

沖縄本島北東海岸で見られる海草海藻群落の分布状況

安藤 将吾

本学地理・環境専攻 2018年3月卒業

I. はじめに

サンゴ礁地形は、造礁サンゴがもたらす環境、海草・海藻群落がもたらす生物の多様性、集落などから高波による被害を軽減する役割などを持つ。そのため人文地理学の分野でも、人との生活や文化に深く結びつく地域として触れられてきた。渡久地 (2017) は、漁場として漁労活動の研究を行う生態人類学からの刺激を受け、サンゴ礁民族分類が発展してきたことを指摘した。サンゴ礁地形の民族分類から、科学的分類との対応関係が深くなる点でも人と地形の密接な関係がテーマとして取り上げられることも多い。

サンゴ礁を様々な角度から研究されている中で本論文では、その中でも海草と海藻に着目し研究を行った。海草 (sea grass) は、海域に生息する種子植物を総称しているものである。海草と海藻は区別する際、前者を「うみくさ」と呼ぶことが一般的である。海草は進化の過程で一度、陸に進出した後再び海域での環境に対応し今に至っている。そのため、根を砂質の海底に固定し生育することが分かっている。一方で海藻類について、吉田 (1984) によれば、ホンダワラ類は褐藻のうちコンブ類に次いで大型の種類からなり、外見上、根・茎・葉のような部分に分化し、葉の変形と考えられている気泡を持っている。この仲間の植物は、温帯では沿岸岩礁地帯しばしば大きな海中林 (ガラモ場) を形成する。また、基物から離れた個体が海面を浮漂して、いわゆる流れ藻となることもある。水産的観点からの重要性以外でも、バイオマス資源として、また、アルギン酸含有植物として

も関心もたれるようになってきた。両者の共通点は浅海域で生息し、生物における重要な生息域になっている。台風などの自然的な影響や陸域開発などの人為的影響を大きく受け、短期間での変化も大きい。季節変化についても冬季に減少し、夏季に分布が広がることが知られている。

海草・海藻対象とするテーマは既存の研究により、沖縄本島の東海岸では、周辺の地形と気候などの要因により西海岸より多くの海草・海藻群落が発達する事が分かっている。調査対象とした二つの海岸は沖縄本島東海岸に位置する。例えば今回調査対象として選んだ嘉陽では、1994年の環境省による調査で嘉陽、嘉陽南を合わせ14haの面積を持つ海草藻場がある事が分かっている。これは、沖縄本島全体海草藻場1,282haの約1%にすぎない。しかし、ジュゴンの餌場やウミガメ産卵地であることをはじめ、ある程度の規模を持った海草と海藻群落が確認されており、重要な地域であることに変わりない。更に沖縄本島の東岸と西岸の面積を比べた時の東岸の割合は、ホンダワラ藻場面積は99.4%であり、海草藻場面積は90.6%と西岸の分布量を圧倒している。当真ほか (1991) は東海岸の海藻草類現存量が突出して大きい理由として、地形的に藻場の生育に適当な水深を有する面積が広いことを挙げた。また、島軸がNE~SWにあることで、冬季の季節風 (N~NE) から遮蔽していることも年間を通して海草海藻群落 (以下海草藻場と記す) が生息しやすい環境の一因として述べられた。このことから筆者は、沖縄本島東海岸全体の海草藻場の現状を分析するサイトとして嘉陽海岸と赤崎海岸

が十分な役割を果たすと考えた。

二つの海岸を指標として選んだ理由として、赤崎海岸は北東方向に面する海岸であり一方、嘉陽海岸は南東方向に面する海岸である。そこから東海岸でも波浪や強風による影響が違う環境を持つと推測した。その中で一つの海岸規模でサンゴ礁全体の藻場を観測できる規模である、嘉陽のサンゴ礁と赤崎のサンゴ礁の2地域について比較を含めて調べることにした。

近年の海草と海藻についての研究として、現地調査と空中写真の比較を試みた研究として、吉田ほか(2007)の飛行船型係留気球とモニタリング調査を同時期に行ったものがある。これにより撮影された画像は、面積 1m^2 以上の海草のパッチの挙動や頻度分布の変化を検査することができることが分かった。一年毎の撮影も行っていることから短期間の変化をとらえやすいことも成果の一つである。最近では研究が進む中で、UAV(いわゆるドローン)を使った高解像度の空中写真を使い、高頻度かつ精度の高い研究が短時間にできるようになった。長谷川(2014)では、UAVを使った高解像度空中写真の活用する事例を示した。同論文では、UAVをサンゴ礁浅海域で使うことで造礁サンゴ群体・海草・海藻などの被覆物が既存の空中写真や衛星画像より鮮明に識別できることが示された。UAVは飛行ルートの設定や高度を一定に飛行させる事が容易なため、より均一なデータが取得できる。

これまで記載した先行の研究では、空中写真を用いて変化や特徴を求める方法が一般的と判断できる。しかし、高度の高い既存の空中写真の分解能から判読しているため、細かな藻場を統合してしまっている可能性がある。もう一つの方法であるモニタリング調査を含めた水域での現地調査は、陸上とは違い面積の算出が困難であると考えられる。そのため、今回の調査では現地でのモニタリング調査の他に解像度の高いUAVから撮影した画像を用いることで詳細

な分布図を作成し、そこから海草・海藻藻場の分布と面積変化を空中写真判読と測線調査の二つによる観点から同時に捉えることを目的とした。

II. 調査地域の概要

今回調査する海岸は、北から赤崎・嘉陽であり、本島北部の東海岸に位置する(図1)。調査した海岸のうち、赤崎海岸(写真1)は沖縄県国頭村位置する太平洋に面した自然海岸である。海岸の背後には比高20~30mの崖が存在し、後方には集落や農地がない。今回調査対象としたのは、赤崎という岬より南に位置する。この場所の浜には海岸の名称を調べた限り無いため、本論文ではこの海岸を赤崎海岸と呼ぶこととする。

沖縄県名護市に位置する嘉陽海岸は、沖縄本島の中でも海草藻場が多く繁茂する場所である。その環境からジュゴンの餌場になり、同地域は海草藻場を餌とするジュゴン生息域としての北限の地となっている。2002年に自然保護団体や北限のジュゴン調査チーム・ザンの呼びかけで、市民参加型のジュゴンを含めた海草藻場のモニタリング調査が他の海岸より短い頻度で行われてきた。嘉陽海岸の位置は大規模な海草藻場を有する辺野古に近く、隣接する大浦湾の埋め立てにより環境の悪化する恐れがある。また同海岸は、大浦湾に繁茂する海草藻場(瀬嵩南)の面積と同等の規模の藻場を有する。

海岸の植生は浜の終わり部分が樹高150cm程のマクマオウの幼木が群生している。そのほかの植生として、ゲンバイヒルガオが多く見られた。護岸はセットバック護岸¹⁾が集落の前面にあり、その後方には飛砂防止のために設置されたネット・防砂林がある。護岸に関しては、2007年・2012年に起きた台風により前述の護岸工事が進められてきた。

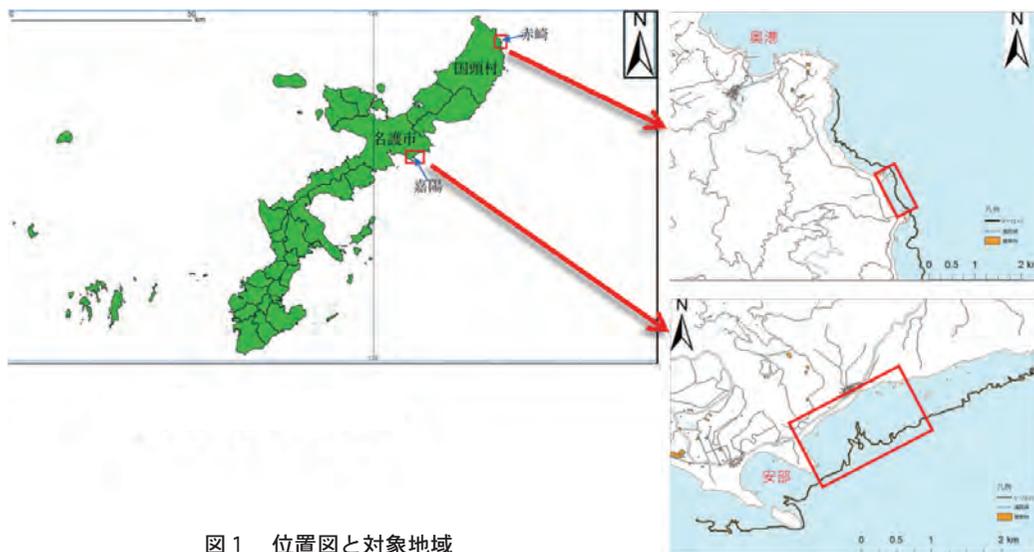


図1 位置図と対象地域



写真1 赤崎海岸全体の斜め写真(2016年撮影)

Ⅲ. 調査内容

1. 調査方法

調査方法は以下の2つに大きく分けて行った。

1) 空中写真判読

国土地理院にて撮影された空中写真の1971年から1993年の5~6時期の空中写真を使い幾何補正後、GISソフトを用いて分布図を作成し

た。分布図はホンダワラ藻場と海草藻場の2種類を反映したものになる。作成した分布図はポリゴン内の面積を求め、各年代の面積の変化を調べた。

2) 現地調査

UAVで空撮を行い得られた空中写真を1と同様に分布図を作成しそれぞれの時期毎の変化を比べた。測線調査では、空中写真の分布図作

成に伴い、より細かい分類を行うため、現地にて代表箇所でのモニタリングを行った。更に、水中写真と深淺データを取得した（深淺データは水圧計を使い水深へ変換した）。モニタリングはシュノーケルによって海草と海藻の種類・定性的な被度と規模・優占種・底質などの確認を行った。

2. 既存の空中写真について

今回使用した空中写真リスト（表1・2）は下記の通りである。同じ整理番号でもコースによって日時が多少違うデータがあるため※印で補足し、主に使った分を一番上に表示させている。判読には縮尺が大きいほど精度が上がる。それ以外にも天候の関係で太陽光の反射する場所と雲が重なる場所のデータ、同様に波浪の影響で対象がうまく写されていない場所のデータは

使用していない。嘉陽地区に関して2005年（カラー）・2001年（モノクロ）のデータは存在するが、撮影高度が他の画像に比べ高い。そのため解像度も低い。この二つの画像からは、藻場の有無は確認できるが分布図作成には適さない。同様に米軍が撮影した空中写真についても焦点が明記されていないため、縮尺が求められないことや解像度が低いため調査に使用していない。

国土地理院が撮影した空中写真は、位置情報を持たないため、別途位置情報を付与する必要がある（幾何補正＝ジオリファレンス）。通常処理した画像は、ジオリファレンス後オルソ処理を行うが、UAVで撮影された空中写真と重ね合わせたとき、分布図作成に支障が出ない程度マッチングしていた。更に海域部分などの標高の値が限りなく低く、波の影響が上回ってしまう環境でのオルソ補正は有用ではないと思われる

表1 嘉陽地区の使用空中写真リスト（空白は上の値と同じ値）

嘉陽地区	撮影日時	高度 (m)	縮尺	
1	1971年5月16日	3,300	20,000	モノクロ
2	1973年2月10日	5,600	37,000	モノクロ
3	1977年12月7日	1,600	10,000	カラー
	※1978年3月7日			
4	1980年11月10日	3,000	20,000	モノクロ
	※1980年12月3日			
5	1988年12月4日	3,100	20,000	モノクロ
6	1993年6月4日	1,750	10,000	カラー

表2 赤崎地区の使用空中写真リスト（空白は上の値と同じ値）

赤崎地区	撮影日時	高度 (m)	縮尺	
1	1971年3月21日	3,300	20,000	モノクロ
	※1971年4月29日			
2	1978年1月7日	1,600	10,000	カラー
3	1982年9月26日	3,000	30,000	モノクロ
	※1982年9月27日			
	※1982年6月4日			
4	1989年3月15日	3,100	2,000	モノクロ
5	1993年6月3日	1,800	10,000	カラー

た。そのため今回の空中写真では、オルソ処理を行わなかった。ジオリファレンス機能は、GISソフト「ArcGIS」または「QGIS」の解析ツールを使用し、位置情報を付与した。

一方、UAVで撮影した空中写真は国土地理院の空中写真がジオリファレンスだけでマッチングしているが、精度を確保できているか確かめるため、SfM (Structure from Motion) ソフト「Agisoft PhotoScan」を使用し、写真測量を行うことで、オルソモザイクを作成した。これに精度を高める為、地上にGCP (Ground Control Point) パネル (= 対空標識) を置き、撮影された空中写真から確認できるGCPパネルの位置情報と高度を付与することで画像を正規化するものである。今回使用したGCPの位置情報と高度は2014年に長谷川均氏が計測した座標データを一部使用して作成した。

3. 空中写真判読方法

空中写真から海草藻場とホンダワラ類の分布を調べる際、間違えやすい対象として、小規模の藻場や被度が低い海草藻場、パッチ状の造礁サンゴ群落とパッチ状のホンダワラ類藻場、判別しづらい点が挙げられる。これらの判読基準として、輪郭が曖昧か鮮明かの違い。色の違い、輪郭や色は底質に影響を受ける場合があり、分解能が高い画像でも判読できるとは限らない。あらかじめ判読しづらい箇所を見つけておき、水中写真と目視で直接確認することで、より信頼性の高い判別を試みた。同時に多くの藻場が数種類で構成されているものであったので、優占種とそれ以外の種名を確認した。その際調査の関係上、全ての調査域で目視確認を行うことはできないので、空中写真から判別しにくい模様(パターン)の場所をいくつか見ることによってそれに似た場所を指標として測線上をなるべく通るように割り振ることにした。水中写真には撮影時刻データが含まれているので、別途測線調査に持参したGPSロガーから同じ時刻

のトラックポイントを撮影場所とした。これにより調査後に解析する際、判読しにくい空中写真と水中写真を正確にリンクさせることができる。

4. UAV撮影範囲と測線調査について

画像を判読するうえで一般的に高度の低い画像が解像度も高くなるため、詳細な判読が可能になる。しかし海域での撮影を行う場合一枚あたりのハレーション面積が大きくなり、解析することが困難になってしまう。そのため今回の調査では高度120mから撮影することにした。赤崎に関しては、嘉陽の調査範囲より低いことから高度100mで飛行を実施した。

オルソ画像を作るためには、写真のオーバーラップ率を60%以上にしなければならない。更に陸域で撮影するより多くのハレーションが出ることで映らない部分ができることを想定し、75%で飛行させることにした。今回の調査のフライト回数は嘉陽で6回、赤崎では3回行い、測線調査は嘉陽で3本、赤崎で1本を予定し、調査にあたった。

IV. 結果

1. 本調査で確認できた海草・海藻

分布図を作成するうえで対象地に見られた海草と海藻の種類や学名を以下のリストに示す。

種名の判別は、空中写真では行えないため測線調査から目視確認または水中写真のデータから葉の形を参考に判別を試みた。海藻類は、少なくとも3種類生息していた。それらは、ホンダワラ (*Sargassum fulvellum*)、トサカモク (*Sargassum cristaefolium*)、ラッパモク (*Turbinaria ornata*) と思われる。赤崎の測線調査では、2017年の空中写真からも分かるように藻場が確認できない。更に、測線調査当日は波が高く安全を考慮したため、線から10mほど先までしか海中の様子を確認することができなかった。

表3 測線調査時確認した海草・海藻

No.	海草・海藻	和名	学名	現況の有無
1	海藻 (sea weed)	ホンダワラ [3種類]	<i>Sargassum</i>	嘉陽○赤崎○
2	海草 (sea grass)	ウミヒルモ	<i>Halophila ovalis</i>	嘉陽○赤崎×
3	海草 (sea grass)	リュウキュウスガモ	<i>Thalassia hemprichii</i>	嘉陽○赤崎×
4	海藻 (sea weed)	ウスユキウチワ	<i>Padina minor</i>	嘉陽○赤崎不明
5	海藻 (sea weed)	カイメンソウ	<i>Ceratodictyon spongiosum</i>	嘉陽○赤崎×
6	海草 (sea grass)	ボウバアマモ	<i>Syringodium isoetifolium</i>	嘉陽○赤崎×
7	海草 (sea grass)	マツバウミジグサ	<i>Halodule pinifolia</i>	嘉陽○赤崎×



写真2 被度が多いリュウキュウスガモが優占種の群落と被度の少ない海藻・海草混合部分の境界

写真2のように群落の境目に段差が発生する理由は、台風などの波浪により被度が少ない地域の海底が攪乱したためである。リュウキュウスガモは海草の中でも特に地下茎が太く、深くに根付くため藻場内の底質を安定させる働きが強い。これにより明瞭な段差が生じる。

2. 底質区分図

調査地域の礁原内には底質の状況で海草藻場とホンダワラ藻場の生息域に影響を与えることが予想される。このことから、あらかじめ底質

を区分し、どの底質に藻場が多く見られたか図を用いて示すことにした。

底質の定義

測線調査と空中写真判読により、底質のパターン分けを次のように行った。①「砂床Ⅰ」海岸付近に見られる粒径が小さい砂質堆積物からなる区域。②「パッチ状礁岩+砂地Ⅰ」ポリゴン内にパッチ状礁岩と砂地Ⅰが入り混じっている区域。③「砂床Ⅱ」凡例の違う砂床より沖合に見られ、前者より粒度の大きいサンゴ片が多く混じった堆積物からなる区域。礁岩の上に

薄く堆積していることが多い。④「礁岩露出部」礁嶺を含むほとんど堆積物がない区域。

以上の4つに分け、赤崎では岩場とビーチロックが確認されたので二つの凡例を加え分布を作成した(図2、3)。

嘉陽海岸と赤崎海岸の底質を比べた結果、赤崎海岸の底質で砂地Ⅰの面積が少ない事が分かった。赤崎海岸では他に、砂地Ⅱが海岸の南側に大きく分布し汀線付近まで分布が広がることが確認された。

嘉陽海岸では集落前方(海岸の北東側)のパッチ状礁岩+砂地Ⅰ分布域が幅広く最大400m前後の幅がある事が確認できた。一方集落より南西側では、砂地Ⅰから直接砂地Ⅱに変わる所も存在した。クチ(サンゴ礁の切れ目=外水道)付近では、両海岸ともに底質が細かく分かれることや砂地まで切り込むことから空中写真で見るとより分かりやすく確認することができる。

3. 嘉陽海岸の調査・分析結果について

まず2017年撮影の空中写真を含め、7時期の空中写真から作成した分布図を基に嘉陽海岸では見比べて分かったことについて年代順に記す。1993年の海草藻場現況は礁原付近に見られない。

1971年の分布図(図4)では、海草藻場とホンダワラ藻場の両方の分布が確認された。分布の特徴として集落前方の海岸北東側海域より南西側の藻場の方が大規模で密集した分布傾向がつかめた。1973年(図5)になるとホンダワラ藻場の分布が確認できなくなる。しかし、撮影日時が1971年は5月なのに対し、1973年は2月であり春季と冬季の季節変化であると示唆される。海草藻場の大きな面積変化は無いが沖合にあった分布域の一部減少が見られる。集落寄りの海域は海草藻場の面積拡大が見られた。次に1977年(図6)は、1971年の分布域ほどではな

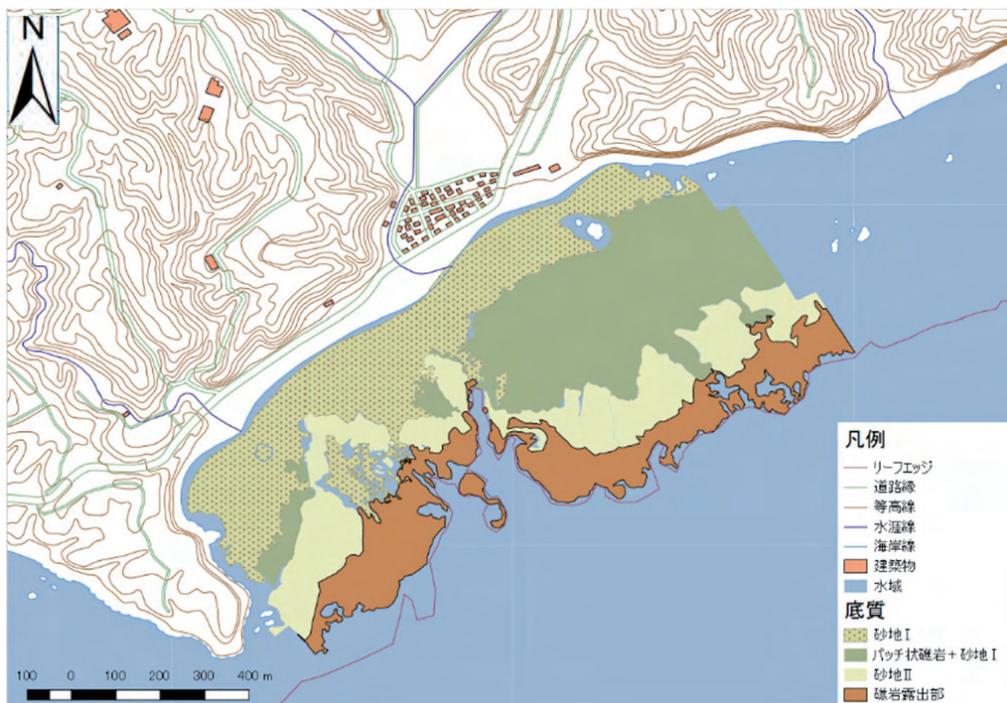


図2 嘉陽海岸の底質区分図 2017年8月嘉陽UAV空中写真より作成

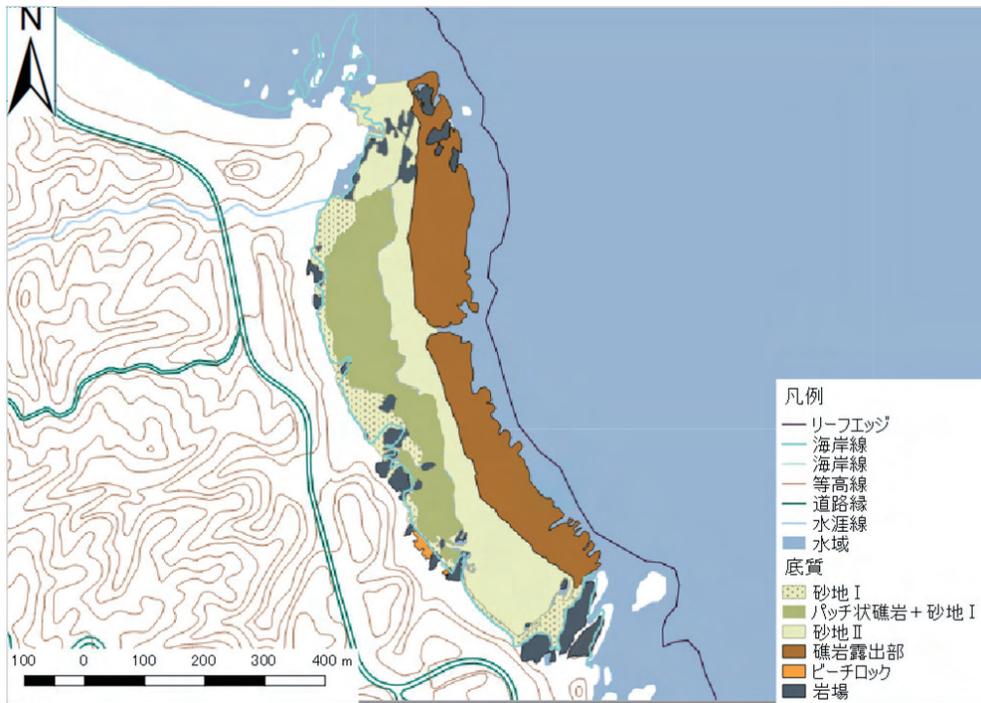


図3 赤崎海岸の底質区分図 2017年8月赤崎UAV空中写真より作成

いが再び、ホンダワラ藻場の分布が確認されるようになる。海草は沖合に分布域を拡大した。1977年に撮影されたのは12月初旬（7日）の冬季であり、12月まではホンダワラ藻場の分布が可能なことを示す。1977年の空中写真はカラー写真で撮影高度も低く解像度が高いため、他のモノクロ写真と比べると海草とホンダワラの有無が明瞭に確認できた。1980年（図7）はホンダワラ藻場が確認することができなかった。1980年の撮影時期は11月初旬（10日）であり、単に季節変化だけで説明するのは難しい。海草藻場は、1977年の分布域と面積はほとんど変わらない。1988年12月4日の分布図（図8）は、海草とホンダワラ藻場の両方が確認でき分布傾向は、1977年の分布状況に似ている。1993年（図9）はホンダワラ藻場が存在せず、海草藻場の分布域は、1988年に近いことが分かった。

嘉陽7時期の分布図（図4～図10）から言える全体の共通点として、海岸付近に海草藻場が

分布していた点があげられる。海草は近いところで汀線から50m辺り沖合から生息し、約300m沖合まで分布することが確認できた。ホンダワラ藻場は海草より沖合に生息し、汀線より300沖合から500m沖合までの範囲に分布していた。

全体的な変化として比べた場合、両方の藻場は変化していたが、海草の分布変化量はホンダワラ藻場比べると小さい。ホンダワラは変化が大きいと言い換えると小さい規模のホンダワラ藻場が見られる時期がなく、ホンダワラ藻場が存在する時期は複数の群落が礁嶺付近に見られる。全体を通して一番海草藻場の面積が拡大した時期は2017年で15.456haとなり、ホンダワラ藻場が一番拡大した時期も2017年の8.716という結果になった（図11）。ホンダワラ藻場の分布が確認されなかった年は、1993年、1980年、1972年の3時期で季節的同一性は見られない。一方、海草藻場が確認できない時期はなかった。

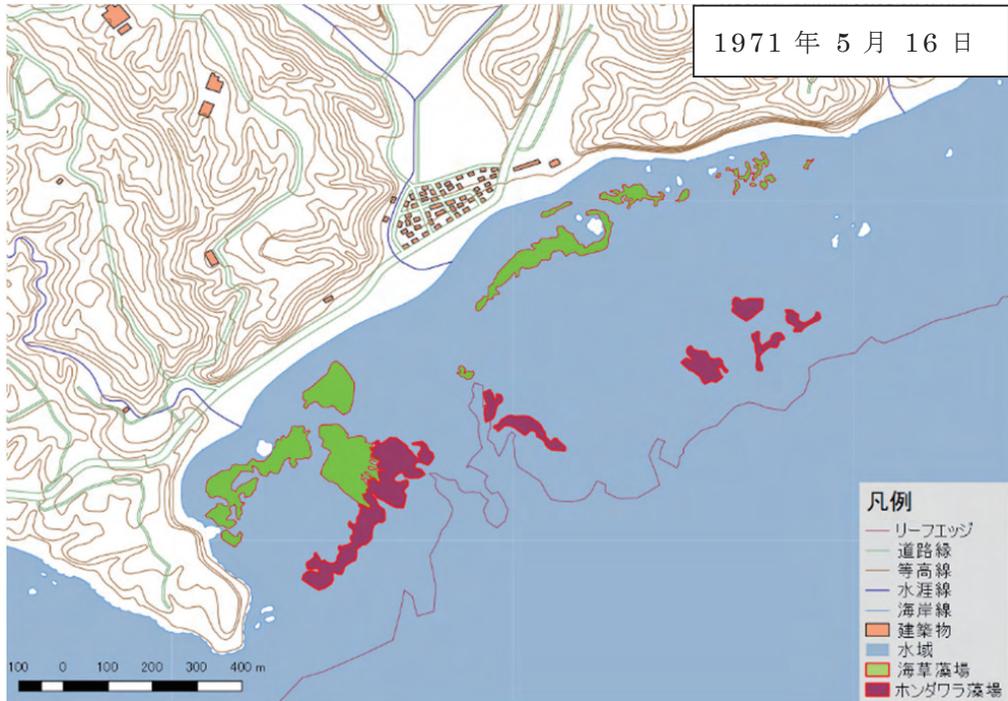


図4 1971年嘉陽海岸における海草藻場、ホンダワラ藻場分布図



図5 1973年嘉陽海岸における海草藻場分布図

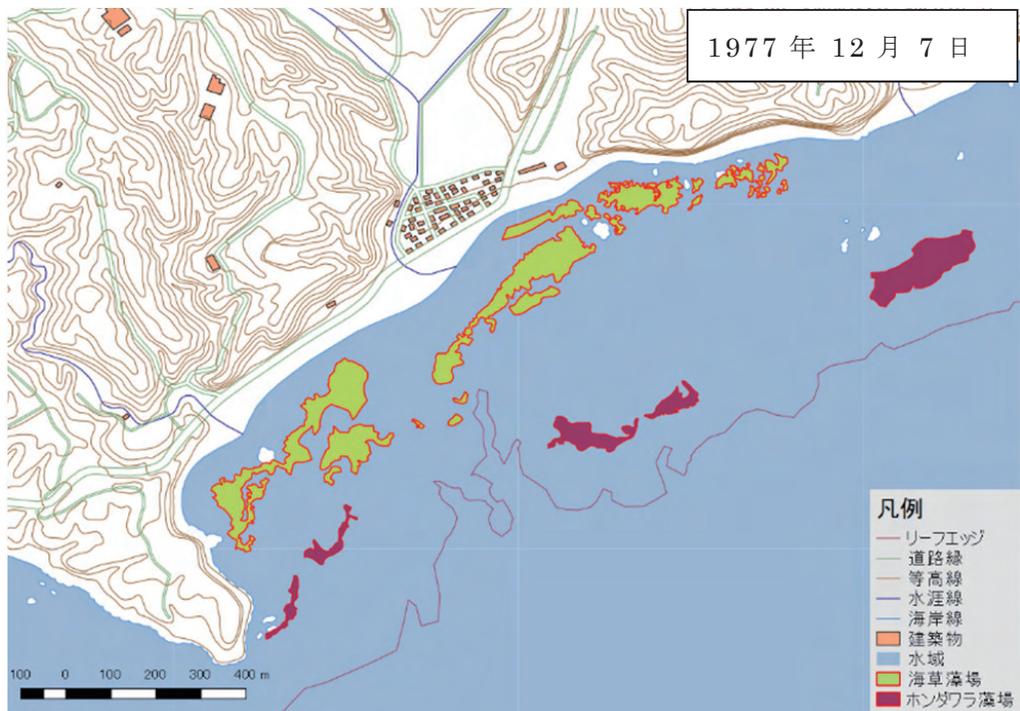


図6 1977年嘉陽海岸における海草藻場、ホンダワラ藻場分布図



図7 1980年嘉陽海岸における海草藻場分布図

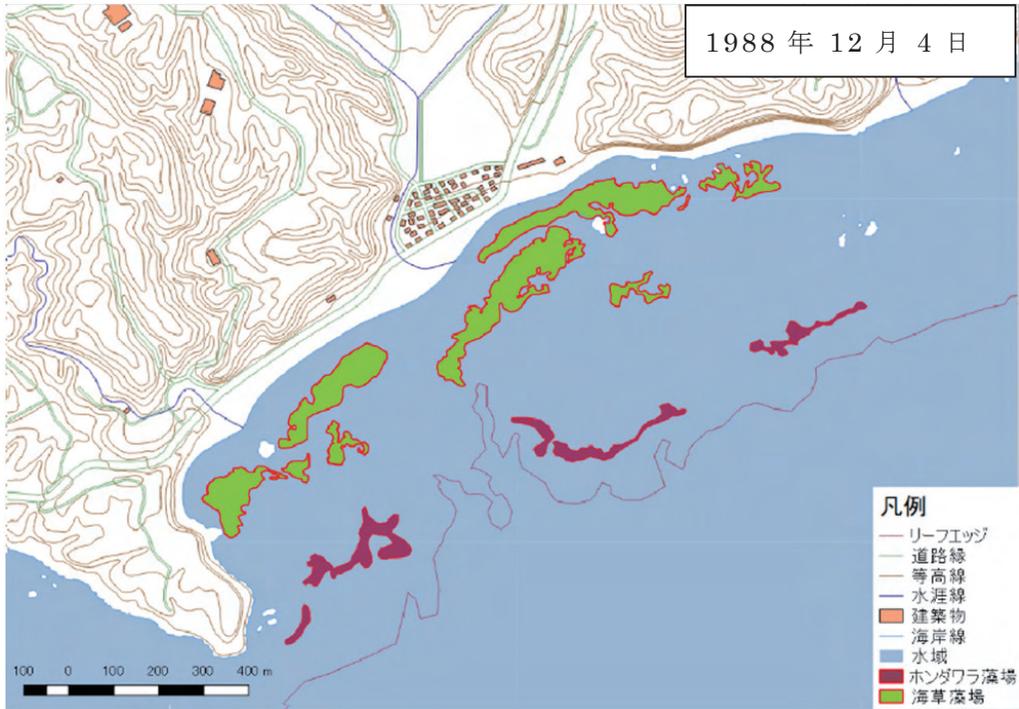


図8 1988年嘉陽海岸における海草藻場、ホンダワラ藻場分布図

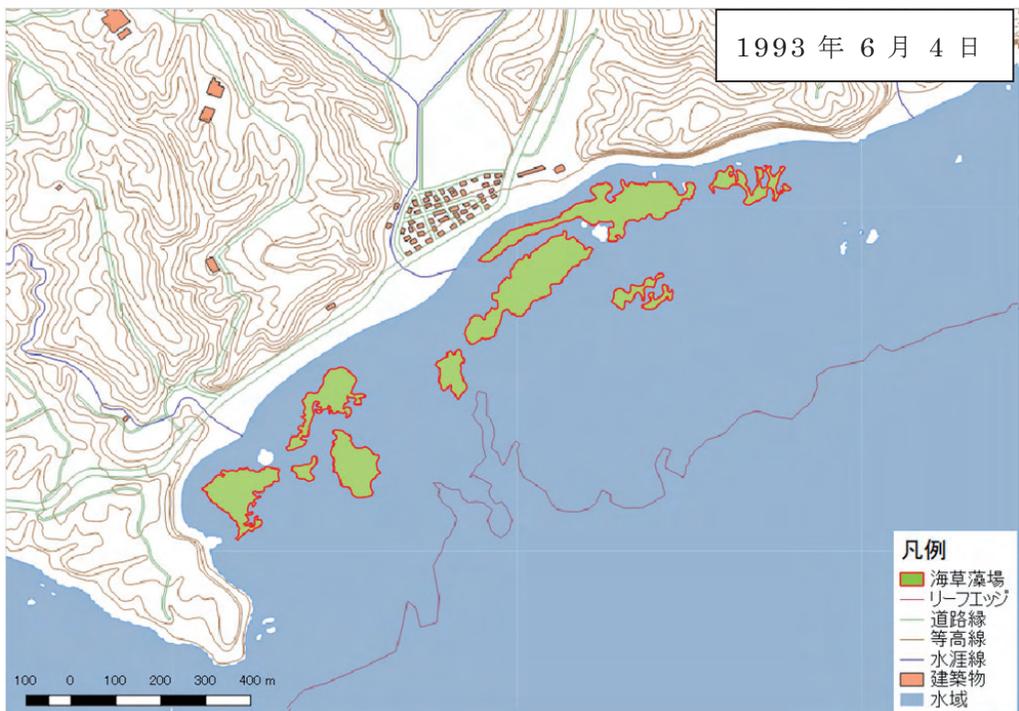


図9 1993年嘉陽海岸における海草藻場分布図

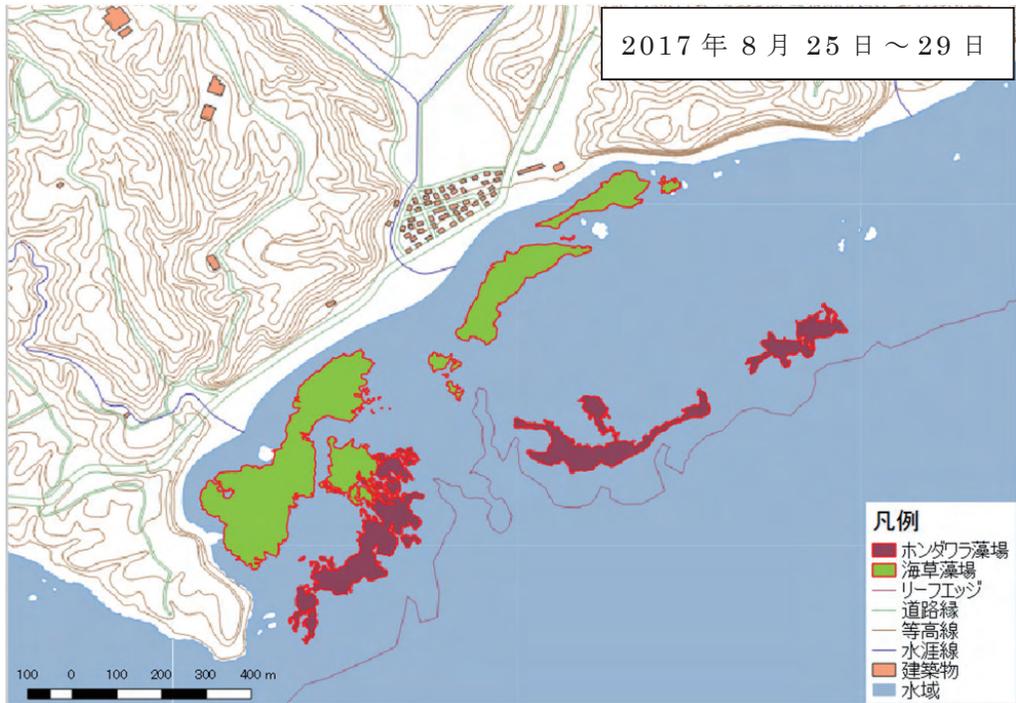


図10 2017年嘉陽海岸における海草藻場、ホンダワラ藻場分布図

次に海草藻場とホンダワラ藻場の分布を底質情報と重ね合わせ、どの底質部分に多く生息していたのかを調べた結果を以下にまとめる。

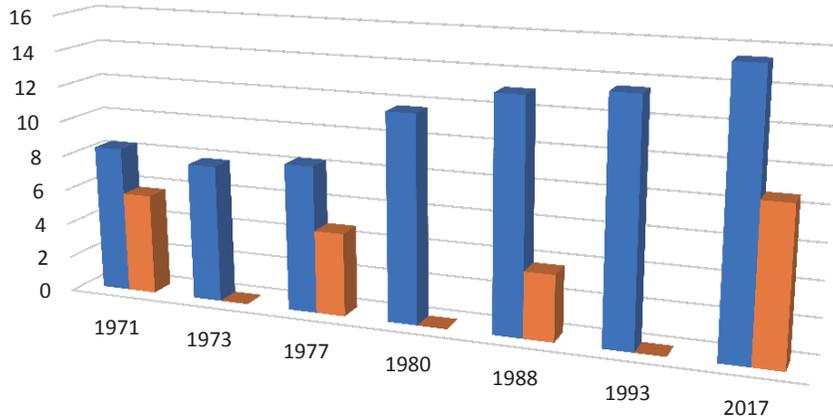
2017年の空中写真から判読した底質なので多少の変化はあるが、1977年のカラー写真と比べた場合でも、大きな変化が見られなかったため、参考として比べることにした。海草藻場の多くは、砂床Ⅰを好む傾向がありパッチ状礁岩＋砂床Ⅰとの境界に一部重なる部分も見られた。一方、砂床Ⅱ、礁岩露出部には分布しておらず、厚い堆積物の上に生息する傾向が見られた。

ホンダワラ藻場の下に存在する底質は礁岩露出と砂床Ⅱの一部に見られた。海藻類は岩などの着生するため、砂床Ⅱの中でも堆積量が少ない場所に生息すると考えられる。一方流れの強いクチ周辺には礁岩が露出しているも分布の確認をすることができなかった。

次に定量的な変化について以下に記す。図11の結果から読み取れる事として、嘉陽海岸の海草藻場は、1971年から1973年の2年間で少量の減少がみられる。その後、1977年には1971年の面積と同じ規模まで回復する。更にはその後からは、増加傾向にあり、2017年の海草藻場面積は1973年の面積と比べ、1.97倍にまで増加したことが分かった。

この結果は、空中写真で判読した分布図からGISソフトで面積を求めたものである。空中写真によっては、モノクロ写真とカラー写真の見え方の違いや撮影高度やUAVと航空機のプラットフォームの違いから解像度が変わり、被度の低い藻場を過去の空中写真では捉えることができていない可能性がある。同じことが嘉陽海岸に限らず赤崎海岸でも言えるため、定量的な参考値として用いることにする。今回使用した国土地理院の空中写真は最新のものです1993

藻場合計面積



	1971	1973	1977	1980	1988	1993	2017
■ 海草藻場 ha	8.3552	7.8352	8.3521	11.725	13.121	13.585	15.456
■ ホンダワラ藻場 ha	5.7536	0	4.729	0	3.736	0	8.716

図 11 嘉陽海岸における海草藻場とホンダワラ藻場の面積推移

年であり、筆者が得た UAV の空中写真の 2016 年と 2017 年の間に 23 年間のデータがないため、長期的に見た場合は増加傾向にあるということしか説明できない。

次に測線調査の結果について、前に述べたが嘉陽の礁池では、パッチ状礁岩と砂床の混在部分の面積約 31.219ha 程の分布が確認できる事が分かっている。このパッチ状礁岩はマイクロアトールや塊状サンゴで構成しているものであり、この構成物の上にホンダワラ類が生育する様子が見られたが GIS から大規模なパッチ状の藻場面積を正確に測定することは難しい。更に空中写真から判読した分布図では、この分布域を確認することができない事が分かった。

測線調査の結果、海草のみで 4 種を確認した。ウミヒルモは、測線調査時、汀線から 50m 沖合の比較的浅い地域に局所的確認された。同様に局所的に見られた種としてポウバアマモとマツバウミジグサが生息していた。UAV の高度から撮影された解像度の高い写真でも規模と

海草自体の大きさも含め、リュウキュウスガモ以外の 3 種はグランドトゥルースなしでの空中写真判読は困難である。

ホンダワラ類が優占する群落の中の一部に、ラッパモク、ウスユキウチワ、トサカモクと思われる種が小規模に見られた。このうちウスユキウチワは他の 2 種より生息する場所が多く、藻場の被度が極端に低い底質の砂地 II でも個体の長さ 5~10cm 程のホンダワラ類とウスユキウチワが散在しており、ホンダワラ類に次ぐ海藻類の分布規模であった。海綿類は汀線付近から 500m 沖合までの広い範囲で局所的にカイメンソウが見られた。カイメンソウは他の海草、海藻と共に生息するものと、砂地もしくは大きさ 20~30cm 礫に単独で生息するものが確認できた。

今回の測線調査で使用したコドラートは 50cm×50cm のものであり、スケールとしての役割と同時に定量的な被度を求める目的で用いた。しかし、空中写真と被度を結びつけるのは

難しく、海草の有無と定性的な被度の確認にとどまった。断面図に使用したGPSデータは測線調査の復路部分のみを参考に距離を求めた。

図12～15は、各測線の場所(図12)と水深を水圧計で求めた断面図に底質と植生情報を加えたもの(図13～15)になる。

各測線の結果をみると、測線Ⅰでは他の2つの測線箇所より海草藻場の占める分布域が少ない傾向であった。反対にホンダワラ藻場が測線周辺を多く占め、汀線から200m沖合以降は概ね優占種として生息していた。ほかの断面図より水深の上下変動が大きいのは水位計がパッチ状礁岩のコーラルヘッドや起伏のある礁岩の上を何度も通ったためと思われる。

測線Ⅱは、パッチ状礁岩と砂床Ⅰの底質部分が極端に低い割合の場所を通った。海草藻場の分布域が3測線のなかで一番汀線から近い場所に見られた。パッチ状礁岩の一部を除き全体を通して、リュウキュウスガモが多くみられた。ウミヒルモは測線2でのみ生息が確認され、他の2つの測線では確認することができな

かった。

測線Ⅲは測線Ⅱと近い間隔で行ったため、藻場の分布域は大きな変化を見ることができなかった。底質は汀線付近から250m沖合まで砂床Ⅰが途切れなく続いていた。測線Ⅲの末端部の写真は撮影できなかったため、分布内容は不明である。

図13～15までの結果をまとめると、リュウキュウスガモを主とする海草藻場が多くみられる場所は、底質が砂床Ⅰで100m沖合から250m付近において被度の高い優占種として存在することが分かった。ホンダワラ藻場は砂床Ⅰで生息することが認められるが、優占種として分布することは少ない。パッチ状礁岩では被度が高くなり、優占種がリュウキュウスガモから変わる一つの返還点と思われる。ウスユキウチワは単独で生息していることが少なく、基本的にホンダワラ藻場と混合して生息することが多く付随種としての印象が強い。いずれの種も水深や汀線からの距離で生息域が決まることは少なく、底質が分布域を決める重要な因子になって

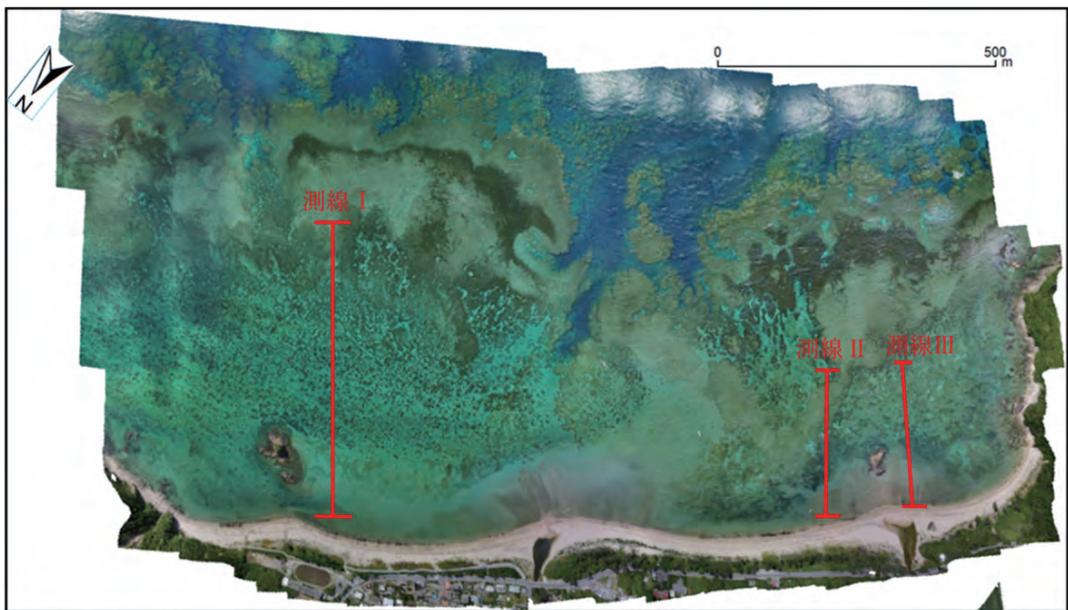


図12 嘉陽海岸の空中写真と測線の場所2017年撮影(オルソ画像)

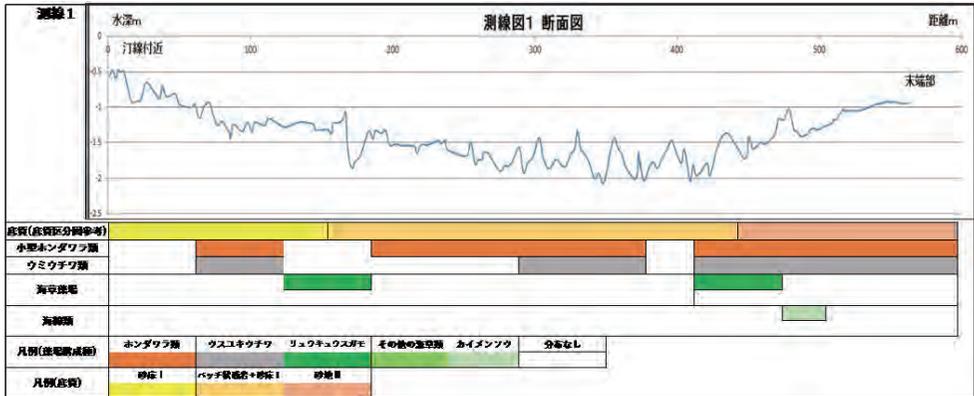


図13 測線Ⅰの断面図と底質・植生情報

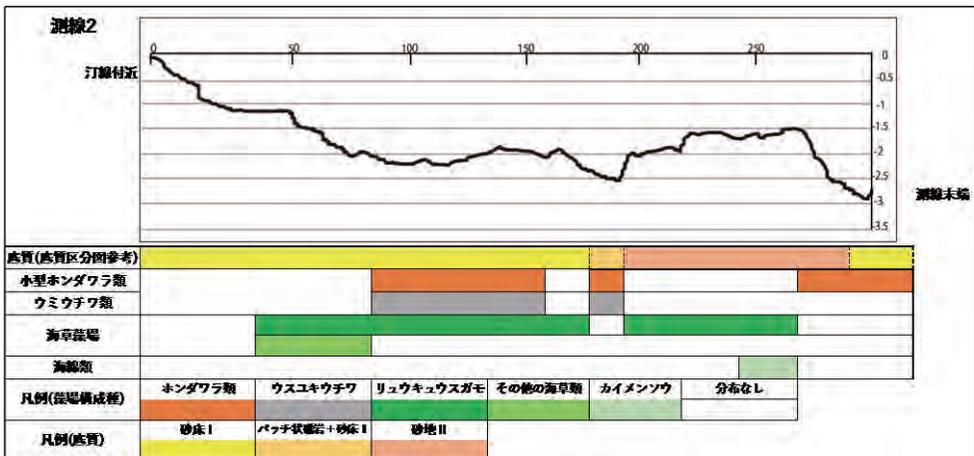


図14 測線Ⅱの断面図と底質・植生情報

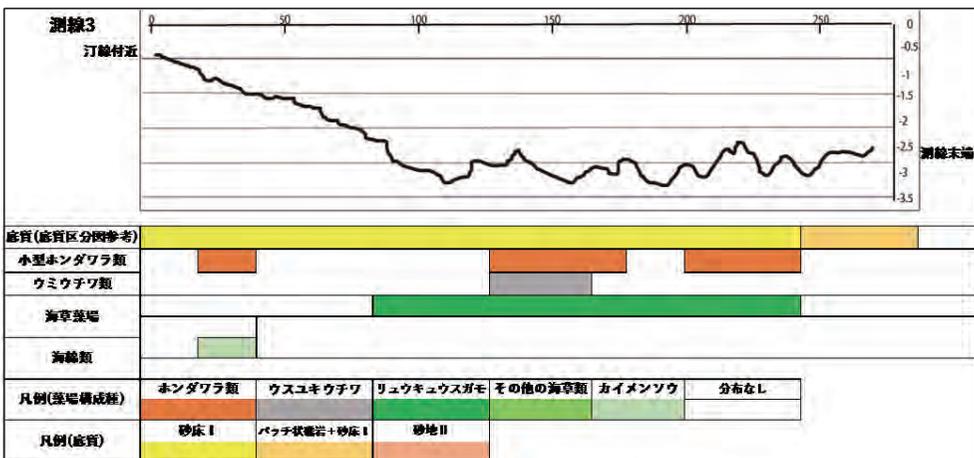


図15 測線Ⅲの断面図と底質・植生情報

いた。

今回の測線調査では礁嶺まで近づくことができていないため礁嶺付近に生えていたホンダワラ藻場の目視確認ができなかった。調査時、2～3m測線から逸れると優占種がリュウキュウスガモからホンダワラに変わる場所も数か所見

られたので測線調査そのものを分布割合としてとらえることはできない。

4. 赤崎の調査・分析結果について

下の写真(3、4)は、2016年と2017年に撮影した空中写真をオルソモザイクに変換したものである。2016年に沿岸まで分布していたホンダ

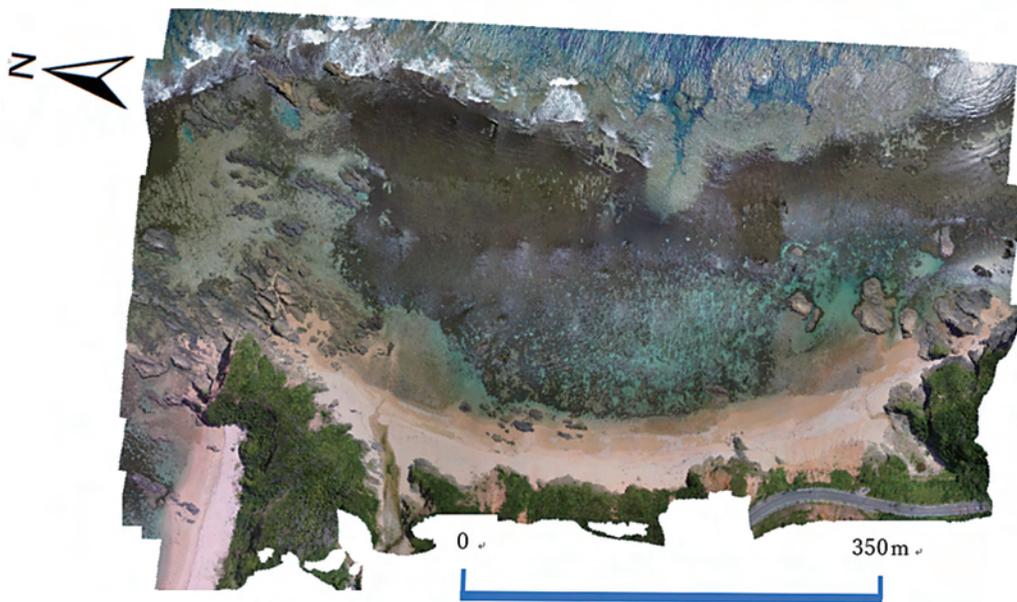


写真3 UAVから撮影されたオルソ画像。(2016年8月31日撮影)

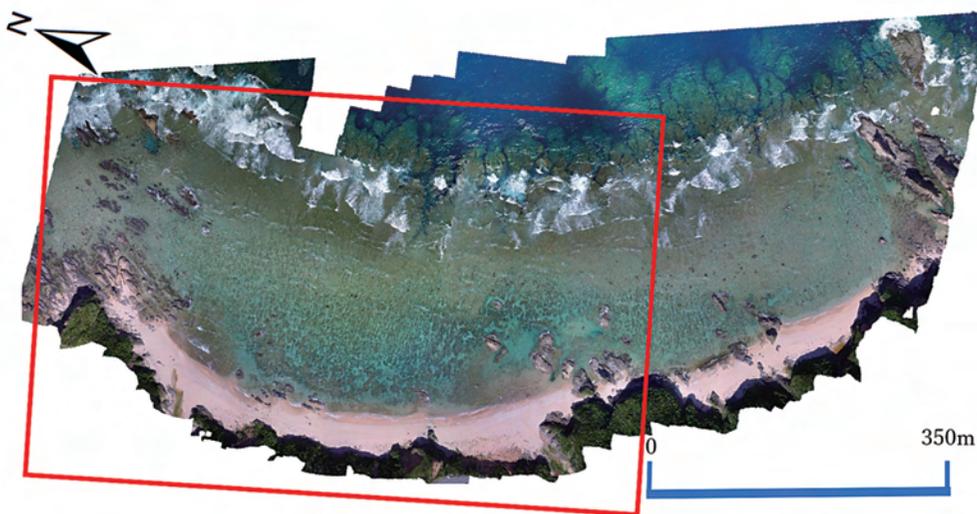


写真4 UAVから撮影されたオルソ画像(2017年)。赤枠は2016年撮影範囲

ワラ藻場は、2017年では沖合にも見られなかった。撮影範囲は多少違うものの、一年での変化が大きい例として表示させることにした。

赤崎海岸は、今回取得した空中写真の7時期いずれにも、海草藻場の分布は確認されなかった。そのため、ホンダワラ藻場の変化のみを下記に記す。過去の空中写真を比較したとき、年代によってホンダワラ藻場が全くない時期と大きく繁茂する時期に二分している。分布が確認されなかった時期（1978年1月、1989年3月、2017年8月）を除き、分布図を作成した。年代は、古い順に1971年（図16）、1982年（図17）、1993年（図18）、2016年（図19）の4時期の分布図を作成した。

まず1970年の分布図では沖合200mの場所に帯状に広がりを見せた。他の年代と違う点として、汀線付近または、汀線より沖合100m以内に藻場が分布することが確認できたが1970年の分布図のみ礁嶺付近にのみ分布していた。次

に1982年では、1970年より汀線側に大規模で幅が広い藻場が分布した。陸に近いところでは、汀線から10m~20mの場所に分布しており、分布の特徴は2016年の分布傾向に近いことがわかった。1993年赤崎でのホンダワラ藻場の分布は海岸北部を中心に広がる。分布が拡大する時期は赤崎海岸の南に位置する伊江集落前方の海岸でもホンダワラ藻場が広がる。比較として挙げると1993年は伊江の藻場の分布が大きく拡大していた。最後に2016年の分布図は、礁嶺から汀線付近まで分布が確認できた。

汀線付近に見られるホンダワラ藻場は、1982年の分布も含め砂床Iの割合が多くなるため、岩に着生しているものが一般的である。2016年データは調査の都合上海岸の撮影範囲が足りず、南側の分布図が描けなかったが、4時期の分布図の中で一番拡大していたことがわかる。前に載せた写真2の斜め写真は、ホンダワラ分布域からさらに北に向いた時の写真であり、赤

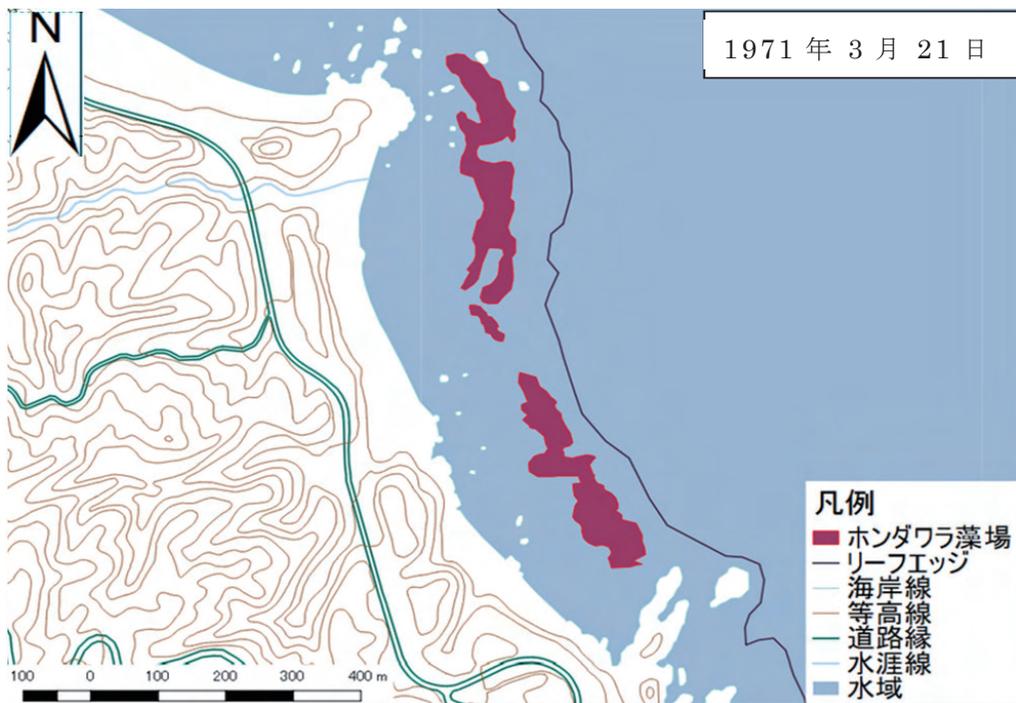


図16 1971年赤崎海岸におけるホンダワラ藻場分布図

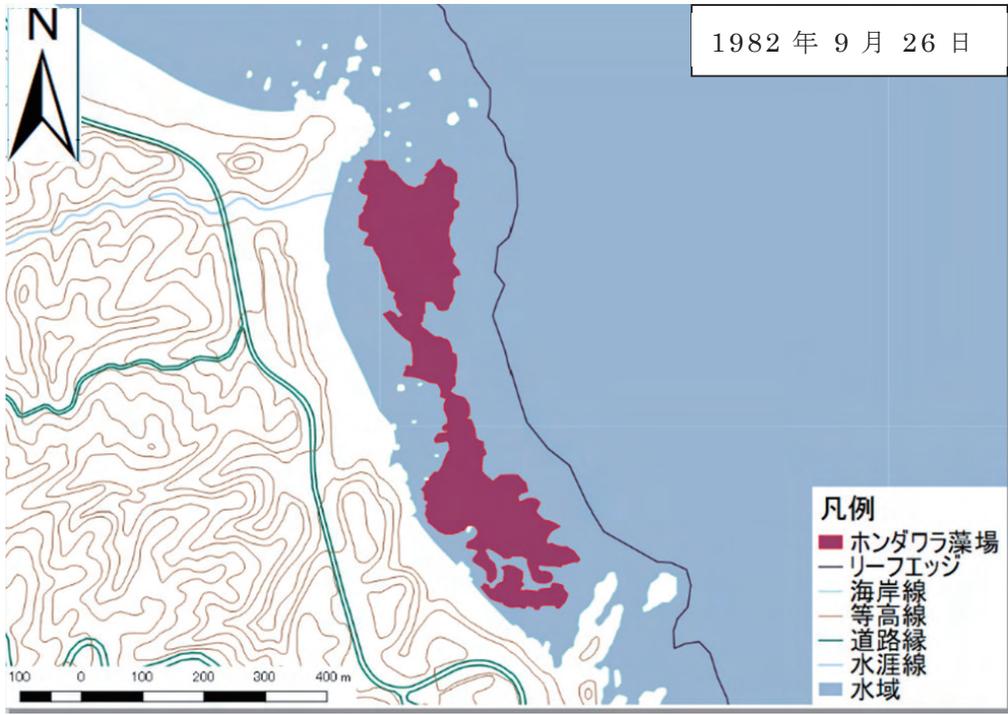


図17 1982年赤崎海岸におけるホンダワラ藻場分布図

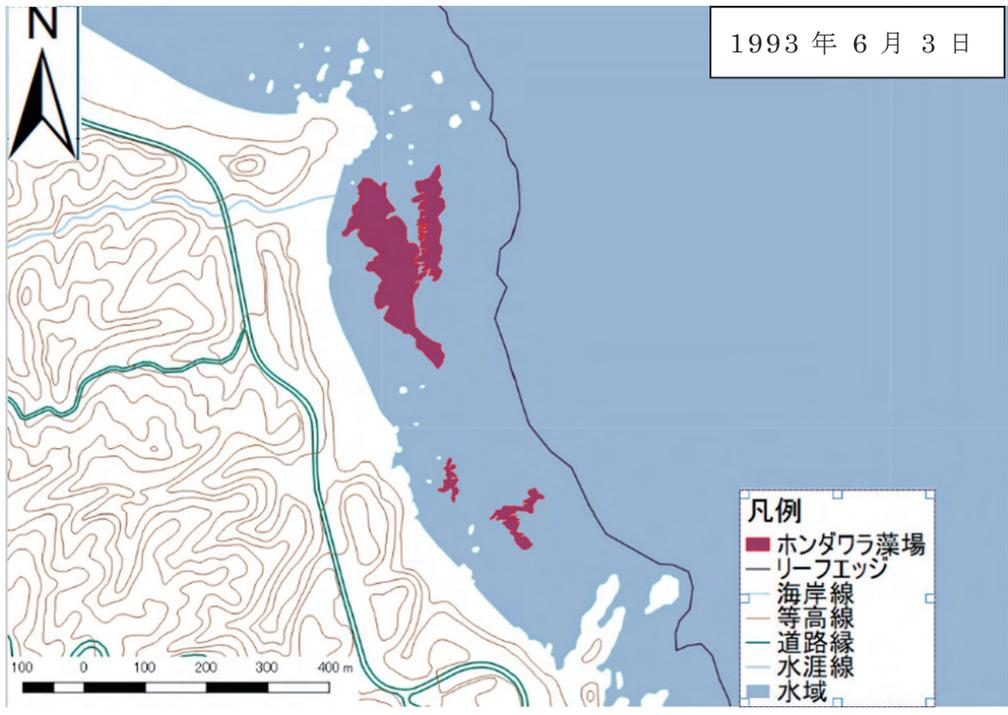


図18 1993年赤崎海岸におけるホンダワラ藻場分布図

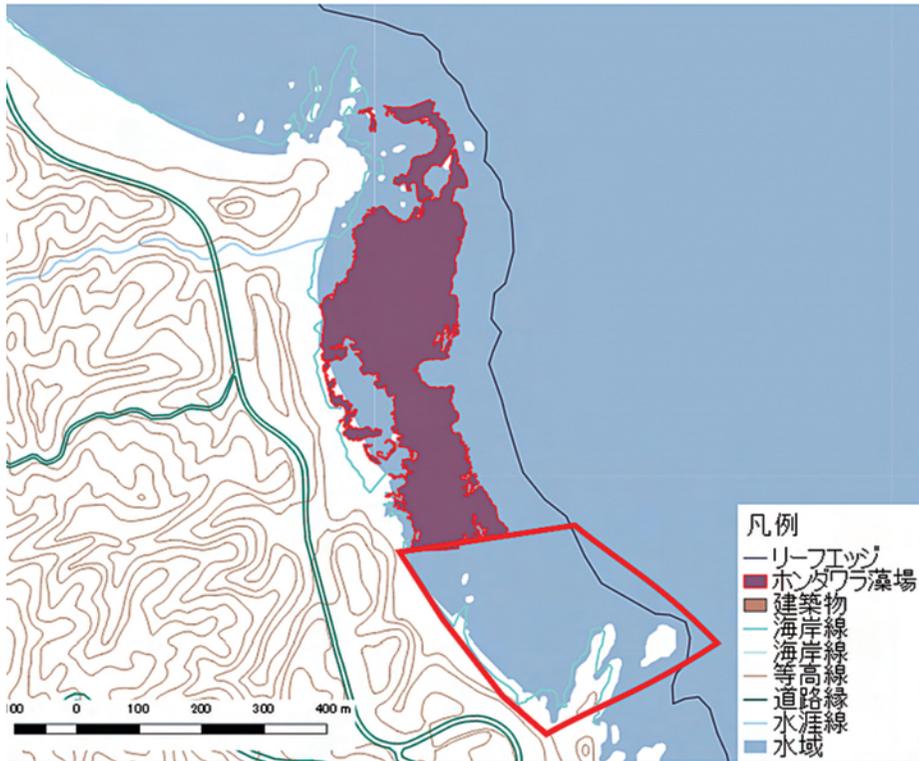


図19 2016年赤崎海岸におけるホンダワラ藻場分布図（赤枠は未撮影範囲）

崎海岸北側と岬を挟んだ赤崎海岸南側も同規模で分布していることが分かった。

赤崎での測線調査は、波が強く予定していた所までたどり着くことができなかった。そのため、空中写真のパターンから指標を十分に集めきれなかったことを踏まえ、正確な判断は難しい。

次に定量的な変化について下記に記す。1971年の面積を比べると繁茂した時期と比べれば規模は大きくないが、繁茂していない時期や1993年の分布状況と比べると大きい値を示している。図20では、ホンダワラ藻場が確認されなかったものに対してもデータとしてグラフに含めることにした。

2016年の面積は前述した通り、海岸北側のホンダワラ藻場面積が反映されていないため、実際の面積より少ないことが言える。

それでも確認できた面積の中で2016年が一番面積が多い。変化量が一番大きかったのは、写真3と4で見られる2016年から2017年の差であった。長期的な変化はデータのばらつきが大きいため増加傾向なのか減少傾向なのか判断することが難しい。

5. 全体を通して分かったこと

ホンダワラ類藻場を判読する場合、空中写真は年代の他に季節の違いを比べることができた。その結果、夏季嘉陽海岸と赤崎海岸ともに年代によって大きな違いが見られたものの、季節による変化については、夏季と冬季を比較したのが夏季に減少した年代や冬季でも藻場が分布する年代もあり一概に夏季が多く分布するとは言えない結果となった。今回の例として、UAVにて赤崎海岸で同じ季節に撮影された2016年

赤崎海岸ホンダワラ藻場の面積

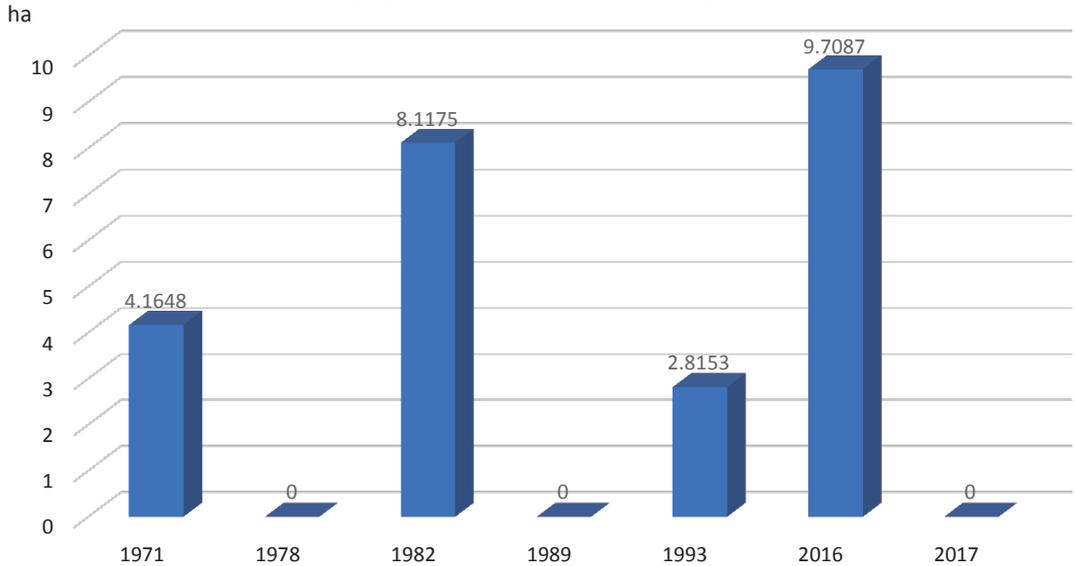


図20 2016年赤崎海岸におけるホンダワラ藻場の面積推移

(8月31日11時前後)と2017年(8月29日14時半前後)の画像を比べた場合、同じ季節であるにも関わらず、大きな変化が見られた。そのため、水温とは違う要因でホンダワラ藻場の大きな変化を伴うことがあるといえる。ホンダワラ類藻場と海草藻場の両方から見られる特徴は、礁原付近がホンダワラ類が優占する藻場であることについて前に述べた通りである。両者の変化はホンダワラが集中する前方礁原部分(岩礁部分)が海草の繁茂する礁地部分より大きい事が分かった。

また、集落前方(浜の北東側)の沿岸域と集落から離れた浜の南西側の沿岸域でどちらが変化しているか比べた場合、集落前方の変化が南西側より生じやすい(生じていることが多い)ことが分かった。ただし、嘉陽の浜について自然に配慮した護岸提(階段式石積護岸とセットバック式護岸¹⁾の併用)を利用することやエココースト事業を行ってきた側面を見たとき、一概に人間活動に伴う原因や工事による影響とすぐに判断することは難しい。

吉田ほか(2003)で示された2002年7月の調査内容を見ると計7種の海草が確認されており、分布域は海岸線付近から200m沖合にかけて広く分布していたとの報告がなされている。しかし、今回の調査では、より沖合の種ごとの分布ではリュウキュウスガモが全域に広く分布していたのに対し、ボウアマモは海岸線から50-100m付近の水深が浅い場所に主に分布すると記していたが、筆者が調査した3側線では、水中写真、目視確認共にボウアマモの分布は確認できなかった。

その他の主であるリュウキュウアマモ、ベニアマモ、ウミジグサ、マツバウミジグサ、ウミヒルモの分布は局所的で少数の調査点でのみ確認されたとしており、筆者の調査では、この内ウミヒルモのみ局所的に確認することができた。

V. 考察

調査対象地域の海岸二つの地形環境を比べる

と、背後の浸食した崖がないことから、陸域の土砂流入が嘉陽では赤崎より少ないと思われる。そのため、嘉陽海岸での海草ホンダワラ藻場原因に関しては、自然的要因が大きいと考えられる。特に台風2007年4号と2012年16号の被害は、集落に大きな影響を与えた事(又吉2014)から、集落前方の海岸にも変化を与えた可能性は高い。このことから、嘉陽海岸と赤崎海岸以外の沖縄本島東海岸でも海岸ごとに海草藻場が繁茂流出する原因に違いがでると考えられる。ただし、周辺の空中写真も同時に確認した際、ホンダワラ藻場は、海岸ごとではなく沿岸域全体が減少する傾向にある事が分かった。

今回の現地調査では、嘉陽海岸でホンダワラ藻場が見られたのに対し、赤崎海岸では、見られなかったことから東海岸全体で共通した変化が見られるとは限らない。礁嶺付近のホンダワラ類について、目視確認ができない中で、嘉陽海岸と赤崎海岸のホンダワラ藻場面積は具体的な数字ではないが撮影ごとに消滅と繁茂を繰り返す結果が表れた。海草が多年生なのに対し、海藻類はホンダワラ類は一年生と多年生の2種類存在している。筆者は、今回の結果のような短期間での明瞭な変化を生んだ種については一年生のホンダワラと考えるのが妥当であると推測した。

今回使用したUAVは、陸域から浅海域までの空中写真を取得する場合効率的で高解像度な為、より詳細な分布図を作成することができた。更に詳細なデータを得るには、ROV (Remotely operated vehicle) やAUV (Autonomous underwater vehicle) などの機材を使用することで海草の被度と小規模の藻場面積まで定量的な情報を活用することができる。この技術に関しては、山室(2004)がROVを使った海草藻場観測技術を開発し、発表している。まだ低空撮ツールと比べ、狭い範囲での調査にしか向かない事や熟練のモニタリング経験者の目視判読と比べてどこまで有用性があるか判断することは難しい

がGPS内蔵のため、一定間隔の自動撮影に加え、後から写真を見直して解析できる利点がある。

今回の空中写真判読では、国土地理院の高度の違うモノクロとカラーの空中写真、更にUAVから空撮した空中写真を用い経年変化を確認した。それぞれの写真は、画像分解能が違う。そのため、空中写真ごとに判読できる段階に違いが出た。例えば、国土地理院の空中写真では、カラー写真を含めリュウキュウスガモ・ウミヒルモ・ウスユキウチワの分布域を確認することができない。海草藻場とホンダワラ類藻場について構成種を含めて言及するには、UAVで得た解像度の高い空中写真でかつ、測線調査を行わなければ前述3種の分布域を分けることはできないと思われる。

次に面積の変動について、環境省(1994)が言うように沖縄県全体としてみれば、海域の開発で海草藻場の面積が減っているといえる。しかし、住民などの運動、嘉陽でいえば継続したモニタリング調査の実施などの結果を見ると海草藻場単体で見れば安定しており、本結果のように増加傾向にあると判断できる。開発する海域に海草藻場が多く存在する場合、または大規模な海域の開発をした場合は減少傾向ではあるが、海草藻場を有する海岸ごとに比べた場合、現状で辺野古に近い嘉陽でもその影響を受けているとは言えない。更に海草藻場と海藻藻場を一括りで捉え、減少傾向にあると論じるもの(環境省1994)について、筆者は一概に同じ原因で海草と海藻が減少するのか疑問である。本研究結果から、海草よりホンダワラ類は影響が出やすいことが分かった。それによって、埋め立て工事や陸域の開発が比較的少ない地域でもホンダワラ藻場は周期的に減少と拡大を繰り返しており、減少期に調査した場合と拡大期に調査した場合で大きな差が出てしまうことが想定される。ホンダワラ藻場においては変動が大きいいため、研究の初期段階では、要因について原

因について言及できることを想定していた。しかし、減少時期と台風の接近回数や海水温などを比べても拡大時期のデータと変わらないことが分かったため原因として結びつかない。2016年～2017年の一年間で全く分布が確認できなくなったことを踏まえると、ホンダワラ藻場動態の一部始終を追うためにより高頻度の調査をすることで原因の要因にたどり着けると考える。

最後に、調査手法ごとの結果から考えられることについて、本研究では3種の調査方法により、面と線と点の3種類の観点から状況確認を行い、それぞれに違いがあるか調べた。既存の空中写真では、撮影高度が高いため広域での面的変化を捉えることに利点がある。UAVの空中写真では、全体の分布域の輪郭を鮮明に確認することと被度の低い海草藻場に関しても全てではないが存在の確認ができた。このように空中写真では、解像度の違いもあるが2つ以上の事を一括りにしても問題ない場合、もしくは分布域が明確に分かれている場合に面的分布を追うために使用するのが好ましい。現地で行った測線調査で言えば、水深計から断面図を作成することで、線的分布を示すことができ、面積分布より細かい範囲で詳細な分布状況を説明することができる。特に曳船が難しいサンゴ礁浅海域では、他のレーザーや音響測量機器を使うより精度は落ちるが安価であり、短時間で取得から解析まで行うことができる。更に測線調査と並行して行ったGPSデータと水中写真をリンクさせる事で、極めて細かい対象物の状況(空中写真と比べるとピクセルや点に近い範囲)が確認できる。

以上のことを踏まえ、結果の違いに着目すると既存の研究の一部が、詳細の分布域を明らかにすることができない可能性がある事も指摘できる。その根拠は、研究結果により見つけることができた。本調査で行った空中写真から分布図を作成する方法は明らかに海草藻場とホンダワラ類藻場が生息している範囲のみをポリゴン

で囲んだ。そのため、既存の研究(環境省1994第4回自然環境保全基礎調査)で示された一時的な消長を繰り返すような疎生部分や、近接する藻場の海底も含んでいる藻場面積より少ない値として求めることになった。

嘉陽海岸を例とした場合、1994年の環境省の嘉陽と嘉陽南を合わせたものは14haとされ、1977年の空中写真を主に使用し、一部最新の空中写真を利用したとしている(年代は不明)。今回筆者が作成した分布図では、1977年の藻場に関して、海草とホンダワラ類を合わせ13haの面積を示し、仮に1994年の調査で最新の地図を使っていた場合でも1haの差が生じてしまったことには変わりはない。しかし、同じく環境省の報告書では、同じ1977年の写真から分布図を作成した当真(1981)の結果と第2回自然保全基礎調査(環境省1978)の結果と比べ藻場面積が2倍以上の違いが出ることを述べており、作成者の裁量で分布面積が大きく変わってしまう問題点がある事が示された。

本研究を実施するにあたり、以下の科学研究費助成事業から援助を得た。

- ・基盤研究(C)(一般)海草藻場の拡大がもたらすサンゴ礁環境の変化に関する研究(研究代表者 長谷川均)
- ・基盤研究(S)浅海底地形学を基にした沿岸域の先進的学術研究(研究代表者 菅浩伸)

また、現地においてUAVを使用して撮影した空中写真は、長谷川均氏と中井達郎氏との協働作業により得たものであり、研究方針等に関して両氏から指導、助言を得た。

注

- 1) セットバック式護岸は小学校校庭前面部分のみ堤防の位置を後退させ、その分護岸自体の高さと規模を抑えた護岸を指す。

参考文献

環境省 1994. 第4回自然環境保全基礎調査 海域生物環境調査報告書(藻場).

- 環境省 1978. 第2回自然環境保全基礎調査 海域調査報告書 藻場調査.
- 当真 武 1999. 列島の海草(1)種類と分布. 沖縄生物学会誌37:75-92.
- 当真 武 2012. 『沖縄の海藻と海草—自然環境・養殖・海藻250種』32-40, 88, 100-102, 108出版 舎Mugen.
- 渡久地健 2017. 『サンゴ礁の人文地理学—奄美・沖縄、生きられる海と描かれた自然—』260-265.
- 中井達郎 1990. 北限地域のサンゴ礁. 『熱い自然—サンゴ礁の環境誌』57-65.
- 仲岡雅裕 2002. 陸からの物質流入が熱帯海草も場に与える影響—河川の影響が異なる藻場の比較—海洋34:424-429.
- 長谷川均 2011. 陸域の開発行為に伴うサンゴ礁環境の悪化—石垣島白保サンゴ礁を例に—日本リモートセンシング学会誌31:73-86.
- 長谷川均 2014. UAV(自律型飛行体)を使った高解像空中写真の撮影と活用—サンゴ礁浅海域での事例—国士舘大学地理学報告22:13-21.
- 堀 信行 1990. 日本のサンゴ礁. 『熱い自然—サンゴ礁の環境誌』3-22. 古今書院.
- 又吉康之 2014. 自然環境に配慮した新たな沖縄型の海岸整備について(嘉陽海岸高潮対策事業)沖縄ブロック国土交通研究会.
- 目崎茂和 1980. 琉球列島における島の地形的分類とその帯状分布. 琉球列島の地質学研究5:91-101.
- 山室真澄 2004. 日本の亜熱帯海域における海草藻場観測技術の開発. 日本海水学会誌58:367-372.
- 吉田忠生 1984. ホンダワラ類の分類と分布—1—海洋と生物/生物研究社[編]6:336-340.
- 吉田正人・河内直子・仲岡雅裕 2007. 気球による海草藻場撮影調査と市民参加型モニタリングとの比較『沖縄島北部東海岸における海草藻場モニタリング調査報告第』日本自然保護協会97:33-40.
- 吉田正人・河内直子・仲岡雅裕 2003. 市民参加による沖縄の海草藻場のモニタリング調査. 保全生態学研究8:119-128.