

京都大学工学部 正員 エ博 岩井 重久

京都大学工学部 正員 Ph.D. 井上 頼博

水工学、衛生工学の分野では、水の拡散混合と同時に、いくつかの他の現象、たとえば沈殿、凝集、自己減衰、物理吸着、機械的阻止作用などの起る場合を取り扱う場合が多い。たとえば、河川の浮遊物輸送や、沈殿池による浮遊物除去は、河川あるいは沈殿池内の水の流れと、浮遊物の沈降現象との組み合わせであり、河川の自浄作用は河川水の流れと、有機物質酸化の二現象の組み合わせと見ることが出来る。地下水中のイオンの移動、たとえば塩水の地下水侵入などには、地下水の流れと、土のイオン交換能が大きく関与するし、砂ろ過による浮遊物の除去については、砂層中の水の流れと、砂粒による浮遊物の阻止能とを研究しなければならぬ。これらに対し、諸現象を一体として解析するという方法がとられるが、実際には、ある仮定を置いてこうした複雑な自然現象を簡略化し、単純な場合のみについて解析を進めることが多いために、その解析結果により現象を定性的に説明できても、定量的には説明しにくいことになりやすい。そこで現象を水の拡散混合の問題と、その他の現象との二つに分けて考え、まず水の拡散のみに関する解を求めた上で、それより複雑な場合の解を誘導するのが、実用的にはすぐれているのではないかと考える。水の拡散混合に關しては、與えられた条件下で数式解が与えられることが望ましいが、しかも水に対する最良のトレーサーとして急速に利用度の高まっている三重水素水を用いて、実験的に解を求めることができる。本研究は、こうした一連の問題に対して、まず理論的な考察を加えた結果を示したものである。

水の拡散混合と、その他の現象とのすべてを含む一般式を求めることは困難であるが、いま沈殿、自己減衰、吸着の三作用を伴う場合を例に取り上げれば、次式である。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{grad}(D \text{grad} C) + \text{grad}(VC) - \lambda C - \frac{\partial C}{\partial z} - w_0 \frac{\partial C}{\partial z} \quad (1)$$

ここに、 $C$ は物質（たとえば河川中汚濁物質、溶存イオン、浮遊物等）の水中濃度、 $D$ は拡散係数、 $V$ は流速、 $\lambda$ は減衰係数、 $w_0$ は沈降速度、 $t$ は時間、 $z$ は鉛直軸である。右辺第1項は物質の水の拡散による輸送、第2項は流れによる輸送、第3項は自己減衰、第4項は吸着、第5項は沈降の現象を示す。もし適当な変換により、第3、第4、第5項を消去し、式(1)を

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{grad}(D \text{grad} C) + \text{grad}(VC) \quad (2)$$

の形、すなわち水の流れを示す Navier-Stokes の式に変形できれば、式(1)の解は式(2)の解から次のようにして求まる。すなわち式(1)の境界条件、初期条件に変換をほどこしたものを、それぞれ式(2)の境界条件、初期条件とし、これらの条件下での式(2)の解を解析的、もしくは実験的に求め、再び逆の変換を行えば、式(1)の解をうる。ここで、その適用例

を2, 3示せば, 次のようになる。

〔例-1〕 河川の自浄作用

河川中に流入した有機性汚染物質は, 流下とともに生物化学的に酸化され, 減少していく。この場合の基礎式は

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{grad}(D \text{grad} C) + \text{grad}(VC) - \lambda C \quad (3)$$

と表わされる。ここで,

$$\bar{C} = C e^{-\lambda t} \quad (4)$$

とおけば式(3)は,

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \text{grad}(D \text{grad} \bar{C}) + \text{grad}(V \bar{C}) \quad (2')$$

のごとく Navier-Stokes 型に書き直せる。したがって, 河川水の混合拡散状況を, 単純な水路についてば数理的に, また複雑な一般河川についてはトレーサー実験によって求め, 一方河川汚染物質より自浄係数を実験的に求めれば<sup>1)</sup>, トレーサー濃度に  $e^{-\lambda t}$  を乗ずることによって, 汚染物の濃度も推定することができる。

〔例-2〕 土壌のイオン吸着作用

この場合の基礎式は式(5)となる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \text{grad}(D \text{grad} C) + \text{grad}(VC) - \frac{\partial \bar{C}}{\partial t} \quad (5)$$

地下水のごとく, 流速のおよい水と接触する土壌は, 地下水に含まれるイオンと交換平衡に達し

$$\bar{C} = KC \quad (6)$$

なる関係が成立する。ここに  $K$  は, 土の密度, 空隙率, およびイオンに対する吸着係数で定まる定数である。<sup>2)</sup> 時間に対し

$$t' = (1+K)t \quad (7)$$

なる変換をほどこせば, 式(5)は式(2')のように水の動きを示す形に変形される。式(5)の初期条件に式(7)の変換を与えたものを初期条件とし, 水の動きをトレーサーで求め, これをトレーサー濃度に式(7)の時間変換を再びほどこせば, 式(5)の解を得る。

なお, 本研究では, 水のトレーサーが重要な役割りをもち, このトレーサーとしては, 水とほとんど同じ性質をもつ三重水素水を用いて, 放射能測定を行なうことが, 密度流その他の影響をさける意味で最も適当ではあるが, リチウム, 色素, その他のトレーサーを用いても, 十分の成果がえられるものと考ええる。

以上の諸方法につき, 実験を行ない, すでに一部の成果をあげているので, 今後順次発表して行きたいと思っている。

#### 参考文献

- 1) 南部 伸一, 河川水中の自浄作用と汚染度分布に関する研究, 1-43頁, 京都大学学位論文(工博第28号)昭35年12月
- 2) Y. INOUE and W.J. KUFMAN "Prediction of Movement of Radionuclides in Solution through Porous Media," Health Physics 投稿中