

航空写真と衛星画像を併用した藻場の 定量的算定手法について

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム ○佐藤 仁
道央支所 熊谷 直哉
水産土木チーム 渡辺 光弘

海域におけるいわゆる磯焼け状態が拡大し藻場の衰退が問題視されている。その原因を解明し今後の保全対策を検討するためには、過去に遡って藻場分布の経年変化を把握する必要がある。通常実施される潜水によるモニタリング調査以外に、リモートセンシングによる藻場分布の把握は、有効な手法の一つである。今回、自然調和型沿岸構造物として藻場造成機能を有する背後小段付傾斜堤を対象として、潜水調査及び航空写真・衛星画像を組み合わせた解析手法を検討した。その結果、藻場の分布・海藻被度・現存量の定量的な把握を行うことが可能となった。

キーワード：航空写真、衛星画像、藻場、分布面積、被度・現存量

1. はじめに

藻場は水産上有用な生物資源の生産及び生息場として重要であるが、磯焼けなどによる環境変化により、その分布は減少の一途をたどっている。そこで北海道内では、10年以上前から防波堤や護岸等への藻場造成機能を付加した自然調和型沿岸構造物が整備されてきた。しかしながら、その構造物においても、基質の経年劣化や近年の水温上昇等により、藻場造成効果の低下が懸念されている。

この藻場の減少要因を特定するためには、整備段階からの藻場分布、海藻種類構成等を把握する必要がある。しかしながら、費用等の面から潜水によるモニタリング調査を定期的かつ広域的に実施することは困難であり、長期間にわたり定量的に藻場を把握した例は少ない。

本報告は、過去に整備された自然調和型沿岸構造物の藻場形成としての変遷過程を把握することを目的に、航空写真及び衛星画像を用いた藻場分布面積、被度、現存量等の定量的算定手法について検討したものである。

2. リモートセンシングによる藻場分布域の把握

リモートセンシングやGISを用いた里地・里山、自然林、湿地・湿原、都市、河川・海岸などにおける生態系の研究は、1990年代から盛んに行われるようになった。Haines-Youngによると、この手法を用いる利点を次のように述べている¹⁾。

・広大な地域の生態系に関するデータを効率的に蓄積、管理するためのデータベースを構築できる。

・調査地や生態学的に敏感な地域の把握に有用な情報を提供してくれる。

・生態分布における定量的な解析を支援してくれる。

・生態系モデルにおける入力データやパラメタの設定を容易にしてくれる。

よって、陸域においては水田利用変化の把握、ブナ林など自然林の実態把握、都市緑地の把握、河川・湿地・湿原における植生把握などに用いられている。一方、海域においては、サンゴ礁や干潟の概観や分布を捉えるのにLandsatやALOSなどの衛星画像を解析する例²⁾がある。しかしながら、海域の画像解析の最大のボトルネックは、海水によって可視域の情報しか使えなかったり、その可視域も海域の濁りによって十分な情報が得られなかったりすることにある。

北海道沿岸の衛星画像による藻場分布域の把握については、以前から楠山ら³⁾、松田ら⁴⁾の詳細な報告があるものの、海藻の被度や現存量など定量的な把握までには至っていない。今回の検討では、衛星画像と航空写真および潜水調査を組み合わせ、海藻の種類、被度、現存量を算定する試みを日本海中部、後志管内の寿都漁港周辺を対象に行った。

3. 解析方法

(1) 海藻繁茂状況調査

潜水調査によるモニタリングは、寿都漁港の第2北外防波堤（背後小段付）と周辺の天然岩礁域において、潜水士による目視観察および方形枠（50 cm×50 cmまたは1 m×1 m）を用いた枠取り調査を行い、海藻の種類、被度

および現存量の把握を行なった。なお、調査はコンブの生長盛期である 6 月に行った。潜水調査箇所を図-1 に示す。

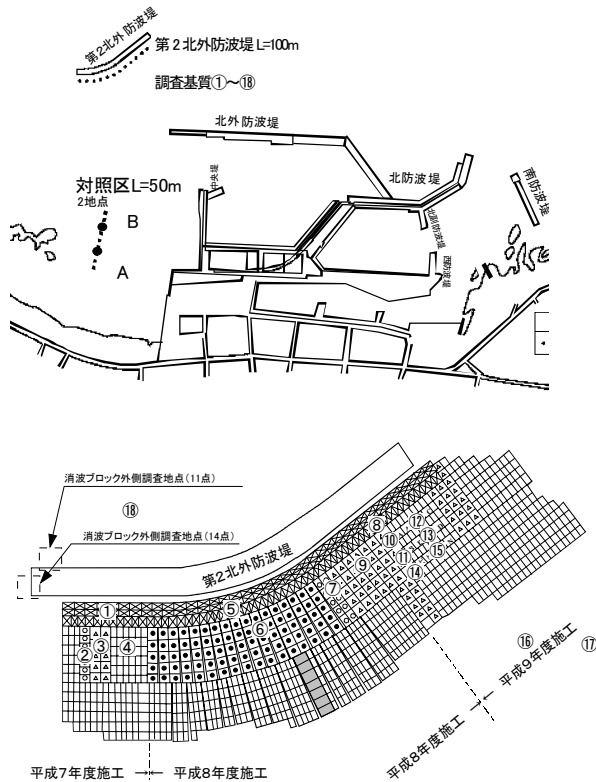


図-1 寿都漁港調査箇所

(2) 航空写真撮影および画像解析

a) 航空写真撮影

潜水調査と並行して、寿都漁港を対象とした航空写真撮影および画像解析を実施した。藻場形成領域を推定する区域は、図-2 に示すとおり区域 1：自然環境調和型防波堤（背後小段付傾斜堤）、区域 2：自然岩礁帯、区域 3：既存防波堤消波工部の 3 区域とした。また、撮影は 2009 年 7 月 3 日に実施した。



図 - 2 航空写真撮影区域 (寿都漁港)

航空写真の撮影には、ラジオコントロールヘリコプター（以下、ラジコンヘリ）を用いた。撮影は消波ブロック、汀線際の岩礁・転石帯の海藻群落についても撮影している。なお、撮影位置は、画像をモニターで確認しながら行い、3次元 GPS (XYZ) によってラジコンヘリの位置確認を行った。撮影に用いた機材の緒元を表-1 に示す。

表 - 1 ラジコンヘリ諸元

産業用ラジコンヘリ YAMAHA R-MAX		
【性能】	・積載量	30kg
	・飛行時間	60分
	・高度限界	350m
	・制御範囲	150m(目視範囲)
【機体】	・メインロータ径	3,115mm
	・テールロータ径	545mm
	・運用自重	58kg
	・全長	3,630mm(ロータを含む)
	・全副	720mm
【エンジン】	・全高	1,080mm
	・型式	水冷 2サイクル 水平対向
	・排気量	246cc
	・出力	21PS
	・始動方式	セルモータ
・燃料	ガソリン・オイル混合	
【写真】		

b) 画像解析

ラジコンヘリによって撮影した航空写真より、藻場の形成領域を抽出して解析を行った。解析方法は、画像汎用ソフトであるフォトショップ Ver7.0 を用い、藻場の形成領域について色調による海藻の種類分けおよび海藻の被度を算出し藻場面積および海藻現存量を推定した。画像解析のフローを図-3 に示す。

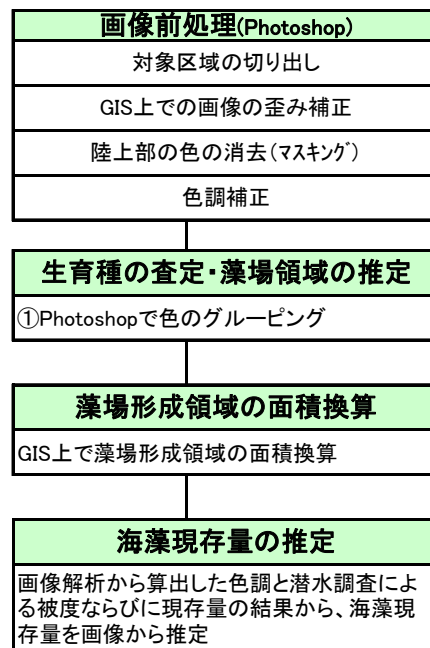


図 - 3 画像解析フロー

(3) 衛星画像解析

前述の航空写真による藻場の定量的な算出結果をキャリブレーションとして、過去に撮影された衛星画像から当時の藻場の定量的把握を行う。

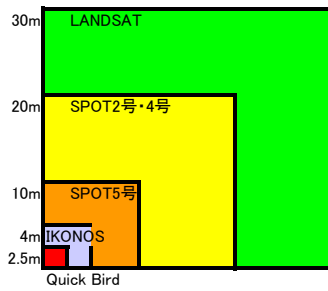


図-4 空間分解能

衛星画像は、図-4 に示すとおり衛星の種類によって画像の分解能が違う。低分解能衛星画像に分類される NOAA (分解能 1.1km) は、広域の植生変化、海面温度変化を観測する目的で使用される。中分解能衛星画像にあたる LANDSAT・SPOT・ALOS などは、地域スケールレベルでの解析に用いられ、実際に海藻分布を把握した事例⁵⁾も多数ある。今回は、防波堤背後小段あるいは一部の天然岩礁というごく限られた場所において、植生相や現存量等を把握する必要がある。よって、さらに高分解能画像である IKONOS・Quick Bird などの衛星画像を用いる必要がある。これまでストックされている衛星画像の撮影時期や場所等を鑑み、今回は表-2 に示す対象区域が雲に覆われていない Quick Bird 画像 (デジタル画像) 2枚を入手して解析を行った。Quick Bird の概要⁶⁾を表-3 に示す。なお、衛星画像はマルチスペクトラルとパナクロマテックを合成するパンシャープン処理 (カラー) した画像 (空間分解能はパナクロマテックと同じ 0.61m) とした。なお、衛星画像解析の手法は、前述の航空写真画像解析の場合と同じである。最終的には、潜水調査が実施されていないために海藻の被度や現存量などのデータが無い時期であるこれら衛星画像から藻場の定量化を試みることにする。

表-2 衛星画像一覧

画像の種類	撮影日	雲量の割合 (%)	
		画像全体	対象区域
Quick Bird	2007/04/25	16	0
	2009/03/09	21	0

表-3 Quick Bird 概要

衛星名	軌道要素	観測センサ			
		センサ	波長域 (μm)	空間分解能 (m)	観測幅 (km)
QuickBird-2 (2001)	軌道高度: 450km 傾斜角: 約66° 回掃日数: 1~4days	Multispectral	0.45~0.52	2.44	16.5
			0.52~0.60		
			0.63~0.69		
			0.76~0.90		
		Panchromatic	0.45~0.90	0.61	

4. 結果と考察

(1) 海藻繁茂状況

潜水調査による枠取り調査結果を図-5 に示す。

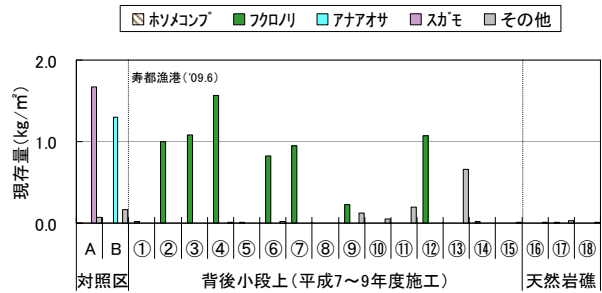


図-5 海藻の現存量

枠取りにより確認された海藻は全部で 11 種類あり、海藻現存量の上位 3 種はフクロノリ、スガモ、アナアサであった。対照区 (A・B、水深 0.4~4.5m) の天然岩礁においてはスガモ、アナアサが点在している。一方、

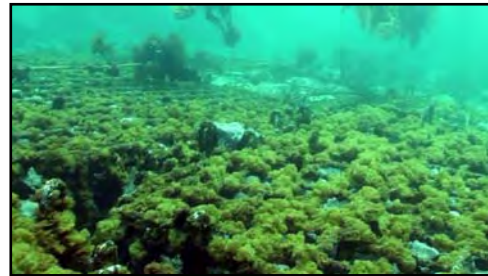


写真-1 背後小段上の海藻着生状況

背後小段上 (①~⑮) においては、写真-1 に示すように、全域にわたりフクロノリに優占されている。また、天然岩礁 (⑯~⑱) は、対照区や背後小段上よりも水深が深く、海藻がほとんど確認されていない。背後小段上の海藻現存量は年変動が大きい⁷⁾ことがわかっているが、2009 年は海藻が繁茂していない部類に入るといえる。

(2) 航空写真画像解析

a) 空撮写真

ラジコンヘリによる空撮写真を写真-2、3 に示す。



写真-2 高度 200m のラジコンヘリからの空撮 (背後小段付傾斜堤)



写真 - 3 同 (天然岩礁)

写真は高度約 200m から撮影されたもので、この画像からも傾斜堤背後の小段の状況や漁港西側の天然岩礁における藻場の様子が見てとれる。

b) 画像前処理

上記の写真を用いて、まず GIS 上への表示を行い、陸上部分をマスキングする。続いて画像の色調補正および色の平均化までを行う。以上の作業まで行った画像を図-6 に示す。

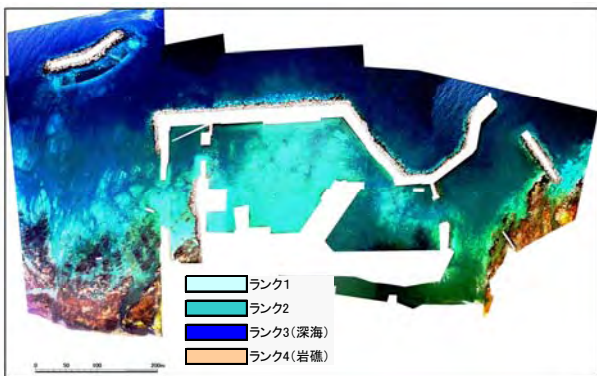


図 - 6 色の平均化された画像

c) 藻場の抽出および分布面積

次に、この画像から藻場の抽出および面積の計測を行う。藻類は季節的な消長を伴うことから、以下の2種類の手法により藻場の形成領域を推定した。

- ①：空撮及び潜水調査は日本海では藻類(特にコンブ)の現存量が衰退する時期の6月下旬から7月上旬に実施したことから、生育密度にかかわらず藻場の形成されている全面積(被度を100%と想定)を求める。
- ②：撮影時期の実際の藻場形成面積を把握するために、画像色調の濃淡より海藻の繁茂状況について数ランクを設定し、ランク毎の面積(A)を求める。さらに、ランク毎に潜水調査による被度の平均値(B)を求め面積を次式により求めた。

- ・ ランク別の推定藻場面積
 $A' = \text{ランク別面積}(A) \times \text{平均被度}(B)$
- ・ 着目する藻類の形成面積
 $S = \sum \{ \text{ランク別の面積} A' \times \text{着目する藻類の被度}(\%) \}$

なお、着目する藻類の被度(%)は、各ランクに属する地点の調査結果を基準とした。

傾斜堤における海藻分布を色分けしたものを図-7 に示す。本体消波ブロックの水面付近にはコンブ(赤色)が着生しているが、潜水調査の結果からもわかるとおり背後小段上にはフクロノリが高密度で分布していることが示唆される。

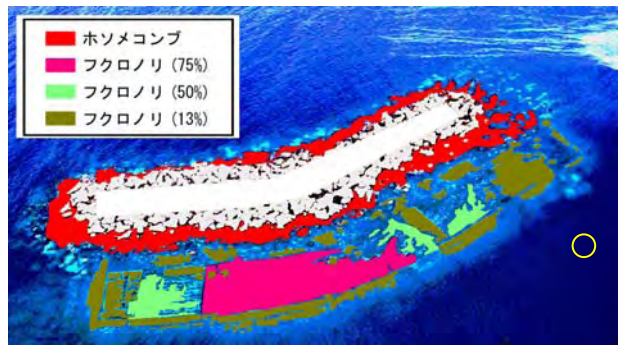


図 - 7 傾斜堤における海藻分布

さらに、海藻種毎の面積を算定した結果を表-4 に示す。ホソメコンブが着生している箇所は、区域1、2のいずれも消波工部になるが、その着生はごく海面付近に限られた部分である。背後小段や自然岩礁といった水深をある程度有する箇所においては、ホソメコンブの着生が無く、フクロノリ、ホンダワラ、アオサ、スガモが分布する結果となった。

表 - 4 海藻種類別の分布面積

藻場形成種	区域1		区域2	区域3	合計
	消波工部	背後小段	自然岩礁	防波堤消波工部	
ホソメコンブ	734	-	-	689	1,423
フクロノリ	-	973	-	-	973
アオサ	-	-	862	-	862
スガモ	-	-	11,898	-	11,898
エゾヤハズ	-	-	1,164	-	1,164
サビ亜科	-	-	-	-	-

単位: m²

d) 海藻現存量の算定

藻場分布面積が算定されたことから、次にこの分布域の海藻現存量の算定を行う。算定にあたっては、画像解析の結果から海藻の被度(着生密度)がわかることから、この被度から海藻現存量を換算することとする。しかしながら、海藻種毎の被度と現存量との関係について検討した事例は無いのが現状である。よって、寿都漁港において過年度に実施した潜水調査における被度と現存量のデータ⁹⁾を元に相関性を求めた。なお、今回は日本海側の水産有用種であるホソメコンブのみを対象に行った。

図-8 はホソメコンブの被度と現存量との相関を示したものである。被度が100%の時に、現存量にお

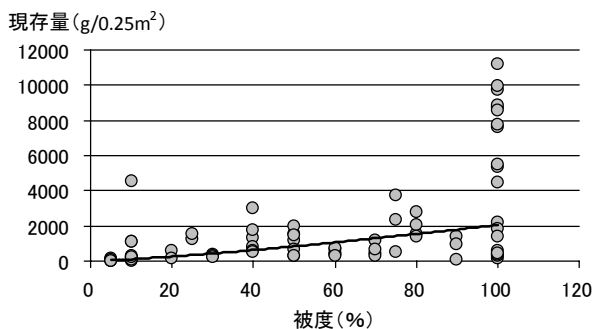


図 - 8 被度と現存量との関係 (ホソメコンブ)

よそ 160~11,000g/0.25m² の差がある。これは、同じ被度 100%でもホソメコンブの葉長や葉幅によって重量が変わるためと推察される。今回は便宜上、得られた全てのデータを用いて相関を求めることとした。この図より、現存量を次式により算定する。

各ランクの単位面積当たりの現存量

$$[\text{現存量}(\text{g}/0.25\text{m}^2)] = 5.6378 \times [\text{被度}(\%)]^{1.2793}$$

さらに上記の単位面積当たりの現存量に各ランクの面積をかけることによって区域全体の現存量を算出することができる。算定した結果を表-5に示す。

表 - 5 海藻現存量 (2009/7/3 ホソメコンブ)

藻場形成種	区域1		区域2	区域3	合計
	消波工部	背後小段	自然岩礁	防波堤消波工部	
ホソメコンブ	5,268	-	-	4,942	10,210

単位: kg

(3) 衛星画像解析

前述の航空写真画像解析と同様に衛星画像についても画像処理から海藻現存量の算定までを行った。なお、画像解析の途中経過はここでは省略する。

図-9に衛星画像からもとめた藻場分布図を示す。両

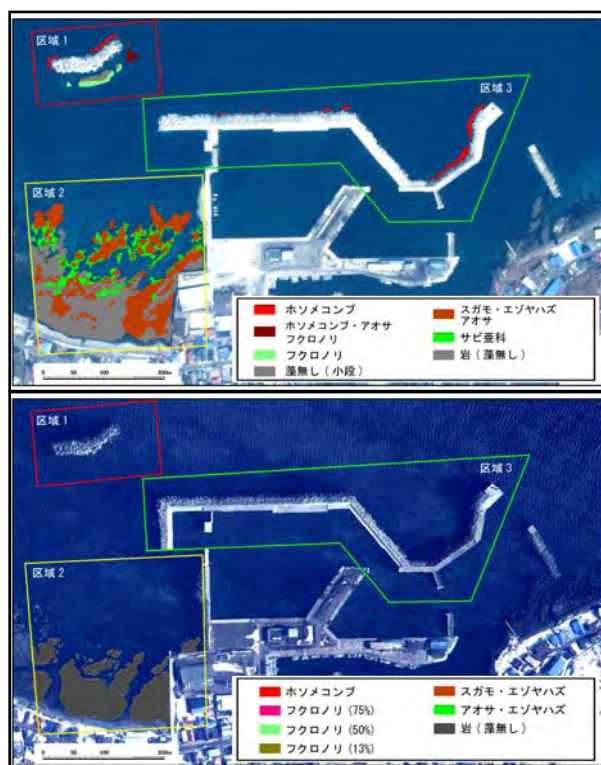


図 - 9 衛星画像による藻場分布
 (上段: 2007/4/25 下段: 2009/3/9)

者とも海藻の生長期にあたる時期である。2007年4月において、背後小段付傾斜堤(区域1)は、本体ブロック周辺にホソメコンブが確認されたが、背後小段上はフクロノリの分布しか見られていない。また、区域3の消波工部の水面際や天然岩礁(区域3)には、ホソメコンブの分布が確認された。天然岩礁はホソメコンブ以外にもスガモ、エゾヤハズ、アオサ、フクロノリ等の分布が見られる。対照的に2009年3月においては、海藻の分布がほとんど確認されない。海藻はその年の水温や栄養塩の状況により生長期が遅れることが考えられる。しかし、天然岩礁でも海藻の生育が極めて悪いというのは、深刻な磯焼け状態にあったものと推察される。

表 - 6 海藻分布面積、被度、現存量 (ホソメコンブ) の算定 (2007/4/25)

区域1: 消波工部		被度(%)						藻場面積(m ²)						ホソメコンブ現存量		
ランク	面積	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	g/0.25m ²	g/m ²	kg
ホソメコンブ	375	62						231						1106	4426	1661
-																
-																
合計	375							231								1661
区域1: 背後小段		被度(%)						藻場面積(m ²)						ホソメコンブ現存量		
ランク	面積	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	g/0.25m ²	g/m ²	kg
フクロノリ	599		22						130							
ホソメコンブ・フクロノリ・アオサ	235	33	7	10				78	16	24				497	1989	468
藻無し(小段)	464															
-																
合計	1,299							78	146	24						468
区域2: 天然岩礁		被度(%)						藻場面積(m ²)						ホソメコンブ現存量		
ランク	面積	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	g/0.25m ²	g/m ²	kg
アオサ・スガモ・エゾヤハズ	15,003			30	10	5				4,501	1,500	750				
サビアカ	5,129						50						2,565			
岩(藻無し)	16,177															
-																
合計	36,309									4,501	1,500	750	2,565			
区域3: 防波堤消波工部		被度(%)						藻場面積(m ²)						ホソメコンブ現存量		
ランク	面積	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	ホソメコンブ	フクロノリ	アオサ	スガモ	エゾヤハズ	サビ亜科	g/0.25m ²	g/m ²	kg
ホソメコンブ	973	62						600						1106	4426	4305
-																
-																
合計	973							600								4305

海藻分布が確認できた 2007 年について、海藻分布面積、被度およびホソメコンブの現存量を算定した結果を表-6 に示す。これにより、海藻種毎の分布状況を定量的に把握することができる。

5. おわりに

結果をまとめると以下のとおりとなる。

- (1) 潜水調査とラジコンヘリによる航空写真画像解析を併用して広域的な藻場分布の推定およびその面積、海藻被度、現存量等基礎的な数値の算定を行うことができる。
- (2) 過去に撮影された衛星画像を解析して、藻場状況を調査していない時期の定量的な数値把握を行うことができる。

今後の課題を以下に述べる。

- (1) 今回、分類した海藻種以外にも実際に分布している海藻がある。よって、潜水調査においてこれら海藻種の基礎データを取得し、藻場分布の精度をさらに高める必要がある。
- (2) 藻場の生長期や繁茂期に合致する高解像度の衛星画像の取得は容易で無いので、過去に撮影された港湾・漁港の全景写真（航空写真）も解析対象に含めて、長期的な藻場の変遷を把握する必要がある。
- (3) 複数年に渡る藻場分布の把握とその時期の環境要因（水温・波浪・栄養塩等）を解析して、藻場が継続的に維持できる条件を解明する必要がある。

参考文献

- 1) Haines-Young, R., Green, D. R., and Cousins, S. H. (eds.) (1993): *Landscape Ecology and GIS*. Taylor and Francis.
- 2) 長澤良太・原慶太郎・金子正美編(2007)；自然環境解析のためのリモートセンシング・GIS ハンドブック，古今書院。
- 3) 楠山哲弘・高木哲夫・林誉命・黄金崎清人・袖野宏樹・鳴海日出人(2007)；藻場（リシリコンブ）のリモートセンシングによる分布域の推定－網走港周辺海域－，海洋開発論文集，VOL. 23, pp. 555-560.
- 4) 松田斉久・吉田勝則・丹羽幸一・山田文人・吉田徹・鳴海日出人(2007)；衛星画像と音響測深機を利用したアマモ場分布域の把握－霧多布港周辺海域－，海洋開発論文集，VOL. 23, pp. 561-566.
- 5) 例えば、宮野忠文・佐野誠・長谷川浩治・馬場祥宏・小黒剛成(2005)；リモートセンシング画像による藻場分布把握技術の開発（第1報）；広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告，No. 48, pp. 13-16.
- 6) 日本リモートセンシング研究会編著(2004)；図解リモートセンシング（改訂2版），（社）日本測量協会。
- 7) 佐藤仁・熊谷直哉・福田光男・吉田徹・黄金崎清人(2009)；防波堤背後小段の藻場環境について，平成 21 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，pp. 63-66.
- 8) 牧田佳巳・山本潤・増田亨(2008)；防波堤背後小段における海藻繁茂の現状について，第 51 回北海道開発局技術研究発表会，環-02.