

A M A N , A L I T E .



H I T O R I N I H I T O T S U
MAGLITE®LED NEW X1200

モーションコントロールによる調光メカニズム。①調光自在「ハイ/パワーモード」②点滅照射「ストロボモード」③減光「巻エネ」「ナイトライトモード」④運動発光「シグナルモード」⑤モース発信「SOSモード」
Made in The distinctive shapes, styles and overall appearances of all Mag® flashlights, and the circumferential inscriptions extending around 5000mAh: ---エアランドエフ
the heads of all Mag® flashlights, are trademarks of Mag Instrument, Inc. The circumferential inscription on the head of every 5000mAh: ---エアランドエフ
the U.S.A. flashlight signifies that it is an original Mag® flashlight and part of the Mag® family of flashlights. ©2012 MAG INSTRUMENT, INC. www.maglite.ne.jp

発行者 吉田宇一 編集者 田中太郎
発行所 〒101-8002 東京都千代田区一ツ橋 2-5-5 岩波書店
電話 [案内] 03-5210-4000 [販売部] 03-5210-4111 [編集部] 03-5210-4433
©岩波書店 2014 振替 00160-0-26240
印刷所 一三秀舎 Printed in Japan 定価 (本体 1333 円+税)

雑誌コード 02317-10



4910023171044
01333

2014 科学 10 Science Journal KAGAKU

地球の水、宇宙の水

言語によって構造化される認知

科学

創刊1931年

Oct. 2014
Science Journal
KAGAKU
Vol.84 No.10



地球の水、宇宙の水

「対談」地球の水と宇宙の水 阿部 豊廣 瀨 敬：日本の水資源、世界の水資源 沖 大幹：
「ちきゅう」掘削が拓く新たな地質発生画像 木下正高
「コラム」水の惑星「地球」：最近の研究動向から 玄田英典：「水の惑星」の運命を分けたもの 濱野真子：
地球コアの水素と初期地球の大気の水 野村龍一：地球深部への水の輸送 土屋 旬

汽笛は「ポッポー」か「チューチュー」か：
言語による世界の構造化

心を熱くするという音楽の基準

窒素をめぐる海のホメオスタシス

原子炉事故に人を立ち向かわせるということ

吉田調書の意義：誰が事故を収めるのか

岩波書店

原子炉事故に人を立ち向かわせるということ

佐藤 暁

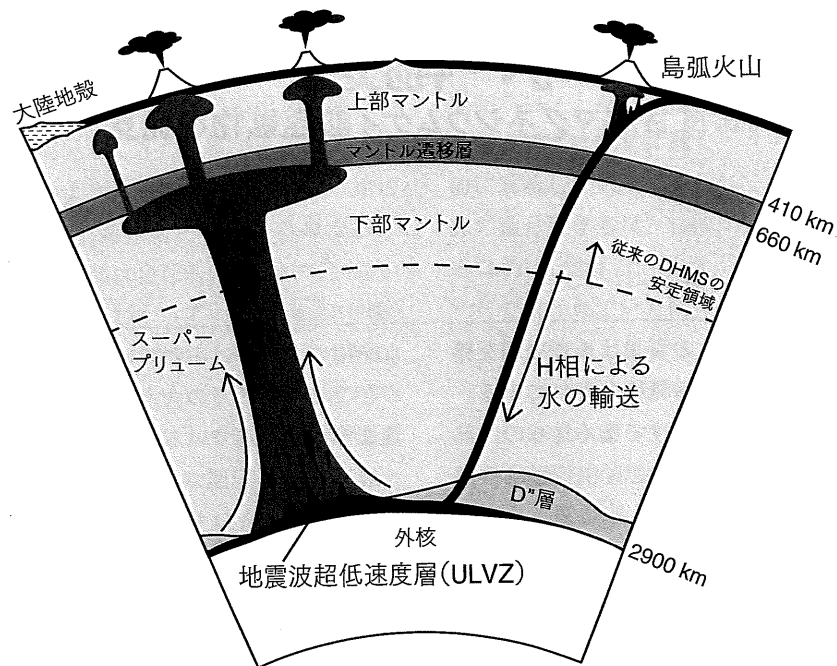
さとう さとし
原子力情報コンサルタント

図2—地球深部の水の大循環

高圧型の含水鉱物(H相と命名)に、理論予測された付近の圧力で相転移することを明らかにした²。

H相は土屋が予測した結晶構造と非常に近い構造をもっていることも判明した。これまでに下部マントル深部圧力で安定な含水物質としてアルミニウム含有二酸化ケイ酸塩(Aluminous hydrous SiO₂)や酸化アルミニウム水酸化物高圧相(δ -AlOOH), 酸化鉄水酸化物高圧相(ϵ -FeOOH)が確認されているが、H相はそれらともほぼ同じ結晶構造をもち、幅広い化学組成のもとでこの結晶構造を保持する含水相が存在することを示唆している。

土屋の理論予測では、このH相が下部マントル中部(約52万気圧・深さ約1300km)で無水鉱物と水に分解することが予想されている。しかしその後の実験により、H相はアルミニウムが含まれることによって高圧下におけるH相の安定性が増し、地球中心核とマントルの境界領域まで水が運搬される可能性が指摘されている。

アフリカ大陸の下や太平洋の下の核マントル境界では地震波の超低速度層(ULVZ)が観測されており、この領域では岩石が融解している可能性が高い。無水鉱物は核マントル境界のような高い温度

でも融解しないという実験的報告があり、無水鉱物より融点の低いH相が融解を引き起こしている可能性が考えられる。そうして核マントル境界で生成された含水マグマはスーパープリュームとなり、再び地球表層に戻されるだろう(図2)。

地表における大気・海洋の水循環に加え、地球内部にはこのようなマントル最下部をも含む水の大循環が繰り広げられている。さらにこのH相中の水は地球中心核の主要物質である溶融鉄への溶け込みなど、地球深部の物質構成やダイナミクスに大きな影響を及ぼすと考えられる。

文献

- 1—J. Tsuchiya: Geophys. Res. Lett., 40, 4750(2013)
2—M. Nishi et al.: Nature Geoscience, 7, 224(2014)

初めて私の妻を仕事先の原子力発電所のある町に連れて行ったときのことを、後に彼女はとても驚いたと語っています。原子力発電所とはすべて自動化された最新の施設で、白衣を羽織った研究者と先端のエリート技術者たちが働く研究都市のイメージだったのに、実際の街中や幹線道路の光景が、それとはかなり違っていたからだそうです。それでも原子力に対して不信を抱くようになったというわけではなく、どの人たちも皆、施設に精通した「プロ集団」なのだろうとしばらくは思っていたそうです。しかし、実際に地元に暮らすうち、意外と専門的な経験のない転職者も多いことに気が付き始め、今度はその実態に驚くようになったのですが、それでもまだ、精鋭の「プロ集団」はいるはずだと漠然と思いつけていたようなのです。2011年3月11日までは……。

原子力発電所は、私自身にとってもそうであったように、地元や国内外から集まる多くの人たちに、さまざまな職種の仕事を提供しています。そして、そのような多くの人たちによって、原子力発電所は支えられています。多くの人たちの支えを必要とするのは、建設中、運転中、定期検査中はもちろん、福島事故がそうであったように、過酷事故が発生した場合もそうです。今回は、過酷事故において期待される人的対応の現実と限界について、私自身の体験をもとにお話したいと思います。

1 原子力発電所を支える人たち

特殊なイメージを抱かせるかもしれない「原子力発電所」も、実は、それほど特殊な施設ではありません。その中には、水や蒸気が流れる多数の配管系統が複雑に屈曲、分岐しながら布設され、ポンプ、弁(バルブ)、タンク、熱交換器などの機器が流路に設置されています。圧力、温度、流量などを測定するための細い検出管がところどころから引き出され、計器のあるものはその場で直読され、別のあるものは電気信号に変換され中央制御室に送られます。高温の配管は保温材で覆われ、ポンプや熱交換器、タンクはコンクリートの床に据え付けられ、弁や配管は、支持材(サポート)によって、床や壁、天井に固定されています。

沸騰水型原子炉(BWR)の原子炉建屋は、地下と地上合わせて7階ないし8階程度のフロアに分かれ、最上階を除く各階は、それぞれに扉のあるさらに細かい小部屋に仕切られています。放射線

を遮蔽するためもありますが、火災や溢水があった場合の影響範囲を限定する目的もあります。ポンプ、電源盤などの発熱する機器を収納する部屋には、温度を一定範囲に保つための空調ダクトが設けられ、電動式の弁やポンプが収納された部屋には、動力用と制御用の電気ケーブルが電線管やケーブル・トレイに収納され、壁や天井を貫通して布設されています。

これらの機器に対しては、原子炉の運転を停止させて行われる燃料交換の時期に合わせ、定期的に検査や校正、分解点検、交換が実施されます。これが、「定期検査」と呼ばれる一連の業務です。現場(=原子力発電所)に向かう幹線道路を走るワゴン車には、「配管屋さん」、「ポンプ屋さん」、「バルブ屋さん」、「保温屋さん」、「空調屋さん」、「溶接屋さん」、「塗装屋さん」などの職種のベテラン職人から見習いまで、さまざまな人たちが作業着姿のまま乗っています。現場に到着すると彼らは、前日に彼らの責任者が作成した作業指示書にある

内容の作業をこなすため、工具や資材、チェックシート、記録用紙などを持って、目的の機器がある部屋などを目指して散って行きます。

原子力発電所の運転を支えているのは、このような職人ばかりではありません。彼らの作業を支えるため、さまざまな資材を運搬したり、作業用の足場を作ったり、床面の除染を行ったりする多くの人たちを必要とします。他に、彼らの作業を指揮する監督、安全を見守る安全監視員、放射線管理員、また、作業の品質をチェックする検査員や品質管理員などがいます。一人の溶接工が息を切らしながら忙しく作業をするのを、三人の大人の大人が、やや手持ち無沙汰にしながら見守っているというのも、定期検査中の原子力発電所においては、それほど珍しい光景ではありません。

新しい燃料が装荷され、原子炉が再起動するとき、一連の定期検査を終えた原子力発電所には東の間の静けさが戻ります。機器も床もピカピカです。そして、それから間もなく、高い金属音と低い唸りが混じった騒音に満たされ、約1年間の運転が始まります。

原子力発電は、決して孤高の技術の結晶なのではありません。原子炉からのエネルギーによって、発電機を回すための動力が得られるので、そう呼ばれているだけです。私は前々号で、「たかが電気」と書きました。それは、電気の経済的、社会的価値が低いという意味ではなく、本来、発電の原理自体がとても簡単であるという意味です。原子力発電では、その簡単な原理のために複雑で繊細な原子炉が導入され、燃料費をはるかに上回る人件費を投じて、多くの人手がかけられています。

2 原子力発電所とヒューマン・パフォーマンス

失敗の分析は学術分野として研究されてもいますが、私自身、そのような研究者が持ち帰れないほど多くの失敗を経験し、教訓を得てきました。今回ご紹介する例は、私が関わった100件以上あるうちのほんの数件のプロジェクトに関する例で、しかも主業から逸れた異質のものです。しか

し失敗とはほとんどいつも、意表を突いて発生するものです。

原子力委員会の前委員長だった近藤駿介氏が、1998年に『原子力発電所で働く人々』という本を著しています。曰く、「原子力発電所ではどんな人が働き何をやっているのか、という多くの人にとっての素朴な疑問に答えるため」、各原子力施設に足を運んで取材し、執筆された書ということで、仕事をしっかり理解し、規則や手順を忠実に守って働く人々の日常が描かれています。

これに対し、以下にご紹介していく私自身の経験は、日常の勉強や手順書が役に立たない、非日常的な「ドタバタ」についてばかりです。私があえてそれらを例示するのは、原子炉事故の対応こそが、比類なき非日常的な出来事なのであり、その場とその後とのヒューマン・パフォーマンスを考察する上で理解されるべきもう一つの姿だと思っからです。近藤氏と私が描いたのは、互いに別世界にいる「人々」なのではありません。単色ではないマダラ模様の実態の、それぞれ別の色を表していると言ってもよいと思います。

2.1 失敗第一話

1985年、私は、福島第一原子力発電所2号機のサプレッション・プール改造工事の現場に派遣されました。今では周知となりましたが、マークI型格納容器のサプレッション・プール(そのドーナツ状の形から「トラス」とも呼ばれ、以下、この呼称を使います)に、強度解析上の過小評価が米国で発覚し、事故時に作用する動的な荷重に十分耐えられない可能性が指摘されたことから、ゼネラル・エレクトリック(GE)社の提案する改造が、日本でも実施されることになったからです。

本格的な改造工事の前に、まずはプール水を抜いてトラス内を除染します。水は透明度ゼロ、底には1トン近くもあると推定される大量の放射性スラッジ(鉄サビやコンクリートの粉塵など)が沈殿しています。水だけを先に抜いたのでは、気中にこれが露出し、高レベルの放射線環境になってしまいますので、水抜きは、スラッジ回収作業のベ

ースに同調させなければなりません。そこで、米国から「除染のプロ」が派遣され、倉庫の一画を改造した部屋が彼らの詰所に充てられました。夏のある日、儀式めいた秒読みをし、夜中の0時ジャストにポンプを始動させ、作業が開始されました。

私は、この儀式を終わらせるといったん事務所に引き上げ、3時間くらい経ってから、何の心配もせず、巡視のために再び現場に戻りました。すると、サプレッション・プールの中で作業をしているはずの「プロ」たちが、全員、入口のマンホールに這い出し、荒い息遣いでその周りに仰向けにひっくり返っていました。熱中症を予防するため、2時間交代での作業を計画していたのですが、これに耐えられなかったようです。自分で作業環境を実体験するため、私も、通気性ゼロの酢酸ビニルの合羽と全面マスクを身に付けて中に入りました。誰もいなくなってしまったトラスの中で、4台のダイアフラム・ポンプが大きな音を立てて動いていました。幅の狭い回廊を塞いでいるポンプを順番に乗り越え、1周約100mの回廊をゆっくり2周しつつ、途中で、スラッジ回収やジェット水で回転させる洗浄ブラシを使った作業がどれだけこたえるかを実際に調べてみました。マンホールを出るときには、梯子をよじ登るだけで息が切れしました。ゴム手袋にも長靴にもたっぷり汗が溜まっていた。

除染のプロたちは疲れ果て、詰所に戻ってきても元気がなくすっかりふて腐れ、安い賃金でこんなバカバカしい作業をこれ以上やっているとケンカも始まるようになり、数日後には現場を放り出して米国に帰ってしまいました。そこで急遽私たちは、日本の「石油タンク清掃のプロ」の会社(TH社)に助けを求め、引き継いでもらうことにしました。しかし、約束の工期は、「スイッチ・オン」の儀式的瞬間から2週間と変わりません。

そもそもBWR技術の盟主であるはずのGEが、なぜこのような除染工事を行うことになったのか? 実際のところ、マークI改造の技術的なノ

ウハウを日本のメーカー(T社、H社)に伝授すれば、あとはすべて、彼らとその傘下の企業だけでできたのですが、それではGEの「パイ」が小さい。そこで東京電力を交えて折衝するうち、GEを名譽的に改造工事一式の主契約者としながらも、特に除染だけはGEが主体で行うという妙な分担が合意されました。とはいえ、プラント・メーカーにとっては最も魅力のない「パイ」でもあり、GEは、水処理用の仮設系統の布設も、除染用の道具の供給も、T社に丸投げし、強いて手腕を発揮できるどころか、水を抜いた後の塗装を超高圧ジェット水で剝離させる工程だけでした。

大量のスラッジが流れる配管は、水平部分に沈殿したスラッジでたちまち閉塞し、音のうるさいダイアフラム・ポンプをフルパワーで運転しても設計流量の5分の1も流れなくなり、スラッジ回収は滞りました。トラス底部をブラシ洗浄する「除染ロボット」は、電磁石の車輪で鋼版の傾斜を昇降するはずでしたが、スラッジに混じった鉄粉がぎっしりと付着し、すぐに「雪の日の下駄」になってしまいました。これを水上からリモコンで操作するのですが、水の濁りがひどくてロボットの位置を示す赤いランプさえまったく見えません。他方、長い操作ボールの付いた洗浄ブラシは一輪だけでしたから、回転の反力で振り回され、これもまるで使い物になりません(二輪にすれば相殺させ安定させることができるのですが)。

そうこうするうち、回廊からベント・ヘッダーに差し渡したアルミ製仮設通路の手摺りが、溶接箇所でポッキリ折れ、作業員が水中に墜落する事故が起こってしまいました。水に落ちた作業員は、全面マスクをかなぐり捨て、骨折した手で必死に除染ロボットにつかまり、これを他の作業員たちがチェーン・ホイストで吊り上げて救出しました。これが除染用としては落第だったロボットが、唯一役に立った場面でした。

作業は工程最優先で進められ、遅れを取り戻すため、作業員の被曝増加を犠牲にし、まだ大量の放射性スラッジが残っているトラスの水位をどんどん下げ、ついに川釣りなどで使われる「胴付

き長靴」を履かせての人海戦術で決戦を挑み、強引にスラッジ回収を行いました。もちろん底部にはそこそこにスラッジ溜りがあり、それらを手で掬ったり、塵取りを使ったりして取り除き、最後に全面を大量のウエス(廃品回収でリサイクルされた布切れ)で拭き取って完了。その前に、これが唯一の出番とばかりに米国で訓練してきたGEの作業員が、超高压ジェットで塗装を剥がそうとしましたが、噴射した水は、石化したように硬くなってしまった塗装に跳ね返され、早々にギブアップしました。その後、水処理用の仮設システムを布設したT社の下請け(とはいえ、重工業部門では世界的な一流企業)は、それから連日、半年がかりで放射性スラッジがぎっしり詰まった配管の解体作業に明け暮れました。

こうして、世界に冠たる一流企業の社員たる私たち(?)は、揃いも揃って間拔けた失敗の限りを尽くし、達成感0、屈辱感100の惨めさを味わいました。

2.2 失敗第二話

私は、このぶざまな仕事に発奮するも、やはり「パイ」のサイズをめぐる問題があり、これに続く4号機の工事では、水処理用の仮設システムの布設を、今度はH社に発注することになりました。毎日進捗をチェックに現場に行きましたが、しばしば驚くべき光景もありました。ポンプの出口に付けられた逆止弁の向きがあべこべだったのを見たときには、誰かの悪ふざけかと思ったものです。配管の布設が終わって水を張り、溶接部の耐圧試験を行うと、水漏れがあらゆるところで発生して、床が水浸しになってしまいました。水漏れは、イオン交換樹脂をたっぷり充填した脱塩器(可溶性放射性物質を除去するため、フィルターの下流に設置)のマンホールの蓋からも発生し、いくらボルトをきつく締めても止めることができないことに業を煮やしたH社の現場監督は、とうとう、腕っこきの溶接士たちを投入し、大きなマンホールの全周とボルト、ナットの全数を、溶接で封じるという荒っぽいことをやらせて急場をしのぎ、すっかりグロ

テスクになったマンホールに、ドヤ顔を輝かせていました。

H社は、フィルターの設計を、国内の水処理産業界では屈指のK社に発注し、ドブ水のようなトーラス水にはもったいない、公称孔径0.02~0.1 μm の高級な外圧中空糸膜フィルターを採用しました。しかし、逆にそのような繊細なフィルターでは、1トンもあるかもしれないスラッジの10%も処理しないうちに閉塞してしまう可能性があるため、閉塞の兆候が現れたフィルターを隔離し、空気と水を逆方向から圧入してフィルターに捕捉されたスラッジを剝離させて再生させ、濃厚なスラッジ廃液を廃棄物処理系の専用受けタンクに流す「逆洗」方式を導入しました。

一方、気に障るくらいうるさくて邪魔だったダイアフラム・ポンプや水難救助(?)の役にしか立たなかった除染ロボット、長い柄の先端で暴れ狂う洗浄ブラシを渡されて辟易していたTH社のリーダーは、それらをすべて追い出し、今度は自分たちの商売道具を使わせてほしいと提案してきました。あまり迷わずそれらを受け入れ、さらに私も大奮発をして、洗浄ブラシの長い柄などすべての操作ポールに、米国から輸入した最上級のカーボン・ファイバー製のものを手配しました。スラッジ回収用のヘッドも、あまり労力の要らないローラー式のを軽量の塩ビで私が作り、これにもカーボン・ファイバー製のポールを付けました。圧縮空気は、ダイアフラム・ポンプを駆動して騒音を出す代わりに、作業員一人一人の胴にベルト状に巻いた穴付ホースに送気して、酢酸ビニルの合羽の中に体熱をこもらせない対策に使うことにしました。

これらを導入しただけで、TH社の作業員の作業条件と環境は激変しました。ローラー式のスラッジ回収ヘッドを片手で操りながら、トーラス底部に沈澱したスラッジはどんどん吸い上げられていき、洗浄ブラシのポールは、驚くほど軽量であるにもかかわらず先端までほとんどしなりもなく、危険な仮設通路がなくても遠くから軽々と操作ができました。とりわけ人気だったのは、穴付ホー

スのベルトでした。TH社の作業員たちは、この2時間の作業を1日2回こなした後も、動作はキビキビしており、疲労を感じていませんでした。

ところが、トーラス除染作業が順調に進む中、大問題が発生しました。H社からフィルターの運転を任されていたK社の技術者が、逆洗操作の手順を間違え、専用受けタンクに送るべき濃厚な放射性スラッジの廃液を、よりによって原子炉建屋の換気ダクトの中に大量に流し込んでしまったのでした。

私はすぐにH社の事務所に行き、K社の技術者が、弁の開閉順序のどこを間違えたのか、検証会議に参加しましたが、その間何度も現場から電話がかかってきて、問題のダクト周辺の惨状が報告されました。その内容から、ダクトの継目から水が漏れ、原子炉建屋1階のあちこちに滴りおち続けている様子が目に浮かびました。そして、直後には大量の水が溜まっていた換気ダクト内部の水位が、徐々に下がるにつれて遮蔽効果が低下するため、現場からの報告のたびに放射線レベルは上昇していき、とうとう40 mSv/hにも達しました。当時(そして、福島を除く運転中の原子力発電所では今でも)、1 mSv/hを超える区域は、関係者以外が不用意に接近しないよう、「高線量区域」に指定される状況になってしまいました。

このような場合、当然のことながら、客先である東京電力に罵倒されつつ状況説明をしなければならないのは、契約上の元請けである私たち(GE)のほうでしたが、事態の深刻さを理解したH社は、私たちが矢面に立たせることを申し訳なく思ったのか、一刻も早く東京電力に対して謝罪をして復旧への取組みの決意を示したかったのか、私たちに同伴を求めることもなく、さっさと行動していました。換気ダクトの中には空気が流れていますので、この中に流し込まれた放射性スラッジは、やがて水切りされて乾燥が始まり、放射能汚染が拡大します。すぐに隔離しなければなりません。しかし、最も深刻なのは、ダクトからの雨垂れ状の滴りが、膨大な数あって複雑な制御棒駆動機構水圧ユニット(CRD-HCU)と、そのそれぞれに

付属するスクラム・パイロット弁の電気系を濡らしたことでした。除染だけでも大変ですが、これらをすべて点検しなければなりません。CRD-HCUは、原子炉の緊急停止(スクラム)を司る最重要装置ですので、念入りの電気試験が必要です。

結局H社は、大量の要員を投入し、それから数十日間を費やして、連日このトラブルの復旧作業を行いました。放射性スラッジを大量に流し込んで汚染させた換気ダクトを取り替え、同時に細い配管だらけの複雑なCRD-HCUの除染と点検を行い、汚染が染み込んでしまったコンクリートの壁は削って修理をするなど、計画になかった膨大な作業を行うことになりました。検証会議のときに青ざめていたK社の技術者は最後まで現場に残り、黄色の合羽を着けて黙々と贖罪の除染作業に励んでいました。

2.3 トーラス除染余話

こうして大した仕事でもないはずのトーラス除染に、BWRの三大プラント・メーカーである私たちGE、T社、H社はテンテコ舞いをさせられましたが、まだ気力旺盛な頃の私はまったく怖気づくことなく、いっそ、次(3号機)からはすべての系統設計と工事計画を自分でやってみよう決心しました。布設や撤去の面倒な配管はすべて排除してゴム・ホースに換えました。K社が納入したフィルターは、エレメントだけを新品と交換して再利用することにしましたが、凶事を引き起こした逆洗は、専用の操作ユニットを作ってシンプルにし、もちろん換気ダクトへの排気はやめました。ところが、今度は私が自ら失敗をする破目にもなりました。

厚い遮蔽容器のフィルターを分解し、たっぷり放射性スラッジを含んだ使用済フィルターを気中に取り出す場合、どれほどの放射線レベルになるのか不安でした。即席の有限要素法を考案し、それをコンピューターのプログラムにする技能がなかった私は、丸一日かけて関数電卓だけで計算をしました。作業場所には遮蔽材を巡らし、問題の使用済フィルターは、いくつかの遠隔装置を使っ

て取り出しましたが、それをドラム缶に収納するための細断に電熱線を使ってしまったのが大失敗でした。中空糸にまとわりついたスラッジに、ニクロム線の熱が奪われて温度が下がり、溶断しきれなくなりました。そうこうしているうち、フィルター付き排風機を運転していたにもかかわらず、やがてテントの屋根から青白い煙が立ち上り、マズイと思って止めた時には手遅れでした。

原子炉建屋の最上階を広い範囲に汚染させ、それを知らずに出て行った作業員の靴裏が媒体となり、エレベータの中、そして1階まで汚染を拡大させてしまいました。今度は、何の落ち度もなかったK社の技術者に礼と詫びを述べ、一緒に除染を手伝ってもらいました。結局、鋼管などを切る市販されている最大のバンド・ソーの刃を買い、これで巨大な弓鋸^{ゆみのこ}を作って試してみると、まとわりついたスラッジで弾力を失った中空糸のフィルターは、大根のようにあっさり^{ゆみのこ}と切れ、その後の作業は順調に進みました。

このように、新しい試みは、必ず思いがけない出来事に遭遇します。それでもどうにか3回目にして満足のいくトラス除染ができました。

4回目(5号機)はさらに成功し、巨額のコスト節減と目標を大幅に上回る利益率の達成が認められ、表彰を受けました。ただし、TH社が集めた臨時作業員の一人が、実は何かの窃盗犯だったらしく、作業を終えて現場を出てきたところそのまま張り込み中の警察官に確保され、連れて行かれるという事件がありました。

6号機の格納容器はマークII型で、改造工事は不要でしたが、サブプレッション・プールの内面の塗装修理が計画され、それに先立って除染工事が行われることになりました。そこで、3号機と5号機の工事で揃えた装置を持ち込みました。このときの耐圧試験では、TH社が手配したホースが継手からすっぽ抜け、逃げ遅れた私一人が、まともに鉄砲水を浴びてびしょ濡れになりました。それでも、放射性スラッジの廃液でなかったのは幸いでした。ホース・メーカーの工場で行った出荷前の耐圧試験記録には、もっと高い圧力でも大

丈夫だったことが記されていましたので、納得できる説明を求め、担当の技術者に来てもらい、工程管理に関するかなり詳しい議論もしましたが、明確な原因が特定できたわけでもなく、結局、このタイプのホースを使用禁止にすること以外に対策が浮かびませんでした。

2.4 失敗余話

時が経ち、3号機でシュラウド(炉内に燃料を支持し冷却水流を一定に保つためのステンレス鋼製の円筒構造物)の交換が行われていた1997年には、こんな出来事もありました。ジェット・ポンプを原子炉圧力容器の内面に固定するライザー・ブレースという部品があります。この付近は一段と放射線レベルが高く、ジェット・ポンプの取替を担当したGEは、大勢の溶接士を米国で訓練して現地に送り込んでいました。しかし、施工した溶接部に欠陥が発見されたため、これを削除してやり直しをすることになりました。ところがこの作業を指示された機械工は、何の問題もない隣のライザー・ブレースをガリガリ削って、意気揚々と戻ってきました。「右」と「左」、「時計回り」と「反時計回り」は、自分のその時の位置次第で反対になってしまうものなのですが、そんな言い訳は後の祭りです。この失敗は致命的で、技量認定を受けていた溶接士が足りなくなってしまいました。そこで彼らを少しでも温存させるため、急遽、臨時の機械工を現地で確保することになり、人材派遣を地元のある会社の社長に依頼しました。

さっそく三人が現れ、経験不足は歴然としていましたが、簡単なグラインダーがけ作業を習得してもらっただけならば3日間も特訓をすれば大丈夫だろうと思い、モックアップを使って練習に励んでもらいました。ところが、いよいよ今日から本番という日になって姿を消してしまい、何があったのかと思っているうちに月日も経ったある日、突然、「金を払ってもらっていない。」と彼らの「元締め」らしき人物から電話がかかってきました。わが社は金を支払うべき仕事をしてもらってはいないと返事をすると、「東京電力の総務部に

懇意にしている人がいる」、「労基署に相談してみようかと思う」などと言って私の反応を探ります。

今から思えば幸運でした。実際に窃盗犯に潜入されていましたし、もしプロの破壊作業員が送り込まれていたとしても、まったく見抜くことができなかつたと思います。お互いに名前も顔も知らない人々がにわかに大勢集められる特殊な仕事場においては、そもそも高尚な「失敗学」とかヒューマン・パフォーマンスより、もっと手前の議論が必要なかもしれません。

ちなみに、米国原子力規制委員会(NRC)は、1990年から、原子力発電所の従事者に対する薬物(麻薬、アルコール)検査の実施と結果の報告を義務づけています。2012年には全米で17万9135回もの検査が行われ、「陽性」が1114件報告されています。マリファナ49%、アルコール22%、コカイン12%という内訳です。「陽性」の検出率が、下請け企業で0.79%であるのに対し電力会社では0.23%といっても、安全設備や機密情報にアクセスする機会が圧倒的に多い電力会社の社員の立場を考えれば、とても芳しい結果とは言えません。酒気帯び(?)のプラント運転員も6人含まれています。「臭いものに蓋」をせず、現実を直視する意思があつてこそ、正しい現状分析と対策や改善が可能になります。

私は、決して自分の周りにだけ運悪く、特別「アウトライヤー的」な人々が多く集まっていたとは思いません。昨今、政治家、自衛官、教員、警察官、さらに医師、判事、聖職者さえしばしば不祥事を起こしています。もし、日本でも米国と同じ薬物検査を行ったとしたら、米国では1000件以上あるのに、日本ではゼロということもないでしょう。窃盗犯や機械工の蒸発は迷惑でしたが、それくらいのことには十分あり得ることなのでした。まして、作業環境が劣悪で危険であれば、誰でも現場を放棄したくなります。それは、する側のモラルの問題ではなく、される側の配慮不足が業務の性質が根本的な問題だと考えるべきです。

このような問題は、「原子力発電所で働く人々」の多くが、洗い晒しの作業着を着た作業員

でなく、白衣を羽織った研究者と先端のエリート技術者だったとしても本質的には解決しないことでしょう。同じように、施設が原子力発電所だからといって、何か都合のよい超常現象が起こるわけではありません。

3 原子炉事故に人を立ち向かわせるということ

1970年の自動車事故による日本全国の死者数は1万6765人で、これが2012年には4411人まで減っています。これを、安全性の「飛躍」と解釈する人もいるかもしれませんが、40年のうちの交通インフラの改善、交通安全規則の見直しと罰則の強化、自動車メーカーが費やした安全性向上のための膨大な研究開発への投資、何世代もの新モデルの登場による技術的新陳代謝などを考慮した場合、そんな程度なのかと思う人もいるでしょう。原子力発電に限ってだけ、本体の基本技術が1960年代、70年代のままであるにもかかわらず、その後の改造や手順書の整備、可搬式設備の調達で、事故のリスクが1桁も2桁も激減するなどということが望めるのだろうか。勝手な自己欺瞞によって視界を狭めているだけではないのか。このような警戒は、ネガティブ・シンキングと呼ばれるべきではなく、健全なクエッションング・アティチュードとして醸成されなければならないと思います。

列車、船舶、航空機、ロケット、さらに、エレベータや回転扉でさえ重大な事故を引き起こします。そして、重大事故が1件発生する前には、規格・基準、マニュアルの網目をすり抜け、多くの故障やヒューマン・エラーが発生します。結局、モノもヒトも、原子力だから、日本だから、日本人だから特別ということはなく、事故や災害は、狙い撃ちも加護もしません。しかし、時に狙い撃ちされているのではと思わせられるほどの不運があったり、逆に思わぬ幸運に救われることもあります。

自ら数え切れない失敗を重ね、弱さや愚鈍さを痛感、目撃してきた現場のエンジニアとして、人

福島原発事故分析の“最前線”，新潟県技術委員会「課題別ディスカッション」

田中三彦

たなか みつひこ
元国会事故調査委員

議論新潟県技術委員会 「課題別ディスカッション」

前号で詳述したように、国会事故調査委員会は、福島第一原発事故の物理的、直接的原因に関し、大別すれば二つの重要な基本的問題を指摘している。一つは、「安全上重要な機器の地震による損傷はないと確定的には言えないこと、とくに1号機においては小規模のLOCA(冷却材喪失事故)が起きた可能性を否定できないこと(「地震と小規模LOCA」の問題)、もう一つは、とくに1号機に関しては津波が1号機を襲う前にすでにSBO(全交流電源喪失)が起きていた可能性があること(「SBOと津波の関係」の問題)、の二つである。

国会事故調が指摘した事故原因に関する未解明問題は、今日、きわめて“対照的”な二つの議論の場に付されている。一つは、新潟県が独自に行っている福島事故検証作業、そしてもう一つは、原子力規制委員会が行っている「東京電力福島第一原子力発電所における事故の分析に係わる検討会」(通称「事故分析検討会」)である。「対照的」と書いたのは、検討、検証の作業の手法がほとんど正反対であるからだ。

前者は、東京電力とのディスカッションという形式をとり、大小、さまざまな問題を取り上げて議論している。また検証作業の期限もあえて設定していない。少なくともこれまでのところは、解明すべき問題をとことん解明していこうという姿勢を貫いているように思える。それに対して後者は、きわめて議論が独善的、閉鎖的、排他的であ

り、3.11以前に存在した原発に関する国の各種審議会よりもなおいっそう権威的になった感がある。原発を規制する組織の検討会のあるべき姿とは正反対のものと言ってよい。この検討会で行われていることは、本連載のタイトル——「ゆがめられている事故原因の究明の道」——そのものである。連載2回目の今回は、タイトルとはある意味で真逆だが、福島原発事故に関して、新潟県がどのような検証作業を進めているかを紹介したい。

東京電力柏崎刈羽原発を抱える新潟県の技術委員会*1は、福島第一原発事故を独自に検証するために、昨年10月から「福島事故検証課題別ディスカッション」というものを行っている。ディスカッションの課題はつぎの六つで、各ディスカッションには3名の担当委員(課題5は2名)が参加している。担当委員以外の委員の参加は自由である。

- 課題1 地震動による重要機器の影響
- 課題2 海水注入等の重大事項の意思決定
- 課題3 東京電力の事故対応マネジメント
- 課題4 メルトダウン等の情報発信の在り方
- 課題5 高線量下の作業
- 課題6 シビアアクシデント対策

各課題とも、技術委員会の事務方が進行役を務め、委員と東京電力とが課題に沿って、狭い机を挟み、文字通り顔と顔をつきあわせて、ディスカッションを行っている。議論の内容によっては、第三者の意見を聴取することもある。これまでは

*1—正式名は「新潟県原子力発電所の安全管理に関する技術委員会」

的対応に過度に依存した過酷事故対応の成否の議論を、電力会社と原子力規制委員会(NRA)のホワイトカラーたちだけが議論し評定することに、私は心配を払拭できません。

もし仮に私が緊急対応要員に指名されたとしたら、次のように言うと思います。「ベストを尽くすことは誓います。しかし私は機械ではありません。厳しい環境では音を上げてしまうかもしれませんし、失敗するかもしれません。私はコンピューターでもありません。意表を突かれ、誤った判断をしてしまうこともあるかもしれません」。果たして、実際に原子力発電所で緊急対応要員に指名された職員の何人が、「任せて下さい。どんなことが起こっても絶対に100TBq以上のセシウムを外には漏らしません」と胸を張って言えるでしょうか。言ったとしても、実行できるでしょうか。電力会社は、現地の職員が、合羽と全面マスクを身に着けて実践的訓練をしていると言い、NRAの審査官は、それで納得しているようです。しかし実際には、その全面マスクのフィルターに霧を吹き付けられただけで水に溺れたように息苦しくなり、思わずむしり取りたくなります。レンチを使ってボルトを締めるといふ単純作業でさえ、フランジの向きが逆さになり、右手がふさがって左手でやろうとすると、うっかり緩める方向に回してしまうこともあります。「6」を「9」と読み違い、操作する弁を間違えることも、ネズミに意表を突かれて停電し、狼狽させられることさえあります。現場では、そのようなことが次から次と起こっていきます。

今回に詳述しますが、福島事故における対応をチェルノブイリ事故の場合と比較しながら振り返ってみると、さまざまな場面でかなり及び腰だったことがわかります。そんな事実も含め、原子力発電の技術も設備も、そこで働く電力会社の職員もメーカーの技術者も、結局、何一つ特別ではないという現実を受け入れ、過度な期待をしたり、無理な責任を押しついたりするべきではないのです。しかし、前号に述べた「がまの油売り」のような誇大な幻想が罷り通っています。

4 共有したい三つの教訓

電力会社やNRAの方々、彼らが議論している過酷事故対策と、私の下等なトラス除染の経験は別物だと言うかもしれません。技量もモラルも忠誠心も低い、私と私の仲間なんかとは一緒にするな、とも思うかもしれません。しかし、そのような驕りを捨て、本稿が彼らの目に止まり、次の教訓を共有してもらえることを願います。

教訓1 失敗と改善の反復なしに完全な手順はありえない

その意味で、過酷事故の対応手順書は実践経験ゼロで、完成度が極めて低いのだということを認識する必要があります。米国では、手順書が10年のうちに30回以上も改訂されることが珍しくありません。

教訓2 事故は意表を突いて起こる

工場での耐圧試験で安心していただけがずぶ濡れになったように、私たちの心理と予知能力には必ずスキがあり、コンピューターによる解析も例外とは言えません。埋もれた過去の教訓を掘り起こす温故知新は、経験不足の私たちが、なるべく意表を突かれないうためのせめてもの防衛ですが、完璧ではありません。

教訓3 実務者の労苦の軽減が第一ステップ

計画や設計段階では精一杯思慮をめぐらせたつもりでも、必ず予想外の労苦を強いられる場面に遭遇します。初めから難度の高い人的対応は排し、実務者の労苦を最小限にするあらゆる工夫がなされるべきで、その上で、たとえば達成制限時間に対して3倍、対応要員の必要人数に対して2倍の尤度を確保します。実際は、それらもギリギリ食い潰されます。