

# 海 洋 拡 散

井 上 頼 輝\*

## 1. 拡散の意義

汚濁物質を環境に放流した場合、水の拡散能力によってそれは希釈され、無害化される。「三尺流るれば水清し」と昔の人は河川の大きな浄化作用をたたえたが、一般に拡散による環境の浄化機能が過大視されている傾向がある。いま、わかりやすく一つの水路を考え、上流で汚濁物質が放流され、下流でそれを上水道の水源として取水している場合を取り上げて説明しよう。

汚濁物質の放流が瞬時的である場合、水路の拡散が良ければ図-1 (a) のような、また悪ければ図-1 (b) のような濃度分布が取水点で観測されるはずである。ところで、汚濁物質の濃度と、その人体に対する影響を示す濃度-影響曲線に図-2 (a) のようにある Threshold がある場合、すなわち、ある濃度までは人体に全く何の影響も現われないようなときには、拡散状態が良く、最高濃度の低くなる前者が有利である。しかし、放射性物質やある種の発がん物質のように、どれだけ濃度が低くても、人体に影響が現われると考えられるとき、すなわち図-2 (b) の形のときは、拡散が良くても、あるいは悪く

ても、人に与える影響は同じである。さらに浄水場は、原水水質が悪くなり過ぎると取水を止めることがある。この場合は、取水停止期間が短くてすむから、拡散の悪い図-1 (b) の方がむしろ有利となる。拡散を調査する場合、ただ単に水理学的な調査を行なうばかりでなく、常に環境、ひいては汚濁物質の人間社会への影響と関連づけて調査することが大切である。また拡散混合の度合を示すめやすとして、放流廃水の汚濁物質濃度を環境の汚濁物質濃度で除した希釈率が用いられることがあるが、その意味を十分吟味してから使用することが必要である。式(2)は、無限にひろがる水面に汚濁物質を、1点瞬間投入したときの環境濃度を示すものであるが、初期混合の影響のない、投入点より離れた地点の濃度を定めるものは投入量  $M$  であって、投入時の汚濁物質濃度ではない。すなわち、いま 1g の汚濁物質を、100 l の水に溶解させて放流する場合と、1 m<sup>3</sup> の水に溶解させて放流する場合とで、環境における汚濁物質濃度は、時間、場所的にほとんど変わらないにもかかわらず、希釈率は両者で1けた異なる。このように、希釈率は、放流汚水の量が等しいとき、はじめて比較に使用できるものである。海域における汚染を論ずる場合、環境に放出される汚濁物質の濃度ではなく、総量(負荷量)を論ぜねばならぬことが多い。

図-1 モデル河川における汚濁物質の拡散

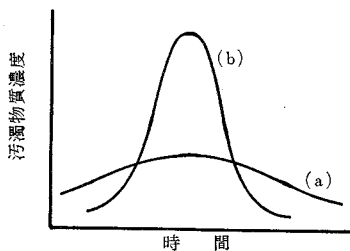
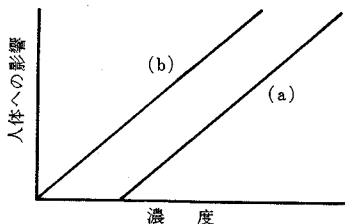


図-2 汚濁物質の人体への影響



## 2. 海洋拡散の調査法

海洋に放出された汚濁物質の拡散輸送を示す基礎方程式は

$$\begin{aligned} \frac{\partial c}{\partial t} = & \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) \\ & + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (v_x c) \\ & - \frac{\partial}{\partial y} (v_y c) - \frac{\partial}{\partial z} (v_z c) - \lambda c \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

で示される<sup>1)</sup>。ここに  $x, y, z$  は直交座標で、汚濁物質放流点を原点にとり、鉛直下方に  $z$  軸、水平流速方向に  $x$  軸、これに垂直に  $y$  軸をとる。 $c$  は汚濁物質濃度、 $D_x, D_y, D_z; v_x, v_y, v_z$  はそれぞれ  $x, y, z$  方向の拡散係数と流速、 $\lambda$  は汚濁物質の自己崩壊係数である。この式はごく簡単な二、三の場合につき解が求められてい

\* 正会員 Ph. D 京都大学助教授 工学部衛生工学科

る。たとえば、一定方向の水平流があるとき、汚濁物質を1点瞬間投入すると、拡散係数が定数として取り扱える場合、濃度  $c$  は

$$c = \frac{M}{4\pi td\sqrt{D_x D_y}} e^{-\frac{1}{4t}\left(\frac{(x-v_x t)^2}{D_x} + \frac{y^2}{D_y}\right)} \dots (2)$$

で与えられる。ここに  $M$  は汚濁物質投入量、 $d$  は混合深さである。ところで、実際の海域の流速は、沿岸流、潮汐、風などによって大きさ、方向が、時間的、位置的に変化する。拡散も、海の渦動乱流によってひき起こされるものであるが、この渦には数 mm の小さなものから、黒潮のように大きなものまであり、したがって、拡散係数も一定とはいいがたい。また大気汚染の温度逆転層に相当する温度躍層が海洋の場合にも存在して、 $z$  方向の拡散係数が一定でなくなる。これらの原因で、海域の汚濁現象はきわめて複雑で、式(1)を所要の境界条件で解くことは困難なことが多い。

海域の汚濁調査で最も普遍的に用いられるのが、色素によるトレーサー法である。これは一定量の色素を瞬間的、あるいは連続的に海に投入して、その移動、拡散を観測するもので、拡散係数は、観測船を出して海水を採水し、海水中の色素濃度  $c$  より式(2)を用いて求めてもよいし、またカラー航空写真を撮影して、写真上の色素雲の大きさから求めることもできる。使用する色素は微量で、トレーサーとして利用でき、海水にとけやすく、安価で、砂や海水中の浮遊物に吸着されることがなく、かつ、化学的に安定であることが望ましい。実際に海域調査に利用されるのは、ウランとロダミンである。ウランは海水によく溶け、安価で、取り扱いも簡単だが、太陽光線により褪色する欠点を持ち、夏の強い日ざしでは2時間で濃度が半減することもある。ロダミンは光褪色はないが、海水に溶けにくく、取り扱いが不便である。拡散係数は定数でなく、時間的、場所的に変化するものだとし、多くの式が提案されている。しかし対象海域によって適合する式が異なり、いまのところどれをとってよいか確説はない。昭和41年に大牟田湾で行なわれた色素拡散実験を写真-1に示す。

色素実験もいろいろな欠点を持っている。色素は、海産物への影響を考えると、あまり大量に流せないから、通常、実験できる時間は数時間、長くて数日に限られる。しかし、海域汚染を調査する場合、潮汐や恒流の変化を考えて、数週あるいは数カ月の間の汚水の定常的な分布を把握しなければならないことが多いが、数多くの現地実験を繰り返すことは、経済的にも制約を受ける。さらに、わが国工業立地の特徴として、土地造成による臨海工業地帯が多いが、この場合、将来の海域汚濁を推定しようとしても、現状の海況調査からは求めることができない。このために、現地実験に代るものとし

写真-1 大牟田湾色素拡散実験

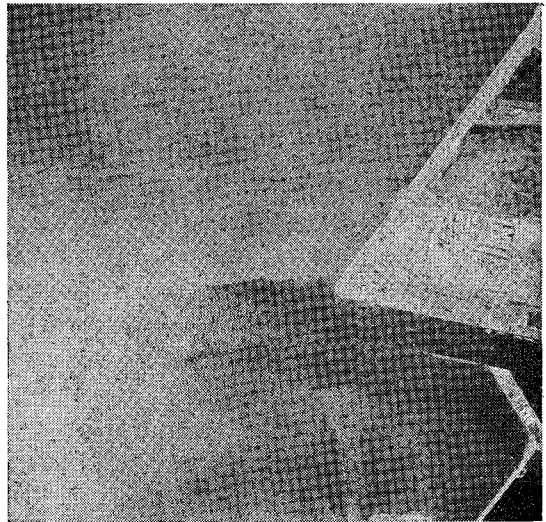
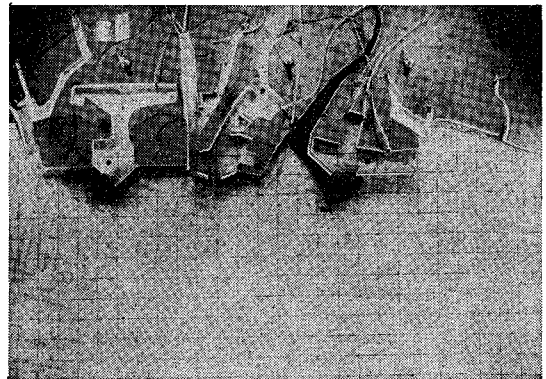


写真-2 水理模型・色素拡散実験



て、あるいはそれを補完するものとして、水理模型実験が考えられる。水理模型は、原型の流速、流向、拡散係数などをよく再現するように、模型の縮尺、時間の縮尺、底面粗度を選び、起潮機で潮汐を起こして、汚水の拡散、混合をみるもので、まず現状の水理模型をつくり、原型の海況調査と比較したのち、埋立てなどによる海岸線の変更があればこれを加えて将来の予測をすれば、ある程度正確な結果が得られる。筆者ら<sup>23)</sup>はこの方法で大牟田港の汚濁の将来予測を行なった。写真-2に水理模型を示す。しかし、模型の水理学的相似度に問題があり、すべてのパラメーターを相似させることは困難で、水流を相似させると、拡散係数の相似の精度が悪くなる。この点について、水理学的な研究が進展することを望みたい。

水理模型は、かなり広い土地と時間とを要するので、最近ではこれに代るものとして、数値模型が考えられてきた。これは対象海域を三次元のネットに分割し、各区間について、式(1)の基礎方程式を差分型にして適用して

電子計算機により汚濁物質の濃度分布を計算するもので、細長い水路については現在計算可能だが、複雑な地形の場合はまだまだ研究が必要である。和田<sup>4)</sup>はこの方法により、火力発電所から排出される温熱廃水の海中拡散を計算した。

さらに、数カ月といった長い期間にわたる海水の混合を知る目的で、海に流入する河川水などを利用する方法がある。杉浦<sup>5)</sup>は、河川水が海水によって希釈される状態を塩分濃度変化でとらえ、これとアルカリ度との相関から河川水の海中での影響域を求め、海水の交換時間を算出した。しかし、隣接して多くの河川が流入しているところでは、各河川の水質に著しい相違がない限り、正確に交換時間を求めることは困難となる。このほかに、河水中の汚濁物質、たとえば、大腸菌などを指標として海水の混合を知ろうとする試みもあるが、成功していないようである。

長期的な環境の汚濁状況を知る目的で、淡水の場合、生物指標による汚濁表示がとられる。すなわち、好汚水

性生物の、全生物相上に占める割合から、水域を強腐水性、中腐水性等にわけるので、定量的にこれを水中の溶存酸素量や BOD と結びつけることは困難であるが、季節ごとの水質の平均像をよく示すものといわれる。このような試みが、海域汚染についてもなされることを期待したい。

#### 参 考 文 献

- 1) 岩井・井上・寺島：トレーサーによる河川汚染の解析について、土木学会第2回衛生工学研究討論会論文集
- 2) 岩井・井上：海域の汚濁物質受容限界について、土木学会第5回衛生工学研究討論会論文集、昭和44年
- 3) S. Iwai, Y. Inoue, H. Higuchi; Survey and Prediction of Pollution in the Omuta Industrial Harbour, Proceedings of the 4th International Conference on Water Pollution Research, 1969.
- 4) 和田 明：入江内における冷却水取・放水の研究、第13回、第14回海岸工学講演会講演集、昭和41年、42年
- 5) 杉浦吉雄：放射性廃液の沿岸放出に伴う汚染域の範囲と域内水の交換時間の推定法、第4回原子力施設と沿岸海洋シンポジウム、昭和44年

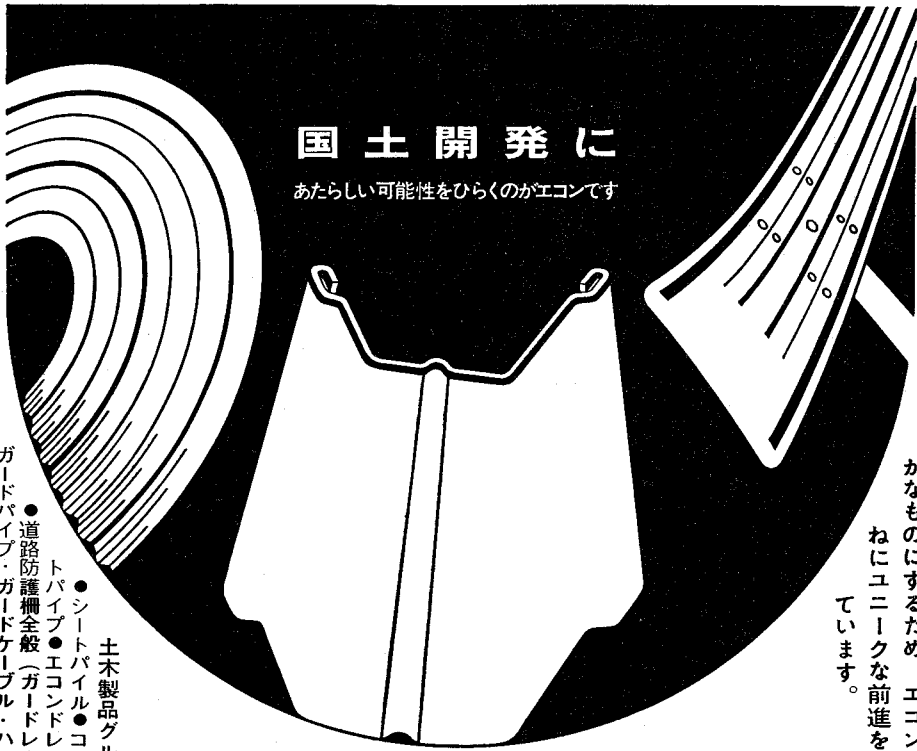
● エコフェンス ● エキスパンドメタル ● ロードルーバー ● 落石防護柵

● シートパイル ● コルゲトパイプ ● エコドレン ● 道路防護柵全般 (ガードレール・ガードパイプ・ガードケーブル・ハンドレール)

● 土木製品グループ

● 八幡エコンスチール株式会社

本社 東京都中央区日本橋江戸橋3丁目2番地 第2丸善ビル 電話 03 (272) 5071 大代表  
支店 大阪 名古屋 九州 営業所 広島 札幌 仙台 新潟 静岡 出張所 高松 前橋 長野 富山 鹿児島 青森 津津



わが国でどこよりも早く軽量形鋼の開発・生産にとりこんできた(エコン)。その技術・設備をフルに生かして開発された高精度の土木・建設資材。標準化が行きとどき、新しい用途にも進出して好評。明日の国土開発をさらに実りゆたかなものにするため、エコンはつねにユニークな前進を続けています。

◎ 信頼される八幡製鉄グループ