

【続報】

理論物理計算が示す原発事故の真相

——地震直後にどうすべきだったか——

西村 肇
神足 史人

福島第一原子力発電所事故の全体像を得るため、前報（小誌2011年5月号、p.22）では、公害研究で確立された拡散方程式を使って、事故直後のデータから、大気・海域へ放出された1日当たりの放射性物質量の概算を試みた。また、初期に原子炉で起こった事象を明らかにするため、1号機の水素爆発をデータの上から検証した。前報執筆後も状況は刻々と変化し、公開データも大幅に増えたので、前報から変更すべき点と、より明確になった点を報告する。

海域への放射性物質の放出量

——その後のデータによる推算と結論の変更——

海域への放射性物質放出量を推算するには、原発からの排水量を知る必要がある。前報執筆時にデータは公開されていなかったため、注水された大量の水はそのまま外部へ連続して排出されたとみなし、排水量Gとした。この排水量Gと放水口付近の排水中濃度Cから推算する方法を示し、論文執筆時に唯一得られた3月21日の海域サンプリングデータについて、6 GBqと推定した。この結果を大気への1日の放出量10 TBqと比較して、海域への放出量は大

気への放出量の約1/1000とした。

しかし、これは3月21日の一日の結果であり、それを一般的結論にするのは危険なので、その後の21日間、4月11日までの新たな公開データを用いて、海域への放射性物質放出量の推算を行った。そのデータと推算結果を表1に、推算結果をグラフ化したものを図1に示す。

表1に示すように、3月21日、22日の放射性物質の放出量は、2 GBq程度であったが、その後、図1に示すように、放射性物質の異常な放出が4波にわたって起こっている。第1波は3月25日～27日の3日間、第2波は3月29日～1

表1 3月21日～4月11日までの公開データと推算放出量

日	排水量 A(t)	排水量 B(t)	¹³⁷ I濃度 (Bq/L)	放出量 A (GBq)	放出量 B (GBq)	放出量 A+B (GBq)
3月21日	537		5066	2.7204		
3月22日	675		1190	0.80325		
3月23日	777		5900	4.5843		
3月24日	843		4200	3.5406		
3月25日	1513		50000	75.65		
3月26日	961		52000	49.972		
3月27日	1087		10500	11.4135		
3月28日	633		1250	0.79125		
3月29日	735		115000	84.525		
3月30日	711		106000	75.366		
3月31日	770		80500	61.985		
4月1日	817		54500	44.5265		
4月2日	620		520	0.3224		
4月3日	692		27000	18.684		
4月4日	644	1500	26000	16.744	39	55.744
4月5日	524	1500	13500	7.074	20.25	27.324
4月6日	504	1500	3450	1.7388	5.175	6.9138
4月7日	643	1500	1950	1.25365	2.925	4.1789
4月8日	555	1500	10450	5.79975	15.675	21.475
4月9日	570	1500	6550	3.7335	9.825	13.559
4月10日	620	1500	3350	2.077	5.025	7.102
4月11日	465		960	0.4464		
					計 97.9	

排水量Aは、1～3号機の原子炉内への注水量と、1～4号機の使用済燃料プールへの注水量（東京電力広報部資料より）を合計したもの
排水量Bは、東京電力がこの間に行った低レベル汚染水の排出量を平均化したもの

月1日の4日間、第3波は4月3日～4日の2日間、第4波は4月11日までの数日間で、それぞれの期間の最高値は、76 GBq、85 GBq、19 GBq、6 GBqと推算された。また、それぞれの期間の総放出量は、137 GBq、266 GBq、35 GBq、22 GBqで、合計した海域への総放出量は460 GBqとなる。

ただし、これはヨウ素¹³¹Iだけに注目した放出量で、セシウム¹³⁷Csの放出量もほぼこれに匹敵するので、4月11日までの海域への放射性物質の放出量は約1 TBqとなる。これは前報での大気への1日の放出量に匹敵する。

この方法は排水量に濃度をかける単純な方法なので、推算の精度を検証する必要があるが、4月4日～10日の7日間に行われた福島第一原子力発電所からの低レベル汚染水排出の際にデータが公表されているので検証できる。それによると、この期間の¹³¹Iの総放出量は57 GBqと公表されており、われわれの方法による推定98 GBqにほぼ一致する(表1)。

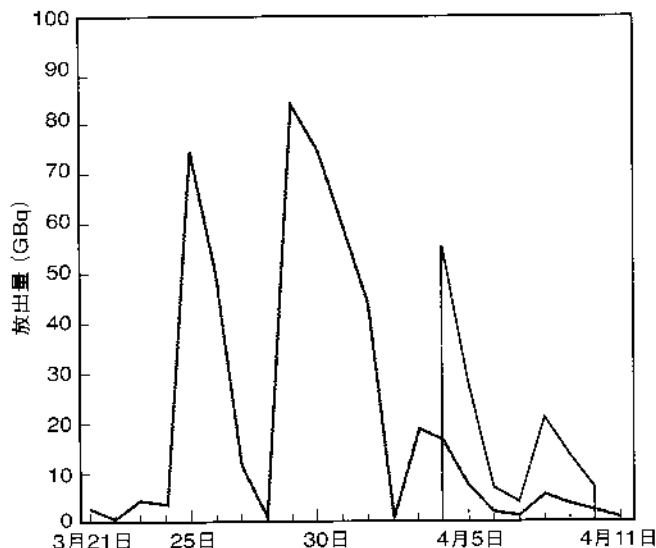
この放出は、7日間に10,000トンの放流水を使って行われたが、毎日の排水量は不明なので、表1の推算では排水量は一律に1500トンとした。

[結論] 3月21日のデータを用いた前報の結論、「1日当たりの海域への放出は、1日当たりの大気への放出の1/1000」は、この期間(3月21日以後の20日間)については修正されなければならない。それでも約1カ月期間の海域への放出量の合計は、大気への放出量1日分程度の1 TBqである(注: 10 TBqと1 TBqでは10倍違うと思われるかもしれないが、エンジニアリングの観点からは、概算値のオーダーがT(テラ)であることが重要)。

水位の理論物理計算からいえること

緊急エンジンは3時間動いていた? ——

前報では、1号機について地震翌日の水素爆発に至るまでに何が起きたのか推定を行い、原子炉内の水位低下の理論物理計算が図2に示すように実測値とよく合うことを示した。ここで実測値に合わせるために行った条件設定は、沸騰による水位低下は原子炉の緊急停止から5時間30分後に起こり、それまでは水位は一定であったということにつける。この5時間30分の間に起こったのは、沸騰温度139℃までの温度上昇(色で示した線)である。この温度上昇カーブは理論線であるから、初期温度は40℃であったと推論できる。この温度は工学者の実感とも合う。原子炉は緊急停止まで沸騰状態にあったのだから、緊急停止しても発熱が続いている以上、水温が下がる理由はなく、停電によって復水器(コンデンサー)から原子炉への給水が



色で示した線は、4月4日～10日まで東電が行った低レベル汚染水の排出を推算に加えたもの(表1のA+B)。

図1 3月21日以後、4月11日までの海域への放射性物質放出量の推移(表1の放出量A)

止まれば、水位はただちに低下し始めたはずである。そうならなかったのは、緊急エンジンがただちに起動し、水温をいったん40℃近くまで下げたためと結論できる。

これが前報の重要な結論である。なぜ重要かといえば、これは専門家の間でさえ流布している「緊急エンジンは粗悪品で作動しなかった」とか「地下に置かれた緊急エンジンは津波で浸水し、作動しなかった」という類の憶測に対

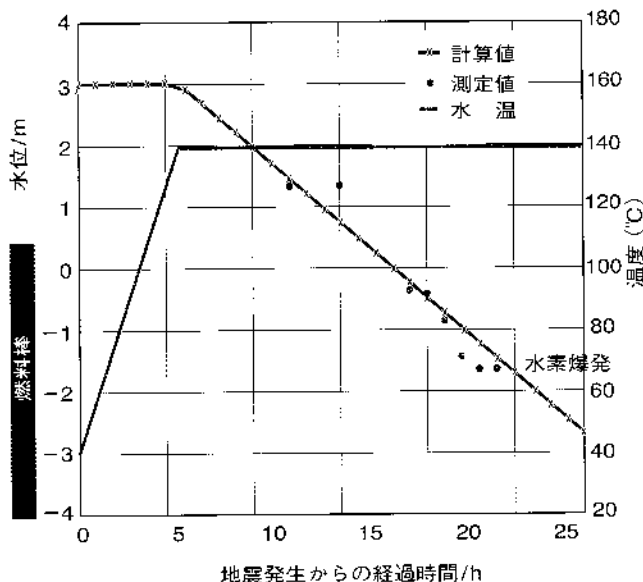


図2 福島第一原子力発電所1号機の水位の変化の理論値(139℃で沸騰する場合)と測定値(測定値は原子力災害対策本部の発表資料より)

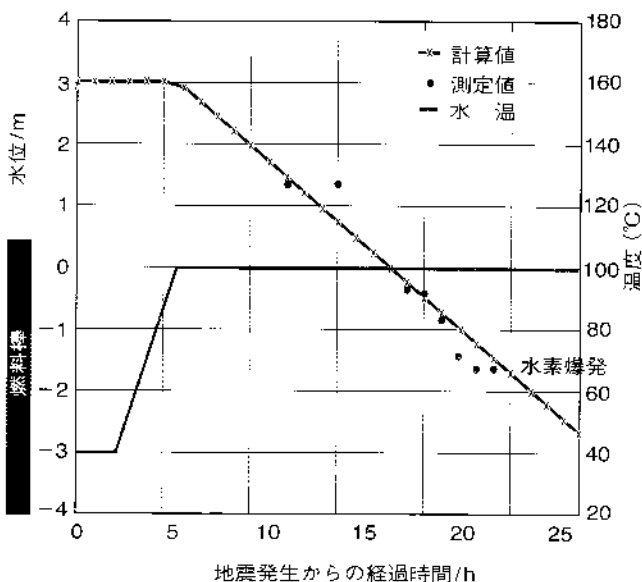


図3 福島第一原子力発電所1号機の水位の変化の理論値（100℃で沸騰する場合）と測定値（測定値は原子力災害対策本部の発表資料より）

し、疑問の余地のない真実を明かすものだからである。

ただ、この理論物理計算が不十分な点は、緊急エンジンが原子炉停止直後に動いたことを認めても、それがどの程度継続して動いたかを示していないことである。この点について、前報執筆直後から検討を始めていたが、このたび、約3時間動いていたという明解な結論を得たので報告する。

解決の鍵は、沸騰する原子炉内圧力の設定にある。前報では、3月23日の原子力安全・保安院が発表したパラメーター（ウェブ上で公開され、現在は上書きされている）からみて、11日～13日の圧力測定値は、一系列は完全喪失、一系列は大気圧との差を表すゲージ圧力が0.8 MPaGで指示停止なので、この後の測定値からみて最も妥当と思われた0.3 MPaを炉圧として計算を行った。しかし、論文執筆直後、この仮定の不合理に気づいた。炉圧が0.3 MPaに保たれるためには、炉圧の測定装置と炉圧を調整する制御装置の両方が健全でなければならないが、測定装置は不調であり、制御装置は電力がなく不作動のはずだからである。したがって、圧力測定系の全滅のあとは、圧力制御機構は効かなくなり、炉内は大気圧に解放されたはずである。確かに14日以降は回復したと思われる圧力系列の一つは大気圧に近い値を示している。

そこで原子炉内圧力は、大気圧として計算した結果を図3に示す。沸騰開始時間もその後の水位低下直線も図2と変

わらない。違いは沸騰開始点の温度で100℃である。沸騰開始以前の温度上昇線の傾斜も図2と同じである。初期水温に40℃を採用した場合、2時間45分の点で、この上昇線と水温40℃のラインは交差する。この点が、最初から動いていた緊急エンジンが停止した時間を示す。もし緊急エンジンが停止しなかったら水温はずっと40℃のままで、何事も起こらなかったはずである。

ただし、その推定が成立するには、冷却水プールに十分な量の冷却水があったという前提が必要である。原子炉内の水量135 m³に対し、もし冷却水の全量がその5倍であった場合は、17時間後には全量が100℃に達し、水位の低下が始まることになる。つまり、今回は約3時間で緊急エンジンが停止したために5時間半で水位低下が始まったが、緊急エンジンが動き続けていたら、その事態の発生を12時間遅らせることができたはずである。

12時間遅れでも起こった事態を避けるには、この冷却水を海水で冷却する必要がある。原子炉自体を冷やす一次冷却系に対し、冷却水を冷やすのが二次冷却系で、今回は屋外に置かれた二次冷却系が津波で破損したのが、除熱源喪失（Loss of Heat Sink）という深刻事態になった原因と指摘する専門家もいる。結局、津波災害説である。

しかし、われわれは海水冷却ポンプが働かなくても、まだ解決法があったと考えている。原子力発電所には、タービンから出てきた蒸気を冷却して水に戻して真空をつくりタービンに圧力差をつける復水器（コンデンサー）という巨大装置がある。福島第一原子力発電所の1号炉の復水器には1600トンの冷水がある。これを使えば原子炉内の水位低下開始時間を40時間延ばせたはずである。

最初の判断ミスが招いた 事故の拡大

理論物理計算で明らかになったことを踏まえ、事故がここまで拡大するのを防ぐにはどうすべきであったか、技術の観点から指摘を行う。

1) 現場の最高責任者がすべきだったこと

事故直後、最重要な努力目標を水素爆発の防止に置くべきであった。爆発を起こしてしまうと、そのあとの回復努力の意味がなくなってしまうからである。そのためには、冷却水の海水冷却を復活させる必要があるが、そのためにはつぎの努力をすべきであった。

- ①緊急エンジンを動かし続ける懸命努力
- ②復水器の1600トンの水を冷却水につなぐ
- ③津波で浸水した復水器冷却用の海水ポンプモーターの

復旧

④海水ポンプ駆動用外部電源の敷設

このうち、緊急ディーゼルエンジンがいったん作動後に停止した原因は、屋外の燃料タンクが津波で浸水し、ディーゼル油に海水が混ざったためと思われるので、1~2時間の努力で復旧は可能。

海水ポンプ用外部電源の導入は、10 km先の東北電力送電線からの導入で架線新設に3日かかっているが、200 Vに降圧した配線を地上に置く方式で自衛隊を使えば、3~5時間でできる。

非常時にこのような技術的判断を即座に下せる決断力と実行力のある人物に全権を任せる組織になっていなかったことが、事故拡大の大きな要因となった。

2) 東京電力社長がすべきだったこと

事故直後、まず米国のゼネラル・エレクトリック (GE) 社と相談すべきであった。東電はいわば電車の運転手であって、運転手には電車の修理はできない。このプラントの設計をすべて行い、すべてを知っているのはGE社である。GE社に事故処理の全責任を任せれば、最悪の場合は一部廃炉の条件をのめば受託したであろう。その費用は1千億円程度であったらう。

廃炉による資産価値の減少について知るために、東電に1~4号炉の資産価格、簿価を問い合わせたがわからない

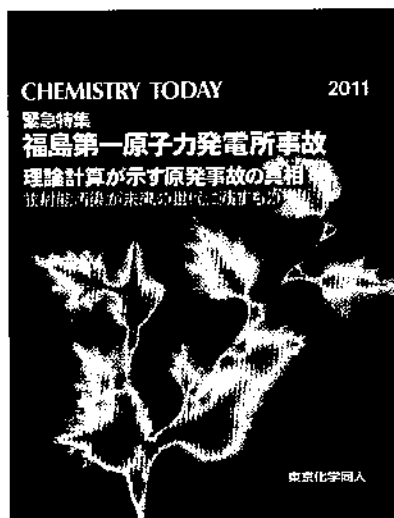
という。そこでこの建設当時、東電から東芝に渡った工事代金を調べると、1基当たり2~3千億円で、総計1兆円以下であった。減価償却しているので、簿価は5千億円程度であろう。それなら我慢してGE社に委託すべきであった。今回の事故による東電の総欠損額は、約20兆円と見積もられている。

3) 政府がすべきだったこと

この事故直後、付近の海域にいた原子力空母 Ronald Reagan 号がすぐ福島沖にやってくる。米海軍がこの事故処理をする用意があることを菅首相に申し入れたとされる。米軍の申し出た事故処理法は、廃炉を前提とするものだったのでこれを東電は拒否し、首相はそれを受けて米国の申し入れを断っている。この判断は間違いであった。結局、回復不能な災害を起こした上、廃炉にするしかなかった。判断を誤った最大の原因は、原子炉を独自開発した米国と、その運転法を知っているだけの日本との実力差をまったくわかっていなかったことである。

【訂正とお詫び】前報(2011年5月号 p.24)の式に表記の誤りがありました。著者ならびに読者の皆様にお詫びして訂正いたします。

誤) $L = 10^4 \times 60CS$ 正) $L = 10^4 \times CS$
※計算結果に変更はありません。



東京化学同人 本体 762 円+税
TEL: 03-3946-5311 FAX: 03-3946-5316

現代化学 バックナンバー

2011年5月号

緊急特集 福島第一原子力発電所 事故

【MAP】最初に何が起きたのか 図解

理論物理計算が示す原発事故の真相

西村 肇・神足史人

事故直後の少ない情報から事故の全体像に迫る。

【コラム】ベクレル Bq とシーベルト Sv の関係

ヒトへの放射線の影響 Anthony T.Tu

放射線による体外被ばくと放射性物質による体内被ばくについて基本的な事柄を解説。

【レポート】スリーマイル島事故を経た米国がみた事故

チェルノブイリ事故から 25 年

放射能汚染が未来の世代に及ぼす影響 緒貫礼子・吉田由布子

低線量の放射線を長期間浴び続けた場合の健康影響は？

【コラム】チェルノブイリ周辺の母子の健康問題