

放射能汚染と向かい合うための基礎知識 ⑮

七年前に福島第一原発で起きたこと ①

今中 哲二（京都大学原子炉実験所助教）

これまで一四回にわたって、放射能（放射性物質）と放射線、ベクトルとシーベルトといった言葉の意味と、原発の炉心にはウランの核分裂で生じる膨大な量（ベクレル）の放射性物質（核分裂生成物）が蓄積されることを説明してきた。

今回からは、七年前に福島第一原発で起きたことの概略を説明しておく。福島第一原発は東京電力が最初に建設した原発で、1号機（四八万kW）が運転を開始したのは一九七一年だった。一九七九年までに六つの原子炉が完成した（2～5号機七八万kW、6号機一一〇万kW）。いずれも米国GE社が開発した沸騰水型原発（BWR）である。

二〇一一年三月一日一四時四六分、東北太平洋沖地震が発生したとき、1～3号機が運転中で、4～6号機は定期検査のため停止中だった。原発の緊急事態に対しては、「止める」「冷やす」「閉じ込める」という三つのスローガンがある。「止める」とは炉心の核分裂連鎖反応を停止させることで、運転中だった三つの原子炉には、揺れを感じて自動的に制御棒が挿入され核分裂は止まった。「冷やす」とは、核分裂が止まった後も炉心

で発生する崩壊熱（放射線のエネルギーが燃料や炉心構造物に吸収されて発生する熱）を冷却し続けることで、「閉じ込める」とは放射性物質を環境に漏洩させないことである。

日本は地震国なので、地震の揺れで原子炉が停止することはこれまでも経験している。そうした場合、自前の電気がなくなるので、必要な電気は送電線から取り入れる（外部電源）。

福島第一原発には、外部電源が三系統六回線あったが、送電鉄塔の倒壊や変電所の破損などでいずれも使えなくなった。この段階で、発電所全体の外部電源喪失という緊急事態に至るが、ここまでの事態は設計想定内だった。各原子炉では非常用ディーゼル発電機が自動的に起動し、運転員もホッとしたことであろう。そして、地震発生から五〇分後の一五時三六分頃、一〇mを越える津波が福島第一原発を襲うことになる。原発事故の写真を思い出して頂きたい。原子炉が入っている四角い建屋の海側に長細いタービン建屋が並んでいる。非常用発電機はそのタービン建屋の地下に置かれていた。福島第一原発での当時の想定津波高さは五・七mだった。易々と岸壁を乗り越えた津波はタービン建屋に侵入し、地下の非常用発電機や配電盤が次々と機能停止に至った。

こうして、それまでの原発安全設計審査指針で想定する必要はないとされてきた「長期間にわたる全交流電源喪失」がはじまり、「冷やす」ことがピンチに陥った。また、1・2号機では、原子炉計装のための直流電源（バッテリー）も失われた。

放射能汚染と向かい合うための基礎知識 ⑬

七年前に福島第一原発で起きたこと ②

今中 哲二 (京都大学複合原子力科学研究所研究員)

原子力発電が始まったときから、破局的な事態をもたらす可能性があると二種類の事故が心配されてきた。ひとつは核分裂のコントロールに失敗して出力が急上昇する「暴走事故」、もうひとつは炉心を冷やすことができなくなつて炉心溶融(メルトダウン)に至る「冷却失敗事故」である。

一九八六年四月に発生した旧ソ連のチェルノブイリ原発事故は、原子炉出力が急上昇した暴走事故で、炉心と建屋が一瞬のうちに破壊された。一九七九年三月の米国スリーマイル島原発事故と二〇一一年三月の福島原発事故は後者の冷却失敗事故である。スリーマイル島原発事故では、ポンプが止まった後に冷却水が減つて炉心燃料の半分がメルトダウンしたが、幸い半日後にポンプの運転を再開できた。分厚い鋼鉄製のお釜である原子炉压力容器はなんとか破壊を免れ、大気中への放射能漏れを防ぐ格納容器の健全性も保たれた。一方、福島原発事故では、「冷やす」ことに失敗してしまい、1〜3号機がメルトダウン、メルトスルー(压力容器の溶融貫通)に至つた。さらに、格納容器も閉じ込め機能を失つて大量の放射能放出に至つた。

核分裂を「止める」ことは上手く行つても、原子炉を冷やし続けなければならない必要性について説明しておこう。運転中の原子炉には膨大な量の放射性物質、とくに核分裂生成物がたまっていることは以前に説明した。膨大な量の放射性物質からは膨大な量の放射線が放出されている。放射線は大きなエネルギーをもつ粒子や電磁波である。燃料と構造物で二〇〇トンもあるような炉心の中で発生する放射線はほぼすべてが周りの物質に吸収されて「崩壊熱」と呼ばれる熱となる。電気出力四六万kWの福島1号機の場合、熱出力はその三倍の一三八万kWである。原子炉が停止した直後の崩壊熱はその六%の約九万kW、一時間後で二万kW、一日後で七〇〇〇kWと発熱が続く。七年を過ぎたいまでも約六〇kWの発熱が続いている。

福島第一原発では、非常用ディーゼル発電機を含め全ての交流電源が使えなくなる事態に備え、電力を必要としない緊急冷却系を備えていた。しかし、それらの冷却系は長時間の運転を想定されておらず、はじめから役に立たなかつたり、次々と機能を喪失したりしてメルトダウンに至つた。

地震が起きたのは三月十一日一四時四六分、津波が福島第一原発に達したのは一五時三五分頃だった。1号機のメルトダウンはその日の夜、3号機は十三日の午前中、2号機は十四日の午後と考えられている。さらに、十五日午前六時には、運転をしていなかった4号機建屋でも水素爆発が起きた。次号から、そのプロセスを説明しておく。

放射能汚染と向かい合うための基礎知識 ⑬

七年前に福島第一原発で起きたこと ③

今中 哲二（京都大学複合原子力科学研究所研究員）

地震が発生したとき運転中だった1〜3号機は自動的に停止したが、同時に、外部電源がなくなり、非常用ディーゼル発電機が自動起動した。ここまでは設計想定内事態であった。運転員は、崩壊熱を除去しながら、一次系の温度圧力を下げて速やかに一〇〇度以下の冷態停止状態へ持つて行く作業にとりかかっていた。そして、地震から五〇分後、一〇mを超える津波が押し寄せ、非常用ディーゼル発電機が水をかぶって停止した。『止める』は上手くいったものの、『冷やす』がピンチになり、1号機、3号機、2号機の順にメルトダウン、メルトスルーを起こし、『閉じ込める』にも失敗することになる。

1号機の推移

1号機には、交流電源がなくなったときの非常用炉心冷却系として、非常用復水器（IC）と原子炉隔離時冷却系（RCIC）が備えられていた。ICとは、重力循環型の冷却装置で、一次系蒸気配管から冷水タンク（ICタンク）内の細いパイプに蒸気を導いて凝縮させ、水に戻して重力で炉心へ還流させる。駆動部分を持たず、熱交換により発生する蒸気は原子炉建屋か

ら外へ放出される。RCICは、電源の代わりに、崩壊熱で発生する一次系蒸気を使って動くスチーム駆動のポンプである。

1号機と2号機において事態をさらに深刻にしたのは、計装制御系に必要な直流電源バッテリーも水をかぶってダウンしたことだった。津波がやって来るまで、1号機ではICのバルブを断続的に開閉しながら炉心を冷却していたが、津波で直流電源がなくなるとバルブ操作ができなくなった。（このときバルブの状態は閉だったが、運転パネルの表示は消えてしまった。）もうひとつのRCICも起動に必要な直流電源が使えず、結局、1号機は津波直後から『冷やす』ことに失敗する。

停止直後の原子炉冷却に失敗すると、事態は次のように進展する。『冷却水温度・圧力の急上昇』↓「原子炉容器破壊を避けるため」一次系の逃がし安全弁開」↓「原子炉容器内の水位低下」↓「水位低下で燃料棒が露出すると燃料棒温度が上昇」↓「燃料棒が損傷すると放射性物質が冷却水に漏洩」↓「燃料温度が一〇〇〇度を超えると被覆管材料ジルコニウムと水との反応により水素が発生」↓「炉心燃料の溶融・メルトダウン」↓「高温溶融物が原子炉容器底部にたまり鋼鉄製の底を貫通…メルトスルー」↓「原子炉格納容器の底に溶融物がたまりコンクリートと反応」。

のつけから『冷やす』に失敗した1号機は、このプロセスを一直線に進んだ。そして、三月十一日深夜に『閉じ込める』がピンチに陥った。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(18)

今中哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

七年前に福島第一原発で起きたこと④

1号機の推移(続き)

二〇一一年三月十一日の夜、原子炉の状態を知るための計装用直流電源を喪った1・2号機制御室の運転員たちは、自動車のバッテリーをかき集めてつなぎ込み、暗闇の中で何とか計器を作動させはじめた。全電源喪失から八時間余りの午後二時五〇分、1号機の格納容器内圧が6気圧にも達していることが分かり、運転員は愕然とした。格納容器は、冷やすに失敗した際に大量の放射能漏れを防ぐ最後の壁である。その内圧が6気圧に達しているということは、原子炉の状態は、核燃料が融けてしまつてメルトダウンから、さらに分厚い原子炉容器が底抜けするメルトスルーに至っていることを示していた。

重要免震棟の緊急時対策室にいた吉田所長は、十二日〇時すぎ、1号機ベントの準備に入るよう指令を出した。ベントとは、格納容器破裂と

いう最悪の事態を免れるため、次善の策として行なわれる格納容器のガス抜きである。原発にはもともとベントは備えられていなかったが、一九七九年の米国スリーマイル島原発事故の後の一九九〇年代に、電力会社による自主的な過酷事故対策として沸騰水型原発(BWR)に設置されるようになった。ベントを実施するためには、格納容器から排気筒につながる配管の途中にある、電動弁と空気作動弁の二つのバルブを開ける必要があった。普段なら、コントロールパネルのスイッチをマニュアルに従って操作すれば済む作業である。しかし、電源を失った状況では、現場まで運転員が出かけて手で開ける必要があった。バルブがある原子炉建屋内は、すでに放射線量が上昇していた。1号機運転員らは、二人一組の決死隊を募って作業に当るることになった。耐火服・全面マスク・空気がボンベ装備の最初の組が作業に向かったのは午

前九時過ぎで、原子炉建屋3階の電動弁を開けるのに成功した。続いて二番目の組が、原子炉建屋地階にある空気作動弁へと向かったが、線量計が振り切れてしまい途中で引き返さざるを得なかった。

「正直にいうともうためかなど。すでに異常な状態で、中央制御室で線量計のものが上昇してきているという状況で、最悪、死もあり得るのかなど、個人的には思っていました」と1・2号機制御室にいた運転員が述懐している『福島第一原発事故7つの謎』NHKスペシャル取材班、講談社現代新書。

ベント不能の窮地を救ったのは、協力企業(下請け)の事務所にあった小型コンプレッサー(空気圧縮機)だった。そのコンプレッサーを空気配管に繋ぎ込んでベントの空気作動バルブが開いたのが午後二時頃だった。1・2号機共用の排気筒から蒸気と思われる白い気体の放出が認められ、格納容器内圧は7・5気圧から5・2気圧に下がった。吉田所長は関係機関に「午後二時半頃にベントによって放射性物質の放出がなされた」と連絡した。その約一時間後の二時三三分、1号機の原子炉建屋で大爆発が発生する。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(19)

今中哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

八年前に福島第一原発で起きたこと⑤

1号機の推移(続き)

地震・津波をきっかけとして福島第一原発事故が始まった翌日の三月十二日午後三時三六分、1号機の原子炉建屋が爆発した。爆発の瞬間を福島中央テレビの無人カメラが捉えていて、約一時間後には全国放送された。日本の原子力専門家には、その映像を見て即座に何が起きたのか判断できた人はいなかったであろう。その時首相官邸に話めていた原子力安全委員会の班目委員長は、菅首相による午前中の福島第一原発視察に同行した際に「原発で水素爆発は起きません」と請け合ったせいか、頭を抱え込んだまま何も言えなくなったそうだ。

わたしは、爆発の映像を研究室のテレビで繰り返し眺めながら、この段階で起きる爆発は、「水蒸気爆発」か「水素爆発」のどちらかと推測した。水蒸気爆発は、メルトダウン溶融物の塊が格納容器下部に溜まった水の中に落下する

際起きるとされている(これまで経験したことはないが)。瞬時にして格納容器上蓋が吹っ

飛んでしまい、炉心の放射性物質がそのままの組成で大気中にまき散られることから、水蒸気爆発であればチェルノブイリ級の事故に至ったことを意味していた。水素爆発とは、メルトダウンした炉心で発生した水素が、高温高圧の格納容器内から水蒸気やガス状放射能とともに原子炉建屋へ漏れ出して起きる爆発である。燃料棒被覆管に使われているジルコニウムという金属は、一〇〇〇度以上の高温になると水や水蒸気とよく反応し、酸化ジルコニウムになる際に水素を発生する(一九七九年の米国スリーマイル島原発事故では、格納容器内で小さな水素爆発が起きたが大事には至らなかった。わたしとしては、爆発の瞬間にオレンジ色が見えたこと、崩壊した建屋の隙間を通して格納容器の黄色い頭部が破壊されずに残っているのを垣間

見たことから、1号機の爆発は原子炉建屋の天井に溜まった水素が爆発したものと判断した。頭部が残っていることから、格納容器の閉じ込め機能もそれなりに維持され、チェルノブイリほどの事態には至っていないようだった。1号機の現場では消防車を使って原子炉への注水を試みる作業が水素爆発の後も継続された。

一方、首相官邸の原子力災害対策本部は、十一日午後九時二三分、1号機ベント作業に着手するにあたって原発周辺三km以内に避難指示を出していた。ベントに手間取り格納容器が破壊される恐れがあった翌十二日午前五時四四分には、避難指示を一〇kmに拡大していた。1号機で爆発が起きたとき、当時の双葉町長井戸川克隆氏は北西四kmのところで入院患者や高齢者の避難誘導に立ち会っていた。井戸川氏によると、突然「ドン」という大きな音がして、数分後にぼたん雪のような白いものがふわりふわり降って来たそうだ。爆発で吹き飛んだ断熱材の破片であろう。双葉町にはまだかなりの住民が残っていたと思われる。翌十三日に双葉町に入ったフリージャーナリストの豊田直巳氏によると、双葉厚生病院の前で毎時一〇〇〇マイクロシーベルトまで測れる線量計が振り切れたそうである。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(20)

今中 哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

福島原発事故の刑事責任を問う裁判

この九月十九日に東電刑事裁判の判決が予定されているので、今回は特別にこの裁判について説明しておく。

〔経緯〕二〇二二年六月、被災住民ら約一三〇〇人が、東電や政府の原子力関係者三三名を業務上過失致死傷罪などで福島地検に告発（告発者はその後約一万五〇〇〇人に）。捜査を担当した東京地検は二〇二三年九月、全員不起訴処分を決定。告発人らの申し立てを受けて審議していた東京地裁・第五檢察審査会は二〇二四年七月、東電幹部三人を「起訴相当」一人を「不起訴不当」と議決。再捜査を行なった東京地検は二〇二五年一月、東電幹部四人に再度不起訴の判断。第五檢察審査会も再び審議を始め二〇二五年七月、東電幹部三人を「起訴相当」と議決し、東電元会長・勝俣恒久、元副社長・武黒一郎、元副社長・武藤栄の強制起訴が決まった。

二〇二五年八月、東京地裁は検事役を務める指定弁護士三人を指名（のちに一人追加された）。

二〇二六年二月、指定弁護士が起訴状を提出。二〇二七年六月初公判が開かれ、以降二〇一九年三月までに三七回もの公判が開かれた。被告三名に対しては「禁固五年」が求刑され、この九月十九日に判決が下される。

〔争点〕裁判では、「被告らが予見される津波に対してしかるべき対策をこらなかつた」という過失の有無が争われている。被告側の主張を簡単に言えば、「津波は想定外であり予見できなかったので過失はない」というものである。一方、公判を通じ、津波の予見可能性についてさまざまなことが明らかになっている。時系列でみてみよう。

●福島第一原発の設置許可（一九六六年）で想定されていた津波高さは、一九六〇年のチリ津波に基づいて三・一mだった。

●奥尻島津波（一九九三年）などの経験から「既往最大」の津波対策では不十分となり、二〇〇〇年に電事連の会議で日本の各原発の津波影響を比べてみると、福島第一は津波に対して

最も弱い原発であった。

●二〇〇二年七月、阪神淡路震災をきっかけに地震防災を推進するために設置された地震調査研究推進本部が、福島県沖の日本海溝でM8級の津波地震が発生する可能性についての長期予測を発表。東電は、長期予測は信頼できないとする工作で対応。

●二〇〇六年一月、二〇〇四年のスマトラ島沖地震と津波をうけ、保安院や電力会社が「溢水勉強会」を立ち上げた。想定外津波が来ると全電源喪失に至るという共通認識。

●二〇〇六年九月、原子力安全委員会が「耐震設計審査指針」を改訂。既存の原発も、津波対策を含めたバックチェックを二〇〇九年六月までに要求される。

●二〇〇八年三月、東電内部の計算で福島第一の津波高さが最大で二五・七mになると判明。技術グループは防潮堤の建設を提案。

●二〇〇八年七月、防潮堤の設計や費用を検討する会議で、武藤副社長がバックチェックを先送りすることを決定。

●二〇一一年三月十二日、東北地方太平洋沖地震発生。

刑事裁判の経過は、東電や保安院の責任者たちが「原発は危険だ」と思っていたら回避できたはずの事故であったことを示している。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(21)

今中哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

福島原発事故の刑事責任を問う裁判の 東京地裁判決

九月十九日の東電刑事裁判の東京地裁判決は、わたしの予想に反して東電幹部三人に無罪を言い渡した。今回もこの裁判についてコメントしておく。判決要旨を眺めながら、わたしなりに判決のロジックを整理すると次のようになる。まず事実として、以下の二つを認めている。

A、一〇mを超える津波がやってくるといふ予測の信頼性は十分であった。

B、事故を回避するには、津波がやってくる前に原発を止めておくしかなかった。

従って、被告三人には、「津波が来る前に原子炉を停止して事故を回避すべきほどの注意義務があった」とは認められず、業務上過失致死傷罪は成立しない」とつづである。

Aの予測可能性について判決は、「一〇mを超える津波の根拠となった地震本部の長期予測に対する専門家の評価はさまざまであり、二〇一一年三月の時点において、客観的に信頼性、具体性のあった予測と認めるには合理的な疑いが

残る」としている。一方、公判の過程で明らかになったことは、二〇〇二年の長期評価の発表を受けその信頼性を低めるため東電自身が専門家への工作を行なったことであり、二〇〇六年の耐震設計審査指針の改定以降は、津波対策が脆弱な福島第一原発へのバックチェックを遅らせようとしてきたことであった。

裁判所のいう「予測可能性」とは、确实で具体性のある予測、つまり「いつどこでどの程度の地震が起きる」と言えなければ予測可能とは判断しない、というところらしい。原子力の安全確保の根本は、「常に最悪の事態を想定し、万が一にでもその可能性があれば、そうした事態への対応を考えておく」ことである。前回にも述べたように、二〇〇八年には東電内部の技術グループからも一五・七mの津波の試算があり、防潮堤建設の提案がなされていた。津波の発生は予測されており、津波被害に対する注意義務が東電幹部にあったことは明々白々であ

る。

Bに関する判決要旨の記述、つまり「事故を回避するには事前に原発を止めるしかなかった」という事実認定は、わたしには「噴飯モノ」としか言いようがない。防潮堤建設は津波対策のひとつに過ぎないし、非常用ディーゼル発電機を高台にも設置したり、タービン建屋を津波の海水が浸入しないよう密閉構造にするなど、原発を停止せずとも有効な対策が行なえたはずである。わたしからすれば、裁判所が無罪判決の根拠としているAとBはどちらも成立せず、東電幹部三人は、津波による事故を回避すべき義務があったにもかかわらずしるべき対策を講じなかったという過失の責任を免れない。

四〇年余り前、まだ二〇歳代だったわたしは、日本最初の原発裁判である伊方原発設置許可取消裁判で原告側弁護団の手伝いをしていて。裁判が進むにつれ、国の安全審査を担当していた専門家のお粗末さが明らかにになり、「この裁判は勝つのでは」と思っていたら、判決間際に裁判長が交替し、結局のところ裁判は惨敗に終わった。以来、裁判といふものは、屁理屈を組み立てても秩序維持を補完するシステムと考えているが今回の判決もその典型である。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(22)

今中哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

九年前に福島第一原発で起きたこと⑥

この二回ほど東電刑事裁判の問題へ寄り道したが、事故発生時の福島第一原発に話を戻す。

二〇一一年三月十一日午後、津波により非常用発電機が停止し全交流電源喪失に陥った。1号機は、その日のうちにメルトダウン・メルトスルーを起こし、十二日午後に水素爆発に至った。

三号機の推移

三号機が二、二号機と違ったのは、バッテリー直流電源が冠水を免れ津波の後も使えたところである。原子炉の温度・圧力といった計装やバルブの開閉には直流を用いるので、運転員は原子炉の状況を把握できた。交流電源喪失後の三号機の冷却は、炉心崩壊熱が発生する蒸気を用いるタービン駆動ポンプ(RCIC、原子炉隔離時冷却系)によって継続され、原子炉圧力は約七〇気圧で、水位も十分に維持された。

しかし、RCICは長時間運転を想定して設計

されたものではなく十二日二時三六分に停止した。原子炉水位が下がりはじめ、二時三五分「水位低」信号によりもうひとつの蒸気駆動注入系であるHPCI(高圧注入系)が自動起動した。HPCIの注入量はRCICに比べて大きい。ため今度は原子炉圧力が急速に低下し、十二日の夕方には一〇気圧程度まで下がった。蒸気圧が下がるとHPCIの動作が次第に不安定となり、運転員は、HPCIの停止に備えて、DDFP(ディーゼル駆動消火ポンプ)による代替注水の準備を始めた。しかし、DDFPの吐出圧は五気圧程度なので、炉心注水のためには炉心の圧力をさらに下げる必要があった。そこで運転員は十三日午前二時四二分にHPCIを手動停止し、続いて圧力逃がし安全弁(SRV)を強制的に閉こうとしたが(バッテリー切れのためか)バルブが作動しなかった。HPCIが止まって注水がなくなった炉心では、圧力が逆に急増し午前四時三〇分頃七〇気

圧に達して高止まりしてしまった。運転員は、何度かSRVを開こうと試みたが成功しなかった。一方、(バッテリー不足のため欠測期間があるが)原子炉水位は減少し続け午前四時には燃料が露出し破損が始まっていたと思われる。運転員らが自動車バッテリーを集めてSRVを作動させようとしていた午前九時八分、突如SRVが開となり炉心の急速減圧が発生した。この時の記録をみると、七五気圧までバルス状に増加してから一気に一〇気圧以下へ落ちていく。おそらく、すでに溶融した燃料が炉水に落下した際の蒸気発生にともなう「圧力高」で八つあるSRVが一斉に開いたものであろう。SRVから抜けた蒸気は、格納容器のひとつである圧力抑制プール(SC)に導かれた。すると、SC内圧が上昇して、すでに準備が整っていたベント系配管のラフチャードイスク(破壊バルブ)が破れて、蒸気や水素と共に大量のガス状・揮発性放射能が排気筒から大気中に放出された。

ややこしい話になったが、三月十三日午前二時四二分にHPCIを停止した後の減圧と代替注入に失敗したことが三号機のメルトダウンに繋がったのだった。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(23)

今 中 哲 二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

九年前に福島第一原発で起きたこと⑦

3号機の推移②

前号では「三月三日午前二時四二分に高圧注入系（HPCI）を停止した後、逃がし安全弁（SRV）が開かず原子炉の減圧に失敗して低圧の消防注水が出来なかった」と、3号機のメルトダウンへつながったと述べた。注水が途絶えていた間に炉心の水位が下がり燃料損傷が始まった。午前九時八分、突然にSRVが開いて高圧蒸気やガス状・揮発性放射能が圧力抑制プール（SC）に放出された。減圧沸騰にともなう急激な水位低下で炉心損傷が一挙に進んだ。SCのベント系配管を通じて高さ二・二〇mの排気筒から大量の放射能放出が始まった。原発に不慣れな方のためにBWRの構造を簡単に説明しておこう。原発の心臓部は、お釜（原子炉容器）である。お釜の中央（炉心）には約五万本の燃料棒が詰め込んであり、普段は、核

分裂で発生する熱により二八〇度Cで七〇気圧という高温高圧の蒸気を作ってタービンに送っている。何らかの原因で配管が破断した場合を想像して欲しい。お釜の中の水はあつという間に沸騰して失われ、燃料棒温度が上がって破損が始まる。まずガス状・揮発性の放射能が蒸気と一緒に放出される。また、燃料棒の鞘はジルコニウムという金属の合金であるが、一〇〇〇度Cを越えると水と激しく反応して水素を発生する。さらに燃料温度が上がると、核燃料や炉心構造材が融け始める（メルトダウン）。こうした事態においても放射能を外部へもたらさないために作られているのが格納容器である。BWRの格納容器は、原子炉容器やポンプを丸ごと収納しているドライウェル（DW）と、噴き出した蒸気を配管で導いて凝縮させる圧力抑制プール（SC）に分かれている。それぞれの形から、私はダルマとドーナツと呼んでいる。ダル

マとドーナツを収容している四角い建物が原子炉建屋である。福島第一原発が作られた頃は、メルトダウンが起きても格納容器があれば放射能の大量放出を防げると考えられていた。一九七九年の米国スリーマイル島原発事故をきっかけに安全設備の見直しがあり、格納容器破壊をさけるための次善のガス抜き策として『ベント系』が設置された。

3号機では、何とかベントには至ったものの、メルトダウンの進行は防げなかった。底に溜まった溶融物により原子炉容器が底抜けするメルトスルーが起きたのは午前二時前とされている。格納容器の圧力は再上昇し、ベントが繰り返され、そのたびに排気筒から放射能が放出された。そして翌一四日二時一分、3号機原子炉建屋の最上階で水素爆発が発生し、キノコ雲のような黒い雲が立ち上った。政府事故調の見積もりによるとこのとき爆発を起こした水素量は四〇〇kgで、TNT火薬一二トンに相当する。1号機建屋の壁は鉄骨構造で薄く爆発力には横に抜けたが、3号機建屋の壁は鉄筋コンクリートで厚く重かったため上に吹き上がったと思われる。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(24)

今 中 哲 二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

九年前に福島第一原発で起きたこと⑧

2号機の推移

1号機は、三月十一日の夜にメルトダウン・メルトスルーを起こし十二日二時三十分原子炉建屋の水素爆発に至った。3号機は、十三日午前中にメルトダウン・メルトスルーが始まり一日二時一分に水素爆発に至った。この間2号機では、原子炉隔離時冷却系(RCIC)、蒸気タービン駆動の非常用ポンプによる炉心冷却が続いていたが、十四日の昼頃から炉心水位の低下が始まり三時二五分に機能停止と判断された。RCICの停止に備えて、前日から消防車による代替注水ラインがセトアップされていたが、午前中の3号機水素爆発によりホース等が破損し復旧作業が行なわれていた。ラインが復旧し一六時半に消防車からの送水が始まったが、高圧のままの炉心には注水されなかった。自動車のバッテリーをかき集めて直流電

源に繋ぎ込み、炉心圧力を下げるための逃がし安全弁(SRV)が開いたのは一八時頃だった。このときまでに水位が下がって燃料棒が露出し始めていたと思われる。SRV開にともなう圧力低下により急激な炉心沸騰が起きて一挙に水位が減少し大規模な燃料損傷が始まった。SRV開と同時に消防車による代替注水が行われるはずだったが、一九時二〇分に担当者が消防車の様子を見に行く燃料切れでポンプが止まっていた。一九時頃から格納容器(ドライウエル、DW)圧力が少しずつ上昇をはじめ、二四時頃(二五〇〇時)頃から約七気圧で高止まりした。炉心圧力は大きな変動を示していたが、二四時頃にはドライウエルと同じ挙動を示すようになった。つまり、十四日の夕方から夜にかけて2号機のメルトダウン・メルトスルーが進行した。

格納容器の設計耐圧は約四気圧である。メルト

ダウン・メルトスルーに格納容器破壊が重なる、遮るものなく大量の放射能が大気中に放出される「チェルノブイリ」である。チェルノブイリを防ぐための次善の策が、格納容器のガス抜き、いわゆる「ベント」である。1号機と3号機では何とかベントに成功し、格納容器に一定程度の密閉性が保たれた。2号機では、三月十三日の段階でベントラインのセトアップが行なわれていた。しかし、格納容器内圧が上昇しても、ベント系の最後の隔壁であるラフチャードディスクが開かず、十四日夜、ベントが出来ないまま約七気圧の格納容器内圧が続くという危機的状態に陥った。

東電の清水社長が、第一原発からの撤退を首相官邸に申し入れたのはこの段階である。それを聞いた菅首相は十五日未明に東電本社のおペレーションセンターに乗り込んで「撤退なんてあり得ない、命がけでやれ」と檄を飛ばした。現地では午前六時頃に新たな爆発音があり、2号機格納容器(圧力抑制プール、SC)の内圧がゼロになった。吉田所長は、最小限必要な人員を残し、残りの職員は退避するよう命令を出した。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(25)

今 中 哲 二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

九年前に福島第一原発で起きたこと⑨

4号機の水素爆発と5号機の格納容器破壊

二〇一一年三月十五日、この日の朝刊一面は「2号機空だき状態」という大見出しだった。午前十一時、わたしは職場のテレビの前で記者会見が始まるのを待っていた。中継が始まり、菅首相の短い話の後、枝野官房長官が「今朝六時頃4号機において水素爆発がありそれとともなう火災が続いている。六時半頃にボンという音がして2号機の格納容器が損傷したと思われる。敷地内では四〇〇ミリシーベルトという極めて高い放射線量が認められている」と発表した。この会見を聞きながらわたしは、「福島はついにチェルノブイリになってしまったと確信した。と同時に、この場面はどこかで見たことがある」という既視感とともに、何やら自分が映画の中にいるような気分になったのを覚えている。日本で原発大事故が起きたら、という若い頃に頭の中でやっていたシミュレーションや、周辺

三〇kmが廃墟となっているチェルノブイリ原発周辺の風景、といったイメージと、目前で進行している原発事故とがなじみざとなり、一気に「非日常の世界」に放り込まれてしまったこの感覚は大なり小なり二か月くらい続いた。

4号機水素爆発という事態はわたしには不意打ちだった。4号機は定期検査中で、核燃料は全部取り出され建屋最上階の使用済み燃料プールに移されていたので、メルタタウンは起きないはずだった。その4号機で水素爆発というのは、電源喪失で冷却できなくなったプールの水位が下がり燃料棒が露出し、温度が上がり被覆管のジルコニウムと水とが反応して水素ガスが発生したものと考えられた。使用済み燃料が剥き出しとなると、放射線量が高くなって誰も建屋に近づけず、ガス状や揮発性の放射能が大量に大気中に放出され続け、第一原発は全滅状態になる。(米国政府が原発周辺八〇kmの自国民に避難

を呼びかけたのはこの危惧からだった。)ところが翌十六日、自衛隊のヘリコプターが現場上空を飛んでみると、意外にも、破壊された4号機建屋のプールに水が残っていることが確認された。後に判明したところでは、十三日から十四日にかけて3号機でベントを行なった際に、4号機と共用している排気筒配管から水素が逆流して4号機建屋に溜まり爆発したものだった。

2号機では、ベントがうまく行かず、十四日深夜から、放射能もれを防ぐ最後の壁である格納容器で設計耐圧を越えるという危機的状態が続いていた。十五日朝、吉田所長の退避命令が出てからは、残った運転員もいったん重要免震棟に引き上げ、交替で制御室へ出かけて計器の読み取りを行なっていた。午前七時二〇分の格納容器圧力は七・二気圧だったが、次の一時二五分の読み取りでは一・五気圧まで下がっていた。この間に格納容器の破壊が生じ、大量の放射能放出が始まった。午前一〇時頃には、2号機建屋から白い煙(水蒸気)の放出が認められている。この日の放射能放出が福島原発事故で最大の汚染をもたらすことになる。(枝野氏の「2号機でボンという爆発」は4号機の水素爆発のことだったと判明している。)

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(26)

今 中 哲 二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

環境への放射能放出と汚染の拡大

二〇一一年三月十一日「福島第一原発が大変なことになる」とわたしは気づいたのは、地震・津波をきっかけに原発事故がはじまった翌日の三月十二日の朝刊を見たときである。一面の「東北で巨大地震・大津波死者・不明多数」という大見出しと津波の写真の右隅に「福島原発冷却できず」という記事が出ていた。すでに原子力緊急事態宣言が発令されていて「えらいこっちゃ」ということで、その日は土曜日だったが、予定を変更し自転車で二〇分の研究室へ向いて情報収集をはじめた。

実は、前日三月十一日（金）の午前中、わたしは関西空港の迎えロビーにいた。チェルノブイリ原発事故二五年というテーマで、三月十八日に原子炉実験所で予定していた原子力安全問題セミナーのゲストとして、チェルノブイリ調査のパートナーであるバロージャー・ティーヒューにウクライナから来日してもらったのだった。バロ

ージャーには研究所の宿泊所で休憩してもらい、午後バソコンに向かっているときに地震が発生した。わたしは揺れには気づかなかったが、同僚から東北で大きな地震が起きたようだと教えてもらった。あわててネットをチェックすると、マグニチュード八・四の地震が発生していた。その後九・〇に変更された。）

この日は午後四時から、わたしの部門の定例ミーティングが予定されていた。わたしをはじめ部門メンバーのほとんどが早めに会議室に集まりNHKを眺めた。大きな津波が発生したようだが被害の詳細は分からなかった。午後四時「東京電力の発表によると、福島原発は自動停止し、異常な放射能の放出は認められていません」というニュースを聞いたところで、見ていたらキリがないから、ということでテレビを切ってミーティングを始めた。

この日の夕方、バロージャーの歓迎会というこ

とで、実験所近くの小料理屋に同僚の小出裕章さんを含め五人ほどが集まった。地震・津波のよすがが気にならず何となく不安な集まりだったが、わたしにはもうひとつ心配があった。実は、バロージャーの希望で、翌日から南紀・那智勝浦の温泉へ観光旅行に出かける手筈になっていた。帰宅後紀伊半島にも津波警報が出ていることを確認しキャンセルの電話を宿に入れた。

翌十二日に研究室へ出てすぐにわかったのは、福島第一原発の非常用発電機が津波ですべてダウンしてしまい電源喪失が続いていることだった。1号機では格納容器内圧が、設計耐圧の二倍くらいにまで上昇し、ベントを試みているがうまくいかないようだ。（ポンプ停止で炉心を冷やせない）↓（冷却水が蒸発して水位が下がる）↓（燃料棒の温度が上がる）↓（メルトダウンが始まる）というのが、一九七九年の米国内スリーマイル島原発事故の教訓である。スリーマイルでは、メルトダウンが始まりかけたところでポンプの運転を再開し、全面的なメルトダウンを免れた。限られた情報であったが、1号機の状況はすでにスリーマイル事故より悪そうだとなんとは判断した。

怒濤の日々が始まった。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(27)

今 中 哲 二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

環境への放射能放出と汚染の拡大②

チェルノブイリと福島

チェルノブイリと福島は放射能汚染の違いについて述べておこう。チェルノブイリは、核分裂反応のコントロールに失敗し出力が爆発的に急上昇した「暴走事故」で、原子炉とその建屋が一瞬のうちに破壊され、炉心の核燃料や構造物が、はらわたが飛び散るように放出された。さらに、炉心材料の黒鉛が燃えだして大量の放射能放出が約一〇日間続き、プルトニウムやストロンチウムといった融点の高い放射能も大量に放出された。

一方、福島は、電源喪失にもなつて冷却ポンプが動かせなくなり、炉心が高温になつてメルトダウンしてしまつ「冷却失敗事故」であつた。1号機と3号機では水素爆発が起きて建屋が破壊されたが、これは、メルトダウンの過程で水蒸気とジルコニウム金属の化学反応により水素が発生し、建屋大井に溜まつて爆発したも

ので、原子炉そのものの爆発ではない。福島で大気中に放出された放射能は、もっぱら高温溶融体から遊離し気化したガス状のキセノン、揮発性のテルル、ヨウ素、セシウムなどであつた。

1号機のベントと水素爆発の放射性ブルーム

最初に放射能の大量放出を起こしたのは、三月十一日夜にメルトダウンした1号機だつた。十日未明、放射能閉じ込めの最後の壁である格納容器の内圧が設計耐圧四気圧の約二倍に達していることが判明し、「次善の策」として、格納容器のガス抜きであるベントの実施が決まつた。しかし、電源がないこと、放射線量が高いこと、なによりも未経験な作業であつたことから手間取つてしまい、ベントに成功したのは午後二時過ぎだつた。その一時間余りたつた午後三時三六分には、建屋で水素爆発が発生した。1号機のベントと水素爆発で放出された放射性ブルーム（放射能を含む大気塊）はまず原発

の北西へ、じきに北へ流れたようだ。

どこの原発でも敷地周辺にMP（モニタリングポスト）が設置され、放射線量がリアルタイムでインターネットに公開されている。当時のわたしは、福島県のMPシステムにアクセスしてみたが、地震・津波にともなう障害で機能していなかった。その後、MPに残存していたデータが回収され一九か所のデータが公開されている。そのデータによると、十二日午後二時四〇分に双葉町上羽鳥MP（北西五・六km）で毎時四六・一〇マイクロシーベルトが記録されていた。わたしが知る限り、福島原発事故による敷地外での最大の放射線量であり、一三分間で公衆の年被曝限度一ミリシーベルトに達する。午後五時には浪江町浪江MP（北北西八・六km）が毎時一三・六マイクロシーベルトであつた。

この後、放射性ブルームは南相馬市辺りからいったん太平洋に出て、仙台湾を横切り男鹿半島に達している。三月十三日午前二時、男鹿半島付け根の東北電力女川原発（北北東二・一〇km）のMPは毎時二・一マイクロシーベルトを記録した。東北電力の担当者は、自分のところの原発が放射能漏れを起こしたのかと驚いたことであらう。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(28)

今中哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

環境への放射能放出と汚染の拡大③

三月十一日午後の地震・津波をきっかけとして
原発事故がはじまる。1号機はなすすべもな
く、まっしぐらにメルトタウン・メルトスルー
が進み、十二日一五時三六分に建屋の水素爆発
に至った。前回述べたように、このときの放射
性プルームは北へ流れ、南相馬を通っていつた
ん太平洋に出て、一二〇km離れた東北電力女川
原発に達した。

3号機メルトタウンとロナルド・レーガン

1号機の次にメルトタウンしたのは3号機だっ
た。1・2号機と違って、3号機ではバッテリー
が水没を免れたので直流電源が残り、原子炉
水位・圧力の計測やバルブの操作も可能だっ
た。なすすべはあったはずなのに、十三日早朝
に至ってメルトタウン・メルトスルーがはじま
り午前九時過ぎに最初の格納容器ベントが実施
された。3号機ではその後もベントが繰り返さ
れ、十四日午前十一時一分に原子炉建屋で水素
爆発が発生した。幸いというべきか、十三日と

十四日にかけて放出された放射能のほとんどは
西からの風により太平洋側へ流れていった。

地震・津波が起きたとき、横須賀基地所属の原
子力空母ロナルド・レーガンはフィリピン海域
にいたが、被災者支援の「トモタチ作戦」参加
のため急遽北上した。三月十三日午後一時、仙
台沖約一〇〇kmを航行しながら救援物資空輸作
業を行なっているときに突然放射線量が上昇し
た。3号機最初のベントで放出された放射性プ
ルームと遭遇したのだ。あわてて進路を変
更したものの丸半日はプルームに囲まれてい
たようだ。十三日午後七時に毎時約二〇マイク
ロシーベルトという放射線量が記録されてい
る。作戦終了後、ロナルド・レーガン乗組員を
はじめトモタチ作戦に参加した兵士たちの間
で、出血、脱毛、ガンなどさまざまな病気が発
生し、東京電力を相手に米国での裁判が起こさ
れた。しかし、カリフォルニア州の連邦地裁は
二〇一九年三月、元兵士たちの訴えを却下して

いる。

2号機と最悪の三月十五日

津波により非常用ディーゼルが止まり全交流電
源喪失が起きたとき、2号機はたまたま電源を
必要としないスチーム駆動の非常用冷却ポンプ
が動いていた。このポンプは約三日間もちこた
えたが、十四日午後に機能停止すると急速に事
態が悪化し、夕刻からメルトタウン・メルトス
ルーがはじまった。2号機では、なぜかベント
がうまくいかず、放射能漏れの最後の壁である
格納容器が設計耐圧を越える状況が続いた。十
四日深夜から大量の放射能放出がはじまった。
十五日未明にかけてのプルームは南へ流れ、茨
城県、千葉県を通って、東京新宿の放射線モニ
ターが毎時〇・八マイクログレイを記録したの
は午前一一時台だった。午後からは風向きが次
第に西よりになり、宇都宮、那須塩原、郡山と
いわゆる中通りの放射線量が上昇し、夕方にな
ると、浪江町、飯館村、福島市へと北西方向に
プルームが流れた。北西方向の人々がアンラッ
キーだったのは、このプルームと雨や雪が重な
ったことだった。大気中の放射能が一挙に地表
に沈着して大規模汚染となった。飯館村に急遽
設置されていたモニタールは午後六時二〇分に毎
時四四・七マイクログレイを記録した。

放射能汚染と
向かい合うための

基礎知識

(29)

今中哲二

京都大学複合原子力
科学研究所研究員

環境への放射能放出と汚染の拡大④

陸上の汚染に着目すると、三月十二日の一号機
ベントと水素爆発にともなう放射能放出が第一
波で、その放射性プルームは、浜通りの海岸沿
いを北上し太平洋へ出て仙台湾を越え牡鹿半島
に達し、女川原発のモニタリングポストが異常
な上昇を記録した。

十五日未明からはじまった、二号機での格納容
器損傷プロセスにともなう放出が第二波と言え
よう。その放射性プルームは、はじめは南に流
れて関東一円に達したが、東京の人びとに幸い
だったのは、この日は天気が良く地表にはこん
ど沈着しなかったことだった。昼から夕方にか
けて放出されたプルームは、風向きの変化にと
もなつて北西方向に流れて、浪江町、飯館村、
福島市に達した。この時、放射性プルームは雨
や雪と重なつて大規模な地表沈着を起こした。
これが今に至る北西方向の『帰還困難区域』を
形成した。

それから数日間の放射性プルームはもっぱら太

平洋側へ流れた。二十日から二十一日にかけて
は、岩手県・宮城県の太平洋側から関東地方南
部を舐めるように放射性プルームが流れて雨と
重なつて広汎な汚染地域を形成した。放出源は
二号機と三号機の両方と思われるが、確かなど
ころはわからない。この時が第三波と言えよ
う。

東京都葛飾区金町浄水場の水道水から、乳幼児
に対する規制値の約二倍にあたるリットル当
り二〇ベクレルのヨウ素一二三が検出された
のは三月十二日だった。東京ではベクトボト
ル水がたちまち売り切れたりして、当時の大騒
ぎを覚えていた方も多いだろう。

二年後の二〇一三年三月にわたしが行なつた、
浄水場からはほど近い東金町運動場公園の土壌汚
染調査結果では、公園内五カ所で空間放射線量
率が毎時〇・二〇〇・二五マイクロシーベルト
(自然放射線レベルの四〜五倍)で、セシウム
一三七の値は、汚染密度が一平方m当り二万〜

九万(平均約五万)ベクレル、汚染濃度は土壌
一kg当り三〇〇〇〜二〇〇〇(平均約二二〇〇)
ベクレルだった。葛飾区と隣接する千葉県松戸
市、柏市一带は、東京近辺でのホットスポット
のような汚染となつていた。ちなみに、放射性
同位元素等規制法では、二平方m当り四万ベ
クレルの汚染の恐れがある場所は放射線管理
区域とするよう定められている。政府や地元自
治体は、速やかに情報を発信し道路・公共施設
の除染など必要な対応をすべきであつたが、東
京などで除染活動が始まつたのはおおむね一年
経つてからだつた。

その他にわたしの測定から、いくつか東京都内
でのセシウム一三七汚染密度を紹介すると、お
茶の水駅の近くで二平方m当り七〇〇〇ベクレ
ル(二年十二月、お台場で二万ベクレル(一
三年二月)、都庁裏の公園で六〇〇〇ベクレル
(二年四月)、蒲田の駅前で約四〇〇〇ベクレ
ル(二年十二月、東村山市の神社で約五〇〇
〇ベクレル(一六年一月)といった値であつた。
一九六〇年代前半、米ソの一連の大気圏内核実
験によつてもたらされた日本のセシウム一三七
汚染は数年間の積算で二平方m当り五〇〇〇〜
一万程度だった。福島原発事故による東京の汚
染はそれが数日で起きたよつなものだった。