

様式3

愛媛大学沿岸環境科学研究センター
共同利用・共同研究拠点「化学汚染・沿岸環境研究拠点」
共同研究報告書

平成30年 2月23日

化学汚染・沿岸環境研究拠点 拠点長 殿

申請者（研究代表者）

所属機関 九州大学応用力学研究所

職 准教授

氏名 木田新一郎

e-mail kida@riam.kyushu-u.ac.jp

下記の共同研究について、別紙の通り報告します。

1 研究課題

瀬戸内海の潮汐前線に関する研究

2 研究組織

氏名	所属	職	分担研究課題
代表者 木田新一郎	九州大学応用力学 研究所	准教授	潮汐フロントの観測
拠点対応教員 森本昭彦		教授	

3 研究内容（別紙）

瀬戸内海の潮汐前線に関する研究

研究代表者：木田新一郎（九大応力研）

研究協力者：磯辺篤彦（九大応力研）・森永晋乃介（九大総理工）・楨原峻太郎（九大総理工）・中田光（九大総理工）・石元伸（九大総理工）

1. 研究目的

CTD 観測と低高度リモートセンシングによって、潮汐前線の微細な空間構造を明らかにすることが本研究の目的である。伊予灘では、夏季になると潮汐前線が形成されることがよく知られている。この潮汐前線の空間構造は CTD 観測からその鉛直構造を知ることができるが、同時にその水平構造を把握することは難しい。衛星データは空間解像度が 1km ほどであり、数メートルスケールで存在する前線の微細な空間構造を検知することは難しい。高解像度の数値実験から潮汐前線に微細な空間構造が存在することが示唆されている。そこで本研究ではその実態を直接観測から検証することを目指す。

潮汐前線の微細な空間構造を観測から明らかにするため、CTD 観測と同時に自律式無人航空機（ドローン）を用いて空撮観測を実施する。ドローンによる海洋観測はまだ実用例が少ないが、航空機を用いた観測に比べ安価である上、小型で持ち運びも容易である。また、バルーンを用いた観測では観測範囲が船による曳航速度に制限をうけたが、ドローンを用いることで GPS 自立制御、自動帰還、プログラム飛行が可能になり広範囲を観測できることが見込まれる。ドローン空撮と CTD 観測を組み合わせることで、高解像度で海面の水平構造、そして断面図による鉛直構造、と三次元的な観測が可能になる。

2. 研究内容

調査船「いさな」を使用し、2017 年 8 月 2 日に森漁港から佐多岬までの伊予灘において潮汐前線の観測を実施した。用いたドローンは

ドローン 1 : Phantom4 Pro（可視カメラのみ）

ドローン 2 : Matrice 600 Pro（可視カメラ+赤外線カメラ）

である。時々刻々と変化する潮汐フロントの位置の特定に機動性の高いドローン 1 を用いる。海面水温分布の連続撮影に可視/赤外線カメラが搭載されているドローン 2 を用いる。

【観測手順】

図 1 に観測手法の概要を示す。まずは観測海域において目視で収束域を確認し、次にドローン 1 を用いて上空から観測し、潮汐フロント前線のおおよその空間構造と位置を特定する。この情報をもとにドローン 2 を飛行させる範囲を決定し、その飛行プログラムを作成する。ドローン 2 に搭載されている赤外線カメラは 1 秒間隔で海面を観測する。可視カメラはドローンの飛行プログラムで

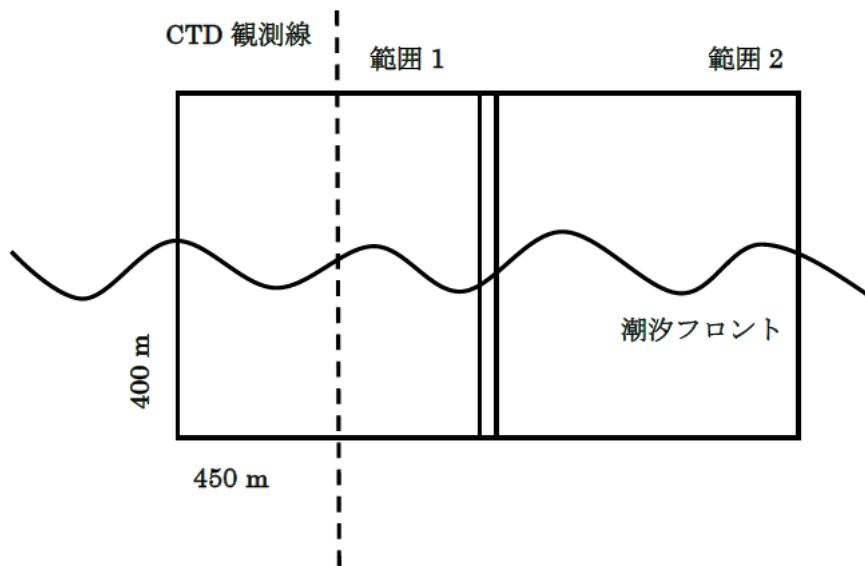


図 1 : 観測計画の模式図

設定したオーバーラップ率に基づいた観測範囲において事前に決められた位置で観測する。撮影位置ではカメラは真下に向いている。ドローンの機体底部に設置してある可視カメラと赤外線カメラは、ほぼおなじ位置から海面を観測するが、撮影するタイミングはそれぞれ独立で設定されている。そのため、赤外線カメラによる撮影は機体が傾いた際のデータも含まれることになる。

ドローンの運行は飛行高度 100 m、飛行速度 5 m/s、飛行経路上のオーバーラップ率 50%、飛行経路間の画像オーバーラップ率 50% に設定する。空撮範囲を広く撮りたいため、陸上より低いオーバーラップ率を用いているが、画像合成の際は撮影位置情報を利用するため、問題ないと考えた。空撮画像の高度 100 m で撮影された可視画像一枚は約 100 m × 70 m、赤外画像一枚は約 80 m × 60 m になる。また解像度はそれぞれ約 2.5 cm/ピクセル、20 cm/ピクセルになり、どちらも極めて高い空間解像度である。今回の観測では一度の撮影範囲が約 400 m × 400 m となっており、合計 2 回空撮を実施した。

ドローン空撮に合わせ、前線に直行するように CTD 観測線を行い、温度校正用ブイ二基も放流する。これらのブイはドローン 2 によって空撮された赤外画像の温度補正に用いる。

3. 研究成果

図 2ab は可視カメラから得られた全画像の合成図である。木くずや藻のような浮遊物が並んでいることが確認でき、その位置が収束域となっていることが予想される。2 つの合成図の違いはその合成方法にあり、同じ場所を 2 回観測し

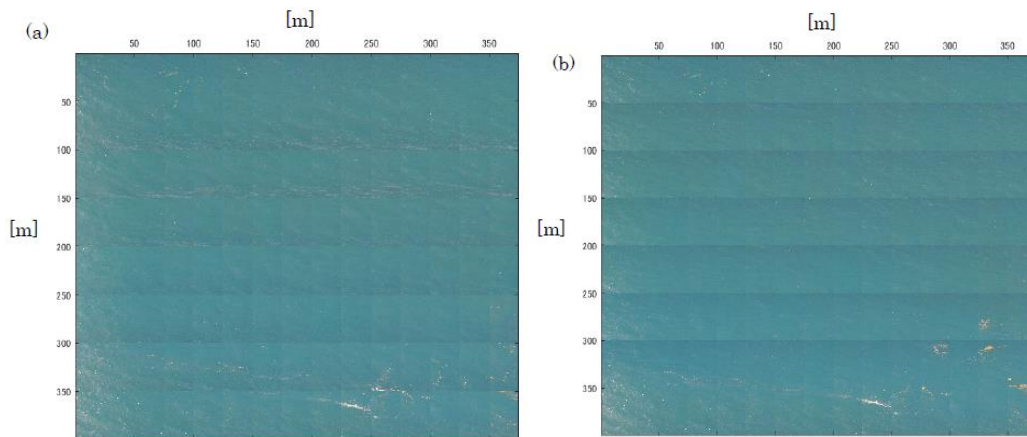


図 2：可視画像の合成図。(a) 後から撮られた画像を合成に用いた場合、(b) 先に撮られた画像を合成に用いた場合。

実際、図 2a は先に観測された画像を用いたものであり、図 2b は後に観測された画像を用いたものである。図 2a には収束域が一ヶ所だけ確認できるのに対し、図 2b では二ヶ所確認できる。このことから収束域は図 2b のように二ヶ所あるわけではなく、流れによって位置が移動したことによってドローンが二度観測したと予想される。二つの収束域の距離は、当日の潮汐の流れの速さとドローン観測の時間差から予想される収束域の移動距離とおおよそ一致していた。

図 3a は赤外線カメラによって得られた画像一枚である。撮影範囲は縦横 80 m × 60 m で空間解像度は 20 cm/ピクセルと極めて高い解像度で観測できた。画像の右下にかけて値が大きくなっていることが確認でき、画像全体として楕円形に類似したバイアスが存在しているように思われる。同様の傾向をもつバイアスが他の時刻に観測した赤外画像にも確認できたことから、おそらく Miyao et al. (2017) で述べられている口径食だと予想される。またバイアス構造が必ずしも楕円形ではないことから太陽光の照りかえしの影響も強く受けていることが考えられる。そこで撮影画像の前後 20 秒間の画像をもとにフィルターを作成し(図 3b)、このフィルターを使用してフラットフィールド補正を行った。補正された赤外画像が図 3c であり、撮影範囲では水温がおおよそ均一ななか、海面水温が低い小さい空間構造が存在することが抽出できた。

可視画像と同時刻に観測された赤外画像を用いて、可視画像と同様の手法で全画像の合成図を作成した。しかし撮影画像の値にドリフトが存在し、その影響が強く残った。これはカメラの自己発熱やドローンが空撮する際の姿勢の違いの影響だと考えられる。簡易的な補正方法を用いることで潮汐フロントと考えられる穏やかな水温勾配が確認できたが、ドローンの進行方向による違いと考えられるバイアスは残った。より正確な水温分布を求めるには更なるバイア

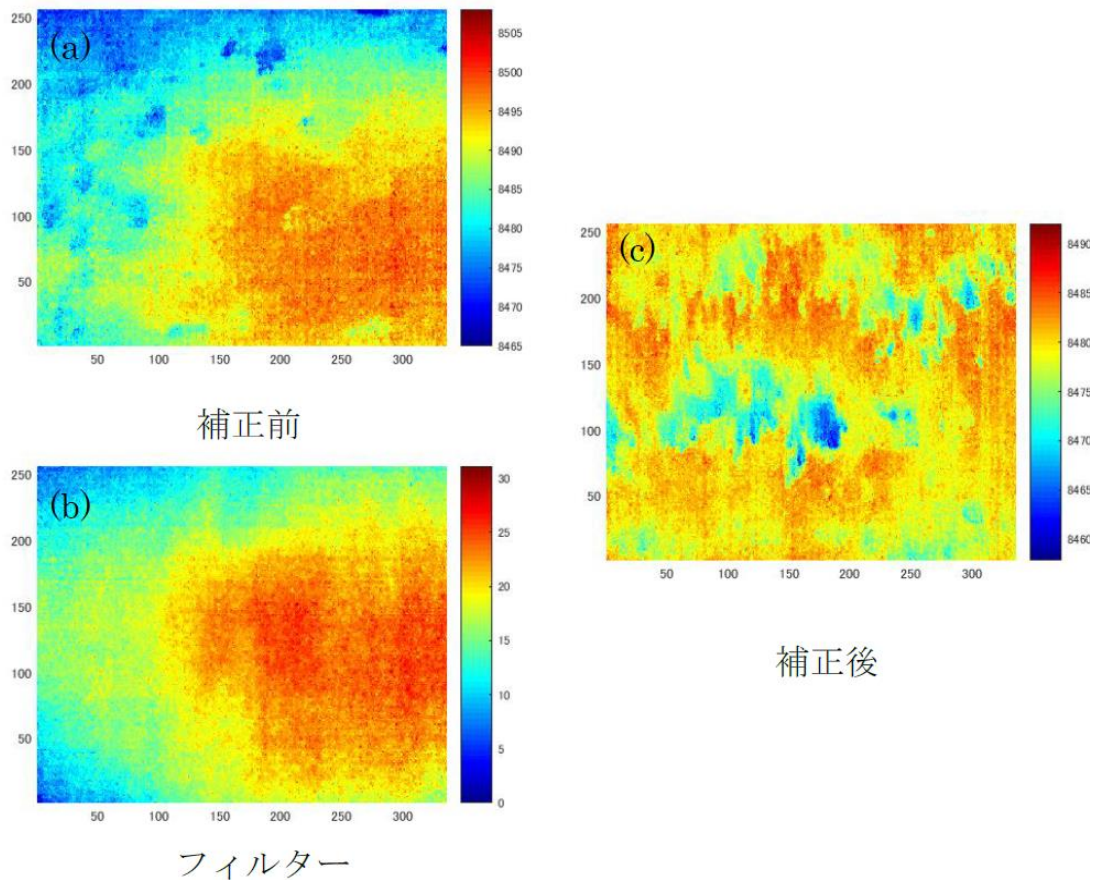


図3：赤外線カメラを用いた観測画像 (a) 補正前（観測値） (b) フィルター (c) フラットフィールド補正をおこなったもの

ス補正の方法に改善が必要である。

放流したブイの一つは空撮領域に収まったが、もう一つを収めることができなかった。そのため赤外画像の絶対水温への補正はできなかった。ドローン空撮は1時間を超えるため、ブイをその空撮領域に収めることは難しい。観測手法として改善が必要である。

ドローン空撮と同時に行ったCTD観測から、今回の観測域が弱化した収束域であり、潮汐前線にともなう等温線が海面付近へ **Outcrop** していないことが明らかになった。そのため、海面水温には強い水温勾配が存在しなかったことが予想される。昨年同時期に、山本(2017)が観測したような大きな水温勾配が今回観測されなかったのは、この潮汐前線の弱化が影響していると考えられる。弱い水温勾配をもった潮汐フロントの観測は結果的に取得される赤外画像が口径食などのバイアスの影響を強く受ける画像につながる。潮汐前線に沿った海面水温の変化を観測するには、混合域と成層域が明確に分離される大潮期に観測を行う必要がある。

4. 成果発表

学会発表

[1] 森永晋乃介・木田新一郎・磯辺篤彦, ドローン空撮による沿岸海洋過程の赤外リモートセンシング, 日本海洋学会 2017 年度秋季大会, 2017.10.05

5. 今後の問題点

これまで Miyao and Isobe(2017)や山本(2017)がバルーン空撮によって実施した伊予灘の潮汐前線の赤外空撮観測を、ドローンを用いて観測範囲を拡大して実施することを目指した。観測範囲は広がり、その解像度からドローン観測の今後の可能性の高さを確認することができた。ただ、今回取得された赤外画像には強いバイアスが存在し、補正方法には改善の余地があることも明らかになった。また潮汐前線自体は時々刻々その位置を変えるなか、水温の校正用にもちいるブイをどのようにドローンの観測範囲と一致させるか、ドローンの飛行プログラムを再考する必要がある。

CTD 観測からは今回の観測域はそもそも潮汐前線が弱く海面における水温勾配が非常に弱かった可能性が高いことがわかった。赤外線画像の補正方法の改善とともに観測時期を十分に考慮する必要がある。