航空写真による海水中の染料拡散調査に関する研究

写真濃度測定による拡散の解析

堀 内 清 司* 田 場 穰*

淵 本 正 隆** 田 中 邦 一**

Studying Dye Diffusion (with a Photodensitometer)

by Seiji Horiuchi, Yutaka Taba,
Masataka Fuchimoto and Kunikazu Tanaka

Abstract Our observation of a dye diffusion (in which uranin was used) was carried out at Tokyo Bay on October 13, 1968. This paper deals with the state of a dye diffusion as revealed by the measurement of the photo density of a dye patch with a photodensitometer.

Our previous study of dye diffusion in the ocean (carried out in 1965 and 1966) was based on two widely held assumptions: one—that dye density is inversely proportional to the area of the dye patch; two—that dye density is homogeneous in a dye patch. In our most recent study we found that the density of a dye patch could be determined by measuring the density of the distribution with a photodensitometer. Further, we found that the relation between photo density and dye density corresponded to the equation $\log Y(\text{mV}) = a \log c + b$. Using this equation, we estimated the dye density from the photo density of the dye patch. Then, we calculated the coefficient of dye diffusion by using formula (3).

In another case, we assumed that the density of a dye patch was homogeneous. In this case, we estimated the coefficient of the dye patch by using formulas (4) and (5).

In comparing the results of these two coefficients we found that the 1st coefficient K_X equaled 10^4 – 10^6 and K_Y equaled 10^3 – 10^4 . (These figures are rather large.) In the second coefficient K_X equaled 10^3 – 10^5 and K_Y equaled 10^1 – 10^3 .

Theoretically, the former method is superior to the latter; but the data obtained from the former was not quite satisfactory because of the fact that it was based on our assumptions.

Further studies will have to be made before these assumptions can be proven to be absolutely correct. When these studies are made, care will have to be taken to insure that the scale of turbulence is taken into consideration.

要旨 1968年10月13日に東京湾において、ウラニンを用いた染料拡散の実験を行った。この報告は、写真濃度計を用いて、染料雲の濃度測定を行い、その結果から、染料の拡散について述べたものである。従来の染料拡散による海洋中の拡散の研究は、染料濃度を、染料雲面積に反比例すると考え、かつ染料濃度は染料雲内で均一と考えた計算が中心であった。

ここでは濃度計による測定結果から得られた濃度分布から染料雲の染料濃度の決定を試みた。その結果写真濃度は染料濃度と $\log y(\text{mV}) = a \log c + b$ の関係にあることを明らかにし、これを利用して、染料の拡散係数を直接写真上から求めてみた。またこれと比較するため、染料雲中の染料濃度は均一であるとの仮定の下に拡散係数をもとめた。

この両者の値は前者の方法で求めた値がやや大きく K_X で 10^4 – 10^6 、 K_Y で 10^3 – 10^4 程度で、後者の方法では K_X で 10^3 – 10^5 、 K_Y で 10^1 – 10^3 となった。理論的には前者の方法がすぐれているが、それでもなお若干の仮定を含むことや、染料雲の拡散が均一に行なわれず、幾つかの染料の塊りとなって拡散していくこと等の原因で得られた資料は、必ずしも満足すべきものではなく、今後は乱れのスケールの問題をも合わせていくことが必要となろう。

* 日本大学応用地学教室

** アジア航測株式会社

1 まえがき

航空写真を用いた海中の染料拡散については、さまざまな方面で試みられている。

筆者等も、現在まで数回に渡り実験を行ってきたが、その結果の一部はすでに2回に渡り報告されている。

航空写真という遠隔探査方式は染料拡散の調査にとって次のような利点をもっている。

すなわち、広い範囲にわたる現象を、1)総観的に把握できる。2)観測の同時性が期待できる。3)観測データが揃った精度で得られる。

しかしながら、写真像の濃度変化として捉えられている拡散現象の解析に際してはさまざまな問題がある。

ここでは、精密写真濃度測定装置を用いた染料拡散の写真像の分析、および、実際の染料濃度と写真像との関係についての結果を報告するとともに、この方法による拡散係数の算定を行なった結果についても言及し報告する。

II 目 的

海水中に放出した染料を航空写真でとらえ、染料の拡散状況を明らかにする試みとして筆者等はすでに本誌に第1報¹⁾、第2報²⁾を報告した。特に第2報では、ある時間 t_{i-1} 、 t_i に測定した染料域の面積を円とみなした時の換算半径 r_{i-1} 、 r_i になおして解析した結果を示したが、染料雲の濃度分布は円対称であるという仮定に限界があることが明らかになった。そこで、本報告では染料雲の写真濃度を海水中の染料雲濃度に置換し、これを用いて拡散係数を計算することを試みた。また、写真上から染料雲の長軸、短軸の長さを測定し、J. Proudman の式を用いて長軸、短軸両方向の拡散係数も算出してみた。このように航空写真を利用した海水中の物質拡散現象を解析する方法について比較検討することを目的とした。

III 方 法

野外実験——実験は昭和44年10月13日に行なわれた。実験地は東京湾浦賀水道、上総湊湾の沖合約4 kmの地点である(図-1参照)。実験に使用した染料はウラニンの2%溶液、投入量は100 l 投入方法は源投入であった。染料投入後は約5分の間隔で航空機から染料雲の写真撮影を行なった。使用した航空機はセスナ、カメラは航空カメラ RC-5 (焦点距離: 152.91 mm, 画枠: 23cm×23cm)、フィルムはパンクロマチックフィルム、フィルターは540 m μ のシャープカ

ットフィルターを用いた。なお撮影高度は約450m、撮影縮尺は約1:3,000であった。

撮影作業と併行して、海上では観測船により、次の観測を行ない、条件を確立した。1. 気温、2. 水温、3. 風向・風速、4. 流向・流速、5. 透明度、6. 日射、7. 風浪、8. 船の位置。

室内実験——航空写真で測定される染料雲の写真濃度の実態を知るため筆者等はローダミンとウラニンBの既知濃度(2%, 0.2%, 0.02%, 0.002%)の水溶液を作り、厚さを一定にしてビーカーに入れ、水を入れた水槽の表面にこれを浮かし、手持ちの35 mmカメラ(ニコンF)で写真に撮るという実験を行なった。

このサンプルをD-250-1型写真濃度計を用い、染料の写真濃度を測定して、染料濃度と染料の写真濃度の関係を調べてみた。

実験は、①バックグラウンドが異なった場合どうなるか、②染料の厚さを変えた場合どうなるかを調べるために、染料の厚さを1 cmのケースと5 cmのケースについて、また、水槽に入れる水は透明の場合とマラカイトグリーンで着色した場合とについてそれぞれ条件を組合せて撮影を行なった。写真撮影には、三脚を用いて染料を入れたビーカーとレンズの光軸が直角になるよう固定して行った。水槽に入れた水の高さは78 cm、水面からレンズ面までは100 cmであった。

測定——海水中に放出した染料の各時間毎の面積、ならびに写真濃度の測定には、アジア航測株式会社と応用電気株式会社が開発したD-250-1型精密写真濃度測定装置を用いた。本機の構造ならびに解析方法の詳細については西川⁴⁾が報告しているので、ここでは簡単に概要を述べる。

本機の構造は、光電機構部、電子計数部、電源部、記録部の四つのユニットから成っている。本機を用いての解析方法には次のような方法がある。1)距離の測定、2)等濃度レベルでの面積測定、3)全濃度面積の測定、4)濃度波形の解析などである。

図-1 実験地域略図

写真濃度は通常次式で表わされる。

$$D = \log \frac{I_0}{I} \quad (1)$$

ただし、 I_0 入射光の強さ、 I 透過光の強さ

D 写真濃度

すなわち、入射光に対する透過光の比の逆数を対数で表わしたものである。この装置では透過光の強弱が光電子倍像管により電流の強弱に変換され、それをそのまま電圧の変化として記録される。したがって、写真濃度として表現したい時は、観測時のスリット幅と絞りを同じ状態でウェッジ（光学楔）のをせ記録をと比較する必要がある。

本機はこのように写真濃度（濃淡）を光電出力として測定できるほか、次のような特徴をもっている。

1. 透過濃度測定と反射濃度測定を1台の装置で、スイッチの切替一つで操作できる。
2. 試料はX軸方向に自動走査できる。X軸の最大走査速度は1,000mm/min で6段階に切り替えられる。
3. したがって、記録計を連動させることにより、測線上の濃淡を波形記録として抽出できる。
4. Y軸送りは0.1mm～2mmまで4段階に切り替えられる。
5. 観測スリットは写真の縮尺に応じて、 $20\mu \times 20\mu \sim 1\text{mm} \times 1\text{mm}$ まで変えることができる。
6. 試料の濃度によって3段階（0, -20db, -40db）感度切り替が可能である。
7. 波形記録を得る際、電氣的にフィルターをかける（3段切り替可能）波形の選択をすることができる。
8. 波形記録をみて、バックグランドがハレーション等により傾斜を持っている場合、ある程度これを補正できる装置をもっている。
9. 面積積算計によって一定濃度以上の面積積算が可能である。

なお、本実験における測定諸元は次の通りであった。

スリット	$4\mu \times 20\mu$
X軸送り速度	20mm/min
絞 り	11
感度切替	-20db
波形フィルター	3
記録紙送り速度	120mm/min

解析・計算——①染料雲の写っている一連の航空写真の中から9枚選び、D-250-1型写真濃度計を用い、写真上Y軸方向に0.2cmごとに移動してX軸方向に連続した染料雲の濃度波形をとり、これから染料雲の写

真濃度分布図を作成した。この濃度分布図から各濃度ごとの面積を測定し、面積と写真濃度からヒソグラフを作り、染料雲の平均写真濃度を求めた。さらに、平均の写真濃度と面積比から求めた染料濃度比との関係を明らかにする方法をとった。この結果はおそらく、室内実験で行なった既知濃度の染料溶液とそれを写真にとった時の写真濃度との相関と類似した値を示すであろう。

染料濃度をつかっの拡散係数の算出には次の計算式を用いた。

$$\frac{\partial c}{\partial t} = K_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (2)$$

ただし、 c は染料濃度、 t は時間、 x は染料雲の長軸方向の距離である。

ここでいう染料濃度とは、染料の粒子数（絶対量）は一定として、染料の写真濃度比から各写真における染料濃度を求めたものを使用した。鉛直方向への拡散は水平方向のそれに比べ非常に小さいものとして無視した。

②次に写真上で染料雲の長軸方向（ x ）とそれに直角な方向（ y ）を測定し、J. Proudman の式によりY軸方向の拡散係数を計算してみた。

計算式は次の通りである。

$$\frac{K_y}{u} = \frac{1}{4} \frac{\partial y^2}{\partial x} \quad (3)$$

ただし、 u は平均流速である。

また次式を用いて、 x 軸方向の拡散係数も算出してみた。

$$\frac{K_x}{u} = \frac{\frac{\partial c}{\partial x}}{\frac{\partial^2 c}{\partial x^2}} \quad (4)$$

ただし、 c は染料の粒子数を一定として、染料の写真濃度と染料雲の面積から求めた染料濃度であり、①の場合のように1枚の写真の中での濃度と面積の比から計算したものではない。

IV 観測結果およびその解析

1. 海象・気象条件

海象気象の観測は、11時45分漲潮開始前後から開始され、12時18分染料投入、その後約3時間、午後3時まで続けられた。

この日の天気は晴、気温は16.5℃であった。風は観測を始めた頃は北東～北北東の風が5.0～5.8m/sと強く、風浪が強かったが、午後2時頃からは2.5～3.0m/sと多少弱くなった。

水温は表面で、18.4℃、水深3.0m付近で0.1℃程高

くなっており、また水深8～10mで18.4℃に戻っており顕著な躍層はみられなかった。流向・流速は、観測開始頃表層(0.5m)で10cm/sec, 210°であったが14時30分頃には5 cm/sec と流速を減じ流向も120°とかわっていた。流速の鉛直分布は表層よりも水深2～3mの方が若干早い値を示していた。また水深7～8m以深ではそれより上層部とは流向がことなり、上層が南～南西に流下しているのに、下層では東ないし北東流であった。

透明度は約4.5m、また写真濃度に影響を与えと思われる日照度は観測開始時から約1時間までは $55.76 \sim 51.57 \text{ mV} \cdot \text{gr} \cdot \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ であったが13時を過ぎる頃から漸次照度が落ち、13時15分には $48.79 \text{ mV} \cdot \text{gr} \cdot \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ 、14時35分には $26.48 \text{ mV} \cdot \text{gr} \cdot \text{cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ となっていた。

なお、これらの観測結果については、まとめて表1に示す。

2. 室内実験結果

前にも述べたように撮影された航空写真は濃度計でその濃度を測定することができるが、その濃度は実際の染料濃度とどのような関係があるか、また本当に染

料濃度を反映しているかについては不明の点が多い。

この点を明らかにするために、実験室内で既知の濃度の染料を水槽中に沈めて、写真を取り、その濃度の測定をすることにより、写真濃度と染料濃度の関係を明らかにすることができることを期待した。

用いた染料はローダミンBとウラニンで、それぞれ濃度、2%, 0.2%, 0.02%, 0.002%のものを厚さ1cm, 5cmの2種類づつの試料について撮影した。厚さを変化させた理由は同一濃度の試料でも厚さの変化に応じて、写真濃度がどのように変化するかを確認する必要があるからで、これは海水中の染料拡散の多くはその下方への拡散が未知数であることから重要な意味をもつだろう。

このようにして得られた値は、図2にそれぞれ示した。全部のデータは必ずしも良い結果を得てはいないが、大体の傾向は明らかにされた。写真濃度 y (mV)で示し、染料濃度を c (%)で示すと、両者の関係は $\log -\log$ グラフ上ではほぼ直線となる。これは $\log y = a \log c + b$ の関係が成立することを示すものである(a, b はそれぞれ定数)。これは実験室内での結果であり、必ずしも野外での観測に適用することはできないかとも考えられる。しかし、野外と室内での結果の

表 1 海象・気象観測結果

観 測 時 刻		11時45分	12時00分	12時15分	12時30分	12時45分	13時00分	13時15分	13時30分	13時45分
天	気	○	○	○	○	○	○	○	○	○
気	温	16.5℃	—	—	—	—	—	—	—	—
日	射	—	55.76	55.76	54.36	52.97	51.57	48.79	44.60	40.46
風	向	NE	NNE	NE	NNE	NNE	NE	ENE	NE	NE
風	速	5.83m/s	5.00	4.66	4.08	4.66	4.00	3.58	3.83	3.66
波	浪	3	3	3	3	3	2	2	2	2
透	明	度	—	4.75	4.75	4.70	4.70	4.75	4.50	4.50
表	層	水	18.6℃	18.5	—	18.6	18.5	18.5	—	18.4
—1m	の	流	—	270°	—	230	—	—	160	—
—1m	の	流	—	0.2m/s	—	0.05	—	0.10	—	0.10

観 測 時 刻		14時00分	14時15分	14時30分	14時45分	15時00分
天	気	○	○	○	○	○
気	温	—	—	—	—	—
日	射	38.33	33.45	31.36	26.48	—
風	向	NNE	NNW	N	NE	NE
風	速	2.50	2.16	2.91	3.46	2.83
波	浪	1	1	1	1	1
透	明	度	4.50	4.50	4.30	4.80
表	層	水	18.4	18.6	—	18.6
—1m	の	流	180	0	170	—
—1m	の	流	0.05	0.10	0.05	—

図-2 室内実験における染料濃度と写真濃度との関係

対応は、定数 a, b の違いと考えれば、原則として $\log y$ (mV) は $\log c$ と比例関係にあると、考えることには大きな誤りはないだろう。これは現在まで明らかにされている水中の溶存物質と光の吸収の関係がほぼこれと類似の結果を得ていることから推定できる⁶⁾。

この実験で得られた結果は航空写真からの染料拡散

めて不規則な形態を示し、各地域に閉曲線が現われていることである。これは染料の拡散が均一に行なわれず、染料の塊りが、いくつかの中心となって拡散していく姿を暗示する。

この写真濃度から染料濃度推定に使用した方法について若干の吟味をしたい。使用した溶液は2%のウ

ラン 100 l であるので、染料は 2 kg となる。この量は各染料雲について原則として同一量であるべきである。この仮定にもとづき、毎時の染料雲の面積×染料濃度=2,000 g (ウラン) の式が成立つと考える。ここで染料雲の面積は求められるが、前に述べたように染料雲自体が均一な写真濃度を示していないことから、全体の面積×染料濃度を 2,000 g とするには染料濃度の平均値を求める必要がある。その平均値を求めるための手段として、ここでは一定濃度の染料雲面積の加積曲線から平均濃度を求めた。これは、堆積物の平均粒径を求めるのに最も適当と考えられている方法と同じものである。この結果は表 2 に示す。ここで最初に示される値は各染料雲の平均濃度 (mV) である。10枚の写真の平均濃度は染料雲の最大面積に反比例することが解る。次に mV を染料の濃度に直すには、一つの仮定が必要となる。それは染料の厚みは大体一定とすることで、ここではその厚さを 10cm と仮定した。この仮定のもとに写真番号 6085 (一番最初の撮影) の染料雲面積 1436 m² × 平均染料濃度 (c) × 厚さ = 2,000 g と置いて、平均染料濃度を求めると、0.027% となった。以下同様に各写真の面積比から各々の平均染料濃度を求めた (表 2)。

このようにして求めた各写真の平均写真濃

Photo No. 6102
TIME 13h13m47s

Photo No. 6086
TIME 12h37m51s

図-3 染料雲濃度分布図

表-2 加積曲線から求めた染料雲の平均染料濃度

写真番号	撮影時間	染料雲の 最大面積 m ²	濃度面積加積曲線		平均濃度 mV	平均染料 濃度 %
			25%	75%		
6085	12 h 37 m 43 s	1436	4.00	0.57	2.29	0.0278
6086	12 h 37 m 51 s	1593	2.78	0.49	1.64	0.0251
6089	12 h 48 m 16 s	2722	2.05	0.19	1.12	0.0147
6090	12 h 48 m 25 s	2937	2.07	0.27	1.17	0.0136
6096	13 h 03 m 27 s	5922	1.12	0.22	0.67	0.0068
6097	13 h 03 m 35 s	5600	1.10	0.25	0.68	0.0071
6102	13 h 13 m 47 s	6772	0.56	0.19	0.38	0.0059
6103	13 h 13 m 56 s	6538	0.56	0.18	0.37	0.0061
6105	13 h 18 m 45 s	7316	0.53	0.18	0.36	0.0055
6106	13 h 18 m 54 s	8943	0.59	0.20	0.40	0.0045

図-4 染料濃度 (mV) と染料濃度との関係

図5-1 濃度面積加算曲線

度 mV と平均染料濃度との関係を log-log グラフで示すと 図4 のように、直線関係が成立した。このことと、先に述べた室内実験での同様な結果等から判断して、このような方法で求めた。染料濃度を写真濃度 (mV) から読み取るのはそれほど大きな誤りはないと考えても良いだろう。現場での採水による染料濃度の

補正がなされないこの実験では、この方法が一つの方法であると考えたい。

4. 拡散係数について

a) 染料濃度から求めた拡散係数

前に述べた方法で求めた染料雲の濃度—染料濃度がほぼ正しいとの前提が成立てば、一般の拡散の方程式中に染料濃度を代入することで拡散係数が直接求められるであろう。

各時刻における染料雲の位置は時々刻々変動している。そこでここにおける拡散は、原点を移動する染料の中心にとり、移動座標として考え、染料雲の外に座標軸は設定しなかった。この原点を中心に X 軸および Y 軸を設定し、X 軸上には 20 m 置き、Y 軸上には 5 m 置きにそれぞれ、 $X_1, X_2, \dots, Y_1, Y_2, \dots$ を取り、 K_x の拡散係数はそれぞれ $X_1 - X_2, X_2 - X_3, \dots$ の間で時間的に連続した 2 枚の写真の濃度変化として計算した。 K_y についても同様である。経過時間は、2 枚の写真の撮影時間から求められる。こうして得られた K_x, K_y は表-3 に計算の順に示した。

大体の値は K_x で $10^6 \sim 10^4$ のオーダーで、現在までに得られた拡散係数の値としては比較的大きな値を示す。染料雲内部での分布や、時間的な変化についてみると、規則性はほとんど認められない。しかし大きくみれば観測時間の経過に伴って、数値が大きくなり、かつ、ばらつく傾向が認められる。これは染料の面積が大きくなるにつれ、染料濃度も薄まり、濃度計の誤差、それにつれて、染料濃度への換算に伴う誤差等が考えられる。

また K_y の値についてみると、 $10^4 \sim 10^6$ の値が大部分で K_x の値に比較して、 10^2 ほど小さい値を示して

図5-2 濃度面積加算曲線

表-3 染料雲の濃度分布か

	K_x		K_x		K_x		K_x		K_x	
写真番号	6085	6086	6086	6089	6089	6090	6090	6096	6096	
撮影時間	h m s 12. 37. 43	h m s 12. 37. 51	h m s 12. 37. 51	h m s 12. 48. 16	h m s 12. 48. 16	h m s 12. 48. 16	h m s 12. 48. 25	h m s 12. 48. 25	h m s 13. 03. 27	h m s 13. 03. 27
経過時間	(s) 8		625		9		902			
軸名	染料濃度 C		C		C		C		C	
X_1	$\times 10^{-3}$ 68	$\times 10^{-3}$ 40	$\times 10^{-5}$ 40	40	6.4×10^4	40	47	47	33	1.5×10^3
X_2	54	40	40	33	2.6×10^3	33	26	26	33	4.9×10^2
X_3	0	0	0	26	6.4×10^6	26	26	26	19.5	2.1×10^3
X_4			0	0		0	1	1	19.5	1.7×10^5
X_5						0	0	0	19.5	4.4×10^3
X_6								0	0	
X_7	$\times 10^{-3}$	$\times 10^{-3}$	K_y		K_y			K_y		K_y
Y_1	4	26	1.2×10^6	26	13	13	40	6.0×10^4	40	6.2
Y_2	6.2	0	3.1×10^4	0	13	13	19.5	19.5	1	5.3×10^2
Y_3	0	0		0	1	1	6.2	6.2	1	4.6×10^2
Y_4				0	6.2	6.2	1	1	1	2.6×10^2
Y_5				0	0	0	0	2.0 $\times 10^4$	0	2.6×10^2
Y_6								0	0	2.6×10^2

表-4 染料雲中の濃度が均一と見なした時の拡散係数
(単位 $\text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$)

写真番号	撮影時間	K_Y	K_X
6085	12h37m43s		
6086	12h37m51s	1.1×10^2	1.3×10^3
6089	12h48m16s	9.3×10^1	5.5×10^3
6090	12h48m25s	1.1×10^2	1.1×10^5
6096	13h03m27s	8.1×10^1	1.1×10^4
6097	13h03m35s	5.0×10^1	8.9×10^3
6102	13h13m47s	2.9×10^3	2.5×10^5
6103	13h13m56s	8.5×10^1	1.3×10^5
6105	13h18m45s	1.7×10^2	4.1×10^3
6106	13h18m54s	7.0×10^1	1.3×10^5

いる。この値の中で、最後に近い写真からの数値は比較的大きな値を示している。これも K_X とほぼ同様な結果と考える。同一染料雲内で、 $X_1, X_2, \dots, Y_1, Y_2, \dots$ のそれぞれの拡散係数が異なるのは、先に染料雲濃

度の等値線の不規則性を指適したのと同様に染料が一樣な拡散をせずに、極めて不規則な拡散すなわち渦動の不規則さを示すためと考えられよう。これは染料拡散の研究には乱れのスケールの問題をどのようにとらえたらいのかの問題となる。

h) 染料雲が中心から周辺まで一樣な濃度であると仮定した時の拡散係数

ここでは平均濃度は染料雲面積に反比例すると考え、一つの染料雲は全体が等濃度であると仮定している。こうして求めるものであるから、染料雲内の拡散係数は求められず、2つの連続した写真内での拡散係数を求めることになる。この結果 (K_X, K_Y) は表-4 に示す。この K_X の値は $10^3 \sim 10^5$ のオーダーであり、前の写真濃度から求めた値より、若干小さい。最も多い

ら 求 め た 拡 散 係 数

		K_x			K_x			K_x			K_x			K_x
6096	6097		6097	6102		6102	6103		6103	6105		6105	6106	
h m s 13. 03. 27	h m s 13. 03. 35		h m s 13. 03. 35	h m s 13. 13. 47		h m s 13. 13. 47	h m s 13. 13. 56		h m s 13. 13. 56	h m s 13. 18. 45		h m s 13. 18. 45	h m s 13. 18. 54	
8			612			9			289			9		
C			C			C			C			C		
33	33		33	1		18	13		13	13		13	17	
		5.0×10^5	33	18						2.6×10^4				5.3×10^6
33	19.5		19.5	13		13	18		18	11.5		11.5	19.5	
		5.0×10^5						9.7×10^4		8.0×10^3				5.2×10^5
19.5	13		13	7.4		7.4	6.2		6.2	1		1	13	
								4.6×10^4		1.2×10^6		4.2×10^4		1.7×10^6
19.5	13		13	8.8		8.8	6.2		6.2	3.6		3.6	17	
		2.7×10^6						1.5×10^4		2.9×10^6		1.4×10^5		1.0×10^6
19.5	10		10	10		10	3.6		3.6	3.6		3.6	8.8	
		1.6×10^5						3.4×10^2		1.9×10^5		1.4×10^5		1.1×10^6
0	0		0	1		1	3.6		3.6	6.2		6.2	10	
								6.5×10^3		2.5×10^5		3.7×10^3		1.0×10^5
		K_y	0	0		0	0		0	0		6.2	10	K_y
6.2	6.2		6.2	4.9		4.9	3.6		3.6	6.2		6.2	6.2	
								3.5×10^2						2.8×10^5
1	1		1	2.4		2.4	3.6		3.6	6.2		6.2	3.6	
		3.1×10^4						4.1×10^2						2.8×10^5
1	0		0	1		1	1		1	3.6		3.6	1	
								2.3×10^4						2.8×10^5
1	0		0	1		1	0		0	1		1	1	
								4.1×10^2						2.8×10^4
1	0		0	0		0	1		1	1		1	0	
		3.1×10^4						2.3×10^4						2.8×10^4
0	0					0	0		0	0		0	0	

のは 10^3 のオーダーで、まれに 10^4 , 10^5 のオーダーが目につく。全体としてのばらつきは少ない。

K_y は $10^1 \sim 10^3$ のオーダーで K_x に比較してやや小さい。また染料濃度から計算した K_y の値も若干小さめにでている。この値もそれほどばらつきは認められず、大体平均的な値を示す。

以上の2つの方法による染料拡散の解析を比較してみると、両者の値に若干の違いが認められ、染料濃度から求められたものの方が若干大である。理論的には染料濃度から拡散係数は求められるべきであることはいうまでもない。しかし、ここでとられた値はいくつかの仮定のもとに計算したものであるため、それから得られた染料濃度の値に若干の問題が残る。しかし、なおこれでも染料雲内の濃度を一様と仮定して求める

値よりも意味があるだろう。すでに前回の報告で指摘した問題点の中での染料濃度の平面的分布については濃度計の使用と、若干の仮定である程度解決し得る見通しを得た。残る問題は、鉛直方向の染料の広がりや平面上の写真濃度にどのように反映するかで、これについては、今回行った室内実験では、なお不備な点が多く、解決するには至らない。

参 考 文 献

- 1) 淵本正隆, 田中邦一 “航空写真を用いた海洋における染料拡散実験” 写真測量 Vol. 7, No. 1 1968, pp 8~20
- 2) 堀内清司, 田場稔, 淵本正隆, 田中邦一 “海洋中の染料拡散について” 写真測量 Vol. 7, No. 1968, pp 53~61
- 3) 西川吉一 “フィルムのリーディング” 非破壊検査 Vol. a19, No. 8 1971, pp 411~417
- 4) J. Proudman “Dynamical Oceanography”
- 5) 吉村信吉 “セッキの白円板による透明度の海洋及び湖沼学的意義”, 海と空 16 (1936) pp 23~36