

## 海草群落生態系を築いて炭素循環を調べる

環境シミュレーション研究部 石川 義朗



海草と海藻、どちらも「カイツウ」と読みますが、異なる植物です。海藻の代表格であるコンブやワカメ等は孢子で繁殖します。一方、海草の代表格であるアマモは、内湾や汽水湖の水深1～十数mの砂底や砂泥底に群落を作り、花を咲かせ種子をつける種子植物です。最近では混乱を避けるため海草を「ウミクサ」とも呼びます。大型再処理施設の操業に伴い大気中と海洋中に極微量ながら放射性物質が放出されると、その一部は海洋生物に取込まれることとなります。放出放射性物質の中でも、放射性炭素は光合成により海草に取込まれ、食物連鎖により海草群落に住む様々な生物に移行することが考えられています。このため、海草群落の生物の間でどのような炭素の行き来があるのか、炭素循環に関する調査をして中長期の影響予測に役立てる必要があります。そのためには、微量の炭素の動きを、小さな生物を対象にして把握しなければなりません。

自然の群落では気象、海象条件の変化とともに、生息する生物が移動すること等によって、正確なデータを集めることが困難です。そこで、施設内の大型の水槽内にできるだけ自然の群落を模した海草群落生態系を構築し生態系内における炭素の循環について調査研究を始めました。水槽の大きさは底面が3×4m、深さが2mで施設内に2基設置されています。この水槽にむつ小川原港より汲み上げた海水を約16tずつ搬入しました。この水槽の海水温を15℃と20℃に設定し、海草を移植、海草を餌とするエゾバフンウニと海の掃除屋といわれ砂と一緒に様々な有機炭素を食べるマナマコを導入して模擬生態系をつくりだしました。

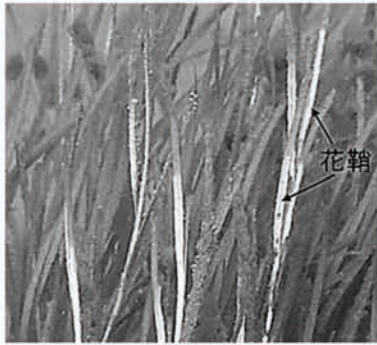


飼育槽内の堆積物中での有機炭素量測定結果をみると、図のような変化が見られ、食物連鎖により系内で炭素が増加することが観察されました。

これまで15℃の水槽では各生物とも順調に生育しますが、20℃ではマナマコが夏眠体勢にはいり摂食しないという高水温による影響が見られます。また、水温を15℃に一定にしておくと、本来春から夏にかけて花を咲かせるアマモが、年間を通じて開花すると

いう水槽実験からでしか得られない様々な観測結果や知見が得られています。

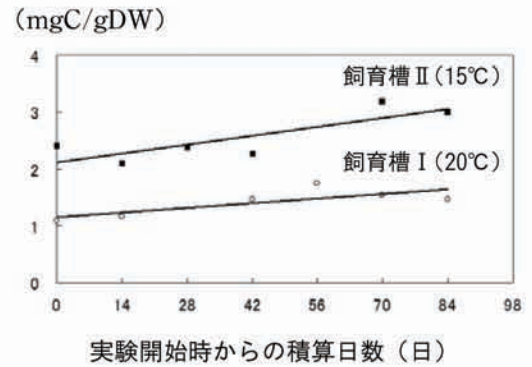
この実験で得られている各生物の生産量、呼吸量、摂食量、排糞量等の炭素の移行に関するデータやパラメータを組み合わせて海草群落生態系での炭素移行をシミュレーションする数学モデルを開発し、モデルを適用して、生態系内に残留する放射性炭素の推定を行うことを目指しています。



アマモの花が入っている鞘



ナマコ



飼育槽における堆積物中の乾燥重量あたりの有機炭素量の変化

## 〔研究者に聞く〕

Q. 自然のアマモ群落の状態をどのような調査で把握したのですか。また、その結果からどんな食物連鎖を考えたのですか。

A. 実際の海のアマモ群落の様子は、自ら潜水して調査をしました。水槽で生態系を模擬するためには、季節ごとに一定面積内のアマモ株数や水温、光量を把握する必要があるため、それらの測定を行いました。また、群落内の生物を採取し、生物の種類や生育数を調査した結果に基づいて、アマモをウニ、小型の巻貝、エビが食べ、その食べカスや糞をナマコが食べる、また、魚類が巻貝、エビを食べるという食物連鎖を考えました。

Q. ウニとナマコだけを模擬生態系に入れた理由は何ですか。

A. 調査の目的が炭素循環を把握することなので、移動して定着性が悪い魚類を除いて、アマモ群落内に定住する底生動物で食物連鎖を構成しました。小型の巻貝やエビはアマモを食べる量がわずかなので除外しました。

Q. 模擬生態系への炭素の供給はどうしているのですか。

A. 海では波が空気を取り込むことにより二酸化炭素が海水中に常に供給されますが、水槽内では波がありませんので空気を送り込んでいます。

Q. 生産量、呼吸量、摂食量、排糞量の炭素は、どのように測定しているのですか。

A. 生産量とは、生物に含まれる炭素量のことです。アマモは1株ずつ、ウニ、ナマコは1個体ずつをすりつぶした後に燃焼させ、生成した二酸化炭素からそれぞれ単位重量当りの炭素量を求め、それに模擬生態系内の各生物の全重量を掛けて、生産量を導きました。

摂食量、排糞量、呼吸量については、ウニとナマコ1匹をそれぞれ小型水槽で飼育して体重当りの量を測定することを数十匹について行い、単位重量当りの量を算出して、生産量と同様に計算しました。具体的には、摂食量、排糞量については、食べ残した餌と回収した糞に含まれる炭素量を測定し、また、呼吸量については、小型水槽の酸素濃度を測定し、その変化から呼吸量を計算しました。

## 平成22年度の調査研究内容

環境研の理事会及び評議員会が3月5日に開催され、平成22年度の事業計画が了承されました。概要は次のとおりです。

### 1. 放射性物質等の環境影響等環境安全に関する調査研究

#### 1) 排出放射能の環境分布に関する調査研究

(1) 環境移行・線量評価モデルとパラメータの検証  
六ヶ所村の大型再処理施設から排出される放射性核種の環境中における分布状況を調査し、これまで開発した気圏、陸圏、尾駁沼低次栄養段階生態系を対象とした環境移行・線量評価モデル及びパラメータの検証を行う。

(2) 環境移行・線量評価モデルの高度化

大型再処理施設の操業開始に備えて、これまで開発を進めてきた尾駁沼集水域における物質移行モデル、湖内の高次栄養段階生態系モデル及び沿岸海域モデルを環境移行・線量評価モデルに結合し、総合的環境移行・線量評価モデルとする。

(3) パラメータの精度向上

##### (3.1) 放射性物質の形態間移行

大型再処理施設から排出される放射性核種の環境中での移行を精度良く評価することを目的として、汽水及び海水中の植物プランクトンがランタノイド及びヨウ素 (I) 等の形態変化に与える影響並びに施肥が土壌中のセシウム (Cs) 及び I の形態変化に与える影響を明らかにする。

##### (3.2) 作物葉面における挙動

植物の葉面に沈着した放射性核種が降水や風等の気象現象により葉面から除去される(ウェザリング)過程の解明を目的として、葉面に固体エアロゾルとして沈着させた I の降雨及び霧による除去率(ウェザリング係数)を求める。

#### 2) 天然放射能による被ばく線量に関する調査研究

排出放射性核種による被ばく線量の比較対照として、自然放射線・天然放射性核種に起因する青森県民の被ばく線量を評価するため、食品を介した天然放射性核種の摂取量から内部被ばく線量を求める。また、生態系が受ける線量の評価法を開発するため、キツネ等の中型動物を捕獲し各臓器内の放射性核種濃度を求めるとともに、平成21年度に作成したボクセルファントムを用いた被ばく線量計算を行う。

#### 3) 植物の元素集積性に関する調査研究

青森県の環境条件に適した植物による環境浄化対策に資することを目的として、土壌からの Cs、ストロンチウム (Sr) 及び微量元素の除去効率(面積当たりの収奪量)が高い野生植物を選定する。また、平成21年度に選定した野生植物の栽培管理法を確立する。更に、既に得られている Cs 耐性を持つモデル植物を用い、耐性を制御する機構の解明を進めるとともに、Cs 輸送体遺伝子を過剰発現させた遺伝子組み込み植物を作成する。

#### 4) 排出トリチウムの生物体移行に関する調査研究

大型再処理施設から排出されるトリチウム (T) による、より現実的な被ばく線量評価に資するため、安定同位体 (D) を用いて大気-作物間、海水-海産生物間でのトリチウムの移行並びに生物体内での有機結合型トリチウム (OBT) の蓄積や体内代謝に関するデータを収集する。平成22年度は、葉菜への重水 (HDO) の移行パラメータを実験的に求めるとともに、OBT 生成・

蓄積に関するデータ収集のための実験系を構築し、室内実験を開始する。また、海水—海産生物間でのトリチウム移行に関するデータ収集を継続するとともに、食物連鎖に伴う OBT 移行・蓄積を評価するためのプランクトンに重水素を取り込ませる培養系等の実験系を構築する。更に、人でのトリチウム代謝を評価するため、重水及び D 標識アミノ酸を被験者に投与し、短期的な排出データを収集する。また、小型実験動物を用いて生体内での残留トリチウムの分布や代謝の年齢依存性に関するデータ収集を開始する。

#### 5) 排出放射性炭素の蓄積評価に関する調査研究

大型再処理施設の長期の稼働に伴い、排出される放射性炭素 ( $^{14}\text{C}$ ) の施設周辺環境における挙動・蓄積の評価に資するため、代表的な耕地、未耕地土壌における中・長期の有機物分解過程に関する室内実験及び野外調査を開始する。前年度までに得られた「湿地における炭素挙動モデル」を基礎に、それぞれの対象植生に特徴的なパラメータを収集し、予測・評価モデルを構築する。平成22年度は、閉鎖系植物実験施設内に牧草地、耕作地等から採取した土壌を移植した実験系を構築するとともに、野外環境条件を模擬するための予備試験を行う。また、六ヶ所村周辺の代表的な森林（落葉広葉樹林と常緑針葉樹林）や牧草地、耕作地等における植生並びに土壌の基礎情報調査、炭素固定量調査等を行うとともに、土壌中での有機物分解過程に関する培養実験を開始する。

#### 6) 低線量放射線の生物影響に関する調査研究

低線量率・低線量放射線の生物影響について、マウスを用いて以下の研究を実施する。

(1) 継世代影響に関する実験調査では、オス親マウスへの低線量率放射線の長期連続照射が、仔や孫マウスに与える影響を調べている。平成22年度は最後（6回目）の照射実験を行う。また、1～5回目の照射実験群から得られた死亡個体について寿命等のデータを蓄積し、

病理学的に死因やがんの発生等を調べるとともに、組織から精製した DNA について遺伝子変異等の解析を行う。

(2) 寿命試験で認められた低線量率放射線を長期連続で高総線量照射したマウスの寿命短縮、早期の腫瘍死と、生体防御機能の変化との関連を調べている。平成22年度は、免疫系の乱れや体重増加（脂質代謝異常）等、これまでに得られた成果を踏まえ、低線量率放射線連続照射マウスへ移植した腫瘍に対する宿主の応答、脂質代謝異常と腫瘍発生との関連等についての調査を開始する。

(3) 寿命試験において認められた低線量率放射線を長期連続で高総線量照射したマウスの寿命短縮の主因は早期の腫瘍死と考えられるので、それとがんに関連する遺伝子の変化との関わりを調べている。平成22年度は、悪性リンパ腫と白血病にみられるゲノム異常、遺伝子発現変化等、これまでに得られた成果を踏まえ、高精度な分子生物学的手法によって発がんの原因となる DNA 修復系遺伝子群の変異等と遺伝子及びタンパク質の発現量の変化についての調査を開始する。

#### 7) 生物学的線量評価に関する調査研究

低線量率・低線量放射線を長期連続照射したマウスのリンパ球に生じる染色体異常の頻度について調べ、低線量放射線被ばく時の生物学的線量評価法を確立するための基礎情報を得る。また、ヒトリンパ球の染色体等に及ぼすトリチウムの影響を調べる。

## 2. 放射性物質等の環境影響等環境安全に関する普及啓発

環境研で実施している調査研究内容や得られた成果等を、報告会の開催、説明活動の実施等によって青森県民に直接紹介するとともにインターネットホームページやパンフレットを通じて情報を発信し、放射性物質等の環境影響等についての理解増進に資する。

## 六ヶ所村大型再処理施設に隣接する淡水湖及び汽水湖における堆積物中の $^{239+240}\text{Pu}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 及び過剰 $^{210}\text{Pb}$ の蓄積量

植田 真司、大塚 良仁、近藤 邦男、久松 俊一

[ジャーナル オブ エンバイロメンタル ラジオアクティビティ誌100 (2009) 835-840ページに掲載]

六ヶ所村大型再処理施設に隣接する淡水湖(田面木沼及び市柳沼)及び汽水湖(鷹架沼及び尾駁沼)において、再処理施設稼働前の1997年、2003年及び2004年に湖底堆積物を採取し、試料中 $^{239+240}\text{Pu}$ (プルトニウム)、 $^{137}\text{Cs}$ (セシウム)及び過剰 $^{210}\text{Pb}$ (鉛)の蓄積量について調査を行った。なお、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ は過去の核実験に由来するものである。

大気中 $^{239+240}\text{Pu}$ や $^{137}\text{Cs}$ が湖底堆積物中に取り込まれる経路としては以下のものがある。

- ①湖面への直接沈着
- ②周辺の土壌に沈着した後に湖水へ流入
- ③海に沈着した後に流入(汽水湖の場合)

本調査では、湖底堆積物中の値を測定し、六ヶ所村の土壌試料での値と比較して考察を行った。

$^{239+240}\text{Pu}$ の蓄積量は、湖底堆積物が $0.17\sim 0.24\text{kBq}/\text{m}^2$ と土壌試料の約 $0.1\text{kBq}/\text{m}^2$ より大きくなった。これは、上記②の経路による影響と考えられる。淡水湖である田面木沼の $^{137}\text{Cs}$ の蓄積量は $2.6\pm 1.0$ 、市柳沼では $3.0\pm 0.7\text{kBq}/\text{m}^2$ と土壌の約 $3.0\text{kBq}/\text{m}^2$ と同程度だった。汽水湖である鷹架沼の $^{137}\text{Cs}$ の蓄積量は $1.5\pm 0.6\text{kBq}/\text{m}^2$ 、尾駁沼では $1.0\pm 0.2\text{kBq}/\text{m}^2$ であり、淡水湖や土壌の沈着量と比較して低い値であった。これは塩分を含む汽水中ではCsの溶解度が高くなるため、 $^{137}\text{Cs}$ の一部が堆積物から湖水中に溶出したか、あるいは堆積物中に沈降できなかったことを示唆している。また淡水湖堆積物の蓄積量の $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比は約0.07であり、周辺土壌の比0.036より高かった。これは夏から秋にかけて淡水湖(田面木沼及び市柳沼)の底層において還元環境が生じることが分かっており、その結果堆積物中に $\text{NH}_4^+$ (アンモニウムイオン)が形成され、堆積物に固定された $^{137}\text{Cs}$ が $\text{NH}_4^+$ と置換することによって再溶出したことが原因と考えられる。

これらの結果は、大型再処理施設の湖沼における当該施設放出人工放射性核種を考察する際のバックグラウンドデータとして活用できる。

本研究は、青森県からの受託事業により得られた成果の一部である。

英文タイトル: Inventories of  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , and excess  $^{210}\text{Pb}$  in sediments from freshwater and brackish lakes in Rokkasho, Japan, adjacent to a spent nuclear fuel reprocessing plant

### 【研究者に聞く】

- Q. 過剰 $^{210}\text{Pb}$ の結果はどうだったのですか。また、過剰 $^{210}\text{Pb}$ とはどういうものですか。
- A.  $^{210}\text{Pb}$ は、ウランから始まる壊変系列にある天然放射性核種で、ラジウム-226、ラドン-222を経由して生じます。以前に六ヶ所村の陸上土壌中での $^{210}\text{Pb}$ 量を測定していたので、今回の測定と比較して湖沼周辺の放射性核種の動きを調べてみました。結果は、湖底堆積物の過剰 $^{210}\text{Pb}$ の蓄積量は陸上土壌中の量の1.3~2倍の値となり、湖沼周辺から流入したことによるものと考えられます。過剰 $^{210}\text{Pb}$ とは、簡単に言うと堆積物中の $^{210}\text{Pb}$ 量からラジウム-226から生成される量を差し引いた分のものになります。

- Q.  $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比を求めた目的は何ですか。
- A. 過去の大気中核実験による $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$ 比については、「国連原子放射線の影響に関する科学委員会」で値が報告されています。そこで、今回の研究でも値を求め、差異の原因について考察することで堆積環境についての知見が得られると考えました。
- Q. 淡水湖では周辺土壌からの $^{137}\text{Cs}$ の流入はなかったから同程度の値となったのですか。
- A. 周辺土壌からの $^{137}\text{Cs}$ の流入はあると思いますが、湖底堆積物中の $^{137}\text{Cs}$ の蓄積量と土壌中の蓄積量との間には明瞭な違いは認められませんでした。

## 第158回環境研セミナー

講師：近畿大学大学院 総合理工学研究科  
生命科学科・遺伝カウンセラー養成課程  
教授 藤川 和 男氏

開催日：平成22年3月24日

演題：放射線に対する体組織幹細胞の突然変異  
応答

今回のセミナーでは、放射線照射を行ったマウスの小腸の絨毛上皮組織での *Dlb-1* の突然変異の蓄積等の調査結果が紹介された。この *Dlb-1* の突然変異は顕微鏡で簡便に観察することができる。高線量率の $\gamma$ 線を用いた急照射では線量が増加するにつれて突然変異の頻度がかなり大きく増えていく。一方、(財)環境研の照射施設を用いて同じ系統のマウスに異なる3種類の低線量率の $\gamma$ 線を約480日間という長い期間連続照射した場合には、3種類のうちの最も高い低線量率(1日あたり20mGy)のみ、突然変異の頻度がいくぶん増加して蓄積していることがわかった。このことは線量率が低くなると突然変異の発生頻度も低下することを示し

ている。さらに、小腸絨毛上皮組織の元となる幹細胞の割合も調べたところ、最も高い低線量率の連続照射ではその割合は減少せず、小腸の幹細胞は影響を受けていなかった。この他、DNAの修復に関連する *Atm* 遺伝子を欠損させたマウスを用いた高線量率 $\gamma$ 線の照射実験の結果から、この遺伝子が正常に働くと小腸絨毛上皮組織の幹細胞に突然変異が増えないようになっていることについても触れられた。この講演を通じて、現在行っている調査や次年度から始まる調査を進める上で、大変参考になる情報を得ることができた。

(山内 一己)



藤川 和 男氏

### 短 信

#### 冬の理科教室でレプリカハンド作り

六ヶ所村内の全小学校から5、6年生194名の参加があった「冬の理科教室」を、2月に9回に分けて開催しました。今回は、「レプリカハンド(石こう手型)作り」の年。手型を作る際に型どり剤を水に溶かし手を入れて型を取りますが、ひんやり、ねっとりとした触り心地に驚きの声があがってしまし

た。手を動かさないよう我慢して8分ほど経過して型どり剤が次第に固まってくると、その変化する感触にも表情を変えたりして楽しんでいました。

完成した石こう手型は手のしわや血管もきれいに再現されたものになっていました。「大事に保存して記念にしてくださいね」との問いかけに、「ハイ」という元気のいい返事がかえってきたのが印象的でした。



編集・発行 財団法人 環境科学技術研究所 (広報連絡委員会)

〒039-3212 青森県上北郡六ヶ所村大字尾駮字家ノ前1番7

電話 0175-71-1200(代) ファックス 0175-71-1270 URL: <http://www.ies.or.jp>