

京都大学工学部 正員 井上頼輝
 " " " 〇 青山 勲
 丸 紅 " 井面光司

はじめに

原子力施設の増大に伴う水圏生態系の放射能汚染は重大な問題である。植物性プランクトンは、オ1次生産者として、食物連鎖上、生態学的に重要であるばかりでなく、水圏環境においては、物質の生物学的移行、循環の媒介者としての役割も大きい。植物プランクトンによる一般重金属や放射性核種の摂取・濃縮の問題は既によく知られているが、そのメカニズムについて論じた研究は少なく、又藻の生体量と濃縮係数の関係についてはまだ十分一致した見解には達していない。本研究は、淡水性植物プランクトン、藍藻類の一種である *Anabaena Variabilis* を用いて、その増殖速度と数種の放射性核種の濃縮過程との関係等についての若干の知見を報告する。

濃縮過程の動力学的考察

藻類による放射性核種の濃縮過程の動力学に関する研究は極めて少なく、Barimov が Roginsky の理論に基づいて、3つの型の公式をあげているに過ぎない。それはいずれも各種の吸着速度式に対応するもので、藻による放射性核種の摂取機構について、摂取・排泄という生物に特徴的な代謝機構が考慮されておらず、また藻の細胞分裂による増殖過程が欠落している。そこで、筆者らは、魚類その他の生物による濃縮を記述するのに広く使われている指数関数モデルと、藻の生体量増加を表わすモデルとを組み合わせて考えた。指数関数モデルは摂取・排泄という生理現象に基づく簡単な微分方程式で記述されるモデルである。

培養液の単位体積中に含まれる藻量を M_t (mg), とすると、 M_t 全体の藻中の放射能の変化率は、藻の放射能濃度を C_t (μCi/mg) で表わすと、 $d(M_t C_t)/dt$ と表わされる。一方この量は M_t の藻への放射能の単位時間当りの摂取量と排泄量との差に等しく、摂取量は環境水中の放射能濃度 C_w (μCi/ml) に比例し、排泄量は藻中の濃度に比例すると考えると、結局、 M_t 内の放射能の変化率は次式で表わすことができる。

$$\frac{d(M_t C_t)}{dt} = \alpha M_t C_w - \beta M_t C_t \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに α は藻の単位重量あたりの摂取速度定数 (mg/mg·day), β は排泄速度定数 (1/day) である。

一般に、藻の光照明下での増殖過程において、藻密度の時間的变化は、対数期、直線期、定常期の3段階に分類できる。それぞれの段階に対して、藻密度を次のように表わせるとする。

$$\text{I. } M_t = M_0 e^{at} \quad (0 \leq t < t_1) \quad \dots \dots (2)$$

$$\text{II. } M_t = b(t - t_1) + M_0 \quad (t_1 \leq t < t_2) \quad \dots \dots (3)$$

$$\text{III. } M_t = M_0 (= \text{constant}) \quad (t_2 \leq t) \quad \dots \dots (4)$$

ここに M_0 はそれぞれの段階における藻密度の初期値、 a , b は増殖速度係数である。これを(1)式に代入し、初期条件として、 $t=0$ において $C_t = C_i$ とおき、環境水中の放射能濃度 $C_w = C_0 (= \text{const.})$ のとき、解は次のようになる。

$$\text{I. } C_t = \frac{\alpha C_0}{a + \beta} \{1 - e^{-(a + \beta)t}\} + C_i e^{-(a + \beta)t} \quad \dots \dots (5)$$

$$\text{II. } C_t = \frac{\alpha C_0}{\beta} \frac{1}{bt + M_0} \left\{ b \left(t - \frac{1}{\beta} \right) + M_1 - \left(M_1 - \frac{b}{\beta} \right) e^{-\beta t} \right\} + \frac{M_0 C_i}{bt + M_0} e^{-\beta t} \quad \dots \dots (6)$$

$$\text{III. } C_t = \frac{\alpha C_0}{\beta} (1 - e^{-\beta t}) + C_i e^{-\beta t} \quad \dots \dots (7)$$

実験方法および材料

Anabaena は 500ml 偏平培養フラスコを用い、無菌状態で純粋培養された。実験に用いた放射性トレーサは

^{137}Cs , ^{65}Zn , ^{90}Sr , ^{45}Ca の塩化物を、いずれも日本アイソトープ協会から購入したものを、無担体の状態で実験を行った。実験期間中は蛍光灯で照明し、恒温水槽内に培養

表-1 培養液の成分

		As Solution	
KNO_3	3 g	H_3BO_4	2.86 g
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.25 g	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.81 g
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.025 g	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.22 g
K_2HPO_4	1.0 g	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.08 g
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0.004 g	Na_2MnO_4	0.02 g
$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7\text{Na}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.165 g	conc. H_2SO_4	1 drop
As Solution	1.0 ml	Distilled Water	1000 ml
Distilled Water	1000 ml		

フラスコを浸漬させることにより、水温を $29 \pm 1^\circ\text{C}$ に保った。培養フラスコに、5%の炭酸ガスを含ませた空気を連続的に吹き込み、炭酸ガスを供給するとともに、水流を起こして、藻か底に沈降するのを防いだ。培養フラスコにオートクレーブで滅菌した培養液(表-1)を入れ、*Anabaena*をビレットで接種し、所定の藻密度に達するまで培養を行った後、トレーに投入して、経時的にサンプリングを行い、藻中の放射能濃度と、藻密度とを測定した。藻密度の測定には濁度計を用いた。藻重量と濁度との間には、良い直線関係の結果を得た。藻中の放射能測定は、藻密度に応じて適当量を0.8μmミリポアフィルターに濾過し、2πガスフローカウンターでβ線計測を行った。測定値は、放射能のフィルター藻表面への吸着量を差引き、また藻によるβ線の自己吸収を補正して、正味の放射能の濃縮量を求めた。

本研究において、明らかにしようとした現象の主要な点は次の通りである。① 放射性核種の藻表面への吸着、② 藻の増殖過程と、放射能の濃縮過程の動力学的関係、③ 藻の生体量と濃縮係数との関係。①については、藻を予めホルマリンで固定した後、放射能を投入して、表面吸着量を求めた。②と③は藻密度の異なった増殖段階で、放射能を投入して実験した。また、培養フラスコ全体をアルミホイルで覆った暗ビンと覆いをしない明ビンとにおける濃縮機構の生理的な違いを見るための比較実験も行った。

実験結果および考察

図-1には、理論計算の1例として、パラメータ値を変えて計算した直線増殖期の藻密度および藻中の相対濃度の変化を示している。理論式から予想されるように、初期濃度 $C_0=0$ の時には、どの増殖期においても、藻中の放射能濃度は単調に増加するが、 C_0 が0でない時は、その大きさによっては、増殖とともに減少する。藻の増殖による生物学的希釈が起こると考えられる。図-2は ^{137}Cs について、全増殖過程にわたって濃縮実験を行った結果の一例を示している。定性的ではあるが、理論計算と同様に、生物学的希釈による相対濃度の減少が認められる。この傾向は他の核種の場合も全く同様であるが、 ^{65}Zn , ^{60}Co 等は、 ^{137}Cs に比べ初期の濃縮性が大きく、生物学的希釈の効果も大きい。このことは、藻細胞内への核種の摂取が、その種類によって、明らかに区別されることを示唆している。藻表面への放射能吸着は、内部に摂取された量と比べると少なかった。 ^{45}Ca の場合は、栄養塩として安定カルシウムと一緒に取り込まれ、培養液中の ^{45}Ca 濃度の減少は著しく、それに対応する藻中比放射能の減少が見られた。生体量と濃縮係数との関係については、藻の増殖速度と放射能の摂取速度との関連を捉えることが重要である。又栄養塩の種類によつては、全増殖過程にわたって、必ずしも一様な速度で摂取されるのではなく、細胞内に一度栄養塩を貯蔵し、その後それを消費しながら細胞分裂を起こす事もあることに留意しなければならない。

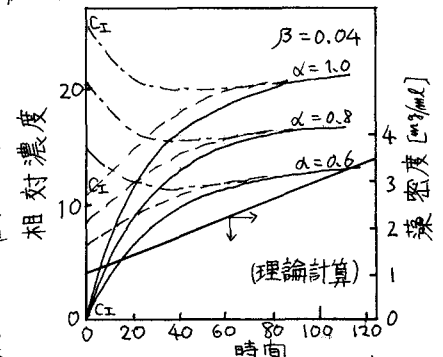


図-1 相対濃度の時間的変化

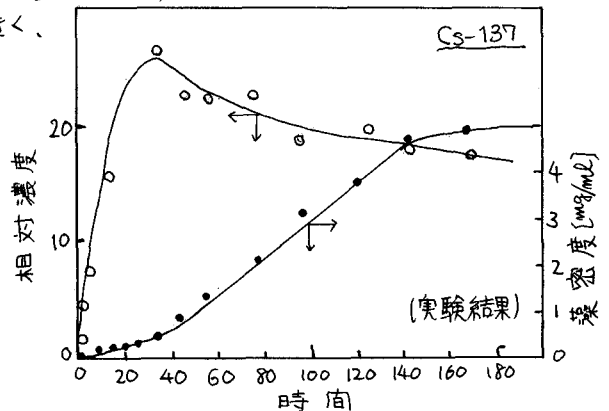


図-2 相対濃度の時間的変化