

氏 名（本籍）	こ 小	まつ 松	けん 賢	し 志
学 位 の 種 類	医	学	博	士
学 位 記 番 号	医 博 第	8 0 1	号	
学位授与年月日	昭 和 5 3 年 3 月 2 4 日			
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当			
研究科専門課程	東北大学大学院医学研究科			
	（博士課程）生理学系専攻			
学 位 論 文 題 目	環境汚染トリチウム水の生体への取り込み と影響の評価			

（主 査）

論文審査委員 教授 栗 冠 正 利 教授 松 沢 大 樹

教授 星 野 文 彦

教授 鈴 木 継 美

論文内容要旨

原子力開発に伴い、環境中に放出されるトリチウム (^3H) は近年急速に増大し、今後とも使用済み核燃料の再処理施設の運転開始、あるいは将来の課題としての核融合炉の開発は環境中の ^3H 量を飛躍的に増大させる事が予想される。しかし、その危険評価の基礎となる ^3H の生物学的作用、挙動は十分に研究されているわけではない。原子力施設から環境中に放出された ^3H は最終的にはトリチウム水 (^3HHO) として大部分は海洋に入るが、更にそれが〔海水 ^3HHO →植物プラクトン→動物プラクトン→魚類→人間〕の食物連鎖を通じて人体に取り込まれる経路が考えられる。食物連鎖による ^3H の動態の重要性はその指摘されるところにもかかわらず、厳密な実験の困難さなどのために未だに満足すべき報告はない。そこで本研究は実験室に確立した生態系によって、 ^3HHO が食物連鎖を通じて生体結合型 ^3H として生体に取り込まれていく挙動、更にはその予想される影響を明らかにすることを目的として行った。

< 材料と方法 >

実験材料の植物プランクトンは独立栄養性で多くの魚類の餌である珪藻 *Chaetoceros gracilis* を海水+無機栄養塩、蛍光灯下(葉タバコ用)、水温 30°C 、5% CO_2 -空気をバブリングさせながら培養した。動物プラクトンは珪藻を餌とするブラインシュリンプ *Artemia salina* (サンフランシスコ産) を市販耐久卵から孵化後、珪藻を投与、海水温度 28°C 、通気、蛍光灯下にて生育した。 ^3HHO の比放射能は、藻類、動物プランクトンに生物学的影響が認められず、しかも海水の比放射能の違いにより ^3H の挙動が変化しないとされている範囲 $1 \sim 10 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ 、但し高分子 DNA、ヌクレオチドの取り込み実験に於いては $60 \mu\text{Ci}/\text{ml}$ であった。食物連鎖系の場合には、必らず珪藻の培地とブラインシュリンプの海水は同じ比放射能とした。 ^3H の取り込み、及び放出過程は経時的に試料を採取後、凍結乾燥法によって生体結合型 ^3H として、R 値(生体結合型 ^3H の水素当りの比放射能/海水 ^3H の水素当りの比放射能)の測定には燃焼法により、各生体構成成分はシュミット・タンハウザー法の変法により分画した。

< 結果と考察 >

①珪藻への ^3H の取り込み量は $R \div 50\%$ で飽和した。この値は珪藻の増殖速度を変えても同じであり、 ^3H が生体に取り込まれにくいように discrimination されている結果である。シュミット・タンハウザー法の分画では、高分子結合型 ^3H (DNA, RNA, 蛋白質分) は時間と共に増加し、低分子結合型(脂質, 酸可溶性画分) はそれと対称的に減少し、代謝によって ^3H が低分子から高分子結合型へと変化する事が示唆された。脂質画分の R 値は全細胞の R 値と同じ値であり、

この画分については一様な取り込みと認められた。②ブラインシュリンプへの ^3H への取り込みは、 ^3H freeの珪藻を餌とした場合には $R \div 50\%$ 、予め同濃度の ^3HHO 海水で増殖させた珪藻を餌とした場合（所謂食物連鎖のモデル）には $R \div 70\%$ で定常値に達し、食物連鎖による取り込み量の増加が見られた。この場合の脂質画分の R 値はそれぞれ 50% 、 70% で個体の R 値と同じであった。食物連鎖による場合及びよらない場合の試料について、フェノール法で抽出した高分子DNAの R 値は 21% 、 46% であり、一方この時の個体の R 値は 23% 、 51% であった。この場合、DNA中の水素の約 $2/3$ は処理過程で交換可能であり、生体中のDNAの R 値は個体の R 値よりも高い事が予想され、従って高分子成分については必ずしも一様に ^3H が取り込まれない可能性が示された。一方、この高分子DNAより酵素処理によって得た4つのヌクレオチドの R 値は約 $1/10^3$ に減少したが、非交換型のメチル基を有するチミジル酸は他のヌクレオチドより高い比放射能であった。しかし、この種の実験は試料の処理方法に問題があり、従来報告されているような各塩基への取り込みの不均一性を証明することにはならない。③珪藻を ^3H の取り込みが飽和する迄に増殖させた後、 ^3H freeの海水に移した時の放出過程は極く初期を除けば指数関数的で半減期は約 150 hr であった。低分子結合型が初期に比較的速やかに放出され、次第に高分子結合型と平衡して放出され、高分子結合型→低分子結合型の移行過程が示唆された。④ブラインシュリンプの放出過程は2成分以上の指数関数で表わされ、初期の半減期は約 20 hr と珪藻の半減期より短かく、また珪藻では全体の数%にしかすぎなかった交換型 ^3H （脂質画分中、減圧にて揮発する ^3H ）量が多く、これがその短半減期成分の1つと思われた。⑤食物連鎖を通じての、ブラインシュリンプへの ^3H の取り込み及び放出過程の動態は3つのCompartment r_1 ($T_{1/2} = 7.8\text{ hr}$) = 21% 、 r_2 ($T_{1/2} = 12.1\text{ hr}$) = 20% 、 s ($T_{1/2} = 110\text{ hr}$) = 59% を仮定することによってよく説明できた。一方、海水のみから ^3H が取り込まれた場合には、交換型 ^3H に起因すると思われる r_1 の大きさは不変で、長半減期のCompartmentが減少する事が明らかとなった。従って、食物連鎖を通じての ^3H の取り込みはその取り込み量が増加するのみならず、一旦取り込まれた ^3H は放出されにくい事が示された。⑥このCompartmentモデルにより、5段階の食物連鎖を予想することによって人間に取り込まれた ^3H による被曝は ^3HHO に関するICRP勧告（1959年）より全身照射で28倍、生体結合型 ^3H 基準では77倍の線量になる事が推定された。

環境中のトリチウム水はDNAの例にみるように必ずしも一様に取り込まれず、その動態に関する実験からも生体中の存在様式は3つのCompartmentで区別され、トリチウムは決して一様に取り込まれるのではないことがわかった。また、生体結合型 ^3H は多くても環境中の比放射能と同じであろうという従来の予測を超え、何段階かの食物連鎖は ^3H の取り込みを増加する可能性、従って食物連鎖が被曝線量の推定に際して、無視できない重要な因子である事が明らかとなった。

審 査 結 果 の 要 旨

将来、環境中のトリチウム量は増加すると予想されている。トリチウムによる人体の被曝線量の推定は、生物、特に食物連鎖によるトリチウムの濃縮を示唆する報告があるにも拘わらず、実験が不確実であったために濃縮を無視して計算されており、食物連鎖による生体濃縮の可能性は未解決の重要課題の1つであった。

本研究においては、植物プランクトン（珪藻）—動物プランクトン（ブラインシュリンプ）の食物連鎖によるトリチウムの取り込み量、生体構成物質へのトリチウム分布、および人間に関する各種資料に基づいて数段階の食物連鎖を経た場合の人体の被曝線量の推定を試みた。

珪藻体へのトリチウムの取り込みは速やかに完結するが、ディスクリミネーションがありトリチウムは軽水素の40～50%の取り込み量で飽和し、どの生体構成成分にもほぼ均等に取り込まれていることを認めた。

ブラインシュリンプを単にトリチウム水中で飼育した場合には、その取り込み量は珪藻と同じく軽水素の約50%であるが、食物連鎖系を通じるとその割合は70～75%と増加し、その増加分は特定の生体構成成分についてではなく、各成分について均等であった。一方、高分子 DNA に関しては、トリチウムの取り込みの均一性は必ずしも該当しないと思われる。

ブラインシュリンプのトリチウムの取り込みに関しては3つのコンパートメントを確認した。まず短半減期コンパートメントは交換型基や結合水に由来し食物連鎖の有無に拘わらず大きさは常に約20%である。中半減期コンパートメントは食物（珪藻）と直接関係し食物連鎖系でのみ認められた。長半減期コンパートメントは非交換型基のトリチウムに由来し食物連鎖を通すと約20%増加した。1回取り込みの場合でも食物連鎖を通すとトリチウムは急速にかつより多量に取り込まれ、しかも放出されにくいことがわかった。

このコンパートメント解析を自然界に通常起こりうる5段階の食物連鎖系に応用してみると、食物連鎖を考慮しない従来の被曝線量の推定値の28倍もの被曝がありうるという結果となった。

この研究でトリチウムの生体内均等分布を確認した上で、食物連鎖系による生体濃縮の可能性を具体的に初めて指摘し、環境トリチウムの人体被曝線量評価に食物連鎖の重要性を提起した意義は大きい。よって学位を授与するに値するものと認める。