

# 沿岸域における粒子分散に関する研究

2006 年 3 月 環境学専攻自然環境コース 46701 青柳 大志

指導教官 助教授 道田豊

キーワード；分散、拡散、GPS、漂流ブイ

## 1. はじめに

本研究は海洋沿岸域における物質の広がりに関する研究である。海洋拡散に関する研究は海洋物理の問題にとどまらず、海洋に対する人間活動の影響が増大するにつれて、海洋汚染問題や水産学的に重要なものの分散にまで対象を広げている。

実海域において物質の広がりパラメータ：拡散係数を見積もる方法として、1970 年代までは主に染料が用いられ、湾内や沿岸域の、数百 m 程度の水平スケールにおける拡散係数が評価された。染料放出実験は比較的簡便に実施することができ、数百 m 程度の規模の広がりならば測定が容易である。しかし、その扱いは染料雲全体に関するものであり、染料内部の水塊小領域がどのように運動し、広がっていったのか記述することは困難であった。その一方で、漂流浮子による方法も用いられた。漂流浮子は染料と比較して各粒子の運動を明確にとらえることができる。しかし、従来用いられた漂流浮子は、浮標の数、位置測定精度などの点が十分に満たされていなかった。

本研究では要求水準を満たす漂流浮子として GPS 搭載漂流ブイを開発した。この方法により、湾内や沿岸域における物質の広がりについて拡散係数を再評価し、当該拡散係数を与えるにいたった各ブイの運動の詳細を含めた分散の記述を試みた。

## 2. データ・解析方法

ブイの放流実験を 2003 年～2005 年にかけて岩手県大槌湾で行った。ブイの抵抗体水深は 1m または 5m で、各実験ではブイ群の水平スケール（各ブイの間隔）を変えている。大槌湾では表層から河川水を含む海水の流出、低層から外洋水の流入がみられる鉛直循環の様相を呈しており、ブイ群の漂流の様子も概ねその循環にしたがって湾外へと流出する傾向が見られた。しかし湾内での放流位置・潮流・海上風などの違いによって、各実験で多様な漂流パターンを示し、それに伴ってブイ群もさまざまな広がる様子が観察された。

現実の海洋、特に地形の影響が大きい沿岸海洋では、強弱の程度を問わなければ、流れは多くの場合シアをもつ。シアとは速度勾配のことで、隣り合う流れの大きさや方向が異なることを意味しており、流れのシア効果によって粒子群の収束・発散や特定の方向への伸張などの変形が生じる。これと乱れのランダム運動による拡散が組み合わさって粒子群は広がっていく。そこで今回は、観測したブイ群の見かけの広がり（見かけの拡散係数）から平均流のシアの効果を取り除き、乱れのみによる拡散係数（乱流拡散係数）を求めた。

## 3. 結果・考察

乱れは大小さまざまな渦の集合とみなすことができる。相対粒子拡散の考え方では、粒子群の拡散に寄与するのは、その広がりと同程度かそれ以下の大きさの渦である。したがって、粒子群が広がっていくにつれて広がり寄与する渦のサイズ：乱れのスケールも大

きくなっていく。図にはブイ群の見かけの広がりの変化から求めた見かけの拡散係数および乱流拡散係数の各実験時間における平均値と拡散スケールの関係を示す。比較対照として、北部タイ湾、駿河湾における GPS ブイ放流実験の結果のほか、“Richardson の 4/3 乗則”、Okubo (1971 ; 染料)、柳・樋口(1982 ; 染料と漂流浮子)の結果も示している。

まず見かけの拡散係数 (図(a)) を見てみると、スケールが大きくなるほど値が大きくなる傾向が見て取れるが、同じスケールでばらつきが大きい。また Okubo(1971)の結果と比較しても、オーダーはほぼ同じであるが、あまりよい一致は見られない。これはブイ群の見かけの広がりが流れの収束・発散の影響を大きく受けるためと考えられる。

一方、乱流拡散係数 (図(b)) を見てみると、見かけの拡散係数と比較して 1 オーダー程度値が小さい傾向が見て取れる。そのため今回対象とする水平スケールにおいて、見かけのブイ群の広がりに対して乱れのランダム運動による拡散の効果は小さいと考えられる。また、ブイの数が少ない実験や、スケールが小さい実験、継続時間の短い実験では相対的に誤差が大きくなり、乱流拡散係数の時系列において負の値をとることがあり、乱流拡散係数の平均値が小さくなってしまふ。誤差の影響を考えずに図(b)を見ると、柳・樋口(1982)のような直線関係は見取れないが、ここでは誤差を考慮すれば、彼らとほぼ同様な乱流拡散係数のスケール依存性を見出すことができる。

実験は大槌湾内のさまざまな位置・水深・スケールで異なる季節に行っており、得られた漂流結果も多様であるにもかかわらず、明瞭なスケール依存性が見られている。ならびに北部タイ湾、駿河湾における結果も含めて考えると、このような直線関係は海域 (ごとの流動) に依存しない乱流の普遍的な性質であり、したがって乱れの渦のスペクトル形は、今回対象としているスケール (慣性小領域) では海域に依存しない一定の形状をしていると考えられる。

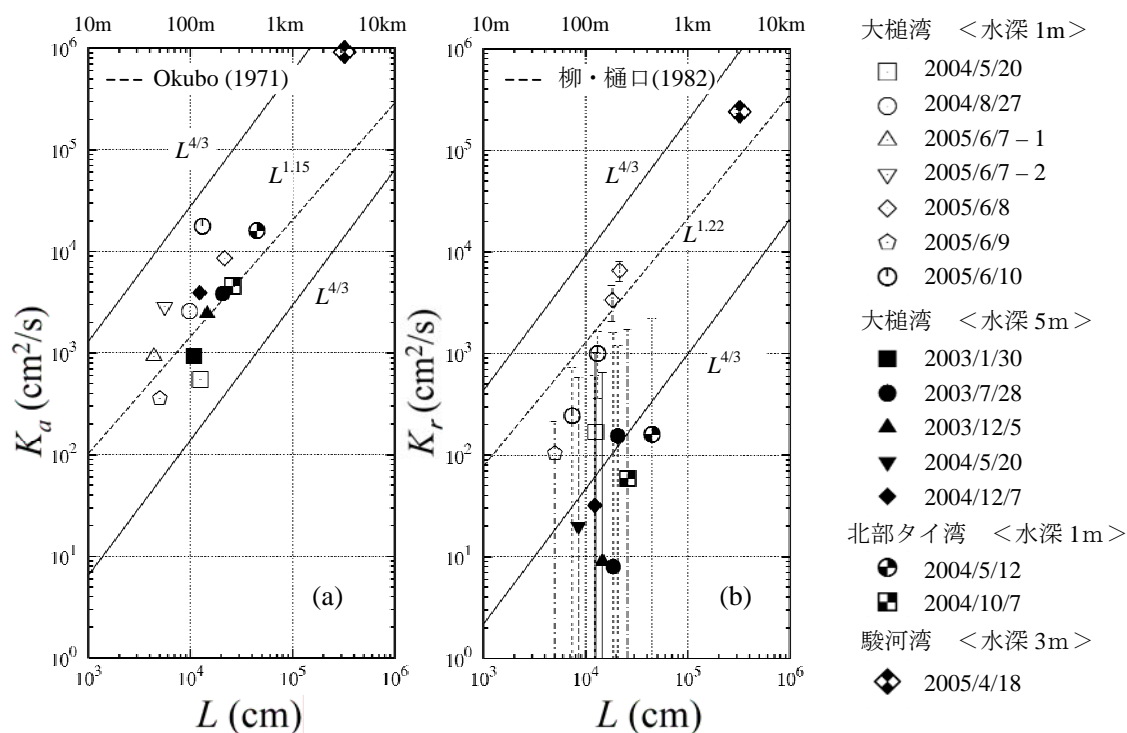


図 見かけの拡散係数 (a) と乱流拡散係数 (b) に対する拡散スケール

# Dispersion in Coastal Sea.

Mar. 2006, Institute of Environmental Studies, Course of Natural Environmental Studies

46701 Hiroshi AOYAGI

Supervisor; Associate Professor, Yutaka MICHIDA

Keywords; dispersion, diffusion, GPS, drifter

## 1. Introduction

The present study is about particle dispersion in coastal sea. The study of oceanic diffusion is not only one of physical oceanography, but also of ocean environment, such as oceanic pollution, fishery, and so on.

Until 1970s, many dye release experiments were carried out in real sea, and parameter of material spreading: diffusivity was estimated in bay or coastal sea at horizontal scale of a few hundred meters. However, motions of water on the sea surface were described from a macroscopic point of view by this method, and diffusivities were estimated from the deformation of the envelope of whole particles. On the other side, drifter experiments were also carried out. By this method, motions of individual particles can be observed. Yet, the past drifters could not satisfy the following points; number of drifters, accuracy of drifter measurement, and so on.

In the present study, we deploy GPS tracked surface drifter, which provide detailed information of the motions of water particles. The objectives of the present study are to estimate diffusivity in bay or coastal sea and compare with the past results, and to describe spreading of drifters with individual drifter motions.

## 2. Data and Method

GPS drifter experiments were carried out in Otsuchi Bay, Iwate pref. from 2003 to 2005. Depth of the drogue was 1m or 5m, and horizontal scales(interval of each drifter) were different in each experiment. In Otsuchi Bay, it is reported that fresh water from rivers flow out of the Bay at surface layer, and waters from open ocean flow into the Bay at lower layer. So, in most experiments, drifters tend to flow out of the Bay according to surface current. But drifting patterns in each experiment were different under different conditions such as deployment position in the Bay, tide and wind on the sea surface, which resulted in various spreading patterns of drifters.

In real ocean, especially in coastal sea, current is generally shear flow. The term “shear” means the difference of velocities between neighboring positions, which causes divergence or convergence and deformation of particles. In addition to shear effect, random motions by turbulence also contribute to spreading of particles. Here, we tried to estimate turbulent diffusivity by subtracting shear effect of mean flow from apparent diffusivity of spreading of drifters.

## 3. Results and Discussion

Turbulence is regarded as a group of eddies of several sizes. In the theory of relative dispersion, the spreading of particles are affected by eddies of almost the same size as the spreading or smaller

ones. The larger the spreading of particles, the larger the size of eddies which contribute to it.

Figure shows apparent and turbulent diffusivity vs. diffusion scale with the results of Upper Gulf of Thailand and Suruga Bay where the same GPS drifter experiments as the present study were carried out. Here the results are mean values in each experimental time. In addition, “Richardson’s 4/3 law”(solid lines), Okubo (1971) and Yanagi and Higuchi (1982) (a broken line in each Figure) are also shown as comparison.

Fig.(a) shows that apparent diffusivity tends to be larger with diffusion scale, but scatters at the same scale. And it does not seem to be good agreement with Okubo (1971). It is thought that apparent spreading of drifters largely affected by convergence and divergence of the flow.

Next, Fig.(b) shows that turbulent diffusivity tends to be 1 order of magnitude smaller than apparent diffusivity. It is suggested that, as long as horizontal scale under consideration, effect of turbulent diffusion on apparent spreading of particles is very small. And, in case of small number of drifters, small scale and short experimental time, measurement errors tend to be relatively large, which results in small value of diffusivity. If we consider measurement errors for such values, we can recognize linear relationship for the present results as well as Yanagi and Higuchi (1982).

Despite experiments were carried out under different conditions, there seems to be clear scale dependence of turbulent diffusivity. With the results of Upper Gulf of Thailand and Suruga Bay, it is suggested that such relationship is universal nature of oceanic turbulence which is independent of different flow structures in each coastal sea, and spectrum pattern of turbulent eddies seems to be invariant as long as horizontal scale under consideration (within inertial subrange).

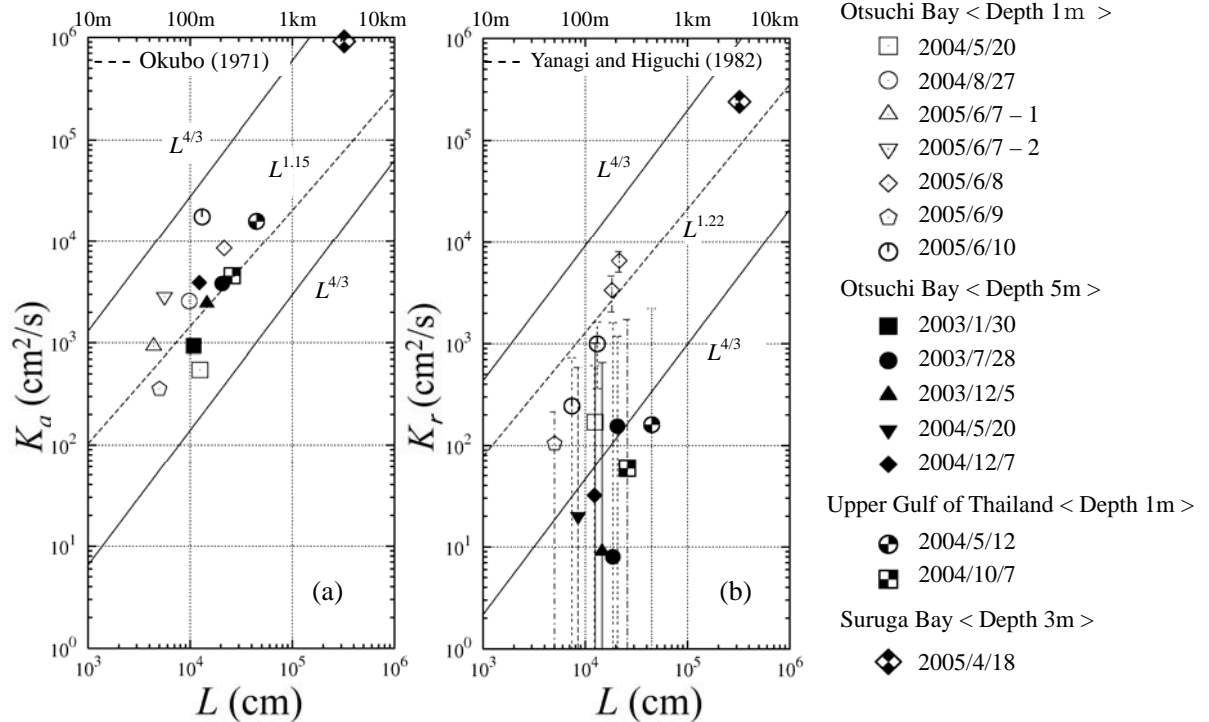


Fig. Apparent diffusivity (a) and Turbulent diffusivity (b) vs. diffusion scale.