京電力のトラブル隠し以降、新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会(通称「技術委員会」)を組織し、原子力発電に係る幅広い分野の専門家から技術的な助言をいただき対応しています。現在も福島第一原子力発電所事故の検証をお願いしており、今年3月には平成24年度のとりまとめとして報告をいただきました。今まで述べてきたことは、この検証を通して出てきた課題として報告を受けたものもあります。県としては、原子力規制委員会に直接、又はパブリックコメントを通じて質問や意見を提出してきましたが、納得できる回答をいただけておりません。規制委員長は、記者会見で、知事からの質問にいちいち答える義務は無いと述べておられます。法律を持ち出すまでも無く、原子力規制委員会は「原子力利用における安全の確保」を任務とし、関係行政機関の長に対して勧告できる権限を有しているのです。日本の規制機関はこのような対応で大丈夫だろうか心配しています。

東京電力の現状

最後になりますが、東京電力が原子力発電所を適切に運営できる会社なのか疑問を持たざるを得ません。3月11日の時点で東京電力は1号機のメルトダウンを予想し、翌日には燃料ペレット内にしかない放射性物質が建屋の外で検知されているにもかかわらず、正式にメルトダウンを認めたのは2か月後です。誰の指示で隠したのか明らかにせず、結果として、このような事態を引き起こした対策をやむやみにしています。このような体質は、福島汚染水問題でも繰り返されており、汚染水流出の発表は遅れてしまっています。社長自らが記者会見で3.11の教訓を学んでいないと今頃になって述べているのです。

被災者への補償についても同じです。責任を持って対応すると言っているが、安い補償で済ませようとしているとしか考えられません。このため、被災者の多くの方が生活再建のめどが立てられずにいます。果たしてこのような企業に原子力発電所の安全を第一とした運転ができるのでしょうか。私は、一度破綻処理をしたうえで、体制を立て直した方が良いのではないかとすることも選択肢の一つになるのではないかと思います。

(2013年10月7日記)



信頼回復のためにも、技術の未来を語ろう



山本 一郎 (やまもと いちろう)

個人投資家・作家

1973年、東京生まれ。慶應義塾大学卒。2000年、IT関連のコンサルティングやコンテンツの企画・制作を行うI&P社を設立。ベンチャービジネスや技術系企業の財務・資金調達など技術動向と金融市場に精通。著書に『情報革命バブルの崩壊』など多数。

いまさら本稿で3.11や福島第一原子力事故とは何だったのかそのものをお伝えしても仕方のないことでしょう。あの忌まわしい東日本大震災から2年あまりが経ち、多くの識者、国民がメディアやネットを通じて災害、事故については率直に語り、話し合い、批判し、慰め、総括をしました。国会でも複数の事故調査委員会が立ち上がり、中には「明らかに人災」という過激な文言まで表出されたのは記憶に新しいところです。

折りしも、本稿を執筆中の8月20日、福島第一原子力発電所のタンクから約300トンの汚染水が漏えいしたという報道で騒ぎになりました。もちろん、厳密に言えば、本件は学問としての原子力工学の問題ではなく、電力事業、原子力産業が起こした事態を国家が適切に収拾、管理できていない事例と言えます。しかし、国民からすると誰が悪い、どういけなかったかという理知的な考察よりも、まず原子力というワード全体に対する不信、拒否感が先に立ってしまうこととなります。まさに、技術自体が悪いのではなく、運用が悪かったために、技術分野や知識そのものが社会から無意味な嫌悪感を持たれてしまうプロセスがあると言えます。

事故は事故として重大に捉え、原子力に携わるすべての関係者が他人事ではなく真摯に反省する必要があるのは間違いありません。そしてさらに重要なことは、事故を十分に踏まえ、萎えることなく学問として、産業として、原子力工学を守り育てていくことです。原子力の安全な利用を行うための研究や日々の運用のためには、重大な事故があったからといって、あるいは事故があったからこそ、立ち止まってはならないのです。

議論の中では原子力発電所の再稼働について反原発か推進かという二元論で語られがちです。ただ、一連の原発の問題というのは単純に電力の供給方法として原子力工学の活用が行われてきて主要な電源開発の一部を担っていた、というだけの話では終わりません。エネルギー供給全体の問題として、化石燃料の比重を下げ、日本の

貿易収支を下支えしてきました。福島の周辺に事故の後遺症として汚染が広がりましたが、それは単に事故対応という一面だけでなく、電力事業、原子力産業、ひいては日本という社会、国家、国民の持つシステムに突きつけられた課題に他なりません。

事故以降メディアが報じる必要以上の恐怖情報に煽られた国民の感情的な反発を前に、正しい学術上の知識や医療情報が伝わらず、むしろ捻じ曲げられて、然るべき事実が正しく伝わらない無念さを感じられた電力事情や原発に詳しい方も数多くいらっしやっただしょう。東京電力が過去に担ってきた安定した電力供給の実績までもが否定され、忸怩たる思いを抱かれた方もあろうかと思えます。ネットでは原発事故に関する悪質なデマや名を売りたいジャーナリストの根拠無き中傷が繰り返され、ある種の反権力志向のイデオロギーと結託した末に反原発デモまで発生しました。東京大学の早野龍五教授らが国民と向き合いネットで正確な情報の提供が精力的に行われて成果を挙げる一方、事故直後のパニックになった国民がネットのデマを信じて右往左往しました。緊急事態が沈静化してからも、なお感情的な拒否感が国民の間に根付き、福島に対する風評被害は収まりません。

一連の問題は、もちろん国の仕組みと原子力産業の安全管理の甘さに直接の原因はあったにせよ、事故や状況を正確に評価し、その影響を正しく伝達する仕組みもまた、欠いていました。その結果、震災による死者・行方不明者は一万八千人あまりに達するのに対し、死者は出ていない原発事故が過剰にクローズアップされ、本来の地震被害よりもはるかに強い国民の不安感を掻き立てることになってしまいました。

そして、それ以上に福島復興の足音の弱さや、事故以降の復興庁と現地自治体の連携のむつかしさ、現地住民の皆さまがいまなお感じる放射線への不安が払拭されない現状、そしてこれらの一連の問題が輻輳しました。政治環境もマイナスに働いた結果、国民生活に必要な

けの原発の再稼働にいまなお許可が出ない状態に、切歯扼腕される関係者も多いでしょう。「信頼回復」と一口に言うのは簡単です。しかし、国民感情の奥深くに突き刺さり、電力の安定供給だけでなく自治体行政、13年度だけで1.7兆円にもなる復興予算、国内産業のサプライチェーンからエネルギー安全保障に到るまで多くの要素が絡む現状は、単なる原子力発電所の事故なので原子力工学の諸関係者や東京電力だけに押し付けて終わり、とはなりません。

私は、この日本社会に横たわった複雑な方程式を解くのは、2年前の事故を思い返すことだけではなく、むしろ原子力に関わる個々人の初心、動機に解があるような気がしてなりません。今年40歳になった私の幼少時代においては、原子力とは未来を拓く技術でした。研究者の弛みない努力の結果、原子力は日常になりましたが、そこから先に、さらにどのような将来が広がっているのか、次の世代にどのような恩恵を与えられる魅力ある技術分野なのか、うまく知らされていないように感じます。いまの子供たちに、夢を感じさせられるような新しい世界と物語が必要なのでしょう。

それは、「原子力は安全だ」という話ではありません。リスクも十分に承知した上で、それでもなお取り組むべき価値のある世界が、原子力工学には広がっていて、そこには地球環境や私達の便利な生活、あるいは強い放射線の飛び交う宇宙があるんだという本当の現実を見ることが大事だと思うのです。この分野にはまだ未来があります。私の狭い知見で申し上げるならば、原子力工学の担い手はむしろ、担っている技術そのものの未来をあまり信じていないように感じられてなりません。もちろん、その技術が持つパワーが強いほどに、常に無知な人々からは批判に晒され続けます。それでも、低線量被曝の安全性(あるいは危険)も含めた健康情報や地域の除染対策、復興といった地道に続けていくべき努力と両輪のものです。そこには、従前の原子力界限を取り巻いていたとされる神話や過信や排外的な姿勢から、公正で安全かつ透明性のある環境作りを進めていく必要があります。これは、技術の高度さや事業の収益性とは別の側面の、人間としての精神や社会と共にあり役立つ存在であろうとする使命感と一体となって取り組むべき仕事と言えます。他の業種で言うならば、マーケティングやカスタマーリレーション、コミュニケーションデザインといった、あまり耳慣れない分野です。

今回の原子力発電所の事故は、電力事業者や原子力産業、それを支える原子力工学の周辺だけで収まるもので

はないという現実を、私たちに教えてくれたのでしよう。国民が分かる言葉で広く原子力の意味と価値、そして未来を語ることが、実は必要とされていたのです。これからは、不思議な主張もする反対派も含めてもっと多くの人たちと会い、多くの言葉で説明し、批判に応え、それ以上に多くの賛同者を得ながら進んでいくほかありません。そして、学術的な正しさだけでなく政治的なポジション、社会的な評価、国民が感じるイメージや未来像、原子力の平和利用を進めていく上で得られるメリットとリスクの周知と議論と、社会の富や安全保障に対する関わりへの理解といった、非常に多層的で広範な取り組みが要請されている、ということでもあります。

逆に言えば、社会的な信任を得られる方法論を確立し、将来にわたって社会にメリットが与えられるのだという主張をいま以上に行わない限り、原子力工学を取り巻く未来は拓けない、ということです。さらに、日本から原子力産業が国民の反発によってすべて失われるという閉ざされた未来がやってくるならば、我が国の先進的な原子力工学の担い手は中国や韓国、ロシアといった諸外国に仕事を求めて散っていかざるを得ません。そうなれば、世界の安全保障の重要な枠組みのひとつである核不拡散・核管理の仕組み自体が根底からひっくり返ってしまう可能性すらあるのです。そして、国内で後進を育成することもできなくなります。国内で必要とされない研究分野の門を叩き、喜んで研究に従事しようという若い志望者はいなくなるからです。これはまさに国難と言わざるを得ません。

すなわち、高度に利用される技術は、それが正しく利用されるために常に厳しく自己を律しながら、産業全体の公正さや安全性、透明性をハンドリングできる仕組みが必要です。

原子力規制委員会も含め、現在の我が国の原子力を取り巻く「政治の話」も大事ですが、それ以上に重要なことは関係者一人ひとりが率直に国民と話し合い、理解を促し、不安を払拭していただきつつ、描かれる未来と現状のリスクを周知することです。ネットも上手く利用しながら原子力産業側が積極的に情報を配信し、国民に理解してもらい議論を促進することが、事態を改善し、政治をも動かす原動力となります。

科学技術は人類の行く先であり、より良い社会を築くためのプロセスそのものです。その道筋がきちんと指し示され、社会を豊かにしていくものなのだというコンセンサスを築くことが、真の意味での復興なのでしょう。

(2013年9月4日記)



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

原賠機構の新委員長に原田氏を選任

原子力損害賠償支援機構は11月5日に運営委員会を開き、新しい運営委員長に元検事総長の原田明夫氏を、運営委員長代理に東大教授の田中知氏を選任した。そのほか金本良嗣氏(政策研究大学院大副学長)、後藤高志氏(西武ホールディングス社長)、櫻井敬子氏(学習院大教授)、藤川淳一氏(東レ副社長)、増田寛也氏(東大客員教

授)、増淵稔氏(日本証券金融会長)を委員に選任した。

原子力損害賠償支援機構は大規模な原子力損害が発生した場合に、原子力事業者の損害賠償のために必要な資金を交付するなどの業務を行うために、2011年9月に設立された組織。

(原子力学会編集委員会)

安倍首相が福島第一を視察、「廃炉の安全対策万全に」

安倍晋三首相は9月19日、福島第一原子力発電所を視察し、汚染水対応に従事する作業員らを、「過酷な仕事だが、日本の未来は皆様の双肩にかかっている。国としても前面に出てしっかりと使命を果たしていきたい」などと激励し、事故炉対応に全力を挙げて取り組んでいく決意を述べた。安倍首相の訪問は12年末以来で、今回の視察では事故対処への集中投資の考えから、福島第一5、6号機の廃炉にも言及した。

視察に際し、首相より要請された(1)廃炉に向けた安全

対策に万全を期すため現場の裁量で使用できる資金・予算の枠を確保、(2)しっかりと期限を決めて汚染水を浄化、(3)福島第一5、6号機の廃炉を決定——に対し、東京電力は今後10年間で総額1兆円を追加確保し、多核種除去装置の増強も含め、14年度中にすべての汚染水浄化を完了できるように取り組んでいくなどとコメントした。5、6号機廃炉については、関係者の英知を集め年内に判断するとした。

(資料提供：日本原子力産業協会、以下同じ)

IAEA 総会で山本科技担当大臣、汚染水問題を説明

国際原子力機関(IAEA)の第57回総会が9月16日にウィーンで開幕し、出席した山本一太大臣が日本の代表演説のなかで、原子力ゼロ政策の見直しや汚染水問題への取組み状況を説明した。

演説で山本大臣は、昨年12月に安倍政権が発足してから日本がエネルギー政策を転換し、前政権が打ち出した2030年代に原子力発電の割合をゼロにするという

政策は根本から見直すと言明。また福島第一原子力発電所の汚染水問題について、同発電所から0.3km²の港湾外および海水の放射線量はWHOの飲料水指針を下回っていると説明し、9月3日に策定した基本方針のもと、470億円の財政措置を講じて凍土方式の陸側遮水壁の構築や高性能な多核種除去設備など、国が前面にたって取り組んでいくと強調した。

汚染水処理委が対策技術を広く公募

経済産業省の福島第一原子力発電所汚染水処理に関する委員会は9月13日、国内外からの技術提案の結集に向け、今後の進め方を整理した。リスクを洗い出した上で、有効な対策の打てるものについて、近く一覧表を公表し、年内にも全体像を示す。

委員会は、10日の廃炉・汚染水に関する閣僚会議で提示された具体的アクションに基づき、汚染水に関するリスクを洗い出し、(1)具体的に有効な対策のあるもの、(2)対策に技術的な難点のあるもの、(3)有効な対策がない

もの、(4)情報が少なく評価できないもの——に対策を分類した上で、「汚染水対策に係るリスク・対策一覧表」を作成することとした。一覧表は、9月中にも公表し、10月には現地調査を実施、内外から寄せられる技術提案を1次評価し、効果の高いと認められる対策を随時追加、更新していく。

技術提案は、8月に発足した「国際廃炉研究開発機構」の中核機関とし、分野ごとの専門家によるネットワークを組織し、内外の問い合わせ対応や情報発信を行い、

チーム体制で提案を精査する。

また、電気事業連合会は9月13日の定例記者会見で、現在問題となっている福島第一原子力発電所の汚染水に関し、電力業界全体で取り組んでいく考えを示した。具

体的には、東京電力からの放射線管理関連の要員派遣、資機材整備等の要望を受け、電事連内福島支援本部下の「汚染水対策プロジェクト」で、事態の進展を踏まえ、調整し実施する。

浜岡3・4号機、年度内に新基準申請へ

中部電力は9月25日、新規制基準を踏まえた追加対策を取りまとめ、4号機は15年9月末、3号機は16年9月末の完工を目標に実施することを発表した。同社では、13年度中の早い時期に原子力規制委員会への適合性申請ができるよう必要な準備を整えたいとしている。

浜岡3～5号機は11年5月に政府からの運転停止要請を受け、津波に対する安全性向上対策を実施している。

浜岡3、4号機については地震対策のほか、竜巻対策、火災対策、重大事故への対応として、注水機能強化や電源機能強化などの追加対策を実施する。現在実施中の津

波対策や重大事故対策についても、各号機の完工目標までに工事を終えることとしている。5号機については検討中。

また、同社は浜岡3、4号機の地震対策に向けた工事計画も取りまとめた。内閣府の南海トラフ巨大地震検討会の想定モデルなどを踏まえ、1,200ガルの「改造工事用地震動」、さらに駿河湾の地震で観測された増幅を仮想的に反映した2,000ガルの「改造工事用増幅地震動」を設定し、配管・電路類サポート、5号機周辺の防波壁や4号機取水槽などの工事を行うこととしている。

東京電力、柏崎刈羽6・7号機の審査を申請

東京電力は9月27日、原子力規制委員会に柏崎刈羽発電所6、7号機の新規制基準適合性確認に関する申請を行った。前日26日に、新潟県の泉田裕彦知事より、同機へのフィルタバント設備に関して審査申請の了解を受けて行われたもの。

東京電力では7月、新規制基準の施行を前に、柏崎刈羽6、7号機の準備が整ったことから地元への説明を進めており、既に8月6日には柏崎市と刈羽村より了

解を獲得している。申請は、新基準に伴う原子炉設置変更許可、工事計画認可、保安規定変更認可で、これに際して県から示されたバント操作による住民被ばくに関する条件を踏まえ付記がなされている。

なお、原子力規制委員会への新規制基準施行に伴う適合性確認申請は、今回BWRが初めての申請となり、5社・14基となった。

学術会議、原子力災害風評被害対策で提言

日本学術会議は9月6日、福島第一原子力発電所の事故に伴う福島県産農産物の価格低迷など、「風評」問題を解決するための抜本的対策を求める緊急提言を取りまとめた。

「消費者が福島県産農産物の安全性を確認し、より確かな安心感を抱くことができるよう、農地1枚ごとの放射性物質や土壌成分などの計測と検査態勢の体系化」を提言し、現行法令に関して、その運用の適正化とともに新たな法令の整備が必要と指摘した。

検査態勢の体系化の推進にあたっては、4つの段階を示した。第1段階では農地放射性物質分布マップの作

成と認証制度設計、第2段階では移行率のデータベース化とそれに基づいた吸収抑制対策、第3段階では自治体・農協のスクリーニング検査と国・県のモニタリング検査との連携、さらに第4段階で消費者自身が放射能測定を実施できる機会の提供を行うべきとした。またそのために特に重要な課題として、食品基準が厚生労働省、土壌の除染が環境省などと分かれている現状を見直して、復興庁を司令塔にした法整備を行う。また原子力災害からの復興のための一元的な研究機関・組織の設置などをあげた。

双葉町、8項目の条件付け調査受け入れ

福島第一原子力発電所事故の除染に伴う廃棄物を保管する中間貯蔵施設の候補地となっている福島県双葉町は

9月27日、環境省の現地調査を受け入れることを発表した。

双葉町では受け入れにあたり、これはあくまでも調査の受け入れであり、施設設置の受け入れではないこと、調査対象となる土地の地権者には事前に必ず了解を得ることなど全部で8項目の条件を付して調査を受け入れるこ

とにした、としている。

環境省は双葉町でのボーリング調査開始への準備に着手する。福島県内では大熊町と楡葉町が現地調査を受け入れ、調査を実施している。

阪大と住商、病院に併設できる BNCT 実用装置開発に成功

大阪大学と住友商事は9月6日、難治療性のがん治療に革新的な効能を有するホウ素中性子捕捉療法(BNCT)分野で、世界で初めて低被ばくで病院に併設可能な実用的装置の開発に成功したと発表した。

BNCTはホウ素の中性子と反応しやすい性質を利用し、ホウ素を取り込んだがん細胞に中性子を照射することにより、がん細胞のみを選択的に内部から破壊する最新の治療法。このほど実用機のプロトタイプモデルを製作し、パーミンガム大学で性能評価試験を行ったところ、治療に必要な中性子線量を十分に得ることができ、かつ不要な放射線による被ばくが非常に低いことを確認

した。人体への全身被ばく量は、地上の自然放射線量の年間最高値と同程度と画期的に小さく、他グループが開発中のBNCT装置に比べて格段に低く抑えられており、正常細胞に与える影響を極小化できることから、複数照射や適用可能な患者の範囲を広げることが期待されるという。

今後、BNCT設置を考える国内の病院と協力し、2014年には実用1号機の製造を開始し、2016年頃には許認可申請を行う予定。さらに、欧米の病院や大学とも協力し、欧米医療機関への許認可取得も視野に入れ、液体リチウム方式によるBNCTの確立を目指す方針。

海外ニュース (情報提供：日本原子力産業協会)

【国際】

OECD/NEA が福島事故で対応と教訓

経済協力開発機構・原子力機関(OECD/NEA)は9月10日、「福島第一原子力発電所事故——NEA加盟国の原子力安全対応と得られた教訓」と題する報告書を公表した。同事故後に、原子力発電設備を有するNEA加盟各国、およびNEAの3つの常設委員会が取ったアクションの概要をまとめたとともに、今後、高いレベルの原子力安全を保証していくための主要メッセージとして、安全確保のための対策や原則を実行していく上で現状に甘んじる余地など無いこと、必要な事前対策を立て、試験した後も定期的に見直していかなければならない——などと呼びかけている。

〔事故後の加盟国の行動〕

報告書はまず、事故後の各国の対応について、それぞれの稼働中原子炉で安全性の確認という初期行動が取られた後、「ストレステスト」の名で知られる包括的な安全審査が行われた点に言及。福島第一原発が経験した深刻な外部事象や安全機能の喪失といった事態に特に焦点を合わせて安全裕度が再評価されるとともに、設計ベースの想定適切さ、および設計外事象に対する備えについ

ても審査が行われたとした。

各国はそれらの結果に応じて既存炉の安全系をアップグレードするとともに、自然災害に対する耐性向上を目的とした設備を追加。将来、福島と同様の事故の再発を防ぐアクションを効果的に取る道が模索されつつあると報告書は指摘した。なかでも深層防護の原則の適用を加速することや、事故時の使用済み燃料貯蔵プールにおける挙動について理解を深めること、緊急時の手続きやガイドダンス、およびコミュニケーションの見直し、深刻な状況下における緊急時計画の効果を改善することなどに主眼が置かれたと説明している。

〔主要メッセージと結論〕

このような事故後の諸活動とレベルの高い原子力安全の維持・改善を保証していく意味合いから、報告書は次のような結論と主要メッセージを導き出した。第一に、「原子力を利用するNEA加盟国は原子炉の安全審査を速やかに実行。さらに包括的な審査を行うなかで原子炉の運転を継続しても安全であると断定した」こと。そして、「福島の基本メッセージは安全確保のための活動や原則の実施で気を緩める余地はない」ということだ。

また、「職業として原子力安全に携わる者には、安全確保活動と原則の適用が効果的に行われるよう互いに義務を負い合う責任がある」と明言。安全確保の一義的責任は事業者にあると認める一方、規制当局は放射線によ

る悪影響から公衆と環境を守る責任を負っていると説明した。

福島事故では敷地外への放射性物質放出を防ぐ工学的バリアがすべて打ち砕かれたが、「深層防護という原則は依然として有効であり、原子力安全を担う者達が共有し続けるべきものだ」と結論付けている。NEAとしては「事故の発生可能性を完璧に除外できない以上、原発サイトの内外において放射線による緊急事態に対応・処理するための対策を事前に立て、試験するとともに、演習による経験上のフィードバックを統合するために、これを定期的に見直していかなければならない」点を重要視。「常に疑問を持ち、学ぶとする姿勢こそ、レベルの高い安全基準の改善努力を続け、それらを効果的に実行していく上で絶対不可欠なことなのだ」と訴えた。

IPCC, 「温暖化, 疑う余地ない」と評価

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の総会が9月23～27日、スウェーデン・ストックホルムで開催され、自然科学的根拠を扱う第1作業部会の報告書を承認・公表した。地球温暖化について、「疑う余地がない」と改めて警鐘を鳴らし、今後2100年までの世界平均気温上昇を予測している。今回IPCC第5次評価報告書公表は07年以来となる。

将来予測では、1986～2005年を基準とした2016～35年の世界平均気温の変化幅は、0.3～0.7度程度と見込み、同じく、2081～2100年では最悪のシナリオで4.8度上昇の可能性を述べている。

評価結果を受け、IPCCのパチャウリ議長は、近年の気候変動を、「前代未聞のスケール」と驚きを示した上で、科学界、政策立案者、一般市民らに、今回報告書を効果的に活用するよう訴えかけた。

今後、温暖化問題への対応については、化石燃料の大量消費を続ける日本の責務を問われることになりそうだ。

IAEA, 原子力設備は20年後に最大で2倍になると予測

国際原子力機関(IAEA)は9月24日、2050年までの世界の原子力発電設備開発について分析・予測した年次報告書の最新版を公表した。福島第一の事故の影響もあり、事故以前の報告書より成長速度は緩やかなものの、アジア地域を中心に2030年頃までは原子力設備が増大し続けるとしており、高ケースでは2倍近くの伸びになるとの予測を示している。

IAEAは例年、低・高の両ケースについて試算してお

り、低ケースでは現在の市場や技術等の傾向が持続するとともに、原子力関係の法制度や政策および規制上の変化もほとんどないことが前提。ただし、各国の原子力開発目標すべてが計画通り進展するとは想定しておらず、保守的だが妥当なレベルの予測となっている。

一方、高ケースでは現行経済や電力需要の成長率がアジア地域などで特に継続していくと想定したほか、地球温暖化防止に向けて各国の政策が変化していくと仮定した。

その結果、低ケースでは2012年時点の原子力設備容量である3億7,300万kWが30年に約17%増の4億3,500万kWまで増える見通し。高ケースでは94%増の7億2,200万kWに達するなど、世界の原子力発電容量は成長速度こそ鈍化しているものの、減少することはないと報告書は結論付けている。

短期的には、天然ガスの低価格化といくつかの国で取られた再生可能エネルギー振興政策により、世界の2～3の地域では原子力設備の成長に影響が及ぶ。また、現在も進行中の経済危機により、原子力のように大規模な初期投資を必要とする電源には、今後も課題が突きつけられる。

しかし、長期的に見れば、途上国における人口と電力需要の増加、地球温暖化防止、エネルギーの供給保証、その他の燃料価格の乱高下といった観点から、原子力はエネルギー・ミックスの中で重要な役割を果たすことが期待されると報告書は指摘。当然、課題はいくつも残っているし、福島第一事故後の政策対応は今なお変化しているが、過去1年間に多くの国で原子力設備の安全審査を完了し、原子力開発に対する立場を一層明確にした。これらの審査における最終結果として安全系を改良したり、原子炉を閉鎖したりするケースはあるが、原子力は安全かつ盤石なエネルギー源として一層の期待が寄せられていることが示されたことと報告書は解説している。

〔米国〕

議員が規制委員長の権限分散する法案を提出

米原子力規制委員会(NRC)における委員長権限を5名の委員全員に分散させるなど、委員会メンバーの役割と権限の範囲を明確化するとともに、その政策・規則策定活動を指導することを目的としたNRC改革計画成文化・補完法案が9月18日、2名の共和党議員により米議会の上下両院に提出された。

NRCのG・ヤツコ前委員長は昨年5月、任期切れを待たずに辞職に追い込まれたが、その際、特定の情報を残りの委員4名に伝えなかった、あるいは上級スタッフを恫喝したなどとして糾弾された。その反省から、今

回の法案は委員長による権限の乱用や管理上の不行き届きを将来的に防ぐ狙いがあると見られている。

この法案は上院の環境・公共事業委員会に属するD・ピッター議員と、下院の商業・製造業・貿易小委員会のL・テリー委員長が作成したもので、1980年に発表されたものの議会票決に至らなかった「NRC改革計画」を法律として成文化した内容。ここではNRC委員全員にNRC内の全情報に平等にアクセスする権限、および欠員を補充する権限があると明記している。

ピッター議員によると、NRCは米政府内で非常に重要な役割を担っているため、良識的な法律の下支えがなくては効果的な運営は望めない。このため、同法案によってNRCの機能を支援する一方、シンプルなチェック&バランス機能のある程度導入することにより、一層効果的なNRCの運営と権限の乱用回避を目指したいとしている。

テリー委員長も、「原子力に対してどのような立場を取ろうと、我々は皆、NRCがより良く機能する必要があると考える点では一致している」と強調。NRCに対する信頼の失墜は2度とあってはならないとし、今回の法案はNRCが米国民の期待するレベルで機能するよう支援する最初の良き一歩なのだと説明した。

規制委、サンオノフレのSG問題で「安全上の重大性、低い」

三菱重工(MHI)製蒸気発生器(SG)のトラブルが原因で今年6月に閉鎖されたサンオノフレ原子力発電所(SONGS)2、3号機について、米原子力規制委員会(NRC)は9月23日、「SG設計の不適切さは安全上の重大性としては低い規則違反」とする暫定的な検査結果を公表した。

2012年1月にSONGS3号機でSG細管同士の接触部から放射能漏れが検知された後、NRCは今後の対策行動として事業者のSCE社が合意した事項を盛り込んだ「確認措置レター(CAL)」を同年3月に発行。その後の数か月間に、SONGSでCAL通りの対応が取られたか確認する検査を実施していた。

米国の原子炉監視では、事業者がいくつかの指標に従って実績評価した報告書のほかにNRC検査官による検査で違反リスクの重大さを評価しており、結果は「緑、白、黄、赤」の4段階に識別。SONGSの場合NRCは、不適切なコンピュータ・モデリングによりSG設計に欠陥が生じた3号機の安全上の重大性を、最も低いものから2番目の「白」と判定した。一方、2号機については「SG細管の健全性が損なわれたわけではない」との理由で、重大性が最も低い「緑」としていた。

SCE社は今後10日以内に、この結果を受け入れて規制会議を要請する、あるいはこの裁定が最終決定となる前に文書で関連情報を提出するなどの意志をNRCに伝えなくてはならない。

このほかNRCは同日、SGの設計上の問題を指摘する文書をMHIに対して発行した。MHIは30日以内に同文書に対して異議を唱えるか、すでに取った是正策に関する追加情報、この問題への取り組み計画を提出することになるが、22日付けの声明文の中では「NRC報告は、当社の実施した根本原因解析等が技術面でも合理的であり、根本原因等に対処するために当社が特定・実施した是正措置も合理的だったと結論付けた」と述べている。

【英国】

ロールス社とフォータム社がロスアトム社と合意、ロシア型PWRの英国導入で協力

英国のロールスロイス社とフィンランドのフォータム社は9月5日、第3世代プラスのロシア型PWR(VVER)を英国で建設・操業する機会の可能性評価でロシアのロスアトム社と協力合意に達したと発表した。同日、ロスアトム社は英国のエネルギー気候変動省(DECC)と原子力平和利用分野の協力了解覚書に調印。同国の包括的設計審査(GDA)をすでにパスした仏アレバ社製EPRや4月に審査が始まった日立GE社のABWRなどに続き、VVERで同審査とサイト認可に向けた準備が開始される見通しとなった。

ロールス社は英国政府の「先進原子力機器製造研究センター」で産業界側の代表を務めるほか、原子力平和利用分野では最新式計装制御(I&C)技術等の供給で諸外国と契約した実績を持つ。ロスアトム社とは2011年9月、キャメロン首相が推進するロシアとの貿易拡大政策の一環として民生用原子力分野での協力覚書を調印して以降、緊密に連携。今回の合意ではVVERの正式なGDA審査でロスアトム社が最初の一步を踏み出すのに先立ち、同設計のエンジニアリングや安全性評価など準備作業を請け負うことになる。

また、フォータム社はフィンランドのロピーサ原子力発電所で50万kW級のVVER(計装制御系は独シーメンス社製)2基を30年以上操業。同原発に3号機を増設する計画は10年7月にフィンランド議会から否決されたが、原子力安全や廃棄物管理の分野で蓄積してきた専門的知見を生かし、英国にVVERを建設するための準備・分析作業や建設サイトで認可を受ける可能性の評価などロスアトム社の新設計画全体を支援していく。ただし今回、英国の新設プログラムに対する投資について

は、現時点で何も決定していない点を強調している。

〔フランス〕

首相、エネルギー移行問題で原子力税による再生エネ支援明言

フランスの J-M・エロー首相は 9 月 21 日、F・オランダ大統領が公約した「2025 年までに原子力発電シェアを 50% まで削減する」方策として、原子力発電所による収益の一部を再生可能エネルギー拡大のために活用すると発表した。原子力への具体的な課税額は明確にしているが、化石燃料に対する燃料消費税 10 億ユーロを 2016 年に再生エネに追加投入する法案は今週中にも国会が承認予定。現行の固定価格買い取り制度による再生エネ助成は、電気代の上昇やその他の電源の競争力低下を引き起しがちであることから、これらの見直しも行うと見られている。

今回の首相発言は 20 日からパリで 2 日間開催されていた環境会議の閉会演説によるもの。フランスでは 2050 年までのエネルギー政策の方向性について昨年 11 月から今年 7 月まで全国討論が行われ、その終了を示す環境会議の場で総括文書が政府に提出された。しかし、討論に参加した各界の代表者達は同文書の内容に同意しないなど政府への勧告取りまとめには至っておらず、これを叩き台とするエネルギー枠組法案策定の行方が危ぶまれていた。

首相はまず、全国討論でエネルギー政策におけるあらゆる側面やすべてのエネルギー源が初めて取り上げられたと賞賛。導き出された 2 つの方向性として、(1)エネルギー消費量の削減、(2)再生エネ拡大のためにエネルギー・ミックスのバランスを徐々に修正——を挙げており、これらに沿った法案を来年末までに成立させるため、P・マルタン・エネルギー大臣が準備中であるとした。

首相はまた、オランダ大統領がこの前日、原子力発電シェアの削減をエネルギーの効率化と再生エネで進めると改めて述べた点に触れ、この目標達成のために再生エネの利用を大幅に拡大する必要があることを意味すると断言。フランスはすでに、年間 40 億ユーロを再生可能エネルギー開発に、10 億ユーロをエネルギーの効率化対策に投入しているが、エネルギー・ミックス中のすべてのエネルギー源が財政資源を必要としていることは明白であり、長期的な恩恵をもたらすいかなる変革も、短期的にはコストがかかるものだと説明した。

このために成すべき事として首相は、(1)新たな燃料消費税として 16 年に 10 億ユーロを追加、(2)国内の既存原子炉で最大限の安全を確保しつつ、残りの運転寿命を通じて収益を活用する——と明言。電力供給に支障を来

すことのないよう、原子力発電所に貢献させる方針だとしている。

〔フィンランド〕

フェンノボイマ社のハンヒキビ計画、株主に投資決定提案へ

フィンランドのピュハヨキでハンヒキビ原子力発電所 1 号機の建設を計画しているフェンノボイマは 9 月 3 日、年末までにロシアのロスアトム社製原子炉設計に対する投資を決定するとともに原子炉供給契約を締結するため、フェンノボイマ社の株主企業約 60 社に提案書を提出することでロシア側と合意に達した。株主企業各社はこれを受けて、今年 10 月末までにプロジェクトへの参加継続に関する判断をそれぞれ決めることになる。

最大 180 万 kW の原子炉を建設するという同プロジェクトの入札では、160 万 kW 級の「EU-ABWR」を提案する東芝が今年 2 月に優先交渉権を得たが、フェンノボイマ社は 4 月、出力 100 万～130 万 kW の設計とした場合の直接交渉相手にロスアトム社傘下のルスアトム・オーバーシーズ社を選定。7 月には出力 120 万 kW のロシア型 PWR「AES-2006」の供給契約締結を念頭においたプロジェクト開発協定を結んでいた。

両者はその後の協議の結果、株主に対する今回の提案のほか、同炉の発電開始時期を 2024 年とすることで意見が一致。同時に、今後の詳細なプロジェクト日程や資金調達の準備、および独 E・ON 社が昨年 10 月に手放したフェンノボイマ社株 34% をロスアトム社が購入する件についても、詰めていくとしている。

敦賀発電所敷地内破砕帯の調査結果

日本原子力発電(株) 星野 知彦, 内田 昌人

本誌 2013 年 6 月号の「敦賀発電所の D-1 破砕帯問題の現況について」で、日本原子力発電の敦賀発電所敷地内の破砕帯の同年 4 月までの調査状況について報告した。その後、原子力規制委員会は同年 5 月 22 日に、D-1 破砕帯を「耐震設計上考慮する活断層である」と断定したが、日本原子力発電は同年 6 月末までの現地での調査継続により、D-1 破砕帯が少なくとも後期更新世以降(約 12 万～13 万年前以降)動いておらず、したがって、D-1 破砕帯は「耐震設計上考慮する活断層ではない」ことをあらためて確認した。本稿では、主として 6 月末までの調査により得られた新たな知見について述べる。

I. はじめに

原子力規制委員会(以下、NRA)は、D-1 破砕帯について、「耐震設計上考慮する活断層である」とする旨の有識者会合の評価書「日本原子力発電株式会社 敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について」¹⁾(以下、『評価書』)を了承した。

これに対して日本原子力発電(以下、原電)は、6 月末までの調査結果に基づいて新たな報告書「敦賀発電所敷地の地質・地質構造 調査報告書」²⁾(以下、調査報告書)を同年 7 月 11 日に NRA に提出し、同年 8 月 30 日に「敦賀発電所敷地内破砕帯に係る日本原子力発電からの追加調査報告(平成 25 年 7 月 11 日付け)に関する検討会合」において、「敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 D-1 破砕帯の評価について」³⁾で詳細説明を行った。

この調査報告書には、『評価書』が取りまとめられた時点以降に、敦賀発電所の敷地内で新たに調査(第 1 図)を行った結果が含まれている。

次章以降は、原電と NRA との見解の相違点を明らかにするとともに、それぞれの論点について、新たに得られた知見に基づいた判断を述べる。

II. 原電と NRA との見解の相違点

D-1 破砕帯の評価に対して、『評価書』は、『現在まで得られたデータ等をもとに敦賀発電所 2 号炉原子炉建屋直下を通る D-1 破砕帯については、後期更新世(約 13 万年前)以降の活動が否定できないものであり、したがって耐震指針における耐震設計上考慮する活断層であ

る旨判断できる。』とした。

その判断理由として、『K 断層の活動時期』、『K 断層及び G 断層と D-1 破砕帯の連続性』の 2 つの観点からの評価を示している。

これらの評価においては、原電と NRA との見解の相違点として、「D-1 トレンチの地層の年代」、「G 断層と K 断層の活動時期」、「D-1 破砕帯と G 断層、K 断層の連続性」の 3 つの論点がある。この論点に沿って、以下解説する。

1. D-1 トレンチの地層の年代

D-1 トレンチの地層年代に関して、『評価書』では、『⑤層下部で原電が確認したとするテフラ(本稿では火山灰)について、降灰層準の認定およびテフラの同定が不十分であることから、⑤層下部を約 12 万年前の地層と特定するのは困難であると考え。』、また『③層と⑤層(約 9.5 万年前の K-Tz(鬼界(きかい)葛原(とずらはら))降灰層を含んでいる地層)は、それほど堆積時期に差がないと考えられるため、③層についても後期更新世の地層である可能性が否定できない』としている。

上記の指摘理由として、『テフラの検出頻度が低い』、『二次堆積の可能性がある』、『事業者が参照した論文は、年代特定の根拠が不十分』、『③層は⑤層の礫と同様、比較的新鮮である』などを挙げている。

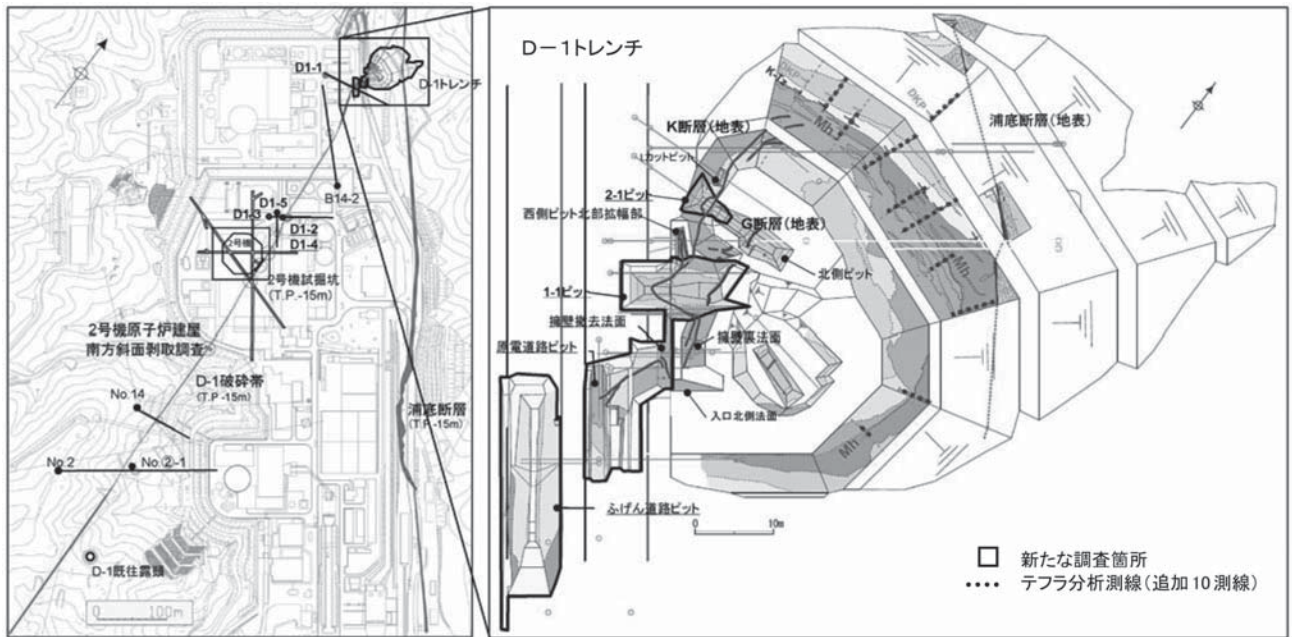
一方、原電では、K 断層、G 断層及び D-1 破砕帯の活動時期をより明確にするために、上載地層の堆積年代に関する詳細な調査を継続して行ってきた。

(1) テフラの詳細分析

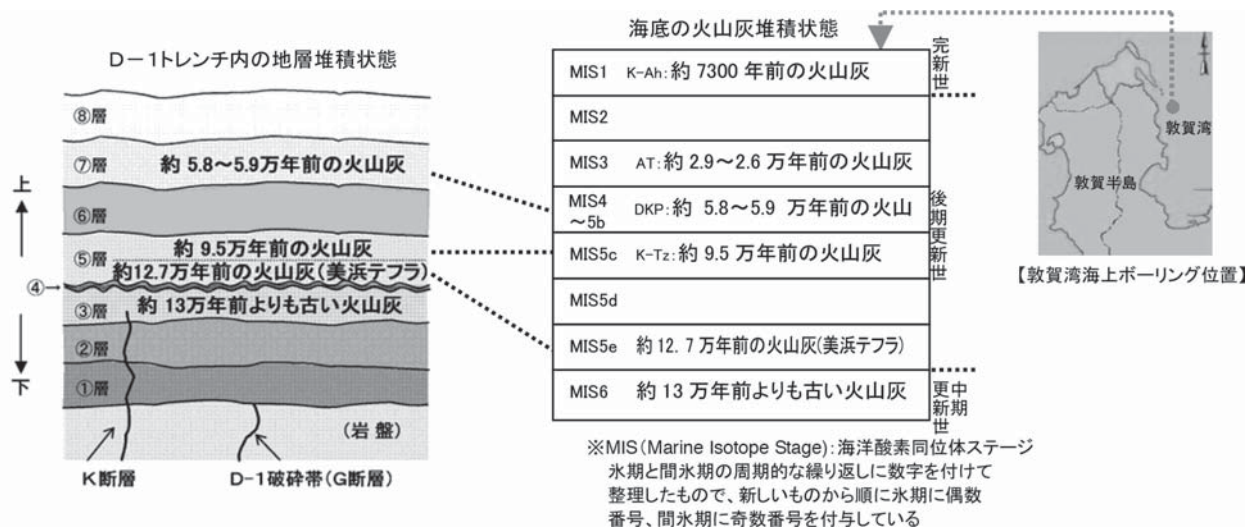
テフラについては、D-1 トレンチの全域で、新たに 10 ヶ所を加えて合わせて 18 ヶ所の分析測線で連続サンプリング調査を行った。

Result of the Geological Survey of the Shatter Zone at Tsuruga Power Station : Tomohiko HOSHINO, Masato UCHITA.

(2013 年 9 月 10 日 受理)



第1図 D-1 破碎帯調査状況(新たな調査箇所)



第2図 D-1 トレンチ内の地層堆積状態及び敦賀湾内海上ボーリングコアの火山灰堆積状態

その結果、「⑦層下部から約 5.8 万年前のテフラである大山倉吉 (DKP)」、「⑤層上部から約 9.5 万年前のテフラである K-Tz」、「⑤層下部から普通角閃石」、「③層から普通角閃石」が検出された。また、D-1 トレンチ以外でも、発電所敷地南側の敦賀湾で採取した海上ボーリングコア(ボーリング調査により採取された柱状試料)の上から順に DKP、K-Tz、⑤層下部の普通角閃石、③層の普通角閃石、が検出された(第2図)。

(2) ⑤層下部テフラの降灰層準の認定

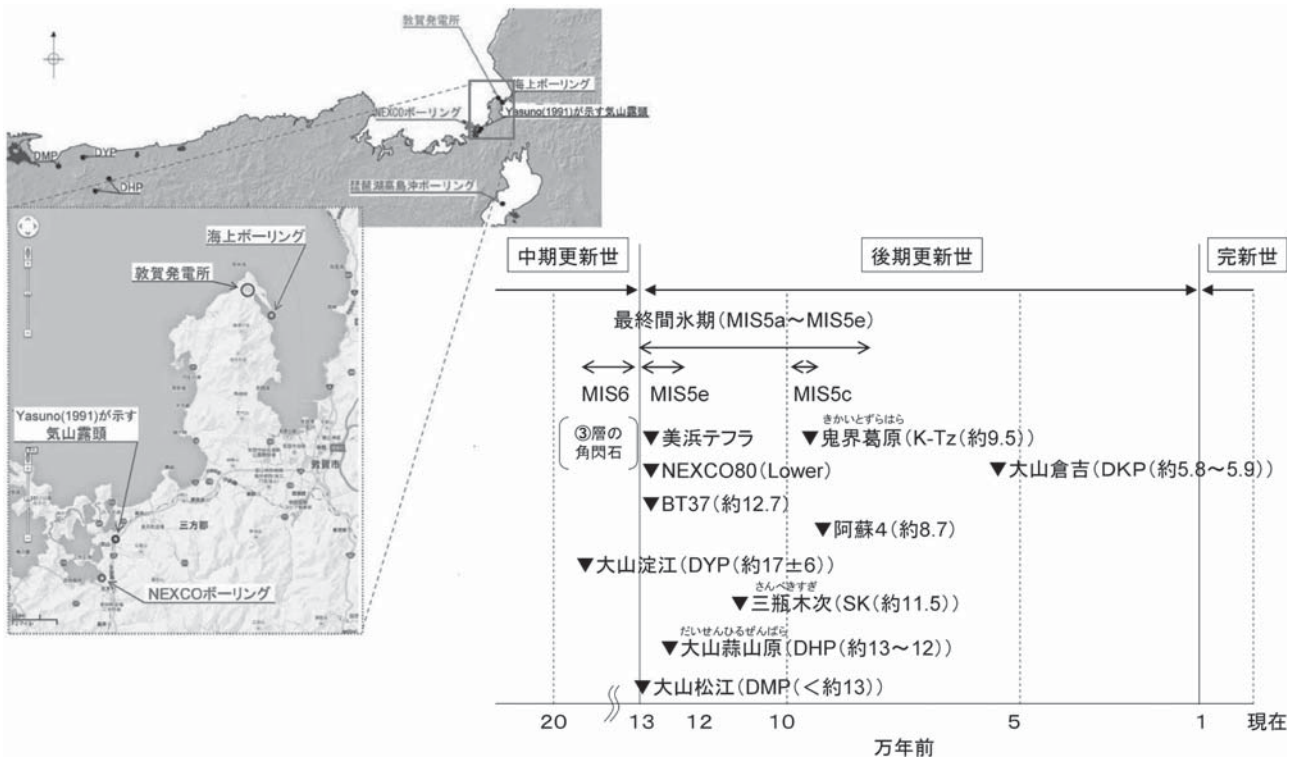
③層から検出された普通角閃石と⑤層下部の普通角閃石について、詳細な成分分析を実施した結果、両者の間に明らかに有意な差が認められ、起源が異なるテフラであることがわかった。また、⑤層下部の普通角閃石の産出下限は、その下の③層との不整合面よりいずれも浅い位置であり、③層には⑤層下部で検出されたものと同じ

角閃石は含まれていないことも判明した。さらに、⑤層下部の普通角閃石は、複数の測線で実施した連続サンプリングによるテフラ分析において、いずれもほぼ同じ層準に産出下限があり、その他のテフラ(DKP, K-Tz)も含め地層の堆積年代に逆転がないことが確認できた。

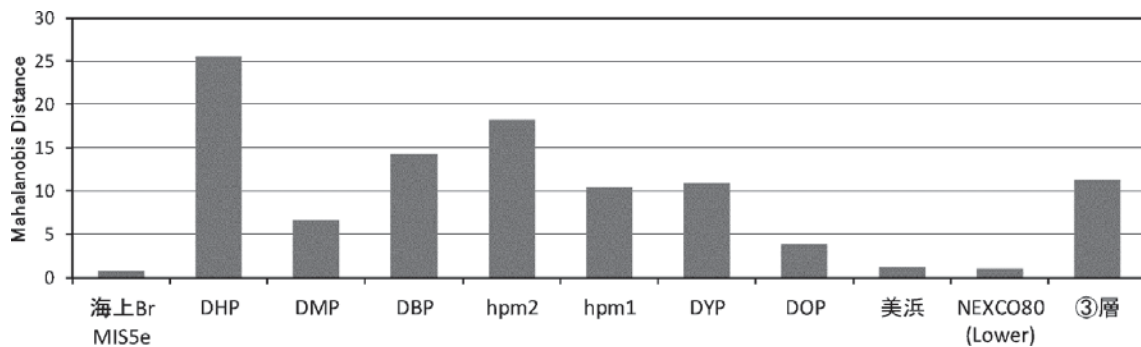
これらのことから、⑤層下部の普通角閃石は、テフラが降灰し堆積したものであり、かつ、③層下部から再堆積したものではないと判断できる。これにより、⑤層下部テフラの降灰層準は、認定できるとした。

(3) ⑤層下部テフラの降灰時期

⑤層下部テフラの起源を明らかにするため、約 9.5 万年前より以前(K-Tz 降灰よりも古い時代)に敦賀発電所付近に降灰した可能性のある 10 種類の対比候補テフラ(第3図)から、文献で普通角閃石を含むテフラを絞り込み、大山蒜山原(DHP)、大山松江(DMP)、美浜テ



第3図 後期更新世などの指標テフラ



第4図 ⑤層下部テフラと他のテフラとのマハラノビス平方距離(普通角閃石の主成分分析結果)

ラ, 大山淀江 (DYP), NEXCO80 (Lower) について, 普通角閃石の成分分析などを新たに行った。

その結果, ⑤層下部テフラの成分・屈折率は, 美浜テフラの模式地(美浜町/若狭町気山)で採取された美浜テフラと三方湖東岸で採られた NEXCO80 (Lower) の成分・屈折率が一致し, それら以外のテフラの普通角閃石の成分の特徴とは明らかに異なることを確認した。普通角閃石の主成分分析結果を基に, ⑤層下部テフラと他のテフラとのマハラノビス平方距離^aをとると, ⑤層下部テフラは, MIS (海洋酸素同位体ステージ) 5e のテフラ, 美浜テフラ及び NEXCO80 (Lower) と相関が強いことが分かる(第4図)。

したがって, ⑤層下部テフラは美浜テフラ (NEXCO80 (Lower)) と同一であると判断される。また, NEXCO80 (Lower) 中の火山ガラスは, 琵琶湖高島沖で採取された約 12.7 万年前 (MIS5e) の BT37 中の火山

ガラスと成分・屈折率が一致している⁴⁾。

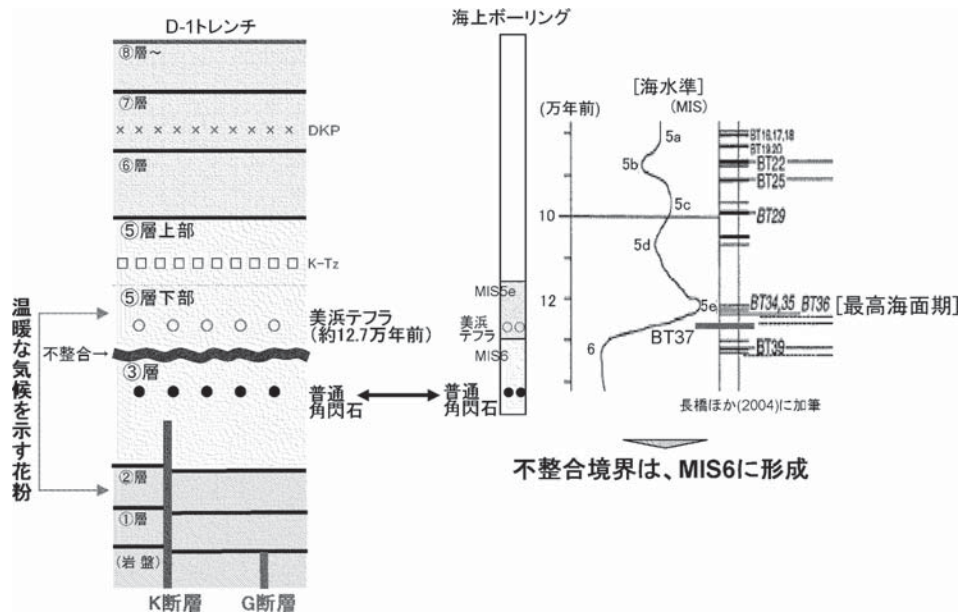
これらのことから, ⑤層下部テフラは, 美浜テフラであり, その降灰時期は約 12.7 万年前であることが判明した。

(4) ③層テフラの降灰時期

D-1 トレンチの追加調査から, ⑤層下部と③層の不整合は D-1 トレンチ全域にわたり水平方向に明瞭に認められた。⑤層下部テフラは MIS5e の最高海面期に向かう海面上昇期に降灰したものであることから, 不整合は MIS6 以前に形成されたものと判断される。

また, 敦賀湾の海上ボーリングコアの追加分析の結果, ③層テフラ(③層から検出された普通角閃石)が MIS6 (中期更新世) に相当するボーリングコアの中に含

^a マハラノビス平方距離 (Mahalanobis distance, D^2)
グループの重心どうしの距離を表し, 値が小さいほど相関が強いことを示す



第5図 D-1 トレンチの地層と海上ボーリングの地層との対比
(右図は海面変動を示す曲線で、右にいくほど海面が高いことを表す)

まれる普通角閃石と同一であることがわかった。これらのことから、③層テフラの降灰年代は MIS6 であることが新たに確認された(第5図)。

これらのテフラ分析に加えて、D-1 トレンチでは、花粉分析を実施し、⑤層下部及び②層から、温暖な気候を示す花粉が検出された。これは、⑤層下部及び②層を、それぞれ温暖な気候である MIS5e (後期更新世)、MIS7 (中期更新世)とし、③層を寒冷な気候である MIS6 (中期更新世)とした評価と矛盾しない。

したがって、⑤層は後期更新世の地層で、③層は中期更新世の地層であることが、より明確になった。

2. G 断層と K 断層の活動時期

K 断層の活動性について、『評価書』では、『D-1 トレンチ内の1カ所の露頭のみで、評価としての信頼性が低い』と指摘している。

一方、その後の原電の調査において、D-1 トレンチ北壁面に加えて、新たにD-1 トレンチの南側の原電道路ピットで、K 断層が③層の上部に変位・変形を与えていないことを確認した。

上記Ⅱ-1 節で示された評価結果と合わせて、K 断層と G 断層及び D-1 破砕帯は、⑤層下部(美浜テフラを含む地層)に変位・変形を与えておらず、少なくとも後期更新世以降(約 12 万～13 万年前以降)は活動していないことがあらためて明確となった。

3. D-1 破砕帯と G 断層、K 断層の連続性

D-1 破砕帯と G 断層、K 断層の連続性に関して、『評価書』では、『適切に最新活動面の変位センス(断層のずれの向き)を認定していない可能性があるため、G 断層

と D-1 破砕帯が同一のものであるとは特定できない』、『明瞭なずれを伴う K 断層は南方へさらに延びる可能性が高い。』、『一般的に断層は直線で延びるとは限らず、屈曲して方向が多少変化したり、いったん途切れて並走したり、分岐したりする。』等の指摘を挙げ、有識者会合としては、『K 断層および G 断層と D-1 破砕帯は、一連の構造である可能性が高いと考えられる』としている。

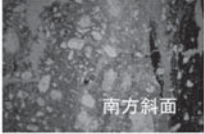
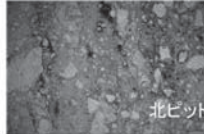
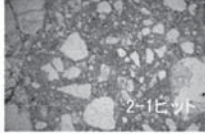
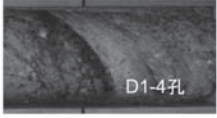
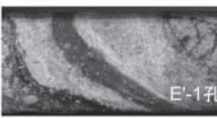

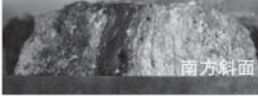
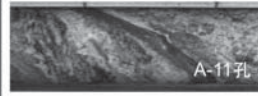
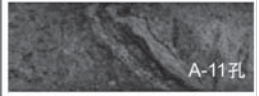
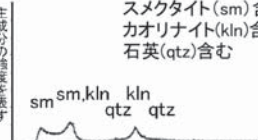
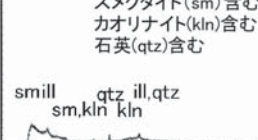

一方、原電はその後の調査において、K 断層が南方(2号炉原子炉建屋の方向)に延びている可能性があるのか、また K 断層、G 断層及び D-1 破砕帯が一連の構造である可能性が高いのかをあらためて確認した。ボーリング調査、露頭調査、トレンチ調査で認められた破砕帯や断層について、走向・傾斜と最新活動面の変位センスのほかに、破砕部の性状の類似性に基づいて連続性を評価した。

(1) D-1 破砕帯と G 断層、K 断層の性状及び変位センスの調査

破砕帯の連続性について、これまでの着目点である「破砕帯の幾何学的位置関係」、「破砕帯の走向・傾斜」、「最新活動面の変位センス」に加えて、「破砕帯の幅」、「断層ガウジ^bの構成粒子の形状」、「断層ガウジの構成鉱物」、「破砕帯の色調」等、新たな着目点を加えて多角的に検討した(第1表)。

D-1 トレンチ北側ピットの G 断層は、花崗斑岩質カタクレーサイトと黄褐色、灰白色、淡赤褐色、暗褐色の縞状構造を呈する断層ガウジからなり、N-S 方向で高角度西傾斜である。断層ガウジは、面構造が発達し、比較的明瞭であり、断層ガウジ内の構成粒子はよく円磨さ^b断層運動に伴う破砕によって生じた細粒で未団結の断層内物質。断層粘土とも呼ばれる。

第1表 破砕帯の性状整理表

性状	D-1破砕帯 (2号炉原子炉建屋背後斜面, D1-2~1-5孔)		G断層 (D-1トレンチ北側ピット他)		K断層 (D-1トレンチ1-1ピット他)	
走向	おおむねN-S		N-S		基盤岩中で大きく蛇行(N-S~NE-SW)	
変位センス	正断層		正断層		逆断層	
断層ガウジの微細構造	・構成粒子が円磨されている ・面構造が発達し、比較的明瞭 	・構成粒子が円磨されている ・面構造が発達し、比較的明瞭 	・構成粒子が角礫状 ・面構造が不明瞭 			
断層ガウジの構造	縞状 	縞状 	無構造 			
断層ガウジの色調	黄色、褐色、茶色等 	黄橙色、褐色 	灰赤色、灰白色等 			
断層幅	狭い		狭い		広い	
断層ガウジの硬さ	締まっている		締まっている		軟らかい	
X線回折分析	 主成分の強度を表す スメクタイト(sm)含む カオリナイト(kln)含む 石英(qtz)含む		 主成分の強度を表す スメクタイト(sm)含む カオリナイト(kln)含む 石英(qtz)含む		 主成分の強度を表す スメクタイト(sm)多量含む カオリナイト(kln)含む 石英(qtz)含まず	

れている。最新活動面について複数の条線方向を統計的に確認した結果、縦ずれ成分が卓越する。条線の面構造から推定される変位センスは、正断層成分が卓越している。D-1 トレンチ北側ピット南方で採取したブロック試料の薄片試料観察によれば、最新活動面の断層ガウジの変位センスは、正断層卓越のセンスが推定される。これらのG断層の特徴は、D-1 破砕帯の特徴と類似しており、G断層はD-1 破砕帯と一連の構造であると判断される。

一方、K断層は、走向が基盤岩中を大きく蛇行する中～高角度の西傾斜の破砕帯である。幅広の白色熱水変質を伴うカタクレサイトと灰白色、淡褐色等の色調を呈する断層ガウジからなり、断層ガウジの構成粒子は円磨されず角礫状を呈している。断層の変位センスは、地層の変位方向によれば逆断層センスであり、面構造は不明瞭である。これらのK断層の特徴はD-1 破砕帯及びG断層とは異なる。

このように新たな着目点に基づく検討によっても、D-1 破砕帯の特徴はG断層の特徴と類似し、K断層の特徴とは異なることが分かった。

(2) K断層が南方へ延びる可能性

K断層が南方へ延びている可能性を確認するために、新たにD-1 トレンチ内とその外側周辺でピット調査や道路などはぎ取り調査などを行った。その結果、最初は大きかったK断層の変位量が浦底断層から離れるに

つれて急激に減少(消滅)し、2号炉原子炉建屋の方向には延びていないことが分かった。

上記II-3節(1)(2)から、「K断層は、途中で消滅し、2号炉原子炉建屋の方向には延びていない」、また「G断層とD-1 破砕帯は一連の構造であるが、K断層とは一連ではない」ことがあらためて明確となった。

4. 結論

以上の観察事実及びデータに基づく分析結果により、「K断層とG断層及びD-1 破砕帯は、いずれも後期更新世以降は活動していない」、また「D-1 破砕帯はG断層と一連の構造であるが、K断層とは一連ではないこと」が明らかとなった。

したがって、敦賀発電所2号炉原子炉建屋直下を通るD-1 破砕帯は、耐震指針における「耐震設計上考慮する活断層」ではなく、また、浦底断層と同時に活動し、直上の重要な施設に影響を与えるおそれはないことが明確に確認された。

Ⅲ. 外部専門家によるレビュー

原電が2013年7月11日に取りまとめた敦賀発電所敷地内破砕帯に係る調査結果の報告書については、国内外の2つのグループ(Lloyd's Register社によって組織された地質・地震の専門家グループと地層処分分野で世界的に活躍しているNeil Chapman教授(英国)を中心とす

る地質関係の専門家グループ)により、科学的・専門的な視点でレビューを受けた。専門家グループは、現地調査や合同レビュー委員会での議論を経て、同年8月1日に以下のようなレビュー結果の概要を報告した。

- (1) 原電は、NRA が関心を持つ破砕帯について、科学的な調査を注意深く実施してきた。これらの調査は、破砕帯に関わる基本となる地質学的理解を得るだけでなく、NRA により提示された具体的な論点に答えることを念頭に行われた。
- (2) 原電の最新の報告書には、新たに得た重要な地質学的な知見が含まれており、それらは2013年5月のNRAの有識者会合で提示された論点について明確に答えている。レビューチームは、この新たに得られた知見は、原電とNRAが議論を再開するための重要な理由付けになるものと考えた。
- (3) NRAの関心の中心は、2号炉の近傍もしくは直下にあるK断層及びG断層/D-1破砕帯が活断層であるかどうか、もしくはこれらが浦底断層(数千年ごとに地表破壊を発生させてきたことが知られている)による地震に伴い動き得るかどうかどうかということである。
- (4) 原電の調査には包括的な地質学的調査は含まれていないものの、レビューチームは、原電の調査結果が、NRAによるこれらの具体的な関心事項に回答するには十分なものであると考える。
- (5) 原電は、NRAが関心を持つ破砕帯が「活断層」ではないとする妥当かつ説得力のある証拠を、主に2013年5月からの追加調査によって示して来ている。
- (6) レビューチームは、それらの破砕帯が少なくとも約12万～13万年前以降(おそらく、より長い間)、そのサイトで動いていないという明確な証拠があることを認めた。

この他、専門家グループからは、原子力発電所の耐震安全に係る推奨事項などの提案もあった。このレビュー結果の詳細については、原電のホームページ⁵⁾を参照されたい。

IV. おわりに

敦賀発電所敷地内の破砕帯について、2013年6月末まで行った調査結果を主として取りまとめた。そこに含まれる新たな知見により、敦賀発電所2号炉の原子炉建屋の直下を通るD-1破砕帯は後期更新世以降(約12万～13万年前以降)活動しておらず、したがって、耐震設計上考慮する活断層ではないことをあらためて確認することができた。

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

— 参考資料 —

- 1)「日本原子力発電株式会社 敦賀発電所の敷地内破砕帯の評価について」、2013年5月15日、原子力規制委員会 敦賀発電所敷地内破砕帯に関する有識者会合。
- 2)「敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 調査報告書」、2013年7月11日、日本原子力発電(株)。
- 3)「敦賀発電所 敷地の地質・地質構造 D-1破砕帯の評価について」、2013年8月30日、日本原子力発電(株)。
- 4)「近畿地方および八ヶ岳山麓における過去の43万年間の広域テフラの層序と編年—EDS分析による火山ガラス片の主要成分化学組成—」、2004年、長橋良隆ら、pp.15-35。
- 5) <http://www.japc.co.jp/tsuruga-chousa/pdf/press/20130828.pdf>

著者紹介



星野知彦 (ほしの・ともひこ)

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



内田昌人 (うちた・まさと)

日本原子力発電(株)
(専門分野/関心分野) 炉心管理, 炉心設計

事故後初期の航空機モニタリングから得られた ヨウ素 131 沈着量の分布 日米共同で新しい航空機モニタリング解析手法を開発

日本原子力研究開発機構 鳥居 建男

東京電力(株)福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が広い範囲にわたって拡散した。これまで半減期の長い放射性セシウムについては、航空機モニタリング等によりその分布状況が明らかにされている。しかし、公衆の内部被ばく評価上重要となるヨウ素 131 は半減期が短いことから、データが少なく沈着量の詳細な分布は分からなかった。米国エネルギー省は、事故後の早い段階で航空機モニタリングを実施した。その測定結果から日米共同でヨウ素 131 成分を抽出して地表面沈着量を解析する手法を開発し、ヨウ素 131 の沈着量の面的な分布状況を明らかにしたので、その方法や結果について概説する。

I. はじめに

2011年3月11日に東北地方太平洋沖地震により太平洋沿岸に襲った巨大津波を起因として発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所(以下、発電所という)事故によって、様々な放射性物質が広い範囲にわたって拡散した。米国エネルギー省(以下、DOEという)は、2011年3月17日から同年4月5日までの早い段階で航空機モニタリングを実施した。この測定結果をDOEから入手し、エネルギースペクトルを調べた結果、短半減期のヨウ素 131 (^{131}I , 半減期: 8日)を示すエネルギー・ピーク(365keV)が検出されるものがあったことから、日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構という)は、DOEと共同で ^{131}I の地表面沈着量を解析する手法を開発し、 ^{131}I の地表面沈着量の“面”的な分布を求めてマップ化した¹⁾。

本稿では、その手法と結果について解説し、今後の課題と展望についても触れる。

II. ^{131}I の沈着量の解析手法

1. 通常の航空機モニタリング解析手法

航空機モニタリングは、航空機(ヘリコプタ)にGPSセンサーを接続した大型NaIシンチレーション検出器(容積: 6~12ℓ)を搭載し、対地高度300m前後を飛行

して、1秒毎に位置と放射線を測定している。飛行位置での測定データから地上の空間線量率を求めるため、あらかじめ地形的に平坦で空間線量率も変動の少ない場所(テストライン)を選定し、300mを基準高度 h_0 として、150mから3,000m程度まで高度を変えて飛行している。その結果から、放射線の全計数率 N の変化(空気による減弱割合 λ)を求め、さらにその直下の地上高さ1mでの空間線量率($\mu\text{Sv/h}$)と比較して、全計数率と空間線量率の換算係数 K_0 を求めている。また、GPSセンサーによる飛行高度から数値地図による標高(DEM: Digital Elevation Model)データを差し引くことにより航空機の対地高度 h を求め、下式を用いて直下の空間線量率 A を算出している^{2,3)}。

$$A = K_0(N - B)e^{\lambda(h-h_0)}$$

ここで、 B は宇宙線や機体の汚染などによる放射線のバックグラウンド計数率である。さらに、*In-situ* Ge検出器を用いた地上測定等により空間線量率と放射性セシウム(^{134}Cs , ^{137}Cs)の沈着量(kBq/m^2)の関係から求めた換算係数を掛けることによって、飛行直下の地表面での放射性セシウムの沈着量を求めている。

この手法では、 ^{131}I の他に放射性セシウム等が放出する全ての放射線データ(全計数率)を用いていること、テストラインで求める放射線の空気減弱割合も全計数率を用いており核種別の割合になっていないことから、そのままでは ^{131}I の沈着量は求められない。また、地上での*In-situ* Ge検出器等による核種分析測定では、同一時期に測定した放射性セシウムの $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 比はどことも同じ

The Spatial Distribution of I-131 Deposition on the Ground by Airborne Surveys at an Early Stage after the Fukushima Daiichi NPP Accident: Tatsuo TORII.

(2013年9月24日 受理)

であることから、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の沈着量は求められるが、 ^{131}I と ^{134}Cs 、 ^{137}Cs の比は同じである保証はなく、また実際に場所によって異なるという報告もあった⁴⁾。 ^{131}I が消失した段階では、この手法で ^{131}I の沈着量分布の評価はできない。

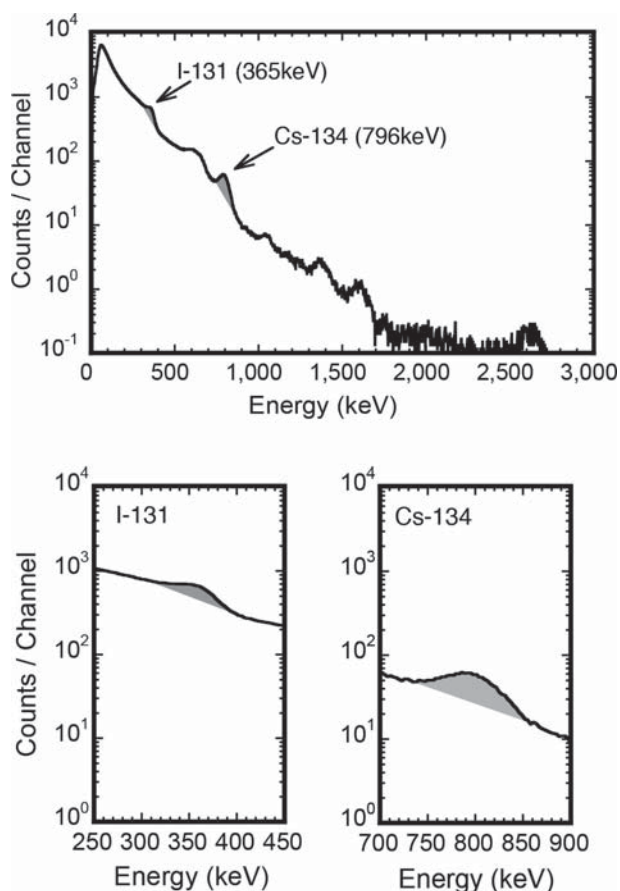
このため、1 秒毎に測定している γ 線のエネルギースペクトルに着目し、核種別に解析評価することとした。

2. ^{131}I ピークの抽出

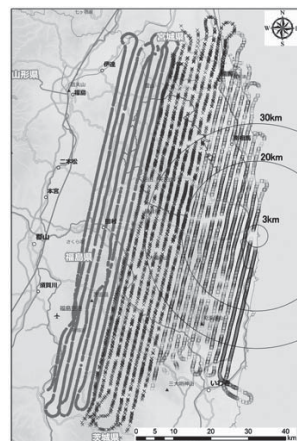
航空機モニタリングデータには、1 秒毎の 50keV ~ 3MeV の γ 線エネルギースペクトルが 1,024 チャンネルで保存されている(第 1 図)。このスペクトルから ^{131}I のエネルギーピーク (365keV) を抽出するために、ピーク周辺のスペクトル $S(E)$ を下式で表した¹⁾。

$$S(E) = a + bE + ce^{-(E-E_0)^2/2\sigma^2}$$

ここで、 $a + bE$ はピーク周辺のコンプトン成分、ピーク部分をガウス分布で表した。ピークの平均エネルギー E_0 とピーク幅の指標となる σ は測定パッチ(フライト)毎に若干ずれることがあるが、フライト中は変動しないと仮定し、フライト毎にそれぞれの平均値から決定した。残りの 3 つの係数 a 、 b 、 c を 1 秒毎のスペクトル



第 1 図 航空機モニタリングで得られたエネルギースペクトルヨウ素 131 (I-131) とセシウム 134 (Cs-134) のピーク部分を用いて地表面沈着量を解析する。



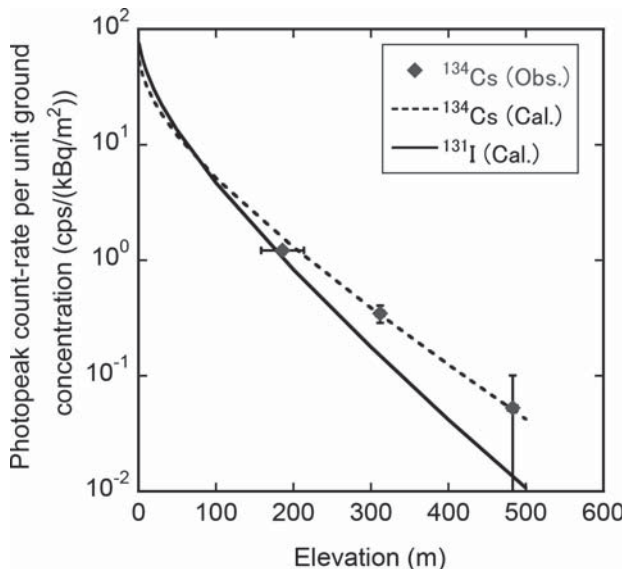
第 2 図 マップ作成に使用した発電所周辺の 3 回のフライト

データとの差異が最も小さくなる値として決定し、この式のガウス分布成分をピーク計数率とした。

解析にあたって、広い範囲にわたって測定が行われた 2011 年 4 月 2 日と 3 日の 3 回のフライト(第 2 図)に着目し、飛行機に搭載された NaI 検出器 (5cm × 10cm × 40cm × 3 本) の測定データの中に含まれる ^{131}I のピークを抽出した。また、 ^{131}I より半減期が長い ^{134}Cs (半減期: 2 年) のピーク (796keV) についても、比較のために同様の手法により求めた。なお、 ^{137}Cs については、NaI 検出器では 662keV のピークが ^{134}Cs の 605keV のピークと重なる部分があることから、あらかじめ 796keV のピークを用いて ^{134}Cs を評価した後に 605keV + 662keV のピーク部分を引き算して求めなければならない。この手法では、引き算による誤差が生じるため、 ^{134}Cs だけを評価することとした。

3. ^{131}I 計数率の高度による減弱割合の導出

地表面に沈着した ^{131}I から NaI 検出器に入射する γ 線の挙動を求めるため、モンテカルロ計算コード EGS5⁵⁾ を用いて ^{131}I に対する検出器の感度特性や地表面から上空までの減弱量を求める手法を開発した。まず、測定に用いた NaI 検出器をモデル化し、検出器の応答特性をシミュレーションした結果とチェックソース (^{137}Cs) を用いた照射試験の結果から、ピーク計数率は 95% 以内で一致していることを確認した。この結果をもとに、地表面方向から入射する単位 γ 線束あたりの ^{131}I (365keV) や ^{134}Cs (796keV) のピーク計数率を求めた。さらに、地表面(無限平板)に沈着したこれらの核種の単位沈着量あたりの高度による γ 線束の減弱割合を 1 ~ 500m まで求め、地表面の ^{131}I と ^{134}Cs の沈着量とピーク計数率の関係式を求めた(第 3 図)。ここで、放射性物質の地中への浸透割合を表す緩和深度 β (放射能濃度が地表面の $1/e$ (= $1/2.7$) になる深さ) は、実測値⁶⁾をもとに 1.0 とした。



第3図 ^{131}I と ^{134}Cs の計数率の高度による減弱割合
 ^{134}Cs についてはピーク計数率が高く実測値(Obs.)も得られている。

Ⅲ. ^{131}I の沈着量分布

高度約 300m 付近で 1 秒毎に測定したデータから、地表面の ^{131}I の沈着量 (kBq/m^2) を算出し、測定が終了した 4 月 3 日時点で解析評価した。 ^{131}I の沈着量の解析結果を第 4 図に示す。この図から明らかなように、放射性セシウムと同様に、発電所の北西方向に ^{131}I 沈着量の高いエリアが認められる。また、発電所付近では、南側にも ^{131}I 沈着量の高いエリアが広がっている傾向が見られた。

この解析結果の妥当性を検証するため、文部科学省原子力災害対策支援本部(当時)が実施した土壤データ(2011年6月14日時点の評価)^{4,7)}と今回の解析結果を同じ日に半減期補正して比較した。その結果、地上で測定した ^{131}I と ^{134}Cs の沈着量は航空機モニタリングの結果とよく一致していることが確認できた(第5図)。

^{131}I は半減期が短いことから、6月14日時点で評価した土壤測定では、既に減衰し検出できなかったものも少なくない。また、放射性セシウムが多量に沈着したエリアでは、エネルギーの高い ^{134}Cs と ^{137}Cs の γ 線のコンプトン散乱により、減衰して小さくなった ^{131}I のピークを有意検出するのは困難である。このため、特に発電所から 20km 圏内のデータが極めて少ない。今回の測定は、比較的早い段階での測定であったため、上空から ^{131}I を有意検出することができた。よって、本測定は、地上での少ないデータを補完し、 ^{131}I の沈着量の面的な広がりを明らかにしたと言えよう。

Ⅳ. 今後の課題

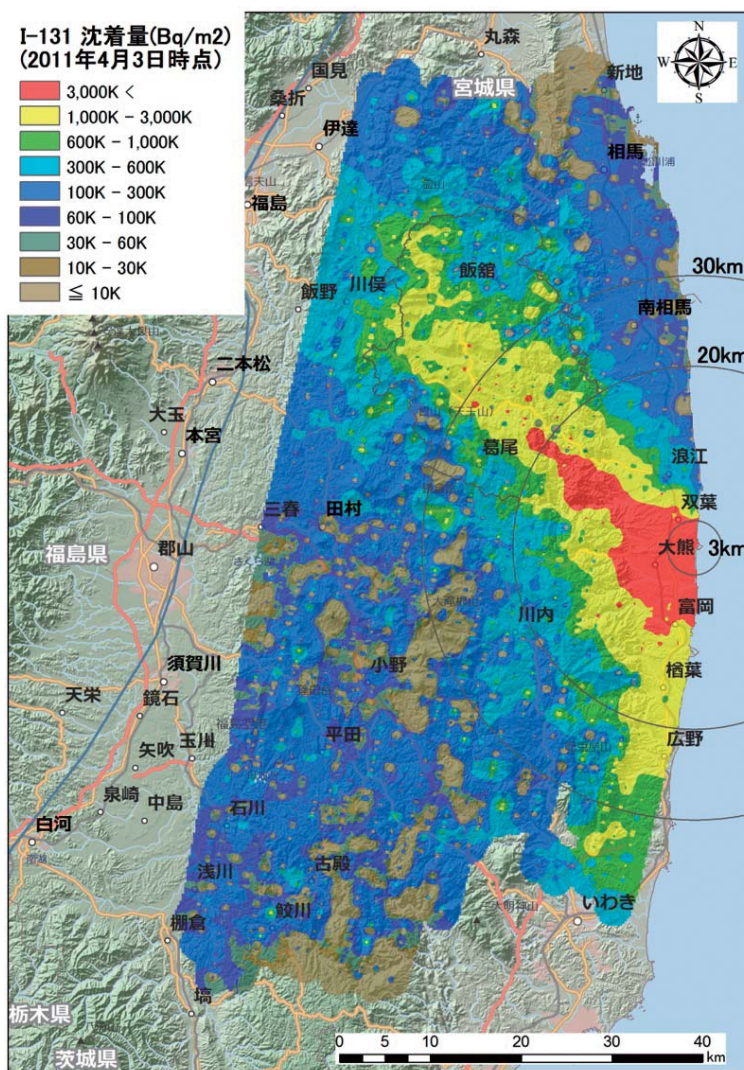
^{131}I の濃度は、吸入による放射線誘発甲状腺がんのリ

スク評価の観点から、大気中濃度 (kBq/m^3) の測定評価が重要である。しかしながら、 ^{131}I 濃度の測定のデータは少ないことから、モニタリングポスト等での空間線量率の時間変動や発電所から遠く離れた地点でのダスト濃度等の“点”データを用いて大気拡散モデルによって ^{131}I の大気中の濃度を推定するしかなかった。今回の解析結果は、事故後の早い段階での航空機モニタリングによる測定結果から、 ^{131}I の地表面での“面”的分布を明らかにしたものである。その意味で、格段に多くの情報を提供するものであろう。しかし、大気中の濃度が得られたわけではなく、地表面に沈着した事故後の“積分値”である。今後、WSPEEDI 等の大気拡散モデル計算⁸⁾により、 ^{131}I の大気中濃度の評価精度の向上に繋がることを期待したい。

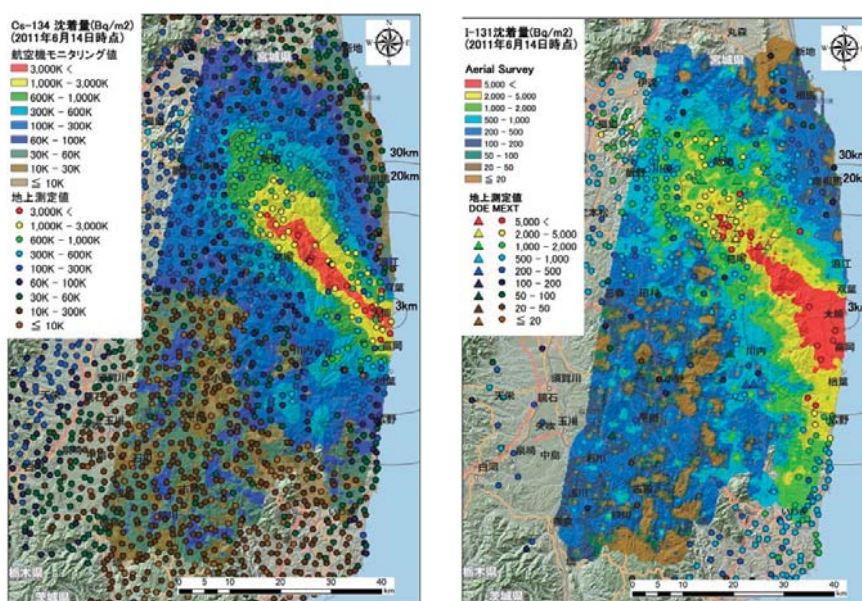
また、事故時に多くのモニタリングポストが津波によって流されたが、その中には非常用電源が生きており、発電所から有意放出があった後も計測を行っていたものもある。これらのモニタリングポストはエネルギースペクトルも測定していると思われることから、今回使った手法により ^{131}I ピークの時間変動も評価できると思われる。さらに、平山らはハンディの LaBr_3 シンチレーション検出器を用いて高速道路(磐越自動車道)で測定したスペクトルから、放射能雲(ブルーム)中の ^{131}I 濃度などを推定している⁹⁾。これらの手法を組み合わせれば、事故時の大気中 ^{131}I 濃度の推定にさらなる情報を提供することとなり、大気拡散モデルの評価や公衆の被ばく評価に寄与するものと考えられる。こうした様々なデータを持ち寄り、解析評価が進むことを期待する。

広い範囲に拡散した放射性物質の分布を迅速に把握するために、航空機モニタリングが有効であることが今回の事故で明らかになった。しかし、今後あってはならないことではあるが、万が一、大気中に多量の放射性物質が放出される事故が発生した場合、 ^{131}I 等の短半減期の核種に対しても有効なモニタリングデータの解析手法を整備しておく必要がある。今回、 ^{131}I 沈着量を評価するために、新たな手法を開発、検証しながら解析を行ったために時間を要した。しかし、このときに解析で使用した地上データは、放射性物質の地中への移行を表すパラメータの緩衝深度だけである。よって、測定と解析手法を整備しておけば、緊急時に広い範囲にわたって沈着した放射性物質の影響範囲を航空機による測定だけで求めることができる。本手法は、緊急時の迅速な沈着量評価に有効な手法となろう。

一方、ブルームが飛んでいる間に有人の飛行機を飛ばすためには、乗員の放射線防護策を十分に講じる必要がある。また、大気中の濃度と地表面への沈着量を求めるためには、それらを弁別評価する手法とともに機体への放射性物質の付着による汚染対策が重要となる。今回の DOE の測定でも、事故直後のデータには機体汚染と考



第4図 ヨウ素 131 の沈着量マップ
測定が終了した 2011 年 4 月 3 日時点の評価値。



第5図 ヨウ素 131 (左)とセシウム 134 (右)の沈着量マップと土壌データ(図中の○と△印)の比較。航空機データも土壌データが得られた 2011 年 6 月 14 日時点に減衰補正して比較した。

えられる高バックグラウンド計数率が認められ、計数率のばらつきにより、マップ作成には使用できなかった。また、面的な測定データが少なかったこともある。このことを踏まえて、航空法の適用を受けずに簡便かつ迅速に広い範囲を測定できる小型無人飛行機によるモニタリングシステムの開発研究も重要であると考えられる。

こうした航空機・無人機による“面”的な測定技術と、モニタリングポスト等の“定点”観測によるスペクトル測定技術により、大気中の放射性物質の拡散、影響範囲を迅速に特定できるものと思われる。

— 参考資料 —

- 1) T.Torii, T.Sugita, C.E.Okada, M.S.Reed, D.J.Blumenthal, *Health Phys.*, 105 (2), 192-200 (2013).
- 2) 鳥居建男, 眞田幸尚, 杉田武志, 田中圭, 日本原子力学会誌, 54 (3), 160-165 (2012).
- 3) 鳥居建男 他, JAEA-Technology, 2012-036, (2012).
- 4) 原子力規制委員会, 放射線モニタリング情報 (平成 23 年 9 月 21 日).

http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5047/24/5600_110921_rev130701.pdf

- 5) H.Hirayama, Y.Namito, A.F.Bielajew, S.J.Wilderman, W.R.Nelson, KEK Report 2005-8, SLAC-R-730, (2005).
- 6) H.Kato, Y.Onda, M.Teramage, *J. Environ. Radioact.*, 111, 59-64 (2012).
- 7) 原子力規制委員会, 放射線モニタリング情報 (平成 23 年 8 月 30 日).
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5043/24/11555_0830.pdf
- 8) H.Terada, G.Katata, M.Chino, H.Nagai, *J. Environ. Radioact.*, 112, 141-154 (2012).
- 9) 平山, 松村, 波戸, 佐波, 日本原子力学会和文誌 (印刷中).

著者紹介

鳥居建男 (とりい・たつお)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 放射線計測, 環境放射線, 大気電気



新刊紹介

専門家が答える 暮らしの放射線 Q & A

日本保健物理学会「暮らしの放射線 Q & A 活動委員会」著,
416p. (2013.7), 朝日出版社, (定価 2,800 円 + 税),
ISBN978-4-255-00727-4

福島第一発電所の事故直後、日本保健物理学会は、「暮らしの放射線 Q & A 活動委員会」を発足させ、放射線被ばく等に関する人々の不安や疑問に答えるべく「専門家が答える暮らし放射線 Q & A」ウェブサイト (<http://radi-info.com>) を設立した。ここには 1,870 件もの質問が寄せられたが、委員会のご努力により、全回答が作成され公開されている。

本書はこの 1,870 件の中から選定した 80 件の【質問・回答】と共に、放射線防護をより理解するための解説や用語集がまとめられており、一般の方々を対象とした放射線防護理解のための「教科書」となっている。原子力関係者にとっても、放射線被ばくや放射線防護に関して読みやすく、かつここまで詳しく解説された本は少ないため良書である。また、事故を経験した一般の方々が放射線の何に不安や恐怖を覚えたかを理解し、今後、一般の方々へどのような説明をしていくべきなのかを考えるヒントになることを期待したい。

以下に内容を紹介する。

本書は 3 章で構成されている。1 章「福島第一発電所事故の記録」には、当事故による放射線被ばくの程度とそれによる身体的影響について【質問・回答】がまとめられている。回答は、質問者の放射線被ばくの状況と当時測定されたデータに基づき、実際の放射線被ばく推定量を解説付きで具体的に説明している点を本書の特徴として挙げておきたい。またその被ばく量が身体的影響としてどの程度であるかを専門家の立場から解説するとともに、それについて今後の被ばく低減策があれば追記もされている。2 章「放射線防護の科学的基盤」では、放射線に関する一般的な質問に対して、放射線被ばくとその影響について解説している。例えば、外部被ばく・内部被ばく、物理的半減期・生物学的半減期の違いや放射線に用いられる単位 (ベクレル, シーベルト) などを解説している。3 章では、寄せられた 1,870 件の質問に対し、どのような方がどのような質問をされたかを分析している。

全体を通して、質問者の放射線被ばくに対する不安や苦悩に寄り添いたいという委員会の方々の意思が強く感じられた。多くの方々に読んでいただきたい。

(三菱重工業(株)・白木貴子)



解説

大気拡散計算の役割と制約

原子力事故時に役立つ計算は可能か？

名古屋大学 山澤 弘実

福島第一原子力発電所事故及びその後の原子力施設についての大气拡散計算では幾つかの混乱が生じている。原子力分野での大气拡散評価は「拡散モデルをこう使う」といった評価方法としての把握が先に立ち、実際に自然界で起こっている現象に目を向けた取り組みがなされていないように思われる。原子力分野でどのように大气拡散評価手法を取り入れるか、大幅な組み直しが必要ではなからうか。

I. はじめに

福島第一原子力発電所事故(以下、1F事故)の陸上への環境影響のほとんどは、大気中に放出された放射性物質の大气拡散によって引き起こされた。事故以降、大气拡散計算が様々な場面で取り上げられてきており、当時のSPEEDI予測の結果やその扱い方が適切であったかの評価や、「防災指針」の見直しに関連した拡散想定計算の方法及び結果の解釈に少なからず混乱が生じている。一方で1F事故を対象とした大气拡散計算は、モニタリングデータからの放出率逆推定や、事故時の大気中放射性物質の動きの解析等の事後解析にも活用されている。

本稿では、まず大气拡散現象を概観し、評価対象毎に求められる要件に照らして大气拡散計算が果たすべき、あるいは果たすことのできる役割と、大气拡散計算が本来持っている制約の概要を論じる。大气拡散現象やその計算の詳細に立ち入ることはしないが、モデル開発・運用を行う大气拡散計算機能を提供する側及びその情報を受け取り利用する側の両方が、大气拡散計算の役割と制約の概要を必要なレベルに応じて正しく理解することが、不要な混乱を回避し、得られる情報を最大限活用する近道であると考え。そのための解説としては本稿のみでは不十分であるが、大气拡散計算の利用者側の議論がより本質性を持ってなされるための入口の読み物として一読していただけることを願う。

Roles and Limitations of Atmospheric Dispersion Calculations: Is it possible to make atmospheric dispersion simulations that are useful and informative in a nuclear accident?: Hiromi YAMAZAWA.

(2013年9月15日 受理)

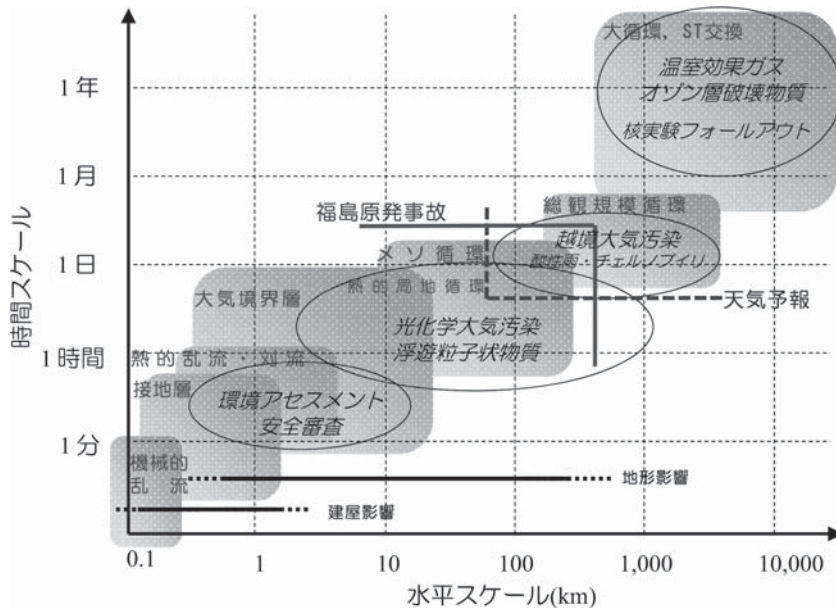
II. 大気拡散現象の実態と計算の概要

1. 何が大气拡散を決めるか

大気中に放出された物質は、①風速場による移流、②大気乱流による拡散、③沈着等の除去、④物理変化及び化学変化による消失・生成を経て、影響を受ける地点での濃度が決まる。移流及び拡散は、対象物質が大粒径で存在し重力沈降が顕著な場合を除けば、大気の状態のみにより決定されることとなる。少し脱線するが、1F事故影響について降水等が関与しない放射性物質の地表面への沈着(乾性沈着)が重力沈降で決まっているような説明を時折見聞きしたことがあるが、間違いであり、環境影響の重要度からは重力沈降は無視できるほどの寄与しかない。乾性沈着は、大気中での下方への乱流輸送と、地表面物体(土壌、植生、建造物等)の表面近傍の空気層での輸送過程(粒子状物質であれば慣性衝突、ブラウン拡散、ガス状物質であれば分子拡散)が支配する。

大气拡散の大枠に話を戻す。第1図に大气拡散の空間スケール及び時間スケールと、それに関与する気象現象を模式的にまとめた図を示す。移流・拡散に影響を与える要因は、対象とする時間・空間スケールにより異なり、水平数百km以上の広域の動きは主に高低気圧や前線といった総観規模循環により決定され、小スケールの地形や短時間の変動の影響が相対的に小さいために、例えば濃度の広域での分布を評価するという点では大气拡散計算も比較的容易である。チェルノブイリ事故の欧州全域への影響、酸性雨物質の輸送、浮遊粒子状物質(SPM)の広域輸送等がこれに相当する。

一方、これよりも小さい空間スケールでは、主に地形の影響を受けた気流が移流・拡散を決定すること、その地形影響が熱的影響(海陸風、山谷風等の熱的メソ循環)を伴っており、大気境界層の乱流構造にも影響するこ



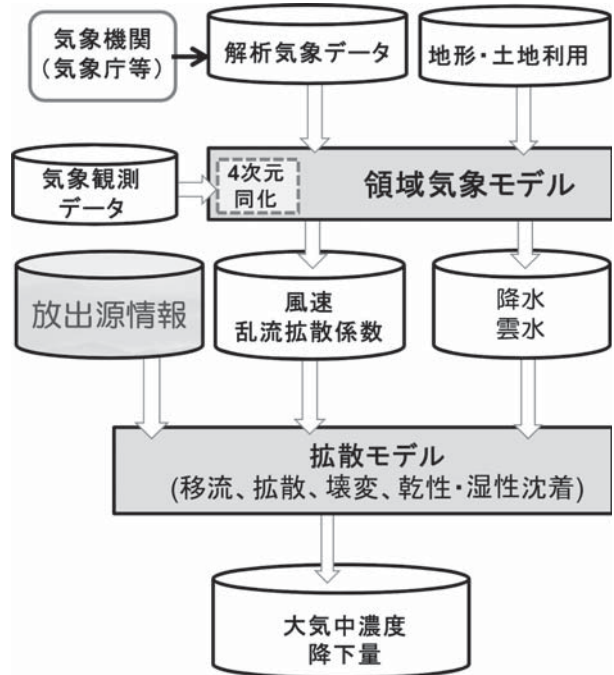
第1図 大気拡散とそれに影響を与える気象現象の時間・空間スケール

と、さらにその熱的影響は数時間程度の短時間で大きく変化する可能性があること等、広域では相対的に影響の小さい現象が100km程度あるいはそれ以下の比較的小さいスケール(メソスケール)の移流・拡散に大きな影響を与える。水平数km以下のさらに小さな範囲では、逆に地形の一様性(平坦さ)が假定できる場合があり、拡散への建屋影響を除けば、その場での風の測定値が適切に得られれば逆に拡散評価が容易となる可能性もある。

1F事故の影響の範囲は影響の程度によって大きく異なるが、本格的な除染が必要とされる範囲は数十km程度、事故影響により空間線量率が自然界での変動を大きく上回ったと考えられる範囲が数百km程度であった。このスケールでの移流拡散現象は、まず高気圧・低気圧や前線といった総観規模の循環により生じる風によって大局的な移流方向が決まる。この空間スケールの気象現象は、我々が天気予報をとおして馴染んでいるものである。この総観規模で生じる大局的な風(一般風と呼ばれる)は、海上や平野上ではほぼそのまま現地の風として観測されることになる。しかし、山地等の地形がある場合は風の空間分布は大幅に変化する。変化の程度は同じ地形であっても大気の温度成層により大きく異なり、安定な成層ほど山を迂回するあるいは谷や地形の鞍部を通過する気流が強調される。海陸の温度差や斜面での日夜の加熱・冷却もこのメソスケールでの局所的な風場を形成する。事故の影響が大きかった範囲では、まさにこのスケールの現象が関与した。

2. どのように計算するか

大気拡散現象の数値計算は、移流・拡散のための風速分布及び乱流分布の計算と、沈着計算のための降水分布の計算(風速分布、乱流分布及び降水分布と合わせて気象場と呼ばれる)がまず必要であり、その気象場計算の



第2図 標準的な大気拡散計算の流れ

結果を受けて対象物質の空气中濃度、地表面への沈着量の計算がなされる(第2図)。対象となる空間スケール及び評価目的に応じて種々の方法が適用されている。現在において最も標準的な方法は以下のとおりである。

全球規模から総観規模(水平数千km)の気象場として気象機関(気象庁、欧州中期予報センターECMWF、米国海洋気象局NOAA等)によってルーチン的に実行される観測値の客観解析の結果あるいは数値予報の結果が利用される。例えば気象庁のデータは、回線を整備しておけば1日に数回更新されるデータをオンラインで取得でき、即時の計算が可能である。これにより得られる風

は、前述の一般風に相当する。これを初期条件・境界条件として対象であるより小さい領域（例えば東日本、あるいは福島県周辺等）の詳細な気象場を大気力学モデル（領域気象モデル）により独自に計算し、その結果に基づき対象物質の移流・拡散及び沈着を計算する。

この領域気象モデルの性能はここ四半世紀の間に格段に進歩し、局地的な地形や海陸の熱的影響が反映された気象場の計算が可能であり、適切な初期条件及び境界条件が与えられれば降水の再現性も高い。また、大気科学研究分野で多数の研究者によって使われているコミュニティモデルが幾つか存在し（MM5, WRF, RAMS 等）、その予測性能も種々の観点から検証・改良されている。また、風等の観測データが得られている期間については、その観測値を大気力学計算に反映させる方法（4次元同化）がほとんどのモデルで採用されており、観測値が得られている時点までの計算精度向上が可能である。ただし、4次元同化が広く使われるのは気象場計算のみであり、拡散計算での標準的な同化方法はない。WSPEEDI-IIを含め1F事故の影響解析に用いられている大気拡散モデルのほとんどは上記の標準的な方法が用いられており、SPEEDIも独自の領域気象モデルを採用している。

このような大気拡散モデルは、国内に限っても多数の研究機関や大学で開発・使用されており、民間企業（気象関係、環境コンサルタント関係等）も計算する能力を持っている。標準的な計算方法を適切に実行すれば、総観規模あるいはメソ規模の中でも大きい範ちゅう（メソ α , β と呼ばれるおおむね水平20km以上のスケール）では、モデル間では風速場の計算結果に大きな差は通常は生じない。しかし、採用する雲物理過程、乱流モデル、格子の設定、地表面・海水面の境界条件等の設定の差によって、小さいスケールの風の場合、乱流場の鉛直構造、降水パターン等に差が生じる可能性がある。また、拡散計算においては、湿性沈着の取扱（モデル化の考え方、詳細さ、パラメータ値等）には大きな差があり、沈着量分布や大気中濃度の計算結果に顕著な差を生じる可能性があると認識されている。現在、学会会議の主導により、1F事故を対象とした主要なモデル間相互比較が行われている。

上記の標準的方法に対して、より広域を対象とした計算では、領域気象モデルによる詳細な地形を考慮した計算の必要性は相対的に低く、気象機関のデータに大きく依存した大気拡散計算がなされることになり、その予測精度は気象機関のそれに直接依存する。逆に、より小さなスケール（例えば数kmの範囲）が対象の場合は、より小スケールの地形あるいは地物（建物等）の影響が顕著となり、詳細な気象場計算及び大気拡散計算はより難しくなる。しかし、もし地形が平坦であり、気象場が一様・定常であるという仮定が成り立てば、拡散方程式の解析

解であるガウス分布を期待した簡易な大気拡散計算（ブルームモデル）が適用できる可能性がある。レベル3PSAで用いられることが多く原子力規制庁が拡散評価に用いたMACCS2はこの類のモデルである。多くの場合はこの仮定は現実的ではないため、ブルームモデルの適用範囲は限定的であり、個々の拡散事例での濃度計算を行う際は、気象場の定常・一様の仮定が満たされていることの確認が必要である。

III. 評価方法は使い分けるべき

大気拡散計算の基本的な内容と方法の一般論は前述のとおりであるが、評価の目的と対象に応じて適切な方法が選択されなければならないし、その方法の制約を認識することも必要である。特に、評価の目的から考えて、平均的かつ定常的な状態の把握で十分か、あるいは特定の事例の動的変動を把握する必要があるかや、地形や気象の地域性を考慮する必要性の有無といった要求事項の明確化が重要である。また、事故時の拡散評価では、緊急時対応のためであれば事前の「予測」が必要であるとか、あるいは事後の詳細評価が目的であるといった拡散評価の時点の明確化も重要であり、採るべきアプローチも異なる。

1. 環境アセスメント・安全審査

環境アセスメントあるいは原子炉の安全審査での濃度・線量評価のための大気拡散計算ではブルームモデルが多用されている。これらの場合では、数km程度の比較的近距离かつ1時間平均濃度といった短い時間の濃度評価にブルームモデルを用い、多数の拡散計算結果の重ね合わせて年間平均濃度等を評価する 경우가ほとんどである。この場合には、適用範囲で地形が平坦であり、1時間の気象場が定常であることが、ある程度期待される点で相応の合理性がある。

しかし、風向や安定度（乱流場）が変化する場合、あるいは地形の影響が無視できない場合は、1時間毎の濃度の計算値そのものの合理性は低い。地形が平坦であっても、風速場及び乱流場の空間一様性を前提としている点が現実とは異なり、個々の計算値の使用には注意が必要である。長期間の平均にブルームモデルが多用されるのは、計算の簡易さという実用面での利点に加えて、モデルの単純化で生じる個々の拡散事例の評価誤差のうちで、ランダムな部分が多数の重ね合わせて相殺されることが期待されるからである。筆者らが東海村で行った長期の野外拡散実験でも、この効果が確認されている。

2. 事故時の影響予測

事故影響の実時間に近い評価あるいは数時間から数十時間程度先の将来予測においては、対象日時の一事例について、当該地域の地形を考慮した大気中濃度、沈着量（地表面濃度）、線量率等の空間分布とその時間変化が評価の対象となる。特に水平距離が10km程度あるいはそ

れ以上の範囲での拡散現象の評価では、今回の事故影響に象徴されるように気象場の非定常性や地形の影響が大きく、プルームモデルを使用することは拡散現象を過度に単純化しているという点で明らかに合理性を欠く。

地形が平坦で、熱的局地循環や総観規模循環(第1図)による気象場(主に風)の時間変化が小さい場合は、この単純なモデルを適用できる可能性がある。欧米の原子力施設は、我が国に比べて平坦な地形に立地している場合が多く、そのような対象へのプルームモデルの適用には相応の合理性があるが、方法だけを流用し、そのまま我が国のサイトへ適用できるかについては疑問が残る。我が国の原子力施設の多くは海岸の複雑地形上に立地しており、平坦地形のサイトは少ない。

標準的な方法を用いた大気拡散計算結果は、放出率等の放出源情報の不確かさと、大気拡散計算自体の不確かさの両方の影響を受ける。モデルの検証は、人工トレーサを用いた拡散実験のデータや実事故データを用いて行われており、例えばWSPEEDI-IIのチェルノブイリ事故データを用いた検証では、沈着量を測定した測定値の1/5から5倍の範囲内で計算できた地点の割合が約65%であった¹⁾。一般に大気拡散計算では、分布の概形は良好に再現されることが多いが、地点毎の濃度あるいは沈着量の実測との比較では、ファクタで異なる場合も少なくない。これは、移流拡散の方向や拡がり方が計算でおおむね再現されても、プルーム縁辺での濃度勾配が大きいため、プルーム位置や到達時刻の小さな差が着目する地点の各時刻の濃度の差としては大きく現れることによる。したがって、事故時の影響予測では、地点毎の個々の値を見るよりは、分布の概形とその時間経緯を把握する利用法が適する。

濃度、線量等の絶対値の予測には放出源情報が不可欠であるが、1F事故で経験したように放出率の事前の予測は困難である。しかし、スタックモニタあるいは周辺のモニタリング設備からの情報が実時間で入手可能であれば、ある程度の不確かさを容認した上で、得られた測定値と計算値の比例関係を利用し、線量・濃度分布の現況の評価や、これから1, 2時間かけてプルームが到達する地域の濃度・線量の絶対値予測(ナウキャスト)は可能であろう。

3. 福島第一原発事故での拡散予測の状況

1F事故の初期に実行された多数のSPEEDI計算の結果をレビューした結果は、既に本誌の解説に示されている²⁾。前節の事故時の拡散評価について的一般論に基づき、筆者が独自に解析した結果でも類似の結論が得られており、その一部は学会事故調の報告書で示される予定である。その要旨は、(1)一部に移流方向が再現できなかった事例があるものの、多くの場合は大まかな拡散状況を再現していたこと、(2)風向の時間的な変化を伴う複雑な拡散状態でも1, 2方位の風向のずれ、あるいは2,

3時間程度の風向変化時刻のずれの範囲内で予測された事例が多いこと、(3)24時間の沈着量あるいは線量といった積算量(主に3月12日、15日の午後に生じた事象による影響については実際の汚染状況と類似した予測結果が当日の未明あるいは朝の時点で事前に得られていること、(4)原子力安全委員会が3月23日等に公表した事後計算を除けば全てが仮定の放出量(あるいは単位量)の計算であり、濃度・線量の絶対値は計算では得られていないことである。

これらを総合すると、大気拡散計算で1時間単位で1方位以内の一致度で予測することは困難であるが、数時間単位で、方向として45°程度を単位とする影響範囲の予測の信頼度は相当程度高かったと言える。例えば、3月12日や15日については、「今日午後遅くから夕方にかけて北西方向(西北西や北北西も含めた意味)に影響が生じる」といったことが半日程度前に把握可能であった。これに敷地境界で刻々得られた線量率情報を加味すれば相当有用な情報となり得た。

一般論として、予測の不確かさには、気象機関データの不確かさが含まれており、例えば対象地域を低気圧が通過するような場合は、その通過経路とプルームの相対的な位置関係により、予測が大きく外れることもあり得るが、そのような考察を含めて使用することとすれば、1, 2日程度先までの予測結果の有用性は高い。実際に、WSPEEDI-IIの計算では、3月16～19日は主に海上にプルームが流れて陸上への影響が小さいこと、20日の日中に時計回りに内陸にプルームが入り、同日午後からの放出は宮城県北部から岩手県南部に湿性沈着による影響を与えること、21～22日にかけて関東地方(東京方面)にプルームが停滞し、降水による沈着が起こること等の予測結果が2, 3日前には得られており、これらは現在理解されている拡散状況と近い。紙面の関係で図はこの解説には含めず、執筆時点でこれらの予測結果は規制庁等の関係機関のHPに掲載されていることのみ記す。

4. 事故影響の事後解析

事故初期には、大気中濃度がほとんど測定されていないことから、吸入による内部被ばく線量の再構築のために大気中濃度の再現計算が必要となっている。このような事後解析においても、一事例をできる限り高精度で予測するという上述の事故時の影響予測と同じ要件が課される。異なる点は、観測された気象データを取り入れた計算が可能であることであり、前述のとおり領域気象モデルではそのための4次元同化計算が可能である。事後解析においては、対象時間帯全てについて4次元同化計算が一般的には可能であり、より高い計算精度が期待される。

しかし、1F事故では、特に事故初期においては地震、津波の影響により事故サイト周辺での気象データの欠測が多く、観測データの同化の効果は必ずしも十分高くな

い。したがって計算結果の使用においては、程度の違いがあっても上述の事故時の影響予測と同様の制約があるものと理解すべきである。たとえ大気拡散計算の時間・空間分解能が高いとしても、計算結果をそのまま用いることは必ずしも合理的ではなく、風向変化に伴う濃度変化や降水の発生に時間的な誤差がある可能性や、プルーム位置の数メッシュ程度の誤差がある可能性を考慮し、適した時空間分解能で使用する必要がある。

5. 放出源情報推定

事故の進行中やその後においても、環境中に放出された放射性物質の種類、量、放出位置、物理化学状態の把握は極めて難しい。そのような場合には、環境中で測定された濃度、線量等の情報が極めて重要であり、大気拡散計算を援用して放出源に関する情報を抽出する試みが、今回の1F事故³⁾のみではなく過去の事例でも複数なされている⁴⁾。詳細は参考文献に譲るが、方法の基本的な考え方は、環境中で測定された濃度・線量を大気拡散計算で再現するために必要な放出率を探索することである。

今回の1F事故や、チェルノブイリ事故、東海村臨界事故、アルヘシラス Cs-137 放出事故等に対する筆者らの研究で得た経験の要点は以下のとおりである。環境データからの精密な放出率推定は困難であるが、多くの場合は3倍程度は異なる可能性がある大雑把な値としては推定可能である。推定の不確かさの要因は、主に大気拡散計算の不確かさと測定値の時間・空間代表性の不十分さである。得られる測定値は種類(大気中濃度(ガス態、粒子態)、地表面濃度(面積当たり、環境試料重量当たり)、線量率(プルーム寄与、地面沈着寄与)等)が多様であり、時空間密度も不均質で疎であるため、放出率推定は現場合わせの対応が必要で、あらかじめ手順や方法を固定し、ツールとして整備するのが困難である。特に後者については、バイズ統計等の数学的手法が有効に働く場合があるものの、単に数学的問題あるいは数値解法の問題としてアプローチすると本質を誤る危険性が高く、現在進められている関連の技術開発では留意が必要である。

6. 事故を想定した事前の大気拡散計算

防災対策の参考のためとして、事故を想定した系統的な大気拡散計算が主に地方公共団体で実施されるようになってきた。これらの動きは、事故時に現場で住民防護の責務を果たさなければならない地方公共団体が、事故影響の様態、範囲、程度についてそれぞれ地域の特性を踏まえて事前に把握する必要性を強く認識してのものであり、1F事故を受け有意義かつ当然の動きである。滋賀県や岐阜県に行った計算がその代表的な例である。

筆者が委員会主査として関与した岐阜県の計算では主に、(1)県内への影響に地域的・季節的影響特徴があるか

どうかと、(2)影響の大きい地理的範囲と程度を把握することを目的としたものである。これらの場合もⅢ-2～4節で述べた基本的な考えが適用される。前者の目的では、地形や過去の実際の気象状況を再現した詳細な大気拡散計算を1年分実施することによって行い、地形に起因する拡散特性が把握され、それに基づくモニタリングポスト配置が行われた。これらの計算量は決して少なくはないものの、現在の計算機能力からすると比較的容易に実行可能である。

一方では、旧原子力安全委員会の気象指針には、事故時についてはプルームモデルを用いて線量を評価して、その統計値(影響の小さい方から97パーセントイル線量値)に基づき評価すると記載されており、30年以上見直されていない。筆者が四半世紀以上前に最初に指針を見たときに持ったこの方法の根拠と正当性に関する疑問(環境アセスメントに類似の考え方が存在するが、これは常に存在する環境物質の濃度変動の統計的特徴に着目したものであり、事故時のみ特異的に放出される事象に適用できるのか?)はいまだに解けていない。

IV. まとめ

大気拡散現象の概要とその評価方法、さらに原子力分野での取扱の現状と可能性について概観した。大気拡散現象の理解、特に湿性沈着過程はいまだに定量的把握の観点から不十分な部分も残されているが、現状で我々が利用可能なモデルは相当程度の実力を有している。残念ながら、1F事故前あるいは事故後も原子力分野ではそれが認識されていないように見える。原理と方法が区別されないまま、四半世紀以前に「方法」として明文化されたものがそのままガラバゴス的に残って、実際の現象とは無関係に方法が優先されているように思える。実際の現象を原理に基づいて把握・評価するために、原子力分野での大気拡散の扱い方を自然科学的考え方に則って組み立て直す必要があると考える。

— 参考資料 —

- 1) H. Terada, M. Chino, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 42, 651-660 (2005).
- 2) 茅野政道, 日本原子力学会誌, 55, 220-224 (2013).
- 3) M. Chino, *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 48, 1129-1134 (2011).
- 4) S. Hirao, H. Yamazawa, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 47, 20-30 (2010).

著者紹介



山澤弘実 (やまざわ・ひろみ)

名古屋大学

(専門分野/関心事項) 環境放射能, 環境動態, 大気拡散, 数値シミュレーション, 環境アセスメント

被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーション 福島第一原子力発電所事故初期段階における 大気中放射性物質濃度分布の再構築

日本原子力研究開発機構 永井 晴康

東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、環境中に放出された放射性物質のうち、ヨウ素等の短半減期核種による事故初期段階における内部被ばく線量を評価するために、線量推計に必要な大気中放射性物質濃度の時空間分布を大気拡散シミュレーションにより再構築した。計算対象核種は、内部被ばく線量への寄与率を考慮して、 ^{131}I 、 ^{133}I 、 ^{132}Te 、 ^{137}Cs とし、地上付近の水平方向3km間隔、毎時刻の計算出力から、濃度時空間分布データベースを作成した。

I. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、環境中に放出された放射性物質による福島県等の住民の健康リスク評価を行うための基礎データとして、住民の被ばく線量の把握は重要である。このうち、ヨウ素等の短半減期核種による事故初期段階における内部被ばく線量については、現時点では実測に基づく評価が困難であり、大気拡散シミュレーションにより得られる時系列大気中放射性物質濃度マップと行動パターンを組み合わせた推計が現実的である。日本原子力研究開発機構(以下、「原子力機構」という)では、原子力緊急時対応システムとして開発した緊急時環境線量情報予測システム SPEEDI (System for Prediction of Environmental Emergency Dose Information) およびその世界版 WSPEEDI (Worldwide version of SPEEDI)¹⁾を適用して、事故により放出された放射性物質の環境中移行の詳細解析を進めている^{2~5)}。

本稿では、上記 WSPEEDI を東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、環境中に放出された放射性物質の詳細な大気拡散解析に適用し、線量推計に必要な、大気中放射性物質濃度の時空間分布データベースを、大気拡散シミュレーションにより構築することを目的として行った解析について解説する。

II. 解析手法

1. 放出源条件

大気拡散シミュレーション計算を実施するため、事故時におけるヨウ素等の短半減期核種の放出率の時系列変化、放出高さ等の放出源条件について、これまでに公表されている情報や文献に基づき調査・整理し、シミュレーション計算の入力条件として整備した。また、大気拡散シミュレーション計算結果の妥当性を確認するため、現地の測定データが比較的多い ^{137}Cs 等の長半減期核種についてもシミュレーション計算を行うため、その放出源条件も整備した。具体的には、原子力機構が実施した大気拡散計算とモニタリングデータの融合解析による、 ^{131}I および ^{137}Cs の放出源推定結果をまとめた論文が学術誌に掲載されており^{2~5)}、対象期間の放出率推移を設定可能で、かつ環境モニタリング結果を再現できる現状では唯一の推定結果である。この推定結果を基に、他の推定結果や炉内解析等の結果と対比することで、放出源条件の精査を行い、シミュレーション計算の入力条件として整備した。

2. 大気拡散解析

大気拡散シミュレーションでは、3次元気象モデルによる事故時の気象場再現計算と、これに引き続き大気拡散モデルにより、上記の放出源条件を用いた放射性物質の移流・拡散・沈着計算を実施した。この解析計算のための気象モデルおよび大気拡散モデルについては、原子力機構で開発した WSPEEDI¹⁾の気象モデル MM5 と大気拡散モデル GEARN を用いた。

気象モデル MM5 は、気象庁の数値予報データ等を初期条件とし、地球の球面効果および地形の影響を考慮した運動量 3 成分、熱エネルギー、水蒸気量、雲水量（液体、固体）等についての方程式を数値的に解くことにより、大気拡散計算に必要な風速 3 成分、乱流量、降水量等の気象要素を計算する。大気拡散モデル GEARN は、放出源条件と気象場計算で求めた気象要素を基に、放射性物質の大気中での移流・拡散を計算し、大気中濃度および地表沈着量から空間線量率も計算する。放出点近傍の局所的な高濃度分布からの放射線の影響を厳密に評価する必要性から、ラグランジュ型粒子拡散モデルを用い、放出核種毎に放射性壊変による減衰を考慮する。地表面への沈着については、乱流による乾性沈着と降雨による湿性沈着を考慮し、湿性沈着では、3次元気象モデルが計算する3次元の降雨、雲量分布を考慮する。これらのモデルは、チェルノブイリ事故解析や欧州広域拡散実験 ETEX における実時間予測および事後解析による性能評価により、予測精度が検証されている。

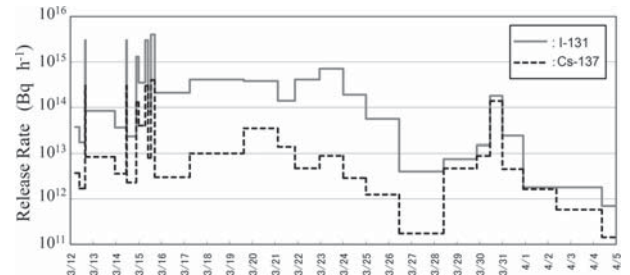
被ばく線量評価の対象範囲は、放出源を中心とした半径 250km の陸上であるため、大気拡散シミュレーション計算によって大気中濃度等を計算する領域を、東西 690km × 南北 960km、水平方向の空間分解能は、3km とした。対象期間は、2011 年 3 月 11 日 00 時から 4 月 30 日 24 時までとし、この期間に大気中へ放出された放射性物質の挙動を連続的に計算した。

III. 解析結果

1. 放出源条件

計算対象核種は、放出量推計に基づく内部被ばく線量への寄与率を考慮して、 ^{131}I 、 ^{133}I 、 ^{132}Te 、 ^{137}Cs とし、 ^{137}Cs については沈着量データとの比較にも利用することとした。放出率の時間変化は原子力機構による ^{131}I 、 ^{137}Cs の推定結果（第 1 図）⁵⁾ を用い、他の短半減期核種 (^{133}I 、 ^{132}Te) は、数少ない環境モニタリングデータと、減衰係数や推定インベントリーから、 ^{131}I 、 ^{137}Cs との放射能比率を推定した。

放出時刻ごとのインベントリーの放射能比率を、大気中濃度測定データの放射能比率と比較した結果を第 2 図に示す。核種特性から、 ^{132}Te の大気中での状態は ^{131}I と類似していると思われるが、ダストサンプルの ^{132}Te と ^{131}I の放射能比率は、放出時のインベントリーの放射能比率とは相関が低い。一方、 ^{132}Te と ^{137}Cs の放射能比率は、ダストサンプルと放出時のインベントリーで相関が高く、初期インベントリーの放射能比率を ($^{132}\text{Te}/^{137}\text{Cs} = 20$) に調整すると、放出時のインベントリーの放射能比率でダストサンプルの放射能比率を良好に再現できる。 ^{133}I については、放出および大気拡散過程はともに ^{131}I と同等なふるまいを考えると考えられ、放



第 1 図 放出率時間変化： ^{131}I （実線）、 ^{137}Cs （破線）

射能比率の変化傾向は、ダストサンプルとインベントリーでほぼ一致している。このことから、 ^{133}I と ^{131}I の放射能比率は、放出時のインベントリーの放射能比率をそのまま使用できると考えられる。

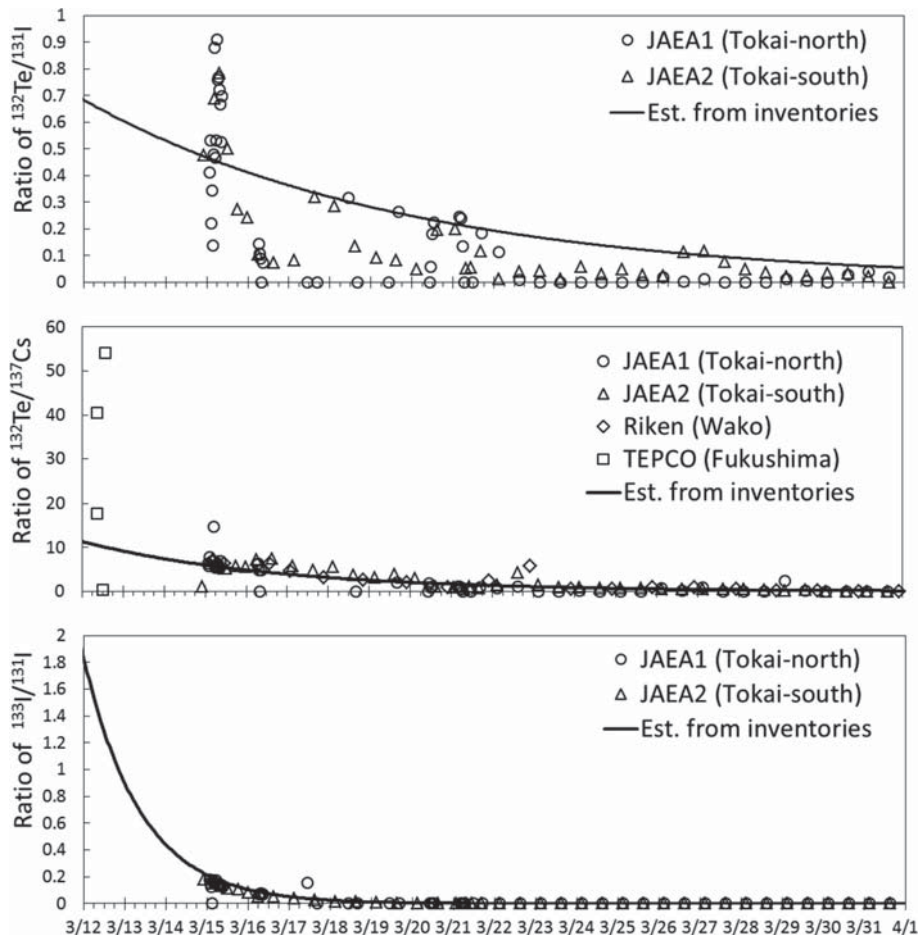
上記により設定した各核種の放出率の時間変化を基本放出源条件とし、この放出率が持つ不確実性の幅およびそれによる濃度計算への影響の検討を行った。 ^{131}I 、 ^{137}Cs の放出率時間変化設定に用いた原子力機構の放出量推定結果は、大気拡散シミュレーションによる環境モニタリングデータの再現試験や、国内外の研究機関による放出率推定結果と比較して、その妥当性を確認している。このうち、名古屋大学の平尾らによる推定結果⁶⁾との比較では、ほぼ同様な時間変化を示していた。平尾らは、推定した放出率の不確実性評価も実施しており、推定値はファクタ 3 (1/3 から 3 倍の範囲) 程度の幅を持つとしている。原子力機構と平尾らの放出率推定手法は、どちらも大気拡散シミュレーションにより環境モニタリングデータを再現する放出率を求めるものであり、同等な大気拡散モデルを用いていることから、原子力機構の放出率推定値もファクタ 3 程度の幅を持つと考えて、放出源情報の不確実性の影響評価を行うこととした。

2. 大気拡散解析

上記放出源条件を用いて、WSPEEDI で計算した空間線量率、空気中核種濃度、および ^{137}Cs 沈着量分布と測定値を比較することにより、予測精度を評価した。

大気中に放出された放射性物質の拡散と地表汚染形成過程については、原子力機構主催で 2012 年 3 月 6 日に開催された公開ワークショップ「福島第一原子力発電所事故による環境放出と拡散プロセスの再構築」における参加機関の議論により、航空機モニタリングで測定された ^{137}Cs 沈着量分布を形成した主要なプルームの動きと沈着過程を以下のようにまとめた。

- (1) 3 月 12 日：南相馬を通過して海上に流れ、女川原子力発電所周辺を通過し乾性沈着。
- (2) 3 月 15 日：未明に放出されたプルームが沿岸部を南下し、いわき市から茨城県北部で乾性沈着。
- (3) 3 月 15～16 日：上記が茨城付近から関東平野内陸部に流れ、群馬県、栃木県で湿性沈着。午前中に放出されたプルームは南西から西方に流れ、福島県



第2図 ^{133}I および ^{132}Te の ^{131}I または ^{137}Cs に対する放射能比率時間変化の比較(○, △, ◇, □は、ダストサンプリングの放射能比, 実線はインベントリーから見積もった放射能比を示している。)

中通りで湿性沈着。午後に放出された高濃度プルームが原子力発電所北西方向に流れ湿性沈着し、高線量地域を形成。

- (4) 3月20日：北西方向に流れた後北東に向かい、宮城県北部から岩手県南部を通過する際に湿性沈着。
- (5) 3月21日：海上を南下し、茨城県南部から千葉県北西部を通過する際に湿性沈着し、この地域のホットスポットを形成。

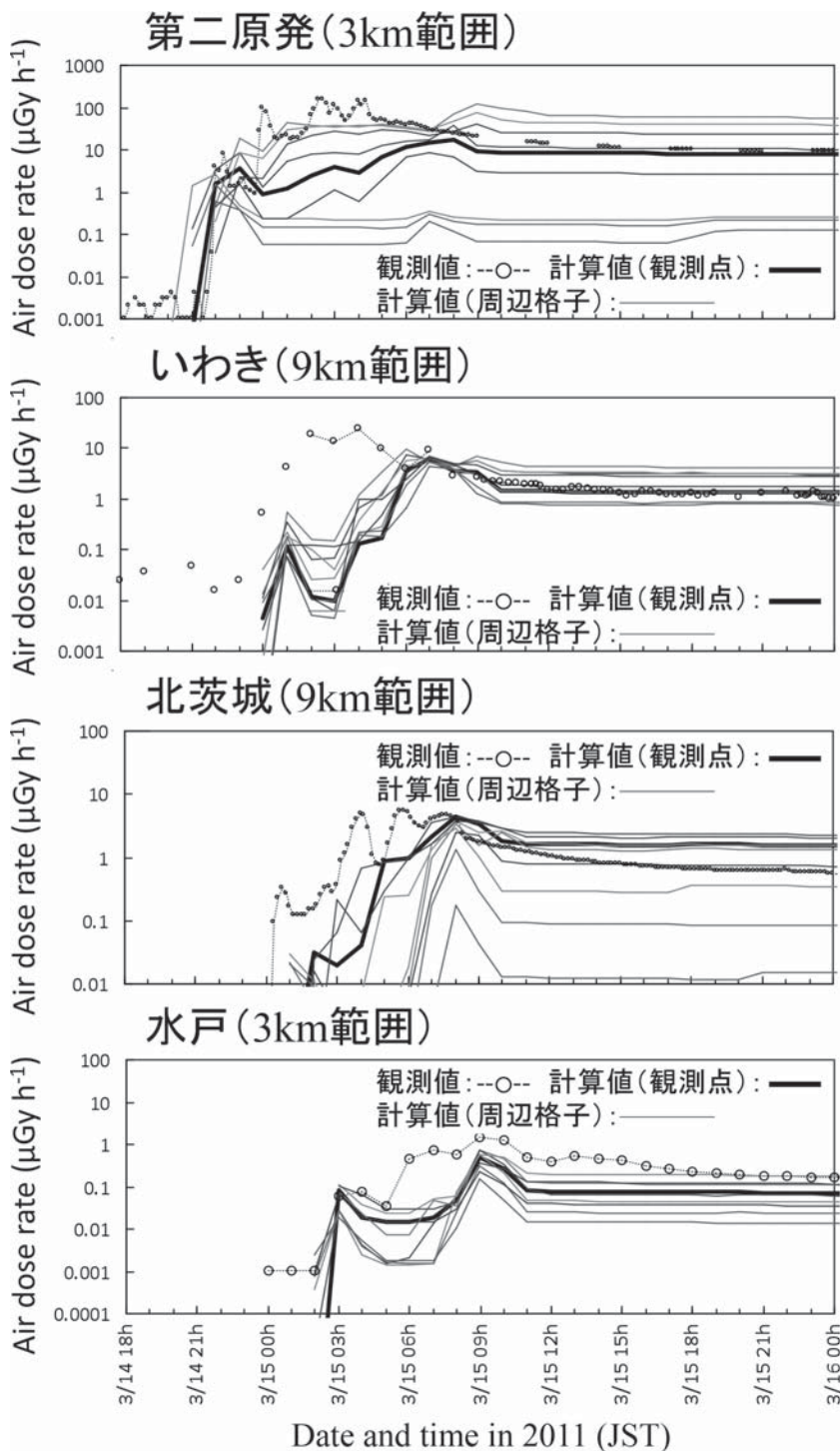
この結果をベースに、プルーム通過およびその際の沈着の再現性について評価を行った。

空間線量率の時系列の比較の一例として、(2)の事象について、福島第二原子力発電所(第二原発)、いわき、北茨城および水戸における空気吸収線量率の測定値との比較を第3図に示す。この比較においては、測定地点に該当する計算格子のほかに、測定地点から3kmまたは9kmの範囲に含まれる計算格子の値も示している。これは、空間で離散的な測定データとの比較では、プルームの通過位置がわずかにずれただけでも測定値の再現性が大きく低下することを考慮して、そのようなケースとずれの程度を把握するために行ったものである。東日本の

各地点での時間変化はおおむね再現できているが、期間や地域によっては、プルーム通過時刻に2、3時間程度のずれがあるケースや、通過位置が数メッシュずれているケースが見られた。大気拡散シミュレーション結果を用いた被ばく線量評価においては、このようなプルーム通過の時間空間的なずれによる不確実性を考慮する必要がある。

空气中核種濃度の時系列については、東海村(原子力機構)における3月14～17日と20～21日のプルーム通過時の ^{131}I 大気中濃度測定値と計算値の比較を第4図に示す。時間変化の再現性は同様な傾向であったが、定量的には過小評価となっているケースもあり、放出源条件の不確実性の影響も示唆される。

航空機モニタリングによる ^{137}Cs 沈着量分布との比較においては、WSPEEDIの計算では宮城県における過大評価と群馬県および栃木県における過小評価があった。これは、湿性沈着過程において鉛直方向の状態の違いを考慮せず一律の降水洗浄率を用いていたことに起因すると考えられる。このため、事故時の実際の天候も加味し、氷相と液相、雲中と雲下の洗浄率の相違を考慮するとともに、霧の沈着の影響も取り入れることによって再



第3図 第二原発、いわき、北茨城および水戸における3月15日のブルーム通過時の空気吸収線量率の測定値と計算値の比較
(計算値は観測点の格子と3kmまたは9km範囲内の格子の値を示している。)

現性の向上が見られた。また、大気中核種の存在形態による乾性沈着速度と洗浄率の違いも考慮した解析を行い、その影響評価を進めている。

上記の放出源条件および大気拡散シミュレーションの不確実性は、より厳密な被ばく線量評価を行う上で改善する必要がある。放出源条件は、大気拡散シミュレーションにより放射性核種の濃度測定値から逆推定したものであり、モデル計算の不確実性の影響を受けている。

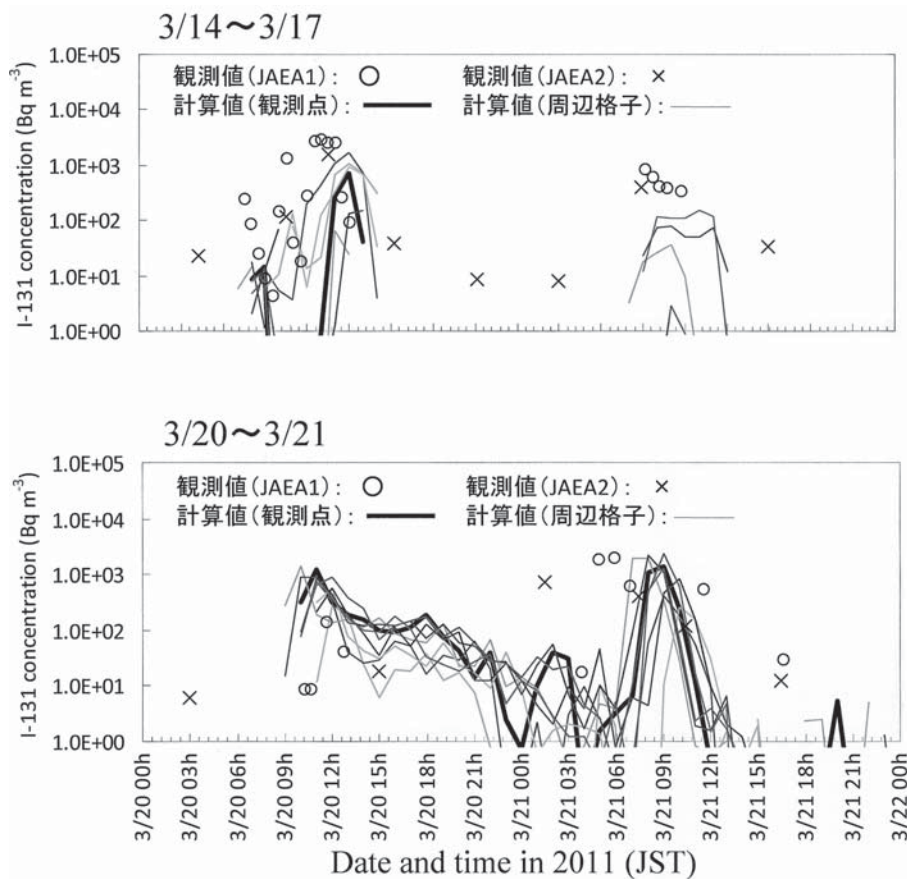
また、時空間的に離散的な測定データに基づくため、その補間方法、拡散計算における放出高度・継続時間の仮定などに起因する不確実性もある。これを改善するには、測定データを拡充し、改良モデルによる再解析が必要である。一方、モデルを改良するには、正確な放出源条件を用いた計算結果と測定データの比較が不可欠となる。この相反する要求を満たすような解析手法の確立が、今後の課題である。

3. 沈着過程の変更の影響

拡散計算における沈着過程の変更により、航空機モニタリングによる¹³⁷Cs沈着量分布の再現性が向上可能であることが示されたが、これにより内部被ばく線量評価に使用する地上付近の大気中核種濃度計算にどの程度の影響があるかを調べてみた。ここでは、最大限の影響の幅を把握するために、放射性核種が全てガス状のケースと全て粒子状のケースの相違、氷相の洗浄係数を1/10にすることによる相違、さらに粒子状における最大洗浄係数のケースと最小洗浄係数のケースの相違を、地上付近の大気中濃度積算値の比較により評価した。

放射性核種が全てガス状から全て粒子状に変更することにより、沈着量が大幅に増加したが、地上付近の大気中濃度積算値も大きく増加している。これは、沈着により大気中の放射性核種が除去されることを考えると、除去量が増えたのに濃度も増えているという一見矛盾する結果となっているが、沈着過程の相違と除去量の3次元的な分布に起因する妥当な結果である。今回使用したパラメータでは、放射性核種を全てガス状とした場合、乾性沈着速度が粒子状の6倍となるが、降水によ

る洗浄係数は粒子状より小さくなる。このため、放射性核種を全てガス状から全て粒子状に変えると、乾性沈着は大幅に減少するが、湿性沈着は増加することになる。湿性沈着では雲および降水により上空の大気からも放射性核種が除去され沈着量も多くなるのに対して、乾性沈着では地上付近の大気中核種が除去されて沈着することにより、沈着量は少なくとも地上付近の大気中濃度についての減少は大きくなるためである。したがって、放射



第4図 東海村(原子力機構2地点)における3月14～17日と20～21日のプルーム通過時の¹³¹I大気中濃度測定値と計算値の比較
(計算値は観測点の格子と18km範囲内の格子の値を示している。)

性ヨウ素については、ガス状と粒子状の割合が変わることにより、地上付近の大気中濃度が大きく変わるため、内部被ばく線量評価への影響が大きくなる。

氷相の洗浄係数を1/10に変更することにより、¹³⁷Cs沈着量分布の宮城県における過大評価が改善されるが、地上付近の大気中濃度積算値はほとんど変化していない。これは、氷相による洗浄過程変更の影響は、気温が低い上空のプルームに限定されるため、地上付近の大気中濃度はほとんど変わらなかったためである。したがって、氷相の洗浄係数変更による¹³⁷Cs沈着量分布の再現性向上は、内部被ばく線量評価に対してはほとんど影響しないと考えられる。

粒子状における最大洗浄係数と最小洗浄係数の相違では、沈着量の減少に伴い地上付近の大気中濃度積算値が増加するという、通常想定される結果となっている。特に、(3)3月15～16日および(5)3月21日のプルーム通過時に湿性沈着が支配的になっていた地域において、沈着量および地上付近の大気中濃度積算値の変化割合が大きくなっており、内部被ばく線量評価において注意が必要である。

4. 時系列大気中放射性物質濃度マップ

WSPEEDIの大気拡散シミュレーションで計算した地上付近の核種毎の大気中濃度分布および地表沈着量分布を、水平方向(東西・南北それぞれ)の3km間隔、毎時刻(正時～正時の1時間における平均値)で出力し、時系列大気中放射性物質濃度マップを作成した。この際に、計算手法を工夫し、大気拡散計算は単位放出条件により実行し、後から放出源条件を設定可能なデータベース形式の出力とした。また、前述の拡散計算における沈着過程の検討を反映した解析結果により、ガス状や粒子状の物質に対するパラメータを設定したケース毎にデータベースを作成し、各ケースの結合により、任意のガス・粒子割合を対象とした拡散解析結果を作成可能とした。

データベースの作成方法は、設定した放出率時間変化(第1図)において、放出率が一定の1区分(例えば、第1区分は3月12日05:00JST～3月12日09:30JSTで、全部で30区分ある。)について、その期間だけ全核種ともに単位放出率(1Bq h⁻¹)で放出した計算を実行し、大気中濃度、沈着の計算値の有無にかかわらず、全対象期間について1時間間隔で核種ごとの濃度、沈着量、空間線量率の計算結果を出力する。この計算を放出率一定の30区分全てについて実行し、出力結果を放出率一定

の区分と関連づけたディレクトリー構成で格納しデータベース化する。データベースから設定した放出源条件の計算結果を作成する際には、放出率一定の各区分について設定された各核種の放出率を、その区分に関連付けられたディレクトリーに格納された全時刻・核種ごとの濃度、沈着量、空間線量率の出力結果に乗じた後、同一時刻の出力結果を合算する。これにより、初めに放出源条件を設定して拡散計算を実行した場合とほぼ一致する出力が得られることを確認している。

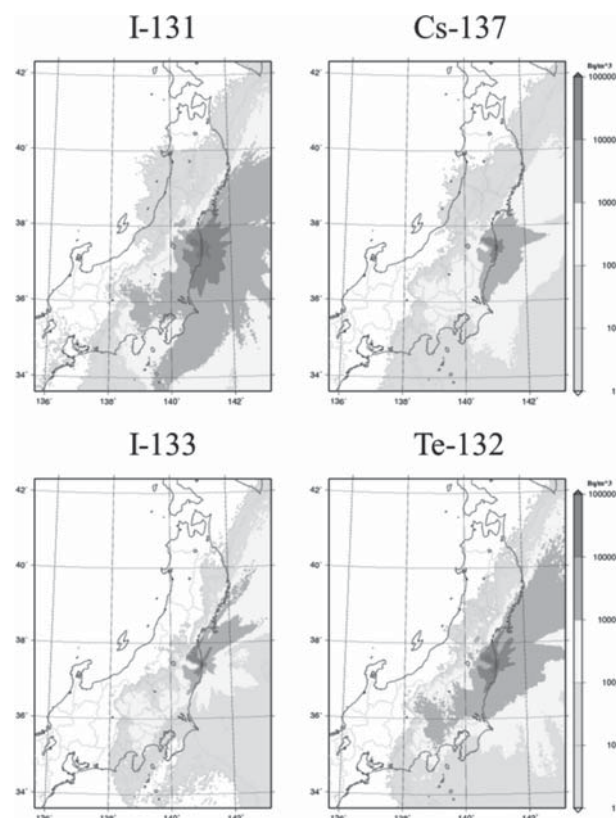
この計算方法により、ガス状や粒子状の物質に対するモデルパラメータを変更した9ケースのデータベースを作成した。これらの各ケースに適用する放出源条件を調整して作成した各ケースの出力結果を融合することにより、任意のガス・粒子割合を対象とした拡散解析結果の作成が可能となる。

本データベースに基本放出源条件を適用して作成した、各核種の地上付近の大気中濃度の評価期間における積算値の分布を第5図に示す。核種ごとの放出率の時間変化の相違により、積算濃度分布が異なっている。特に、半減期が短い ^{133}I と ^{132}Te については、事故初期段階でプルームが北東方向に流れていた時期に放出率が大きかったことに起因する積算濃度分布となっている。

IV. まとめ

東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、環境中に放出された放射性物質のうち、ヨウ素等の短半減期核種による事故初期段階における内部被ばく線量を評価するために、線量推計に必要となる大気中放射性物質濃度の時空間分布データベースを大気拡散シミュレーションにより構築した。この解析結果は、放出源条件およびモデル計算の不確実性が含まれており、線量推計の概算値を得るためには利用可能であるが、十分に精度が高いとは言えない。今後、さらなるモデル改良と放出源条件の精査を行い、精度の高い解析を進める必要がある。

本解析は、環境省の平成24年度原子力災害影響調査等事業「事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばくの線量評価調査」の一部として、独立行政法人放射線医学総合研究所からの再委託事業「大気拡散シミュレーションによる時系列大気中放射性物質濃度マップの整備」により実施したものである。



第5図 ^{131}I , ^{133}I , ^{137}Cs および ^{132}Te の地上付近の大気中濃度の評価期間(2011年3月11日00時から4月30日24時)における積算値

— 参考資料 —

- 1) 寺田宏明, 永井晴康, 古野朗子, 掛札豊和, 原山卓也, 茅野政道, 日本原子力学会和文論文誌, 7, 257-267 (2008).
- 2) M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata, H. Yamazawa, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 48, 1129-1134 (2011).
- 3) G. Katata, H. Terada, H. Nagai, M. Chino, *J. Environ. Radioactiv.*, 111, 2-12 (2012).
- 4) G. Katata, M. Ota, H. Terada, M. Chino, H. Nagai, *J. Environ. Radioactiv.*, 109, 103-113 (2012).
- 5) H. Terada, G. Katata, M. Chino, H. Nagai, *J. Environ. Radioactiv.*, 112, 141-154 (2012).
- 6) S. Hirao, H. Yamazawa, T. Nagae, *J. Nucl. Sci. Technol.*, 50, 139-147 (2013).

著者紹介

永井晴康 (ながい・はるやす)

日本原子力研究開発機構

(専門分野/関心分野) 環境中物質動態/原子力緊急時対応



被ばく線量評価のための大気拡散シミュレーション 東京電力福島第一原子力発電所事故における 周辺住民の初期内部被ばく線量再構築

放射線医学総合研究所 栗原 治

東京電力福島第一原子力発電所事故における周辺住民の初期内部被ばく線量の推計において、人や環境の実測データが限られている状況を鑑みると、大気拡散シミュレーションは不可欠な手段である。昨年度、(独)放射線医学総合研究所が実施した福島県住民を対象とした初期内部被ばく線量の再構築においても、その一部は大気拡散シミュレーションからの推計値を参考にした。本稿では、大気拡散シミュレーションによる内部被ばく線量推計の現状とともに、今後の展望について述べる。

I. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故により環境中に放出された放射性核種は、東日本を中心とした広い範囲に拡散し、そして地表に沈着することにより、公衆への放射線被ばくをもたらした。これまでに公衆が過度な放射線被ばくを受けたとされる事実はないが、放射線による将来の健康影響を議論する上で、個人が受けた被ばく線量を正確に評価することが重要である。福島県では、全県民を対象とした県民健康管理調査¹⁾を進めており、その基礎データとして、個人の外部被ばく線量の推計値を取り入れている。同推計は、事故初期に福島県各地で実測された空間線量率データ(ただし、事故発生翌日の3月12日から3月14日までは緊急時放射線影響迅速予測システム SPEEDI からの計算値)から構築された2次元マップに、個人の行動記録から得られた滞在地点の時系列データを併せて行われる。これに係る一連の計算は、(独)放射線医学総合研究所(以下、放医研)が開発した外部被ばく線量評価システムが担っている²⁾。放医研では同システムを運用し、福島県立医科大学と共同して、これまでに40万人を超える福島県民の外部被ばく線量を推計した³⁾。

一方、個人の内部被ばく線量については、福島県を含む全国各地でホールボディカウンタ(WBC)を用いた検

査が行われており、その結果に基づき推計が行われている。これまでに10万人を超える福島県民の検査が終了しており、ほぼ全ての被検者で1 mSv未満であった⁴⁾。ただし、ここで推計された内部被ばく線量は、放射性セシウムの体内摂取による預託実効線量である。事故初期に存在していた放射性ヨウ素等の短寿命核種による内部被ばく線量については、これに必要な人や環境の実測データが不足しているため、未だ詳細な数値が把握できていない。また、チェルノブイリ事故の際に周辺住民の線量再構築に用いられた手法、すなわち、核種の地表沈着量と個人の内部被ばく線量を関連付ける方法⁵⁾は、地表沈着量のヨウ素/セシウム比が地域によって顕著に変化することや、20km圏内の住民については早期に圏外へと避難したこと等の理由で、今回の事故では適用することが難しいと予想される。よって、実測データに基づく線量推計を補完する方法として、現状では唯一と考えられる大気拡散シミュレーションの可能性を探ることは、今後の公衆の線量再構築において重要な意味を持つ。

昨年度、放医研では、限られた実測データと大気拡散シミュレーションを併用し、福島県住民の初期内部被ばく線量、特に甲状腺等価線量(以下、甲状腺線量)の再構築を試みた⁶⁾。その結果は第1表に示すとおりであり、一部には大気拡散シミュレーションからの推計値を参考にした。本稿では、その経緯とともに、大気拡散シミュレーションによる初期内部被ばく線量推計の現状と今後の展望について述べる。

Atmospheric Dispersion Simulations for Estimating Radiation Dose to the Public ; Reconstruction of early internal dose to the public in the TEPCO Fukushima Daiichi nuclear power station accident : Osamu KURIHARA.

(2013年9月15日 受理)

第1表 福島県住民の甲状腺線量推計値(90パーセンタイル値)

市町村	1歳児	成人	線量推計の参考データ
双葉町	30	10	全身計測
大熊町	20	<10	全身計測
富岡町	10	<10	全身計測
楡葉町	10	<10	全身計測
広野町	20	<10	全身計測
浪江町	20	<10	全身計測, 甲状腺計測*
飯館村	30	20	甲状腺計測, 全身計測
川俣町	10	<10	甲状腺計測, 全身計測
川内村	<10	<10	全身計測
葛尾村	20	<10	浪江町の数値を代用
いわき市	30	10	大気拡散シミュレーション, 甲状腺計測
南相馬市	20	<10	浪江町の数値を代用
他	<10	<10	大気拡散シミュレーション

* 床次ら¹⁶⁾

(単位: mSv)

II. 計算方法

吸入摂取による内部被ばく線量は、大気拡散シミュレーションから得られた評価対象核種の大気中濃度マップを用い、次式によって計算する。

$$D_i = e_i \int C_i(x(t), t) \cdot B(t) \cdot F(t) dt$$

ここで、添え字 i は核種を意味し、 D_i は核種 i からの内部被ばく線量、 e_i は吸入摂取による内部被ばく線量係数、 $C_i(x(t), t)$ は個人の滞在場所 $x(t)$ 及び時刻 t における大気中濃度、 $B(t)$ は呼吸率、 $F(t)$ は屋内滞在による線量低減効果等を含む補正係数である。

昨年度、放医研で実施した福島県住民の初期内部被ばく線量の再構築では、世界版 SPEEDI 第2版 (WSPEEDI-II)⁷⁾ によって計算された ^{131}I と ^{137}Cs の大気中濃度マップを利用した。この大気中濃度マップは、平成23年3月12日から4月30日までの2次元(地表面を含む最下層の大気中濃度のみを使用)の時系列データとして与えられており、計算領域は東日本全域を含む範囲(東西690km×南北960km)であった。また、同マップの水平空間分解能と時間分解能は、それぞれ約3km平方と1時間刻みであった。WSPEEDI-IIの福島第一原子力発電所事故への適用例については、文献^{8~10)}に述べられている。

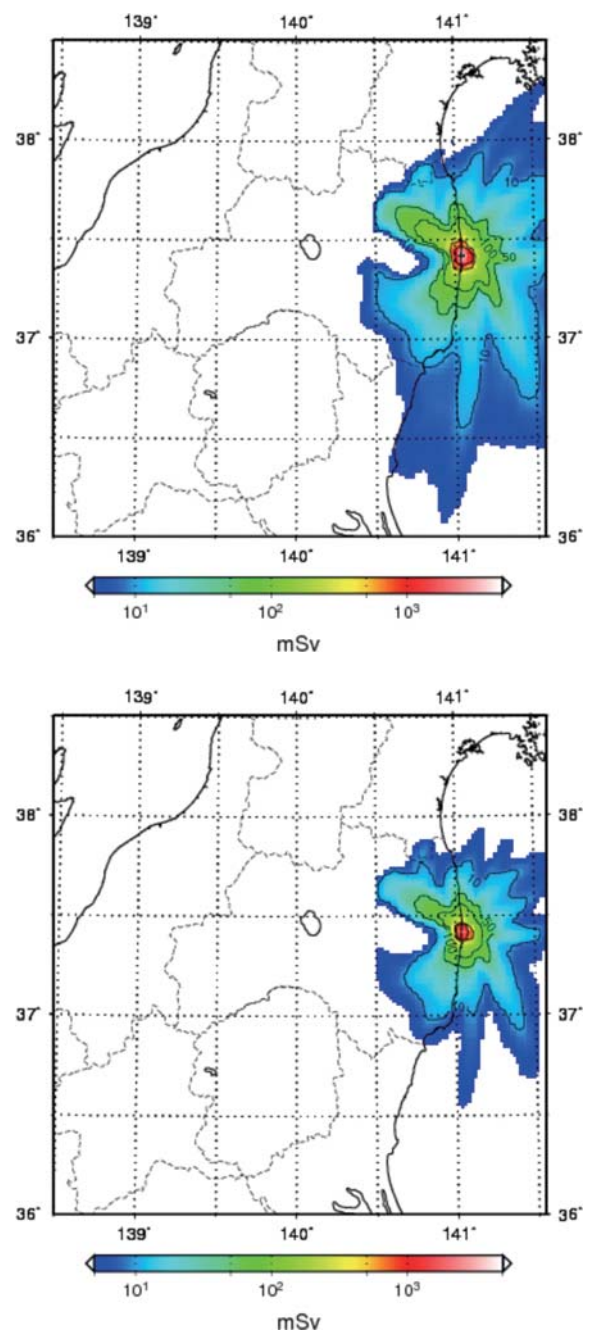
上式中にある内部被ばく線量係数と呼吸率については、国際放射線防護委員会(ICRP)の刊行物等^{11,12)}に与えられる各年齢グループ(3ヶ月児, 1歳児, 5歳児, 10歳児, 15歳児及び成人)に対応する数値を参考にした。屋内滞在による線量低減効果については参考値¹³⁾があるが、今回の計算では考慮しなかった。

以下に、 ^{131}I の吸入摂取による甲状腺線量の計算結果を中心に紹介する。

III. 結果と考察

1. 甲状腺線量マップ

第1図に、1歳児と成人に対する甲状腺線量マップを示す。これらのマップは、 ^{131}I の大気中濃度マップに、当該年齢群の甲状腺等価線量係数(吸入)と日平均呼吸率を乗じ、これを時間積分して得られた。甲状腺線量の評価期間は、平成23年3月12日から3月31日までである。評価期間をこれ以上延長しても、甲状腺線量の増加はほとんどない。甲状腺等価線量係数には、60%を元素状ヨウ素、40%を粒子状ヨウ素(タイプF)として、それぞれの係数の加重平均値を用いた。ヨウ素の物理的性



第1図 甲状腺線量マップ(上:1歳児, 下:成人)

状の割合については、東京電力福島第一、第二原子力発電所及び茨城県にある(独)日本原子力研究開発機構で測定された空気サンプリングの結果を参考にした。

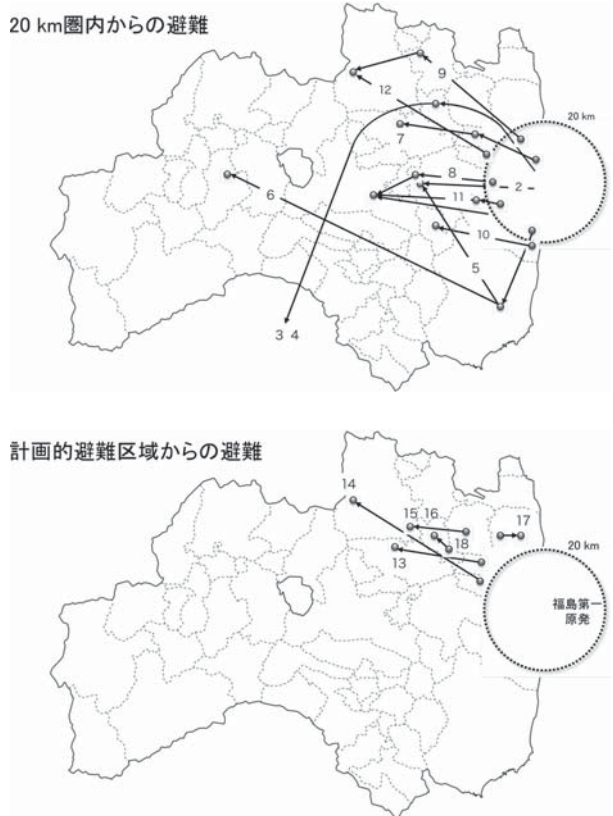
第1図の甲状腺線量マップは、その場所に屋外に居続けたと仮定した場合に受ける線量として示したものである。したがって、避難等の移動を伴う住民に対しては適用できない。実際、20km圏内の市町村住民は、3月12日終日までには大半が圏外に避難している¹⁴⁾。また、屋内滞在による線量低減効果や、日本人の血中ヨウ素の甲状腺取り込み率¹⁵⁾等を考慮すれば、過大評価が見込まれる。よって、第1図に示した甲状腺線量マップの解釈には注意を要するが、移動の少ない地域住民、あるいは近隣県住民を対象とした甲状腺線量の大まかな把握には有用であると思われる。1歳児の甲状腺線量マップを見ると、甲状腺線量が10 mSvを大幅に超える地域は、福島県内の浜通り地方及びその周囲であることがわかる。

2. 避難住民の甲状腺線量の試算

20km圏内または計画的避難区域から避難した住民が受けた¹³¹Iの吸入摂取による甲状腺線量を、外部被ばく線量推計の際の参考とした避難行動モデルケース(第2図及び第3図)²⁾に基づき試算した。これらのモデルケースは、実際の避難状況に関する情報から、代表的行動パターンとして検討されたものである。第2表に、各モデルケースに対する1歳児、10歳児及び成人の甲状腺線量を示す。ただし、精度を考慮して有効数字1桁に丸めた。

一般的に、20km圏内からの避難行動モデルケースの

方が、計画的避難区域からのものと比較して、線量が低く抑えられている。これは、福島第一原子力発電所から多量放出のあった3月15日以前に圏外に避難したことによる効果大きい。ただし、福島第一原子力発電所か



第2図 避難行動モデルケース(上:20km圏内からの避難, 下:計画的避難区域からの避難)

モデルケース No.	3月11日	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	富岡町役場	川内村役場																			ビックバレット福島(郡山市)
2	大熊町役場																				船引就業改善センター(田村市)
3	双葉町役場	午前		川俣小学校																	さいたまスーパーアリーナ(埼玉県)(3月31日他場所へ移動開始)
4	双葉町役場	午後		川俣小学校																	さいたまスーパーアリーナ(埼玉県)(3月31日他場所へ移動開始)
5	楢葉町役場																				いわき市役所(3月31日まで)
6	楢葉町役場			いわき市役所																	会津美里町役場
7	浪江町役場			つしま活性化センター(浪江町)																	安達体育館(二本松市)
8	田村市某所																				デンソー東日本(田村市)(3月31日他場所へ移動開始)
9	南相馬市某所																				伊達市役所(3月31日他場所へ移動開始)
10	広野町某所																				小野町役場
11	川内村某所			川内小学校																	ビックバレットふくしま(郡山市)
12	葛尾村某所																				あづま総合体育館(福島市)
13	つしま活性化センター(浪江町)																				安達体育館(二本松市)
14	葛尾村役場																				あづま総合体育館(福島市)
15	飯館村役場(5月29日まで)																				
16	飯館村役場(6月21日まで)																				
17	南相馬市某所(5月20日まで)																				
18	川俣町某所(6月1日まで)																				

第3図 避難行動モデルケースの時系列(モデルケース No.1~No.12:20km圏内からの避難, No.13~No.18:計画的避難区域からの避難)

第2表 各避難行動モデルケースの¹³¹I吸入摂取による年齢群別甲状腺線量の推計値

モデルケース No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1歳児	<10	<10	40	90	30	10	90	<10	<10
10歳児	<10	<10	40	70	30	<10	80	<10	<10
成人	<10	<10	20	40	20	<10	50	<10	<10

モデルケース No.	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1歳児	10	<10	<10	100	40	30	30	80	70
10歳児	<10	<10	<10	90	30	30	30	70	60
成人	<10	<10	<10	50	20	20	20	40	30

(単位: mSv)

ら北西方向へ避難した場合には数値が高くなる。計画的避難区域からの避難行動モデルケースでは、避難が遅いために、全線量のほとんどを避難経路の起点となる場所で受ける形となる。

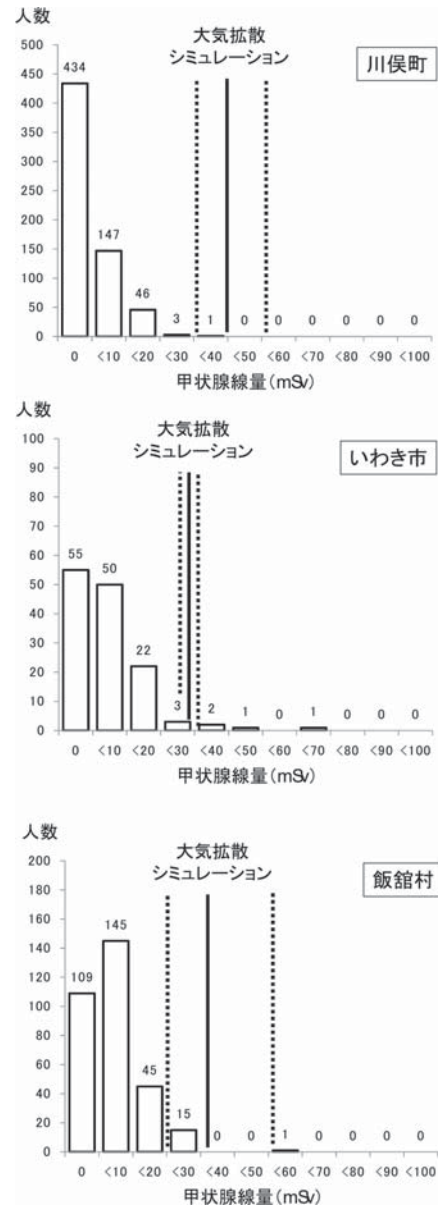
3. 人の実測データからの線量推計値との比較

大気拡散シミュレーションによる線量推計の精度を確認するため、数は限られるが、人の実測データ(甲状腺計測やWBCによる全身計測)から推計した甲状腺線量との比較を試みた。後者は実測値に基づく推計であるため、摂取シナリオ(摂取日や摂取経路等の内部被ばく線量を計算する際に必要となる条件)の不確実性は残るものの、より真値に近い評価と言える。

第4図には、平成23年3月下旬に、川俣町、いわき市及び飯館村において実施された小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の結果から推計した甲状腺線量分布を示す。ただし、摂取シナリオとしては、全量の¹³¹Iを3月15日に吸入摂取する条件を設定した。同図には、比較対象とする大気拡散シミュレーションから推計した甲状腺線量も併せて示す。ただし、個々の被検者の住所や行動に関する情報が得られていないため、各市町村の役場に最も近いWSPEEDI-IIの計算領域中の格子点及びそれに隣接する8格子点の¹³¹I大気中濃度を抽出し、これらの幾何平均値(GM)と幾何標準偏差(σ_g)から甲状腺線量(5歳児)を計算した。同図からわかるように、大気拡散シミュレーションから推定した甲状腺線量は、実測データから求めた甲状腺線量分布の上限付近にある。

その他の避難住民に対する推計値の比較については、次のとおりである。ただし、個人の行動情報が不明のため、あくまでも参考である。

弘前大学の床次らの研究グループが浪江町住民に対して行った甲状腺計測の結果を報告している¹⁶⁾。同測定の実測データは、沿岸部からの避難者45名と津島地区住民17名を含む計62名であり、推計された甲状腺線量の最大値は成人で33 mSv、子供で23 mSvであった。これらの数値は、浪江町を起点とする避難行動モデルケース(第2表のNo.7とNo.13)の甲状腺線量と比較すると数分の一程度である。すなわち、大気拡散シミュレーションによる線量推計値の方が大きくなる。他方、20km圏



第4図 小児甲状腺被ばくスクリーニング検査の結果から推計された甲状腺線量分布及び大気拡散シミュレーションによる推計値 (実線がGM, 点線がGM/ σ_g 及びGM $\times\sigma_g$, 本文参照)

内の市町村住民の甲状腺線量については、当該市町村を起点とする避難行動モデルケースの推計値に比べ、人の実測データに基づく線量推計値(第1表)の方が高いケー

スが見られる。

4. 大気拡散シミュレーションによる初期内部被ばく線量再構築の現状

大気拡散シミュレーションによる内部被ばく線量の推計は、その精度が未だ十分に検証できていない。そのため、昨年度の福島県住民を対象とした初期内部被ばく線量の再構築では、人の実測データが得られなかった地域に限定して大気拡散シミュレーションを適用した(第1表)。福島県内の中通りと会津の両地方については、大気拡散シミュレーションによる推計が主となる。該当する市町村における甲状腺線量の推計値は低い数値であるが(例えば、福島市や郡山市では数 mSv 未満)、推計自体の不確実性を考慮し、現時点では推計の信頼限界(10 mSv と仮定)未満であることを示すことが適当と考えた。例外として、いわき市については、大気拡散シミュレーションによる線量推計値も参考にした。これは、いわき市では小児甲状腺被ばくスクリーニング検査が実施されたものの、被検者の数が少ないため、補強が必要と考えたためである。また、葛尾村と南相馬市については、隣接する浪江町の線量推計値が人の実測データから得られていることから、これを両市町村に割り当てた。

IV. まとめと今後の展望

放医研では、東京電力福島第一原子力発電所事故による福島県住民の初期内部被ばく線量の再構築のため、大気拡散シミュレーションを用いる方法を検討した。大気拡散シミュレーションと人の実測データのそれぞれから推計された甲状腺線量はオーダーとしてはおおむね一致したものの、両者には未だ乖離が大きい。よって、大気拡散シミュレーションによる内部被ばく線量推計は、現時点では参考と位置付けるのが適切と思われる。

今後の展望として、外部被ばく線量の推計と同様に、個人の行動情報を活用した内部被ばく線量の推計がある。その実現のため、個人の行動情報が得られ且つ、甲状腺計測や実測データを有する者について、大気拡散シミュレーションによる線量推計を行い、再度、実測データからの線量推計との比較を行うことが考えられる。その際、大気拡散シミュレーションの結果等を参考にし、より現実的な個人の摂取シナリオを構築することもできる。例えば、放射性プルーム(放射性物質が気流に乗って煙のように流れていく現象)の通過時間帯に、個人が屋内と屋外のどちらにいたか、または、活動中か睡

眠中かといった行動の違いは、核種の吸入量に大きく影響すると思われる。個人の行動情報をきめ細かくモデル化することにより、内部被ばく線量の推計精度を飛躍的に向上させることが可能であると筆者は考えている。そのプロセスにおいて、大気拡散シミュレーションの精度向上は不可欠であり、この分野の専門家の今後の更なる活躍を期待したい。

本稿の内容は、環境省の平成24年度原子力災害影響調査等事業「事故初期のヨウ素等短半減期による内部被ばく線量調査」を放医研が受託し、実施した内容の一部を含むものである。WSPEEDI-IIの計算値は、(独)日本原子力研究開発機構から提供を受けた。

— 参考資料 —

- 1) S. Yasumura, *et al.*, *J. Epidemiol.*, 22, 375-383 (2012).
- 2) K. Akahane, *et al.*, *Sci. Rep.*, 3, 1670 (2013).
- 3) 福島県, 県民健康管理調査,
<http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/250820siryoul.pdf> (Accessed 23 September 2013).
- 4) 福島県, 県民健康管理調査,
http://www.pref.fukushima.jp/imu/wbc/20130902wbc_joukyou.pdf (Accessed 23 September 2013).
- 5) M. I. Balonov, *et al.*, *Radiat. Prot. Dosim.*, 92, 247-253 (2000).
- 6) 福島県, 県民健康管理調査,
<http://www.pref.fukushima.jp/imu/kenkoukanri/250213siryoul.pdf> (Accessed 23 September 2013) 又は、栗原, 他, KEK-proceedings (投稿中).
- 7) 寺田, 他, 日本原子力学会和文論文誌, 7, 257-267 (2008).
- 8) G. Katata, *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, 109, 103-113 (2012).
- 9) H. Terada, *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, 112, 141-154 (2012).
- 10) G. Katata, *et al.*, *J. Environ. Radioact.*, 111, 2-12 (2012).
- 11) ICRP, The ICRP database of dose coefficients: workers and members of the public, (2001).
- 12) ICRP, Publication 71, (1995).
- 13) US EPA, Manual of protective action guides and protection actions for nuclear incidents—second printing (1992).
- 14) 東京電力福島原子力発電所事故調査委員会, 国会事故調報告書, (2012).
- 15) 吉澤, 他, 保健物理, 11, 123-128 (1976).
- 16) S. Tokonami, *et al.*, *Sci. Rep.*, 2, 507 (2012).

著者紹介

栗原 治 (くりはら・おさむ)

(独)放射線医学総合研究所
(専門分野/関心分野) 個人被ばく線量評価/放射線計測



解説シリーズ

世界の原子力事情

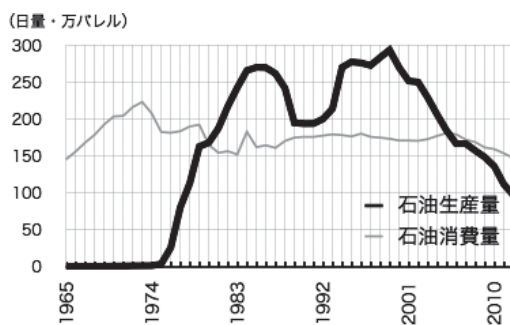
第2回 英国の現状と新規プロジェクト

日本原子力産業協会 石井 敬之

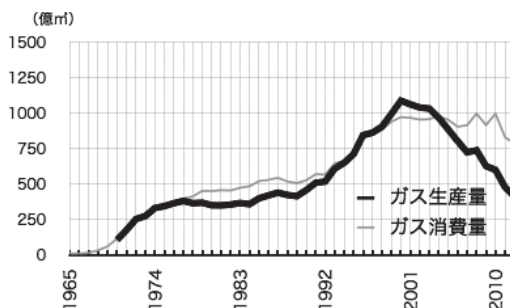
原子力規制体系もほぼ確立し、政策面での支援も明確に示されている英国では、外資系企業を中心とする3グループが新規原子力発電所建設に名乗りを上げている。特に2012年末の日立製作所によるホライズン・ニュークリア・パワー社の買収は、英国で大きな話題となった。活況を呈する英国の新規原子力プロジェクトをめぐる動向をお伝えする。

I. 英国の現状

英国はかつて北海油田・ガス田の開発で一世を風靡したが、それは過去の話となっている。石油／ガスの生産量は前世紀末より下降に転じており、近年では国内消費量を下回っている(第1, 2図)。



第1図 英国の石油生産量と消費量の推移
(BP統計2013年版より作成)



第2図 英国の天然ガス生産量と消費量の推移
(BP統計2013年版より作成)

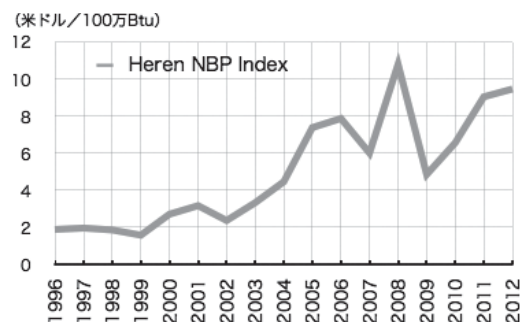
エネルギー・気候変動省(DECC)が発表した最新統計によると、英国の2012年の電力供給量(ネット値)は3,539億kWhでほぼ前年レベル。天然ガス価格の高騰を受け(第3図)、発電部門の天然ガス使用量は2011年の2,641万toeから2012年は1,841万toeと大幅に減少。発電燃料全体に占めるシェアは35%から24%に下落した。一方、石炭は天然ガスの代替として活躍し、3,433万toe(2011年=2,603万toe)と大幅増。シェアも34%から44%に上昇した(第4図)。

英国は電力輸出入に関し、フランスとの間で1986年に連携線が開通。以降、常に輸入超過の状態である。2011年にはオランダとの間の連携線も開通したため、2012年の電力輸入量(ネット値)は120.5億kWhとなり、2011年の62.2億kWhから倍増している。

1. 原子力発電の現状

2013年9月現在、英国で運転中の原子力発電所は計16基・1,092.7万kW。2012年の原子力発電電力量は704億kWhで、総発電電力量に占める原子力シェアは19.4%だった。点検あけのプラントが復帰したことで2011年以降の設備利用率は65%前後を維持しているが、過去最高だった1998年の80.1%に比べると低調である。

英国は原子力発電のパイオニアとして、1998年には



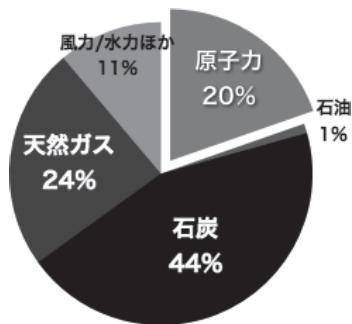
第3図 英国の天然ガス価格の推移
(BP統計2013年版より作成)

Current Trends in Nuclear Energy(2): Current Status and New Projects in the UK Nuclear: Noriyuki ISHII.

(2013年9月25日受理)

■前回タイトル

第1回 福島事故後の中国の原子力開発



第4図 2012年の英国総発電電力量の燃料別内訳
(DECC 統計より作成)

35基・1,417.3万kWの原子力発電所を擁し、原子力発電電力量は995億kWh、原子力シェアは27.4%を誇る原子力発電大国だった。しかし、その大半が出力の小さなガス冷却炉であり、軽水炉は1995年に運開したサイズウェルB(PWR, 125万kW)の1基のみである。

ガス冷却炉の中でもマグノックス炉と呼ばれるGCRは、原子力開発初期段階の1950～1960年代に開発された炭酸ガス冷却炉で、いずれも出力は6万～50万kW級と小さい。英国が世界に先駆けて実用化に成功したマグノックス炉だったが、運転コストが売電価格を上回るケースも多く、老朽化も進んでいることから、英国ではマグノックス炉は「原子力債務」に分類されている。マグノックス炉を所有・運転していた英原子燃料会社(BNFL)は2000年5月、全マグノックス炉(計20基=当時)の閉鎖計画を発表し、現在も運転を続けているマグノックス炉はウイルバ1号機(56.5万kW)だけである。なおマグノックス炉の所有権はすべて、2006年に設立された原子力廃止措置機関(NDA)に移管されている。

残る運転中の15基は、出力60万kW台の改良型ガス冷却炉(AGR)が14基と、国内唯一の軽水炉であるサイズウェルBで、AGRとPWRは競争力があるプラントとして1996年にブリティッシュ・エナジー社の所有となった。その後、同社は2001年、英国電力市場がプール制から新電力取引制度(NETA)へ移行したことによる売電価格の大幅な下落により経営破綻。2009年以降はすべてEDFエナジー社が所有している。AGRは改良型とはいえ、いずれも1970～1980年代に運転を開始しており、2016～2023年にかけて閉鎖される計画だ。ただしEDFエナジー社は、全てのAGRで平均7年間の運転期間延長を計画している。サイズウェルBについても、20年の運転期間延長方針を表明している。

英国では運転期間に法的規定がなく、原子力規制庁(ONR)が10年毎に実施する定期安全審査(PSR)で経年劣化の評価を行っている。現時点で言えば、火力プラント等も含めた英国全体で見ると、2020年前後に国内既存発電設備の1/5が閉鎖されることになっている。その一方で、輸送部門や暖房の電化により電力需要は2050年までに倍増する見込みである。

また英国は2008年11月、CO₂排出量を規制する世界初の国内法となる気候変動法を制定。温室効果ガス排出量を2050年までに1990年比で80%削減することを義務付けた。特に電力部門については2020年までに40%削減を義務付けており、気候変動委員会は2009年10月、同目標の最終的な達成のためには、年率2～3%で排出量を削減する必要があるとし、2020年までに、①計2,300万kWの風力発電設備(約8,000基)の運開、②最大4基の石炭火力CCS実証設備の運開、③最大2基の原子力発電所の運開——が必要との見解を示した。特に原子力発電所については、2022年までにさらに1基を運開し、計3基の新規炉が必要と強調している。

2. 原子力政策

原子力政策については現キャメロン政権(保守党と自由民主党の連立政権)が2010年6月、再生可能エネルギーやCO₂回収・貯留(CCS)と並び、原子力が英国の将来に不可欠な技術の一つであると位置づけ、事業者に新規原子力プロジェクトの推進を促した。ただし、原子力発電プロジェクトも他の大規模プロジェクトと同様の認可手続きを踏むこと、原子力発電への補助金は拠出しないこととされた。

その一方で政府は2012年11月、電力市場改革(EMR)などを盛り込んだ新しいエネルギー法案を発表。市場原理を活用することで、電力価格の高騰を抑えつつ低炭素電源開発を促進する方針を明らかにした。具体的には、政府直轄の電力買取事業者を設立。市場の電力価格と行使価格(Strike Priceと呼ばれ、事前に決めた価格で売買する権利が保障される)との差額を、発電事業者と買取事業者の間で清算する長期固定価格買取制度(CfDs)を導入する。市場価格が行使価格を下回った場合、発電事業者は差額を補填される。逆に市場価格が行使価格を上回った場合、発電事業者は上回った分を払い戻す。これにより大幅な電力価格の高騰を抑えつつ、発電事業者にとっても、将来的な投資の確実性を担保することができる。

加えて政府は2012年12月、英国国内原子力サプライチェーンの再構築を目指したアクション・プランを発表。国内プロジェクトのためにサプライチェーンを構築するだけでなく、長期的には英国を供給基地として海外プロジェクトへも積極的に参画していきたい考えだ。

II. 新規建設へ向け整備が進む

1. 許認可手続き

英国では大規模インフラ・プロジェクトには、これまで数十年単位の時間がかかり、英国で最後に建設されたサイズウェルBのケースでは、許認可申請(1973年)から営業運転の開始(1995年)まで22年間、平均して年間150人もの規制当局スタッフを同発電所の許認可手続きに浪費した。こうした反省から許認可手続きを①原子炉

設計の認証, ②サイトや運転者を特定した上でのサイト許認可, ③開発合意と呼ばれる大規模インフラ計画の審査——の3つに分け, リードタイムを短縮させることで, 新規原子力発電所への投資促進をねらっている。

(1) 包括的設計審査(GDA)

GDAは新規建設に向けた事前設計認可で, ONRと環境庁が実施。法的義務のあるものではないが, GDAでの検討事項がサイト許可の審査にも反映される。有効期限は10年。

すでに仏アレバ社のUK-EPR(160万kW)は2012年12月に審査を完了し, 新規建設炉型の一つとして承認された。ほかに審査中の炉型は日立GEニュークリア・エナジー社(HGNE)のABWR(130万kW級)のみで, 米GE日立ニュークリア・エナジー社(GEH)のESBWR(155万kW)と米ウェスチングハウス社のAP1000(110万kW)は, 炉メーカー側の要請により現在審査が凍結されている。

GDAの審査コストは申請者負担であり, 一部試算では1炉型あたり約3,500万ポンド(53億円)と指摘されている。そのため炉メーカーとしては採用される見通しがない限りGDAプロセスを継続することは難しいだろう。

最近では2013年9月, フィンランドのフォータム社と露ロスアトム社が英ロールス・ロイス社と共同で, 最新型VVERの英国導入に向けた検討を開始したことを明らかにした。

(2) サイト許可(NSL)

NSLは1965年原子力施設法に規定されており, ONRが実施している。英国での原子力発電所の新設において, 法的に必要なワンステップの許認可プロセス。原子力事業者は所有サイトに関し, 用途(発電プラント, 研究炉, 燃料加工施設, 再処理施設, 放射性廃棄物貯蔵所等)を明らかにした上で, ONRに設計, 建設から廃止措置にいたるまでの事業計画全体を承認されなければならない。サイトの適性のほかに, 申請事業者の組織体制や安全管理能力なども問われる。

(3) 開発合意書(DCO)

戦略的サイト評価(新規原子力発電所の建設に適したサイトを評価)に基づき, 政府が2011年6月に発表した8サイトを対象に, 事業者らは新設計画を計画審査庁に申請する。計画審査庁は迅速(1年が目安とされている)に新規建設計画を審査・承認することになっている。8サイトはいずれも既存原子力発電所が運転中か, かつて運転していたサイトの近郊である。

2. プロジェクト概要

第5図に示すように, 英国では現在, 5サイトでの新規原子力プロジェクトが浮上している。

(1) EDF エナジー社

EDF エナジー社はフランス電力(EDF)の英法人で, 上述の通り英国で運転中の全てのAGRとPWRを所有



第5図 英国の新規プロジェクト5サイト(2013年9月現在)

している。現在, ヒンクリーポイントとサイズウェルの2サイトでの新規建設プロジェクトに注力している。

(a) ヒンクリーポイントCプロジェクト

英国で最も進んでいるプロジェクト。採用炉型はUK-EPR×2基で, 設計寿命は60年を想定。上述の通りGDA審査を完了し, NSLも同11月に取得。2013年3月には計画審査庁よりDCOが発給された。現在は最終判断に先立ち, 英政府とCfDsの行使価格の設定額を協議中である。

EDF エナジー社は2011年7月に地元自治体の承認を得て, サイトでの事前準備を本格化させている。同サイトはヒンクリーポイントA(GCR×2基, 両機とも2000年に閉鎖), 同B(AGR×2基, 両機とも2023年に閉鎖予定)が立地しており, 新たに同Cを建設することに対し抵抗は少ない。

契約発注関係では, 2011年中に仏アレバ社との圧力容器鍛造契約を完了。サイトの掘削や道路などのインフラ整備については2012年2月に, 英国の土木建築企業と準備作業契約を交わし, 整地作業も進行している。

EDF エナジー社は, 建設期間だけで最大5,000名の雇用が発生し, 今後60年にわたって700名の正規雇用と200名の非正規雇用が発生すると試算している。

(b) サイズウェルCプロジェクト

同じく採用炉型はUK-EPR×2基。サイズウェル・サイトも, サイズウェルA(GCR×2基, 両機とも2006年に閉鎖), 同Bが立地しており, 同Cの建設に地元からの抵抗は少ない。

EDF エナジー社は, 2012年11月より地元を対象にした公聴会を開催している。建設期間だけで最大5,600名の雇用が発生し, 今後60年にわたって700名の正規雇用と200名の非正規雇用が発生すると試算している。

(2) ホライズン・ニュークリア・パワー社

ドイツ電力最大手のE.ON社と第2位のRWE社が2009年11月に設立。ウェールズ北部のウィルバ・サイトとイングランド南西部のオールドベリー・サイトでの

プロジェクトを掲げた。しかしドイツの電力2社は2012年3月、ドイツ政府の脱原子力政策を受けてホライズン社の売却方針を決定。プロジェクトは一時宙に浮いた状態となったが、日立製作所が同社を買収し、プロジェクトを継続している。

採用炉型は日立GEニュークリア・エナジー社(HGNE)製130万kW級ABWRで、ウィルバ(先行サイト)とオールドベリーの2サイトにそれぞれ2~3基建設する計画だ。

ホライズン社はGDA審査と並行して、サイトでの準備作業を進めたい考えだ。また各サイトでのプロジェクトにより、建設時にはそれぞれ5,000名の雇用が発生し、運開すればそれぞれ800~1,000名の雇用が発生すると試算している。

英国の中でもウェールズは失業率が8.3%と高く(2013年3月末。英国平均は7.8%)、多くの若者が域外へ流出している。ウェールズにはウィルバとトロスフィニッドの2サイトに原子力発電所が立地しているが、ウィルバが2014年9月に閉鎖予定であることに加え、すでに閉鎖されているトロスフィニッドでは2016年に廃止措置が完了する。これらによる雇用の激減はウェールズ経済にとって大きな打撃となると考えられている。また、若者の流出により、コミュニティだけでなく、公用語であるウェールズ語の存続も危ぶまれており、大きな社会問題となっている。そのためホライズン社に対する期待は大きく、ウェールズ政府、ウェールズ産業界、地元自治体、教育機関等がウィルバ・プロジェクトを全面的に支援する体制を整備している。

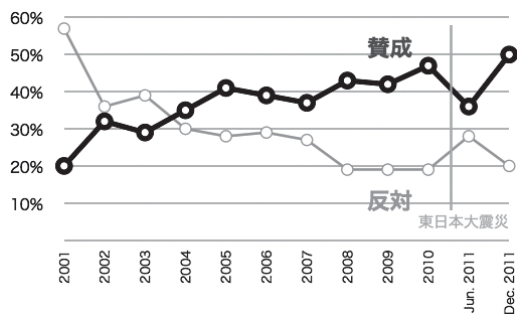
(3) NuGen社

スペインのイベルドロラ社、仏GDFスエズ社、英スコティッシュ&サザン・エナジー社が2009年2月に設立した合弁会社。同10月にNDAよりセラフィールド・サイト近郊の用地を7,000万ポンドで取得し、ムアサイド・プロジェクトと名付け、採用炉型は未定ながら合計出力360万kWの原子力発電所の建設を目指している。2015年頃には最終的なプロジェクト実施判断を下す予定だ。

Ⅲ. 原子力へ賭ける英国の意気込み

以上見てきたように、英国は将来の電力確保を見据え、円滑に新規原子力プロジェクトへの投資が進むよう様々な施策を打ち出している。しかし強調しておきたいことは、英国にとって新規プロジェクトは単なる発電プラントの建設ではないということだ。英国は原子力プロジェクトの実施を通じて、経済成長、技術力のさらなる向上、サプライチェーンの再構築、高いスキルを持った人材の育成、ひいては雇用の確保を目指している。

こうしたことが国内で十二分に認識されており、議会では与野党挙げて原子力プロジェクトを支持している。



第6図 新規原子力に対する英国世論(Ipsos MORI調べ)

また国民世論も原子力プロジェクトへ高い支持を示している。

YouGovとサンデー・タイムズ紙が2013年8月に実施した世論調査結果によると、政府が原子力プロジェクト促進のため資金を拠出することに対し、賛成が49%、反対が28%で、同2月に実施した世論調査結果(賛成40%、反対35%)よりも賛成が9ポイント上昇する一方で、反対は7ポイント下げている。Ipsos MORIが継続して実施している原子力に関する世論調査結果(第6図)では、2010年(賛成47%、反対19%)から3.11後の2011年6月(賛成36%、反対28%)で賛成が下落したが、同12月(賛成50%、反対20%)には再び数字を回復している。

昨今のわが国ではとすれば忘れられがちだが、原子力は決してひとつの産業分野ではない。原子力とはすべての工程に高い安全性を求められるがゆえに、数多くの産業分野にまたがり、エンジニアリング力だけでなく、マネジメント力、コミュニケーション力など、高度な総合力が試される場である。3.11以降その傾向はますます顕著になり、原子力に従事する人間にはより高度なスキルが求められるようになってきている。それを苦に原子力から撤退するという考えは安易である。われわれはより高次を目指して邁進するべきだ。

— 参考資料 —

- 1) "Energy trends section 5: electricity", Department of Energy & Climate Change, August 2013.
- 2) "Statistical Review of World Energy 2013" BP, June 2013.
- 3) 「第49回英国の新規原子力プロジェクト」, JaiifTV 配信動画(2013年6月).
- 4) 「第50回英国の新規原子力プロジェクト—ウェールズ編」, JaiifTV 配信動画(2013年7月).
<http://www.jaiifor.jp/ja/jaiifv/index.html>

著者紹介



石井敬之 (いしい・のりゆき)

日本原子力産業協会

(専門分野/関心分野) 海外原子力動向調査, 原子力海外プロモーション

解説

大型並列計算機を利用した地震動と地震応答のシミュレーション

東京大学 地震研究所 堀 宗朗

本論は「京」コンピュータのような大型並列計算機を利用した地震動と地震応答のシミュレーションの現状を解説する。大型並列計算機には万単位の計算ノードを効率的に利用するプログラムの開発が必要となる。このようなプログラムが開発されれば、地殻や地盤の詳細な解析モデルを使うことで、従来とは桁違いの時間・空間分解能を持つ地震動のシミュレーションを行うことができる。大型並列計算機を利用した地震動のシミュレーションでは、実測された地震動の再現が試みられている。大型並列計算機を利用することで、構造物の地震応答シミュレーションでも、より高い空間分解能で地盤と構造物の相互作用を解析したり、損傷・破壊の過程を解析したりすることができるようになる。更なるプログラム開発は必要となるが、詳細な解析モデルを使った多数の地震シナリオに対する地震応答シミュレーションが短時間で実行できるようになると、想定外の被害をなくすことにつながることを期待される。

I. はじめに

2013年の時点において、2011年東日本大震災からの復興は未だ完了していない。この震災が国難とも考えられる未曾有の大災害であることは論を俟たない。広域を襲った津波の被害と福島原子力発電所の事故は長く記憶に残るであろう。この津波と事故をもたらした直接の原因は、想定外と称された我が国観測史上最大の地震(2011年東北地方太平洋沖地震)が引き起こした津波である。一方、地震が引き起こす地盤の揺れ、すなわち地震動が引き起こした被害は、津波の被害のほどではなかった。被害は皆無では決してないものの、地震の規模から予想される被害よりは小さかったとされている。

東日本大震災の教訓を受けて、2011年東北地方太平洋沖地震と同じプレート境界の地震と分類される南海トラフの巨大地震に関して防災・減災対策を進める声は高い。津波に関わる対応の見直しを中心であるが、地震動も決して軽視はできない。日本海溝と比べ南海トラフは陸に近く、同じ程度の規模の地震であっても、地震動は大きくなる。2011年東北地方太平洋沖地震とは異なり、いわゆる長周期地震動が長く継続する可能性が指摘されている。さらに、南海トラフにあるプレート境界が一度

に破壊し極めて大きな地震となる可能性のほか、日単位ないし、もしくはそれ以上の時間をかけて破壊する可能性もあり、地域によっては大きな地震動を2回受ける可能性がある。

建物・社会基盤施設を造る建設産業では構造物の耐震性の確保は重要な課題である。建物・社会基盤施設はサイズが大きいため、地震動の影響が相対的に大きいからである。簡単に説明すると次のようになる。サイズが2倍となると、体積・重量が8倍となり、地震動の加速度がもたらす力も8倍となる。一方、断面は4倍にしかない。地震動が引き起こす断面当りの力、すなわち応力は2倍になってしまう。このため、建設産業に直結した地震工学では、地盤の地震動と構造物の地震応答に関しては継続的な研究開発が進められている。その一つが大型並列計算機を利用したシミュレーションである。

本論では、著者が関わっている「HPCI戦略プログラム(分野3)、防災減災に資する地球変動予測」であげられている成果を中心に、大型並列計算機を利用した地震動と地震応答のシミュレーションに関して解説する。この戦略プログラムは、我が国最高のスーパーコンピュータ「京」の能力を最大限に活用して世界最高水準の研究成果を創出するものである。本論は、最初に大型並列計算機の概要を説明する。次いで地震動のシミュレーションの現状と課題を説明する。2007年中越沖地震のシミュレーションを例として取り上げる。最後に、超高層ビルと大型橋梁を例として、地震応答のシミュレーションの

Development of Strong Ground Motion and Structure Seismic Response Simulation Method using Large Scale Parallel Computer: Muneo HORI.

(2013年 9月15日 受理)

現状と課題を説明する。

II. 大型並列計算機

大型並列計算機に関する説明は釈迦に説法の読者も多いであろうが、復習の意味も兼ねて、本章では大型並列計算機の仕組みとそれを使うプログラムに関して簡単に説明する。「京」は約8万の計算ノードを使う大型並列計算機であり、各ノードには8個のコアが搭載されている。ノード内のコアはメモリーを共有するが、ノード間ではメモリーが共有されていない。共有されたメモリーを持つコア間のデータのやり取りに比べ、メモリーが分散されたノード間のデータのやり取りには時間がかかる。計算速度の向上には、このノード間のデータのやり取りにかかる時間を短縮することが重要である。「京」では独自のハードウェアを開発し、時間短縮を図っている。

万単位のノードに多数の計算を効率的に分配することは決して単純ではない。さらにノードの中にある8個のコアに適切に計算を配分することも単純ではない。このため10 PFLOPS (Peta Floating point Operations Per Second: コンピュータの処理性能を表す単位の一つで、浮動小数点演算を1秒間に1,000兆回行うことを表す単位)という「京」の計算性能を十分に発揮できるような優れたプログラムを開発することは難事となる。特に地震工学で標準的に利用される有限要素法は、不規則に並んだ節点を使った数値計算である。規則正しく並んだ構造格子に比べ、このような非構造格子を使うプログラムは、計算ノードやコアへの計算の配分がより難しくなる。さらに有限要素法に特有な、疎マトリクスを使うベクトル・マトリクス演算は、他の演算に比べ、汎用ライブラリーの整備が進んでいないので、計算性能を上げることが難しい。

有限要素法の利用を前提とする場合、「京」のような大型並列計算機の利用は明るい状況にないことは確かである。しかし、10億自由度を超える解析モデルの数値解析に対し一定の性能を出せる有限要素法のプログラムの開発が進んでいることもあり、全く悲観的ということではない。遠くない将来、人件費等の理由で実験のコストが増大し、シミュレーションを実験の代わりに使うことは予想されている。大型並列計算機の利用を前提として、大規模かつ高速という性能を持つ有限要素法のプログラム開発は不可欠であると考えられる。

将来を見越した技術開発とは別に、そもそも「このような超大自由度解析モデルを使ったシミュレーションに地震工学的な意義があるのか」という問いを持つ方も少なからずいよう。地震工学的意義はさておき、シミュレーションの結果の品質を保証するためには、シミュレーションの解の精度を調べることが不可欠となる。厳密な解析解を見つけることが難しい複雑形状の非線形問

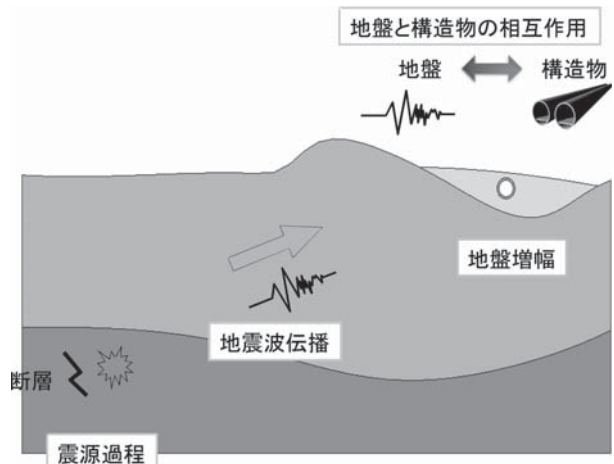
題では、超大自由度解析モデルのシミュレーションによる解が解析解の代替として有効利用できる。現時点においても、複雑な非線形問題に対しては、数値的に十分収束したシミュレーションの解が参照解として使われる場合がある。このような参照解を得るために、大型並列計算機の利用を前提とした、超大自由度解析モデルを使ったシミュレーションには意義があると考えられる。

III. 地震動のシミュレーション

地震のシミュレーションとは通常、地殻・地盤のモデルを使って、プレート境界や断層の破壊である震源過程、破壊によって発生する地震波が地殻内を伝わる地震波伝播の過程、そして地表面で地震波が大きくなる地盤増幅の過程という3つの力学過程を解析する(第1図参照)。地震学の分野では長く差分法を使ったシミュレーションの手法が開発されてきた。近年は地殻構造や地表面・地層の幾何形状の影響をより正確に計算するため、有限要素法のようなシミュレーションの手法が研究開発されてきている。なお、地殻・地盤は単純な線形弾性体ではなく、地震波の減衰を表現する粘弾性体のような固体モデルが使われる。

地震のシミュレーションの中で、地震動のシミュレーションは特に地表付近の地盤増幅の過程に絞ったシミュレーションである。通常、S波速度300 m/s程度の層の上にある厚さ10~100 mの地盤に対して解析モデルが作られる。地盤が軟らかいため、底部の固い層から入った地震動は増幅することになり、構造物の固有周期の範囲である1~10 Hzの周波数帯では10倍程度に増幅されることもある。増幅の度合いは地盤を構成する地層の形状にも依存し、隅角部の応力集中と同様、地層の急変部には大きな増幅が起こる。また地盤材料は非線形弾塑性の特性を持つほか、地下水の有無によっても力学特性が変わることもあり、地震動のシミュレーションは決して簡単ではない。

解析モデルが異なることから明らかなように、地震シ



第1図 地震動のシミュレーションの概念図

シミュレーションは100～1,000 mの空間スケール、地震動シミュレーションは1～10 mの空間スケールである。空間スケールの差は時間分解能も影響する。波長が周波数によるためである。また弾性速度も地殻は1,000 m/s、地盤は100 m/sのオーダーである。硬い地殻の上に薄くて柔らかい地盤が載っている状態であり、地殻の波動と地盤の波動には相当の差異が生じ、地殻と地盤を一体として解析することは単純ではない。

上記を踏まえ、著者のグループはMMA (Macro-Micro-Analysis) と称するマルチスケール解析を適用し、地震動のシミュレーションを行っている。MMAは特異摂動展開を用いて波動方程式を数値解析する手法である。地殻には粗いスケール、地盤には細かいスケールで解析モデルを作り、地殻の数値解の空間分解能を上げることで地盤の数値解を求めている。

CREST「原子力発電プラントの地震耐力予測シミュレーション」(吉村忍東京大学教授研究者代表, 2007～2011年度)において、MMAの検証と妥当性確認が行われた。検証では解析解との比較、妥当性確認では2007年中越沖地震を念頭に新潟県でのK-NET観測地震動の再現が試みられている(第1表, 第2図参照)。当時としては比較的大規模な解析モデルを利用し、1 Hzまでの周波数帯での精度を検証し、地殻構造をできるだけ正確に取り込んだ解析モデルが使われている。もちろん、断層で起こる震源過程自体が不明であるため、地震動の妥当性確認は簡単ではないが、観測された複数の地点の地震動の再現に成功している。

より大規模な数値計算が必要となるが、解析モデルの詳細度を上げることで、空間スケールと周波数に対応する時間と空間の分解能を上げることができる。もちろん、計算量も解析モデルの自由度に応じて増えることになる。しかし、現時点でも、詳細な地殻・地盤のデータがあれば、10 Hzを目途に時間分解能を上げた地震動のシミュレーションを行うことは可能である。

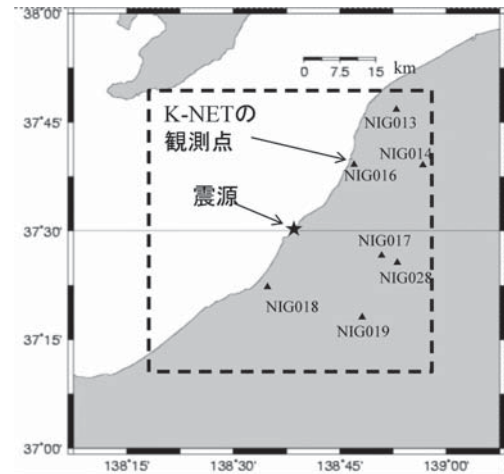
地震動が大きくなり、発生する地盤の歪が0.1%を超えるようになると、地盤の非線形弾塑性の影響は無視できなくなる。地震動が引き起こす液状化現象の再現・予測には地盤と地下水の連成解析も必要となり、これにも地盤の非線形弾塑性の考慮が不可欠である。金属材料と異なり、地盤の塑性は拘束圧に依存するほか、応力の履歴にも大きく影響される。また歪の増加に伴い応力が低下することもあり、数値解析は決して単純ではない。しかし、高い分解能と信頼性を持つ品質が保証された地震動のシミュレーションのためには、詳細な解析モデルを使った非線形解析が必要とされている。

IV. 構造物のシミュレーション

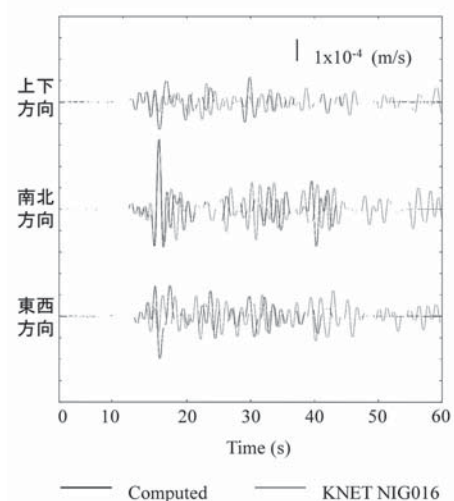
前述の「京」のプロジェクトでは、鉄骨造の超高層ビルと鉄筋コンクリート橋梁(RC橋梁, Reinforced

第1表 解析モデルの要素数と自由度

	Quantity	Memory usage
Tetrahedral	225,361,034	101.8 Gb
Hexahedra	96,805,249	
DOF	421,940,238	



(a) 観測点の配置



(b) 観測データとシミュレーションの比較

第2図 MMAを利用した地震動のシミュレーションの例

Concrete) に対し、大型並列計算機を使った地震応答シミュレーションが行われている。解析手法は非線形有限要素法が使われている。このプロジェクトでは、地震動が引き起こす構造物の局所的な損傷を高い空間分解能で計算すること、地盤と構造物の動的相互作用を近似・簡略化なしで計算すること、そして想定外をなくすため100や1,000のオーダーの地震動を入力した計算を行うことを目標にしている。この3つの目標全てに大規模数値計算が必須である。

1. 鉄骨造の超高層ビル

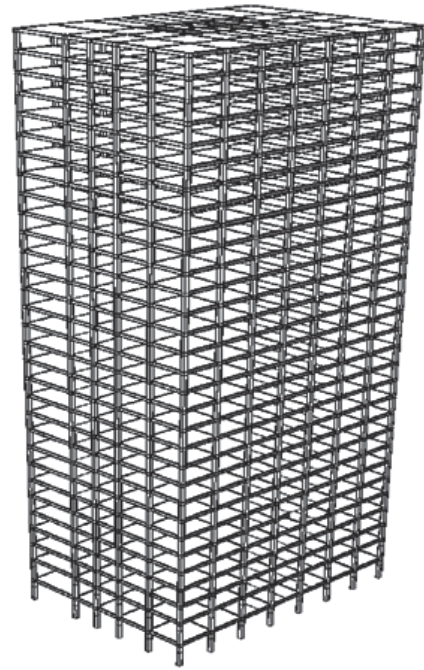
鉄骨造の超高層ビルは、一般に鋼材によって組み合わせて造られる。板形状の鋼材から柱・梁を作り、それを構造部材として組み合わせて超高層ビルという構造にするのである。地震応答シミュレーションでは構造部材のモデルを使うことが一般的であり、多数のシェル要素から構成される解析モデルを使うことは稀である。鋼材の局所的な損傷の解析にはシェル要素よりソリッド要素が適しているが、ソリッド要素の解析モデルではシェル要素の解析モデル以上に大規模となり、このような解析モデルを使うことは皆無と言ってもよい。そもそも薄い鋼材に対しては、板厚方向に数層のソリッド要素が必要となり、解析モデルの自由度は1,000万を簡単に超えてしまう。100秒のオーダの地震動に対し0.01秒のオーダの時間増分で動的非線形解析を行うという解析ステップの規模も見逃せない。

「京」のプロジェクトでは、あえてソリッド要素を使った解析モデルを構築し、鋼材の局所的な塑性化や、塑性化に伴う鋼材の座屈という損傷が発生・進展する過程のシミュレーションを試みている(第3図参照)。このような超大自由度の解析モデルを構築すること自体、簡単ではない。1,000万から1億、10億のオーダのマトリクス方程式を解くソルバ(有限要素法などの数値解析ではマトリクス方程式を解くことで解を計算するが、このマトリクス方程式を解くプログラムをソルバと呼ぶ)の開発も必要である。現在、倍精度の変数が使われているが、このオーダのマトリクス方程式を解くソルバには、より高い精度の変数を使う必要がある。解析モデルと同様、時刻歴となる解析結果はテラバイトのオーダとなることもあり、高度な後処理も必要となる。

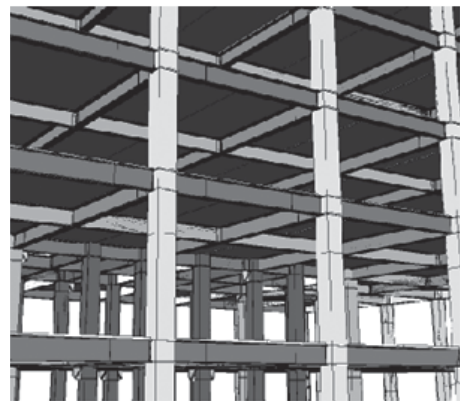
超高層ビルのような大規模構造物では、地盤と構造物の動的相互作用を考える必要がある。硬い構造物が軟らかい地盤の上に載っているため、地盤が構造物を揺らすだけでなく、構造物の揺れが(少なくとも構造物近辺の)地盤の揺れを変えるからである。「京」のプロジェクトではソリッド要素を使った地盤の解析モデルを構築し、この相互作用を計算している。地盤と構造物の境界の取り扱いなど、未解決の問題は残されているものの、近似や簡略化をすることなく、丸ごと地盤と構造物を計算するのである。前述のように、品質保証のために、シミュレーションでは検証と妥当性確認が必要であり、検証には解析解が使われる。地盤-構造物の連成も取り込んだ地震応答の非線形動的の問題では解析解がないため、超詳細モデルを使った無近似のシミュレーションの解は、解析解に代わる参照解となることが期待される。

2. RC 橋梁

RC 構造物は、圧縮に強い安価なコンクリートと高価であるが引張にも強い鉄筋を組み合わせることで、コス



(a) 全体図

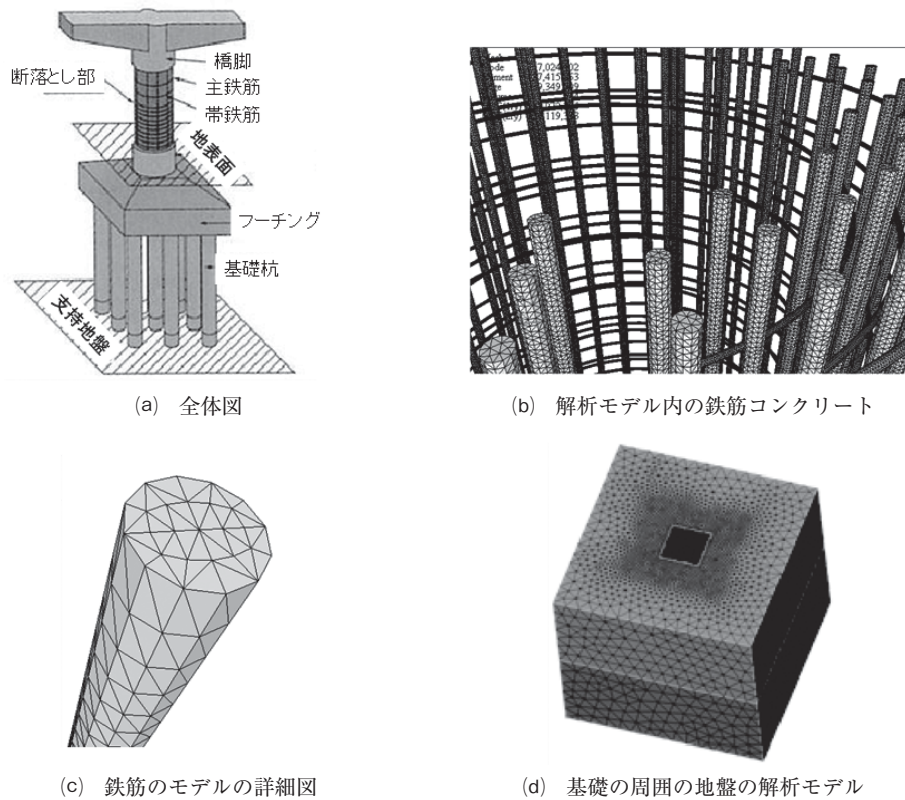


(b) 柱・梁の構造部材

第3図 鉄骨造の超高層ビルの解析モデル

トパフォーマンスの高い優れた力学特性をもつ構造となる。橋梁の主要部である橋脚にRC橋脚が利用されることが多い。一方、力学特性が全く異なる細い鉄筋と厚いコンクリートから構成されるため、他の構造物に比べ、RC構造物の数値解析は難しい。「京」のプロジェクトでは、鉄筋とコンクリートを分離した超詳細な解析モデルを構築し、大規模数値計算の利用によって数値解析を行うことを試みている。前章で述べたように、準静的解析に比べ、地震応答という動的解析の計算量は10,000倍のオーダで大きくなる。RC橋梁の地震応答解析は他の構造物よりも大規模計算が必要である。

コンクリートの非線形の原因の2つは、履歴に強く依存する非線形弾塑性と脆性破壊で生じる亀裂によると考えられている。微小な亀裂が多数発生し、進展につれて大きな亀裂が形成され、破壊に至るといった亀裂の発生・



第4図 RC橋脚の解析モデル

進展過程の解析は難しい。これは、厚いコンクリートの中に折れ曲がったり枝分かれしたりした複雑な亀裂面が形成されるためである。著者のグループは、亀裂面の形状を決定しながら発生・進展過程を数値解析するために、新しい関数の離散化手法を考案し、有限要素法に実装している。亀裂面のばらつきを考慮できる点が特徴である。

「京」のプロジェクトでは、ソリッド要素を使って鉄筋一本一本をモデル化したRC橋梁の解析モデルが構築されている(第4図参照)。この詳細解析モデルを使って地震応答過程のシミュレーションを行う。RC橋梁は、橋脚のほか、桁と基礎、そして基礎から構成されている。超高層ビルと同様、基礎の周囲の地盤も解析モデルに含まれており、地盤と構造物の連成を近似・簡略化することなく解析する。複数の橋脚とそれを結ぶ桁を使っているため、RC橋梁の解析モデルは大自由度である。「京」の計算性能が必要である。地盤のみならず橋脚の連成も近似・簡略化することなく解析できる。

RC橋梁の地震応答シミュレーションでは、コンクリート中の亀裂の発生・進展過程の数値解析に基づく、損傷・破壊の数値解析が重要な要素である。数値解析手法の高度化を含め、この数値解析の検証と妥当性確認を進めているが、現時点で、ある程度合理的な計算結果が得られている(第2表、第5図参照)。損傷・破壊の数値解析では、そのばらつきを評価することが必要であ

る。同種のコンクリート供試体の破壊実験でも、亀裂の発生・進展過程は異なり、破壊荷重等も含め、ばらつきが生じる。ばらつきの評価には要素分割を変えた解析モデルを多数使うモンテカルロシミュレーションを行わなければならない。必要とされる計算量はシミュレーションの回数に比例して増えることになる。まさに大規模数値計算が必要となる。

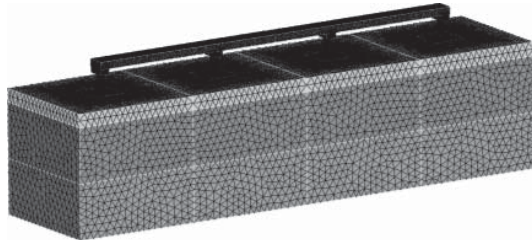
V. おわりに

東日本大震災を引き起こした2011年東北地方太平洋沖地震は、三陸沖から茨城県沖にかけて大きくプレート境界が破壊した巨大地震であるが、その震源過程は大きく3つの箇所にて識別でき、3つの箇所が約3分の間に破壊したことが観測データからの逆解析によって示されている。地震のような自然現象に対して「もし」を考えることは無意味であるが、あえて、もし3つの箇所の破壊が分単位ではなく日単位で起こったとすることを考えれば、津波の規模は相当小さかったかもしれない。地点毎の地震動の継続時間も短かったであろう。

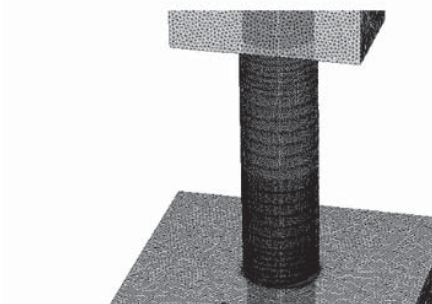
発生が予想されている南海トラフの巨大地震もプレート境界の地震であり、どのような地震が発生するか、例えば東海から南海まで一挙に壊れるのか、それとも過去と同様、日単位・年単位の時間差で壊れるかは不明である。想定外の被害をなくすためには、さまざまな地震シナリオを考えた構造物の地震応答シミュレーションが必

第2表 解析モデルの節点数・要素数・自由度

節点数	19,969,705
要素数	120,694,439
自由度	59,909,115



(a) RC 橋脚の解析モデル



(b) 橋脚に発生・進展した亀裂(橋脚の付け根部分)

第5図 RC 橋梁の解析モデルと橋脚での亀裂

要である。シナリオ数に応じて数値計算の規模は増えてしまうため、詳細な解析モデルに必要な大規模数値計算を多数回繰り返すことが必要である。このような大規模数値計算を実行する技術の研究開発が望まれる。

— 参考資料 —

- 1) 京計算機 HPCI 戦略プログラム(分野3), 防災・減災に資する地球変動予測,
<http://www.jamstec.go.jp/hpci-sp/>
- 2) 原子力発電プラントの地震耐力予測シミュレーション, 研究終了報告書,
http://www.jst.go.jp/kisoken/crest/research/s-houkoku/h24_1306yoshimura.pdf
- 3) 設計用大規模計算力学システム開発プロジェクト, ADVENTURE PROJECT,
<http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/jp/>
- 4) 小国健二, 堀宗朗, 阪口秀: 破壊現象の解析に適した有限要素法の提案, 土木学会論文集, Vol. 766 I-68, pp. 203-217, 2004.

著者紹介

堀 宗朗 (ほり・むねお)

東京大学(理化学研究所兼務)

(専門分野/関心分野) 計算地震工学/
特に地震工学での大規模計算の利用



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 —
(11月5日第5回編集幹事会)

【論文誌関係】

- ・ 学位論文全文電子公開に伴う本学会論文誌の受理要件の変更に関して、早急に案内文を学会誌やホームページで周知することとした。
- ・ 英文誌の出版状況が報告された。10月期に29論文が投稿された。12月号電子版公開済み、1月号入稿済み。Vol.50の集計値が報告された。
- ・ 冊子体の未着が発生していることが報告され、再送を要求した。
- ・ 和文論文数減少の原因を検討し、部会等に投稿勧誘依頼することとした。
- ・ 2014年度の購読料について検討し、消費税増額分だけの変更とした。
- ・ 論文誌関連規定類の見直し検討経過が報告された。
- ・ JNST 50周年記念 Review (海外著者)の執筆依頼を発送したことが報告された。
- ・ 春の年会で論文誌編集委員会を開催することとし、その内容を検討した。

【学会誌関係】

- ・ 経営改善特別小委員会と編集委員会との意見交換会について、編集長、編集理事から報告があった。
- ・ 炉物理部会、核不拡散・保障措置・核セキュリティ連絡会の担当者から、それぞれの活動状況の説明を受け、学会誌記事になりそうなテーマについてディスカッションを行った。
- ・ 編集委員会運営内規、倫理指針内規について、修正案の報告があった。倫理指針内規についていくつかコメントが出た。そのほか、論文誌幹事会でも出た意見を集約し、最終案を作成していくこととしている。
- ・ Elsevier社が運営している「Scopus」書誌データベースへの学会誌の採録について Elsevier ジャパンの担当者と打合せを行った。その結果、学会誌は主に一般向けの記事で構成されており、論文(特に英文の記述)を掲載しておらず、Elsevierの掲載クライテリアに適合しないので、学会誌記事は採録されないこととなった。

編集委員会連絡先 < hensyu@aesj.or.jp >

報告

JAEA 知財の企業製品化への展開

JAEA 成果展開事業の紹介

独立行政法人 日本原子力研究開発機構 青嶋 厚, 鈴木 義晴, 滑川 卓志

日本原子力研究開発機構では、原子力技術研究開発の過程で得られた特許等(研究開発報告書等による公表成果を含む)の技術知財を民間企業に開放して、企業の製品開発に生かす活動を10年以上にわたり実施してきており、現在までに各種の特徴ある開発製品群を生み出してきている。また、平成23年度からは従来の成果展開事業に加えて3.11の東日本大震災の発生を受け、新たに震災対応のための製品開発という枠組みを作り事業を実施してきている。

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(JAEA)では、保有する特許等の知財の社会への還元活動の一環として成果展開事業を行ってきている。本事業は旧核燃料サイクル開発機構(JNC)が発足した平成10年度に開始し、平成17年度のJNCと旧日本原子力研究所(JAERI)との統合後も、その知財分野等の範囲をJAEA全体に広げて引き続き実施してきている^{1,2)}。本事業では、各年度毎にJAEA保有の特許等を用いて製品開発を行おうとする企業を全国規模で公募・選定し、共同で製品開発を行う。開発期間は原則1年間で、製品開発に当たってはJAEA/企業間で共同研究契約を締結し、JAEAと企業の技術担当者が協力して開発を行う。完成した製品は企業により販売を行い、JAEAは売り上げに対してJAEA特許のロイヤリティを受ける。現在までの製品化は平成24年度までの採択件数82件に対して36件(約44%)であり。また、製品開発を通じて新たな特許創造も目指している。なお、成果展開の公募では平成23年3月11日に発生した東日本大震災を受け、平成23年度からそれまで1つであった公募分類を従来型の「一般対応」と新たな「震災対応」の2つに分けて募集することとした。震災対応については、本年度で3年目を迎えるが、平成24年度末までに4件の採択に対して3件の製品化に成功している。なお、平成25年度は「一般対応」1件と「震災対応」4件の採択を行い、現在実施中である。

2. 成果展開事業の実施の流れとルール

各年度毎の成果展開事業では、前年度の11月頃にJAEAのホームページで提案の公募を行う。公募期間は約3か月程度であり、応募案件については、形式的な審査を行った上で成果展開事業委員会にて審査を行う。成果展開事業委員会は外部の有識者で構成される委員会である。申請者の説明に基づき質疑応答が行われる。成果展開事業委員会は当該年度の4～5月に開催され、成果展開事業委員会での評価結果に基づき提案の採択を行い、5月頃に最終的な採択結果をJAEAのホームページで公開する。なお、これらの手続きの詳細はホームページでの公募時に添付される資料に記載されている。採択テーマが決まると当該企業間と共同研究契約を締結し、JAEAの技術者とともに製品開発を開始する。なお、JAEA/企業間で締結している共同研究契約ではその実施に当たり以下の基本的ルールを定めている。

- (1) 共同研究期間は当該年度1年間とする。ただし、実際は契約期間を含むため2～3ヶ月ほど短縮される。
- (2) JAEAは共同研究費の半分を限度に負担する。ただし、JAEAの負担額は500万円を上限とする。
- (3) 得られた成果はJAEAと企業の共有とする。
- (4) 共同研究の結果、発明等を行った時は、知的財産権は共有とする。

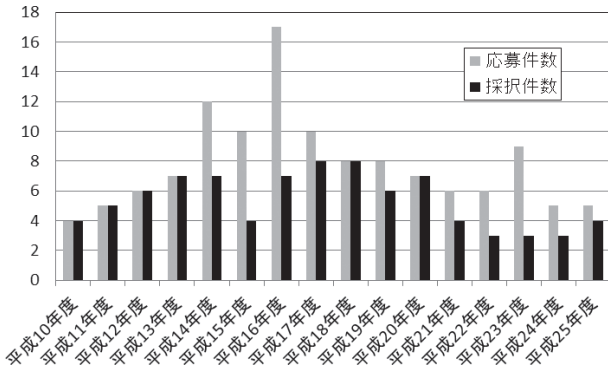
3. 成果展開事業採択テーマの内容

平成10年の成果展開事業の開始以来の応募と採択件数を第1図に示す。各年度の応募数は平均して8件程度、採択テーマは平均5件程度となっている。

平成25年度までの採択テーマを第2図のような分野区分で見てもみる。生活用品とは新素材のめがねレンズや

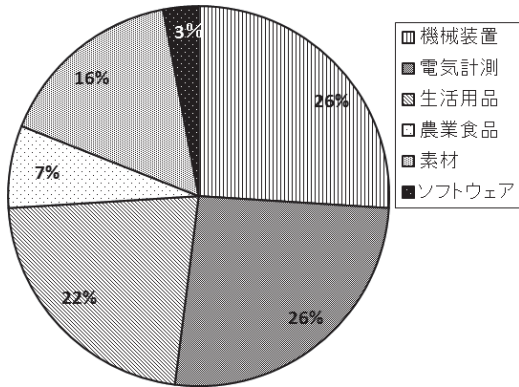
Application of JAEA Patents for Private Company Products. : Atsushi AOSHIMA, Yoshiharu SUZUKI, Takashi NAMEKAWA.

(2013年9月20日 受理)

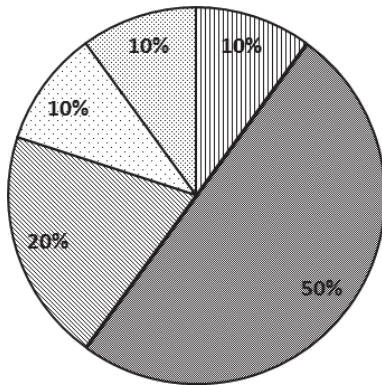


第1図 年度毎の応募と採択テーマの件数

採択テーマ全件(平成10年度～平成25年度)



平成23年度～平成25年度の採択テーマ



第2図 採択テーマの分野別割合

軽量包丁など消費者が使用するものを対象とし、素材とは再生樹脂の開発や新型不燃材の開発など素材開発に重点がおかれているものを対象とした。一般対応テーマに加え震災対応テーマが設定された平成23年度以後の3年間を見ると、震災に対応した電気計測の分類割合が増えている。

4. 「一般対応」の製品化事例

一般対応テーマにおける最近の製品化事例を以下に紹介する。

- (1) チタン系材料による新刃物(福井県越前市の企業)
開発企業は全国の刃物産地にクラッド刃物材(異種金



第3図 製品化したチタンクラッド刃物

属を張り合わせた複合材)を供給している企業であり、軽くてさびないチタンクラッド刃物材の開発を手がけてきたが、高温熱処理時に工材の境界で剥離が生じ製品化が困難であるとの課題があった。JAEAの特許「チタン系金属の肉盛溶接方法」と異材継手の製造に関する技術成果を利用し、境界部に別な金属をインサートすることで従来の課題を解決し、製品化に成功した。(第3図)

- (2) 生分解性樹脂製品の開発(福井県鯖江市の2企業)

ポリ乳酸は生分解性を有し、また、植物由来のプラスチックであることから環境に優しい素材であるが、種々の製品利用に際し課題となるのが透明性と耐熱性の確保である。放射線利用により、これらの課題を解決し2つの製品の製品化に成功している。

- (a) デモレンズ

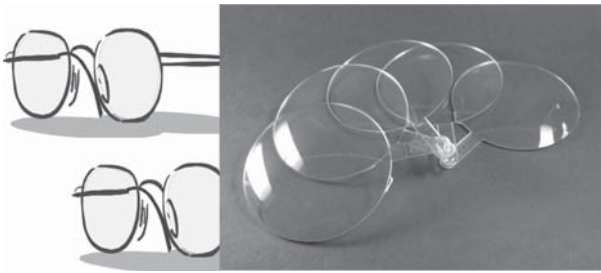
メガネフレームに正規の視力矯正用レンズが入る前にはめ込まれ店頭で並ぶデモンストレーションレンズ(デモレンズ)は、通常、アクリル樹脂が使われ、正規のレンズが入れば全て焼却処分される。植物由来性分解性のポリ乳酸に代替できれば、環境負荷が小さい。

ポリ乳酸製デモレンズの製品化に際し、輸送中の温度上昇により変形してメガネフレームから外れてしまったり、白化(透明なプラスチックが白く濁ること)するなどの課題があった。JAEAの特許「橋かけ生分解性材料の製造方法」を利用し、ポリ乳酸に最適な架橋剤、添加材を配合し、電子線照射による有機高分子の橋掛け構造を導入することで、耐熱性80℃、可視光線透過率90%以上に改質されたデモレンズを開発に成功した。(第4図)

- (b) 食器洗浄機にかけられるプラスチック製食器

同様に、放射線照射によりポリ乳酸の耐熱性を改善して、繰り返し使用が可能な食器を開発した。

従来、ポリ乳酸を耐熱性食器に利用する場合、耐熱性が不足しており、食器洗浄機を利用することができないため、繰り返し使用の障害となっていた。さらに食品衛生法上の問題で架橋剤を使いたくないという要求があ



第4図 ポリ乳酸製デモレンズ

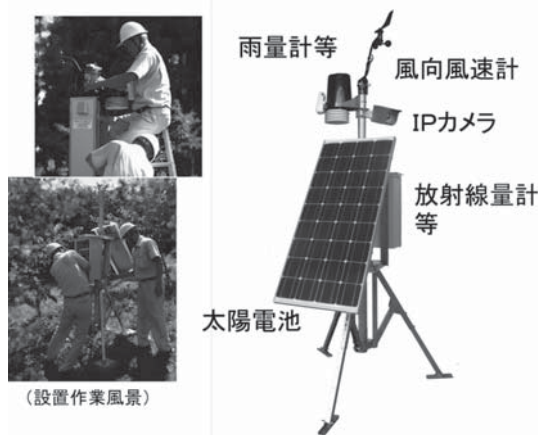
り、難しい開発課題があった。JAEA との共同開発によりポリ乳酸と無機添加材の組み合わせに γ 線を照射し、耐熱性を110℃まで確保し食器洗浄機で繰り返し使用ができる食器の開発に成功した。

5. 「震災対応」の製品化事例

(1) 気象観測一体型放射線センサー(福井市の企業)

福島第一原子力発電所事故で放出された放射性物質は当時の気象条件により環境汚染の濃淡を引き起こした。また、放射線量率は放射性核種の崩壊により減少するが、自然界の様々な現象により変化することがウェザリング効果として知られている³⁾。このため、市街地のみならず山野を含めた任意の地域に気軽に設置でき、放射線量率の測定と気象状況が同時にモニタリングできる装置があれば、自然界における放射性物質の移動挙動を把握でき、今後の除染活動の一助とすることができる。また、新たな放射性物質により環境汚染が発生した場合の情報収集に役立つとの思いで、第5図に示す装置が開発され、製品化された。

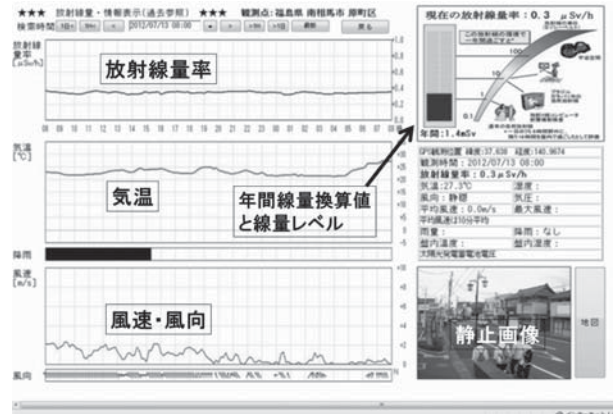
主要な仕様を第1表に示す。特徴は、太陽電池パネルと鉛蓄電池による独立電源及び傾斜地にも設置できる三脚式の構造である。得られたデータはまとめて、NTT回線を利用したデータ通信により所定のサーバに10分毎に送信し、インターネットによる配信が可能である。第6図は福島県で試験実施したインターネット配信の画像例である。単位時間あたり空間放射線量率の



第5図 気象観測一体型放射線センサー

第1表 主な仕様

気象観測項目	気温、湿度、気圧、雨量、風向、風速
画像モニタ	固定式カメラ、静止画像
放射線計測	0.01~99.99 μ Sv/h(γ 線)
電源	太陽電池(85W)、鉛蓄電池
最大寸法	直径1.8m、高さ2.8m
重量	本体51kg、鉛蓄電池9.5kg



第6図 インターネット配信例

測定値を年間換算値として棒グラフで表示し、身の回りの放射線量と対比させることで線量レベルが一目で判断できる工夫(JAEAの特許を利用)をしている。

現在、長期帰宅困難区域を含め福島県内の7ヶ所において本装置が稼働している。今後、環境モニタリングのネットワークが増強され、より効果的な除染活動に役立つことを期待したい。

(2) 熱中症警告装置(札幌市の企業)

福島第一原子力発電所事故の復旧では、内部被ばく防止のための装備が欠かせない。特に防護服は、通常の作業服に比べ熱がこもりやすく透湿性が悪いため、服の中は作業による産熱や発汗により高温多湿となり、汗による体温調整が有効に働かない。また、作業中は呼吸保護具(マスク)を常時着用しなければならないので、汗で失われた水分やミネラルの補給が困難であり、熱中症の発症リスクが大きい。

熱中症予防のこれまでの対策としては、現場責任者がトランシーバー等で作業員に問いかけ、その応答に基づいて熱中症の発症リスクを判断していた。しかしながら、これらの主観的な情報では、熱中症発症リスクの高まりを見逃す恐れがあった。そこで、作業員の熱中症発症リスクの管理に関するJAEAの技術(特許出願公開)を利用し、体温や心拍数といった客観的な情報を組み合わせることにより、リアルタイムに熱中症のリスクをモニタリングする装置を製品化した(第7図)。

耳栓型鼓膜温センサーで測定した体温と胸部に装着した心拍センサーの信号は、携帯端末からPCに接続した



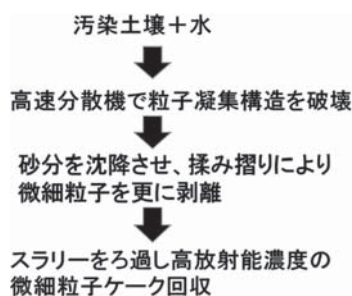
第7図 熱中症警告装置の装着例

基地局に送信され、専用のアルゴリズムで換算した深部体温と心拍数のトレンドとしてPC画面に表示し、警戒・警報レベルに達すると警告ブザーを発する。また、携帯端末には3次元位置センサーが組み込まれており、正常・仰向け・うつ伏せ等の作業員の姿勢をリアルタイムに把握することができる。作業員とPC間は200mの通信が可能であり、中継局を置くことで更に200m延長できる。

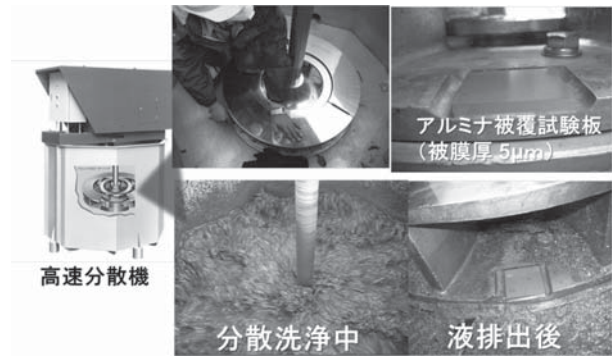
本製品は、放射線業務以外でも熱中症の発生が懸念される幅広い職場での利用が期待される。

(3) セラミックス被膜により汚染土壌取扱い装置内部の洗浄性を向上(愛知県常滑市の企業)

福島第一原子力発電所事故による環境除染作業では様々な取り組みがなされている。汚染された土壌の除染については、表土の剥ぎ取り除去法が広く実施されているが、土壌中構成材のうち、粘土やシルトと呼ばれる微細な粒子成分に放射性セシウムが多く保持されていることに着目し、例えば、下記に示す工程でこれを洗浄・分別・減容することで放射性廃棄物の発生量を減らす技術が提案されている。



一方、多量の汚染土壌を連続処理する洗浄槽等の大型装置では、内部に放射性物質が付着・残留することで装置自体が高線量となり、装置の運転や保守作業に支障を来すことが懸念される。この防止策として、高温ガス炉の冷却ガス配管へのFP沈着を防止するJAEAの特許技術を利用し、緻密で平滑なセラミックス被膜を装置内部に施し、汚染土壌の残留放射性物質の洗浄性を向上させる方法を開発した。(第8図)



第8図 洗浄性向上確認試験

高速分散機の過酷環境部位へセラミックス被覆試験板(5 μ m厚のアルミナ被覆SUS版)を部分的に取り付け、福島県の汚染土壌を用いた試験等を実施し、残留物の洗浄性が良いことを確認した。

6. おわりに

成果展開事業では保有する知財を広く民間企業に提供し、実用化や製品化を進めることで、研究成果の社会貢献に取り組んできた。特に3.11の大震災の発生後、震災復興に対する成果展開事業による貢献を積極的に進めてきている。興味のある企業はぜひ気軽に相談していただければ幸甚である。

— 参考資料 —

- 1) 研究開発成果の社会への還元を目指して—原子力機構の成果展開事業, 原子力 eye, Vol.55 No.6 (2009年6月).
- 2) 成果展開事業による商品化の事例紹介, 同上.
- 3) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience, IAEA STI/PUB/1239, (2006).

著者紹介



青嶋 厚 (あおしま・あつし)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 再処理, 廃棄物処理,
産学官連携/イノベーション



鈴木義晴 (すずき・よしはる)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) ウラン濃縮, 技術
移転



滑川卓志 (なめかわ・たかし)
日本原子力研究開発機構
(専門分野/関心分野) 原子炉燃料材料,
遠隔操作技術, 技術移転

報告

福島第一原発事故時のフランスにおけるマスメディアに対する情報伝達に関する広報スタッフへの意識調査

AREVA, EDF, CEA, IRSN ヘインタビュー

日本原子力研究開発機構 土田 辰郎

福島第一原発事故の様子は日本のみならず原子力先進国であるフランスのマスメディアもクローズアップしニュースを報じた。フランスの原子力関係機関では、どのような広報体制でマスメディアへ情報を伝えたのであろうか。広報スタッフはどのような意識を持ち、記者と接したのであろうか。当時のフランスにおけるマスメディアへの情報伝達を質的に把握するため、広報関係者へインタビューを行った。リスクがグローバル化する中、他国の原発事故であっても、ニュース・バリューが高められる同国の様子を、広報スタッフの意識を通しとらえようと試みた。

I. 背景とねらい

1. 福島原発事故後のフランス

54基の発電用原子炉が設置される我が国では、福島第一原子力発電所事故(以下、「福島原発事故」と略記)の後、2012年5月5日に泊原発3号機の定期検査に伴い、42年ぶりに国内の全原発が稼働停止という事態を経験した。ドイツでは福島原発事故を契機に原子力から撤退する方向へと舵を切った。一方、58基の原発が設置されるフランスの当時のサルコジ政権は原子力推進路線を変更することはなかった。その後、オランダ大統領に交代後もフランスは原子力を基幹電源と位置づけている。

フランスにおいて総電力供給量に占める原子力の割合は7割を超える。フランスは米国に次ぐ世界第2位の原子力大国であり、欧州加圧水型炉(EPR)の導入、次世代原子力システムや核融合炉の研究開発などを進める。このようにフランスは国際協力の枠組みでは原子力開発国の牽引役となっている。原子力先進国フランスにおいて、福島原発事故が多大な関心事として、国内メディアで報じられた状況は想像に難くない。

2. 先行研究と調査のねらい

フランスのマスメディアにとって、主な情報源は国内の原子力関係機関である。これまでフランスにおける原子力関係機関からマスメディアへの情報の流れに関わる

詳しい報告はない。また、フランス国内のマスメディアの取材対象である原子力関係機関の広報部門を分析対象とした調査は試みられていない。

なお、福島原発事故発生後のマスメディア報道に関わる分析は我が国で既に報告がある。例えば、福島原発事故後の米・英・仏・中の4か国の代表紙の新聞報道の比較分析¹⁾、福島原発事故発生後から1ヶ月間の朝日新聞社説の分析²⁾、福島原発事故発生直後のテレビ報道をテーマとした日本のジャーナリズム機能の検証³⁾、福島原発事故報道に対する被災住民の意識調査報告とジャーナリズムのあり方への問題提起⁴⁾などの調査や研究発表などが挙げられる。だが、上記はマスメディアの情報源となる原子力事業者が調査対象ではない。

こうした状況に鑑み、著者は日本学術振興会科学技術研究費補助金の調査の一環として、2012年6月にフランスの4つの原子力関係機関を訪問し、広報部門へインタビューを申し込んだ。この調査はフランスの原子力関係機関の広報部門に所属するスタッフへ個別に面談し、福島原発事故当時のフランスの原子力関係機関の広報体制を把握するとともに、記者とコンタクトする広報スタッフの意識をとらえようとするものである。こうした質的な調査により、我が国における緊急時の原子力広報にとっての示唆、教訓が得られることを期待する。

既に著者は、2008年に日本の電力会社を中心として原子力事業者の広報スタッフへインタビューした⁵⁾。インタビューは複雑性や詳細を明らかにするための探索的かつ問題発掘的な調査手法である。今回も2008年の上記調査と同様の手法を採用した。インタビューは回答者からより多くの情報を得るため、回答者が次々と口述す

Perceptions Research of PR Staff Members with Respect to Communication with the French Mass Media following the Fukushima Daiichi Nuclear Accident : Tatsuro TSUCHIDA.

(2013年 10月8日 受理)

るときでも、そのままにする手法である非形式的面接 (informal interview) とする。さらに、あらかじめ質問事項を用意するものの、面談の細部に関しては質問の順序を変えるなど、柔軟に対応する半構造化面接 (semi-structured interview) とする⁶⁾。このように回答者の自由な反応を引き出すため、インタビューに若干の自由度を持たせた。面談は、初対面であることに伴う緊張が取り除かれることが相互に自覚できるようになるまで継続した。

II. フランスにおける マスメディアの概観

ここで、まずフランスにおける新聞とテレビの普及状況や歴史を眺めたい。フランスの新聞紙の1日あたりの発行紙数は2009年現在でおよそ976万部であり、成人人口1,000人あたり約193部の新聞が読まれている。日本ではそれぞれ5,004万部、約460部であり、日仏を比較すると日本は極めて多いことが分かる。世界的に見ても日本の新聞の発行紙数は多い。しかし、フランスは各国比較で見れば依然、上位に位置しており、フランスでは新聞は主要な情報源であることに変わりない。

フランスのテレビについて、元はフランス・ラジオ・テレビ協会 (O.R.T.F.) が国内のラジオ、テレビを一元管理していた。O.R.T.F. は1974年に解体され、7社の独立放送会社に分割された。フランスのテレビ・ラジオの放送は半世紀以上の長きにわたって国家独占体制が維持されたことから、ドイツや英国に比べ、必ずしも放送の自由は十分とは言えない実情がある⁷⁾。

フランスの記者は個々に取材対象へアプローチして取材活動を行い、一般人とは異なる特別の権利が法律等により規定されている。フランスの記者に対しては、精神的自由 (自律) を規定する労働法典がある。日本の記者にはこうした権利の規程はなく、フランスの記者は職業ジャーナリストとしての身分が法的に規定されている。

III. 広報スタッフへのインタビュー概要

1. 調査対象

第1表のとおり、2012年6月にフランスの主な原子力関係機関へ個別面談を申し込んだ。AREVA、フランス電力公社 (EDF)、フランス原子力・代替エネルギー庁 (CEA)、放射線防護・原子力安全研究所 (IRSN) の4機関の広報部門を訪問した。計7人にインタビューし、そのうち3人は管理職者である。一人あたり最低、1時間以上はインタビューした。実施場所はパリ、あるいはパリ郊外にある各機関の本部である。

2. 質問設計

質問事項を第2表に整理した。最初に、フランス原子力関係機関の広報スタッフはどのような広報体制のも

第1表 インタビュー回答者 (2012)

場所	回答者	月/日 (時間)	場所
AREVA	1) 広報・報道担当官	6/19 (1.5)	HQ (Paris)
EDF	1) 広報・報道担当課長 2) 報道担当官	6/21 (1.5)	HQ (Paris)
CEA	1) 報道担当部長 2) 報道担当部長補佐	6/21 (2)	Centre de Saclay (France)
IRSN	1) 報道担当部長 2) 情報メディア担当者	6/22 (1)	Fontenay- aux-Rose (France)

第2表 インタビュー質問事項

分類	質問事項
(区分1) マスメディアに 対する情報伝達体制	→緊急時に、記者へ速やかに情報を伝えられる広報体制であったか? どのような組織体制を敷いていたか?
(区分2) 福島原発事故にお けるマスメディアへ の情報伝達	→記者へは互いの信用のもとで、福島原発事故に関わる情報を伝えていたと思うか? →記者は福島原発事故において原子力関係機関から発信された情報に満足していたと思うか?
(区分3) 原子力事故報道の 特徴	→福島原発事故に関わる報道は過剰誇大、ネガティブ、センセーショナルであったと思うか?
(区分4) 隣国の原子力撤退の 動き	→ドイツやスイスにおける原子力撤退の動向は、マスメディアに対する広報活動に影響を与えようと思うか?

とで記者とコミュニケーションしてきたか、広報の組織について質問する (区分1)。次いで広報スタッフによる記者とのコミュニケーションの状況や相互関係について聞きとる (区分2)。さらに福島原発事故では過剰な報道が行われたか、という報道の特徴に関わる質問を設定する (区分3)。最後に、隣国のドイツやスイスでの原子力撤退の動きに対する広報スタッフの意識について質問することとした (区分4)。

IV. インタビュー結果

4機関からの回答を集約し共通事項を抽出した。4区分した質問への回答を組織別に第3表に整理した。

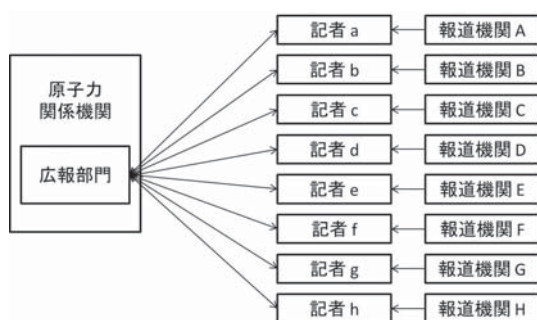
1. 記者への情報伝達の体制

広報部門と記者との情報の流れについては、4機関とも広報スタッフから直接、記者へ個別に情報を伝える広報体制にある。これは、記者クラブ制度に基づいて記者とコンタクトする日本の情報伝達のしくみとは異なる。

フランスにおけるマスメディアに向けた情報の流れの基本パターンを第1図に示す。AREVAは4,000人あまりの記者を登録し、一斉に電子メール等により記者へコンタクトできる体制を整えている。EDFでは主要な記

第3表 インタビューの集約回答

質問	AREVA	EDF	CEA	IRSN
情報伝達の組織体制	記者約4,000人を登録し電子メールで一斉連絡。24時間対応。緊急体制で情報収集。	外部委託により記者へ一斉連絡。24時間対応。クライシス・ルームを設置。	必要な際にAFPへ発信。24時間対応。クライシス・チームを編成。	必要な際にAFPへ発信。24時間対応。緊急体制で情報収集。
記者との信頼関係	透明性を重視する対応に努めた。記者からは信用を得られていたと思う。	透明性や信頼性向上に努めた。記者はEDFを信用していると思う。	CEAは国の研究機関であり、記者から信用を得られていたと思う。	IRSNは国の原子力の監視役であり、記者から信用を得られていたと思う。
記者の満足度	情報過多だった。記者は専門用語が多いと認識したかもしれない。	多くの専門用語をできる限り簡易に説明した。記者は満足したはず。	整理された情報が少なかつたのではないかと思います。	記事作成のため、十分な情報を記者は得られたと思う。
原子力事故報道の特徴	過剰誇大な報道ではなかったと思う。	過剰誇大な報道ではなかったと思う。	過剰誇大な報道ではなかったと思う。	過剰誇大な報道ではなかったと思う。
隣国の原子力撤退の動き	フランスでは脱原発のデモリットは大きい。広報活動への影響はない。	電気代、気候変動への影響を理解すれば、隣国の政策に左右されることはない。	隣国の判断に、広報活動が影響を受けることはない。	ドイツの政治的判断の問題である。フランスでの広報は変わらない。



第1図 フランスにおける原子力関係機関からマスメディアへの情報の流れ

者への連絡を外部 (contractors) に委託している。AREVA 及び EDF では、それぞれ 10 人程度のスタッフで記者対応を担っている。研究機関の CEA は、必要に応じ個別に記者へ情報伝達する広報体制である。なお、CEA がプレス発表する場合には AFP のネットワークを活用している。AFP は通信社でありフランス最大の報道機関である。IRSN は CEA の広報体制に近く、自発的に記者個人へは情報発信せず、記者からの質問へ応じる方針である。

4 機関のうち、3 機関では記者出身者 (Former Journalists) を広報スタッフとして雇用していた。4 機関とも本部がパリ市内あるいはパリ郊外に設置され、本部と原子力施設等の立地するサイトの広報スタッフとが連携する体制にある。サイトでの事故・トラブル発生時に、サイトが単独で判断することではなく、必ず本部と通信し対応方針を決める広報体制を敷く。

2. マスメディアとのコミュニケーション

4 機関からの回答には大きなバラツキはなく、回答には一定の方向性が見られた。広報スタッフからは「甚大な原発事故があったからといって、フランスには原子力

は不要という意識へシフトすることはない」、「記者は原子力の必要性への認識を変えないだろう」などの発言が目立った。福島原発事故後の記者とのコミュニケーションにおける留意点として、4 人の回答者が 'Transparency' (透明性)、'Credibility' (信頼性)、'Pedagogy' (教育) の 3 つのキーワードを提示した。

また、福島原発事故では透明性の確保を重視しながら記者と接触した姿勢は共通していた。記者から不信を抱かれるようなことはないとの認識が示されていた。さらに、福島原発事故に関わる原子力報道はフランスにおいても「世論を左右するほどに影響があった」との回答を集約した。福島原発事故後に日本から伝えられる「情報の量は十分であったものの、内容の理解が困難なことがあった」との発言は全ての回答者に見られた。ただし、日本からの情報を分かりやすく加工し整理できるようになった後は、広報スタッフは記者へ事態の展開を解説できるようになったことも分かった。そのため、6 人の回答者は「最終的にはフランスの記者たちは得られた情報に満足していたであろう」との認識を示した。

3. 原子力事故報道の特徴

AREVA, EDF, CEA の広報スタッフからは、福島原発事故報道は「過剰誇大な報道ではなかった」、「センセーショナルに報じられるほどではなかった」などの回答が共通した。一方で、「一般的に過剰誇大な報道は避けられないと思う」、「記者も報道のセンセーショナルリズムはやむを得ないと考えているだろう」との回答が見られた。

4. 隣国の脱原発の動向

ドイツやスイスでは脱原発の動きがあるからといって、「フランスにおけるマスメディアとのコミュニケー

ションが影響を受けることはない」との回答を集約した。「隣国の政策が、フランスの記者の原子力に対する認知を変化させることはないだろう」との回答もおおよそ共通した。

V. 回答分析

日本では原子力事業者がこれまで、緊急時広報を経験することで広報組織を拡大、充実化してきた歴史がある。一方、フランスではマスメディア対応に従事する広報部門の組織規模は日本ほど大きくはなかった。フランスには記者クラブ制度はなく、フランスでは広報スタッフは一人の職業ジャーナリストを相手にして情報を伝えるという意識が強く表れていた。

そうした日仏間の広報体制の違いはあろうとも、フランスの原子力関係機関の広報部門では福島原発事故時にマスメディアとのコミュニケーションを重要視していた。そのため、国民やマスメディアからの問い合わせを想定し、クライシス・ルームを設置するなどの徹底した対応を図った。フランスの原子力関係機関の広報部門では、マスメディアが福島原発事故をクローズアップするであろうことを察知していた。

また、広報スタッフが記者と大きな軋轢もなくコミュニケーションを継続してきた様子がうかがい知れた。広報スタッフはマスメディアとの協調的な関係をベースに「記者の原子力の必要性に対する認知」を推し量るようになっていた。以上のように、フランスの原子力関係機関は他国日本の原発事故に関わる情報収集に努め、国内のマスメディアへ伝えようと精力を傾けたことを明らかにした。

しかしながら、広報スタッフの回答には、分かりやすい情報が日本から十分に届かず、フランス国内のマスメディアに対して説明に窮する場面があったことが強調された。東電が発表しフランスに届いた情報の量は極めて多かった。だが、広報スタッフにとり情報の質が問題とされた。そのため、日本から複雑で専門的な情報が伝えられることがあれば、広報スタッフはそれを平易な情報へ加工する対応に迫られた。

我が国で2012年7月に報告された国会東京電力福島原子力発電所事故調査委員会(国会事故調)や東京電力福島原子力発電所における事故調査・検証委員会(政府事故調)の報告書には、緊急時の広報体制やリスク・コミュニケーションについての記述がある。事故当時の東電の広報体制や記者会見の様態についても詳述されている。しかし、海外に向けた情報発信や海外機関とのコミュニケーションの重要性については触れられなかった。本調査の結果を見る限り、海外の関係機関も原発事故に関わる情報収集に注力しなければならない立場に置かれることが分かった。さらに、海外への情報発信においては、情報の「量」のみならず「質」への精査が求められ

る。原子力事業者は海外の原子力関係機関に対しても、分かりやすい情報を速やかに伝えることのできる原子力広報が求められるようになってきた。

逆の立場から、他国の原子力で発生する事故・トラブルであっても、自国の原子力政策に影響が及ぶ可能性があることを原子力事業者は見据えておかなければならない。原子力事業者には海外の原子力の事故・事象に関わる様々な情報を貪欲に収集し、専門家の立場からマスメディアへ分かりやすい情報を伝えることのできる広報体制が要求される。情報技術(IT)の発達によりマス・コミュニケーションがグローバル化してゆく昨今、国内外に対しても速やかで分かりやすい情報を伝えられるようなコミュニケーションを意識する必要がある。

VI. おわりに

日本で起こった福島原発事故はフランスのマスメディアによりクローズアップされ、フランスの広報スタッフは昼夜、周到に記者とコミュニケーションを続けた。そこには、原子力開発を推進するフランスのマスメディアが内外の原子力情勢に関心を広げてきた背景も考えられる。原発を導入する国のマスメディアにとっては、他国の原発事故であっても、ニュース・バリューは高められる。その一例が福島原発事故であった。

Beck⁸⁾は国境を越えたリスクの世界的潮流に対して「グローバル・リスク社会(global risk society)」という概念を提唱した。リスクがグローバル化し普遍化する社会においては、異常事態が発生すれば国内のみならず海外へも情報を迅速に分かりやすく伝えなければならない。原子力事業者は、海外の原子力関係機関からも情報を求められ、その対応の善し悪しが評価されるようになってきた。

特に原子力を推進するBRICS諸国と呼ばれるブラジル、ロシア、インド、中国、南アフリカや、原子力発電所の建設を明言するポーランド、ルーマニア、チェコ、リトアニアなどに対しては、積極的に情報を発信することで、これらの国々の原子力政策に寄与することとなろう。こうした諸外国への情報伝達もこれからの広報活動に加えるべきである。反対に、他国の原子力施設等で事故・トラブルが発生する場合には、すみやかに関係情報を収集し、自国のマスメディアへの情報を伝える努力が必要である。

マスメディアによる報道の頻度が高まれば、その分だけ人々のリスク認知も高まることはCombsとSlovic⁹⁾が唱えたとおりである。また、福田¹⁰⁾はリスク・コミュニケーションを考えると、メディア報道の変数を欠かすことはできないと述べた。情報が国境を越えてリアルタイムに伝達される現代において、原子力関係機関から内外のマスメディアへスムーズに分かりやすい情報を伝えることができるならば、それがひいては有効なリス

ク・コミュニケーションへとつなげられよう。

本調査はフランスの広報スタッフを対象とした。今後は原子力開発を推進するアジア諸国にも目を向け、原子力関係機関とマスメディアとの関係性を観察してゆくことで、今回の結果を補完することができるものと期待する。

本調査の取りまとめに当たり、本学会誌の複数の査読者より貴重なコメントをいただいたことに深くお礼申し上げます。また、本調査の取りまとめにおいては、NPO法人パブリック・アウトリーチの木村浩代表、日本原子力研究開発機構広報部の佐田務主幹に貴重な助言をいただいたことに感謝申し上げます。

－ 参考資料 －

- 1) 横内陳正, 阿部佐智, 柴田偉斗子, 南出将志, 加藤浩徳, 「東日本大震災に関する海外四カ国の新聞報道の特性: 発生後1ヶ月間の記事を対象に」, 社会技術研究論文集, Vol.9, 1-29 (2012).
- 2) 土田辰郎, 「福島原子力事故後の朝日新聞社説の分析—原子力報道に携わる記者の意見を踏まえて」, エネルギーレビュー, 2011年8月, 56-59 (2011).
- 3) 小淵由紀子, ナジ・イムティハニ, 矢内真理子, 呉源, 「東京電力福島第一原発事故と発生直後のテレビ報道」, 日本マス・コミュニケーション学会, 2011年度秋季研究発表会, (2011).

- 4) 宮脇健, 福田充, 「福島第一原発事故のメディア報道に対する被災住民の意識についての調査研究」, 日本マス・コミュニケーション学会, 2012年度春季研究発表会, (2012).
- 5) 土田辰郎, 木村浩, 「原子力事業者広報担当のマスメディア対応にみる平常時広報における認知分析」, 社会技術研究論文集, Vol.9, 30-40 (2012).
- 6) ティム・メイ著, 中野正大監訳, 「社会調査の考え方—論点と方法」, 世界思想社, 134-140 (2005).
- 7) 大石泰彦, 「フランスのマス・メディア法」, 現代人文社, 46, 71, 143, 151 (1999).
- 8) U. Beck, Risiko Gesellschaft, Frankfurt, Suhrkamp Verlag, 東廉・伊藤美登里訳, 危険社会, 法政大学出版局, (1986).
- 9) B. Combs, P. Slovic, Newspaper coverage of causes of death, Journalism Quarterly, Vol. 56, 837-843 (1979).
- 10) 福田充, 「リスク・コミュニケーションとメディア—社会調査的アプローチ」, 北樹出版, 9-14, 36-45, 100-103 (2010).

著者紹介



土田辰郎 (つちだ・たつろう)

(独)日本原子力研究開発機構

(専門分野) 原子力とリスク・コミュニケーション。

Journal of Nuclear Science and Technology 福島第一原子力発電所廃止措置関連の研究論文募集

現在、国内の研究機関において福島第一原子力発電所の廃止措置に向けて、遠隔除染技術、炉内状況解析、炉内観察技術、燃料デブリ性状把握、燃料デブリ取出し技術、廃棄物処理・処分などの研究・技術開発が国内の研究機関等(大学、研究機関、メーカー等)で実施されている。これまでに得られた成果をまとめて本会英文論文誌 Journal of Nuclear Science and Technology の Special Issue として公表することにより、国内で実施されている廃炉に向けた研究の取組みの現状を世界に発信することを目的とする。これにより、世界の研究者に新たな研究のモチベーションを与え、叡智を募ることができると期待される。

- ・論文カテゴリー Article または Technical Material
- ・1編あたりのページ数 刷り上がり 6-10 ページ
- ・掲載予定 2014年7-8号
- ・投稿締め切り 2013年12月27日(金)
- ・投稿先分野 投稿者の判断により関連する分野に投稿すること。
投稿する際、投稿画面、Is the manuscript a candidate for a special issue? において Yes を選択し、If yes, what is the title of the special issue: の下の空欄に Fukushima Dai-ichi Decommissioning と明記すること。
- ・掲載料 著者負担

なお、研究分野としては主として以下の分野を想定している。

- A) 遠隔除染技術
- B) 炉内状況解析
- C) 炉内観察技術
- D) 燃料デブリ性状把握
- E) 燃料デブリ取出し技術
- F) 廃棄物処理・処分
- G) 燃料集合体、圧力容器・格納容器材料

私の 主張

「生活を見直し、原発を安全にたたく」

川崎 哲氏に聞く

ピースボートは、世界各地の人々と交流を図りながら長期の船旅を企画している NGO だ。船上では、平和や人権、地球環境問題、地雷廃絶などさまざまなテーマでの講演や交流企画もある。ピースボートの共同代表を務める川崎哲氏は、福島事故以降に反原発運動も手がけるようになった。とりわけ、政治の不安定さを抱える国への原発輸出は、リスクが大きいと同氏は指摘する。



かわさき あきら／東大法卒。NPO 法人「ピースデポ」を経て、2003 年からピースボート共同代表。2012 年 1 月に開かれた「脱原発世界会議」では実行委員長代理を務めた。著書は『核拡散』など。

「もう一つの生き方を提示する」

—川崎さんが共同体表を務めるピースボートとは何でしょう。

川崎 国際交流の船旅を企画してきた非営利の国際 NGO です。1983 年に発足しました。大きな船で世界をめぐる中で、各地の人々との交流を通じて、環境や貧困、戦争、平和などさまざまな問題を考える場を提供しています。それらの交流を通じて、平和で、人と環境にやさしい地球社会の実現への土台をつくることをめざしています。

船旅では世界各地に寄港して、現地の人たちや市民団体、あるいは自治体の人たちと交流し、その国の文化の豊かさや社会問題について考える企画を行っています。私は、このピースボートを「動くキャンパス」だと思っています。

—それらの基本にあるのは、「もう一つの生き方」の提示でしょうか。

はい。今の世の中では、政府や企業というセクターが優勢です。私たちはそれらとは違う、政府とは異なる意味での公益性を追求する市民セクターをめざしています。

—これまでに、どのような企画を？

カンボジアやアフガニスタンでは地雷除去をめざして、政府機関への働きかけや NGO を支援するキャンペーンを行いました。

また、広島や長崎の被爆者の方を招待し、世界各地で証言活動をしてもらう企画は、始めてからすでに 5 年に

なります。原爆が投下された時の生き証人の人たちが、キノコ雲の下で何が起こったのかを語る話には、強い関心もたれます。

さらに、イスラエルの学生とパレスチナの学生に同じ船に乗ってもらって対話プログラムも、行っています。両者は背負っている歴史がまるで違うし、不幸にも相手側から身内を殺された人たちもいます。だから両者が同じ船上で語り合う時には、最初はとても緊張しています。激論になることもあります。けれども、語りあう機会を続けることで、しだいに理解が深まっています。

—このような活動をするようになったきっかけは。

私は学生時代に世界各地を回り、中東では戦争の悲惨さを目の当りにしました。大学を卒業した時はバブル期で、ほとんどの人がふつうに、会社に就職していましたが、私はその時の体験から、非営利活動を本格的に取り組むことにしました。NPO という言葉が、世の中にやっと定着しはじめたころのことです。そのころ、ピースデポという平和活動に取り組む団体がスタッフを募集しており、そこで採用されて、核兵器や軍縮問題を手がけました。国際会議にいくと、この種の問題では各国の NGO が、高い専門知識や国際交渉力があることを知りました。

そこで 5 年務めたあとにピースボートに入り、これまでの知識を生かして、主に軍縮や平和運動の企画を行ってきました。

—具体的な活動は。

一つ目は各国政府に対する提言です。地雷禁止条約やクラスター爆弾禁止条約などの特定兵器を対象とした禁止条約は、まず市民が動いて世論が動き、そして条約締結にまでこぎつけました。今の核拡散防止条約(NPT)は不完全です。私たちは、核兵器そのものを全面的に禁止する条約を作ることを目標にしています。それへ向けて、世界の世論を盛り上げることに力を注いでいます。

また、2008～10年に日豪両政府の主導で「核不拡散・核軍縮に関する国際委員会」(ICNND)が立ち上げられました。ピースボートはこれに協力し、私はICNNDのNGOアドバイザーとして、被爆者の証言などの企画を行う活動を行いました。

—原発については。

ピースボートは、福島事故前は原発に対する意見表明を、それほど活発に行っていたわけではありません。しかし、核の被害者との国際交流には力を入れてきました。例えばオーストラリアでは、ウラン採掘によって環境や文化が破壊されてきた先住民との交流を行ってきました。また、船で頻繁に訪れるタヒチでは、長年の核実験による健康や環境被害を学んできました。環礁に放射性物質が蓄積していることへの対処方法について、現地の人から尋ねられることもありました。

「原子力を、どう安全にたたむか」

—そして、3.11が起こった。

ピースボートは1995年の阪神・淡路大震災をきっかけとして、災害支援活動を行ってきました。3.11の震災発生後、私たちはすぐさま宮城県石巻市と女川町にボランティアスタッフを派遣し、緊急支援活動を始めました。ピースボートボランティアセンター(PBV)を立ち上げ、緊急支援では物資配布や炊き出し、避難所サポート、入浴支援を行い、復旧や復興支援では泥出しや清掃、仮設住宅への物資運び入れ、地場産業の再開サポートなどを行いました。この2年間に派遣したボランティアは1万3千人を超えています。支援活動は今も続いています。

一方、福島の事態を受けて、日本は「唯一の被爆国である」とか「原子力の平和利用を進める」と言ってきたはずなのに、このような事故への備えが何もなく、明らかになりました。それは、私たちの大きな反省点だったと思います。事故によって日本には今も、16万人もの「国内難民」とも言える人が存在します。これは、大きな人権問題です。これだけの被災者と、発生した多くの被害を考えるならば、これ以上、原子力を動かしてはならないと、私は考えています。

—原子力輸出にも反対だと聞きます。

日本政府は原発の輸出にも積極的です。しかし、私たちは、その輸出先とされている途上国に何回も足を運んでいます。ヨルダンやトルコは、社会的なインフラが整っておらず、国内や近隣諸国で紛争を抱えています。建設現場を見ても、品質管理は十分ではありません。民主主義も、十分には根付いてはいません。これらの国々が、原発を安定的にコントロールできるとは、とても思えないのです。

私たちは昨年1月に横浜で、脱原発世界会議を開きました。その時に参加したヨルダンの国会議員は、「技術が高く、規律正しい国民性の日本でさえ、事故が起き大混乱した。我が国でこんな事故が起きれば、暴動になる可能性がある」と言いました。政治的に不安定な国に輸出することは、とりわけ大きなリスクをはらみます。

—これからについて。

放射性廃棄物の問題は、原発に賛成であれ反対であれ、みんなが避けては通れない問題です。これは真剣に話し合わなければならない。再処理工場を動かすことや、プルトニウムをMOXで使い切るというシナリオは、現実的ではありません。すでに相当量あるプルトニウムは、核拡散上の懸念さえもたっています。これらのプルトニウムをどう管理するか。また、各原発でたまっている使用済み核燃料を、どう管理するかが大きな課題だと思っています。このため、私は使用済み核燃料を青森に持っていくのではなく、各原発施設で、乾式貯蔵で管理することが、有力な選択肢だと思っています。一方で、これからの原発は、減ることは間違いありません。原発を即時にやめるのか、ゆっくりと減らしていくかという、その速度について意見が分かれているにすぎません。

だから、私たちが抱えている最大の課題は、「原子力をこれからどうやって、安全にたたむか」ではないかと思っています。

同時に、私たちはエネルギーの使い方も見直すべきです。大震災を経験して以降、電気をふんだんに使う暮らしぶりを変えなければという意識変革が進みました。エネルギーの使い方は、社会システムで大きく変わります。私たちは、身の丈に見合った経済をめざすべきです。そのために、知恵を結集し、実践しなければならないと考えています。

(10月8日実施、聞き手：本誌 佐田 務)

談話室

忠臣蔵におけるデータの取り扱い —確かな情報の伝承の努力—

(財)中央義士会 萩原 栄

はじめに

忠臣蔵とは、あのお馴染みの忠臣蔵のこと。お馴染みといっても最近の若者に忠臣蔵って知っているか、と問うと、知らない、と答える人がいることに驚くばかりの昨今である。

ちなみに、忠臣蔵とは、以下の一連の事件のことである。元禄14年3月14日、江戸城松之廊下で浅野内匠頭が吉良上野介に刃傷、赤穂浅野家はお取りつぶしにあったにもかかわらず、喧嘩両成敗は無視され、吉良家はおとがめなし。ついで元禄15年12月14日、主君の遺恨をはらすため、大石内蔵助以下47名が吉良邸に討入り、元禄16年2月4日に46名は切腹、吉良家は改易となった。このとき、浅野内匠頭は勅使饗応役(天皇の使いをお世話する責任者)を務め、吉良上野介はその指南役(儀式典礼の先生)を務めていた。歴史学では、元禄赤穂事件または元禄事件という。

忠臣蔵とデータ

このような、歴史上の事件とデータとどのような関係があるのか、実はおおありなのである。

歴史では史料(古文書)がデータとなる。ちょうど、原子力プラントを設計する場合に、使用する材料の材質や強度など信頼できるデータを駆使し、それらのデータの膨大な集積によってプラントが構成されるのとおなじく、歴史も信頼できる多くの史料を組み合わせ、構成されるものなのである。したがって、信頼のおける史料を使わないと大変なことになる。

忠臣蔵研究にはかかせない基本的な1級史料がある。「梶川與惣兵衛日記」(又は梶川氏筆記)という。これは、松之廊下において浅野内匠頭が吉良上野介に刃傷に及んだ際にその現場にいて、浅野内匠頭を止めた人物、梶川與惣兵衛が書き残した日記である。

映画などでは、吉良上野介が松之廊下を歩いているところを、後ろから「この前の遺恨覚えたるか」といって、血相を変えた浅野内匠頭が小さく刀を振りあげ、切りつける場面が有名だが(第1図)、実はちょっと違う。「梶川與惣兵衛日記」やほかの信頼のおける史料などをもとに、登場人物の動きを図にすると、第2図のようになる。この図はここ2、3年でわかった事実をもとに作成された



第1図 松之廊下 刃傷事件

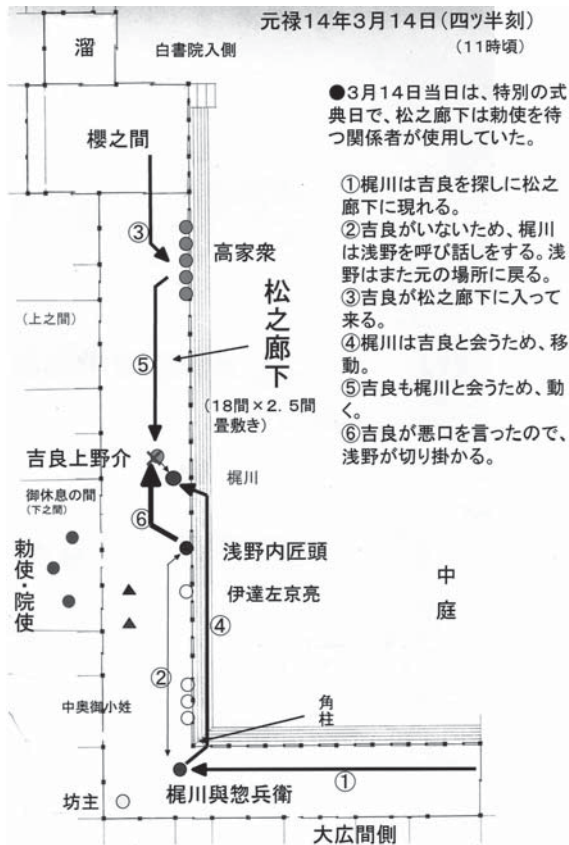
ものである¹⁾。第2図は、勅使が江戸城の松之廊下に面した御休息の間で休んでいて、将軍との対面のため部屋をたつ直前の場面をあらわしている。松之廊下は畳敷きで、儀式のため、浅野内匠頭やほかの役人など、大勢が座って待っている待合室の役目をしていた。

吉良上野介が③から⑤のように動き、④で動いた梶川與惣兵衛と会って立ち話しをする。そして、高家衆の方にむいて浅野内匠頭の悪口をいう。そこで、座っていた浅野内匠頭が思わずかっとなって立ち上がり、⑥の動線で見守る吉良上野介にむかい、切りつけたのである。

権威でも間違える

かつて、江戸時代史の権威が、事件は松之廊下ではなく、別の柳之間の廊下でおきた、と「梶川與惣兵衛日記」を無視し、主張して話題になったことがあった。これは多くの研究者から批判されて、松之廊下が正しいことが確認されたのだが、「梶川與惣兵衛日記」をよく読み、どのような状況下でこの事件が起きたのかを考えると、松之廊下で起きたことは明らかなのである。信頼のおける史料を無視すると、権威でも間違えるのである。しかも、まだこの間違いを正しいと思って、講演会などで話す人もいる。付け焼き刃で元禄赤穂事件を調べると、どうしても権威を信用したくなるのだろうが、しっかりと史料や文献を読まないとうなる。

もう一つ、浅野内匠頭が刃傷にいたった原因について、これまでの研究者は、原因は不明、としていた。現



在でもそう信じている人は多い。しかし、吉良上野介が大名いじめを頻繁にし、浅野内匠頭もいじめられていたことは、多くの史料に残されている。また、吉良上野介の言動が、ここ10年くらいに次々と、大名家の史料の中から見つかった。

秋田佐竹家の家老岡本元朝が残した「岡本元朝日記」²⁾は、刃傷事件の原因と吉良上野介がいかに横柄で大名に嫌われていたかがわかる史料である。吉良上野介は訪れた大名家にいくと、飾ってある宝物を持っていってしまうので、佐竹家でも吉良上野介が来たときには、宝物は出さない方がよい、という忠告を親しい旗本から受けている。また、吉良上野介の娘が嫁いだ薩摩島津家からは、刃傷事件について、吉良上野介は人柄が悪く、切られたのは身から出た錆だ、とまでいわれている手紙が出されている³⁾。

まだほかに、赤穂義士の堀部弥兵衛が残した覚書や、津軽大石家に残された「系図附録」などたくさんの史料がある。これらからいじめが原因で、松之廊下での吉良上野介の悪口に、思わず浅野内匠頭が刃傷に及んでしまったことは明らかなのである。

つぎに吉良上野介が行ったといわれ、現在も残っている史蹟の例を紹介する。

かつて吉良上野介が幕府から与えられ、領地となっていた地方では、今も吉良上野介は名君である。これは、全国どこでもそこを治めていた殿様は名君であり、郷土

自慢をするのと同じで、観光や小説としてはなんら問題ない。しかし、その名君とする理由が歴史的にねつ造されたもので、それを事実として歴史書に書くとすると問題である。

名君説の理由の一つに、黄金堤が吉良上野介の事蹟となっていることがあげられている。黄金堤は貞享3年9月に、堤をつくることにより影響を受ける西尾藩土井利長に、吉良上野介がかけあって、短期間でつくり、かつ水で流されたらもうつくらない、と約束して築いたと語りつがれ、一晩で大金を使ったところから、黄金堤といわれている。ところが、最近発掘された史料によれば、黄金堤があるのは吉良上野介領地ではなく、さらに吉良上野介の時代にはつくられていないことが判明している⁴⁾。また、黄金堤の地質調査によれば、何回にもわけてつくられていることがわかっている⁵⁾。つまり、黄金堤は吉良上野介が築いたものでも、一晩でつくられたものでもないのである。

原子力でも

それで思い出すのが、チェルノブイリへ視察にいかれた有名人が、現地の人のお話を聞いて、日本に帰ってきてからそのまま話しをすることである。講演会などで話すので、多くの人が信用してしまう。原子力発電に好意的だった方が、講演を聞いて反対にかわってしまう例を実際に知っている。しかし、チェルノブイリに関しては、国連の元でIAEAやWHOが大規模な調査を行っており、その報告書も出されている。だが、それらの報告は無視され、感情的な話となって広まっているのである。

以上述べたように、忠臣蔵ではたえず新しい史料の発掘と、古い史料の批判が行われ、正確な歴史の姿を追い求めている。

これは、歴史や原子力に限らず、何事においても、必要な態度であり、これからもどれが信頼できるデータで、どれが信頼できないデータかを見極めていかねばならない。

—参考文献—

- 1)「欣嘆版松之廊下事件の原因」中島康夫、忠臣蔵だより、平成23年6月。
- 2)秋田県公文書館蔵。
- 3)「陽和院書状」広島大学所蔵猪熊文書、昭和57年2月20日。
- 4)「吉良上野介と義周」義周公没後300年記念シンポジウム資料集、平成18年10月28日吉良町。
- 5)「吉良町史」吉良町史編さん委員会、平成6年3月31日。

(平成25年9月20日記)

Journalist's eyes Journalist's eyes

足りなかった想像力

毎日新聞社 西川 拓

本欄に登場した幾人もの記者たちが福島第一原発事故を巡る報道の反省を書かれているが、初めて執筆させていただく私もやはり、そのことに触れないわけにはいかない。

あの日、1号機の原子炉建屋上部が吹き飛んだのを、私は東京電力本店のテレビで見ていた。NHKの超望遠カメラは鉄骨がむき出しになった建屋を映し出していたが、そこで一緒にテレビを見ていた東電の広報担当者は何が起こったか、まったく答えることができなかった。数時間経って、ようやく東電は「建屋上部が開放された」という奇妙な表現で水素爆発を認めた。同僚と東電本店の会議室に交代で泊まり込んで取材したが、振り返ってみると当時の報道は不十分なものだったと言うほかない。

最も悔やまれるのは、住民の防護に必要な情報発信がほとんどできなかったことだ。最初の数日間は原子炉や使用済み燃料プールの冷却ができるかどうかの瀬戸際で、その中で次々に建屋の爆発やプールでの火災、作業員の被ばくなどが続いた。日々、めまぐるしく発生する新たな事態を追いかけるのがやっとだった。敷地境界の放射線量が急上昇したという情報なども入ってきて、それはもちろん放射性物質の大量放出を意味するので一応の報道はしたものの、近隣の住民がどう行動すべきなのか、避難するとしたらどの方角へ向かうべきなのか、といった具体的で役に立つ内容にはほど遠かった。東電本店にいても、原子炉をコントロールできているとはとても思えず、これからどんなことが起こるのだろうと恐怖に近い感覚を覚えた。炉内のことばかりに頭が向き、避難を強いられる住民がどういう情報を求めているかを想像する余裕がなかった。

もう一点、福島第一原発事故以前の報道にも忸怩たる思いがある。2007年の東越沖地震で柏崎刈羽原発の変圧器火災が発生した際、毎日新聞は「原発震災」というタイトルの連載記事を掲載した。私もこの連載の取材に携わり、確率論的安全評価(PSA)で、地震と火災が同時に発生した場合、原発の炉心損傷確率が大幅に上がることを記事にした。だが、福島第一原発事故の後、原子力安全委員会が策定した原発の安全設計審査指針を読んで「長期間にわたる全交流動力電源喪失は、送電線の復旧又は非常用交流電源設備の修復が期待できるので考慮する必要はない」という記述を見つけたときには、こんな重大な欠陥に気づけなかった自分自身のうかつさに腹が立った。

ちなみに、柏崎刈羽原発の火災の際の私たちの連載は当時、原子力の専門家から「過剰報道」と批判を受けた。要するに、原子炉は安全に停止し、放射性物質の漏えいもなかったのに「原発震災とは何事だ」という訳である。「あれだけの大地震に耐えた日本の原発の安全性を報道すべきだ」と面と向かって言われたこともある。しかし、今思えば、あのときに原発の命綱であった電源の脆弱性について、真摯に検証すべきだったことは明白だ。私たちももう少しつこく追及していたら、安全設計審査指針の問題を指摘できていたかもしれない。

結局、事業者も規制当局も専門家も報道機関も、あえて加えれば原発反対派でさえも、原発事故に対する想像力が欠如していたのだと思う。甘い津波の想定や不十分な指針を放置した一方で、米国のテロ対策にも学ばず、真の意味での深層防護もできていなかった。にもかかわらず、「日本ではチェルノブイリのような過酷事故は起きない」と、根拠もなく思い込んでいただけだった。福島の事故の教訓を踏まえて、原子力規制委員会は新しい規制基準や防護基準を設けた。だが、これで本当に十分なのか。次に来る事故が、必ずしもわれわれの予想の範囲内であるとは限らない。

事故から1年半が経った2012年秋、私は福島第一原発を初めて訪れた。野戦場のような現場にも改めて驚いたのだが、最も印象に残ったのは、サイトに向かう途中にバスの窓から見た警戒区域内の風景だった。地震や津波の痕跡は見当たらず、家屋や店舗はほぼ無傷のまま建っていたが、人影はまったくない。遠くからは黄金の稲穂が実っているように見えた田んぼは、黄色いセイタカアワダチソウの花で埋め尽くされていた。その悲しい美しさを生涯、忘れることはないだろう。もう二度と「想定外」は許されない。

(2013年 10月15日記)



【著者プロフィール】

西川 拓 (にしかわ・たく)

毎日新聞社

1993年、毎日新聞社入社。佐世保支局、福岡総局などを経て、2003年から東京本社科学環境部。宇宙開発や文部科学省などを担当し、東日本大震災後、2013年3月まで原発担当キャップを務めた。