

2019 年度

公益信託エスぺック地球環境研究・技術基金

成果報告書

持続可能な沿岸海域実現を目指した

リモートセンシングによる海洋状況把握手法の開発と推進

東北大学大学院農学研究科

村田裕樹

## 1 研究の背景・目的

沿岸域は人々の暮らし、漁業・農業による食料生産、海運・陸運による物流交通、商業・工業用地としての立地など、現代の人間社会にとって必要不可欠な場を形成している。しかし、これまでの沿岸域の急速な開発は自然環境の悪化や生物資源の減少などの問題を引き起こしてきた。こうしたことを受け、持続可能な社会の実現が世界的に求められている。海洋においては国際連合教育科学文化機関政府間海洋学委員会（IOC-UNESCO）が海洋空間計画（Marine Spatial Planning）を政策として推進している。これは漁業資源、海洋エネルギー、海洋資源開発などの人間による海洋利用と海洋生態系の保全を両立させて実現することを目指した取り組みである。

日本の沿岸域では、港湾法、漁業法、海岸法、河川法などの法律、これに関する計画、管理主体、関係者等が輻輳している。そのため、科学的知見に基づいた情報を関係者間で共有し、総合的に管理していく“沿岸域の総合的管理”が海洋基本計画（海洋基本法）において施策として明記されている。平成30年5月に策定された第3期海洋基本計画においては“海洋状況把握の能力強化”が施策に追加された。さらに、令和2年12月には漁業法が約70年ぶりに改正され、漁業権者は漁場の適切・有効な活用や、これに関する情報の報告が義務づけられた。このように、沿岸海域に関する情報の収集・集約・共有がこれまで以上に求められている。

沿岸海域の自然環境の一つである海草藻場は、動植物にとっての生息場、多くの魚類の産卵場、稚仔魚の生育場となり、海の生物多様性の維持と水産資源の生産の面から必要不可欠な場である。また、カキなどの養殖種の餌となる有機物の供給源、炭素固定・貯蔵、いわゆるブルーカーボンとしての機能も併せ持つ。このように海草藻場は海洋生物だけでなく、人類にとっても重要な場を形成している。そのため、海草藻場の生息域を調査し、保全していく必要がある。

人工衛星や航空機などに搭載されたセンサから地表面や海面を観測するリモートセンシングは広い範囲を同時に観測することが可能である。特に人工衛星は地球の周囲の決まった軌道上を一定周期で周回しているため、高頻度で同一地点の観測が可能である。また、観測されたデータは蓄積されているため過去に遡った解析も可能である。近年では、センサの性能向上により0.5～2.0m程度の高い空間分解能での観測が可能な光学センサを搭載した人工衛星が運用されており、沿岸海域に設置されている養殖筏の台数・配置や海草・海藻藻場などの生息域調査に用いられている。今後も新たな人工衛星の打上げ・運用が国内外で予定されており、更なる宇宙の開発及び利用の進展が見込まれている。しかし、このような高分解能衛星画像はその費用が高額であるため、社会実装を推進していく上での課題となっている。

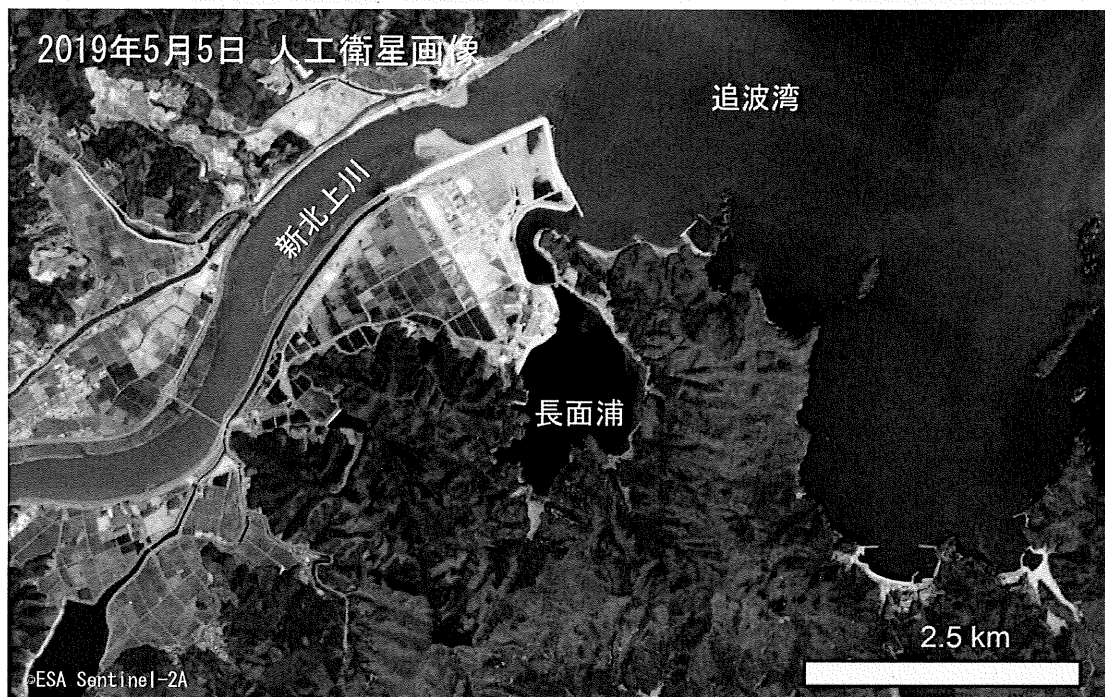
そこで本研究では、近年比較的安価で一般にも普及しつつあるドローンを用いて、沿岸海域に関する養殖筏の台数・配置や海草藻場の生息域といった海洋状況把握手法を開発し、社会実装できるか検討することとした。

## 2 対象地域および調査方法

### 2.1 対象地域と使用機材

対象地域は宮城県石巻市の新北上川河口近くに位置する長面浦とした(図1)。長面浦では約100台の養殖筏を用いてカキ養殖が行われており(図2a-c)、水深の浅い箇所ではアマモ場が形成されている(図2d-f)ことが既往研究および現地調査により分かっている。一般にカキ養殖は出荷までに約2-3年程度の期間を要するが、長面浦では1年未満で出荷できる大きさにまで成長し、生産性の高い海域が形成されており、例年11月下旬から翌年4月にかけて出荷される。

そこで、本格的な出荷が開始される直前の2019年11月20-22日の11-15時頃にかけてドローンによる現況調査を実施した。ドローンはDJI社のMavic2 Zoomを使用し、海面での太陽光反射を抑制するためカメラに偏光フィルターを装着して撮影を行った。



(図1) 宮城県石巻市長面浦の位置



(図 2) 長面浦のカキ養殖とアマモ場

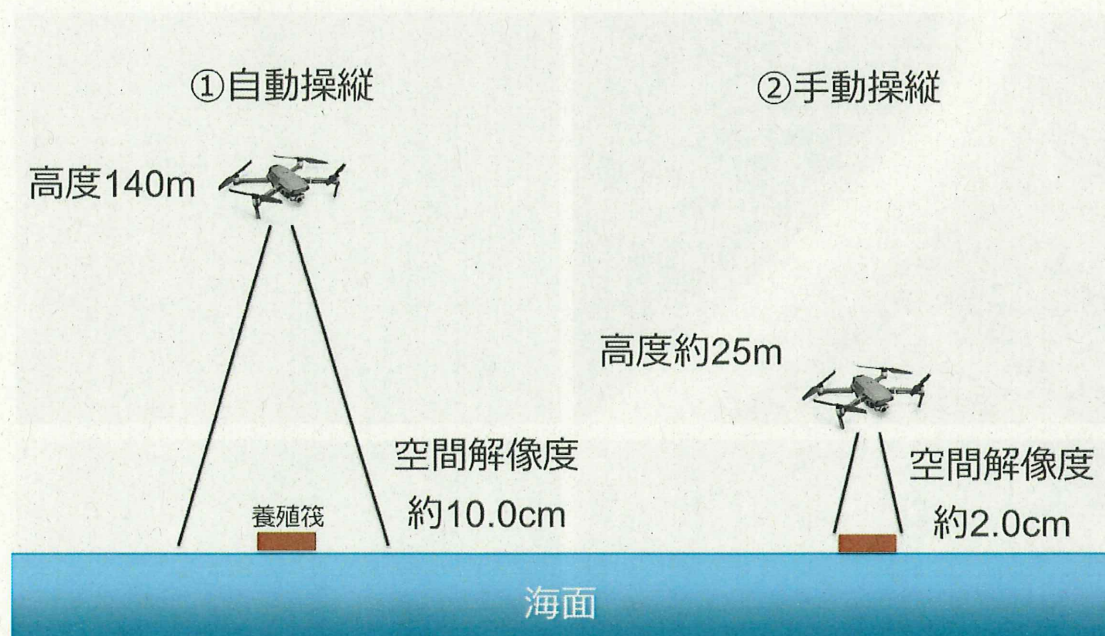
(a) 上空からの斜め写真、(b) カキ養殖筏、(c) 養殖カキの垂下ロープ、  
 (d) 海面に浮遊するアマモ、(e) 陸に打ち上げられたアマモ、(f) 水中に生息するアマモ



## 2. 2 ドローンによるデータ撮影方法

自動操縦と手動操縦による2通りのドローン撮影を行った(図3)。はじめにソフトウェアDJI GS Proを用いて長面浦全域を自動操縦にて撮影した。パラメータは高度140.0m、航行速度13.5m/s、オーバーラップ率:フロント67%、サイド65%とした。撮影された写真の空間解像度は約10.0cmであった。撮影した写真はソフトウェアMetashape professional(Agisoft社)を用いて1枚のオルソモザイク画像を合成した。

次に、カキ養殖量を推定するため養殖筏から吊り下げられているロープ本数を調査した。手動操縦により、高度25.0m付近から養殖筏が1枚の画像に収まるよう直下視撮影を行った。撮影された写真の空間解像度は約2.0cmであった。得られた画像の目視判読により、養殖筏に垂下されている養殖ロープの本数と空間配置を調べた。



(図3) ドローンによるデータ撮影方法の概要



### 3 結果と考察

#### 3.1 オルソモザイク画像の作成

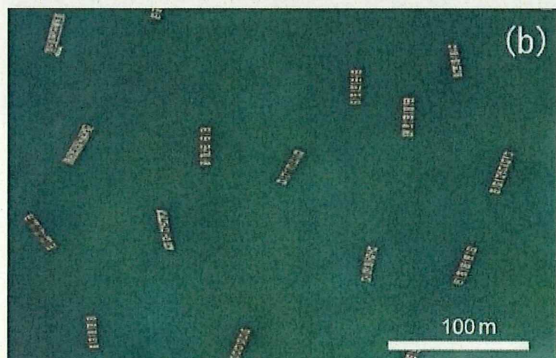
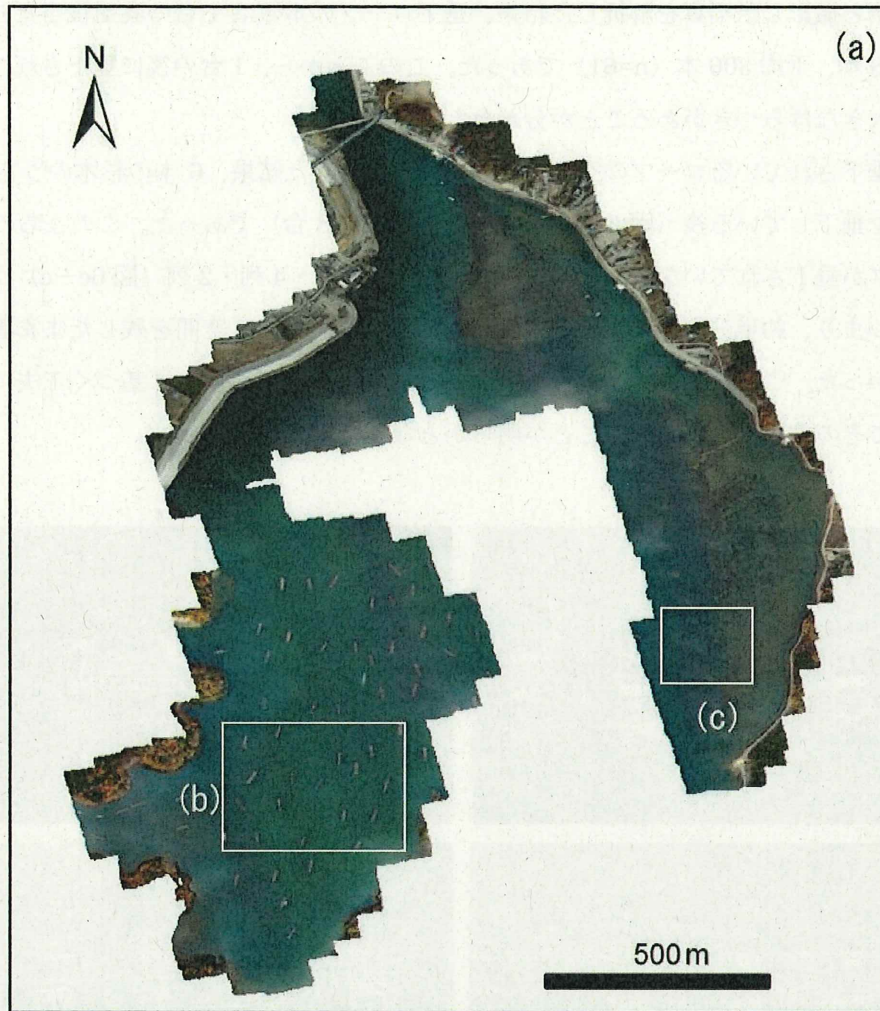
自動操縦により 391 枚の写真を撮影し (図 4a-d)、これらの写真を 1 枚のオルソモザイク画像に合成した (図 5)。この結果、合成に成功したのは 261 枚で全体の約 6 割であった。合成されたのは陸地から近い水域が中心であり、陸地から離れた中央付近の海面はうまく合成されなかった。これは海面上には目印となる特徴的な物が少ないこと、海面が常に流動していること、海面からの太陽光反射が大きかったことなどが理由として考えられる。

合成に成功したオルソモザイク画像からは、養殖筏が設置されている水域 (図 5b)、海面下に生息している海草藻場を判読することができた (図 5c)。



(図 4) 高度 140m からドローン撮影した写真の一部





(図5) 撮影した写真を合成したオルソモザイク画像

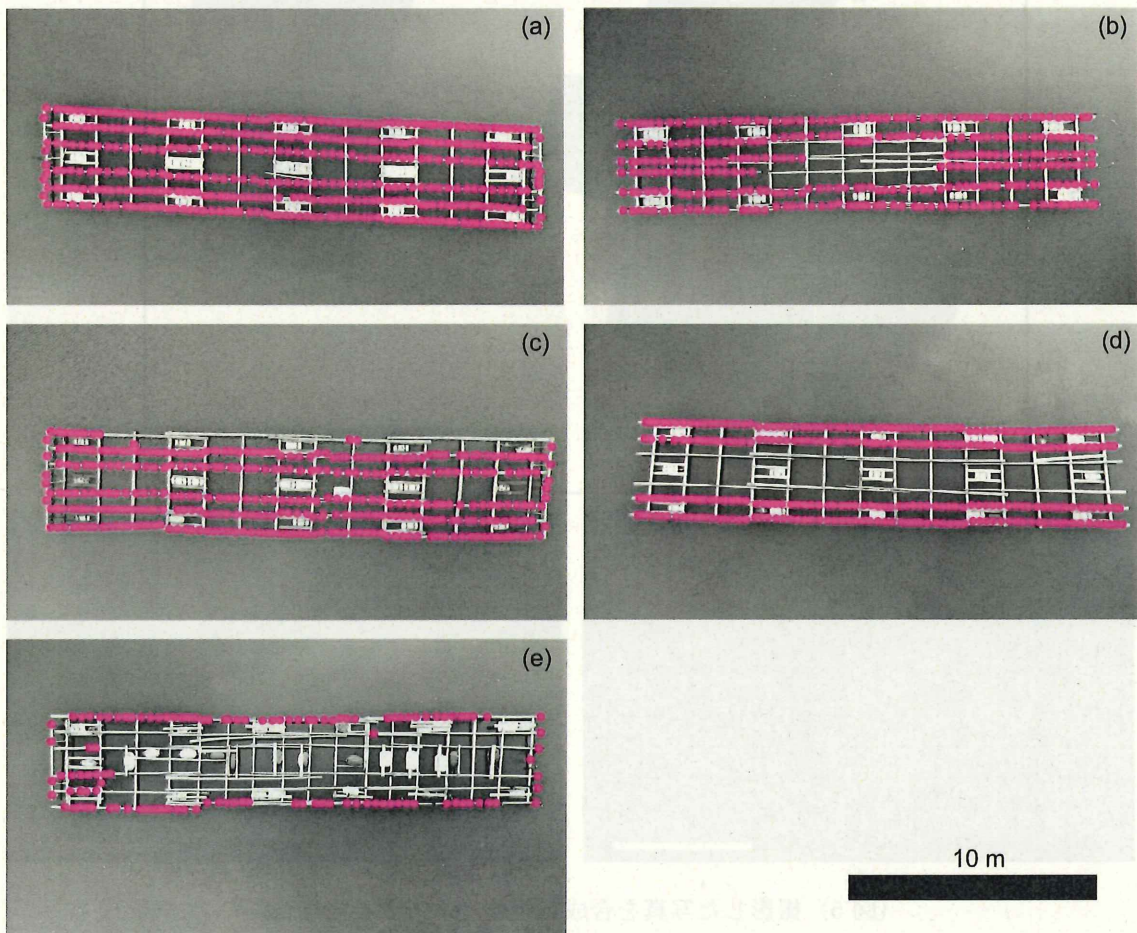
(a) 全体図、(b) 養殖筏の配置、(c) 海草藻場の生息域 (色の濃い箇所)



### 3. 2 養殖筏1台当たりの養殖ロープ本数と空間配置

ドローンから撮影した写真を解析した結果、垂下ロープの本数は1台の養殖筏当たり最小148本、最大498本、平均306本 ( $n=61$ ) であった。このことから、1台の筏に垂下されているカキ養殖量には大きなばらつきがあることが分かった。

養殖筏に垂下されているロープの空間配置について解析した結果、6本の杉木のうち6列すべてにロープを垂下している筏(図6a)が全体の約62%(38台)であった。このうちの8台は中央部にロープが垂下されていなかった(図6b)。残りは5列・4列・2列(図6c-e)から垂下されていた。つまり、約半分の養殖筏はまだ養殖ロープを垂下できる空間を残したまま養殖していることが分かった。これはカキ生産性を向上させるための漁業者の経験に基づく工夫であり、漁業者によってその方法に違いがあることが明らかとなった。



(図6) 養殖ロープ(紫色)の垂下位置



#### 4 まとめ・おわりに

宮城県石巻市長面浦を対象地域として、ドローンから養殖筏の台数・配置と海草藻場の生息域の把握が可能であるか調査した。はじめに長面浦全域のオルソモザイク画像の作成を行い、撮影した写真の約6割について自動合成に成功した。調査海域の中央付近の海面はオルソモザイク画像を作成することができなかつたため、今後の課題として残った。合成に成功したオルソモザイク画像からは養殖筏の台数・配置に加えて、海面下に生息する海草藻場を確認することができた。次に養殖筏から垂下されている養殖ロープ本数と空間配置を目視判読により解析した。この結果、垂下可能な空間を最大限利用しているものは全体の約半分であり、残る約半分はまだ垂下可能な空間を残したままとなっていた。これはカキ生産性を向上させるための漁業者の経験に基づく工夫であり、漁業者によってその方法に違いがあることが明らかとなった。

以上のように、ドローンを用いて海洋状況把握手法の開発に取り組んだ。一部課題は残ったものの養殖筏の台数・配置や海草藻場の生息域の調査に用いることは可能であった。さらに、ドローンを用いることで養殖筏から垂下されている養殖ロープ本数と空間配置を調査できることも分かった。これは高分解能光学衛星画像ではその空間分解能から把握することは困難であり、ドローンを用いることで初めて得られる情報である。つまり、ドローンを用いた調査は人工衛星画像よりも詳細に漁場活用に関する情報を調査することができ、導入に要する費用も比較的安価であることから、新たな調査方法として社会実装を推進できるものであると考えている。

#### 5 成果

##### 【論文（査読有）】

Hiroki Murata, Motoyuki Hara, Chinatsu Yonezawa, Teruhisa Komatsu. 2021. Monitoring oyster culture rafts and seagrass meadows in Nagatsura-ura Lagoon, Sanriku Coast, Japan before and after the 2011 tsunami by remote sensing: their recoveries implying the sustainable development of coastal waters. *PeerJ*9:e10727

<http://doi.org/10.7717/peerj.10727>

##### 【学会発表】

村田裕樹、原素之、山崎耀平、齊藤昌弥、米澤千夏. 2020. 宮城県長面浦のカキ養殖漁場の環境収容力把握のためのドローンによる現況調査. (一社)日本リモートセンシング学会 第69回学術講演会 (2020年12月21日)





B16 宮城県長面浦のマガキ養殖漁場の環境収容力把握のための  
ドローンによる現況調査

Drone-based monitoring of the current situation of oyster aquaculture area in  
Nagatsura-ura Lagoon, Miyagi Prefecture for grasping environmental carrying capacity

○村田裕樹<sup>1</sup>・原素之<sup>2</sup>・山崎耀平<sup>2</sup>・齊藤昌弥<sup>2</sup>・米澤千夏<sup>3</sup>  
Hiroki Murata, Motoyuki Hara, Yohei Yamazaki, Masaya Saito and Chinatsu Yonezawa

**Abstract** : We tried to generate an ortho-mosaic image of aquaculture area from drone images in Nagatsura-ura Lagoon, Miyagi Prefecture. In addition, we investigated the number and spatial distribution of oysters hanging ropes from aquaculture rafts. An ortho-mosaic image was successfully processed except for the center water area of the target site. From the spatial distribution analysis, approximately 40% of the raft aquaculture facilities used whole space of the aquaculture raft that could hung the oysters hanging ropes, and other 60% still had enough space to hung. From this study, we suggest the number of ropes shows actual amount of cultivated oyster, and its monitoring is effective for evaluation of aquaculture scale to keep environmental carrying capability.

**Keywords** : fishery measurement, environmental carrying capacity, oyster aquaculture raft, drone-based monitoring

1. はじめに

沿岸海域ではマガキ、ホタテガイ、ワカメ等の無給餌養殖が行われており、世界人口の増加に伴う食糧需要に対応するための食料供給源として期待されている。無給餌養殖は生態系の生産力を間引きながら利用しているため、過密養殖による過度な間引きや糞の蓄積による底質悪化によって養殖生産性が低下することが知られる(古谷ら, 2006)。そのため、持続的な養殖生産のためには環境収容力を把握し、養殖漁場を適切に管理する必要がある。

日本では古くから漁業者の経験に基づいて養殖漁業が営まれてきた。そのため、同海域であってもそのやり方には違いが見られる。養殖海域の環境収容力を正しく評価するためには、このような違いを認識しておく必要がある。近年では、数値モデルから環境収容力を推定する試みが行われており(例えば山本ら, 2017)、持続的な養殖生産を実現するための有効なツールとなり得る。これを実施するためには、養殖漁場と海洋環境の現況把握が必要である。一方でこれらの情報を海上調査から把握することは費用面・労力面から容易でない。さらに、漁業法の改正(2020年12月1日施行)によって、漁業権者は都道府県知事(免許権者)に対して漁場活用に関する情報の報告が義務づけられた。これらを同時に達成するためには、汎用性のある実用可能な方法で情報を取得できることが望ましい。

そこで本研究では、比較的安価に入手可能で、近年、一般にも普及しつつあるドローンから沿岸海域に設置されている養殖筏に関して得られる情報について検討した。

2. 対象地域および調査方法

2.1 対象海域と使用機材

宮城県石巻市の長面浦を対象地域とした。長面浦は新北上川河口近くに位置する面積1.41 km<sup>2</sup>の汽水湖である。長面浦では約100台の養殖筏を用いてマガキ(*Magallana gigas*)の養殖が行われている。一般にマガキ養殖は、出荷までに約2-3年程度の期間を要するが、長面浦では1年未満で出荷できる大きさにまで成長し、生産性の高い海域が形成されている。これは、春季ブルーム後(6月以降)から10月頃までの長期間にわたって、高いクロロフィルa濃度が維持されていることが要因であると考えられている(金子ら, 2019)。マガキはその後、11月中旬から翌年4月頃にかけて出荷される。

そこで、本格的な出荷が開始される直前の2019年11月20-22日の11-15時頃にかけてドローンによる現況調査を実施した。ドローンはDJI社のMavic2 zoomを使用し、純正カメラに偏光フィルターを装着して撮影を行った。

2.2 ドローンによるデータ撮影

長面浦全域を自動航行による撮影を行った。ソフトウェアはDJI GS Proを用いた。パラメータは高度140.0 m、航行速度13.5 m/s、オーバーラップ率: フロント 67%、サイド 65%とした。空間解像度は約10.0 cmであった。得られた画像はAgisoft Metashape professionalを用いてモザイク画像を作成した。

次にマガキ養殖量を推定するため、養殖筏1台当たり垂下されているロープ本数を調査した。手動操作により、筏の上空25.0 m付近から養殖筏が1枚の画像に収まるよう、直下視撮影を行った。空間解像度は約2.0 cmであった。得られた画像の目視判読により、養殖筏に垂下されている養殖ロープの本数と空間配置を調べた。

<sup>1</sup>学生会員 東北大学大学院農学研究科  
(所在地 〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉468-1)  
(連絡先 Tel: 022-757-4192,  
E-mail: [murata.ykhm@gmail.com](mailto:murata.ykhm@gmail.com))

<sup>2</sup>非会員 東北大学大学院農学研究科

<sup>3</sup>正会員 東北大学大学院農学研究科



### 3. 結果と考察

#### 3.1 長面浦の養殖筏の空間配置地図の作成

長面浦全域のモザイク画像を作成した (Fig.1 (a))。ただし、合成できたのは陸地から近い水域がほとんどであり、陸地から離れた中央付近の海面はうまく合成されなかった。これは海面上には目印となる特徴的な物が少ないことや海面が常に流動していること、海面からの太陽光の反射が大きかったことなどが理由として考えられる。合成に成功した水域 (Fig.1 (b)) には養殖筏が多く設置されており、これらが目印の一つとなって合成が可能となったことが考えられる。なお、作成したモザイク画像からは水中の海草藻場も確認された (Fig.1 (c))。

#### 3.2 筏1台当たりの養殖ロープ本数と空間配置の把握

ドローンから撮影した画像を解析した結果、垂下ロープの本数は1台の養殖筏当たり最小148本、最大498本、平均306本 (n=61) であった。このことから、1台の筏に垂下されているマガキ養殖量には大きなばらつきがあることが分かった。また、養殖筏に垂下されているロープの空間配置について解析した結果、6本の杉木のうち6列すべてにロープを垂下している筏 (Fig.2 (a)) が全体の約62% (38台) であった。両端2本ずつの計4列にロープが垂下されていた筏 (Fig.2 (b)) は全体の約26% (16台) で、残りは2列や5列もしくはそれ以外の場所に垂下されていた (Fig.2 (c))。なお、6列すべてからロープが垂下されている養殖筏であっても、筏中心部にロープが垂下されていないものが全体の約13% (8台) あった (Fig.2 (d))。

#### 4. まとめ

長面浦全域のモザイク画像作成を試みたところ、陸地から近い水域と養殖筏が多く設置されていた水域についてはモザイク画像を合成できた。一方、調査海域の中央付近の海面はモザイク画像を作成することができなかった。これについては、今後の課題である。

次に、養殖筏に垂下されているロープ本数と空間配置を解析した。その結果、垂下可能な空間最大限にマガキ養殖ロープを垂下しているものは全体台数のうちの約4割であり、残る約6割はまだ垂下可能な空間を残したままとなっていた。これはマガキ生産性を向上させるための漁業者の経験に基づく工夫であり、漁業者によってその方法に違いがあることを示している。

養殖漁業は環境収容力に対して適切な規模を維持して実施する必要がある。本研究はドローンによる観測が、養殖漁場の実際の利用状況と養殖量を詳細に把握するために有効であることを示した。

#### 謝辞

本研究は、東北マリンサイエンス拠点形成事業「海洋生態系の調査研究」と公益信託エスベック地球環境研究・技術基金の支援を受けて行った成果の一部である。

#### 【参考文献】

- 1) 古谷研, 岸道郎, 黒倉寿, 柳哲雄, 養殖海域の環境収容力, 恒星社厚生閣, 1998
- 2) 山本裕規, 吉木健吾, 小松輝久, 佐々修司, 濱名正泰, 村田裕樹, 柳哲雄, 志津川湾におけるカキ養殖等の環境容量に関する数値モデル解析-震災前と現在の比較. 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 73(2), I\_1339-I\_1344, 2017
- 3) 金子健司, 奥村裕, 原素之, 宮城県長面浦における栄養塩の供給経路と高濃度のクロロフィルaの維持機構, 水産海洋研究, 83(3), 171-180, 2019

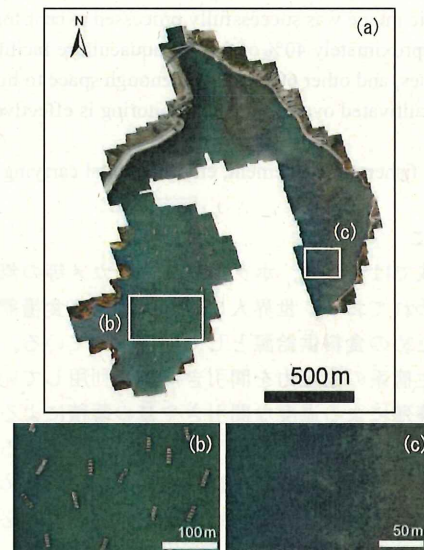


Fig.1. Ortho-mosaic image of Nagatsura-ura Lagoon, Miyagi Prefecture observed at 22, Nov 2019. (a) Whole of ortho-mosaic image. (b) Oyster aquaculture area. (c) Seagrass meadow area.

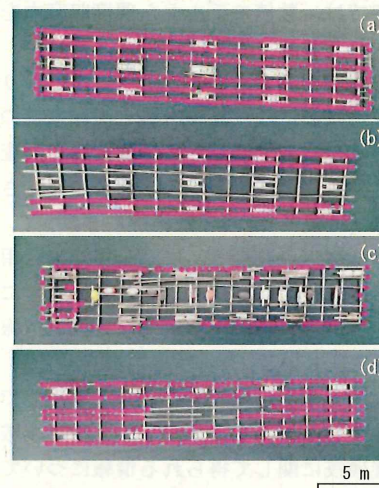


Fig.2. Spatial distribution of ropes hanging on the raft. (a) Ropes hanging from six poles. (b) Ropes hanging from four poles. (c) Ropes hanging from two poles and others. (d) Ropes hanging from six poles without center part. Purple dots show the oyster hanging ropes.