

2017 年 4 月 4 日

事故後 6 年を経た福島第一原発の現状と今後

－とくに 2 号機問題について－

京都大学名誉教授・大飯原発差止京都訴訟原告団長 竹本修三

【要旨】 2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) により、福島第一原発は壊滅的な被害を被った。大気中への放射性物質の放出に関しては、稼働中の 1～3 号機のうち、1 号機が 2011 年 3 月 12 日、3 号機が 3 月 14 日に水素爆発を起こし、建屋の屋根が吹っ飛んだ。それに対して 2 号機は、水素爆発を起こしていない。しかし、事故から 1 年 2 カ月あまり経った時点での東電の調査によれば、放射性物質の全体の放出量のうち、1 号機からは 2 割程度、2 号機から 4 割強、3 号機からは 4 割弱が放出されたという。地震時に稼働していた 1～3 号機の原子炉建屋は、いまだに線量値が高く、人間が立ち入って詳しく調査できる環境にないが、燃料がメルトダウンからメルトスルーして、溶け落ちた核燃料デブリの一部は原子炉本体の圧力容器を包む格納容器の下のコンクリートをも溶かしたことは間違いないようである。また、配管類の一部が損傷を受けたことも次第に明らかになりつつある。そうすると、原子炉内に残されている放射性廃棄物を外部に漏らさないように処理するのは至難の業だと考えられる。福島第一原発事故が収束に向かっているとはとても言い難いが、福島第一原発は東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) の余震域に含まれていることにも注意する必要がある。そこでは今後 100 年以上にわたって、M7 クラスの余震を警戒しなければならない。これまでに福島第一原発の近くでは、2011 年 4 月 11 日に震央距離が 61.7km で福島県浜通り地震 (M7.0)、2016 年 11 月 22 日に震央距離が 51.4km で福島県沖地震 (M7.4)、2016 年 2 月 28 日に震央距離が 87.9km で茨城県北部地震 (M6.3) などが発生したが、これらの地震の福島第一原発に残されている核燃料デブリやプールに保管中の燃料棒への影響は報告されていない。わが国の地震予知研究の現状は、次の M7 クラスの地殻内断層地震がいつどこで起きるかはまったく予測がつかない。このことから、そう遠くない将来に、福島第一原発の直下で M7 クラスの地震が起こることも否定できない。これまでにメルトダウンを経験した世界の原発のなかで、溶け落ちた核燃料デブリが事故後に震度 6 強とか震度 7 の強震動で揺すられたという例は他にない。福島第一原発の直下で M7 クラスの地震が起きて、核燃料デブリやプールに保管されている燃料棒が震度 6 強～7 の揺れに見舞われることになると、世界で初めての経験であり、事態がどうなるかはまったく予測がつかない。場合によっては、新たに大量の放射性物質が外部にまき散らされることも考えられる。そうすると、首都圏にも人が住めなくなる可能性があり、とても東京オリンピックどころの話ではなくなるであろう。筆者がとくに心配なのは、大量の核燃料デブリが格納容器内の圧力容器の底や中間足場に不安定な形で残されている 2 号機である。2011 年 3 月の事故で高温・高圧の過酷な環境に曝されても大破することなくもちこたえた 2 号機の圧力容器であるが、新たな地震動でさらに破損が進み、中途半端な形で保持されている核燃料デブリが格納容器の底に溜まった水中に急速に落下したときにどうなるか、早急に検討が必要である。それを含めて核燃料デブリやプールに保管中の燃料棒の今後の強震動対策が確立しない限り、一部の地域で現在すすめられている「避難指示解除」の政策の見直しも必要になると考える。

1. 3・11 東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発の事故

1.1. 全電源喪失

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分（日本時間）に発生した東北地方太平洋沖地震（Mw9.0）により、福島第一原発は、壊滅的な被害を被った。気象庁発表の各地の震度データによれば、この地震で震度 7 の揺れは宮城県栗原市、震度 6 強の揺れは、福島第一原発のある福島県大熊町を含んで宮城県、福島県及び茨城県の広範な地域で観測された。東電の発表によれば、福島第一原発の敷地内で記録した地震の揺れの最大加速度は 448 ガルであったという。地震波の到達時に、6 機ある原発のうち、1・2・3 号機が稼働中であつたが、4 号機は定期点検作業で停止、5・6 号機も停止中であつた。この地震の際に震度 6 強の揺れを受けて、1 号機が 3 月 11 日 14 時 46 分、2・3 号機も 14 時 47 分頃に緊急停止した。原発に問題が生じたとき、「①止める、②冷やす、③閉じ込める」という安全確保のための設計がなされているが、「①止める」の作業は、あらかじめ想定された通りに行われた。

東電は、事故の 2 日後の 2011 年 3 月 13 日夜に清水正孝社長（当時）が記者会見で、「施設は地震の揺れに対しては正常に停止したが、津波の影響が大きかった。津波の規模は、これまでの想定を超えるものだった」と述べた。その後も東電は、「地震の揺れは想定内、津波の規模は想定外」という見解を変えていない。しかし、これについては、その後、各方面から異論が出ている。

なかでも、国会事故調の報告書(2012¹⁾)の「第 1 部 事故は防げなかったのか？（その 1）」の 59 ページに以下のように書かれている。「1～3 号機の設置許可申請がなされた 1960 年代後半の耐震設計上の最大加速度はわずか 265 ガルであつた。2006 年の耐震設計審査指針の改定（新指針）を受けて、東電では 2008 年に 5 号機の耐震設計の基準地震動 S_s を 600 ガルとして、それに対する耐震安全性が確保されるとした。東電はその後、2009 年に 1～4 号機と 6 号機についても 5 号機と同様の耐震設計の中間報告を出したが、これ以後、耐震バックチェックをほとんどすすめていなかった。新指針に適合するためには多数の耐震補強工事が必要であることを把握していたにもかかわらず、1～3 号機については東北地方太平洋地震発生時点でもまったく工事を実施していなかったことが、本調査で明らかになった」。また、大鹿 靖朗 (2013)²⁾ の 13 ページにも同様のことが指摘されており、「福島第一原発 1～3 号機の耐震設計上の最大加速度は設置当初から 265 ガルにすぎなかったが、東電は各号機の耐震補強工事が必要だとは感じながらも、1～3 号機についてはまったくなされないまま、3 月 11 日を迎えてしまった」と書かれている。これらの指摘が事実であれば、「地震の揺れは想定内」とする東電の主張が根底から崩れることになる。

それはさておき、東電が発表した地震・津波の主な被害としては、以下のようなことが挙げられている。

1～4 号機が新福島変電所（福島県双葉郡富岡町）から電力供給を受けていた大熊線の発電所敷地内の受電遮断機や断路機、ケーブル類が地震時に大幅に損傷したため、外部から供給されていた交流電力の受電不能に陥った。また、5～6 号機も、受電経路である夜の森線の敷地北西端にある第 27 号鉄塔が地震動による液状化の影響等で倒壊したため、受電不能に陥った。本来、どちらかの外部電源から受電できれば、発電所内で融通するシステムがあつた。しかし、結果的には全機受電不能となり、福島第一原発は外部電源を一挙に喪失した。

外部電源がすべて遮断された後、地下の非常用交流電源（ディーゼル発電機）が起動したが、

地震波が到達から 41 分後の 15 時 27 分頃に津波の第一波、15 時 36 分頃に第二波が敷地を襲った。この津波の影響で、概ね 15 時 36 分に非常用交流電源も機能喪失した。15 時 40 分前後には津波が原因で非常用母線の機能が喪失し、全交流電源を失う結果となった。外部電源がほぼ復旧したのは、3 月 22 日以降である。

このように、2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震による地震波と津波の来襲により、福島第一原発は過酷な事故に遭遇したが、事故後に 4 つの事故調査委員会が発足した（日本科学技術ジャーナリスト会議(2013)³⁾）。このうち、国会事故調査委員会だけが、「福島第一原発事故の主因を津波のみに限定するべきではなく、地震による配管損傷の可能性も否定できない」と結論づけていることが注目される。国会事故調は、綿密な調査に基づいて、1 号機の 2 台ある非常用電源のうちの 1 台（A 系統）が津波到達前に機能喪失に至ったと結論づけており、2、3 号機の非常用電源喪失も「津波によるといえるかどうかは疑問がある」としている。政府事故調も福島第一原発事故の主因は津波であるとしつつも、「地震発生から津波到達までの間、小さな亀裂やひび割れが起きた可能性まで否定するものではない」としている（文献³⁾、6～7 ページ）。

1.2. 1 号機・3 号機の問題

大きな揺れに遭遇した原子炉は、自動的に制御棒が挿入されて緊急停止し、核分裂反応を止めることになっている（スクラム）。スクラムに成功しても、原子炉内の温度はおよそ 300℃の高温状態にある（NHK スペシャル「メルトダウン」取材班 (2015⁴⁾、18 ページ）。この温度を徐々に 100℃以下まで下げていって、炉内の水の沸騰を収め、原子炉の状態を安定に保つのが低温停止である。しかし、福島第一原発では地震の強い揺れに加えて津波の襲来も受けたため、外部電源及び非常用交流電源のすべてを失った。1 号機は、非常用復水器（IC）がうまく働かず、地震発生からわずか 3 時間後に核燃料棒の露出が始まり、それから 1 時間後には燃料棒の損傷が始まっていた。そして、3 月 11 日の 19 時 30 分頃には完全にむき出しになった燃料棒が損傷し、メルトダウンを起こしたと考えられている。翌 12 日の 2 時 30 分頃に 1 号機の格納容器の圧力が、設計上想定されている最高使用圧力（427kPa）のほぼ 2 倍に当たる 840kPa に達した（文献²⁾、88 ページ）。このことを知った吉田昌郎所長は、格納容器内の高まり過ぎた圧力を緩めるため、炉内の空気を外部に排出する作業、いわゆるベント作業、を検討していた。このように稼働中の原子炉のベント作業は、これまで日本どころか世界でも一度も実施されたことはなかった。誰もが経験したことがないこの作業を手探りで検討しなければならず、真っ暗な原子炉建屋内で作業の確認に手間取ったほか、ベントは放射性物質を外部に撒き散らすことになるので、それに対する躊躇もあったようだ。

圧力容器の一部がすでに破損したためと思われる高濃度の放射線で原子炉建屋が汚染されたため、作業員がなかなか現場に近づけないという事情があった。それに加えて、操作マニュアルの不備もあって、ベントの作業は難航し、ようやく 1 号機のベント成功を確認できたのは、12 日の 14 時 30 分であった。その約 1 時間後の 15 時 36 分、1 号機の原子炉建屋は水素爆発を起こして大破した。水素爆発の原因は、高温の水蒸気と燃料棒を包む金属ジルコニウムが触れて水素が発生し、それが酸素と急激に反応して爆発に至ったと考えられている。しかし、この爆発が、ベントにより排出された多量の水素を含む水蒸気が原子炉建屋のオペレーションフロアに流れ込んだためか、あるいは、それ以前から圧力容器及び格納容器

が損傷していて、そこから漏れた水素が建屋内に充満していたためかについては、十分な検証がなされていない。

そして、14日11時01分には3号機が同様に水素爆発を起こし、3号機建屋が大破した。話は戻るが、11日15時過ぎの津波発生直後、3号機の隔離時冷却系（RCIC）が辛うじて起動して原子炉を冷やし続けていた。それがついに12日11時36分に停止した。その後、高圧注水系（HPIC）という別の冷却装置が12日12時15分に自動起動したが、そのコントロールが手動でやってもうまくいかず、吉田所長が13日4時頃には3号機を冷却する手段をすべて失ってしまったことを確認している。

その後、3号機のベントに向けた作業が急速にすすめられたが、ベントが成功したと思われたのは、13日の8時41分であった。3号機のベントが開始されてから1日以上経った14日11時01分に3号機で1号機と同様の水素爆発が起きた。1号機の場合と違うのは、透明な爆発の直後、燃料プール付近で赤い炎が目撃されたあと、激しく爆発し、きのこ雲のような黒い噴煙が舞い上がったということである。この違いについて、メルtdownした原子炉では様々な化学物質が発生するので、その種類や量の違いによって、差が出たのではないかとされている。なお、3号機は、MOX燃料を使用できるようになっていた。その後の数日間、3号機建屋からは、何度も煙が上がったという。

さらに、15日6時14分頃、大きな衝撃音と振動が発生し、4号機建屋の損傷が確認された。4号機は炉心定期点検中で、炉に燃料は装荷されていなかったが、3号機と4号機はタービン建屋の配管でつながっていた。東電は、3号機の水素が4号機建屋に漏れて、水素爆発が発生したと推定している。しかし、このときに4号機建屋の天井近くにある燃料プールに保管されていた1535体（内204体は新燃料体数）の燃料棒が爆発に無関係だったと言いきれるかどうかは、今でも疑問が残る。

4号機の燃料棒は、2014年12月20日までに撤去が完了したということであるが、4号機建屋の燃料プールは、2011年3月12日の午後に冷却装置が止まり、翌13日午後4時頃に冷却を再開した。その間、水温は、停止時の28℃から37.6℃まで上昇した。その後に水温は低下傾向にあったものが、再び上昇傾向になり、14日4時には84℃に達した（文献²⁾、185ページ）という。そして4号機建屋が水素爆発を起こしたのは15日6時14分頃であった。



図1 4号機使用済燃料プールの状況(2011年6月)。

(http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/houkokusyo_full.pdf より引用)

図1に2011年6月に原子力災害対策本部が国際原子力機関（IAEA）に提出した日本政府の報告書（2011⁵⁾）に掲載されている4号機使用済燃料プールの写真（IV-89ページ、図IV-5-12）をそのまま示してある。事故後に撮影されたこの写真では、燃料プールが完全に水に満たされているようであるが、プール内の燃料棒の配置には歪みや破損が見られ、健全な状態で保持されたとは思えない。事故当時は、建屋付近の放射線量がきわめて高く、現場の確認さえ非常に困難な状況であったため、14日から15日にかけての4号機プールの水位を示す写真は残されていないようである。15日の4号機建屋の水素爆発に、4号機プールに保管されていた燃料棒が無縁だったとは思えない。なお、3月15日9時38分に4号機建屋内で火災を確認したが、11時までに自然に鎮火した。また16日5時45分頃に再び火災の連絡があったが、6時15分に確認したところ、現場に火はなかったと東電は説明している。

図2にISEOアジア技術センター（<http://www.nsra.or.jp/isoe/index.html>）から引用した地震及び津波発生後の福島第一原子力発電所（1～4号機）の外観を示してある。1・3・4号機の原子炉建屋は、水素爆発によって屋根が吹っ飛び、内部にはがれきが散乱し、骨組みがむき出しになるという無残な姿がTVでもしばしば放映された。しかし、2号機原子炉建屋は、水素爆発を起こしておらず、ブローアウトパネルと呼ばれる最上階フロアに設置された通気孔が開いているのを除いて、たたずまいは事故前とほとんど変わっていない。なお、原子炉建屋より手前（海側）にあるタービン建屋は、地震前と同じ姿で残っている。



図2 地震及び津波発生後の福島第一原子力発電所（1～4号機）の外観。

（<http://www.nsra.or.jp/isoe/index.html> より引用）

1.3. 2号機の問題

2号機建屋が水素爆発を起こさなかった理由について、東電は以下のように説明している（http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/2_5-j.html）。「2号機はなぜ過酷事故に至ったか：炉心損傷の後の圧力容器及び格納容器の損傷に伴い、水素が原子炉建屋に漏洩したと推定されますが、2号機では原子炉建屋上部側面のパネルが1号機の水素爆発（3月12日15時36分）の衝撃で開きました。このため、水素が外部へ排出され、原子炉建屋の爆発が回避されたと推定されます」。しかし、吉田所長は、14日13時過ぎに、2号機建屋のブローアウトパネル（通気孔）を開ける試みを模索している（文献²⁾、163ページ）。この矛盾をどう考えたらよいのでしょうか？ 2004年10月の中越地震（M6.8）の際に柏崎原発のブローアウトパネルが脱落した事故の経験から、ブローアウトパネルは従来よりも頑丈に取り付けられていたそうである。

15日6時14分に大きな衝撃音が発生し、4号機建屋が水素爆発したが、これと同じ頃、2号機の圧力抑制室の圧力計が0を示したという。そこで、圧力抑制室が破損した可能性があるかと判断した現場は、最小限の要員を残して第一原発から退避した。このときに爆発したのは4号機建屋だけで、2号機は爆発ではなく、圧力抑制室付近で大きな損傷が起きたと東電は推測しているが、この前後に2号機建屋のブローアウトパネルが開いた可能性があるのではないかと。そうでないと、2号機建屋が水素爆発で飛ばなかったことの説明がつかない。なお、1・3号機ではウェットベントに成功したが、2号機ではベントに失敗している。

事故から1年2カ月あまりが経った2012年5月24日に、東電が独自の解析プログラム・DIANAを使った「放射性物質の大気中への放出量の推定」を発表した。それによると全体の放出量のうち、1号機からは2割程度、2号機は4割強、3号機からは4割弱が放出されたとみている。15日に2号機から放出されたものが最も多かったとされているが、この日に2号機から放出された大量の放射性物質は、始めは南向きの風に乗って関東地方へ拡散した。その後、北西への風が変わった夕方に降り出した雨で土壌に降下し、原発から北西方向へ延びる帯状の高濃度汚染域を作り出したと考えられている。

2号機では、全交流電源喪失の直前の11日15時39分にRCIC（隔離時冷却系）を手動で起動していて、その後、3日間もちこたえた。RCICは、原子炉から発生する蒸気の力でタービンを回してポンプを動かし、原子炉に冷却水を送り込む仕組みになっている（文献⁴⁾、133ページ）。起動時には電源が必要だが、起動してしまうとバッテリーで蒸気量を制御できるそうだ。もし電源喪失前に起動していなければ、2号機は1号機と同様、すぐに冷却機能を失い、炉心損傷へと急転していた可能性が高い。細々と冷却機能を維持してきたRCICも14日13時25分には停止し、同日19時過ぎから2号機の格納容器のドライウェル圧力が上昇した。

2号機が11日午後に全電源を喪失してから約1週間の圧力容器内及び格納容器内の圧力と温度変化について、下記2つの文献⁶⁾、⁷⁾に基づいて詳しく見てみよう。まず、2014年9月17日に開かれた日本学術会議の公開シンポジウムで、白鳥正樹横浜国立大学名誉教授が「2号機から最も多くの放射性物質が放出された理由」⁶⁾という発表を行った。また、2016年6月3日に日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会が「記録：東京電力福島第一原子力発電所において発生した事故事象の検討(続報)」⁷⁾を公表している。これらの文献に、2号機の圧力容器及び格納容器の仕様が次のように書かれている。

圧力容器	格納容器 (Mark I 型)
設計圧力：8.72MPa [abs]	0.48MPa=480KPa [abs]
設計温度：302℃	138℃
内径：約 5.6m	約 20m(球部) 10.9m(円筒部)
全高：約 22 m	約 34.1m

なお、福島第一原発の発電用原子炉は、すべて沸騰水型軽水炉(BWR)であり、ここに書かれている仕様は1～5号機に共通するものであるということである。また、文献⁶⁾、⁷⁾には、2号機原子力発電プラントの概要が図示されているが、これを次の図3に引用した。

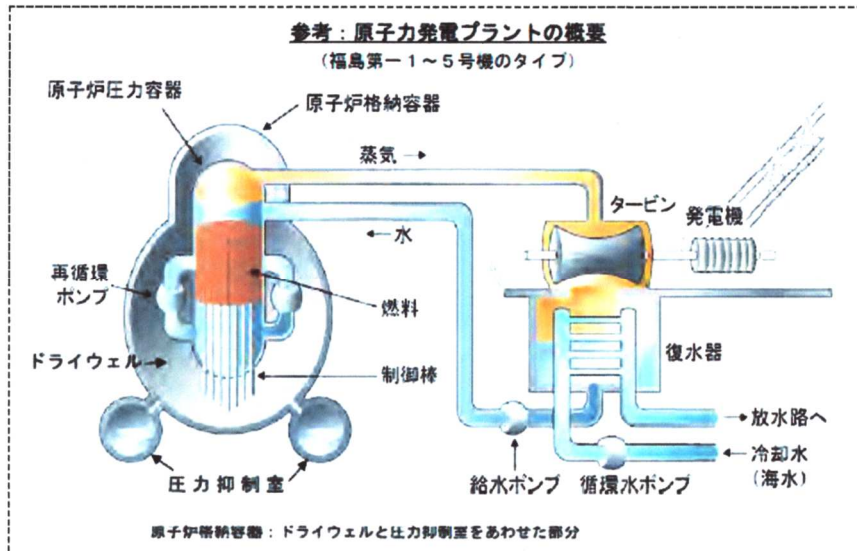


図3 原子力発電プラントの概要。

(<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/140917b.pdf> より引用)

図3 から明らかなように、沸騰水型軽水炉(BWR)の原子炉は、制御棒が下から入る構造になっている。これに対して関電などが使用している加圧水型軽水炉(PWR)は制御棒が上から入る構造であり、もし駆動装置が故障しても、重力により制御棒が上から落ちて中性子を遮蔽し臨界が止まる。福島第一原発の BWR は、制御棒を水圧式駆動機構で圧力容器の下から入れるので、制御棒挿入にエネルギーが必要である。

元国連職員でニューヨーク在住の松村昭雄氏のホームページには、米国の原子力工学専門家でフェアウィンズ・アソシエイツの主任技術者であるアーニー・ガンダーセン博士のインタビュー記事が掲載されている(2011 年 6 月 28 日：<http://akiomatsumura.com/wp-content/uploads/2011/06/%E5%92%8C%20Arnie-Gundersen-Crisis-not-Over.pdf>)。

ガンダーセン博士は、沸騰水型原子炉容器の底には制御棒を挿入するための約 70 の孔があるが、それらの孔が溶解した燃料が格納容器の底に落ちていく脆弱なポイントなのではないかと推察している。今回のように不測の過酷事故が起きたとき、ここが弱点となり、溶解した燃料集合体の高熱で、制御棒挿入部の孔およびシールが溶解損傷して隙間ができたことが、メルtdownからメルトスルーした原因の一つであったかのかも知れないと考えられる。

図4 には、事故後約1週間(3月11日14時～3月18日12時)の2号機原子炉(圧力容器)内の圧力変化(上)と格納容器内の圧力変化(下)が示されている。2号機の原子炉隔離時冷却系(RCIC)が津波襲来後に手動で作動していたが、約70時間後の14日13時25分に停止した。RCICの稼働中、原子炉圧力容器の圧力(図4上)は概ね6MPa[abs]に保持されていたが、格納容器の圧力(図4下)は、徐々に上昇していた。14日16時30分までに炉心の露出が始まったと考えられ、18時22分に炉心が完全に露出した。ここで、消防車による圧力容器への代替給水も検討されたが、圧力容器内の圧力が約7MPaと極めて高压であり、消防ポンプの吐出圧力(約1MPa)をはるかに超えているため、消防車による注水を有効にするためには、まず原子炉内の圧力を下げる必要があった。このためには主蒸気逃し安全弁(SR弁)を開にして、原子炉内の高压の蒸気を圧力抑制室(S/C)に導かなければならな

い。そして14日16時30分くらいからSR弁の開作業に着手したが、開に成功したのは同日19時03分であった。

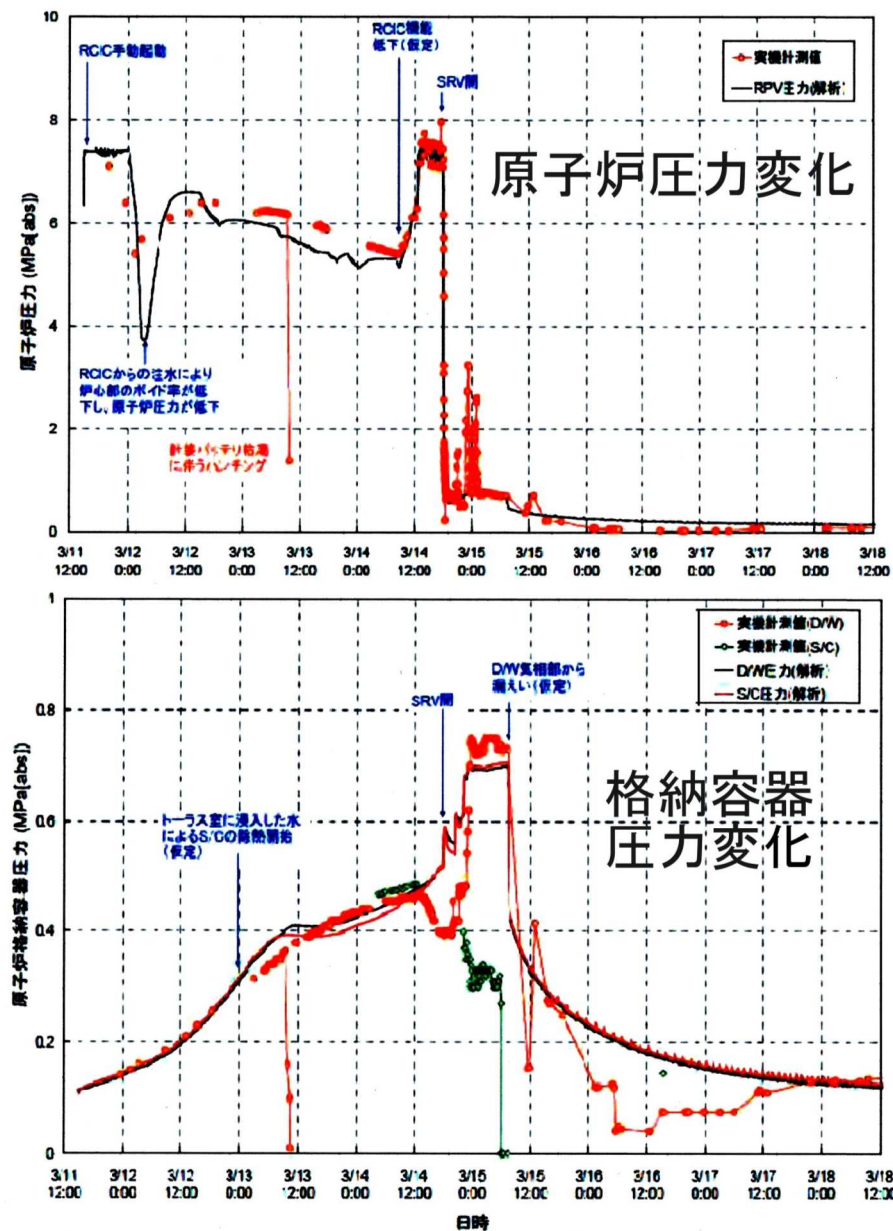


図4 2号機原子炉（圧力容器）内の圧力変化（上図）と格納容器内の圧力変化（下図）
（3月11日14時～3月18日12時）。

(<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/140917b.pdf> より引用)

圧力容器内の圧力（図4上）を見ると、この時間に7MPa超から1MPa以下に一気に下がっていて、消防車による給水が可能となった。しかし、この時点で格納容器の圧力（図4下）はまだ上昇を続けており、15日7時25分には730KPa（設計圧力480KPa）という高い値を示した。吉田所長は、この時点で要員の2号機建屋からの一時回避を命じたそうだが、要員が11時25分に戻って確認したところ、圧力容器内の圧力は155KPaまで低下していたという。

こうして、2号機は、压力容器の破裂による大量の放射性物質の吐出という悲劇から、奇跡的に救われた。しかし、15日の8～11時の間に格納容器内の圧力が急速に低下したことへの検証は、まだ済んでいない。

東電の日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会への説明では、压力容器及び格納容器のこの間の水温測定値はないということであるが、これも本当にデータがないか、東電がデータを隠しているのかはわからない。東電は、压力容器及び格納容器の定常的な水温測定値はないが、圧力制御室の水温計を一時的に機能復活させて得たデータによると、3月14日12時頃に145～150℃が測定されたとしている。格納容器内のドライウェル圧力に対する飽和温度が147.8℃であることから、この水温測定値は信頼できると考えているとのことである。さらに東電は、日本学術会議・原子力事故対応分科会の質問に対して、「温度200℃、最高使用圧力の2倍程度の圧力であれば格納容器の耐性として確保できると考えている」と述べている。東電は、2号機の温度について、压力容器の設計温度302℃、格納容器の設計温度138℃を大幅に超えることはなかったと言いたいのであろう。なお、2017年2月現在のドライウェルの温度は20℃以下であるとのことだ。

しかし、NHK NEWS WEB から辿れる東京電力福島第一原発事故関連ニュースの2011年9月15日に「4時間早ければ溶融回避」と題して次のような報道がある(<http://www3.nhk.or.jp/news/genpatsu-fukushima/20110915/>)。「日本原子力研究開発機構の解析結果によれば、東電福島第一原発事故で、大量の放射性物質の放出につながった2号機のメルトダウンは、実際より4時間早く午後4時頃までに水の注入を始めていれば、燃料の表面温度は被覆管が壊れる1200℃に達する前に下がりはじめ、メルトダウンを防げた可能性があった」というものである。また、文献³⁾の17ページには、以下のようなことが書かれている。「福島第一原発の1～3号機がメルトダウンを起こしただけではなく、溶融した核燃料が金属製の原子炉压力容器を損傷し、格納容器に落下していたという解析結果が2011年11月末に経産省所管の財団法人エネルギー総合工学研究所と東電によって明らかにされた。これによって事故の深刻さが改めてクローズアップされた。頑丈にできている压力容器が大きく破壊され、格納容器も健全ではなく孔が開いているとみられることから、核燃料中に含まれる放射能の大気中への大量放出につながった」。

空焚き状態を経験し、メルトダウンからメルトスルーした原子炉内部の燃料ペレット（心材）の温度は、1200℃よりもはるかに高い温度にまで達していたと考えられる。つまり、炉心の燃料棒を覆っているジルカロイ合金が1850℃超の熱で熔解し、内部の燃料ペレットが脱落したと考えられる。压力容器の鋼鉄は1500℃で溶けるため、メルトダウンが起きると底に孔が開き、溶けた燃料が漏れ出すことになる。燃料ペレット温度は、主成分である二酸化ウランの融点（2800℃）をも超えていたのではあるまいか。

2号機事故について、文献⁷⁾では政府事故調の「報告」を引用しつつ、次のようなことが書かれている。「福島第一原発正門付近の放射線量測定の結果、15日7時38分頃以降、同日9時頃に測定された11930 μ Sv/h をピークに16日4時頃までの間、数百～数千 μ Sv/h を示しており、この頃に2号機の格納容器またはその周辺部に閉じ込め機能をさらに大きく損なうような損傷が生じ、環境に大量の放射性物質を放出した可能性が高い。また、いずれかの時期に、S/C（圧力制御室）またはベント管のいずれかの箇所に破損が生じていた可能性も高い。かかる損傷が生じた箇所は、S/C またはベント管のほか、格納容器フランジ部、

電気配線貫通部、人の出入り用のエアロック、機器搬入用のハッチ等の気密性確保に用いられるフランジガスケットやエポキシ樹脂といったシール材が高温で劣化して生じた可能性等、種々の可能性が考えられるが、現時点では現場確認ができないため、損傷箇所の特定は困難である」。

さらに文献⁴⁾の145～146ページには、以下のように書かれている。「原発では、たとえメルトダウンしても、放射性物質は格納容器の内部に封じ込められ、すぐに原子炉建屋に漏れ出すことはないと考えられてきた。しかし、2号機の建屋は、メルトダウンの後、比較的短時間で蒸気に包まれ、放射線量が急上昇した。その漏洩ルートを調べた結果、2号機が危機的状況に陥るのを遅らせる立役者ともなった RCIC（隔離時冷却系）が、皮肉にも放射性物質の漏洩に絡んでいたと推測される」。

以上のように、今回の福島第一原発の事故は、これまでの原発事故で例を見ない深刻なものであった。

2. 福島第一原発の現状（2017年3月）

2.1 2号機について

東電は、2016年7月28日に宇宙から飛来したミュオン粒子という素粒子を用いて福島第一原発2号機の原子炉をX線のように透視する調査の画像を公開した。その結果によると、圧力容器の下部に180～210トンに相当する物質の影が映っていた。東電は、2号機には「核燃料の大部分が容器内に残っていると推定される」としている。そして、2017年1月からロボットを入れて、2号機の格納容器内を調べることになり、2017年1月末から2月初めにかけて2号機の格納容器内に遠隔カメラや調査ロボット「サソリ」を投入して内部調査を行った。以下にその結果を述べる。

2017年1月30日には福島第一原発2号機の格納容器内を遠隔カメラで調査し、圧力容器の直下に溶け落ちた核燃料（デブリ）の可能性のある黒い塊を発見した。その後も遠隔カメラによる2号機格納容器内の調査を続け、放射線による画像乱れから線量を評価したところ、2月2日には放射線量が、最大で530Sv（シーベルト）/h（時）に達すると推定されると発表した。2月3日の朝日新聞朝刊に掲載された関連記事のなかで、杉本 崇 記者は、「この値は運転中の原子炉圧力容器の内部に匹敵する線量で、人が近づくと1分足らずで死に至る高線量である」と書いている。6年経っても福島第一原発事故は、アンダーコントロールにあるとは、とても言える状況ではない。

その後、2月9日には、調査ロボット「サソリ」の投入に向けて進路を掃除するロボットに取り付けられたカメラの映像の乱れから、新たに推定された線量は650 Sv/hと発表された。2月16日には、調査ロボット「サソリ」が初めて2号機格納容器に投入されたが、7.2mある作業用レールを5m付近まで進んだところで、こびりついている堆積物のために動けなくなった。電気ケーブルを引っ張って堆積物が少ない場所まで「サソリ」を戻し、再び進ませたが完全に動けなくなってしまった。このときに「サソリ」に取り付けられた線量計で210 Sv/hが計測された。制御不能の「サソリ」は、2号機格納容器内に放置されたままになっているという。

図5に、東電が発表した2017年1月30日～2月16日の福島第一原発2号機の内部調査の結果がまとめて示されているが、この図は、2017年2月19日の朝日新聞朝刊に掲載さ

れた図を基本として、これにいくつかの情報を書き加えたものである。図5を見ると、2号機の格納容器内に投入された遠隔カメラの放射線による画像乱れから推定された 530～650 Sv/h という高線量値や「サソリ」に取り付けられた線量計で測られた 210 Sv/h という計測値は、格納容器の内壁とペデスタルの外壁の間に分布しているように見える。ペデスタルとは、原子炉本体（圧力容器）を支える基礎であり、鋼板円筒殻の内部にコンクリートを充填した構造となっているとのことである。

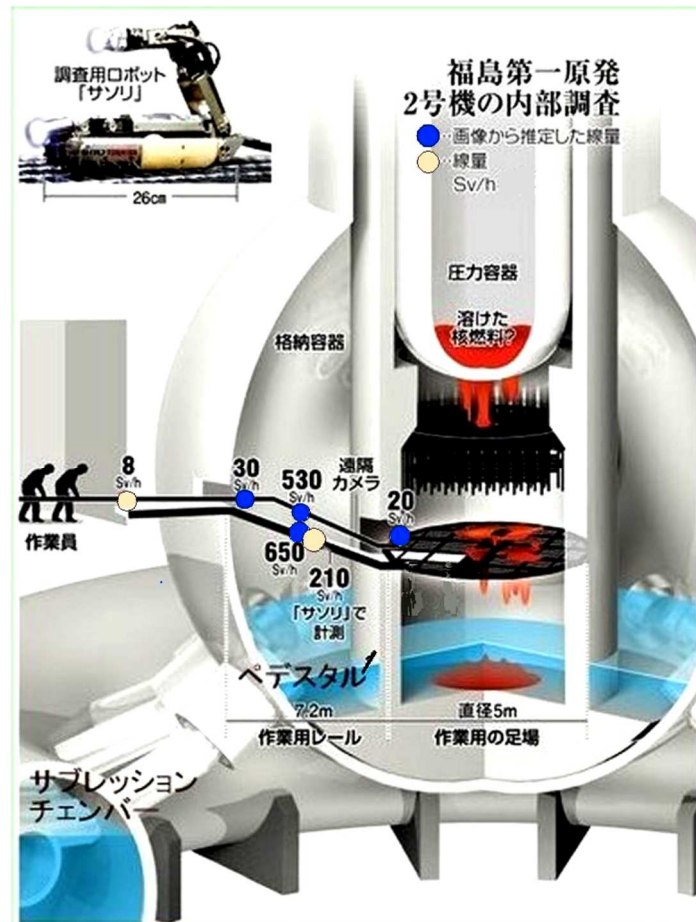


図5 福島第一原発2号機の内部調査（2017年1月30日～2月16日）。

2号機の圧力容器は、毎時4.5トンの注水で冷却が保たれているということである。この水が圧力容器下部の破れ目から格納容器に漏れて、格納容器全体も水没していると思われたがそうではないようだ。東電が2012年3月26日に2号機内部を内視鏡で検査した結果、格納容器の水位が底から60cmであることを確認した。さらに、2014年6月9日に東電が格納容器に水位計を入れて測ったところ、水位は、底部から約30cmのところだったという。2017年2月の段階でも格納容器の水位は図5を見ても30cm以下であると考えられる。2号機の格納容器は圧力制御室（サブプレッションチェンバー）の位置で破損していて、水が溜まらないということであるらしい。そうすると、2号機の圧力容器の底や中間足場に残されている大量の核燃料デブリはドライウェルにあり、水中に没していないことになる。使用済み核燃料の保管方法として、水を張ったプール内に貯蔵する水冷方式以外に空冷で保管する乾式貯蔵の方法もある。このことを考えると、2号機の核燃料デブリの大半が水中になくて

も格納容器内のドライウェルの温度が 20℃程度で維持できていれば、再臨界には達しにくいという判断があるであろう。

「100 万年の活火山となる」(入口紀男, 2017⁸⁾) によれば、1～3号機は、その中に合計 276 トンのデブリが溶け落ちていて、そのおよそ半量の 138 トンが未反応であろうと考えられるとのことである。この 138 トンの未反応のデブリは、濃度と形状によっては、あるとき周囲の水を中性子減速材として核分裂連鎖反応を起こしうる。すると、熱エネルギーと同時に広島原爆約 7000 発分の放射性物質(セシウム 137 換算)が生成される可能性がある。その可能性は、オクロの天然原子炉(ガボン共和国)のように、これから 100 万年間続くそうだ。デブリの残り 138 トンは使用済みであり、広島原爆約 7000 発分(セシウム 137 換算)の放射性物質をすでにもっている。また、1号機～3号機の各建屋のプールには、合計 1573 体の使用済み燃料棒があり、そこには広島原爆約 16000 発分(セシウム 137 換算)の放射性物質が沈められている。2011 年に環境に放出された放射能は、全体の約 1%であり、残り約 99%は辛うじて原子炉と建屋の使用済み核燃料プールの中に閉じ込められているが、使用済み燃料は、常に水中になければ、そこから発せられる中性子によってヒトは敷地全体に近づけない。一方、デブリの成分である未反応の燃料は、逆に、周囲に水があるとそれが中性子減速材となって、あるとき、たとえば無理に取り出そうとしたときに、「原子炉」として再臨界を迎えかねないという矛盾をはらんでいると書かれている。

以上に述べた入口(2017⁸⁾)の見解と、**図 5**に示した格納容器の内壁とペデスタルの外壁の間に 530～650 Sv/h という猛烈な放射線が検出されたという東電の検査結果の間には、整合性があるように思われる。つまり、2号機のデブリの大半は、格納容器の底に溜まった水中に没しているのではなく、圧力容器の底や中間の作業用の足場のドライウェル内に不安定な形で残されているからである。また、別の専門家にお聞きした話では、「使用済み燃料中には核分裂生成物である各種の放射性伝元素があり、その壊変(主としてガンマ線を放出する)発熱を抑えるために水冷されている。水は冷却だけでなく、中性子減速の効果もあるが、条件によっては再臨界を招くこともありうる」ということであった。

東京新聞の Web から辿れる 2017 年 2 月 11 日付の記事【福島第一原発の現状】「2号機炉内 650 シーベルト計測」には次のように書かれている。「東電は 9 日、調査用のサソリ型ロボットを投入するために、圧力容器下のスペースにつながる通路(長さ約 7m、幅約 0.6m)の堆積物を除去する作業を実施。掃除用のロボットを投入したが、2 時間後、放射線の影響でカメラの素子が壊れて映像が暗くなり、回収できなくなる前に撤収した。カメラは積算 1000SV/h まで耐えられる設計だったが、やはり壊れた。溶け落ちた核燃料は、近くで測れば毎時数万 Sv/h に達するとされ、廃炉への道は遠い」と書かれている。もっと細かく格納容器のなかの放射線量を測定すれば、「毎時数万 Sv/h に達するところも見つかるだろう」という指摘である。

この東京新聞の記事に、2017 年 2 月 10 日現在の福島第一原発の 1～4号機の様子が示されているので、これを**図 6**として引用した。なお、4号機は 2011 年の事故当時、稼働しておらず、プールに保存されていた燃料棒もすでに撤去されている。

地震時に稼働中であつた 1～3号機の炉内の核燃料はメルトダウンからメルトスルーして、溶け落ちた核燃料の一部は原子炉格納容器を抜けて、その下のコンクリートをも溶かしているが、溶けたコンクリートの厚さは高々 1m であり、コンクリート床の厚さは 7.6m あ

るので、基盤までメルトスルーしていることはないというのが東電の見解である。

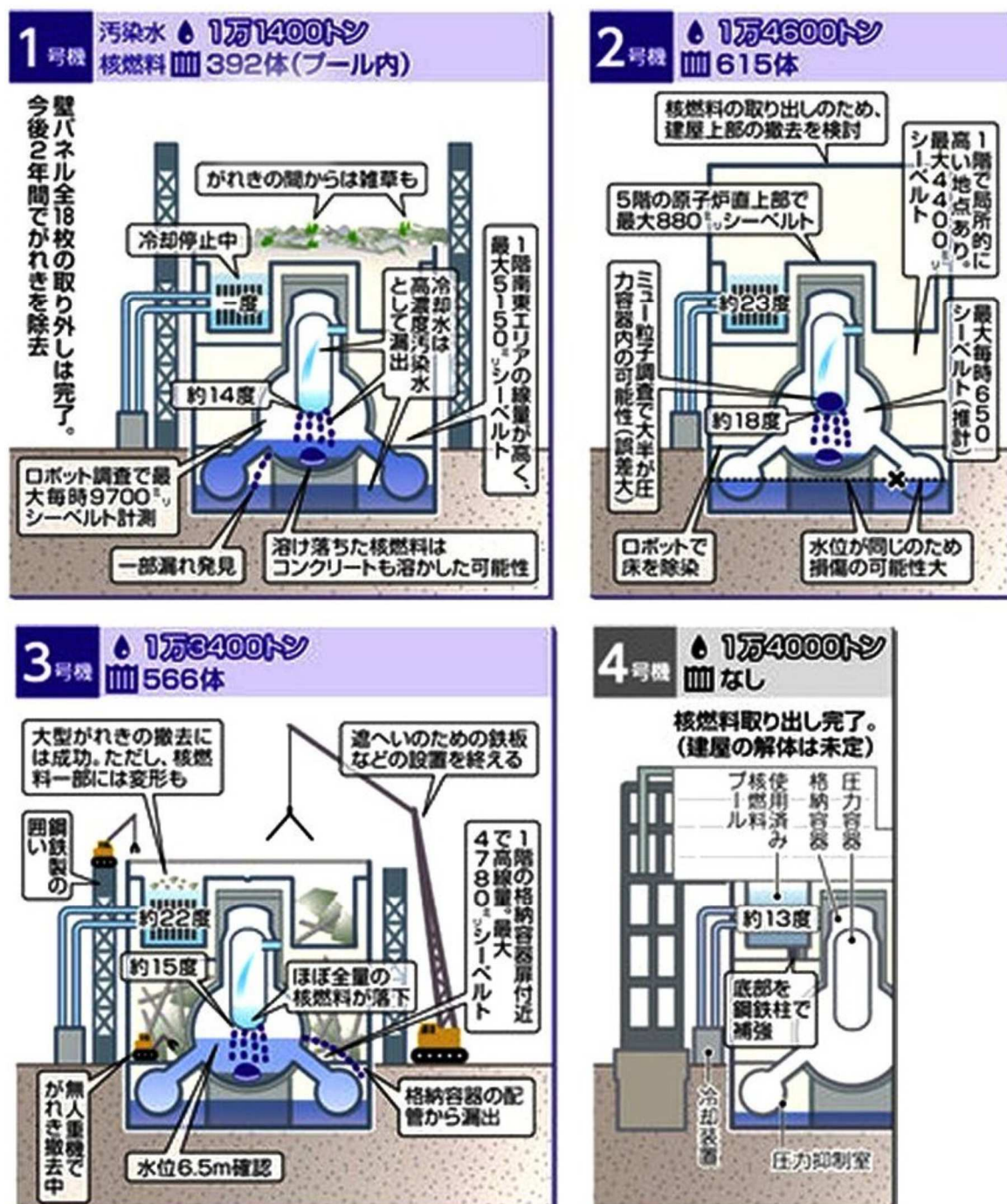


図6 福島第一原発の1～4号機の現状（2017年2月10日現在）。

しかし、前章で述べたように、2号機の放射性物質の漏洩ルートとして RCIC 系の配管が疑われている（文献⁴⁾、145～146 ページ）。さらに、国会事故調査委員会（黒川 清 委員長）は、その報告書のなかで、「地震による配管損傷の可能性」として「主因を津波のみに限定すべきではなく、地震による損傷の可能性も否定できない。地震動で1号機の IC（非常用復水器）の配管に細長いひび割れが生じ、そこから冷却材噴出事故が起きなかったとは断言できない」と述べている（文献¹⁾、223 ページ）。

このほか、格納容器につながっている弁や多数の配管類が損傷している可能性も十分にありうる。核燃料デブリが格納容器内に留まっていれば、冷却水に含まれる放射性廃棄物を外部に漏らさないように処理することは比較的容易であろう。しかし、原子炉の压力容器、格納容器が既に損傷している状態に加えて、長い配管類にも孔が開いているとすると、その途中で汚染された冷却水が直接地盤まで漏れている可能性があり、汚染水を外部に漏らさないように処理するのは、至難の業と考えられる。

溶け落ちた燃料を冷却するため、今でも原子炉に注水が続けられている。東電は、1～4号機を「氷の壁」で囲う凍土壁で汚染水を外部に漏らさないようにしているが、凍土壁で1～4号機を囲ったとしても、囲いのなかの地下水は深いところで外部とつながっている。そこから漏れ出す汚染水は海洋汚染にもつながっているであろう。

東電の説明 (www.tepco.co.jp/decommision/planaction/waterprocessing/) による汚染水対策は、まず、福島第一原発の山側から海側に流れる地下水のうち、1日あたり約300トンが原子炉建屋に流れ込み、新たな汚染水となっているということだ。東電としては、原子炉建屋内に滞留している汚染水中に含まれるセシウムおよびストロンチウムの濃度を低減し、最終的に多核種除去設備（ALPS）を使ってトリチウム以外の大半の放射性物質を取り除いているという。しかし、汚染水によるリスクを大幅に低減することができたというだけで、放射性物質を完全に取り除けるわけではない。現在の技術では取り除くことが困難な物質であるトリチウムが残っているため、タンク内の汚染水は増え続けている。この増え続ける汚染水をどう処理するかも大問題である。原子力規制委員会の田中俊一委員長は、2016年3月23日の記者会見で、「海に捨てればよい」と言ったそうだが、それで国民が納得するだろうか。

核燃料デブリを扱うわが国の研究機関として、JAEA・原子力科学研究所 (<https://www.jaea.go.jp/04/ntokai/>) がある。そこに「燃料デブリの特性把握」というページがあり、「燃料デブリを安全に効率よく回収し、保管・管理あるいは処理・処分するためには、その特性を把握し、適切な取り扱い方法を検討する必要がある」と書かれている。さらに「実際の燃料デブリが採取されるまでには今後数年を要すると見込まれているため、まずはその混合物、生成条件等を模擬した「模擬デブリ」を作製、分析を行うことにより、燃料デブリの特性データベースを拡充する。加えて、原子力科学研究所に保管されているスリーマイル島原発事故時の燃料デブリの分析も行い、回収、保管、処理のための技術開発へ情報を提供する」と書かれている。また、「燃料デブリの再臨界の防止のために、燃料デブリは、水中において破碎した後、取り出し、保管・管理されることになるが、このときの状態変化により、再び核分裂連鎖反応（＝再臨界）が起きる可能性が示唆されている。一方で、ジルコニウム、鉄、コンクリートなど様々な物質が核燃料と溶融・混合した燃料デブリの臨界挙動は、未だ十分な研究がなされておらず、その取り扱い時における再臨界のリスク評価やそれ自体を防止する確実な対策が必要不可欠である。そこで、多様な組成をもつ燃料デブリそれぞれについて、想定される状態変化に応じた臨界量を計算し、どのような作業時にどの程度の再臨界リスクがあるのかを評価する。さらに、リスクの高い作業について、対策を講じた上でもリスクがゼロにならない場合の安全策として、再臨界を未然に感知する監視技術の開発を並行してすすめる」としている。ずいぶん気の長い話であるが、その間に福島第一原発の直下で強い地震が起これ、敷地が震度6強～7で揺さぶられるような事態になった

ら、国はどうやって責任を取るのでしょうか。

国際放射線防護委員会(ICRP)は、「余分な被ばくはできるだけ少なくするべき」という考え方のもと、放射線防護について議論し、勧告を行っている。日本でもその勧告の多くを法律に取り入れ、一般の人が平常時に受ける放射線については、自然界からの被ばくや医療での被ばくを除いて年間 1 ミリシーベルトを線量限度としている。一方、福島ではいま、福島第一原発事故による放射能汚染が年間 20 ミリシーベルトより下がった地域の避難区域解除を行い、避難している住民に地域に帰還するようにと勧めている。これに対して、「国内の基準が年間 1 ミリシーベルト以下なのに、なぜ福島だけが年間 20 ミリシーベルトなのか？国がすすめる帰還政策は、放射線量の高いところで我慢して暮らせ、というものであり、人権侵害である」という声が多く上がっている。

年間 20 ミリシーベルトで考えるとして、これは年間 0.02 シーベルトという量である。これに対して、今回福島第一原発の格納容器内では 1 時間当たり 650 シーベルトと高い放射能が測定された。これは年間 569 万シーベルトであり、年間 20 ミリシーベルトの約 2.8 億倍に相当する。このような原子炉格納容器が再び事故を起こして破壊する可能性を考えれば、一部の地域で現在すすめられている「避難指示解除」の政策の見直しも必要であろう。

原発の安全性という面からだけでなく、費用の面から考えても、米国物理学会プラズマ部会長を務めたこともあるプラズマ物理学の世界的権威である長谷川 晃 大阪大学名誉教授にお聞きした話では、福島第一原発事故の被害がこれ以上広がらないと仮定しても、事故処理の費用は年間の国家予算に匹敵する規模になるという。原子力発電は安価という神話は、はっきり崩れているということになり、筆者もまさにその通りと思う。

3. 福島第一原発への今後の地震の影響について

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0) は、海・陸のプレート境界で起こった超巨大海溝型地震であり、南北約 500km、東西約 200km の領域が一度に破壊した。 図 7 は、気象庁により発表されたこの地震の本震の震央位置とその後の約 4 か月間の主な余震の分布を示すとともに赤枠で余震領域の範囲を示してある。

2011 年 3 月 11 日に東北地方太平洋沖地震の発生後、1 か月経った 4 月 11 日に福島第一原発の近くで福島県浜通り地震 (M7.0) の余震が起こった。この地震は、深さ約 6km で起こり、福島県いわき市などで震度 6 弱が観測された。福島第一原発までの震央距離は 61.7km であったが、この地震による装置の損傷等は報告されていない。しかし、このときに 1 号機から 3 号機の外部電源が一時途絶し、注水が中断されたが、約 50 分後に再開された。

本震発生から 5 年半以上経って、福島第一原発の近くでは、2016 年 11 月 22 日に福島県沖地震 (M7.4) や同年 12 月 28 日に茨城県北部地震 (M6.3) が発生している。これらの地震も  図 7 の赤枠で示した東北地方太平洋沖地震の余震領域に含まれている。11 月 22 日の福島県沖地震 (M7.4) は、深さ 25km、福島第一原発までの震央距離 51.4km で起こり、福島県白河市、須賀川市などで震度 5 弱を観測した。また、12 月 28 日の茨城県北部地震 (M6.3) は、深さ 16km、福島第一原発までの震央距離 87.9km で起こり、茨城県高萩市で震度 6 弱、茨城県日立市で震度 5 強を観測した。福島第一原発では、これらの地震による異常は見られなかったという。

しかし、 図 7 に赤枠で示した余震領域の範囲の範囲では、今後 100 年以上にわたって M7

クラスの余震がまだまだ起こると考えておかなければならない。そう遠くない将来に、福島第一原発にもっと近い位置でM7クラスの地震が起こりうるわけで、そうなると、福島第一原発が今後、震度6強～7の揺れに見舞われる可能性を否定できない。わが国の地震予知研究の現状を考えると、M7クラスの地殻内断層地震（直下型地震）が次にどこでいつ起きるかは、まったくわからないからである。

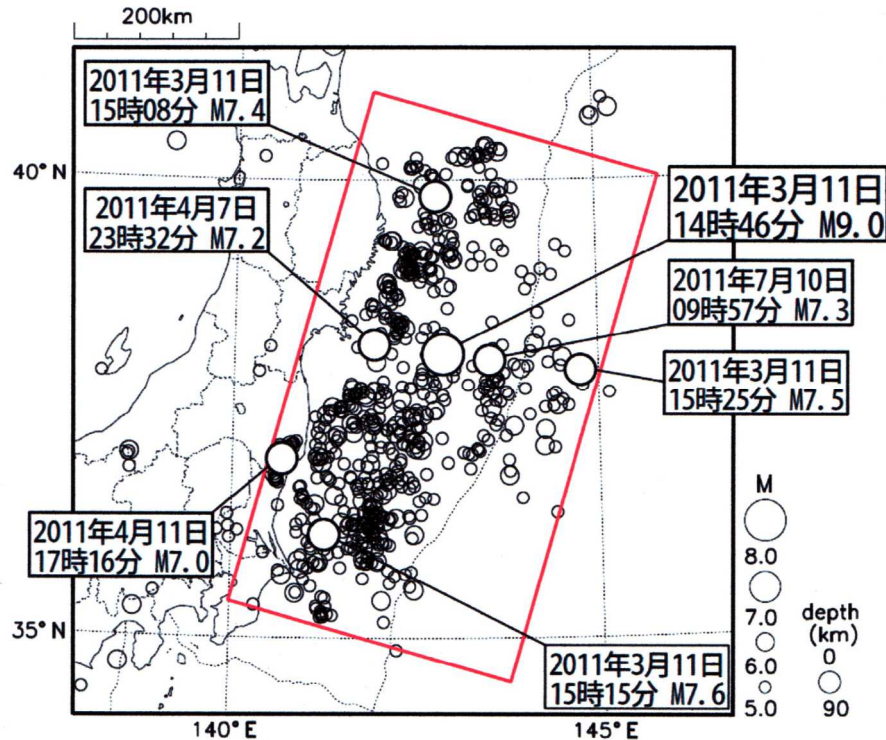


図7 東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）と余震領域（気象庁）。

また、図7に示した東北地方太平洋沖地震の震源域の北側には十勝沖、南側には房総沖がある。海・陸のプレート境界に位置しながら、今回の超巨大海溝型地震では割れ残ったこれらの領域のひずみが解放されると、マグニチュード8以上の海溝型地震が起きることになる。とくに、房総沖で新たな海溝型地震が起きると、首都圏でも地震・津波の影響を免れないであろう。

福島第一原発で今後、震度6強～7の揺れに見舞われる可能性を無視できないとすると、1～3号機に残されている核燃料デブリとがどうなるかが問題である。なかでも一番心配するのは、圧力容器のドライウェルのなかに大量の核燃料デブリが残されている2号機がどうなるかということである。2011年3月11日以降の過酷事故で、圧力容器が損傷し、格納容器も健全ではなく孔が開いているとすると、次に震度6強～7の揺れに遭遇したときに、圧力容器や収納容器の破壊がさらに進み、収納容器の底に核燃料デブリが急激に落下する過程で、収納容器あるいは配管類の孔から大量の放射性物質が外部に撒き散らされることになるのではないかと。

これまでの原発事故で、メルトダウンまで達したのはレベル7のチェルノブイリ事故をはじめ、スリーマイル島などの場合などがあるが、これらの事故でメルトダウンの後に震度6強とか震度7の強震動で揺すられたという例は過去にない。そうなると、福島第一原発が溶

け落ちた核燃料デブリが強震動で揺すられる最初のケースとなる。その場合は、これまでの経験が役に立たず、想定外の事態が起こりうると考えておかなければならない。文献⁸⁾に指摘されているように「無理に取り出そうとしたときに、再臨界を迎えかねない」という事態に近いこともありうるのではないか。また、脆くなっている格納容器が強震動で揺すられて、さらに大きく破損されることが起これば、放射性元素の揮発性成分が新たに外部に吐出されることも考えられる。

さらに、図6に示されている各燃料プールに保管されている燃料棒の数は、1号機が392本、2号機が615本、3号機が566本となっている。平常時に電源が確保されていれば、これらの燃料棒を現状のままでも当面冷やし続けることは可能であろうが、停電時にどうなるか、また強い地震で揺すられた場合にどうなるかを真剣に考えておかなければならない。大地震などによって、いずれかのプールが壊れ、水が失われると大変なことになる。

4 まとめ

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発の事故は、1、3、4号機の原子炉建屋が水素爆発によって吹っ飛んだことが、鮮烈な印象として、われわれの心に残っている。水素爆発は、放射性物質を含む炉内の空気を外部に排出するベント作業が原因となったという説明が東電からあった。この爆発で大量の放射性物質が大気中に撒き散らされたが、それで炉内の圧力を下げることができて、結果として原子炉の大規模爆発を防ぐことができたのなら、それもやむなしというのが広く国民の間で認知されていた理解だったと思う。

本稿では、2011年3月11日の福島第一原発の事故以後、約1週間の東電の対応を追跡したのち、現在の到達点を明らかにし、今後予想される地震発生への対応を考えた。

まず、東電の事故直後の対応を調べる過程で、以下の4つの疑問点が残った。

- (1) 3月12日15時36分の1号機原子炉建屋の水素爆発は、ベントにより排出された多量の水素を含む水蒸気が原子炉建屋のオペレーションフロアに流れ込んだためか？ それとも、それ以前から1号機の圧力容器及び格納容器が損傷していて建屋内に水素が充満していたためか？ (3ページ、下から2行目～4ページ、上から2行目)
- (2) 3月15日6時14分の4号機原子炉建屋の水素爆発は、4号機の燃料プールに保管されていた1535体の燃料棒が爆発に無関係だったと言いきれるか？ (4ページ、上から21～22行目)
- (3) 2号機の原子炉建屋上部側面のパネルは、3月12日15時36分の1号機の水素爆発の衝撃で開いたとされているが、吉田所長は、14日13時過ぎに、2号機建屋のブローアウトパネルを開ける試みを模索している。この矛盾をどう考えたらよいか？ (5ページ、下から4～7行目)
- (4) 3月15日に作業員が現場を離れていた8～11時の間に格納容器内の圧力が急速に低下した理由は何か？ (8ページ、下から2～4行目)

原発に事故があったとき、「①止める、②冷やす、③閉じ込める」の3つの作業が必要であるが、「①止める」の作業は、2011年3月11日の地震波到来後にあらかじめ想定された通りに行われた。また、「②冷やす」の作業も、事故後1週間で、ほぼ達成されている。しかし「③閉じ込める」の作業は、事故後6年を経過したいまでも成功していない。

2011 年 3 月 25 日に近藤駿介原子力委員会委員長（当時）が「福島第一原子力発電所の不測事態シナリオの素描」を発表しているが、そこには、半径 170km は強制移住、250km も避難地域とあった。170km 圏には新潟県や北関東が含まれ、250km 圏だと東京や横浜も含まれる。このような広大なエリアで数 10 年にわたって人が住めなくなるという最悪のシナリオである。しかし、吉田所長以下、約 70 名の現地従業員等による決死の奮闘に加えて、偶然の気象条件も幸いして、そこまで広範な被害が及ぶ事態には至らなかった。

文献⁸⁾によれば、2011 年中に大気中に放出された放射性物質は、全体の約 1%であり、残り約 99%は辛うじて原子炉と建屋の使用済み核燃料プールの中に閉じ込められているという。2017 年 2 月 10 日現在で、この 99%がどのような形で残されているかは、図 6 に示されている。福島第一原発事故が収束に向かっているとはとても言い難い。

地震時に稼働中であり、その後、炉心の空だき状態を経験した 1～3 号機の圧力容器及び格納容器が早い段階から損傷し、格納容器につながっている多数の配管類に細長いひび割れが生じた。これらの割れ目を通じて汚染水は地下の基盤から海洋にまで流れ出していると考えられ、福島第一原発からの汚染水漏れは、いまだに止まらない。このような汚染水漏れの原因となっている核燃料デブリをどうやって取り出すか、また、1～3 号機の燃料プールに保管されている 1573 本の燃料棒をどうやって移動させるかは、まだ解決されていない重要な問題であり、十分な検討を必要とする。

さらに、福島第一原発の敷地は、2011 年 3 月 11 日に発生した超巨大海溝型地震（東北地方太平洋沖地震：Mw9.0）の余震域に含まれている。そこでは今後 100 年以上にわたって、M7 クラスの余震を警戒しなければならない。これまでに福島第一原発の近くでは、2011 年 4 月 11 日に震央距離が 61.7km で福島県浜通り地震（M7.0）、2016 年 11 月 22 日に震央距離が 51.4km で福島県沖地震（M7.4）、2016 年 2 月 28 日に震央距離が 87.9km で茨城県北部地震（M6.3）などが発生したが、これらの地震の核燃料デブリやプールに保管中の燃料棒への影響は報告されていない。

しかし、わが国の地震予知研究の現状から考えると、次の M7 クラスの地殻内断層地震がいつどこで起きるかはまったく予測がつかない。このことから、そう遠くない将来に、福島第一原発から震央距離が 10km 以内の直下で M7 クラスの地震が起こることも否定できない。そうなると、福島第一原発は震度 6 強～7 の揺れに見舞われることになる。このように、一旦メルトダウンを経験して溶け落ちた核燃料デブリが再び強震動に揺すられたらどうなるかということは、世界中のメルトダウンを起こした原発のどこもが経験したことのない新たな試練であり、事態がどうなるかはまったく予測がつかない。

筆者が心配したのは、格納容器の底に核燃料デブリが水没している 1，3 号機はともかくとして、大量の核燃料デブリがドライウェルのなかに大量に残されている 2 号機が、新たに震度 6 強～7 の強い地震動に遭遇したとき、再臨界が起こるのではないかということである。しかし、使用済み核燃料の「乾式貯蔵」という方法もあるし、2 号機の格納容器内に残されている核燃料デブリが水中になくても、格納容器内部の温度が 20℃程度で維持されていれば、再臨界になる可能性は低いし、仮に再臨界になったとしても爆発的な反応は起こらないだろうというのがこれまでの経験に基づいた大方の意見であるようだ。しかし、これまで経験したことのない「想定外」のことが起こりうるかも知れない。

中途半端な形で残されている大量の核燃料デブリが震度 6 強～7 の強い揺れに遭遇したと

き、再臨界が起こり得て、既に損傷を受けている収納容器や配管類にさらに大きな亀裂が走ることもあり、新たに大量の放射性物質が外部にまき散らされるとすると、「最悪のシナリオ」も視野に入れなくてはならず、首都圏にも人が住めなくなるかも知れない。とても東京オリンピックどころの話ではなくなるだろう。さらに、一部の地域で現在すすめられている「避難指示解除」の政策の見直しも必要になると考える。

これまで世界のどの原発も経験したことのない核燃料デブリやプールに保管中の燃料棒の強震動対策が急務であろう。

本稿をまとめるにあたり、筆者の専門以外の分野については、小出 裕章、小岩 昌宏、田中 三彦、村田 光平、長谷川 晃の各氏（敬称略）のご意見を参考にさせていただいた。ここに厚く御礼を申し上げます。また、Web から辿れる東電の報告や気象庁発表資料などのほか、主に下記 8 件の文献を参照したことを付記する。

（文献）

- 1) 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、徳間書店、（2012 年 9 月）。
- 2) 大鹿 靖朗：メルtdown ドキュメント福島第一原発事故、講談社文庫、（2013 年 2 月）。
- 3) 日本科学技術ジャーナリスト会議：4 つの「原発事故調」を比較・検証する、水曜社、（2013 年 1 月）。
- 4) NHK スペシャル「メルtdown」取材班：福島第一原発事故 7 つの謎、講談社現代新書 2295、（2015 年 1 月）。
- 5) 原子力災害対策本部：原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本政府の報告書—東京電力福島原子力発電所の事故について—、（2011 年 6 月）。http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/pdf/houkokusyo_full.pdf
- 6) 白鳥正樹：2 号機から最も多くの放射性物質が放出された理由、（2014 年 9 月）。<http://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/140917b.pdf>
- 7) 日本学術会議総合工学委員会原子力事故対応分科会：「記録」東京電力福島第一原子力発電所において発生した事故事象の検討（続報）、（2016 年 6 月）。<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/kiroku/3-20160603.pdf>
- 8) 入口紀男：100 万年の活火山となる、（2017 年 11 月）。
<http://www.geocities.jp/flowercities/amaterasu/100mys.html>