

5.2 海洋生態系における元素の移行に関する試験

Study of Element Balance in a Marine Ecosystem

石川 義朗, 阿部 康一, 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, Koichi ABE, Kunio KONDO, Yasuhiro TAKO, Yuji NAKAMURA
Department of Environmental Simulation

Abstract

Discharge of small amounts of various radionuclides into the natural environment accompanies the operation of a spent nuclear fuel reprocessing plant. The Closed Hydrosphere Experiment Facility (CHEF) was developed as a part of the Closed Ecology Experiment Facilities (CEEF) to study circulation and accumulation of radionuclides in the hydrosphere ecosystem. A mathematical model to elucidate carbon cycling in the sea grass ecosystem was developed. This model can be described as a network consisting of 4 sub-models: sea bed and sea water sub-model, sea grass sub-model, sea urchin sub-model, and sea cucumber sub-model. Parameters in each sub-model were determined based on the results of laboratory experiments. So far, only the sea grass sub-model has been verified through cultivation experiments by using the CHEF. The verification of other sub-models will be accomplished in future experiments. The accumulation of tritium (^3H) in marine animals was examined by the culture experiment using deuterium (D) as a tracer. The exchange velocity constants of heavy water (HDO) between seawater and marine animals were estimated to be varying large, being from 0.06 to 0.29 per hour in 6 kinds of fish and from 0.87 to 3.37 per hour in non-fish animals, such as scallop, sea cucumber and others.

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操業に伴い、微量ではあるが、当該施設の排気塔から大気中へ放射性炭素 ^{14}C が、六ヶ所村沿岸海域の沖合約 3 kmの海底に設置された海洋放出管出口から、海水中にトリチウム (^3H) が排出される。 ^{14}C は大気中に拡散し、その一部はガス交換を介して海水中に移行する。そこで、青森県の沿岸域において最も良く発達している海草群落生態系を対象に、ガス交換を介して海水中に移行した後の ^{14}C が、水棲生物による光合成、吸収及び食物連鎖による移行・蓄積、デトリタスの沈積等の様々な過程を介して、最終的に堆積物中に蓄積する量を明らかにすることを目的としている。平成 20 年度調査では、各生物の代謝や分解に関する実験結果から得た式に基づいてモデルを作成し、閉鎖系水圏実験施設において実施し

たアマモ育成実験の結果と、モデルによる計算結果を比較によることにより、モデルの検証を行なった。

また、海水中に放出された ^3H は、海水の流れに沿って移流・拡散し、希釈される。それらの過程の中で、一部は海産生物の生体内へ移行・濃縮することが予測される。そこで、青森県太平洋沿岸海域で漁獲対象とされている海産生物に着目し、海水中の ^3H の海産生物への移行・蓄積過程を明らかにする事を目的に調査を実施した。平成 20 年度調査では、海水中の ^3H を対象に、 ^3H と同じ水素の安定同位体である重水素 (D) を用いて、海水と海産生物体内間における移行速度を室内飼育実験により検討した。

2. 試験方法

海草群落生態系炭素移行モデルの作成とデータ補完ため、海草群落に生息する主要な腐植質食者であ

るマナマコの摂取有機物の消化率を求めた。さらに、食物連鎖により最終的に堆積物に移行する有機物の分解速度を求めるため、海草を摂食したウニ糞の分解実験を行った。また、閉鎖系水圏実験施設内の飼育槽Ⅰ及びⅡに海草を移植し、異なる水温環境下（15℃、20℃）での実験を行い、海草群落生態系炭素移行モデルのうちアマモモデルで予測されるアマモの総炭素量、枯死量について、実験データとの比較検証を行った。

^3H に関する試験では、 ^3H の代わりに、同じ水素の安定同位体である重水素(D)の化合物である重水(D_2O)を用いて行った。室内飼育実験では青森県の太平洋沿岸海域に生息している海産生物 11 種を対象とした。海水中から海産生物の生体内への重水の移行に関する実験は、重水濃度を調整した海水中に生物を投入し、時間経過に従って生物を飼育水槽から採取し、生体内の重水濃度の時間変化を測定した。海産生物の生体内から生体外への重水排出に関する実験は、生体内の重水濃度を調整した生物を重水無添加の海水中に移して飼育し、生体内の重水濃度の時間変化を測定した。体液中の重水濃度の分析は、ガスクロマトグラフィを使用して行なった。

3. 成果の概要

天然海域で採取したマナマコの有機物消化率に関して、平均 50.9%という報告があるが、本調査でもマナマコ腸管中の炭素含有量の測定から、平均 60%という消化率が得られた。これより、平成 19 年度に作成したマナマコの個体レベルの炭素移行モデルはほぼ妥当なものであったと考えられる。ウニ糞の分解実験では、海水温度が高くなるに従って若干分解速度が大きくなる温度依存性が認められた。

閉鎖系水圏実験施設内の飼育槽Ⅰ及びⅡでは、アマモの総炭素量が一定あるいは増加したのに対し、アマモモデルでは減少を予測した。また、生存しているアマモの炭素量については計算結果と比較的良好一致を見たが、枯死量の予測値は必ずしも適合しなかった。この不一致の主要因は、アマモの呼吸・光合成速度の評価が関係すると考えられた。そこで、従来得ていた枯死・脱離速度を $1/0.7 \approx 1.4$ 倍とし、

また、光合成による炭素同化速度を表す式のパラメータについても一部変更した。その結果、水温 20℃のアマモ中の炭素量変化と枯死・脱離したアマモ中の炭素量変化を計算すると、実験値と計算値は良く一致した (Fig. 1)。今後より長期間の実験を実施し、検証することによりデータ数を増やすことで、モデルの精度を高めていく必要があると考えられる。

海水中から海産生物の生体内（体液中）への重水の移行では、11 種のいずれの海産生物も生体内の重水濃度は時間の経過とともに飽和曲線を描いて増大し、一定時間経過後には飼育海水中の重水濃度とほぼ平衡に達した。しかし、生体内における重水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は、海産生物の種によって大きな違いが認められ、魚類（ウスメバル、クロソイ及びヒラメ）の場合は約 24 時間以内であったが、キタムラサキウニ、エゾバフンウニ、スルメイカ、ホタテガイ及びマナマコの場合は約 2 時間以内と短時間であった (Fig. 2)。一方、海産生物の生体内から外部への重水の排出では、生体内への移行の場合と逆のパターンを描いて生体内の重水濃度が時間経過とともに減少した。また、魚類（6 種）について、個体サイズと生体内への重水の移行速度との関係を解析した結果、両者間は負の直線関係にあり、個体サイズが大きくなるほど移行速度が遅くなる傾向が認められた。生体内の重水濃度の時間変化に関する実測値を用いて、海水から海産生物生体内への移行速度係数 k (水の交換速度係数) を非線形最小二乗法により求めた結果を Table 1 にまとめて示す。生体内への移行速度係数は、魚類（6 種）では $0.06 \sim 0.29 \text{ h}^{-1}$ の範囲にあったのに対し、魚類以外の生物（5 種）では $0.87 \sim 3.37 \text{ h}^{-1}$ と魚類に比べて著しく大きな値が示された。また、クロソイ、ヒラメ及びキタムラサキウニの生体内への移行と生体外への排出における k の値を比較した結果、両過程における値は近似していた。

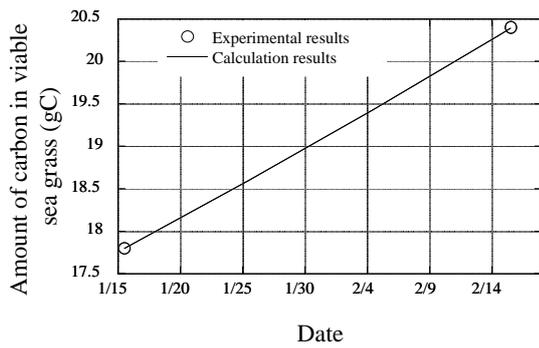


Fig. 1.1 Temporal variation in the amount of carbon in viable sea grass

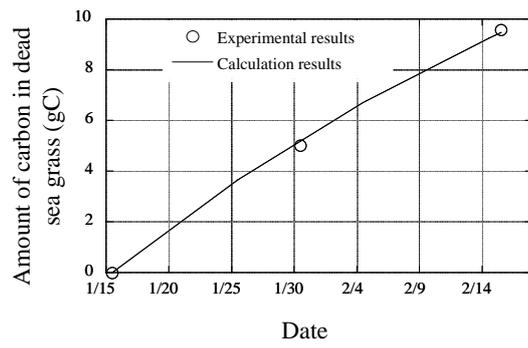


Fig. 1.2 Temporal variation in the amount of carbon in dead sea grass

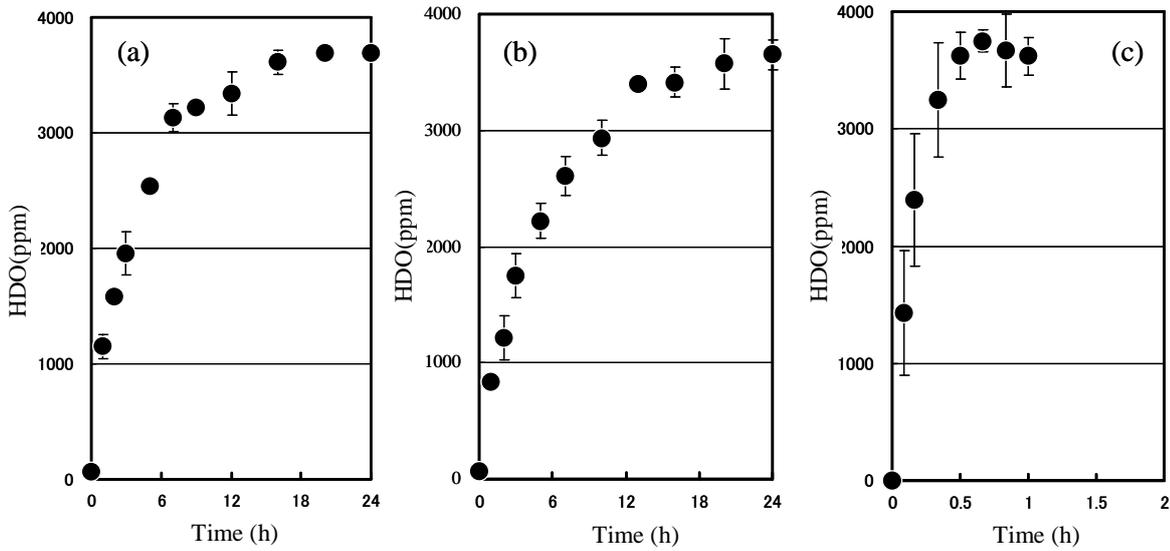


Fig.2 Heavy water (HDO) concentration in marine animals.

(a) *Sebastes schlegeli*, (b) *Paralichthys olivaceus*, (c) *Patinopecten yessoensis*

Table 1 Exchange velocity constants of HDO in marine animals.

Species (body weight)	Inflow velocity constant	Outflow velocity constant
	k (h^{-1})	k (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)	1.71	1.64
<i>Strongylocentrotus intermedius</i> (40–150 g)	0.87	—
<i>Todarodes pacificus</i> (410–470 g)	2.71	—
<i>Patinopecten yessoensis</i> (190–210 g)	3.32	—
<i>Stichopus japonica</i> (50–80 g)	1.18	—