

TWO SCENE

ウランの生涯 Life of Uranium

国産エネルギー?!
いやいや、
日本生まれじゃありません

ウランは天然にある元素で、土壌や岩石の中にわずかに混ざっています。コンクリートやレンガにもウランが混ざっているため、これらを使った建物は木造の建物よりも空間放射線量率が高くなります。地球上にはウランを比較的多く含む岩石「ウラン鉱石」が採れる地域があり、そこでは地中からウラン鉱石を採掘していて、「ウラン鉱山」と呼ばれています。日本では1950年代に、岡山県と鳥取県にまたがる人形峠周辺でウラン鉱石が採れることが発見され、試験的な採掘がおこなわれました。その後の調査から、十分な量と品位（含有量）のウランが採掘できず採算が合わないことがわかり、国産ウランを発電に使うことにはなりません。

日本の原発で使われるウランは輸入に頼っています。国や電力会社は、「原発は準国産のエネルギー」と堂々と自慢していますが、その根拠は輸入してから数年間は発電できるからというヘリクツなものです。日本にやってくるウランの産地は、オーストラリア、カナダ、南アフリカ共和国などです。最も輸入量が多いオーストラリアでは、先住民アボリジニが伝統的に守ってきた土地がウラン鉱山として利用され、環境破壊がおこなわれているのです。

変身を繰り返すウラン

製錬してウランを鉱石から取り出ただけでは原発の燃料にはできません。ウランの中には燃えにくいウラン-238と燃えやすいウラン-235があります。核分裂しやすいことを「燃えやすい」、核分裂しにくいことを「燃えにくい」と言います。燃えやすいウラン-235はウラン全体のたった0.7%しかありません。製錬しただけでは燃えやすいウラン-235の量が足りなくて原発の燃料にならないので、もともと0.7%だった燃えやすいウラン-235の濃度を3～5%に高める加工「ウラン濃縮」を行います。例えば、遠心分離法で行われるウラン濃縮は、ウラン-238とウラン-235のわずかな重さの違いを利用します。固体のままだとウラン原子ひとつひとつを分離できないので、温めると気体になりやすい化合物にウランをいったん変化させます。気体になったウランを遠心分離すると、より重い（ウラン-238が多くウラン-235が少ない）部分と、より軽い（ウラン-238が少なくウラン-235が多い）部分に分けることができます。軽い部分は核分裂しやすいウランの濃度が高く、原発の燃料として利用されます。残された重い部分は発電には使えず「劣化ウラン」と呼ばれています。遠心分離が終わるとウランは安定な酸化物に変えられるのです。「ウラン濃縮」は難しく、しかも核兵器の開発につながる技術なので、どの国でも簡単に行えるわけではありません。青森県の六ヶ所村にもウラン濃縮工場がありますがトラブル続きで、もし操業が順調にできても処理量が少なく、日本の全原発分の濃縮をとってもまかなえません。日本の原発で使う核燃料の大部分は、アメリカやフランスで濃縮された状態で輸入されます。そして茨城県東海村や神奈川県横須賀市、大阪府熊取町の工場で加工されて燃料集合体ができあがるのです。

ウランと一緒に 掘り出される問題

ウランは地中から掘り出された後、すぐに使えるものではありません。採掘や加工段階でたくさん問題が起こるのですが、それは発電の恩恵を受ける日本で起こるのではなく、オーストラリアなどのウランの産地で発生する問題です。

環境汚染！ウラン残土

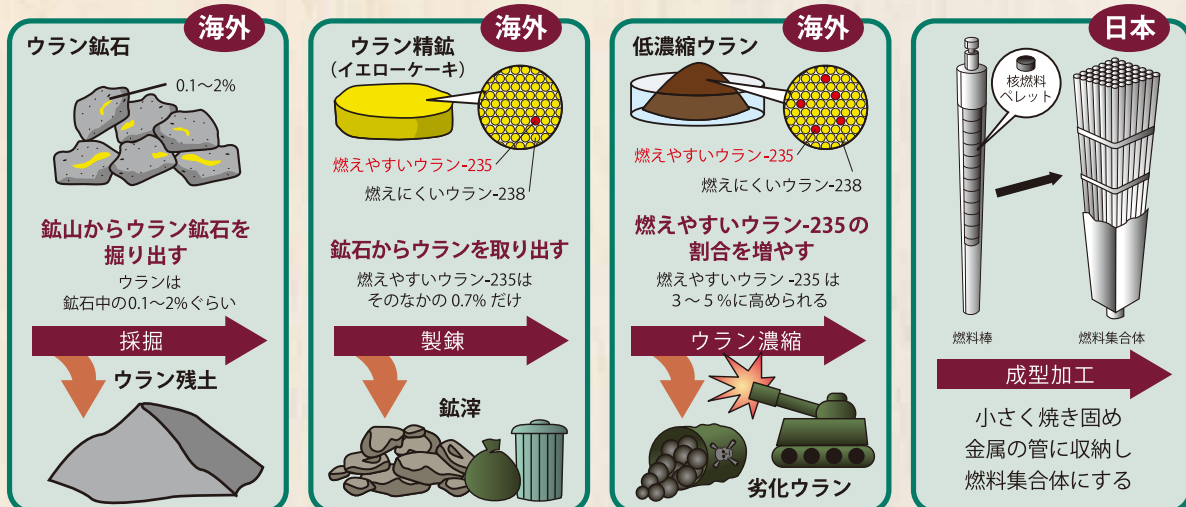
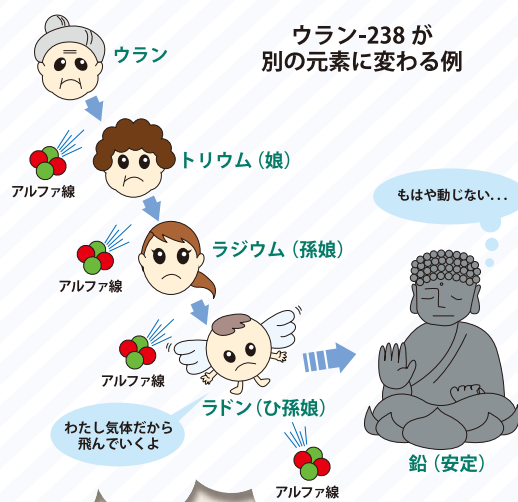
ウラン鉱石に含まれるウランの濃度は産地によってさまざまですが、濃度が高くなると鉱山内の放射線量が高くなって採掘できないため、一般には0.1～2%くらいのウラン鉱石が採掘されています。採掘できるウラン鉱石の濃度が低いので、必要なウランの量を確保するためには大量のウラン鉱石を掘り出さなければなりません。採掘する過程で発生する残土には、濃度の低いウラン鉱石も含まれていて「ウラン残土」と呼ばれます。人形峠の試験採掘では総量8万5500トンのウラン鉱石を採掘しましたが、その後45万立方メートルものウラン残土が放置されていることが分かりました。ウラン残土は核のゴミです。ほんらい地中に閉じ込められていた放射性物質を地上に持ってきて空気にさらしているのですから、周りの環境を放射性物質で汚染してしまいます。

環境汚染！ 製錬工程で生み出される放射性物質

ウラン鉱石からウランを取り出すためには製錬という処理が必要です。鉱山のふもとでは粗製錬が行われ、純度が80%程度の「イエローケーキ（ウラン精鉱）」が作られます。ウラン産出国のオーストラリアからは、この状態でウランが海外輸出されています。その後、集中精錬所で精製錬が行われ、ウランの純度がもっと高められます。ウラン鉱石からウランを取り出す過程では、「鉱滓（こうさい）」というゴミが発生します。鉱滓にはウランの娘や孫娘たちが含まれているためにウラン鉱石全体の85%もの放射能が含まれています。ウラン残土よりも放射能のレベルと危険性が圧倒的に高いのです。製錬で発生する鉱滓と排水は、精錬所近くの「鉱滓ダム」に貯められていますが、放射性物質が排水に溶け出し周りの環境を汚染する問題があります。また、鉱滓ダムは大雨や洪水などによる決壊で大規模な環境汚染を引き起こしています。

被ばく！採掘作業に外部・内部被ばくがともなう

ウランは地球が誕生する以前から存在し、長い年月の中で放射線を出しながらゆっくりと別の元素に姿を変えています（ウラン-238の半減期は45億年!!）。ウラン-238は、トリウム⇒ラジウム⇒ラドン⇒ポロニウム⇒・・・⇒鉛と放射線を出しながら次々に別の元素に姿を変えていくのです。次の世代の元素がまた次の元素を生み出すので、息子ではなくて娘核種と呼ばれています。娘や孫娘たちは、最後の鉛以外の全部が放射性物質です。この中で、気体のラドンはウラン鉱石から空気中に飛び出すので、ウラン鉱山の空気にたくさん含まれています。このため鉱山で働く人々は、ウラン鉱石から直接出てくる放射線による外部被ばくだけでなく、気体のラドンを吸い込んで内部被ばくしてしまう問題もあります。体に取り込まれたラドンは体内で次の娘核種へと変わっていくのです。



ウランは変身を繰り返す度に核のゴミを置き去りにする

製錬とイエローケーキ

製錬とはウラン鉱石からウランを取り出すこと。ウランの同位体の区別はせず、酸やアルカリで溶かすなど化学処理を使って、ウラン-238とウラン-235と一緒に集められる。できあがったものはきれいな黄色をしていて**イエローケーキ**と呼ばれる。

ウラン濃縮

ウラン鉱石から取り出されたウラン（燃えやすいウラン-235と燃えにくいウラン-238の割合は天然のまま）から、燃えやすいウラン-235を集める作業のこと。**天然では燃えやすいウラン-235は圧倒的に数が少なく、全体で1,000個のウラン原子があるとして、そのうち7個(0.7%)だけしかない。**遠心分離などの方法をつかって、この1,000個中7個(0.7%)を、1,000個中30～50個(3～5%)になるように集める作業のことをウラン濃縮という。ちなみに、ウラン型原爆の材料は燃えるウランを1,000個中900個分(90%)にまで増やしたのも。

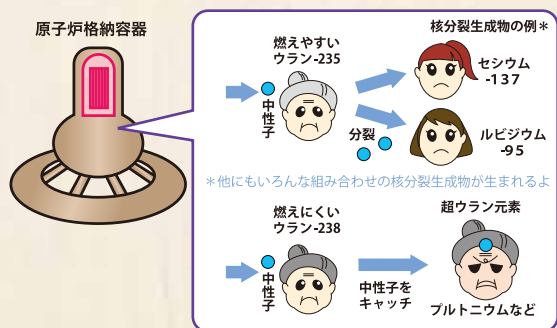
原発で本業中 はりきるウラン

燃料集合体に加工されたウランは、ようやく原子炉の中に運ばれます。そこでやっとウランは本来の目的である“核分裂で発生する熱エネルギーで蒸気をつくり発電タービンを回す”ことができます。燃えやすいウランに中性子があたるとウランは割れて2つ（ときどき3つ）のかけらに分裂します。これを核分裂と呼びます。分裂と同時に中性子を放出し、またその中性子が次の核分裂を引き起こし・・・というふうに次々と核分裂反応が続いていきます。

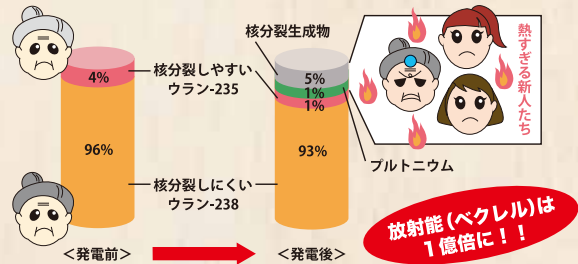
原発を運転すると、ウランが核分裂した結果、燃料集合体の中でさまざまな放射性物質が生み出されます。生まれた放射性物質には固体元素も気体元素もあり、核分裂によって生まれたので「核分裂生成物」と呼ばれます。これは高いエネルギーを持って、大きな発熱量をもち、大量の放射線をまき散らします。

燃料中のウランの大部分を占める燃えにくいウラン-238に中性子が取り込まれると、ウランよりもっと重い元素に変わります。そうやってできたのが、あの有名なプルトニウムなのです。プルトニウムはウランよりも毒性がとて強く危険な元素ですが、原発の運転でそれを人の手によって作り出してしまうのです。プルトニウムのほかにも、アメリカシウムやネプツニウムといった名前のウランよりも重い元素が生まれます。このような重い元素を「超ウラン元素」といいます。ウランが原子炉の中で核燃料として使われるのは約4年間です。ある加圧水型原発で4年間使われた核燃料の変化はだいたい、燃えにくいウラン-238が96%から93%に、燃えやすいウラン-235が4%から1%に減少し、代わりに核分裂生成物が5%、プルトニウムなどが1%生まれます。放射能（ベクレル）で比べると使用前の1億倍にもなります。使用済み核燃料はとても熱いので、原発内にあるプールで一定期間冷やされます。冷やすのに失敗すると熱で溶けてしまう可能性もあるのです。

原発の中 発電中に姿を変えるウラン



発電で使われたウラン燃料の変化



眠れぬウランのララバイ

ウランの一生を振り返ってみると、地球誕生の時から地中でじっとして少しずつ安定な鉛に向かって変化していたウランを、20世紀になって急に掘り起こして核燃料に加工して、むりやり核分裂を起こさせてエネルギーを発電に使ったあげくの果て、大量の核分裂生成物や、毒性が強く核兵器の原料にもなるプルトニウムを生み出してしまったのがわかります。ともなう危険性は国境を越えた問題です。生み出されたものは、あまりに放射能が高く、気が遠くなるくらい長い間面倒を見る必要があるの、その危険性から、どこに処分していいか、その場所も方法も見つからないというのが現実です。

人間は生活や生産活動の中でエネルギーを必要としますが、原子力発電よりもっと取り出しやすいクリーンなものがたくさんあります。原子力発電はウランを使い終わってもその処分という頭の痛い問題を引き起こすものです。人間は「原子力エネルギー」がほしいのではなく、「エネルギー」がほしいのです。ですから、ウランを地面の中でそっとしておいて、もっと処分にこまらないエネルギーを使っていきたいと思います。おやすみなさい。

質量数・同位体

原子は陽子と中性子と電子でできている。このうち電子はとても軽くて重さ（質量）＊は無視してよく、陽子と中性子が質量の大半を占めていて、ほぼ同じ質量をもっている。ある原子の中の陽子と中性子の数を合わせたものを“質量数”という。身の回りの物質の性質のもととなる元素は、陽子の数によって決められている。陽子が1個なら水素、陽子が2個ならヘリウム、3個ならリチウム、4個ならベリリウム・・・という具合だ。陽子の数が同じ～つまり同じ元素～で、中性子の数が違う元素同士を“同位体”と呼んでいる。自然にあるウランには同位体の仲間がいるが、陽子の数はみんな同じ92個で中性子の数がそれぞれ違う。ほとんどのウランは中性子が146個のウラン-238で発電の役には立たない。発電に使えるのは中性子が143個の燃えやすいウラン-235で、**ウラン全体のたった0.7%**しか存在しない。

＊“質量”は物質そのもののもっている値。“重さ”は物質にかかる重力の大きさ。重さは場合によって変化する。たとえば、地球と月で同じものを測定した場合、重さは変わるが、質量は変わらない。

サイクルは回らない

六ヶ所村の再処理工場は失敗続きで事業がたちあがらず、再処理予定の使用済み核燃料はたまる一方です。核分裂生成物をガラスで固めた「ガラス固化体」を作って地中に埋めて処分すると言っていますが、工場でガラス固化体をつくることに成功していません。ガラス固化体を埋める場所も決まっています。核燃料サイクルの夢は現実から逃げていくばかりです。

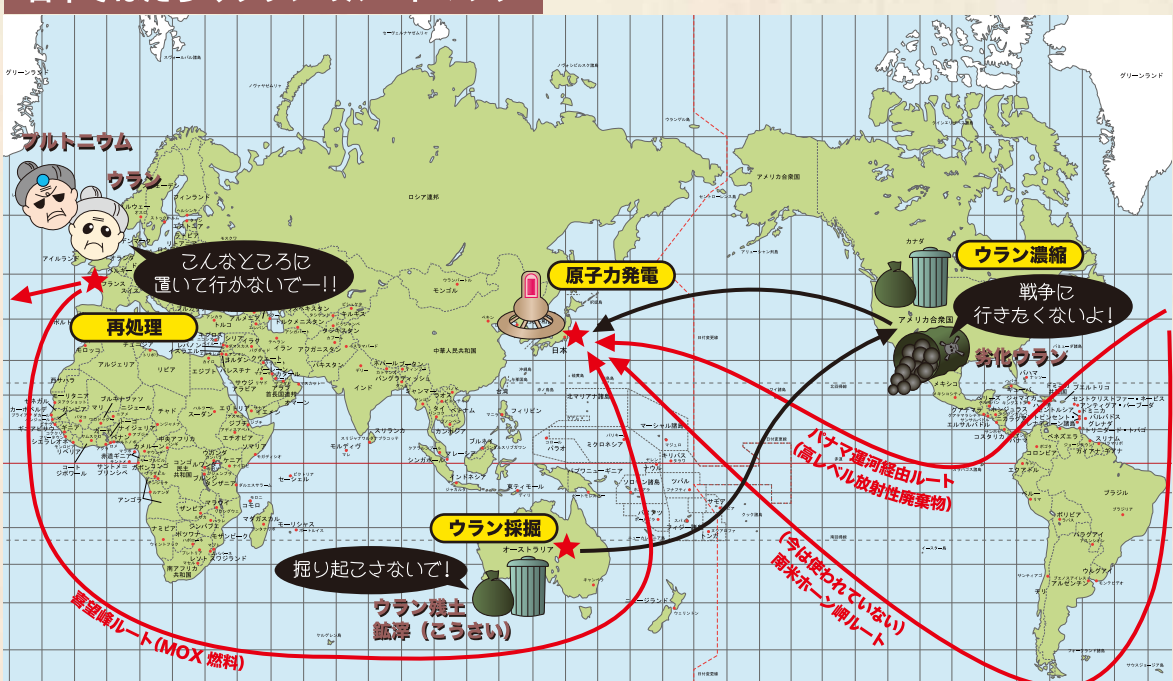
＊ウラン-238が中性子を受け取ってプルトニウム-239に変わりやすい設計の原子炉。「もんじゅ」はその開発段階の炉。

まさに人生 旅ウラン

日本の原発で使われるためのウランは、その生涯で地球をまたにかけ、とても長い距離を移動します。例えば、オーストラリア出身のウランの場合、オーストラリア国内で採掘され製錬されたあと、主にアメリカとフランスに運ばれて濃縮されます。その後、日本に輸入されて、茨城、神奈川、大阪の成型加工工場で核燃集合体に加工された後、トラックによる陸上輸送または海上輸送で日本各地の原発に運ばれます。あなたの街のすぐ近くの道路を、核燃料としてのウランが輸送されているかもしれません。ここまででもまだ、旅の前半です。原発で発電に使用し終わったウランを「使用済み核燃料」といいます。核燃料は使う前よりも使用済みのほうが放射線量や発熱量が高いのです。あちちです。原子炉から取り出した直後の使用済み核燃料はウルトラあちちで、移動させるのにも危険がともなうので、取り出し後平均5年くらいは原発内のプールにためられて水で冷されます。（実際には再処理待ちで行き場のない使用済み燃料はもっと長い期間プールにためおかれています）。

政府は「再処理」計画を立てていますが、国内で再処理する技術がなかなか立ち上がらないので、1999年までは使用済み核燃料をイギリスとフランスに輸送して再処理してもらっていました。そして、ウランやプルトニウムが取り出されたあとに残る核分裂生成物などは、ガラス固化体に加工され、高レベル放射性廃棄物としてまた日本に送り返されています。最近では2013年2月にイギリスからガラス固化体が返還されました。フランスからの返還は終了していますが、イギリスからの返還は今後も続くことになっています。返還された高レベル放射性廃棄物はその後、六ヶ所村にある廃棄物管理施設に運ばれます。高レベル放射性廃棄物はこれまでいくつかのルートで日本に輸送されてきましたが、いまはパナマ運河経由が主なルートになっています。MOX燃料もフランスでつくられて日本に輸送されます。MOX燃料からは核兵器の原料となるプルトニウムを取り出すことができるため、テロ組織に奪われる危険もあります。輸送中に事故が起こればプルトニウムが環境に放出される可能性もあります。MOX燃料が使える原発が日本です。取り出したウランとプルトニウムの一部しか、これまで日本に返還されておらず、日本はなんと！プルトニウムを35トンも、ウランを推定6500トンも、もちろん低レベル放射性廃棄物もたくさん海外に置き去りにしているのです。これらはいずれ日本に返還されることになっています。

日本ではたらくウランのルートマップ



使用済み核燃料は、とても長い間放射能を持ち続けるので、超長期にわたって人間から安全に隔離しなければなりません。そうしないとならない期間は10万年とも、100万年とも言われています。そんな遠い未来まで安全に管理することはできるのでしょうか？ その時代、言語は通じるのでしょうか？ 情報は伝わるのでしょうか？ 責任はとれるのでしょうか？ 人間はどうなっているのでしょうか？ 不安は募るばかりです。