

# 練習船「若潮丸」の上部構造物の 空撮画像による3次元再構成

向瀬 紀一郎\*

## 3D Reconstruction from Aerial Images of Upper Structure of Training Ship “Wakashio-Maru” MUKOSE Kiichiro\*

A 3-dimensional shape of the upper structure of the training ship “Wakashio-maru” is represented by point cloud data, by using a 3-dimensional reconstruction technology. 359 aerial images of the ship have been photographed using a small unmanned aircraft, and the 3-dimensional point cloud has been reconstructed from the aerial images. This study has proved a feasibility of a part of a new workflow for improving the air resistance of surface vessels.

キーワード: 船舶工学, 3次元再構成, 無人航空機

### 1. まえがき

日本はエネルギー資源のほぼ全量を、海外からの海上輸送に依存している。また食料や工業製品なども含む貿易のうち海上輸送の担う割合は、トン数ベースで99.6%にも上る<sup>(1)</sup>。したがって、海上輸送のエネルギー効率の向上のための取り組みは、日本の経済にとって極めて重要である。船舶の形状の改善によって推進性能が向上し、高速航行時においても燃料消費量を節約することが可能になれば、その経済的利益は莫大なものとなる。

船舶の形状に関する研究は、これまで主に水抵抗を重視した研究、すなわち水と船体との相互作用による粘性抵抗や造波抵抗に着目した研究が多かった<sup>(2)</sup>。しかし近年、海上輸送のさらなる効率化や高速化が求められる中で、水面上の空気と、甲板上の機器や上部構造物(船橋やファンネルや荷役装置など)との間の相互作用にも、注目が集まるようになってきた。造船会社において流線形状の上部構造物が作られるようになり、海運会社において風防の設置が試みられるようになるなど、船舶の空気抵抗の低減によって推進性能の向上を図ろうとする取り組みが広がりつつある。

しかし、これらの新しい技術の恩恵を受けられる船は現在のところ、主に新造船に限られている。第一線で運用中の船舶を改修することによって空力特性を改善する取り組みは、効果が期待されるにもかかわらず、まだ広範には普及していない。普及を阻んでいる要因は主に、費用対効果の分母、すなわちコストである。改修を計画する際には、それぞれの船舶に応じた模型を用いた風洞実験が必要となり、また改修を実施する際には、ドックでの工事が必要となる。それらに要するコストは、実験や工事に要する期間に応じて高くなる。特に、運用中の船舶をドックに入れる期間が長くなれば、海運会社の被る機会損失もまた、コストを相当に押し上げることになる。

もし、船舶の形状をドックに入れることなく精密に計測し、低コストかつ短期間で模型を制作し、効率的に風洞実験を反復する手法が構築されれば、竣工後の船舶の空力特性をリーズナブルなコストで改善できるようになる。そのようなワークフローは、最先端のロボット技術の成果として急速に普及の進んだ小型無人航空機(いわゆるドローン)と3次元成型機(いわゆる3Dプリンタ)の援用、またコンピュータの性能向上とともに飛躍的に発展中の3次元再構成技術の応用によって、実現可能であると思われる。

本研究では、海上の船舶の上部構造物の精細な画像データを、小型無人航空機によって上空から撮影し

\* 商船学科  
e-mail: mukose@nc-toyama.ac.jp

(第2章)、その画像データに基づく3次元点群データを、3次元再構成技術を応用したコンピュータプログラムによって生成する(第3章)、新しいワークフローの構築が試みられた。その3次元点群データに基づく3次元形状データを3次元造型機によって出力することにより、実船を再現する精密な模型を低コストかつ短時間で製作することが可能となると予想される。

本研究ではまず、本校の運用する練習船「若潮丸」(全長53.59m、総トン数231トン)を対象とした空撮と3次元再構成を試みた。

## 2. 小型無人航空機による空撮

平成28年11月、本校臨海実習場(射水市堀江千石6番4)において、係留中の練習船「若潮丸」の空撮を行った。

空撮にはフランス Parrot 社製の小型無人航空機「Parrot Bebop Drone」(図1)が用いられた。この小型無人航空機は、4つの回転翼によって飛行する質量400gの機体であり、Wi-Fiによって遠隔操縦可能なシステムとなっている。この機体には、空撮画像収集のためのデジタルカメラが内蔵されており、その記録解像度は4096×3072ピクセル(静止画像の場合)である。また、姿勢制御のための磁力計・ジャイロセンサー・加速度計および垂直カメラ(地表映像によって機体の速度を推定するもの)が備えられている。

この小型無人航空機は、リチウムイオンポリマー電池によって動作するものである。1個の電池パック(1200mAh)での連続飛行可能時間は、実際の現場においては最大5分間程度であった。本研究では、6個の電池パックを交換しながらの空撮を、2回の日程にわたって実施した。

この研究で用いた小型無人航空機は、軽量であるため風の影響を受けやすく、また防水されていないため雨天では運用できないものである。本研究では、練習船「若潮丸」の運航計画と、臨海実習場における気象(天気や風速)の双方を考慮しながら、慎重に日程を調整した結果、11月4日(金)と11月14日(月)の2回にわたって撮影を実施することができた。

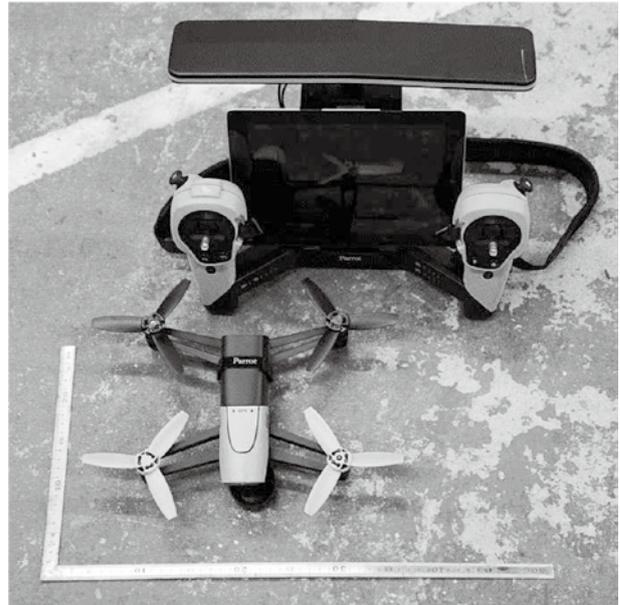


図1 用いられた小型無人航空機と遠隔操縦装置

11月4日(金)には、練習船「若潮丸」の上部構造物が右舷側(実習場の岸壁側)から撮影された。この日の天気は快晴、最大瞬間風速は3m/s程度であった。撮影は約1時間にわたって実施され、187個所の視点からの画像が収集された(図2)。



図2 「若潮丸」右舷側からの空撮画像

11月14日(月)には、練習船「若潮丸」の上部構造物が左舷側(実習場の沖側)から撮影された。この日の天気は薄曇、最大瞬間風速は2m/s程度であった。撮影は約1時間にわたって実施され、172個所の視点からの画像が収集された(図3)。



図3 「若潮丸」左舷側からの空撮画像

なお無人航空機は、飛行中の故障などによって落下した場合には人または家屋に被害を及ぼす可能性のある機器である。本研究の実施に際しては、航空法の定める飛行禁止区域(空港周辺や人家密集地等)から十分に離れた空域において、周囲の状況および機体の挙動に十分に注意しながら無人航空機を運用した。また、運用中に周囲の状況を目視により常時監視するために、操縦者の他に2名の補助者を配置した。操縦者や補助者は安全のため、ヘルメットとゴーグルを着用して作業にあたった。

### 3. 画像からの3次元再構成

3次元再構成は、3次元の物体の形状を様々な方向から撮影した複数の2次元の画像のデータに基づき、コンピュータ処理によって物体の3次元形状を再現する点群データを合成する技術である<sup>3)</sup>。

3次元再構成に利用される画像データは、被写体の周囲の様々な方向や距離にある視点に設置されたカメラから撮影した、多数の写真の集合である。被写体が静止している場合には、一台のカメラを移動させながら撮影した画像や、移動するビデオカメラからの映像を利用することも可能である。それぞれの写真や映像フレームには、その被写体の形状が、様々な視差を持って記録されることになる。一連の画像データはコンピュータに入力され、処理される。

コンピュータにおいては、まず画像データから、SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) 法<sup>4)</sup>によって、被

写体の特徴点が抽出され、それらの特徴量が算出される。SIFT 法による処理においては、2次元の画像データの平滑化が、異なる分散の複数のガウシアン関数について行われ、それらの差分から画像データ内のエッジが抽出される。その2次元のエッジデータ内から極値が探索され、それらが特徴点の候補となる。それらの特徴点近傍におけるデータの主曲率が計算され、その2個の固有値の比率から、コーナー上の特徴点とエッジ上の特徴点とが区別され、前者が選択的に抽出される。また特徴点の近傍に対するコントラストによって、さらに特徴点が絞り込まれる。それぞれの特徴点において、方向成分毎の特徴量が算出され、ヒストグラムのピークから基準軸が決定され、画像の回転に対しても不変となる特徴量へと換算される。また正規化により、照明の変化に対しても影響されにくい特徴量へと換算される。

次に、SfM (Structure from Motion) 法<sup>6)</sup>によって、画像データに写っている物体の特徴点の3次元座標と、画像データを写したカメラの視点の3次元座標とが、統計的に推定される。SfM 法による処理においては、様々な視点からの複数の画像が比較され、それらの間で概ね共通した特徴量を持つ特徴点が探索され、同一の特徴点として対応付けられる。同一の特徴点への複数の視点からの視線の方向が、画像内の2次元座標から算出され、その視線の交点から特徴点の3次元座標が推定される。同時に、同一の視点からの複数の特徴点への視線の方向が算出され、視点の3次元座標が推定される。これらの推定は誤差を含むものであるが、多くの視点から多くの特徴点を撮影した画像データの集合によって、統計的に最適な推定が行われる。高速なコンピュータを利用した大規模な処理によって、被写体上の特徴点の座標と、それぞれの画像を撮影したカメラの幾何学的な外部パラメータ(位置や姿勢など)および内部パラメータ(レンズの焦点距離や歪みなど)の、高精度な推定が実現する。推定された特徴点の座標の集合は、点群として被写体の3次元形状を再現するデータとなる。

本研究では、練習船「若潮丸」を様々な方向から撮影した計 359 枚の画像データをもとに3次元再構成を

実施し、「若潮丸」の形状を再現する3次元点群データを合成した(図4および図5)。まず SIFT 法による2次元画像内の特徴点の抽出と, SfM 法による3次元座標の推定とを, Changchang Wu によって開発され配布されているコンピュータプログラム「VisualSFM」<sup>(6, 7)</sup>を利用して実施した。また, SfM 法によって推定されたカメラの幾何学的パラメータに基づいて, より高密度に特徴点の3次元座標を推定する処理を, Yasutaka Furukawa によって開発され配布されているコンピュータプログラム「CMVS」<sup>(8)</sup>を利用して実施した。

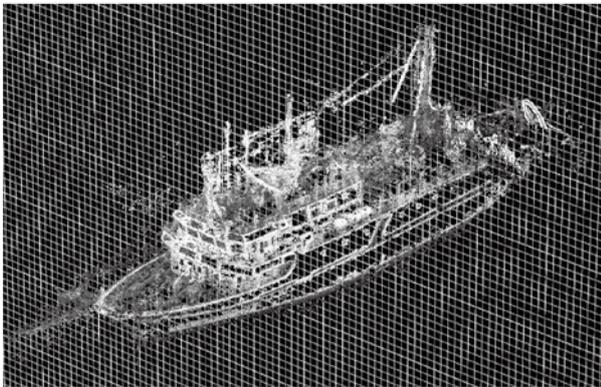


図4 「若潮丸」の3次元点群データ(左舷上方からの正射投影)

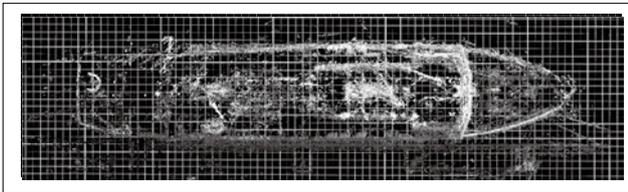


図5 「若潮丸」の3次元点群データ(垂直上方からの正射投影)

#### 4. 考察

本研究において試みられた空撮と3次元再構成によって, 練習船「若潮丸」の上部構造物の形状を概ね再現する3次元点群データを得ることができた。ただし, レーダーやウィンドラス等の詳細な形状については, 十分に再現できていないデータであった。また点群データの一部において歪みが発生しており, 3次元再構成の精度が不十分であると考えられる。

3次元再構成の精度をさらに高めるためには, さらに多くの画像データの撮影が必要であり, かつそれらの

全てを短時間内に収集することが必要であると考えられる。画像データの数を増やすことによって, 細部の再現が可能になると思われる。また, 全ての画像データの収集を短時間内に行うことによって, 被写体の移動や環境の変化によるエラーの少ない3次元再構成が可能になると思われる。

船舶の空撮画像を, 短い時間内に, 多くの視点から収集するためには, 無人航空機の連続飛行時間を延長させることが有効と考えられる。また, 天候に左右されることなく必要に応じていつでも運用することの可能な性能を持つ無人航空機を利用することが有効と考えられる。すなわち, より大容量の電池パックを搭載し, より安定性に優れた, より大型の無人航空機を利用することによって, より効率的な空撮画像の収集と, より高精度な3次元再構成が実現するものと予想される。

#### 5. あとがき

船舶の風洞実験用の模型制作の新しいワークフローを構築する試みの一部として, 本校の練習船「若潮丸」を小型無人航空機から空撮し, その画像データからの3次元再構成によって3次元点群データを合成する研究が実施された。

得られた3次元点群データは, 精度においてまだ十分とは言えないが, 「若潮丸」の上部構造物の形状を概ね再現するものとなった。ゆえに, 新しいワークフローの実現可能性を部分的に証明することに成功したと考えられる。今後, より大型の無人航空機の導入によって, 精度の問題も解決されるものと期待される。

本研究は, JSPS 科研費 16K06917 の助成を受けて実施された。また, 小型無人航空機の運用は, 本校商船学科5年生の阿部斗輝矢学生, 池崎悠希学生, 澤本一生学生の協力によって実施された。本校臨海実習場における練習船「若潮丸」の撮影は, 船長の中川宏司准教授および一等航海士の金山恵美助教はじめ多数の教職員の協力によって実施された。ここに感謝の意を表す。

## 参考文献

- (1) 国土交通省海事局, “海事レポート 2016 地域から、世界へ”, (2016)
- (2) 鎌田功一, 遠藤真, 向瀬紀一郎, 岩崎寛希, 湯田紀男, 木村安宏, 木下恵介, “これ一冊で船舶工学入門”, 海文堂出版(2016)
- (3) Kenichi Kanatani, “Statistical Optimization for Geometric Computation: Theory and Practice,” Dover Publications, (2005)
- (4) David G. Lowe, “Object recognition from local scale-invariant features,” Proceedings of the International Conference on Computer Vision, 1150-1157 (1999)
- (5) Frank Dellaert, Steven M. Seitz, Charles E. Thorpe, Sebastian Thrun, “Structure from Motion without Correspondence,” Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2000, 557-564 (2000)
- (6) Changchang Wu, “VisualSFM: A Visual Structure from Motion System,” <http://ccwu.me/vsfm/>
- (7) Changchang Wu, “Towards linear-time incremental structure from motion,” Proceedings of the 2013 International Conference on 3D Vision, 127-134 (2013)
- (8) Yasutaka Furukawa, “Clustering Views for Multi-View Stereo (CMVS),” <http://grail.cs.washington.edu/software/cmvs/>

