

3.2 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, 阿部 康一, 新井 竜司, 多胡 靖宏, 久松 俊一
環境影響研究部

Yoshio ISHIKAWA, Koichi ABE, Ryuji ARAI, Yasuhiro TAKO, Shun'ichi HISAMATSU
Department of Radioecology

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. In FY 2012, we investigated the biosynthesis and metabolism of non-exchangeable OBD (Nx-OBD) in Ezo abalone (*Haliotis discus hannai* Ino).

The stable isotope of hydrogen, deuterium (D), was used as a substitute for tritium in the following three experiments. In the first experiment, Ezo abalones were kept in seawater containing HDO with 2000 $\mu\text{mol D mol}^{-1} \text{H}$ up to 160 d, and biosynthesis rate of Nx-OBD in their muscle and hepatopancreas was measured. In the second experiment, after Ezo abalones were kept in seawater containing HDO with 2000 $\mu\text{mol D mol}^{-1} \text{H}$ for 100 d, they were cultivated for 100 d in seawater in which the HDO concentration was the background level. During the cultivation, the Nx-OBD concentration in their muscle and hepatopancreas were periodically analyzed. In the third experiment, Ezo abalones were fed on seaweed (*Ulva. pertusa*) containing Nx-OBD with 580 ± 86 (SD) $\mu\text{mol D mol}^{-1} \text{H}$ for 26 to 28 d. The consumed weight of the seaweed by each Ezo abalone was measured at every feeding, and the Nx-OBD concentrations in the muscle and hepatopancreas were analyzed.

A compartment model for metabolism of Nx-OBD in Ezo abalone was constructed by using results from these three experiments. In the model, Ezo abalone consisted of hepatopancreas and muscle Nx-OBD compartments connected to each other. A part of the OBD in food was assimilated into the hepatopancreas OBD compartment, and the remaining part was promptly decomposed to FWD. Although a FWD compartment in Ezo abalone was installed in the model, the HDO in the compartment was assumed to be in equilibrium with seawater. The rate constants of D transfer between each compartment were obtained by a least square fitting method using experimental data. The observed Nx-OBD concentrations were well described by the model calculation.

1. 目的

大型再処理施設の稼働に伴い、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水素の放射性同位体であるトリチウム (T) が海水中に排出され、一部が海産生物の体内に移行・蓄積することが考えられる。海水中トリチウムのばく露により海産生物体内に移行したトリチウムは2つの型で生体内に存在する。一つは、生体内で水の型で存在する自由水型トリチウム (Free Water Tritium : FWT)、もう一つは有機結合型トリチウム (Organically Bound Tritium : OBT) である。さらに OBT には、水素が炭素と結合することで容易に置換しない非交換型 OBT(Nx-OBT)と、酸素等と結合し容易に置換する交換型 OBT(Ex-OBT)の2つに分類される。FWT が海水中の濃度と速やかに平衡に達するのに対して、Nx-OBT は生体内に長期間留まり、さらに食連鎖による捕食生物への移行が考えられる。本調査では、海水中及び餌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ことを目的にしており、平成24年度は沿岸漁業における重要な水産資源であるエゾアワビを対象に実験を行った。

2. 方法

海水-海産生物間におけるトリチウムの移行・蓄積に関する実験は、水素の安定同位体である重水素 (D) を用い、試料に用いたエゾアワビは、養殖業者より殻の長径が約50 mmの個体を購入して行った。

「Nx-OBD生成実験」では、孔径1 μm の円筒ろ紙を用いてろ過した海水に重水を添加し、D濃度を $2000 \mu\text{mol D mol}^{-1} \text{H}$ に調整した海水を用いて、水温 15°C に温度制御を行った水槽でエゾアワビを飼育し、海水からエゾアワビ内OBDの生成を調べた。次に、「重水素排泄実験」では、上述のOBD生成実験と同条件下で100日間飼育したエゾアワビを、重水無添加のろ過海水で満たした水槽内に移し、体内OBDの排出を調査した。両実験とも、実験期間中はアワビ用餌料を1個体当たり約0.12 g/日投与し、飼育期間中、「Nx-OBD生成実験」では160日目まで13回、「重水素排泄実験」では100日目まで8回、それぞれ5個体ずつエゾアワビを採取し、分析に供した。

「Nx-OBD摂食実験」では、重水を添加した海水

中でアナアオサを栽培、1月後に回収、乾燥し、重水素標識アナアオサ (非交換型重水素濃度: 580 ± 86 (SD) $\mu\text{mol D mol}^{-1} \text{H}$) を作成した。エゾアワビを1個体ずつ壁面が格子になっている小型容器に入れ、この容器を水温 15°C に制御しD無添加ろ過海水で満たした300 L角形循環式水槽内に設置した。エゾアワビに、予め重量を計り乾燥した重水素標識アナアオサを給餌し、残った餌は翌日に回収することで摂食量を求め、これを26-28日間繰り返し行うことで総摂食量を求め、生体は分析に供した。

各実験で採取したエゾアワビは解剖して筋肉と中腸腺を取出し、乾燥、粉碎後、質量分析装置 IsoPrime100を用いて、Nx-OBD濃度の測定を行った。

3. 成果の概要

Fig. 1に「Nx-OBD生成実験」の結果を示す。筋肉及び中腸腺中のNx-OBD濃度は実験開始時から80日目までに大きく増加し、100日以降は緩やかな増加となった。筋肉と中腸腺では、中腸腺の方が高い濃度となった。Fig. 2に「Nx-OBD排出実験」の結果を示す。実験開始から20日後までに筋肉と中腸腺中のNx-OBD濃度は大きく減少し、その後は緩やかに減少した。濃度の減少は中腸腺の方が緩やかであった。

「Nx-OBD 摂食実験」の結果では、摂食量が多い程、生体内の Nx-OBD の蓄積量は増加し、中腸腺により多く蓄積することが明らかになった。

これらの実験結果に基づいて、Fig. 3 に示すエゾアワビにおける重水素移行モデルを作成した。ここで、アワビ中の FWD コンパートメントは海水と即時に平衡になると仮定した。モデル内の非交換型 OBD の分配率及び移行パラメータは、実験データを用いて最小二乗法により求め、Fig. 3 に示した。さらに、モデルによる計算結果は Fig.1、2 に実線として示したように、生体内の Nx-OBD 濃度の変化をほぼ再現できた。Fig. 4 は全実験結果のモデル計算値と実測値の比較を示している。中腸腺、筋肉ともにモデルの計算値と実測値は高い相関を示した。

以上の結果から、このモデルを用いることで、エゾアワビの生体に蓄積するトリチウムの予測が可能となった。

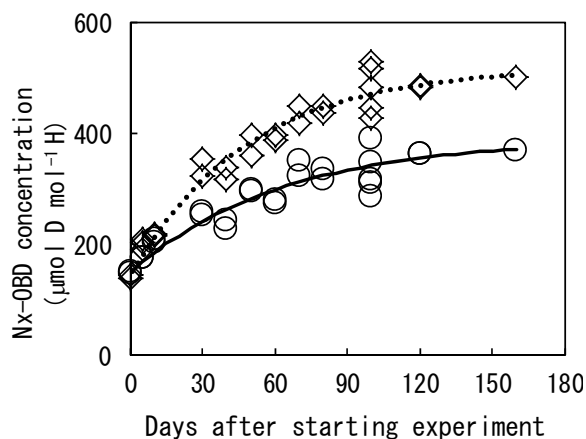


Fig. 1 Accumulation of Nx-OBd in Ezo abalone grown in seawater containing HDO with 2000 $\mu\text{mol D mol}^{-1} \text{H}$.

(◇: hepatopancreas, ○: muscle, Line: model estimation)

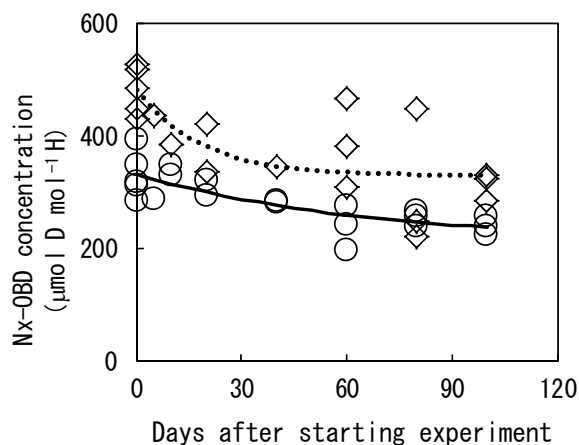


Fig. 2 Decrease in concentration of Nx-OBd in Ezo abalone grown in seawater, in which concentration of HDO was background level.

(◇: hepatopancreas, ○: muscle, Line: model estimation)

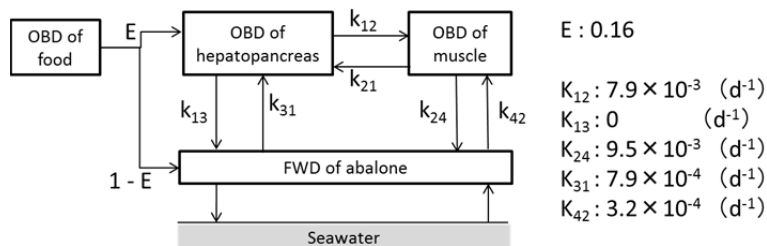


Fig. 3 Scheme of a compartment model for transfer and accumulation of deuterium in Ezo abalone.

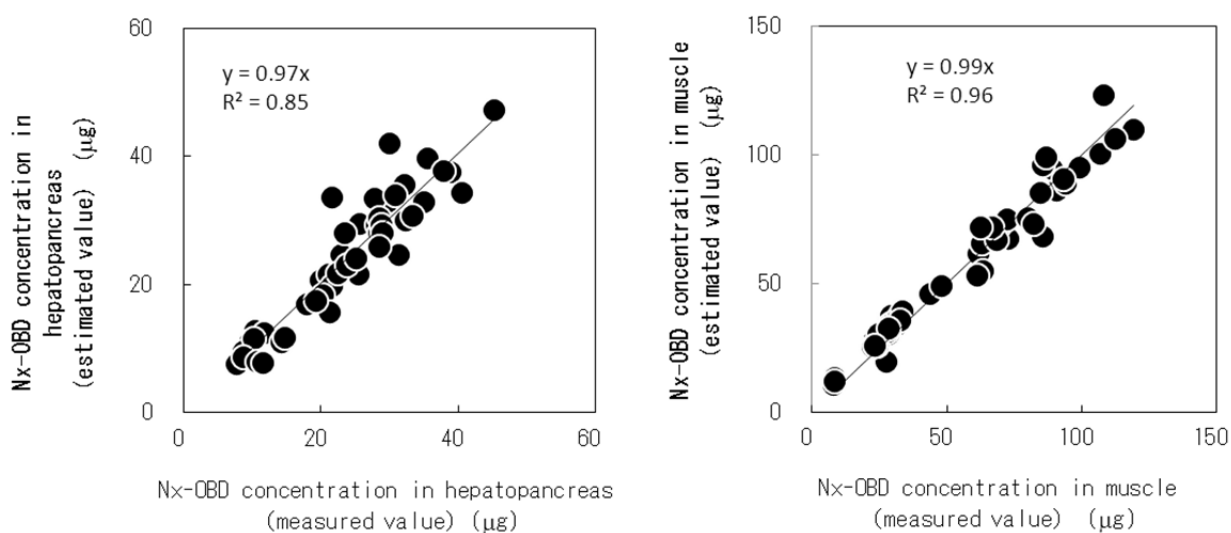


Fig. 4 Comparison between values measured and estimated using a model shown in Fig. 3, for Nx-OBd in muscle (right panel) and hepatopancreas (left panel).