

## Wave Glider の漂流データに基づく黒潮域の水平拡散係数の推定

北代達也<sup>\*,\*\*</sup>・谷口文菜<sup>\*,\*\*</sup>・西川悠<sup>\*\*</sup>・飯沼卓史<sup>\*\*</sup>・杉山徹<sup>\*\*</sup>・  
宮澤泰正<sup>\*\*</sup>・木戸晶一郎<sup>\*\*</sup>・吉田毅郎<sup>\*</sup>・桑谷立<sup>\*\*</sup>

### Estimation of horizontal diffusion coefficients in the Kuroshio Region using based on the drifted Wave Glider track

Tatsuya Kitadai<sup>\*,\*\*</sup>, Ayana Yaguchi<sup>\*,\*\*</sup>, Haruka Nishikawa<sup>\*\*</sup>, Takeshi Iinuma<sup>\*\*</sup>,  
Toru Sugiyama<sup>\*\*</sup>, Yasumasa Miyazawa<sup>\*\*</sup>, Shoichiro Kido<sup>\*\*</sup>, Takero Yoshida<sup>\*</sup>, Tatsu Kuwatani<sup>\*\*</sup>

\*日本大学理工学部海洋建築工学科, Department of Oceanic Architecture and Engineering,  
College of Science and Technology, Nihon University, 7-24-1 Narashinodai, Funabashi-City 274-0063,  
Japan. E-mail: csta23040@g.nihon-u.ac.jp  
\*\*国立研究開発法人海洋研究開発機構, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology  
(JAMSTEC), 2-15 Natsushima-cho, Yokosuka, Kanagawa 237-0061, Japan.

キーワード: 水平拡散係数, 黒潮域, Wave Glider, 漂流

Key words: Horizontal Diffusion Coefficient, Kuroshio Region, Wave Glider, Drifting,

#### 1. はじめに

海洋における漂流物の移動予測は、漂流事故への対応、流出油や海洋ゴミの拡散予測、漂流軽石などの沿岸漂着リスク評価において重要である。このような漂流予測では、海流データに基づく移流計算が基本となる。しかし、実際の漂流挙動には海流モデルの誤差、未解像の乱流混合、サブグリッドスケールの変動、風や波の影響、および漂流物の形状に起因する不確実性が含まれる。

水平拡散係数は多くの場合、既往研究や経験的知見に基づいて設定されるパラメータであり、対象海域や使用する海流データに対してどの程度妥当な値を用いるべきかは必ずしも明らかでない。特に黒潮域周辺では、強い流れや流路変動、渦構造の影響により海流モデルと実際の漂流挙動の差が大きくなる可能性がある。したがって観測された漂流軌跡を用いて、海流モデルでは説明できない成分を定量化し、有効拡散係数として評価することは、漂流予測の不確実性を理解する上で重要である。

本研究では、2025年6月18日から同年8月26日にかけて黒潮周辺海域で取得された Wave Glider の漂流軌跡データを用い、気象庁による日本沿岸域海況監視予測システム GPV の流速データと比較した。そして、観測された位置変化から日本沿岸域海況監視予測システム GPV による移流成分を差し引いた残差増分に基づき、黒潮周辺海域における有効水平拡散係数を推定した。さらに、粗視化幅を変化させた解析により、推定される拡散係数の時間スケール依存性について検討した。

#### 2. Wave Glider と使用データ

本研究では、黒潮周辺海域で漂流した Wave Glider の位置データを観測軌跡として使用した。Wave Glider は自律型無人水上機である。本機は海面のフロートと水中のグライ

ダーがアンビリアルケーブルで接続された構造を持つ。波浪に伴う海面フロートの上下運動を水中グライダーの翼の揺動へと変換することで、推進力を生成する。この推進機構の採用により、燃料を消費することなく長期間にわたる自律的な連続航行が可能である。さらに、機体上部に搭載された太陽光パネルによる発電電力を、各種観測機器の駆動、スラスタ、および通信システムの電源として充当している(Liquid Robotics, Inc., 2026)。

本研究は、制御不能後に漂流した期間の位置情報を、海面付近の漂流体の実観測データとして扱った。海流データとしては、気象庁による日本沿岸域海況監視システム GPV (以下 GPV 流速データと呼ぶ)の上層流速データを用いた。解析にあたっては、Wave Glider の位置データと GPV 流速データの時刻を対応させ、欠損地およびデータ統合を行った。

#### 3. 解析方法

Wave Glider の位置を  $X_n$ 、GPV による流速ベクトルを  $u_{GPV,n}$ 、時間間隔を  $\Delta t_n$  とすると、GPV による移流を考慮した漂流粒子の位置変化は、次式で表される。

$$X_{n+1} = X_n + u_{GPV,n}\Delta t_n + \lambda_n \quad (1)$$

ここで、 $\lambda_n$  は、GPV 流速データでは説明できない残差増分であり、海流モデルの誤差、未解像過程、風・波の影響などを含む有効的な変動成分を表す。したがって、実データから残差増分は、以下の式で求められる。

$$r_n = X_{n+1} - X_n - u_{GPV,n}\Delta t_n \quad (2)$$

残差増分が独立的な白色拡散過程に従うと仮定すると、東

西方向および南北方向の残差増分の分散は、それぞれ  $2A_x\Delta t_n$ ,  $2A_y\Delta t_n$  に対応する。この関係に基づき、有効拡散係数  $A_x$ ,  $A_y$  を推定した。

$$A_x = \frac{\sum \lambda_{x,n}^2}{2\sum \Delta t_n} \quad (3)$$

$$A_y = \frac{\sum \lambda_{y,n}^2}{2\sum \Delta t_n} \quad (4)$$

ただし、実際の残差増分には、海流モデルの系統誤差や時間的に持続する誤差が含まれる可能性がある。この場合、残差増分は完全な独立増分とはならず、推定される拡散係数は観測時間間隔や粗視化スケールに依存する。そこで本研究では、 $k$  ステップ分の残差増分を集約し、粗視化幅  $k$  に対する有効拡散係数  $A^{(k)}$  を計算した。この解析により、推定される拡散係数が時間スケールに対してどのように変化するかを評価した。

#### 4. 結果と議論

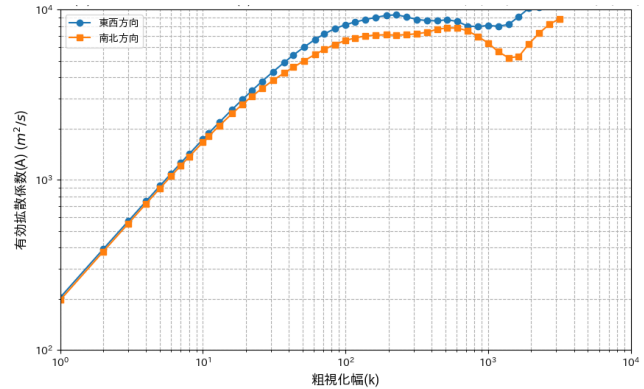
まず、粗視化を行わない  $k=1$  (5min に相当) の条件において、Wave Glider の観測軌跡と GPV 流速データから計算した残差増分に基づき、有効水平拡散係数を推定した。その結果、東西方向の有効拡散係数は  $A_x=203.4\text{m}^2/\text{s}$ 、南北方向の有効拡散係数は  $A_y=196.6\text{m}^2/\text{s}$  となった。両者は同程度の値を示しており、本解析事例では、観測データの基本時間間隔において、東西方向と南北方向の残差増分の分散増加率に大きな差は見られなかった。このため、以降では代表的な有効拡散係数として、おおよそ  $A\approx 200\text{m}^2/\text{s}$  の値が得られたと解釈できる。

$$A_x(k) = \frac{(\sum_{i=1}^k r_{xi}^2)}{2k\Delta t} \quad (5)$$

一方で、この値は  $k=1$  における推定値であり、必ずしもスケールに依存しない普遍的な拡散係数を意味するものではない。本研究で推定している拡散係数は、理想的な乱流拡散係数ではなく、GPV 流速データで説明できない残差を統計的に表した有効拡散係数である。そのため、利用する海流データの時間解像度、観測間隔、および粗視化スケールに依存する可能性がある。

図 1 に、粗視化幅  $k$  を変化させた場合の有効拡散係数の変化を示す。もし残差増分が完全に独立な拡散過程に従うならば、推定される拡散係数は  $k$  に依存せずほぼ一定となるはずである。一方、短時間スケールにおいて残差に時間相関が含まれる場合、 $A^{(k)}$  は  $k$  に依存して変化する。したがって、 $A^{(k)}$  の粗視化幅依存性は GPV 流速データと観測軌跡との差に含まれる時間相関や系統誤差の影響を評価する指標となる。

本解析では、 $k=1$  において  $A\approx 200\text{m}^2/\text{s}$  の有効拡散係数が得られた。この値は、従来の漂流シミュレーションで代表的に用いられる値と比較すると異なる可能性があり、対象海域や使用する海流データに応じて拡散係数を評価する必要性を示している。ただし、本結果は単一の Wave Glider 漂流データに基づくものであり、黒潮域全体に普遍的に適用できる値であるかについては、さらなる検証が必要である。



第 1 図 有効拡散係数  $A$  と粗視化幅  $k$  の依存性

#### 5. まとめ

本研究では、黒潮周辺海域で漂流した Wave Glider の観測軌跡と、GPV 流速データを比較し、海流モデルで説明できない残差増分に基づいて有効水平拡散係数を推定した。その結果、粗視化を行わない  $k=1$  の条件では、東西方向で  $203.4\text{m}^2/\text{s}$ 、南北方向で  $196.6\text{m}^2/\text{s}$  の値が得られ、代表値として  $A\approx 200\text{m}^2/\text{s}$  程度の有効拡散係数が推定された。

また、粗視化幅  $k$  を変化させた解析により、推定される有効拡散係数が時間スケールに依存する可能性を検討した。本研究で得られる拡散係数は、純粋な物理的拡散係数ではなく、GPV 流速データの誤差や未解像過程を含む有効的な統計パラメータである。したがって、漂流予測の精度向上に向けては、一律の拡散係数を用いるのではなく、対象海域、使用する海流データ、および解析時間スケールに応じて、有効拡散係数を評価することが重要である。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP24K01139 の助成を受けたものである。また、Wave Glider の回収は東京大学大気海洋研究所研究船共同利用(新青丸, KS-25-11)の支援を受けて実施された。

#### 文献

Liquid Robotics, Inc. (2026) The Wave Glider. How It Works. <https://www.liquid-robotics.com/wave-glider/how-it-works/>, (accessed 2026-05-18).