

第 8 章

ジュゴンの痕跡を探す：ジュゴントレンチの調査手法の紹介

一般財団法人沖縄県環境科学センター
小澤 宏之

背景

沖縄近海に生息するジュゴン *Dugong dugon* は、近年までその混獲座礁や航空機調査等の情報から、沖縄本島周辺海域にわずかに生息すると考えられていた。が、近年状況は一変する。2020 年 4 月に環境省が公表した内容によると、八重山諸島の波照間島や宮古諸島の伊良部島でジュゴンの食み跡（以下、トレンチとする）が確認された（環境省、2020）。日本のジュゴンに関して、沖縄本島周辺にわずかに生息するという認識が一般的に定着していたが、近年のトレンチ等の確認により沖縄県内の広範囲にジュゴンが生息する可能性が示唆されている。

環境省や沖縄県は、ジュゴンの生息域の解明を目的とし、海草藻場でのトレンチの探索調査を実施している。ここでは、研究者人口の増加を期待しつつ、近年のトレンチの探索に関する調査手法について紹介したい。

基盤情報の収集

トレンチの所在を知る上で最も重要な情報は、餌場である海草藻場の分布状況だろう。海草藻場の分布状況は、環境省が公開している自然環境保全基礎調査のデータ (https://www.biodic.go.jp/kiso/34/34_higat.html#mainText) に詳しい。また、それらの情報と合わせ、Google Earth で沿岸域の底質状況を確認することで、現在では沿岸域（水深 5 m 以浅）でリュウキュウスガモ *Thalassia hemprichii* 等の大型海草類が優占する海草藻場の分布に関し把握が可能である。また Google Earth では、経時変化も追跡できることから、ある撮影時期の画像が不明瞭であっても、別の撮影時期の映像を確認することで海草藻場分布の検証が可能である。

課題は、ウミヒルモ類 *Halophila* やウミジグサ類 *Halodule* 等の小型種で構成された海草藻場である。これらの種は、沿岸域で砂底に生育することが多く、衛星画像でも色調や蜂の巣状（ハニカム状）になる藻場の形状に留意し、注意深く観察することで検出することは可能である。具体的には、底質が何かに薄くカバーされているような状況であれば、沖縄県の沿岸の場合は上記小型種が生育する場合が多い。なお、海草藻場の蜂の巣状の裸地については、生物由来（摂餌）であるのか、台風などの物理的な侵食によるものかは諸説あるが不明である。

海草藻場の分布とあわせ、過去のジュゴンやトレンチの目撃情報の有無は、調査海域の選定において特に重要である。これまでの経験上、古くは明治時代からの漁獲データ（当山、2015）から、現在の目撃情報まで等しく有用な情報と考えている。沿岸域でのジュゴンの最近の目撃情報に関しては、古い漁獲統計の捕獲地（水揚げの港の所在地）と奇妙にも一致することが多い。つまり、このことは明治時代からジュゴンの生息域は、現在も同様であることを示唆している。

ジュゴンやトレンチの目撃情報は、生活の糧を海から得ている沿岸漁業者から寄せられたものが多い。沖縄の沿岸漁業において、定置網や刺し網などは全体的に衰退傾向にあり、目撃情報のソースとなっているのは海草藻場やその周囲を漁場とするモズク（オキナワモズク *Cladosiphon*

okamuranus, モズク *Nemacystus decipiens*) 養殖従事者が多い。沖縄県内でモズク養殖が盛んな地域は、例外なく地先に広大な海草藻場が発達する。それは、モズク本来の生育地が海草藻場であることや、モズク養殖では海草藻場で天然採苗することなどが理由であり、沖縄本島で言えば、中部の勝連半島周辺や南部の知念志喜屋などがそうだ。それらの地域で、ジュゴンやトレンチの目撃情報を効率的に集めることが重要であるが、多くの場合漁業者は現在の漁業への規制などを警戒し、仮に目撃情報を有していても口が重いことが多い。しかし、地道な取り組みではあるが、漁港で顔を覚えていただき、交流を図りながら、情報収集をしていく以外方法はない。また多くの地域では、大抵ジュゴンは過去の遺物であり、現存しているという認識はほぼない。そのため、近海で航空機から撮影された近年の個体写真や、トレンチの写真を見ていただくことで、「そういえば..」と、情報を得られることも少なくはない。なお、2003 年以降、環境省や沖縄県はジュゴンの目撃情報に関する聞き取り調査を実施している（環境省、2004a；沖縄県、2020）。ジュゴンの生態調査を計画する場合には、それらの資料に目を通すことを強く勧める。

ドローン撮影と画像判定

基盤情報である海草藻場の分布状況やジュゴンの目撃情報などが集まったとして、次のステップは更に詳細な海草藻場の分布情報の把握とトレンチの確認を目的としたドローン（無人航空機）による海草藻場の撮影である。私達の調査チームでは、DJI 社製の既製品（Phantom4 Pro, MAVIC AIR2）を利用し、ターゲットとなる海草藻場を隙間なく一定間隔で撮影し、撮影画像をモニター上で注意深く精査する手法である。

ドローン撮影に関して詳細は省くが、近年目覚ましい進化を遂げている分野であり、操作性や画質、バッテリー性能などは日進月歩である。注意すべき点は法規制であり、国土交通省などの関連サイトを確認し、飛行禁止区域などの情報を把握する必要がある。沖縄県の場合、空港（民間空港、米軍基地）との関係で規制も多く、特に離島域では飛行禁止区域と海草藻場が重なる場合も多い。

撮影画像は、一枚一枚を PC モニター上で精査し、海草藻場の分布確認とトレンチの探索を行う。トレンチは筋状であり、幅は 25 cm 前後であることから、上空 50 m から撮影した場合容易に確認できる（図 1）。この時点で、調査対象域の海草藻場が、ジュゴンの餌場として利用されている可能性は確認できるが、撮影画像で確認された痕跡がトレンチであるか、またトレンチの特性等（海草構成種等）を潜水調査で確認する必要がある。

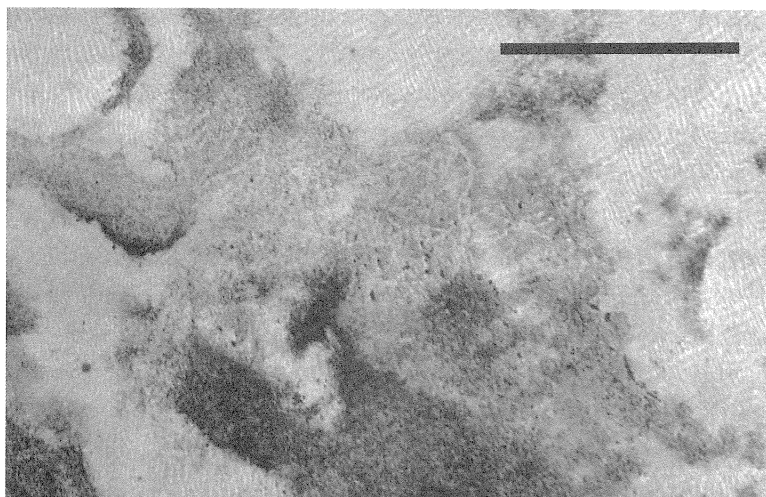


図 1. ドローンで撮影したトレンチ（スケールバーは 10 m）。

※筋状の痕跡がトレンチ

野外調査に先立ち、撮影された1枚1枚の画像を統合（デジタルオルソ）し、トレンチの位置座標をGIS（QGIS）上で確認する必要がある。なお、画像統合に関しては、AGISOFT 社 METASHAPE を使用している。統合された画像については、GIS で海草藻場の分布範囲をトレースすることで、各海域の海草藻場面積を算出することも可能である。

余談ではあるが、海草藻場の分布に関しては、近年水深5 m 以深の深場にも発達することが確認されており、沖縄県周辺海域における海草藻場の面積は、既存情報よりも遥かに広大であることが示唆されている（沖縄県、2020）。

トレンチの特徴

ここで、野外調査手法の解説に移る前に、トレンチの形状や識別点について補足しておきたい。

トレンチは通常幅が25 cm 前後であり長さは数10 cm から10 m 前後のものまで多様である（図2）。トレンチ部分は、海草類の優占種にもよるが、大型種の場合は海草の地下茎部分が所々残存している場合も見られ、底質にサンゴ礫などが多く含まれる場合にはその割合は高い傾向にある。一方、底質が細かい砂質や砂泥質の場合には、対象的に大型種でも地下茎まできれいに摂餌されている場合が多い。また、ウミヒルモ類やウミジグサ属など小型種の場合には、大抵は地下茎まで食べられている。

トレンチの新旧に関しては、真新しいものでは5 cm 程度底質が掘れており、場合によっては海草の地下茎部周辺の底質の還元層が露出し、底質表面の一部が黒ずんでいる場合も見受けられる。古い食み跡については、残存した地下茎から新たな芽生えが観察され、また完全にトレンチ部分の海草が摂食されている場合は、周辺から地下茎が伸長するか、もしくはトレンチ内に成長の速いウミヒルモ類などの小型海草類が生育する場合も見受けられる。古いトレンチ内に周辺とは異なる海草類が優先する現象は、ジュゴンが海草類の多様性維持に寄与しているとの報告を想起させる（Preen, 1995）。厄介なのは、ジュゴンが集中的に海草を食べた場合である。ライン状のトレンチの集合体と言えるが、一見海草藻場でよく見られる裸地と間違いやすい。環境省の事業報告書では、トレンチの集合体を「食み跡密集域」と呼称している。密集域の特徴としては、① 裸地の外縁や周囲にライン状のトレンチが見られること、② 裸地に食べ残された海草類が線状の束となっていること、③ 残存している地下茎に齧られた痕跡が見られること、等があげられる。現地調査ではこれらの特徴にすべて当てはまるものについてジュゴンのトレンチとして記録している。なお、ドローン映像での食み跡密集域につ

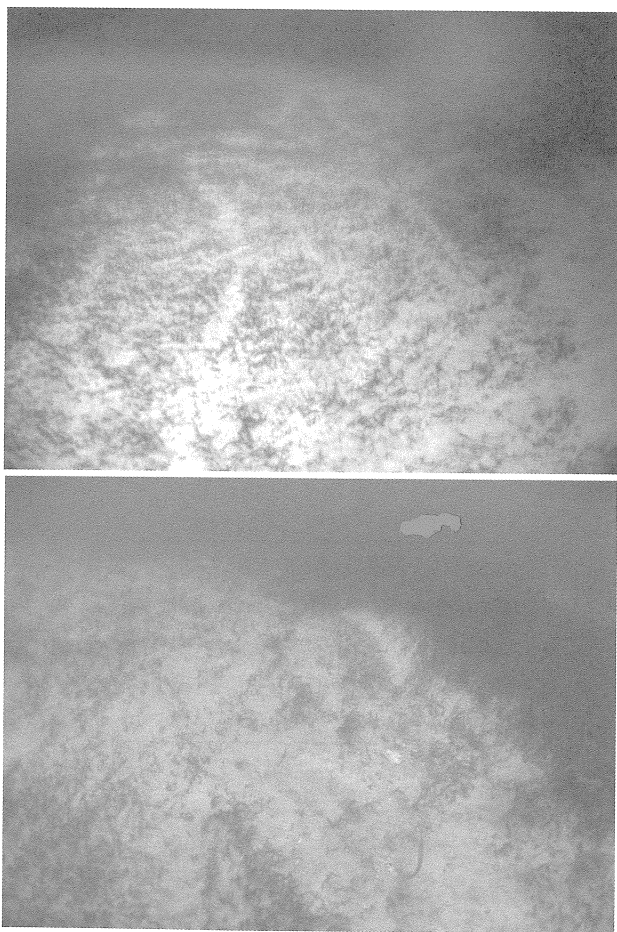


図2. トレンチの状況（上：トレンチ，下：食み跡「トレンチ」密集域）。

いては、経験上、自然にできた裸地が円形であるのに対し、それは不定形である場合が多く、裸地の外縁などにライン状のトレンチや裸地の内部に食べ残されたと思われる海草の束も確認できる。なお、海草類を摂食する大型動物では、アオウミガメ *Chelonia mydas* がいるが、アオウミガメの食痕は海草類の地上部が主に食べられること、葉の切断面が直線的であること、またすり鉢状に摂食する場合もあるがその範囲は最大で長径 30 cm 程度であることからトレンチとは明確に区別できる（中西，2009）。

潜水調査

ドローン映像の解析からトレンチや食み跡密集域と思われる痕跡が確認された場合、出来るだけドローンの撮影日から間隔を開けずに潜水調査を実施し、対象がトレンチか否かの確認を行う。調査概略を図 3 に示す。

サンゴ礁の浅瀬の場合、トレンチの探索調査は、これまで観察者を船で曳航するマンタ法調査が中心的な手法として採用されてきた（環境省，2004b）。マンタ法調査は、造礁サンゴ類の被度調査など、調査者が直接広範囲を効率的に目視観察する方法として適している。ただし、マンタ法調査は水深が制限要因となっており、また浅瀬（イノー）に大型の塊状サンゴや暗岩が多い場合などは調査が制限され、そうした場合には調査船をゴムボート（ゾディアック）など小型船舶に変更する。

近年、ドローンでトレンチの存在を事前に把握することが可能になったことから、これまで主流であったマンタ法による面的な調査手法と並行し、水中スクーターによる調査手法を採用している（図 4）。水中スクーターによる調査手法の利点としては、水深が浅く船舶が侵入できない海域でも安全に探索調査が可能であること、トレンチが分布する可能性が高い海草藻場を選択的に詳しく探索出来ること、濁った海域で水面から海底の状況の判別が困難な場合 SUCUBA 潜水で効率的に調査を実施できることなどがあげられる。

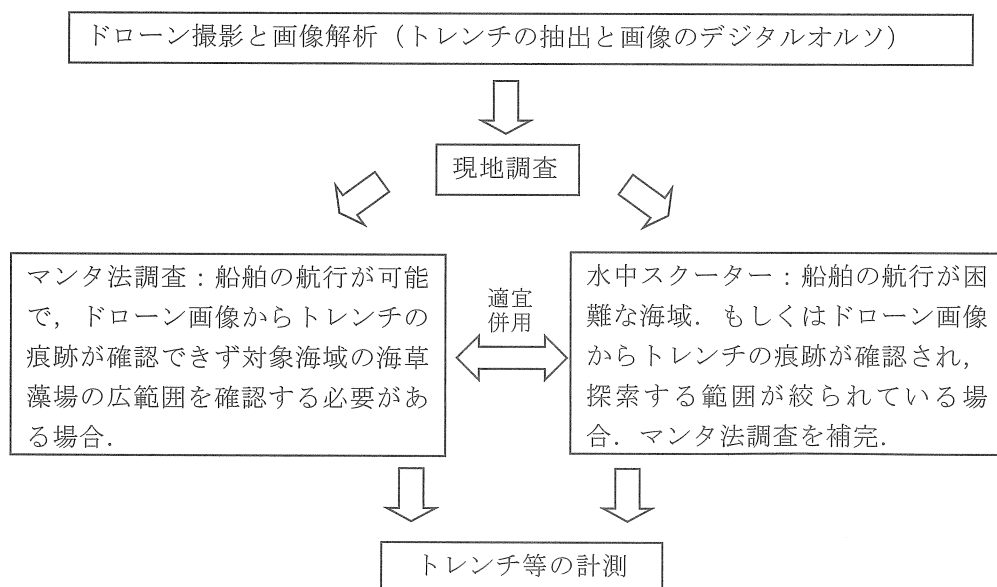


図 3. トレンチ探索の調査概略。

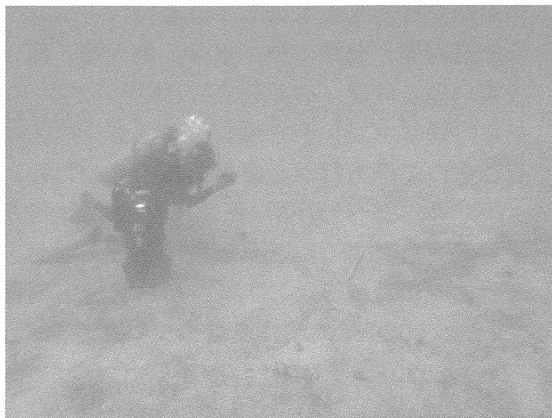


図 4. 水中スクーターを用いた潜水調査.

水中スクーターを用いた調査では、予めドローンの画像解析から得られたトレンチ状の痕跡の位置座標を GPS に入力し、その地点を中心に複数名のダイバーが海草藻場の分布形状に合わせトレンチの探索を行う。ここで、水中スクーターや海域用の GPS について補足しておく必要があるだろう。

水中スクーターは、ドローン同様バッテリー性能の向上により、バッテリー1 個分ならば航行距離で 4~5 km, 3~4 時間程度の調査が可能である。私が 195 cm, 90 kg の体躯なので、一般体型の方なら、駆動時間はより長いであろう。使用機材は、日本潜水機株式会社 (apollo) の av-2 エボリューション、バッテリーはリチウムイオンバッテリー (業務用大容量タイプ) である。現地にはバッテリーの予備を持参するので、長時間の調査にも対応できる。水中スクーターを利用した海域調査は、これまであまり耳にしたことがないが、少なくとも船舶の航行が難しい浅瀬や、そもそも傭船するに適したサイズの漁船がない小離島などでは、水中スクーターを利用することで調査の可能性や範囲が格段に拡大した。個人的には、ドローンと水中スクーターの併用は、トレンチ探索調査におけるパラダイムシフトと思っている。ただし、難点も有る。現地までの輸送と利用時にあたっては重量とバッテリー性能だろう。前者については、航空規制により陸上輸送に制限されるため、調査海域が沖縄本島以外の離島の場合には、かなり事前に輸送する必要がある。この場合台風などで海況が変化しスケジュールの変更が出た場合が最悪で、そのため気象情報を読みとくことは必須である。後者の重量については、潜水機材と水中スクーター (30 kg) を担いで砂浜を歩く体力は必須である。

次に GPS についてである。水中スクーターを稼働させた状態で、どのように目的地に到達するか、または現地で確認したトレンチの位置座標を記録するのか。これまでは、トレッキングなどで利用する小型 GPS を防水ケースに入れて利用してきたが、近年ダイビングコンピューターで GPS 機能を搭載した機種がポツポツ世に出てきた。これは、私達調査員からすれば革命的な機材の登場であった。当然水中では電波が減衰するため、位置情報の把握は困難であるが、水面であればそれは可能である。私達は GARMIN 社の DESCENT Mk1 という腕時計式の GPS を利用しており、水中スクーター利用時などは通常海面移動が主体であることから、水面上でトレンチの位置や軌跡 (調査側線) の記録を行っている。また、ドローン画像から確認されたトレンチ状の痕跡の位置座標は、予め GPS に入力しておくことで、調査者が水面でその情報を確認しながら広大な海草藻場を縦横無尽に探索するのである。

前置きはこのぐらいで、潜水調査について手法の説明をする。GPS での位置情報を頼りに現地に向かう。というのも、トレンチの記録は予想以上に時間がかかるため、通常は発見後、日を改

め記録を行うことも珍しくはない。トレンチについては、以下の項目を記録する。トレンチ部分の位置座標、記録時刻、水深、最大長、幅（3ヶ所程度）、海草構成種（優占種の記録も必須）、底質（砂、砂礫、砂泥程度）、撮影（スケールを入れて全体写真と摂餌部分の拡大写真）である。また、通常トレンチを確認した場合、周囲にもトレンチが存在する可能性が高く、可能な範囲でそれらの記録も行う必要がある。そのため、トレンチを確認した場合には、200～300 m 四方を水中スクーターで探索している。また計測記録時は、たとえ水深が1 m 前後でも SCUBA 潜水で注意深く計測することが重要である。なお、食み跡密集域の場合は、最大径と最短径を記録し、その他の項目は線状のトレンチの場合と同様である。

一方、2020 年初頭に環境 DNA によるジュゴンの存在確認に関する手法の報告がなされた（平石ら、2020）。現在それらの手法も合わせた調査が進行中であり、今後ジュゴンの生息状況の更なる解明が期待される。

さいごに

入社以来 15 年以上に渡り沖縄県内各地でジュゴンのトレンチ探しを行っているが、その間沖縄のジュゴンの生息情報や保全に賛同いただく漁業者なども着々と増加している。日本のジュゴンや餌場である海草藻場を保全し、次世代に引き継いでいくことは、多くの生物や自然環境と同様私達世代の責務と考えている。ジュゴンや海草藻場の保全に興味を抱き、チャレンジする研究者の出現を大いに期待している。

執筆の機会を与えてくれた勇魚会・勇魚編集委員会の笠松雅彦氏に深謝いたします。

引用文献

- 平石優美子, 小澤宏之, 若井嘉人, 山中裕樹, 丸山敦, 2020. 海棲哺乳類ジュゴンの環境 DNA を定量するためのプライマーセットの開発. 保全生態学研究, 25 : 57-64.
- 環境省, 2004a. 平成 15 年度ジュゴンのレスキュー体制・方法及び漂着個体の収容方法の技術の普及委託業務報告書. 環境省, 東京, 97pp.
- 環境省, 2004b. 平成 15 年度ジュゴンと藻場の広域的調査報告書. 環境省, 東京, 255pp.
- 環境省, 2020. 令和元年度ジュゴン生息緊急調査業務結果概要. 環境省, 東京, 17pp.
https://www.env.go.jp/nature/kisho/r1_jyugon.pdf
- 中西喜栄, 2009. 石垣島の海草藻場で確認されたアオウミガメの食み跡. 沖縄生物学会誌, 47 : 19-23.
- 沖縄県, 2020. 平成 31 年度ジュゴン保護対策事業報告書, 沖縄県. 沖縄, 90pp.
https://www.pref.okinawa.jp/site/kankyo/shizen/documents/dugongdugong_20200519.pdf
- Preen, A., 1995. Impacts of dugong foraging on seagrass habitats: observational and experimental evidence for cultivation grazing. Mar. Ecol. Prog. Ser., 124: 201-213.
- 当山昌直, 2015. 近代沖縄史料（統計・新聞）にみるジュゴン. 海洋と生物, 37(4) : 351-356.