

日本原子力学会合同セッション

企画セッション | 合同セッション：原子力安全部会、核融合工学部会

[1K_PL]

核融合におけるリスクとは何か？—定義・評価・語り方をめぐる多分野対話

📅 2025年9月10日(水) 13:00 ~ 14:30 📍 K会場(AIM3F G展示場)

座長:近藤 寛子(マトリクスK)

1. エネルギーシステムのリスクの考え方

2025年9月10日

Satoshi Konishi
CEO and Chief Fusioneer, Kyoto Fusioneering Ltd.

- ・核融合炉はじめ、原子力施設ではその使用放射性物質の「影響」管理に責任がある—どこまで？
- ・少なくともトリチウムは人為発生トリチウムも天然トリチウムも人間に到達する機会が多いという特殊な核種として扱わざるを得ない。
- ・核融合炉は定常定格運転時に最低でもキログラム単位のトリチウムインベントリーを燃料系に持つはず
→運転時にその放出量をゼロにできない。能動的な管理しかない。

放射性物質の管理が説明できなければ扱えない

核融合だけでなく、過去、現在でもトリチウムは「管理放出」される
福島以降、生体影響は、環境・人体・社会複合問題

目的

核融合施設からのトリチウム放出の影響を分析し、管理する
それは？

「核融合で扱うトリチウムが環境、人間、社会に与える影響のすべてを理解し、それを制御できる状態」に確実にになっていること

→現実の健康被害だけでなく、仮想リスクも現実の影響を持つ

方法

- ・「外部性」の概念を広くとらえる
- ・「確率論的安全論」の限界と、ヒトの「リスク認識」のギャップを理解する
- ・そのうえで影響経路分析を行い、原子力施設からのトリチウム影響を考慮する

→影響経路として、「認識」されるものはとりあえず考慮する

留意点

- ・トリチウムは検出可能量と健康影響の差が極めて大きい
- ・トリチウムシステムは常時運転で系内からトリチウムを放出

1. トリチウムソースターム

- ・核融合施設におけるトリチウム管理
- ・トリチウム放出経路と量
- ・事故と通常放出、放出モード、化学形

2. 環境挙動と移行経路

- ・環境におけるトリチウム移行一気相及び液相
- ・生体への移行経路、コンパートメントモデル—環境だけではない
- ・人為的移行：農業、農産物、水産物—風評被害の方が問題
- ・環境モニタリングと検出可能性—被ばく量が問題なのではない
- ・長期環境挙動—年間放出では管理できない

3. 生体影響とリスクと社会需要

- ・生体内におけるトリチウム移行—DNA以外は無視できる？
- ・発がん性とトリチウムの因果律—環境トリチウムから二重鎖切断まで
- ・ガンのリスク、確率論的安全論、ヒトと社会のリスク認識
- ・核融合利用と外部性、社会的責任と受容、世代間衡平

原子力施設からの放射性物質

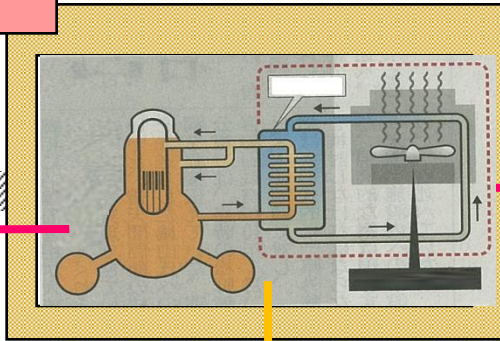
放出量規制(Bq/y)
(通常時、事故時)

プルーム

自然界からの被ばくもある

不要な被ばくはできるだけ避ける
As Low As Practically Achievable

原子力施設



海水

水産物

地下水



大気

土壌

敷地境界

環境

植物

農作物

被ばく



自然放射線源

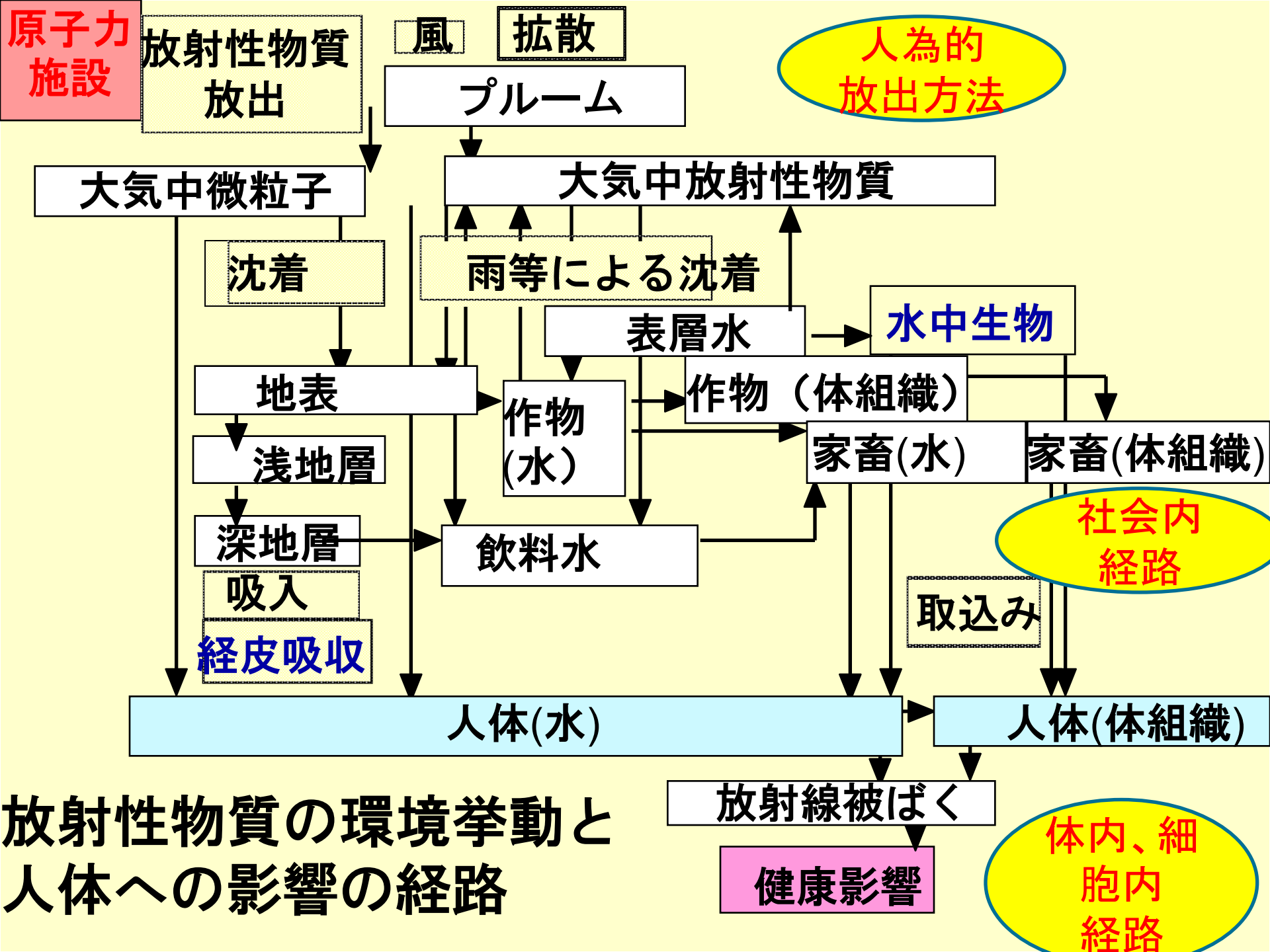
被ばく

地表水

飲料水

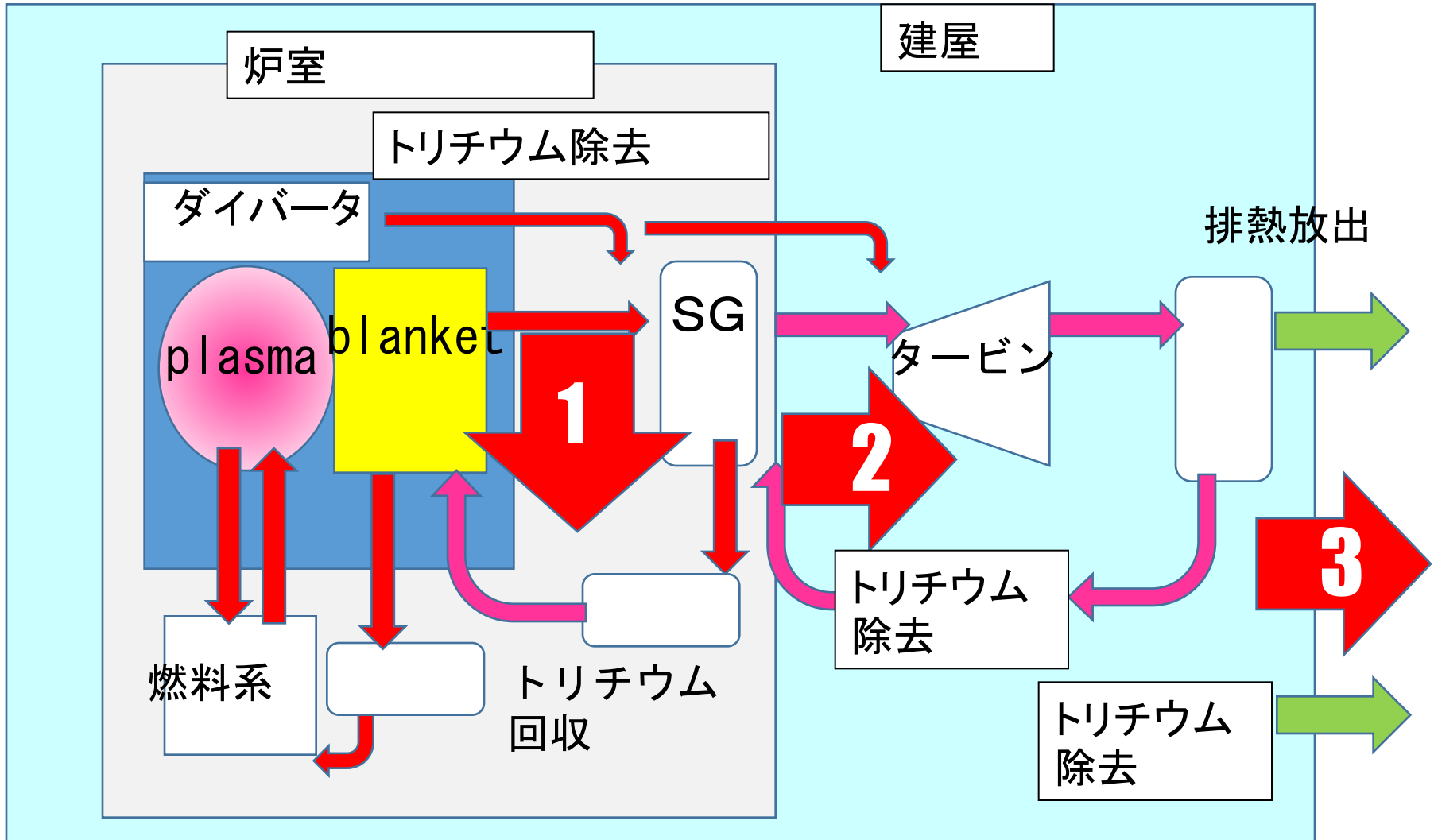
影響は被ばく量で評価(Sv)する
通常時1 mSv/y

被ばく量が無視できるものは健康に影響を与えない



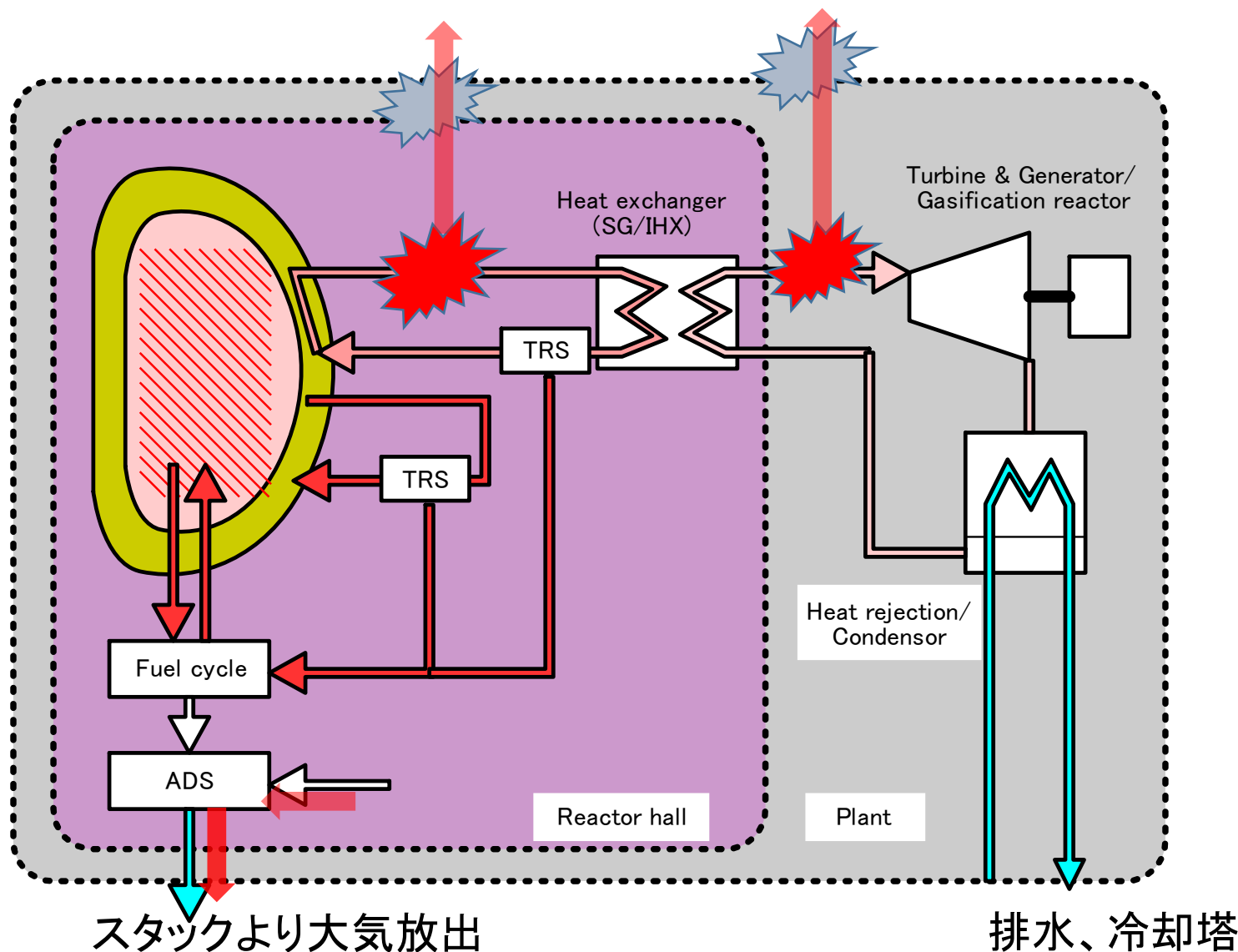
放射性物質の環境挙動と人体への影響の経路

フュージョンプラントのトリチウム



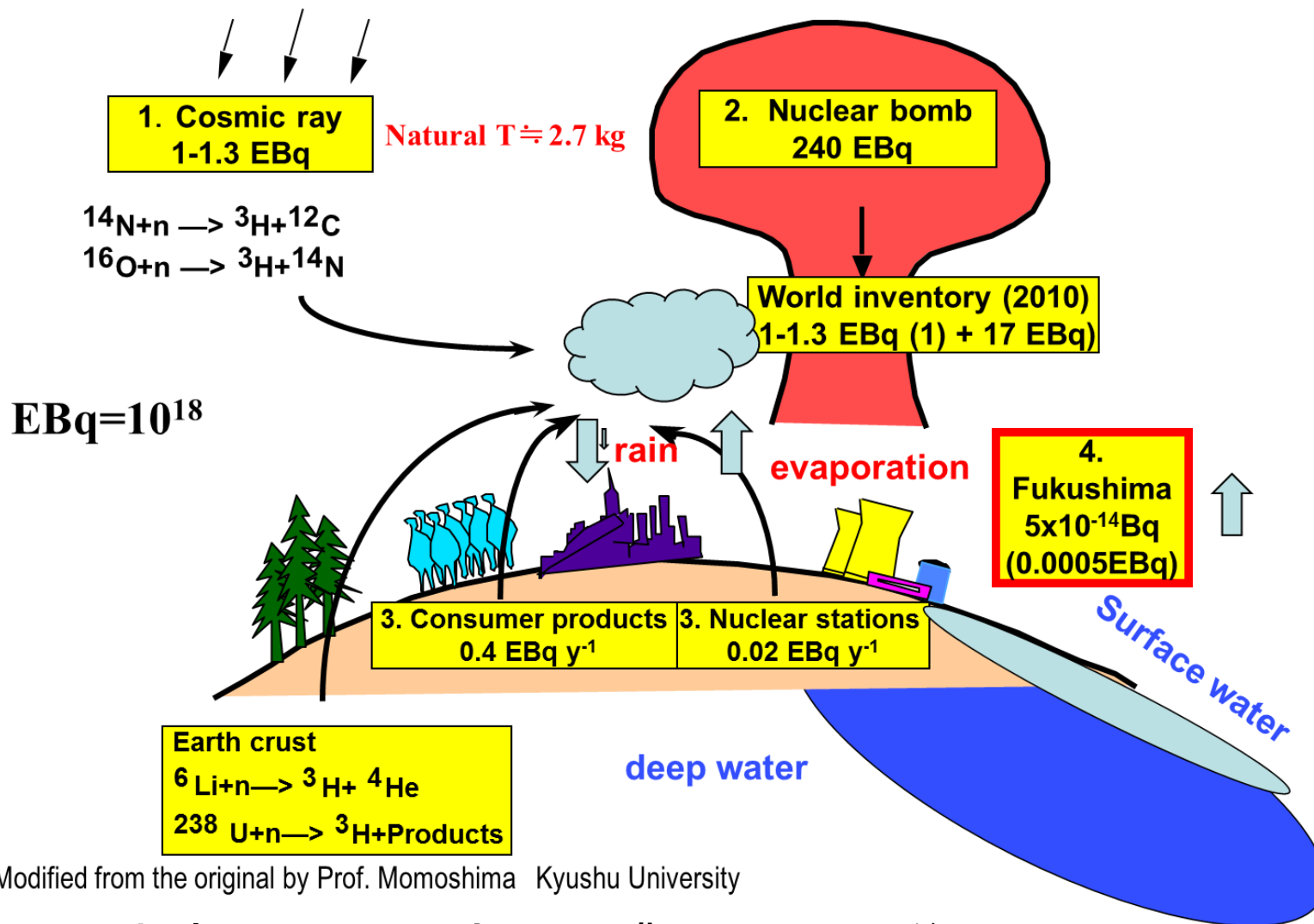
動力炉では、発電系が主なトリチウム放出源となる

フュージョンプラントのトリチウム放出



異常事象時は、高圧配管の破断とトリチウム放出が問題となる。

地球環境とトリチウム



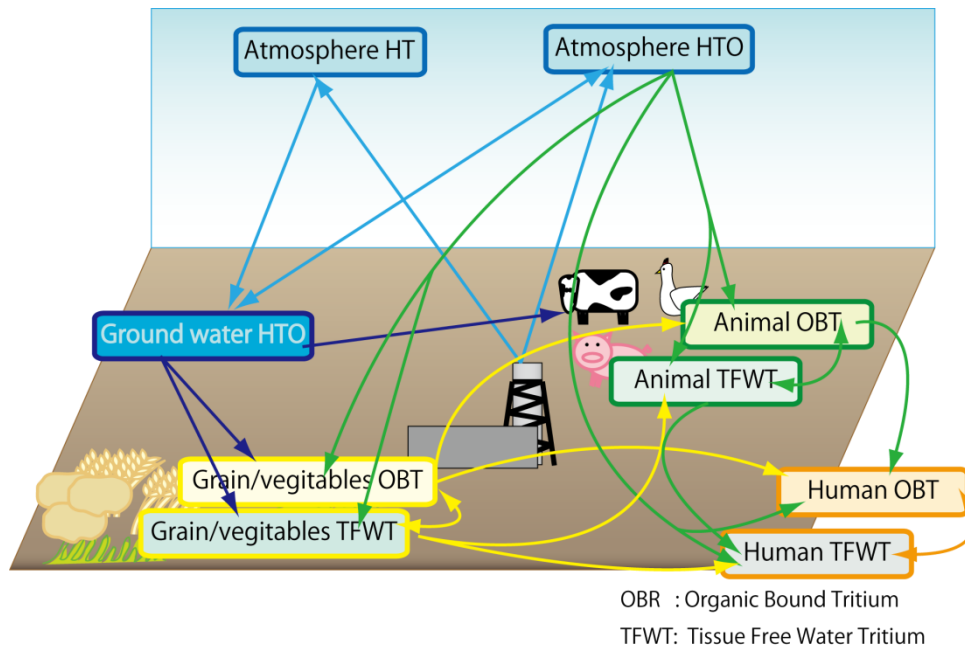
人類は、地球上のトリチウムの濃いところに住んで、
そのトリチウムをさらに濃くしている。

- トリチウム放出量は、法律および地元等との協定により、濃度および総量によって規制される。この点において、核融合は他の原子力、RI施設と変わりがない。
- (大量)トリチウム水の処理は、原理はともかく、経済的に許容できる処理法が動力炉に適用可能かは今後の課題となる。
- 放出されたトリチウムは被ばく量によって管理される。これが法定限度を十分下回ることは(1/10?)要求される。しかし。。
- **環境及び農作物、食料等のトリチウムは容易に検出される。これは法定レベルの問題ではないと考えられる。**
- 核融合エネルギーが実用化されるのなら、定常放出、長期、多数、の影響を考慮しなければならない。
- カナダの重水炉による経験と実績は、実質的に核融合トリチウムと同等であろうとみなせる。(高価な媒体を可能な限り制御)。この結果が **1000Ci/y order /unit.**

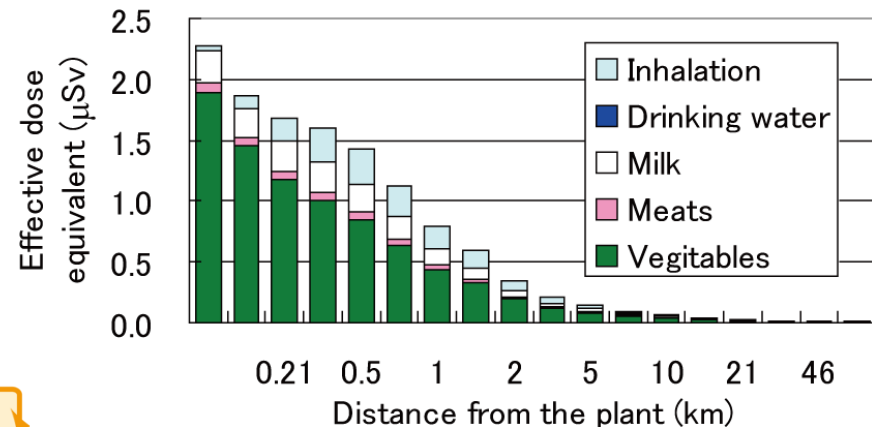
→核融合はこれよりきれいにも汚くもなれない。

- 環境トリチウム挙動は、基本的にはコンパートメントモデルで記述できる。
- コンパートメント内の細かい挙動は無視している。多くは、無視しても構わない。
- コンパートメント間の移行は、データの充実したものも、極めて大雑把な推測でデフォルトとされているものもある。今後の詳細な分析が必要なものも多い。
- 環境挙動は、自然現象のみではなく、放出の技術によってもある程度制御や利用が可能
 - 大気放出、海洋放出の差は大きい。
 - いずれの場合も、環境水による同位体希釈が期待される。
- いくつか、自明と思われる仮定に問題がありうる。
 - 大量の媒体放出は、拡散過程に従わない。
 - 生体濃縮がありうる。

定常放出による環境トリチウム



Structure of NORMTRI model

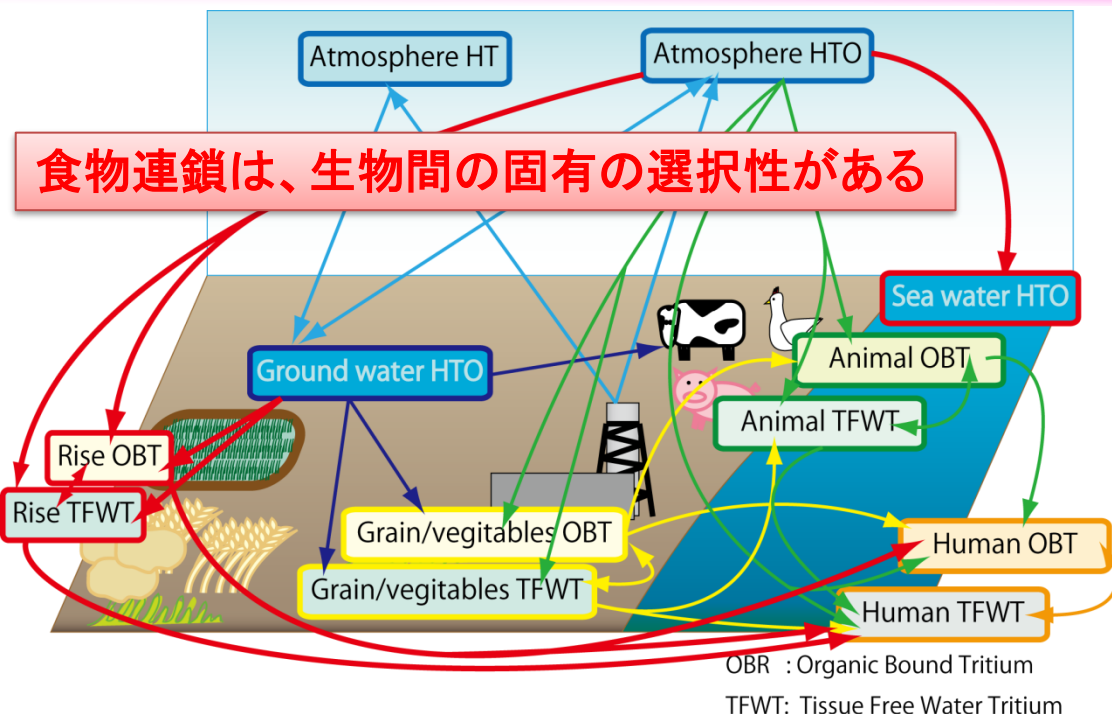


Total tritium dose during 1 year operation calculated by NORMTRI.

Acknowledge W. Raskov and D. Galeriu

- ・コンパートメントモデルで、放出量が**被ばく量**に変換される。
- ・被ばく量の大部分は、経口で**食物から**与えられる。
- ・ μSv レベルがだいたい 1 gram/y の放出影響 \rightarrow 健康上問題ではない
しかし、十分検出可能なので、**食品の価格**への影響は不可避

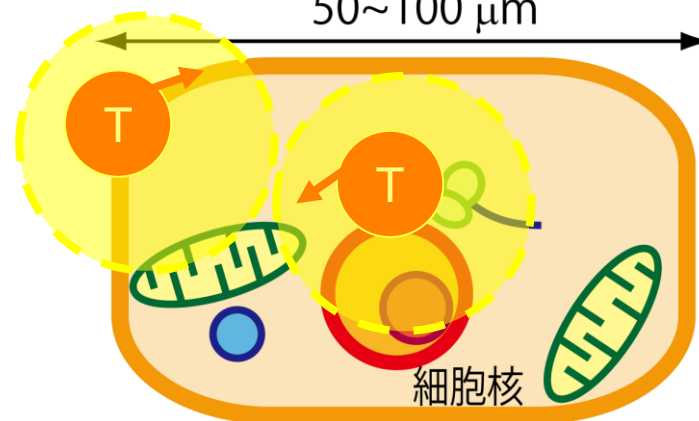
環境から生体への移行



現在のdose評価は、すべてが生体に影響と仮定。
 トリチウム水は均等に分布。
 ・細胞サイズと飛程の関係
 -直接DNA分子をβ線が攻撃できる位置は限られる
 -β線の直撃以外に、放射線は活性酸素も発生
 -RBEは2とされる。反跳3Heの効果？

トリチウムの影響臓器は核？

50~100 μm



- ・長期定常被ばくがinjection主体なら、細胞倍DNA近傍に至るのはOBT？
- ・環境から食物への取り込みは土地利用、食物連鎖、食生活が影響
- ・水文環境の影響(水田等)
- 可食部分へ取り込み時期、経路

原子力施設からのトリチウム放出は

- 健康被害を起こせる(確率的にも)レベルの低線量にさえならない
- 法的、制度的制限量よりもはるかに少ない(事故でも), **しかし**
- **バックグラウンドよりも十分高く、素人にも検出可能**

→福島以降、ベクレルとシーベルトの差は認識。
しかし、ベクレルがあれば、風評被害は出る。

低線量直線仮説がある限り、

- 検出可能放射能は、ガン発生確率はゼロとは言わせてもらえない
- 低確率のリスクは、偶発性と認識されない。(PSAの失敗)
- **リスクは、認識された時点で現実の被害(費用発生)となる**

リスクは、確率でなく、原因者で認識する人もいる

社会によるリスク共有のルールがまだない

- ガンの原因、放射線の原因が区別されている？
- 発生者の責任、責任者による費用負担が求められる
- リスク分担に不公平があるのは事実