

第1章 メルトダウンを防げなかった本当の理由——福島第二原子力発電所事故の核心

1・1 はじめに ―何かが見逃されている

*アンコントローラブル

2011年3月12日土曜日のことだった。

その日、東京電力（以後、東電）が経営する原子力発電所（以後、原発）の一つ、福島第一原発の1号機では15時36分に水素爆発が起き、19時04分に「海水注入」が始まっていた。

ただし2号機とプルサーマル炉の3号機は、全交流電源喪失にもかかわらず「隔離時冷却系」（RCC）（注1）が稼働しており、「制御可能」の次元（原子炉の燃料棒がすべて水に浸った状態）にあった。

この日の夜、2号機と3号機に海水が注入されていたら、この二つの原子炉がアンコントローラブル（制御不能）になることはなかっただろう。

それにもかかわらずその日の夜、「海水注入」が実行されることはなかった。その当然の帰着として、翌3月13日日曜日の5時までに3号機は「制御不能」の次元（原子炉の燃料棒の一部が水に浸っておらずそこが空焚きになる状態）に陥ることになる。炉心溶融が起き、その後の8時41分に

ベントを開いた際に高濃度の放射性セシウムやヨウ素などを撒き散らしてしまったのだ。そして、福島第一原発の30キロメートル圏内と福島県・飯舘村などから10万人以上の人々が故郷を追われた（注2）。「制御可能」であった12日の夜までにベントを開放していれば、3号機からの放射線被害は防げたはずなのに。

結局、3号機で「海水注入」がなされたのは、翌日日曜日の9時25分である。遅きに失したといえるだろう。

しかし、その時点でも2号機はまだ「制御可能」の次元にあった。にもかかわらず、その時点で、やはり「海水注入」に踏み切る決断はなされなかった。

翌々日の14日月曜日13時22分、2号機の隔離時冷却系が機能を停止する。17時ころには「制御不能」の次元に陥り、空焚きの状態になった。それでも海水は注入されない。ようやく2号機に「海水注入」がなされたのは、19時54分のことだった。

なぜ、「海水注入」は遅れてしまったのか。

この第1章は、その謎解きの物語だ。謎を解くための検証作業を重ね、結果としてある筋書きを得た。それは、これまでマスメディアが報道してきたどの主張とも似ていない。

それを一言でいえば、「遅れたのではなく、遅らせた」ということだ。東電が12日「制御可能」

な時点での2号機と3号機への「海水注入」を意図的に拒んだのである。理由は容易に類推できる。海水を注入すれば、その原子炉は再び使用できなくなる。つまり、廃炉だ。そうなれば、東電は膨大な経済的損失を被ることになる。

実は、菅直人首相（当時）は12日に早期の「海水注入」を求めていた。しかしその場にいた東電の代表者はそれを拒む。もちろん、頭から拒絶するほど傲慢ではなかった。それらしい技術的説明を交え、早期に踏み切る妥当性をやんわりと否定してみせたのである。さらに、同席していた原子力安全・保安院（以後、保安院）、原子力安全委員会の代表者とも、東電の「不行使」に同調した。法律によれば、菅には、それ以上の現場への介入が許されていなかった。

詳細な説明は次節以降にゆずり、まずはその筋書きが、どのような検証によって裏付けられていったかを、ざっと述べておきたい。

注1 Reactor Core Isolation Cooling system 正確には「原子炉隔離時冷却系」という。

注2 1号機のベント開放によっても、同様に放射性セシウムやヨウ素などが飛散した。しかしエネルギー出力比から推測すると、3号機のベント開放による放射能飛散量は、1号機の約1・7倍だったと考えられる。

*謎解きの発端は何か

原発事故の発生後、マスメディアは一斉に原子力という技術そのものに非難の目を向けた。

「原子炉から出てくる放射性廃棄物が放射能を失うまでには数万年もかかる。自分で出した排泄物を処理できない技術を実用にするべきではない」

「地震大国の日本に54基もの原子炉をつくったのが間違いだ」

「平安時代前期（869年）に貞観地震と呼ばれる大地震が来て、今回とほぼ同じ規模の津波が同じ場所を襲ったのだから、想定外とは言えないはず」

どれも、その通りである。

ただ、その正論の陰に重大なことが隠れていた。

これらの報道の根底には一貫して暗黙の前提があった。それは「津波の到来で全交流電源が喪失し、ただちに3基の原子炉は『制御不能』になった」という前提である。だが、これは一つの仮定であって、事実として証明されたものではない。つまり、議論の前提とするに足る信頼度を担保していないのである。

それを知っているはずの東電は、さまざまな場面で「津波は想定外だった」と繰り返した。彼らにとつての「想定」とは国が定めた設計指針であろう。「それを遵守してきてなお防ぎ得ないよう

な事態が発生した」と説明しているわけだ。もちろん言外に「だから責任はとれない」という主張がある。

では、原子炉の設計に携わるエンジニアも、そのような非科学的な判断を共有していたのであるか。多くのエンジニアの方々と接してきた経験からいえば、それはどうも違う。科学を学んだものが、「原子炉は絶対に安全だから、その安全を疑ってはならない」という「お上」の方針を非科学的と感じないわけがない。設計指針がビジネス上は絶対的なものであったとしても、実効的には鶴呑みにできる種類のものではないことに気付いていたはずである。そうであれば、「想定外」を「想定」し、「最後の砦」を準備しておくべきと考えるのがエンジニアの倫理感というものであろう。

***交流電源なしで動く「最後の砦」は存在した**

その想像が当たっていたことを知ったのは、3月29日のことだった。「最後の砦」と呼ぶべき装置が、実はすべての原子炉に設置されていたのである。その装置は、たとえ全交流電源が喪失したとしても、無電源（または直流電源）で稼働し続けて炉心を冷やすものであって、1号機に備えられているものを「非常用復水器（IC）（注3）、2～3号機に備えられているものを「隔離時冷却系」（RCIC）と呼ぶ。

前者の非常用復水器は、電源なしで約8時間、炉心を冷やし続けるよう設計されていた。後者の隔離時冷却系は非常用復水器の進化形で、直流電源で炉心を20時間以上冷やし続ける設計が施されている。

最後の砦」があれば、地震後にこれらが自動起動したか、運転員が手動で稼働させるのは当然である。それをしなければ、原子炉が「制御不能」になるのは自明のことだからだ。そして、「最後の砦」が働いて原子炉を「制御可能」に保っている間に、なるべく早く対策を講じなければならぬ。冷やし続けられなくなれば、原子炉は「生死の境界」（注4）を越えて熱暴走し、「制御不能」になってしまう。

ただ、地震で外部からの電源がすべて絶たれた状況では、その復旧が数時間でなされるということに大きな期待を抱くわけにはいかない。現実的には、敷地のタンク内にある淡水をまず使って冷やし、同時に「海水注入」の準備をし、淡水がなくなる前に海水に切り替えるしかないだろう。

簡単な理屈である。けれども、それは実行されなかった。
なぜか。

二つの可能性があるだろう。

一つ。「最後の砦」は結局のところ動かなかった。あるいは動いている最中にどこかに穴が開い

て水が抜けてしまい、努力むなしく原子炉は暴走した。

もう一つ。東電の経営者が意図的に「海水注入」を避けようとした。理由はある。海水を入れれば、その原子炉は廃炉となり、経済的に大きな損失を被ることになる。

実際、「原発を終わらせる」[20110720]で、田中三彦は「1号機においては、地震発生直後に、なにがしかの原子炉系配管で小規模ないし中規模の冷却材喪失事故が起きた可能性がきわめて高い」と結論していて、「技術自体の欠陥」により地震直後から冷却水が漏れ抜けたのではないかと推測している。これらが疑いなく証明されるならば、第一の可能性が正しいということになる。

私は、どちらの可能性が真実かを見るために、事故後の公開データ [20110315] [20110412] [20110404] を調べ上げ、原子炉の水位と原子炉内の圧力との経時変化をプロットしてみた。その結果は、1号機の非常用復水器については設計通り8時間の間稼働していたこと、3号機の隔離時冷却系については20時間以上の間稼働していたこと、さらに2号機の隔離時冷却系については70時間の間稼働していたことを示唆したものであった。

そこで私は、4月のはじめに論文を書き、日経エレクトロニクス [20110516] と日経ビジネスオンライン [20110513:01] に発表した。どちらもリリースされたのはその約1カ月後の5月13日金曜日。その主張は、第2の可能性のほうが正しいというものであって、要点は以下のとおりだ。

 三つの原子炉とも「最後の砦」は動いて原子炉の炉心を冷やし続けた。ところが、原子炉が「制御可能」であったときに「海水注入」の意思決定はなされなかった。よって東電の経営者の「技術

経営」に、重大な注意義務違反が認められる。

注3 Isolation Condenser 正確には「隔離時復水器」という。

注4 「制御可能」(原子炉の炉心がすべて水に浸った状態)と「制御不能」(原子炉の炉心の一部が水に浸っておらずそこが空焚きになる状態)の境界。「最後の砦」が止まってからその境界に至るまでおよそ4時間の猶予がある。いったん原子炉が「制御不能」の次元に陥れば、「制御可能」に引き戻すことは「人知」ではできない。その境界の内側(「生」の側)を「物理限界の内側」、外側(「死」の側)を「物理限界の外側」と呼ぶことにする。

*5月15日の豹変

すると驚くべき反応が二つあった。

一つ目は、東電自体からだ。その2日後の5月15日日曜日に東電は、緊急記者発表 [20110515] を行なったのだ。記者発表のあらましは、次のとおり。

1号機について、運転員が計測した原子炉水位データは間違っていて、実際には原子炉水位は維持できていなかった。しかも、11日15時03分以降、非常用復水器系の機能は一部喪失して

いた。

非常用復水器の機能が完全に喪失していたと仮定して解析したところ、原子炉の水位は、11日18時に燃料棒の頭頂部に到達し、19時半ころに燃料棒の底部に到達して空焚きになったとの結論を得た。また炉心溶融は11日19時半には始まったとの結論も得た。

それは、別に「反応」ではなかったのかもしれない。記事公開とはまったく無関係に、たまたまその3日後に記者発表会を開いただけ、という可能性はある。

そうだとしても、異様な記者発表だった。

運転員が計測した原子炉水位データがなぜ間違っていたのか。それについては何も述べられなかった。ただ「原子炉水位は維持できていなかった」と語るばかりだ。

しかも、実は1号機の二つの非常用復水器のうち一つは断続的ながら動いていた。稼働の詳細を東電は知っていたはずで、後日、非常用復水器の実際の稼働に合わせた解析結果も公表している[20110524]。そうであれば、なぜその事実に近い解析結果の方を発表しなかったのか。実に奇妙である。

こう勘ぐってもみたくなくなる。「これまで原発は安全だと主張し、事故後もそれを言い続けてきた」ものの、経営責任を問う論説が現れたので、「原発は、地震と津波で暴走するほど危険なものだ」と解釈されることもやむなしとし、「1号機についてはすぐに『制御不能』に陥ったので、事故は経営者の意思決定の不行使のせいではない」と主張し始めた。もしそうであれば、この記者発表は東電の東電都合による「シナリオの書き換え」であり、その目的は「経営責任の回避」である。

このことにマスメディアは気付き、その妥当性について厳しい検証を加えるであろうと期待した。ところが実際には、ほとんどマスメディアは東電シナリオをそのまま受け入れ、むしろ「仮説」を「事実」として一般の人々に広く認識させるという役割を果たしてしまった。そのころマスメディアは、メルトダウンという表現を避けてきた東電に対して「事故を軽微に見せようとしている」という疑いの目を向けていた。そこへ、この発表である。多くのマスメディアがそれを「ついに隠しきれなくなつて、本当のことを言い始めた」結果と解釈してしまったことは、想像に難くない。

さらに6月6日、保安院は、独自の解析結果を発表する。彼らは、東電の主張通り「原子炉水位計は誤った値を示していた」と仮定するとともに、「津波到達後、非常用復水器は作動を完全に停止した」と仮定した。その上で、「11日16時40分ころには、水位は燃料棒の頭頂部に到達し18時ころには炉心損傷が始まった」と解析結果を発表し、東電の解析より1時間半も早く炉心溶融は起き

た可能性が高いと報告した。

この解析以後、「運転員が計測したデータ自体が間違っており、実際には原子炉水位は維持できていなかった」という東電の説明を疑う第三者は、知る限り現れていない。東電の経営者の不行使の「過失」責任を問う報道についても、同様にまったく目にしていない。

*日比野靖の証言

二つ目は、旧知の日比野靖からの反応である。

日比野は現在、北陸先端科学技術大学院大学の副学長を務めている。菅総理（当時）の大学時代の「同志」であって、菅がもつとも信頼を寄せていた友人でもあった。その縁もあって菅は、2011年2月の終わりに、日比野に内閣官房参加の就任を依頼する。日比野は、2011年3月20日から参加に就任して科学技術行政を補佐することを菅に約束していた。

そこに震災と原発事故が起きた。3月12日、参加就任前だった日比野は菅に「一友人として」官邸に呼ばれ、3月12日と13日にさまざまな助言を行なった。以下は、日比野から届いた私信だ。



貴殿の福島原発事故の原因に関するご見解



筆者注Ⅱ前出の日経エレクトロニクス、日経ビジネスオンラインの記事)、まさにその通りだと思っております。

その中で、1号炉の隔離時復水器、2〜3号炉の隔離時冷却系の存在を指摘されておられません。

実は、小生、縁あって、菅前総理の内閣官房参加を3月20日より務めました。それ以前に、事故の翌日3月12日の夜、官邸に呼ばれ、緊迫した状況の中で翌日3月13日昼まで過ごしました。

そのとき、1号炉は既にベントも海水注入も実行されていたのですが、水素爆発をした後でした。

菅前総理は、2〜3号炉も1号炉を同じ経過をたどるであろうことを直感し、先手を打つことを、東電、保安院、安全委員会に何度も指示していたのですが、これらの専門家たちは、隔離時冷却系が動作しているからという理由で、ベントや海水注入に踏み切りませんでした。

菅前総理は、隔離時冷却系が動いているからといって、熱が外部に放出されるわけではないので温度と圧力は時間とともに上昇するはずだ、早くベントと海水注入をするべきだと強く主張していました。

小生も、早くベントと海水注入をして冷却を進めるべきだと思ったので、隔離時冷却系が停止するまで待つ理由を東電、保安院、安全委員会のメンバーに質問しています。

回答は次のようなものでした。

できるだけ温度と圧力が十分上がってからベントした方が、放出できるエネルギーが大きい。一度しかできないので、最も効果的なタイミングで行う。

そのときは、小生、熱力学の知識が不十分だったので、納得して引き下がってしまいました。翌3月13日は、3号炉は隔離時冷却系が停止し、危機的状况をむかえてしまいました。

しかし、大学に戻り、少し調べてみると、水は沸点を超えるとき大量の潜熱を吸収するが、それより高温の水蒸気の熱吸収は水をわずかに超える程度であり、特に臨界圧21気圧を超え超えたときの水蒸気は、水と同じ性質であると知りました。

やはり、早くベントし、海水注入をするべきだったのです。2号炉はまだ間に合う。ただし、菅総理に電話で進言しています。

この進言、2号炉の隔離時冷却系停止には間に合いませんでした。

小生の長い間の疑問は、隔離時復水器、隔離時冷却系が動作している間に、なぜ、ベントと海水注入をしなかったのかということでした。この疑問は、貴殿のご指摘で、完全に解きました。

東電の「過失」のすべてがあきらかになる内容だった。

私はすぐに日比野に返信し、さらなる情報の提供を求めた。それを快諾した日比野は、実際に官邸で見聞きしたことを含め、知り得たすべてのことについて証言した。

*この章の構成

こうして、この第1章は出来上がった。

以下、1・2節で、事故がどのように起こったのかをもう一度振り返る。事故を起こした原子炉の簡単な仕組みを述べ、「最後の砦」である1号機の非常用復水器と2・3号機の隔離時冷却系がどのような構成をしていたかを、図を用いながら説明する。

それから1・3節、ついで1・4節で、それぞれ1号機と2・3号機はどのように「制御不能」になったのかを分析する。公開データを読み解きながらそれをグラフにし、グラフを分析しながら、いつどのように「最後の砦」が作動を終え、ベント開放や海水注入が行なわれたかを調べる。

なお前述のように、この分析の基礎になった公開データのうち、1号機の暴走に至るプロセスをめぐって、5月15日に「豹変」があった。東電は「1号機について原子炉水位計は誤った値を示し

ていた」とし、さらに「非常用復水器は動いていなかった」として、計算機シミュレーション（モデル解析）結果を記者発表したのだ。そこで、この「豹変」をめぐる、1・5節でまとめておく。1・6節は、日比野のインタビュー記録である。3月12日から13日にかけて官邸でどのような人々が集い、そこでどのような議論が行なわれたのかを克明に語っていただいた。その記録の中から重要な部分を抜き出し、本人の許諾を得てこの節に掲載した。

さらに1・7節で、2005年4月25日にJR西日本が起こした福知山線転覆事故と、この原発事故との類似性を比較検討する。ともに、「技術経営の誤謬」が引き起こした事故であるにもかかわらず、マスメディアは経営者の過失責任を追究しなかった。コーポレート・ガバナンスの基本法則を、組織もマスメディアも理解できていないことを露呈したという点で、たいへん似通った事故だと思う。この二つの事例を基に、独占企業・寡占企業である限り、イノベーションの根本能力（コンピタンス）を持ち得ないということ論証したい。

1・8節では、「何があきらかになり、何をあきらかにすべきか」を再度まとめたのち、最後の1・9節「おわりに——新しい曙光に向かつて」で、日本社会はこれからどのようにイノベーションしなければならないか、そのビジョンを示す。この事故と日本の産業社会の周回遅れとが深く関係していることを論じ、日本の曙光はいったいどの水平線に現れるのかを探る。

1・2 事故は、どのように起こったか

*地震の後、何が起きたか

2011年3月11日14時46分に起きた東北地方太平洋沖地震を引き金にして、東日本大震災が発生。福島第一原発は、受電鉄塔の倒壊などにより、外部電源の供給を失った。そのため非常用電源がただちに作動。稼働中の3基の原子炉（もともとも古い1号機からプルサーマル炉の3号機まで）は、その制御棒が自動的に燃料棒に挿入されて（原子炉スクラムという）、緊急停止した。なお、福島第一原発にあった残りの3機基の原子炉（4〜6号機）は運転を休止しており、4号機については、核燃料が炉心から抜き取られて使用済み燃料プールの冷却水中にあった。

ところが、約40分後の15時27分ころ到来した高さ14メートルの津波により、各原子炉建屋やタービン建屋の地階（海拔0メートルから5・8メートル）に設置されていた非常用電源（ディーゼル発電機）や配電盤が冠水した。ただし6号機のみ、空冷式非常用電源が3台目として1階に設置されており停止を免れた [20110620, p.III-30]（注5）。その結果、6号機とそれに隣接する5号機には電源供給できたものの、それ以外のすべての原子炉（1〜4号機）は、15時42分までに「全交流電

源喪失状態」となって、「非常用炉心冷却装置」(Emergency Core Cooling System、ECCS)が動かなくなった。さらに配電盤が、2号機の半分を除いて水没したため、電源車が到着しても電源を復旧できなかった[20111028, p.109]。

津波によって6号機の3台目を除くすべての非常用電源が喪失してしまった原因は、二つある。

第一に、原発設置の海拔が10メートルであったこと。もともと高い津波の到来を受けながらも、2号機のみ吸水口を経て地下が浸水しただけの東北電力女川原発が、海拔15メートルに設置されていたことと対照的である。

第二に、6号機の3台目を除いて、各原子炉に2台ずつあった非常用電源のほとんどが地階に設置されていたこと。多様な海拔に多様な仕方でも配置してあれば、津波ですべてが一様に停止するという事態を、当然ながら免れた。6号機の非常用電源の1台のみが生き残ったのは、それが空冷式で1階に設置されていたからだ。

これら二つの原因の本質については、第2章で分析する。

ここで分析するのは、何度も繰り返すよう、事故後のただ一点。それは、非常用電源喪失によって非常用炉心冷却装置が動かなくなった後でも「最後の砦」である1号機の非常用復水器と2、3号機の隔離時冷却系は動いたのかどうか、である。

注5 大前研一による事故調査レポートによれば、2号機と4号機では2台のうち1台は空冷式で1階に設置されていた[20111028, p.105]。保安院「所内電気関係設備の被害状況と安全設備への影響について」にも同様の記載がある[20111108, p.11]

*非常用炉心冷却装置の仕組み

この謎解きに入る前に、福島第一原発で熱暴走を引き起こした1号機から3号機の動作原理を述べておきたい。

これらの原子炉は、すべて沸騰水型 (Boiling Water Reactor ) と呼ぶタイプであって、図1・1に示すような構造となっている (この形式をMark Iと呼ぶ)。プラスチック型の格納容器 (Primary Containment Vessel、PCV) は、ドライウェル (Drywell、DW) と呼ばれる本体部分とそこにぶら下がるドーナツ型の圧力抑制室 (Suppression Chamber、SC) から成る。格納容器は摂氏140度までの温度に耐え、1号機の場合4・3気圧まで、2、3号機の場合3・8気圧までの圧力に耐えられる設計となっている。この格納容器のなかに摂氏300度までの温度で、83気圧までの圧力に耐えられる圧力容器 (Reactor Pressure Vessel、RPV) があり、このなかに燃料集合体すなわち炉心がある。

図1・2に、1号機の冷却系の配管の様子を示す。炉心は水に浸っていて、その水は燃料の核分

冷却装置が働かなかつたらどうするのか。実は、そのための「最後の砦」が用意されている。すで
 *非常用炉心冷却装置が動かなかったら、どうするか
 では、万が一停電して給水ポンプもCSポンプもHPCIポンプも止まってしまい、非常用炉心
 冷却装置が働かなかつたらどうするのか。実は、そのための「最後の砦」が用意されている。すで

もし冷却系に不具合が生じて压力容器内の水蒸気圧力が上がり始めたり、給水ポンプが壊れて炉
 心の温度が上がりがり始めたりしたら、高圧注水系 (High Pressure Coolant Injection System、
 HPCI) のHPCIポンプが動いて復水貯蔵タンク中の水を炉心に引き込むとともに、炉心スプレ
 ー系 (Core Spray System、CS) のCSポンプが動いて圧力抑制室の水を吸い込み、それを圧
 力容器に取り込んでスプレーし、炉心を冷やす。それでも冷却できずに压力容器内の圧力が上がり
 続けて約75気圧を超えたら、主蒸気ラインに据え付けられた逃がし安全弁 (Safety Relief Valve、
 SRV) が開いて、压力容器内の蒸気を格納容器内に逃がす。これら高圧注水系、炉心スプレ
 ー系、逃がし安全弁などを総称して非常用炉心冷却装置と呼んでいる。

裂反応の発熱によって压力容器内で水蒸気になり、主蒸気ラインを経て直接タービンを回し、発電
 に寄与する。その後、復水器で海水との接触により冷やされて水に戻され、給水ポンプにより給水
 ラインを経て压力容器に戻される。

図1・1 福島第1原発1号機の全体構造 (Mark-I) ~ 2, 3号機も同様のMark-I型。
 2, 3号機では、非常用復水器のかわりに隔離時冷却系が備えられている。

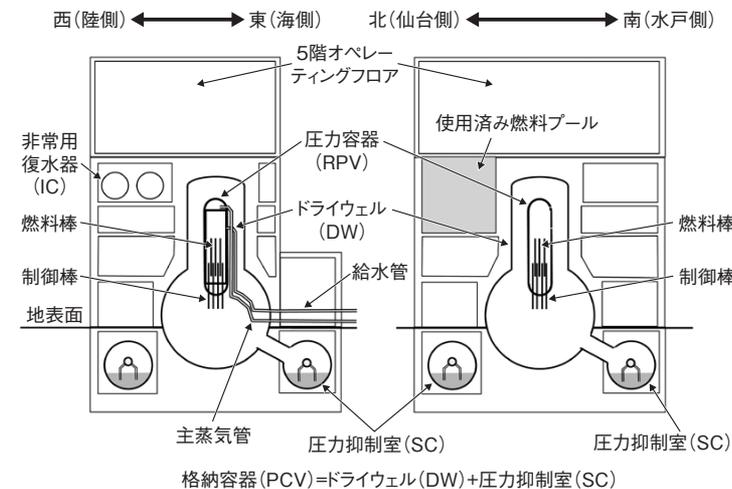
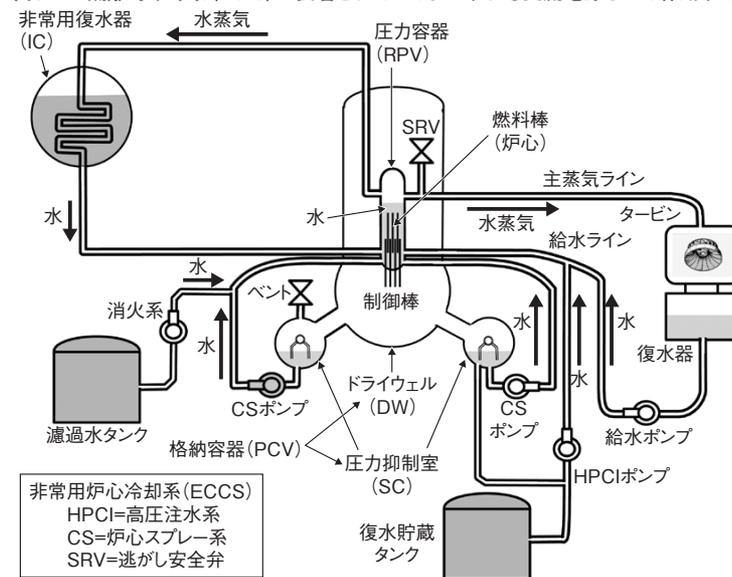


図1・2 福島第1原発1号機の配管の仕組み。2-3号機では、非常用復水器 (IC) の
 代わりに隔離時冷却系 (RCIC) が装着されている。いずれも交流電源なしで動作する。



に説明したように、1号機の場合、それが非常用復水器である。

ふたたび図1・2を見てほしい。水蒸気のラインが、圧力容器から非常用復水器に入りふたたび圧力容器に戻されている。非常用炉心冷却装置が止まった場合にも、燃料の発熱で生じた水蒸気は、このラインを經由し、非常用復水器で冷却されて復水する。できた水は圧力容器に戻され、炉心を冷やす。

重要なポイントは、これが電力を必要としない自然冷却システムであるという点だ。原子炉の炉心は、核壊変による崩壊熱で熱い。一方、復水器内の冷却水は冷たい。よって復水器内の冷却水が蒸発してなくなるまで、非常用復水器は無電源で約8時間作動するように設計されていた。

2〜3号機では、この非常用復水器を進化させた隔離時冷却系が「最後の砦」として設置されている。これは、すべての電源が喪失した後も、炉心の発熱による蒸気で回る専用タービンと直流電源によって20時間以上ポンプを駆動させるシステムである。

では、非常用復水器（1号機）あるいは隔離時冷却系（2〜3号機）に蓄えられている水がすべて蒸発し、ついに冷却機能を失ったら何が起きるのか。

炉心の崩壊熱により圧力容器のなかの冷却水が沸騰し始め、圧力容器のなかの圧力が上がり始める。この圧力が約75気圧を超えると、逃がし安全弁が開いて圧力容器内の水蒸気を格納容器に逃が

す。この結果、格納容器内の圧力が上がる。格納容器内の圧力が設計耐圧（1号機では4・3気圧、2〜3号機では3・8気圧）を大幅に超えると格納容器が爆発してしまうので、それを避けるために格納容器のドライウエルと圧力抑制室のそれぞれに、ベントと呼ばれるバルブが付けられている。

このベントは  手動式であるべきで、人間が判断して開ける。ただし、ここでベントから放出される水蒸気は  炉心、炉心の燃料棒から出てくる中性子を吸ってわずかに三重水素と酸素19という放射性同位元素に核変換しているほか、水の中に含まれている微量の不純物も放射化している。そのため、開ける前には前もって近隣住民を避難させなくてはならない（注6）。

ベントを開けたとしても、毎時25トン以上の水を注入しない限り、原子炉の発熱を抑制できるわけではない。そこで、圧力容器の逃がし安全弁を開けてその中の圧力を6気圧以下にまでしたうえで、消火系とよばれるラインから消防ポンプにより多量の水を注入して初めて、原子炉を「制御可能」の次元に引き戻すことができる。

しかしながら、この水の注入が遅れて、ついに核燃料の頭頂部が冷却水の水面の上に露出し始めてしまえば、もはや炉心を冷やす手立てはない。このとき原子炉は「制御不能」となって確実に熱暴走し始め、「生死の境界」を越えて必ず炉心溶融に至る。

よって、原子炉を「制御不能」の次元（物理限界の外側）に陥らせないたった一つの方法は、「最後の砦」たる非常用復水器あるいは隔離時冷却系がその稼働を停止する前に（最悪でも停止した直後に）ベントを開き圧力容器内の圧力を下げて、毎時25トン以上の水を注入することである。そのように多量の水を継続的に注入するには、今回の事故現場においては海水を用いるほかはない。

注6 ヨーロッパの原子炉では、ベント管にフィルターが設置されていて、放射性物質の外界への放出を100分の1以下に低減するようになっている。

*「最後の砦」は働いたのか

いったい、この「最後の砦」は動かなかつたのだろうか。あるいはたとえ動いたとしても、配管系が壊れてしまい冷却水が漏れ抜けてしまつて原子炉の炉心を冷やし続けられなかつたのだろうか。これについて、公開情報を読み解きながら、事実を追ってみよう。

公開情報としては、現場のエンジニアが書いた一次情報を使わねばならない。幸い保安院は、東電から通報のあつた一次情報を、事故直後から現在まで時系列かつ包括的にウェブサイトで公表している [20111007]。これは、保安院へ逐次ファクスで送られたものであつて、「特定事象発生通報」等から成る手書きの報告 [20110300-01] と「プラント関連パラメータ」というワープロ・手

書きのデータ表 [20110300-02] から成っている。これらは、手書きであるがゆえに信頼性が高い。しかも後者には「プラント関連パラメータについては、東京電力から訂正の連絡があり、現在訂正内容を確認中のため、公開している資料は、訂正前のものとなりますのでご注意ください」という赤字の注釈があるので、東電の「恣意」によつて改訂された可能性は小さい。

さらに東電は、1〜2号機の当直長引継日誌 [20110300-03] および3〜4号機の同日誌 [20110300-04] を公開している。これらも、ホワイトボードをそのまま撮影したものであるから、東電の「恣意」によつて改訂された可能性が低い。そこでこの章では、これらの資料を一貫して用いることとし、それ以外の二次資料やプレスリリースなどをすべて信頼性が低いものとして退けることにする。ただし、ホワイトボードやチャートの読み取れない部分については、東電が公開している「各種操作実績取り纏め」 [20110300-05] および「過渡現象記録装置データ」 [20110300-06] も参考にした。

なお、2011年11月下旬に、東電 [20111122] および保安院 [20111125] は、1号機の非常用復水器の動作についてこれまで非公開だった資料も含めて開示した。そこでこれらも、前述の一次データ群と矛盾がないことを精査しつつ、参考にすることにした。

これらの一次情報に基づいて、どのような事態が時々刻々起きたのかを、付表1にまとめた。ま

た、「原子炉の水位」「压力容器内の圧力」(注7)および「ドライウエル内の圧力」(注8)を、付表2にまとめた。ここで、「原子炉の水位」とは、核燃料の頭頂部から測った压力容器内の冷却水の水位(単位はミリメートル)。この値が「正」であれば、核燃料はすべて冷却水に浸っていて、核燃料全体が水の沸点(圧力74気圧のとき摂氏290度)以下であることを意味する。一方、この値が「負」になると核燃料の一部が気体(水蒸気)中に露出しその部分が核燃料の崩壊熱で熱せられて暴走していることを意味する。こうなると人知を持つては暴走を食い止めることはできず、必ず炉心溶解に至る。そこで、この水位の値が「負」であることは、その原子炉が「制御不能」の次元にあることと同義である。

これらの表および図に基づいて、「最後の砦」はどのように動いたのか、原子炉の水位はどのように変化したのか、さらに压力容器および格納容器の内部圧力はどのように変化したのかを、1号機、2〜3号機のそれぞれについて分析する。

注7 単位は、MPa(メガパスカル)。よって、たとえば6・6とは約66気圧のこと。

注8 単位は、kPa(キロパスカル)。よって、たとえば600とは約6気圧のこと。

1・3 1号機は、どのように制御不能になったか

*1号機の非常用復水器の仕組み

1号機の分析に先立って、1号機の非常用復水器の詳しい構造を説明しておこう。

図1・3に示すように、非常用復水器は、A系統とB系統の二つから成っている。原子炉の正常水位から約2メートル上に設置された配管を経てやってきた蒸気は、4階に配置された復水器内の冷却水で冷やされ、水になって原子炉最下部の原子炉再循環系(Primary Loop Recirculation、PLR)の吸い込み管に戻される。このとき、復水器内の冷却水の一部は蒸気になって原子炉建屋外部に排出されるので、非常用復水器が働いているかどうかは、外部に排出される蒸気を目で確認することで判別できる。

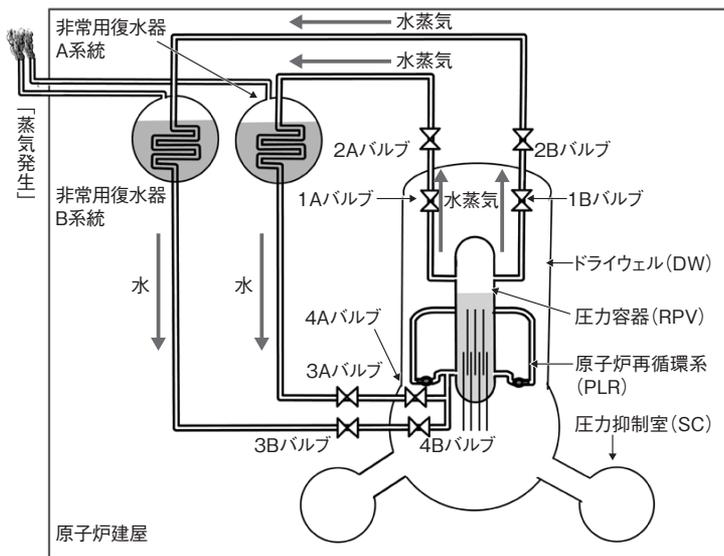
非常用復水器のそれぞれの系統について、復水器のインレット側に二つのバルブ(たとえばA系統では、1A、2A。それぞれ格納容器の内側と外側)が、また復水器のアウトレット側に二つのバルブ(A系統では、3A、4A。それぞれ格納容器の外側と内側)の計四つのバルブが付けられている。通常は、1A(1B)、2A(2B)および4A(4B)バルブは「開」状態にあり、

3 Aバルブと3 Bバルブを開け閉めして、それぞれA系統とB系統の非常用復水器の稼働を制御するようになっていた。これらは、すべてモータードライブ（MO）によって自動起動するものの、手動開閉も可能であって、非常用電源喪失後は、手動で開閉されている。

***2度、手動で止められた1号機の非常用復水器**

地震発生6分後の14時52分に、原子炉の圧力上昇を感知して非常用復水器は2系統とも自動起動している。その11分後の15時03分に、運転員は3 Aと3 Bのバルブを手動で閉じた。その後3 Bのバルブは開けられなかったため、B系統の非常用復水器は使用される

図1・3 1号機の非常用復水器（IC）の仕組み。



ことがなかった。一方、3 Aのバルブは3回ほど開け閉めされている。これは、運転員が压力容器内の圧力を60〜70気圧に保つために行なったものであって、原子炉压力容器の温度の変化率が毎時55度（華氏100度）を超えないことという手順書にしたがった【20110523】とされている。実際、2011年11月20日に保安院が、当時1号機の対応にあたった東電職員にヒアリングしたところ、その職員は次のように答えている【20111120】。

外部電源が失われていたものの、非常用ディーゼル発電機が起動しており、通常のスクラム対応により、事象を収束できると考えていた。地震によりしばらく立ってられない状況であったが、スクラムによる制御棒の全挿入は確認できたため、地震の揺れが収まった段階で全体的な確認を行った。その中で、ICの弁が開いていること、原子炉圧力が低下していたことを確認し、原子炉冷却材温度変化率55℃/hが守れないため、一旦ICを停止するためA系、B系の弁を閉めた。

ICを一旦停止した後、ICにより原子炉圧力の調整を行うとの判断をし、原子炉圧力を6〜7 MPa程度に制御するよう、A系でコントロールした。追いつかなければB系も使うことを考えていた。手順書上は、1系統のみの運転について詳細な規定はなく、実際の操作は状

況に応じて対応することとなっており、訓練により習得している。

ところが、A系統の手動開閉操作中に津波が原発を襲い、15時37分に全電源喪失となる。その後、A系統の非常用復水器が働いていたのかどうかは定かではない。

18時18分に直流電源が一時的に復活。運転員は2Aと3Aのバルブの表示が「閉」であることに気づいて、「開」操作をし、「蒸気発生を確認」、つまりA系統の復水器に原子炉の冷却水が回って非常用復水器が機能していることまでを確かめた。

しかしながら運転員は、ここで奇妙な行動をとる。3Aバルブを開けた7分後の18時25分に3Aバルブをふたたび閉じるのである。

なぜ運転員は、このような行動をしたのか。

保安院の「なぜ（3Aバルブの）閉操作を行ったのか。蒸気の発生が確認できなくなったためと聞いているが、その場合になぜ閉操作を行う必要があったのか」との質問に対して東電の運転員は次のように述べている [2011120]。

蒸気が発生していないことを確認したので、ICが機能していないと考えられた。蒸気発生

がなくなった原因としては、格納容器内の隔離弁が隔離信号により閉止している可能性もあったが、一方でICの胴側の水がなくなっている可能性も考えられた。胴側への給水配管を構成していなかったこともあり、MO・3Aを開けたままだと冷却管が破損し原子炉蒸気が建屋外に放出するおそれもあったことから、閉操作を行った。

すなわち、いったん蒸気発生を確認したものの蒸気の発生がなくなったので、非常用復水器が壊れてしまったと考え、このままでは配管も壊れてしまうと判断したということである。ただし、現場の吉田昌郎所長はこの非常用復水器の停止を把握していなかったという [20110908]。

3Aバルブが閉められてから約3時間後の21時30分に、運転員はふたたびこの3Aバルブを開ける。これについて、東電は、「高圧注水系ポンプ（HPCIポンプ）に期待できない状態の中、ディーゼル駆動消火ポンプが起動できたことで、ICの冷却水の補給にも対応できるようになり、冷却水の不足の懸念が減る一方、3A弁の状態表示灯が不安定で消えかかっており、ICの次の動作がいつできるか分からない状況であることから開操作した」 [2011122] と説明している。実際、この操作を行った運転員は、「開操作後に中央制御室から出て、原子炉建屋越しに蒸気が発生している様子とその発生音により確認した」 [2011120] と答えている。

この「蒸気発生」が正しければ、A系統の非常用復水器は18時25分から21時30分までの約3時間機能を停止していたものの、21時30分以後まったく正常にその機能を果たして1号機の炉心を冷却し続けたと結論できる。

*原子炉水位は、12日7時まで安定

付表1  2から分かるように、22時11分の時点で原子炉の水位は45センチメートル。まだ「正」の値に保たれており、1号機は「制御可能」の次元にある。このことは、「21時30分に運転員が非常用復水器の3Aバルブを開け、そのまま非常用復水器を稼働させ続けたので、原子炉の冷却水は温存された」という事実に対応する。さらにはA系統の非常用復水器が機能し続けたことで原子炉の水位は22時47分以後、59センチメートルまで上がる。

田中三彦は「原発を終わらせる」で、「地震発生から午後9時30分まで、非常用復水器を作動させねばならないような原子炉圧力の大きな高まり（上昇）はほとんどなかったことを意味するだろう」[20110720, p.22]と述べている。付表2から分かるように、20時07分時点で1号機の圧力容器圧力は約66気圧と、設計圧力の83気圧を下回り、かつ逃がし安全弁が機能する約75気圧を下回っているから、これは正しい考察であろう。この時点まで、圧力容器に大きな漏れはなかったというこ

とも合理的に推測できる。

このことをもう少し分かりやすく見るために、1号機について付表2をグラフにしてみた。それが図1・4である。ここで、図1・4(a)は、原子炉水位の経時変化、図1・4(b)は、圧力容器内の圧力と格納容器のドライウエル内の圧力を示す。

この図1・4(a)に示すように、すくなくとも3月12日6時30分までは、原子炉の水位は安定的に50センチメートル以上を保っている。

なお付表1  1にあるように、「プラント関連パラメータ」[20110300-01]によれば、1号機の「IC動作中」という文言が12日の15時28分まで見られる。しかし、これは運転員の勤ちがいによるものである。というのは、あきらかに非常用復水器が作動していなかった11日20時30分や21時においても「IC動作中」の文言があるし、水位が「負」になった12日7時55分以後においても見られるからだ。よってこの「IC動作中」という文言は信頼性に乏しいと判断し、本章の考察では無視する。

*二つの可能性

11日21時30分に再稼働した非常用復水器は、いつまで原子炉を冷やし続けたのか。

第二は、12日6時半ころ、非常用復水器はその稼働を停止したという可能性。運転員が測定した原子炉水位データによれば12日6時30分までは水位は50センチメートル以上を安定的に保ち、その後急速に減少しているからだ。実際、非常用復水器は8時間程度稼働するようになっていたので、稼働時間の積算をすると12日6時30分ころまで稼働するのは合理的だ。

なお、2011年9月11日にTBSで放映された「原発攻防180日の真実」(注9)では、関係

述する。

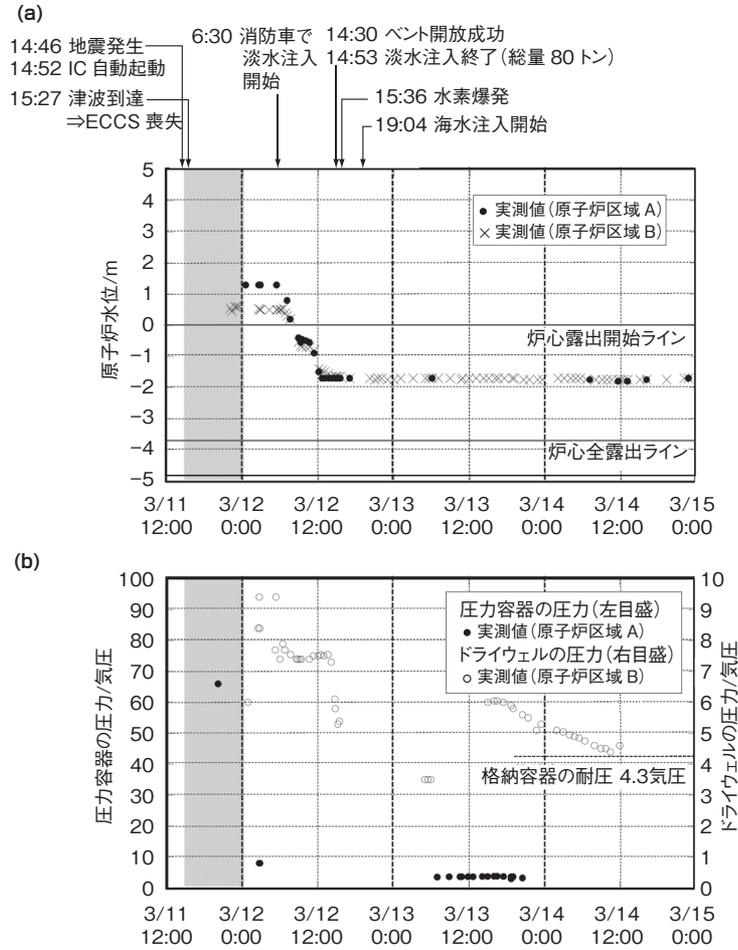
図1・4(b)に示すように、11日20時07分時点で66気圧だった压力容器内の圧力は、12日2時45分時点で8気圧まで下がり、ドライウエル内の圧力8・4気圧とほぼ等しくなっていて、逃がし安全弁の作動を示唆している。ただ、もう一つの可能性がある。逃がし安全弁が開いたのではなく、压力容器が損傷し、水蒸気が格納容器に漏れたという可能性である。この推察の理由については後述する。

図1・4(a)を詳しく眺めると、二つの可能性が立ち現われる。

第一は、12日0時から0時30分の間に、非常用復水器はその稼働を停止したという可能性。なぜなら、12日0時30分ころから、格納容器内の圧力が急上昇を始め、設計限界の4・3気圧を大幅に超えているからだ。非常用復水器の停止によって炉心の熱発生が急上昇して压力容器内の圧力が急速に上がり、逃がし安全弁が働いて蒸気を格納容器内に導いた結果かもしれない。

第二は、12日6時半ころ、非常用復水器はその稼働を停止したという可能性。運転員が測定した

図1・4 1号機における(a)原子炉水位と(b)圧力(压力容器およびドライウエル)。3月11日12時から15日0時まで。灰色の領域は、非常用復水器が稼働していたと推測される時間。ただしその稼働は断続的であったことが後に分かる。



者の証言により、一次資料以外の興味深い事実があきらかにされている。「停電の際、制御盤が非常用復水器のバルブを閉じる信号を出した」というものだ。そのため、「18時18分にふたたびバルブが開けられるまで、2時間の間原子炉は空焚き状態になった」。そして「政府の解析によれば、18時ころ炉心の燃料が溶け始め、20時ころには溶けた燃料が圧力容器を壊し、下に抜け落ちる状態になった」と番組は続ける。実は、この「解析」とは、1・1節であらすじを述べたように「非常用復水器が働かなかつたと仮定すると、11日18時時点で燃料溶融が始まるという結論が得られる」という計算機シミュレーションにすぎない。これについては、1・5節で詳しく述べる。

いづれにせよ、「プラント関連パラメータ」[20110300-02]をそのまま信頼すれば、非常用復水器の中断はあったものの、図1・4(a)に示したように、12日6時30分まで原子炉水位は50センチメートル以上を保っていて、1号機は「制御可能」の次元に保たれていたと考えられる。

注9 この番組に対して、9月13日に東電は「国の事故調査・検証委員会などで調査が進められている中で、事実の解明を待たずに、推定や憶測によって、『人災』と結論付けた報道がなされたことはなほ遺憾」と抗議文を発表している。

*淡水注入、ベント開放、そして海水注入

図1・4(a)に示すように、全交流電源喪失がおきて約15時間後の12日6時47分ころ、原子炉の

水位はついに急速に減り始め、8時ころ燃料棒の露出が始まった。

こうなることを予見していた吉田の行動は、たいへん迅速だった。

東電の2011年9月9日付報告「福島第一原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について」[20110909]によれば、12日0時すぎにベントを実施するように所員に指示を出している。所員はただちに近隣住民を避難させる準備を始め、同日5時44分に首相が半径10キロメートル圏内の住民に避難の指示を出した。その後6時33分、地域住民が避難準備できたことを確認したのち、6時50分、手動によるベントが命令された。それと同時に並行して、5時46分外部からの淡水注入が開始される。

吉田は、12日未明(0時〜6時)に「海水注入」をしなくてはならないと考えていたようだ。これについては、独立総合研究所の青山繁晴社長の証言がある。彼は、2011年4月22日に東電の許可を得て福島第一原発を訪問し、吉田をインタビューしたという。青山は言う[20110617]。

原発事故の対応で何より大事なのが炉心の冷却です。震災直後は、消火系という火災発生時に使うシステムで真水を注入していました。しかし、消火系タンクが空になれば注水は止まってしまう。作業日誌などの資料によれば、震災翌日の3月12日の未明には、吉田所長を中心と

した現場から「海水注入に切り替えるべし」との方針が東電本店に伝えられています。12日午後0時2分には本店も「注水最優先」と決断している。これはつまり、海水を入れることで原発を廃炉にしてもいい、という意味です。

図1・4(a)が正しいとすれば、原子炉水位が減少し始めた12日6時47分ころまでに淡水注入ではなく海水注入をすれば、1号機は、「制御可能」の次元にとどまり、原子炉は決して暴走しなかったと考えられる。

保安院の「地震被害情報（3月11日～9月30日間の情報）」[2011101]によれば、当初淡水を、そして最終的に海水を注入するに至った経過およびベント開放に成功した経過は以下のとおりである。

- ・東京電力(株)が、福島第一原子力発電所1号機への消防ポンプによる淡水注水開始（3月12日5時46分）
- ・東京電力(株)は、消防車を用いて真水を2000リットル注入完了（3月12日6時30分）
- ・東京電力(株)より、原子力安全・保安院に対し、「8時30分現在の情報として、1号機の原子炉水位は炉心頭頂部付近まで低下している状況（消火用ポンプ車で原子炉への注水を実施中）」と

報告（3月12日8時29分）

- ・東京電力(株)が、福島第一原子力発電所1号機のベント作業のため、現場に出発（その後、第1班が1つ目の弁を手動で25%「開」操作するも、2つ目の弁を開きに行った第2班は作業員の被ばく線量が大きく、中断）（3月12日9時04分）
- ・東京電力(株)より、原子力安全・保安院に対して、「福島第一原子力発電所1号機の1つ目の弁が開いた」と連絡（口頭）（3月12日9時30分）
- ・ベント開始。東京電力(株)が、中央操作室から遠隔操作により、福島第一原子力発電所1号機の2つ目の弁を「開」操作（3月12日10時17分）
- ・東京電力(株)が、2つ目の弁につき、追加操作を実施（空気圧縮機を使用）（3月12日14時頃）
- ・東京電力(株)が、1号機の格納容器の圧力低下を確認（3月12日14時30分）
- ・真水を8万リットル注入完了（3月12日14時53分）
- ・原子炉圧力容器内に消火系ラインを用いて海水を注水開始（3月12日19時04分）。

すなわち、12日5時46分から14時53分まで約9時間の間、計80トンの淡水が注入された。しかし、1号機の核燃料の崩壊熱から逆算して、毎時25トンの水が注入されないと原子炉は冷やせない

ということが分かっている。貯蔵されている淡水の有効量は80トン [20110613]。それでは4時間も持たない。しかも淡水注入が終わった14時53分から19時04分までの4時間、何の対策も打てていない。

19時04分に東電はようやく「海水注入」を開始したものの、遅すぎた。

***1号機の圧力容器は、初期に損傷したのではないか**

ところで、この経過をもう一度見てほしい。すると「ベント」について不思議なことに気が付く。圧縮空気などを使ってついにベント開放に成功したのは、12日14時30分。しかし、外部から消防ポンプを使って淡水を注入することができたのは、それより9時間も早い5時46分。元来、ベントを開放しない限り圧力容器内の圧力を抜くことができず、したがって水を注入することができないはずだ。ところがこの1号機では、ベントを開放する前に、外部から水を注入できている。なぜそんなことができたのだろうか。

おそらくは、11日21時ころより12日0時ころの間に圧力容器に亀裂のような損傷が入り、圧力容器の水蒸気が格納容器に漏れたのではなからうか。そうであれば、圧力容器内の圧力が66気圧から8気圧に下がり、消防ポンプによる淡水注入が可能になったとしても不思議ではない。実際、12日

0時57分以降、ドライウエル内の圧力が急上昇していて、これは「圧力容器から水蒸気が漏れて格納容器内の圧力を上げた」という仮説を裏付ける(注10)。

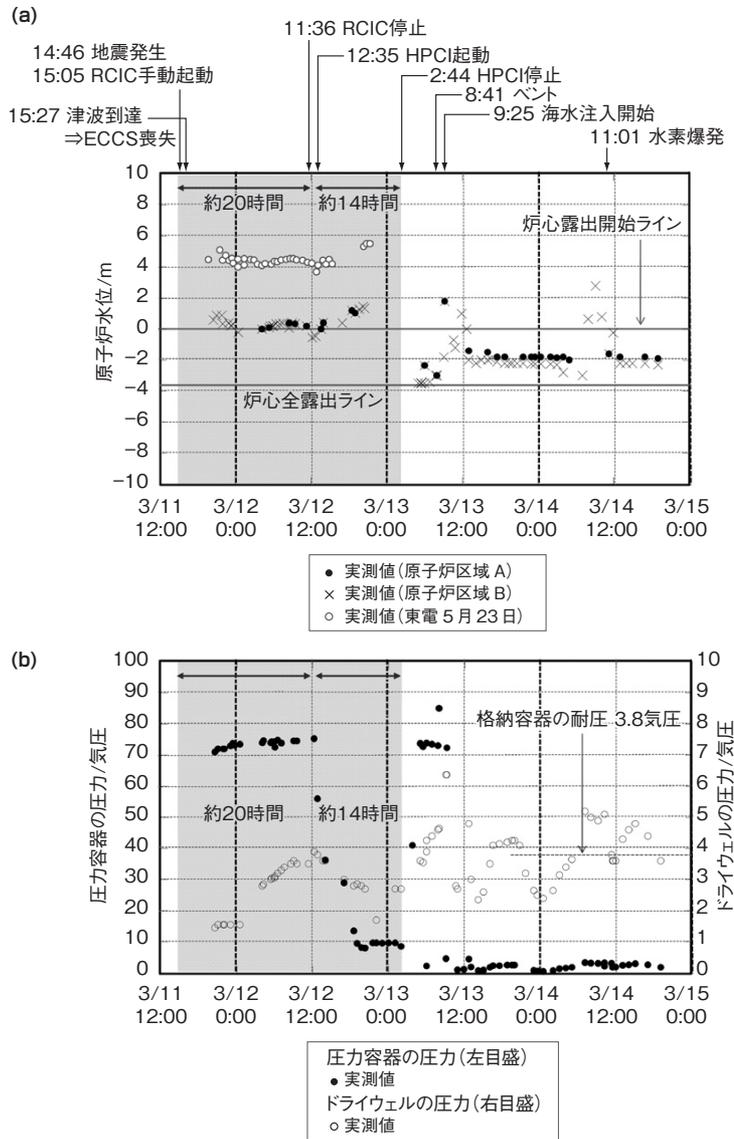
注10 原子力安全基盤機構は、2011年12月9日に、「1号機IC作動時の原子炉挙動解析」[201111209]という報告を発表した。これによれば、原子炉再循環系(1・図3参照)の配管に0・3平方センチメートルの亀裂が入ったとして計算機シミュレーションを行なうと、IC作動時の原子炉内の圧力と水位の実測値を良く説明できる。つまり、地震直後に0・3平方センチメートルの配管亀裂が入り、1時間当たり7トンの水が漏えいして圧力と水位の急降下がおきた可能性があるという解析である。

1・4 3号機、次いで2号機は、どのように制御不能になったか

2号機と3号機は、同じMark Iではあるものの、1号機とは異なる「最後の砦」が取り付けられていることは既に述べた。隔離時冷却系と呼ばれる非常用復水器の進化形である。この隔離時冷却系は、炉心の発熱で発生した蒸気で回る専用タービンを回転させ、その回転でポンプを駆動するシステムであって、非常用復水器よりも持続時間が長く設計されている。

この隔離時冷却系はどれくらい動き、いつ物理限界を超えて「制御不能」に陥ったのか。

図1・5 3号機における (a) 原子炉水位と (b) 圧力(圧力容器およびドライウエル)。3月11日12時から15日0時まで。灰色の領域は、隔離時冷却系と高圧注水系が稼働していた時間。



先に「制御不能」の状態になった3号機のほうから分析してみよう。

*3号機は、13日2時まで「高圧注水系」が稼働した

付表1 2に基づいて、3号機の原子炉水位と、圧力容器・ドライウエル内の圧力とを、時間の関数としてプロットした。それぞれ図1・5(a)と図1・5(b)である。この図1・5(a)に示すように、3月12日までの原子炉水位は、10センチメートルから40センチメートルと低く、12日18時30分以降にようやく1メートルを超えた。

ところが、東電の2011年9月9日付報告「福島第一原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について」[20110909]の添付9・47ページの図9・13・1には、11日から12日にかけて、一貫して付表1 2より約4メートル高い実測データが掲載されている。事故直後の実測データに何らかの問題があつて東電側で合理的な補正が行なわれたものと思われる。そこで図1・5(a)に、そのデータを白抜き丸印としてプロットしておいた。なお、3月13日以降の実測データについては変更はなされていない。よって、本節の分析では、3月12日までは白抜き丸印を用い、13日以降については事故直後に発表されたデータ(付表1 2)を用いて議論することとする。

図1・5(a)と図5(b)に記したように、3号機においては3月11日15時05分に隔離時冷却系が手動で起動されている。保安院の報告「福島第一原子力発電所1・2・3号機の原子炉冷却及び代替注水の対応について」[2011125]によれば、津波到来による15時37分の全交流電源喪失後も、直流電源は機能していて、隔離時冷却系の運転は継続した。そのため、原子炉水位は4メートル強に保たれ、压力容器内の圧力は約75気圧以内に保たれた。ただし、逃がし安全弁が適宜働いて压力容器内の蒸気を格納容器側に逃がしたため、ドライウエル内の圧力は1・5気圧から3・5気圧まで徐々に上がっている。

3月12日11時36分に、ついに隔離時冷却系が止まる。3号機の隔離時冷却系は20時間半動いたということだ。その結果、原子炉水位は少しずつ下がりはじめ、さらにドライウエル内の圧力は、その耐圧3・8気圧を超えて3・9気圧にまで達した。

ここで3号機に幸運が訪れる。隔離時冷却系に使用されたものとは別系統の直流電源がまだ生きており、隔離時冷却系停止の約1時間後の12時35分に、その直流電源によって高圧注水系が自動起動したのである。

高圧注水系の冷却能力は、隔離時冷却系の10倍ある(注11)ので、压力容器内の水蒸気は急速に冷やされて水になり、圧力が急激に下がって12日19時には10気圧以下にまで、さらに20時15分には何

と8気圧にまで下がる。その後も13日2時まで、压力容器内の圧力は8気圧から9・7気圧の間に保たれた。

注11 高圧注水系の冷却水流量は、毎時960トン。一方、隔離時冷却系の冷却水流量は、毎時96トン。

*3号機は確実に救えた

のちの考察のために、繰り返し強調しておきたい。

3号機は、3月11日15時05分から12日11時36分まで、隔離時冷却系によって「制御可能」の状態に保たれ、それが止まった後も、ほぼただちに稼働し始めた高圧注水系によって「制御可能」の次元に保たれ続けた。とくに12日20時ころから压力容器内の圧力は8気圧以下になったので、逃がし安全弁を開くことで、ベント開放することなく消防車による海水注入が可能であった。しかもその圧力は、現場の運転員がリアルタイムで測定しており、それを現場は知っていた。

しかしながら3月13日2時44分、高圧注水系は稼働を停止する(注12)。その結果、約2時間後の5時までに原子炉水位は、なんとマイナス3・5メートルにまで下がり、8気圧程度だった压力容器内の圧力は70気圧を超えてしまう。

13日8時41分、ベント操作作業が開始されるもののなかなか開かない。ようやく約40分後の9時20分からドライウエル内の圧力が下がり始め、圧力容器への注水が可能となる。こうして13日9時25分、消防ポンプによる原子炉への海水注水が行われた。

すなわち3号機は、13日2時44分から9時25分までの6時間43分、空焚き、つまり「制御不能」状態に放置されたままであったのである。13日9時25分から海水注入をしたところで、3号機の暴走を止めるには遅すぎた。

しかもこの3号機のベント開放は、福島の人々のみならず東日本の人々を長期的に苦しめ続けることになった。

3月13日3時ころまでであれば、(前述したようにその必要はなかったもの)たとえベント開放しても炉心は溶融し始めていないので、ベント開放で放出されるのは冷却水が蒸発して生じた水蒸気だけだ。この水蒸気は、ごく微量の放射性物質(注13)を含むのみで、ほとんど被害をもたらすことはない。

ところが13日8時41分以後のベント開放は、炉心溶融が始まって3時間以上も経っているので、燃料被覆体は破れており核反応生成物であるヨウ素131やセシウム134、137などの放射性同位体がすでに冷却水に漏れ出している。ここでベントを開けてしまえば、これらが大気中に放出

され、最悪の事態に陥る。

結局のところ、この事態は起きた。福島第一原発を中心とする東日本一帯は、高濃度かつ長期的に放射能汚染されるといふ史上最悪の結末を迎えた。

もしも3月12日のうちに、あるいは遅くとも13日2時44分までに、東電が海水注入を行なっていたら(しかもすでに証明したように、ベント開放の困難な作業なしでそれを行なうことができた)、この事態は確実に回避できていたはずだ。

注12 官製の事故調査・検証委員会の調べによると、「運転員がバッテリー切れを恐れ、吉田前所長の判断を仰がずHPCIを止めた。その後、HPCI、RCCとにも起動を試みたが再開しなかった」とのこと[2011216]。

注13 水を構成する水素と酸素が核変換してできた三重水素と酸素19。なお、水に含まれる不純物や、配管・タービンの腐食で溶け込んだ金属が放射化してできたクロム51、マンガン54、鉄59、コバルト58、コバルト60なども、わずかに含まれる。

***2号機は、14日13時まで「隔離時冷却系」が稼働した**

2号機については、図1・6(a)と図1・6(b)にそれぞれ示すように、原子炉水位データと、圧力容器・ドライウエル内の圧力データとも時間の関数として明瞭に分かっているので、原子炉内で何が起きたかは容易に推測できる。

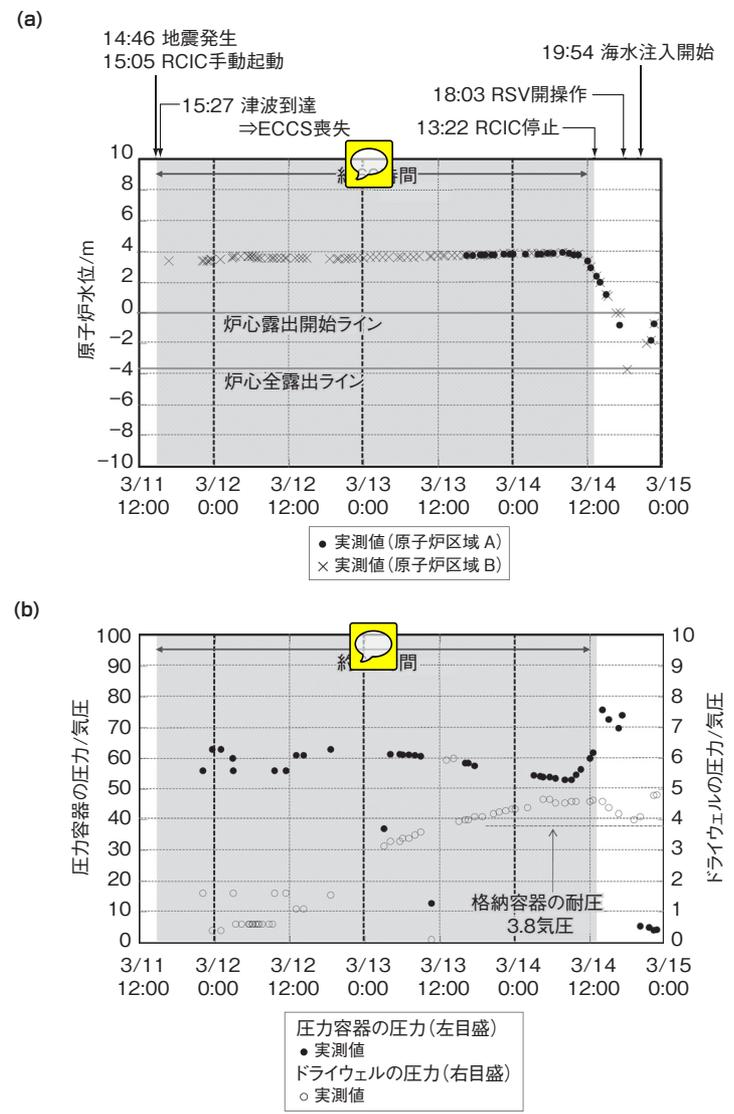
すなわち2号機では、3月11日14時50分に隔離時冷却系が手動で起動されている。保安院の報告「福島第一原子力発電所1・2・3号機の原子炉冷却及び代替注水の対応について」[2011125]によれば、津波到来による15時37分の全交流電源喪失後、3号機と異なり2号機は直流電源も機能喪失して、高圧注水系も使用できなくなった。しかしながら、隔離時冷却系は起動されたまま運転が継続した（今もなお、継続したメカニズムは不明である）。

そのため、原子炉水位は4メートル弱に保たれ、压力容器内の圧力は60気圧以内に保たれたまま2日以上が経過した。ただし逃がし安全弁が適宜働いて、ドライウエル内の圧力は1気圧から、設計耐圧の3・8気圧を超えて4・6気圧まで徐々に上がった。

3月14日13時22分ころ、隔離時冷却系はついにその稼働を停止する。実測データによれば、原子炉水位が14日13時には下がり始めているので、そのころから隔離時冷却系は機能しなくなっていたと考えられる。よって、2号機の隔離時冷却系は2日と21時間、機能したと結論できる。

压力容器内の圧力は12時から14時にかけて、60気圧から74気圧まで急上昇。結局、18時03分に逃がし安全弁が「開」操作され、压力容器内の圧力が消防ポンプの加圧力（6〜7気圧）以下にまで下がった。そこで、19時54分に消防ポンプにより海水注入がなされた（注14）。それは、2号機が14日13時ころに隔離時冷却系が稼働を停止した約7時間後のことであった。

図1・6 3号機における(a)原子炉水位と(b)圧力(压力容器およびドライウエル)。3月11日12時から15日0時まで。灰色の領域は、隔離時冷却系が稼働していた時間。



注14 2011年9月19日に行なわれた日本原子力学会で、日本原子力開発機構の渡辺正らは、「3月14日16時までに注水が行なわれていれば、炉心溶融は起きなかった」との解析結果を発表した。図1・6(a)（または、付表2）から分かるように14日16時まで原子炉水位は「正」であることと呼応する。

*2号機も確実に救えた

これまでのところをまとめておく。

2号機は、3月11日14時50分から14日13時までの約70時間、隔離時冷却系によって原子炉水位は4メートル弱に保たれ、炉心はずっと「制御可能」の次元にあった。圧力容器内の圧力は60気圧以下に保たれており、かつドライウエル内の圧力は12日の深夜まで1気圧程度であって、逃がし安全弁を開ければ圧力容器内の圧力を6気圧以下にすることは容易であった。その後も、逃がし安全弁を開けて圧力容器内の圧力を6気圧以下にすることはできた（実際、14日18時03分にその操作がなされた）。すなわち、14日13時までにおいても、いつでもベント開放することなく消防ポンプによる海水注入が可能であったということだ。しかも3号機同様、そのことを現場は知っていた。

もしも3月14日13時までに、東電が圧力容器の逃がし安全弁を開けて「海水注入」を行なっていたら、2号機は物理限界を超えて「制御不能」の次元に陥ることはなかった。そして3号機同様、

東電の経営者は、「海水注入」の意思決定を確実にできた。しかし彼らは、ここでもその意思決定を行なわなかったのである。

ところが、2号機が「制御不能」になった14日の夜、東電の経営者の態度は一変する。

なんと清水正孝社長は、海江田万里経済産業相に「（制御不能になった原発を放置して）撤退したい」と要請する電話をかけたのだ。

一部の政府関係者および専門家も、撤退やむなしと判断。15日3時に菅首相（当時）に伝える。しかし、菅は「いま撤退したら日本がどうなるのか分かっていいのか」とどなりつけ、清水を呼びつけたうえで東電の「撤退要請」を却下。即座に東電本社に乗り込んで、そこに統合対策本部を設置した。15日5時35分のことであった。

*原口一博の誤解

なお、2号機と3号機について、衆議院議員の原口一博は2011年6月1日のテレビ番組『みのもんたの朝ズバッ！(TBS)』に生出演し、『最後の砦』は、8年前に取り外されていた」という衝撃的な告発をした。彼のFacebookから引用しておこう [20110528]。

「平成15年第29回原子力安全委員会臨時会議録」、「同年第10回原子力安全委員会定例会議録」を読みました。福島第一原発で残留熱除去系の蒸気凝縮系機能削除が行われていました。

この時の総理大臣は、小泉さん。そして経済産業大臣は平沼さんでした。

何度、読み返しても、とても大切な機能を削除する明確な理由が見つかりません。

発災直後から佐賀大学元学長の上原春男先生と「蒸気凝縮系機能」があるのにどうして炉心溶解に至るまでの深刻な事故になるのか理解できないと首を傾げていました。

さらに原口は、翌6月2日に記者会見を開き、「この安全装置を取り外さなかったら、このような大災害は起きなかった」と力説している [20110602]。

しかしこれは、彼が「隔離時冷却系」と「残留熱除去系」とを取り違えた、単なる勘ちがいによる。残留熱除去系とは、非常用炉心冷却装置の低圧注水系や炉心スプレー系として働く非常用炉心冷却装置の補助装置であって、むしろ配管の破断などを起こして本当の緊急安全装置である隔離時冷却系をかえって使用不能にしてしまう可能性があるために削除された。しかも、交流電源がないと動かない装置であるから、「最後の砦」では、まったくくない [20110606-01]。

1・5 5月15日の豹変

以上論証してきたように、この原発事故の本質は、東電の「技術経営」にある。1号機については、3月11日14時52分に非常用復水器が自動起動したときから、それが数時間以内に止まることは100パーセント予見されていた。2号機と3号機については、同日14時50分ないし15時05分に隔離時冷却系を手動起動させたときから、それがやはりいずれ止まってしまうことは100パーセント分かっていった。

いずれも津波の後に原子炉が得た、暴走までの「執行猶予」に他ならなかった。

しかも3号機については、隔離時冷却系停止直後に高圧注水系が自動的に動き始めるという幸運があつて、14時間の「追加執行猶予」までついた。

会社の経営者が文字通りの経営者として機能し、この「執行猶予」の期間中に「海水注入」の意思決定を行なってさえいれば、東日本が被った史上最悪の放射能汚染事故は100パーセント避けられた、ということが出来るだろう。

前述したように、以上の論説を私は日経エレクトロニクス [20110516] および日経ビジネスオン

ライン [20110513-1] に発表した。どちらも、その発表日時は2011年5月13日金曜日である。この分析は、3月15日 [20110315] および4月12日 [20110412] の官邸資料、さらに保安院と原子力安全基盤機構の公表データ [20110404] に基づいてなされており、定性的には今までしてきた分析とほぼ同様の結果を与えていた。

*東電、5月15日に緊急記者会見

その2日後の5月15日曜日、東電は緊急の記者発表 [20110515] を行なう。

「1号機は津波到着後比較的早い段階において、燃料ペレットが溶融し、圧力容器底部に落下したとの結果が得られた」という発表だ。図1・7に、この記者発表で東電が公表した1号機の原子炉水位の解析結果を示す。この図の下には、水位は「スクラム後3時間（18時頃）で有効燃料頭頂部に到達」し、「4時間半後（19時半頃）に有効燃料底部に到達」したと大きく記されていて、核燃料の溶融は、3月11日19時半には始まっていたとしている。

しかし、そのグラフには小さな文字で「主要な解析上の仮定…15時30分頃の津波到着以降、非常用復水器系の機能は喪失したものと仮定」と書かれているのだ。つまり、「解析結果」と書かれたこのグラフは、単に非常用復水器が止まったと仮定した時のモデル解析（計算機シミュレーション

図1・7 東電の5月15日の記者会見プレゼンテーションより。

1号機 原子炉水位、炉心最高温度(解析結果)

主要な解析上の仮定:15:30頃の津波到達以降、非常用復水器系の機能は喪失したものと仮定



- ・スクラム後3時間(18時頃)で有効燃料頭頂部に到達
- ・4時間半後(19時半頃)に有効燃料底部に到達



- 原子炉水位が有効燃料頭頂部を下回った頃から炉心の温度は上昇し、燃料の融点に到達

記載している時刻・操作などについては、今後の事故調査により変更されることがあります

ン)の結果(注15)にすぎないのである。はたして非常用復水器が機能したかどうかを論じているわけでもなく、核燃料の溶融が本当に始まったのかどうかを論じているわけでもない。よって、この記者発表は、事実と認定されていない仮定に基づいて計算された結果ということが出来る。

注15 M A A P (Modular Accident Analysis Program) とよばれる古典熱力学計算のパッケージ・ソフトウェア。米国Fauske社から購入せよ。(HYPERLINK "http://www.fauske.com/map.html" http://www.fauske.com/map.html)

*全マスメディア、ミスリード記事を報道

ところが、翌日の5月16日から翌々日の17日にかけて、新聞各社は一斉に「1号機は3月11日のうちにメルトダウンが始まっていたことを、東電は隠していた」と報じた。以下、日本の5大新聞(日経・読売・毎日・朝日・産経)の報道記事を引用する。

津波前停止、説明求める、福島原発1号機、保安院、東電に。

1号機は非常用冷却装置が津波前に一時停止したことが判明、手動で止められた可能性もある。地震から約5時間後には炉心が溶けて崩れ落ちるメルトダウンが始まったとみられている。

(日本経済新聞 2011年5月17日付夕刊1面)

福島第11号機 冷却系 津波前に一時停止 東電が詳細データ。

東京電力福島第一原子力発電所1号機で、東日本大震災による津波襲来の前に非常用冷却装置が一時停止していたことが16日、東電が公表した大震災直後のデータでわかった。東電は、この冷却装置が津波後に停止したとの前提で、地震発生から16時間後に炉心溶融(メルトダウン)に至ったとする分析結果を15日発表していた。

(読売新聞 2011年5月17日付朝刊1面)

1号機、16時間後に大半溶融 東電、データ初公表。

福島第一原発事故で東京電力は15日、1号機では地震発生から16時間後には燃料の大部分が溶融したとする暫定解析結果を発表した。地震直後の炉心の状況が判明したのは初めて。

(毎日新聞 2011年5月16日付朝刊1面)

1号機の復水器、手動で停止か 東電これまで「津波原因」福島第一原発事故。

東電は5月15日、津波以降は復水器が動かなかった条件で解析。津波発生5時間半後には燃料溶融が始まり、翌3月12日朝には炉心が完全に溶融（メルトダウン）した。

（朝日新聞2011年5月17日付朝刊3面）

2、3号機も全溶融？ 1号機冷却器、地震後10分で停止。

東京電力福島第一原発事故で、事故対策統合本部事務局長の細野豪志首相補佐官は16日、「1号機で炉心の完全溶融（全炉心溶融）をなかなか認定できなかったのは反省しなければならぬ。2、3号機でもそういうことがあり得ると考えている」と述べ、両機でも全炉心溶融（メルトダウン）が起きている可能性があるとの認識を示した。

（産経新聞2011年5月17日付朝刊1面）

これら5大新聞の記事から分かるように、東電による5月15日の記者発表は、すべてのマスメディアにおいて「津波発生5時間半後には燃料溶融が始まった」と、「事実」に「転換」され、広く流布された。しかも産経新聞の記事にあきらかなように、官邸まで「津波発生5時間半後の1号機の燃料溶融の始まり」を、「事実」として信じた。

すなわち「非常用復水器が働かなかったと単に仮定すると、3月11日18時時点で燃料棒が冷却水から気体（水蒸気）中に露出し始める。よって燃料溶融が始まる」という単なる古典的モデル解析が「伝言ゲーム」の結果、「3月11日のうちに炉心の燃料溶融が始まった。このメルトダウンの事実を、東電は隠していた」という「事実」に「転換」されてしまったのである。

*保安院、東電のモデル解析を追認

さらに6月6日、保安院は、自らのモデル解析（計算機シミュレーション）の結果を公表し、東電のモデル解析をほぼ追認した[20110606-02]。彼らは、東電が用いたソフトウェアに加えて別のソフトウェア（注16）を使い、「原子炉水位がスクラム後2時間（16時40分頃）で有効燃料頭頂部に到達し、3時間後（18時頃）には炉心損傷が始まって、5時間後（20時頃）には压力容器の底が損傷。溶けた燃料が下に抜け落ちた」という結論を得た。彼らの解析結果を図1・7（b）に示す。保安院は、東電の発表より約1時間早く原子炉水位が「負」になったとしているのである。

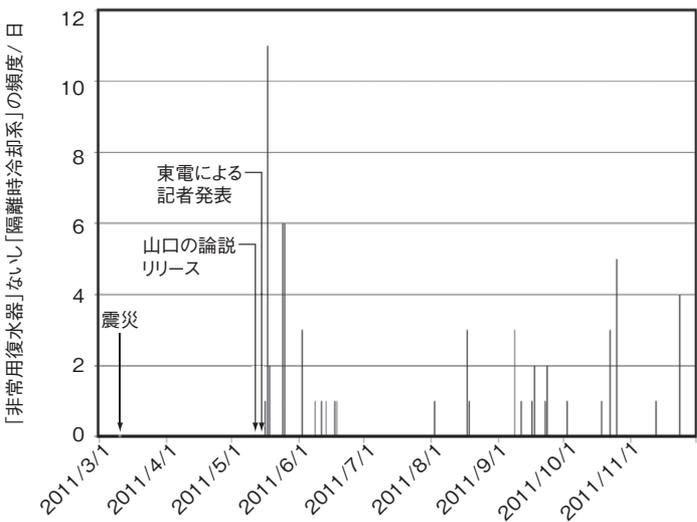
保安院は、このモデル解析において東電の主張通り「原子炉水位計は誤った値を示していた」と仮定するとともに、「津波到達後は、非常用復水器は作動を停止した」ということを事実に近い前提として仮定している。

この解析以後、「運転員が計測したデータ自体が間違っており、実際には原子炉水位は維持できていなかったことが確認された」という保安院の主張がマスメディアの中で「事実」へと転じた。このプロセスは、マスメディア論として興味深いので、少しく分析してみよう。

図1・11は、日本の5大新聞紙上に「非常用復水器ないし隔離時冷却系」が「最後の砦」として働いた」ということが報じられた頻度を、3月11日から11月30日までプロットしたものである。

この図からあきらかに分かるように、5月15日までそのような報道はまったく存在しない。ジャーナリストは、誰一人として無電源

図1・11 日本の5大新聞紙上に「非常用復水器」ないし「隔離時冷却系」が「自動起動」したり「手動停止」したりしたということが報じられた頻度を、3月11日から11月30日までプロットしたものの。



でも動く「最後の砦」の存在とその意味を知らなかったし、問題にもしようとしなかった、ということだ。実際、東電は5月14日まで「たとえ3月11日に原発事故が起きたものの、これは『想定外』の津波によるものであって、原子力発電という技術自体は安全である」と主張し続けてきた。ところが、5月15日に突然「原子力発電という技術は危ない。全交流電源喪失のときを想定して備えられた『最後の砦』さえまともに動かなかった」と態度を豹変させた。

図1・11は、そう読み解ける。

そうだとすると、その理由はただ一つ。

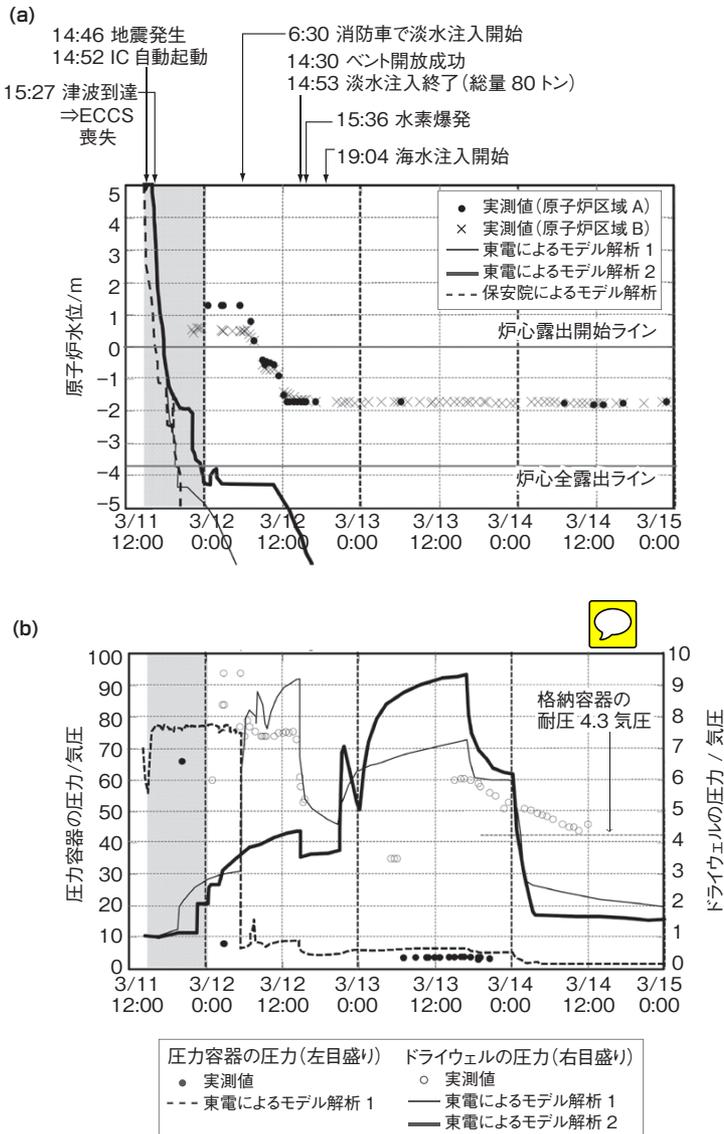
1号機の非常用復水器が少しでも働いて「執行猶予」が存在してしまった場合は、私が初めて論じたように、回避できた事故の「経営責任」を問われてしまうからである。

注16 MELCORとよばれる古典熱力学計算用のパッケージソフトウェア。原子炉で起きた過酷な事故を解析するために、米国サンディア国立研究所がつくった。(HYPERLINK "<http://melcor.sandia.gov/>" <http://melcor.sandia.gov/>)

*その後、東電は新しい解析結果も発表

それからほどなく、東電はひっそりと、異なるモデル解析結果を発表した[20110524]。

図1・8 1号機における(a)原子炉水位と(b)圧力(压力容器およびドライウエル)。3月11日12時から15日0時まで。



これは、「非常用復水器の2系統は14時52分に自動起動したのち15時03分にB系統は手動で止められた。A系統は15時03分から15時34分まで断続的に動いたものの15時34分から18時18分まで止められた。さらに18時25分から21時30分に止められ、その後は稼働した」という実際の運転状況を想定してなされた解析結果である。

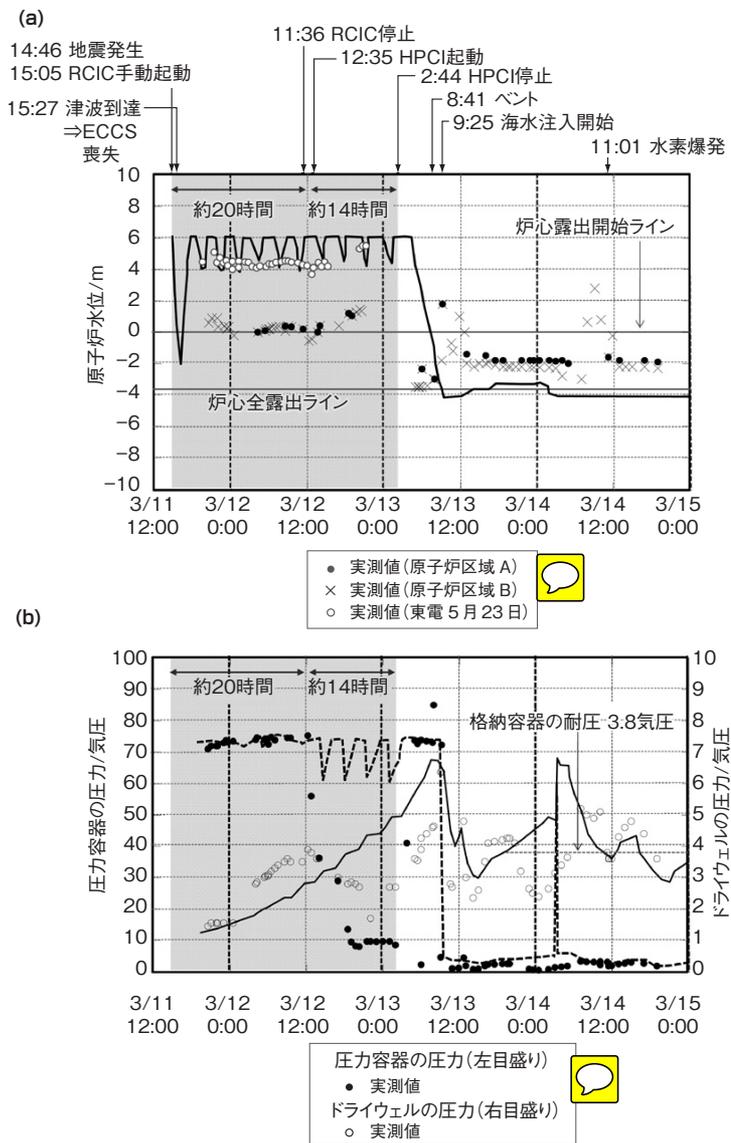
その解析結果も「炉心露出開始時刻は3月11日18時ころ」と、5月15日の解析とあまり変わらない。ただし、冷却水の水面が炉心の底に到達する時刻は3月11日23時半ころであって、4時間ほど遅れるという結果だった。

奇妙なことに東電は、両方の解析結果を同時に得ているにもかかわらず、5月15日の記者発表においては、「非常用復水器がまったく働かなかった」と仮定した、より非現実的なモデル解析の結果しかリリースしていない。まるで事態を「よりセンセーショナルに見せたい」という意図すら感じられる。

***実測値が正しいか、モデル解析が正しいか**

図1・8(a)と図1・8(b)に、1号機の原子炉水位と、压力容器・ドライウエル内の圧力とを、時間の関数としてふたたび示した。ただしそれぞれ、図1・4(a)と図1・4(b)の上に、東

図1・9 3号機における(a)原子炉水位と(b)圧力(圧力容器およびドライウエル)。3月11日12時から15日0時まで。



この中で、まず東電によるモデル解析1(5月15日の記者発表のもの)[20110515]と、保安院によるモデル解析(6月6日に発表したもの)[20110606-02]の2本のデータを捨てねばならない。なぜなら、これらは「非常用復水器が津波到来後、働かなかった」という非現実的な仮定に基づいて計算されたものであって、考慮に値しないからである。実際、すでに述べたように東電

によるモデル解析の結果と保安院によるモデル解析の結果とを重ね書きしてある。さらに参考までに、図1・9と図1・10に、それぞれ3号機と2号機についての東電のモデル解析の結果を、実測データの上に重ね書きした。

図1・8(a)の原子炉水位の経時変化のグラフを眺めてみよう。

実測値のほかに、3本の曲線が重ね書きしてある。1本目(東電によるモデル解析1)は、5月15日の記者発表[20110515]で公表されたもの(すなわち図1・7そのもの)。これは、前述したように「非常用復水器が津波到達後は機能しなかった」と仮定したときの結果。2本目(東電によるモデル解析2)は、2011年9月9日付報告「福島第一原子力発電所 東北地方太平洋沖地震に伴う原子炉施設への影響について」[20110524]の別紙1・12ページの図3・1・1。すなわち、非常用復水器が実際に稼働した状況を前提にしてモデル解析したもの。3本目は、保安院によるモデル解析だ。

[20111122] および保安院 [20111125] 自身が、1号機の非常用復水器のA系統は断続的に動いており、とくに11日21時30分以降は正常に稼働していた、ということを自ら認めている。

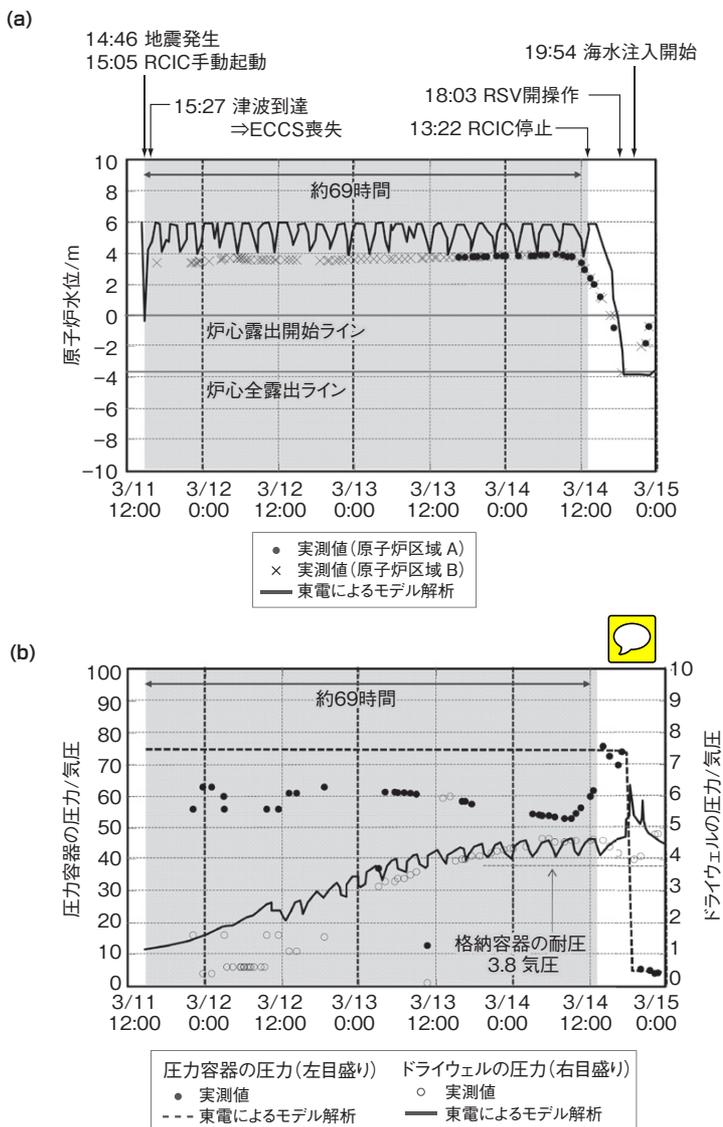
東電によるモデル解析1の結果と保安院によるモデル解析とを合理的に捨て去ったのち、実測値が正しいとする立場（第一のシナリオ）と、非常用復水器の実際の稼働状況に基づいて計算された東電によるモデル解析2が正しいとする立場（第二のシナリオ）とを両論併記しておく。



号機の第一のシナリオ（実測値が正しいとする立場）

- 3月11日14時52分 非常用復水器が自動起動。3A弁と3Bバルブ「開」操作。
- 15時03分 3Aバルブは「開閉」操作で圧力制御（15時37分まで）。
- 18時18分 3Bバルブは「閉」操作（その後も閉のまま）。
- 18時25分 2Aと3Aバルブ「開」操作。蒸気発生を確認。
- 21時30分 3Aバルブ「閉」操作。
- 3月12日0時ないし6時半ころ 非常用復水器が稼働を停止。
- 06時47分 原子炉水位が減少を始める。
- 08時ころ 原子炉水位が「負」になる。炉心溶融が始まる。

図1・10 2号機における(a)原子炉水位と(b)圧力(压力容器およびドライウェル)。3月11日12時より15日0時まで。



19時04分 海水注入開始（したがって、炉心は11時間「空焚き」）。

1号機の第二のシナリオ（東電によるモデル解析2の立場）

3月11日14時52分 非常用復水器が自動起動。3A弁と3Bバルブ「開」操作。

15時03分 3Aバルブは「開閉」操作で圧力制御（15時37分まで）。

3Bバルブは「閉」操作（その後も閉のまま）。

18時ころ 原子炉水位が「負」になる。炉心溶融が始まる。

18時18分 2Aと3Aバルブ「開」操作。蒸気発生を確認。

18時25分 3Aバルブ「閉」操作。

21時30分 3Aバルブ「開」操作。蒸気発生を確認。

23時半ころ 燃料棒がすべて露出。全炉心溶融の状態。

どちらが確からしいかについては、1・8節「何があきらかになり、何をあきらかにすべきか」で議論したい。

1・6 日比野靖の証言

*「万事休す」のあとに起きた僥倖

もしも第二のシナリオが真実に近いのならば、1号機の暴走は避けられなかったと考えられる。

しかし1号機に海水注入をした3月12日19時04分の時点においては、少なくともそれ以外の原子炉は3号機も2号機も「制御可能」の次元にあった。1号機の惨状を見てしまった東電は、同じことが3号機や2号機でも起こることを断固として阻止すべく12日夜に「海水注入」の意思決定をしても良かった。

良識ある人間ならば、当然そうする。しかも東電の経営者は、12日夜の「海水注入」の意思決定を確実にできた。

ところが結局のところ、東電の経営者はその時点において、3号機そして2号機への「海水注入」の意思決定をすることはなかった。なぜか。

それは「海水注入によって原子炉を廃炉にしたくなかった」からではないだろうか。

「現象が物理限界を超えたとき、人間はもはやそれを制御できない」という「技術経営」の根本法則を経営者が知らなかった、ということではないか。

であるならば彼らは、経営の根本能力（コンピタンス）を持っていなかったということになる。そんなことが、この成熟した先進国の一流企業の、立派であるべき経営者にあり得るのだろうか。

この、心の底から素朴な疑問を、私はどうしても解きたいと思った。

もっとも良い方法は、東電の現場責任者である吉田所長、さらには東電の代表取締役の清水正孝社長（当時）・勝俣恒久会長、そして取締役の武藤栄副社長（原子力・立地本部長）（当時）に聞くことである。

共同通信によれば、4月13日に清水社長は「福島第一原発事故発生後のベントと海水注入の実施について自分が判断した」[20110413]とあきらかにしたという。清水は、自分自身が最終的な意思決定の責任を負っていることを自覚していたのであった。

そこで何とかこの4人のいずれかにお会いしようと面会を申し込んだものの、けんもほろろに断られた。

次善の方法は、菅総理（当時）にお聞きすることである。とくに菅総理（当時）がどこまでこの事故に対して責任を持つているかをあきらかにすることは、原子力行政のガバナンスをはっきりさせるうえでたいへん重要なことだ。しかしながら、極めて残念なことに、私たちの前に、官製の事故調査・検討委員会が立ちはだかった。

航空機や鉄道事故においては、国土交通省所管の運輸安全委員会が唯一の「公的鑑定機関」として、警察に先んじて強制捜査権を持つ。それと同様にこの原発事故においては、2011年5月24日の閣議決定を受けて発足した「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」（委員長 畑村洋太郎）が「公的鑑定機関」として強制捜査権を持っている。

この委員会は、「事情聴取は非公開」としている。しかも「事故責任を追及することを目的とするものではないので、事情聴取で得た供述を、事故責任を追及する目的では使用しない」と謳っており、菅総理（当時）からの事情聴取の結果を、彼らから得ることはできない。しかも菅は守秘義務を課されているので、民間人に当時の状況を話すことはできない。

もはや「万事休す」であった。

そこに僥倖が舞い下りた。

1・1節に掲げたように、2011年11月4日、日比野靖から一通の私信が届いたのである。こうして、私は日比野に会うことができた。以下は、日比野とのインタビュー記録である。

菅総理（当時）は、早期のベント開放と海水注入を主張

——日比野さんが3月12日に官邸を訪れたときのことを教えてください。

日比野 震災前の2月末に、大学時代の仲間と菅総理（当時）を囲む会があり、その別れ際に「内閣官房参加になってほしい」と依頼されました。私は、3月末に北陸先端科学技術大学院大学の教授職を定年退職することになっていて、3月18日の金曜日に最終講義をすることになっていましたから、それが終わったらお引き受けしてもよい、と申し上げました。そして3月11日に震災が起こったのです。

震災当日の午後8時ころ、私の携帯に菅総理（当時）から留守電が入っていました。そこで折り返し菅総理に電話をしましたが、震災直後だけに通じません。そのとき私は中央大学理工学部におりました。結局当日は帰宅できずに大学に泊まりました。そして翌日の12日の6時頃、始発電車で東京郊外の自宅に帰りました。



夜はよく寝ていないしくたびれていたもので、自宅で休んでいたところ、午後3時頃に総理の秘書官から電話があつて、「すぐ来てくれ」と言われました。疲れていたもので、「勘弁してほしい、行けない」という返事をしたのですが、二度・三度と電話がかかってきて、何としてでも来てくれというので、タクシーで官邸に行くことにしました。

たいへんな渋滞で、結局官邸に着いたのは、12日の午後9時ころです。30分近く待たされたあと、菅総理（当時）のところに通されました。部屋には総理しかおられませんが、直前まで、原子力安全・保安院の委員長、原子力安全委員会の委員長、そして東電フェロー（前副社長）が官邸と本社との連絡担当の責任者として来ておられ、菅総理（当時）に原発の状況説明をされていたようでした。

——3月12日午後9時頃というのと、すでに1号機が水素爆発に至っていました。しかし、2号機、3号機は無電源で動く隔離時冷却系（RR I C）が稼働していて、まだ制御不能に陥っていないのですね。

日比野 そうです。そこで話されたことは、非常用電源と冷却系の喪失について、でした。菅総理の認識は、地震と津波は連動して発生するものであるのに、なぜこんなばかげた設計になっているのかということでした。地震と津波はほぼ同時に発生するわけだから、両方に対策がきちんとできた設計になっていなければなりません。素人が考えても分かることだ。にもかかわらず非常用ディーゼル発電機やバッテリーが地下に置かれているとは何とばかな、ということですよ。

そこで私は、米国スリーマイルの原発事故のことを考えました。スリーマイルでは、発電装

置の方に導く蒸気を止めてしまったことが原因です。ですから、冷却能力が失われてしまっても、発電装置の方に蒸気を向ければいいのではないかと思っただけです。

そのアイデアを総理に申し上げたところ、総理が早速、福島第一、第二の所長に電話をしました。そこで、私自身がお二人の所長にその意見を述べました。

するとそれは理論的には正しいが、今は駄目だと言うのです。なぜなら、主蒸気ラインを開けてタービンの方に蒸気を回しても、海水を回すポンプが動いていませぬから、熱エネルギーを抜けないということでした。

総理は「保安院と安全委員会と東電が言うことがバラバラで、具体的なアドバイスがまったく出てこない。そこでもう一度、三者の話を聞いてくれ」と私に依頼しました。「自分の理解力がないのか、解釈が間違っているのかもしれないから」と。

保安院の院長、安全委員会の委員長、そして東電のフェローは既にお帰りになっていたので、保安院の次長、安全委員会の委員長代理、そして東電の原子力安全品質部長の3人から説明を受けました。そこで、東電の原子力安全品質部長から「2号機と3号機について、隔離時冷却系は動いている」との説明を受けたのです。



総理も、私が着く前に同じ説明を受けています。隔離時冷却系は、動いているといっても同じ

サイクルをぐるぐる回しているだけだから、いずれ温度も圧力も上がるだろう。そこでそうなる前にベント開放をして圧力を抜き、すぐさま海水注入をすべきではないか。そのように三者に何度も尋ねていました。

私もそう思いましたから、「海水注入のリスクはどういうところにあるのですか」と質問しました。安全委員会委員長代理も東電の原子力安全品質部長も「結論としてリスクはない」と回答しました。

——つまり、再臨界などのリスクはない、ということでしょうか。

日比野　そうです。海水のナトリウム・イオンが入ることで、再臨界や別の核反応が起こるなどの懸念はまったくなくないという回答でした。ならば隔離時冷却系が停止する前に、ベント開放を早くして圧力を抜き、海水注入をすべきだと私は思いました。

そこで私は、「なぜ早くベント開放と海水注入をしないのか」と質問しますと、東電・原子力安全品質部長は、「格納容器の温度と圧力ができるだけ上がったところで抜いたほうが、抜けるエネルギーが大きくなる。ベント開放は1回しかできないから、できるだけ粘って最後にしたほうがいい」と説明されたのです。

私はなにか変だなと思ったのですが、そこで引き下がってしまいました。後日、自分で調べてみたら、臨界圧を超えた水蒸気は水と同様1グラム当たり1カロリーぐらいしか熱を吸収できないので、温度が上がるまで待ったところであまり得にならないのです。だからなるべく早くベント開放をして圧力を抜き、すぐに海水注入をすべきでした。隔離時冷却系というのは時間稼ぎのためにあるのだから、早くベント開放をして早く海水注入をすれば何も起こらずに終わったのです。3号機については、暴走することなく収まっていたはずですが。

私はその後もそういうふうにならずと思っていたのですが、いろんな方に質問をしても誰もあまりはつきりと答えられない。みなさん、黙ってしまうのです。それについて、初めてはつきりと主張されたのが、山口さんでした[20110516][20110513-01]。

——菅総理（当時）もまったく同じことを東電に主張していたということでしょうか。

日比野 そうです。しかし東電は、言を左右にして言うことを聞かない。

ところがその翌日の13日の朝には、3号機は危機的状況に陥ってしまいました。ですから、その12日の夜にベント開放と海水注入が行なわれていれば、3号機は何も起こらなかった。その三者が引き揚げた後で、総理と「結局これは廃炉にするのが嫌なのじゃないのだろうか」と会

話をしました。

——東電は、やっぱり廃炉をためらっていたのでしょうか。

日比野 そこに関して一言申し添えておきます。今年の4月に、保安院が各原発に対して緊急安全対策を立てるよう要求しており、5月上旬に各電力会社から回答として寄せられた安全対策を保安院が評価しています。それはインターネットでも入手可能です（注17）。その対策は、原発で過酷事故が起きた場合、隔離時冷却系が止まってからベント開放をし、海水注入をするというシナリオになっている。

つまり電源が失われたらすぐにベント開放と海水注入をやるのではなく、ぎりぎりまで粘ってからやる、となっているのです。隔離時冷却系は、いざれ止まる。止まってからやっても空焚きになるから止まる前にやらなくてはいけない。ところが、各電力会社からの回答では、止まってからやるシナリオになっているのです。まったく理解できません。

——東電の過酷事故マニュアルにも同じことが書いてあったのでしょうか。

日比野 この安全対策マニュアルは、電力会社のマニュアルに基づいているので、そうだと思

われます。ただし、電力会社の過酷事故マニュアルというのは、社内機密になっていて公開されていません。

——いったい誰が書いたのでしょうか。

日比野 過酷事故マニュアルは、スリーマイル事故の後に保安院が電力会社に命じて作らせているのです。そして保安院が審査をして、認可しています。しかも、NHKの報道によると、1号機のベントは手動ではすぐに開けられなかった。そこでエンジニアが、放射能で汚染された制御室まで決死の覚悟で図面を取りに行き、9時間かかって経路を調べ、ベントを何とか開けようとした。しかし、放射線量が高くてほんの15秒間隔ずつでしか、作業ができなかった。まさかこんなことが起こると思ってもいなかったのでしょうかね。

——1号機は、その意味で非常用復水器が止まる前に海水注入をすることは困難だった可能性が高いでしょう。しかし、3号機については隔離時冷却系が動いている間に、とにかく早くベント開放をして海水注入をすべきだったし、それが可能でした。

日比野 はい。燃料集合体は破壊していないわけだから、普通の発電、つまり沸騰水型の発電装置を流れる蒸気と同じ程度の放射能しかありません。実際、発電装置が運転しているところに常時入っても線量はほとんどない。だから、暴走する前にベント開放しても、放射能汚染はほとんどなかったのです。

——そうですね。暴走した後は燃料集合体が溶けてばらばらになっていますから、ベント開放によって核分裂生成物が多量に撒き散らされる。しかし暴走する前なら放射能汚染は無視できる程度だった。したがって12日のうちに海水注入を決断し実行していれば、少なくとも3号機そして2号機については、福島とその周辺の地域が被ってしまった、あまりに悲劇的な放射能汚染は起こらなかった。

日比野 本当にそう思います。

東電の技術経営の誤謬が、原発事故の直接的原因

日比野 三者が帰ったあと、総理と私は二人でしばらく話をしました。それから、私は近くのホテルを取ってもらい泊まりました。そして翌日13日の朝、9時前に再度官邸に行きました。

——それは、3号機が危機的な状況になって、空焚きが始まった後ですね。

日比野 はい。ちょうどその対策会議が行なわれていて、一段落した後、9時ちょっと過ぎに執務室に招き入れられました。細野補佐官が、「何時間後に完全に空焚きになって炉心溶融が起こるか」というシミュレーションを持ってこられました。結局、ベント開放もせず、海水注入もしなかったということです。

——東電の幹部はぎりぎりまで待ったほうがいい、と言ったわけですよ。ところが結局のところ、ベント開放と海水注入はせず空焚きになってしまった。そして暴走してからベント開放をし、海水注入をしたということですよね。

日比野 ええ、そういうことです。

——なんでそんな。

日比野 なんでそんな、と、そこが最後まで私もわからないところです。

——総理大臣が早くやれと主張しているのに、なおやらない。総理大臣に、東電の主張を乗り越えて直接、現場に命令する権限はなかったのでしょうか。

日比野 ありません。原子力災害特別措置法第15条(注18)および原子炉等規制法第64条(注19)によれば、「全電源喪失」で炉が空焚きになる恐れがあるときは、事業者である東電は、応急措置を講じなければならない。そして主務大臣(海江田経済産業大臣)は、東電が必要な措置をするように「命ずる」ことができ、原子力災害対策本部長(菅総理(当時))は、主務大臣に「命令」するよう「指示する」ことができます、となっています。

つまり総理大臣は、「東電が危機を回避する措置をする」よう、経済産業大臣に指示する権利を持つ。そして経済産業大臣は、「東電が危機回避の措置をする」よう東電に命令する権利を持つ。ところが、総理大臣は「ベント開放と海水注入をせよ」と、「措置の具体的中身」まで現場に命令する直接の権利を持っていないのです。

ですから、統合対策本部を作って東電本社に乗り込んだこと(注20)に対して、法律違反だと批判している人がたくさんいます。その根拠となる法律は何もない。総理大臣が現場に対して直接持っている命令権は、「避難のための立退き又は屋内への退避の勧告又は指示」つまり「避難命令」だけなのです。12日朝ヘリコプターで現場に飛び、吉田所長に向かって「ベント開放をやってくれ」と依頼したのは、そういう事情からです。

——菅総理（当時）がヘリコプターで現場に飛んだとき、原子力の最高執行責任者（CTO）である武藤副社長は、たしか現場にいましたね。

日比野 はい。総理がヘリコプターで飛んだ時に、現地で待っていました。だから、武藤さんと吉田さんが総理の対応をしました。そのときすでに1号機は暴走していましたが、3号機と2号機はまだ「制御可能」の状態でした。

——武藤副社長は、取締役で原子力・立地本部長ですから、代表権はなくとも内部統制権は持っています。よって、武藤さんはベント開放と海水注入を執行する権限を持っていたはず。つまり、3号機と2号機の暴走は、彼の不行使によって起きたということは明確になったと考えます。さらに12日、清水正孝社長は東京に戻ってきていた。代表取締役として最終的な責任を免れ得ません。

注17 たとえば「[20110506]」の添付2。冷温停止状態移行までのシナリオの中に「格納容器最高使用圧力にてベント開始」と記され、また全電源喪失発生から「原子炉停止後0・5～1・5日程度」と記述されている。沸騰水型の場合は、みな同じ記述になっている。

注18 原子力災害特別措置法第15条

第1項 主務大臣は、次のいずれかに該当する場合において、原子力緊急事態が発生したと認めるときは、直ちに、内閣総理大臣に対し、その状況に関する必要な情報の報告を行うとともに、次項の規定による公示及び第三項の規定による指

示の案を提出しなければならない。

一 第十条第一項前段の規定により主務大臣が受けた通報に係る検出された放射線量又は政令で定める放射線測定設備及び測定方法により検出された放射線量が、異常な水準の放射線量の基準として政令で定めるもの以上である場合

二 前号に掲げるもののほか、原子力緊急事態の発生を示す事象として政令で定めるものが生じた場合

第2項 内閣総理大臣は、前項の規定による報告及び提出があったときは、直ちに、原子力緊急事態が発生した旨及び次に掲げる事項の公示（以下「原子力緊急事態宣言」という。）をするものとする。

一 緊急事態応急対策を実施すべき区域

二 原子力緊急事態の概要

三 前二号に掲げるもののほか、第一号に掲げる区域内の居住者、滞在者その他の者及び公私の団体（以下「居住者等」という。）に対し周知させるべき事項

第3項 内閣総理大臣は、第一項の規定による報告及び提出があったときは、直ちに、前項第一号に掲げる区域を管轄する市町村長及び都道府県知事に対し、第二十八条第二項の規定により読み替えて適用される災害対策基本法第六十条第一項及び第五項の規定による避難のための立退き又は屋内への退避の勧告又は指示を行うべきことその他の緊急事態応急対策に関する事項を指示するものとする。

第4項 内閣総理大臣は、原子力緊急事態宣言をした後、原子力災害の拡大の防止を図るための応急の対策を実施する必要がなくなつたと認めるときは、速やかに、原子力安全委員会の意見を聴いて、原子力緊急事態の解除を行う旨の公示（以下「原子力緊急事態解除宣言」という。）をするものとする。

注19 原子炉等規制法第64条

第1項 原子力事業者等（原子力事業者等から運搬を委託された者及び受託貯蔵者を含む。以下この条において同じ。）は、その所持する核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉に関し、地震、火災その他の災害が起こつたことにより、核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害が発生するおそれが

あり、又は発生した場合においては、直ちに、主務省令（第三項各号に掲げる原子力事業者等の区分に応じ、当該各号に定める大臣の発する命令をいう）で定めるところにより、応急の措置を講じなければならない。

第2項

前項の事態を発見した者は、直ちに、その旨を警察官又は海上保安官に通報しなければならない。

第3項

文部科学大臣、経済産業大臣又は国土交通大臣は、第一項の場合において、核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害を防止するため緊急の必要があると認めるときは、同項に規定する者に対し、次の各号に掲げる原子力事業者等の区分に応じ、製錬施設、加工施設、原子炉施設、使用済燃料貯蔵施設、再処理施設、廃棄物埋設施設若しくは廃棄物管理施設又は使用施設の使用の停止、核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の所在場所の変更その他核燃料物質若しくは核燃料物質によって汚染された物又は原子炉による災害を防止するために必要な措置を講ずることを命ずることができる。



在20 3月15日5時35分、東電による「福島第一原発からの撤退」の要請が菅の耳に入ってから、菅は東電本社に乗り込んで統合対策本部を設置した。

1・7 JR福知山線事故との類似性

*科学パラダイムが提示する物理限界は超えられない

これまで分かったことを、しっかりとそしゃくし直しておきたい。

3月12日19時04分に、東電は1号機への海水注入に踏み切った。

この時点で、3号機の原子炉水位は4メートルを超えていて「制御可能」の次元にあった。しかも压力容器内の圧力は高圧注水系（H I）による冷却効果で8気圧程度に下がっており、ドライウエル内の圧力は3気圧以下と設計耐圧よりずっと低かった。たとえ压力容器内の圧力が高かったとしても、逃がし安全弁（S V）を開けて圧力を消防ポンプの加圧力（6〜7気圧）以下にすることができた。したがって消防ポンプを用いて容易に「海水注入」することができた。

図1・9（b）には東電による圧力シミュレーションが描かれている。これによれば、压力容器内の圧力は高圧注水系が働いている間も60気圧以上となっている。しかし、たとえそれが正しい値であろうとも、ドライウエル内の圧力が十分に低いので、逃がし安全弁を開けて压力容器内の圧力を消防ポンプの加圧力以下にすることができた。だから困難なベントをすることなく容易に「海水注

入」できたし、やるべきだったのだ。

2号機も同様に、海水注入によって原子炉を「物理限界の内側」に留め置くことが容易にできた。原子炉水位は4メートル程度と、炉心は十分に冷やされている。压力容器内の圧力は60気圧程度。そしてドライウエル内の圧力は3気圧以下で、設計耐圧より十分に低いから、逃がし安全弁を開いて压力容器内の圧力を消防ポンプの加圧力以下にすることは容易だった。よって、困難なベントをすることなく容易に「海水注入」できた。

ところが、日比野があきらかにしてくれたように、12日21時ころ、東電は意図をもって海水注入の不行使を意思決定していた。菅総理（当時）が、それ以前から終始強く「海水注入」を主張し続けても、東電は言を左右にして、言うことを聞かなかった。

なぜか。それは菅と日比野とが首をかしげながら推量しあったように「廃炉にすることが嫌だったから」だ。つまり東電の経営者は、技術が「制御不能」になるとはどういうことなのかを学習する根本能力（コンピタンス）を持たなかったということである。それは取りも直さず「近代以後に生まれた技術は、常に科学パラダイムに基づいていて、その科学パラダイムが提示する『物理限界』を超えることはできない」という命題への本質的な理解の欠如としか考える他はない。

もう一つ、日比野が教えてくれた理由が存在する。それは、電力会社の安全対策マニュアル自体が「隔離時冷却系が止まってからベント開放をし、海水注入をする」と書かれているという事実である。日比野自身、それを後日知って、

「隔離時冷却系は、いずれ止まる。止まってからやっても空焚きになるから止まる前にやらなくてはいけない。ところが、各電力会社からの回答では、止まってからやるシナリオになっているのです。まったく理解できません」と述べている。マニュアル自体が、廃炉をぎりぎりまで避けることを最優先していて、結果的に技術経営の根本能力（コンピタンス）をまったくもって疑わしめる内容となっているのである。

*JR福知山線転覆事故とは何か

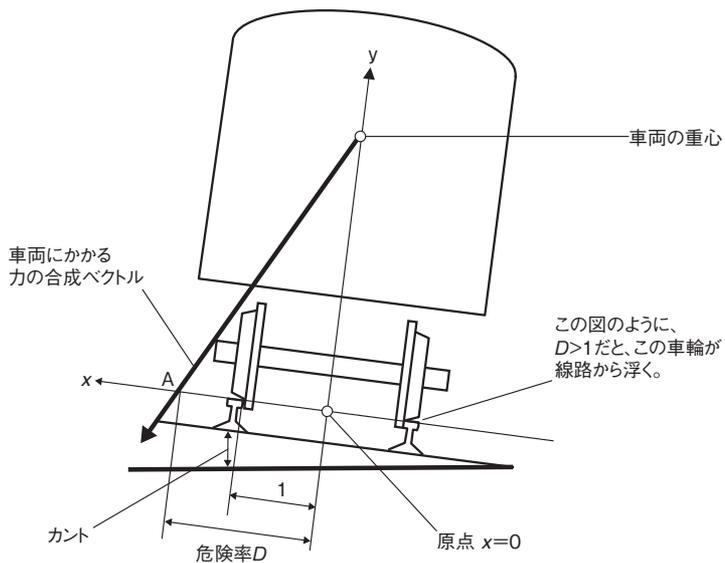
以上のような考察を進めていくうちに、東京電力が起こしたこの原発事故の本質は、実は2005年4月25日にJR西日本が起こし、107人が死亡した福知山線転覆事故の本質と酷似したものであることが分かってきた。

JR福知山線事故は、拙著『20070605』で論証したように「1996年12月に線路曲線を半径600メートルから304メートルに変更した際、転覆限界速度が直前の制限速度よりも小さく

カーブを曲がりきれずに脱線することなくカーブ内側の車輪が宙に浮いてついにカーブの外側に転がったので、脱線事故でも脱線転覆事故でもなく、転覆事故に他ならない(注21)。この場合は、高校生が習う古典力学で簡単に転覆限界速度を求めることができる。図1・13に転覆の定義を示した。この図では、紙の表から裏に向かって右カーブになっていて、列車は紙の表から裏に向かって進んでいると想像してほしい。

この図1・13において、x軸は、2つの車輪が線路に接する2つの点を結んだ直線。またy軸は、x軸に垂直でかつ車両の重心を通る直線である。これらの交

図1・13 転覆の定義を示す図。 D が危険率。この危険率 D が1を超えると、片側の車輪が浮いて車両は転覆する。



なってしまう」という科学的真理を経営者が看過してしまったことによる。

図1・12を見てほしい。この地図に示すように、JR福知山線事故現場の線路の曲線は、1996年12月以前は半径600メートルだった。しかしJR西日本の経営者は、1996年12月に半径を304メートルとするよう意思決定した。この意思決定に際して、JR西日本は「半径を約半分にするにあたって転覆限界速度がどれくらい低くなるか」を実験的にも理論的にも求めなかった。

転覆限界速度とは、列車の速度がそれを超えると、片輪が浮き始めるような速度のこと。この福知山線事故の場合、

図1・12 JR福知山線事故現場の線路の曲線。1997年以前の線路(半径600m)と1997年以後の線路(半径304m)。



点（原点）から、車輪と線路との接点までの距離を長さ1とする。また車両の重心から出た「車両にかかる力の合成ベクトル」とは、車両に鉛直にかかる重力と、その重力の垂直方向にかかる遠心力との合力のことである。

図のように、この「合成ベクトルとx軸との交点」Aが、もしも「車輪と線路との接点」より外側であれば、車両の右側の車輪（カーブ内側の車輪）は上に引つ張られて宙に浮く。この状態を「転覆」と定義しよう。それは、原点から点Aまでの距離をDとすると、このDが1を超えることに他ならない。一方、Dが1より小さければ、両車輪とも地面方向に力を受け「足を地に付けて」いて、転覆することはない。そこで、Dが1に等しくなるような列車の速度を「転覆限界速度」と定義する。

注21 法令では、「転覆事故」の定義が存在せず、裁判では脱線事故と通称されている。しかし、物理学的には転覆事故と呼ぶべきである。

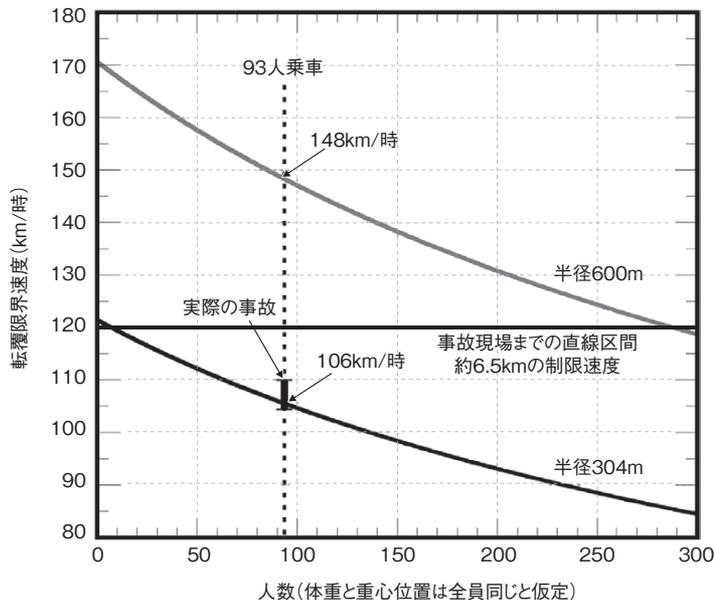
*JR福知山線では、必ず転覆することが「予約」された

Dが1に等しくなるような転覆限界速度を、乗車人数の関数として理論的に求めたグラフを、図1・14に示した。ここで、簡単のために乗車している人の体重と重心位置はすべて等しいと仮定し

ている。乗車人数が増えるほど転覆限界速度が小さくなるのは、重くなるほど遠心力が大きくなるのに加え、重心の位置が高くなるからだ。事故時の93人乗車の場合、転覆限界速度は、線路のカーブの半径が600メートルでは時速148キロメートルであるのに対し、半径304メートルでは時速106キロメートルであることが分かる。この値は、実際の事故時の列車の速度に等しい。

さらに、半径600メートルであれば、乗客が288人（事故時の3倍以上）まで乗っていても転覆限界速度は時速120キロメートル以上である一方、半径304メートルの場合は、乗客数が

図1・14 乗車人数の関数として求めた転覆限界速度。転覆の危険率Dが1となる車両の速度を、乗車人員の関数として求めた。



8人以上であれば時速120キロメートルを下回る。つまり、時速120キロメートルでこのカーブに進入した時、カーブの半径が600メートルであればどんなに満員でも決して転覆しないけれども、半径304メートルであればどんなにガラガラでも必ず転覆するということだ。

当時、北方の伊丹駅から事故現場まで6・5キロメートル続く直線部の制限速度は、時速120キロメートル（つまり分速2キロメートル）。事故現場の曲線の直前で制限速度は時速70キロメートルに転ずる制度設計になっていた。直線部を通過するのに（6・5を2で割って）約3分かかるとは、人が肉体的・精神的に人事不省に陥ってしまうに十分な時間間隔である。

すなわち、この線路設計変更によって、将来必ず（つまり確率1で）転覆事故が起きることが『予約』されてしまったということだ。良識ある技術倫理をもつ線路設計エンジニアならば、そのことを容易に想像するし、それができる。だから半径600メートルを半径304メートルに設計変更などしないし、さまざまな制約でそれをせざるを得ないときは、ATS・P（注22）と呼ばれる自動列車停止装置を必ず設置する。

ところが経営者はその物理学と技術倫理とを無視して、線路曲線の変更を「意思決定」した。

「技術には常に『物理限界』が存在する」という科学的真理を理解し得なかったからである。

注22 自動列車停止装置 (Automatic Train Stop ATS) には、旧型のATS-Sと新型のATS-Pの2種類がある。ATS-Sは停止信号を過ぎたり、速度をオーバーしたりしたとき、事後に非常ブレーキをかける。一方、ATS-Pは制限速度の地点で速度オーバーにならないように、事前にブレーキをかける。この事故現場の線路にはATS-Sが設置されていたものの、ATS-Pの設置は見送られていた。事故を起こした列車はATS-Pに対応していたので、もし線路にATS-Pが設置されていれば、運転士が人事不省に陥っても、制限速度が時速120キロメートルから時速70キロメートルになった時点で、事前に自動減速する。よって、今回の転覆事故は起こらず、107人は死ななくて済んだ。

***福島原発では、必ず暴走することが「予約」された**

この破滅的な原発事故においても同じことが起きた（表1・1）。東電自体は、「全電源喪失は起きない（つまり起きる確率は、正確にゼロである）」という「自信」に基づいて、さまざまな安全マニュアルをつくり安全対策をしていたのかもしれない。

しかし、原子炉の設計エンジニアはそこまで非科学的ではなかった。彼らは、全電源喪失が起きても動く「最後の砦」としての非常用復水器（) あるいは原子炉隔離時冷却系（R)（C）を原子炉に付けていたのである。そして現場のエンジニアは、その全員が「この『最後の砦』は数時間ないし数十時間しか作動しない。作動を終えたら、事態は「制御不能」の次元に陥ってしまう」

ということを十分に理解していた。だから現場の長は、「最後の砦が動いている間に可及的速やかに海水注入をせよ」と本社に進言した。

しかし経営者は、この現場の意見を無視し続けた。1号機がついに暴走し、「海水注入」をすることになった3月12日の夜においても、彼らは「技術が制御不能になるとはどういうことなのか」という物理学的真理を理解しようとしなかった。

ひつきょう科学パラダイムに依拠する技術は、不可避的に「物理限界」を有しており、その「物理限界」が、その技術の「制御可能」の次元と「制御不能」の次元との境界（生死の境界）を特徴づける。そしてその境界を超えると、人知を超えて列車は転覆し、飛行機は墜落し、原子炉は熱暴走するのである。

したがって、技術に立脚する企業は、その境界の位置と特徴と構造を根本から知悉しておかねばならず、しかもその境界を超えるような「本当に想定外」の事故が起きたら、経済を超えてリスクをい

表1・1 JR福知山線事故と東電福島原発事故の比較

	JR福知山線事故	東電福島原発事故
技術 科学者・ 技術者の倫理	技術者は、転覆限界速度を求めたくはなくて、もともと半径600mで設計していた	技術者は、「最後の砦」たるICもしくはRCICが8時間ないし数十時間動くように設計していた。彼らはそれが止まったら、原子炉は制御不能になることを知っていた
技術経営 経営者 (CEO/CTO)	経営者は、科学的考察なしに線路の曲率半径を600mから304mに変更することを決定した。彼らは、物理限界とは何かを知らなかった	経営者は、海水注入の意思決定をしなかった。彼らは、物理限界とは何かを知らなかった

かに最小限に抑えるかに専念しなければならない。われわれは、それを「技術経営」と呼ぶ。JR福知山線事故の本質も、この原発事故の本質も、根本は同じ「技術経営の決定的な誤謬」に他ならないのである。

1・8 何があきらかになり、何をあきらかにすべきか

*あきらかになったこと

この章を終えるにあたり、何があきらかになったかをまとめておく。

(1) 3月11日15時27分の津波到来のあと非常用電源が壊れ、非常用炉心冷却装置 (ECS) が稼働しなくなったものの、「最後の砦」たる非常用復水器 (RCS) と隔離時冷却系 (RCIC) は、それぞれ1号機および2、3号機において交流電源なしで稼働した。3号機では、直流電源が生きていたので、12日11時36分、隔離時冷却系が停止したすぐ後に高圧注水系 (HIC) が自動起動して、13日2時44分まで炉心を冷やし続けた。

(2) よって、これら「最後の砦」が動いている間は、原子炉は「制御可能」であったから、その

間に「海水注入」をしていれば、原子炉の暴走（「制御不能」の状態）は起きなかった。ただし、「海水注入」を消防ポンプで行なうためには、压力容器内の圧力を消防ポンプの加圧力（6〜7気圧）以下にまで下げねばならず、そのためには圧力容器の逃がし安全弁（S₁）を開けて压力容器内の水蒸気を格納容器のドライウエルに逃がさねばならない。このときドライウエル内の圧力

設計耐圧（1号機では、4・3気圧、2〜3号機では、3・8気圧）より高くなる場合には、ベントを開放して格納容器内の水蒸気を外界に出さねばならない。

「制御可能」時のベント開放は放射性物質をほとんど出さない。しかし「制御不能」の次元に陥ってしまったら、炉心溶融のためにヨウ素¹³¹やセシウム¹³⁷などの放射性同位体が発生し、ベント開放によってこれらが大気中に放出される。よってベント開放は、原子炉が「制御可能」の次元にある間になされねばならない。

（3）にもかかわらず、東京電力の経営者は、原子炉が「制御可能」の次元にある間の「海水注入」を拒み続けた。1号機で海水注入できなかったのは不可抗力かもしれない。しかし1号機においてついに「海水注入」をせざるを得なくなった12日の夜、3号機ついで2号機では余裕をもって「海水注入」をすることが可能だった。しかし彼らはこれを拒んだ。

（4）ついに3号機は、13日2時44分から6時間43分、空焚き、つまり「制御不能」状態に放置された。13日9時25分より「海水注入」がなされたが、暴走を止めるには遅すぎた。3号機の「海水注入」の時点で、2号機はなお隔離時冷却系が動いていて「制御可能」の次元にあった。それでもなお東京電力の経営者は、2号機への「海水注入」を意思決定しなかった。2号機は14日13時ころに隔離時冷却系は稼働を停止する。その約7時間後の19時54分に消防ポンプにより海水注入がなされたものの、暴走を止めるには、3号機と同様、遅きに失した。

（5）なぜ東電の経営者は、「海水注入」を拒んだのか。それは、一つには彼ら自身がつくった「過酷事故マニュアル」による可能性がある。しかし1号機が未曾有の事態になった後は、可及的速やかに3号機と2号機で「海水注入」を意思決定できたはずだ。しかし経営者は、原子炉の「物理限界」とは何かを理解できず意思決定を怠って、ついに3号機と2号機とを「制御不能」に陥らせた。

（6）ゆえに本事故は、少なくとも3号機と2号機については、暴走することがあらかじめ100パーセント予見可能だった。よって、この事故の本質は、「技術」ではなく、「技術経営」にある。そのため、東電の経営者の刑事責任は極めて重い。

*あきらかにすべきこと

1号機については、まだ真実があきらかになっていない。すでに説明したように、現在2つのシナリオが考えられる。

第一のシナリオは、「1号機の原子炉水位計は正しく作動し、かつ非常用復水器は片肺ながら機能して原子炉水位を12日8時まで正に保った」という仮定に基づくもので、この章の1・3節でくわしく述べた。

第二のシナリオは、「1号機の原子炉水位計は誤った値を示していた」という仮定に基づくもので、1・5節で詳しく述べた。

それぞれの問題点をまとめておく。

第一のシナリオの問題点は、大きく三つある。

一つ目の問題点は、「1号機の原子炉水位の最終値がマイナス1・7メートルと、現実的でない」という点だ。実際、この点によって、東電、保安院ともに原子炉水位計が正しく動作していなかったとしている。

福島第一原発のような沸騰水型（BWR）原子炉においては、その原子炉の水位は貯水槽から導いてきた「基準水柱」と原子炉の压力容器の水蒸気を導いてきた「測定水柱」との圧力の差から求める[19781100]。基準水位から測った原子炉の水位は、この圧力差を水蒸気の密度で割ることで与えられる。

いうまでもなく、基準水柱が低くなると自動的に水が貯水槽から補給される。デジタルシステムを使っていない原始的な測定方法であるため、かえって過酷な状況でも測定は可能で、しかもこの水位計は、常時メンテナンスできるように原子炉遮蔽コンクリートの外側にある。そのため水位計の場所において、基準水柱などが蒸発するような高温になるには、相応の原因追及が必要である。にもかかわらず、多くの有識者は「貯水槽の水がなくなって、基準水柱を一定に保てなくなっていた可能性がある」と指摘している。

そこで、1960年代後半から30年以上にわたって原子炉のプラント設計を率いてきた元東芝エンジニアの一本忠治に問うたところ、彼は次のように回答した。



貯水槽の水が抜けてしまい、基準水柱が下がってしまった可能性は低いと考えます。なぜならば、貯水槽が破壊されたならば、その破壊の場所から原子炉蒸気が噴き出し、さらには下部の水圧検出ラインからも原子炉水が噴き上げてくるからです。そうなれば、根拠のある圧力差が発生することはあり得ません。貯水槽の破壊はないと考える方が、より合理的でしょう。



なお、東京電力は、「原子炉水位計（燃料域）の校正」のハンドアウトを公表している[20110512]。これによると、1号機の原子炉水位計は、3メートルないし5メートルほど下方にずれて（ダウンスケールして）いた可能性があるという。実際、事故後に水を入れてみると、原子炉水位計は正しく動いたとのことだ。しかし、最終的に3メートルないし5メートルダウンスケールしたとしても、むしろ時間とともに原点がずれていったと考える方が合理的だ。これについては、第三者機関による検査が待たれる。

二つ目の問題は、3月11日17時50分以来、たびたび運転員が放射線を1号炉近傍で観測していることだ。たとえば、1〜2号機の当直長引継日誌[20110300-03]には、ホワイトボードに、

17時50分、IC組撤収。放射線モニタ指示上昇のため 300CPM

という記述がある。また、「プラント関連パラメータ」[20110300-02]の11日の記述に

23時49分 15条通報第9報

タービン建屋で線量上昇 23時

1F北1・2mSv/h 南0・5mSv/h

とある。これは、11日のうちに炉心溶融が始まっていた可能性を示唆する。

三つ目の問題は、非常用復水器のなかに最終的に残留していた冷却水の量が、多すぎるということだ。東京電力「福島第一原子力発電所1号機非常用復水器の動作状況の評価について」[20111122]によれば、10月13日に現場調査をしたところ、1号機の非常用復水器の冷却水レベルは、A系統が65パーセント、B系統が85パーセントだったという。これは、B系統がほとんど稼働せず、A系統もあまり寄与していないという事実と符合する。とはいえ、これも、第三者機関による検査が必要である。

一方、第2のシナリオの問題点は、「18時に原子炉水位が負になり、21時30分の時点では炉心損傷がすでに始まっていた」にもかかわらず、21時30分に3Aバルブを開けたのち、何らの異常なく非常用復水器からの「蒸気発生を確認」している点だ。これについても、第三者機関による検証を必要とする。

*すぐにやるべきこと

以上論じてきたように、1号機については、これ以上の判断をするデータがなく、経営責任を問えるまでには至っていない。第二のシナリオを否定する事実も存在するものの、第一のシナリオを否定する事実のほうが多い。

しかしながら、2、3号機については、東電の「技術経営の誤謬」は極めて明白である。日比野が官邸にいた3月12日夜（最悪でも13日の2時44分までに）、菅や日比野の主張した通りに3号機に「海水注入」していれば、3号機は「制御不能」の次元に陥ることはなく東日本の放射線被害も半分以上で済んでいた。2号機についても同様に、12日の夜（最悪でも14日13時22分まで）に「海水注入」していれば「制御可能」にとどまった。よって、東電の経営者の「意思不決定」の刑事責任は重い。同席していた保安院長、原子力安全委員会委員長も、共同責任を問われる。

いま、私たちがただちにやるべきこと。それは、現場での作業員の被ばくや放射能汚染に基づく精神的苦痛について、犯罪被害者をはじめとする市民が、東電の経営者の「過失」犯罪を刑事告発するとともに、被害者の被った損害を賠償させるべく民事告訴することである。

第一の被害者は、自らの故郷を追われ、多大な精神的・財産的不利益を被った10万人以上の福島の方々である。全体がまとまって放射能被害のまったくない地域にまったく同じコミュニティーを

東電につくらせる権利を保有していることは当然のことだ。そもそも東電から送られてきた「補償金請求書」に書き込む必要はない。なぜなら、東電が被害者に支払うべき対価は「賠償金」すなわち「違法な行為による損害に対する支払い」であって、「補償金」すなわち「適法な行為による損害への支払い」ではないからである。

第二の被害者は、東電の従業員に他ならない。彼らは、何の罪がないにもかかわらず、社会的に迫害を受け、毎日、わが身にせまる危険におびえながら隠れるように暮らしている。何十年も東電を勤めあげ地域の電力安定供給のために心身をささげてきた従業員は、自分の人生を全否定された思いであろう。しかも福島第一原発では、東電のエンジニアたちは命がけでこれ以上放射性物質が広がらないように懸命に働いている。彼らこそ東電の経営者を弾劾して自らの名誉回復をする権利を持っている。

そして第三の被害者は、日本で働く一人ひとりだ。第5章で述べるように、この事故によって日本は「日本」というブランドをひどく損なった。もしこの事故の本質的原因をきちんと解き明かすことをしなければ、日本は立ち直れないとさえ思う。それ以上に、粉々にされてしまった福島の人々の思いをしっかりと受け止めて犯罪加害者の責任追及をしない限り、自らの人間性こそが損なわれてしまう。

福島の人々の問題は、まさに「私の問題」なのだ。まして、「犯罪加害者がその罪を水に流され、犯罪被害者が差別される」という苦い歴史を、日本はもう決して繰り返してはならない。

1・9 おわりに——新しい曙光に向かつて

*日本型経営の限界を認識せよ

原発事故が起きてから現在までに、数多くの調査レポートが出版された。私が参考にしたもので、以下の22篇がある。

- 桜井淳『新版 原発のどこが危険か 世界の事故と福島原発』[20110408]
 内橋克人『日本の原発、どこで間違えたのか』[20110420]
 安齋育郎『福島原発事故』[20110509]
 広瀬隆『FUKUSHIMA 福島原発メルトダウン』[20110513-02]
 武田邦彦『原発大崩壊！ 第2のフクシマは日本中にある』[201105014]
 広河隆一『暴走する原発』[20110520]

- 小出裕章『原発のウン』[20110601]
 佐藤栄佐久『福島原発の真実』[20110623]
 井野博満・後藤政志・瀬川嘉之『福島原発事故はなぜ起きたか』[20110623]
 桜井淳『福島第一原発事故を検証する 人災はどのようにしておきたか』[20110708]
 小出裕章『原発はいらない』[20110716]
 石橋克彦(編)『原発を終わらせる』[20110721]
 飯田哲也『原発がなくても電力は足りる！』[20110820]
 山本義隆『福島原発事故をめぐる——いっつか学び考えたこと』[20110825]
 浅川凌『福島原発でいま起きている本当のこと』[20110901]
 小出裕章・黒部信一『原発・放射能 子どもが危ない』[20110916]
 山名元・森本敏・中野剛志『それでも日本は原発を止められなく』[20111005]
 齊藤誠『原発危機の経済学』[20111020]
 大前研一他『福島第一原子力発電所事故から何を学ぶか』[20111028]
 広瀬隆・明石昇二郎・保田行雄『福島原発事故の「犯罪」を裁く』[20111117]
 海渡雄一『原発訴訟』[20111119]

東京電力『福島原子力事故調査報告書（中間報告書）』[2011/202]

これらの調査レポートには1冊の本を除いて、ある共通の特徴が存在する。それは、この原発事故の本質的原因が、「最後の砦」の稼働中に「海水注入」の意思決定をしなかったことにあるということを一言も述べていないということだ。例外の1冊とは、齋藤誠の「原発危機の経済学」[2011/020]である。齋藤は、この本のなかで「東電経営者は、遅くとも12日午後のタイミングで、3号炉や2号炉についても、ベント実施や海水注入について強い意思決定を行うことができたはずである」[2011/020, p.43]と述べている。

つまり、これまでに出版された20篇以上の調査レポートのうち、「技術経営の誤謬」に言及しているのは、たった1篇に過ぎないということである。

同様の現象が、JR福知山線事故についても起きている。この事故は、線路設計変更がなされた1996年12月時点で取締役・鉄道本部長であった山崎正夫が業務上過失致死傷罪に問われていて、神戸地裁（岡田信裁判長）において審理がなされている。判決は2012年1月11日に言い渡されるため、この本が出版されるころには、すでに判決が出ているであろう。

判決が近いため、新聞記者の方々が私を訪問し、私にコメントを求めてくる。そのときに彼らが異口同音に言うのは、「有識者は、全員が無罪を唱えている」ということだ。有罪を主張するのは、私一人であるらしい。無罪を唱える理由は「事故が発生する8年以上も前に事故を予見することは不可能。よって事故の回避義務違反があったととらえる余地はない」とのことである。

この（）の事例に、私は「日本社会」の危うさを嗅ぎ取る。

日本にあっては、会社の経営者とは社員（従業員）が昇進したあげく最後になる職位。日本はボトムアップ型社会なのだから、会社の運営はみんな、全体でやっていく。だから経営者の役割は全体を調整すること。リーダーシップをとる必要はない。

（）のような空気が、会社経営において支配的なのだろう。そのため、経営者の下した意思決定（ないし意思不決定）の責任を社会が問う、というコーポレート・ガバナンスの意識が欠落しているのではなからうか。

しかし会社経営とは、漆黒の闇夜を手探りで飛行する行為に他ならぬ。突如立ち現われたリスクには、すみやかに意思決定し、ダメージを最小限に食い止める。その意思決定が誤っていた時には、潔く責任を取る。未来はまったく見えないけれど、それでも会社の浮沈を定めるような意思決定を下すパイロットたちを、私たちは「経営者」と呼ぶ。経営者には、それをすることができる胆力が必要なのである。

だから、JR福知山線事故で「経営者は、科学的考察なしに線路の曲率半径を半分にすることを決定し、転覆の発生を『予約』してしまった」ということも、福島原発事故で「経営者は『海水注入』の意思決定をしなかったために、原子炉の暴走を『予約』してしまった」ということも、「物理限界を知らなかった」では済まされない。そもそも、自社の技術の物理限界も知らない人間を経営者に行うことなど、あつてはならないのだ。だから、東電の経営者の不行使に対して過失の刑事罰を問うことは、日本社会を「責任のとれる社会」に変えていくうえで重要な契機となる。

*ブレイクスルーをしなければ生き抜けない

なぜ同じ「技術経営の誤謬」が繰り返されたのか。それは根源をたどると、JR西日本も東電もイノベーションの要らない会社だからではないか。

熾烈な世界競争の中にあるハイテク企業の場合は、ブレイクスルーを成し遂げないかぎり生き抜いていけない。一方、JR西日本や東電は、事実上の寡占(注23)ないし独占企業であつて、イノベーションの必要性はほとんどない。

こうした状況下で人の評価がされるとすれば、その手法は「減点法」にならざるを得ないだろう。「減点法」の世界では、リスク・マネジメントは「想定外のこと起きたときにいかに被害を

最小限にとどめるか」という構想力ではなく「リスクに近寄らない能力」ということになってしまいがちだ。その雰囲気、人から創造力や想像力を奪う。

人が創造力や想像力を存分に発揮できる組織にするためには、事実上の独占環境をなくして競争環境を導入し、人々が切磋琢磨できるようにすることだ。東京電力の場合、発電会社・送電会社・配電会社、そして損害賠償会社に4分割する。そして損害賠償会社は、この原発事故の原因が「技術経営の誤謬」にあつたのだということを深く自覚し、自らの「技術経営」の失敗を国民につけ回しすることなく最後まで、自分で自分の尻を拭く覚悟を持つ。

その上で、「制御可能」と「制御不能」の境界を経営する最高責任者としてのCSO (Chief Science Officer) を新設する。CSOは、通常存在してゐるCTO (Chief Technology Officer) のように日々の技術とその改善に責任を負うのではなく、「知」全体の「ブランド・デザイン」とそのイノベーションに責任を持つ。

それが達成されるまで、独占企業に原発の経営は無理だ。

実際、東電の経営者は「海水注入」を拒んだあげく、少なくとも2つの原子炉を「制御不能」に持ち込んでしまい、ようやく自分たちが「物理限界」の外に居ることを悟って、原発を放置のうえ撤退することを要請した。自らが当事者ではないという意識で経営していたからだろう。

さらには、現状の原子力経営システムをそのままにしておくことは罪が深い。

日比野が教えてくれたように、そもそも事故後に保安院が東電などにつくらせた安全対策マニュアルによれば、今でも「隔離時冷却系が止まってからベント開放をし、海水注入をする」[20110506]というシナリオになっている。

何のことはない。事故に帰結した福島第一原発の措置と、まったく同じだ。この期に及んでも廃炉回避を優先しているのである。これでは、ふたたびまったく同じ暴走事故がどこかの原発で起きる。この国の原子力経営システムの闇は深い。

この原発事故が日本の喉元につきつけたもの。それは、「ブレークスルーしない限り、もはや日本の産業システムは世界に通用しない」という警告ではなかっただろうか。

電力産業に限ったことではない。農業にしてもバイオ産業にしても、分野ごとに閉鎖的な村をつくって情報を統制し、規制を固定化して上下関係のネットワークを築きあげる。その上下関係のネットワークが人々を窒息させる。イノベーションを求め、村を越境して分野を越えた水平関係のネットワークをつくろうとする者は、もう村に戻れない。それが日本の病だ。

しかし、世界はもう、「大企業とその系列」に取って代わって「イノベーターたちによる水平関係のネットワーク統合体」が、産業と雇用の担い手になってしまった。

だから、私たちが今なさねばならないことは、村を越えた「回遊」を人々に促すことである。そして分野横断的な課題が立ち現われた時に、その課題の本質を根本から理解し、その課題を解決する「ブランド・デザイン構想力」を鍛錬する。そのためには、科学・技術と社会とを共鳴させ、「知の越境」を縦横無尽にしなから課題を解決する新しい学問の構築が必要となる。日本は、この事故をきっかけにして図らずもブレークスルーの機会を与えられた。

注23 丁R西日本1社の売上高(単独)は、管内の大手5民鉄(近鉄、阪急、阪神、京阪、南海)の合計額を超える。

