

船舶を利用した海洋環境モニタリング計測 データの評価について

- 第2報 規則波中航走時のサンプル水の上流起源特定実験 -

推進性能部 日夏 宗彦、*塚田 吉昭、南 佳成、深澤 良平

1. はじめに

現在、国立環境研究所において、瀬戸内海航路のフェリー船舶や、東南アジア航路のコンテナ船舶を利用した海洋健康度のモニタリングが実施されている。^{1)、2)、3)} そこでは船の取水孔から海水を採取し、その中に含まれている汚染度や微小生物等を計測している。この採取された海水が本来海洋のどの深さに存在していたかを知ることは、データの信頼性を高めるうえで非常に重要となる。

第1報⁴⁾では、取水された海水の由来を定量的に推定するため、色素の濃度を測定する新しい実験法を考案して模型船の上流起源の推定を試みた。その結果、深さ位置の推定が定量的に可能であることを報告した。しかし、実際の船舶は、風、波浪が存在する海洋を航行する。従って、実用上は実海域における上流起源を推定することが重要な課題である。

本報では、実海域における上流起源推定のため規則波中で模型船を航走させ、波や船体運動を考慮したときの上流起源の推定を行った。さらに、船体周り流れの可視化を行い、推定した結果の検討を行った。

2. 規則波中における実験方法

本研究で用いた実験方法の概略は以下の通りである。模型船上流から色素を流出させ、模型船に設置した取水孔からサンプル水（水槽水）を採取する。採取した水の中にどの程度色素が含まれているかを分光光度計で測定し、色素含有量を調べて取水される流体の上流起源を定量的に評価するものである。図-1に実験方法の概念図を示す。

波浪中実験では、水面が時々刻々変化するので、色素の流出位置と水面とが一定の深さを保つように同期させる必要がある。前報は、平水中の実験

のため流出位置は固定であった。今回、水位計とマイコンおよびサーボモータのシステムで、流出位置が波がある場合でも水面に対し一定となる装置を製作した。この波浪中用の色素流出装置の概要図を図-2に示す。

模型船は、上下運動をフリーにして曳引車で曳航した。

3. 模型船および実験状態等

模型船は、ボランティア観測船(Voluntary Observation Ship, VOS)の代替船として、運輸省航海訓練所所属の「青雲丸」の模型を用いた。

実験は三鷹第3船舶試験水槽（長さ150m）で行った。模型船(M.S.NO.0633)長さ（垂線間長 L_{pp} ）は3mとした。前報の2m模型と異なるが、これは模型の大きさが若干大きくても測定が可能と判明したためと造波装置の性能を考慮したことによる。模型船縦慣動半径は25% L_{pp} に調整した。取水孔位置は、現在のVOSに取り付けられた位置と相対的に同じ位置に設置した。

色素を流出させる位置は、船首(F.P.)から上流側に150mm(5% L_{pp})とした。色素は曳引車上に設置した容器から重力式に流出させた。色素が流出すると水頭が小さくなるので、色素と水面の水頭を一定に保つように、容器の底に適宜調整板を敷いた。

水槽水の吸引速度は、2m模型と相対的にほぼ同じとした。従って、前報で述べたように、実験における取水速度は実船に比べてかなり速い。取水速度を実船と相対的に合うようにすると、今回の取水に要した取水時間の70倍程度の時間を必要とし、現実的に無理であった。

規則波の設定は、波長(λ)=3、6m、波高(H_w)は λ の1/100として、 $H_w=30\text{mm}$ ($\lambda=3\text{m}$)、 60mm ($\lambda=6\text{m}$)

とした。予備試験的にいくつかの H_w を設定したが、特に λ が小さく、かつ H_w が大きいと色素の拡散が大きく、濃度の測定は困難であった。模型船の曳航速度(V_m)は、実船の運航速度に対応する 1.702 m/s ($Fn=0.31$)で行った。

4. 実験結果

4.1 規則波中における色素の拡散影響

規則波中で色素流出孔から取水孔まで色素がどの程度拡散するか調べるため、船が無い状態で上流から色素を流し下流で取水した。取水位置は船体に設置された取水孔と同位置の距離だけ離れた。取水孔は水面と同期させず水深($Z=70\text{ mm}$)で固定した。図-3に $V_m=0.75\text{ m/s}$ の結果を平水中と合わせて示す。縦軸は、流出させた色素の濃度比(%)で示した。濃度比は、 $\lambda=3\text{ m}$ では平水中とほぼ同じであるが、 $\lambda=6\text{ m}$ は比較的小さい。この理由として、 $\lambda=6\text{ m}$ は色素流出装置の振幅が大きいため取水孔(固定)に対して相対位置の外れる区間が多く、濃度が小さくなったと考えられる。濃度比の分布形状は規則波中も正規分布状であり、今回の拡散影響調査では、大略半径 60 mm の円内に収まっている。以上から規則波中における色素の拡散影響は、平水中と同程度と思われる。

4.2 平水中の推定結果

前報と模型船の大きさが異なることと、追試の意味から平水中で実験を行った。図-4に推定結果を 2 m 模型の結果と合わせて示す。取水された水の濃度分布を色素流出位置に対してプロットした濃度分布図と、等深度線に沿って積分した量を矢羽で示した。矢羽根は等深度位置に水平に色素を流した場合、どの程度の深さから流したときが最も取水孔に到達するかの割合を示している。図によると、濃度分布のピーク位置と矢羽根の最も大きい位置は、 2 m 模型とほぼ同じである。本実験でも、船体中心よりわずかに離れた水面近傍の流体が主に流入していた。

4.3 色素流出装置の同期調査

規則波中で、色素流出装置と水位変化との同期調査を行った。結果を図-5に示すが、装置は水

位の変化に良く同期している。但し、装置の振幅の方が水位の振幅に比べ若干小さい。これは、波による流体粒子の円運動の半径が水深とともに小さくなることを考慮したためである。今回の実験では、平水中実験で色素の回収率が大きい水深 30 mm における円運動の現象を想定して、装置の上下振幅を調整した。なお、装置の設定する水深位置に対しては、振幅は一定とした。これは深さ方向の計測範囲が比較的小さいことと、実験効率の観点からである。

4.4 規則波中の推定結果および可視化

模型船の運動計測結果として、浮心位置の上下運動(HEAVE)を波の振幅(ζ_A)で無次元化し、図-6に示す。上下運動は、 $\lambda=6\text{ m}$ の方が $\lambda=3\text{ m}$ に比べ大きい。

規則波中の推定結果を図-7に示す。実験では、水槽水の採取区間として入射波10波以上を確認した。

図によると濃度分布のピーク位置、矢羽根の大きい位置は、両波長ともほぼ同じで水面近傍にある。波長の違いによる影響は無いことが分かる。平水中(図-4)と比較すると、両波長とも平水中と矢羽根の最も大きい位置は同じである。以上から、今回の波の設定範囲では、取水孔に到達する上流起源は、規則波中も平水中と同じ位置と推定される。

但し、規則波中の濃度は、平水中に比べかなり小さく矢羽根の大きい位置も明瞭ではなかった。規則波中の可視化観測では、流した色素はビルジキールの上側と下側を流れるときとで、完全に分断されていた。下側を流れる場合だけが、取水孔近傍を流れていた。濃度低下の原因は、船体運動による色素の拡散影響も考えられるが、ビルジキールによる船尾流の分断の影響が大きいと思われる。

5. あとがき

規則波中における模型船の取水孔に来る流体位置の推定を行った。波浪中のため、色素が深さ方向に一定となるような色素流出装置を製作し実験を行った。以下に主な結論を示す。

1. 規則波中も色素の拡散影響は平水中と変わらない。
2. 実施した波長、波高範囲では、水面近傍の流体が主に流入しており、規則波中と平水中で上流起源の大きな違いはない。従って、瀬戸内海航路のように比較的波が穏やかな海域では、上流起源はほとんど平水中の場合と変化しないものとして予測可能である。
3. 可視化による観察から、規則波中ではビルジキールで流れが分断され、ビルジキールの下側の流れだけが取水孔の近傍に到達していた。

今後は、CFDにより実船スケールの計算（平水中）を実施し、上流起源推定を行う予定である。

可視化は、運動性能部沢田、二村両主任研究官により実施され、色素流出装置の製作では、機関動力部平田主任研究官にご協力頂いた。お礼申し上げます。

本研究は環境庁地球環境研究総合推進費のD-3課題「アジア縁辺海域帯における海洋健康度の持続的監視・評価手法と国際協力体制の樹立に関する研究」の一部として実施されたものである。同課題代表者の国立環境研究所総合研究官原島省博士に感謝する。

参考文献

- 1) 原島省、功刀正行(1997)：海の動きと海洋汚染、第5章「海洋環境の変動をモニターする」、101-131. 裳華房ポピュラーサイエンス.
- 2) Harashima, A., Tsuda, R., Tanaka, Y., Kimoto, T., Tatsuta, H. and Furusawa, K. (1997), Monitoring algal blooms and related biogeochemical changes with a flow through system deployed on ferries in the adjacent seas of Japan, in Kahru, M. et al. (eds.) Monitoring Algal Blooms - New Techniques for Detecting Large-Scale Environmental Change, 85-112, Springer.
- 3) 原島省(1998) 航走連続モニタリングシステム, 平野敏行(編) 沿岸の環境図, 1446-1452, フジテクノシステム
- 4) 日夏他、船舶を利用した海洋環境モニタリング

計測データの評価について - サンプル水の上流起源特定実験 -、第74回船研発表会講演集、(2000)

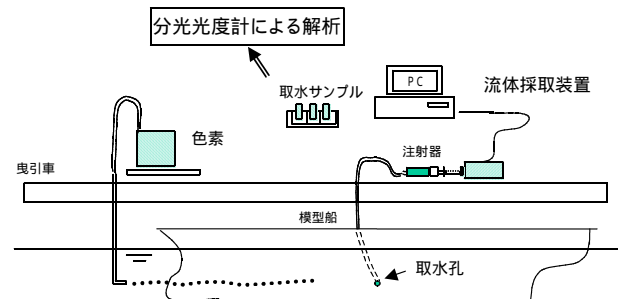


図 - 1 実験概念図

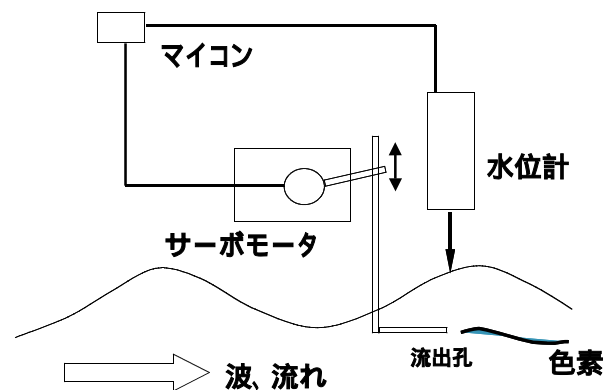
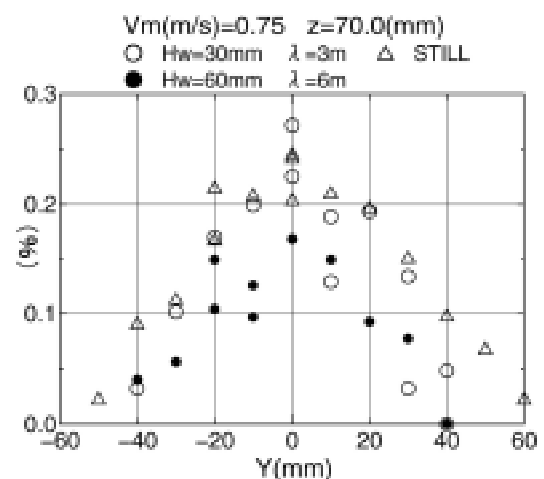


図 - 2 色素流出装置概要



平水中、波液中拡散調査

図 - 3 規則波中の色素拡散影響調査

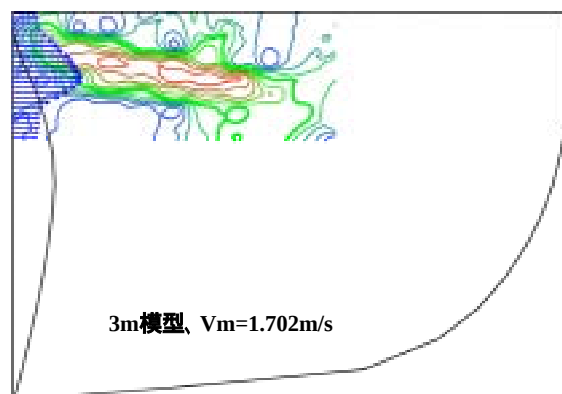
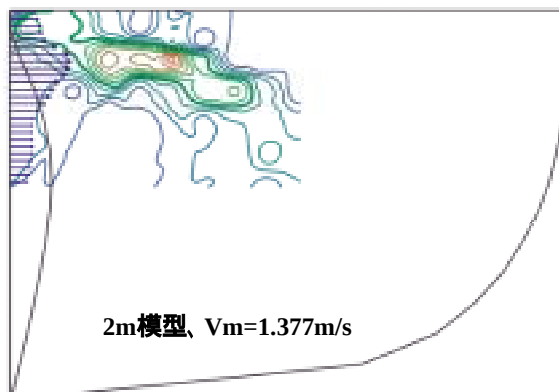


図 - 4 平水中の推定結果(0.02%ℓ°ッチ)

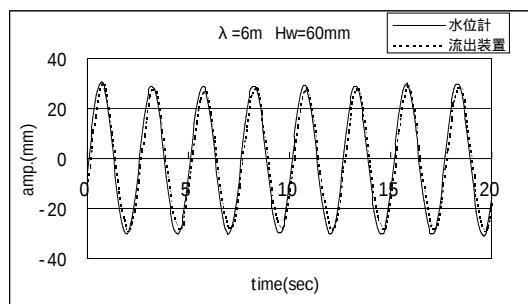
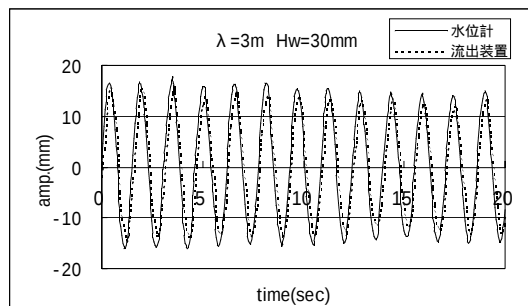


図- 5 色素流出装置の同期調査

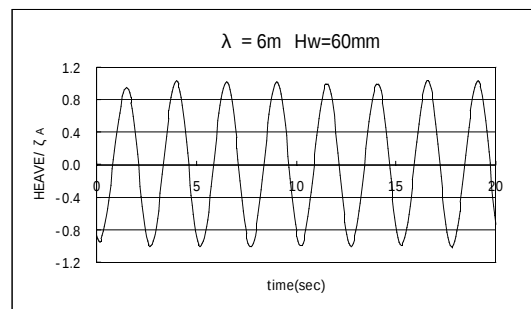
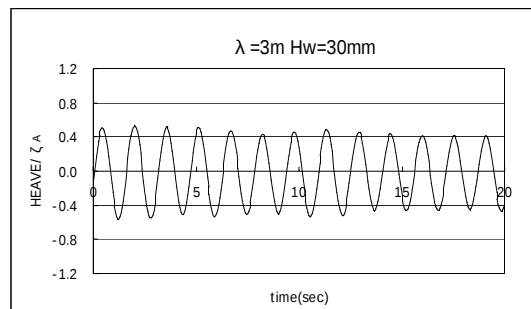


図 - 6 規則波中の船体上下運動

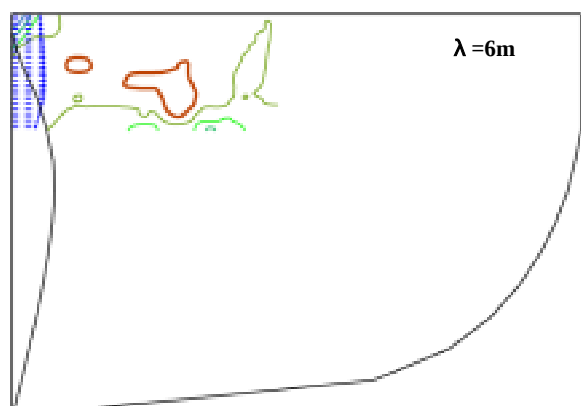
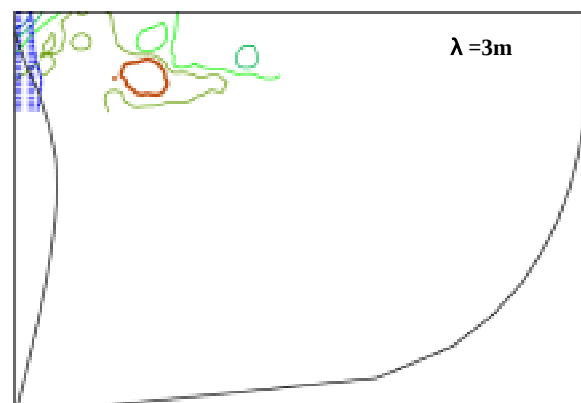


図 - 7 規則波中の推定結果(0.02%ℓ°ッチ)