

# トリチウムの取り扱いとその生物学的影響

## Tritium handling and the biological effect

小松賢志

京都大学放射線生物研究センター

KOMATU Kenshi

Radiation Biology Center, Kyoto University

我が国のトリチウム生物学的研究は 1970 年代に始まり、すでに 30 年近くの歴史を有している。それらの研究成果は幾つかの報告書としてまとめられ、また国際的にも高い評価を得ている。特にトリチウムの生物学的効果比 RBE の算出については、発癌、遺伝的影響、発生異常などを始めとした膨大な実験が行われてきた。ここでは、今まで得られたトリチウム RBE や DNA 結合能、生物濃縮、低線量率効果などトリチウムの生物的問題点について触れたい。

トリチウムによるヒト障害例； 過去にトリチウムによるヒト障害は 1960 年代に夜光塗料作業者が数年にわたって 1.2~20Sv の被曝を受けた 3 例が報告されているだけである。いずれの被曝者も末梢血中血球数の顕著な減少がみられ、特に高線量被曝者の 1 名については約 1 ヶ月後の死亡が確認されている。この末梢血中血球数減少による死亡は、線で骨髄死 (LD50/30 の原因) として知られている現象である。すなわち、被曝後血小板、白血球などが顕著に減少し 30 日以内に最低となる。この時期に一致して感染による死亡が最大に達する。このわずか 3 名のトリチウムによるヒト障害例ではあるが、トリチウムも

線も同機構で放射線障害を生じていることを意味している。つまり、トリチウム 線が 線の何倍危険であるか (生物学効果比 RBE) がわかれば、線の疫学資料をそのまま利用することが可能であることを意味する。

トリチウム生物学的効果比 RBE の推定； トリチウム RBE は使用した生物学的指標によって大きく異なるが、これらのアッセイ系の中では発癌が最も重要な指標である。すなわち、分化・発生異常などの確定的影響は、放射線のしきい値以下に被曝線量を低下することによってその障害を確実に防ぐことができる。また、遺伝的影響については、広島及び長崎の原爆生存者でも検出されていないことから、ヒトでは放射線感受性が低いと思われる。そこで、発癌 RBE の最大値を 2 として約  $1.4 \times 10^8 \text{Bq}$  (3.7mCi) の摂取により一人に一人の発がん増加が予想される。

DNA 結合能による遺伝子損傷増加の危険性； トリチウムは水素の同位体として DNA に直接結合することから、例えば 1 回の 線崩壊でも遺伝子損傷を誘発するおそれがある。しかし、これらの DNA 損傷はまた細胞の代謝過程によっても自然発生することが知られている。その DNA 損傷数は細胞 1 個 1 時間

あたり1万個以上にも達することが知られている。實際上、トリチウム線のDNA損傷による有意な遺伝的影響ならびに発癌頻度の増加は、細胞内に取り込まれたトリチウムによる損傷が自然発生に比較してどの程度大きいかによって依存することになる。DNAに選択的に取り込まれるトリチウムチミジン( $^3\text{H-Tdr}$ )を用いて定量的検討を行った結果では細胞内に一様に存在するトリチウム水およびトリチウムアミノ酸に比較して、トリチウムチミジンは細胞致死および遺伝子損傷による突然変異を2倍程度増加させると思われる。

トリチウムによる生物濃縮；食物連鎖を通じた放射性核種や化学薬品の濃縮例が報告されている。生体構成物質の同位体であるトリチウムも、この食物連鎖により最終的に人間に取り込まれるため、トリチウムが食物連鎖で生物濃縮されるかどうかは環境評価の重大な問題である。そこで、実験室内モデルエコシステムを作製し、食物連鎖上でのトリチウム濃度変化が検討された。その結果、トリチウム水を飲料水として与えた場合に比べて、これらトリチウム化食物投与はトリチウム取込み量を増大させる。しかし、餌以上にトリチウム濃度が増加することはない。既に報告されている生物濃縮を示す化学物質などと異なり、水素の細胞内及び生体内含有量が比較的一定していることも1つの原因と思われる。

トリチウムの低線量低線量率効果；人体影響は、主として一度に大線量被曝の原爆生存者疫学資料をもとに推定されている。このため、生体内に取り込まれたトリチウムからの

連続照射、つまり低線量低線量率のトリチウム線の人体影響の推定は生物実験により確認されなければならない。この際、単一大線量被曝資料からの推定と異なる次の2つの効果、すなわち賀田効果とホルミーシス効果が報告されている。賀田効果は低線量率照射で生物効果が増加するのに対して、ホルミーシス効果では逆に生物効果が減少する。賀田効果は細胞を用いない試験管内水溶液中照射のみで確認されている。これに対して、ホルミーシス効果は多くの生物実験系で見出されているが、ヒト疫学資料でホルミーシス効果を明確に示す例はない。ホルミーシス効果は微量トリチウムが体に有益であるということを示すもので、現在の放射線障害リスクの推定における“極微量の放射線でも有害である”という考え方に真っ向から対立するものである。これについては我々の分子レベルでの説明を加えたい。

#### 参考文献

- (1) 池上英雄、他：“核融合研究、核融合炉工学”、名古屋大学出版会、(1995)
- (2) Straume,T.,Carsten,A.L.,Health Phys., 65, 657-672(1993)
- (3) Komatsu,K.,Okamura,Y.,Sakamoto,K, Health Phys., 58, 625-629(1990)
- (4) 小松賢志、日本原子力学会誌,40, 940-945(1998)