

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 2 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610141

研究課題名(和文)サーモグラフィ搭載の船舶曳行式バルーン空撮でみた沿岸海洋の新世界

研究課題名(英文)A novel coastal ocean found by using a vessel-towed balloon equipped with a thermography

研究代表者

磯辺 篤彦 (ISOBE, ATSUHIKO)

九州大学・応用力学研究所・教授

研究者番号：00281189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、観測船から高度100 - 200m程度で曳行するバルーンに熱赤外カメラを装着し、海面の海洋微細構造を計量するシステム開発に取り組んだ。2013年の8月に伊予灘(瀬戸内海)で、2014年9月に玄界灘において、サーモグラフィ搭載のバルーンを調査船で曳行し、可視化された海表面水温から、沿岸海洋前線(フロント)構造や、前線に発達する舌状構造を確認した。さらに水平規模が10 m以下の微細渦(水温のパッチネス構造)の可視化に成功した。また、微細渦の前線周辺での生成や、それ以降の移動に至る一連の時間発展が追跡できた。

研究成果の概要(英文)：We attempt to establish a “low-altitude” remote sensing system using a balloon equipped with a thermography. The field surveys were carried out at Iyo-nada in August 2013, and at Genkai-nada in September 2014. The balloon was towed by research vessels in keeping the altitude of about 100-200 m. The infrared images taken by this balloon photography well captured oceanic fronts, and tongue-like meanders developed along the front with an interval of around 10 m. In addition, the appearance of micro-scale eddies (patchiness of warm water) and its migration were both successfully observed.

研究分野：海洋物理学

キーワード：バルーン空撮 熱赤外画像 沿岸海洋前線 渦構造

1. 研究開始当初の背景

古典的な Sverdrupian 海洋力学に従えば、西岸域を除く大洋の大部分では、緩やかな南向流が観測されるはずである。ところが、70年代に米ソが行ったMODEやPOLYGONといった観測プロジェクトが見出したものは、直径100km程度の西進渦で満たされたダイナミックな大洋の姿であった。従来の海洋循環像に劇的な転換をもたらした「中規模渦」の発見である。瀬戸内海を航行すれば、しばしば、さざ波が立っていない、空間規模が100m以下の小水域に遭遇する。さざ波の立ち方は表面張力に依存し、表面張力は海水温に依存する。この小水域は水温が周囲と異なる微小水塊なのであろう(水塊内外の圧力変化や流速シアを期待して、以降「微細渦」)。沿岸海洋は微細渦で満たされているのではないか。表層水温の連続データに見られる通常は平滑化されるノイズは、これらを捉えているのではないか。しかし、沿岸域における海洋循環像に劇的な転換を夢見た微細渦の研究は、大抵の場合、挫折する。既存定線観測網や解像度1km程度の衛星熱赤外面像では、微細渦の検出に粗すぎる。集中的な船舶水温観測では、カバーできる海域が狭すぎる。

我々の研究グループは、沿岸域の観測に、可視カメラ搭載の船舶曳行式バルーンを導入している。ここにサーモグラフィ(熱赤外カメラ:海面の水温分布を撮影)を搭載することで、誰も目にしたことのない、周囲と水温の異なる沿岸微細渦に満ちた海洋の新世界を俯瞰する着想を得た。

2. 研究の目的

本研究では、沿岸海洋において、サーモグラフィ搭載のバルーンを調査船で曳行し、微細渦(水温のパッチネス構造)が密に分布する沿岸域の実態を可視化することを目指す。また、微細渦の前線周辺での生成や、それ以降の移動や消滅に至る一連の時間発展を追跡する。本研究の斬新性は、これまでの観測が捉えなかった沿岸微細渦を可視化することにある。力学的に不安定である海洋前線には、前線不安定波動が成長する。そして、不安定波動が成長する前線周辺からは、暖水渦や冷水渦が切り離され、海洋を漂流していく。北太平洋の黒潮続流から切離した渦を衛星熱赤外面像で見なれた海洋学研究者には、なじみ深い海洋過程である。時空間規模や力学過程に違いはあろうが、沿岸海洋においても前線から切離した渦が存在するはずである。

3. 研究の方法

Kako et al. (201) 等にある通り、当研究室にて使用実績のあるヘリウムガスを充填したバルーン(スカイキャッチャー;MHI Ship & Ocean Eng.;写真1)を用いて、低高度のリモートセンシング実験を行った。バルーン底部には、遠隔操作の防水ケースに納めた軽量サーモグラフィカメラ(サーモショット F30;日本アビオニクス)を吊り下

げ、バルーンごと調査船で曳航して海面を撮影するシステムを構築した。カメラアングルの調整と撮影は船上に置いたプロポで制御することができる。カメラは一回の撮影で可視画像と赤外面像の両方を得ることができる。

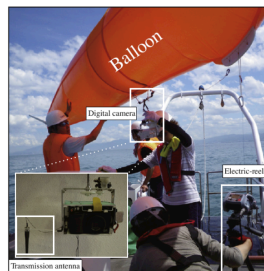


写真1 船舶曳航式バルーン空撮システムの運用風景

なお、可視・赤外を問わず、空撮画像は斜め上から撮影したことによる歪みを含んでおり、撮影対象の空間座標を特定するためには、全ての画素をデカルト座標に置き換えるための幾何補正を要する。そのためには、画像を回転させるための基準点

を、一回の画像内に少なくとも5点設ける必要がある(Kako et al., 2012)。基準点とするため、GPS受信機を装着した漂流ブイ(以降、ブイ)を制作し、一回の空撮実験で20枚ほどを放流した。ブイの放流と回収には時間を要するため、基準点を設けること無しに幾何補正を行う方法に開発にも取り組んだ。そのため、姿勢センサ(GPS 9軸ワイヤレスモーションセンサ; Logical Products)をバルーンに装着し、カメラの撮影角度(ロール角・ピッチ角)を記録する実験も実施した、この際には放流したブイは幾何補正には用いず、姿勢センサでは計量できない画像の方位角算出にのみ使用した。

実験は二回行った。最初の実験では姿勢センサを用いず、幾何補正をブイの位置座標からのみ行った。2013年8月20日に愛媛大学沿岸環境科学研究センター所有の調査船「いさな」にて、伊予灘における潮汐フロントに赴き、バルーン空撮を行った。その際に、まず、調査船から目視観測にて泡や漂流物の集積域(フロント)を探し、続いて、確認したフロントを横断する方向に10点を設けてCTD観測を実施した。その後、ブイをフロント周辺に均等に並ぶよう投入し、サーモグラフィカメラを装着したバルーンを調査船で曳航しながら、ブイとフロントが同時に写るようカメラアングルの調整しつつ撮影を繰り返した。撮影は10分程度で終了し、この間に約100mのバルーン高度を維持した。

続いての実験は、2014年9月9日に玄界灘の津屋崎沖に形成される潮汐フロント周辺で実施した。九州大学応用力学研究所の調査船「だんりゅう」を用いて、前年と同様の手順でフロントの空撮を行った。ブイも放流したが、当年はバルーンに姿勢センサを取り付けて、センサが記録するロール角とピッチ角データを用いることで幾何補正を行うこととした。これによって、ブイの放流と回収に要する時間を大幅に短縮でき、効率の良い観

測を実施することが可能となった。ただ、画像の方位角を決定するための基準点が、少なくとも2点必要であって、そのために5つのブイを放流した。

4. 研究成果

まず、伊予灘で撮影した画像を図1に示す。

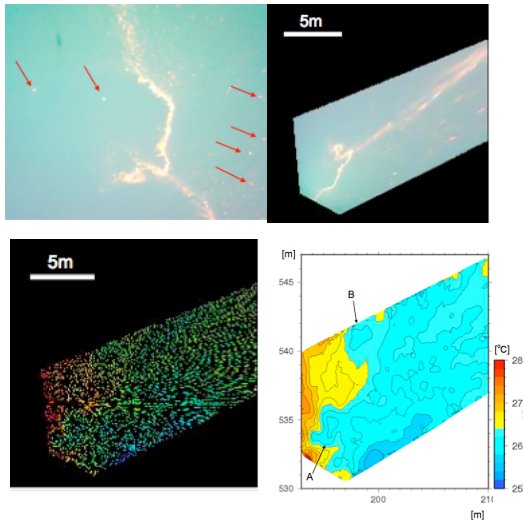


図1 伊予灘で取得した画像。左上は可視。右上が幾何補正を施した可視。左下が幾何補正した熱赤外画像で、可視画像より解像度が粗いため隙間がある。右下が隙間を補間した熱赤外画像

図1左上の可視画像には、浮遊物で可視化されたフロントが明瞭である。画像ではわかりにくい、矢印は幾何補正の基準点位置を与えるフロントを示す。右上は左上の可視画像を幾何補正したもので、したがって画像に長さスケールを合わせることができる。この画像と同時に撮影された赤外画像(=海面水温分布)が左下にある。赤外画像は可視画像に比べて解像度が粗いので、幾何補正した段階で画素間に隙間ができてしまう。この隙間を客観解析で補間したものが図1右下の海面水温分布画像である。

画像を見ると、浮遊物だけではわかりにくい、10m程度の距離を置いて、フロントが波動の用なパターンを見せていることがわかる(A,B)。もちろん、二つの峰のみで波長10m程度の波動の存在を示したことにはならないが、この10mといった空間スケールは、従前の船舶観測や衛星観測では、全く検出することのできない、バルーンを用いた新たな視座でのみ検出できたことを強調したい。

同じ観測時に、わずか2分程度の間隔で得

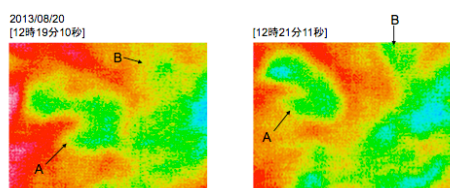


図2 伊予灘で撮影した熱赤外画像。連続する2分間で取得したフロント周辺の海面水温分布。

られた二つの熱赤外画像を図2に示す。図1で示した画像の直後の変化を示す。ただし、ブイが幾何補正の可能な位置に配置していなかったため、撮影した熱赤外画像をそのまま貼付けている。

幾何補正ができなかったため、位置の特定には曖昧さが残るが、それでも連続する2分間のなかで、図1から類推して直径5m程度の微細渦がフロントから切離したのち(図2左)、フロントから離れて移動していく様子(右)が捉えられている。沿岸海洋には、我々が想像する以上に、細かな時空間変動が存在するようである。

前年と同様の観測を玄界灘でも実施した。図3には、図1と同様の幾何補正済みの可視画像(左)と、同時に撮影された熱赤外画像を示す。

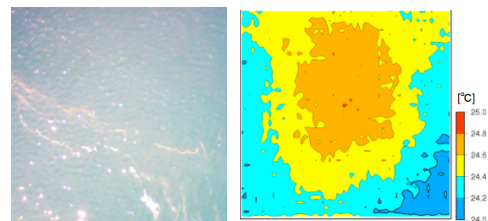


図3 玄界灘の空撮で得た可視(左)と熱赤外画像(右)

伊予灘同様に漂流物でフロントが可視化されているが、これを撮影した熱赤外画像を見ると、伊予灘での画像に比べて明らかに不自然な同心円構造をしていることに気づく。これは、レンズと海面との間にある水蒸気によって、海面からの距離が長い周辺で赤外線線の減衰が顕著であったため生じると考えられた。伊予灘での空撮画像にはこのような同心円構造は見られず、おそらく海上の水蒸気量等の局所的気象条件によって、このようなノイズが大きくなるものと推察される。

ここでは、海上の水蒸気量についての考察は行わず、単純に楕円構造を水温分布に最小二乗法で近似し、それからの偏差を得ることで真の水温分布を得た(図4)。

玄界灘の撮影では幾何補正はバルーンにつけた姿勢センサのデータで実施しているが、画像の方位角は2つのブイ座標を用いて計量する。このようにして、連続して撮影した複数画像をつないで、比較的に広範囲のフロント周辺に置ける海面水温分布を得た(図5)。まだフロントの全体像を俯瞰するには充分ではないが、それでも伊予灘と同様に波長が10m程度の波動構造が確認できる。

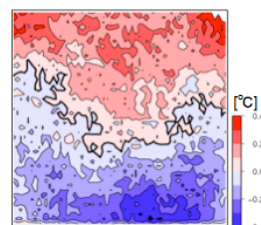


図4 楕円分布からの偏差で得た海面水温分布

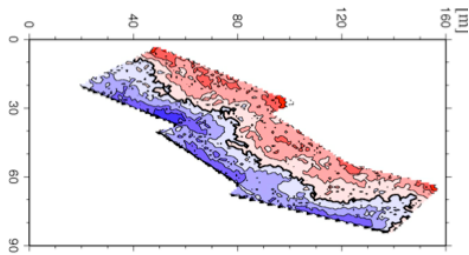


図5 4枚の画像をつなげたフロント周辺の赤外画像(海面水温分布)

本研究は、例えばバルーンとサーモグラフィカメラを組み合わせた低高度のリモートセンシングが、沿岸海洋における微細な海洋構造を検出するのに威力を発揮することを確認した。ただし、海上の気象要素に影響を受ける条件が未整理である。なぜ伊予灘では楕円近似を除去すること無く、赤外画像が得られたのか、なぜ玄界灘では補正を要したのか。また、画像の方位角を計量するために、まだブイを放流する必要がある、これが観測の効率を著しく落としている。今後は、バルーンに自記式の方位計を取り付けることで、完全なスタンドアローン型のバルーン空撮システムを構築していきたい。

5. 主な発表論文等,
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

宮尾泰幸・磯辺篤彦(2016) “曳行式バルーンを用いた沿岸海洋観測の提案” 沿岸海洋研究(2016年2月発行予定)

[学会発表] (計 2 件)

磯辺篤彦 “高解像数値モデルと新観測技術を用いた瀬戸内海の海洋循環研究” 2014年海洋学会春季大会・沿岸海洋シンポジウム(東京)

宮尾泰幸・磯辺篤彦 “船舶曳航式バルーンを用いた沿岸海洋観測の提案” 2015年海洋学会春季大会・沿岸海洋シンポジウム(東京)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

該当記載事項無し

6. 研究組織

(1) 研究代表者

磯辺篤彦 (ISOBE, Atsuhiko)
九州大学応用力学研究所教授
研究者番号: 00281189

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: