令和2年度 富山湾リモートセンシング 調査事業報告書

令和3年3月

公益財団法人環日本海環境協力センター

1.	は	じめに	1
	1 - 1	諸言	1
	1-2	藻場について	1
	1-3	富山県沿岸におけるこれまでの藻場分布調査	4
	1-4	衛星リモートセンシングによる藻場マッピング	5
	1-5	NPEC による富山県沿岸の藻場調査	6
2.	水中	マビデオカメラによる藻場調査	9
	2-1	目的	9
	2-2	方法	9
	2-3	結果と考察	11
3.	衛	星画像を用いた藻場分布解析	15
	3-1	目的	15
	3-2	解析方法	15
	3-3	結果と考察	19
4.	ドロ	コーンを用いた藻場の空撮	22
	4-1	目的	22
	4-2	方法	22
	4-3	結果	30
	4-4	考察	46
	4-5	今後の課題および改善策	49
5.	富	山湾の海藻・海草に関する文献	50
	5-1	論文-藻場-	50
	5-2	論文-海藻培養-	51
	5-3	報告書	51
	5-4	本	52
	5-5	本報告書内で参考にした文献	52

目次

1. はじめに

1-1 諸言

藻場は、沿岸における水質環境を保全する上で重要な働きを果たしているとともに、魚介類の生 息場や産卵場となって生物多様性を支えている貴重な場所である(新井、2002;水産庁、 http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/tamenteki/kaisetu/moba/moba_genjou/)。しかしながら、そ の消失や衰退が全国各地から報告されており、沿岸生態系全体の生物多様性にも大きな影響を及ぼ す可能性がある。

富山県沿岸にも豊かな藻場の存在が知られているが、いくつかの場所では、全国と同様にその衰退が報告されている(Fujita *et al.*, 2006;富山水試, 2007)。今後、市民参加の活動などにより、 その保全を図っていくためには、その役割や重要性について一般の方々に理解を深めてもらうとと もに、藻場の分布域やその変化を適切に把握することが大切である。

公益財団法人環日本海環境協力センター(以下、NPEC)では、平成24~26年度の3カ年にわた り、富山湾の代表的な藻場において、人工衛星画像解析による分布域推定を行うとともに、海藻の 繁茂状況や底生生物の生息状況を現場での潜水調査などにより把握し、藻場の重要性を明らかとし た。平成27年度には、豊かな沿岸域創造検討会のとりまとめ結果をもとに、一般の人々に藻場の 重要性を理解してもらうための小冊子を作成した。また、過去4カ年では精度の高い解析ができな かった砂泥域に繁茂する海草アマモ類の分布域(アマモ場)を明らかにするために、現場での水中 カメラによる観測調査を実施するとともに、人工衛星画像を用いた画像解析を行った。平成29年 度は、平成27、28年度に得られた知見をもとに、調査時期と現場での調査地点を増やし、アマモ場 の季節的消長についても詳細な観察を行った。また、水中補正(Bottom Reflectance Index: Sagawa *et, al* 2010)を行うことでアマモ場分布域の推定精度が向上することを確認した。

令和2年度は、昨年度に続きドローンによる空撮画像を用いた藻場マッピングの可能性について、 さらに検証を進めるとともに、現場観測日に近い日に撮影された衛星画像(プレアデス)を新たに 入手し、特殊モニタリング・沿岸環境評価地域活動センター(CEARAC)が2019年に開発した藻場マ ッピングツール「Seagrass Mapper」を用いて藻場の抽出を試みた。

1-2 藻場について

日本の浅海域の主に潮下帯では、陸上の森林や草原と同じように大型の海藻や海草が群生して広 がる植物群落があり、これらを「藻場」と呼んでいる(小松ほか 2009)。海藻は海に生育する大型 の藻類で、紅藻、褐藻、緑藻の3グループあり、主に岩礁・転石域に分布する。海草は陸上で進化 した種子植物のうち海に生活の場を戻した植物群で、岩などに付着する種もあるが、主に砂泥域に 分布する。藻場は、優占する海藻により、コンブ場、アラメ場、カジメ場、ガラモ場(写真1-1:ホ ンダワラ類の藻場)、テングサ場、アマモ場(写真1-2)と呼んでいる(藤田 2010)。



写真 1-1 ガラモ場

写真 1-2 アマモ場

富山県沿岸域に生育する海藻は、約300種で、その内、紅藻が約180種、褐藻が約80種、緑藻 が約40種と報告されている(藤田2001)。また、海草においては、アマモ、コアマモ、スゲアマ モ、ウミヒルモの4種が生育している。本報告書では、岩礁や転石などに付着して生育する海藻で 構成される藻場を「岩礁性藻場」(写真1-3)、上記4種の海草で構成される砂泥性藻場を「アマモ 場」(写真1-4)として記載する。なお、本県の藻場の分布について、図1-1に示した。



図 1-1 富山県における藻場の分布



写真 1-3 本県に生育する岩礁性藻場の海藻



写真 1-4 本県に生育するアマモ場の海草4種

1-3 富山県沿岸におけるこれまでの藻場分布調査

これまで富山県沿岸において実施された広域にわたる藻場分布調査には、表 1-1 に挙げたもの がある。これらの知見から、富山県沿岸の藻場面積は、937 ha (1978年)→781 ha (1993年)→ 1,101 ha (2001年)→1,067.8ha (2011年)と推移しており (図 1-2)、富山湾の藻場面積はやや増 加傾向にあるようにみえる。しかし、調査方法が聞き取り、潜水目視および航空機観測などと異な ってきており、調査手法の発展によって把握される藻場の範囲が広がり、藻場面積が多くなった可 能性があることを考慮しなければならない。

アマモ場に関しては、富山県水産試験場(2002)および富山県水産研究所(2013)では、それぞ れ 2001~2002 年と 2011~2012 年に実施された航空機からの空中写真撮影と潜水調査結果から、ア マモ場の分布域が推定され、その面積はそれぞれ約 420ha および 323ha と見積もられている。ただ し、このアマモ場の減少については、画像から藻場の場所を判読する際の困難性により生じた可能 性が指摘されており、現場での観察も含め、アマモ場の分布域を確認する必要があることが指摘さ れている(富山県水産研究所 2013)。一方、富山県沿岸におけるアマモ場の分布域は、2回の調査 を通じて、県西部の氷見市沿岸に県全体の 90%以上が存在すると推定された。

藤田(2001)は、航空機からの空中写真と現場での潜水調査により、氷見市から高岡市にかけて の沿岸域において、アマモを含めた海藻の深度別の分布状況を紹介している。富山県水産試験場

(2007)では、2006年春から氷見市中波地先におけるアマモ類の分布量の季節変化を水深別に調査 し、水深 5、7mには主にアマモが、水深 9、11mにおいてはスゲアマモが通年生育し、スゲアマモの 現存量は季節的に大きく変動することが明らかにされた。これら以外には、魚津市地先にコアマモ (藤田・高山 1999)ならびにアマモ(浦邉・松村 2006)が生育することが報告されている。また、 富山湾周辺では、能登半島の七尾湾西湾や珠洲市沿岸にもアマモ場の存在が報告されている(池森 ら 2012、東出ら 2014)。

なお、一昨年度の本事業の調査により、氷見漁港周辺のアマモ場において、1年生のアマモの存 在が示唆された。

環境省	境省 富山県(1978)第2回自然環境保全基礎調査 干潟・藻場・サンゴ礁分布調					
	報告書 環境省委託					
環境庁自然保護局・財団法人海中公園センター(1994)第4回 基礎調査						
富山県水産研究所	富山県水産試験場(2002)平成 13 年度富山湾漁場環境総合調査					
	富山県水産試験場(2007)平成 18 年度富山湾漁場環境総合調査					
	富山県水産研究所(2013)平成 23 年度富山湾漁場環境総合調査					
	富山県水産研究所(2018)平成 28 年度富山湾漁場環境総合調査					
その他	海と渚環境美化推進機構(2003)平成 14 年度藻場・干潟環境保全調査報告書					
NPEC	(公財)環日本海環境協力センター(2013~2020)平成 24~30 年度、令和元					
	年度富山湾リモートセンシング調査事業報告書					

表 1-1 富山湾における藻場分布調査





(富山県 1978、環境庁 1994, 1998、

富山県水産試験場 2002、富山県水産研究所 2013) 図 1-3 衛星による藻場分布解析の概念図

1-4 衛星リモートセンシングによる藻場マッピング

藻場保全を推進して行くためには、その分布域の変化を継続的にモニタリングする必要がある。 藻場の分布域を把握するためには、船上からの目視観察や潜水調査等の直接的な方法をはじめ様々 な手法が存在するが、いずれも長所と短所が存在する。人工衛星リモートセンシングによる藻場マ ッピングは、海表面から射出する光のスペクトル情報を分類し、間接的に藻場分布を知る手段とし て知られており、空間的に広範囲のデータ取得が可能であることや、既に取得された画像データ(ア ーカイブデータ)の利用が可能であること、さらには画像に水柱補正を実施することにより、深い 水深帯における藻場分布をより正確に推定できるといった優れた特徴がある。図1-3に、藻場解析 に関する衛星の概念図を示す。

1-5 NPEC による富山県沿岸の藻場調査

2012年度から2014年度に実施した調査により、下記のとおりの結果が得られた。

氷見市、魚津市、入善町ならびに朝日町地先の藻場において潜水調査を秋季に実施し、富山湾の 代表的な藻場に繁茂する海藻や、藻場に生息する生物の種類や分布量を明らかにした。湿重量で比 較すると、氷見市ではホンダワラ類(褐藻類)が大部分を占め、魚津市では紅藻類であるマクサが 最も多く、入善町ではホンダワラ類やツルアラメ(褐藻類)、朝日町地先ではホンダワラ類が優占し た。魚津、入善町、朝日町地先では、オオヘビガイなどの軟体動物が湿重量で最も多かった。個体 数では、入善町地先では重量と同様に軟体動物が最も多かったが、魚津市地先では軟体動物と環形 動物が、朝日町地先では節足動物が最も多かった。

富山県西部に位置する氷見市周辺の人工衛星画像(2010年2月22日撮影)の解析により、ガラ モ場およびその他藻場の面積が189haと推定された。射水市から富山市の画像(2010年2月22日 撮影)の解析により、県中央部の砂浜域に設置された離岸堤や浅堤に付随する藻場を明らかとし、 入善町から朝日町の人工衛星画像(2009年11月7日撮影)からは、県東部を代表する岩礁性藻場 の分布域を高い分類精度で推定した(図1-4)。



図 1-4 入善町吉原地先における藻場分布の推定結果 ■岩礁性藻場 ■砂泥(植生なし)

2015年度には、富山湾西部沿岸域(氷見市地先)のアマモ場の分布状況・季節的消長に関する調 査を6月と11月に行ったところ、最もアマモが繁茂する氷見漁港北西海域の水深が深くなる沖側 で、6月には生育が確認されたものの、11月にはほとんど確認されなかったため、本地先に生育す るアマモの繁茂状況は季節によって異なることが示唆された。また、氷見沿岸域における高解像度 (2m)の人工衛星画像【GeoEye-1:2014年11月22日撮(a, b, c)】を用いて、大気補正済みの 青、緑、赤、近赤外の4バンドによる解析を行ったところ、図1-5の分類結果(a'、b'、c')が 得られ、比較的高い解析精度が得られたサブエリア(a)におけるアマモ場面積は207haと推定さ れた。しかしながら、この結果については、既往の藻場の分布状況と一致しないエリアがあるなど (特に b と c のエリア)、精度上の問題があることから、さらに調査を進める必要があると考えら れた。



図 1-5 氷見市地先における藻場分布の推定結果 ■アマモ場 ■ガラモ場、その他の藻場 ■砂泥(植生なし) ■陸域および水深 20m 以深

2016 年度は、富山県西部沿岸における高解像度(2~5m)の人工衛星画像を、画像アーカイブが 掲載されたウェブサイトから検索し、2016 年 3 月 17 日に撮影された RapidEYE の画像(5m解像度) を入手し、解析を行った。この画像は、青(440-510nm)、緑(520-590nm)、赤(630-680nm)、レッ ドエッジ(690-730nm)、近赤外(760-850nm)の5つのバンド(波長帯)により構成されている。人 工衛星画像の解析は、画像解析ソフト(ENVI 5.2)を用い、Mumby and Edwards (2000)ならびに澤 山・小松(2011)を参考に藻場分布を推定した。本解析では、複数のサブエリアに分けずに解析を 行った。また、2015 年度の解析結果から、アマモ場の判定には水柱補正を行わない場合に分類精度 が高くなったことから、水柱補正は行わずに解析を行った。

大気補正済みの RapidEYE 画像を RGB 合成し【図 1-6 (a)】、陸域と水深 20m以深をマスクした後 に、初夏の繁茂期に調査したシートゥルースデータを用いて、関心領域の作成を行った【図 1-6 (b)】。 5 バンドの画像を用いて、最尤法による教師付き分類を行った結果【図 1-6 (c)】、アマモ場、岩礁 性藻場及び砂泥域で、それぞれ過大・過小に分類された海域もあるが、アマモ場に関しては、現場 調査の結果と概ね一致していた。アマモ場に分類されたピクセル数から富山県西部海域における繁 茂期のアマモ場の面積は、約 716ha と推定された。ただし、分類精度の指標である全体精度は 0.48、 タウ係数は 0.36 となり、それほど高い値ではなかった。アマモ場のユーザー精度は 0.65 となった が、岩礁性藻場の精度は 0.10、砂泥域の精度は 0.49 となり、アマモ場の精度よりも低かった。特 に、岩礁性藻場の精度が極端に低いことが、全体の分類精度とタウ係数を低くした要因の一つと考 えられた。2016 年春の繁茂期における分析では、水柱放射量補正 (BRI) を行わなかったため、特 に、岩礁性藻場の分類精度が低かった。今後は、更に、シートゥルースデータを追加し、水柱放射 量補正 (BRI) による再解析が必要であると考えられた。



図 1-6 氷見市沿岸域における藻場の分布の推定

2017 年度は、2016 年度よりも精度の高い藻場分布域を推定するため、RESTEC が開発した CMOBAH3.0と画像解析ソフト(ENVI 5.2)を用いて、陸域にマスクをかけるとともに大気補正と水 柱補正を各バンド(4Bands: Blue Band、Green Band、Red Band、Red edge Band)の画像すべて に行いアマモ場分布域を推定した。その結果、アマモ場と分類されたピクセル数から富山県西部海 域における繁茂期のアマモ場の面積は、約592haと推定された。過大評価であると考えられた2016 年度のアマモ場の推定面積は、約716ha(精度:65%)であったが、2017年度のアマモ場の精度は 72%と昨年度よりも高くなり、より正確な面積を推定することができた(図1-7)。



図 1-7 氷見市沿岸域における藻場の分布の推定 (左:教師データ、中央:水柱補正後の RGB 合成画像、右:藻場分布推定結果)

2018 年度は、2018 年 7 月 11~12 日に実施した水中ビデオカメラによる現場観測にタイミング が近く、空間解像度が 2m と高い 2018 年 7 月 15 日に撮影された World View-2 のマルチスペク トル画像を用い、BRI 水柱補正を施した上で、アマモ場分布域の推定を試みた。その結果、アマモ 場分布域推定結果は、一部の海域(氷見漁港内及び浅海域)を除き、現場調査結果とよく一致した (図 1-8)。一部の海域で一致しなかったため、近赤外バンドの閾値を調整し、再分類の上、本解析 結果の精度検証作業を進めている。



図 1-8 氷見市沿岸域における藻場の分布の推定 (左:教師データ、中央:World View2 RGB 合成画像、右:藻場分布推定結果)

2. 水中ビデオカメラによる藻場調査

2-1 目的

人工衛星画像の解析において最尤法による画像分類を行うには、解析対象とする区域内で、予め 海底の底質データ(シートゥルースデータ)を取得し、分類教師データとして設定する必要がある。 また、分類がどれだけ正しく実行されたかの精度検証を行うためにも、これらのシートゥルースデ ータは必要である。そこで、垂下式の水中ビデオカメラ調査を実施し、広範囲にわたるシートゥル ースデータを効率的に取得することを目的とした。

2-2 方法

(1) 水中ビデオカメラによる調査

富山県沿岸のアマモ場の90%以上が氷見市沿岸に存在するとされているが、その隣接海域の調査 事例は極めて少ない。そこで、調査範囲は、昨年度に引き続き、氷見市沿岸に隣接する高岡市伏木 地先とした。富山県北西部の高岡市伏木地先(図 2-1)の調査海域の底質状況を船上から垂下した 水中ビデオカメラにより観察・記録した。一般に藻場は水深 20 m以浅に形成されることから、調 査地点は水深約 20 m以浅の範囲に限定し、画像解析を実施する区域のほぼ全域を含むように調査 地点を設定した。なお、調査地点の緯度経度は、Google earth 上で、水深 3、5、8、10、12、15、 18、20 mを目安に予め設定した。

調査は、初夏のアマモ繁茂期(2020年8月6日)に40地点、秋のアマモ衰退期(2020年11月13日)に38地点で、新湊漁業協同組合の協力を得て行った(図2-1)。また、調査に用いた船舶の操船は、株式会社 IMATOの東海勝久氏が行った。

水中の観察は、水中ビデオカメラ(みるぞう Pro 有限会社ファーストシーン製)を船上から海底 までケーブルを繰り出して垂下し、横向きに据え付けられた4つのカメラ(各90度ごとに4方向) と下向きの1つのカメラにより撮影した海底付近の映像を、1地点あたり数分間程度、船上モニタ ーで観察するとともに録画した(写真2-1)。調査地点の位置(緯度経度)は、携帯型のGPSデータ ロガー(Wireless GPS Logger GT-600 i-gotU製)により記録した。調査地点における水深を把握 するために、水深データロガー(JFE アドバンテック社製 DEFI-D5HG)をビデオカメラの直上に取 り付け、観察水深の記録を行った。

調査時の観察及び録画された映像を参考にして、底質を、アマモ場、岩礁性藻場(岩礁に繁茂す るホンダワラ類やコンブ類などの海藻)、および砂泥域に3区分した。加えて、アマモ場が確認で きた地点では繁茂状況を以下の通りランク付けした。海底からの数十センチの高さから下向きに撮 影したカメラの映像を用い、画面に占めるアマモ類の被度を、被度0:0%(なし)、被度1:1~10% (極点生)、被度2:11~25%(点生)、被度3:26~50%(疎生)、被度4:51~75%(密生)、被度5: 76%以上(濃生)の6段階に区分した。なお、被度の判定には、水平方向(横向き)の4つのカメラ の映像も参考に判断した。また、アマモ類や他の海藻の種類、アマモの生育状況(栄養株や花枝株 の有無など)を同時に観察した(写真2-2)。



図 2-1 調査海域(高岡市伏木地先)左: 2020 年 8 月 6 日 、右: 2020 年 11 月 13 日



写真 2-1 垂下式水中ビデオカメラ(左)と投下の様子(右上)

2-3 結果と考察

1) 高岡伏木地先(8月)

①伏木富山港(高岡市伏木地区)北防波堤内側

北防波堤内側の海域では、底質は砂であり、海藻の繁茂は少なかったが、万葉埠頭西側先端 付近(地点 7、8-2)にアマモの繁茂が認められた(図 2-1、表 2-1、写真 2-2)。

②国分海浜公園周辺

国分海浜公園周辺の海域では、底質は砂が大部分であったが、地点15、24、25、27、29、32 では、ホンダワラ類の繁茂が確認された。なお、調査地点の詳細は、表2-1に示した。

2) 高岡伏木地先(11月)

①伏木富山港(高岡市伏木地区)北防波堤内

北防波堤内側の海域では、底質は砂であり、海藻の繁茂は、少なかった。8月の調査では万 葉埠頭西側先端付近(地点7、8-2)にアマモの繁茂が認められたが、今回(11月)の調査では 認められなかった(図2-1、表2-2、写真2-3)。アマモ場が冬場に消失した原因は不明であり、 その解明には、今後、継続して詳細な調査を実施する必要がある。

②国分海浜公園周辺

国分海浜公園周辺の海域では、底質は砂が大部分であったが、地点 24~26、29、30、32 は岩であり、そのうち地点 26、28 にはホンダワラ類の繁茂が認められた。

なお、調査地点の詳細は、表 2-2 に示した。

表 2-1 水中ビデオカメラ調査点の位置、底質、海草・海藻の繁茂状況(高岡伏木地区)

(2020年8月6日)

定点		緯度		経度	-12:20	店厅	海古粘	海草類	/# *
(8月)	度	分	度	分	小木	小休	两平规	被度	順方
1	36	49.45			24	S	無	-	
2		49.24			18	s/st	無	-	ガラモ
3		49.1			15	S	無	_	
4		48.9		3.8	12	S	無	_	
5		48.8			11	S	無		
6		48.6			9	S	無	_	
7		48.4			8	S	アマモ	2	
7-2		48.33		3.71	6	S	無	_	
8		48.3		3.7	6	S	無	_	
8-2		48.33		3.62	6	s	アマモ	1	
8-3		48.4		3.68	6	S			
8-4		48.46		3.74	8	S			
8-5		48.51		3.65	8	S	アマモ	1	
9		48.5			7	S	無	_	
10		48.6			8	s			
11		48.8			11	5			
12		48.9		3.6	11				
12		49.1			14	5	 		
14		49.2	137		16	s			
15		49			12	s		_	ガラモ
16		48.9			10	S	無	_	
17		48.8			9	S	無	_	
18		48.6			3.4	7	S	無	_
19		48.4		3.4	6	S	無	_	
20		48.3			4	S	無	_	
21		48.2			6	m	無	_	
22		48.1			6	m	無	_	
23		48.43		3.2	3	m		_	
24		48.51		3.14	2	st	無	-	ガラモ
25		48.52		3.17	2	st	無	_	ガラモ
26		48.57		3.14	5	S	無	-	
27		48.66		3.15	2	s/st	無	_	ガラモ
28		48.72		3.13	3	S	無	—	
29		48.75		3.14	5	st	無	-	ガラモ
30		48.81		3.24	7	st	無	-	
31		48.66		3.23	7	S	無	_	
32		48.57		3.24	8	S	無	_	ガラモ
33		48.48		3.24	7	S	無	_	
34		48.1	1	4.09	3	m	無	_	
35		47.98	1	4.06	5	m	無		
36		47.87		4.08	7	S	無	_	
37		47.95		4.02	7	S	無	_	
38		47.56		4.66	7	s	無	_	
39		47.58		4.32	9	S	無	_	

s: 砂、m: 泥、st: 石

表 2-2 水中ビデオカメラ調査点の位置、底質、海草・海藻の繁茂状況(高岡伏木地区)

(2020年11月13日)

定点	緯度		i	経度	水深	底啠	海古粘	海草類	供去
(11月)	度	分	度	分	(m)	」)	冲早 頖	被度	1佣 右
1	36	49.45	137		25	S	無	—	
2		49.24			17	S	無	-	
3		49.1			14	S	無	_	
4		48.9			12	S	無	_	
5		48.8		3.7	11	S	無	_	
6		48.6			9	S	無	_	
7		48.4			5	S	無	_	
8		48.3			7	S	無	_	
9		48.5			12	S	無	_	
10		48.6			8	S	無	_	
11		48.8		3.58	9	S	無		
12		49.1			14	S	無	_	
13		49.2			13	S	無	_	
14		48.8		3.03	6	S	無	_	
15		48.7			5	S	無	_	
16		48.6		214	4	S	無	_	
17		48.56		5.14	4	S	無	_	
18		48.5			1	S	無	_	
19		48.6		3 33	6	S	無	_	
20		48.9			9	S	無	_	
21		49		3.38	11	S	無	_	
22		48.6			9	S	無	_	
23		48.4		3.89	13	S	無	_	
24		48.3		3.81	13	st	無	_	
25		48.33		3.75	7	st	無	-	
26		48.23		3.98	13	st	無	_	ガラモ
27		48.26		4.32	10	S	無	_	
28		48.13		4.46	12	S	無	-	ガラモ
29		48.75		3.14	5	st	無	_	
30		48.81		3.24	7	st	無	_	
31		48.66		3.23	7	S	無	_	
32		48.57		3.24	8	st	無	_	
33		48.48		3.24	7	S	無	_	
34		48.1	1	4.09	3	m	無	_	
35		47.98	1	4.06	5	m	無	_	
36		47.87		4.08	7	S	無	_	
37		47.95	1	4.02	7	S	無	_	

s: 砂、m: 泥、st: 石



写真 2-2 高岡市伏木地先の定点の主要な藻場(上から4段:夏季、最下段:秋季)

3. 衛星画像を用いた藻場分布解析

3-1 目的

富山県沿岸域における藻場分布域については、これまでに 2001~2002 年と 2011~2012 年に 航空機から撮影された空中写真により、岩礁域に繁茂する海藻の藻場と砂泥域に繁茂するアマモ 場を合わせて、およそ 1,100ha と見積もられている (富山水試 2002、富山水研 2013)。また、 本事業により 2012~2014 年度に実施された人工衛星画像の解析により、富山県沿岸の主要な岩 礁性藻場において、その分布域を深い水深帯まで詳細に把握した。砂泥域に形成されるアマモ場 については、氷見市から高岡市の沿岸域に存在することが潜水調査結果から報告されており(藤 田 2001、富山県水産試験場 2002 および 2007)、分布水深については比較的詳細な記述があ るものの、海岸線に沿った水平方向の分布の広がりについてはほとんど明らかとされていない。 一方、富山県水産試験場(2002)および富山県水産研究所(2013)による航空機からの空中写真 を用いた解析では、アマモ場の範囲が示されたが、水深 10m以深において画像の判読に困難な 場合があったことが指摘されており(富山県水産研究所 2013)、砂泥性のアマモ場の分布域、 特に深い水深帯での分布域については再検討を要すると思われる。2016 年度には、富山県西部 の計 795 地点において取得した現場観測データを基に、画像解析ソフト ENVI5.2 を使用して、 Rapid-Eyeの衛星画像(解像度 5m)から県西部氷見市のアマモ場繁茂期の分布域を推定したが 高い分類精度には至らず、その要因として、深い海域での光の減衰を考慮した水柱補正を行って いないことが一つの要因であると考えられた。2017年度は、より精度の高い藻場分布域を推定 するため、人工衛星画像に水柱補正(BRI:Bottom Reflectance Index)を施すことによりアマモ 場分布域を推定した結果、アマモ場の精度を 72%に高めることができた。昨年度は、高岡市(国 分海浜公園周辺)沿岸域において 2019 年 6 月 21 日に実施した水中ビデオカメラによる現場観 測結果と WorldView-3 の衛星画像使用し、アマモ場分布域の推定を試みた。今年度は、国分海 浜公園周辺の沿岸域を対象に、2020年8月6日に水中ビデオカメラによる現場観測を実施し、 新たに入手した 2020 年 9 月 23 日のプレアデス衛星マルチスペクトル画像を用いて、アマモ場 の推定を試みた。

3-2 解析方法

衛星画像の解析には、特殊モニタリング・沿岸環境評価地域活動センター(CEARAC)が 2019年 に開発した藻場マッピングツール「Seagrass Mapper」を用いた。Seagrass Mapper は、Google 社 が提供するクラウド型の地球観測衛星の解析プラットフォームである「Google Earth Engine」 をベースとし、図 3-1 に示すデータ処理フローによって、衛星画像から底質の分布を抽出するこ とができる。今年度の解析に用いた衛星画像は、2020 年 9 月 23 日に国分海浜公園周辺域が撮 影されたプレアデス衛星のマルチスペクトル画像(図 3-2)とした。

衛星画像による海底の藻場分布を推定には、太陽光の海底からの反射が用いられる。しかし、 太陽光が海中に入り海底で反射し、海面から射出した光が宇宙空間にある人工衛星の光学センサ に届くまでには、その過程で通過する大気、水の層による影響を受けるとされている。そのため、 藻場分布の推定には、これらの影響を事前に除去しておく必要があり、大気の影響を除去するプ ロセスを大気補正処理、水の影響を除去するプロセスを水柱補正処理という。 大気補正には、底質からの光の反射がみられないような水深の十分深い場所の輝度値を全ての ピクセルの放射輝度値から差し引くという手法が用いられる。これは暗画像法と呼ばれ、海底か らの放射がなく、大気の気体分子とエアロゾルの散乱光、そしてそれらの相互作用が一様である と仮定の上に成り立ち、簡易的な大気補正の手法としてしられている。ここでは、Seagrass Mapper で大気補正処理を行う教師データとして、2箇所の深い海域のポリゴンデータを大気補正 処理用に予め準備した(図 3-3)。

水柱補正には、水深データを使用する方法の Bottom Reflectance Index (BRI) (Sagawa et al., 2010)と使用しない方法の Depth Invariant Index(DII)(Lygenga, 1981)の2種類が用いられる。 解析の対象海域の水深データが入手可能な場合は BRI 法が、水深データが入手できない場合は DII 法が用いることが推奨されている(Komatsu et al, 2019)。いずれの方法も、底質が砂泥の み、もしくはアマモが殆どないような異なる水深帯の場所の情報が必要となるため、2020年の8 月6日の水中ビデオカメラ映像を参考に、そのような場所のポリゴンデータを作成した (図 3-3)。これは、海中の存在する海藻や海草、岩礁からの光の反射の影響を受けない場所で、水深と 共に減衰する光の情報のみを取得し、その情報から水深により減衰する光の情報を補正するため である。今年度の解析では、BRI 法と DII 法による水柱補正処理を実施した上で、分類結果につ いて比較することとした。衛星画像の分類に必要となる教師データの作成には、2020年8月6 日に観測した水中ビデオカメラの映像データを使用した。また、アマモ場に関しては、海草が確 認できた全てのデータから被度 1 以上のものを選んだ。人工衛星画像の底質分類の手法として は、ランダムフォレストよる教師付き分類を採用することとした。この手法では画像上の一部の 場所において実際に現場の底質を確認し、その情報(底質の種類)を画像上のピクセルに関連付 けた上で、画像分類する必要がある。そこで、アマモ場(緑)、岩礁性藻場(赤)、砂泥(黄色) の3つの底質に分類し、取得した現場の底質データから教師データを設定した(図3-4)。



図 3-1 Seagrass Mapper による画像解析フロー



図 3-2 2020 年 9 月 23 日のプレアデス衛星のマルチスペクトル RGB 合成画像



図 3-3 大気補正(白)及び水柱補正(水色)に用いたポリゴンデータ



図 3-4 水中ビデオカメラ観測(8月6日)による底質調査に基づき作成した教師データ (アマモ場;緑、岩礁性藻場;赤、砂泥;黄色)

3-3 結果と考察

Seagrass Mapper を用いて、暗画素法による大気補正と2種類の水柱補正(BRI 補正と DII 補正)により補正処理した2020年9月23日の国分海浜公園周辺のプレアデス衛星マルチスペクトル画像のR・G・Bバンドのデータを用いて、同年8月6日に取得した教師データの7割をランダムに抽出し、ランダムフォレスト法による底質分類を実施した。残りの3割の教師データは、分類結果の検証用データとして使用することとした。これらの方法で得られた国分海浜公園周辺の底質情報の分類結果を図3.5、3.6に示す。両者とも教師データと分類結果に対応がみられ、水中ビデオカメラによりアマモの分布が確認された伏木万葉埠頭西側先端付近の水深7mでの海域でアマモの分布を抽出することができた。精度検証の結果からは、BRI 法で水柱補正処理をした画像の方が、全体の精度及びTau 係数が高く、より正確にアマモ場の分布の抽出が可能なことが明らかとなった(表3-1、表3-2)。

なお、今年度は Seagrass Mapper に新たに実装された関心領域内における底質分類の面積計 算機能を用いて、アマモ場の面積を求めたところ、BRI 法による水柱補正を実施した場合は、 7.885 ヘクタール(ha)のアマモ場が検出されたに対し、DII 法による水柱補正では 1.513ha のア マモ場しか検出されなかった。



図 3-5 2020 年 9 月 23 日のプレアデス衛星マルチスペクトル画像を暗画素法による大気補 正、BRI 法による水柱補正後、ランダムフォレスト法により分類した国分海浜公園周辺にお ける底質分類結果

	表 3-1	底質分類結果	(図 3-5)	に対応す	る精度検証の結果
--	-------	--------	---------	------	----------

	参照データ(評価データ)				
底質の分類	アマモ場	砂地	ガラモ場	ユーザー精度	
アマモ場	20	2	0	90.91%	
砂地	1	448	2	99.33%	
ガラモ場	0	4	26	86.67%	
プロデューサー精度	95.24%	98.68%	92.86		
全体の精度	98.21%				
※Tau 係数	0.9089				



図 3-6 2020 年 9 月 23 日のプレアデス衛星マルチスペクトル画像を暗画素法による大気補正、DII 法による水柱補正後、ランダムフォレスト法により分類した国分海浜公園周辺における底 質分類結果

表 3-2 底質分類結果(図 3-6)に対応する精度検証の結果

	参照データ(評価データ)					
底質の分類	アマモ場	砂地	ガラモ場	ユーザー精度		
アマモ場	10	9	0	52.63%		
砂地	11	441	15	94.43%		
ガラモ場	0	4	13	76.47%		
プロデューサー精度	47.62%	97.14%	92.86			
全体の精度	92.25%					
※Tau 係数	0.5795					

4. ドローンを用いた藻場の空撮

4-1 目的

広範囲な藻場分布域の推定には人工衛星リモートセンシングによる藻場マッピングが望ましい が、藻場分布域の推定が可能なマルチスペクトルセンサを搭載した人工衛星は、その回帰日数が長 く、雲や風浪の影響を受けることから、藻場の季節的な変動の把握は難しい。このため、近年、空 撮などを中心に産業利用が急速に進んでいる小型無人航空機(ドローン)を用いた藻場の分布調査 を行い、その利用可能性を検討する。

4-2 方法

(1) 空撮範囲

高岡市国分海浜公園周辺の藻場分布域の内、青線内の海域(沿岸から最大約 1.2km の範囲) を撮影した(図 4-1)。なお、昨年度の撮影では、ドローンとプロポの距離が遠いためと考えら れる電波障害が生じたため、今年度は空撮範囲を2区分して空撮を行うこととした。



図 4-1 空撮範囲(国土地理院の地図をもとに作成)

(2) 機材

ドローンは DJI 社製の Phantom4 Pro を使用した。 機材写真を図 4-2 に、詳細なスペックを表 4-1 に示す。



⊠ 4-2 DJI Phantom4 Pro (https://www.dji.com/jp/phantom-4-pro)

機体		カメラ	
重量(バッテリ、プロペラ込)	1388g	センサー	1インチCMOS
対角サイズ(プロペラ除く)	350mm		有効ピクセル数:2,000万画素
最大上昇速度	Pモード:5m/s	レンズ	FOV(視野角)84°
最大下降速度	Pモード:3m/s		8.8mm(35mm判換算:24mm)、f/2.8~f/11
最大速度	Pモード:50km/h		オートフォーカス(1m~∞)
運用限界高度	6,000m	ISOレンジ	写真:100~12800(マニュアル)
最大風圧抵抗	10m/s	メカニカルシャッター	8~1/2000s
最大飛行時間	約30分	電子シャッター	8~1/8000s
動作環境温度	0∼40°C	画像サイズ	アスペクト比3:2:5472×3648
GPS測位システム	GPS/GLONASS		アスペクト比4:3:4864×3648
ジンバル			アスペクト比16:9:5472×3078
操作可能範囲	ピッチ:-90° ~+30°	静止画モード	シングルショット
角度制御精度	$\pm 0.02^{\circ}$		バーストモード:3/5/7/10/14枚
送信機			オート露出ブラケット(AEB):
動作周波数	2.400~2.483GHz		0.7EV ステップでの3/5ブラケットフレーム
最大伝送距離	日本仕様4km		インターバンレ:2/3/5/7/10/15/20/30/60秒
動作環境温度	0∼40°C	対応ファイル形式	FAT32(32GB以下)、exFAT(32GB超)
バッテリー		静止画モード	JPEG,DNG(RAW),JPEG+RAW
バッテリータイプ	LiPo4S	対応SDカード	microSD
電力量	89.2Wh		最大容量128GB書込速度≥15MB/s
動作環境温度	0∼40°C		クラス10またはUHS-1規格が必要

表 4-1 DJI Phantom4 Pro スペック

(3) 自動飛行アプリの使用

撮影では、ドローン機体と同じ製造元である DJI 製の自動飛行アプリ「DJI GS PRO」を使用した。 自動飛行アプリを使用することにした理由は以下の通りである。

・飛行高度、オーバーラップ率、サイドラップ率、飛行速度、撮影間隔、カメラの角度等を設定で きる。

・飛行ルートが自動で作成され、飛行時間や必要なバッテリー本数を事前に知ることができるため、 効率よく撮影でき、事故発生のリスクを最小にできる。

・事前に飛行計画データを作成し保存することができ、2回目以降のフライトではその飛行計画デ ータの再利用・編集が可能であるため、継続的かつ同条件の空撮が容易である。

その他、GS PRO は自動飛行の一時停止機能があり、フライトの途中でドローンを着陸させてバッテ リーを交換し、その後、中断箇所から自動飛行および撮影を再開することができる。

(4) 撮影条件と設定

GS PRO における飛行計画の設定手順は以下のとおりである。飛行計画設定画面の一例を図 4-3 に示す。

計測撮影領域モードを選択。

②地図上指定を選び、地図をタップして飛行領域を作成する。

③基本設定でカメラモデル、カメラ方向、撮影モード、飛行経路生成モードを選択する。

④飛行高度を設定する。

⑤飛行速度、撮影間隔、写真の地上解像度、飛行ルート(緑線)は自動的に決定される。

⑥詳細設定で重複率(オーバーラップ、サイドラップ)とコースアングル、カメラ角度(ジンバルピッチ)を設定する。



図 4-3 GS PRO 飛行計画設定画面の例

W 緯度 G S 経度

へ 飛行速度 N/A M/S N/A 2 飛行

経度

0.000000000

 $\langle \bullet \rangle$

(5) 撮影に関する各種設定

オーバーラップ率

昨年度の調査では、オーバーラップ率を 70%、サイドラップ率を 50%に設定して撮影を行った 結果、撮影枚数が少なく撮影時間が短縮されたが、オルソモザイク画像への画像合成の成功率が低 下した。そこで今年度はこの問題を解決するため、オーバーラップ率を 80%、サイドラップ率を 60%に設定することとした。

②撮影条件と決定方法

昨年度は、3条件(露出オート、露出固定、ISO感度を上げる。)で合計3回の撮影を行い、それ ぞれの空撮画像をオルソモザイク画像に合成した結果、大きな違いが認められなかった。このため、 今年度は設定が容易な露出オートのみで撮影することとした。

なお、露出オートとはカメラの絞りや ISO 感度、シャッタースピードをそれぞれ自動的に調整する機能で、それらすべての項目を自動調整とするフルオート機能を用いた。これらは GS PRO 上で 設定可能である。

③使用フィルタの決定方法

藻場の撮影では海面の偏光の影響を大きく受けるため、これを軽減させるために円偏光フィルタ (CPL)を使用することとした。円偏光フィルタの効果を最大にするには、フィルタを回転させて、 太陽高度・太陽方位、カメラ(ドローン)、撮影対象の相対的な位置関係に応じた適切な角度に設定 する必要がある。しかしながら、飛行中に円偏光フィルタを回転させることは困難であるため、あ らかじめ海面に対しスリットを垂直状態にし、理論上効果が最大となる設定とした。

撮影では、PolarPro 製 ND-CPL フィルタ(ND4-PL、ND8-PL、ND16-PL)を準備した。ND-CPL フィル タは ND (減光)の効果も兼ね備えており、ND4-PL フィルタは CPL フィルタと比べて光量を 1/4 に、 ND8-PL フィルタは光量を 1/8 に、ND16-PL フィルタは光量を 1/16 に抑えることができる。天候を 考慮して、これらの3種類のうち最も効果的なフィルタを選択してドローンに取り付けた。

④カメラの設定条件

昨年度の調査の結果をもとに、撮影は太陽高度が 30°~45°に近い時間帯にして、ドローンの進行方向はサングリントを回避するために太陽を背にした順光方向に設定することにした。方位角は 空撮範囲の中間地点の座標を基準とした(図 4-4)。

昨年度は、冬季の太陽高度が 30° に近くなる時間帯の太陽方位はコースアングルが陸から沖とな り、特徴点(陸地)が少なくなることから撮影した画像では画像合成が成功しない可能性があると 考えたが、今年度は、夏季、秋季ともに太陽方位に合わせたコースアングルを設定することとした。



図 4-4 国分海浜公園の太陽高度・方位の基準地点



図 4-5 太陽方位に合わせた冬のコースアングルの例

(6) オルソモザイク画像の作成

空撮により得られた画像は、Agisoft 社製の写真測量ソフトウェア Metashape Professional を用いて処理し、3次元モデルおよびオルソモザイク画像を作成した。Metashape Professional は、航空写真から高解像度の DEM データおよびテクスチャー付きのポリゴンモデルと GCP を含む 5cm 以内の精度を持ったオルソフォト出力(歪みの無い正投影写真)を生成する事ができるソフ トウェアである。

1) 画像処理手順

基本処理の流れは以下の通りである。

①写真を追加 (Add Photos)

空撮画像をソフトウェアに取り込む。

②写真のアラインメント (Align Photos)

各写真上で特徴点を発生させ、その配置から隣接画像および撮影場所および方向の相対 的な位置関係を推定(SfM)。

③高密度クラウド構築 (Build Dense Cloud)

②で推定したカメラ位置・方向および各画像の深度マップから、高密度点群を生成(MVS)。 ④メッシュ構築(Build Mesh)

高密度点群をもとに、不整三角形網の面データを生成。

⑤オルソモザイク構築 (Build Orthomosaic)

メッシュデータをもとにオリジナル画像をオルソ化し、画像を繋ぎ合わせる。

2) Metashape パラメータの調整

Metashape による処理において、いくつかの変更可能なパラメータがあり、処理する画像群の性質(撮影対象物の表面構造の複雑さ、明るさ、写真の重複率、解像度など)とパラメータの組み合わせにより、作成される3次元モデルの精度やオルソモザイク画像の品質、データ処理時間等に影響する。このため、Metashape 処理パラメータの調整を行った。なお、調整を行ったパラメータは以下の通りである。

①Align Photos の Accuracy : High、Medium、Low、Lowest

各写真上での特徴点生成に用いるピクセルサイズに関連しており、5 段階(Highest、 High、 Medium、Low、Lowest)に設定可能である。[High]は写真のオリジナル画質(ピクセルサイズ) を使用し、[Medium]はピクセルサイズを縦横それぞれ2倍、[Low]は4倍、[Lowest]は8倍 にリサイズして処理を行う(ちなみに[Highest]は1/2倍にリサイズするが、通常は使用し ない)。したがって、[High]に近い設定の方が特徴点の発生し得るピクセル数が多く、結果的 に特徴点の数も増えることで、Alignment(撮影位置推定)成功率が向上する可能性がある。 しかし、ピクセル数は計算負荷に影響するため、処理時間は増大する。

②Align PhotosのGeneric preselection:チェック有、無

チェックを入れることで、オリジナルから解像度を落とした画像について、全てのペアの 組み合わせでマッチング処理を行う。処理速度が向上する。

③Align PhotosのReference preselection:チェック有、無

チェックを入れることで、写真が持つ位置情報を元に撮影時の位置が近い画像をステレオペアと選定し、マッチング処理を行う。処理速度が向上する。

(4)Align Photos *O* Key point limit : 40,000, 120,000, 0

各画像から抽出する特徴点の最大数を指定する。デフォルトは[40000]。[0]を入力すると 特徴点を可能な限り上限なく抽出するが、信頼性の低い特徴点も多く含まれる。

⑤Align Photos 𝒫 Tie point limit : 4,000、12,000、0

隣接写真間のマッチングに使用される特徴点の最大数を指定する。[4000]が推奨値。[0] を入力すると、上限が無くなる。

⑥Align PhotosのAdaptive camera model fitting:チェック有、無

チェックを入れると、撮影対象物の特徴(高低差や画像内の大きさなど)に応じて、 推定 するカメラキャリブレーションパラメータの種類を自動調整する。

なお、今回の調査では、以下の Alignment 条件で計算した。

①Accuracy : Low

②Generic preselection:チェック有

③Reference preselection:チェック有

(4)Key point limit : 40,000

⑤Tie point limit : 4,000

⑥Adaptive camera model fitting:チェック有

4-3 結果

(1)飛行条件

飛行条件は以下の通りとした。

【2020年8月06日】

オーバーラップ率	: 80%
サイドラップ率	: 60%
飛行高度	: 140m
地上解像度	: 3.8cm/px
飛行速度	: 13.8m/s
撮影間隔	:2秒
カメラ角度	: -45 $^{\circ}$

国分浜 (北側)

飛行経路	:	約 8km
撮影範囲	:	約 52ha
バッテリー交換回数	:	1回
撮影枚数	:	約 261 枚
飛行予測時間	:	約11分(バッテリー交換の時間は含まない)

国分浜 (南側)

飛行経路	:約 5km
撮影範囲	:約 32ha
バッテリー交換回数	:1回
撮影枚数	:約161枚
飛行予測時間	:約7分(バッテリー交換の時間は含まない)

【2020年11月13日】

オーバーラップ率	: 80%
サイドラップ率	: 60%
飛行高度	: 140m
地上解像度	: 3.8cm/px
飛行速度	: 13.8m/s
撮影間隔	:2秒
カメラ角度	: -45°

国分浜(北側)

飛行経路	:	約 8km
撮影範囲	:	約 51ha
バッテリー交換回数	:	1回

撮影枚数: 289 枚飛行予測時間: 約 11 分

国分浜 (南側)

飛行経路	: 糸	勺 5km
撮影範囲	: 糸	勺 32ha
バッテリー交換回数	: 1	旦
撮影枚数	: 1	69枚
飛行予測時間	: 糸	約8分

(2) 空撮結果(夏季)

【2020年8月06日】

一連の空撮画像(422枚)のうち、藻場が目視で確認できた画像の一部を写真 4-1,2 に示す。当日の透明度は低く、濁りがあり海面の反射光が大きかったため、海底の藻場は鮮明に撮影できなかった。



写真 4-1 連続した空撮画像(夏季)の一部



写真 4-2 連続した空撮画像(夏季)の一部

(3) 空撮結果(秋季)

【2020年11月13日】

一連の空撮画像(458枚)のうち、藻場が目視で確認できた画像の一部を写真 4-3,4,5 に示す。 当日は透明度が比較的高く、浅海域の藻場は良好に撮影できた。



写真 4-3 連続した空撮画像(秋季)の一部



写真 4-4 連続した空撮画像(秋季)の一部



写真 4-5 連続した空撮画像(秋季)の一部

(4) オルソモザイク画像合成結果(夏季)





【2020年8月06日】 国分浜(南側) 17:50~18:10 (バッテリー交換なし)



図 4-1 Google earth 上に表示した国分浜(北側)の合成画像



図 4-2 Google earth 上に表示した国分浜(南側)の合成画像



図 4-3 Google earth 上に表示した国分浜(全体)のオルソモザイク画像

(5) オルソモザイク画像合成結果(秋季)



【2020年11月13日】 国分浜(北側) 午前11:26~11:39 (バッテリー交換回数なし)



【2020年11月13日】 国分浜(南側) 12:01~12:08 (バッテリー交換なし)



図 4-4 Google earth 上に表示した国分浜(北側)の合成画像



図 4-5 Google earth 上に表示した国分浜(南側)の合成画像



図 4-6 Google earth 上に表示した国分浜(全体)の合成画像

4-4 考察

(1) オーバーラップ率・サイドラップ率の変更

オーバーラップ率を 80%(昨年度 70%)、サイドラップ率を 60%(昨年度 50%)に設定した 結果、画像合成の成功率が昨年度と比べ若干向上したと考えられた。しかし、画像合成の結果か ら判断すると、画像合成の成功率は特徴点の数に左右される可能性が高いと考えられた。

(2) 偏光の除去

昨年度、夏の撮影では太陽高度と太陽方位に合わせて撮影時間とコースアングルを設定したた めサングリントは発生しなかったが、冬の撮影では陸域を特徴点とするため、コースアングルを 太陽方位に合わせられなかった結果、偏光が除去しきれなかった。そこで、今年度は、飛行経路 等を再検討し、コースアングルを太陽方位に合わせて撮影した。その結果、秋季は概ね偏光は除 去できた。しかし、夏季は海面の反射が大きく、十分に偏光が除去できなかった。

(3)通信障害

昨年度の撮影では、通信障害が発生することがあり、機体がプロポと未接続になった瞬間があ った。原因として考えられるのは、電波障害が起きた可能性と、ドローンとプロポの距離が遠か ったことである。そこで、今年度は空撮範囲を区分して空撮を行った結果、上記の問題は改 善された。

(4) オルソモザイク画像

今回の国分海浜公園周辺の空撮範囲は約1 km²で沿岸から最大約1,200 mの距離があり、ドローンによる空撮範囲としては比較的規模が大きかったが、オルソモザイク(合成)画像中には、藻場分布域と思われる濃色領域や水深の変化に伴う色合いの変化が比較的明瞭に確認できた。しかし、今年度は空撮範囲を2区分して撮影した結果、合成範囲が狭くなった。この要因が空撮範囲を2区分したことか、あるいは海水の透明度や天候等によるものかは不明であり、今後、検証する必要がある。国分海浜公園周辺では過去の調査により岩礁性藻場の存在が確認されているが、アマモ場が確認された報告は見当たらず、昨年度の調査で初めて確認された可能性があることから、オルソモザイク画像中の海藻の種構成については、今後も現場確認するとともに、さらに詳細な解析が必要である。また、結果に示した Google Earth 上に表示したオルソモザイク画像(図4-1~6) と 2020 年 8 月 6 日および 11 月 13 日に実施した底質調査結果(図4-7、8)を比較すると、比較的よく一致していたが、画像中の濃色領域が藻場であるかどうかや藻場の種構成の確認は別途必要であり、今後の課題である。

藻場分布域のマッピングは、水中ビデオカメラ調査や潜水調査だけでは困難であり、空撮画像か ら藻場と思われる領域を抽出した後に、水中ビデオカメラ調査等で確認することにより、藻場分布 のマッピングとモニタリングを効果的に進めることが可能となる。ドローンによる空撮は、人工衛 星や航空機による空撮画像を補完する有用な調査ツールとなる可能性があり、今後、藻場の空撮に 最適な撮影条件、環境条件等を更に検討する必要がある。



図 4-7 Google Earth 上に表示した教師データ(2020.8.6 底質調査) (アマモ場;緑、岩礁性藻場;赤、砂泥;黄色)



図 4-8 Google Earth 上に表示した教師データ (2020.11.13 底質調査) (アマモ場;緑、岩礁性藻場;赤、砂泥;黄色)

4-5 今後の課題および改善策

今後、空撮画像の精度及びオルソモザイク画像作成の成功率を向上させるための対応としては、 以下の①~③に加え、④を検討する必要がある。

①カメラ角度を45°にする

30°にした時よりも45°にした時の方が海中の様子が鮮明であったため、水中での光の通過距離 が短い方が藻場空撮に適していると考えられる。ただし、海上での特徴点が少ないと、画像合成が できない可能性がある。

②太陽方位に合わせてコースアングルを設定する

サングリントをなるべく回避するため、太陽方位に合わせてコースアングルを設定する。ただし、 ①と同様に海上での特徴点が少ないと、画像合成ができない可能性がある。

③太陽高度を考慮する

サングリントの回避と光量確保のため、太陽方位が 30°以上の時間帯で撮影をする。冬季はなる べく太陽高度が高い時間に撮影する。

④進行方向に対して垂直に撮影

空撮範囲の一連の空撮画像(連続写真)は、画像合成ソフトを用いて合成(繋ぎ合わせる)する ため、なるべく多くの特徴点(同一と認識される共通の物体等)が必要である。そこで、今年度ま では、カメラ方向を空撮コースに並行(前向き)とし、海面に対する角度の調整や偏光レンズの種 類の調整を試してきたが、撮影した画像の合成結果は、地形に歪みが生じたり、合成の成功率は高 くなく、合成できない箇所も多かった。このことの要因としては、被写体(海面)に対してコース (進行方向)と並行に撮影した場合、カメラ(ドローン)が被写体(海面)に近づいたり遠ざかっ たりすることで特徴点の対象となるポイントの大きさが異なって写り、特徴点として認識されない ことが考えられる。そこで来年度は、カメラ方向を空撮コースに垂直(右向き)として撮影するこ と等を検討する。

5. 富山湾の海藻・海草に関する文献

5-1 論文-藻場-

菊池勘左衛門 (1934) 富山湾海藻目録. 富山教育, 255, 1-24.

- 藤田大介・泉治夫 (1989) 富山県沿岸産海藻目録, 富山県水産試験場研究報告, 1, 33-49.
- 藤田大介・岡田英男・坂田完三 (1990) サザエ稚貝の天然餌料としての漁港防波堤側面に生息する 紅藻数種の重要性(英文),富山県水産試験場研究報告,2,41-51.
- 藤田大介・湯口能生夫 (1995) 富山県朝日町宮崎沿岸の海藻,富山県水産試験場研究報告, 6, 1-15. 藤田大介 (1996) 富山湾の無節サンゴモとその群落,日本海ブロック試験研究集録, 33, 63-70. 藤田大介 (1996) 黒部生地沿岸の海藻,サザエ及びキタムラサキウニ,富山県水産試験場研究報告,

8, 11-20.

藤田大介 (1996) エゾイシゴロモの培養藻体に生じた異常突起物(英文), 富山県水産試験場研究報告, 8, 21-24.

藤田大介・岡本勇次・真山茂樹 (1996) 魚津市沿岸礫地帯の堆積砂で見つかった珪藻の1種(短報), 富山県水産試験場研究報告,8,25-29.

- 新井章吾・藤田大介・寺脇利信 (1997) 富山県虻が島で見つかったヒジキの生育状況(短報), 富山県 水産試験場研究報告, 9, 49-52.
- 藤田大介 (1997) 富山湾東部沿岸域で認められている藻場の衰退現象,藻類,45,75.
- 藤田大介・高山茂樹 (1999) 富山県魚津市地先における海草ウミヒルモとコアマモの生育記録(短報), 富山県水産試験場研究報告, 11, 67-70.
- 寺脇利信・新井章吾 (1999) 藻場の景観模式図 1, 富山県氷見市宇波地先, 藻類, 47, 147-149. 藤田大介 (2001) 富山県沿岸産海藻目録(2001年改訂版), 富山県水産試験場研究報告, 13, 1-18. 藤田大介 (2001) 海洋深層水をかけ流した磯焼け地帯転石の植生回復, 海洋深層水研究, 2, 57-64. 池森貴彦・大慶則之・田島迪生 (2002) 能登半島東岸におけるホンダワラ類の現存量, 栽培技研,
 - **29**, 101-106.
- 藤田大介・新井章吾・村瀬昇・田中次郎・渡辺孝夫・小善圭一・松村航・長谷川和清・千村貴子・ 佐々木美貴・松井香里 (2003) 氷見市虻が島周辺のガラモ場の垂直分布, 生産構造および葉上 動物相, 富山県水産試験場研究報告, 14, 43-60.
- 藤田大介・新井章吾・村瀬昇・長谷川和清・田中次郎 (2004) 富山湾西部虻が島のガラモ場におけ る海藻の垂直分布と帯状構造,藻類,52,149-156.

藤田大介 (2004) 海底湧水によって維持される藻場,月刊海洋,36,810-815.

- Fujita, D., T. Ishikawa, S. Kodama, Y. Kato and M. Notoya (2006) Distribution and recent reduction of *Gelidium* beds in Toyama Bay, Japan. Journal of Applied Phycology, 18, 591-598.
- 寺脇利信・新井章吾 (2006) 藻場の景観模式図 22, 富山県氷見市小境海岸施設の消波ブロック, 藻 類, **54**, 173-175.
- 寺脇利信・新井章吾 (2008) 富山湾西部・虻が島地先,藻類,56,206-208.
- 砂澤洋平・鈴木秀和・能登谷正浩・藤田大介 (2009) 富山県氷見市沿岸のテングサ場における付着 珪藻 Arachnoidiscus ornatus Ehrenb の発生状況, Diatom, 25, 79-85.
- Tsujimoto, R, (2011) Fisher activities to conserve the ecosystem of Toyama Bay, Biological and cultural diversity in coastal communities, Exploring the potential of *Satoumi* for implementing the ecosystem

approach in the Japanese Archipelago, Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal, Technical Series no, **61**, 30-37.

- 池森貴彦・東出幸真・坂井恵一(2012) 能登半島珠洲市沿岸におけるガラモ場とアマモ場の分布域 の再検討, 能登海洋ふれあいセンター研究報告, 18, 1-6.
- 東出幸真・小木曽正造・池森貴彦(2014) 能登半島七尾湾西湾におけるアマモ類の生育状況について, 能登海洋ふれあいセンター研究報告, 20, 17-23.
- 坂井恵一・東出幸真・小木曽正造(2015) 能登半島 5 の七尾湾西湾に生育するアマモ Zostera marina の特徴, 能登海洋ふれあいセンター研究報告, 21, 1-9.
- 池森貴彦・東出幸真・坂井恵一(2016)石川県の七尾西湾におけるアマモ類の分布域と季節的特徴, 日本海域研究, 47, 29-33.
- 坂井恵一(2017)特異的な季節消長を示す能登半島七尾西湾のアマモ場,のと海洋ふれあいセンタ ーだより,46,2-5.

5-2 論文-海藻培養-

- 松村航・藤田大介 (2002) 海洋深層水培養コンブの介生生長に基づく自給型アワビ養殖の提案,海洋深層水研究,3,53-63.
- 松村航・渡辺健・南條暢聡・浦邉清治・林正敏・池田知司・藤田大介 (2005) 海洋深層水を用いたマ クサの培養と富山湾深層水放水域での成長予測,海洋深層水研究, 6, 1-8.
- 松村航・藤田大介 (2007) 海洋深層水で培養したマコンブと付着珪藻を餌料として活用したエゾア ワビ養殖に関する研究(短報),富山県水産試験場研究報告,18,19-23.

5-3 報告書

富山県 (1978) 第2回自然環境保全基礎調査 干潟・藻場・サンゴ礁分布調査報告書,環境省委託. 環境庁自然保護局・財団法人海中公園センター (1994) 第4回自然環境保全基礎調査報告書.

環境庁自然保護局 (1998) 第5回自然環境保全基礎調查 海辺調査総合報告書.

- 環境省自然環境局 生物多様性センター(2008)第7回自然環境保全基礎調査,浅海域生態系調査 (藻場調査)報告書.
- 富山県水産試験場(1999)富山県東部(黒部市・入善町・朝日町)沿岸域の漁場環境,漁業振興特別対策事業報告書. pp. 94.
- 藤田大介 (2001) 氷見市・高岡市沿岸の海藻と藻場. 氷見漁業協同組合. pp.60.

新潟県水産海洋研究所・富山県水産試験場・福井県栽培漁業センター・神奈川県水産総合研究所・ 和歌山県農林水産総合技術センター水産増殖研究所(2001)資源増大技術開発事業(浅海域グ

ループ)報告書.

新潟県水産海洋研究所・富山県水産試験場・福井県栽培漁業センター・神奈川県水産総合研究所・ 和歌山県農林水産総合技術センター水産増殖研究所(2002)資源増大技術開発事業(浅海域グ

ループ)報告書.

富山県水産試験場 (2002) 富山湾の漁場環境(2001)-水質・底質・藻場-. 富山湾漁場環境総合調査 報告書, pp.174.

富山県水産試験場 (2007) 富山湾の漁場環境(2006)-水質・底質・藻場・餌料環境-,平成 18 年度

富山湾漁場環境総合調査報告書, pp.204.

- 日本の里山・里海評価-北信越クラスター (2010) 里山・里海:日本の社会生態学的生産ランドス ケープ-北信越の経験と教訓-,国際連合大学,東京,pp.109.
- 富山県水産研究所 (2013) 富山湾の漁場環境(2011)-水質・底質・藻場-, 平成 23 年度富山湾漁場 環境総合調査報告書, pp.178.
- 富山県水産試験場 (2018) 富山湾の漁場環境(2016)-水質・底質・藻場・餌料環境-,平成 28 年度 富山湾漁場環境総合調査報告書, pp.203.

5-4 本

大島勝太郎 (1950) 『富山湾海藻誌』,東京.

- 富山県水産試験場 (1994) 『富山の藻類』,藤田大介・濱田仁・渡辺信編.
- 富山県水産試験場 (2005) 「藻場」, p.108-115. 『富山湾を科学する』, 北日本新聞社, 富山.
- 矢野恒信 (2006)「昆布に想う」, p.236-240, 『日本海学の新世紀 6. 海の力』(蒲生俊敬・竹内章編), 角川学芸出版,東京.
- 藤田大介 (2010) 「変わりゆく富山湾の藻場」, p. 142-147,『藻場を見守り育てる知恵と技術』(藤田 大介・村瀬昇・桑原久実編),成山堂書店,東京.

5-5 本報告書内で参考にした文献

- ESRI ジャパン株式会社 (2011) 実線! ENVI 講座 ArcGIS ユーザのためのリモートセンシング画像 処理入門, 142pp.
- 池森貴彦・東出幸真・坂井恵一(2012) 能登半島珠洲市沿岸におけるガラモ場とアマモ場の分布域 の再検討, 能登海洋ふれあいセンター研究報告, 18, 1-6.
- 藤田大介(2001)氷見市・高岡市沿岸の海藻と藻場,氷見漁業協同組合,氷見市, pp.65
- 藤田大介 (2010) 藻場の種類, p.1 磯焼け対策シリーズ3 藻場を見守り育てる知恵と技術(藤田大 介・村瀬昇・桑原久美編著) 成山堂書店, 東京.
- 藤田大介・新井章吾・村瀬昇・長谷川和清・田中次郎 (2004) 富山湾西部虻が島のガラモ場におけ る海藻の垂直分布と帯状構造,藻類,52,149-156.
- Fujita, D., T. Ishikawa, S. Kodama, Y. Kato, M. Notoya (2006) Distribution and recent reduction of Gelidium beds in Toyama Bay, Japan. Journal of Applied Phycology, 18, 591-598.
- 東出幸真・小木曽正造・池森貴彦(2014) 能登半島七尾湾西湾におけるアマモ類の生育状況について. 能登海洋ふれあいセンター研究報告, 20, 17-23
- 環境庁自然保護局・財団法人海中公園センター (1994) 第4回自然環境保全基礎調査報告書.
- 環境庁自然保護局 (1998) 第5回自然環境保全基礎調查 海辺調査総合報告書.
- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2013) 平成 24 年度富山湾リモートセンシング調査事業 報告書. pp. 112.
- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2015)平成 26 年度富山湾リモートセンシング調査事業 報告書. pp. 116.
- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2016) 平成 27 年度富山湾リモートセンシング調査事業 報告書. pp. 100.

- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2017) 平成 28 年度富山湾リモートセンシング調査事業 報告書. pp. 99.
- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2018) 平成 29 年度富山湾リモートセンシング調査事業 報告書. pp. 55.
- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2019) 平成 30 年度富山湾リモートセンシング調査事業 報告書. pp. 74.
- 公益財団法人環日本海環境協力センター(2020)令和元年度富山湾リモートセンシング調査事業報告書. pp. 64.
- 小松輝久・藤田大介・青木優和 (2009) 藻場研究の今-分布・生態から磯焼け対策・利用まで-.月 刊海洋,41,593-597.
- Mumby, P. and A. Edwards (2000) Water column correction techniques. In Remote sensing handbook for tropical coastal management (Ed. E. P. Green, P. J. Mumby, A. J. Edwards and C. D. Clark). Coastal management sourcebooks 3, UNESCO.
- Sagawa, T., E. Boisneier, T. Komatsu, K. B. Mustapha, A. Hattour, N. Kosaka and S. Miyazaki (2010) Using bottom surface reflectance to map coastal areas: a new application method for Lyzenga's model. International Journal of Remote Sensing, **31**, 3051-3064.
- 坂井恵一(2017)特異的な季節消長を示す能登半島七尾西湾のアマモ場,のと海洋ふれあいセンタ ーだより、46、2-5.
- 澤山周平・小松輝久 (2011) 衛星画像を用いた石西礁湖の底質環境マッピングからの生態情報の抽出. La mer, **49**, 17-29.
- 寺脇利信・新井章吾 (2006) 藻場の景観模式図 22. 富山県氷見市小境海岸施設の消波ブロック. 藻 類, 54, 173-175.
- 寺脇利信・新井章吾 (2008) 富山湾西部・虻が島地先. 藻類, 56, 206-208.
- 富山県 (1978) 第2回自然環境保全基礎調査 干潟・藻場・サンゴ礁分布調査報告書.環境省委託.
- 富山県水産漁港課・北陸航測株式会社(1994)沿岸漁場総合整備開発基礎調査 富山海域漁業環境 マップ.
- 富山県水産試験場(1999)富山県東部(黒部市・入善町・朝日町)沿岸域の漁場環境,漁業振興特 別対策事業報告書, pp. 94.
- 富山県水産試験場 (2002) 富山湾の漁場環境(2001)-水質・底質・藻場-. 富山湾漁場環境総合調査 報告書, pp. 174.
- 富山県水産試験場 (2007) 富山湾の漁場環境(2006)-水質・底質・藻場・餌料環境-,平成 18 年度 富山湾漁場環境総合調査報告書, pp. 204.
- 富山県水産研究所 (2013) 富山湾の漁場環境(2011)-水質・底質・藻場-, 平成 23 年度富山湾漁場 環境総合調査報告書, pp. 178.
- 富山県水産研究所 (2018) 富山湾の漁場環境(2016)-水質・底質・藻場-, 平成 28 年度富山湾漁場 環境総合調査報告書. pp. 203.
- 海と渚環境美化推進機構 (2003) 平成 14 年度藻場・干潟環境保全調査報告書.
- 浦邉清治・松村 航(2007)アマモ類の遺伝的多様性の解析調査 平成 18 年度報告書(最終報告書). 独立行政法人水産総合研究センター東北区水産研究所(とりまとめ).

令和2年度富山湾リモートセンシング調査事業報告書 2021年3月31日発行

著者	原田	恭行			
	寺内	元基			
発行	公益財団法人環日本海環境協力センター				
	〒930	-0856	富山県富山市牛島新町 5-5		
Tel: 076-445-1571					
Fax: 076-445-1581					
印刷	とうさ	ざわ印刷	制工芸株式会社		