ファインマンが見た巨大装置の安全性
――原発への示唆

平田光司

ひらた　こうじ
総合研究大学院大学先導科学研究科

チャレンジャー事故大統領調査委員会の委員となった物理学者 R. ファインマン（1918～1988）の調査を追いつつ，原発災害の問題を考える。ファインマンは 1965 年に量子電気力学での功績により，J. シュウィンガー，朝永振一郎とともにノーベル物理学賞を受賞した。自伝的な読み物である『ご冗談でしょう，ファインマンさん』[1]をはじめ，多くの著書が邦訳されている。ガンの治療を続けながらカリフォルニア工科大学で研究教育に携わっていたが，事故調査委員会に入ることを頼まれ，命を縮める覚悟でそれを受諾した[2]。彼はこの調査に全力を注ぎ，報告書には彼の意見が強く出ている特別の付録[3]をつけた。報告書は 1986 年夏に完成，彼はそのあと「死ぬために」カリフォルニアに戻った[4]。

チャレンジャー事故

チャレンジャー事故とは，1986 年 1 月 28 日に起こったスペースシャトル・オービタ，チャレンジャーの爆発事故である。打ち上げから 73 秒後に突如爆発，搭乗員全員が死亡した。チャレンジャーには初めて，一般市民として高校教師のクリスタ・マコーリフが乗っており，宇宙からレーガン大統領と会話する予定だった。打ち上げ当日は寒く，固体ロケットブースターのジョイントに使用される密閉用の O リングが凍結し，そこから高温のガスが漏れだした（吹き抜け）ことが事故の原因と見られている。

2 月 3 日にファインマンの委員就任が決まるが，さっそくジェット推進研究所で第一線の技術者からレクチャーを受けている。その後も彼の調査の手法は，委員会が用意する資料や「おえら方」の話よりも，第一線の技術者と話をすることが中心だった。

その調査の中で，ファインマンはジョイントだけではなく，多くのパーツに問題があること，フライトごとに行なわれる安全性チェックの検定基準の厳密さが徐々に低下してきたこと（この判断は後に，より徹底的な調査[5]によって裏づけされている），さらに，第一線の技術者は危険に気づいて声をあげようとしているが，首脳部はそれを知らないこと（になっていること）を発見する。特に，シャトルの予想事故率の評価が第一線の技術者たちは 1/100 程度と比較的大きいのに，上層部は 10^{-5} 程度と見ている，という奇妙なことが起きている[2]。

常識的に考えても，10^{-5} などという小さな数字が，十分な根拠をもってでてくるはずがない。

> （計算書には）あるパイプが破裂する確率は 10^{-7} などと書いてあるが，そんなことが簡単に計算できるはずはない。1000 万に一つなどという確率を概算するのはほとんど不可能に近いはずだ。エンジンの一つ一つにつけた確率は，あとで足し合わすと 10 万分の 1 になるように，はじめから細工してあるのは見えすいていた[2]（引用文中の表記については若干の調整を行った，以下同）。

Safety of large devices as seen by R. Feynman: Implications for nuclear reactors
Kohji HIRATA

巨大なシステムが重大な事故を起こす確率はA. ワインバーグがトランス・サイエンスと呼ぶ「科学によっては答えられない」問題の典型例の一つである：

> 原子炉の大事故の可能性に対しては，各枝が何らかの要素の故障に対応しているもっともらしいイベントツリーを作る。それぞれの要素の信頼性は多くの場合，知られている。しかし，その計算はあきらかに疑わしい。まず，そのような計算から得られる確率は非常に小さい。たとえば，原子炉一つあたり毎年 10^{-7} のような数である。また，第2に，考えられるすべての故障が考えに入っているという保証はない。確率は非常に小さいので，この事故率を確かめる実際的な方法はない。たとえば，1000の原子炉を作って1万年間運転し，その運転記録を調べなければならない[6]。

ちなみに，A. ワインバーグはアメリカの原子力研究施設(オークリッジ国立研究所)の所長を長く務めた物理学者である。イベントツリーの方法は最近でも使われているようであるが，すでに1972年の時点でこれは信用できないとワインバーグが言っていたことは注目に値する。

低確率の事象

浜岡原発差止訴訟で被告側の証人となった班目春樹氏は原告側代理人(弁護士)の尋問に答えて次のように語った[7]。

> **班目(1)**「……非常用ディーゼル2個の破断も考えましょう，こう考えましょうと言っていると，設計ができなくなっちゃうんですよ。つまり何でもかんでも，これも可能性ちょっとある，これはちょっと可能性がある，そういうものを全部組み合わせていったら，ものなんて絶対造れません。だからどっかでは割り切るんです。」(中略)
>
> **弁護士**「……非常用発電機2台が同時に動かないという事態自体は，大きな問題ではないですか。」
>
> **班目(2)**「非常用ディーゼル発電機2台が動かないという事例が発見された場合には，多分，保安院にも特別委員会ができて，この問題について真剣に考え出します。事例があったら教えてください。ですからそれが重要な事態だということは認めます。」

この発言には「対策不能」と「対策不要」のふたつの要素が入っている。

「対策不能」とは，確率の非常に小さな現象は膨大に存在するので，それらすべてに対応することはできない，ということである。班目(1)はこちらにあたる。

「対策不要」とは，ある事象の確率が非常に小さいのであれば，それが重要な事態だとしても対策はとらなくてもよいことを意味する。班目(2)がそれにあたる。その事象がもし実際に起きたら，確率が意外に大きいのだとみなして対応を考える(それまでは対応しなくてよい)ということである。

この両者は論理的にはまったく異なるが，どちらも確率が非常に小さいことを前提としている。

チャレンジャーの場合にも，打ち上げの前夜に低気温によるOリングの性能低下を危惧する技術者の意見があったが，考慮する必要はないとされた。この判断が後に問題になったが，社会学者のコリンズとピンチはこの判断を支持している[8][以下CPと略す]。

> ジョイントが抱えている問題は，多くの事故調査担当者が推測しているように，NASAによって隠されたり無視されたりしたわけではなく，エンジニアたちは実に良くその問題点とリスクに気がついていたのである。彼らは，ジョイントとその問題点と何年もの間共存してきたのであり，その特性について自分たちは実によく理解していると考えていた。彼らは，ジョイントにはリスクがあり，さらには宇宙飛行士たちの

命にかかわるリスクがあることも知っていた。しかし，このことはシャトルの他の部分についても言えることなのである[8]。

つまり，Oリングの性能については十分に検討されており，不具合を起こす確率は非常に小さい。重大な事故が起きる確率は打ち上げごとに10^{-5}程度であることが共通の理解となっている（対策不要）。そして，Oリングを問題にするなら，ジェットエンジンも（タービンに亀裂が入ることも数多く観察されていた），その他の多くのパーツも同様に問題となる。そういうことを全部取り上げていたら，シャトルは永遠に打ち上げられないのである（対策不能）。

シャトルの大事故の確率もトランス・サイエンスである。真の確率はよくわからない。同じデータから大きく違う推測も導き得る。科学の決定不全性と言えるだろう。得られているデータは常にほとんど不十分なのであって，それから得られる予測，理論は一意的には決まらない。CPの見解は先端技術のもつ決定不全性を示した点では意味のあるものであったが，決定不全ならどんな決定をしてもかまわないという主張にもつながるものであり，NASAを免責する効果があった。

シャトルについて，最もよく知っているのはNASAという専門家集団であるから，その判断を信頼するべきか。ファインマンはNASAの判断を批判する。

以前，飛行中に浸食と吹きぬけの現れたシールドを，そのまま許容していたことは一目瞭然であり，今回のチャレンジャー飛行はその最たる例と言えよう。このような飛行の許容と成功が，そのまま安全性の証拠と考えられていた。浸食と吹きぬけは設計上予期されていたものではない。したがってこれこそ何かが正常でないことを示す警鐘だったはずである。……いままで，その危険が惨事を引き起こさなかったからといって，その原因が完全に理解されないかぎり，次回も安全である保証はいっさいない[3]。

同じリスクをもつ機械が以前事故を起こさずに飛んだとしても，そのリスクがなくなったわけではないと，ロシアン・ルーレットを例にとって説明している。まだ事故がないことをもって安全性の根拠とすべきではない。NASAは事故がないのは安全な証拠として，「警鐘」が安全を脅かすエビデンスであると見なさなかった。

NASA設立時やファインマン自身がかかわったマンハッタン計画では，そのようなことはなかった。

NASAが月にロケットを飛ばそうとしていた（アポロ計画）あの一時期には，みんなが熱意に燃え，なんとかしてその目標を達成したいという気持ちがみなぎっていた。……とにかくみんなが力を合わせ，努力を惜しまなかったのだ。こういうことに思い当たったのは，戦時中ロスアラモスで皆が一丸となって原爆を作るための努力をしていたときの，あの緊張と緊迫した気分を自ら経験しているからだ[3][p. 290]。

科学に決定不全性があるからこそ，技術においては探究心，協力と相互批判，なにより担当者の熱意と能力が必要となる。文献2には，ロスアラモスにおける開発研究がいかにオープンで知的刺激に満ちたものであったかが，生き生きと描かれている。アポロ計画を牽引したフォン・ブラウンが率いていたころのマーシャル宇宙飛行センターにも「自動責任」に代表される技術文化があった。それは，各技術部長は担当とは無関係に自分の専門がかかわるすべてのことに責任を負うというもので，これに加えて全員が計画全体の進行状況と問題点を把握し，技術的な決定も全員が同意するまで，時間をかけて議論することになっていた[9]。

成功するかわからない，しかし，なんとしても成功させたいプロジェクトなら，どんな細かな懸念も気になるだろう。それを自由に探求し活かせる体制が必要だ。マンハッタンやアポロ計画にはそれがあったと考えられる。

軍事技術としてのシャトル

ファインマンは安全基準が切り下げられていった理由を考察している：

> 妥当な打ち上げスケジュールを維持しようとするなら，もともと非常に安全な航空機を目指して設定されていた安全性確認基準に，シャトル工学が追いついていくことは不可能である。こうした状況の下で飛行計画のスケジュールに間に合わせるため，一見論理的な議論にもとづいて，しばしばその基準が微妙に変更される。（中略）もっとも重大な過失は，この危険な機械がいかにも通常の飛行機同様の安全性に達したかのように言って，一般市民の搭乗を奨励したことである。宇宙飛行士はテストパイロットと同じく，その危険性を承知しており，われわれもその勇気に敬意を表するものである[3][pp. 187～188]。

スペースシャトルはプロである宇宙飛行士が命を危険にさらして飛ばすものであった。これは東西冷戦の中でのシャトルの役割を考えれば納得できる。当時はソ連からのミサイルを検出して人工衛星からのレーザー光線でこれを撃ち落とすSDI（戦略防衛構想）が進行中だった。軍事技術ならば安全性が1%台という危険なものであっても仕方がない。しかし一般の航空機と同じ安全性が確立しているなどと見せかけるべきではなかった，ということである。シャトルのミッションは本質的には軍人の行なう戦闘行為であったのだろう。

原発がもし何が何でも動かさねばならないものであれば，班目発言のように割り切って，危険覚悟で動かすしかない。しかし，福島の例を見るまでもなく，ひとたび事故が起これば，近隣だけでなく世界中の一般市民が巻き込まれる。現在の安全レベルでは，たとえ軍事目的のものであったとしても，使ってはいけない技術だ。班目発言は実に正直に原子力の問題点を表現しているのかもしれない。「非常用電源のことを言うなら，他にもあちこちに同じようなことがあり手がつけられなくなる」のであろうか（対策不能）。

ファインマンはロケット技術については素人である。だからこそNASAの技術文化にとらわれない視点をもてたのだろう。その文化に汚染されていない最前線の技術者と話し合えたことは重要だった。また，マンハッタン計画に深く関わった科学者であったからこそ，NASAという専門家集団の問題点に気づいたと考えられる。専門外のことはその道の専門家に「おまかせ」ではなく，自分が多少とも関連する分野には関心と責任感をもって，必要とあれば批判・干渉を行なうことが科学者の「自動責任」と言えるのではないか。

本稿の内容についてはJST-RISTEX不確実な科学的状況での法的意思決定プロジェクト「法と科学」における議論から多くの示唆を受けている。

文献

1—R. P. ファインマン著，大貫昌子訳: ご冗談でしょう，ファインマンさん上，下，岩波現代文庫（2000）
2—R. P. ファインマン著，大貫昌子訳: 困ります，ファインマンさん，岩波書店（1988）中の「ファインマンさん，ワシントンに行く」
3—R. P. ファインマン著，大貫昌子・江沢洋訳: ファインマンさんベストエッセイ，岩波書店（2001）中の「スペースシャトル『チャレンジャー号』事故少数派調査報告」
4—ジェームズ・グリック著，大貫昌子訳: ファインマンさんの愉快な人生 I, II，岩波書店（1995）
5—D. Vaughan: The Challenger Launch Decission: Risky Technology, Culture and Deviance at NASA, The University of Chicago Press（1996）
6—A. M. Weinberg: “Science and Trans-Science”, Minerva, **10**, 209（1972）
7—（第17回班目反対尋問224～228項）原子力資料情報室から原子力安全・保安院へ送ったファックスより（http://cnic.jp/modules/news/article.php?storyid=558）。
8—H. コリンズ・T. ピンチ著，村上陽一郎・平川秀幸訳: 迷路の中のテクノロジー，化学同人（2001）2章「裸にされた打ち上げ」
9—佐藤靖: NASAを築いた人と技術—巨大システム技術開発の技術文化，東京大学出版会（2007）