

# 寒冷沿岸施設における自然環境調和機能の評価に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 29～令 3

担当チーム：水産土木チーム

研究担当者：的野博行、河合浩、須藤賢哉、  
伊東公人、梶原瑠美子、稲葉信晴

## 【要旨】

寒冷沿岸域の港湾・漁港施設における造成藻場の自然環境調和機能を評価するため、北海道北東部に位置する元稲府漁港（雄武町）の二重堤間の造成藻場を対象として、潜水調査と空撮の関係から、海藻被度を面的に把握する簡易な藻場のモニタリング方法について検討した。本報告では、空撮写真を画像解析する際、R、G、B 値に差が出るように海藻被度を3つの階級に区分した教師とすることで、問題のない精度で教師付き分類画像が作成でき、二重堤間全域の海藻被度を面的に把握できた。また、潜水調査での測点間隔の違いによる分類精度の比較により、効率的な調査手法についても検討することができた。これにより、経年的に簡易な造成藻場の現状把握が可能となり、本手法を造成藻場の維持管理手法として提案した。

キーワード：自然環境調和機能、造成藻場、維持管理

## 1. はじめに

寒冷沿岸域の港湾・漁港施設は、静穏域確保等の本来機能のほかに副次機能として魚礁、産卵礁、海藻の着生基質として機能し、藻場が造成されることにより自然環境調和機能を発揮する。このような造成藻場は多くの魚介類の生息や産卵・保育の場になるなど、豊かな生物多様性と高い生物生産性のポテンシャルを持っている。

北海道内では約 30 年前から防波堤や護岸等に藻場創出機能を付加した自然環境調和型沿岸構造物が整備されてきた。しかし、近年の気候変動に伴う海水温上昇などの海域環境の変化により、海藻草類の衰退、藻場構成種の変化、分布域の北上が懸念されており<sup>1),2)</sup>、北海道日本海側では藻場の消失（磯焼け）が深刻な問題となっている。これにより造成藻場においても当初期待された機能の低下が生じており、造成藻場の適切な維持管理による持続的な自然環境調和機能の発現が求められている。

一般的な土木構造物の維持管理は、コンクリートのひび割れ等の点検・評価を行い、劣化メカニズム（物理的・化学的な観点）から機能診断を行い、その上で必要な対策を検討している。一方、自然環境調和型沿岸構造物の機能診断については、天然藻場の繁茂状況の季節変化をモニタリングする手法<sup>3)</sup>はあるものの、機能診断を行うための藻場のモニタリング手法や、造成藻場の生物学的な面からの生物生息環境の系統的な機能評価手法は確立されておらず、これらの構造物の機能保全対策は進んでいないのが現状

である。

そのため、本研究では、藻場のモニタリング方法とともに、既往の機能評価手法の高度化に取り組んだ。

天然藻場のモニタリングは、海藻種の繁茂期を含め年 1 回以上の頻度で被度と面積を把握し、得られた結果を経時的に比較する方法が示されている<sup>3)</sup>。しかし、特に漁業者等の地元関係者が藻場の状況を継続的にモニタリングする場合、潜水調査では測線本数・測点間隔等のモニタリング方法の設定や労力・費用等の課題がある。そのため、このような課題に対応し、できるだけ費用を抑えて簡易に藻場の被度や面積を把握でき、かつ長期にわたり継続的に藻場のモニタリングが行える、簡易な藻場の現状把握手法が必要である。

本報では、評価機能を行うために重要な藻場のモニタリング方法に関して、主な研究成果<sup>4)</sup>から、近年効率的なモニタリング方法として広く利用されるようになったドローンによる空撮写真を用いて、簡易に藻場の現状を把握する方法について検討した内容を報告する。このような藻場のモニタリング方法により、経年的な造成藻場の現状把握が可能となり、造成藻場の維持管理手法として貢献できると考えられる。

## 2. 材料と方法

地元関係者が藻場の経年的な経過観察を長期間行っていく場合の課題に配慮し、ドローンで撮影した写真をもと

に、国内で一般公開されている画像解析ソフトを活用して、潜水調査地点の被度と空撮写真の色 (R, G, B) との関係から教師付き分類画像を作成し、面的な海藻被度の分布に加え面積も算出する簡易な方法について検討した。また、潜水調査を実施する際に効率的なモニタリング方法を検討できるよう、異なる被度階級区分での分類画像や、測点間隔を長くした場合における分類画像を作成して測点間隔での精度も比較した。

## 2. 1 藻場の潜水調査

検討の対象とした元稲府漁港は、北海道雄武町に位置する第4種漁港である。調査箇所図及び二重堤の標準図を図-1に示す。

二重堤間における藻場調査は、従来から一般的な潜水調査と同様に潜水技師による目視観察が行われている。具体的には、二重堤間の4測線 (L=90m) を対象として、起点と終点をGPSで測位し、起終点間の海底に配置したロープを潜水移動して5m間隔に方形枠 (1m×1m) を設置した上で、枠内の海藻被度を目視観察するものである。今回も同様の方法で2017年6、8、12月、2018年6、9月に潜水調査を行った。その結果、各海藻種の被度割合を表す被度組成では、2017年6月から2018年9月までの5回の調査において、リシリコンブは、80~94%を占める当海域の最優占種であることが確認された。

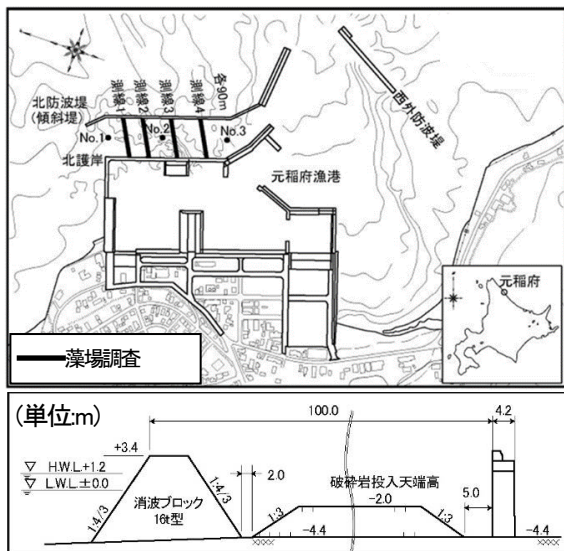


図-1 元稲府漁港における調査箇所図、二重堤断面図

## 2. 2 空撮と画像作成

二重堤間全域の藻場の空撮は、マルチコプター (PHANTOM4 PRO DJI 社) (以下、「ドローン」という) により、2017年8月の潜水調査時に行った (写真-1)。太陽

光の反射などの影響が出ないよう低高度でのテスト飛行により高度を100mとして、撮影した複数枚の写真をラップ率80%以上でつなぎ合わせて二重堤間の画像を作成した。



写真-1 空撮に使用したマルチコプター

## 2. 3 画像解析の手法

### 2. 3. 1 画像解析のフロー

検討した空撮写真の画像解析による藻場の現状把握 (海藻被度の面的な把握) の簡易的な方法のフローチャートを図-2に示す。

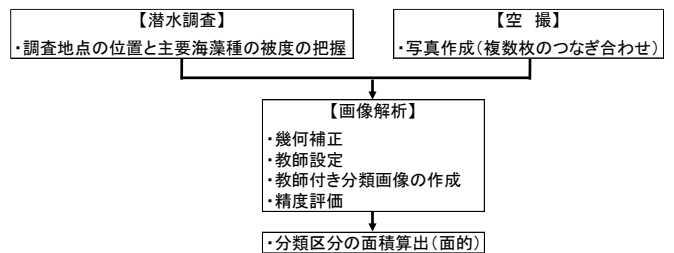


図-2 簡易的な画像解析のフローチャート

はじめに、対象範囲の潜水調査と同時にドローンで空撮を行った。次に、空撮写真の幾何補正を行った後に教師設定を行い、教師付き分類画像を作成した。最後に、潜水調査結果との比較により画像解析の精度を確認した上で、対象箇所全域の海藻被度の分布とその面積を算出した。今回行った教師付き分類とは、作成した教師の統計的特徴に基づき写真画像を分類することである。そのため教師として、あらかじめ分類可能な海藻の被度階級の区分を設定した。画像を解析するソフトは、簡易に空撮写真の画像解析が可能で2008年9月から一般公開・随時更新されている「RSP Ver3.067」とした。当該ソフトは日本語の利用マニュアルとともに一般公開され、動作環境 (OS) がWindows7, 10で空撮写真の幾何補正から面的な海藻被度の面積算出まで、このソフトのみで簡易にできることから、地元関係者による作業を想定した場合、活用ソフトとして適していると考えられる。

### 2. 3. 2 幾何補正と教師設定

幾何補正とは、写真のゆがみを補正するために行う前処

理のことである。作成した元稲府漁港二重堤間の空撮写真をRSPで読み込み、防波堤の角など任意の4点を選んで、その緯度経度をRSP上での座標に変換する。これにより空撮写真のRSP上での位置(座標)が分かるようになる。教師とは、予め分類可能な海藻被度の階級を定め、各階級に属する空撮写真の色のデータのことである。今回は潜水調査結果から、優占するリシリコンブの被度を対象として、区分した被度階級で、潜水調査地点の半数を用い教師を作成した。写真の色は基本色である赤(R)、緑(G)、青(B)で構成され(最小値0、最大値255)、それぞれの色の波長の反射量で発色が決まる。このため、分類する被度の階級は、R、G、B値に差が出るように区別することが重要である。被度階級は、改訂磯焼け対策ガイドライン<sup>3)</sup>で示されている海藻被度の区分を勘案して設定した。

### 2. 3. 3 教師付き分類画像の作成

教師付き分類画像とは、作成した教師に基づき分類される画像のことで、RSPでは最尤法により分類画像を作成できるようになっている。

教師を作成する際、潜水調査では1m×1mの方形枠内の被度を把握していることから、その調査地点と同じ地点(1m×1m)のR、G、B値で教師を設定し、教師付き分類画像を作成した。

### 2. 3. 4 精度評価

精度評価は、リシリコンブの教師を後述する3段階の被度の区分で、教師設定に用いなかった残りの地点の潜水調査結果(参照データ)と、作成した教師付き分類画像(分類結果)を比較し、正確に分類された地点の割合を全体精度として評価することとした。

### 2. 3. 5 分類区分の面積の算出

作成した教師付き分類画像から各分類区分の面積を算出した。さらに、各分類区分の面積とその分類区分に属する潜水調査のリシリコンブの平均被度から、分類画像全域のリシリコンブの被度を求めた。精度は、潜水調査全76地点のリシリコンブの被度の平均値と比較し評価した。

## 3. 画像解析の結果と考察

### 3. 1 幾何補正と教師設定

ドローンにより空撮した二重堤間の写真の一部を写真-2に示す。このような写真を複数枚撮影し、ラップ率80%以上でつなぎ合わせて合成画像を作成した後、幾何補正を行った。幾何補正後の空撮写真を写真-3に示す。

また教師設定に関しては、調査地点のリシリコンブの被度と空撮写真のR、G、B値との関係について、空間解像度1m×1mでの結果を図-3に示す。



写真-2 ドローン撮影した二重堤間の空撮写真(一部)



写真-3 幾何補正後の二重堤間の空撮写真

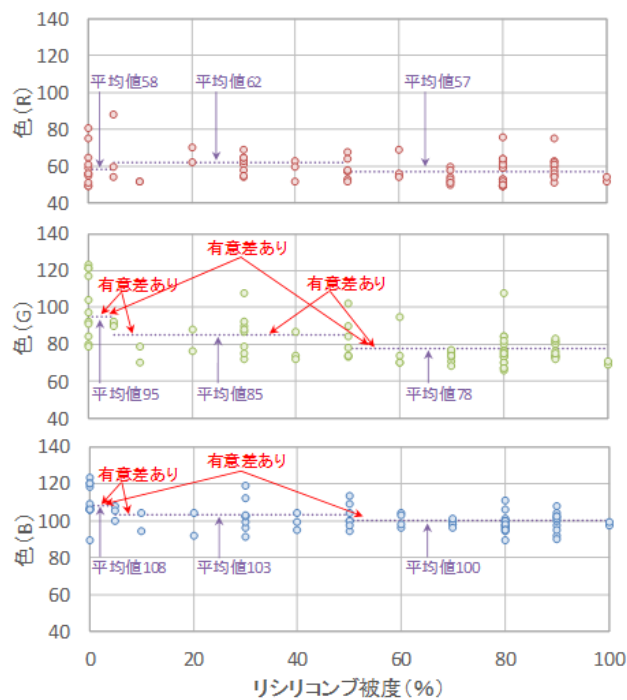


図-3 リシリコンブ被度と空撮写真R, G, B値との関係

海藻被度の階級については、改訂磯焼け対策ガイドライン<sup>3)</sup>で示されている被度の階級区分(0~5、5~25、25~50、50~75、75~100%)の中から、「密生」として区分されている50%と着生の有無の把握が可能な5%を境界とした0~4、5~49、50~100%の3階級でR、G、Bの有意差の有無を検定した。その結果、Gは3階級どうし全てに有意差( $P < 0.05$ )があり、Bは0~4%と5~49%に、0~4%と50~100%に有意差( $P < 0.05$ )があったことから分類可能と考え、この3階級で区分することとした。

### 3. 2 教師付き分類画像の作成

設定した教師を表-1に、設定した教師で作成した教師付き分類画像を図-4に示す。なお、二重堤間には水上部が存在するため、あらかじめ水上部を陸域として白色に教師付けを行った。

表-1 教師

被度階級 (%)	地点数	空間解像度		
		1m×1m		
		R	G	B
0~4	11	58	95	108
5~49	18	62	85	103
50~100	47	57	78	100

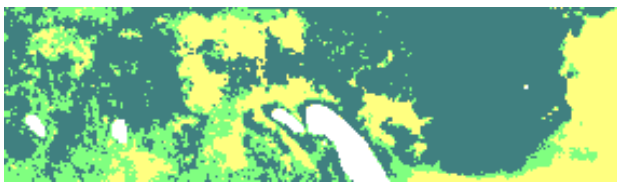


図-4 教師付き分類画像

(黄:0~4%, 黄緑:5~49%, 緑:50~100%, 白:陸域)

### 3. 3 精度評価

1m×1mの空間解像度で作成した教師付き分類画像の精度評価を表-2に示す。全体精度は70%であった。環境省では藻場と藻場以外の区分や干潟と干潟以外の区分に対する画像解析の精度評価について60~80%の指標値を用いて全体精度と比較している<sup>5)</sup>。今回の検討では藻場の被度階級の区分を3つとしており、藻場と藻場以外など環境省の事例と区分内容が異なるため、指標値(60~80%)と単純に照らし合わせることはできないが、3つの被度階級に区分した全体精度が、評価指標値の範囲内であることを評価すると、本手法の精度に問題はないと考えられた。

表-2 精度評価

空間解像度 1m×1m		参照データ			
		0-4	5-49	50-100	合計
分類結果	0-4	5	2	1	8
	5-49	0	2	3	5
	50-100	0	5	19	24
	合計	5	9	23	37
全体の精度		0.70			

### 3. 4 分類区分の面積の算出

潜水調査結果のリシリコンブ平均被度と教師付き分類画像から求めたリシリコンブの全域被度を表-3に示す。

教師付き分類画像から求めたリシリコンブ全域被度は48.2%であり、潜水調査結果のリシリコンブ平均被度52.3%と同程度であった。

このことから、元稲府漁港二重堤間の藻場の経過観察に本手法は活用可能と考えられた。

表-3 平均被度(潜水調査)と全域被度(画像解析)

潜水調査			教師付き分類画像	
被度階級 (%)	地点数	リシリコンブ平均被度 (%)	空間解像度 1m×1m	
			面積 (m <sup>2</sup> )	リシリコンブ全域被度 (%)
0-4	11	0.0	5,141	48.2
5-49	18	24.2	4,278	
50-100	47	75.3	12,949	
陸域	-	-	798	
計	76	-	23,166	-

### 3. 5 被度階級区分と潜水調査の測点間隔

同じ潜水調査結果や画像を用い、海藻の着生有りと無しでの2区分で行った教師付分類では、全体の精度は89%であり、被度により3区分とした場合の70%よりも高い値であった。しかし、リシリコンブ全域被度は、潜水調査結果のリシリコンブ平均被度と教師付き分類画像から求めたリシリコンブ全域被度に11.3~13.5%の差が生じた。3区分とした場合ではそのような差が見られなかったことから、被度階級に区分可能な潜水調査やそれらを用いた画像解析を行うことで、対象全域の被度のような現地の状況を把握できると考えられた。

加えて、今回の測点間隔5mで行われた潜水調査から、間隔10mまたは20m測点のみの潜水調査結果を用い、同様に被度3区分で教師付画像分類を行った。その結果、全体精度は、調査測点間隔が長くなるほど低下していく傾向があったが、全域被度はともに同等であり、潜水調査結果のリシリコンブ平均被度と同程度であった。そのため、例えば、本画像解析の方法で面的な海藻被度の把握を経年的に行っていく場合には、潜水調査の測点間隔を20m間隔とし、数年に1回5m間隔で詳細な調査を行うなど、労力や費用を抑えた長期藻場観察の検討が可能であると考えられた。

## 4. まとめ

本報告の主要な結果を以下に記載する。

- ① 北海道北東部に位置する元稲府漁港の潜水調査結果と空撮写真を用い、簡易に藻場の被度や面積を面的に把握する方法として、一般公開されている画像解析ソ

フト RSP を活用して（公開 HP に使用許諾条項の記載有り）、教師付き分類画像を作成・精度を評価することができた。

- ② 磯焼け対策ガイドラインに基づく 3 階級の被度区分で分類画像を作成したところ、既往文献での分類精度と同程度であり、環境省が精度評価に用いている指標値以上でもあった。加えて、従来の藻場経年観察で用いられてきた潜水調査での平均被度と同程度の対象域全域被度も算出可能であった。
- ③ この方法で藻場を経過観察する場合、教師データ作成のための被度階級の区分が、藻場の海藻被度を面的に把握する上で重要と考えられた。
- ④ 潜水調査での測点間隔の違いによる分類精度の比較により、効率的な調査手法についても検討することができた。

以上により、ドローンで撮影した空撮画像と潜水調査結果を関連付けた画像解析により、二重堤間全体の藻場の現状を短期間で把握する手法を構築でき、経年的な造成藻場の現状把握が可能となり、造成藻場の維持管理手法として提案することができた。

藻場は、環境変化の影響等により衰退したり消失したりすることがあることから、その状態を適切にモニタリングして、順応的に管理・保全していく必要がある。今後、モニタリングに係る労力や費用の低減を図り、かつ長期的な取組にもつなげるために、教師付けの精度向上とともに、撮影回毎の潜水調査を行わず空撮と画像解析のみで二重堤間全域のリシリコンブの被度を簡易に把握するための、撮影時期の異なる画像間の補正方法を提案することも、課題と考えている。

## 参考文献

- 1) 水産庁漁港漁場整備部：気候変動に対応した漁場整備方策に関するガイドライン，p. 70，2017.
- 2) 須藤健二，渡辺健太郎，四ツ倉典滋，仲岡雅裕：Predictions of kelp distribution shifts along the northern coast of japan, Ecological Research, 2019.
- 3) 水産庁：改訂磯焼け対策ガイドライン，pp. 150-152，2015.
- 4) 丸山修治，梶原瑠美子，石井馨：空撮写真を用いた簡易的な面的海藻被度の把握，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 76（2），pp. 1\_828-1\_833，2020.
- 5) 環境省：瀬戸内海における藻場・干潟分布状況調査結果（西部海域），2018.

# STUDY ON EVALUATION OF NATURAL ENVIRONMENT HARMONY FUNCTION IN COLD COASTAL FACILITIES

Research Period : FY2017-2021

Research Team : Fisheries Engineering Research Team

Author : MATONO Hiroyuki

KAWAI Hiroshi

SUDO Kenya

ITO Kimihito

KAJIHARA Rumiko

INABA Nobuharu

**Abstract** : In order to evaluate the natural environment harmonization function of the algae plant in the harbor and fishing port facilities in the cold coastal area, diving in the algae plant between the double embankments of Motoineppu fishing port (Oumu Town) located in the northeastern part of Hokkaido. From the relationship between the survey and aerial photography, we examined a simple method for monitoring the algae field to grasp the seaweed coverage in a plane. In this report, when analyzing aerial photographs, the teachers are divided into three classes of seaweed coverage so that there are differences in R, G, and B values. Was created, and the seaweed coverage of the entire area between the double embankments could be grasped in a plane. In addition, we were able to study an efficient survey method by comparing the classification accuracy based on the difference in station intervals in the diving survey. This made it possible to easily grasp the current state of the algae plant over time, and proposed this method as a maintenance method for the algae plant.

**Key words** : Natural environment harmony function, Algae plant, Maintenance