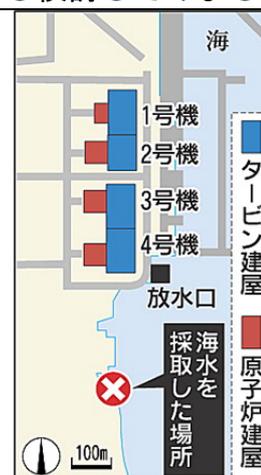


海水への放射能流出

海水への放射能流出に関して、定量的な測定データがでたので、少し検討してみました。

「3/30、福島サイト南側 300m の地点で、1cc 当り 200 ベクレル（通常時の 4000 倍）の沃素 131 が測定された」との日経記事

（地図は 3/26 毎日新聞より）



沃素 131 は核分裂で生成し、半減期が 8 日なので、使用済み燃料に含まれる量は非常に少なく、従って、1/2/3 号機の炉心燃料からの流出と考えられます。1/3 号機は圧力容器に若干のヒビがあるとしても、格納容器が健全であれば、沃素の大部分は圧力抑制室で水に吸着され、原子炉外へ出る量は少ない、と考えられます。従って、引き算すると、格納容器が破損している 2 号機炉心からの流出、ということになります。

沃素は気化温度が約 200 度と低く、3/14 に、2 号機の炉心燃料が水から露出し、高温になった際に、かなり炉水・圧力抑制室水に移行したと考えられます。その後も、原子炉水温度が 150 度程度ということなので、原子炉内の燃料は 200 度以上と推定され、残った沃素は、最大で全量が炉水・圧力抑制室水に移行したと仮定します。これが移行量の最大値なので、実際はこれより少ないかも知れませんが、全量移行と仮定します。

2 号機は、3/14 から海水を炉心に注入しています。通常は毎時 2 トン、1 日約 50 トンなので、16 日間で 800 トンです。なお、当初の注入量はもっと多かったかも知れません。

2 号機の圧力容器を直径 5m、高さ 20m の円筒で近似し、炉心上端はその半分の高さとします。つまり、水は圧力容器の半分まで満たされているとすると、炉内の水量は約 200 トンです（水位計が故障していて、正確な数値は不明）。なお、圧力容器の上半分は、炉心で沸騰して発生した蒸気で満たされているはずで、以上から、海水注入量 800 トンとすれば、炉内水量 200 トンは、全て圧力抑制室に移行したと考えられます。

また、3 号機の圧力抑制室の水量は約 3000 トンなので、以上から、800+200+3000、即ち、4000 トンの水に沃素 131 の全量が存在する、と仮定します。

別資料に示すように、2 号機停止時（3/11）の沃素 131 全量は約 0.93kg。つまり、 4.2×10^{18} ベクレルで、昔の単位では 1.1 億キュリーです。

これを 4000 トンで割ると、 $4.2 \times 10^{18} / 4.0 \times 10^9 = 1.1 \times 10^9$ ベクレル/cc、となります。

これらのうち、いくらかがタービン建屋に流れ込んだと考えられます。タービン建屋の溜まり水を調べれば、海水でなくて純水ということが分かるはずで、沃素 131 は約 600KeV の強い β 線と、約 360KeV の比較的強い γ 線を出すので、通常の放射線測定器で容易に検出でき、これが、2 号機タービン建屋の中が高放射線環境になっている原因と考えられます。なお、上記の値は、生命に危険が及ぶ値と想像されます。

残りが、所外、つまり地面と海水に流出したと考えられます。上記の「1cc 当り 200 ベクレル」とは 7 桁も異なるので、海の中でかなり希釈されたのでしょう。これ以上の計算は不可能です。

なお、上記の 1.1 億キュリーは、8 日毎に半減します。たとえば、4/1 時点では、(1/2)の (21/8)乗=0.16 に減少、つまり、現在は約 0.2 億キュリーです。今後、ある程度の増減はあっても、数ヶ月もすれば、無視できる値となるでしょう。

2011-4-1 夜

沃素 131 計算メモ (興味がある方だけご覧下さい)

下記サイトを参考に、沃素 131 量を計算しました。計算の責任は吉岡にあります。

<http://d.hatena.ne.jp/elm200/20110326/1301118597>

1日あたりの U235 消費量

2号機の熱出力 240 万 KW。1 モルの U235 の核分裂で発生するエネルギーは、 1.8×10^{13} (J)。2号機の熱出力が 2.4×10^9 W で、 $W = J/sec$ だから、1秒間に核分裂する U 235 は、 2.4×10^9 (J/sec) / 1.8×10^{13} (J/mol) = 1.3×10^{-4} (mol/sec)。

1日あたりに換算すると 1.3×10^{-4} (mol/sec) * 24 * 60 * 60 = 11(mol/day)

質量は、U 235 の質量数である 235 を乗じて、 $11(\text{mol/day}) * 235(\text{g/mol}) = 2.6 \times 10^3$ (g)。

つまりウランは、1日 2.6 Kg ずつ核分裂してほぼ同質量の核分裂生成物を生成。

1日あたりの沃素 131 生成量

沃素 131 の核分裂収率は 3.1%。これを質量ベースの数字と仮定すると、1日あたり U235 は 2.6 Kg ずつ消費されることから、 $2.6(\text{Kg}) * 0.031 = 8.0 \times 10^{-2} \text{Kg}$ (=80g) の沃素 131 が生成。

平衡状態で原子炉に存在する沃素 131 の量

核分裂反応が連続しておこるとき、それに伴って沃素 131 は生成され続けると同時に、沃素 131 は半減期 $T=8.1$ 日で急速に減って行く。やがて生成量と崩壊量は一致して、平衡状態になる。毎日生成される量を $N_0(\text{Kg})$ 、崩壊定数を λ (1/日)、時間の経過を t (日) とすれば、沃素 131 の平衡存在量 $N_{eq} = N_0 / \lambda$ 、で計算される (「放射化学」P128)。

$\lambda = 0.7 / T = 0.7 / 8.1 = 8.6 \times 10^{-2}$ (1/日)、 $N_0 = 8.0 \times 10^{-2}$ (Kg) として、

$N_{eq} = 8.0 \times 10^{-2} / 8.6 \times 10^{-2} = 0.93$ (Kg)

3月11日の沃素 131 量

以上から、3/11 に 2号機には、0.93 (Kg)の沃素 131 が存在した。

沃素 131 は 131 g で 1 モル (0.6×10^{24} 個の原子数) なので、 $0.93 \text{kg} = 7.1 \text{mol} = 4.3 \times 10^{24}$ 個の原子数。

崩壊定数 $\lambda = 0.69 / (8.1 \text{day} * 24 \text{hr} * 60 \text{min} * 60 \text{sec}) = 0.98 \times 10^{-6}$ (1/秒)

放射能 (崩壊速度) = $\lambda * N = 4.2 \times 10^{18}$ dps (ベクレル)

昔の単位 1Ci (キュリー) = 3.7×10^{10} dps なので、 1.1×10^8 Ci (1.1 億キュリー)。

チェルノブイリ事故で放出された放射能は 1 億キュリー以上とされていますから、今後、この全量が放出されると、数値的にはチェルノブイリ級の事故、ということになります。ただし、福島は水に移行しているので、人体への直接的影響は大きくなく、また、8日ごとに半減しており、今後、汚染水の回収が進むことも期待されます。

2011-4-1 夜