

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－

SURVEY OF THE DISTRIBUTION OF EELGRASS BEDS USING SATELLITE IMAGERY AND AN ECHO SOUNDER – AREA AROUND KIRITAPPU PORT –

松田 齊久¹・吉田 勝則¹・丹羽 幸一¹・山田 文人¹・吉田 徹²・鳴海 日出人³
Narihisa MATSUDA, Katsunori YOSHIDA, Kouichi NIWA, Fumihito YAMADA,
Toru YOSHIDA and Hideto NARUMI

¹北海道開発局 釧路開発建設部 根室港湾事務所（〒087-0024 北海道根室市宝林町3-9）

²日本データサービス株式会社（〒065-0016 北海道札幌市東区北16条東19丁目1-14）

³正会員 博士（水産科学） 日本データサービス株式会社（〒065-0016 北海道札幌市東区北16条東19丁目1-14）

In the eastern part of Hokkaido's Kushiro Subprefecture lies Kiritappu Port, resting across two bays and connecting them with a channel. In recent years, sediments, which have accumulated in Kiritappu Port due to littoral drift, have led to the hindrance of the passage of ships at low tide. Since the accumulation of sediments in the passage will continue under the current conditions, measures against littoral drift are being considered. Such measures, however, must be environmentally friendly because Hokkai shrimp and other economically useful marine species live in and around the port as mentioned before. Under such circumstances, it was considered important to understand the distribution area of eelgrass beds before implementing countermeasures. In this study, the quantification of the distribution area was conducted through the analysis of satellite images, echo sounding, underwater photography and submersible research to gauge two-dimensional distribution. As a result, it was found that satellite images are effective in locating algae zones in shallow sea areas and echo sounding is useful in determining the presence of algae zones in sea areas with turbidity.

Key Words : Satellite imagery, seaweed bed, eelgrass bed, echo sounder

1. はじめに

北海道釧路管内の東部に位置する霧多布港では、陸地を挟んで南北に港が建設され、水路によって船が往来している。

本港内および周辺の浅海域では、アマモ場が広範囲に分布し、ホッカイエビ *Pandalus latirostris*（地方名；ホッカイシマエビ）の保育場・生育場を形成している。霧多布港がある浜中町では、夏季（7月～8月）の重要な水産資源となっている。

近年、霧多布港では漂砂により港内に土砂が堆積し、干潮時には船舶の航行障害が発生している。このため、漂砂による港内の浅化防止の対策工の検討を開始しており、第1段階として本港の有するホッカイエビの保育場・生育場としての機能を損なうことがないようにアマモ場の分布域を把握する必要がある。

本研究では、本港周辺に広範囲に分布するアマモ場を特定するために、潜水調査・船上からの水中撮影および音響測深機を用いて局地的な情報と衛星画像解析により面的に把握することを試みた。

2. 調査日程および方法

(1) 調査および撮影時期

藻場の領域を推定する上で、海藻藻類の季節的消長が大きいため、現地調査日程と人工衛星による画像撮影日をできるだけ近接させる必要がある。

現地調査および衛星画像の撮影時期を表-1に示す。現地調査については地元と調整し、アマモ場におけるホッカイエビの漁期後に実施した。

表-1 調査および撮影日

項目	調査および撮影日
現地調査	平成18年9月8日～18日
衛星画像	平成18年7月1日
	平成18年9月6日

(2) 調査および画像解析手法

a) 現地調査方法

霧多布港の港内および周辺海域でアマモ場が形成されている範囲に調査区域を設定し、50m 間隔に水中ビデオカメラによる藻場の繁茂状況を撮影した。また、各区域の代表点において潜水調査を行った。さらに、各区域で調査船が航行可能な測線において音響測深機を利用した水深と藻場の分布状況の記録を行った。調査区域図を図-1 に示した。



図-1 藻場分布の調査区域

b) 画像解析手法

北海道における衛星画像を利用した藻場の形成領域を推定した事例は日本海沿岸で多く¹⁾、太平洋岸では濁りが高いことから検討した例はあまりない。

本解析ではアマモ場の繁茂時期（7月～8月）に撮影された、分解能 60cm の QuickBird を使用した。また、調査期間中の9月に新規撮影を実施した。

画像は近赤外、赤、緑、青の4バンドに分割され、トゥルーカラー画像（赤、緑、青の3バンドから画像を合成）、フォルスカラー画像（近赤外赤、緑の3バンドから画像を合成）として提供される。

衛星画像を用いた面積計算として「最尤法(さいゆうほう)による教師付き分類」による分布域の把握を行った。対象とする画像はフォルスカラー画像とした。

衛星画像を用いて分類を行う場合の手法は、大きく二つに大別される。それは、①教師なし分類、②教師付き分類である。前者は、トレーニングデータ(教師データ)を用いずに、統計的に分類する手法である。ISODATA 法が代表的な分類手法である。後者は、分類前にサンプルとしてトレーニングデータを用いる分類手法のことで、最尤法が典型的な分類法である²⁾。

今回、QuickBird 衛星画像から藻場の判別が可能であり、サンプルとしてトレーニングが取得可能であることから、教師付き分類である最尤法による土地被覆分類を行った。そして、藻場として分類された画素を示すことで、藻場が抽出されたこととした。

最尤法は確実に答えが得られることや、単純なことから、最も使われることが多い手法であるが、ト

レーニング(教師)の選定方法が重要である。

3. 現地調査による藻場の分布状況確認

(1) 潜水調査結果

潜水調査により確認した霧多布港周辺における海草藻類の分布状況をまとめた結果を図-2 に示した。

琵琶瀬湾側の港内（測線 1～3）と浜中湾側の港内（測線 4）ではアマモが多く分布しており、港口側で生育密度が高くなっている。浜中湾側の港外（測線 7）では、転石帯にコンブ類、転石・岩盤帯にホンダワラ類（ウガノモク）が生育し、沖側の水深が 2.5～4.0m の砂泥底にはオオアマモが多く分布している。

調査結果より、霧多布港の港内における砂泥底の浅海域ではアマモ類が優占して生育している状況であった。



図-2 藻場の分布状況

(2) 水中撮影結果

水中カメラにより確認した霧多布港周辺における海草藻類の分布状況をまとめた結果を図-3 に示した。

霧多布港内および港外における調査区域では、アマモ類が非常に多く分布しており、分布域も広範囲となっている。

特に高密度で分布しているのは、琵琶瀬側の港内およびアサリ礁の近傍であり、満潮時にも水面まで達する生育状況となっている。浜中湾側の港外（東防波堤周辺）では、汀線部の砂浜域や水深 2m から 4m の砂泥底でアマモ類（オオアマモを含む）が生育し、浅海部の転石や岩礁部に褐藻類（コンブ類、ウガノモク）が分布している。

一方、浜中湾側における港内の航路部では水深が 3m 前後であり、海草藻類の生育密度は小さく、港外と比較して濁度が高いことや照度が低いこと等が影響しているものと考えられる。

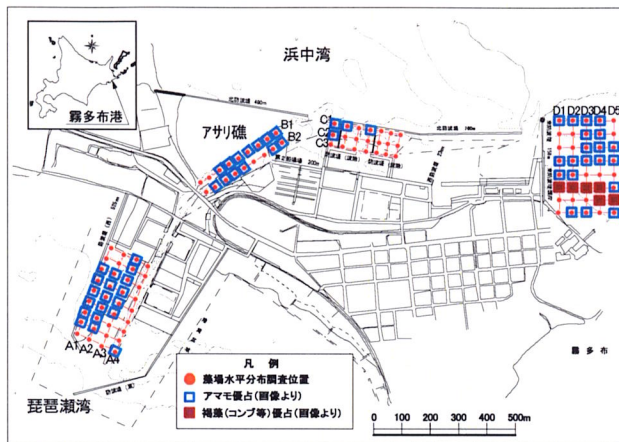


図-3 藻場分布状況（水中カメラ画像より）

(3) 音響測深機の結果

霧多布港周辺海域では海底面上の透明度が低い事に加えて、底質がシルト質であるため、潜水調査やビデオカメラによる映像から海藻（海草）の分布を把握することが困難な地点があった。

そこで、音響測深機を使用した藻場の把握を行った。音響測深機は通常、地形を測量する機器として利用されているが、海底に海草藻類などがある場合、海底面とともにエコーが記録される。

記録からは、水深と海草藻類の概略被度を把握することが可能となり、アマモの場合は海中で直立して生育しているため、海草の葉長もデータとして得ることが可能となる³⁾。

調査測線は藻場水平分布の地点を含めて設定し、測位については船舶に DGPS を使用して行った。

計測した測線は A 区域で 2 測線(150m, 400m), B 区域で 1 測線(350m), C 区域で 3 測線(各 300m), D 区域で 5 測線(各 350m)の計 11 測線で実施した。なお、水深が浅く、アマモが密に繁茂している場所では調査船の航行が出来ないため計測していない。

記録紙からの海草藻類の分布を推定した例を図-4 に示した。

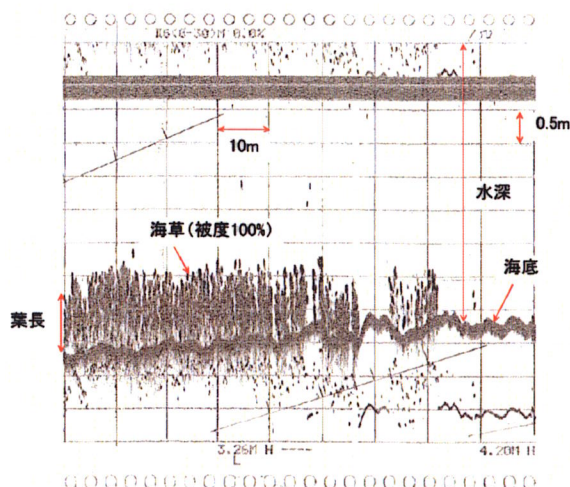


図-4 音響測深による記録

この記録は浜名湾側の港外東側（D 区域）のものであり、水深 4～5m の範囲に生育するアマモ場も明瞭に判別でき、海底面と葉長、および被度の差が確認できる。

測線を 10m 毎に区分し、景観被度および区間の最大葉長をグラフ化したものを図-5 に示した。

図は、琵琶瀬湾側の測線（A 区域の 2 測線）を比較したものである。

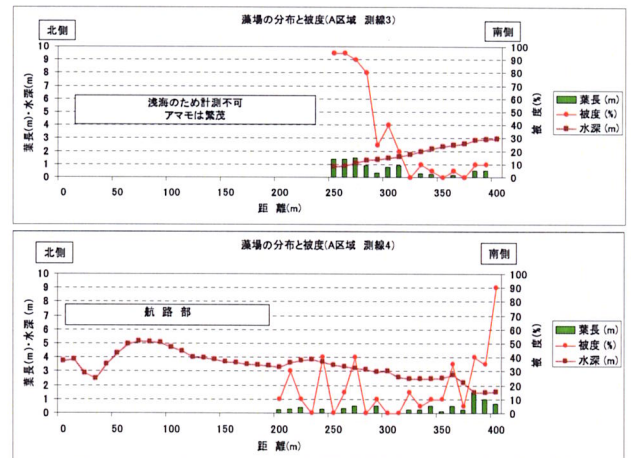


図-5 水深変化とアマモ類の被度および葉長

測線 3（区域中央部）では水深が 1.5m 以浅の箇所では 80%以上の被度で葉長が約 1.4m 前後で繁茂しており、水深が 2m より深くなると被度が 10%以下と低く葉長は 50cm 以下と短くなっている。

測線 4（航路側）では水深が 2m 以浅の箇所では被度が 35%以上と高く葉長も 1m 前後であるが、水深が 2m 以深になると被度にバラツキがみられ、葉長も短い。航路部では水深が深くなり、海草藻類の生育はみられない。

このことから、水深と葉長（海草の生育高）の関係をみると、水深 2m より浅い水深帯では長く、葉長が長く生育している場所では被度も高い傾向にあることが分かった。

この要因としては、水深が深く濁りも高いことから照度も低くなり、生育しても枯死している可能性がある。また、船舶が航行や潮汐による流動などの外力が大きいことも影響していると推察される。

港外では港内の生育水深帯よりも深い水深でもアマモ類（オオアマモ）が高い被度で分布し、葉長も 1m 前後となっている。

(4) 水中撮影と音響測深機による藻場分布の比較

水中撮影による藻場の生育状況と音響測深機による分布範囲の結果を比較し図-6 に示した。

音響測深機による海草藻類の分布状況と水中画像による分布状況を重ねると、概ね一致しており、音響測深機の記録には定点撮影では分からない範囲まで広く把握できている。



図-6 藻場範囲の比較

4. 衛星画像による藻場分布域の抽出

(1) 画像解析

トゥルーカラー画像は肉眼で見る色彩に近いが、海域の色合いが平坦で藻場の判別は困難である。

フォルスカラー(近赤外, 赤, 緑を3原色とする)画像では藻場がくっきりと浮立ち、この画像を活用して藻場抽出処理を行うことが可能である。フォルスカラー画像が解析に適しているのは、植生が近赤外波長の電磁波を吸収するため、この波長の画像を安価で得られるのが衛星画像のメリットでもある。

ただし、水も光を吸収するため大水深では不鮮明となって適用は難しいという限界もある。今回使用した7月に撮影されたアーカイブ画像は鮮明であったが、新規撮影の画像は波や雲の影響が大きい。このため、現地調査との比較には7月の画像を使用した。霧多布港周辺(7月)のトゥルーカラー画像、フォルスカラー画像を図-7、図-8に示した。



図-7 トゥルーカラー衛星画像(枠内; 計算範囲)

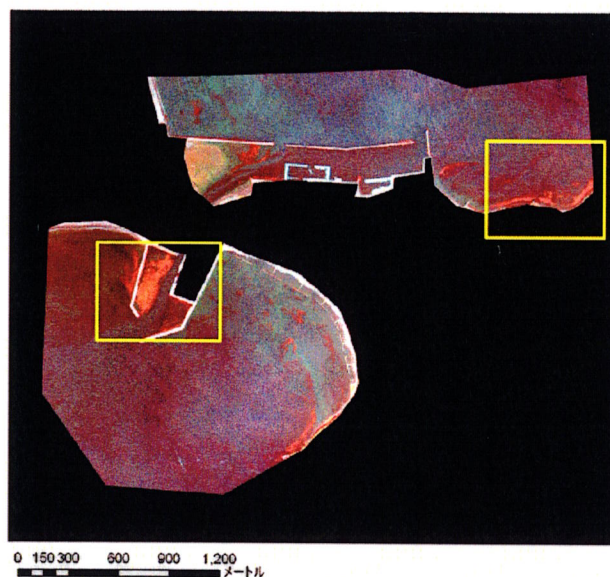


図-8 フォルスカラー衛星画像(枠内; 藻場分布)

(2) 人工衛星画像を用いた面積計算

本解析では水域, 砂地, コンクリート, 藻場の4つとし、目視にてトレーニングの領域を決定した。

トレーニングエリアの設定図を図-9に示した。

なお画像データをそのまま適用すると、数画素程度のノイズが発生するため、事前に3×3の多数決フィルタを1度施し除去を行った。

藻場分布域の抽出結果を図-10に示した。図中で藻場と判定した範囲の面積を計算した結果、148,397 m²のアマモ場が優占した藻場を確認した。

浅海域は藻場の判定が可能となったが、水深が3m以上となるような箇所は濁りの影響もあり、静穏時の画像においても藻場の分布域が特定できないため、深部における藻場を把握する手法が必要である。

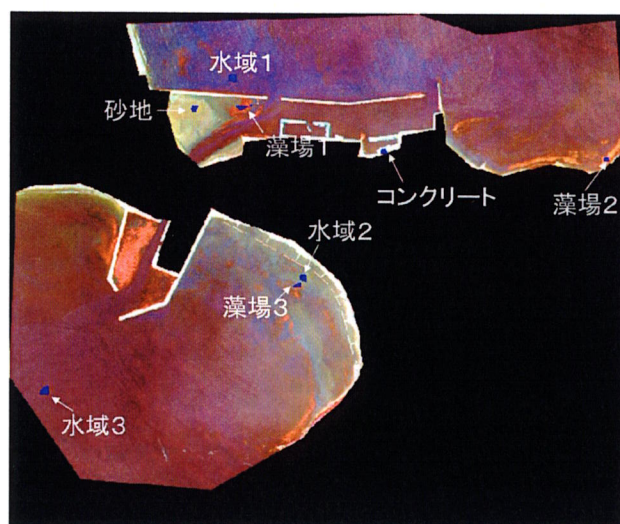


図-9 藻場分布のトレーニングエリア設定図

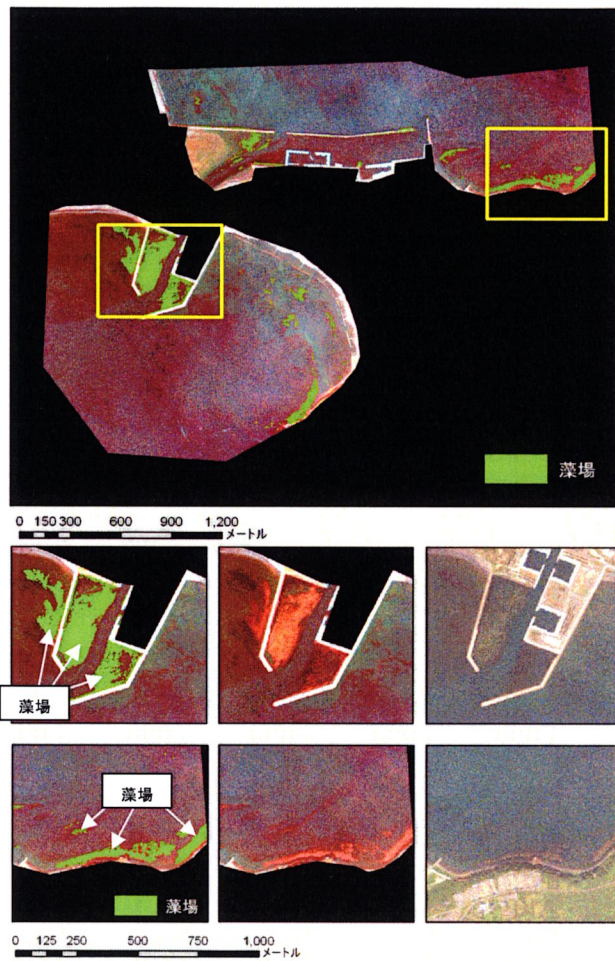


図-10 藻場分布域の抽出結果

5. 現地調査と画像解析の比較検討

衛星画像解析の結果を現地調査結果と照合し、解析結果の妥当性について検討を行った。

現地調査を行った4つの区域(A～D)で確認した海草藻類の分布域と、画像解析結果(最尤法)で抽出した分布域を比較した結果を図-11に示した。

① 霧多布港の琵琶瀬湾側の港内(A区域)

水深が浅く(D.L.-1.0m前後)、海草が優占して繁茂している測線A1、測線A2、および測線A3の陸側では満潮時でも調査船の進入が困難であったが、干潮時には水面にアマモ類が露出するため、明らかに藻場といえる水域となっている。A区域では全体的に現地調査と画像解析とのマッチングは良好であった。測線A4の航路部では海草藻類がみられなかったが、画像解析でも藻場は検出されなかった。

② 霧多布港の浜中湾側の航路周辺(B区域)

測線B1はA区域と同様、水深が浅く海草が優占して繁茂していたため調査船の入れなかった区域である。画像解析で藻場であると判断された区域は干潮時の目視観察において海草が水面に露出している

のを確認しており、マッチングは良好であった。

測線B2は画像解析ではほとんど藻場と判定されなかったが、現地調査ではアマモ類の生育を確認している。場所によっては被度70%以上の高密度領域もあり、画像解析と現地調査との結果は一致しなかった。このような結果がみられた場所の特徴としては、水深が2.5mから3.0m程度のやや深い場所であった。

③ 霧多布港の浜中湾側の港内(C区域)

画像解析では港口付近の僅かな範囲でのみ藻場と判断されたが、現地調査でも防波堤側および港口側でアマモ類の分布を確認している。しかし、現地調査では画像解析よりも分布域は広い。この要因としては、調査地点は航路部に当たり、測線C2とC3は水深が3.0～4.0mと深いこと、また、外海水の通り道となるため、水の濁りが高いことから衛星写真に映らなかったのではないかと考えられる。

④ 霧多布港の浜中湾側の港外(D区域)

現地調査では区域全体に藻場が広がっていたが、画像解析では区域中央付近の区域のみが藻場と判断された。現地調査結果と比較すると、画像解析で判明したのは礫上のコンブ類、や岩礁上のホンダワラ類である。沿岸部のアマモ・沖側のオオアマモともに、高い被度で分布したが画像解析からは判別できなかった。この要因としては、沿岸部は碎波の影響、沖側においては水深が大きく影響しているものと考えられる。

衛星画像による藻場解析は、特に水深の浅い地点では実測との一致も良く、面積算定・現状把握の有用な1手法であるといえる。とくに霧多布港の場合は、琵琶瀬地区やアサリ礁周辺のような、調査船の入れない浅場での面積算定に威力を発揮した。

一方、この手法は海水や海中の濁りによる光吸収によって、水深が深くなるほど藻場の判定が難しくなると言う限界もある。霧多布港の場合は2湾に結ばれた水路を最大1m/s弱の海水が流れるため、底質の巻き上げによって発生した濁りによって、さらに画像が不鮮明となる。

画像解析と現地調査結果との一致が悪かった測線の水深をみると、おおむねD.L.-2.0m～2.5m程度であった。また、水域Dで藻場抽出が出来た箇所も同程度の水深であった。衛星画像の撮影された2006年7月1日10時30分の潮位は約0.5mであることと合わせると、霧多布港で衛星画像を用いて藻場を検出するための水深限界はおおよそ2.5m程度と推測できる。

今後、漂砂の対策工を実施していくなかで、施工中、施工後にアマモ場の分布状況をモニタリング調査する方法としては、衛星画像解析は非常に有効であるが、現地調査との比較結果からも、水深が3m以上の箇所の画像解析に課題が残る。

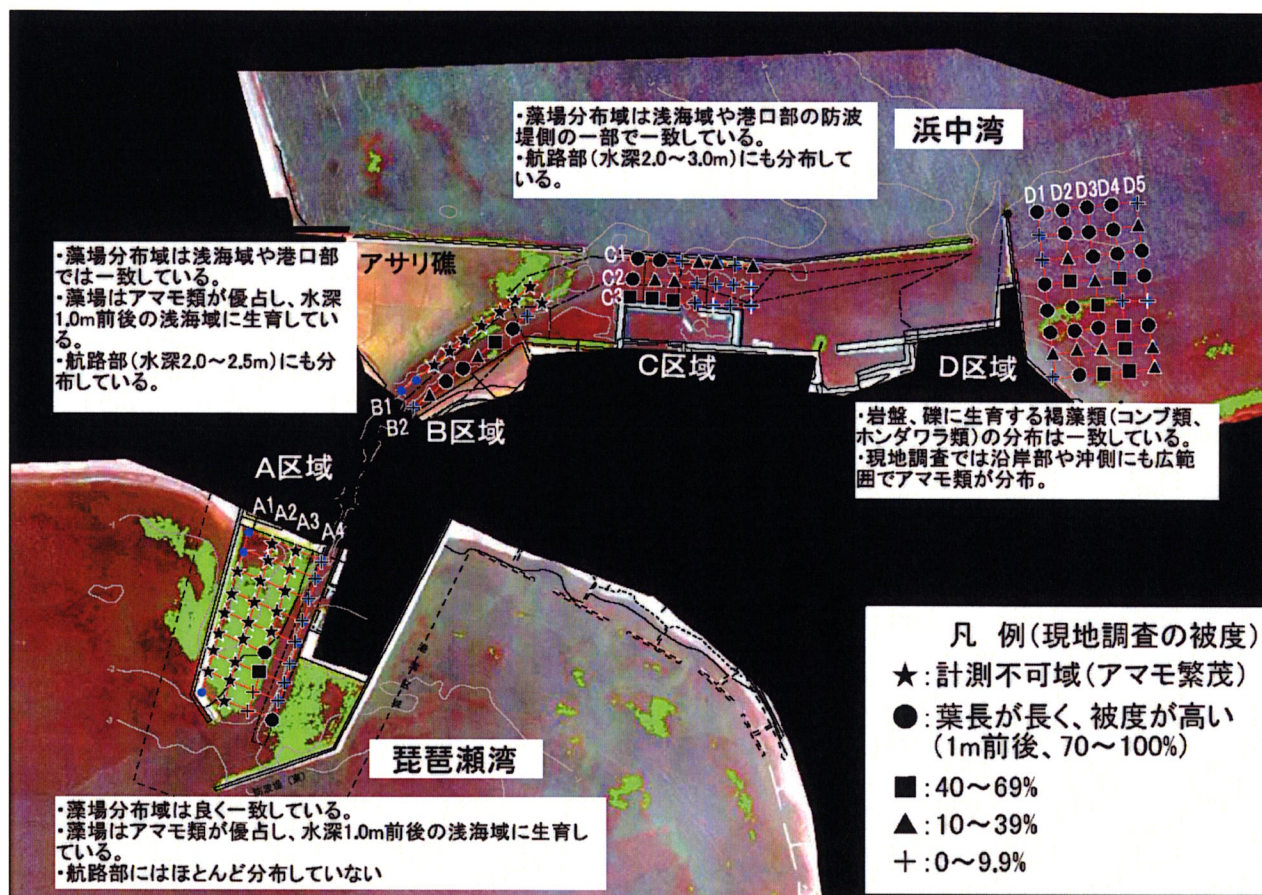


図-11 画像解析と現地調査の藻場範囲の比較

6. おわりに

本研究の主な結論は以下のとおりである。

- (1) 太平洋沿岸においても衛星画像のフォルスカラ画像から藻場の判定が可能であり、浅海域に生育するアマモ場については分布域の面積を算出することが出来た。
- (2) 港内の静穏域で水深が浅い場所の藻場の分布域を把握する場合には、衛星画像からの藻場抽出は非常に有効な手法であるが、濁りの高い場所や碎波帯、水深が3mを越えるような箇所の藻場判定には音響測深機による確認が有効である。
- (3) 水中画像と音響測深機の記録から藻場の種類と景観被度が把握でき、アマモ場については被度とともに生育状況(葉長)も判定可能となった。
- (4) 衛星画像による藻場判定を行う場合は、濁り、雲および雲の陰、波などが写っていない画像が望ましいため、気象・海象条件を考慮した画像を利用するためには、近赤外カメラによる航空写真撮影が有効と考えられる。

今後の課題を以下に示した。

- (1) 衛星画像からは水深が3m以上となる海域の藻場分布域を定量化することが困難であったため、海域毎の水深帯や濁りの条件別に定量化手法の検討が必要となる。
- (2) 港湾整備による構造物を建設する場合、環境と調和したものとするために、事前の評価とともに建設段階における藻場分布域のモニタリング手法の検討が必要である。

謝辞：衛星画像の解析を行うに当たり、ご指導頂きました北海道立稚内水産試験場の赤池章一氏に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 赤池章一・津田藤典・大崎正二・吾妻行雄：北海道稚丹半島西海岸における航空写真を用いた藻場変動把握、平成9年度日本水産学会春季大会講演要旨集,98(1997)。
- 2) 日本リモートセンシング研究会：改訂版図解リモートセンシング,210。
- 3) 立川賢一 他：船越湾の吉里吉里地先における海草類の分布、大槌臨海研究センター報告、東京大学海洋研究所、Vol.21, pp.38-47(1996)。