C304

船体に設置された取水口に流入する流体の上流起源の色素流出法による推定*

日夏 宗彦[○]、塚田 吉昭、富田 宏 (海上技術安全研究所)

原島 省(国立環境研究所)

Estimation of Original Location of Flow Sampled through Inlet Set on Ship Hull

Munehiko HINATSU, Yoshiaki TSUKADA, Hiroshi TOMITA and Akira HARASHIMA

ABSTRACT

Recently monitoring of sea healthiness using voluntary observation ships has been carried out. In the monitoring, seawater is sampled through an inlet located on a ship hull, and the water is analyzed chemically and biologically. In the course of analyses, the information of original position of sampled water is one of important factors to assess the sea healthiness, and in the paper, an empirical method to estimate the original location of sampled water is described.

In the experiment, dye is injected from the upstream of the ship. The water around ship is picked up from the inlet, and then dye concentration in the sampled water is analyzed using a spectrophotometer. The concentration is mapped onto the plane of dye injection and we thus show the original location of sampled water as a contour map on the upstream sectional plane.

Key words, dye injection method, spectrophotometer, sea healthiness monitoring,

1. 緒 論

海洋環境の保全は、国際的に大きな関心をよんでいる事項であり、我が国では、国立環境研究所を中心にし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た[1][2][3]。そこでは、船に取り付けられた取水口から海水を採取し、その中に含まれている栄養塩や微小生物等を計測し、海洋の健康度を継続的に調査するものである。この調査において、微小生物等が本来海洋中のどの位置—特に水深—に存在したかを知ることは、結果を評価する上で重要な要素の一つである。しかしながら、船舶を用いた海洋環境モニタリングの研究の中では、この点を明らかにするための研究はなされていなかった。

定性的には、たとえば船体周りのポテンシャル流場を計算し、それを用いて流線追跡すれば取水された海水がどこからくるか容易に知ることができる。しかし定量的にどの位置の流体がどの程度取水口に到達するかを推定することは、CFD(数値流体力学)や水槽試験を用いる必要がある。本論では著者らが行った研究のうち、主に実

験的研究の部分を中心に紹介する。

2. 実験的方法

模型船に取り付けられた取水口に流入する流体の上流位置を特定するため下記の実験を実施した。まず、模型船上流からトレーサー色素(ここでは水槽水 1000cm³に過マンガン酸カリウム KMnO₄ 1g を溶解したもの)を流出させ、模型船に設置した取水口から水槽水を採取する。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ると、そのとき上流から流したトレーサーがどの程度、取水口から回収されたか定量的に特定することができる。この手順を、船体上流の、流れに対して鉛直面内で色素を流出させる位置を変化させて繰り返すと、各流出位置と採取された色素含有量との関係がわかる。これをコンターカーブ等で表すと、上流起源を定量的に評価することができる。以上の実験方法の概念図を Fig. 1 に示す。流出色素に過マンガン酸カリウムを用いた理由としては、無害であることと、可視波長域に高い吸収ピークがあり、微少な吸

光度の測定も比較的容易であると考えたためである。なお、サンプル水の採取は、パソコンで吸引速度が制御された注射器を用いた。

Fig. 1 Schematic view of experiment

3. 平水中の実験状態 [4]

実際の水槽試験では、上流から流出した色素を下流側で採取しその濃度を計測することから、色素の拡散による測定精度の低下が予想されるので、第一段階として拡散影響を小さくするため船長（ここでは L_{pp} とする。ただし L_{pp} は垂線間長さ）が 2m の模型船を用いた。

取水口位置は現在モニタリングに供されているフェリー（以下 VOS : Voluntary Observation Ship と略）に取り付けられた位置と相対的に同じ位置に設置した。すなわち、船尾垂線(A.P.)から $22.5\%L_{pp}$ 前方の位置、船底から喫水の 52% 上方の位置とした。

VOS にとりつけられた取水口面積は 0.3481m^2 で、船長の自乗で無次元化した面積は 1.776×10^{-5} となる。VOS では取水口に引き込まれた水をさらに細いパイプで吸引しているため、今回そのモデルとして、模型の船体表面を直径 10mm、深さ 3mm の半球状に窪ませ、中心部に内径 1mm の真鍮パイプをとりつけ、サンプル水の取水を行った。このときの取水口（窪ませた円形部分）の面積は船長の自乗で無次元化して 1.96×10^{-5} となる。

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。色素流出用パイプの内径は 3.0mm で、このとき 100cm^3 の色素が流出するのに 30 秒程度要したので、平均流出流速は 0.47m/s 程度となることがわかった。色素が流出すると水頭が小さくなるので、色素と水面の水頭が一定に保つように、容器の高さを調整した。

実験でのサンプル水の吸引量は 0.536ml/s とした。これはシーチェストを模した円形窪みに流入する平均流速に直すと 6.83mm/s となる。また模型船速の割合で表すと、船速が 0.5m/s のとき 1.34% 、 1.377m/s のとき 0.496% となる。

模型船の曳航速度 (V_m) は、予備試験的にいくつかの速度を設定したが、 0.5m/s ($Fn=0.11$)、と 1.377m/s ($Fn=0.31$) で行った。ただし $Fn = V_m / \sqrt{L_{pp} g}$ はフルード数である。ここで船速を 0.5m/s とした理由は、このとき色素流出速度と模型船船速がほぼ一致し、実験時に色素が噴流状に供給

されないことによる。また 1.377m/s は実船のフルード数に対応している。色素の上流流出位置は、船首垂線 (F.P.) から上流側に 100mm ($5\%L_{pp}$) の位置とした。

4. 実験結果および考察

取水された色素の濃度分布を、色素流出位置に対してプロットして示したものを Fig. 2 に示す。Fig. 2 の上図は $V_m=0.5\text{m/s}$ 、下図は $V_m=1.377\text{m/s}$ の結果である。図は、船の右側半分を正面から見たもので、図右側の垂直な線が船体中央面、上側の水平線が静止水面、左側の曲線が船体中央部の船側および船底を表す。また、図右側の小さな縦長の曲線は、船首バルブ断面を示す。図中の円は計測領域内の濃度全量とその円面積と最大濃度の積に等価な円を示す。中心は計測された全濃度の重心である。図には等深度線に沿って積分した量も矢羽で示した。これ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口に到達するかの割合を示している。図から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るのが理解される。この図から深さ方向分布のピーク位置を読みとると、水面から喫水の 13% 程度の深さであった。参考のため CFD で計算した流場を用いて得られた流線を Fig. 3 に示す。

Fig. 2 Contours of dye concentration of sampled water picked up from side inlet (Thick Line 0.1%, contour interval 0.02%, $L_{pp}=2\text{m}$) $V_m=0.5\text{m/s}$ (upper), $V_m=1.377\text{m/s}$ (lower)

Fig. 3 Streamlines around ship (CFD simulation)

これらの結果から、流線追跡で得られた結果から推定されるように、船尾中央部に設けられた取水口に流入する流体は、船首水面近傍に端を発しているのが定量的に示されている。また Fig.3 を比較してわかるように、船速を変化させてもその分布形状はほとんど変わらないことが確かめられた。

5. 規則波中の実験および結果 [5]

実際の VOS は実海域を航走するので、波の中で運動しながら計測することが一般的である。そこで規則波中で上記と同様の実験を行った。ただし、規則波中では色素流出口を固定すると相対水位が変化するので、Fig. 4 に示すように自由表面波形に流出パイプが追随するように流出口を上下させるサーボ機構を製作した。なお、規則波中実験では短波長波の発生の制限から 3m の模型船を用いた。なお、平水中の実験において 3m 模型船を用いた結果と 2m 模型船で得られた結果とが違わないことを別途確認している。

Fig. 4 Schematic view of dye outlet in waves

実験に用いた規則波の条件は波長船長比 λ/L_{pp} は 1 及び 2 とし波高を波長の 1/100 とした。波高をあげると船体運動が大きくなり、色素の拡散が大きくなり、色素濃度が計測できなくなった。今回の波高は、150mm 程度の船では実船対応で 1.5m 程度であり、外洋航海を想定すると必ずしも十分ではない。波高が大きくなった場合の実験法の開発は今後の課題である。Fig. 5 に $\lambda/L_{pp}=1$ の場合の取水口に流入するサンプル水に対する実験結果を示す。平水中に比べかなり色素濃度が低下しているが、

傾向としては平水中のそれと同じく、水面近傍から流出させた色素がより多く採取されている。同じく Fig. 5 には $\lambda/L_{pp}=2$ とした場合の結果を示した。両者ともほぼ同様の結果が得られた。このときの船体上下運動の振幅 h_{amp} は、入射波振幅を ζ_A として、 $\lambda/L_{pp}=1$ のとき $h_{amp}/\zeta_A \sim 0.4$ 、 $\lambda/L_{pp}=2$ のとき $h_{amp}/\zeta_A \sim 1$ であった。これから船体運動が小さければ、規則波中であっても基本的には平水中の結果が十分参考になる。

なお、実験の様子を水中カメラで観察した結果、色素流出位置によってはビルジキール近傍に流れる場合があり、その場合は船体運動によって、色素の流脈がビルジキールにあたるため上下に周期的に変化することが認められた。このため、色素がビルジキールより下流で流れる位置が変化することがわかった。これより船体運動が大きくなるとビルジキールの影響も無視できないことがわかった。

Fig. 5 Contours of dye concentration of sampled water picked up from side inlet in waves, ($V_m=1.702\text{m/s}$, $L_{pp}=3\text{m}$, Thick Line 0.1%, contour interval 0.02%), $\lambda/L_{pp}=1$ (upper) $\lambda/L_{pp}=2$ (lower)

6. まとめ

模型船の取水口に流入する流体の上流起源を推定するための実験的手法を紹介した。以下に得られた結果を簡単にまとめると

- 1) 模型船上流から色素を流出し、それを船体に設けた取水口から吸い取り、その中に含まれている色素量

を分光光度計で計測して求める方法を開発した。この実験方法で、定量的な流体起源の特定が可能となった。

- 2) 模型船の側方に設置された今回の取水口位置では、水面から喫水の13%の深さから流出させた場合、もっとも高濃度で採取された。
- 3) 規則波中の実験も実施し、波高が大きくなれば平水中の結果と定性的に一致することがわかった。

なお、模型試験におけるレイノルズ数と実船でのレイノルズ数はオーダーで 10^3 程度異なる。今回の試験は、内容的に拡散影響を大きく受け、これはレイノルズ数の影響を受ける。ここでは実験的手法のみ紹介したが、この影響を調べるには CFD (数値流体力学) の手法が有効である。著者らが別途行った研究 [6] によれば、実船の場合の上流起源は、水槽試験と同じレイノルズ数の場合、水槽試験結果と CFD 結果は良い一致をみたこと、実船スケールと模型船スケールでの CFD 結果を比べると、深さ方向の違いはほとんどないが、幅方向は、1/2 ほど船体中心面よりからの流体が吸い込まれることがわかった。従って、上流位置起源のうち特に水深方向を考慮すべき問題では、今回の水槽試験法は有効な手段といえる。

参 考 文 献

- [1] 原島省、功刀正行(1997):海の働きと海洋汚染、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) 沿岸の環境圏, 1446-1452, フジテクノシステム
- [4] 日夏宗彦、塚田吉昭、南佳成、深澤良平(2000): 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回船舶技術研究所研究発表会講演集
- [5] 日夏宗彦、塚田吉昭、南 佳成、深澤良平(2001): 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 - 第1回海上技術安全研究所講演会講演集
- [6] Hinatsu, M., Tsukada, Y., Tomita, H., Harashima, A., (2004): Study on Estimation of Original Location of Water Sampled through Inlet Set on Volunteer Observing Ship, Journal of Advanced Marine Science