

4 中央防災会議による東海地震の地震動 201
 5 では、どのような地震を考えるべきか 204
 6 では、原発のどこが危ないのか？ 206
 7 中部電力の「余裕論」と田中三彦氏の証言 211
 8 請求棄却判決の非科学性 212
 9 アスプリテイの位置はどのように定められたか
 についての溝上証言の信用性 218
 10 最後に 220

第六章 原発は正しい選択だったか……………山口 幸夫…………… 221

1 原子力とは 221
 2 原子力ルネッサンスか？ 236

日本の原子力発電所一覧 250

あとがき 251

第二章

はびこりはじめた「安全余裕」という危険神話

田中三彦

1 ■まるで原発などないかのように……■

いつのまにか55基

たとえば航空機事故がそうであるように、原発の大事故も起きるときはある日突然予告なしに起きる。このことを少しの皮肉を込めて言い換えれば、原発は大事故を起こす直前までは安全だ。原発の安全性とは本質的にそういうものであって、けっしてそれ以上のものではない。それが、大都会の東京、日本の首都・東京に原発が存在しない根本的な理由である。だが世の中には、「危険は現代の利便性の代償。危険だからゲンパツに反対だ」というなら同じ理屈で飛行機にも反対し、乗るべきではない」などと、勝ち誇ったように言い放つ威勢のいい文化人や技術評論家も少なくない。

2 ■ 「安全率」とは何だろうか？ ■

「三つの安全余裕」という新しい神話

われわれ一般大衆に原発の存在を忘れさせるための装置としての「原発安全神話」には、いろいろなものがある。世にかなり深く浸透している「原発は五重の壁で守られています」などはその一つだろう。燃料ペレット、燃料被覆管、原子炉容器^{*1}、原子炉格納容器、そして原子炉建屋——この五つが、原子炉からの放射能漏洩を防ぐ五重の壁であると、原発推進者たちは言う。この神話はチェルノブイリ原発事故の直後から日本で頻繁に使われ^{*2}、たぶん今でも、各電力会社のホームページにそれを見いだすことができる。

誰の創作神話だろうか。ひどく出来の悪い神話ではある。私は一九七〇年代前半に、数年間、原子炉容器の構造設計に関わっていたことがあるが、当時私がそれなりに真剣に取り組んでいたものが実は放射能漏洩を防ぐための三番目の壁の設計だったとは、少しも知らなかった。原子炉容器とは、中で核燃料を核分裂させ、そのとき発生する莫大な熱で湯を沸かし蒸気をつくるための容器だ。いつてみれば、それは巨大なヤカンである。ヤカンとは何か、と子どもに問われたとき、熱い湯が

*1 「原子炉圧力容器」とも言う。

*2 たとえば「原子力防災基礎用語集」サイトを参照 (http://www.bousai.ne.jp/vis/bousai_kensyu/glossary/ko23.ht)

人の顔にかからないようにするための鉄の壁だよ、などと答える大人がいるだろうか。燃料ペレットも、その燃料ペレットを収納している燃料被覆管も、原子炉容器も、けっして防護壁としてつくられているわけではない。それらはどれも原子力発電という、本質的に危険な目的を表現するための「危険なカラクリ」であり、断じて防護壁などではない。それらは原発の危険因子そのものであって、危険を防止するためのものではない。

なるほど、たつた一つ、放射能漏洩を防ぐことを唯一の目的とした壁がある。原発推進者が言うところの「四番目の壁」、原子炉格納容器がそれだ。そして、目的は壁などではないが、原子炉建屋も何かのとき壁として少しは役立つかもしれない。したがって、先の神話を正しく書き換えるとすれば、「原発の三つの危険なカラクリは、一つと少しの壁で守られています」となる。原発推進者はお気に召さないだろうが、このほうが科学・技術的にはよほど真実に近い。

一方、最近、新しい神話をしばしば耳にするようになった。「三つの安全余裕」というのがそれだ。原発推進者は、今後、「五重の壁と三つの安全余裕」などと、二つを組み合わせ標語のように使おうというのかもしれないが（ただし、この言葉の組み合わせの著作権は私にあるし、それはともかく、この三つの安全余裕という神話には十分注意がいる。すでにこの神話をもとに、原発推進者は、原発は十分余裕をもつてつくられている、とか、原発には強度的に十分余裕がある、などと胸を張って主張しはじめているからだ。

私がこの余裕論に初めて出くわしたのは、東海地震の想定震源域の只中で動いている中部電力・

浜岡原子力発電所1〜4号機の運転停止^{*1}を求める民事訴訟（以後、浜岡原発裁判と呼ぶ）との関係で提出された、ある陳述書を読んでいるときだった。その陳述書を書いたのは班目春樹・東京大学大学院教授。知る人ぞ知る、バリバリの原発御用学者である。氏は、被告・中部電力の証人の一人としてその陳述書を書き、それにそって証言を行った。私は原告側の証人の一人だったので、ある日、氏の陳述書に目を通して、この新しい神話に出くわした。

とりあえずその余裕論の要点を書いておけば、原発は実際は数十倍の安全余裕を有している、だから浜岡原発は十分安全だ、心配するな、というものだ。氏はこの余裕論で、浜岡原発は安全だ、東海地震が起きても何の心配もない、と主張しただけでなく、あるシンポジウムで、東電相崎刈羽原発が「想定を大きく上回る地震動を受けたにも拘らずなぜ原子炉の安全機能は維持されたか^{*2}」も説明してしまっている。よほどこの余裕論がお気に入りなのだろう。しかしこのように「実際は」をことのほか強調する氏の論理、何かを思い起こさせないだろうか。そう、あの耐震偽装問題だ。A元一級建築士に直接聞いてみないと分からないが、きつとこの安全余裕論、彼の頭の中にあつたものと完全に同じではないかと思う。実際はいろんなところに余裕があるはず、だから大地震が起きてもマンションやホテルがすぐ崩壊するわけではない、だとすれば余裕を削ってコストダウンすることは可能——多分あの耐震偽装事件は、一人の建築士のそのような危うい発想から始まったと、

*1 浜岡原子力発電所には5基の原発があるが、訴訟がなされたときは4号機はまだ建設が完了していなかったため、訴訟の対象にはなっていない。

*2 この「」の中の文は二〇〇七年十一月十四日に東京で開かれた「新潟県中越沖地震から得られた知見から更なる安全性の向上」と題するシンポジウムでの講演題目。

私は思っている。

原発に（あるいは、マンションやホテルに）実際どれだけ余裕があるかを論理的、数的に説明するのはきわめて困難、いや不可能である。事実、班目氏自身、前出のシンポジウムでこう論じている。「実際の余裕がどれだけか、積み上げて説明するのは困難であるが、実機相当のものの加震実験等からは数十倍あると想像される」（傍点は筆者）。まさにそのとおり、原発に十分な余裕があるというのは模擬実験結果からの想像の話であり、工学的に証明された話ではない。

原発やマンションの安全性を想像の話で保証するわけにはいかない。それらの安全性は想像や推論によつてではなく、あくまで合理的に保証されなければならない。関連する各種の法令、指針、技術基準はそのためにある。技術者はそれらにしたがつて原発を、あるいはマンションを建設する。だから原発やマンションの安全性はあくまでそれらの法令、指針、技術基準の範囲で論じられなければならない。それらの範囲を超えて、今はやりの安全・安心を論じるのはナンセンスであり、ルール違反である。何か都合が悪くなると「実際は……」という話を持ち出すのはいわば蒸し返しであり、そんな話は何によつても、また誰によつても保証されてはいない。あの元一級建築士の物件が問題なのはまさにその部分であり、実際に壊れるか壊れないかの話ではない。

* 実際の機器を、たとえば4分の1ぐらいの大きさを模したモデル構造物。

M^{*}6.8の中越沖地震が起きたとき、幸いにも柏崎刈羽原発の安全機能が維持されたことは、けつして、原発に十分な余裕があったという証拠にはならない。安全機能が維持されたというのは結果論でしかない。もしM^{*}7.2だったら？ もしM^{*}7.5だったら？ この問いに誰も確信をもって答えることはできない。中越沖地震は完全に想定外の地震だったから、その地震が起きたとき7基の柏崎刈羽原発は文字どおり運を天に任せた状態にあった。そのときの柏崎刈羽原発の挙動は、少しも工学的に予測されコントロールされたものではなかった。安全機能が維持されたのはたまたまであり、その「たまたま」を十分な余裕とすりかえて語ることは科学ではなく、人びとをミスリードする。

新米設計技師、丸棒を設計する

原発は十分な余裕をもつてつくられている、とする班目氏の「三つの安全余裕」論。この先、その余裕論が具体的にどういうものか、そしてその余裕論がどのようにおかしいかを明らかにしていこうと思うが、その前に「安全率」というものを少し詳しく説明しておきたい。この安全率を正しく理解しないかぎり、「原発には十分な安全余裕がある」などという原発推進側の常套句のウソを見抜くことはできない。

まず、構造設計とは言えないようなごく簡単な構造設計の話から始めてみたいと思う。ある眺め

*マグニチュード (Magnitude) の略。

のいい海辺に、半屋外式の広大な多目的イベント場が建設されつつあるとしよう。そのイベント場の天井を形成している頑丈な鋼鉄製の梁からは、重さ数トンの大型照明装置が一本の金属丸棒で吊り下げられることになっている。

そしてその丸棒の設計を、まだ経験も知識もあまりない新米設計技師が担当することになった。梁と丸棒の接合方法は上司のベテラン設計技師が考えるので、この新米技術者はとりあえず丸棒の材質と直径を決めればよい。それでも彼はドキドキしている。あまり安全を重視しすぎて必要以上に太い金属棒にはしたくない。梁から吊り下げられる照明装置は、実は全部で100ユニットもある。一つのコストの無駄は自動的に100倍になる。しかし、もちろん落下させたら大変だ。昔、東京の六本木でアイスコの照明器具が落下し、多数の死傷者が出たという話を上司から聞いている。太すぎず、かといって細すぎず、そんな最適な丸棒を設計しなければならない……。

というわけで、彼がどのように設計するか、その思考過程を追うことにする。なお、ここでは、このような大型照明装置の支持方法と関係するような法規や技術基準のようなものはいっさいないものと仮定する。

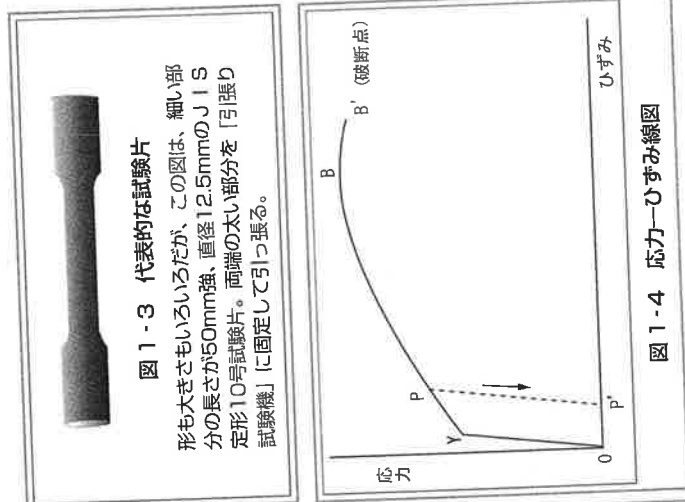
まずこの新米設計技師——以後S氏と呼ぶ——は、材料に何を使うかを考える。炭素鋼にするか、低合金鋼にするか、ステンレス鋼にするか、それともアルミにするか、などだ。錆びないステンレスやアルミという選択もあるが、S氏はコストを優先し、比較的安価な炭素鋼を選択することにした。材料は決まった。次は、いよいよ棒の直径を決めなければならないが、これはそう単純ではな

い。S氏の頭の中には今、構造設計者なら誰もが知っている「応力-ひずみ線図」が浮かんでいる。

応力-ひずみ線図の話

「応力-ひずみ線図」とはなんだろうか。図1-3のような形の金属試験片の両端を「引張り試験機」というものに取り付け、試験片の両端をゆつくり引張っていく。試験片は徐々に伸びていき、金属の種類にもよるが、炭素鋼

などの場合は突然一部分が急激に細くなり、最後にドンと鈍く大きな音を立て、そこからちぎれてしまう(あの「広辞苑」にも載っていないので付け加えておけば、材料がちぎれることを材料力学では「破断」という。破談、ではない。念のため)。このような試験を「引張り試験」と言うが、その際、試験片にかけた荷重(力)と試験片の伸び量を時々刻々正確に記録しておく。あとから図1-4のような「応



*これは原理的な話で、実際には試験片の伸び量を測定することはせず、試験片に「ひずみゲージ」というものを貼り付けて、直接ひずみ量を電気的に測定し記録していくのが普通だ。ただし、大きなひずみは測れない。

力-ひずみ線図」を描くことができる。この場合の応力とは、かけた荷重を試験片の断面積で割ったもの、ひずみは、試験片の伸び量を、元の長さで割ったものである。材料の成分元素や熱処理の履歴などが完全に同一で、試験温度が同じであれば、このようにして作成される応力-ひずみ線図はほとんど完全に一致する。

降伏応力と引張り強さ

まず、図1-4のOY部分に注目。そこには応力とひずみの間に十分な比例関係があることが分かる。そしてこの範囲の材料の変形を「弾性変形」と呼ぶ。弾性変形の最も重要な特徴は、荷重(応力)を取り除くと伸び(ひずみ)も消えて、元(O点)に戻るからだ。ゴム紐を少し引張って伸ばしても、力を除くと元の長さに戻るのと同じだ。しかしY点を超えると、材料の抵抗力が下がり、図のようにいたらだらと伸び始め、最終的にはB点を経てB'で破断する。そこでY点を材料の「弾性限界」とか「降伏点」と呼び、この点に対する応力をその材料の「降伏応力」と呼ぶ。一方、引張り試験における最大応力値(B点の応力)を、その材料の「引張り強さ」と言う。この先しばしばこの「降伏応力」と「引張り強さ」という二つの言葉が登場するので、よく記憶しておいていただきたい。

材料が降伏点(Y点)を超えて変形すると、興味深いことが起きる。たとえば炭素鋼をO→Y↓

*破断点B'に対する応力がB点に対する応力よりも小さいのは一見奇妙だが、これは次のような理由による。図1-4の破断の値は荷重Wを試験片の断面積A(一定)で割ったものだ。ところがB点を過ぎると、破断する部分の断面積が急激に収縮し始める(これを「断面収縮」と言う)。したがって、B点を過ぎると断面積が小さくなるので実際の応力(実応力)は急激に大きくなっている。

Pと引つ張ってから荷重(応力)を取り除くと、 $P \rightarrow Y \rightarrow O$ と来た道をなぞって戻るのではなく、 $O \rightarrow Y$ に平行な線 $P' \rightarrow P$ に沿って戻ることだ。その結果、荷重(応力)がゼロになっても伸びはゼロにならず、 $O \rightarrow P$ という伸びが残る。ゴム紐を引つ張りすぎると、力を除いても元の長さに戻らず、少し伸びが残ってしまうのと同じ現象だ。この $O \rightarrow P$ を「塑性変形」とか「永久変形」と呼ぶ。塑性ひずみ、永久ひずみ、と呼ぶこともある。

構造設計の基本——材料を「塑性変形」させてはならない

話を元に戻そう。ベテランの構造設計者であれば、材料が塑性変形を起こしてしまうような設計はしない。塑性変形すると材料がしなやかさ(専門的には「靱性」)を失って硬くなり(「硬化」)し、材料強度学的になにかと好ましくないからだ。それに弾性限界を超えると小さい荷重(応力)で大きく変形する(ひずむ)から、応力の推定を少し誤っただけでも材料が大きくゆがんだり一気に破損したりする恐れもある。とにかく、それやこれやで材料に塑性変形を生じさせないようにすることが構造設計の基本中の基本だ。新米のS氏もそれぐらいのことは知っていて、照明器具を吊り下げる丸棒が塑性変形を起こさない——つまり、照明器具を吊り下げたときに丸棒の断面に生じる応力(照明器具の重さを丸棒の断面積で割った値)が材料の「降伏応力」以下になる——ように丸棒の直径をきめようと決心する*。

*ここでS氏が具体的にどんな式を使って丸棒の直径を求めようとしているかを考えてみる。照明装置の重さを W 、材料の降伏応力を σ_y 、丸棒の直径を d とすると、丸棒の断面に生じる応力は照明装置の重さ W を丸棒の断面積 $\pi d^2/4$ で割れば求められ、 $4W/\pi d^2$ となる。これが σ_y 以下になればよいから $4W/\pi d^2 \leq \sigma_y$ 。この不等式を書き換えると、 $d \geq \sqrt{4W/\pi \sigma_y}$ となる。S氏はこの不等式を満たすように丸棒の直径をきめようとしている。

しかし、降伏応力以下といっても、具体的にはどのぐらいにするのが適当だろうか。断面に生じる応力をずばり降伏応力と同じにするのは少し心配だ。少し間違えば、丸棒が塑性変形してしまうからだ。かといって、降伏応力よりずっと小さくするのは、丸棒が大きくなりすぎて経済的ではない。なにしろ吊り下げる照明器具は全部で100ユニットもある。無駄なコストがかかる設計はしたくない。

S氏は、鉄鋼便覧のようなものを開き、自分が使おうと思っっている種類の炭素鋼(一口に炭素鋼と言っても種類はいろいろある)の降伏応力と引張り強さを調べる。その結果、降伏応力は60、引張り強さは100であることを知る*。そしてS氏は、照明器具を吊り下げたとき丸棒に発生する応力が40になるようにしようと決心する。降伏応力と同じ60ではなんとなく心配だし、かといって20とか30ではあまりにも余裕をとりすぎて不経済だ。降伏応力の三分の二の40あたりがなんとなく落ち着きがいい、そんなふうに思えたからだ。こうしてS氏は、「照明装置1ユニットの重さ÷棒の断面積=40」という関係式から、照明器具を吊り下げる丸棒の半径を首尾よく割り出した。

安全率は不確かさの程度をあらわしている

いよいよ安全率の意味を考えてみる。そこで、この新米設計技師のS氏が設計した金属製丸棒にはいったいどれだけの安全率がとられているか、まず、そこから考えることにする。構造設計者が

*話を単純化するために、ここでは一連の架空の数値を使っている。単位も規定していない。ここで目を向けてもらいたいのはそれらの数値の「比」であって、絶対値ではない。ちなみに、応力の単位には N/mm^2 とか MPa などが用いられている。

言う安全率は、第一義的には次のように定義できる。

安全率 \equiv 材料の引張り強さ \div 理論的に推定される応力の最大値……①

具体的に述べてみよう。S氏が設計しているような丸棒ならコンピュータを使う必要はないが、もつと複雑な形の構造物に荷重がかかる場合、構造設計者は通常コンピュータを使って「応力解析」というものを行う。応力解析を行えば、構造物のどこにどのぐらいの応力が生じるかが分かる。ただし、あとで詳しく述べるように、「分かる」と言っても、けっして真実の応力が分かるということではない。あくまでそういう応力が「理論的に推定される」という意味でしかない。この点はずくに注意がいる。が、とにかく、応力解析を行えば構造物に生じる応力のうち最大のもの（最大応力^{*1}）を理論的に推定することができる。そして、今仮にこれを50としておこう^{*2}。一方、使われている材料の引張り強さが150だったとしよう。すると①式から、この構造物の安全率は、 $150 \div 50 = 3$ 、ということになる。何かの理由で、理論的に推定される最大応力の3倍の応力が構造物中に生じると、その構造物の一部あるいは全部が破壊したり破損したりする可能性がある——これが安全率3の意味である。では、何かの理由、とは何だろうか。そこが、安全率の意味と関係する最も重要な部分だ。

*1 実際には「最大応力」ではなく別の種類の応力が使われることがあるが、その話は専門にすぎるので、ここでは「最大応力」で話をすすめる。
*2 実際にはこれに限りませんが、設計する一連の段階そのものに意味はない。

ところで、エレベーター、ケーブルカー、マンション、ビル、化学プラント、原発、等々、あげればきりがなが、社会的に安全性が強く求められている機械類や構造物は、関連する法規や技術基準にしたがって設計される。そして①式の「材料の引張り強さ」は、通常、それらに明記されている。これに対して同じ①式にある「理論的に推定される応力の最大値」は、構造設計者の考え方やセンス、計算手法などによつて小さくもなるし大きくもなる。しかし、それがあまり大きいと構造物の安全性を脅かしかねない。そこでたいてい関連法規や関連基準にその上限値が明記されている。この上限値のことを、その材料の「許容応力」という。そして構造設計者は、理論的に推定される応力の最大値がこの許容応力を超えないように構造物を設計する。しかし、これを逆の側面から言えば、構造物には許容応力に等しい応力が生じている可能性がある。その場合、先の①式は、次の②式ようになる。そして構造設計者は、ふつうこの②式のほうを安全率の式として思い浮かべることが多い。

安全率 \equiv 材料の引張り強さ \div その材料の許容応力……②

またこれは次のように書き直すこともできる。

許容応力 \equiv 材料の引張り強さ \div 安全率……②

では、S氏が設計した丸棒の安全率はいくらだろうか。丸棒の設計と関係する法規や技術基準はないとして話を進めてきたから、②式ではなく①式を使ってそれを求めてみよう。S氏が選択した材料（炭素鋼）の引張り強さは100だった。またS氏は、その丸棒に発生する応力（あるいは応力の最大値）がちょうど40になるように、丸棒の直径を割り出した。したがって①式から、安全率は、 $100 \div 40 = 2.5$ になる。

S氏も丸棒の安全率が2.5であることに同意する。では、この2.5の意味は何だろうか。S氏にその意味を尋ねてみる。すると、それは「安全余裕の程度である」と胸を張った。なぜなら、丸棒が本当に破断するには100の応力が必要なのに対して、発生応力を40に抑えている、その差60は安全余裕以外のなにものでもない、それはいわば贅肉であり、したがって「十分余裕をとった設計になっている」と。どこかで聞いた台詞だ。

ほとんどの人がこのS氏の説明を正しいものとして受け入れるのではないかと思う。私の思うところ、専門家でさえそのように考えている人はけっして少なくない。しかし安全率とは、S氏が言うような「安全余裕の程度」などではない。

ふたたび、S氏に尋ねてみる。この半屋外式のイベント会場は海沿いに建っているので、塩分を含んだ潮風に長期間さらされて丸棒の表面がボロボロに錆び、少し細くなるかもしれないが、そのことを考えているか、と（もしかすると、S氏は、海沿いの施設であることを考慮して、ステンレスやアルミのような錆びない材料を選ぶべきだったかもしれない）。すると、そんなことは考えなかったが、たと

え丸棒が少々やせ細っても、安全率2.5と、もともと十分余裕のある設計になっているから、その余裕の中で吸収される話であり、少しも心配はない、と。

では、その金属棒の加工はどこに頼むのか、本当にあなたが設計したとおりの寸法に加工してくれるという保証はあるのか、と。すると、たとえ少々削りすぎても、もともと十分余裕のある設計になっているから、その余裕の中で吸収される話であり、少しも心配はない、と。

では、丸棒はどこに材料メーカーから仕入れるのか、炭素鋼の性質や強度は微量に含まれている他の元素の量（これを「化学成分」という）でかなり変化するので、場合によってはあなたが想定している引張り強さや降伏応力の値が保証されない可能性があるが、そういう材料の品質の問題に関してはどう考えているのか、と。すると、それも余裕の中で吸収される話であり、少しも心配はない、と。

では、地震のことを考えているか、ある日突然予想もしないような大きな地震が近くで起きても、照明装置は落下しないと断言できるか、と。するとS氏は、ふたたび、地震のことは考えていない、なぜならイベント会場が建設されるあたりは歴史的に大きな地震が起きていないところだし、たとえ大きな地震が起きても、もともと十分余裕のある設計になっているから、その余裕の中で吸収される話であり、心配はないと思う……と。今度は少し自信なげだが、そのように言う。

この仮想問答からすでに明らかだと思うが、新米設計技師S氏の説明は明らかに矛盾している。S氏は、安全率2.5は安全余裕の程度であると言い、100と40の差60は安全余裕以外のなにもの

でもない胸を張った。しかしふつう「余裕」と言えば、本来必要ではない余分なもの、を暗示している。S氏も、余裕は一種の贅肉だと言った。実際、電力会社や原発御用学者が、「原発は十分余裕をもって設計されています」と言うとき、その意味は「本当はもつとギリギリに設計することだつて可能だつたが、住民の「安全・安心」のために贅肉をたっぷりつけて設計してある、だから心配無用」ということだろう。

ところが一方でS氏は、腐食の問題、製造加工上の問題、材料の品質の問題、想定外の地震の問題、などを問われると、それらは安全率2.5という余裕の中で吸収できる問題なので少しも心配することはない、などと言う。しかしもしそうであるなら、もはやその余裕は真の余裕ではなく、さまざまな「不確実な要素」を吸収するための見かけの余裕ということにならないか。100と40の差60は、あつてもなくてもよい（と言うよりは、ないほうが好ましい）メタボ的贅肉ではなく、いわば「なくてはならない贅肉」、言い換えれば「必要不可欠な安全代」ということにはならないか。

実際、構造設計における安全率とはそういう安全代をとることを目的とするものであり、一般に信じられているのとはちがひ、けつして安全余裕の程度を意味していない。

さらにそれぞれが、この先詳しく述べるように、安全率が大きい構造物は安全性が高い、ということではさえない。事實はむしろ逆だ。安全率が大きい構造物ほど、その構造物に安全性を脅かす不確実な要素が多く含まれていることを意味する。たとえば、安全率4の構造物と安全率3の構造物。両者のちがひを端的に言えば、安全率4の構造物のほうが安全率3の構造物よりいろんな面で「雑

につくられている」ということである。雑にもものをつくれれば、安全性を脅かす不確実な要素がそのぶん多く紛れ込んでくる。だから安全率を大きくとり——つまり、棒の直径を太くしたり、鋼の厚みを厚くしたりして——危険な要素に備える。安全率とはそういう意味のものだ。

日本には化学プラントとして設計された原発がある！

それでもなお、そんな話は信じられない、とのたまう、焼き栗より固い頭の方のために、分かりやすい実例を一つあげておきたい。

現在日本で稼働している55基の原発の中に、法規的にはなんと化学プラントとして構造設計された特殊な原発が二つあるのをご存じだろうか。日本原子力発電敦賀1号機と、関西電力美浜1号機がそれだ。この二つはわが国初の本格的商業用原発で、大阪万博が開催された一九七〇年、万博に合わせて運転が開始された。どちらも一九六〇年代半ばに設計されているが、当時、日本には原発の中核構造物に関する法的な技術基準が存在しなかつたため、この二つの原発の中核構造物はなんと化学プラントの技術基準に準じてつくられているのだ。その化学プラントの安全率とは言えば——専門的な細かい話を除外すれば——4である。つまり、敦賀原発1号機と美浜原発1号機の中核構造物は、ともに安全率4で設計・製造されている。そして、安全性を厚めの贅肉で確保しようとしているから、敦賀1号機や美浜1号機の原子炉容器や配管は、実は少々ずんぐりむつくり、メタボリックである。では、その後建設された残りの53基の場合はどうだろうか。それらはすべて、

「発電用原子力設備の構造等に関する技術基準^{*}」にしたがって安全率3でつくられている。それらは、化学プラントより注意深くつくられているので、そのぶん贅肉が削がれ、全体的にスリムな形をしている（だからといって、けつしてほめているわけではない）。

それはともかく、もしかするとあなたが堅く信じているように、安全率が大きい構造物ほど安全性が高いということなら、日本の原発でもっとも安全な原発は、化学プラントもどきの原発、敦賀1号機と美浜1号機ということになってしまう。あるいは、もっと端的に、安全率4でつくられる化学プラントのほうが安全率3でつくられている原発より安全性が高いという奇妙な結論を認めなければならなくなる。

ちなみに、航空機の安全率は1.5。安全率が大きければ安全性が高いと信じて疑わない頑固な人には、あまりお勧めの乗り物ではない。

3 ■ 原発はこんなに「不確実」 ■

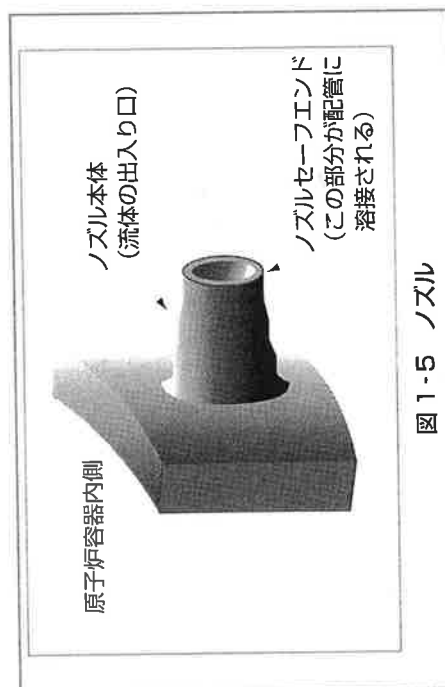
不確実さの塊、熱荷重

繰り返せば、安全率が大きい構造物は安全性が高いわけではない。そうではなく、その構造物には安全性を脅かす不確実な要素がそのぶん多く含まれているということだ。先の金属丸棒の構造設

* 通産省告示第501号。一九七〇年に施行され、一九八〇年に大改訂された。二〇〇六年廃止。

計という架空の話では、潮風による腐食、加工上の誤差、材料メーカーの品質管理、そして万一の地震、といったものがそうした不確実要素だった。では、肝心の原発の中枢構造物——たとえば、原子炉容器、蒸気発生器、そして冷却材や蒸気の通り道である各種配管など——の構造設計には、安全性を脅かすどんな不確実な要素が入り込んでいるだろうか。

原発の場合、まず、構造物の設計に使う荷重（設計荷重）そのものが、実は不確実であることだ。先の金属丸棒の場合、荷重は照明装置の重量一つだけだった。そして照明装置の重量は、それを構成する部品一つひとつの重量を丹念に計算し寄せ集めれば、ほぼ正確に算出できる。それは少しも不確実ではない。しかし原発の場合はそうではない。肝心要の設計荷重それ自身が、実は不確実なのだ。原子炉容器、ノズル^{*}、配管など、原発の重要な構造物^{**}に作用する荷重は、内圧力、自重（構造物自身の重さ）、熱荷重、地震荷重、などだが、このうちと



^{*}1 容器や配管に溶接されている管状の構造物の総称。原子炉容器に冷却材を送り込む「給水ノズル」、原子炉容器から蒸気を取り出す「蒸気出口ノズル」などいろいろなノズルがある。形が複雑なので応力解析が非常に難しいこと有名だ。ひび割れ事故がよく起きる部分でもある（図1.5参照）。

^{**}2 「構造物」と言うと、ビルや船のような本型の構造物をイメージしやすいが、ここでは必ずしもそういう意味でこの言葉を使っているわけではない。原子炉建屋から原子炉容器、ノズル、配管、ポンプまで、大きさに関係なく「構造物」である。

くに「熱荷重」と「地震荷重」は、以下に述べるように、きわめて不確実な荷重と言っても過言ではない。

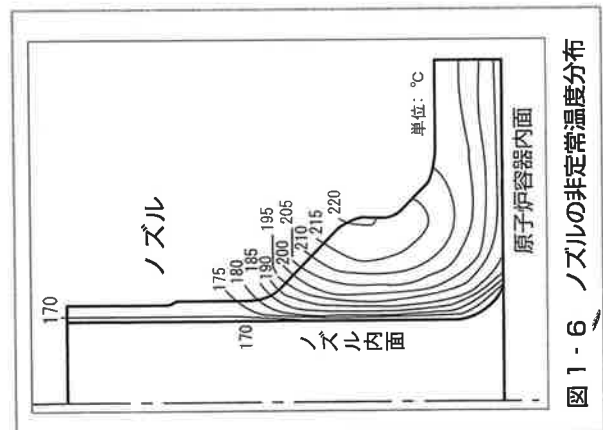
まずは熱荷重。熱荷重と言つてびんとくる人はそう多くないと思うが、具体的には、原発の運転中に構造物に生じる温度差（あるいは温度分布）を熱荷重と言う。たとえば定期検査が終わり、止まっていた原発が起動し始めると、原子炉容器、ノズル、配管などの各部が徐々に暖まってくるが、大雑把に言えば、そのとき原子炉容器やノズルや配管の内面の温度は外面の温度より高い。また原発が停止するときは、それとは正反対のことが起こる。起動時や停止時ほどではないが、通常運転中にも、構造物の各部にはなにがしかの温度差が生じている。このように、運転に伴つて構造物に生じるこうした温度分布が熱荷重だ。

熱荷重がなぜ重要かと言えば、それが次のようにして「熱応力^{*}」を生み出すからだ。温度が高い部分は低い部分より大きく伸びようとするが、低い部分がそれをばまおうとするので、伸びたいだけ伸びることができない。つまり、自由な伸びがなにがしか拘束される。こうして、温度の高い部分にはふつう「圧縮」応力が生じる。逆に、温度が低い部分は高い部分から、必要以上に伸びを強いられる。その結果、温度の低い部分にはふつう「引張り」応力が生じる。熱応力が引き起こす日常的な、しかし劇的な出来事は、冷たいガラスのコップに熱湯を一気に注ぐ（あるいは、熱いガラスのコップに冷水を一気に注ぐ）とピシッと音を立てて瞬間的にガラスが割れてしまうあの現象だろう。

*昔、ある市民勉強会で「応力に、熱い、冷たい、があるのか」と尋ねられたことがある。もちろんそんなことはない。応力の発生原因が「熱荷重」なので「熱応力」と呼ばれる。

コップの内面と外面に突然大きな温度差ができ、そのため大きな熱応力が生じ、ガラスが割れる。このように瞬間的に大きな熱応力を生じさせるような熱荷重はとくに「熱衝撃」と呼ばれている。

ついでに述べておけば、そんな熱衝撃は原発には無関係、と思う人も多いかもしれないが、実はそうではない。大ありである。たとえば、老朽化した加圧水型原発（たとえば、前出の美浜1号機）に関して、専門家が最も恐れているのが「加圧熱衝撃」(Pressurized Thermal Shock、略してPTS)と呼ばれる現象だ。老朽化した加圧水型原発の原子炉容器は、中性子を大量に被曝し、ひじょうに脆くなっている（これを「中性子照射脆化」と言う。詳しくは次章94ページ参照）。そんな原発になにかトラブルが起き、スリーマイル島原発事故のときのようにECCS（緊急炉心冷却装置）が作動し、高い温度、高い圧力の原子炉容器に冷たい水が一気に注入されれば、強烈な熱衝撃が起こる。これがPTSである。そしてPTSにより、脆化していた原子炉容器が一気に大破壊を起こす可能性がある。



本題に戻ろう。原発における熱荷重とは、起動

時、停止時、通常運転時からECCS作動時に至るまで、さまざまな運転状態に伴って構造物中に生じる温度差だ。原発を何年も運転していると、そうした温度差による熱応力が繰り返され、そのため構造物が金属疲労を起こして破損し（これを「熱疲労」という）、そこから冷却材が漏れることがある。そこで構造設計者は、想定されるさまざまな運転状態*一つひとつに対して、原子炉容器やノズルや配管などに時々刻々どのような熱荷重（温度差）が生じるか

* 原発の運転状態をその内容で分類すると、「通常状態」、「異常状態」、「緊急状態」、「損傷状態」に分類される。詳しくは表1-1を参照。

表 1-1 原発が想定している各種の運転状態

BWRプラント (通常状態)		PWRプラント	
運転状態 I (通常状態)	運転状態 II (異常状態)	運転状態 I (通常状態)	運転状態 II (異常状態)
(1) イロハニホ	(2) イロハニホ	イロハニホ	イロハニホ
<ul style="list-style-type: none"> 運転状態 I (通常状態) 起動 停止 出力待機 高温待機 燃料交換 外部電源喪失 再循環ポンプの故障 再循環ポンプの誤動作 負荷の喪失 主蒸気隔離弁の閉鎖 給水流量制御装置故障 圧力制御流量喪失 全タスビンラム 迷走安全弁誤動作 運転状態 III (緊急状態) 起動時における制御棒誤引抜き 出力運転停止ループ誤起動 再循環停止ループ仕切弁動作 過大圧力 再循環停止ループ (損傷状態) 再循環ポンプ軸固着 冷却材喪失事故 主蒸気配管破断事故 	<ul style="list-style-type: none"> 外部電源喪失 再循環ポンプの誤動作 負荷の喪失 主蒸気隔離弁の閉鎖 給水流量制御装置故障 圧力制御流量喪失 全タスビンラム 迷走安全弁誤動作 運転状態 III (緊急状態) 起動時における制御棒誤引抜き 出力運転停止ループ誤起動 再循環停止ループ仕切弁動作 過大圧力 再循環停止ループ (損傷状態) 再循環ポンプ軸固着 冷却材喪失事故 主蒸気配管破断事故 	<ul style="list-style-type: none"> 起動 停止 出力待機 高温待機 燃料交換 外部電源喪失 再循環ポンプの故障 再循環ポンプの誤動作 負荷の喪失 主蒸気隔離弁の閉鎖 給水流量制御装置故障 圧力制御流量喪失 全タスビンラム 迷走安全弁誤動作 運転状態 III (緊急状態) 起動時における制御棒誤引抜き 出力運転停止ループ誤起動 再循環停止ループ仕切弁動作 過大圧力 再循環停止ループ (損傷状態) 再循環ポンプ軸固着 冷却材喪失事故 主蒸気配管破断事故 	<ul style="list-style-type: none"> 制御棒クラスタ落下および不整合 1次冷却材中のほう素の異常希釈 1次冷却材流量の部分喪失 1次冷却系停止ループの誤起動 蒸気発生器への過剰給水 蒸気発生器への主給水喪失 外部電源喪失 (1, 2次系安全弁作動) 1次系の異常な減圧 1次系中の非常用炉心冷却系誤起動 出力待機中の非正常炉心冷却系誤起動 負荷喪失 原子炉トリップ 未臨界からの制御棒クラスタバンク異常引抜き 出力待機中の制御棒クラスタバンク異常引抜き 2次冷却系異常減圧 1次冷却材流量喪失事故 1次系冷却材流量喪失事故 1次冷却系細管破断事故 1次冷却材ポンプ軸固着事故 主給水管破断事故 1次冷却材喪失事故 主蒸気管破断事故 主蒸気発生器伝熱管破断事故 制御棒クラスタ飛出し事故

を理論的に細かく追って行く。この理論計算は、「非定常温度分布解析」と呼ばれている。図1-6はそのようにして得られた熱荷重（温度分布）の例だ。非定常温度分布解析によって構造物に生じる温度差が分かれば、それをもとに熱応力を計算したり、熱疲労の可能性を検討したりすることができる。

非定常温度分布解析は多くの手間を要するので構造設計者の頭痛の種だ。しかしもちろん問題は、それで設計者が頭痛を催すかどうかではない。真の問題は、それほど手間のかかる非定常温度分布解析を行って求めた熱荷重（温度差）が、いったいどれほど正確なのか、そこそこ合っているのか、それとも大きくちがっているのか、そういうことがさっぱり分からないことである。もし理論的に求めた熱荷重が実際の熱荷重とひどくちがっていたら、それをもとに理論的に推定する熱応力の値は全く意味をもたないばかりか、危険でもある。事実、一九七〇年代の前半までに建設された沸騰水型原発——原電敦賀1号、東電福島第一原発1、3号、中国電力島根1号、中部電力浜岡1号——で、まさにそのために、事故やトラブルが相次いだ。原子炉容器に取り付いている給水ノズルや制御棒駆動水戻りノズルというノズルが、「高サイクル熱疲労」によってひび割れを生じ、冷却水漏れの事故などを起こしている。

比較的小さな応力が何万回、何十万回と繰り返されることで材料が最終的に破損してしまう現象を「高サイクル疲労」と言うが、そのときの応力が熱応力である場合、それは「高サイクル熱疲

「劣」と呼ばれる。先の二つのノズルの高サイクル熱疲労の事故やトラブルは、基本的に、ノズルの中で起きている複雑な流体现象を構造設計者が正しく把握できず、そのためノズル本体の熱荷重を大きく誤ったために起きたものだ（給水ノズルに関しては、流体挙動が複雑になるような構造をしていたことが根本的な問題だった）。原発メーカー（東芝や日立）の構造設計者は、それらのノズルが40年以上高サイクル熱疲労を起こさないことを公式の計算書で示し、行政（当時の通産省資源エネルギー庁）もその計算結果を承認していた。ところが運転開始後わずか二三年のうちに、それらは相次いで事故やトラブルを起こした。

基準地震動 S_1 、 S_2

次は地震荷重。東海地震の理論的提唱者で、地震大国日本が原発をもっていることに強い危機感を抱いている地震学者・石橋克彦さんは、二〇〇七年夏の中越沖地震のあと柏崎市で開かれた市民勉強会の冒頭、「地震」と「地震動」と「震災」の三つを正しく区別して使う必要があると、おおむね次のように説明されていた——地震とは地下の岩盤が面状にズレ破壊を起こして地震波を放出する自然現象、地震動とは、その地震による近隣地点の大地の揺れ、そして震災とは、その揺れがもたらす社会的現象としての災害。付け加えれば、震災を天災と考える人は多い。しかし石橋さんが言われるように、震災は社会的現象にはかならない。地震や地震動という自然現象をわれわれ人間はどうすることもできないが、震災はそうではない。地震大国日本から原発をなくせば、地獄の

ごとき「原発震災^{*1}」を心配する必要はいつさいない。

たとえば、恐れられている東海地震が起きたとき、はたして浜岡原発は激しい揺れに耐えられるかどうか。その議論の出発点は、浜岡原発が「どんな地震動」を想定してつくられているか、である。日本には現在55基の原発があるが、一九七〇年代後半以降に設計された日本の原発はすべて、七八年九月に原子力安全委員会が公布した旧・耐震設計審査指針^{*2}（以下「旧指針」と呼ぶ）というものに規定されている二つの地震動 S_1 、 S_2 を前提に、構造設計がなされている。これら二つの地震動を「基準地震動」と言う。

では、基準地震動 S_1 、 S_2 とはどんな地震動か。まずそれをきちんと説明しなければならないが、旧指針に記されている説明は専門的で、難しい。かと言って、地震の専門家ではない私の解説では危なっかしい。そこで、ここでは、経済産業省資源エネルギー庁の原子力広報サイト「e・原子力^{*3}」が、一般の人びとに向けて書いている説明文を使うことにする。ただし、これはこれで分かりにくいところがあったので、文の順番を入れ替えるなど、少し手直しをした。前置きをもう一つ。それは、「最強」と「限界」という二つの言葉についてである。ふつう最強と言えはそれ以上強いものはないことを意味している。しかし旧指針においてはそうではない。その上にもう一つ「限界」というのがある！「限界」は「最強」より強し、という不等式を頭に入れて、以下をゆつくり読んでいただ

*1 地震によって震災と原発災害が同時進行する凄絶な混乱状態を意味する言葉で、石橋克彦さんの造語。

*2 正しい名称は「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」。一九七八年九月に公布されている。二〇〇六年九月に大改正されたので、「旧」という文字をつけた。

*3 この原稿を書き終えた直後に閉鎖になった。

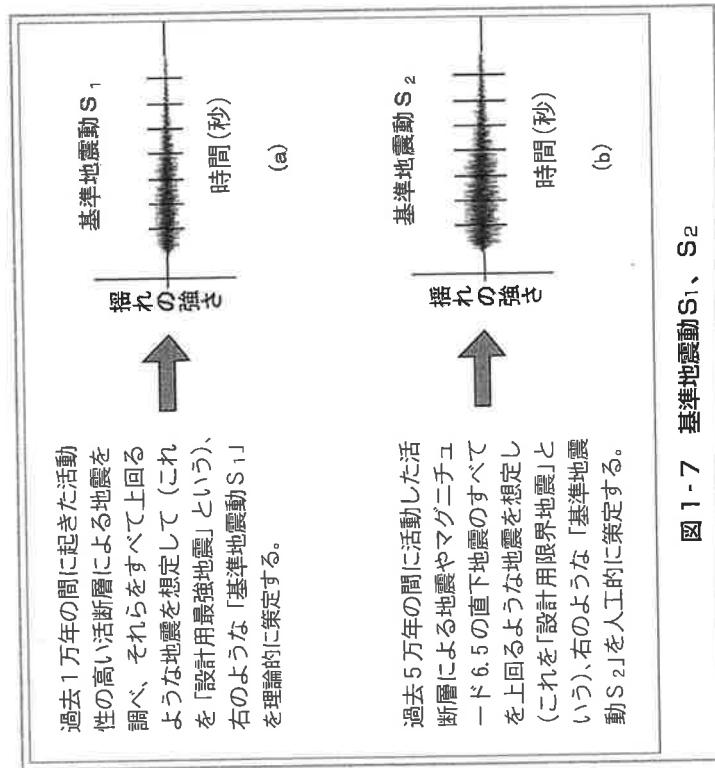
きたい (傍点は筆者)。

基準地震動 S_1

まず、過去の地震や、過去1万年の間に活動した活動性の高い活断層による地震について、それぞれの揺れの周期や強さを評価します。次に、これらをすべて上回るような地震の揺れを、「将来起こりうる最強の地震 (設計用最強地震) による揺れ」として設定します。この揺れを、設計用最強地震による基準地震動 S_1 、と言います (図1.7 a)。

基準地震動 S_2

まず、過去五万年の間に活動した活断層による最大想定地震と、地震地体構造から考えられる最大の地震につい



て、それぞれの揺れの周期や強さを評価します。さらに、直下地震^{*}による地震の揺れも考慮します。次に、これらすべてを上回るような地震の揺れを、「およそ現実的ではないと考えられる限界的な地震 (設計用限界地震) による揺れ」として設定します。この揺れを、設計用限界地震による基準地震動 S_2 、と言います (図1.7 b)。

要するに、将来起こる可能性のある最強地震による地震動が S_1 、およそ現実的ではない限界的な地震による地震動が S_2 、である。これをさらに言い換えると、 S_1 は原発の最長60年の使用期間中に実際に生じる可能性のある最も強い揺れ、 S_2 はその使用期間中に生じる可能性がほとんどない仮想的な揺れ、である。

壊れなければいい!

ところで、原発の耐震設計では、そもそもなぜこのように強さの異なる二つの地震動を想定しているのだろうか。地震動 S_2 は地震動 S_1 より強いから、 S_2 に耐えるように設計すれば S_1 にも耐えるはずで、わざわざ S_1 のようなものを想定する必要はないはずだ——この当然の問いに対する答えは、旧指針特有の耐震基準にある。旧指針は、 S_1 と S_2 、それぞれに対して、異なる耐震基準を設けているのだ。ごくごくひらたく言い換えると、将来実際に起こる可能性のある地震動 S_1 に対しては「それなりに頑丈に」、起こる可能性がほとんどない仮想的に強い地震動 S_2 に対しては「壊れなければ

^{*}具体的には、敷地に関係なく、いわば全国一律にM6.5の直下地震を考える。

よし」という、いわばダブルスタンダードを採用しているのである。以下にもう少し正確に書いておく。

まず地震動 S_1 に対して旧指針は、原発の重要構造物に生じると理論的に推定される応力が材料の降伏応力以下であることを求めている。つまり、地震動 S_1 によつて原発が大きく揺れ動いても、重要構造物の変形は弾性変形の範囲内にあらねばならない、ということである。あるいは、揺れが去ったあと重要構造物は何事もなかったように完全に元の姿・形に戻らねばならない、ということである(22ページの図1・4参照)。一見、文句の言いようのない耐震基準のようだが、実はかなりぎりぎりの、リスクな基準であると言わねばならない。なぜなら、理論的応力がずばり材料の降伏応力値になつてもよいとしているからだ。

あとで詳しく述べるが、設計者が理論的に推定する応力には、必ずなにかしかの不確かさが含まれる。それは大きいかもしれないし、小さいかもしれない。計算手法によつても、設計者の能力やセンスによつても、それは変わる。計算まちがひということさえある*。理論的に推定される応力とは元来そうしたものであつて、誰が計算しても同じ、というものではない。したがつて、たとえ理論的に推定される応力が材料の降伏応力以下になるように設計されたとしても、実際に S_1 のような揺れが生じた場合、構造物中には材料の降伏応力を超えるような応力が発生するかもしれない。そしてその結果構造物はゆがむかもしれない。誰もその可能性を否定することはできない。先に「それなりに頑丈に」と書いたのはそういう理由による。

*一九八〇年代はじめてから最近まで、原発メーカーの日立が行なつてきた配管の応力解析には、コンピュータプログラムの欠陥による誤りがあることが最近判明した。

一方、 S_2 に対する耐震基準はさらにリスクだ。旧指針は、構造物に生じると理論的に推定される応力が材料の降伏応力のある程度超えること——つまり、構造物がある程度塑性変形する(ゆがむ)こと——を許しているのだ。ある程度とはどの程度か、ということになると、話が非常に専門的かつ煩雑になるのでここでは省くが、22ページの図1・4でそれを大雑把にイメージしてもらつたと、 S_2 という揺れに対しては、理論的応力がY点を超え、たとえばP点に至ることが許されているのだ。

原発は頑丈につくられていると思つている人は多い。あるいは、巨大地震に対して原発は十分余裕をもつて設計されていると信じている人は多い。実際、国や電力会社は、いつもそのように説明してきた。しかし実際はそうではない。将来現実にかかる可能性がある地震動 S_1 に対してはそれなりに頑丈に設計されているが、起こる可能性がほとんどない S_2 というより強烈な揺れに対しては、そうではない。構造物はゆがむ可能性がある。旧指針は、ゆがんでも壊れなければいい、放射性物質をまき散らさなければいい、という考え方を採用しているのだ。 S_2 に対するこの耐震基準を、原発技術者のための専門書『原子力発電プラントの構造設計』(日刊工業新聞、一九八四)の中(473ページ)で、著者の林喬氏は「こわれないことのチェック」と書いている。とても、原発には十分な安全余裕がある、という話ではない。

しかしなぜそのようなリスクな基準があえて採用されているのだろうか。答えは単純、コスト優先である。仮想的に強い地震動 S_2 に対して原発を頑丈につくつていたのでは、構造物が肥大化し

*中部電力浜岡原発は、想定東海地震を上回るような地震が発生した場合に備え、全5基の原発を対象に「880ガル補強」なる補強工事を始めた。このようにあとから補強する場合は少し事情が異なるとしても、この補強工事には1基当たり数十億円から100億円の費用がかかるとされている。

て建設コストがかさんでしまう*。もともと設計用限界地震のようなものは起きる可能性がほとんどないのだから、そんなものに対してまで原発を頑丈に設計する必要はない。万一そのような地震が起きた日には、ゆがんでもやむなし、壊れなければいい、そういう考え方だ*1。

「まさか！ そんな……」——地震荷重はこんなに不確実！

すでに書いたように、基準地震動 S_1 、 S_2 は、原発が建設される敷地近辺で起きた過去の地震や活断層などをもとに、理論的に策定される。原子炉建屋、その建屋に収納されている原子炉圧力容器、各種配管、ポンプ、といった重要構造物は、それら二つの基準地震動をもとに耐震性がチェックされる。

一九七八年九月に旧指針が公布されてからかなり長い期間、国が、電力会社が、原発御用学者が、そして原発メーカーの技術者が、旧指針による耐震設計に少なからぬ自信を抱いていた。しかし一九九五年阪神淡路大震災が起き、その自信がゆらぎ始めた。事実、原子力安全委員会は翌九六年から原子力施設の耐震安全性の調査を始め、二〇〇一年には「耐震指針検討分科会」を設置し、旧指針の改訂作業に入った*2。そんな中、二〇〇三年五月には三陸南地震(M7.1)で、二〇〇五年八

*1 ゆがんでもよい、壊れなければいいという考え方はもともとアメリカからきている。日本の原発の重要構造物は実質的にアメリカ機械学会(ASME)が策定したASME Code Section IIIに準じてつくられてきた。このSection IIIは、荷重内容や発生応力の種類によって応力の評価基準を定めるという設計手法を最初に採用し、注目を浴びた。基本的にはそのASME Code Section IIIの応力評価法を耐震設計に採り入れたものが、日本の旧指針の応力評価法である。
*2 二〇〇六年九月に新しい「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」(新指針)が公布された。

月には宮城県南部地震(M7.2)で、東北電力女川原発が大きく揺れ動いた。そしてどちらの場合も、「応答スペクトル図」というもので比較すると、特定の周期帯で、観測された地震動が S_2 をも上回っていたことが明らかになった。ついで、二〇〇七年三月、今度は能登半島地震(M6.9)で北陸電力志賀原発が、これまた大きく揺れ、同様の事態が起きた。

S_2 とは、「およそ現実的ではないと考えられる限界的な地震(設計用限界地震)による揺れ」だ。それが女川で、志賀で、こうもあつさり超えられたとなると、 S_2 を「およそ現実的ではない揺れ」などと呼ぶのは、それこそ現実的ではない。原発の耐震設計が大きな社会問題としてクローズアップされ始めた。危ないのは女川、志賀ばかりではない、日本の原発の耐震設計には根本的に問題があるのではないか、旧指針による地震動の策定は甘かったのではないか、東海地震の想定震源域の只中に建つ浜岡原発は本当に安全か。原発という不安を抱え込む多くの地域住民がそれを問い始めていたまさにその時、新潟県中越沖地震(M6.8)が起き、世界最大の原発基地、東京電力柏崎刈羽原発が大きな損傷を被った。

ところで、これまで S_1 、 S_2 などと書いてきたが、肝心な“中身の話”をあまりしてこなかった。図1.8a、bは、 S_1 、 S_2 の例である。図の横軸は時間(秒)、縦軸は水平方向の加速度だ*3。使われ

*1 特定の地震動に対して構造物がどのように応答するかを、横軸に構造物の固有周期、縦軸に応答加速度や応答速度をとって示したものの。
*2 原発の重要構造物の固有周期はおおよそ0.1~0.3秒にある。この周期帯を長周期側にはずれた周期帯で S_2 を上回るどころがあった。
*3 ここでは縦軸に加速度をとっているが速度や変位をとることもある。