

沿岸域表層における水平乱流拡散係数の水深依存性

2008年3月 自然環境学専攻 66722 中嶋理人

指導教員 教授 道田豊

キーワード：水平乱流拡散係数，GPS 搭載漂流ブイ，水深依存

1. はじめに

海洋に対する人間活動の影響が拡大している現在，海洋中で熱や物質がどのように，またどの程度の速さで広がっていくかを予測することは海洋学の重要な課題である．水平乱流拡散係数はそうした熱や物質の分散過程を規定する基本的パラメータのひとつである．

そのため，今までにも数多くの観測研究で，染料や漂流浮標を用いて海水の動きを追跡し，水平乱流拡散係数の算定値が報告されてきた．それらの結果から，水平乱流拡散係数は，対象とする水平スケールに依存することが確認されたが，それらの研究はどれも海面ごく表層のみを対象としていた（柳・樋口[1982]など）．海洋中において，乱流拡散の対象となる物質は必ずしも一定深度にとどまるものばかりではなく，また乱れに関わる海水の運動状態が鉛直一様であるとは考えにくい，水平乱流拡散係数の鉛直分布については従来ほとんど評価されておらず，わずかに係留流速計による観測データを用いて係数を計算した例がある程度である（加藤ら[1978]）．

本研究では，沿岸域表層数十 m の範囲ながら任意の深さの海水の動きを簡易に測定する手法を確立し，水平乱流拡散係数の深度依存性を評価した．

2. 実験

GPS 搭載漂流ブイ（図 1）は，海水中にある抵抗体の水平方向の動きを，ブイの頂に設置した GPS 携帯端末によって測定する観測装置である．抵抗体とブイを繋ぐロープの長さを変えることで抵抗体の存在する深度を調節し，さまざまな水深における水平方向の流速データを取得することができる．

本研究では 2006～2007 年にかけて，大槌湾およびその周辺において観測を行い，計 34 グループの漂流ブイ群を放流・追跡した．各グループは多角形状に配置された 5～6 個の漂流ブイにより構成されている．また，抵抗体の水深はグループごとに 1, 6, 11, 16m のいずれかに設定されている．

観測により得られるブイ群の位置情報に対し Okubo and Ebbesmeyer[1976] の解析方法（Sanderson et al. [1988]による修正版）を適用し水平乱流拡散係数を算出した．解析の基本的な考え方は，各ブイの流速をテイラー展開し，『重心の流速』『1次流速勾配』そして『乱れ速度』の3つに分解することにある．

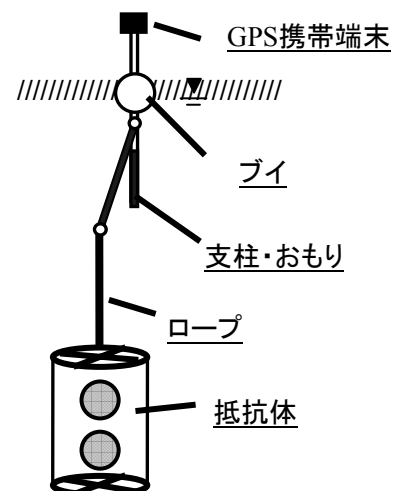


図 1 GPS 搭載漂流ブイ概念図

3. 結果・考察

算定された水平乱流拡散係数と水平スケールとの関係を図2に示す。ここでブイ群の水平スケールとは $L = \sqrt{2\sigma_x\sigma_y}$ である。 σ_x, σ_y はそれぞれブイ群の重心に関する x 方向, y 方向の距離の標準偏差をあらわす。

本研究での対象水深全てにおいて、水平乱流拡散係数のスケール依存性が確認された。ここで、図2中の実線は今回の結果を累乗近似した回帰式を、また破線は既往研究における回帰式を示している。今回得られた回帰式の累乗係数 1.99 ± 0.11 (95%信頼区間) は過去の値 1.22 (柳・樋口[1982]) に比べ大きくなった。

乱流拡散は対象とするスケールと同程度もしくはそれ以下の大きさの乱れによって引き起こされる。ここで、今回のように抵抗体がある程度の大きさを有する場合、小さな乱れは相殺されてしまうが、その影響は小さなスケールにおいて相対的に顕著となる。それが既往研究との累乗係数の差として表れた可能性が考えられる。このことから海洋拡散現象を扱うとき、対象物質の大きさと扱うスケールによっては乱流拡散係数のスケール依存度合いを調節する必要性が示唆される。

次に水深ごとに拡散係数の値を比較すると、スケール依存性に比べ小さいながら、深いほどやや減少する傾向が見られた。さらに、同じ深さ・同じスケールでも、水平乱流拡散係数にばらつきがあることに注目し、各水深における拡散係数のばらつき度合い(標準偏差)を比較した(図3)。比較の際は上述の回帰式により、水平スケールを 100m に規格化した後の水平乱流拡散係数を用いた。比較の結果、下層に比べ上層では水平乱流拡散係数のばらつきが大きいことが分かる。

本研究で対象とした比較的大きなスケールでの乱れは一般に強い非定常状態にある。そのため水平乱流拡散係数は間欠的に大きくなるが、深くなるにつれて拡散係数のばらつき及び値自体が小さくなったことから、その増大要因としては風や波浪による海表面からの乱れのインプットが支配的であったと推察される。

引用文献

- 加藤正進・和田明・角湯正剛 (1978): 水理講演会論文集, 第 22 回, 55-60.
 Okubo, A. and C. C. Ebbesmeyer (1976): Deep-Sea Res., 23, 349-352.
 Sanderson, B. G., Pal, B. K., and Goulding, A. (1988): J. G. R., 93, 8161-8162.
 柳哲雄・樋口明生 (1982): 海岸工学論文集, 第 29 巻, 580-583.

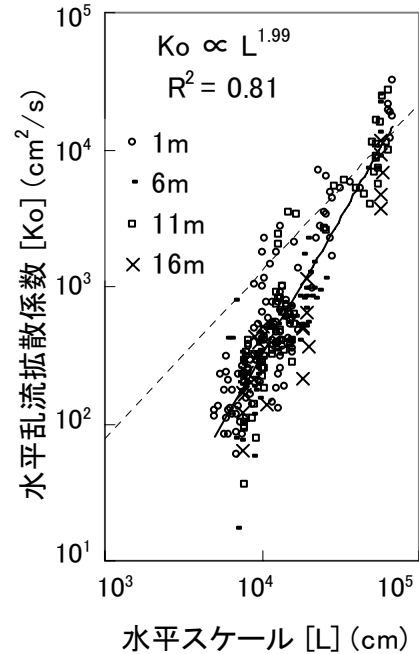


図2 水平乱流拡散係数のスケール依存性

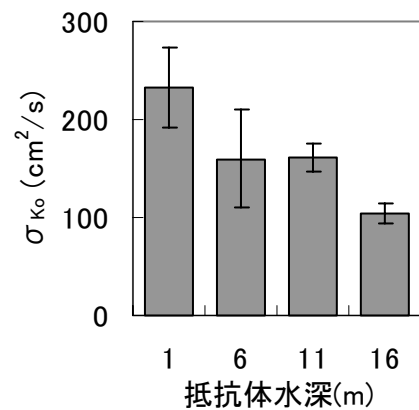


図3 水深別水平乱流拡散係数の標準偏差 (観測間平均値±標準誤差)

Depth Dependence of Horizontal Eddy Diffusivity at Coastal Area

Mar. 2008, Department of Natural Environmental Studies 66722 Masahito NAKAJIMA

Supervisor; Professor Yutaka MICHIDA

Keywords; Horizontal eddy diffusivity, GPS tracked drifter, Depth dependence

1. INTRODUCTION

Human activity has recently such a significant impact on the ocean, that it is important to predict how or how fast particles spread in the ocean. The horizontal eddy diffusivity is a fundamental parameter to determine the dispersion process of particles in the ocean. For assessing the diffusivity, it is essential to address statistically the position variation of fluid particle. There are some kinds of methods for measuring fluid particle behavior using dye or drifters. So far, the horizontal eddy diffusivity of the ocean has been evaluated through such methods and scale dependence of that coefficient has been confirmed, but only on the sea surface (Yanagi and Higuchi [1982]).

The targets of diffusion does not necessarily stay in a constant depth, moreover, the kinetic state of water column won't be constant vertically. However, vertical profile of the horizontal eddy diffusivity has been scarcely assessed; there was only a case in which the diffusivity was calculated at some depths from the data of mooring current meters (Kato et al. [1978]).

In this study, we established a simple observing system for measuring flow distribution in an arbitrary layer and estimated depth dependence of the horizontal eddy diffusivity in coastal waters.

2. EXPERIMENT

GPS-tracked drifter (Fig.1) is an equipment to measure the horizontal movement of fluid particle in the ocean by using GPS-logging cell-phone on the top of a buoy. I can measure horizontal Lagrangian velocity in an arbitrary layer by changing the length of the rope between the buoy and the drogue and adjusting the depth where the drogue exists. I made observations at Otsuchi bay in Japan (and its surroundings) from 2006 to 2007 and deployed 34 groups of the drifters forming a polygon into some depths (1, 6, 11, 16m). Each group included 5 or 6 drifters.

The horizontal eddy diffusivity can be calculated by analyzing the location data of drifters as mentioned in Okubo and Ebbesmeyer [1976] (corrected by Sanderson et al. [1988]). The basic concept of this analysis is to expand the velocity data of drifters in Taylor series and to decompose it to three components; the speed of centroid, the linear velocity gradient and the turbulent speed.

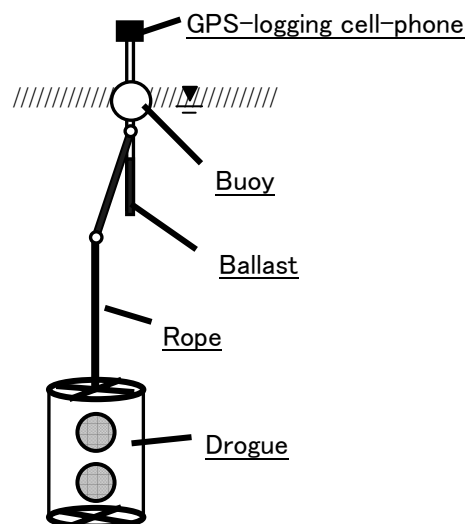


Fig.1 GPS tracked drifter conceptual diagram

3. RESULT and DISCUSSION

Figure 2 shows the relationship between the estimated horizontal eddy diffusivity, K_o , and a scale of diffusion, L . The diffusion scale is defined as $L = \sqrt{2\sigma_x\sigma_y}$, where σ_x, σ_y represent x, y components of standard deviations of drifters displacement.

Scale dependence of the horizontal eddy diffusivity is confirmed at all depths. The solid line in the graph represents power approximation of this experimental result. The slope of this regression line is bigger than that reported in previous study (broken line; Yanagi and Higuchi [1982]).

Eddy diffusion is caused by turbulence which is smaller than the diffusion scale. In this case, since the drogue has a certain size, small size of turbulence is negated. This effect becomes relatively pronounced in a small diffusion scale; therefore it might appear as the difference of the slopes. For these reasons, the degree of scale dependence of the diffusivity should be adjusted depending on the size of the targets and the scale of diffusion.

Compared at each depth, the horizontal eddy diffusivity tends to decrease with depth, though this effect is weaker than that of the scale dependence. Note that the value of the diffusivity varies even at a same scale and depth. I compare standard deviations of the diffusivity at each depth after standardizing the coefficient as the diffusion scale would be 100m (Fig.3). This standardization is based on the regression equation mentioned above. As a result, the horizontal eddy diffusivity in the upper layer varies more than in the lower layer.

Because large turbulence as treated in this study is under nonstationary state, the horizontal eddy diffusivity grows intermittently. Considering that the value and the variation of the diffusivity diminish with depth, the main trigger of the growth of the diffusivity may be at the sea-surface; wind and wind waves.

REFERENCES

Kato, M., Wada, A. and Kadoyu, M. (1978): Annu. J. Hydraulic Eng., JSCE, 22, p.55-60.
 Okubo, A. and C. C. Ebbesmeyer (1976): Deep-Sea Res., 23, p.349-352.
 Sanderson, B. G., Pal, B. K., and Goulding, A. (1988): J. G. R., 93, p.8161-8162.
 Yanagi, T. and Higuchi, A. (1982): Annu. J. Coastal Eng., JSCE, 29, p.580-583.

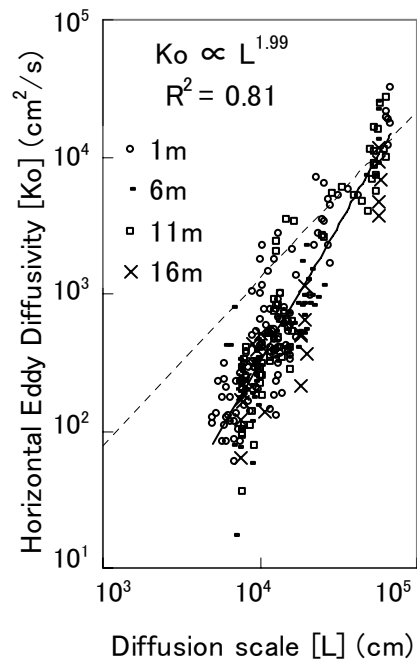


Fig.2 Diffusion diagram for horizontal eddy diffusivity versus scale of diffusion.

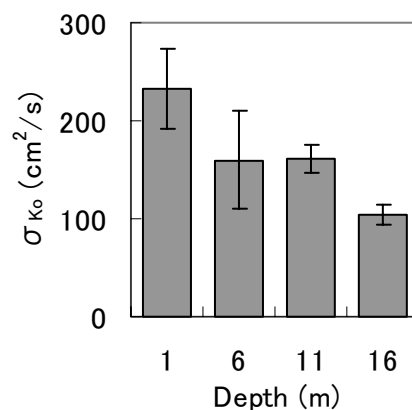


Fig.3 Standard deviation of diffusivity (σ_{K_o}) at each depth. Error bar indicate standard error of the mean.