Ⅱ－163　環境水中放射性物質濃度変化に伴う生物体内濃度の変化

京大工　正員　岩井重久　井上頼輝　○寺島泰

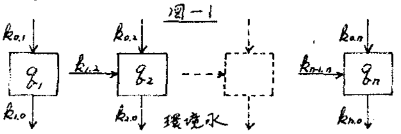
放射性物質による水産生物の汚染は，直接的汚染と間接的汚染に大別されるが，自然界ではこの二つは同時に併行して起こっている。直接汚染の場合はまず生物体表面に汚染が起こるが，これは体重当りの体表面積の大きい生物，また部分に著しい。ついで汚染物は体の内外の表皮を通して血液や体内に入り，問題となる器官（Critical organ）に到達，蓄積されると共に過剰分が排泄される。間接汚染は，直接汚染によって生じた汚染生物を経口的に水産生物が摂取することによって起こるもので，複雑な食物循環の経路にしたがって放射性物質は移行してゆく。

こうした汚染による生物体内濃度の変化は，摂取と体外への排泄速度によって決定されるが，前者は環境水中濃度と経口摂取される生物体内濃度に，後者は問題としている生物体内濃度に比例すると思われる。したがって，第1段生物，第n段生物体内濃度変化の基礎式とその変化は，(1)～(4)式のように表わされる。ここに，g_n，C はそれぞれ第n段生物，水中の放射性物質濃度，k_{0n}，k_{n0} はそれぞれ水中からn段生物への摂取速度定数，n段生物から水中への排泄速度定数，$k_{n-1,n}$ はn−1段生物からn段生物への経口摂取速度定数である。いずれもkは，生物種，問題とする器官，放射性元素の種などによって異なる。

$$\frac{dg_1}{dt}=k_{01}C-k_{10}g_1 \quad \text{--------(1)} \qquad g_1=k_{01}e^{-k_{1,0}t}\int_0^t C\cdot e^{k_{1,0}t}dt \quad \text{--------(2)}$$

$$\frac{dg_n}{dt}=k_{0n}C+k_{n-1,n}g_{n-1}-k_{n0}g_n \quad \text{--(3)} \qquad g_n=k_{0n}e^{-k_{n,0}t}\int_0^t\left(C+\frac{k_{n-1,n}}{k_{0,n}}g_{n-1}\right)e^{k_{n,0}t}dt \quad \text{----(4)}$$

図－1



(4)式によれば，n段生物体内濃度変化を解析するには環境水とn−1段生物体内の濃度，摂取，排泄に関する各速度定数を明らかにせねばならないが，特に後者の決定には種々の困難な問題がある。これらについての論議は別の機会にゆずり，今回は環境水中濃度が変化する場合の第1段生物体内濃度変化につき，理論的，実験的検討結果を報告する。

直接汚染による第1段生物の体内濃度変化は，環境水中濃度が一定の場合 $g=k_{01}/k_{10}\,C\{1-\exp(-k_{10}t)\}$ となる。定常状態での $g/C\ (=k_{01}/k_{10}=K)$ はいわゆる濃縮係数であり，また g が平衡値の ½ に達するに要する時間は $T_{1/2}=0.693/k_{10}$ となるから，これらを実測することにより k_{10}，k_{01} が求められる。これらの値を用い，(2)式によってCが時間的に変化する場合の g を推定することができる。

例えば，初期に C_0 の水中濃度が，指数的に減少する場合は(6)式に示すようになり，$t=\log(a/k_{1.0})^{1/(a-k_{1.0})}$

$$C(t)=C_0e^{-at} \quad \text{----(5)} \qquad g=C_0K\frac{k_{1.0}}{k_{1.0}-a}\left(e^{-at}-e^{-k_{1.0}t}\right) \quad \text{----(6)} \qquad g_{max}=C_0K\frac{k_{1.0}}{k_{1.0}-a}\left\{\left(\frac{a}{k_{1.0}}\right)^{\frac{a}{k_{1.0}-a}}-\left(\frac{a}{k_{1.0}}\right)^{\frac{k_{1.0}}{k_{1.0}-a}}\right\} \quad \text{----(7)}$$

において g が最大となる。また，水中濃度が $0\sim C_0$ の間を週期Tで変動する場合は(9)式のように

$$C(t)=\frac{C_0}{2}\left(1-\cos\frac{2\pi}{T}\cdot t\right) \quad \text{---(8)} \qquad g=\frac{C_0K}{2}\left\{1-\frac{1}{1+(k_{1.0}T/2\pi)^2}e^{-k_{1.0}t}-\sqrt{\frac{1}{1+(2\pi/k_{1.0}T)^2}}\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\alpha\right)\right\} \quad \text{----(9)}$$

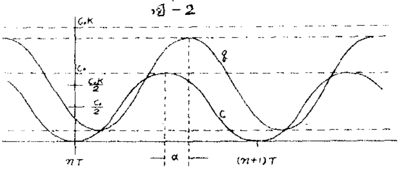
$$\tan\alpha=k_{1.0}T/2\pi \quad \text{----------------(10)}$$

示される。充分時間が経過すると(11)式，図-2に示すようにqは$C_0K/2$を中心軸とし，周期Tなる

$$q=\frac{C_0K}{2}\left\{1-\sqrt{\frac{1}{1+(2\pi/k_{1.0}T)^2}}\,\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\alpha\right)\right\}\text{-----}(11)\qquad q_{max}=\frac{C_0K}{2}\left\{1+\sqrt{\frac{1}{1+(2\pi/k_{1.0}T)^2}}\right\}\text{----}(12)$$

振動函数となる。αは水中濃度変化からの位相のおくれである。また，生物体内濃度の最大値は(12)式に示すように，水中濃度の$K/2\cdot\left\{1+\sqrt{1/(1+(2\pi/k_{1.0}T)^2)}\right\}$倍となり，$K$が一定であるものについては，水中濃度変化の周期，排泄速度定数が大きくなる程，q_{max}も大となる。

図-2



次に，環境水中放射性物質濃度が，水理的拡散混合により減少する場合の体内濃度変化を解析する。放射性廃水が初期に半径aなる円筒状に排出されるとすれば，最大濃度地点における水中濃度変化は

$$C=C_0\left(1-e^{-a^2/4Dt}\right)\text{------}(13)\qquad \frac{q}{C_0K}=k_{1.0}\,e^{-k_{1.0}t}\int_0^t\left(1-e^{-a^2/4Dt}\right)e^{k_{1.0}t}\,dt\text{-----}(14)$$

(13)式のように求まる。Dは拡散係数である。したがって生物体内濃度変化は(14)式で与えられる。ここで，(14)式を$k_{1.0}$，a^2/D，tの函数とみなすと(15)式のような関係が得られる。つまり，C_0Kが

$$\frac{q}{C_0K}\left(k_{1.0},\frac{a^2}{D},t\right)=\frac{q}{C_0K}\left(\frac{k_{1.0}}{m},\frac{ma^2}{D},mt\right)\text{---}(15)\quad q_{max}=KC(t')\text{---}(16)\quad \frac{q_{max}}{C_0K}=\frac{C(t')}{C_0}\text{---}(17)$$

一定な場合，ある$k_{1.0}$，a^2/Dの値に対して時間$t=t'$でqが最大となるならば，$k_{1.0}/m$，ma^2/Dの値に対しては$t=mt'$で最大となり，それらの値は互いに等しくなる。またそのとき$dq/dt=0$であるから(16)式，したがってまた(17)式の関係が成立する。これらの関係を念頭に，$k_{1.0}$の値としては$T_{1/2}=0.5$～10日に対応する0.05774(1/hr)～0.002887(1/hr)の間4段階，a^2/Dの値として1，10，10^2(hr)の3段階をとり(14)式の数値解析を行なった。$a^2/D=1$(hr)の場合（図-3），水中濃度は2時間余で初期濃度の1/10となるような速度で減少するが，一方体内濃度は$k_{1.0}$が大なる程早期に最大値に達するかたわら，水中濃度減少に伴ない急激に減少する。$k_{1.0}$が小さくなると短時間で最大値に近い値に達して以後緩やかに増加し相当時間の後に最大となる。その後の減少速度は小さく長時間後においても体内残留濃度は大きい。なお，q/C_0Kの最大値はC/C_0曲線との交点で起こっている。$a^2/D=10$(hr)，つまり拡散希釈の度合が1/10になると，q/C_0Kの増加，減少に関しては前述と同様なことが言えるほか，最大となる時間，最大値は大巾に増大する。（図省略）　$a^2/D=100$(hr)になると同様な傾向がみられるほか，比較的大なる体内汚染が残留する時間巾も相当長くなる。（図省略）

この他，理論的根拠は明確ではないが，各$k_{1.0}$の値に対して$\log q_{max}/C_0K$と$\log a^2/D$とが（図-4），同様に各a^2/Dの値に対し，$\log q_{max}/C_0K$，$\log k_{1.0}$が近似的な直線関係を示している。

以上の考察に対する実験的検討結果については講演時発表の予定である。

図-3 水中濃度変化に伴なう生物体内濃度の変化 $a^2/D=1$

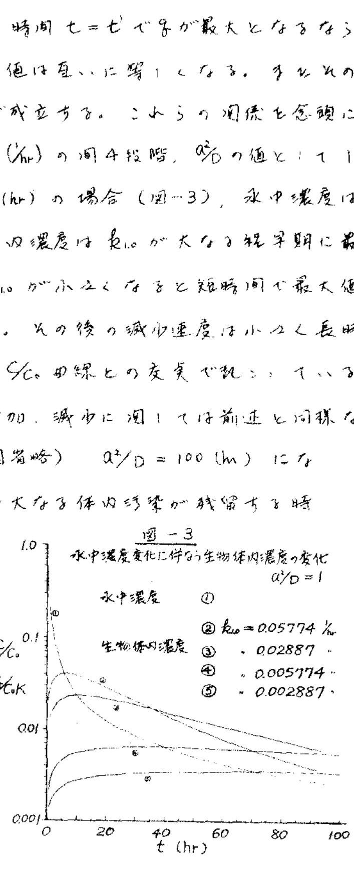


図-4 q_{max}とa^2/Dの関係