

複数台のドローン併用による複合海面計測実験

九州大学応用力学研究所 市川香

愛媛大学沿岸環境科学研究センター 森本昭彦

1. 研究目的

本研究では、機動性の高いドローンを用いて任意の場所や時刻で海面高度の計測を行う手法を開発してきた。海面とドローン間の距離を Global Navigation Satellite System (GNSS) 信号の海面反射波を用いる GNSS-R 手法や赤外線測距儀(Lidar)によって決定し、別途 GNSS の精密測位で得られるドローンの高度と併せることで海面高度が計測できる。こうした手法は、静止しているドローンのみならず、低速で移動するドローンからでも計測が可能であることが判明した。

また、ドローンによる海洋観測をさらに拡張するため、海面高度に限定せず、ドローンを用いた他の物理量の計測方法も模索している。ドローンの高所広域撮影の特性を活かした可視画像や赤外線による海面水温画像はもちろん、任意の場所の海面へ水中を乱すことなく接近できるというドローンならではの特性を活かして、海面採水や水温塩分の鉛直プロファイル計測なども試行している。本年度は、複数台のドローンを併用して、これらの多項目観測を同時に行うことができるかを検討した。

2. 研究内容

海面採水用のボトルを底部に取り付けた SwellPro 社の防水ドローン Sprash Drone 4 と、GNSS-R および Lidar を取り付けた海面高度計測用の Sprash Drone 4 の 2 台を用意し、これらを同時に操作する。混信等をせずに 2 台のドローンを独立に操作することができれば、多項目の同時観測が今後可能となる (図 1 左)。なお、海面高度計測ドローンについては昨年度の報告書に、採水ドローンについては月刊海洋 55 巻 7 号に、それぞれ詳しく記述されているため、今回は各々の構成や観測結果に関しての記述は割愛する。

また、SwellPro 社の防水ドローン中で最もペイロードが大きく、3kg まで拡張装置を取り付けることができる FishermanMax を用いて、海中

の水溫塩分の鉛直プロファイル計測を行う実験を行った。船の場合では、電気伝導度と水溫と圧力を記録するセンサー(CTD)を手動またはウインチ等で降下・上昇させることで鉛直プロファイルを計測している。今回は、SonTek 社の小型軽量の CTD センサーである Castaway CTD を 3.5m 長のロープで Fisherman Max に取り付け (図 1 右), ウインチの代わりにドローン自身が上昇・下降することでプロファイルを取得する。ウインチ等の駆動部を設けないため軽量で堅牢に計測することが可能で、鉛直プロファイル長が短い場合には有効な方法である。



図 1 (左) 海面高度計測用のドローンと、海面で採水中の採水用ドローン。(右) 上空で待機中の、CTD センサーをロープで吊り下げたドローン。

3. 研究成果

観測は、森漁港の約 8.5km 西南西(33.727° N, 132.5868° E)の海域において、いさなを用いて 2023 年 12 月 10 日に実施した。朝 8 時台に 2 台のドローンの同時観測実験, 10 時台に CTD ドローンの観測実験を行った。

ドローン海洋観測の場合、特に小型船を利用する際は、作業の安全上ドローンの船上離発着時に他の作業を中断することが多い。複数台のドローンを併用する際には、甲板が小さいと 2 台のドローンを同時に離発着することができないため、待機時間がより長くなる。しかし今回は防水ドロー

ンの特性を活かして海面離発着を行ったため、各々のドローンの離発着に際して船上での待機時間は発生しなかった。2台のドローンは、相互干渉することなく操縦が可能で、運用面では各々の観測項目を問題なく遂行できた。

ただし、単独の操縦者で同時観測が行えたのは、海面高度観測がドローンを上空でホバリングさせて定点保持させたためであり、一般にはドローン同時観測には複数人の操縦者が必要となる。陸上と異なり離発着地点が移動する可能性がある洋上離発着の場合は自動操縦が使いにくく、そもそも上空のカメラで広域を目視しながら藻場やフロント域などの観測地点を決める Search & Sample 方式は自動操縦では行えないため、複数の操縦者を確保することが必要となる。

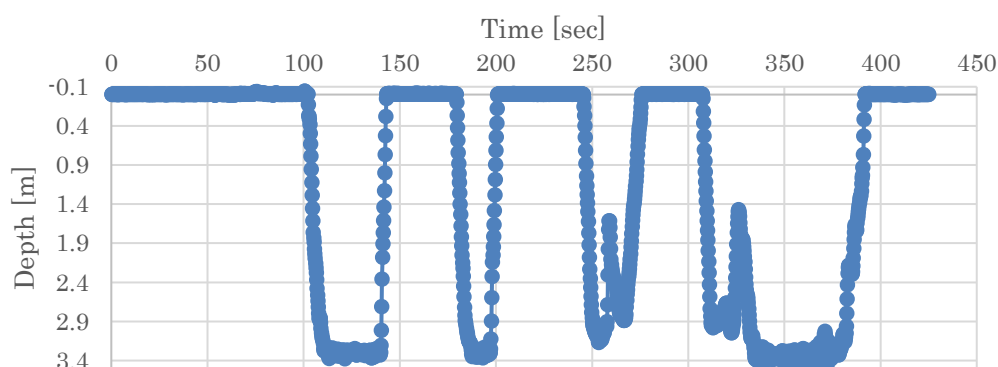


図2 CTDの圧力計で計測した深度の時間変化(10:31からの秒数)。

ドローンによるCTD観測では、ドローンを適当な位置に移動させた後にゆっくりと降下させ、ドローンを海面上で一定時間待機させた後にゆっくりと上昇させるプロファイル観測を、合計4回行った(図2)。CTDセンサーのサンプル間隔は0.2秒とした。このうち、1回目(102~143秒)と2回目(179~200秒)では単純な降下・上昇とし、3回目(245~275秒)と4回目(307~391秒)では、CTDセンサーを水中に没したまま数秒間だけ水平移動をして計測する観測を行った。

得られた水温の鉛直プロファイル例として、2回目の観測時の結果を図

3に示す。水深 1.5 m 以深では、降下時（赤線）も上昇時（青線）もほぼ同じ変化をしているが、海面近くでは大きな差が出ていることがわかる。これは、温度センサーが大きな温度差に追随するのに応答時間が必要なために生じたと考えられ、気温に馴染んだセンサーが水温に瞬時に応答できず、最初の数回の観測（0.6 秒ほど）に大きな温度変化が生じている。逆に、水温に馴染んだセンサーが上昇する際には応答遅延が生じず、青線では海面直下 0.5 m 層内の僅かな温度上昇が記録できている。

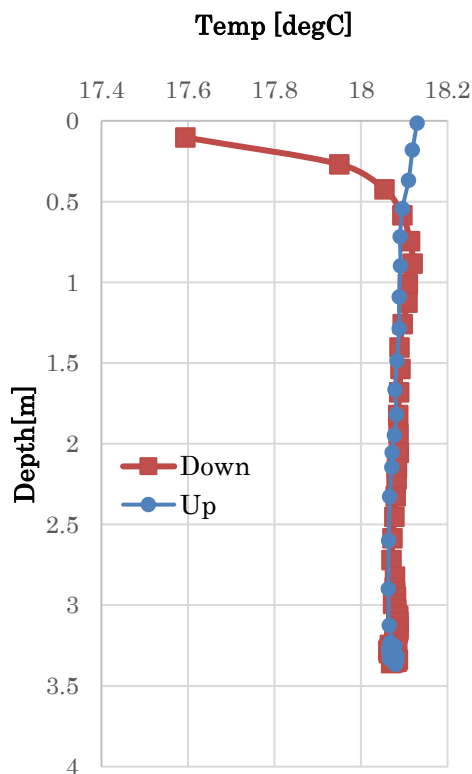


図 3 CTD の 2 回目の降下上昇時の水温の鉛直プロファイル。降下時の結果を赤で、3.5m 深で約 10 秒間停止した後に上昇した時の測定結果を青で示す。

4 回の結果をまとめて T-S 図にしたのが図 4 である。2 回目の観測値(緑線)を見ると、上記した図 3 の顕著な水温センサーの応答遅れは、塩分 27.5 psu 付近の横方向の変化として出ている。それに続いて 31 psu 程度になるまで図中で縦方向の変化が生じているが、これも電気伝導度に生じた水温の影響が正しく補正できていないためと考えられる。結局、31 psu 付近の測定値が得られるまでにセンサーが水中に没してから 2 秒ほど要するため、現在の観測方法だと海面下 1.5m 深近くまでは降下時のデータは使用できないことが分かった。

なお、ドローンが水平移動する 4 回目の結果を見ると、横方向に広がる

点群は 31.5 psu 付近と 31 psu 付近に分かれていて、それぞれ 1 回目と 2・3 回目の観測値に近い。これらは、水平方向の塩分勾配を捉えている可能性があり、細かい空間分解能での河川水分布の観測に利用できる可能性が示唆される。

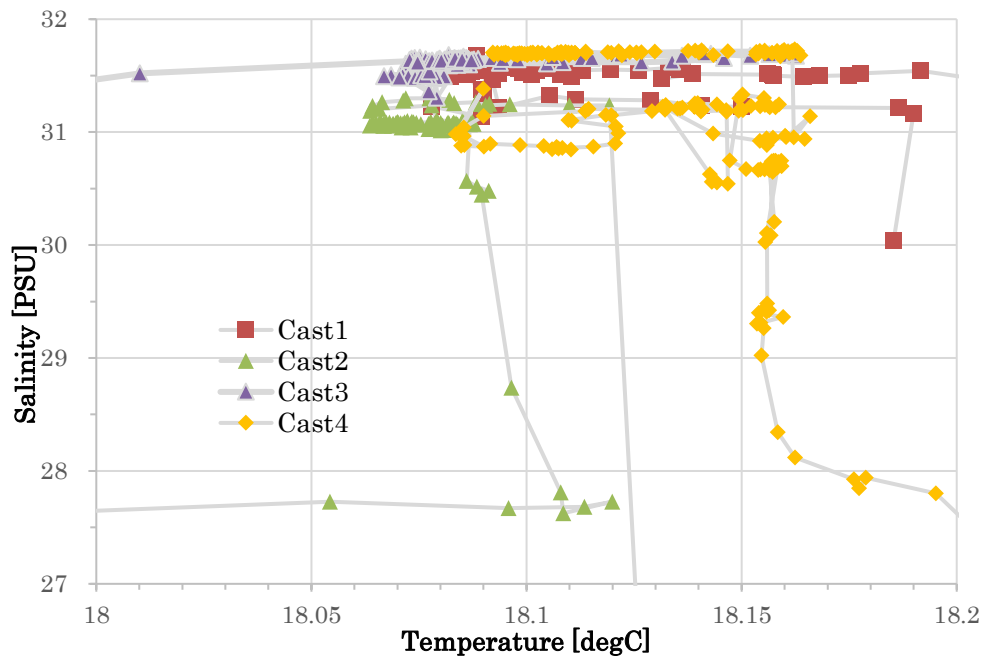


図 4 全 4 回の CTD の T-S 図。

4. まとめ

防水ドローンを用いて海上離発着をすることで、小型船でも複数台のドローンを同時に操作して多項目の海洋観測が行えることが分かった。また、CTD センサーをドローンに吊り下げる単純な方法であっても、ドローンの上昇・下降を利用して、任意の場所で水温・塩分の鉛直プロファイルを計測できることが分かった。プロペラ等によって海面付近の構造を混合させることなく観測地点に接近できるドローンは、海洋上層の微細構造の観測などに利用できる可能性が強く示唆された。

ただし、センサーの応答時間の遅延の影響評価や、ドローンの操縦者の確保など、慎重な対応が必要な要素も残されている。今後も実験を進め、システムの改良を進めていきたい。