

## 5.3 トリチウムの海産生物への移行に関する試験

### Study on Tritium Transfer in Marine Animals

石川 義朗, 近藤 邦男, 多胡 靖宏, 中村 裕二  
環境シミュレーション研究部

Yoshio ISHIKAWA, Kunio KONDO, Yasuhiro TAKO and Yuji NAKAMURA  
*Department of Environmental Simulation*

#### Abstract

The operation of a spent nuclear fuel reprocessing plant is accompanied by the discharge of small amounts of various radionuclides into the natural environment. In the marine environment, tritium ( $^3\text{H}$ ) is the most important among the radionuclides from the viewpoint of radiation dose assessment, because  $^3\text{H}$  will be released in the form of water directly to the open sea. Tritium will deliver radiation dose to the neighboring population of the plant through ingestion of marine foods. Then, the transfer and/or accumulation factor of  $^3\text{H}$  is one of the key parameters for the radiation dose assessment around the reprocessing plant.

The accumulation of tritium ( $^3\text{H}$ ) in marine animals was examined by the culture experiment using deuterium (D) as a tracer. The exchange velocity constant of heavy water (HDO) between seawater and marine animals was estimated to be very large, being from 0.06 to 0.29 per hour in 6 kinds of fish, and from 0.87 to 9.22 per hour in non-fish animals, such as scallop, sea cucumber and others. The exchange velocity constant showed high dependence on temperature but only low dependence on salinity of sea water

#### 1. 目的

大型再処理施設の稼動に伴い、六ヶ所村沖合約 3 km の海底に設置された海洋放出口から、微量ではあるが水素の放射性同位体であるトリチウム ( $^3\text{H}$ ) が海水中に排出される。排出された  $^3\text{H}$  は、海水の流れに沿って速やかに移流・拡散すると共に希釈されるが、一部は沿岸海域に生息している海産生物の生体内へ移行・濃縮することが予測される。海産生物の生体内のトリチウムは、海水中から直接体内の水と入れ替わった自由水型トリチウム (Free Water Tritium : FWT) と代謝活動によって有機物と結合した有機結合型トリチウム (Organically Bound Tritium : OBT) の 2 つの形態に分けられる。海洋に放出された  $^3\text{H}$  の安全性を評価するためには、海水中における  $^3\text{H}$  濃度分布の時空間的変動状況を把握すると共に、海水から海産生物への  $^3\text{H}$  の移行・蓄積過程を十分に理解することが重要である。しかし、これまで国内外において実施されてきた  $^3\text{H}$  の水産

生物への移行に関する研究は、淡水魚類が主体で、海産生物を対象としたものは極めて少ない。そこで、本調査は、海水中の  $^3\text{H}$  が海産生物生体内への移行・蓄積過程を明らかにする事を目的に実施した。

#### 2. 試験方法

海水-海産生物間における  $^3\text{H}$  の移行・蓄積過程に関する室内飼育実験は、 $^3\text{H}$  の代わりに、水素の安定同位体である重水 ( $\text{D}_2\text{O}$ ) を用いて行った。実験対象生物として、青森県の太平洋沿岸海域に生息している海産生物の中から、漁獲量が多く、生体 (活魚) が入手可能で、しかも水槽飼育が可能などの諸条件を備えた魚類 6 種 (ウスメバル、クロソイ、ヒラメ、アイナメ、ブリ及びビシガレイ)、その他 6 種 (マナマコ、キタムラサキウニ、エゾバフンウニ、シャコ、スルメイカ及びホタテガイ) を選定した。FWT を対象とした海水中から海産生物の生体内への重水素 (D) の移行に関する試験では、D 濃度を約 4,000

ppmに調整した海水中に海産生物を投入し、時間経過に従って海産生物を飼育水槽から順次採取して、海産生物体内の自由水型重水 (FWD) 濃度を測定した。また、海産生物の生体内から生体外へのD排出に関する実験では、生体内のFWD濃度を約4,000 ppmに調整した海産生物をD無添加の海水中に移して飼育し、生体内のFWD濃度の時間変化を測定した。海産生物体内のFWD濃度の分析対象部位は、魚類(6種)、マナマコ、シャコ、スルメイカ及びホタテガイは筋肉部分、ウニ類は体腔内の生殖巣である。D濃度の測定には、ガスクロマトグラフ (Agilent社製 GC-6890) を用いた。実験では、これらの海産生物を対象にした一定環境下 (水温15°C、塩分34‰) における生体内と海水間における移行に関する試験と、ヒラメを対象にして異なる水温 (5、10、15及び20°Cの4段階) や塩分環境下 (10、15、20、25及び35‰の5段階) での移行に関する試験を実施した。

OBTに関する実験では、ヒラメを用いて成長量と全有機結合型重水素 (OBD) の生成量との関係を知るために、与える餌の量を減らして成長を抑制した成長抑制試験区 (飼育初日から飼育120日後の重量変化は最大でも数g程度と重量変化は微量) と、餌を十分に与えた成長促進試験区 (飼育初日の平均重量23.4gから飼育120日後の平均重量64.1gに増加) の2つを設けて比較実験を行なった。成長抑制試験区では、試料は2週間毎に5個体ずつ採取した。成長促進試験区では試験開始後27日後に4個体、85日後に3個体、及び120日後に10個体を採取した。

### 3. 成果の概要

Table 1 に、水温15°Cにおける海産生物体内への交換速度定数並びに生物体外への交換速度定数を示す。海水中から海産生物生体内へのFWDの移行過程を飼育実験により検討した結果、生体内のFWD濃度は、12種のいずれの海産生物も時間の経過とともに増加し、飼育海水中のD濃度とほぼ平衡に達した。しかし、生体内における濃度が海水中の濃度とほぼ平衡に達するまでに要する時間には、海産生物の種によって大きな違いが認められ、魚類の場合は約24時間以内であったが、その他の海産生

物では約2時間以内であった。一方、海産生物の生体内から外部へのD排出過程では、生体内への移行過程の場合と逆のパターンを描いて生体内のFWD濃度が時間経過とともに減少した。

水温20°Cの条件下では、飼育実験開始後約5時間で、生体内のFWD濃度は、飼育水中の濃度とほぼ平衡に達した。しかし、水温が15、10、5°Cと順に低くなるにしたがって、生体内へのDの移行の時間変化は順に緩やかになり、水温5°Cの低温条件下では飼育水中の濃度と平衡に達したのは飼育実験開始後約50時間であった。Fig. 1 に、各温度での交換速度定数を示す。水温5°Cでの交換速度定数は0.06 h<sup>-1</sup>であったのに対して、水温20°Cでは0.63 h<sup>-1</sup>と約10倍になった。これは、水温が高くなるとヒラメの代謝活性が高くなり、それに伴って体内の水の交換速度が速くなったことに起因する。

Fig. 2 に、Dを添加した異なる塩分の海水にヒラメを6時間曝露した場合の、塩分と体内のD飽和率との関係を示す。海水中のD濃度に対するヒラメ体内のD濃度割合 (飽和率) は、塩分が高くなるに従って、小さくなった。しかし、その減少傾向は緩やかであり、Dの交換に対する塩分の依存性は少ないと考えられる。

ヒラメを使用した成長量と全OBDの生成量との関係に関する実験結果をFig. 3に示す。ここで、全OBD濃度は、交換型OBDと非交換型OBDの二つの形態の合計である。成長抑制試験区では実験開始後、2週間目で既に体内の全OBD濃度は約400 ppmに達し、それ以降 (約150日目まで) ほぼこの濃度で推移した。これに対して、成長促進試験区では飼育開始後27日目で約700 ppmに、85日目には約900 ppmに増加した。飼育開始後120日目において、成長促進試験区と成長抑制試験区の試料について全OBD濃度を比較した結果、成長促進区の方が約2倍程度濃度が高かった。このことから、ヒラメの成長量の大きい試料では、成長過程で体液中のFWDが代謝活動を通じて、魚体の構成有機物の中に組みこまれた可能性が考えられる。

Table 1 Exchange velocity constant of HDO in marine animals (15°C).

Species (body weight)	Inflow velocity constant $k$ ( $\text{h}^{-1}$ )	Outflow velocity constant $k$ ( $\text{h}^{-1}$ )
<i>Hexagrammos otaki</i> (180–580 g)	0.18 – 0.26	—
<i>Seriola quinqueradiata</i> (110–700 g)	0.25 – 0.27	—
<i>Kasreius bicoloratu</i> (60–1330 g)	0.10 – 0.16	—
<i>Sebastes schlegeli</i> (60–100 g)	0.22 – 0.25	0.22 – 0.24
<i>Paralichthys olivaceus</i> (10–1580 g)	0.06 – 0.20	0.04 – 0.19
<i>Sebastes thompsoni</i> (4–24 g)	0.18 – 0.29	—
<i>Strongylocentrotus nudus</i> (40–80 g)	2.06	1.48
<i>Strongylocentrotus intermedius</i> (40–150 g)	1.00	1.66
<i>Todarodes pacificus</i> (410–470 g)	0.85	—
<i>Patinopecten yessoensis</i> (190–210 g)	6.13	—
<i>Stichopus japonica</i> (50–80 g)	2.03	2.31
<i>Oratosquilla oratoria</i> (38–84 g)	9.22	8.25

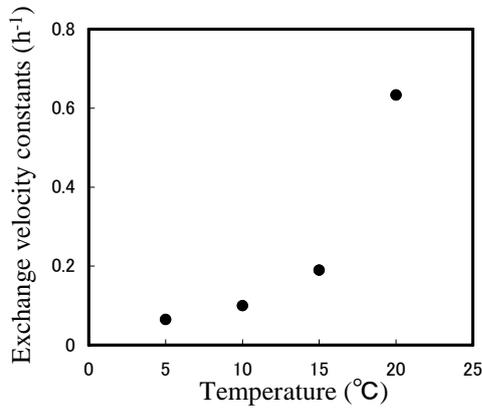


Fig. 1 Exchange velocity constants at various temperatures.

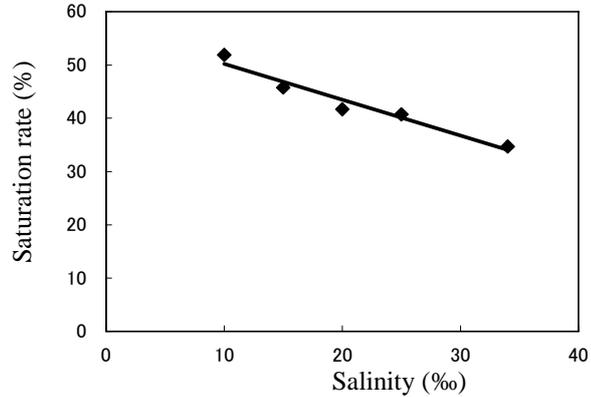


Fig. 2 Saturation rate of HDO concentration per 6 hours in *P. olivaceus* at various salinities.

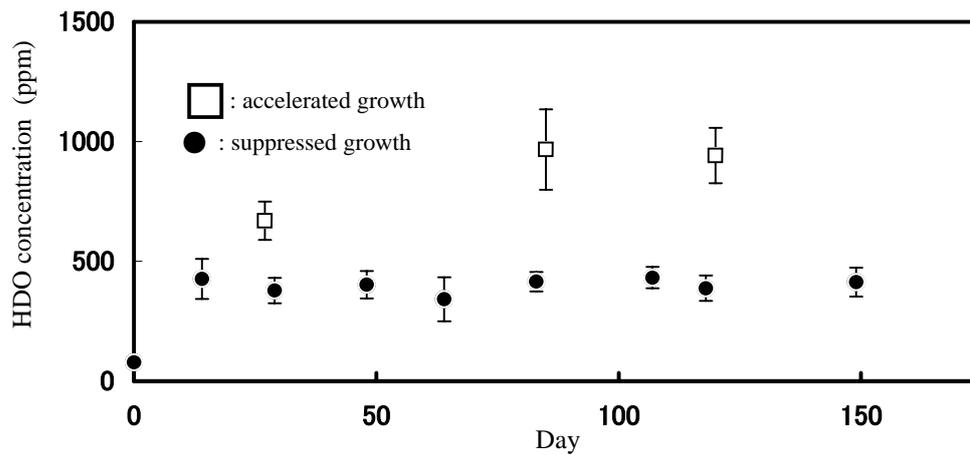


Fig. 3 HDO concentration in *P. olivaceus* in growth control experiments.