

<概要>

エネルギーをはじめとする資源の有限性を認識するには、その生い立ちに遡ると良く理解できる。そこには、太陽の内部で4個の水素原子核から1個のヘリウム原子核と2個の陽電子が生じる核的過程により放出される膨大なエネルギーを起源として地表に届く太陽光と、微生物の活動である光合成が極めて重要な役割を演じている。27億年前を境にこの核的過程と生物過程が手を取り合って、地球環境は大きく替わりはじめた。そして鉄鉱床をはじめとする天然資源やウラン資源や化石燃料が誕生し、現在の地球環境が形成された。このように考えると、化石燃料は太古の太陽エネルギーの缶詰であり、使うと無くなってしまう有限なものである。そのことを知りながら、エネルギー問題や地球環境問題を考える必要がある。また、これらの資源が極めて長い期間にわたり存在し続けたために今に残り、我々は利用できる。したがって、放射性廃棄物処分の長期安全性を考える上で、このような地質年代スケールでの地球の歴史を考察することは参考になると思われる。

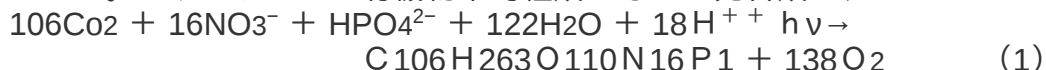
<更新年月>

2006年01月 (本データは原則として更新対象外とします。)

<本文>

46億年前に地球が誕生して、間もなく海が生まれた。大気中に酸素がなくオゾン層も形成されていなかったため、太陽から毒性の強い紫外線が地表に直接飛来した。陸上では生物が生きていく条件は整っていなかった。一方、海の水は紫外線を遮る。海の生成は生物が誕生する要件の一つを備え、35億年前に海に生命が誕生した。

27億年前になると、いずれもエネルギーを放出することはない熱力学的に安定な化合物である二酸化炭素と水、そして太陽光のエネルギーから有機物をつくり、酸素を放出する光合成がはじまった。プランクトンの有機物平均組成をもとに光合成は、



と記述できる(参考文献1)。こうして地球の大気が変わりはじめた。この頃は今のものと違い、火星や金星ほどではないが、二酸化炭素濃度のきわめて高い大気であった。

20億年前になると、大気中の酸素の濃度が少し高くなった。原子力発電で核燃料として使われるウランには、金属ウランの他に四価のウランと六価のウランが知られている。UO₂と記述される核燃料に用いられる二酸化ウランや瀝青ウラン鉱(pitchblende)が代表的なものであるが、四価のウランは水に溶けない。したがって、欧米のいくつかの国で進められている使用済み核燃料の地層処分が、ガラス固化体の地層処分と並んで長期安全性の面でも有望とされる所以である。地下深部は還元環境にあり四価のウランが安定である。一方、六価のウランは水に溶ける。雨に含まれる酸素により酸化され、岩石から六価のウランとして溶け出し、川を下って河口にたどり着く。河口には、(1)式にしたがって酸素を放出して生成した有機物の腐植物質が存在し、これは還元性である。ウランは再び四価に還元され沈殿する過程が続いた。このようにして堆積型のウラン鉱床が形成された。カナダや南アフリカのウラン鉱床には、このときに生成したものがある。

17億年前、現在の中央アフリカのガボン共和国のオクロに、天然原子炉が存在していたことが1972年にフランスの研究者によって明らかにされた(参考文献3、4、5)。当時のウラン鉱床に

適度な地下水が存在し、地中で[自発核分裂](#)により生じた[中性子](#)が、 ^{235}U を[核分裂](#)させ、[連鎖反応](#)が進行した。現在、[天然ウラン](#)には0.72%の ^{235}U が含まれている。その[半減期](#)は7億年である。17億年前に遡ると、ウラン235の[同位体](#)存在率は3.2%と軽水炉燃料なみであった。オクロでは500トン以上のウランが核分裂連鎖反応に関与し、反応が50万年間続き、計 $100 \times 10^9 \text{kWh}$ のエネルギーが発生するとともに、10トンの[核分裂生成物](#)と4トンの[プルトニウム](#)が生成したと報告されている。17億年前の天然原子炉が痕跡をとどめ発見されたことは、17億年間、一部の移動しやすいものを除く核分裂生成元素（FP）とプルトニウムおよびそれらの[娘核種](#)が、ほぼ移動することなく地中に[封じ込め](#)られていたことを意味する。そして、現在のオクロの元素分布や同位体の分布から17億年前の状態を放射化学的に再現できる。高レベル放射性廃棄物処分の封じ込めに要する期間を少し長くみて十万年とすると、17億年はこの期間の 1.7×10^4 倍にあたる。このような場所が地球上に存在したことも事実である。各国における高レベル廃棄物処分の候補岩種を[表1](#)に示す。地質環境特性に関する基準と地層処分の基本概念を[表2](#)および[図1](#)に示す。

5億年前になると、石油鉱床が形成されるようになった。このころ酸素の濃度がさらに高まり、比較的大型の三葉虫をはじめとする動物や植物が活動するとともにその死骸が海底に沈んで、堆積岩の中に取り込まれ、熱と圧力のもとで長い時間をかけて石油が生成した。

ここまでは、全て海を舞台とした出来事である。陸上のことはほとんど出てこない。4億年前になると、酸素濃度がさらに高くなり、20から30km上空の成層圏に放射線化学的過程でオゾン層が形成された。この結果、320nmより短波長の紫外線はほとんど地表に届かなくなり、地上にはじめて生物が生まれ育つ条件が整った。やがてシダ類の大きな森林が繁茂し、老木は朽ちて腐植し地中に埋もれて石炭鉱床が生まれた。

長い年月をかけて、太陽エネルギーの一部が地中に取り込まれてできた石油や石炭を、産業革命以後、特にわが国では1950年代半ば以後の大量生産・大量消費・大量廃棄時代になって急激に消費するようになった。化石燃料はこのように、生物活動によって数億年前から蓄えられた太陽エネルギーの塊であり、有限な資源である。また、ウランについても地球の永いとなみの中で形成されたもので、有限である（参考文献6、7）。

＜関連タイトル＞

[放射性廃棄物 \(05-01-01-01\)](#)

[放射性廃棄物の処理処分についての総括的シナリオ \(05-01-01-02\)](#)

[高レベル放射性廃棄物の特性と処分の概念 \(05-01-01-14\)](#)

＜参考文献＞

- (1) J.I. Drever : "The Geochemistry of Natural Waters", Third Ed., Prentice Hall (1997)
 - (2) 丸山茂徳、磯崎行雄（著）：「生命と地球の歴史」、岩波新書（1998）。
 - (3) 黒田和夫（著）：「17億年前の原子炉」ブルーバックス、講談社（1988）
 - (4) P.K. Kuroda : "The Origin of the Chemical Elements and the Oklo Phenomenon", Springer-Verlag, Berlin (1982)
 - (5) IAEA group, Proc. Symp. : The Oklo Phenomena, IAEA, Vienna (1975)
 - (6) 佐藤正知、蛭沢重信：「図解雑学・エネルギー」（ナツメ社）（2000）
 - (7) 村岡進、佐藤正知、大江俊昭：原子力学会誌、45、634-646（2003）
-

表1 各国における高レベル廃棄物処分の候補岩種

国 名	一時貯蔵期間(年)	廃棄物の形態	候 補 岩 種	現 況
アルゼンチン	20年もしくはそれ以上	ガラス固化体	花崗岩	選択済
ベルギー	50年	ガラス固化体	粘土	調査中
カナダ		使用済燃料	花崗岩、結晶岩、凝灰岩	調査中
中国	30～40年	ガラス固化体	花崗岩、玄武岩	調査中
フィンランド	40年	使用済燃料	花崗岩、結晶岩	調査中
フランス	30年もしくはそれ以上	ガラス固化体	粘土、花崗岩、片岩、岩塩	調査中
ドイツ	30年以内	ガラス固化体	岩塩	選択済
イタリア	将来決定	ガラス固化体	花崗岩	選択済
日本	30～50年	ガラス固化体	花崗岩、堆積岩	調査中
オランダ	50年もしくはそれ以上	ガラス固化体 使用済燃料	岩塩、粘土	
スペイン	30年	使用済燃料	粘土、花崗岩、結晶岩	調査中
スウェーデン	40年	使用済燃料	結晶岩	調査中
スイス	40年	ガラス固化体	粘土、花崗岩、堆積岩	調査中
イギリス	50年	ガラス固化体	(将来決定)	調査中
アメリカ	5～10年	使用済燃料	凝灰岩	調査中
旧ソ連	30年	ガラス固化体	花崗岩	選択済
	30～40年	使用済燃料	結晶岩、岩塩、凝灰岩、粘土	調査中

[出典]日本原子力産業会議(編):放射性廃棄物管理ガイドブック1994年版、1994年7月、p.106

表2 地質環境特性に関する基準

項 目	要 件
サイトの空間的広がり	サイトは、処分システムを十分包含できる大きさの地層をもたなければならない。同時に処分場周辺に適切な容量の地下緩衝部 (Buffer Zone) と、適切な広さの地表立入り制限区域をとりうる広がりを持たなければならない。
地質 (岩質・深さ)	処分場は、そこで処分される廃棄物のカテゴリー量とに対応して適切な岩質と深さをもつ地質媒体の中に設置しなければならない。
水理地質	地質環境は処分場内への地下水の流れを制限するのに役立つ水理地質学的特性をもっていなければならない。
放射性核種の移行特性	地質環境は放射性核種の移動を制限するのに役立つ物理化学的特性および地球化学的特性をもっていなければならない。
構造運動と地震	処分は構造運動および地震の影響の少ない地域に設定しなければならない。すなわち処分場の安定性が損なわれることがないように、主要な構造運動の地域から十分離れた地域に処分場を設置しなければならない。
人工的および自然的特徴	処分場の設置場所を決めるには、構造的不安定性を生じさせる恐れのある人工的および自然的特徴を考慮に入れなければならない。
資源の可能性	有用な地下資源あるいは将来の可能性のある資源の存在を検討すべきある。特定の場所と時間における処分場の必要性を、現在および将来の有用な地下資源の必要性和価値に対して比較評価しなければならない。
地表への配慮	地形的に不安定な環境や極端な気候的条件、および地表に影響を及ぼしうるその他のプロセスの発生について、それらが処分場の性能に有意な影響を及ぼさないことを、明確にするため配慮しなければならない。

(IAEA Safety Series No.60)

[資料提供] 北海道大学、佐藤正知 氏

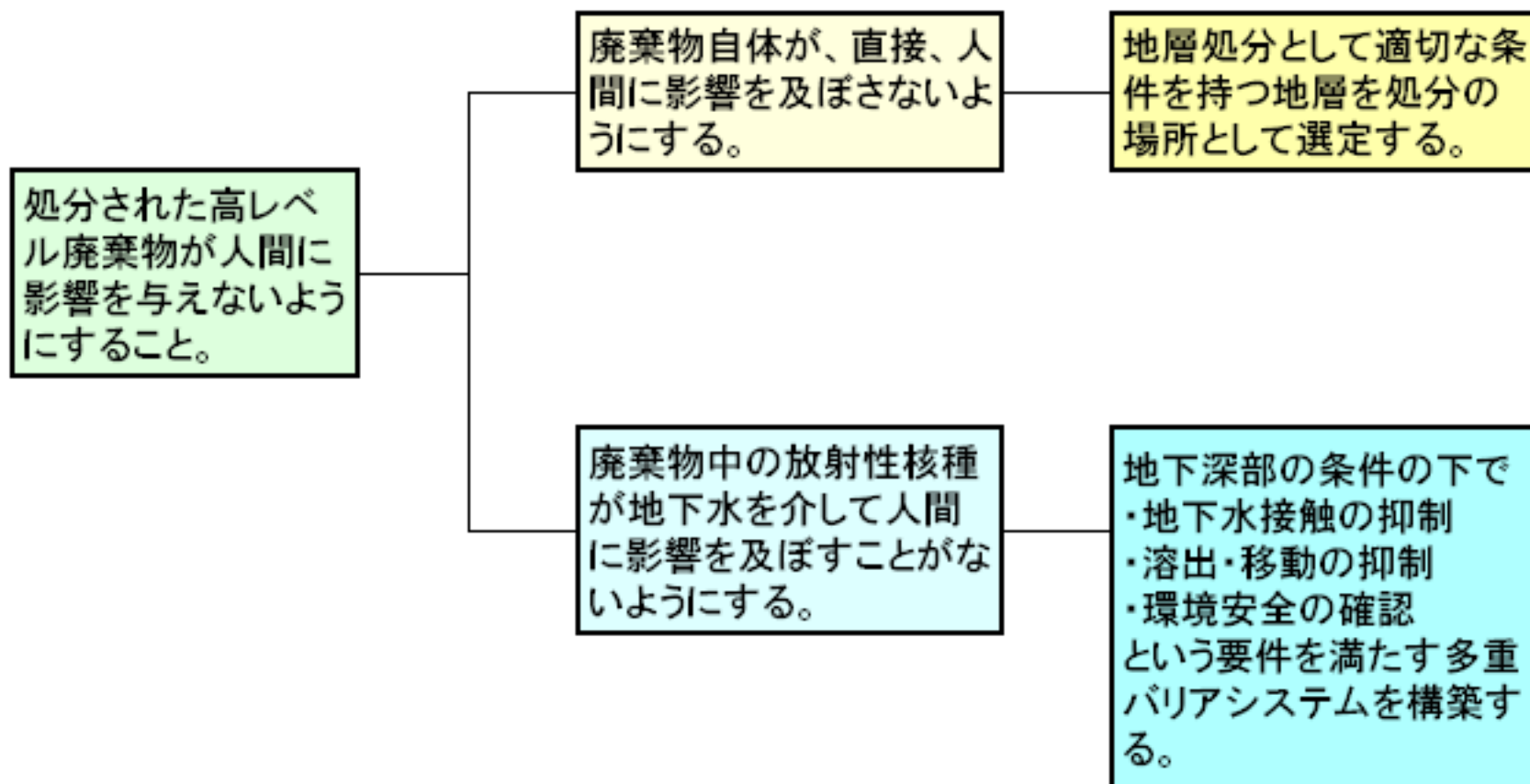


図1 地層処分の基本概念

[資料提供]北海道大学、佐藤正知 氏