

はじめに

T：3月の東日本大震災で、福島県にある原子力発電所が、大変深刻な事故を起こしました。日本に初めて原子力発電所が作られた当時から、原子力発電所は事故が起こったときの被害がとても大きいので、作るべきでない危険な発電所だと言われてきました。しかし、日本では2011年3月までに、54基もの原子力発電所が建設され運転されてきました。この近畿地方でも、裏日本の若狭湾に14基もの原発がつけられました。今後も原発を使い続けていいのかどうか。化学や情報で習ったことの復習もしながらみんなで考えてもらいたいと思います。

第1章 原子と核分裂エネルギー

第1節 原子核は何でできているか（原子核の構造）

T：今君たちが使っている机や椅子、学校の建物、私たちの体も含む生物の体、地面や雲、月や太陽や星など、宇宙にあるもののすべては、原子という目に見えない小さな粒からできています。

原子は、ビー玉のような、表面も中心もどこも同じような粒ではなく、中心に原子核という、うんとちいさな粒があって、その廻りを電子という粒が回っています。このことは日本人の長岡半太郎という学者も予想していて、1911年に、イギリスのラザフォードという学者が、プリント表紙の図のような実験をして確かめました。

原子を作っている粒子は、電子の他に、原子核を作っている陽子と中性子の合計3種類あります。この宇宙にあるものはすべて、陽子、中性子、電子の3つの粒子からできているということになります。

3つの粒子のうち、陽子は1個あたり+1（電気量の単位でいうと 1.6×10^{-19} クーロン）、電子は1個あたり-1（電気量の単位でいうと -1.6×10^{-19} クーロン）の電気を帯びています。中性子は電気を帯びていないので、中性子という名前がついています。

質量でいうと、陽子と中性子はほぼ等しい質量をもち、電子はうんと軽くて、陽子の約1840分の1の質量しかありません。

原子には種類があって、物質の種類は原子の組み合わせで決まります。酸素という物質は酸素原子が2つくっついた酸素分子からできており、銅や鉄は銅の原子や鉄の原子がたくさん集まったものです。食塩などはナトリウムという原子と塩素という2種類の原子でできています。

原子の種類は原子核の中にある陽子の数で決まります。それでそれぞれの原子

の中の陽子の数を原子番号といい、この番号で原子の種類を表します。

それで、ある原子の原子番号をZとすると、この原子の原子核は+Zの電気を帯びており、それはZ個の陽子があるため、その陽子の数と同じZ個の電子が原子核の廻りを回っています。中性子の数は、陽子の数と同じ場合も違う場合もあるのでNという別の記号で表します。

同じ種類の原子で、つまり陽子の数は同じ原子なのに、中性子の数が違う原子が存在することがあります。それらの原子同士を区別する必要があるときには、陽子と中性子の数を足した、質量数という数字を使って区別します。例えば普通の水素原子は陽子が1個だけで中性子がありません。0.01%ほどの水素原子だけが陽子1個のほかに中性子も1個存在します。それで普通の水素は ${}^1\text{H}$ （水素1）、中性子もある水素を ${}^2\text{H}$ （または ${}^2\text{D}$ ）（水素2、または重水素）と表して区別します。元素記号の左上の数字が質量数を表します。

これらの原子同士を同位体（アイソトープ）と呼びますが、同位体の中には放射線を出すものもあり、それらは放射性同位体と呼ばれます。例えば、今回の事故のニュースでよく紹介される、ヨウ素131やセシウム137という放射性同位体は $131 - 53 = 78$ 個の中性子をもったヨウ素Iと $137 - 55 = 82$ 個の中性子をもったセシウムCsのことです。

同位体は化学的には全く同じ性質なので、放射性同位体を化学的に処理しても、放射線を出さない原子には変えられません。

第2節 質量がエネルギーに変わる（核分裂反応とエネルギー）

T：100万kWクラスの原子では30トンの核燃料(酸化ウラン)が使われます（このうちウランは26トンで、核分裂をおこすウラン235は800kgほど）が広島に落とされた原子爆弾は、わずか60kgのウランで作られていました。しかも、あの膨大なエネルギーは、60kgのうちのわずか1%あまり、1kgのウランの核分裂によって生み出されたものです。ウラン1kgが核分裂したときのエネルギーは、TNT火薬にして何トン分に相当すると思いますか。広島原爆では爆心地から半径2kmの木造家屋が爆風によって全壊しています。通常の250kg爆弾では半径5mの木造家屋が全壊するとされています。250kg爆弾の爆薬の量はおよそ100kg = 0.1トンです。破壊力の比較から大雑把に計算してみてください。

広島に落とされた原子爆弾のエネルギーはTNT火薬にして15000トン（15キロトン）分に相当します。

T：わずか1kgの物質からどうしてこんなにすさまじいエネルギーが発生するの

だと思いませんか。

普通の火薬では、火薬が一瞬に燃えることが爆発です。火薬を作っている原子がバラバラになって酸素原子と結合することが一瞬に起こるのが爆発です。火薬の中での、結合エネルギーの大きな不安定な状態から、エネルギーの小さな安定した状態に変わる。このエネルギーの差が、爆発のときに生じるエネルギーの源となります。原子の結びつきがかわることによって取り出されるエネルギーなので、このエネルギーを「化学エネルギー」とよんでいます。

核分裂の場合も基本的には原子と同じで、エネルギー状態が高い、不安定な大きな原子核から、エネルギー状態の低い、安定した小さな原子核へと分裂して、そのエネルギーの差が、「核エネルギー」として放出されるのです。化学反応との大きな違いは、原子核そのものが変わってしまうことです。

T：それではどんなふうにして、原子に核分裂をおこさせるのだと思いませんか。何をしたら原子は分裂してしまうのでしょうか。

原子核よりも小さなもので、陽子や電子の電氣的な反発を受けない、電気を持たない粒子をぶつけるとよいのです。原子核より小さく電気を持たない粒子に何があると思いませんか。中性子ですね。

ウラン235は、不安定な大きな原子核ですが、これに中性子を当てると、原子核の中に中性子を取り込まれて、いっそう不安定になり、全体が激しく振動し始めます。振動しているうちに細長い形になるときがあると、陽子同士の反発力のために、ますます引き離され、2つに分かれてしまうのです。このとき2～3個の中性子が飛び出てくるので、別のウラン原子核があれば、また核分裂がおこる可能性があります。

分裂してできた原子核と中性子を全部集めたら、もとの原子核と中性子を合わせた質量と比べて、質量は少なくなっています。この少なくなった質量が、アインシュタインの特殊相対性理論で表される関係式 ($E = m c^2$) で、膨大な量のエネルギーに変わっているのです。少なくなった質量mはわずか0.68 gですが、cというのは光の速度で 3.0×10^8 という大きさがありますからそれを二乗した数は膨大な大きさになるのです。

第3節 広島・長崎の悲劇を繰り返さないために（原子爆弾の原理）

T：第二次世界大戦の末、アメリカ合衆国は広島と長崎に原子爆弾を落とし、大勢の人がなくなったり、生き延びても原爆症で苦しむ人がたくさんできたりしました。原爆投下は非戦闘員を殺傷したという理由で、あきらかに不当な犯罪行為

と言うべき作戦でした。今回は核エネルギーという観点で、原爆とはどういう兵器であるかということ学びます。

ウラン235という原子核に中性子を当てると2つの小さい原子核に分裂します。そのとき2個から3個の中性子が飛び出します。このうち1個でも、また別のウラン原子核にぶつかれば、核分裂がまた起こることになります。このように核分裂が続けて起こることを「連鎖反応」といいます。

核分裂がゆっくり起こるように、中性子の数を減らしているのが、原子力発電を行う「原子炉」です。一方、中性子の数を増えるにまかせて、核分裂が次々と起こるようにしていくと、一瞬のうちに、巨大なエネルギーが生まれてきます。これが「原爆」なのです。

T：連鎖反応はどんな小さいかたまりでも起きるのでしょうか。それとも、ある一定以上の量がないとだめなのでしょうか。どうしてそう思いますか。

T：かたまりが小さいと、分裂して出てきた中性子が別の原子核にぶつからないうちに、かたまりの外に出てしまい、続けて核分裂が起こらなくなってしまいます。だから、連鎖反応を持続させるには、かたまりの大きさはある程度以上必要なのです。この必要最小限の質量を「3 臨界量」といっています。ウラン235では15kg、プルトニウムでは4.4kgです。（臨界量は状態・密度によって変わります。）（1999年9月茨城県東海村の核燃料製造工場で起きたJCO臨界事故の時の臨界量は3kgでした。この事故は、すぐ近くに住宅地のある、なんの遮蔽もない工場の中で、突然原子炉が「発生」してしまったという、大変な事故でした。工場から700mの距離に小学校があります。）

(3740文字)

第4節 見えない恐怖・放射能（※放射線の種類と単位と許容量）

T：身近に利用している放射線というとX線（レントゲン線ともいう）があります。これは1895年にドイツのレントゲンが真空放電を研究しているときに、偶然発見しました。正体がかめめない光線であったことから、X線と名付けました。

放射線は、においも味もなく、人間の五感ではまったく感じられない、大変しまつの悪いものです。広島や長崎に原爆が投下された直後、焼け野原と化した爆心地近くに、救援活動や肉親探しに来た人々に対して、何年か何十年かの後に放射線障害を起こしています。この見えない恐怖・放射線は、写真フィルムを感光させたり、物を電離（イオン化）させたり、蛍光物質を発光させたりする性質を持っているので、この性質を利用して、その存在を調べたり、利用したりしている。X線は医療関係に大きな利益がありましたが、電離作用のために染色体中の遺伝子を傷つけるので、多くの放射線障害も同時におこしました。最近では妊婦に対するX線写真は、胎児の被曝による小児ガンの発生確率を上げることがわかっており、妊婦に対してはよほどでないといふX線写真は撮らないようにしています。

T：放射管以外からも放射線が出ていることを、フランスのベクレルが1896年にウラン化合物と蛍光との関係を研究していて偶然発見しました。その後、1898年、フランスのキュリー夫妻によってラジウムが発見され、彼らが行った放射能の研究によって、「放射能」という、フィルムの感光作用、蛍光作用、電離作用を示す能力を意味する言葉が生まれ、放射能をもつ物質から出る電磁波や微粒子を「放射線」と呼ぶことになりました。生涯を放射能の研究にかけたキュリー夫人は、2つのノーベル賞を与えられましたが、白内障と白血病という、放射線障害に侵され、66歳でなくなりました。

T：ところで、放射線にはX線以外にどんなものがあるか知っていますか。放射線の正体は一体何だと思えますか。

その正体を知る手がかりが、放射線を、磁石の中に通してやると見つかります。磁石の中を通った放射線には、曲がるものと、まっすぐ進むものがあります。放射線が曲がるのはなぜでしょうか。

電気を帯びた粒子（荷電粒子）は磁場から力（ローレンツ力）を受けるからです。そこで、放射線は大きく分けて、電磁波と粒子の流れとに分けることができます。

α 線はヘリウム原子の原子核で、+の電気を帯びていますから磁場の中を進むときは、その進路が曲げられてしまいます。 β 線の正体は電子線なので、これ

も磁場の中では、その進路が曲げられてしまいます。γ線は電磁波なので磁場の中で進路が曲がることはありません。

T：放射線は目には見えないものですが、それを計る装置はあります。放射能や放射線の強さを表す単位にはどんなものがあり、どのように決められているのでしょうか。ここでは二つだけに絞って学んでおきます。

一つはベクレル〔Bq〕という単位です。この単位は、1秒間に1本の割合で出す放射線の強さを表します。例えばラジウムという物質は非常に放射線の強い物質ですが、その同位体のうちラジウム226は1gのかたまりでも1秒間に370億本もの放射線（核崩壊数）を放出します。そこでラジウム226の放射能は、370億Bq/g（ベクレル毎グラム）ということになります。「毎グラム」という部分に注意してください。放射能をもった物質は、量が多いほどたくさんの放射線を放出しますから、一定体積や一定質量に区切って、その放射線の強さを表すのです。ベクレルという単位は、今回の事故に関わっては食品の放射線の強さを表すのによく使われています。

もう一つは、シーベルト〔Sv〕という単位です。生体（人体）が放射線を浴びて障害を起こすのは、放射線の持つエネルギーによって細胞の構造が破壊されるからです。また、同じ量のエネルギーの放射線を浴びても、その放射線の種類によってその影響に違いがあります。そこで、生体（人体）が放射線を受けた場合の影響は、受けた放射線の種類（アルファ線、ガンマ線など）ごとに定められた係数（放射線荷重係数WR）を乗じて線量当量（シーベルト）というものを算出しています。シーベルトという単位は、その場所の放射線の強さを表すのによく使われます。たとえば、福島のある小学校の校庭の放射線量が $2\mu\text{Sv}/\text{h}$ （マイクロシーベルト毎時間）だとすると、その校庭にいる人は1時間当たり、体重1kgあたり、 $2\mu\text{Sv}$ （100万分の2シーベルト）の放射線を浴びることになる、という意味です。校庭にいる時間が1日当たり1時間で、1年間に180日校庭にいるとすると、1年間で

$$(2 - 0.04)\mu\text{Sv} \times 1 \times 180 \div 1000 = 0.35\text{mSv}$$

の放射線を、事故前と比べて余分に浴びることになります。（もちろん、校舎内も通学路も自宅も、事故前より放射線量は多いので、全体ではもっとたくさん放射線を浴びることになります。）

T：放射線は一度に大量に浴びれば即死してしまうほど危険なものですが、少量の放射線に対してはどのように考えればよいと思いますか。

日本の法律では、1990年の国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告に基

づいて、放射線従事者は年間50 mシーベルト（継続する場合は1年当たり20 mシーベルト）、一般人は年間1 mシーベルトを線量限度（もとは「許容量」といわれていた。）としています。この線量はどのように考えたらいいかというと、実は、放射線の障害には、ある程度まとまった線量（限界線量）以上浴びないと起こらないタイプのもの（非確率的影響）と、少ない被曝でもそれなりの割合で障害が起こってくるタイプのもの（確率的影響）の2種類があるのです。もしも、放射線障害が前のようなタイプだけなら、限界以下に被曝をおさえておけばよいのですが、実際には後のようなタイプ（その代表的例がガンとか遺伝的障害）もあるので、「放射線被曝は少ないに越したことはない」という原則に基づいて考えた方がよいでしょう。

第5節 練習問題

T：今回の事故に関わって、発電所内と汚染された村の放射線量がどのような数値なのか、簡単な計算問題で考えてみましょう。まず発電所内部の放射能について計算してみましょう。

2011年3月18日、福島原子力発電所、2号機のタービン建屋地下1階で放射線量を測定したところ、作業員の被曝線量の上限（250 mSv）を上回る毎時500 mSvだったといえます。原発作業員通常基準(年間)50.0 mSvの値を守ろうと思うと、タービン建屋地下1階で作業できる時間はいくらになるでしょうか。原発作業員新緊急基準（年間）250.0 mSvの値を守ろうと思うと、タービン建屋地下1階で作業できる時間はいくらになるでしょうか。

1時間 = 60分なので、

$$\frac{50}{500} \times 60\text{分} = 6\text{分}$$

となり6分以内に作業を終えないと基準値を超えてしまいます。

新緊急基準でも

$$\frac{250}{500} \times 60\text{分} = 30\text{分}$$

となり30分程度しか作業できません。

こんなに放射線量の強いところでなくとも、どうしてもそこで作業しなければならない場所があったら、どうしていると思いますか。それは、時計を見ながら、交替で何人もの人で作業をするのです。それでも1カ月や2カ月で基準の値を越えてしまったら、その人は残りの10カ月は放射線を浴びる作業はできなくなっ

てしまいます。そんな人がどんどん増えてしまったら、発電所で働ける人がいなくなってしまう。ですから、原発の仕事を引き受けた会社の中には、従業員が長く働けるように常に人員配置を考えているところもあります。

T：次に避難勧告が出された飯舘村の放射線量について計算してみます。

飯舘村周辺放射能汚染調査チームが、2011年3月28日、29日に測定した値は、最大値で $30\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ （畑地）だったそうです（少ないところでも $2\sim 3\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。今回の事故で汚染されていないと考えられる大阪の値は全国平均より少し高く $0.06\ \mu\text{Sv}/\text{h}$ 。）。この放射線量が1年間続くとして、この畑で1日8時間作業を行うとすると、一般公衆が1年間にさらされてよい人工放射線の限度（ICRPの勧告）の 1mSv を超えるのに何日かかるでしょうか。また、電離放射線障害防止規則による放射線業務従事者（妊娠可能な女子を除く）が法定の5年間にさらされてよい放射線の限度である 100mSv を超えるのに何年かかるでしょうか。

$1\ \mu\text{Sv} = 0.001\text{mSv}$ なので、事故以前とくらべた1日当たりの被曝線量の増加は、汚染されていないときの放射線量 $0.04\ \mu\text{Sv}$ を引き算して、
 $(30-0.04)\ \mu\text{Sv}/\text{h} \times 8\text{h} \times 0.001\text{mSv}/\mu\text{Sv} \doteq 0.24\ \text{mSv}$
となり、およそ5日で超過してしまいます。

放射線業務従事者の被曝限度を超えるのは

$$100\text{mSv} \div 0.24\text{mSv}/\text{日} \doteq 417\ \text{日}$$

となり、2年たらずで法定線量を超えてしまうことになります。

（放射性物質は3月15日に飯舘村に降下しているので、90日間の積算被曝線量は、最大 90mSv と計算されています。）

こんな値ですから、そこに住んではいけないということから避難勧告が出されたわけです。

(3730文字)

第6節 トイレなきマンション—原子力発電とその問題点

T：世界有数の地震国なのに、アメリカ、フランスに次いで世界第3位の原発国という日本の原発は、2012年現在、50基存在し、内2基が運転中、計画中14基という数となっています。原発は、その運転にともなって生じる利益に比べ、多くの問題点を持っています。原発の原理とそのおもな問題点について学習しましょう。

原発では、原子炉の中で、ウラン235を燃料にして、原子核分裂を連鎖的に起させ（連鎖反応）、そのエネルギーで発電しています。では、核エネルギーをどのように電気エネルギーに変えているか、次のア～ウのうちどれだと思いますか。

ア．核分裂で生じる多量のβ線は電子の流れだから、このβ線を補集して発電している。

イ．核分裂によって生じる熱で、物質をイオン化して、そのイオンを電圧をかけて分離し、集めて発電する。

ウ．核分裂によって生じる熱で、水を沸騰させ、その水蒸気でタービンを回し発電している。

さあどれでしょう。

T：正解はウです。核分裂によって生じる熱で、水を沸騰させ、その水蒸気でタービンを回し発電しているのです。

原子炉の原理は、炭が燃え続けるように、燃料のウランの原子核分裂を徐々に連鎖反応させるものです。原子炉の運転には核燃料、核反応を制御するための制御棒、核反応を進みやすくするため中性子を減速する減速材、核反応によって生じる熱を取り出し、燃料などが溶けないようにする冷却材の4つが最低必要です。もちろん実際には、この他に放射線防護の面から、格納容器が必要となります。

プリントの図を見てください。上の図は沸騰水型原子炉とって、燃料棒の廻りで直接水を沸騰させて水蒸気を作るタイプの原子炉です。放射能を帯びた水蒸気がタービン室まで循環するという欠点があります。下の図は加圧水型原子炉とって核分裂で発生した熱で別の経路の水を沸騰させて水蒸気を作るタイプの原子炉です。タービン室には放射能を帯びた水蒸気が循環しないという利点がありますが、細い管を大量に束ねた蒸気発生器に穴が開きやすいという欠点があります。

どちらの場合も燃料棒を入れてある容器から、パイプがつながっていて、密閉されていないということに注意してください。

日本の発電用原子炉は、減速材と冷却材に軽水（重水に対し普通の水のことをさす）を使った軽水炉で、米国から輸入したり、技術提携して国産化したものです。軽水炉は、もともと原子力潜水艦用に開発されたものを大型化して、発電用に転用したものです。燃料は特別に加工した濃縮ウランを使用するなど、安全よりも効率を追求した炉で、技術的にまだ未解決な点が専門家によって指摘されています。後の「典型的事故例」に説明がありますので、読んでおいてください。

T：次に、日本の原子力発電所は、どんな場所に建てられているか、ということを考えてみましょう。

T：図から分かる通り、原子力発電所のある16ヶ所すべてが、海岸にあります。

その理由は、冷却水として大量の海水が必要だからです。原発1基の発電量は約100万kwで、火力より大きく、しかし熱効率は火力より低い30%なので、原子炉の総熱出力（一基から発生する熱）は約300万kWにもなります。電力に変えることのできない200万kWの熱は、冷却材を使って自然界に捨てなくてはならないのです。この冷却材として大量の海水を使うために、日本の原子力発電所はすべて海岸にあります。外国の原子力発電所では、大きな川のそばに建設されているものもあります。この場合は、年間を通して水量が安定している川である必要があります。

しかし、いくらでもある海水だといっても、温度が7℃位高くなった水が、毎秒70トン（約2教室分）と排水されるものですから、魚の住む環境は大きく変化し、生態系は破壊され、すっかり変わった海になってしまいます。このため、漁業関係者にとっては死活問題となるので、原発に強く反対しています。

T：もう一つの問題点を紹介しましょう。それは原子力発電所で働く人たちの被曝の問題です。

原発では、事故や故障で修理作業をしたり、定期点検をするとき、放射線を浴びながら作業しなければならないという問題があります。この原発労働者の被曝の実態は、堀江邦夫というノンフィクション作家が実際に原発労働者となって調べたことを書いた「原発ジプシー」という本や、森江信という原発労働者が書いた「原子炉被曝日記」などで明らかにされ、下請労働者の非人道的扱いが知られるようになりました。例えば、1日の被曝線量は1ミリシーベルトとなっているから、1時間で10ミリシーベルトの場所で作業すれば、1人当たり6分間の作業時間しかなく、次々と別の人が続きの作業をするという、いわば人海作戦の作業になってしまいます。しかし、実際には、放射線被曝は特に多量でない限り、その場では痛みもなにも自覚症状がないのと、短時間労働のため、ついつい被曝

線量を偽って働くことになります。その結果、数年して放射線障害で倒れるという悲劇が生まれてしまうのです。

T：原子力発電のもう一つの大きな問題を紹介します。原子炉を運転すると、いろいろの放射性廃棄物が発生します。放射能の最も強い高レベル廃棄物は使用済核燃料で、100万kwの原発で毎年30トン位は出ます。これは、広島型原爆1千発分にも相当する「死の灰」です。この「死の灰」はどう処理されると思いますか。核燃料は使い終わった後も大量の熱を発生し続けます。そこでまず、原発内のプールで、半年間以上、運搬可能な核反応熱におさまるまで冷却し続けるのです。その後、保管しやすいように処理する再処理工場に運び、再利用できる部分とそうでない廃棄物に分けるのです。再利用できる部分というのは原子炉を運転すると発生するプルトニウムのことです。プルトニウムは原子爆弾の原料になるので、アメリカでは核拡散を防止するために核燃料の再処理はおこなわれていません。再処理してできる廃棄物はとても放射能が強く、また熱を発生し続けるので50年位は冷却しながら保管した後、永久に地下貯蔵することになっています。しかし、日本では、どの最終処分候補地も、地元の反対が強く、いまでも場所が決まっていないのです。フィンランドという国では、世界で初めて、地下処分場を作っていますが、高レベル放射性廃棄物は安全な状態になるまで、10万年間かかると言われています。一体10万年間も安全な状態で保管できるのか疑問がもたれています。特に日本では、資料の2万年前の日本列島の地図を見ても分かるように、10万年も安定した地殻というのは存在しません。本当に日本で地下処分などができるのか大変疑問です。

(2760文字)

第2章 福島第一原子力発電所事故

第1節 絶対安全と説明されてきた原子力発電所

T：日本の政府も電力会社も、原子力発電所は、絶対安全で、重大事故はおこらない、と説明してきた。どのように説明されてきたのか振り返って見ましょう。

「原子力発電所の安全確保の考え方は『多重防護』を基本としています。『多重防護』とは、文字どおり何重にも安全対策がなされていることを意味します。

まず、第一段階として、異常の発生を未然に防止するため、安全上十分な余裕をもたせた設計を行い、厳重な品質管理と入念な点検と検査を行っています。

次に第二段階として、異常が発生したとしても異常の拡大を防止し、事故になるのを防ぐため、各種の自動監視装置が設けられています。異常を発見した場合には、原子炉を緊急に停止するなどの措置がとられます。さらに、緊急を要する異常を検知した場合にはすべての制御棒を挿入し、原子炉を自動的に『止める』設計になっています。

さらに第三段階として、念には念を入れるという考え方から、配管の破断により、冷却材が喪失するというような事故を想定し、これに備えるために非常用炉心冷却装置（ECCS）や格納容器スプレー系が多重に設けられています。万が一の事故の際には、非常用炉心冷却装置（ECCS）が働き、原子炉内部に一挙に大量の水が注入され、原子炉を『冷やす』しくみになっています。

また、原子炉は密閉された原子炉格納容器の中に閉じ込められており、放射性物質が外部に出ないように『閉じ込める』しくみになっています。」

放射性物質が外部に出ないように「閉じ込める」しくみがプリントの図の5重の壁です。この図で注意してほしいのはプリント10ページの原子炉の図と比べてパイプが一本も記入されていないことです。原子炉には冷却水が通る配管以外に多くの配管が通っているのです。（マークI建設写真参照）

さて5重の壁とは、原子炉からの放射能漏洩を防ぐために設けられた5つの障壁のことで、原子炉の安全設計の「多重防護」のうちの一つです。

第1の壁は燃料ペレットで、発生する放射性物質をペレット内部に保持する働きをする、と説明されていました。しかし、今回の事故で冷却材の水が無くなって、2800℃以上の高温になり融けてしまいました。

第2の壁は燃料被覆管です。燃料被覆管は、燃料ペレットから発生する放射能が外部に漏洩することを防ぐ、と説明されていました。しかし、今回の事故で冷却材の水が無くなって、800℃以上になり水蒸気と反応して水素を発生しながら

無くなってしまいました。

第3の壁は原子炉圧力容器です。原子炉圧力容器は冷却材に溶け込んだ放射能が外部に漏洩することを防ぐ、と説明されていました。しかし、今回の事故で融けた核燃料によって底に穴が開いてしまいました。

第4の壁は原子炉格納容器です。原子炉格納容器は、原子炉圧力容器が破損した際に、放射能および放射線の漏洩を防ぐ、と説明されていました。しかし、今回の事故で格納容器のふたのシリコンゴムが想定を越える高温のため劣化して縮んでしまい、隙間ができ、その結果放射性の気体や水素ガスが、原子炉建屋に吹き出した。(2011年9月3日放送 NHKTV 番組「サイエンスゼロ」)

また、地震のために配管が破損し、汚染水が海まで漏れてしまいました。

(どの部分が破損したのかは実際はまだ不明)

第5の壁は原子炉建屋です。原子炉建屋は、原子炉格納容器外部まで放射能が漏洩した場合に、外部への漏洩を防止する、と説明されていました。しかし、今回の事故で、発生した水素によって水素爆発がおこり、壁が吹き飛んでしまいました。

今回の事故で、確かに、地震を検知して原子炉は停止しましたが、送電線が倒れたため、原子炉を運転する外部電源が絶たれ、また非常用発電機も、津波でこわれてしまい、せっかく停止した原子炉の燃料を冷やせなくなってしまったのです。全ての電源がなくなってしまったために、非常用炉心冷却装置も働きませんでした。そうして、燃料の温度がどんどん上がり、溶けてしまって、圧力容器の底を破ってもれてしまったというわけです。

5重の壁というものは、通常運転をしている原子炉から、放射能が外部にもれないようにしたもので、今回の事故で明らかのように、過酷事故が起これば、放射能は外部に漏れてしまうようになっているのです。

T：日本は地震国ですから、原子力発電所を作るには、決められた耐震基準を満たすことが要求されます。しかし地震の揺れは過去に起こった地震から推測するので、この推測が間違ふことはあるわけです。その可能性に対して、基準を決める会合で「間違ふことはあるが、それは仕方がない」と説明されたのです。これは、現在の日本の原発は「地震や津波で破壊されない」のではなく、「想定している範囲なら破壊されない」ということを意味していることになります。

第2節 大地震の活動期にはいった日本列島

そして、地震学者の多くが、日本列島はほぼ全域で大地震の活動期に入りつつある、と考えているのです。非常に複雑、高度に文明化された国土と社会が、人類

史上初めて大地震に直撃されることになるのです。

石橋克彦という地震学者が2005年の国会で原発震災を強く警告しています。

「普通、原発の事故というのは単一要因故障といって、どこか一つが壊れる。で、その場合は多重防護システム、あるいはバックアップシステム、安全装置が働いて、大丈夫なようになるというふうに作られているが、地震の場合は複数の要因の故障が同時に起こり、それらが複合して、多重防護システムが働かなくなったり、安全装置が働かなくなるとかで、最悪の場合、炉心溶融とか核暴走とかいうことにつながりかねない。

地震ではない時に、平常時に仮に万一、浜岡で大事故が起こった時に、近隣住民が放射能で1000人死ぬとする。一方地震で1万人の死者が出たとして、それが同時に起こったら、死者は11000人かということ、決してそうではない。

放射能から避難しようと思っても、地震の被害で、逃げようにも逃げられない。浜岡のその原発事故に対処しようと思っても、対処できない。

一方、新幹線が脱線転覆して閉じこめられたり、家屋が倒壊してその中に閉じこめられている、そういう人たちを、普段であれば、救出するということができるが、非常に強い放射能がある。それが襲ってくる訳だからおそらくそれは非常にやりにくい、できないんじゃないか、通常の震災による生き埋めの人、救出できる人が見殺しになるんじゃないか。そうすると死者が数万人にも十万人にも及ぶ、ということが東海地方で起こりかねない。』

第3節 日本の電力構成

T：では、原発は危険だから、原子力発電を全くやめてしまおうと、でもそれで電気は足りるのかどうかということですね。それを確かめて見ましょう。

原子力による発電は、火力発電所や水力発電所のように、出力を自由に増やしたり減らしたりすることができません（急激な温度変化を短期間に繰り返すと炉が痛む）。ところが、電力需要は季節により、1日の間で大きく変動します。電気は一番電気をたくさん必要とされる瞬間の電気をまかなえるように発電しなければなりません。これを最大必要発電量といいます。最大必要発電量というのは、真夏の数日間の午後の1，2時間だけの電力需要を指しているのです。この時間帯の消費電力を減らすことができれば、最大必要発電量を減らすことができます。この時間帯は家庭での電力消費は最低（深夜を除く）で、大半の電力は事業所（会社）によって消費されています。

最大必要発電量を減らすには省エネを行ったり、働く時間をずらしたりという

ことが考えられますが、それにももちろん限度はあります。省エネしても足りない分を発電する方法はあるのでしょうか。問2を見てください。

T：2009年度末における発電方式別の発電設備容量と実際の発電電力量は次の表の通りです。この表を見ると石油火力と原子力の発電設備容量はほぼ同じ規模であることがわかります。しかし、石油火力による発電電力量は原子力に比べてうんと小さい値になっています。これはCO₂排出の問題もあって、石油火力発電所の稼働を抑えているためです。石油火力発電所を原子力発電並に稼働させれば、どれくらいの発電量になるか、それは実際の発電電力量と比べていくら大きいか、また、その値は原子力による発電電力量の何%に相当するか、計算して確かめて見ましょう。

T：石油火力と原子力の発電設備容量比は

$$4617 \text{ 万 kW} : 4885 \text{ 万 kW} = 0.94 : 1$$

2009年度の原子力の発電電力量は2785億kWhですから

同一稼働率で石油火力を稼働させたとすれば、設備容量比から

$$2785 \text{ 億 kWh} \times 0.94 = 2617.9 \text{ 億 kWh} \approx (2618) \text{ 億 kWh}$$

実際の発電電力量と比べて

$$2618 \text{ 億 kWh} - 727 \text{ 億 kWh} = 1891 \text{ 億 kWh} \text{ 大きい}$$

つまり、火力発電はあと1891億kWh余分に発電することができるということです。

この発電電力量は、原子力による発電電力量の

$$1891 \text{ 億 kWh} \div 2785 \text{ 億 kWh} \times 100 = 67.9 \approx 68\% \text{ に相当します。}$$

つまり、原子力発電所で発電している電気の30%分を省エネなどで節約できたら、残りの70%分は、火力発電所でまかなえるというわけです。実際2012年の5月5日から7月5日までは、日本のすべての原子力発電所は停止していて、しかも1日も停電にはならなかったのです。

(3870字)

第4節 いろいろな発電方式

T：原子力発電所を動かさなくても電気は足りるということはわかりました。しかし、日本には資源が少なく安定的に電気を作るためには危険であっても原発を運転し続ける必要がある、という意見もあります。また火力発電は原子力発電よりも二酸化炭素をたくさん発生させるので環境にはよくない、という意見もあります。原子力発電や火力発電に頼らない発電方法はないのでしょうか。いろいろな発電方式を一つ一つ見ていきましょう。

T：まず洋上風力発電です。日本は廻りを海でかこまれた島国で、海の上ではつねに風が吹いていて、風力発電を行うにはとても良い環境にあります。たとえば、東京大学の学者の研究によると、「関東地方の海岸からの距離10kmまでの海域を対象とした場合、風力エネルギーの賦存量（発電可能量）は年間94TWh（テラワットアワー）となり、2005年の東京電力の年間電気販売量の32%に相当するそうです。ただし賦存量の大部分は水深500mを越える海域にあり、経済的に利用が難しいと考えられる。」とされています。経済的に利用が難しいのは、直接海底に風車を建てる場合で、海に浮かべる形式の風車なら経済的に利用できる可能性があるといわれています。

外国では風力発電設備の建設は大変活発で、2009年の世界の風力発電容量は1,578億9,900万W（前年比31%増）もあります。

新しく稼働した施設は約375億W相当で、平均的な原子力発電所約30基分にもなります。

国別の発電容量では、

- ・1位はアメリカで（約2,500万kW、2008年）
- ・2位はドイツで（約2,400万kW、2008年）
- ・3位は中国で（2510万kWもあります。これは前の年の約2倍で、世界の増加分の約1/3を占めています。

T：太陽電池発電はどうでしょう。

関西電力と堺市とシャープは2008年6月に計28MW（メガワット）（2万8千kW（キロワット））の発電施設、九州電力と福岡県大牟田市は同じ2008年8月に計3MW（3千kW）の発電施設、そして東京電力と川崎市は2011年10月に計20MW（2万kW）発電施設の計画を発表しています。

太陽電池発電施設はこのように大規模なものでも、原子力発電や火力発電の50分の1の発電量しかありません。

家庭用に限れば、家庭の消費電力をまかなうのに必要な（出力3kW）太陽電

池は200万円程度で取り付けることができます。余った電気は定額で電力会社に売ることが可能となったので、10年くらいで初期費用が回収できると言われています。

ただし、太陽電池の発電量は天候に大きく左右されますから、もっぱら太陽電池にたよるのであれば蓄電池の併用が欠かせません。蓄電池については電気自動車のバッテリーが期待されています。

T：続いて地熱発電についてはどうでしょうか。

フィリピンはアメリカについて世界第二位の地熱発電国で、約30万kW（300MW）の発電所が3カ所、約10万kW（100MW）の発電所が2カ所あり、国の総発電量の14%が地熱発電でまかなわれています。アメリカでは142万kW（1421MW）の地熱発電所があります。

また世界の地熱発電設備の7割は日本企業が作ったものです（富士電気4割、三菱重工・東芝合計で3割）。

地熱発電は地中のマグマを熱源とするため太陽光や風力発電と違い安定的な発電ができます。

日本は火山国なので、地熱発電が可能な地域は数多くありますが、その8割は国立公園などの保護地域にあって、景観を損なわずに建設する必要があるためコスト高となっています。また温泉関係者の反対も地熱発電所建設が困難な理由の一つです。

T：次に、再生可能なエネルギーということではないのですが、再生可能エネルギーが本格的に運用されるまでのつなぎとして期待できる発電方式があります。それは、コンバインドサイクル発電という発電方式です。これは、ガスタービンと蒸気タービンを組み合わせた発電方式で、最初に圧縮空気の中で燃料を燃やしてガスを発生させ、その圧力でガスタービンを回して発電を行います。ガスタービンを回し終えた排ガスは、まだ十分な余熱があるため、この余熱を使って水を沸騰させ、蒸気タービンによる発電を行います。

この発電方法を使うと同じ量の燃料で、通常の火力発電より多くの電力をつくることのできるのです。同じ量の電気をつくるのに、CO₂の排出量が少ないすぐれた発電方法です。

構造は一般的な火力発電よりも複雑ですが、小型の発電機をたくさん組み合わせて大きな電力を得ることができ、発電機の起動・停止も簡単で、電力需要に敏速に対応できるというメリットがあります（電源を入れてから1時間で起動できる）。

発電効率をより高めた改良型コンバインドサイクル発電（ACC = Advanced Combined Cycle 発電）も徐々に普及しています。ACC 発電では約 50%の熱効率（同じ量の燃料で生み出せるエネルギー）を達成していますが、これは 1950 年代の火力発電の、約 2 倍～3 倍もの熱効率です。

この 50 年で、火力発電所は「1 の燃料」から「約 2 倍～3 倍」もの電力を生み出せるように進化したのです。

LNG 火力（ガスコンバインドサイクル発電）は最短で数か月あれば設置できます。

いくつか、コンバインドサイクル方式の発電所の例を挙げましょう。

東京ガスの「扇島パワーステーション」2号機は出力が 40.71 万 kW あります。（最高効率約 58%（低位発熱量基準・発電端））

四国電力坂出発電所の

1号機（出力 29.6 万 kW）は平成 22 年 8 月に完成しました。

2号機（出力 28 万 kW 級）は平成 28 年度に完成の予定です。

東京電力(株) の千葉火力発電所は出力が 144 万 kW もあります。効率 49%です。

実際、日本の電力会社もこの設備の導入を進めており、2010 年 9 月 14 日には、中部電力が西名古屋火力発電所の石油火力を刷新してコンバインドサイクルを導入する方針を打ち出しました。これによって、この発電所の出力は 119 万 kW から 220 万 kW へ 100 万 kW ほど高まることになります。このことから、原発を延命させるよりもコンバインドを推進したほうがはるかに効率的であることがわかります。

第 3 章 福島原発事故における情報操作

T： 情報 A の授業で、皆さんは情報操作の問題を学習しました。ここでは「情報の内容や伝える方法を意図的に操ることで、その情報を受け取る人間の判断や印象に影響を及ぼすことを情報操作という」と学習しました。情報 A の学習では、商品の誇大広告などが情報操作の例だと学びました。今回の福島原発事故でも、政府や東京電力、新聞社やテレビ局が情報操作しているという批判があります。それは事実でしょうか。また事実とすればどのような情報操作が行われているのでしょうか。

情報操作の方法の 1 つは、情報の独占・隠蔽です。これは、公開しなければならない情報を独占して、不当な利益をあげたり、不利になる情報を隠したりするこ

とでしたね。

福島原発の事故ではこんなことがありました。

「1号機爆発の連絡が、すみやかに付近住民に知らされず、また放射能拡散予測データも、何日も公開されず、住民の無用な被曝を招いた。」

(NHKスペシャル「原発危機 事故はなぜ深刻化したのか」2011.6.5 放送)

「3号機の爆発前に爆発の予兆と思われる異常な放射線量が観測されたのに公表されなかった。」(asahi.com ニュース 2011年5月13日5時31分)

「福島原発上空から撮影した情報収集衛星の画像が、緊急出動した東京消防庁ハイパーレスキュー隊に提供されなかった。」(2011年3月25日「しんぶん赤旗」)

「米軍無人偵察機グローバルホークが撮影した映像が公開されなかった。」

(産経ニュース 2011.3.31 00:37)

「警戒区域内で高い放射線量が測定されていたのに公表が大幅に遅れた。」

(産経ニュース 2011.4.21 16:39)

「東京電力の記者会見で、事故の状況を質問しても「調査中」の繰り返しで具体的な回答がなかなかされなかった。また、ある記者の質問に対して、東電をかばうような発言を(質問「妨害」)大手紙の記者が行った。」(朝日ニュースター 2011.4.5 放送「ニュースの深層」)

「東京電力が、使用可能な発電設備があるのにそれを隠して、電気が足りなくなると発表した。」(週刊ダイヤモンド編集部 【第142回】 2011年4月25日)

(東京新聞「こちら特報部」2011.5.12)

以上のようなことがあったわけですが、みなさんはどう思うでしょうか。

T: 情報操作のもう一つの方法は情報の改ざん・過少評価です。これは、事実とは違う情報に改変して情報を流すという情報操作です。

このタイプの情報操作にあたると思われることでは、こんなことがありました。

「政府記者会見で、枝野幸男官房長官が、何度も、『直ちに健康への影響はない』という表現で現状が安全であるかのような説明をおこなった。」

(J-CAST ニュース 2011年5月22日)

「政府は福島県内の幼稚園や学校などで、子供の屋外活動を1時間に制限するか否かの基準放射線量を、放射線業務従事者の被曝線量の上限(年間)と同等の毎時3・8マイクロシーベルト、年間では20ミリシーベルトとした。」

(毎日新聞 2011年5月16日 東京夕刊)

「福島原発事故で放出された放射性ヨウ素の放射線量が3万から11万テラベクレルもあったのに、政府は事故評価を、事故後1カ月たってようやくレベル7と

発表した。」(読売TV番組「朝生ワイド す・またん!」3月25日放送)
(3930文字)