

京都大学 工学研究科 ○西村留美

同上

森澤眞輔

福井工業大学 工学部

井上頼輝

1. はじめに

原子力利用に伴う重水炉の運転、再処理施設の稼働等によりトリチウム（三重水素： ^3H ）の取扱量が増大し、さらに、核融合炉の開発研究に伴ってトリチウム取扱量の増大は飛躍的になることが見込まれている¹⁾。通常の意味での処理が困難であるため、地球規模でのバックグラウンド濃度が懸念される放射性核種の1つでもある。また環境中においてはトリチウムは循環性が大きく、かつ水素の1つが ^3H で置換された水の形態で存在するために生物との親和性も高い。従って、人体への影響を評価する必要があるが、従来から研究例は少ない。

本研究では、環境中の微量汚染物質トリチウムが地球規模に分散し地表・海洋に降下し、農・畜・水産物へ移行し、食糧の輸入を介して日本に運ばれ、日本人に摂取されるに至る経路を把握し、人の健康に与える影響を評価する数学モデルを開発すると共に、構築したモデルを用いてトリチウムに起因する日本人のガン誘発リスクを評価することを目的とする。

2. 評価モデルの構成

日本人によるフォールアウトトリチウムの経口摂取量を評価する数学モデルは、(1)地球規模でのトリチウムの降下特性を評価するサブモデル、(2)農・畜・水産物中のトリチウム濃度を評価するサブモデル、(3)農・畜・水産物からのトリチウム経口摂取量を評価するサブモデルで構成される。

トリチウムの地球規模降下特性を評価するモデルの概念を図1に示す。核実験により大気圏に放出されたトリチウムは核実験規模により決まった割合で成層圏・対流圏・地表面へと移行し、そのトリチウムは成層圏から対流圏、地表面、深層へと沈降する。しかし、対流圏・地表面間においては、降水や蒸発の効果が作用し、地表水と対流圏内の水分との間でトリチウムの循環が起こる。さらに、各層においてトリチウムは、水平方向へも移行する。

図2は、フォールアウトトリチウムの経口摂取量を評価するための全体モデルの構成を模式的に示している。地球規模に分布したトリチウムは、海洋・土壌中へ移行し、農・畜・水産物および飲料水を介して日本人の体内へと移行する。ただし、図2に示す全過程においてトリチウムは水の形態で存在し、このため生物濃縮は起こらないものと仮定する。

3. シミュレーション結果

図1、図2で概念的に示した数学モデル（連立微分方程式

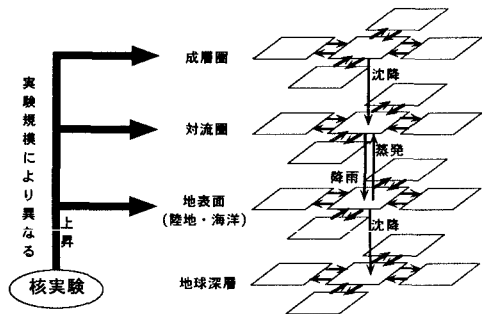


図1 トリチウムの地球規模降下特性を評価するモデル

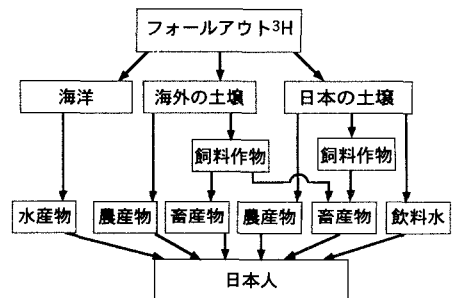


図2 フォールアウトトリチウムの経口摂取量を評価するための全体モデル

群で構成されるコンパートメントモデル)を時間ステップを1ヶ月に設定して、クラウト法で数値的に解くことにより、全てのコンパートメント(12×12×4=576コンパートメント)におけるトリチウム存在量、コンパートメント間のトリチウム移行量、コンパートメント内でのトリチウム濃度等を、1945年以降1994年まで計算した。さらにトリチウムの降下特性の計算結果(図中の実線)とIAEAの実測値(図中の○印)²⁾とを比較し、その結果を図3に示す。これより、北緯70～40度の地点での降水中トリチウム濃度のピーク値は、 10^5 (Bq/m³) オーダー、南緯10～20度の地点のピーク値は 10^4 (Bq/m³) オーダーであることがわかる。その他の地点においても、北半球の降水中トリチウム濃度は南半球と比較して大きいことが言える。また拡大図(図3)より、実測値に認められる春にピーク値が現れる季節変動が計算によって再現されたことがわかる。さらに、実測値と計算値とはよく一致している。

トリチウム経口摂取量に占める飲料水・農・畜・水産物の寄与率の経年変化を図4に示す。これより、計算を行った全年代において、飲料水の寄与が大きい。また食品の中では、1960年代初頭までは農産物からのトリチウム経口摂取量が多い。それ以後は徐々に畜産物の寄与が増え、現在では、食品の中で畜産物の寄与率が約15%になっていることがわかる。

4. 健康リスク評価

トリチウムの経口摂取による日本人の遺伝的影響及び各種ガンの誘発による100億人あたりの過剰年致死数を計算し、その結果を図5に示す。この図より、日本人の食品経由のトリチウムの内部被曝に伴う放射線誘発ガンによる致死リスクは、1950年代後半から1960年代にかけて大きかったことがわかる。さらに、1963年に各致死リスクは最大となり、年間100億人に約35人が生殖腺ガン、約22人が乳ガン、約18人が白血病や肺ガン、約4人が甲状腺や骨ガンで死亡すると推定された。

さらに、トリチウムによるリスクをSr-90³⁾やCs-137⁴⁾によるリスクと比較した。その結果、トリチウム内部被曝による過剰年致死数は、Cs-137に比べ約1～2オーダー小さく、Sr-90に比べ約2～3オーダー小さいことがわかった。

5. 同位体交換の効果に関する検討

トリチウムについては安定な水素原子との間の同位体交換が無視できない速度で起こっていることが指摘されている。仮に同位体交換の速度が速ければ、外国から日本へ輸入された食品中のトリチウム濃度は、輸

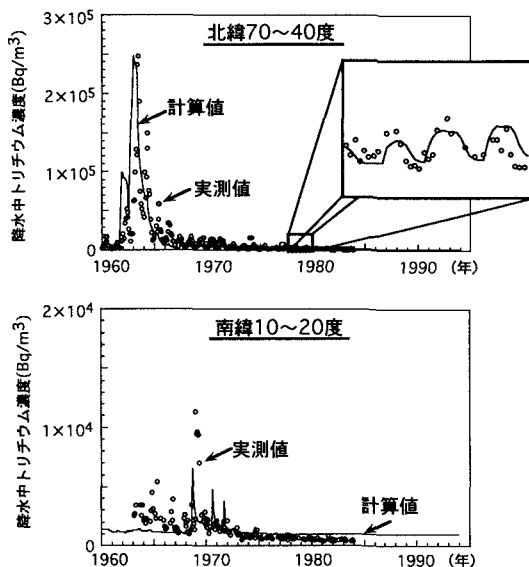


図3 トリチウムの地球規模降下特性

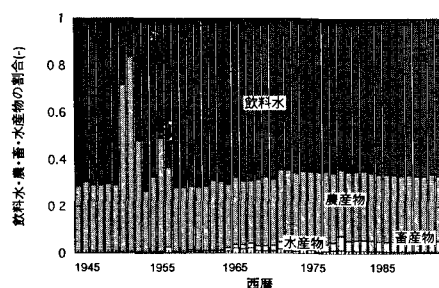


図4 トリチウム経口摂取量に占める飲料水・農・畜・水産物の割合

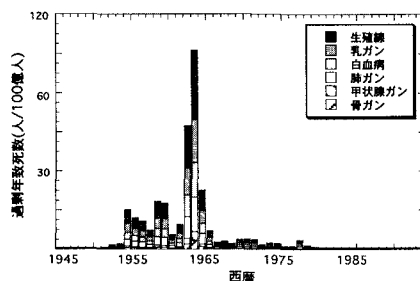


図5 トリチウム経口摂取による過剰年致死数

送および保管中に日本の空気中のトリチウム濃度と平衡に達すると考えられる。トリチウムの同位体交換速度については研究報告例が少ないが、文献⁵⁾によるとその速度定数は $6.0 \times 10^{-3} \text{ (cm h}^{-1}\text{)}$ とされている。ここではこの数値を用いて計算を行い、その結果を図6に示す。これより同位体交換は、1日程度の時間内に完了し、日本へ輸入された食品中のトリチウム濃度は、比較的早く日本の空気中のトリチウム濃度と平衡になるといえる。同位体交換がある場合とない場合とについて、日本人が摂取する食品中のトリチウム濃度を計算した。そのほとんどを輸入に頼っている小麦についての同位体交換の影響を図7に示す。米国・カナダからの輸入の多い小麦は核実験が頻繁に行われた1950年代において、同位体交換の影響が表れているが、地球規模でのトリチウム濃度の差が小さい現在ではその効果は小さいと言える。

6. 結論

- (1) 降水中トリチウム濃度の実測値とモデルによる計算値とを比較し、両者が良好に一致することを示した。また、実測値に認められる春にピーク値が表れる季節変動が計算によって再現された。したがって、本研究で構築したモデルは、トリチウムの地球規模降下特性を評価するモデルとして使用することができる。
- (2) 農・畜・水産物中トリチウム濃度の実測値と計算値とを比較し、両者が良好に一致することを示した。
- (3) 日本人によるトリチウム経口摂取量は、大気圏内核実験が頻繁に行われていた1950年代から1960年にかけて多く、その後は減少傾向が続いている。トリチウム経口摂取量に占める農産物の割合が大きいが、近年は畜産物の寄与が増加している。
- (4) トリチウム経口摂取による日本人のガン誘発リスクを評価するモデルを構築し、その結果をSr-90rおよびCs-137によるリスクと比較した。それにより、トリチウムのガン誘発リスクは大きくないことがわかった。
- (5) トリチウムの同位体交換はその速度が速いため、局地的にトリチウムの濃度が高い地域がある場合その影響を十分考慮しなければならない。また今後、トリチウムの同位体交換速度定数についてのさらなる研究が必要である。

〈参考文献〉

- 1) 佐伯誠道、1984：環境放射能 - 挙動、生物濃縮、人体被曝線量評価
- 2) International Atomic Energy Agency、1969～1994：Enviromental Isotope Data No.1～10 World Survey of Isotope Concentration in Precipitation
- 3) 島田洋子、1996：地球規模フォールアウトによる食品汚染と健康リスクの評価、京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻特別研究
- 4) 山並憲正、1995：地球規模フォールアウト⁹⁰Srによる日本人の健康リスク評価と低減策、京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻特別研究
- 5) Masami Fukui、1992：MODELING THE BEHAVIOR OF TRITIATED WATER VAPOR IN A RESEARCH REACTOR CONTAINMENT BUILDING, Health Physics Vol.62, No2

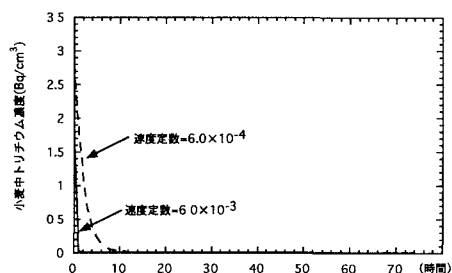


図6 トリチウムの同位体交換

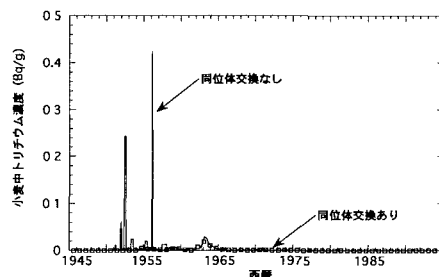


図7 小麦中トリチウム濃度についての同位体交換の影響