

令和元年度
富山湾リモートセンシング
調査事業報告書

令和2年3月

公益財団法人環日本海環境協力センター

目次

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	33
3-1 目的	33
3-2 解析方法	33
3-3 結果と考察	37
4. ドローンを用いた藻場の空撮	41
4-1 目的	41
4-2 方法	41
4-3 結果	49
4-4 考察	56
4-5 今後の課題および改善策	60
5. 富山湾の海藻・海草に関する文献	61
5-1 論文－藻場－	61
5-2 論文－海藻培養－	62
5-3 報告書	62
5-4 本	63
5-5 本報告書内で参考にした文献	63

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。

令和元年度は、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 (worldView-3) を新たに入手し、新たに開発された藻場マッピングツール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

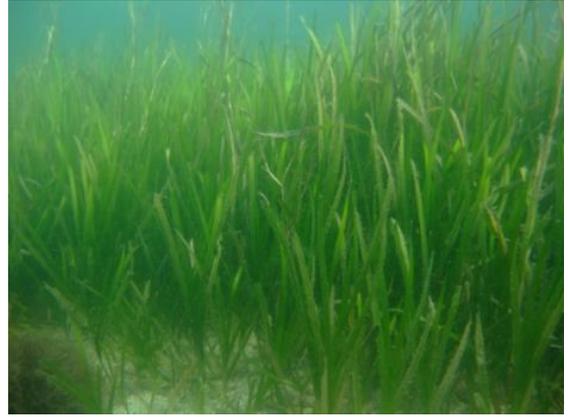


写真 1-2 アマモ場

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。

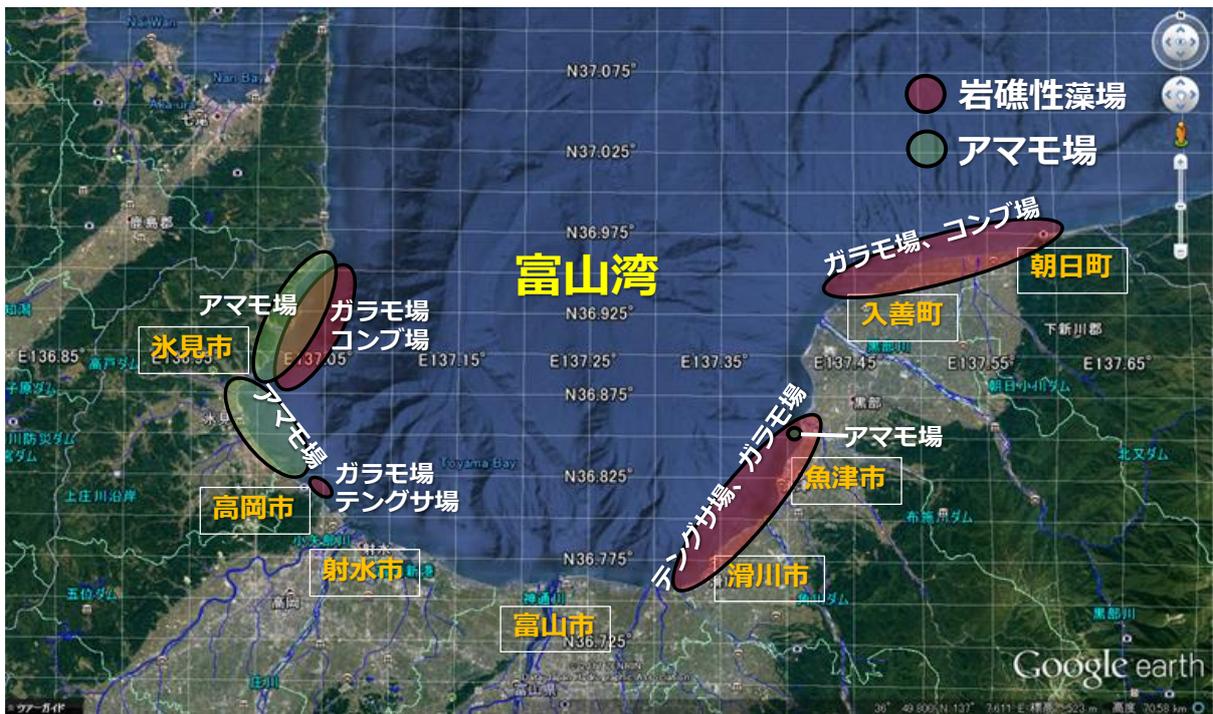


図 1-1 富山県における藻場の分布

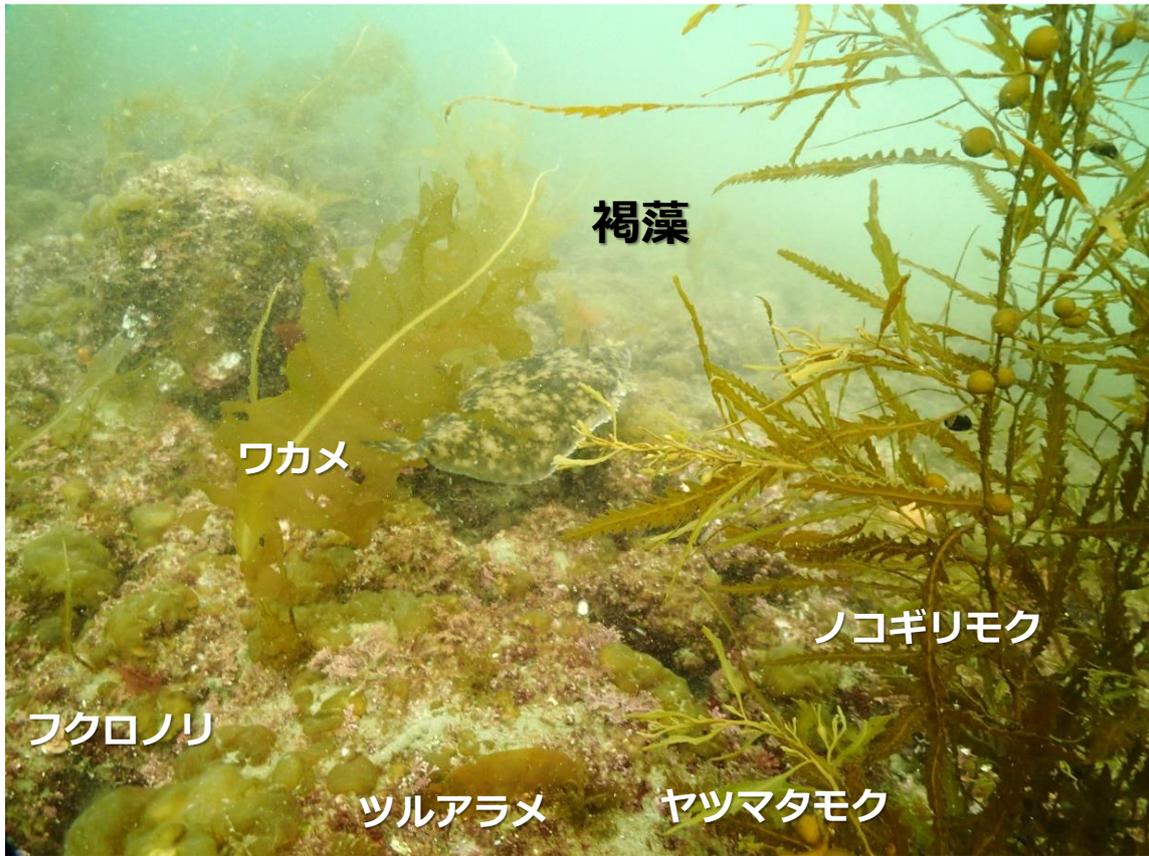
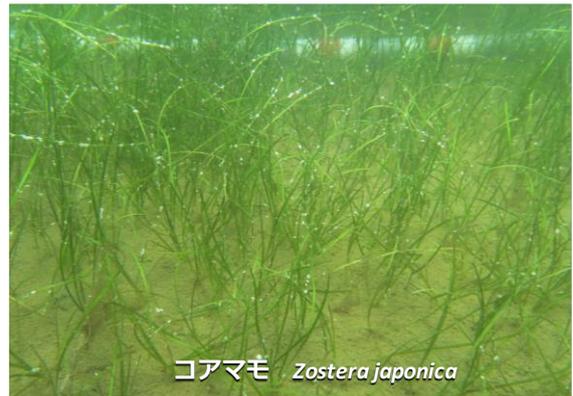


写真 1-3 本県に生育する岩礁性藻場の海藻



アマモ *Zostera marina*



コアマモ *Zostera japonica*



スゲアマモ *Zostera caespitosa*



ウミヒルモ *Halophila sp.*

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見える。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（浦邊・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、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。

表 1-1 富山湾における藻場分布調査

環境省	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
	環境庁自然保護局（1998）第 5 回自然環境保全基礎調査
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（2013～2019）平成 24～30 年度富山湾リモートセンシング調査事業報告書

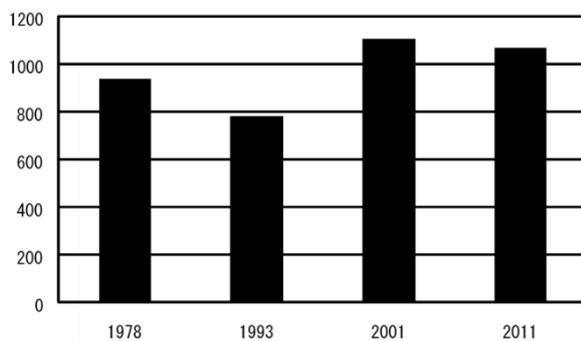


図 1-2 富山県沿岸における藻場面積の推移
（富山県 1978、環境庁 1994, 1998、
富山県水産試験場 2002、富山県水産研究所 2013）

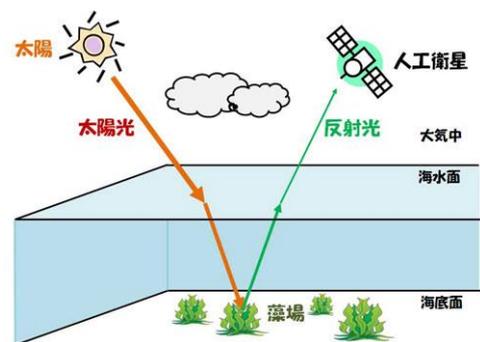


図 1-3 衛星による藻場分布解析の概念図

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、既を取得された画

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。

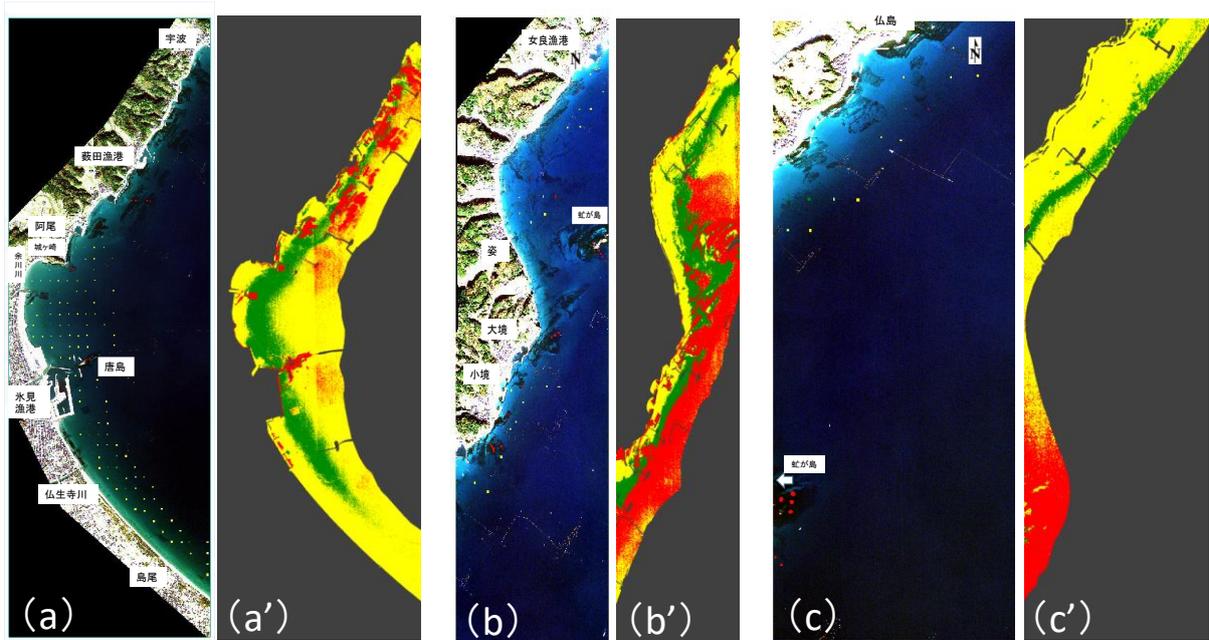


図 1-5 氷見市地先における藻場分布の推定結果

■ 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て解析を行った。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、岩礫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、岩礫性藻場の精度は 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、岩礫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、岩礫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。

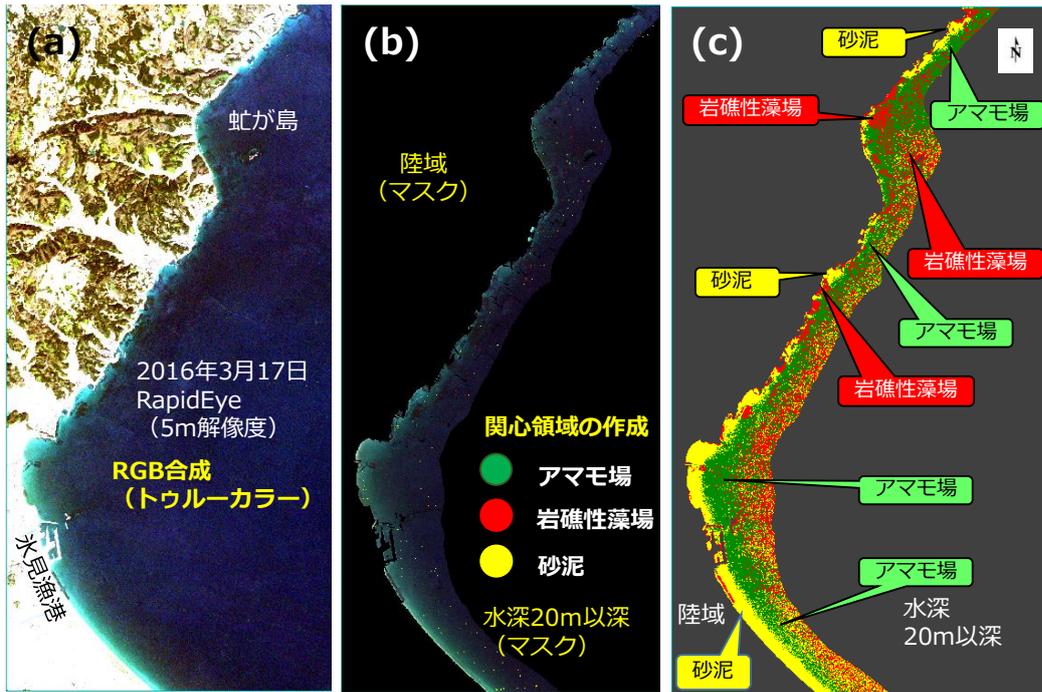


図 1-6 氷見市沿岸域における藻場の分布の推定

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)。

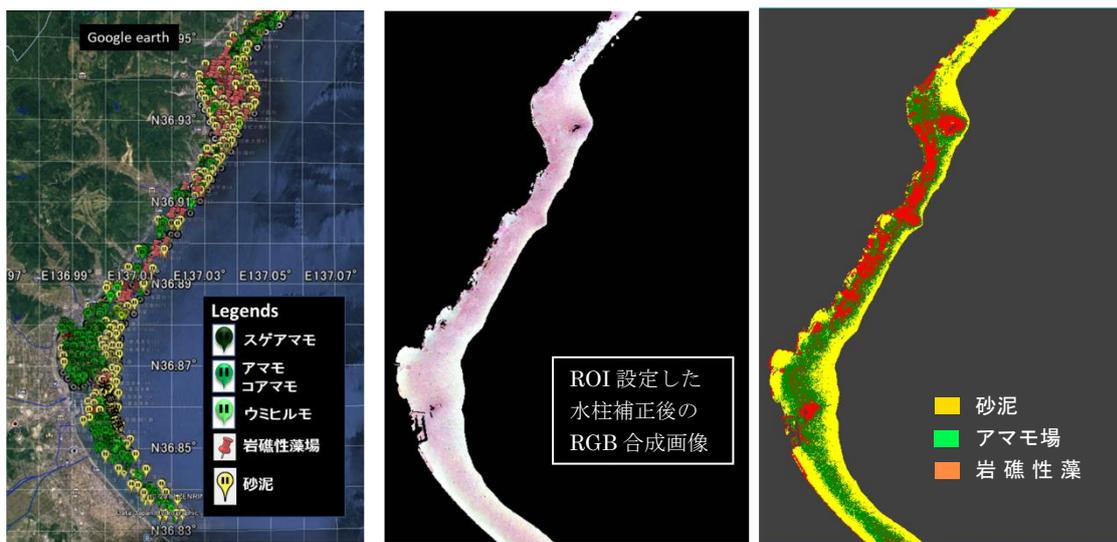


図 1-7 氷見市沿岸域における藻場の分布の推定

(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。

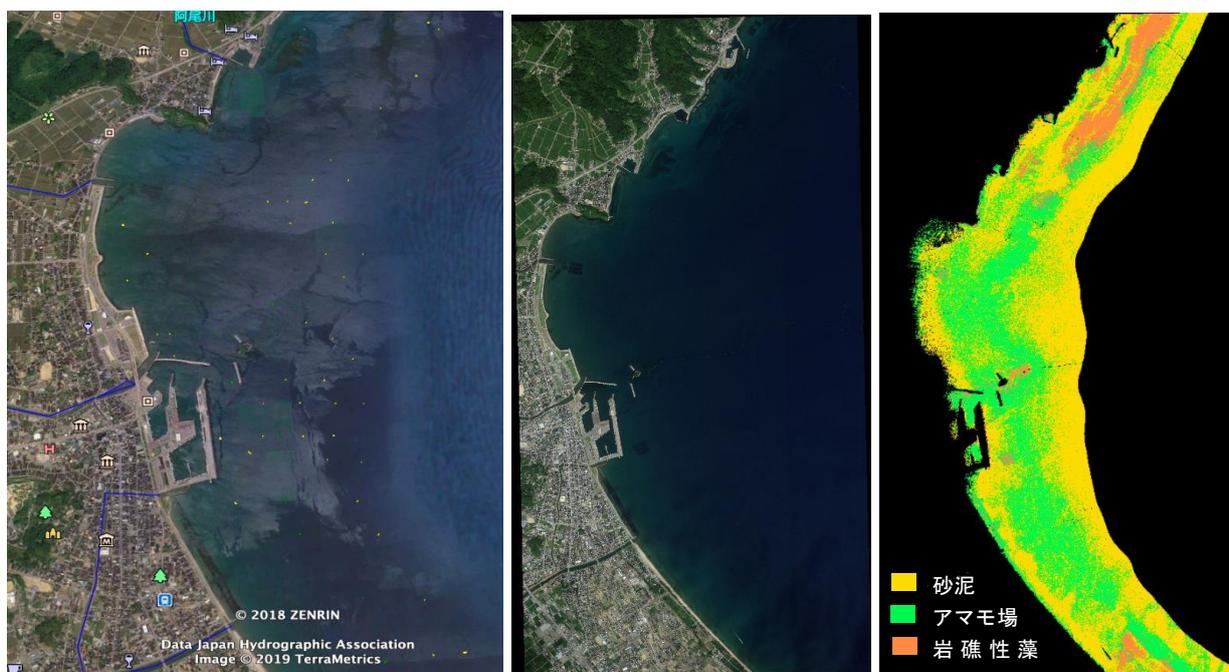


図1-8 氷見市沿岸域における藻場の分布の推定

(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（シートゥールースデータ）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、これらのシートゥー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ー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、今年度の調査範囲は、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20m以浅に形成されることから、調査地点は水深約20m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（2019 年 6 月 21 日）に 48 地点、秋のアマモ衰退期（2019 年 11 月 7 日）に 28 地点で、新湊漁業協同組合の協力を得て行った。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）と下向きに 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 2-2~20）。

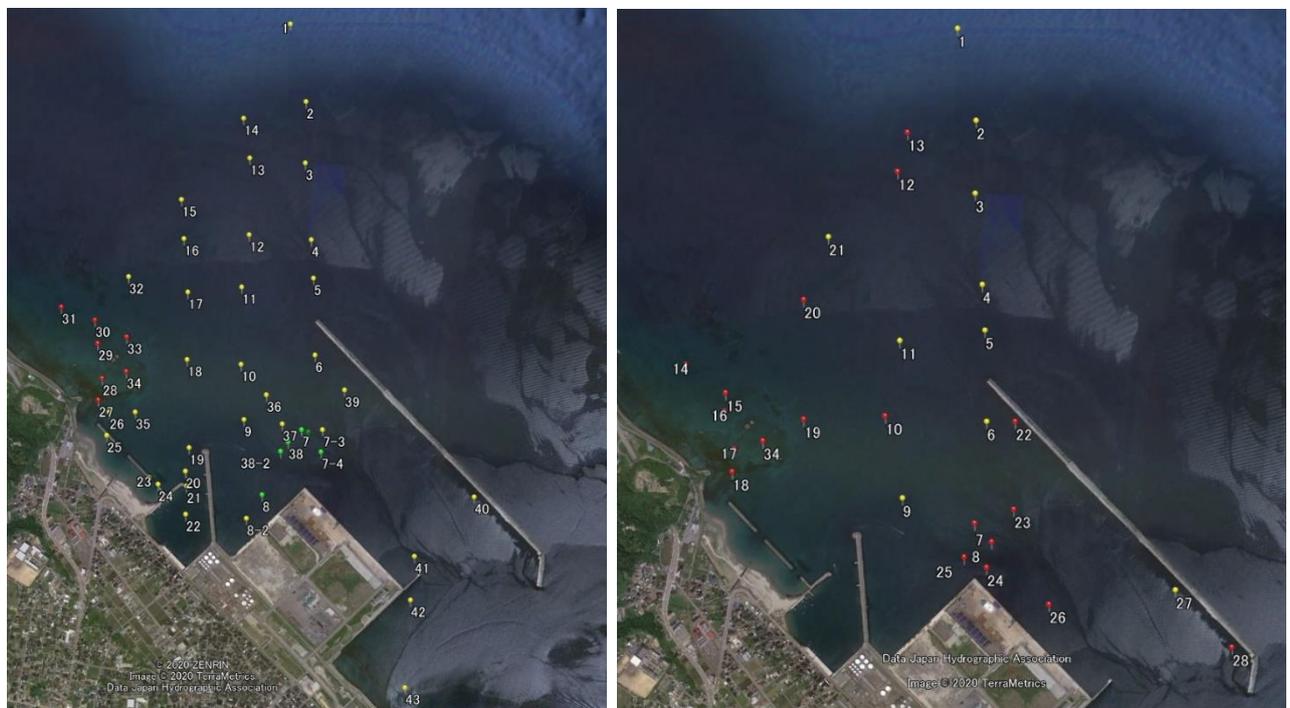


図 2-1 調査海域（高岡市伏木地先）

左：2019 年 6 月 21 日、右：2019 年 11 月 7 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 (6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、7-2、8、38、38-2) に濃密なアマモの繁茂が認められた (図 2-1、表 2-1、写真 2-2~13)。

伏木地区におけるアマモ場の報告は過去になく、今回の調査で初めて確認された可能性がある。

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 15、16 及び地点 27、30、33、34 (男岩付近) では砂と石が混在していた。砂と石が混在する付近にはホンダワラ類やカジメ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。6月の調査では万葉埠頭西側先端付近 (地点 7、8) に濃密な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 2-14~20)。アマモ場が冬場に消失した原因は不明であるため、今後、継続して調査する必要がある。

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 15、17、18 では砂と石が混在していた。砂と石が混在する付近にはホンダワラ類やカジメ類の繁茂が確認された。

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)

(2019年6月21日)

定点 (6月)	緯度		経度		水深	底質	海草類	海草類 被度	備考	
	度	分	度	分						
1	36	49.45	137	3.8	24	s	無	—		
2		49.24			18	s	無	—		
3		49.1			15	s	無	—		
4		48.9			12	s	無	—		
5		48.8			11	s	無	—		
6		48.6			9	s	無	—		
7		48.4			8	s	アマモ	4		
7-2					8	s	アマモ	5		
7-3					12	s	無	—		
7-4					12	s	アマモ	1		
8		48.3			3.7	6	s	アマモ	4	
8-2		48.2				3.6	4	s	無	—
9		48.5			6		s	無	—	
10		48.6		8	s		無	—		
11		48.8		10	s		無	—		
12		48.9		11	s		無	—		
13		49.1		14	s		無	—		
14		49.2		16	s		無	—		
15		49		3.4	12		s/st	無	—	
16		48.9			10		s/st	無	—	
17		48.8			9		s	無	—	
18		48.6			7	s	無	—		
19		48.4			6	s	無	—		
20		48.3			4	s	無	—		
21		48.2			5	s	無	—		
22		48.1			6	s	無	—		
23		48		3.29	3	s	無	—		
24					3.33	2	s	無	—	
25					3.16	2	s	無	—	
26				49	3.17	5	s	無	—	
27					3.14	2	s/st	無	—	ホンダワラ類
28				48	3.15	3	s	無	—	
29					3.14	5	s	無	—	
30		49		3.13	7	s/st	無	—	ホンダワラ類	
31				3.02	7	s	無	—		
32		48		3.23	8	s	無	—		
33		49			7	s/st	無	—	ホンダワラ類	
34		48		3	s/st	無	—	ホンダワラ類		
35				3.26	5	s	無	—		
36				3.67	7	s	無	—		
37				49	3.72	7	s	無	—	
38		48		3.74	7	s	アマモ	4		
38-2				3.69	7	s	アマモ	3		
39	49	3.91	9	s	無	—				
40	48	4.31	11	s	無	—				
41			9	s	無	—				
42		4.1	9	s	無	—				
43			5	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)

(2019年11月7日)

定点 (11月)	緯度		経度		水深 (m)	底質	海草類	海草類 被度	備考
	度	分	度	分					
1	36	49.45	137	3.7	25	s	無	—	
2		49.24			17	s	無	—	
3		49.1			14	s	無	—	
4		48.9			12	s	無	—	
5		48.8			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		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		3.14	5	s/st	無	—	ホンダワラ類
16		48.6			4	s	無	—	
17		48.56			4	s/st	無	—	ホンダワラ類
18		48.5			1	s/st	無	—	テングサ
19		48.6		3.33	6	s	無	—	
20		48.9			9	s	無	—	
21		49		3.38	11	s	無	—	
22		48.6		3.89	9	s	無	—	
23		48.4			13	s	無	—	
24		48.3		3.81	13	s	無	—	
25		48.33		3.75	7	s	無	—	
26		48.23		3.98	13	s	無	—	
27		48.26		4.32	10	s	無	—	
28		48.13		4.46	12	s	無	—	

s: 砂、m: 泥、st: 石



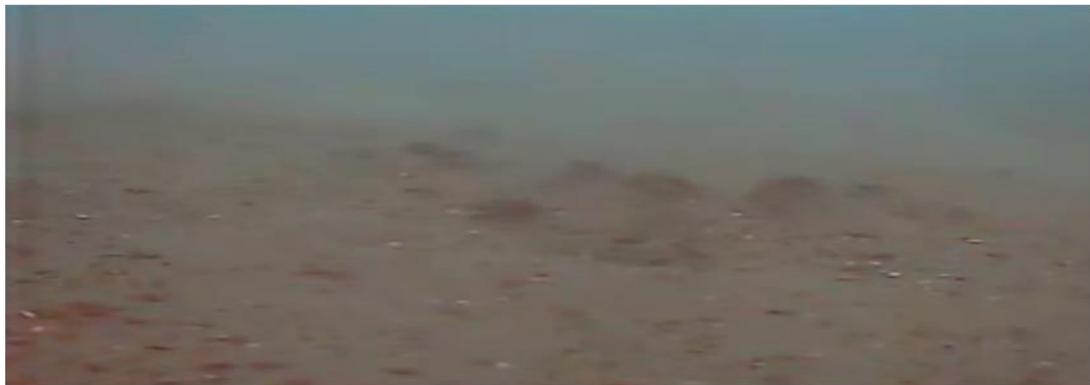
伏木1 25m



伏木2 17m



伏木3 14m



伏木4 12m

写真 2-2 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木5 11m



伏木6 9m



伏木7 7m



伏木7-2 7m

写真 2-3 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木7-3 12m



伏木7-4 12m



伏木8 6m



伏木8-2 5m

写真 2-4 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木9 6m



伏木10 8m



伏木11 9m



伏木12 11m

写真 2-5 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



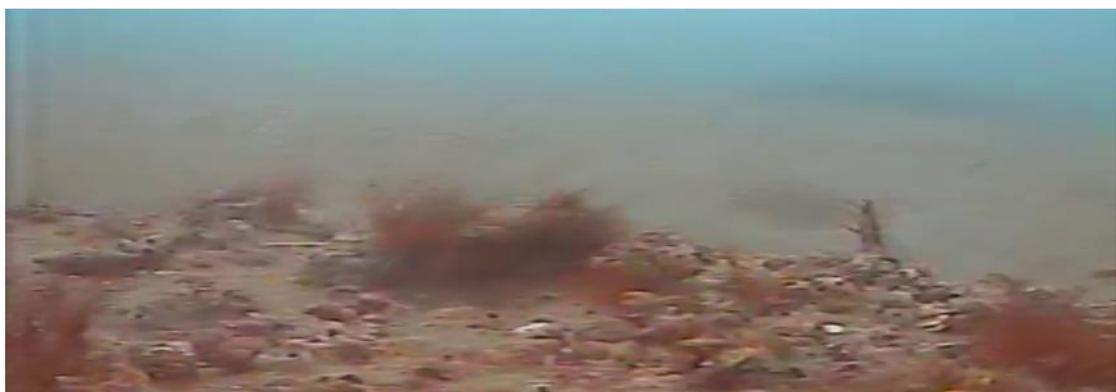
伏木13 13m



伏木14 15m



伏木15 11m



伏木16 10m

写真 2-6 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木17 8m



伏木18 7m



伏木19 6m

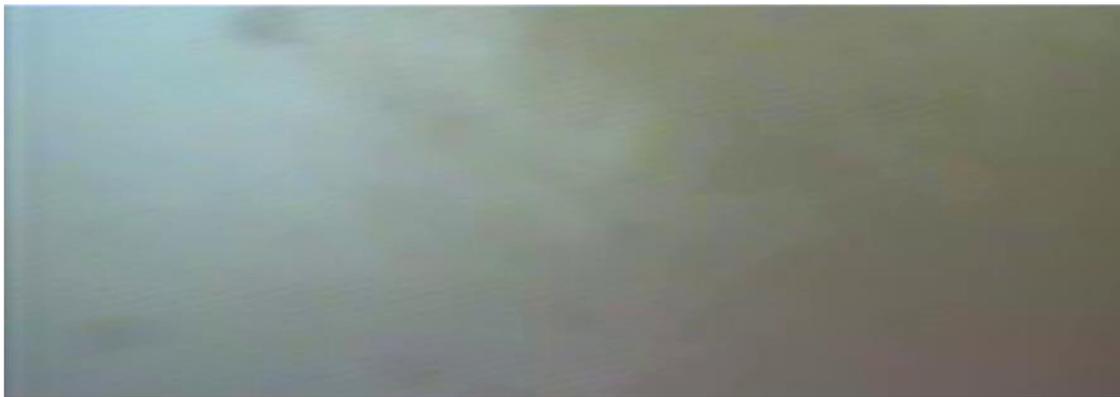


伏木20 4m

写真 2-7 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



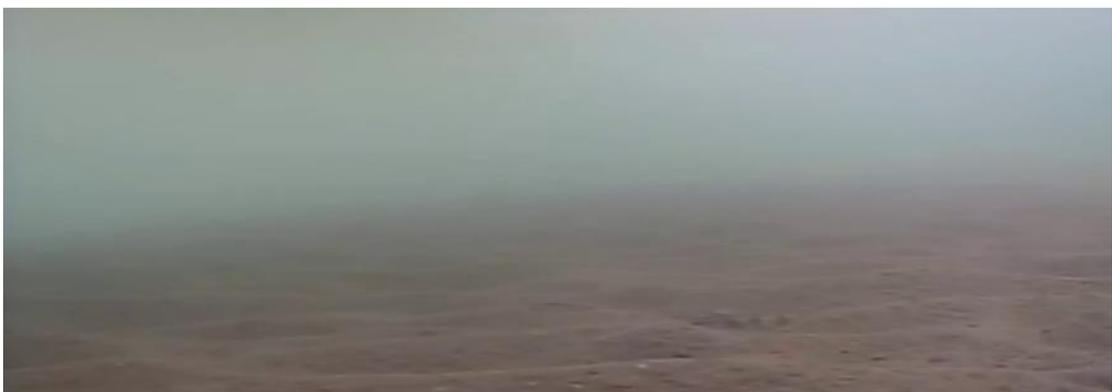
伏木21 5m



伏木22 6m



伏木23 3m



伏木24 2m

写真 2-8 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木25 2m



伏木26 5m



伏木27 2m



伏木28 3m

写真 2-9 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木29 5m



伏木30 7m



伏木31 7m



伏木32 8m

写真 2-10 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木33 7m



伏木34 3m



伏木35 5m



伏木36 7m

写真 2-11 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木37 7m



伏木38 7m



伏木38-2 7m



伏木39 9m

写真 2-12 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木40 11m



伏木41 9m



伏木42 9m



伏木43 5m

写真 2-13 高岡市伏木地先の各定点(2019年夏季)



伏木1 25m



伏木2 17m



伏木3 14m



伏木4 12m

写真 2-14 高岡市伏木地先の各定点(2019 年秋季)



伏木5 11m



伏木6 9m



伏木7 5m



伏木8 7m

写真 2-15 高岡市伏木地先の各定点 (2019 年秋季)



伏木9 12m



伏木10 8m



伏木11 9m



伏木12 14m

写真 2-16 高岡市伏木地先の各定点(2019 年秋季)



伏木13 13m



伏木14 6m



伏木15 5m



伏木16 4m

写真 2-17 高岡市伏木地先の各定点(2019 年秋季)



伏木17 4m



伏木18 1m



伏木19 6m



伏木20 11m

写真 2-18 高岡市伏木地先の各定点(2019 年秋季)



伏木21 11m



伏木22 9m



伏木23 13m



伏木24 13m

写真 2-19 高岡市伏木地先の各定点(2019 年秋季)



伏木25 7m



伏木26 13m



伏木27 13m

写真 2-20 高岡市伏木地先の各定点(2019 年秋季)

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。

今年度は、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と新たに入手したWorldView-3の衛星画像使用し、アマモ場分布域の推定を試みた。

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GEE藻場マッピングツールを用いた。GEE藻場マッピングツールは、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。解析に用いた衛星画像は2019年5月19日に国分海浜公園周辺域が撮影されたWorldView-3のマルチスペクトル画像(図3-2)を用いた。

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、藻場分布の推定のためには、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、大気的气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いられている。ここでは、GEE 藻場マッピングツールの大気補正処理に用いるデータとして、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、2019 年の 6 月 21 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。本年度の解析では、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な教師データの作成には、2019 年 6 月 21 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 3 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に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)。

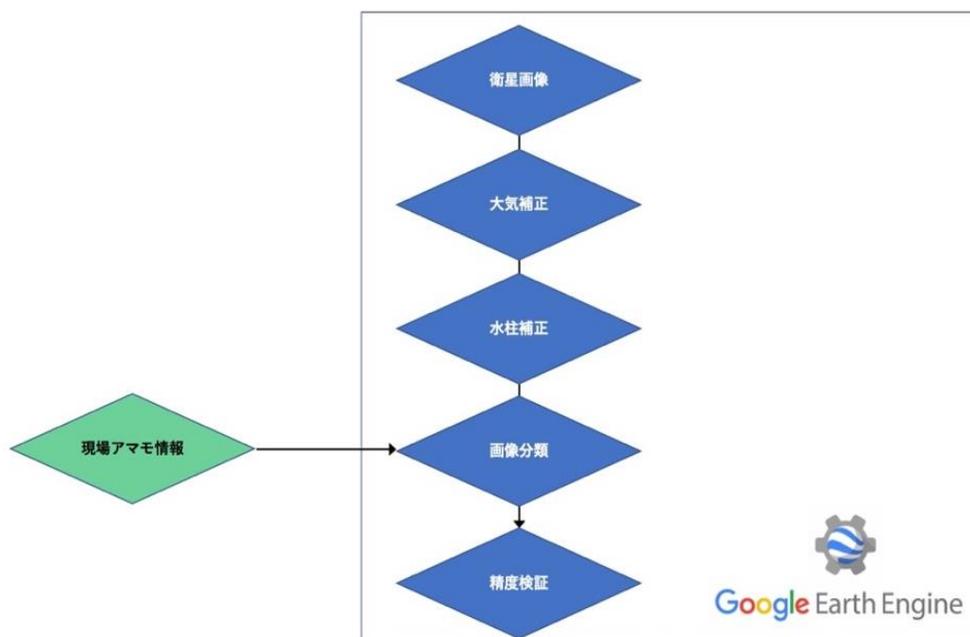


図 3-1 GEE 藻場マッピングツールによる画像解析フロー

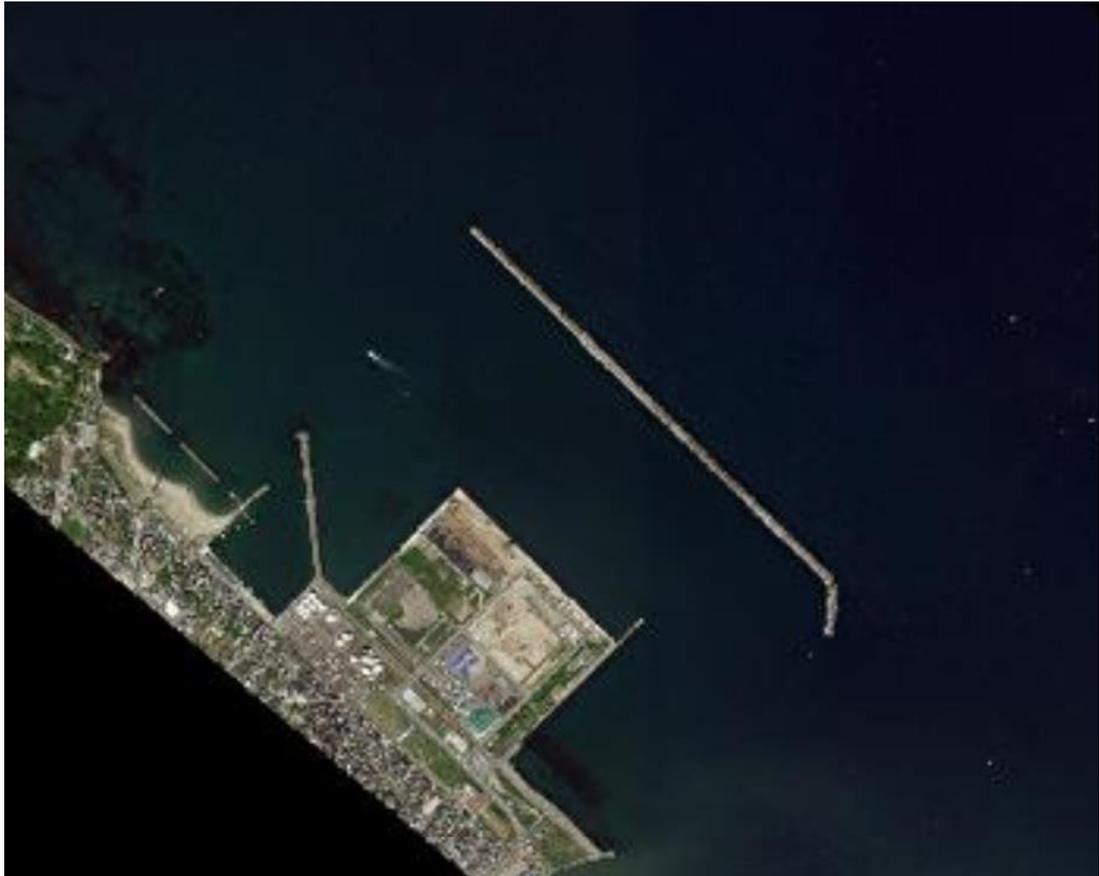


図 3-2 2019 年 5 月 19 日の World View-3 RGB 合成画像



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

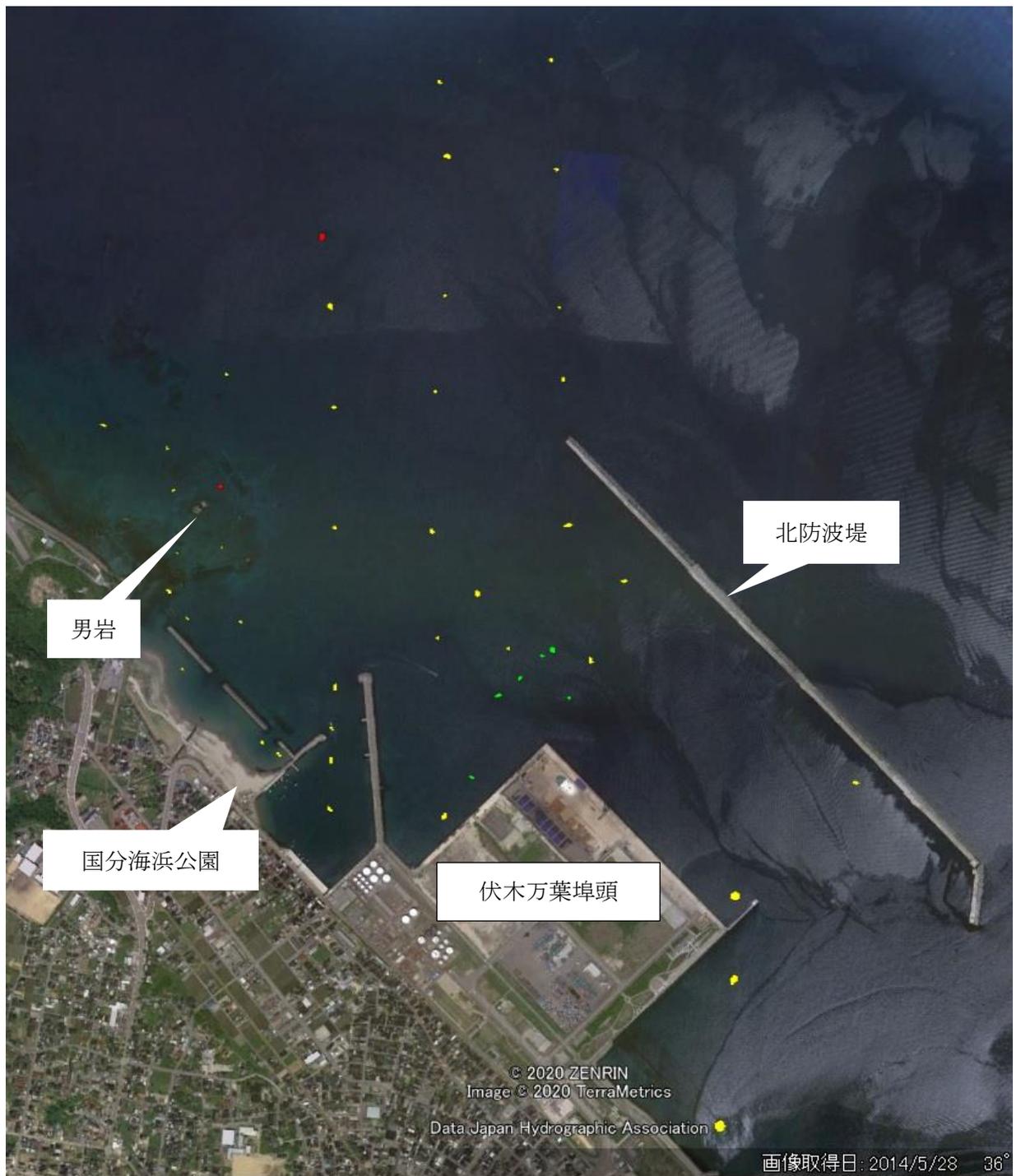


図 3-4 水中ビデオカメラ観測（6月21日）による底質調査に基づき作成した教師データ
（アマモ場；緑、岩礁性藻場；赤、砂泥；黄色）

3-3 結果と考察

GEE 藻場マッピングツールを用いて、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 2019 年 5 月 19 日の国分海浜公園周辺の WorldView-3 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 6 月 21 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濃密な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となった (表 3-1、表 3-2)。DII 補正による藻場分布域の推定結果では、水中ビデオカメラによりアマモの分布が認められなかった北防波堤周辺、伏木万葉埠頭泊地周辺にその分布が誤って抽出されていた。これは、北防波堤周辺に存在するテトラポット等の人工構造物の影の影響や、伏木万葉埠頭北側の泊地 (大型船舶の停泊水域) の水深が急激に深くなっていること等の影響で DII による水柱補正が BRI による水柱補正と比べて十分に出来なかった可能性が推測されるが、現時点では原因が明らかとなっていない。今後は、関心領域を設定し、その範囲内でのアマモ場の面積の算出を進める予定である。

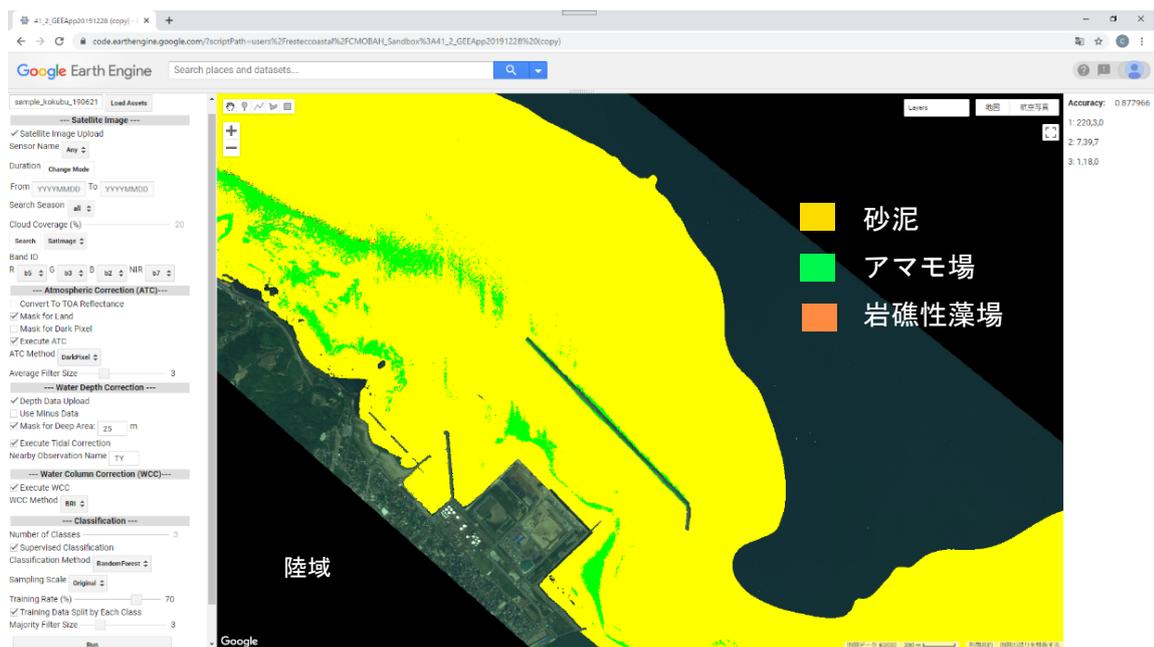


図 3-5 2019 年 5 月 19 日の World View 3 マルチスペクトル画像を暗画素法による大気補正、BRI 法による水柱補正後、ランダムフォレスト法により分類した国分海浜公園周辺における底質分類結果

表 3-1 底質分類結果（図 3-5）に対応する精度検証の結果

底質の分類	参照データ（評価データ）			ユーザー精度
	藻場以外	藻場	行の総数	
藻場以外	220	3	223	98.65%
藻場	8	64	72	88.89%
列の総数	228	67	295	
プロデューサー精度	96.49%	95.52%		
全体の精度	96.27%	pr		0.6167
※Tau 係数	0.9027			

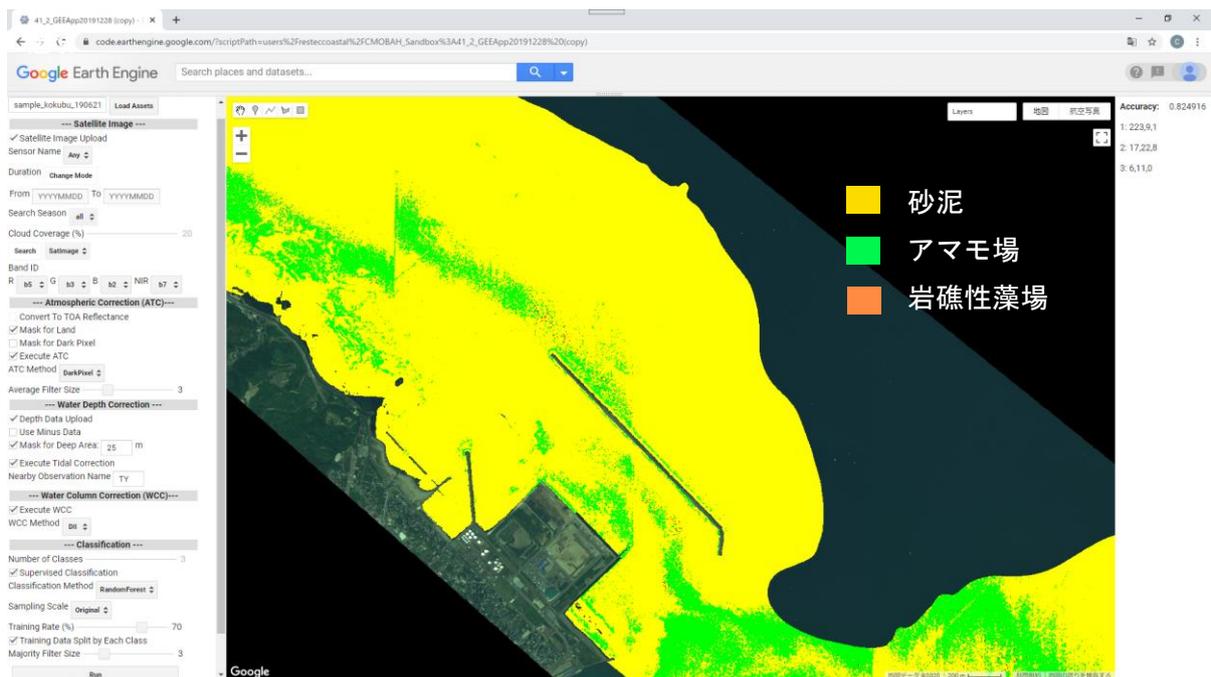


図 3-6 2019 年 5 月 19 日の World View 3 マルチスペクトル画像を暗画素法による大気補正、DII 法による水柱補正後、ランダムフォレスト法により分類した国分海浜公園周辺における底質分類結果

表 3-2 底質分類結果（図 3-6）に対応する精度検証の結果

底質の分類	参照データ（評価データ）			ユーザー精度
	藻場以外	藻場	行の総数	
藻場以外	223	10	233	95.71%
藻場	23	41	64	64.06%
列の総数	246	51	297	
プロデューサー精度	90.65%	80.39%		
全体の精度	88.89%	pr		0.6188
※Tau 係数	0.7085			

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15-16日と長く、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）。



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。



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

表 4-1 DJI Phantom4 Pro スペック

機体		カメラ	
重量(バッテリー、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	±0.02°		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): 0.7EV ステップでの3/5ブラケットフレーム インターバル:2/3/5/7/10/15/20/30/60秒
動作周波数	2.400~2.483GHz	対応ファイル形式	FAT32(32GB以下)、exFAT(32GB超)
最大伝送距離	日本仕様4km	静止画モード	JPEG,DNG(RAW),JPEG+RAW
動作環境温度	0~40°C	対応SDカード	microSD
バッテリー			最大容量128GB書込速度≥15MB/s
バッテリータイプ	LiPo4S		クラス10またはUHS-1規格が必要
電力量	89.2Wh		
動作環境温度	0~40°C		

(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。

- ①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。

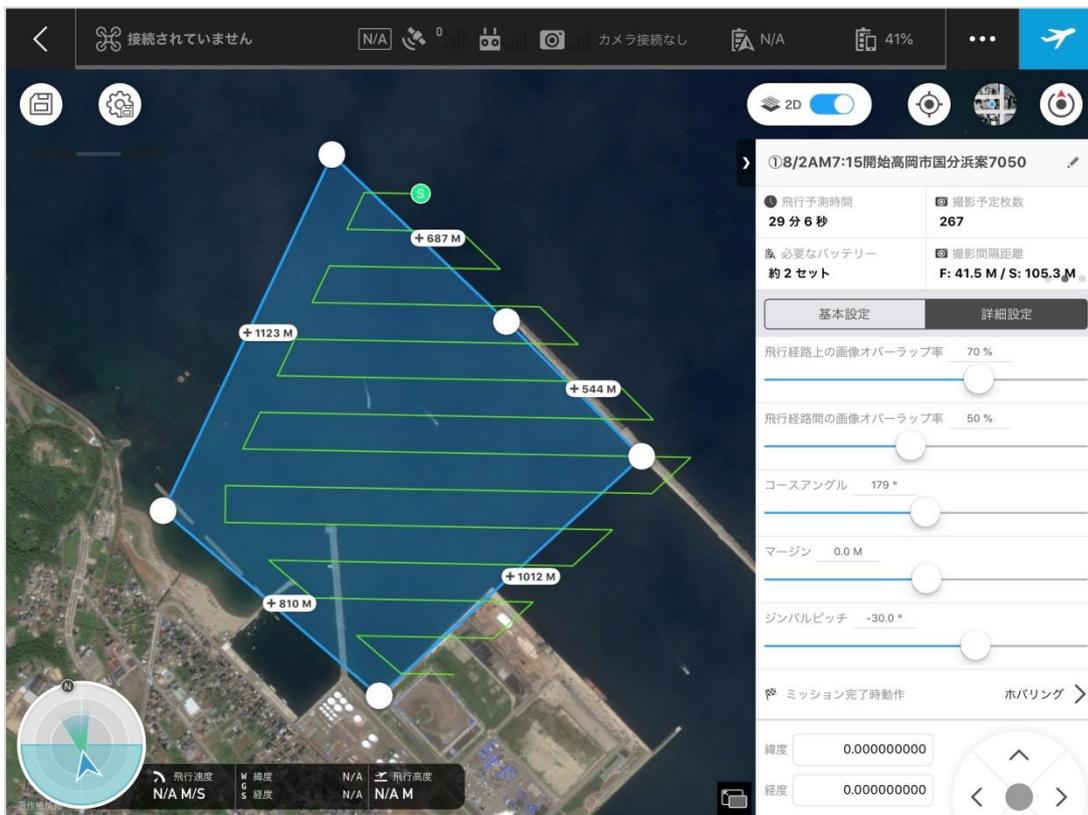
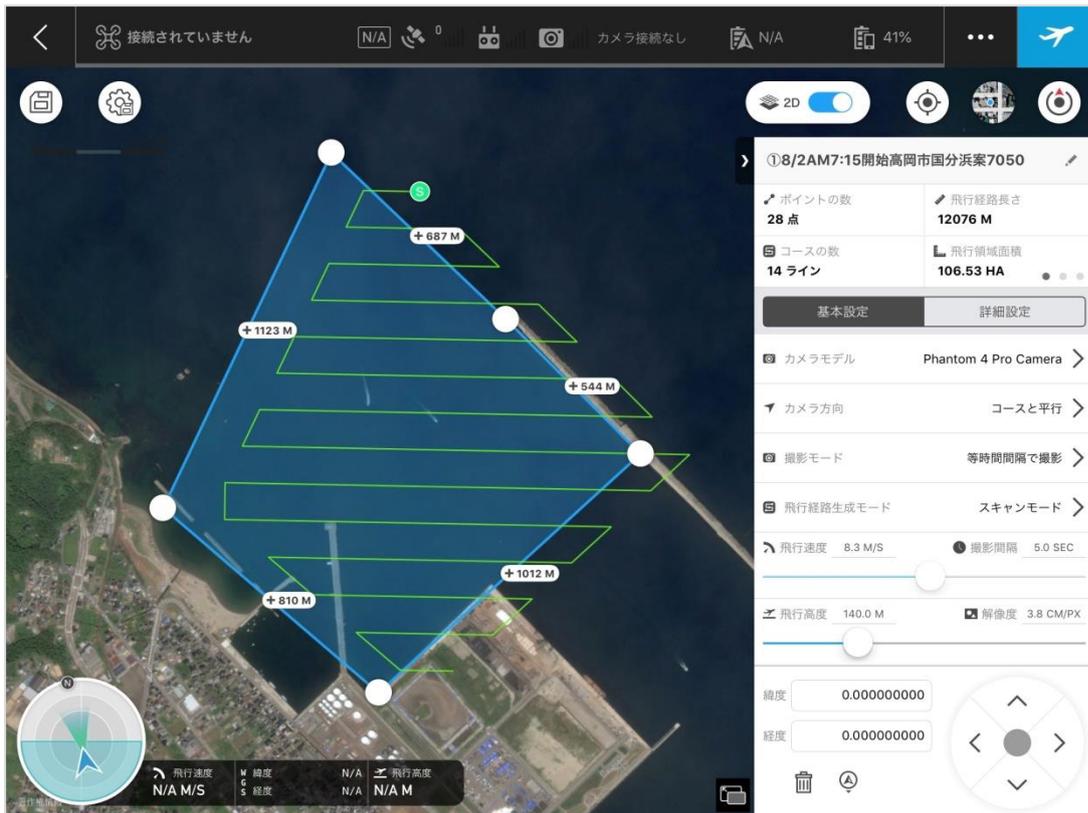


図 4-3 GS PRO 飛行計画設定画面の例 (8月2日撮影時の画面)

(5) 撮影に関する各種設定

①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 90%、サイドラップ率を 70% に設定して撮影を行ったが、撮影枚数が多く長時間の撮影となった。今年度はこの問題を解決するため、オーバーラップ率を 70%、サイドラップ率を 50% に設定することとした。これにより撮影時間と使用バッテリーの本数は半分に、撮影枚数は 20% 程度に圧縮可能となった。1 回の撮影での撮影時間の短縮とバッテリーの使用本数を削減できたため、昨年度は 1 日での空撮可能回数は 1 回だったが、今年度は 3 回撮影することが可能となり、カメラ等の設定を変更して写り具合を比較することとした。

②撮影条件と決定方法

写り具合を比較するため、以下の条件で撮影することを基本とした。

1 回目：露出オート、2 回目：露出固定、3 回目：ISO 感度を上げる

1 回目の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。

2 回目の露出固定に関しては、撮影には最短でも約 40 分を要し、その間太陽高度や天候は逐次変化するため、当日の天候で明るさにばらつきがある場合は露出固定ではなくオートにすることとした。これは当日に現地で天候を見て判断する。

3 回目の ISO 感度とは画像センサーの光の感度のことである。ISO 感度を上げることで少ない光の量でも十分明るい写真を撮ることができ、これにより海中の藻の濃淡をはっきり写すことができるのではないかと考えたためである。ISO 感度は 100 が基本とされており、感度を上げれば上げるほど写真のノイズが大きくなってしまうため、ノイズが出ないような値 (400 を上限) で撮影することとした。

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、PGYTECH 製 CPL フィルタと LENSKINS 製 ND-CPL フィルタ (ND4-CPL、ND8-CPL、ND16-CPL) 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-CPL フィルタは CPL フィルタと比べて光量を 1/4 に、ND8-CPL フィルタは光量を 1/8 に、ND16-CPL 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、これらのフィルタをドローンに取り付け、実際に海上へドローンを飛行させ、モニターで映像を確認しながら最適だと考えられるフィルタ 1 種類を決定した。昨年度は、モニターで確認しても撮影後にノート PC で画像を確認すると想定よりも明るくなっていることが多かったため、今回は準備の段階で実際に画像を数枚撮影し、それをノート PC のモニターで確認してから撮影を開始した。

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）。

しかし冬季は太陽高度が低く、 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ることが判明した（図 4-5）。これでは特徴点が少なくなり、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。カメラ角度を 30° にすると 45° の場合よりも広い範囲が撮影可能となり特徴点が増えるため、夏季も冬季もカメラ角度を 30° に設定し、夏季は太陽方位に合わせたコースアングル、冬季は太陽高度よりも太陽方位を優先して陸地が写るコースアングルを設定することとした。

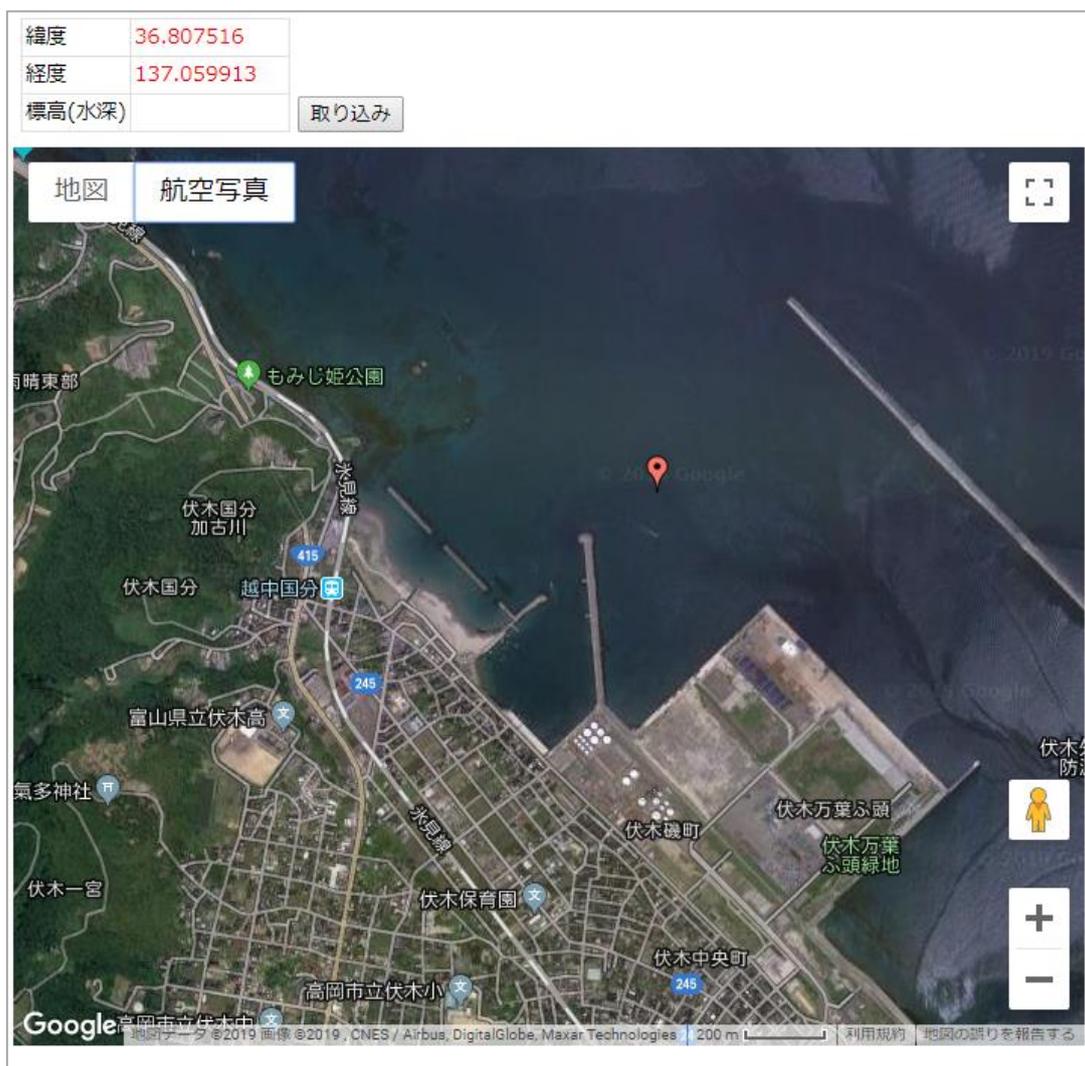


図 4-4 国分海浜公園の太陽高度・方位の基準地点



図 4-5 太陽方位に合わせた冬のコースアングルの例（12月16日の場合）

（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 PhotoScan Professional Edition 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。

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) photoScan パラメータの調整

photoscan 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、PhotoScan 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に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。

④Align Photos の 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 の 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

④Key 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。

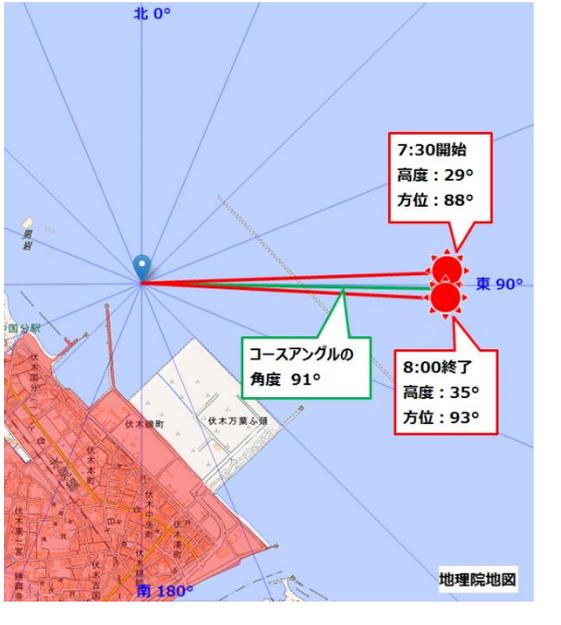
オーバーラップ率	: 70%
サイドラップ率	: 50%
飛行高度	: 140m
地上解像度	: 3.8cm/px
飛行速度	: 8.3m/s
撮影間隔	: 5 秒
飛行経路	: 約 12km
撮影範囲	: 約 1.06km ²
バッテリー交換回数	: 約 1 回
撮影枚数	: 約 265 枚
飛行予測時間	: 約 30 分 (バッテリー交換の時間は含まない)
カメラ角度	: -30°

(2) 空撮結果

【2019年8月2日】 1回目 午前7:25~8:05 (バッテリー交換回数…1回)

飛行範囲	オルソモザイク画像
	

太陽高度と太陽方位

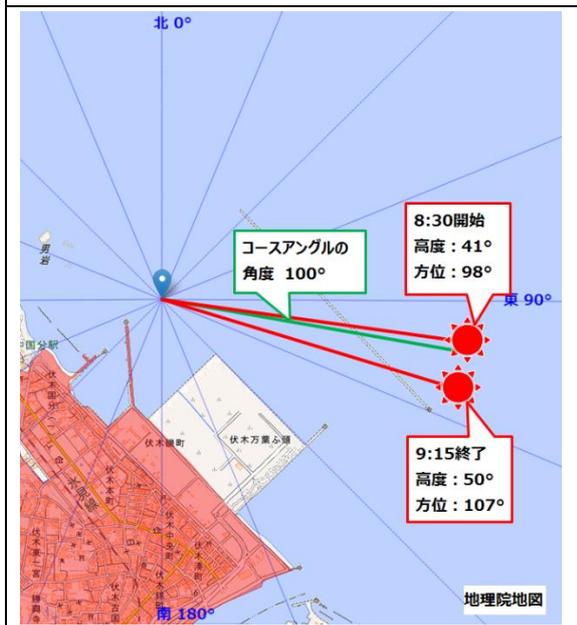
	<table border="1"> <tr> <td>飛行経路</td> <td>12.076km</td> </tr> <tr> <td>カメラ角度</td> <td>-30°</td> </tr> <tr> <td>撮影枚数</td> <td>272枚</td> </tr> <tr> <td>使用フィルタ</td> <td>CPL</td> </tr> <tr> <td>ISO感度</td> <td>オート</td> </tr> <tr> <td>F値</td> <td>オート</td> </tr> <tr> <td>シャッタースピード</td> <td>オート</td> </tr> </table>	飛行経路	12.076km	カメラ角度	-30°	撮影枚数	272枚	使用フィルタ	CPL	ISO感度	オート	F値	オート	シャッタースピード	オート
飛行経路	12.076km														
カメラ角度	-30°														
撮影枚数	272枚														
使用フィルタ	CPL														
ISO感度	オート														
F値	オート														
シャッタースピード	オート														

結果・検討事項	<p>空撮開始前に予備空撮を実施し、フィルタの種類を選定(画像をノートパソコンで確認)後、空撮を開始したが、想定より明るく写った。また露出オートとしたため、画像によって明るさが異なった。サングリントは発生せず、浅い場所は海中の様子が微かに分かった。</p> <p>次回は、もう少し明るさを抑えて撮影できるように検討する。</p>
---------	--

【2019年8月2日】 2回目 午前8:32~9:20 (バッテリー交換回数…2回) ※1

飛行範囲	オルソモザイク画像
	

太陽高度と太陽方位



飛行経路	12.072km
カメラ角度	-30°
撮影枚数	298枚 (※2)
使用フィルタ	CPL
ISO感度	100
F値	5.6
シャッタースピード	1/125秒

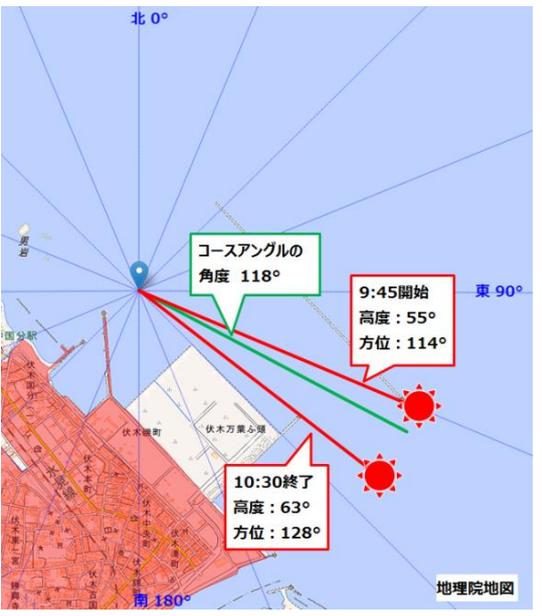
※1: 通信障害で中断したため。

※2: 中断から再開後に同じ場所を撮影したため予定枚数より多い。

結果・検討事項	<p>露出固定としたため、明るさが一定となり、露出オートの時と比べて明るさが抑えられ、藻場の様子が分かりやすかった。サングリントは発生いなかった。空撮途中、通信障害が発生した。</p> <p>やや明る過ぎたため、もう少し抑えるように調整が必要であった。</p>
---------	--

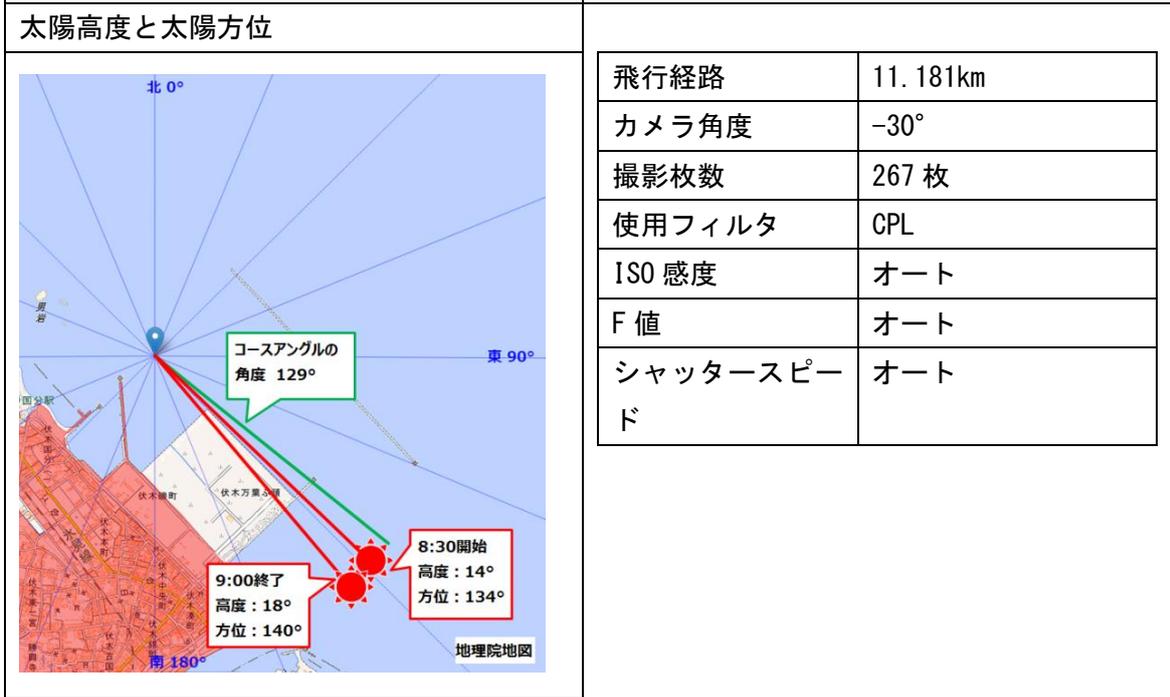
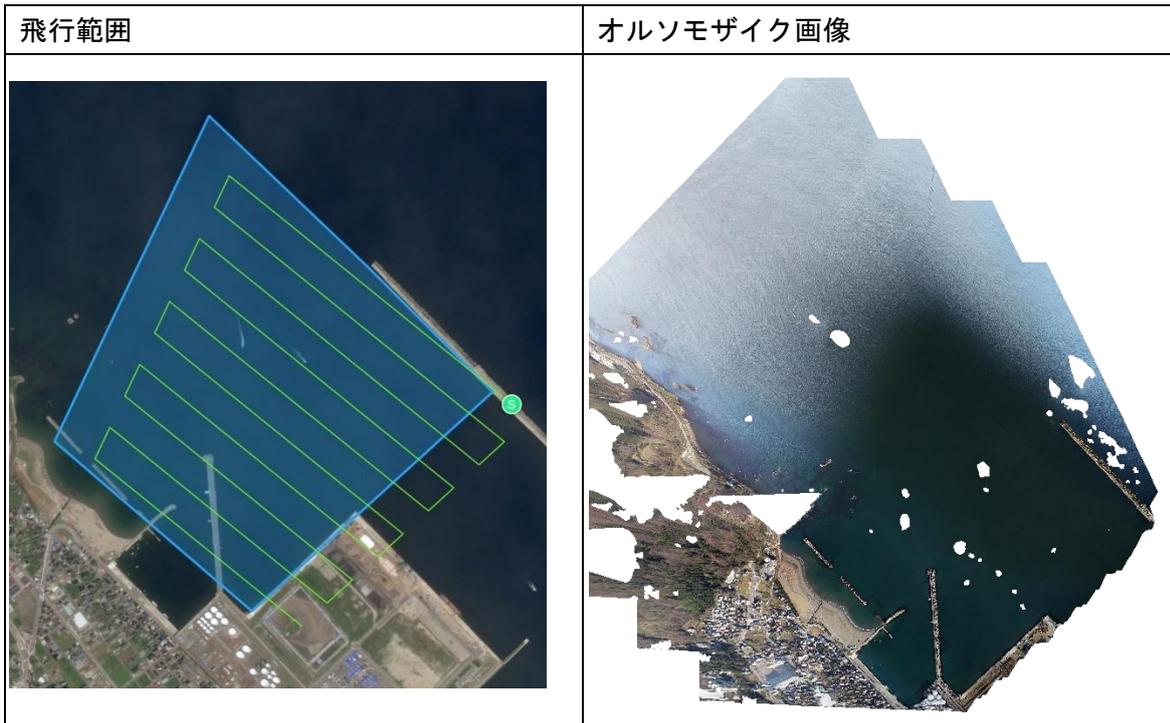
【2019年8月2日】 3回目 午前9:41~10:31 (バッテリー交換回数…2回) ※3

飛行範囲	オルソモザイク画像
	

太陽高度と太陽方位	<table border="1"> <tr> <td>飛行経路</td> <td>12.030km</td> </tr> <tr> <td>カメラ角度</td> <td>-30°</td> </tr> <tr> <td>撮影枚数</td> <td>306枚 (※3)</td> </tr> <tr> <td>使用フィルタ</td> <td>CPL</td> </tr> <tr> <td>ISO感度</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>F値</td> <td>オート</td> </tr> <tr> <td>シャッタースピード</td> <td>オート</td> </tr> </table>	飛行経路	12.030km	カメラ角度	-30°	撮影枚数	306枚 (※3)	使用フィルタ	CPL	ISO感度	400	F値	オート	シャッタースピード	オート
飛行経路	12.030km														
カメラ角度	-30°														
撮影枚数	306枚 (※3)														
使用フィルタ	CPL														
ISO感度	400														
F値	オート														
シャッタースピード	オート														
	<p>※3: 前回と同じく通信障害になった。</p>														

結果・検討事項	<p>ISO感度を400に上げると、1~2回目よりも明るさが抑えられて見やすかった。海中の濃淡が一番はっきり見えた。サングリントは発生しなかった。ISO以外は露出オートのため、空撮位置毎の明るさが変わってしまった。通信障害が発生した。F値とシャッタースピードの固定を検討する必要がある。</p>
---------	---

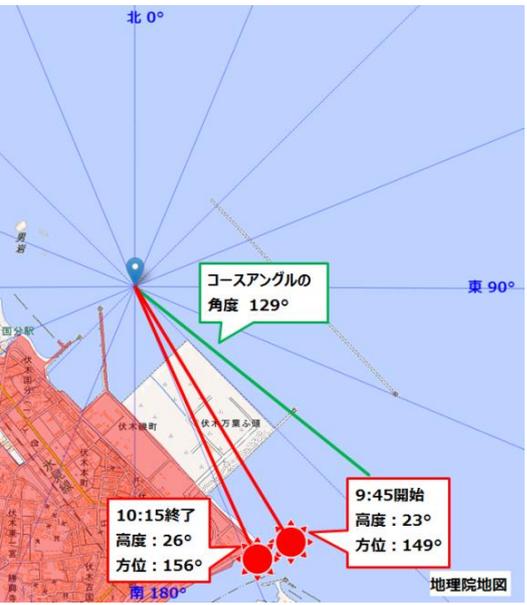
【2019年12月16日】 1回目 午前8:24~9:06 (バッテリー交換回数…1回)



結果・検討事項	<p>露出オートとしたため、海は暗く写り、奥の方は白く写った（偏光が除去されていない可能性）。海中の様子は、深い場所は見えにくかったが浅い場所では海中の様子が分かった。カメラ角度 45°の方が水中での光の通過距離が短く見やすいのではと考えられた。</p>
---------	---

【2019年12月16日】 2回目 午前9:38~10:15 (バッテリー交換回数…1回)

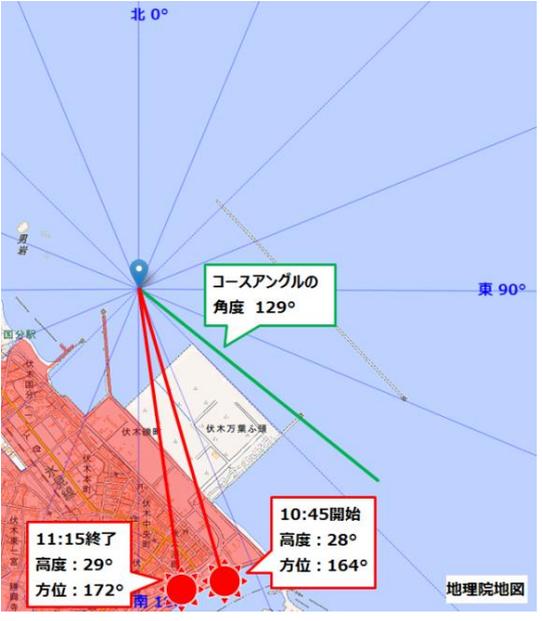
<p>飛行範囲</p> 	<p>オルソモザイク画像</p> 
---	---

<p>太陽高度と太陽方位</p> 	<table border="1"> <tr> <td>飛行経路</td> <td>11.181km</td> </tr> <tr> <td>カメラ角度</td> <td>-45° (※4)</td> </tr> <tr> <td>撮影枚数</td> <td>261枚</td> </tr> <tr> <td>使用フィルタ</td> <td>CPL</td> </tr> <tr> <td>ISO感度</td> <td>オート</td> </tr> <tr> <td>F値</td> <td>オート</td> </tr> <tr> <td>シャッタースピード</td> <td>オート</td> </tr> </table> <p>※4:カメラ角度を変更した。</p>	飛行経路	11.181km	カメラ角度	-45° (※4)	撮影枚数	261枚	使用フィルタ	CPL	ISO感度	オート	F値	オート	シャッタースピード	オート
飛行経路	11.181km														
カメラ角度	-45° (※4)														
撮影枚数	261枚														
使用フィルタ	CPL														
ISO感度	オート														
F値	オート														
シャッタースピード	オート														

<p>結果・検討事項</p>	<p>カメラ角度を45°にしたところ、海中の様子が分かりやすく撮影できた。しかし、沖合の画像は合成できておらず、特徴点が少なかったことが影響したと考えられた。浅い場所は、きれいに見えたが、少し濁りがあった。</p>
----------------	---

【2019年12月16日】 3回目 午前10:41~11:17 (バッテリー交換回数…1回)

飛行範囲	オルソモザイク画像
	

太陽高度と太陽方位	<table border="1"> <tr> <td>飛行経路</td> <td>11.181km</td> </tr> <tr> <td>カメラ角度</td> <td>-45° (※4)</td> </tr> <tr> <td>撮影枚数</td> <td>254枚</td> </tr> <tr> <td>使用フィルタ</td> <td>CPL</td> </tr> <tr> <td>ISO感度</td> <td>400</td> </tr> <tr> <td>F値</td> <td>オート</td> </tr> <tr> <td>シャッタースピード</td> <td>オート</td> </tr> </table>	飛行経路	11.181km	カメラ角度	-45° (※4)	撮影枚数	254枚	使用フィルタ	CPL	ISO感度	400	F値	オート	シャッタースピード	オート
飛行経路	11.181km														
カメラ角度	-45° (※4)														
撮影枚数	254枚														
使用フィルタ	CPL														
ISO感度	400														
F値	オート														
シャッタースピード	オート														
															

結果・検討事項	カメラの角度を45°にした。沖合は合成できていなかった。海中の様子が分かりやすく写されたが、ISO感度を上げた影響で少しノイズがあるように見えた（合成画像では違いは分らなかった）。
---------	--

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、サイドラップ率を下げて画像合成には特に支障がないと考えられた。

(2) 偏光の除去

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。しかし、冬の撮影では陸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てられなかった。その結果、偏光が除去しきれなかった。今後、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する。

(3) 通信障害

夏の撮影では、1回目の撮影はスムーズに終了したものの、2~3回目は通信障害が発生し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。そこで冬の撮影では、なるべくドローンとプロポの距離を近づけるように移動しながら撮影した結果、通信障害は発生しなかった。

(4) カメラの角度と画像合成の範囲

冬の撮影では、1回目をカメラ角度 30° にして撮影したが、海中の様子がうまく写らなかった。そこで2~3回目は45° で撮影したところ海中の藻場の様子がきれいに写った。この違いは、カメラ角度を45° にすると30° にした時と比べて光が水の中を通過する距離が短いと考えられた。ただし、1回目の30° の時の方が広い範囲を画像合成することができた。このことは、カメラ角度を30° にした場合、陸が写り込んだことにより、45° の時と比べて特徴点が多かったためと考えられた。

(5) カメラの露出

①8月の撮影

露出をオートにした時よりも固定にした方が明るさを抑えて撮影できた。3回目のISO感度を上げた(400)場合、1~2回目と比べ画像の明るさや藻場の見え方に特に大きな違いはなかったが、画像に白いサングリント部分が少ないので偏光が除去されているように見えた。ISO感度を上げた(400)場合は、少しノイズがあるように見えたが、合成画像では違いが分からなかった。

②12月の撮影

オートで撮影した2回目とISO感度を上げた3回目を比較すると、8月の撮影と同様、白いサングリントが少なかったため、偏光が除去されているように見えた。しかし、合成画像には大きな違いは認められなかった。冬季は太陽高度が低いため、3回とも画像が暗めに写り、藻場の様子が分かりにくかったことから、ISO感度を上げても、ある程度の光量は必要だと考えられた。

(6) 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。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、今回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は、おおむね良好な位置精度が得られた。また、2019 年 6 月 21 日および 11 月 7 日に実施した底質調査結果 (図 3-6、7) をオルソモザイク画像と比較すると、比較的良好に一致していたが、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 3-6 Google Earth 上に表示した教師データ (2019. 6. 21 底質調査)
(アマモ場；緑、岩礁性藻場；赤、砂泥；黄色)



図 3-7 Google Earth 上に表示した教師データ (2019.11.7 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、以下が考えられる。

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。

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・小木曾正造・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・小木曾正造 (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・浦邊清治・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査 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)ー水質・底質・藻場・餌料環境ー, 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・里海評価ー北信越クラスター (2010) 里山・里海:日本の社会生態学的生産ランドスケープー北信越の経験と教訓ー, 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)ー水質・底質・藻場ー, 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)ー水質・底質・藻場・餌料環境ー, 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) 富山湾西部虹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・小木曾正造・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査 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.
- 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.
- 浦邊清治・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水産研究所 (とりまとめ).

令和元年度富山湾リモートセンシング調査事業報告書

2020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 とうざわ印刷工芸株式会社
