

放射性原子核について

Apr.15, 2011

元 日本原子力永年会員

現 日本化学会正会員

高木 清

はじめに

2011年3月11日に発生しました日本列島東部の magnitude 9.0 の巨大地震にて、東京電力(株)福島第一原子力発電所、第1号機、第2号機、第3号機、第4号機の原子炉の破損事故 level 7 の事象が認められています。

第1、第2、第4号原子炉の燃料は濃縮 ^{235}U を使用し、第3号原子炉は pluthermal 炉で濃縮 $^{239}\text{Pu} \cdot ^{235}\text{U}$ を成分とした燃料を使用していました。

第1、第2、第3号原子炉は地震発生時に緊急停止しましたが、melt down し、底が破損した炉があるようです。第4号原子炉中に核燃料は存在していませんでした。

第1、第3、第4号機の外部建造物は水素 gas の発生に伴う水素 gas 爆発で損傷しています。これは、使用済み燃料棒貯蔵 pool の冷却水の流失で高熱による Zr と水蒸気との化学反応で生じた水素 gas により生じています。爆発の際の爆風にて、大気中に使用済み燃料棒に存じた諸々の放射性核種が大気中に飛散しました。尚、第2号機においては反応炉の状況が不明のようです。炉心の melt down にて、容器底部に ^{235}U や ^{239}Pu が溶融して貯まり、核分裂の連鎖反応が生じていると思われます。おそらく、溶融して局所化した部分は核爆発へ進行する可能性を含んでいます。

日本では ^{235}U の核爆発を広島市にて、 ^{239}Pu の核爆発を長崎市にて被爆しています。この際、一瞬の膨大な放射線により多量に人体に放射線が放射されました。死者は多数でした。

今から 25 年前、1986 年 4 月 26 日、当時の USSR Ukraine Chernobyl で、第4号原子炉破損事故が起きました。この原子炉は、黒鉛で中性子を減速させ連鎖反応を制御するものでした。melt down を起こして原子炉は爆発破損してしまいました。原子炉本体が爆発しましたから、放射性原子核が大気中に多量に拡散しました。level 7 の事故でした。現在でも破損した原子炉の処理はできていません。この地には、使用済み核燃料と原子炉に入ったままの核燃料数百 t が放置されています。飛散した放射性原子核の崩壊による α 線、 β 線、 γ 線の生命体に及ぼす影響が致命的であるからです。現存する放射能ために地域 30km 圏内において、今も、一般人は立ち入り禁止です。

福島第一原子力発電所の原子炉は設計に欠陥、設置環境状態にも欠陥があります。使用済み燃料棒貯蔵 pool の設置状態に関してはその欠陥が顕著です。

(日本原子力学会誌 1969年 Vol.11 No.5 連載講座 II. わが国の動力炉開発、(その5)。東京電力(株)福島原子力発電所：野村顕雄、p.306～p.314)を参照してください。

日本原子力学会誌 Vol.11 No.5 1969

p.306～p.314

連載講座 II.

わが国の動力炉開発、(その5)

東京電力(株)福島原子力発電所

東京電力(株)原子力部 野村顕雄

- I. まえがき
- II. 敷地概要
- III. 発電所計画概要
- IV. 主要設備
- V. 建設工事の現状

日本には現在の高度先進工業社会を維持するための energy 資源がありません。水素 gas の利用が実現すれば別ですが、化石燃料で energy を供給することは、大気中の CO₂が増大することで、地球の地学的な激変を引き起こしてしまい、今回のような天災を再発させて、人類は破局を迎えます。

人類は原子炉を必要とする潮流に直面しているのです。Marie Curie、Albert Einstein、Enrico Fermi などの科学者の出現が人類に原子核 energy をもたらしました。原子爆弾と同じ核反応で、放射性原子核の生成も多種に渡り、生命体にはきわめて深刻な影響を与えることとなりますが、人類は知恵をもって、この原子核分裂 energy を利用しなければなりません。そのような過渡期に、今現在人類は直面しているのです。石油に頼る工業社会を維持しようとする、資源の枯渇による石油の奪い合いが生じ、戦争が起こります。現に、Iraq、Afganistan への USA の侵略はその現れです。

私は、南相馬市に原子力の総合 center を設置されることをお勧めします。放射線医療 center、放射性同位体研究 center、被爆医療 center、核燃料再処理 center などの総合 center の構築です。人材は世界中から集まります。資金は東京電力(株)と国から得るのです。今回の福島第一原子力発電所の事故における東京電力株式会社と日本国政府の過失は明らかです。とりわけ、自由民主党政権下の原子力行政におけるその過失は重大です。

日本原子力学会誌 1969 年 5 月号の論文に、その記述が載っています。参照していただければと思います。

ここに、原子核化学について学ぶ者として、多くの皆さんに放射性原子核についての正しい知識を伝えたいと思います。

1 原子炉内での原子核反応

<主な反応>

Uranium235 濃縮燃料 (Uranium234、Uranium238 を含む) * 1



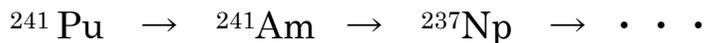
中性子 γ 崩壊



核分裂生成物は図 1 と表 1 に表記します。



γ 崩壊 β 崩壊 β 崩壊
半減期 (23.54 分) (2.346 日)



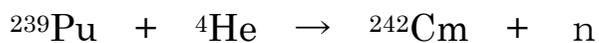
β 崩壊 α 崩壊 α 崩壊
半減期 (13.0 年) (458 年) (2.20×10^6 年)

(^{241}Am は α 崩壊を繰り返し、原子番号のより小さな放射性原子核へと変化していきます。)

* 1 : 地球上の uranium 核種の存在比

$^{234}\text{U} : 0.0056\%$, $^{235}\text{U} : 0.718\%$, $^{238}\text{U} : 99.276\%$

Plutonium239 濃縮燃料



α 崩壊 α 崩壊
半減期 (162.5 日) (86,4 年)

(^{242}Cm は α 崩壊を繰り返し、原子番号のより小さな放射性原子核へと変化していきます。)

<図 1 表 1>

^{235}U の低速中性子による核分裂収率曲線

« NUCLEAR and RADIOCHEMISTRY »

by

G.FRIEDLANDER AND J.W.KENNEDY

1955 年版

丸善株式会社 出版

日本語訳 1965 年版 73 page 図 3・2 を参照してください。

2 放射性原子核の崩壊について

放射性原子核は α 崩壊、 β 崩壊、核分裂の核反応をして核種が変わります。さらに、不安定な原子核は γ 崩壊してより安定な原子核に変化していきます。

自発核分裂

半減期

^{235}U (7.1 × 10⁸ 年)

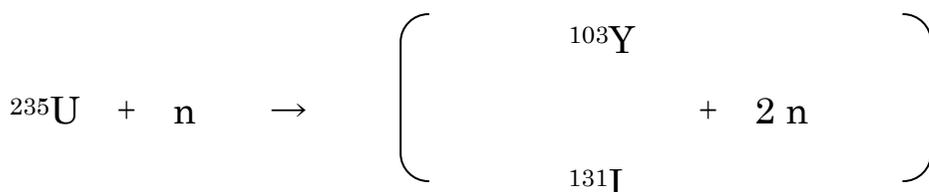
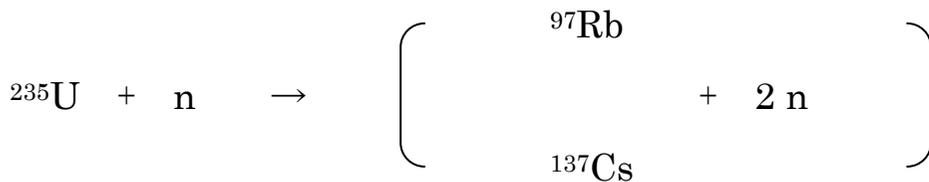
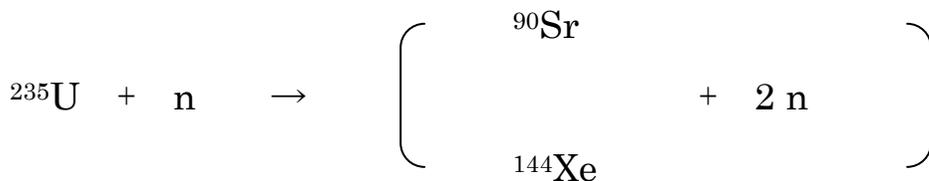
^{239}Pu (5.5 × 10¹⁵ 年)

^{242}Cm (7.2 × 10⁶ 年)

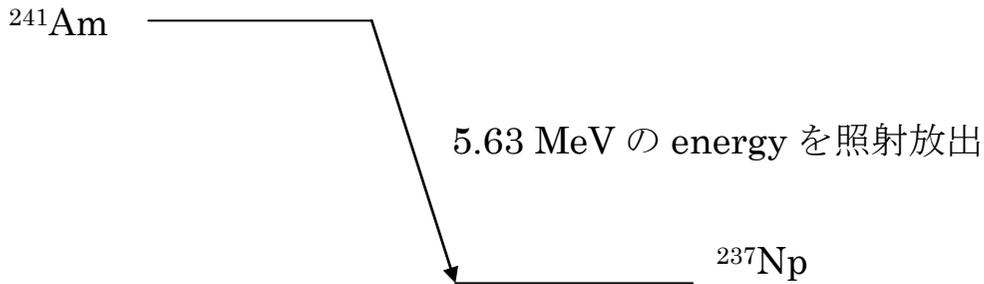
自発核分裂する原子核は、中性子が反応することによって、核分裂反応を起こします。連鎖反応を起こさせることによって原子爆弾や原子炉に利用されます。

自発核分裂する原子核に、運動 energy をもった中性子が反応すると、その運動 energy の大小によって生じる核分裂生成核種はさまざまです。

熱中性子による核分裂

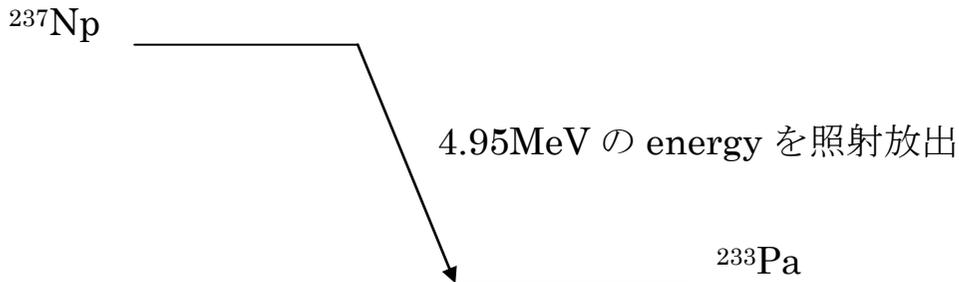


α崩壊 (${}^4\text{He}^{2+}$ 粒子を放出)



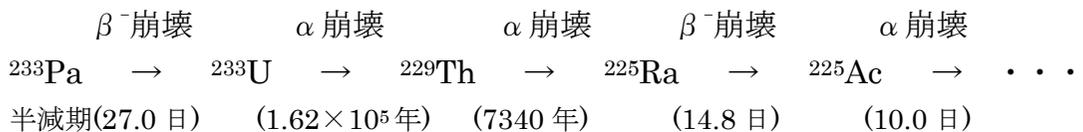
α崩壊する原子核は ${}^4\text{He}^{2+}$ 粒子を放出して原子番号 2、質量数 4 を減らして核種を変えます。

原子番号 95、質量数 241 の americium は半減期 458 年で、原子番号 93、質量数 237 の neptunium に変わります。

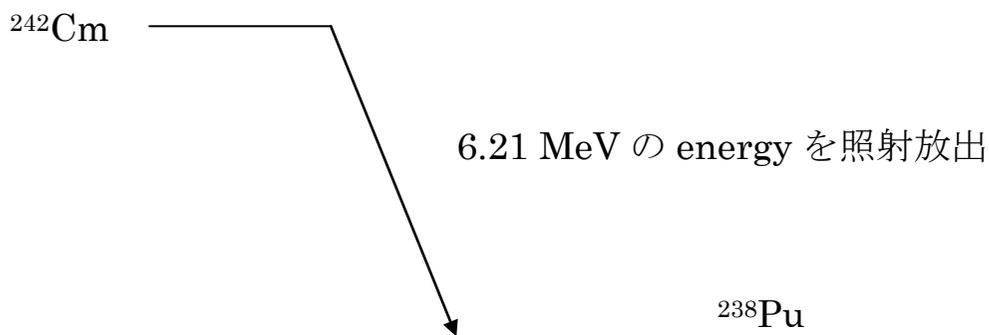


原子番号 93、質量数 237 の neptunium は、半減期 2.20×10^6 年で、原子番号 91、質量数 233 の protactinium に変わります。

さらに

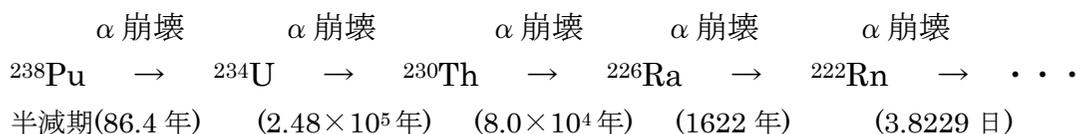


と原子核が崩壊し続けます。

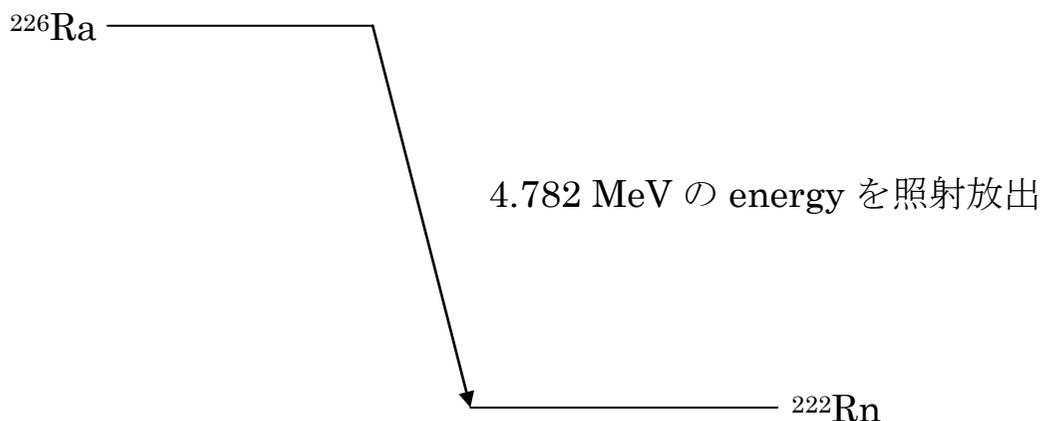


原子番号 96、質量数 242 の curium は、半減期 162.5 日で、原子番号 94、質量数 238 の plutonium に変わります。

さらに

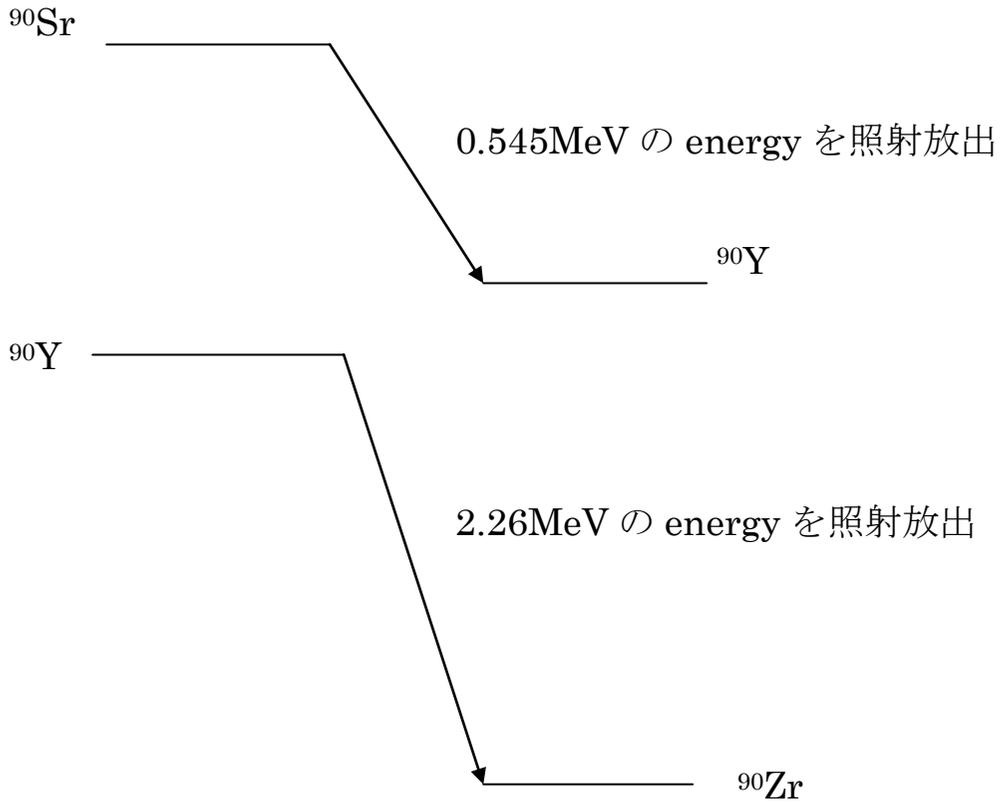


と原子核が崩壊し続けます。



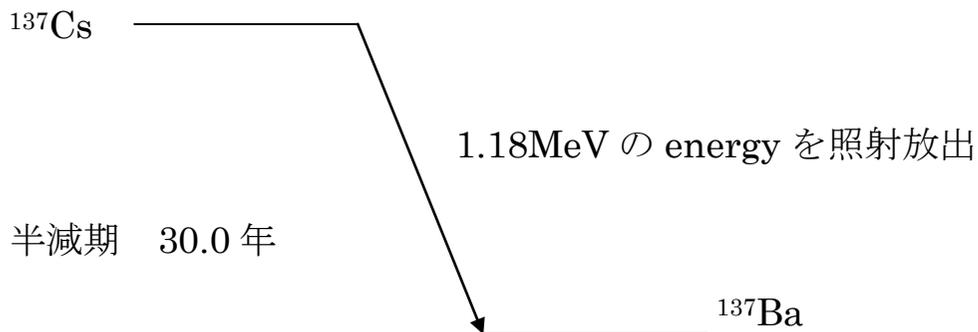
天然に存在する ^{226}Ra は、Marie Curie によって発見され、その α 崩壊は放射能の基準とされています。

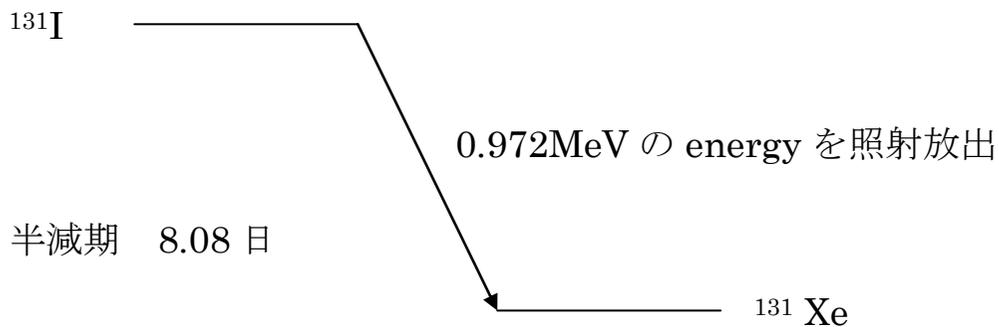
β^- 崩壊 (e^- 粒子を放出)



β^- 崩壊する原子核は e^- 粒子を放出して、すなわち、原子核内の中性子が陽子に変換して、原子番号が 1 増え、質量数が同じ核種に変わります。

原子番号 38 で、質量数 90 の strontium は半減期 27.7 年で ^{90}Y になり、 ^{90}Y は半減期 64.2 時間で ^{90}Zr に変わり安定原子核になります。





γ 転移 (γ 線を放出)

励起状態の原子核がその励起 energy を電磁放射線 (γ 線) 放出によって失って、より安定な状態に転移する。

3 原子炉で生成される核種

<主な核種と危険性による放射性核種の分類>

江藤秀雄、飯田博美、田中栄一、熊取敏之、伊澤正實、吉澤康雄 共書
丸善株式会社 出版

«放射線の防護» 1968年版 251 page 表 7.3 を参照してください。

4 原子核分裂による energy 発生 の原理

Albert Einstein は特殊相対性理論の帰結として、 $E = mc^2$ なる、物質の質量と energy に関する等式を導きだしました。この時点で、Marie Curie は、原子核分裂の際に生じる質量の欠損部分が energy に転換されることを認識しました。“人類が原子力を手に入れる。” ことを知ったのです。

$$E = \Delta mc^2$$

E : energy (erg)

Δm : 質量欠損 (g)

c : 光速度 (2.99792×10^{10} cm 毎秒)

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-12} \text{ erg}$$

$$1 \text{ MeV} = 1.602 \times 10^{-6} \text{ erg}$$

原子核の質量単位 : atomic mass unit : amu

$$1 \text{ amu} = 931.502 \text{ MeV}$$

以上の数式と物理単位の値から、原子核分裂の際に放出される energy を算出することが出来ます。

^{235}U 金属 1 kg がすべて核分裂したとき、発生する熱量



の場合の発熱量の概算

各粒子の原子質量単位 (各粒子が静止している場合の数値)

$$^{235}\text{U} : 235.04393 \text{ amu}$$

$$n : 1.00866 \text{ amu}$$

$$^{139}\text{Cs} : 138.91294 \text{ amu}$$

$$^{90}\text{Rb} : 89.91487 \text{ amu}$$

$$\begin{aligned}\Delta m &= (235.04393 + 1.00866) - (138.91294 + 89.91487 + 1.00866 \times 7) \\ &= 0.16416 \text{ [amu]}\end{aligned}$$

上記の方程式で、 ^{235}U 235.04393 g すべてが核分裂したとすると、
質量欠損が 0.16416 g となります。

すなわち、 $E = \Delta m \cdot c^2$ より

$$\begin{aligned}E &= 0.16416 \times (2.99792 \times 10^{10})^2 \\ &= 0.16416 \times 8.98752 \times 10^{20} \text{ [g cm}^2 \text{ s}^{-2}] \\ &= 1.47539 \times 10^{20} \text{ [erg]}\end{aligned}$$

$$1 \text{ J} = 0.239006 \text{ cal} = 1 \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} = 1000\text{g} \times (100\text{cm})^2 \times 1 \text{ s}^{-2}$$

$$= 1 \times 10^7 \text{ g cm}^2 \text{ s}^{-2}$$

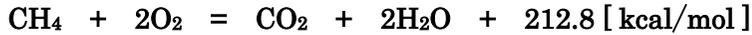
$$= 1 \times 10^7 \text{ erg}$$

$$\begin{aligned}E &= 1.47539 \times 10^{13} \text{ [J]} = 1.47539 \times 10^{13} \times 0.239006 \text{ [cal]} \\ &= 3.52627 \times 10^{12} \text{ [cal]}\end{aligned}$$

^{235}U 1kg に換算すると

$$\begin{aligned} E &= 3.52627 \times 10^{12} \times (1000 \text{ g} / 235.04393 \text{ g}) [\text{cal}] \\ &= 1.50023 \times 10^{13} [\text{cal}] \end{aligned}$$

- この熱量は CH_4 (methane gas) の完全燃焼量に換算すると、



CH_4 1 mol の質量は $(12.011 + 1.0079 \times 4)$ g で 16.0426 g ですから、

$$\begin{aligned} & (1.50023 \times 10^{13}) / (212.8 \times 10^3) \\ &= 0.704995 \times 10^8 [\text{mol}] \\ &= (0.704995 \times 10^8) \times 16.0426 [\text{g}] \\ &= 1.13100 \times 10^9 [\text{g}] \\ &= 1.13100 \times 10^3 [\text{t}] \end{aligned}$$

すなわち、 ^{235}U 1 kg は 約 1000 t の methane gas と等価になります。

この際、methane gas の燃焼によって発生する CO_2 は

$$\begin{aligned} & 0.704995 \times 10^8 \times (12.011 + 15.9994 \times 2) [\text{g}] \\ &= 3.10267 \times 10^9 [\text{g}] \\ &= 3.10267 \times 10^3 [\text{t}] \end{aligned}$$

すなわち、約 3000 t の二酸化炭素が大気中に放出されることになります。

5 放射線による生命体への影響

江藤秀雄、飯田博美、田中栄一、熊取敏之、伊澤正實、吉澤康雄 共書
丸善株式会社 出版

«放射線の防護» p.147 表 4.1 「放射線病の臨床症状の総括」

を参照してください。

^{137}Cs 原子核 1 個が住環境に存在したときの放射能

^{137}Cs 原子核 100 個が β 崩壊によって 50 個まで半減するのは、(^{137}Ba 原子核 50 個生じる) のは 30.0 年かかります。

^{137}Cs 原子核 1 個が β 崩壊するときの β 線の energy は 1.18MeV です。

★放射能の単位 (^{226}Ra 1 g あたりの放射能)

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ [壊変] / s} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

Ci : curie Bq : becquerel

★吸収線量の単位

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ erg/g} = 1 \times 10^{-2} \text{ J/kg}$$

★照射線量の単位

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

R : roentgen C : coulomb

1 R によって 1 g の空気が吸収する energy

$$34.0 \text{ eV} \times 1.61 \times 10^{12} / \text{g} = 5.47 \times 10^7 \text{ MeV/g} = 87.7 \text{ erg/g} \\ = 0.877 \text{ rad}$$

$$\star \text{ RBE 線量 [rem]} = D \times (\text{RBE})$$

D: 吸収線量 [rad]

(RBE) の値

α, γ, β 線: 1

熱中性子: 2.5

速い中性子、陽子 (~10 MeV): 10

重反跳核: 20

RBE: Relative Biological Effectiveness (生物学的効果比)

\star 被爆線量当量

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

Sv: sievert

おわりに

人類が、今後、天然ガスや原油を燃料にして、発電をしていくと、人口の増大とともに電力需要が増え、大気中の二酸化炭素も急激に増大して地球の温暖化が進み、南極大陸、GREENLAND など地上の氷山、氷河が溶け出して、地学的な変動を起こすこととなります。

地球の体形は表面の殻と中間の流動部、中心核で出来ていると認識されています。そこで、南極大陸、GREENLAND などの地表が隆起すると、地球の他の部分はその分沈降してしまいます。2011年3月11日に起こった日本列島東部の沈降はその現れの一部です。

現時点で原発に反対している人は、もう一度、地球上の人類のことを考えることが必要ではないでしょうか。政治心情の問題ではありません。生命体への放射能存在の危険は重大ですが、人類の生存を優先すべきです。

ここに、ICRP 勧告（1958年）「人類が進歩してきた環境条件から、幾分でも離れることは、有害な危険をもたらす恐れがあり、したがって自然放射線による被曝のほかに電離放射線に長く連続的に被曝することは、ある種の危険を含むものと想像される。しかし、人類は電離放射線をまったく使用すること無しにすませることはできないので、実際上の問題は、個人および集団全体に許容不能でないような危険を伴う程度までに被曝線量を制限することである。」を記します。

現時点の日本は、原子核分裂 energy を安全に活用する進化の過程にあります。我々は、資金と研究開発を集中させて、総合的な機構の構築と発展を期すべきです。発生した放射性原子核は巨大な施設を設置して回収し、人類の生命を維持する技術に利用するのです。新産業を育成するのです。

福島原発界限はその拠点になります。希望があるのです。

一日光市 市民、高木 清より、南相馬市、桜井勝延市長殿へ

神がわれわれに地上で生き抜く知恵を与えますように。