

4.2 海洋排出トリチウムの移行パラメータに関する調査研究

Transfer Parameters of Tritium from Seawater to Marine Organisms.

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

Yoshio ISHIKAWA, Ryuji ARAI, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA
Department of Environmental Simulation

Abstract

The operation of the commercial spent nuclear fuel reprocessing plant in Rokkasho is accompanied by the discharge of a certain amount of tritium into the Pacific Ocean. Although most of the tritium discharged is diffused and spread widely throughout the ocean, some part will be transferred into marine organisms living close to shore areas. Tritium in organisms is composed of two chemical forms: one is free water tritium (FWT) and the other is organically bound tritium (OBT) fixed by the organism metabolic activity. In order to assess realistically the impact of tritium discharged into seawater to the public, it is important to understand the processes of transfer and accumulation of tritium from seawater to marine organisms, especially OBT in them. However, information on the transfer of tritium from seawater to marine organisms is quite limited. In this research, the transfer rates of tritium in seawater to OBT in several marine organisms are obtained for the realistic dose estimation of tritium discharged from the reprocessing plant. The OBT transfer through the food chain is also included in the scope of this study.

The stable isotope of hydrogen, deuterium (D), was used as a substitute for tritium in the research. Yellow striped flounder (*Pleuronectes herzensteinie*) were kept in seawater with HDO of 2000 ppm up to 150 d in the laboratory, and were analyzed for OBD concentration in their muscle. The concentration coefficient from HDO in seawater to OBD in muscle of the yellow striped flounder was determined as 0.25, and non-exchangeable OBD was found to be 73-78% of the total OBD in the muscle.

The concentration coefficient from HDO in seawater to OBD in marine seaweeds, *Ulva pertusa*, *Sargassum siliquastrum* and *Gloiopeltis fucata* were also estimated as 0.38, 0.27 and 0.28, respectively, by cultivation experiments in the laboratory.

Amphipods (*Ampithoe valida*) were fed on seaweed (*U. pertusa*) with elevated OBD concentration, and were kept up to 19 d in the laboratory. The consumed weight of the seaweed was measured in every feeding, and OBD values in the amphipods were analyzed. The two-compartment model of transfer of OBD from the seaweed to *Ampithoe valida* was constructed by using results of the experiment; the estimated values by the model agreed well with the experimental results with a correlation coefficient of 0.85.

1. 目的

青森県六ヶ所村に建設されている大型再処理施設の稼動に伴い、六ヶ所村沿岸から沖合約 3 km の水深約 44 m の海底に設置された海洋放出口から極めて微量ではあるが、各種の放射性核種が海水中に

排出される。このうち、水素の放射性同位体であるトリチウム(Tritium : T) は、当該施設から海洋に排出される放射性核種の中で最も主要な核種の一つである。海産生物体内の T は、海水中から直接体内の水と入れ替わった自由水トリチウム (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。海洋に排出されたTの安全性を評価するためには、海水から海産生物へのTの移行・蓄積過程を解明する必要がある。

本調査は、海水中のトリチウムから海産生物体内のOBTへの移行・蓄積過程を明らかにする事を目的にしている。平成22年度では、主に植物プランクトンや動物プランクトンを対象に飼育実験により濃縮係数等を明らかにしてきた。また、摂食に伴うOBTの移行・蓄積を明らかにする為の実験系の構築を行った。平成23年度の調査では、生体内におけるFWTからOBTへの転換速度を明らかにするため、二次消費者にあたる魚類を対象に飼育試験を行った。さらに、OBTの交換型・非交換型OBTの割合を求めた。また、食物連鎖によるOBTの移行を明らかにするために、アナアオサ(被食者) - モズミヨコエビ(捕食者)間における摂食に伴うトリチウムの移行に関する実験を行い、移行・濃縮に関するパラメータを求めた。

2. 方法

海水 - 海産生物間におけるTの移行・蓄積過程に関する室内飼育実験は、水素の安定同位体である重水素(D)を用いて行った。海水中の自由水D(FWD)から海産生物の有機結合型D(OBD)への移行・蓄積に関する実験には、マガレイを用いた。実験開始前にタグを打ち込み個体識別を行い、体長と体重を計測した。水温15°C、海水中のD濃度は2000 ppmで飼育実験を行った。飼育開始から40、90、150日後にマガレイを採取した。採取直後に体長と体重を測定、試料として表側の背側筋肉を切り取り、乾燥・粉末化し、分析に用いた。

魚類試料中の非交換型OBDと交換型OBDの割合を求めるため、市販されているD濃度が数ppmに減少させた水(重水フリー水)40 mlに、マガレイの筋肉の粉末試料を約60 mg入れ、温度5°Cの冷蔵庫内で2日間攪拌し、交換型OBDと重水フリー水中のHと置換させた。溶液ごと遠心分離にかけ、上澄み液を取り除き、乾燥させて分析に供した。

また、大型海藻であるアナアオサ、フクロフノリ及びヨレモクについてOBDへの移行・蓄積に関する追加実験を行った。アナアオサでは、500、1000、1500、2000 ppmの4つの濃度でOBD生成の実験を15°Cの水温下で行なった。また、OBD生成への温度の影響を評価するため、インキュベータ内の温度を10°C - 20°Cに3段階に調整し、D濃度を2000 ppmとして実験を行った。フクロフノリではD濃度を500、1000、2000 ppmに調整した2 Lの培養フラスコにフクロフノリを投入しOBD生成の実験を10°Cの水温下で行った。ヨレモクについては、D濃度2000 ppmでのOBD生成実験を水温15°Cで行った。

摂食に伴うOBDの移行に関する実験では、モズミヨコエビ1個体ごとに容器に入れ、これを天然ろ過海水で満たし、水温を15°Cに設定した180 L角形循環式水槽内に設置して行った。この容器内に予め重量を計ったOBDを含有する乾燥アナアオサ(OBD濃度 = 1060 ± 85 ppm)を餌として投与し、毎日観察を行い、残餌の回収及び新しい餌の投与を行なった。最長19日間の移行実験終了後にヨコエビを取出し、OBD濃度を測定した。

3. 成果の概要

Fig. 1に飼育実験開始から40、90、150日でそれぞれ採取したマガレイ生体内筋肉組織のOBD濃度を示す。飼育時間(x)と生体内筋肉組織のOBD濃度(y)との間に $y = 494(1 - e^{-0.026x})$ ($r^2 = 0.75$)の関係式を得た。海水中のD濃度に対するマガレイ生体内筋肉組織のOBD濃度の濃縮係数は0.25であった。また、全OBDに占める非交換型OBDの割合は73 - 78%であった。アナアオサの海水中の重水素に対する生体内のOBD濃度の濃縮係数は0.38であり、10°C - 20°Cの間では温度によるOBD生成量の大きな違いは見られなかった。ヨレモクとフクロフノリの海水中の重水素に対する生体内のOBD濃度の濃縮係数は各々0.27と0.28であった。

モズミヨコエビによる摂食に伴うOBDの移行・蓄積に関する実験では、摂食量が増加するに従って生体内のOBD濃度は増加した(Fig. 2)。そこで、Fig. 3に示すコンパートメントモデルを作成した。ここ

で、摂取したOBDは、一部が体内のOBDに直接変換され、残りはFWDに分解されるとし、体内のFWD濃度は飼育海水中HDO濃度と同様であると仮定して、モデル内の分配係数(p)及び移行速度定数(k_1 、 k_2)を非線形最小二乗法により決定した。得られた生体内のOBD濃度計算値を実測値とともにFig. 4 に示し

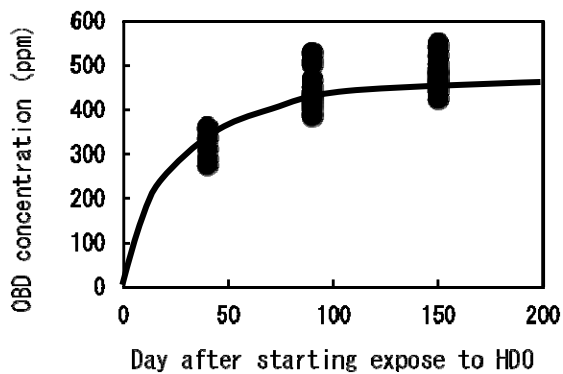


Fig. 1 Concentration of OBD in mastule of *P. herzensteinie* grown in seawater with deuterium concentration of 2000 ppm.

ており、両者の相関係数は 0.85 であった。これにより、アナアオサの摂食に伴うモズミヨコエビ生体内におけるOBD蓄積の予測が可能となった。

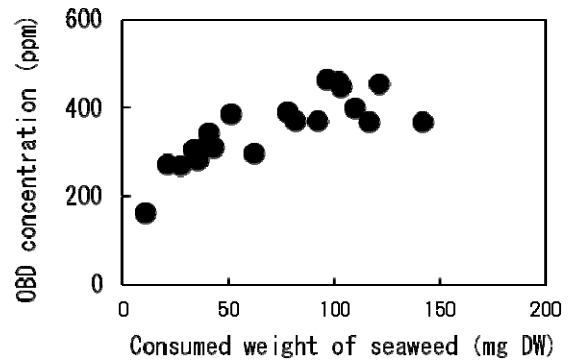


Fig. 2 Relationship between OBD concentration in *A. valida* and weight of seaweed containing OBD of 1060 ± 85 ppm consumed by *A. valida*.

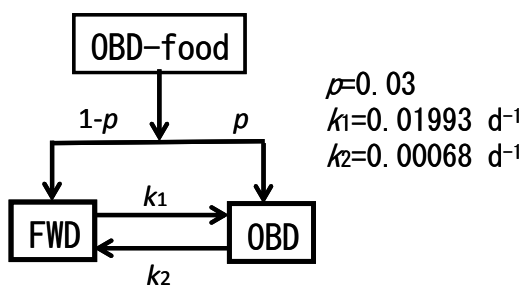


Fig. 3 Scheme of two compartment model of deuterium in *A. valida*.

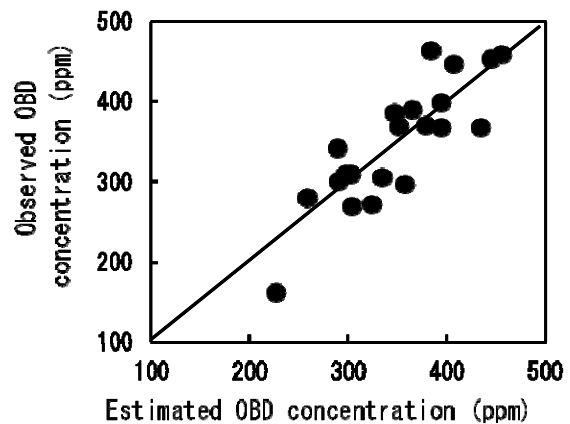


Fig. 4 Comparison of observed and estimated OBD concentrations in *A. valida*.