

# 原発問題

澤井達夫

## 1. はじめに

本文は原子力について日常漠然と考えていることを纏めるために成文化したものである。

まず、原子力とは何かから考え、実際にエネルギーを取り出すために用いられる方法について概観し、一般的な問題点を紹介し、最後にあまり取り上げられない問題点も含めて総合的に考える。

## 2. 原子力とは

まず、元素の周期律表を思い出そう。各元素には固有の原子番号が割り当てられている。

この元素の内、水素などの原子番号の小さい元素および、ウランなどの原子番号の大きな元素の原子核は高いエネルギーを持っており、何かの原因で中間の原子番号(20~60)の元素に移り変わると、余分のエネルギーを放出する。

このうち前者は、番号の小さい元素同士の衝突により原子核が融合して、より大きな番号の元素に変わる過程であり、これを核融合と言う。核融合の代表例は太陽内部での水素と水素からヘリウムと太陽エネルギーを作り出していることである。ほとんどの恒星の光は水素の核融合エネルギーだと言われている。

また番号の大きな元素が放射線を出して番号の異なる元素に変わる現象がある。これを自己崩壊と言う。代表例はキュリー夫人で有名な、ラジウムが $\alpha$ 線を出してラドンに変る現象である。

さらに、原子核に中性子<sup>2</sup>が衝突して原子番号が約半分の原子に分裂する核分裂現象がある。代表例はウランの核分裂である。

これらの核現象の内、核融合・核分裂によるエネルギーを利用するのが原子力である。

余談ながら、太陽で水素を使い切ると次はヘリウムの核融合のように逐次核融合が進み、ほとんどが鉄に近くなると核融合は停止して太陽活動も終了すると言われている。また太陽より遥かに大きな星ではほとんど鉄まで核融合が進行した後、重力によって星が崩壊・爆発し、その時に核融合して原子番号の大きな元素が作られると考えられている。すなわち、生物・無生物を問わず、構成元素は恒星爆発の時に飛散したものであると言える。また、地震や地殻変動の原動力の地球内部の熱の一部は核崩壊のエネルギーと考えられている。

## 3. 原子力概観

### 3.1 核融合

現在考えられているのは

重水素 + 三重水素      ヘリウム + 水素 + エネルギー

の反応である。この反応は原子核1個当り非常に大きなエネルギーを発生する。

原子核は共に正の電荷を持つので近づけると大きな反発力が働く。この力に打ち勝って原子核の大きさまで近づけて反応させるために、非常に大きな運動エネルギーを持った状態で衝突させる。それには数億度の高温と、衝突のための十分な密度と反応のための時間を必要とし、現在まで三者を満足するレベルには達していない。

唯一人工的にエネルギー取り出しを実現できたのは水素爆弾のみである。

### 3.2 核分裂

現在実用になっているのは

<sup>1</sup> 原子核から放出される放射線には、 $\alpha$ 線(ヘリウム原子核)、 $\beta$ 線(電子)、 $\beta^+$ 線(陽電子)、 $\gamma$ 線(X線・光と同じ電磁波)、中性子線がある。透過力は $\alpha$ 線が大気中数cm程度、 $\beta$ 線が大気中10cm程度、 $\gamma$ 線が鉛板数cm以上、中性子線が鉛板数10cm以上と言われる。透過力の小さい $\alpha$ 線・ $\beta$ 線は体内被曝の場合、エネルギーがすべて体内に留まるので大きな障害を起こす。原爆で即死した人の死因のほとんどが中性子被曝と言われている。

<sup>2</sup> 原子核は陽子・中性子から成る。また陽子は正電荷を持つ。中性子は陽子とほぼ同質量だが電荷を持たない。

ウラン 235 + 中性子      核分裂生成物 + ガンマ線 + 中性子 (1~2 個)  
(高速)中性子      減速      熱エネルギー + (熱)中性子

の連鎖反応である。核分裂の時に発生した高速中性子は透過力が大きく(周囲と反応せず)、そのまま原子炉の外に出る割合が多くなるので、減速して核分裂連鎖反応に利用する。減速した中性子を熱中性子と呼ぶ。ガンマ線は吸収して熱に変換する。連鎖反応が生じるためには核分裂物質が一定以上の量・一定以上の密度で集まる必要がある。この量を臨界量という。

核分裂生成物はそれ以上エネルギー発生には寄与せず中性子を吸収するので定期的に除去する(放射能を持つ物も多数含まれる核廃棄物)。また、高速中性子の減速には黒鉛が用いられたことがある(コールドーホール、チェルノブイリ)が、最近軽水(普通の水)を用いるのが主流である。

ウラン 235 以外にも核分裂物質は存在するが反応の制御が難しく、プルトニウム原爆以外の利用には成功していない。

ウラン 235 は天然ウランの 1%程度しか含まれず、このままでは連鎖反応はほとんど起きないので 3~5%程度に濃縮する。30%以上に濃縮すると連鎖反応が爆発的に起きようになり原爆に利用される。

ウラン燃料には未濃縮のウラン 238 が 90%以上含まれている。その一部は次のよう反応が起きている。

高速中性子 + ウラン 238      ウラン 239  
ウラン 239      崩壊      プルトニウム 239

さらに、

プルトニウム 239 + 熱中性子      核分裂生成物 + ガンマ線 + 高速中性子 (1~2 個)  
の核分裂反応も炉内で平行して起きている。前述のように管理下でプルトニウム単独の核分裂反応は実用化していないが、ウランの核分裂に平行して起こすことは実用になっている(プルサーマル Pl-thermal、サーマルは熱中性子 thermal neutron の略)

### 3.3 高速増殖炉

上述のウラン 238 をプルトニウム 239 に積極的に変換すると天然ウランの半分以上を核燃料に利用でき、将来のエネルギー源として期待されている。

### 3.4 エネルギー取り出し

原子炉で発生した熱の取り出しには

黒鉛減速炉：炭酸ガス冷却(コールドーホール型：東海 1 号)：

炭酸ガスの熱輸送能力の制約で大型炉には不向き。現在すべて廃炉

黒鉛減速炉：水冷却(チェルノブイリ型)

炉内で冷却水が漏れると水素爆発の危険性がある(チェルノブイリ事故)

黒鉛 + 水    炭酸ガス + 水素

軽水減速炉：水冷却

沸騰水型：減速材の水から蒸気を取り出してタービンを回す

Boiling Water Reactor：BWR

熱効率は良いが放射能汚染水が原子炉容器外を循環、汚染事故になりやすい

加圧水型：減速材の水に圧をかけ、沸騰させない

Pressurized Water Reactor：PWR

原子炉容器内に熱交換器をおき、減速材の水から二次冷却水に熱を与えて蒸気を発生させる。

熱効率は若干落ちるが汚染事故は起きにくい。

高速増殖炉：減速材なし。液体金属冷却。

液体金属としての鉛は配管腐食防止のため使用されない。

現在ナトリウムが考えられているが、多くの問題を抱えている。  
などの方式が採用されている。

### 3.5 制御

ホウ素が中性子を吸収する性質を利用する。ホウ素を整形して制御棒とし、核分裂を抑制する時は原子炉内に挿入、促進したい時には引き抜く。

その他、緊急時にはホウ素を含んだ水（ホウ酸水）を原子炉容器に注入する。

## 4. 原子力の問題点

### 4.1 核融合

核融合反応には前述のように反応生成物に放射性物質が無く一見クリーンである。しかし反応時に発生する中性子により反応炉の周辺が放射能化するので全くクリーンとは言えない。

超高温・超高压の核燃料を保持する容器（磁気閉じ込め）は未完成である。

### 4.2 核分裂燃料（ウラン 235）の濃縮

ウランの同位体は基本的に化学的同等であり化学反応による精製は不可能なので、ごく僅かの比重の差を利用して分離濃縮する。

初期には真空中で加速したウランの進路を磁場で曲げ、働く遠心力の差で分離した（マンハッタン計画・フセイン体制のイラク）が、非常に低効率で大量電力が必要であり現在は使用されない。

現在はウランをフッ素などと化合させて流体化したものを、超遠心分離機に通して上澄みを取り出す作業を繰り返す方法が採用されている。この方法は超高速に耐えられるベアリングが入手できれば工業的後進国でも利用でき、世界の主流となっている。また、濃縮の繰り返し回数を増やせば原爆に利用できる程度に濃縮できるので国際問題になっている。

### 4.3 核燃料小体（ペレット）

原子炉用に濃縮された核燃料は化学的に安定な酸化ウラン粉末にし、直径数mmの円柱状の磁器（セラミック）の小片（ペレット）に焼結加工する。ペレットは、製造当初は汚染物資を含まず、焼結されているので粉末汚染も無く、小片なので連鎖反応も起きないので比較的安全なものである。

しかし、燃料として使用中に発生する核分裂生成物が混在するので、使用中および使用後は危険な放射能汚染物質と変わっている。

使用後のペレットは、再処理工場で残存ウランとプルトニウム 239 を分離し、これらは燃料として再使用する。また残りは放射性廃棄物として水に溶けないようガラス化し、さらに、放射能が消えるまでの数万年間は地震・地下水などで生活空間に出てこないよう地中深くに埋める。

なお、プルトニウムは化学的に選別・抽出可能であり、核燃料の再処理により大量に取り出せるが、放射性があり、強い発がん性があるとも言われている。

### 4.4 燃料棒

ペレットが、周囲の減速材と接触して汚染源にならないよう、筒状の容器に格納したものを燃料棒という。

燃料棒約 100 本を互いに適当な隙間を空けて束ねた燃料集合体を単位として扱う。

燃料棒を構成する筒の材料は高圧力・高温・放射線に耐えられ、減速材や核分裂生成物に対して安定であり、冷却材（軽水炉では減速材）の対流に対して磨耗しないことが要求され、さらに熱効率がよく核反応を阻害しないことが求められる。これらを満たすものとして軽水炉では熱効率・燃焼効率を重視して金属ジルコニウム、高速増殖炉では耐高温を重視してステンレススチールが用いられている。

実際の使用中には、冷却水の対流などによってできる筒の小穴（ピンホール）を通して減速材が

出入りする結果、減速材の放射能汚染が生じる。また沸騰水型では蒸気の泡の発生に伴う振動によって、筒の材料の磨耗などが発生し、ピンホールの原因になっている可能性がある。

福島事故・スリーマイル島事故では、筒の材料のジルコニウムと減速材の水が化学反応を起こして破損、炉心溶融事故の直接原因となった。チェルノブイリ事故の水素爆発も同様の原因と言う説もある。

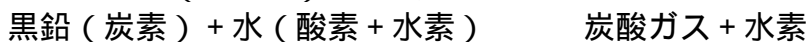
安心して原子力を使用するには効率より安全を重視し、燃料棒にはステンレススチールを使うことが望ましい。

使用済み燃料の交換・燃焼度の均等化のための配置換え等のために、燃料集合体を定期的に原子炉から取り出す。「もんじゅ」の事故は、溶融金属ナトリウム中で燃料集合体を取り出すための装置が原子炉内に落下すると言う、非常に初歩的な事故である。この事故を車にたとえると、止めた車のドアを開こうとすると蝶番のピンが外れてドアが落下した。いくら安全だと言われても、走行中にドアの脱落の不安でこの車は使用できない。

#### 4.5 減速材

核分裂によって生じた中性子を減速して連鎖反応に寄与する熱中性子に変換する重要な役割である。初期には黒鉛が用いられたが、現在は軽水（純度の高い普通の水）が主流である。

黒鉛は、高温下で水（冷却材）と接触すると

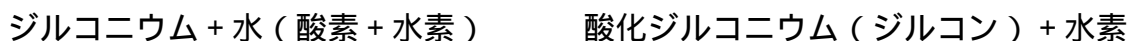


の反応を起こして燃える。その結果生じた水素が漏れると爆発する（水素爆発）。チェルノブイリ事故では原子炉暴走の結果この現象が生じ、放射能汚染拡大の原因となった。

減速材としての水は化学的に安定な物質である。

沸騰水型では、空焚きになると減速作用が低下するため連鎖反応が低下し安全側に作用すると考えられていた。

水は高温下で燃料棒の材料のジルコニウムと接触すると黒鉛の場合と似た現象が発生する。すなわち



福島事故の場合は減速材（冷却水）漏れによる空焚き、スリーマイル島事故では暴走による空焚きが発生、空焚きをすると連鎖反応が低下して温度が下がることが期待されていたが、燃料棒内部のペレットなどに蓄えられた熱により燃料棒の温度が上昇し、ジルコニウムが酸化反応して、燃料棒が破損。燃料棒破損により脱落したペレットが原子炉容器の底に集まったため臨界を超え、炉心溶融事故となった（メルトダウン melt down）。さらに、福島では発生した水素が漏出して原子炉建屋内に溜まり水素爆発。放射能汚染拡大の原因となった。幸運なことに、チャイナシンドローム(映画)の二の舞にはならず済んだ。

減速材としての水は冷却材を兼ねているので一次冷却水という。

水に含まれる水素は、中性子が当たると僅かではあるが二重水素、さらに三重水素に変化する。三重水素は崩壊をするため放射性で遺伝毒性がある。従って水そのものも若干放射性を持つ。さらに、一時冷却水はピンホールを通してペレットに接触することがあるため核分裂生成物を溶解していて、強い放射性を持つ汚染物質である。

汚染した一次冷却水兼減速材を原子炉建屋からタービン建屋まで引き回す(往復約 100m)方式の沸騰水型(BWR)は、冷却水漏れに起因する空焚き・放射能汚染が生じる可能性から考えても危険な方式であると言わざるを得ない。

#### 4.6 制御棒

制御棒は原子炉の核分裂反応を制御する上で非常に重要な役割を持つ。とくに、緊急時に確実に挿入できることが求められる。

加圧水型(PWR)では、制御棒は挿入状態を基本とし、電磁石を用いて引き抜く構造を採用してい

るので、仮に停電しても自然に落下して挿入状態に戻ることができる。

沸騰水型(BWR)では制御棒を下から挿入(構造上の理由としか説明されていない)するので、必ず挿入のためのエネルギー源が使える状態でなければならない。このことは大きな問題点である。さらに、制御棒挿入失敗事故や制御棒脱落事故のほとんどが BWR で起きていることも問題の存在を示唆している。

#### 4.7 圧力容器

核分裂反応により発生する核汚染物質および高温・高圧の水(沸騰水型では+水蒸気)を閉じ込めて外部に漏らさないための重要な容器であり、厚い鋼鉄製である。スリーマイル島の事故で溶融した燃料はここで止まったが、福島事故ではこの容器も溶かして漏れ出たと考えられている。

#### 4.8 原子炉格納容器

圧力容器内の一次冷却水に強制対流を起こさせるための補機(ポンプ類)、加圧水型では二次冷却水を加熱するための熱交換器、一次冷却水の水位を維持するための補機などを収納すると共に、圧力容器内からの冷却水漏れなどの緊急時に汚染水を閉じ込め、内部の圧力を維持する働きをするため圧力容器同様に厚い鋼鉄で作られる。また核反応で発生する放射線を遮蔽するため容器の外部は厚いコンクリートで固められている。

加圧水型では次節の原子炉建屋を兼ねた大きな構造物に作られ、燃料棒の一時保管用のプールもこの中に作られている。

福島の事故では幸い溶融核燃料はここで止まったと考えられているが、沸騰水型の欠陥から汚染水の漏出を止めることはできなかった。

#### 4.9 原子炉建屋

原子炉からの僅かな放射性ガスや放射性粉塵の漏出をとめる最後の砦である。建屋内には原子炉の計測器や制御機器の補機が設置されるが、常時は運転員もできるだけ立ち入らない。

福島事故ではこの建屋に水素が溜まり爆発した。

#### 4.10 熱交換器

加圧水型軽水炉では1次冷却水と2次冷却水を、高速増殖炉では1次冷却の液体金属と2次冷却の水とを分離しかつ熱を伝えるために使用される。

熱効率を上げるため1次・2次の対向面積を増やし、熱損失を減らすため低温側(2次)を外側に配置する。具体的には2次冷却水(高温・高圧)の容器内に設けた多数の細管に、さらに高温・高圧の1次冷却材を循環させて熱を伝え2次冷却水を沸騰させる。細管はU字型に整形されていることが多いが、その曲線部分と細管の取り付け部分でトラブルが多発し、一次冷却水が2次側に漏れる事故が起きている。

高速増殖炉については運転実績が無く具体的なトラブルの報告はないが、「もんじゅ」で計画されている液体ナトリウムが万一2次冷却水と接触すると爆発する。

#### 4.11 蒸気タービン

基本的には普通の火力発電用のタービンと同一であるが、熱源が石油火力に比べて低温なので乾いた蒸気(注目している圧力で飽和する温度に比べて高温の蒸気)を得にくい制約がある。湿った蒸気をタービンに利用するとタービン羽根に水滴がついて羽根を消耗・破損する可能性がある。

原子炉が沸騰水型の場合は汚染した一次冷却水がタービンまで循環するので運転中タービン室へ入室できない弊害もある。

一方加圧水型ではタービン室へも入室可能という利点があるが、この利点が災いしてか、運転中に入室した作業員が、破断した配管から噴出した高温水蒸気で火傷・死亡した事故もあった。通常

火力でも広く使用されている主蒸気配管の破損は世界でも例を見ない事故であり、いくら宣伝されても、初歩的事故が起きる現状からは安全を信用できない。

#### 4.12 復水器

火力（原子力を含む）発電ではボイラーに体積の小さい液体の水を注入し、ボイラーで体積の大きな高温の蒸気に変換する。注入する水の圧力と取り出す蒸気の圧力は等しいので、注入のためのエネルギーと取り出す蒸気のエネルギーの差は主として体積の差であり、これが利用できるエネルギーとなる。

また、冷却水に不純物（特にカルシウムなど）があると、温度が変化した時固体として析出し、冷却水の流れや熱交換の妨げとなるので純粋な水（高価）を使用する。

これら二つの理由から、使用した水（蒸気）は液体の水に戻して再利用する。復水器は蒸気を水に戻すための装置であり、日本では海水によって冷却復水する。また外国では水が豊富に利用できない場合に空冷も利用される。

復水器の冷却に用いる水は大陸内では河川水（スリーマイル島原発）が使用されるが、日本では海水（低温の中層水）が用いられている。

復水器は冷却水（放射能汚染水）が環境と常時接する場所であり、環境汚染が起きないように注意しなければならない。

#### 4.13 タービン建屋

タービン建屋には名前の通り蒸気タービンと復水器そのほかの補機および発電機を収納し、運転員も常駐する。

また原子炉建屋とは名前の通り別建築である。地震などが発生すると建物ごとに単独に揺れるので、建物を跨ぐ汚染水の配管を持つ沸騰水型では配管損傷により一次冷却水喪失の原因となる可能性がある。さらに明確に断層上に作られた原発（敦賀など）では地盤そのものが別行動することも懸念されている。福島事故でタービン建屋から出た大量の汚染水はこの懸念を裏付けているのではないだろうか？

#### 4.14 変電所 / 送電線

変電所は外部電源と電力の授受を行なう役割を持つ。特に原発では軌道・停止のときに大量の電力を必要とするだけでなく、安全な状態を維持するためにも多くの電力を必要とするので変電所 / 送電線は重要である。

従って外部電源とは最低でも1ルート2回線、できれば独立した2ルート以上計4回線以上で結び安定な電力授受ができることは必要である。発電所が海岸に設置されるので変電所は塩害による絶縁低下事故を避けるためやや内陸に寄った場所に設置する。

東京電力の電力系統図は過去に公開されていたが現在非公開になったので確定的ではないが、福島原発には1ルート2回線が用意されていて、地震による鉄塔の倒壊のため同時に2回線全部を失い、被害拡大の原因となったと推定している。

伊方原発・敦賀原発を始め多くの原発が前記復水器の都合で半島に設置されているが、半島では災害に対して独立な2ルートを確保することは非常に困難であり、仮に2ルート確保してあっても同時に脱落する可能性が高いことに留意すべきである。また計画の中の上関原発のように島嶼部に設置する場合も独立な2ルート確保は困難となる。

#### 4.15 補助電源

安全対策上電源は重要であり、必ず補助電源を用意する。

福島事故では津波によりこの機能を喪失して炉心溶融・水素爆発の原因となった。

福島事故を受けて、多くの原発で非常用の移動電源車を高台に準備したようであるが、直下型の

地震発生時に必要とする現場まで移動できるかどうか懸念される。

チェルノブイリ事故はこの電源が起動するまでのつなぎを得るための実験中の暴走とのことである。

#### 4.16 立地

原発の特性上、ごく微量の放射性物質の外部への漏出の完全防止は不可能である。そこで「孤島」などと陰口される僻地に設置することが多い。このことは平常時には住民の交通の面から非常に感謝されている。逆に隣接した地区の住民は「何の恩恵も発言権も無く危険だけ背負う」と不安・不満を持っている。福島事故ではこれが広範囲に現実となった。

福島事故では、その收拾のために多くの人材・機材が陸上・海上から投入できた。しかし半島や島嶼とうしょに設置した場合事故時の交通の確保は困難である。とくに、直下型地震が原因の事故の場合は不可能と言わざるを得ない。京都府以西の日本海側については比較的地震の確率は低いと考えられているが、峰山・城崎・鳥取・福岡での直下地震の歴史もあり無視することは危険である。また、伊方原発・敦賀原発のように直下に活断層があり、アクセス道路が活断層に沿って設けられている原発は、存続について早急に検討を開始すべきである。

原発から一步離れて考えてみよう。琵琶湖西岸に顕在化した断層崖がある。この中腹に危険物を扱う工場を建てることを考えると、現在の原発立地が如何に危険なことであるか分かる。

#### 4.17 オペレータ

チェルノブイリ事故は運転マニュアルに違反したオペレータの操作がきっかけで暴走が始まり制御不能になったためと言われている。これは論外としても、緊急事態が発生し計器類も正常に動作しない状況で、オペレータに平常心を期待することは無理であろう。

#### 4.18 廃棄物

使用済み核燃料は強い放射能を帯びた汚染物質であり、その中には半減期が1万年を超える非常に長い物質も含まれる。また、減速材や燃料保管プールの水も原子炉が廃炉になった後は汚染物質である。また保守のために使用した雑巾や、保守員が使用した衣類なども汚染物質である。これらから汚染が広がらないよう、最終的には水に溶けないようにガラス固体化し、安定した地中深くに掘ったトンネル内に設けた厚いコンクリート倉庫内に最終保管する計画であるが、実際には具体化しておらず取り敢えず原発敷地内に保管されている危険な状態である。

廃棄物の処理・最終保管まで確立できて初めて原発の経済性についての議論の場ができるのではないだろうか？

#### 4.19 事故による汚染

原子炉やその廃棄物保管庫には多量の放射性物質があり、事故が発生すると周辺の汚染の原因となる。汚染物質は気体・粉塵がり、その一部は人体に吸収されて内部被爆の原因となり、一部は空気と一緒に呼吸されて気管や肺に付着して内部被爆の原因となる。また、皮膚に付着して被爆原因になることもある。また地表に落下した粉塵は長期間地表に留まって被爆原因となる。

飛散する粉塵の内、体積の大きいものは早く落下するが、微細な粉塵は長く空中に留まり、気体とともに気流に乗って拡散する。チェルノブイリ事故ではシベリヤ高気圧から吹き出す南西の風に乗ってスカンジナビア半島へ向かって拡散し、風下側約500kmが汚染した。福島事故では日本海に近づいた高気圧の風に乗って最初南南東方面へ、高気圧の進行と共にミナミから南西方向に広がり、高気圧が太平洋に去った後西北から北へ時計回りに半径約150kmにわたって拡散した。

### 5. 総合的視点から

前章では原発に関わる部品などを個別に取り上げて問題点を指摘してきた。本章では総合的に取

り上げてみたい。

## 5.1 政治問題

原発をエネルギー供給の基本とする方針は1960年頃に定められた。それ以来、幸い大事故がなかったため、原油価格が高騰する中でも日本経済の発展に大きく貢献したことは確かである。

しかしこの利点に酔って原発推進のみを考え安全対策がおろそかになってきた。その結果、沸騰水型原発の欠陥・プレート境界型地震の連動による大地震大津波の危険性などが指摘されていたにもかかわらず無視してきたことを、政治は大いに反省すべきである。

福島事故を受けて世の中は脱原発で盛り上がっている。しかし脱原発を唱える人々も電力の恩恵を断ってでも脱原発と言えるのだろうか？高層ビルに住む人は、もし停電が長引けば水も来ずエレベータも動かない中で食料の買出しにも行けずに生きられるか？つまり、脱原発をしてもそこに移行する時間が必要である。またエネルギー不足で企業が海外に流出すると職も無くなり収入源が無くなる。これは年金生活者にも波及する。

廃炉にするのはまず老朽化の進んだ原子炉・実用試験炉の域に達していない増殖炉・活断層上に立地した敦賀・伊方から。また欠陥の多い沸騰水型はできるだけ早く廃炉に移行すること。その他は応急対策を施し10年程度の仮期間を定めて運転しながらその後の計画を考えるなどの柔軟な対策をするべきである。

飛行機・自動車は使用法により凶器になる危険なものであり、身近な火も同様の危険があるが積極的に利用している。原発も無条件に廃止・利用を叫ぶのではなく安全に共存・活用する道を探すべきである。

## 5.2 安全神話

神話は、「多重の安全システムを構築しているので、そのすべてが同時に崩壊することはあり得ない」と言う根拠で語られてきた。もしシステムを構成する個別の装置の故障原因が独立ならこの説は正しいが、福島の事故ではそれが成立しなかった。

大地震により本体および配管類、送受電系統が大きく損傷、一部暴走が始まった。さらに同じ地震による津波が予備電源などの補機を破損、崩壊が決定的になった。同様の事態が東南海地震でも懸念されている。

それでは、多数を占める日本海側の原発では同時故障の原因はあるのだろうか。考えられる原因を羅列してみる。

直下型地震：多くの原発は断層上または断層の直近に立地しており、中には活断層と断定されているものもある。プレート境界型と異なりマグニチュードは大きくないが震度が非常に大きくなる可能性は考えておくべきである。直下地震による地盤そのものの変形（敦賀）が発生すると、機器の同時事故確率は極めて大きくなり、おそらく事前の対策も不可能である。

津波：福島の事故では地震による破壊が津波によって追い討ちを受け決定的な破滅の原因となった。しかし津波単独でも補機を含めた大被害を受ける可能性がある。

直近に想定されている東南海地震のほか、太平洋を挟んだ対岸の大地震など、プレート境界型の地震に伴う大津波の危険性は太平洋に面した浜岡・福島・女川が直撃の可能性が極めて大きい。また玄海原発も影響を受ける可能性がある。また開口部からの波の干渉によって、震源によっては内海でも大きな津波が来ることがあるので大部分の原発でも考慮すべきである。さらに、日本海側で発生したプレート境界形地震について秋田・奥尻の大津波は記憶に新しい。

若狭に津波を記録した古文書があると報告されているが、これは直下型地震の近畿を含む広域の連動によるものと推定されているようである。

日本海を挟んだ対岸には大きな造山活動が見られる。これが活動中なのか痕跡なのかは門外漢で不明であるが、万一断層が存在し、それが動けば広域の大津波の可能性が考えられる。

テロ、航空機事故など：テロや航空機の墜落事故などが原発を直撃し壊滅的被害となる可能性を考えて対策をしておくべきである。また先進国になろうとして行き詰まり、暴挙に出た国があ



ったことも記憶にとどめるべきである。

誤操作：チェルノブイリ事故の再現は考えたくないが考慮すべきである。また非常事態下での誤操作の可能性は否定できない。非常事態を想定した訓練と徹底的なフェイルセーフシステムの構築が望まれる。

### 5.3 放射能拡散

万一放射が拡散するような事故が起きるとどうなるか？基本的には気流および海流に乗って拡散する。気流はその時の気象条件によって大きく変化するので一概には言えないが大略西風が吹くと考えると東に向かって拡散する確率が大きい。海流は西日本沖を東に向かう暖流とその分流の朝鮮海峡から津軽海峡に向かう暖流、東北太平洋側を南に向かう寒流、茨城沖で合流して東に向かう流れに分けられる。

従ってもし西日本で大事故が発生すると人口・経済の大部分を含む地域が汚染される。また伊方（四国電力）・上関（中国電力・計画中）・川内（九州電力）などで海洋汚染事故が発生すると、内海なので狭いところに汚染物質が滞留し莫大な被害が予想される。

### 5.4 技術者養成

原子力関連の技術者・研究者を養成するには、実験などが必然であり巨額の施設・研究費が要求される。その結果、限られた教育機関でしか養成できず、また巨額の資金を動かせる機関は国や巨大企業に限られことになる。したがって、これらの金蔓かねづるを持たない研究者の研究は内容的に貧しくなり評価が低くならざるを得ない。この事情で、研究者の集まりである学会でも金蔓の意向に沿う意見が主流となる。

もし周囲の意向に囚われない自由な意見を持つ研究者が、たとえば「安全確保のためにこの施設が必要・・・」の趣旨の研究成果を学会に報告すると、学会からは「このテーマは学術的ではなく、企業の政策の問題」と却下されるであろう。

研究者の公的評価は学位（博士号）である。学位取得のためには学会の評価が必須である。また、高等教育機関で教鞭をとるための最低条件は学位を持っていることである。すなわち、学会の重鎮＝政治屋・大企業の意向に沿わない研究者は原子力分野での学位を持たず、したがって原子力関連の教育者に成り得ないのが現状である。

2011年夏現在、原子力推進担当の省庁と保安担当の省庁の分離が検討されている。遅きに失した感があるが、当然大賛成である。しかしながら、「役に就くのは結局同じ穴のムジナ」になると成果は期待薄である。昔、環境庁ができて少し通産省（当時）にブレーキがかかることを期待したが、結局環境庁が通産省の翼賛会になったように。

## 付 録

### 断層

地球誕生の時に地球に衝突した多数の小天体の衝突エネルギーが地球の中心部に蓄えられている上、中心部に比較的多く含まれている重い原子の崩壊エネルギーもあって、地球中心部は高温の液体に近い状態と考えられている。逆に膨張宇宙の影響で極低温の宇宙に向かっている地表の温度は低い。その温度差により、地球中心と地表の間にあるマントル内に対流が発生していて、地表の断片（プレート）は年数cmの速さで対流に乗って移動している（大陸移動。プレートテクトニクス）。マントル対流の上昇している所は大西洋海嶺・リフトバレイ（アフリカ東部）など、対流が下降している所は海溝・地溝などとして知られている。移動するプレートが衝突する場所では大きな圧力・ズレ応力が発生し、その結果地震が多発（地震帯）し、火山活動も多数見られる。またその周辺には造山活動（ヒマラヤ山脈）が見られ、断層も多数発生する。また断層の歪エネルギー解放に伴い、別の場所にそのエネルギーの一部が波及するためさらに断層ができるなど、潜在断層も多数あり得る。

断層が顕在化している場所は、淡路島西岸・琵琶湖西岸・越前海岸など急峻な崖が直線的に並んでいる所が分かりやすい。フォッサマグナの西側はこの条件を満たすが、破碎帯となっていて大地震の原因とはなりにくいと思われる。九州・四国・淡路南部・和泉山脈から長野県に繋がる中央構造線も大きな断層と考えられる。逆に小さな断層・古く不活発な断層・地表に露頭のない断層は分かりにくく突然直下型の地震を起こすこともある。

### 放射能障害

分子を構成する原子に放射線が衝突または至近距離を通過すると、原子が変性/化学的活性化することがある。その結果分子全体としても活性化/変性することがある。

細胞内の分子がこの変化したときを考える。生命活動維持に必要な分子なら同様の分子が多数あるので、活動阻害する変化でない限り影響は残らないが、もし変化多数なら細胞の死滅に至る。すなわち多量の放射線は短期的な障害を起こす。

遺伝子を構成する分子（DNA）の変化の場合、DNAは相補的二重構造なので、変化した分子のほとんどは他方を利用して修復され、影響は残らないが、ごく僅かに修復できない傷が残ることもある。

傷のある遺伝子を利用して複製された細胞の大部分は不適合として免疫機構により破壊されるがごく僅かに生き残る。生き残る細胞の内、一部にはガン細胞として身体全体の障害を起こすものもある。

同様の分子変化は活性酸素によっても起こされるので、微量放射線による障害を「放射線が原因」と線引きすることは不可能である。これが許容放射線量を定める根拠であり、その結果として胃ガン検診がガンの原因にならないとして実施する根拠でもある。ただし、具体的な許容線量については多くの説がある。

### 日本の原子炉の型式

沸騰水型原子炉（BWR）：GE系

日本原子力発電（電力会社共同出資による発電会社）、東京電力、東北電力、中部電力、北陸電力、中国電力

加圧水型原子炉（PWR）：WH系

北海道電力、関西電力、四国電力、九州電力