

赤潮災害対策としての UAV(無人航空機)による水域モニタリング手法の開発

水産学部 教授 西 隆一郎

1. はじめに

鹿児島県ではブリやマグロそしてウナギなどの養殖が大規模に行われており、地域の産業としては重要である。そして、2016年の6月には八代海で赤潮が発生し、長島町漁協では約2億円の漁業被害が発生した。また、2017年8月8日の読売新聞には「養殖フグ、赤潮で25万匹死ぬ・・・被害2億円超」との見出しで、長崎県の伊万里湾で発生した赤潮の記事が掲載されている。

大規模な赤潮が発生すると地域の水産業（養殖業）に数億円単位の被害が出ることは稀ではないので、事前に赤潮の発生を予測できれば、更なる水質管理努力を加え、場合によっては、養殖いけすを赤潮の発生海域外に移動することも可能であるが、赤潮の発生を数週間以上前に予測することはほぼ不可能である。一方、隣接海域で赤潮が発生した場合に、早急にその位置と規模、および、移流拡散状況を把握すること（超短期予報）が可能ならば、赤潮が発生しにくそうな海域に事前に養殖施設を移動することで赤潮被害を低減できるはずである。そこで、UAV（無人航空機・ドローン）を用いて、空から定期的に海水面のモニタリングを行い、写真-1に示す様な赤潮の発生状況を把握するための海面モニタリング手法を開発する必要性を感じた。そこで、本研究では、赤潮が発生する可能性がある長崎県沿岸、八代海の鹿児島県沿岸、そして、大分県佐伯市沿岸において実施した UAV 海面モニタリング技術開発の試行錯誤に関して述べることにする。



写真-1 日本海沿岸で有人航空機より撮影した赤潮の状況

2. UAV を用いた海面モニタリングのための UAV 運航地域

船舶からではなく、UAV を用いて空から海面のモニタリングを行うことに関し、現状では、現場の海水の採取（サンプリング）が行いにくいことや気象・海象条件に制限が多いという欠点は

あるが、機動性、コストパフォーマンス、同一時間で調査できる範囲が広いなど多くの利点がある。また、UAV（無人航空機）を飛ばして搭載カメラにより海表面および浅い水中のモニタリングを行う場合には、日中の太陽反射が強い時間帯、および風波により水表面に擾乱が多い条件では、海表面および浅い水中内の可視化情報がなかなか得られないので、UAV（無人航空機）を用いて空から質の良い（判読しやすい・解析しやすい）写真を撮るための撮影技術の開発も必要である。当然ながら、自然条件で飛行を行うので、様々な気象・海象条件の下で安全な運航を行うための技術も必要となる。また位置情報付きの空撮写真をたくさん重ね合わせて広い海面領域の海面画像を合成（オルソ画像を作成）するためには、陸上で行うような写真測量用のUAVフライト技術だけでは、写真の合成ができないことがよくある。そこで、従来は写真測量の対象外とされた海域（海水面）であっても、ある程度の写真合成（写真測量）ができるような、フライト技術の開発も必要であった。また、赤潮対策用の海面モニタリングを行う場合には、船舶上から海面モニタリングフライトを行う場合と、陸地を起点にして海面モニタリングを行う場合があるために、両方の技術開発も必要である。そこで、これらの問題に対応する技術開発を行うための空撮フライトを、長崎県沿岸、鹿児島県沿岸、そして、大分県沿岸で行うことにした。

まずは、長崎大学所有の調査船鶴洋丸上で船上からUAVを用いた海面モニタリングを試行した。この時には、船を沖合で一旦停止させ、甲板上からUAVを離陸させ、目視でUAVを視認できる船周辺数百m圏内の海面モニタリングを行うことができた。ただし、金属製の船であることや金属製の障害物が多いためにUAVの方位センサー（磁器センサー）やGPSセンサーが陸上からの離陸に比べて感度が弱くなりがち（受信しにくくなりがち）なことが分かった。その後、船を約10ノット（約5m/s）で走らせ甲板上からUAVを離陸させ海面モニタリングを行おうとしたが、種々の問題のために高度な飛行技術が必要となることが分かった。例えば、通常はUAVの運航時の風速は5m/s以下を安全の目安としているが、船の移動速度そのものが低速で航走しているとはいえ、約5m/sであるので、機体が甲板を離れた瞬間に機体に風速の上限としている5m/sの風が作用することになる。また、甲板を離陸し上昇しようとしている時に急激に背後方向から艦橋が迫り、衝突の可能性が高いことも分かった。さらに、機体を安全に離陸させるためには、甲板から直接離陸させるのではなく、人が頭上にUAVを両手でしっかり保持し、操縦者の合図で機体をリリースする方がより安全性が高まることも分かった。なお、調査船鶴洋丸でUAVのフライトを行う前に複数のUAVを同時に運航させても問題はないとのアドバイスを受けて運航したのであるが、実際には、別組織のUAVとフライト中に混信してしまった。船に回収する努力を繰り返したのではあるが、最終的に回収できず東シナ海に機体が沈んでしまったために、空撮画像を記録したメモリーも回収できなかった。



写真-2 鹿児島大学水産学部附属海洋資源環境教育研究センター東町ステーションの様子

陸域から離陸して赤潮の海面モニタリングを行う調査地としては、鹿児島大学水産学部附属海洋資源環境教育研究センターの東町ステーション（長島町）の周辺海域を対象とした。



写真-3 東長ステーションの周辺海域の様子 写真-4 海域に設置された養殖施設

3. UAV を用いた海面モニタリングのための空撮技術

長島町にある東町ステーションは八代海に面した教育研究施設であり、全面海域には養殖施設が多数配置され、赤潮情報も鹿児島県から配信されている状況であったために、周辺の島を含め格好の海面モニタリング基点であった。本施設内の敷地化から UAV を離陸させて海面および海中を可視化するための運航技術及び撮影技術の試行錯誤を繰り返した。また、一般論としては、本海域の赤潮は4月以降で、雨が数日降り続き、その降雨により、陸地の栄養塩が海域に多量に流出し、その状況で、晴れ間が数日続いて海表面近傍に植物プランクトンの光合成に必要な栄養塩と光が豊富にある状態になると、赤潮が起こりやすくなる。

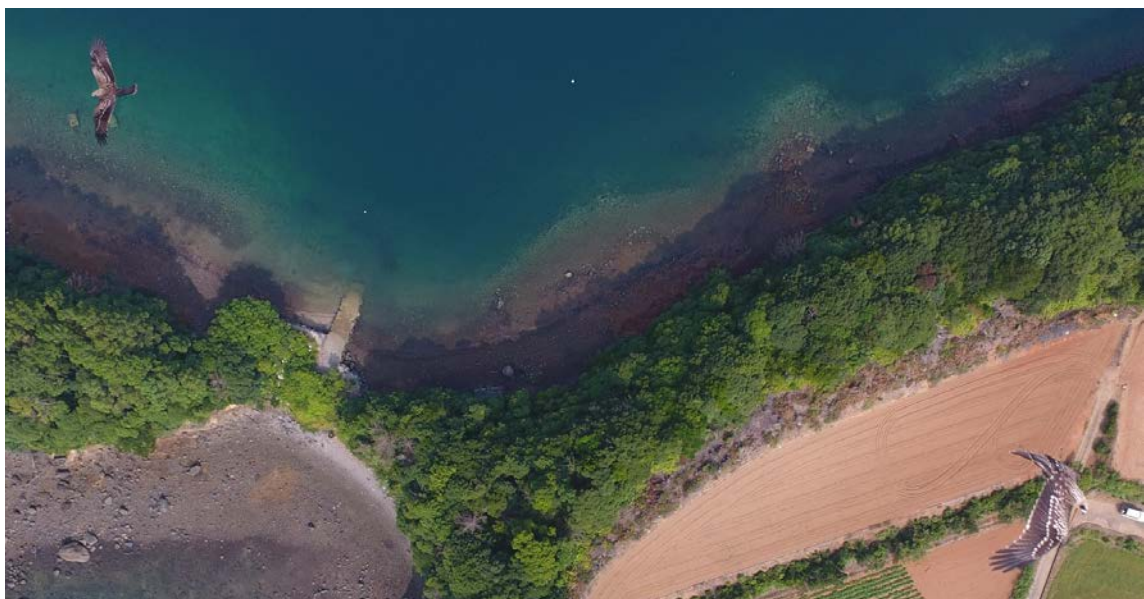


写真-5 長島町の典型的な陸域（農地）と海域の接続状況

なお、本研究期間中の夏季休暇時期に、沿岸環境を学ぶ大学院生3名がタイ国のカセサート大学から海岸環境工学研究室に短期留学してきた。修士課程の研究を進めるうえで、UAVによる海域モニタリング手法を学びたいという希望があったので、東町ステーションにおいて、UAVの運航訓練及び空撮技術の習得を図ろうとした。しかし、写真-5中にも写っているが、操縦訓練中に数頭の大型の猛禽類やカラスの集団がUAVに対して威嚇行動を始めたために、大学院生3名は恐怖感を覚え、操縦を断念してしまった。そこで、指導役の著者が、威嚇行動を始めたり、超接近飛行を行う鳥類にどのように対処するか実演しながら、海面モニタリングを継続して、撮影データをタイ人大大学院生に提供することになった。陸域での調査に比べると、赤潮調査の様に沿岸域でUAV調査を行う場合には、大型猛禽類やカラスなどに遭遇する頻度がより高くなるので、安全な海面モニタリング運航を行う上で、鳥類対策技術が必要なことを実感した次第である。加えて、赤潮のための海面モニタリング目的でUAV空撮を行う場合には、(i)安全な運航、(ii)質の良い空撮画像の取得が最も重要である事が分かった。

(1) 画像解析(写真測量)の手順

現在、UAVにおいて空撮作業を行う場合に、空中写真撮影地点のGPS情報(緯度・経度・高度・時刻)を利用できる場合が多い。また、GPS機能付きのカメラであれば、デジタル画像に撮影(Exif)情報が書き込まれている。また、UAV付属の小型カメラの性能も改善されており、本研究で主に用いた20Mピクセルカメラであれば、メモリーカードに記録された写真は1枚が5,472×3,078ピクセルサイズで、水平および垂直方向の分解能は72dpiになっている。撮影された対象物にもよるが、写真1枚は約6~7メガバイトの容量となる。使用するUAVの機種にもよるが、沿岸域で飛行空域制限の課されていない海域で飛行する場合には、航空法上の許可申請を特にしなければ、日中の目視運航で、飛行高度の上限は150m、そして、人などからは最低限でも30m以上機体を話して運航することになる。また、気温や風速にもよるが、通常は20分から30分弱のフライトが、一つのバッテリーで可能である。本研究目的を達成するために、空撮は2秒間隔で行うように設定した。結果として、1フライトで写真測量(写真合成)用の空撮画像(静止画)が、600枚程度取得されることになる。空撮後の作業としては、写真一枚ずつ、目視判読作業で赤潮や特異な水面状況・水中状況が写っていないか一枚ずつ写真を確認していく。この時に、ブレた写真などはすべて消去することになる。そして次に、対象海域(海面)が適切に写り、写真間のオーバーラップとサイドラップが概ね60%以上確保されているものだけを写真解析処理に進めることにする。例えば、写真-2に示される東町ステーション周辺の水域と陸域の画像は、約600枚程度の空撮画像を、写真測量技術などを駆使して作成した鉛直歪無し写真(オルソ画像)である。本写真解析(写真測量)に関しては、大容量の画像データを対象に、非常にたくさんの計算を必要とするために、最低でも、計算機(PC)はcorei7以上で、内部メモリーは32GB以上で、外部メモリーは数テラバイト以上のスペックでないと、数日以内で結果が出ない可能性が高くなる。また、海面モニタリング用の写真判読を行うためには、できるだけ性能の良いグラフィックカードが組み込まれたPCを推奨する次第である。

4. 海面モニタリング画像の例

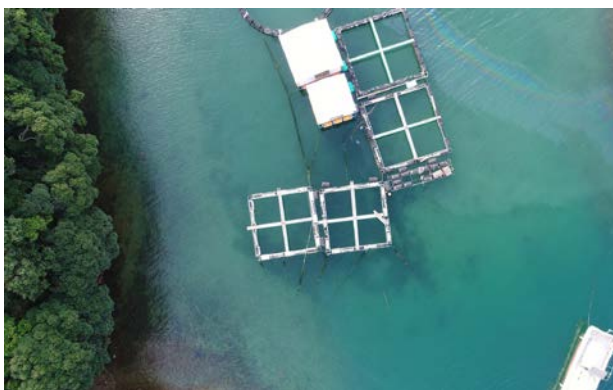


写真-6 養殖施設周辺海面の油膜 1



写真-7 養殖施設周辺海面の油膜 2

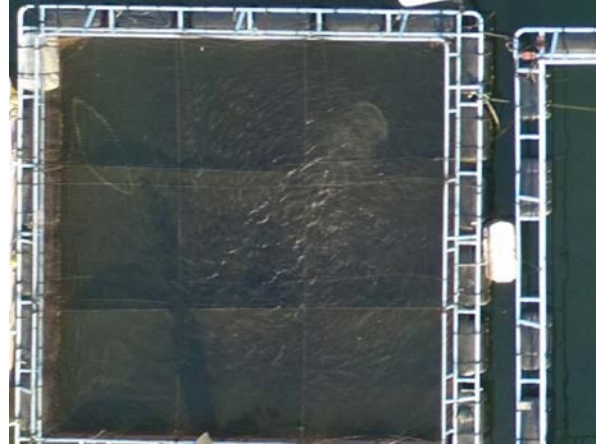


写真-8 潮流の影響で左右で濁度が異なる海域 写真-9 養殖生簀内の水表面付近の魚の群れ



写真-10 近隣海域の定置網

写真-11 赤潮警報が出ていた佐伯市沿岸の定置網

5. おわりに

赤潮予報に使用できる海面モニタリングの新技术としての UAV の利活用について試行錯誤した。なお、本研究期間中には東長ステーション周辺海域では赤潮が発生していたが、海面が赤色に見える赤潮ではなかった。そのために赤色に見える海面の撮影はできなかったが、今年度は、当該海域の赤潮被害額そのものは軽微なようであった。本研究では、従来は研究対象とは考えられなかった（対象外であった）とも言える、赤潮の海面モニタリングに UAV および写真測量技術を応用することを考えて、ある程度実用化の目途が立ったものと思われる。ただし、UAV を安全に運行することが非常に重要である事を認識しながらも、実際のフライト現場では、気象条件、海象条件、現場の様々な制約条件のために事故が発生することも事実であった。従って、UAV の利活用を進めるためには、UAV 事故に関する科学的・体系的な分析と技術的な改善方法に関する研究も今後必要と思われた。

付録 奄美大島沿岸域における油類漂着物の UAV を用いた海岸環境モニタリングの例を示す.



写真-A 奄美大島のC海岸での油類漂着状況のオルソ画像（赤線で囲む領域が油類の主な漂着領域である）



写真-B 当該海岸での海面の様子（浮遊した油類は確認できない）



写真-C 砂浜に漂着した油類の状況 1



写真-D 砂浜に漂着した油類の状況 2