

沿岸海域の物質分散 (I)

—瞬間点源染料拡散実験—

柳 哲 雄・樋 口 明 生

DISPERSION OF MATERIAL IN THE COASTAL SEA (I)

—Instantaneous Point Source Dye Experiment—

By *Tetsuo YANAGI and Haruo HIGUCHI*

Synopsis

Dye cloud in the coastal sea does not spread in a circular form but is elongated elliptically. This is due to the shear effect which comes from the coupling effect of the shear flow and the vertical diffusion. A method is proposed to separate the effect of shear and that of horizontal turbulent diffusion. The horizontal turbulent diffusivity obtained by this method is $5 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ in the horizontal scale of 50 m.

1. ま え が き

沿岸海域における物質の拡がりの予測を行なう場合、現場海域の拡散係数の大きさを推定することが必要である。拡散係数の大きさを推定するために多くの瞬間点源染料拡散実験が行なわれてきた。

これらの瞬間点源染料拡散実験は通常円形パッチ理論を用いて解析され、数百 m の水平スケールで $K \approx 10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ という値が得られてきている。しかしよく知られているように現場海域での染料パッチは必ずといっていいほど円形にはならず、細長楕円形に変形される。この観測事実の流れの主流方向とその直角方向の拡散係数の間に強い異方性が存在するか、Bewles らの指摘した Shear 効果¹⁾ が実際の染料パッチの拡がりに最も強く効いている—すなわち現象の本質は拡散ではなく、分散 (dispersion) と呼ぶべきものである—ことを予想させる。

今回このような観点から瞬間点源染料拡散実験と流速観測を同時に行なって、現場海域での拡散係数算出法について考察を行なったので報告する。

2. 瞬間点源染料拡散実験

大阪湾東南部二色の浜沖合約 2.5 km の海域で瞬間点源染料拡散実験を行なった (Fig. 1)。染料投入点 (P点) では漁船を固定し、1974年3月11日午前8時 (以下 I 群と呼ぶ)、午前9時 (II群)、午前10時 (III群) の3回に

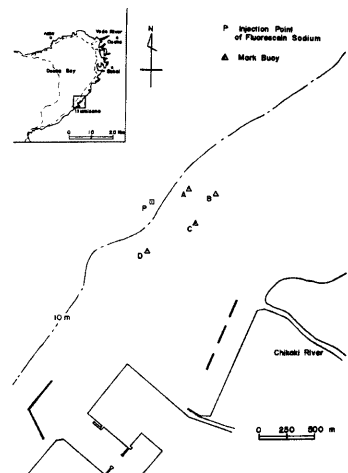


Fig. 1. The location where dye experiment was carried out.

わたって染料 (フルオレゼンソーダ, 10%, 36*l*) を投入した。また *P* 点では 30 分ごとに CM 2 型流速計を用いて 1 m 間隔の流速鉛直分布を観測し, 4 カップのハンド風速計を用いて海面上 2 m の風向・風速を測定した。

染料投入点周辺には 4 個の標識アイ (A, B, C, D 点) を設置し, 航空機により約 600 m 上空から写真撮影を行なって染料雲の面積変化を測定した。また移動船によりパリオセンス (曳航式蛍光光度計) を用いて -0.5 m 層の染料の水平濃度分布を測定するとともに, 染料雲のほぼ中央で濃度の鉛直分布を測定した。

3. 実験結果

Fig. 2 に I, II, III 群の染料雲の形状変化を示す。I 群の染料雲はいったん北上した後北西-南東方向に細長く伸びながら東方向に流され, 9 時 30 分頃から南東方向に流されている。II 群の染料雲も I 群の染料雲と同様に北西-南東方向に細長く伸びながら, 東方向に流され, 9 時 30 分頃から南東方向に向きを変えて流されている。III 群の染料雲はほぼ南北に伸びながら南南東方向に流されている。

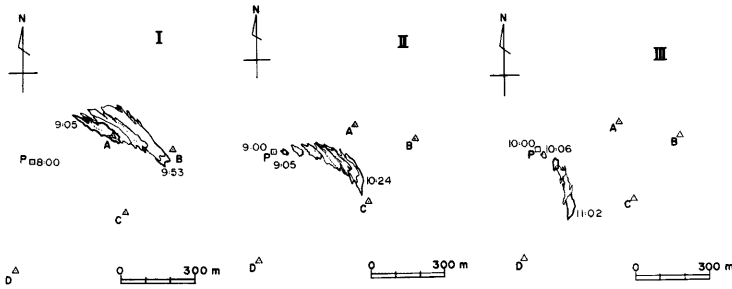


Fig. 2. The changes of spreading area of dye cloud. Numerals show the time.

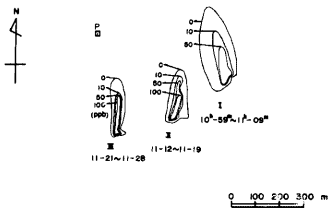


Fig. 3. The horizontal distributions of dye concentration. Numerals in the upper part show the concentration in ppb. Numerals in the lower part show the time when the observation was carried out.

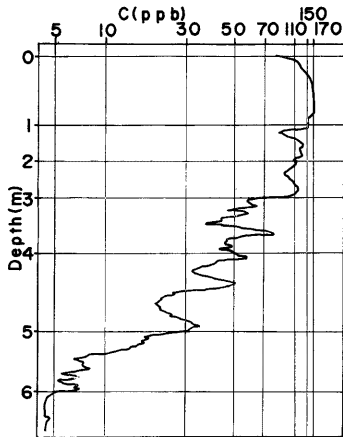


Fig. 4. The vertical distribution of dye concentration in the dye cloud III. The observation was carried out at half past eleven.

Fig. 3 に -0.5 m 層の染料濃度の水平分布を示す。それぞれの染料雲の下に書いた数字は濃度の測定時刻を示している。各染料雲とも南北に伸びる楕円になって、等濃度線の間隔は北側で広く、最高濃度は南側にあらわれている。

Fig. 4 に11時30分に III 群の染料雲の中央で測定した濃度の鉛直分布を示す。観測水深は 10 m で観測当時水温は 8°C 、塩分は 30‰ 、 σ_t は 23.4 で全層ほぼ一様であった。染料投入後1時間30分で染料の最高濃度は $0\sim 1\text{ m}$ 層にあり、約 5 m 層まで広がっていることがわかる。

4. 解析・考察

Fig. 5 にプランメーターによって求めた染料雲の拡がり面積と投入時刻からの時間との関係を示す。図中の○印がそれである。拡がり面積は時間の 1.1 乗に比例していることがわかる。従来のやり方にならってこの面積-時間関係から円形パッチ理論によって水平拡散係数を求めてみた。Fig. 6 に結果を示す。図中○印は平野・杉浦の方法²⁾で求めた水平拡散係数で水平スケール 100 m で $2 \times 10^8\text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であることがわかる。図中の各実線は足立らの方法³⁾で求めた Joseph and Sendner (JS と略す)、Ozmidov (O_z)、Okubo and Prichard (OP)、Okubo (Ok)、Obukhov (Ob) らの円形パッチ理論に基づく水平拡散係数で、やや大きすぎる Ob, Ok を除いて平均すれば水平スケール 100 m で $6 \times 10^8\text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であることがわかる。

しかし前述したように円形でない染料雲に対してこのような解析法を用いる物理的な意味は在るのだろうか。一体何故染料雲は Fig. 2 に示したように細長く伸びるのだろうか。Fig. 7 に染料投入点で測定した流向・流速データに基づく $0\text{ m}\sim 5\text{ m}$ 層の進行ベクトルを示す。風のベクトルは染料投入時のものである。この図から $0\text{ m}\sim 4\text{ m}$ 層の30分ごとの進行ベクトルの先端を結ぶとほぼ染料雲の形が得られることがわかる。実験の行なわれた $8\text{ 時}\sim 11\text{ 時}$ は上げ潮時にあっており、潮流は南西から北東に向っていたが表層のシアアの方向は風向とよく一致していて、当時表層では吹送流に起因する shear flow が発生していたと推定され

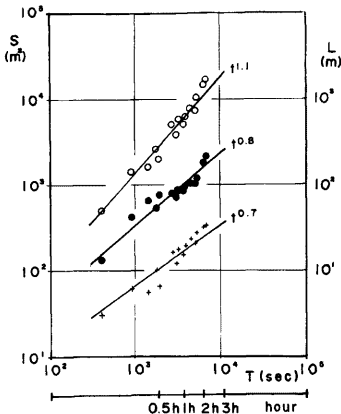


Fig. 5. The relations between the area of dye cloud and the time from the injection and that of the length of dye cloud and the time from the injection. ○ denotes the total area of dye cloud, ● the length of dye cloud and + the area of dye cloud which was measured eliminating the effect of shear of the current.

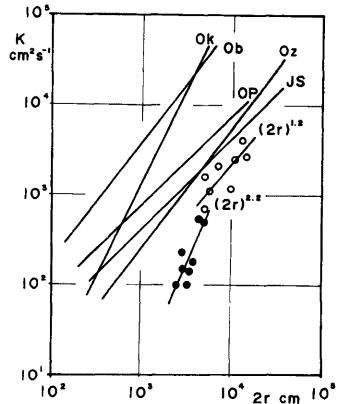


Fig. 6. The relation between the horizontal diffusivity and the horizontal scale. ○ denotes the apparent diffusivity and ● the diffusivity eliminating the effect of shear of the current.

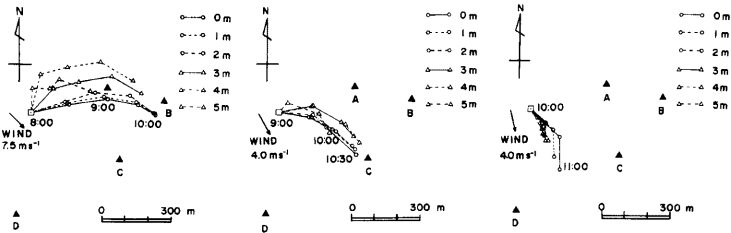


Fig. 7. Progressive vector diagrams in the three cases. Numerals show the time.

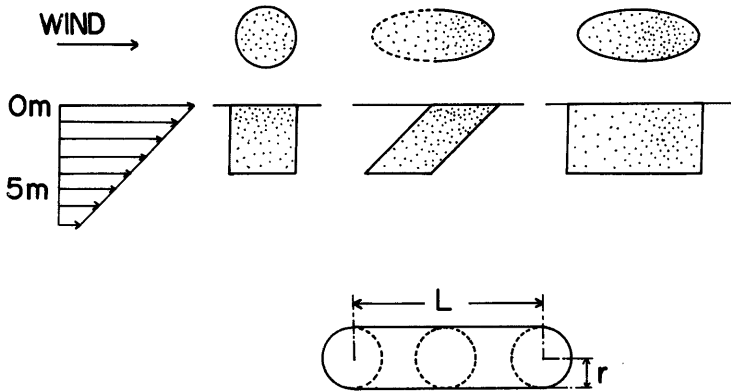


Fig. 8. Schematic representation of shear effect, namely the dispersion.

る。これらの観測結果から 0m~1m 層に投入された染料雲は Fig. 8 に示すように鉛直拡散により下方に拡がりながら吹送流の Shear により細長く引き伸ばされたと考えられる。この推定は Fig. 3 に示すように 0.5m 層で風下側に高濃度の染料がみられたことも矛盾しない。

そこで染料雲の面積の拡がりに及ぼす Shear の効果と水平乱流拡散の効果を分離することを試みた。Fig. 8 に示すように染料雲の伸長は主に Shear によるものと考え、それを L とし、幅 r の増大は水平乱流拡散によるものとして、 πr^2 の変化から水平乱流拡散係数を求めようとした。Fig. 5 に L と投入時刻からの時間の関係を示す。図中の●印がそれを示す。Shear が一定の場合 L は t の 1 乗に比例するが、今回は 0.8 乗となっていて Shear の大きさは次第に小さくなっていたことがうかがわれる。Fig. 5 の + 印で示すように Shear の効果を除いた面積の増大は時間の 0.7 乗に比例している。この + 印を使って平野・杉浦の方法により求めた水平乱流拡散係数は Fig. 6 に●印で示したように、水平スケール 50m で $5 \times 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度であることがわかる。

5. あとがき

沿岸海域で行なわれる点源染料拡散実験において染料雲は通常円形にならず、細長い楕円となって拡がっていく。この伸長を主に Shear によるものと考えて、Shear の効果を除いて水平乱流拡散係数を求める方法を提案した。汚染物質の分散を予測するために分散係数を求めるという実際の問題に対してはもう少し長い時

間、広い水平スケールでの水平乱流拡散係数を知る必要があり、また沿岸海域で卓越する Shear を伴う潮流の、往復流としての分散係数の大きさを知る必要がある。今後さらに研究を進め、現場海域での実験によって拡散係数・分散係数を求める方法を確立していきたいと考えている。

この研究を進めるにあたり、観測に御協力頂いた（社）産業公害防止協会、貴重な討論をして頂いた愛媛大学工学部武岡英隆助手、資料整理に御協力頂いた愛媛大学工学部学生村下耕荘氏（現愛媛大学大学院）、山田慎治氏（現深田サルベージ KK）、近藤秀樹氏（現日本海工 KK）、日高久明氏に深甚なる謝意を表する次第である。

なお本研究は文部省科学研究費環境科学特別研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) Bowles, P., Burns, R. H., Hndswell, F. and Whipple, R. T. P.: Sea disposal of low activity effluent, Proc. Conf. Peaceful Uses At. Energy, 2nd, Geneva, 18, 1958, pp. 376-389.
- 2) 平野敏行・杉浦健三：河川流入のある小内湾の塩分分布について、東海区水産研究所報告，第 22 号，1958, pp. 1-15.
- 3) 足立昭平・中村俊六・森 章：潮汐による港内の移流・拡散に関する実験的研究，第21回海岸工学講演会論文集，1974, pp. 303-308.