

環境科学セミナー

令和4年度

公益財団法人 環境科学技術研究所

公益財団法人 日本海洋科学振興財団

本成果報告の内容は、青森県から（公財）環境科学技術研究所が受託している「排出放射性物質影響調査」及び（公財）日本海洋科学振興財団が受託している「六ヶ所村沖合海洋放射能等調査」により得られた成果の一部です。

目 次

1. トリチウムってなに？

～トリチウム生体影響研究のこれまでと課題～

1-10

(公財) 環境科学技術研究所

トリチウム研究センター長

田内 広

2. 海洋環境におけるトリチウム

11-23

(公財) 日本海洋科学振興財団

海洋研究部 主任研究員

小藤 久毅



環境科学セミナー 2022

トリチウムってなに？ ～トリチウム生体影響研究のこれまでと課題～



(公財) 環境科学技術研究所
トリチウム研究センター長

田内 広

Hiroshi Tauchi, Ph.D.

(茨城大学大学院理工学研究科)

<http://tauchilab.sci.ibaraki.ac.jp>



日本放射線影響学会
The Japanese Radiation Research Society
Since 1959

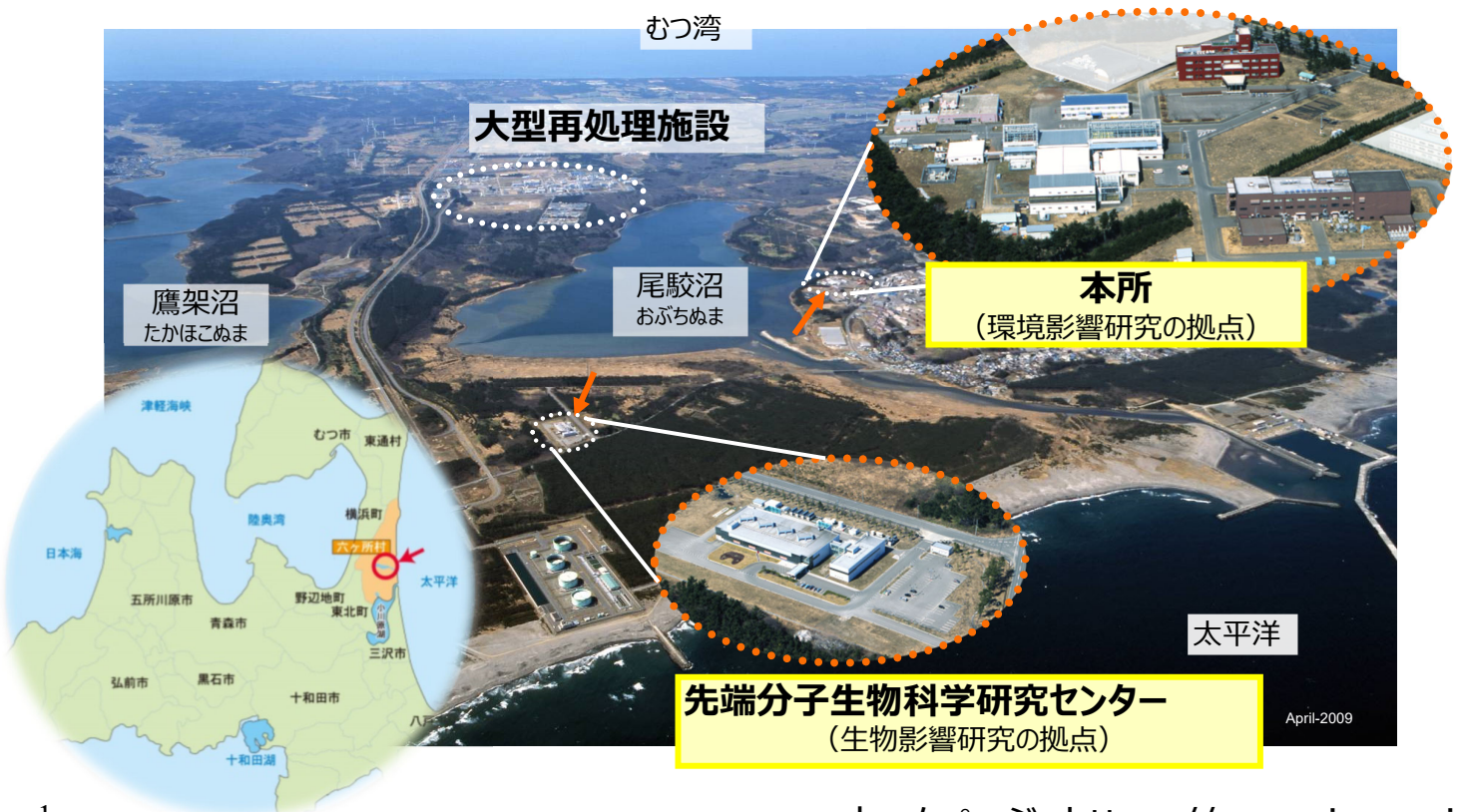
内容の無断転載・無断複製はご遠慮下さい。



茨城大学
Ibaraki University

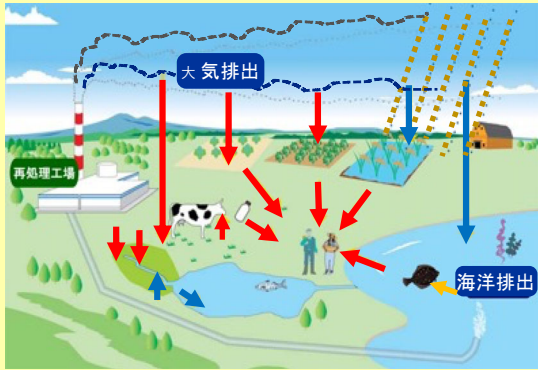


環境科学技術研究所の取り組みのご紹介



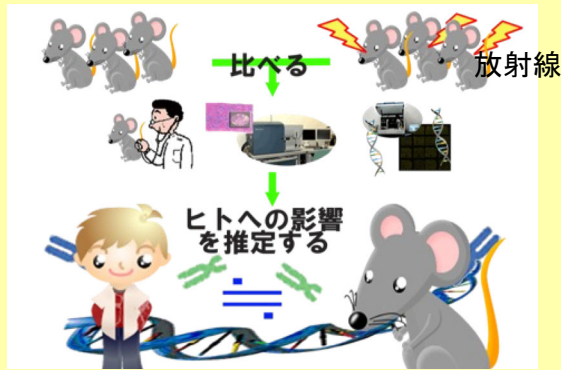
環境科学技術研究所の研究の柱

環境影響研究



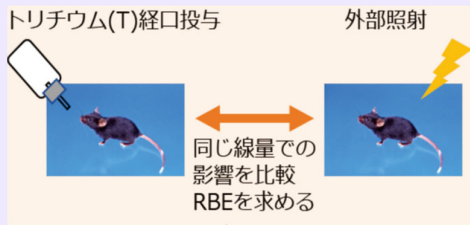
排出される放射性物質の環境
中での動きを探る

生物影響研究



低線量・低線量率の放射線が
生物に及ぼす影響を探る

トリチウム影響研究



トリチウムの体内での動きと
被ばくの影響を探る

トリチウム研究センター設置
(R4.4.1)

トリチウムとは

プロチウム(軽水素)
いわゆる「水素」

ドューテリウム(重水素)
自然界に水素の
約0.015% 存在

トリチウム(三重水素)
自然界に水素の
(0.1~10) × 10⁻¹⁸ 程度存在

半減期12.3年
(356 TBq/g)

ヘリウム-3

天然水中のトリチウム
… 1Bq/l 程度
人体中のトリチウム
… 数十Bq/人

トリチウムの出すβ線:
最大エネルギー18.6keV
最大飛程 5mm 空気中
6μm 水中

経産省「第1回トリチウム水タスクフォース」JAEA 山西敏彦氏の資料より

トリチウムからの放射線は、体内で6マイクロメートル(0.006mm)までしか届かない。
(ちなみに、細胞の大きさは30~100μm、細胞核の直径は約10μm)

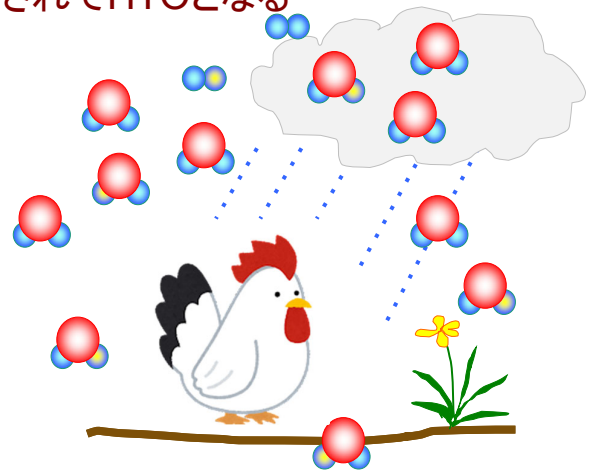
トリチウムはどのような分子形態で何処にある？

Tritium (^3H)の自然界平衡量: 1500 ペタベクレル (1.5×10^{18} ベクレル)

- 天然: 宇宙線による大気中生成 70 ペタベクレル /年
 原子力関連施設: 40~80 ペタベクレル/年
 地上核実験での総生成量: 3×10^{20} ベクレル
 (環境中の残存総量: 2×10^{19} ベクレル) 田辺 2008ほか

大半はトリチウム水(HTO)として存在

・・・トリチウムガス(HT)は容易に酸化されてHTOとなる
 (現在の大気中水蒸気:
 10~30 ミリベクレル/ m^3)

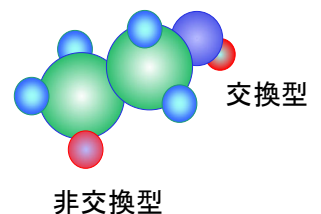
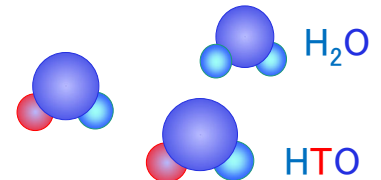


生体に取り込まれたHTOはどうなる？

トリチウムを含む化合物と生体内での挙動

トリチウム水(HTO)

- ・ 身体に取り込まれると約5~6%がOBTに移行する。
- ・ 実効線量係数(成人、ICRP改訂) 0.000019 マイクロシーベルト/ベクレル
 (現行は 0.000018 マイクロシーベルト/ベクレル)

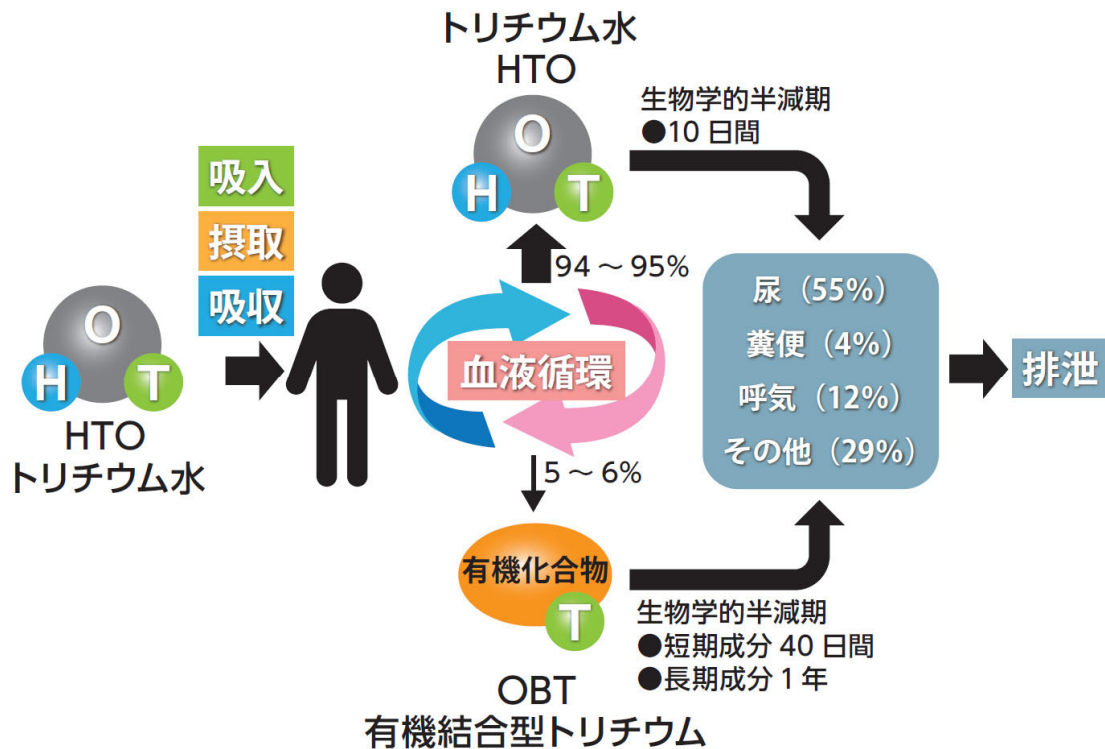


有機結合型トリチウム (Organically bound tritium: OBT)

- ・ 身体に取り込まれたOBTは、約50%が代謝でHTOになり、HTOとして挙動する。
- ・ 残り50%は短半減期成分となり、その後一部が代謝を経て長半減期成分に移行する。
- ・ 実効線量係数(成人) 0.000042 マイクロシーベルト/ベクレル

体内に取り込まれたトリチウム水の挙動

摂取したトリチウム水(HTO)に関するICRPの代謝モデル



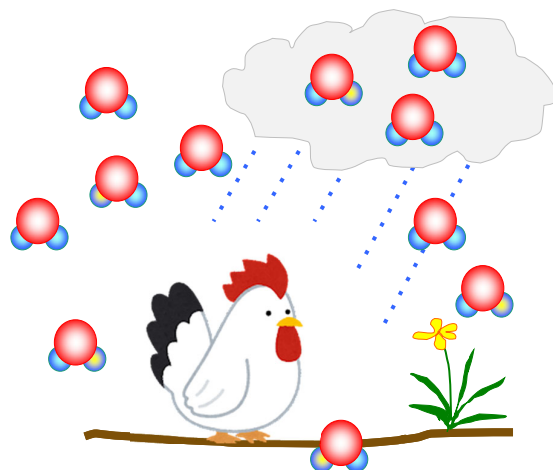
HTOは大半が水のまま排泄されるが、一部はOBTに変換されて排泄が遅くなる(最終的には排泄される)

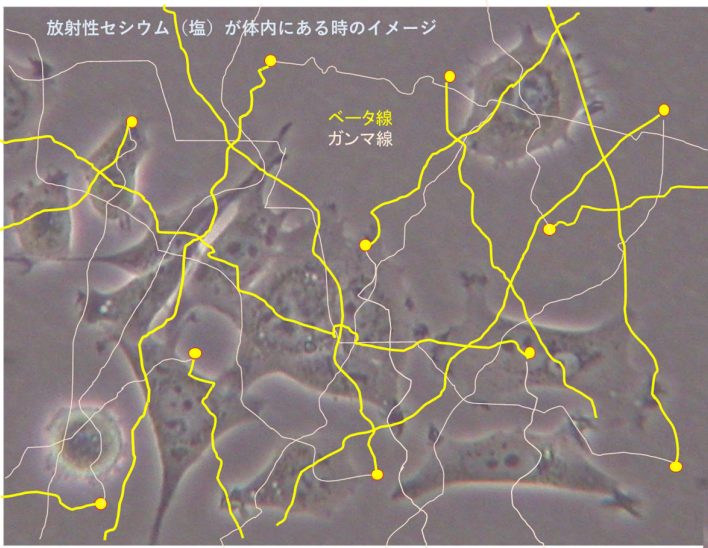
(ICRP Publ.89 2002, UNSCEAR 2016ほか、一部改変)

ICRP :国際放射線防護委員会 UNSCEAR :原子放射線の影響に関する国連科学委員会

トリチウム被ばく(トリチウム水摂取による被ばく)は

- ・ 内部被ばく
- ・ 通常、線量率が比較的低い被ばく形態をとる
- ・ エネルギーの低いベータ線のみによる被ばく
(通常なら被ばく線量も低い被ばく)





放射性セシウム (Cs-137) の場合

主要なベータ線エネルギー: 514 keV
(平均エネルギー: 190 keV)

主要なガンマ線エネルギー: 662keV

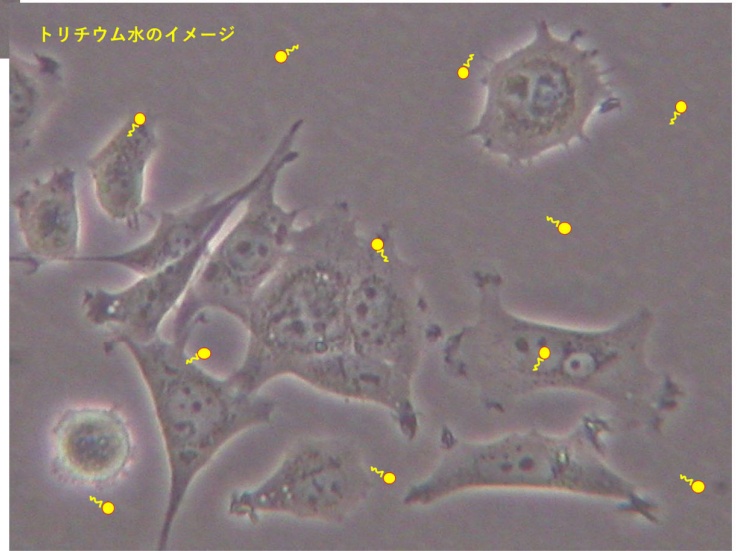


トリチウム (H-3) の場合

ベータ線エネルギー: 18.6 keV
(平均エネルギー: 5.7 keV)

ガンマ線なし

*keV : キロエレクトロンボルト



トリチウムをめぐる社会的背景



六ヶ所再処理工場

海洋排出管理目標値

9.7×10^{15} ベクレル /年

大気排出管理目標値

1.0×10^{15} ベクレル/年

福島第一原子力発電所

ALPS処理 (放出時 1,500 ベクレル/リットル)

事故前管理目標値以下

2.2×10^{13} ベクレル/年



【参考】トリチウム水の排水濃度規制値: 60,000 ベクレル/リットル

- 1) トリチウムは弱いベータ線だけを出すので、影響が出る被ばく形態は内部被ばく
- 2) マウスや細胞を使った多くの実験研究で、HTOの生物影響は、X線やガンマ線の影響と比較して1.1倍～2倍程度となっている。（同じ被ばく線量で何十倍と言うことはない）
- 3) これまでの動物実験や疫学研究から、「トリチウムが他の放射線や放射性物質と比べて群を抜いて生体影響が大きい」という科学的事実¹⁾は認められていない。
 - ・ マウス発がん実験では、線量率が3.6ミリグレイ/日（飲水のHTO濃度：約1億4千万ベクレル/リットル）以下で頻度、質ともに自然発生と同程度となっている。
 - ・ 原子力関連施設の作業従事者におけるがん致死は、原爆被爆者からの評価値と同程度。
 - ・ トリチウムを排出している原子力周辺で、共通にみられる（トリチウムが原因と考えられる）影響の例は見つかっていない。
- 4) 放射線はDNAに損傷を与えるが、細胞にはDNA損傷を修復する仕組みがある。また、DNAには普段からさまざまな原因で損傷が入っていて、修復されている。
 - 線量だけでなく、線量率が重要（トリチウムなら濃度が重要）

とはいえ、トリチウムの生体影響に関しては解明すべき課題も残されています

UNSCEAR 2016報告書が指摘する課題

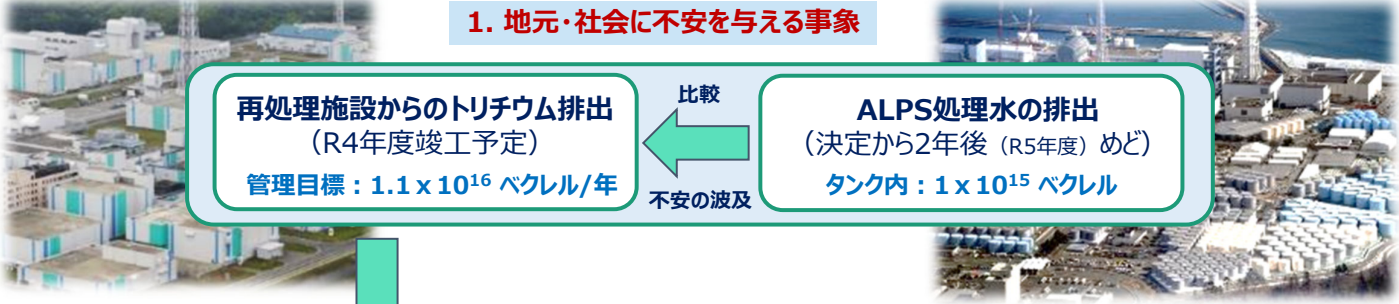
○ 環境研の従来・新規の取り組み

- 有機物形態のトリチウム(OBT)は組織や細胞内で不均一に分布するため、リスク評価や放射線防護に使用する適切な線量評価モデルが無い
- トリチウム水(HTO)/OBTを食品として長期間摂取する状況に対応した実験研究の不足
 - 生物学の最新の進歩に照らした新しいアプローチが必要
- OBTの体内代謝や、生物学的な作用メカニズムに関するデータの不足
 - ・ 環境中の食物連鎖によるHTOからOBTへの変換に関する科学的データの不足
- 環境中でのトリチウムの挙動と食物への移行に関するデータの強化
 - ・ 作業員のトリチウム被ばくに関する疫学解析データの欠如
 - トリチウム被ばく線量を抽出して評価する手法の国際的な標準化が必要
 - ・ 公衆被ばくについては、濃度レベルが低くすぎて統計的な解釈は困難
 - 一般的地域の変動レベルと施設周辺の変動レベルに関するデータの強化

センター設立の背景 トリチウムを巡る現状と課題



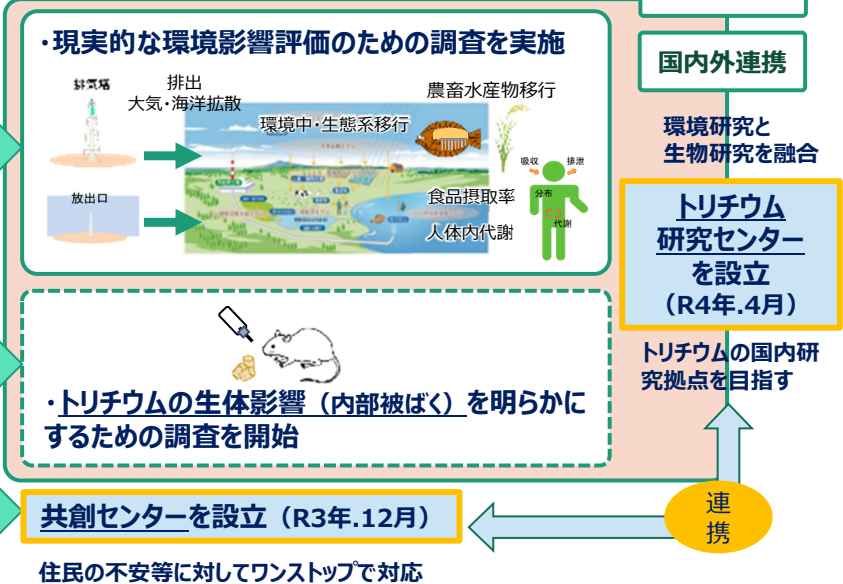
1. 地元・社会に不安を与える事象



2. 地元に生じる疑問・懸念

- ・周辺環境への影響
どのように広がってその後どうなるのか
- ・農畜水産物への影響
どのような影響があるのか
食べても大丈夫か
出荷しても大丈夫か
- ・健康への影響
どの程度被ばくするのか
健康影響はあるのか
子供や次世代への影響はないか
- ・報道や風評による影響

3. 環境科学技術研究所の取り組み

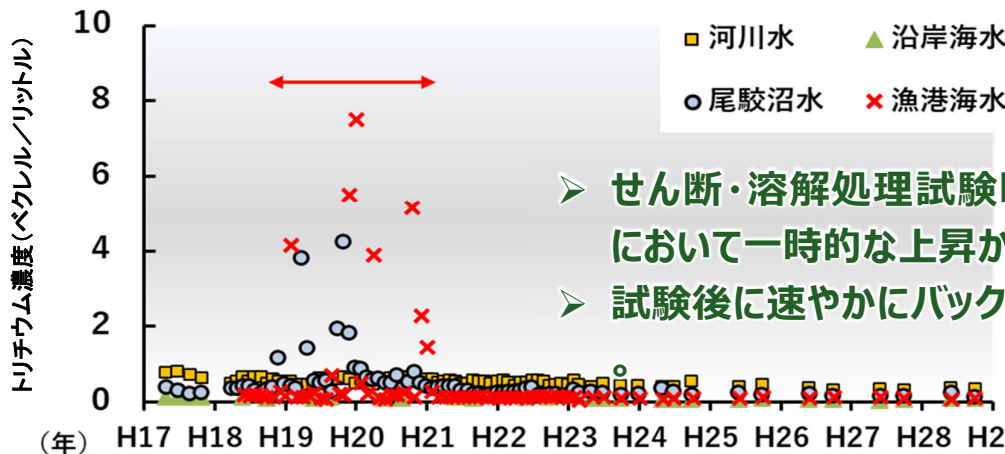
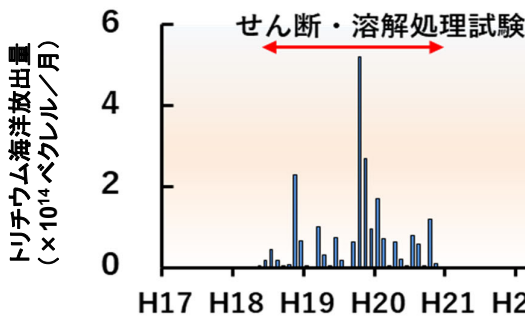


トリチウムに関する環境調査の例

陸水・海水中のトリチウム濃度の観測値



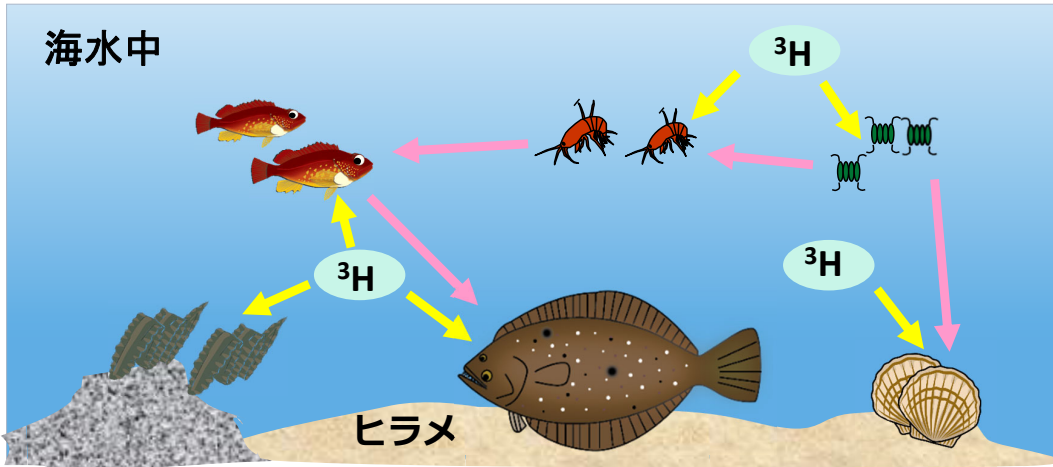
環境水中のトリチウム濃度



- せん断・溶解処理試験時の環境水試料において一時的な上昇が認められた。
- 試験後に速やかにバックグラウンドまで減少

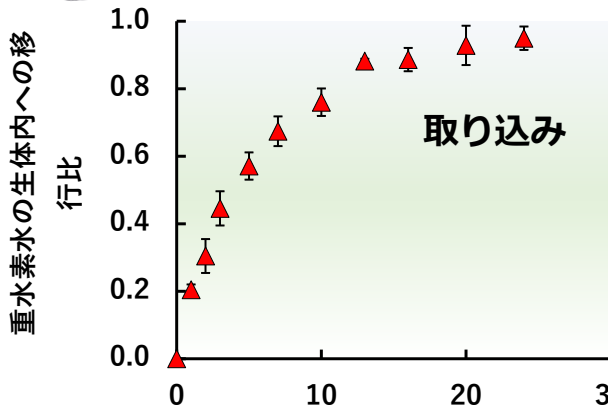
トリチウムに関する環境調査の例

海産生物へのトリチウムの移行実験

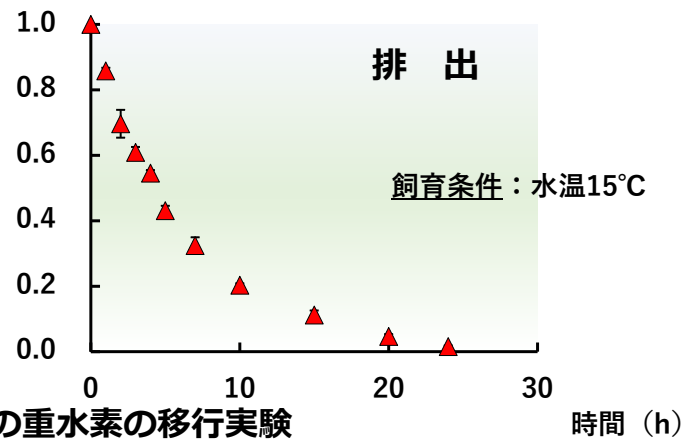


← 水による移行

← 食物連鎖による移行

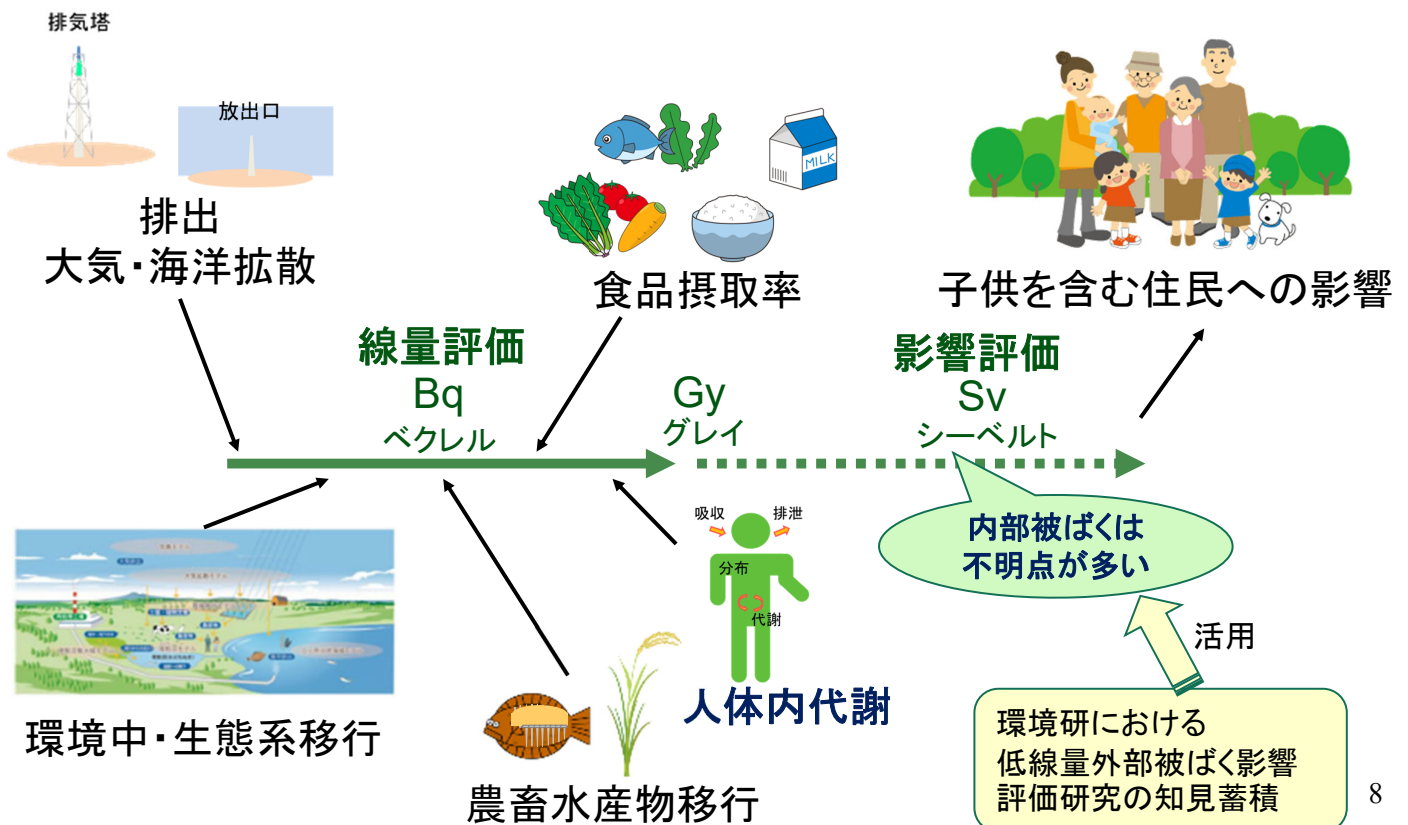


海中からヒラメへの重水素の移行実験



トリチウムの生体影響に関する調査研究(令和4年度～)

トリチウムの排出からの住民への影響までの一貫した説明を可能にする調査研究

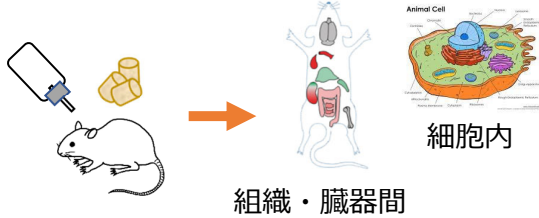


トリチウムの生体影響に関する研究 (R3-8年度)

トリチウム内部被ばくへの懸念、特に有機物と結びついたトリチウム(OBT)への懸念に応えるため、マウスを用いて現実的な線量と影響を評価しています。

トリチウムの線量評価

重水素 (トリチウムの代用) 投与
(水あるいは有機物)



濃縮や残留について調べます

有機物と結びついたトリチウムの体内での動きに対する懸念に応える

体内で濃縮しないのか
いつまでも残って出ていかないのではないか

トリチウムの影響評価

トリチウム投与
(水あるいは有機物)

ガンマ線照射



γ線の被ばくとの違いについて調べます

有機物と結びついたトリチウムの生体への影響に対する懸念に応える

トリチウム水より影響が大きいのではないか
遺伝子に入り大きな影響を与えるのではないか

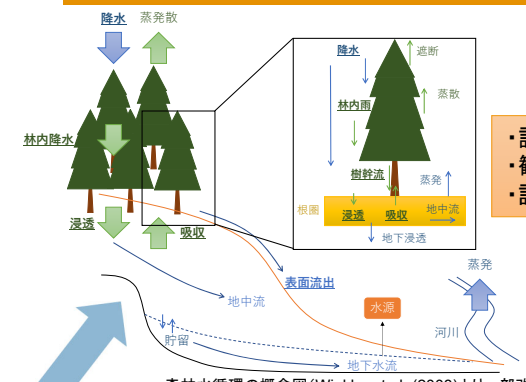
六ヶ所の森林を調査地としたトリチウム関連共同研究



放射能環境動態・影響評価
ネットワーク共同研究拠点



環境研自主研究
施設周辺の水源林からのトリチウムの流出を評価するための調査手法の確立



- 調査地の設定
- 観測機器設置
- 試料採取



六ヶ所の森林を調査地としたトリチウム関連共同研究

- ① 森林小流域におけるトリチウムの流出プロセス研究
(恩田教授、筑波大アイトープ環境動態研究センター)
- ② Exploratory study in the forested area in Rokkasho
(Prof. Yoschenko、福島大・環境放射能研究所)
- ③ 核燃料再処理施設再稼働に向けた野生ネズミの調査
(三浦教授、弘前大・被ばく医療総合研究所)

トリチウム影響についての疑問は・・・

(公財) 環境科学技術研究所
共創センター、トリチウム研究センター

UNSCEAR 2016「トリチウム」日本語版 (翻訳 環境研)

https://www.ies.or.jp/publicity_j/data/unscear_2016annex_v2.pdf



(一社) 日本放射線影響学会



「トリチウムによる健康影響」

https://www.jrrs.org/assets/file/tritium_20191111.pdf



* UNSCEAR2016 : 原子放射線に関する国連科学委員会2016年報告書

海洋環境におけるトリチウム

(公財) 日本海洋科学振興財団
むつ海洋研究所 海洋研究部
小藤 久毅

今日の話題

- ・海洋財団と六ヶ所村沖の海洋調査について
- ・環境中のトリチウム
- ・海洋におけるトリチウム
- ・六ヶ所村沿岸のトリチウム
- ・最後に

日本海洋科学振興財団は、故 日高孝次先生(初代の東京大学海洋研究所長)により昭和46年(1971)に設立された日高海洋科学振興財団を前進として、平成7年10月(1995)に設立された財団です。

財団の目的

- ・海洋科学及び技術研究の振興を図ること
- ・海洋科学及び技術に関する調査研究等を行うこと
- ・我が国の海洋に関わる科学技術の発展に寄与すること
-



財団の詳細はこちら
をご覧ください



日本海洋科学振興財団HP
<http://jmsfmml.or.jp>

主な事業等

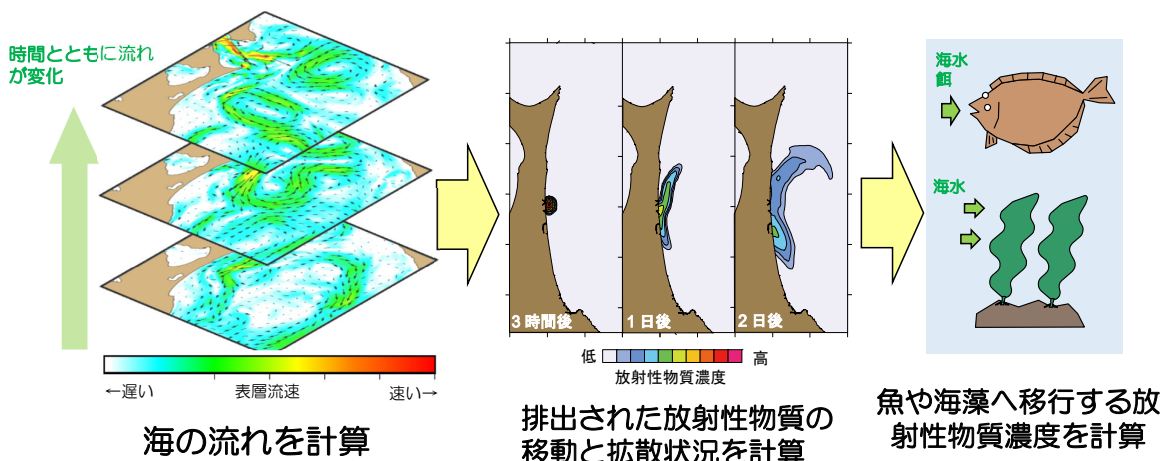
- ・「日本海洋学会日高論文賞」の副賞授与
- ・若手研究者への海外渡航費の援助
- ・海洋に関する調査研究
 - 六ヶ所村沖合海洋放射能等調査
(青森県からの受託事業)
- ・「むつ科学技術館」の管理運営、イベント等開催
(日本原子力研究開発機構からの受託事業)



財団の所在地

六ヶ所村沖合海洋放射能等調査：概要

大型再処理施設の操業によって排出される放射性物質の海洋への影響について科学的な理解を深めるために、六ヶ所村沖合地域に特有な現象を含めた海洋情報の収集、排出放射性物質の移行シミュレーションの開発を行い、これらの科学的な知見を基にした排出放射性物質影響評価を行う。



海域に排出された放射性物質のシミュレーションの概要

(青森県「排出放射性物質影響調査の概要について」パンフレットより)

六ヶ所村沖合海洋放射能等調査：観測と試料分析



係留式ブイによる観測



調査船による観測



定期船による観測

【観測・分析内容】

- ・海の流れの観測
- ・水温・塩分の観測（水塊の分布や成層の状況など）
- ・採水試料の放射性核種等の分析（現在の主な対象は ^3H と ^{129}I ）

排水の海洋での希釈・拡散を調べるためのトレーサーとして分析している

今日は、海洋のトリチウムの濃度や分布の特徴について、本事業による六ヶ所村沖でのデータも併せて説明する。

環境中のトリチウム

～どうやってできるか、どれくらいあるのか～

トリチウムとは

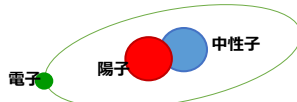
トリチウムとは



水素 (軽水素)



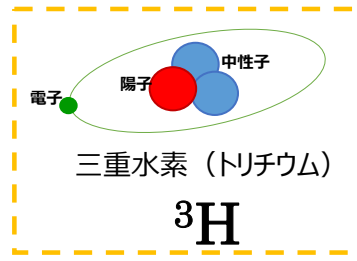
安定同位体
(存在割合99.985%)



重水素



安定同位体
(存在割合0.015%)



三重水素 (トリチウム)



放射性同位体 (半減期: 12.3年)
非常に弱いβ線 (最大エネルギー18keV) を放出

どうやってできるか

天然: 大気上層で酸素や窒素などの原子が宇宙線と反応して生成

人工: 核実験 (原子爆弾、水素爆弾)

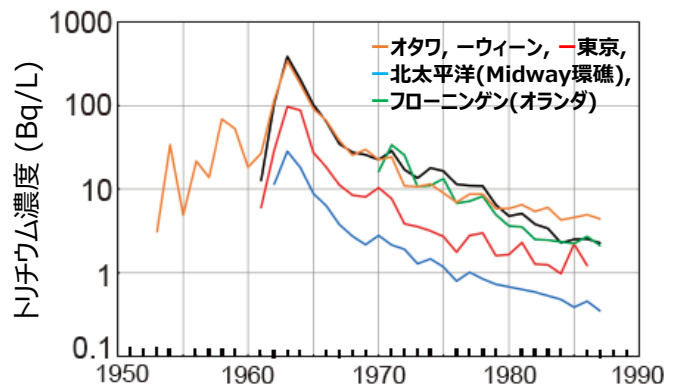
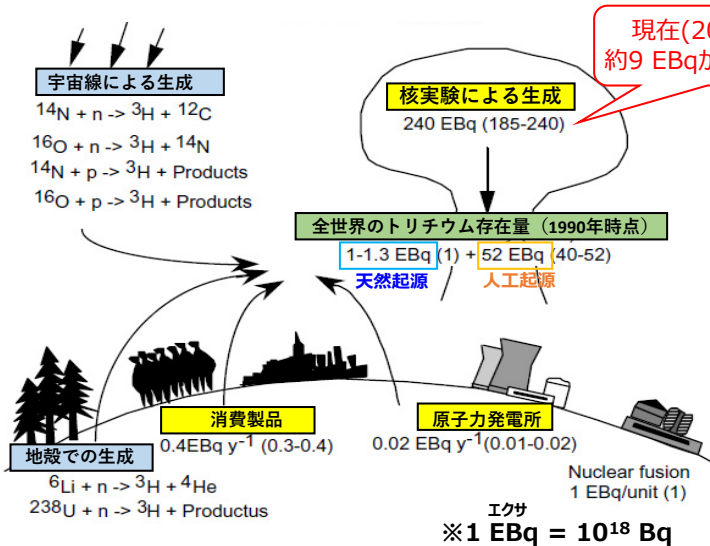
原子炉 (ホウ素と中性子の反応、重水素と中性子の反応、ウランの三重核分裂)

核融合燃料 (核融合反応: 重水素+トリチウム→ヘリウム+中性子)

どのような特徴を持つか

- 環境中では大部分が水 (HTO) の形で存在。
- 環境中では通常の水素 (軽水素) と、概ね同様の挙動をとる。
- 弱いベータ線しか出さないため、体内に摂取した場合の内部被ばくのみが問題となる。
- 1Bq摂取あたりの影響 (実効線量係数) は他の放射性核種に比べ小さい。

環境中のトリチウムの起源



世界の降水中トリチウム濃度 (年平均値) の変遷

(宮本, 2022)

環境中のトリチウムの総量 (1990年時点)

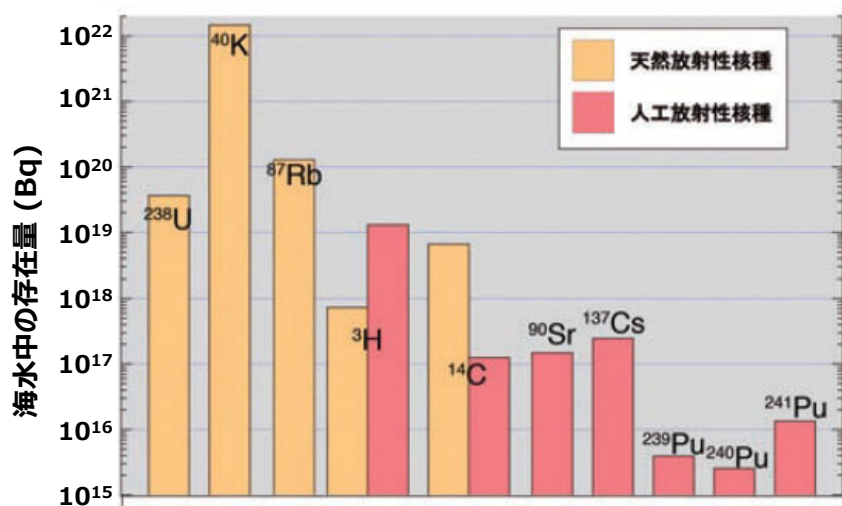
(百島 (2000) の図を修正)

- 核実験によって、それまで環境中に存在した量の約200倍のトリチウムがもたらされた。これにより降水中のトリチウム濃度は世界の広範囲で数百Bq/Lにまで上昇した。
- 1963年にアメリカ・イギリス・ソ連で部分的核実験停止条約が結ばれて以後、降水中の濃度は低下している。
- 降水中のトリチウム濃度は、中～高緯度で高く、低緯度で低い。また、海からの水蒸気の影響が大きい地点では、希釈されて低い。

海洋におけるトリチウム

～海水中での分布と変動～

海水中に存在する放射性核種の例



2000年の海洋における主な人工放射性核種の存在量の比較。Aarkrog(2003)のデータに一部加筆。

(日下部, 2016)

核種	半減期(年)	主な起源
^{238}U	4.47×10^9	天然 (地球誕生時から存在)
^{40}K	1.28×10^9	天然 (地球誕生時から存在)
^{87}Rb	4.8×10^{10}	天然 (地球誕生時から存在)
^3H	12.3	天然 (大気と宇宙線の核反応) 人工 (核実験、原子力施設)
^{14}C	5730	天然 (大気と宇宙線の核反応) 人工 (核実験、原子力施設)
^{90}Sr	28.6	人工 (核実験、原子力施設)
^{137}Cs	30.2	人工 (核実験、原子力施設)
^{239}Pu	2.41×10^4	人工 (核実験、原子力施設)
^{240}Pu	6563	人工 (核実験、原子力施設)
^{241}Pu	14.3	人工 (核実験、原子力施設)

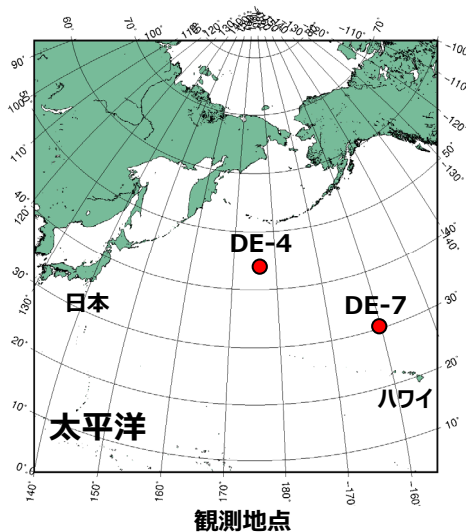
- ・ 海水中で最も多い放射性核種はカリウム40。人工放射性核種の中ではトリチウムが最も多い。

海洋でのトリチウム濃度の鉛直分布

～年代による鉛直分布の変化～

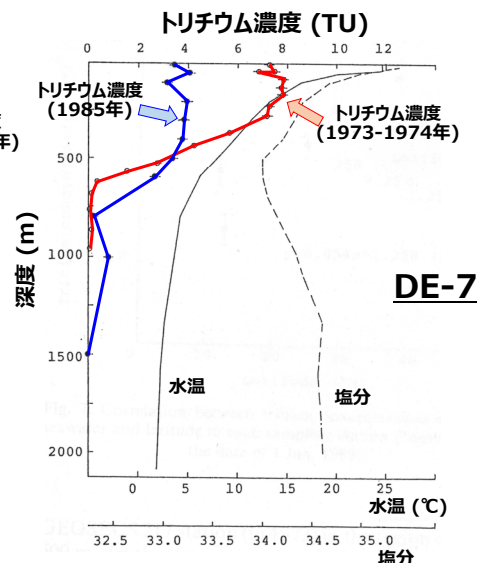
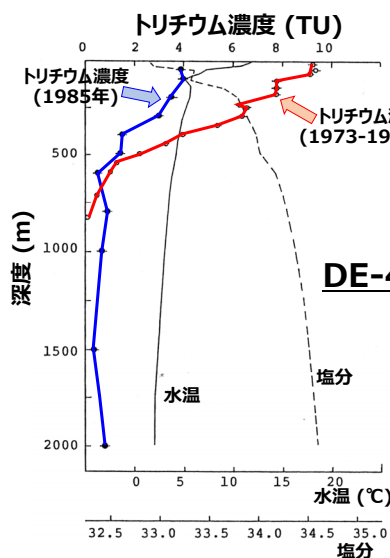
トリチウムユニット

※トリチウム濃度の単位はTU (1TU=0.118 Bq/L) で表示



観測地点

※トリチウム濃度の単位はTU (1TU=0.118 Bq/L) で表示

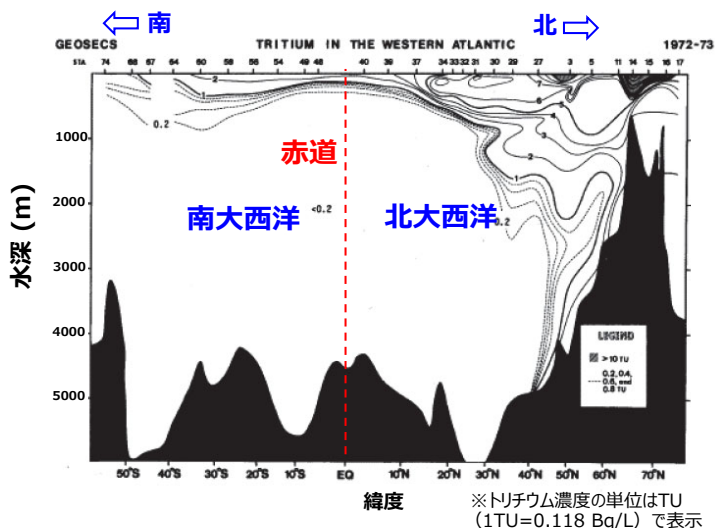


(Kaji et al., 1991)

- ・ 海洋へは主に降水によりもたらされるため、トリチウムは表層で高く、深層では一般的に非常に低濃度。
- ・ 海に入った後は放射壊変により減少する。表層のトリチウムの下方への拡がりは、基本的には非常に遅いが、北方の海域では南方よりもやや早い。(海水が冷やされる北方の海域では、鉛直的な混合が大きい。)

海域によるトリチウム鉛直分布の違い

～海水の沈み込みによる影響～

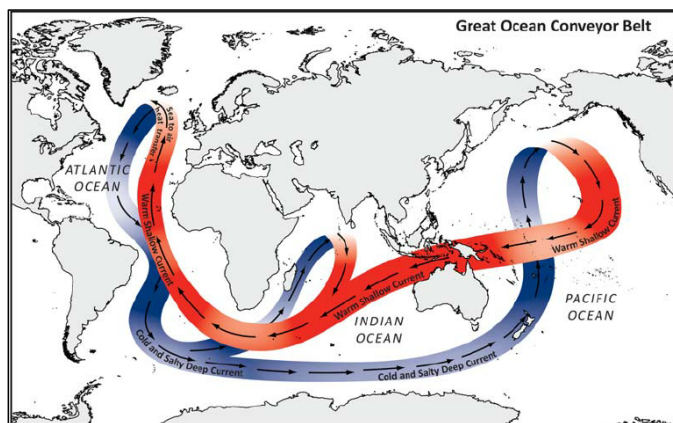


大西洋のトリチウム濃度：南北断面
(GEOSECSプロジェクト, 1972～1973)

大西洋北部では核実験由来トリチウム(主に1960年代前半に供給)が深層まで検出された。



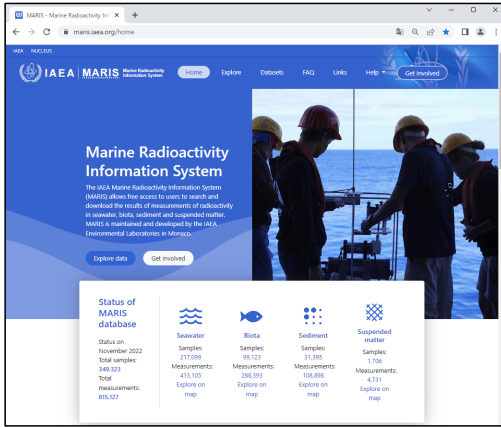
10年程度で表層の水が深層にまで達するような沈み込みが起きている。



Broecker(1987)

トリチウムの分布が示す海水の沈み込みのデータなどが、有名なコンベアベルトに模される海洋大循環の解明につながった。

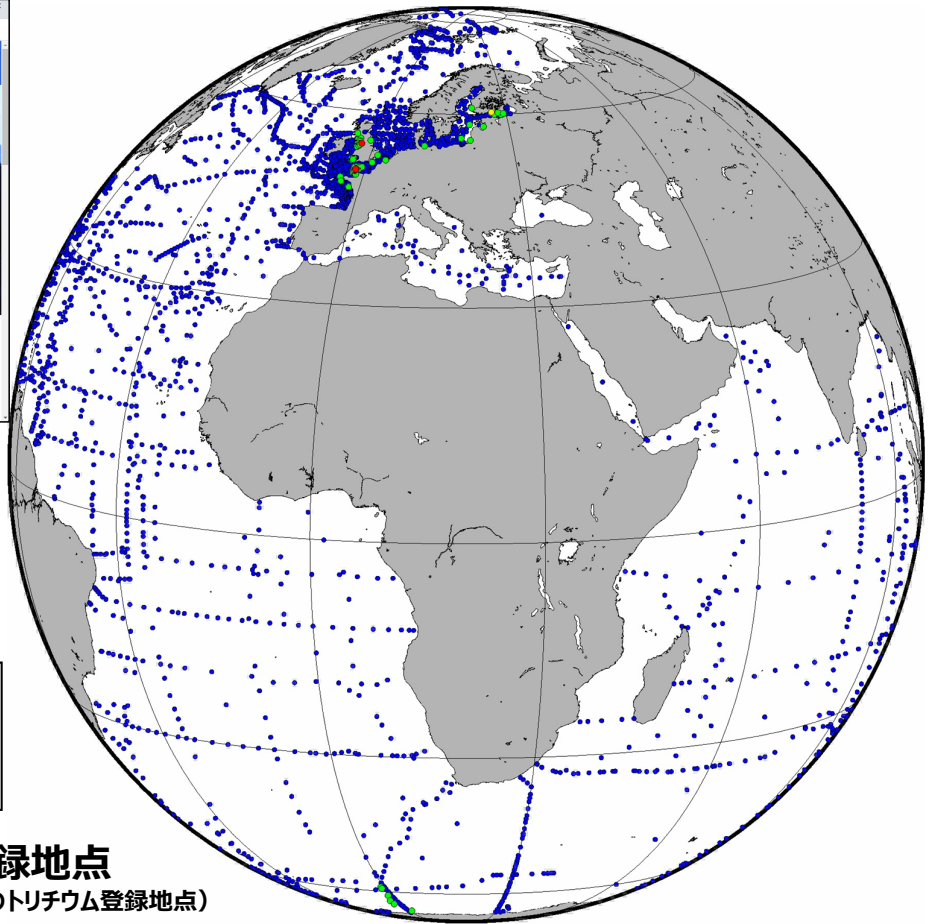
海洋放射能データベース（世界）



IAEA海洋放射能情報システム (MARIS)
<https://maris.iaea.org>



データ登録地点
 (2022年9月時点までのトリチウム登録地点)



海洋放射能データベース（日本）

日本の環境放射能と放射線：環境放射線データベース
<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

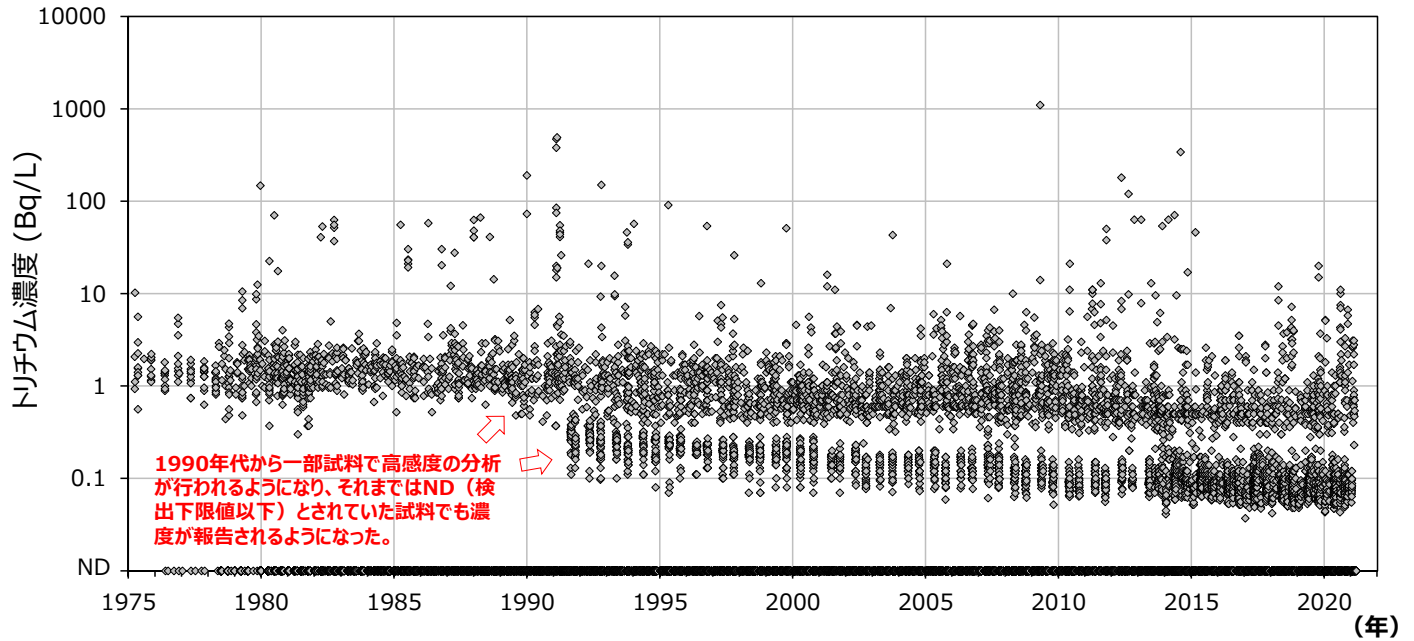


原子力規制庁からの委託業務として日本分析センターが運営・管理

全国の原子力サイト周辺のモニタリングを中心としたデータが登録されている

海水中のトリチウム濃度の推移：日本沿岸

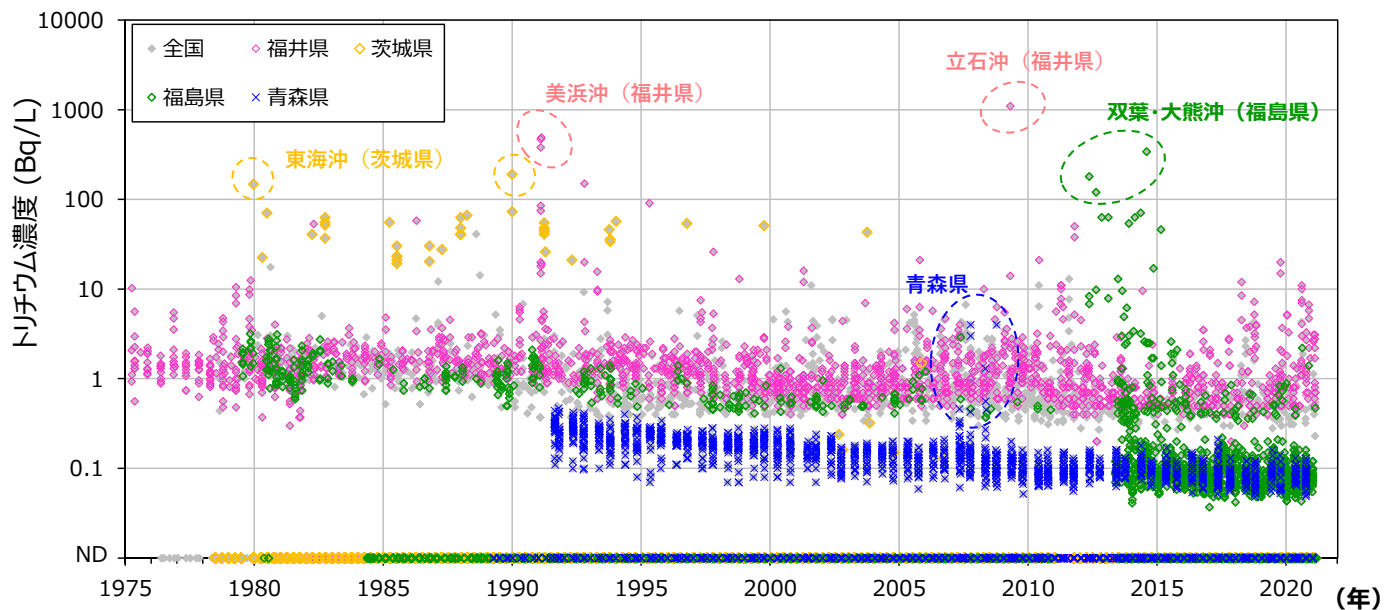
環境放射線データベースに登録されている100m以浅の海水データをプロットした



- ・平均的な濃度は年とともにゆっくりと低下（核実験の寄与の低下）
- ・採水地点付近の原子力サイトからの放出の影響による一時的な濃度上昇が時々見られる。

海水中のトリチウム濃度の推移：日本沿岸

環境放射線データベースに登録されている100m以浅の海水データをプロットした



原子力サイト周辺の海水で見られる一時的な濃度上昇の要因の例

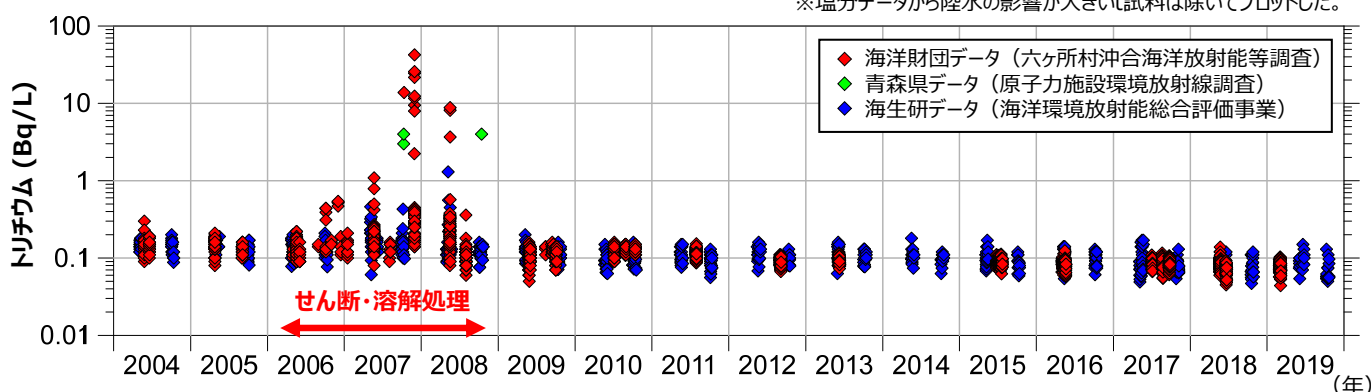
- ・茨城県東海沖：東海再処理工場からの管理放出
- ・1991年 福井県美浜沖：美浜原発2号機伝熱管破断事故
- ・2009年 福井県立石沖（敦賀湾）：ふげん（重水炉）廃止措置作業中の管理放出
- ・2012, 2014年 福島県双葉・大熊沖：福島第一原発事故

管理放出では、重水炉および再処理工場からの影響が大きい

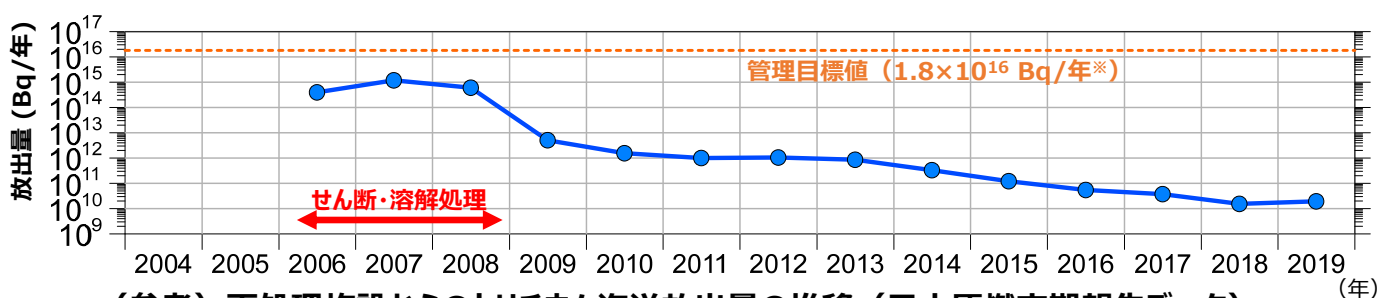
六ヶ所村沿岸のトリチウム

六ヶ所村周辺の海水中トリチウム濃度の推移

※塩分データから陸水の影響が大きい試料は除いてプロットした。



- ・アクティブ試験での使用済み核燃料のせん断・溶解処理の実施時期（2006～2008年）にベースラインの濃度からの上昇あり。
- ・長期的に見ると、ベースラインの濃度がわずかに低下している。（核実験の寄与が低下し、天然のレベルに近づく）



（参考）再処理施設からのトリチウム海洋放出量の推移（日本原燃定期報告データ）

※2020年までの管理目標値。現在は 9.7×10^{15} Bq/年で運用されている。

六ヶ所村周辺海水試料のトリチウム分析データ (海洋財団の分析試料)

	2006年度	2007年度	2008年度
総試料数	145試料	157試料	121試料
≥2 Bq/L試料	0試料 (0%)	15試料 (9.6%)	4試料 (3.3%)
0.5～2 Bq/L試料	3試料 (2.1%)	24試料 (15.3%)	5試料 (4.1%)
<0.5 Bq/L試料	142試料 (97.9%)	118試料 (75.1%)	112試料 (92.6%)

再処理施設からのトリチウム
放出量 (海洋放出)

3.9×10^{14} Bq/年

1.2×10^{15} Bq/年

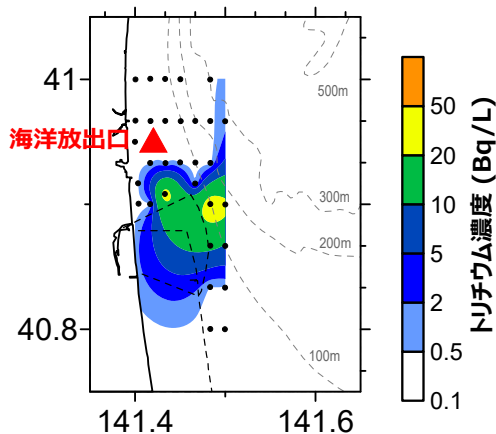
6.0×10^{14} Bq/年

再処理施設からの放出の寄与が検出できる試料は全体のごく一部



アクティブ試験での放出では、トリチウム濃度上昇は、期間・空間
範囲的に限られたものであった。

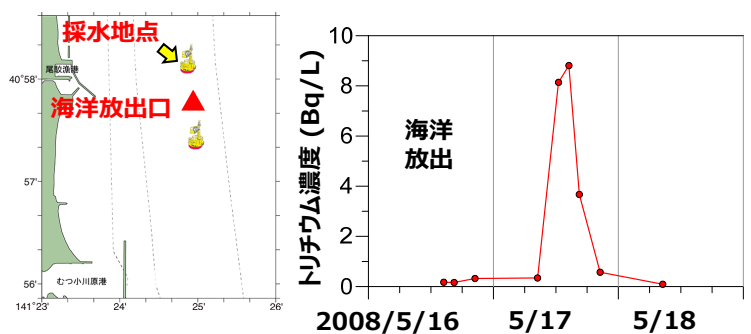
海洋放出されたトリチウム濃度の変化 ～海域での観測例～



放出翌日のトリチウム分布の観測例

- ・ 2007/11/29に海洋放出(^3H 放出量 4.9×10^{13} Bq)
- ・ 2007/11/30にむつ小川原港周辺海域で採水

数kmの範囲に分布しているが、その外側では影響は見られない



放出当日～翌日のトリチウム濃度変化の観測例

- ・ 2008/5/16に海洋放出(^3H 放出量 1.2×10^{12} Bq)
- ・ 2008/5/16～5/17に放出口の約700m北にあるブイ上で採水

一旦濃度が上昇した後、数時間でもとの濃度に戻る

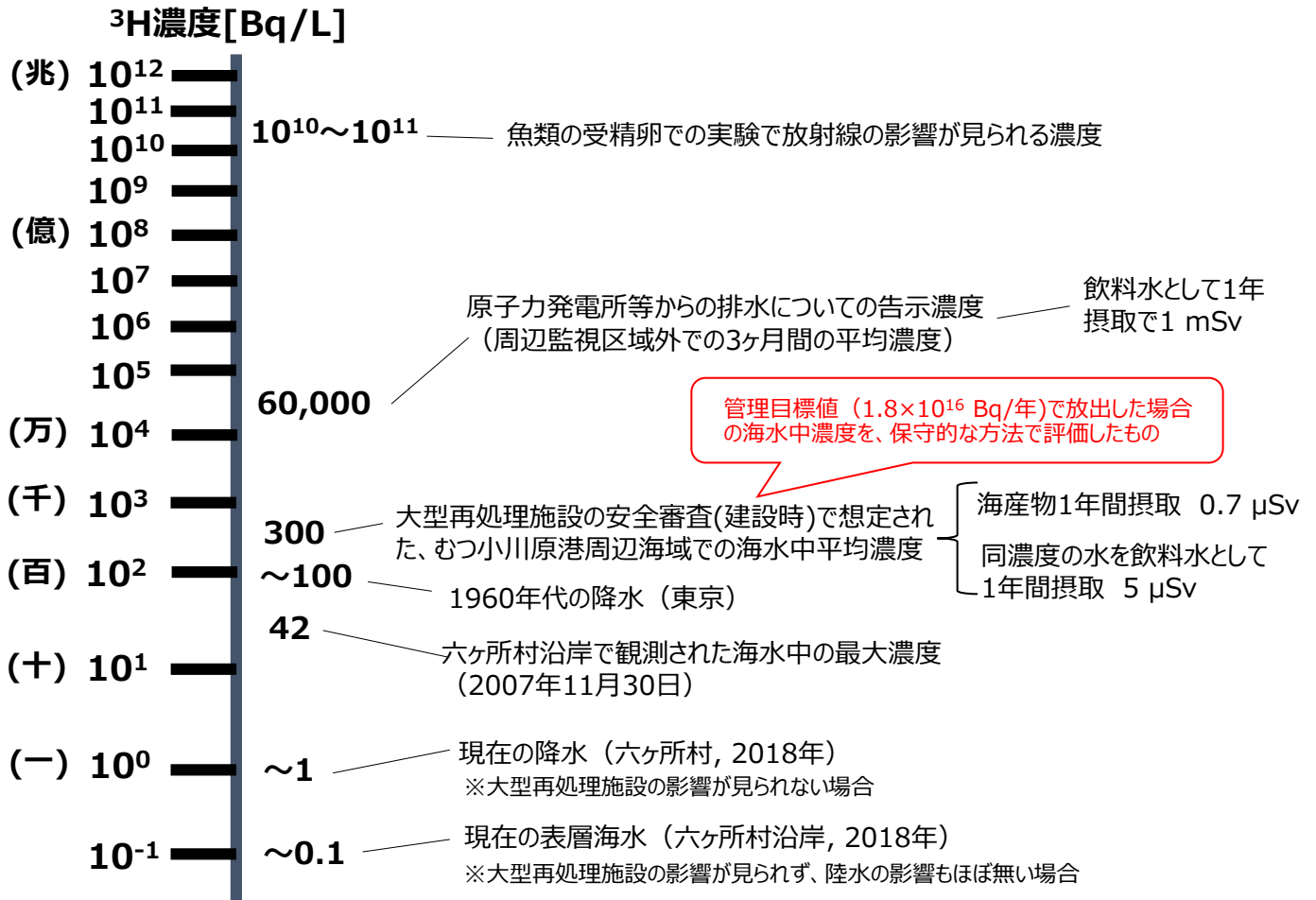
- ・ 放出の翌日に採取した海水で数Bq～数10Bqの濃度が検出されている。
- ・ 検出されたトリチウムの最大濃度はどちらの場合でも排水中濃度の20万～30万分の1であった。
- ・ 海域の流れによりトリチウムの分布は移動し、トリチウム濃度が上昇した状態は長時間継続しない。

まとめ

- ・ 海水中のトリチウムは大部分が核実験によりもたらされたものである。核実験由来トリチウムは年月とともに徐々に減少しているが、現在でも最も大きな割合を占める。
- ・ 核実験由来のトリチウムは海域の混合の特徴によって濃度や鉛直分布が異なる。海洋循環のトレーサとして、そのメカニズム解明に貢献してきた。
- ・ 原子力施設周辺海域のトリチウム濃度は、施設からの放出の影響で上昇するが、時間・位置による変化が大きい。
- ・ 六ヶ所再処理施設アクティブ試験時のトリチウムデータから、外洋に面した開放型の海では、移流や拡散により排水の影響は比較的短期間で低下すると推測される。

最後に

水中のトリチウム濃度の例



世界各国のトリチウム濃度に関する基準(1)

飲料水中のトリチウム濃度基準と1年間飲んだ場合の被ばく線量

柿内(2018) のとりまとめに註を追加

	トリチウム濃度基準 (Bq L ⁻¹)	被ばく線量 (mSv 年 ⁻¹)
EU ※1	100	0.001
アメリカ	740	0.01
カナダ	7,000	0.09
ロシア	7,700	0.10
スイス	10,000	0.13
WHO	10,000	0.13
フィンランド	30,000	0.4
オーストラリア	76,103	1.0

※1: パラメータ値であり濃度限度ではないことがEUのCouncil Directive (22-Oct-2013)に明記されている。「トリチウム濃度の上昇は、他の人工放射性核種が存在を示唆する場合がある。トリチウム濃度がパラメータ値を超えた場合、他の人工放射性核種に関する分析が必要となる。」と注釈がつけられている。

今日話した海水中のトリチウム濃度は、被ばく線量の観点では全く問題ない範囲内での変動である。

世界各国のトリチウム濃度に関する基準(2)

各国の原子力施設からのトリチウムの放出規制及び 飲料水に含まれるトリチウムの濃度基準

(山口, 2021)

※1兆=10¹², 1京=10¹⁶

国名	原子力施設からの放出に係る規制			飲料水中の濃度基準
	規制方法	気体廃棄物	液体廃棄物	
日本	濃度規制	5Bq/L	6万 Bq/L (原発) なし (再処理)	なし
韓国	濃度規制	3Bq/L	4万 Bq/L	なし
米国	濃度規制	3.7Bq/L	3万 7000Bq/L	740Bq/L
カナダ	総量規制	12 京～ 85 京 Bq/ 年	37 京～ 4600 京 Bq/ 年	7,000Bq/L
英国	総量規制	3 兆～ 15 兆 Bq/ 年 (原発)	80 兆～ 700 兆 Bq/ 年 (原発)	100Bq/L
		1100 兆 Bq/ 年 (再処理)	1 京 8000 兆 Bq/ 年 (再処理)	
フランス	総量規制	4 兆 Bq, 4.5 兆 Bq/ 年等 (原発)	45 兆 Bq, 80 兆 Bq/ 年等 (原発)	100Bq/L
		150 兆 Bq/ 年 (再処理)	1 京 8500 兆 Bq/ 年 (再処理)	

(注)「原発」は原子力発電所、「再処理」は再処理施設に対する規制。日本の再処理施設については、トリチウム等の各放射性物質の濃度限度は定められていないが、放射性廃棄物の海洋放出に起因する実効線量限度(3か月間につき0.25mSv)が定められている。カナダ、英国、フランスでは施設ごとに基準値が設定されている。「京」は兆の1万倍を意味する。

(出典) 三菱総合研究所『平成30年度原子力の利用状況等に関する調査事業(多核種除去設備等処理水の処分技術等に関する調査研究)調査報告書』2019.3.29, pp.38, 41. 経済産業省ウェブサイト <<https://www.meti.go.jp/medi-lib/report/H30FY/010703.pdf>>; 柿内秀樹「トリチウムの環境動態及び測定技術」『アトモス—日本原子力学会誌—』Vol.60 No.9, 2018.9, p.32. <https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/60/9/60_537/_pdf/-char/ja>; Canadian Nuclear Safety Commission, "Standards and Guidelines for Tritium in Drinking Water," *Part of the Tritium Studies Project*, INFO-0766, 2008. <https://nuclearsafety.gc.ca/pubs_catalogue/uploads/info_0766_e.pdf> を基に筆者作成。

報告内容等の問合せ先：青森県上北郡六ヶ所村大字尾駁字家ノ前1番7
公益財団法人 環境科学技術研究所
共創センター 共創推進課
TEL 0175-71-1240