

# トリチウムの危険性

2020.4.14 in 東京

伴英幸

原子力資料情報室

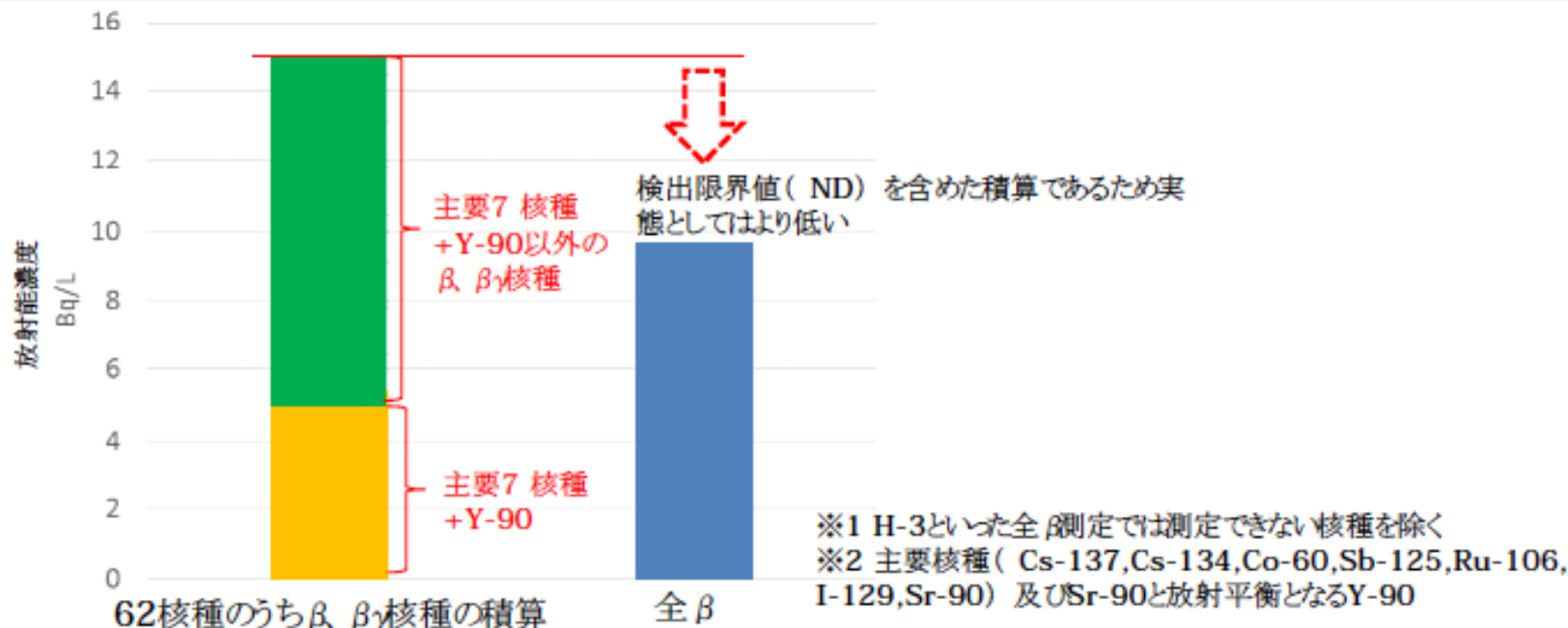
# 原発での作られ方と放出量

- 原子炉内で作られる(回収装置なく垂れ流し)
    - 三体核分裂で生成
    - 制御棒中のホウ素10に中性子があたり生成
    - 炉水中のリチウム6に中性子があたり生成
  - 年間のトリチウム水放出量(事故前)、1基あたり
    - PWRは $10^{13}$ のオーダー
    - BWRは $10^{11}$ のオーダー
- 全基合計 $10^{14}$ のオーダー
- 日常の垂れ流しも問題だが、  
いったん貯蔵したものを流すのはもっと問題
    - ー 二次処理でも100%は取り除けない
      - ー 主要7核種の他にも多くの核種が含まれている(例:炭素14)

# 処理水ポータルサイトの更新等について(2019年8月9日)

多核種除去設備等処理水の性状に関する新たな知見

TEPCO



## K4タンクにおける $\beta$ 、 $\beta\gamma$ 核種 (62核種) の積算と全 $\beta$ の比較

2018年10月1日の「多核種除去設備等処理水の取扱いに関する小委員会」においては、全 $\beta$ 値と主要7核種の合計値のかい離について、62核種のND値の積上げによって全 $\beta$ 値に近づくものと考察 (上図参照)

- ➡ 主要7核種以外の核種の影響を特定するために調査を実施した結果、2核種の存在が確認され、更に詳細な分析を実施した結果、C-14とTc-99が検出された。以上のことから、かい離の主要原因はこの2核種によるものと評価。(第67回 監視・評価検討会で報告済み)
- ➡ かい離の原因がC-14とTc-99であることを確認するため、かい離の大きいタンク等5つのタンク群を選定し、再調査を実施。その結果、同様にC-14とTc-99が検出されたことから、かい離の主要因はC-14とTc-99と判明。今後タンク群分析は、主要7核種に加えC-14とTc-99の分析も実施する。また、告示比総和にC-14の寄与も考慮する。(Tc-99は62核種として考慮済み)  
(第72回 監視・評価検討会で報告済み)

## ◆ タンク群分析結果

主要7核種

単位：Bq/L

No.	選定タンク	Cs-134	Cs-137	Co-60	Sb-125	Ru-106	Sr-90	I-129	C-14	Tc-99
1	G1S-B7	<0.061	0.19	0.60	0.45	1.2	1.1	3.0	78	3.8
2	H4-D1	<0.071	0.14	0.51	0.32	1.9	0.35	3.4	71	6.5
3	H4-A11	<0.063	0.067	0.95	0.42	<0.46	0.49	7.3	140	<0.70
4	J3-B1	0.16	0.96	0.92	0.75	<0.47	<0.27	9.0	14	<0.70
5	K4-D1	0.16	0.12	0.64	0.17	<0.48	<0.19	3.0	10	<0.70

No.	選定タンク	全ベータ*	残渣量*(mg)	かい離
1	G1S-B7	29	59.62	大
2	H4-D1	27	54.38	
3	H4-A11	32	63.39	
4	J3-B1	12	68.47	小
5	K4-D1	5	42.55	

- かい離の大きいタンクは、C-14が有意に検出された。一方、かい離の小さいタンクのC-14は低濃度であった。
- H4N-A6タンクで有意に検出されたTc-99は、今回の調査では低濃度であった。

\*全ベータおよび残渣量は、3回測定の平均値

# タンク内の汚染水の性状が不明

- それぞれの核種がどのような化学形態で存在しているのか、情報が無い。
  - 貯蔵タンク内のトリチウムは有機結合型になっている可能性もある(炭素がある、微生物がいる等)
- 微生物の存在も指摘されている。
  - 微生物がどのような働きをしているのか？
  - 二次処理で取り除かれるのか？

# トリチウム(三重水素)とは

- 陽子1個に中性子2個で構成(3H)
- ベータ線しか放出しない = **測定がたいへん**
  - 崩壊⇒陽子2個中性子1個のヘリウム(3He)になる
- エネルギー—最大値: 18.6keV(平均5.7keV)
  - 局所的な領域に集中的な被ばくを与える
  - 例: セシウム137の最大値は512keV(平均187keV)
- **内部被ばくが問題**
  - 体内での飛距離は10μm程度
  - 物理的半減期12.3年・生物的半減期7~18日
  - 有機結合体⇒生物的半減期は40~350日(~500日)
    - 影響が大きい(2~5倍、100倍という評価もある)

# トリチウムの危険性

- 生体内では $3\text{H}$ 水だけでなく有機結合体 $3\text{H}$ として存在する⇒生態濃縮がocこりうる
- OBTは体内に長く留まる(200日~500日との評価も)
- 遺伝子と結合する⇒がん発症のリスク
  - 放射線を出して遺伝子を傷つける
  - ヘリウムに壊変することで結合を破壊する

# 経産省の言い分(トリチウム)

- 被ばく線量は非常に低い
- 「生物濃縮することはない」
- DNAの中でトリチウムがヘリウムに変わって損傷しても、「普通は修復される」
- トリチウムが排出されている原子力施設周辺で、トリチウムが原因と考えられる共通の(健康)「影響の例は見つかっていない」



# 武田洋著

## 「生体内に置けるトリチウムの動態」

生体内でのトリチウム $3\text{H}$ は体液あるいは組織水として存在する以外に、その一部が同位体である生体内有機成分中の水素と交換し同化・固定され、有機物として存在することが知られている。したがって、他の生物を糧としていきている動物(人を含む)は、 $3\text{H}$ 汚染した環境から水の形のみでなく有機物の形で $3\text{H}$ を摂取することとなる。

(特別研究「核融合炉開発に伴うトリチウムの生物学的影響に関する調査研究」報告書、放射線医学総合研究所  
1987年12月)

# ロザリー・バーテル(2006年12月1日)

## カナダ原子力安全委員会での証言

- ICRPは、人がHTOを取り込んだ場合、約3%がDNA中の炭素原子と結合し(OBTとして)、その生物学的半減期は40日と仮定している。また、RBEは1としている。
- 反論: OBTに2タイプがある。OBT1は体内で容易に他の化学物質と化学反応を起こす。酸素、硫黄、リン、窒素などの原子と結合してアミノ酸、タンパク質、砂糖、でんぷん、脂質を作る。そして細胞の構造物質を作る。この場合の生物学的半減期は40日である。OBT2はDNA中の炭素原子と結合する場合であり、この場合には生物学的半減期は550日である。食べ物がOBTを含んでいた場合にはOBT1は一層増加する。拡大したOBTの定義からはエネルギー係数は3とするべき。
- 科学者たちの主張では、OBT1とOBT2からの被ばくは不均質、局所的である。この不均質な被ばくはHTOからの被ばく線量の4倍強い。
- 体内でHTO/47.5%-OBT1/47.5%-OBT2/2.3%の割合で存在した場合には組織 $9\text{mGy/y}$ のエネルギーを吸収することとなる。専門家によれば組織について $9\text{mGy}$ の被ばくは被ばく線量は $18\text{--}27\text{mSv}$ 、おおよそ $20\text{mSv}$ になる。

# 生物濃縮しないか？

- いくつかの論文は生物濃縮を指摘している
  - Turner 2009, " Distribution of tritium in estuarine waters: the role of organic matter"
  - 英国政府のRIFEレポート(2002)にも環境中の3H濃度よりも生物の濃度が高い測定結果を示している(ただし、程度は低い)。  
<https://www.cefas.co.uk/publications/rife/rife8.pdf>
  - トリチウム水の植物プランクトンやムール貝,イガイへの生物濃縮 "Bioaccumulation of tritiated water in phytoplankton and trophic transfer of organically bound tritium to the blue mussel, *Mytilus edulis*"

# “Radioactivity in Food and the Environment, 2002”

- Tritium concentrations in freshwater fish in the Thames river catchment and in seafood at various coastal locations around the UK were above an expected background tritium concentration of 1 Bq kg<sup>-1</sup>. However, the degree of bioaccumulation was relatively minor. (13ページ)  
テムズ川集水域の淡水魚と英国周辺のさまざまな沿岸の海産物のトリチウム濃度は、バックグラウンドのトリチウム濃度である1 Bq kg<sup>-1</sup>を上回っていた。しかし、生体濃縮の程度は比較的軽微だった。
- The highest concentrations of radioactivity in marine fish are found for tritium at about 160 Bq kg<sup>-1</sup>. Similar concentrations are found from determinations of organically associated tritium in the fish. Concentrations of tritium in local seawater at St Bees are less than 30 Bq l<sup>-1</sup> (Table 11.16). This indicates that some bioaccumulation of tritium is taking place. (42ページ)  
海産魚の放射能の最高濃度は、トリチウムの約160 Bq kg<sup>-1</sup>だ。魚に含まれる有機結合型トリチウムを測定すると、同様の濃縮が見られる。セントビーズの地元の海水中のトリチウム濃度は30 Bq /l未満(表11.16)。これは、トリチウムの生体濃縮が起こっていることを示している。
- The main effect of liquid discharges is seen in enhanced tritium and carbon-14 activities in samples above background levels. The results of sample analyses show that over 90% of the total tritium in marine samples was associated with organic matter. This form of tritium is strongly bound to organic matter and sediment and has the potential to transfer through the marine foodchain from small organisms to accumulate in fish. (176ページ)  
液体排出の主な影響は、サンプル中にバックグラウンドレベルを超えるトリチウムおよび炭素14蓄積として現れている。サンプル分析の結果は、魚介類サンプル中の全トリチウムの90%以上有機物と関連していることを示している。この形態のトリチウムは有機物と堆積物に強く結合しており、海洋生物の食物連鎖を通じて小さな生物から魚に蓄積する可能性がある。

# DNAは必ず修復されるか？

- DNAに取り込まれたトリチウムは
  - ①崩壊でヘリウムに変化、DNAの部分切断がおきる
  - ②崩壊時に局所的に放出されるエネルギーにより、DNA切断がおきる可能性がある
- 二本鎖切断の可能性があり、「100%修復される」とはいえない

# 影響の例は見つかっていないか

- ドイツ政府の実施したKiKK報告書は、原子力施設周辺の子供達の白血病が有意に増加していることを疫学的に示した。その原因は特定されなかったが、Ian Fairlie氏が「仮説」としながら、原因がトリチウム放出にあることを問題提起した。(通常の放出ではなく定期検査で原子炉を開放したときに、スパイク状にトリチウムが放出されることに原因を求めた)

“A hypothesis to explain childhood cancers near nuclear power plants”(Ian Fairlie, Journal of Environmental Radioactivity,2013)

- カナダ型原発では3H放出量が多く、下流域での白血病や小児白血病、ダウン症、新生児死亡などの増加が報告されている

(「福島第一原発のトリチウム汚染水」(岩波「科学」2013年5月号))

# 一応は評価しているが...

## 事故後上昇した海水中<sup>3</sup>H濃度から線量の推定

- (仮定) ・魚を年間60kg摂取<sup>c</sup>  
・**[OBT]=[HTO]**  
・魚中<sup>3</sup>H がすべてOBTとして存在

$$60 \text{ (kg/y)} \times 0.08 \text{ (Bq/kg)} \times 4.2 \times 10^{-11} \text{ (Sv/Bq)} = 2 \times 10^{-10} \text{ (Sv/y)}$$

魚の汚染は  
この程度で  
済むのか

1歳児以下  
は $1.2 \times 10^{-10}$

均一に薄まるか、疑  
問-ターナー論文

HTO:  $1.9 \times 10^{-11}$  Sv/Bq

# 海洋放出は安全でない

- 政府の評価の欠如点
  - 均質に薄まることはない
    - 塩分濃度と温度が一致した場合は薄まるが...
  - 海で一部が有機トリチウムとなる
    - ⇒ 食物連鎖を通して濃縮される
  - タンク内には沈殿物があれば、バクテリアもいる



- トリチウムの危険性の論文を紹介下さい。質問① 国内すべての原発で、ALPS処理汚染水を海洋放出していると聞いているが、どの程度(頻度および量)なのか？また、それで問題はないのか？ 質問② もし、福島原発のALPS処理汚染水を海洋放出する場合にどの程度の頻度・濃度になるのか？ 質問③ トリチウムの生物への影響。生物体内への蓄積がどのような形で行われるのか？。例えばストロンチウムの場合は、カルシウムのように骨組織の一部として蓄積されると聞いているが、トリチウムの場合は？ 汚染の総量は変わらないのに放出規準以下にすればいいという論理が理解できません。ここを論破する意見・資料はないのでしょうか？