

シリーズ■大震災以後<第14回>

原発震災

破壊を避けるために

石橋克彦

地震列島日本で、原子力発電所(原発)の原子炉が現在51基運転されている(図1)。

通産省⁽¹⁾は、原発は建設から運転まで十分な地震対策が施されているとして、以下の項目を挙げている: (1)活断層の上には作らない、(2)岩盤上に直接建設、(3)最大の地震を考慮した設計、(4)大型コンピュータを用いた解析評価、(5)自動停止機能、(6)大型振動台による実証、(7)津波に対する対策。しかし、本当に耐震安全性は万全なのだろうか。

想定地震に関する致命的誤り

上記のうち(1)と(2)は当然のことであり、(3)が適切かどうか基本的な重要である。

(3)は二段階でおこなわれる。まず過去の地震と過去1万年間に活動した活断層による地震との応答スペクトル(揺れの周期ごとの地震動の強さ)を評価して、それらを上回るものを“将来おこりうる最強の地震による地震動”(設計用最強地震による基準地震動 S_1)として設定する。さらに、過去5万年間に活動した活断層による最大の想定地震、地震地体構造から考えられる最大の地震、 M (マグニチュード)6.5の直下地震、の3種の応答スペクトルを評価し、それらすべてを上回るものを“およそ現実的ではないと考えられる限界的な地震による地震動”(設計用限界地震による基準地震動 S_2)として設定する。そして、原子炉圧力容器、原子炉格納容器、制御棒、残留熱除去系などの最重要な機器・施設は S_2 で、また非常用炉心冷却系などは S_1 または建築基準法の3倍の地震力のいずれか大きいほうで、それぞれ機能を失

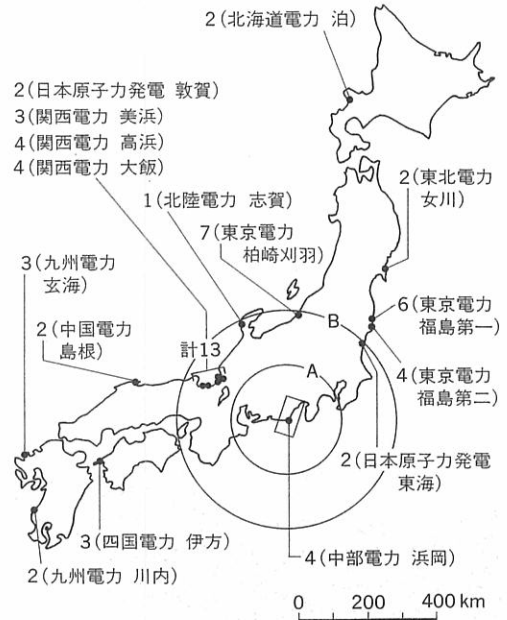


図1 日本の原子力発電所の分布。数字は運転中の原子炉の数。浜岡原発を囲む矩形は東海地震の予想震源断層面の地表投影⁽⁵⁾。円は、浜岡3号炉が炉心溶融をおこしたときの風下側の長期避難領域を示す⁽¹⁰⁾(Aはチェルノブイリ事故の際に旧ソ連が設定した基準、Bは白ロシア共和国が設定した基準による)。

わないように設計する。しかし実は、これらの作業の根底をなす地震の想定が根本的に間違っており、したがってそれにもとづく地震動の評価と耐震設計はきわめて不十分だと考えられる。

通産省は、“活断層がなければ直下の $M7$ 級大地震はおこらない”という考えにもとづき、原発は活断層の上に立地しないからその直下で $M6.5$ を越える地震が発生することはないという。このような考え方は、兵庫県南部地震のあと社会全般にも広く喧伝されているが、地震科学的に完全に誤っている⁽²⁾。

活断層というのは、大地震(=地下の広大な震源断層面に沿う岩石のずれ破壊)の際の地表のずれ(地表地震断層)が最近の地質時代(研究者によって数十万~200万年間)に何度も同じ向きに生じて累積し、地形や地層のずれとして線状に認められるものである。したがって、顕著な活断層があれば、その地下に広がる面で将来も大地震がおこる可能性があるのは確かである。しかし、大地震の震源断層面が深くて岩石のずれが地表に現わ

れなかったり、大地震がまれにしかおこらなくて地表のずれが浸食されて累積しなかったりすれば、地下に大地震発生源があっても活断層はできない。つまり、活断層がなくても直下の大地震がおこる。現に、1927年北丹後地震($M7.3$, 死者2925人), 1943年鳥取地震($M7.2$, 死者1083人), 1948年福井地震($M7.1$, 死者3769人)などは、いずれも地表地震断層を伴う海岸近くの直下地震だが、活断層が認識できないところで発生した⁽³⁾。

日本列島の変動に関する最近の研究⁽⁴⁾によれば、北海道から新潟県にかけての日本海東縁の海域・陸域は、日本海の海底の岩板と東北日本の岩板が衝突している地帯である。また、それ以西の山陰・北九州にいたる日本海沿岸域は、日本海の海底の岩板と西南日本の岩板がずれあっている地帯と考えられる。その表われとして、これらの地域では、歴史上多くの大地震が带状におこっている。前記の3地震はその一部だが、そのほかにも1793年西津軽, 1804年象潟(秋田・山形県), 1872年浜田(島根県)などの $M7$ 級地震が海岸付近で発生している。これらの地震では海岸部のいちじるしい隆起が生じたが、震源に対応する活断層は知られていない。

通産省は、有史以来の地震を調べて、そのなかから最も大きな影響を与える可能性のある地震を選定するとしている。しかし、日本海沿いは最近200万~数十万年間に活発化しつつある変動帯で、しかも地殻ひずみの進行速度は遅いから、具体的な大地震発生場所としては、むしろ有史以来の大地震が知られていないところこそ注意すべきである。なお、地震地体構造の調査検討によって限界的な地震の規模と場所が想定できるとされているが、地震地体構造論というのは地震科学の研究課題であって、安全確保のための客観的根拠として使えるものではない。

以上のことから、日本海側の原発はどこでも、直下で $M7$ 級の大地震がおこっても不思議ではない。たとえば13基の原子炉がひしめく若狭湾地域は、前記の福井地震と北丹後地震の震源域の間だが、似たような直下地震の発生を警戒したほうがよいくらいである*。

要するに、原発を直撃する可能性のある重大な大地震が抜け落ちている。“設計用最強地震による基準地震動 S_1 ”としては、現行の“設計用限界地震による基準地震動 S_2 ”よりも強大なものを設定しなければならないし、 S_2 としてはさらに大きなものが要求されるのである。それが実施されたとしても、つぎにみるように万全とはいえない。地震の想定が間違っていれば、大型コンピュータや大型振動台を駆使しても意味がない。

東海地震と浜岡原発震災

発生が懸念される $M8$ 級東海巨大地震の想定震源断層面の真上、静岡県御前崎のやや西に、中部電力浜岡原子力発電所がある(図1)。約四半世紀前に東海地震をまったく予想せずに着工された1,2号機を含めて、4基のBWR原子炉の電気出力は合計約360万kWである(中部電力の発電設備全体の約13%)⁽⁶⁾。東海地震は直前警戒態勢がとられているが、地震予知情報が出ないで不意打ちになる可能性も高い。東海地震が突然浜岡原発を襲った場合を例に、原発が大地震に直撃されるとどんなことがおこるかを考えてみよう。

地震源での岩石破壊過程は地震ごとに複雑であり、 $M8$ 級東海地震の実態は、 $M7.5$ 級の直下地震が複数連発するような現象になるかもしれない。浜岡での地震動の時刻歴や継続時間は、兵庫県南部地震の震度7の地点よりも複雑で長時間で、はるかに厳しいはずである。また、前回の1854年安政東海地震($M8.4$)では、 $M7\sim7.5$ の最大余震が天竜川河口付近でおこったが、そのようなものが本震と同時か直後に浜岡直下で発生する可能性もある。前述のように活断層の有無は問題ではない。したがって、原発を直撃する地震動は、岩盤

* 活断層がなくても直下の大地震がおこりうるという事情は、太平洋側の原発でも同じである。それ以外に、北海道~関東の太平洋岸では、沈み込んだ太平洋プレート中の深さ数十kmで、1994年北海道東方沖地震($M8.1$)のような巨大地震が発生する可能性を考慮しなければならない⁽²⁾⁽³⁾。東海地方以西の太平洋岸では、沈み込んだフィリピン海プレートについて同様の注意が必要である。ところが通産省⁽¹⁾は、プレート境界の地震と内陸の活断層の地震しか考えていない。

原子力発電とは⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾

ウラン 235 の原子核が中性子 1 個を吸収すると核分裂をおこして 2, 3 個の中性子を出す。そのうちの 1 個だけがつぎの核分裂をおこすように制御すると、爆発的でない連鎖反応が持続する。その際放出される莫大なエネルギーによって水を蒸気に変え、その蒸気で発電機のタービンを回して発電する。

ウラン 235 に吸収されて核分裂をおこしやすいのは遅い中性子なので、核分裂で飛び出す中性子の速度を落とす減速材が必要である。減速材として軽水（ふつうの水）を使う原子炉を軽水炉という。この水は同時に、炉心の冷却材として、また発電用の熱を取り出すものとして、必須である。日本では、東海 1 号炉（ガス冷却炉）以外は軽水炉で、沸騰水型炉（BWR; Boiling Water Reactor）が 28 基（うち 2 基は改良型 ABWR）、加圧水型炉（PWR; Pressurized Water Reactor）が 22 基ある⁽⁶⁾。

原子炉は圧力容器中であって、濃縮ウランで作った多数の燃料棒が冷却水の中につかっている。また、中性子を吸収して核分裂を制御する制御棒が、燃料集合体の間に入出できるようになっている。容器内の圧力は BWR で約 70 気圧、PWR で約 160 気圧あり、冷却水の温度は前者で約 290°C、後者で約 340°C になる。いっぽう細い燃料棒の中心温度は、運転中は約 2000°C にも達する。BWR では冷却水は蒸気になって直接タービンに送られて循環し、PWR では沸騰せずに蒸気発生器に導かれて二次冷却水を蒸気にして循環する。両者とも、タービンを回した蒸気は復水器で海水によって水に戻される。

原子炉が稼働すると、炉心に莫大な核分裂生成物（および、ウラン 238 から生ずるプルトニウム 239 など）が溜まる。それらは、放射能をもつストロンチウム 90（半減期 28.8 年）、ヨウ素 131（同 8.0 日）、セシウム 137（同 30.1 年）など多種類で、放射線によって人体の組織や細胞を破壊する。日本で一般的な 100 万 kW 級の原子炉を 1 年間運転すると、広島型原爆 700~1000 発分の放射能が溜まるという。

要するに原発とは、炉心に莫大な核・熱エネルギーと“死の灰”を凝縮しつつ、無数の配管とポンプと弁を通して高流速で循環する大量の高温・高圧の熱水と蒸気が、核分裂連鎖反応を微妙にコントロールしている巨大システムである。

原子力発電所の事故⁽¹⁰⁾⁽¹²⁾

原発事故で恐ろしいのは、炉心に溜まっている莫大な放射性物質が環境に放出されることである。それを防ぐために、原子炉は、圧力容器、格納容器、原子炉建屋の外部遮蔽コンクリートで防護されている。しかし、核暴走（86 年の旧ソ連チェルノブイリ事故が実例）と炉心溶融（79 年の米国スリーマイル島事故が実例）という過酷事故が発生すると、炉心で大規模な水蒸気爆発や水素爆発や核的爆発を生じ、防護を破壊して大量の放射能を外界に撒き散らす危険性がいちじるしく高まる。

核暴走は、炉心の水と蒸気の泡の状態が何らかの原因で変化して遅い中性子の数が増え始めると、核分裂の連鎖反応が急加速されて、秒単位で生ずる。暴走を止めるには、制御棒を急速に挿入して核分裂反応の緊急停止（スクラム）をおこなう。いっぽう、燃料棒中の放射性物質は多量の崩壊熱を発生するから、核分裂反応を止めても炉心の温度上昇は続く。配管の大破断や水漏れ、ポンプ・弁の故障などで冷却ができないと、燃料棒が溶けて崩れる炉心溶融にいたる。燃料棒被覆管のジルコニウムが高温で水と反応すれば、さらに発熱するとともに、水素爆発のもとになる水素が発生する。緊急に冷却材を供給する仕組みとして緊急炉心冷却装置（ECCS）があるが、それが機能する事故条件は限られている。

水・蒸気の循環系統は複雑・微妙であるうえに、放射能や高温・高圧・高速流・振動などによって劣化している（応力腐食割れなど）。また、建設時の材料や溶接の欠陥も重大である。しかも致死的な放射能が蓄積しているから、万全な点検や補修は困難である。元現場責任者によると⁽¹³⁾、施工・保守の杜撰さ、現場の過酷さ、下請作業員の悲惨さなどは深刻である。圧力容器でさえ長年の間には放射能で脆化し、衝撃的な力で破壊しかねない。BWR では再循環ポンプ、PWR では蒸気発生器の細管がとくに問題だが、事故の要因は無数にあり、これまでにとも重大事故や多くの小さな事故がおこっている。

日本では過酷事故は絶対におこらないとされていたが、電力業界は過酷事故対策をとることに方針転換し、95 年末に原子力安全委員会に了承された。BWR の格納容器内に充満した放射性ガスを大気中に放出して爆発を防ぐなどだが、問題が多い。

で600ガル(加速度の単位)という3,4号機の S_2 (1,2号機は450ガル)⁽⁶⁾を越える恐れが強い。その恐れは、岩盤とされている地層が砂岩泥岩互層の軟岩で、1978年伊豆大島近海地震の際に沖積砂層と同等かそれ以上の応答スペクトルを示した⁽⁷⁾ことから強く懸念される。さらに、地震時に浜岡は1m程度隆起すると考えられるが⁽⁵⁾、それに伴って地盤が傾動・変形・破壊すれば原発には致命的だろう。津波に関して中部電力は、最大の水位上昇がおこっても敷地の地盤高(海拔6m以上)を越えることはないというが⁽⁸⁾、1605年東海・南海巨大津波地震のような断層運動が併発すれば、それを越える大津波もありうる。

原発にとって大地震が恐ろしいのは、強烈な地震動による個別的な損傷もさることながら、平常時の事故と違って、無数の故障の可能性のいくつものが同時多発することだろう。とくに、ある事故とそのバックアップ機能の事故の同時発生、たとえば外部電源が止まり、ディーゼル発電機が動かず、バッテリーも機能しないというような事態がおこりかねない。したがって想定外の対処を迫られるが、運転員も大地震で身体的・精神的影響を受けているだろうから、対処しきれなくて一挙に大事故に発展する恐れが強い。このことは、最悪の地震でなくてもあてはまることである。

建築技術者が強調する原子炉建屋の耐震性の高さはあまり意味がない。いちばんの問題は、配管・弁・ポンプ類や原子炉そのもの、制御棒とECCSなどだろう。耐震設計の違いによる原子炉建屋とタービン建屋の揺れ方の違いが配管におよぼす影響、地盤の変形・破壊や津波(低くても)が運ぶ砂によって海水の取水・放水ができなくなる恐れなども無視できない。

原子炉が自動停止するというが、制御棒を下から押し込むBWRでは大地震時に挿入できないかもしれない、もし蒸気圧が上がって冷却水の気泡がつぶれたりすれば、核暴走がおこる。そこは切り抜けても、冷却水が失われる多くの可能性があり(事故の実績は多い)、炉心熔融が生ずる恐れは強い。そうすると、さらに水蒸気爆発や水素爆発がおこって格納容器や原子炉建屋が破壊される。20

年前後を経過して老朽化している1,2号機がいちばん心配だが、4基すべてが同時に事故をおこすこともありうるし、どれか1基の大爆発がほかの原子炉の大事故を誘発することも考えられる⁽⁹⁾。その結果、膨大な放射能が外部に噴出される。さらに、爆発事故が使用済み燃料貯蔵プールに波及すれば、ジルコニウム火災などを通じて放出放射能がいつそう莫大になるという推測もある⁽⁹⁾。

瀬尾⁽¹⁰⁾によると、出力110万kWの浜岡3号炉が重大事故をおこした場合、風下側17km以内で90%以上の人が急性死し、南西の風だと首都圏を中心に434万人が晩発性障害(がん)で死ぬという*。また、チェルノブイリ事故の際の白ロシア共和国の避難基準によれば、茨城県や兵庫県までが(風下の場合)長期間居住不可となる(図1)。

東海地震による“通常震災”は、静岡県を中心に阪神大震災より一桁大きい巨大災害になると予想されるが⁽⁵⁾、原発災害が併発すれば被災地の救援・復旧は不可能になる。いっぽう震災時には、原発の事故処理や住民の放射能からの避難も、平時にくらべて極度に困難だろう。つまり、大地震によって通常震災と原発災害が複合する“原発震災”が発生し、しかも地震動を感じなかった遠方にまで何世代にもわたって深刻な被害を及ぼすのである。膨大な人々が二度と自宅に戻れず、国土の片隅でガンと遺伝的障害におびえながら細々と暮らすという未来図もけっして大袈裟ではない。

3月の電源開発調整審議会で5号機(ABWR, 出力138万kW)の増設が了承され、2005年に営業運転を開始する予定という。しかし、東海地震は来世紀半ばまで先送りされるかもしれない、老朽化した5号機が原発震災の元凶になるケースも考えられる。正常な安全感覚があるならば、来世紀半ばまでには確実に発生する巨大地震の震源域の中心に位置する浜岡原発は廃炉を目指すべきであり、まして増設を許すべきではない。

* 炉心が熔融して格納容器の床に落下し、水蒸気爆発がおこって格納容器が破壊した場合、気象条件は風速2m, 大気安定度D型で、放射能雲は風下に向かって15度の角度で広がると想定。ただし、この種の評価には大きな幅があり⁽¹²⁾、これは最大級の見積りかもしれない。

原発震災を回避するために

これまでに述べたことからみて、浜岡以外の原発でも、直下や近傍の大地震によって浜岡と同様の原発震災がおこる可能性は現実的な問題である*。したがって、これからの地震防災論や震災対策は、原発震災を抜きにしては考えられない。防災基本計画から地域防災計画や民間の対策にいたるまで、全国規模で、原発震災を具体的に想定したものに早急に改めるべきである。現状は、静岡県東海地震対策でさえ浜岡原発の事故を考慮していない。

しかし、防災対策で原発震災をなくせないのは明らかだから、根本的には、原子力からの脱却に向けて努力すべきである。86年のチェルノブイリ原発事故によって日本まで放射能の影響を受けたことを考えれば、地震大国日本が原発を多数運転しているのは世界にたいしても大迷惑である。いまや原発は、使用済み核燃料や将来の廃炉の問題が深刻で、経済的ではないし、地球環境問題にたいする救世主でもありえない⁽¹¹⁾。原発がなければ電気が足りないようにいわれるが、電力事業の規制緩和をいっそう進め、ゴミ焼却熱や自然エネルギーをもっと有効に活用すれば、適正な電力を供給できる。電力需要の増加を当然のこととして、それを原発の増設でまかなうというやり方は、持続可能な人間活動が切実に求められるいま、もはや通用しない。

韓国、中国、台湾で原発が急増している。また、北朝鮮、インドネシア、ベトナムなどでも建設が始まったり計画が動きだしたりしている。しかし、外国企業に頼ることの多いこれらの地域では安全管理がとくに心配され、朝鮮半島、中国、台湾、インドネシアなどは大地震の潜在的危険性も高い。東アジアの原発で大事故がおこった場合、日本に

も重大な影響がおよぶことは疑いないから、原子力に頼らないでほしいと思うが、日本が率先しなければ説得力はない。

ヨーロッパでは脱原発の流れが定着している。これにたいして、そもそも民意が政策決定に反映されにくい日本では、政府が原発推進を堅持し、原子力産業の圧力が強大で、立地地域の経済が原発にどっぷり依存させられているために、脱原発にむけて歩み始めるのは容易なことではないかもしれない。原発をめぐる社会的閉塞状況は、破局的敗戦に突き進むほかなかった昭和10年代と酷似しているようにも思える。しかし、原子力開発最盛期以降の2,30年間に日本列島の地震発生様式を理解を深めた地震科学が、原発の直近で大地震はおこらないという楽観論を否定し、原発震災による破滅を避けるための具体策の必要性を示しているのである。全国の原発について、原発震災のポテンシャルが相対的に高い原子炉から順次廃炉にし、日本全体の原発震災の確率を段階的に下げていくというような道筋を、真剣に考えなければならぬ。

(Katsuhiko ISHIBASHI

神戸大学都市安全研究センター)

文 献

- (1) 通商産業省資源エネルギー庁: 原子力発電所の耐震安全性(1995)
- (2) 石橋克彦: 阪神・淡路大震災の教訓, 岩波ブックレット(1997)
- (3) 松田時彦: 活断層, 岩波新書(1995)
- (4) 三雲健・石川有三: 地震予知研究シンポジウム(1987), 日本学術会議地震学研究連絡委員会・地震学会(1987) pp. 259~269
- (5) 石橋克彦: 大地動乱の時代, 岩波新書(1994)
- (6) 原子力資料情報室: 脱原発年鑑 97, 七つ森書館(1997)
- (7) 伊藤通玄: 静岡学, No. 74, 39(1996)
- (8) 中部電力: 浜岡原子力発電所の地震に対する設計(1996)
- (9) リチャード・ウェブ: 原発事故はどうおこるか, 原子力資料情報室(1992)
- (10) 瀬尾健: 原発事故…その時, あなたは!, 風媒社(1995)
- (11) 室田武: 原発の経済学, 朝日文庫(1993)
- (12) 高木仁三郎: 原発事故, 岩波ブックレット(1986)
- (13) 平井憲夫: アヒンサー「地震と原発」, PKO法「雑則」を広める会(1995) pp. 56~80

* 阪神・淡路大震災直後の衝撃をあらためて思い返していただきたい。関西には大地震はおこらないはずだった。日本の高速道路やビルは大地震で崩壊することはありえないはずだった。しかし、現実地震がおこり、惨害が生じた。原発だけは将来も安全神話が成り立つという合理的な理由はなにもない。