

水産資源量調査を目的とした水中映像からの海藻類抽出

萩沢 武志[†] 榎本 洗一郎[†] 戸田 真志^{††} 田村 正勝^{†††} 武田 榮^{††††}

[†] 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科

〒 041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2

^{††} 公立はこだて未来大学システム情報科学部

〒 041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2

^{†††} 歯舞漁業協同組合

〒 087-0192 北海道根室市歯舞 4-120

^{††††} 宗谷総合振興局利尻地区水産技術普及指導所

〒 097-0101 北海道利尻郡利尻富士町鷺泊字栄町合同庁舎

E-mail: †{g2111029,g3111001,toda}@fun.ac.jp, ††m-tamura@jf-habomai.jp,

†††sakae.takeda@pref.hokkaido.lg.jp

あらまし 本論文では、水産資源量調査のため北海道根室のコンブ漁場で撮影された水中映像から海藻、海草類の自動計測システムの構築を目的とした、画像解析手法を提案する。根室のコンブ漁場には、商業的価値のあるコンブの他にも、アイヌワカメやスガモなどの雑海藻、海草が生息している。根室のコンブ漁場ではコンブの健全な成長の為、コンブの成長に影響を与える雑海藻は駆除されている。適切な雑海藻駆除の為、その繁茂状況の確認が重要である。本論文では、領域拡張法および線集中度フィルタを用いた水中映像からのコンブ、アイヌワカメおよびスガモの抽出手法を提案し、実画像を用いた実験によりその有効性を検証する。

キーワード 水中カメラ、コンブ、アイヌワカメ、スガモ、水産資源量調査、領域拡張法、線集中度フィルタ

1. はじめに

コンブ漁業において、漁場に生息する海藻、海草類の調査は非常に重要である。漁業者は、安定した操業や資源の維持のためコンブの資源量や地理的分布を知る必要がある、また、コンブの成長に影響を与えるとされるそれ以外の雑海藻の駆除 [1] の効率化、駆除効果の確認の為、コンブ以外の海藻類についても調査を行う必要がある。釧路水産試験場と歯舞漁業共同組合は、歯舞地域の 6 地区のコンブ漁場においてコンブの生産量、海産植物の水深別分布、雑海藻の種類や量などを取りまとめ、それぞれの漁場の特性に応じた漁場管理指針を示している [2]。

水産資源量調査は、従来音響探査等が一般的であるが、コンブ漁場では、生息する海藻類が音響探査での識別が難しいことから、水中カメラを用いた調査が普及しつつある。水中カメラを用いた水産資源量調査では海藻類のうち視覚的特徴により判別が可能なものは、得られた動画画像から視覚的推定により分類できる。伊藤らは北海道東部のコンブ漁場において、水深を計測する音響探査機、位置を記録する GPS 測位機とともにビデオカメラを用い、得られた映像から大型海藻類を視覚的に識別しその被度を求め、大型海藻類の競合実態や季節変化の観察を行っている [3], [4]。

水中カメラを用いた水産資源量調査の大きな問題点は、

得られた動画画像の解析に人手や時間が多くかかることである。これに対し近年、榎本らは水産資源量調査を目的に撮影された海底画像から、ホタテの自動計測システムの確立を目的として、実環境下での海底画像からのホタテ抽出手法を提案している。この中で、榎本らはホタテが持つ色や模様、形状などの特徴を組み合わせることにより高精度に画像からホタテ領域を抽出できることを示している [5]。

しかし、解析対象や漁場の環境が異なれば、その解析手法も異なる。北海道根室のコンブ漁場では撮影環境が

- (1) 水の透明度が一定でない為、照度が安定しない。
- (2) 特徴の類似する海藻類が多く存在する。

という問題がありこのような悪条件下での解析手法を確立する必要がある。そこで、本研究は北海道根室のコンブ漁場で撮影された水中映像から対象資源の自動計測システムを目的として、映像からの海藻類の抽出手法を提案する。本論文では、海藻類のうちスガモ、アイヌワカメ、コンブが対象の漁場においての量が多いことを漁業者から指摘されていることから、これらの海藻を抽出対象とする。

2. 設計の指針

解析の対象となる映像の撮影方法について説明する。撮影には、図 1 で示すような曳航ケーブルおよび映像出力用ケーブル付のフレームに水中ビデオカメラが取り付

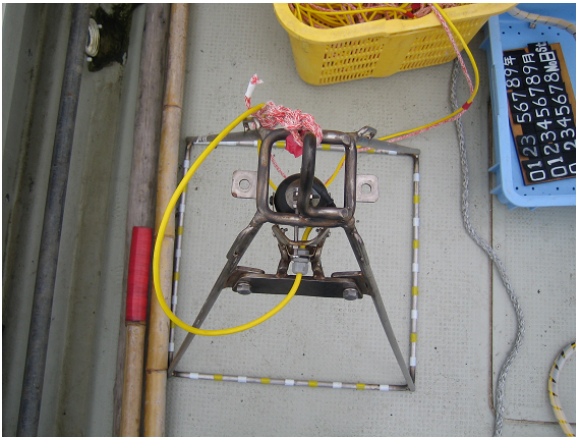


図 1 水中映像撮影に使用した機材

けられた機材を用いる。撮影はこの撮影機材を海中に沈め、船で曳航することにより行う。曳航時には安定した映像が撮影されるよう船上から映像を確認し、海底から機材までの距離が一定になるように曳航ケーブルを調整、また、フレームの重みによりカメラ方向が一定になるよう、船の進行速度を調整する。このことにより対象映像は、海底までの距離変化や傾きの少ない安定した映像となる。ただし、照度については水の濁りなどの影響を大きく受けることから、一定でない。なお、撮影時にはGPSにより航路を記録する。

図 2 にこの撮影された映像の一例を示す。対象映像は北海道根室市歯舞の海域で 1 月に約 1 時間撮影された、サイズが 720 × 480 のカラー映像である。図 3 に撮影地点、図 4 に撮影時の航路を示す。

映像中からは本論文で抽出の対象となるスガモ、アイヌワカメ、コンブなどが目視により観察できる。図 5 に対象映像例から切り出した、それぞれの領域を含む画像を示す。

映像中でのスガモは、(1) 緑色、(2) 細長い線状の形状、という特徴を用いて他の領域と識別できる。またアイヌワカメとコンブは共に (1) 茶色、(2) 表面の色変化が少ない、という特徴から他の領域と識別でき、映像中ではアイヌワカメのみが葉表面に縦に走る一本の筋をもつことから、この筋の有無からアイヌワカメとコンブを識別できる。これらの特徴を用いて対象領域の抽出を試みる。本論文では

- (1) 色特徴及び葉形状を用いたスガモ領域抽出
 - (2) 色特徴を用いたアイヌワカメ及びコンブ領域抽出
 - (3) 筋特徴を用いたアイヌワカメ及びコンブ領域の識別
- という手順により抽出を試みる。

3. モデル化

前節で述べた通り、本論文ではスガモ領域をその色と形状、コンブ領域とアイヌワカメ領域を色と筋の有無に



図 2 対象映像例

注目して対象領域の抽出を試みる。以下、各特徴のモデル化について述べる。

3.1 色特徴のモデル化

抽出の対象となる海藻類の色特徴を明らかにする為に、対象映像内のスガモ領域から 1501 点、アイヌワカメ領域から 500 点、コンブ領域から 500 点、それ以外の領域

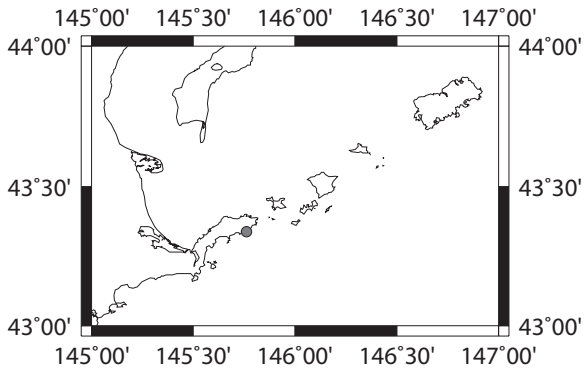


図3 撮影地点．黒丸が撮影地点を示す．

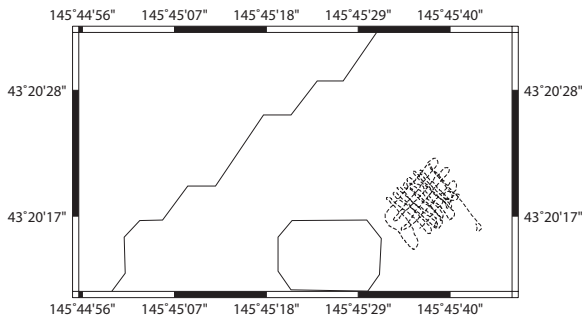


図4 撮影航路．点線が撮影航路，実線が海岸線を示す．

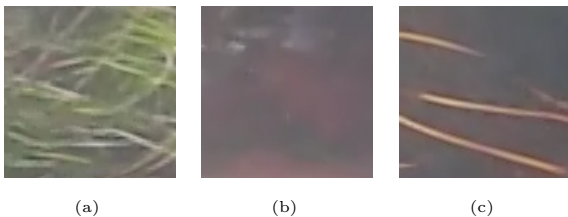


図5 海藻領域（画像サイズ 100 × 100）：(a) スガモ．(b) コンブ．(c) アイヌワカメ．

から 6058 点の画素を目視にて収集し，画素の HSB 値に関するヒストグラムを求めた，図 6 にスガモ領域およびそれ以外の領域の画素に対して求めたヒストグラムを，図 7 にコンブおよびアイヌワカメ領域の画素に対して求めたヒストグラムを示す．以下，それぞれの色特徴について説明する．

スガモ領域の色特徴 図 6 から，スガモ領域の色相が $60^\circ\text{--}180^\circ$ ，彩度が 10–120，明度が 60–190 の間に集中していることがわかる．このことからスガモ領域の抽出に色相範囲を $60^\circ\text{--}180^\circ$ ，彩度範囲を 10–120，明度範囲を 60–190 とするフィルタを利用することとした．

コンブ及びアイヌワカメ領域の色特徴 図 7 からコンブ領域はアイヌワカメ領域と同様に，色相が $-30^\circ\text{--}50^\circ$ ，彩度が 0–60，明度が 60–190 の間に集中していることがわかる．しかし，色相が $50^\circ\text{--}300^\circ$ の間ではコンブ領域はアイヌワカメ領域の画素の色相にばらつきがみられる．これはコンブ領域及びアイヌワカメ領域の画素はそれぞれ領域周辺部に近づくにつれ彩度が低くなる為である，ここでは，コンブ及びアイヌワカメは領域内での色変化

が少ないという特徴を持つことから，色相，輝度変化を拡張条件とする領域拡張法を用いてコンブ及びアイヌワカメ領域の抽出を試みることにした．領域拡張法による対象領域の抽出は以下の 3 つの手順で行う．

(1) **初期領域の決定** まず，拡張を行う初期領域を決定する．対象領域の画素群を集合 Q とし，画像 f 内に含まれる画素 $f(x, y)$ の色相を $f_{hue}(x, y)$ ，彩度を $f_{sat}(x, y)$ としたとき，

$$-30^\circ \leq f_{hue}(x, y) \leq 30^\circ \quad (1)$$

かつ，

$$0 \leq f_{sat}(x, y) \leq 60 \quad (2)$$

を満たす $f(x, y)$ を Q に加える．

(2) **領域拡張** Q の 8 近傍画素が似た色特徴を持つとき拡張を行う． Q に含まれる画素の色相を $f_{hue}(x, y)$ ，輝度を $f_{light}(x, y)$ ，その 8 近傍画素の色相を $f_{hue}(z, w)$ ，輝度を $f_{light}(z, w)$ としたとき，

$$|f_{light}(x, y) - f_{light}(z, w)| \leq T_{light} \quad (3)$$

かつ，

$$|f_{hue}(x, y) - f_{hue}(z, w)| \leq T_{hue} \quad (4)$$

を満たすとき画素 $f(z, w)$ を Q に加える．ここで T_{light} ， T_{hue} は対象領域を決定するための色相，輝度に対する閾値である．

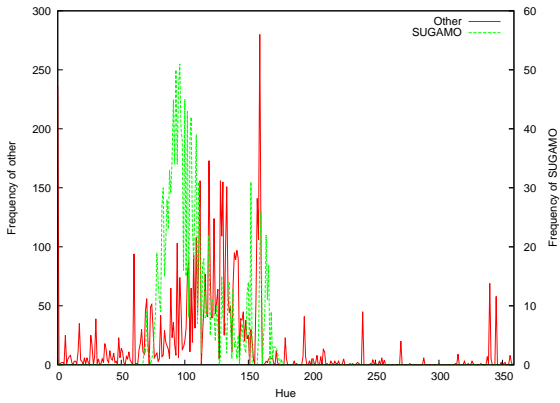
(3) **終了判定** 手順 2 で Q に加えられた 8 近傍画素が一つもない場合，処理を終了する．それ以外の場合，手順 2 の処理を繰り返す．

以上の手順によって抽出された領域を対象領域とする．

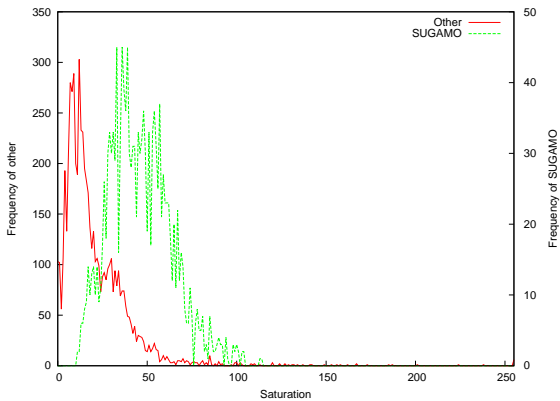
3.2 スガモ形状のモデル化

スガモの葉は線状に細長く，画像上のスガモは線状に輝度が盛り上がった領域として認識できる．ただし，この線状に輝度が盛り上がった領域は個体差やカメラまでの距離や個体差の影響により線幅が一定でない．また映像中の照度は安定していないことから，コントラストも一定でない．吉永らはこのような領域を抽出する手法として，線集中度フィルタを提案している [6]．本論文ではこの線集中度フィルタを用いてスガモ領域の抽出を試みる．

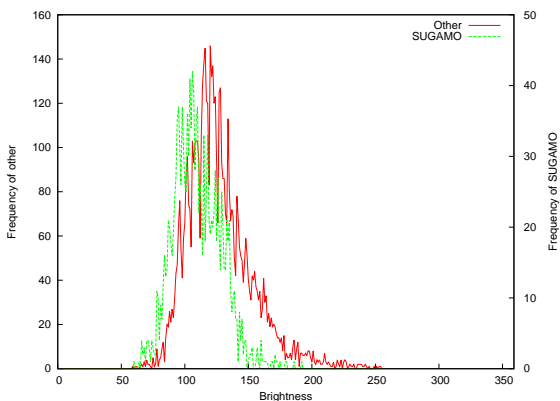
線集中度フィルタは線状凸領域をある中心線を境にして両側の輝度勾配ベクトルがそれに直交している領域としてモデル化する．この中心線をベクトル集中線と呼び，画像中のある点 (x, y) における線集中度 $C(x, y)$ を定義する．まず C_p を，図 8 で示すような，ベクトル集中線の近傍点 P における勾配ベクトルの方向 \vec{g}_p と， \vec{g}_p とベクトル集中線に直交する方向との差分 θ_p とを用いて次のように定義する．



(a)

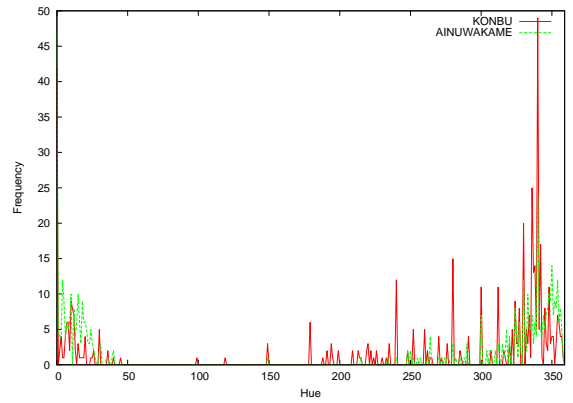


(b)

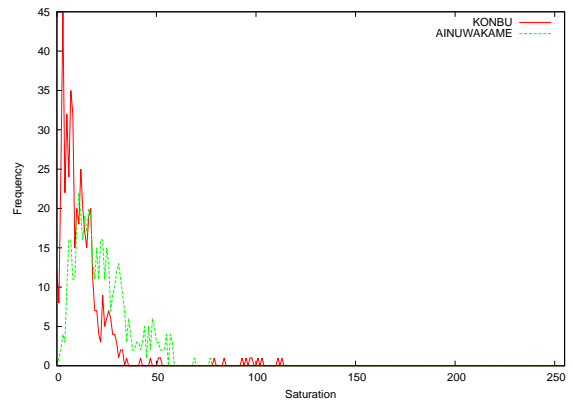


(c)

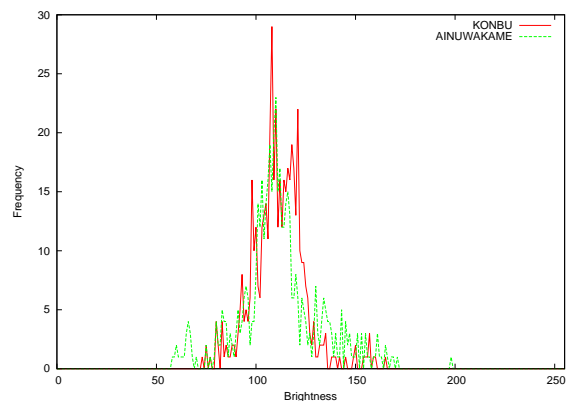
図 6 スガモ及びそれ以外の領域の画素の HSB 値に関するヒストグラム：(a) 色相 . (b) 彩度 . (c) 明度 .



(a)



(b)



(c)

図 7 コンブ及びアイヌワカメの領域の画素の HSB 値に関するヒストグラム：(a) 色相 . (b) 彩度 . (c) 明度 .

$$C_p = \begin{cases} \cos(\theta_p) & \text{if } |\vec{g}_p| \neq 0, \\ 0 & \text{if } |\vec{g}_p| = 0. \end{cases} \quad (5)$$

この C_p をベクトル集中線に対する近傍点 P の線集中度と呼ぶ。また、ベクトル集中線の両翼に広がる領域をそれぞれ A_l, A_r とし C_{A_l}, C_{A_r} を以下のように定義する。

$$C_{A_l} = E[\cos(\theta_p)] (P \in A_l), \quad (6)$$

$$C_{A_r} = E[\cos(\theta_p)] (P \in A_r). \quad (7)$$

ここでベクトル集中線から A_l, A_r の領域端までの距

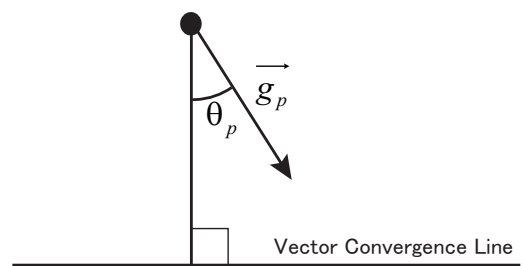


図 8 ベクトル集中線近傍点における輝度勾配ベクトル方向

離を W_l, W_r とし、注目点 (x, y) に通る角度 φ の直線を考え、この直線がベクトル集中線であると仮定すると

$C(x, y)$ は

$$C(x, y) = \max_{\varphi} \left[\frac{\max_{w_l} C_{Al} + \max_{w_r} C_{Ar}}{2} \right] \quad (8)$$

として求められる．

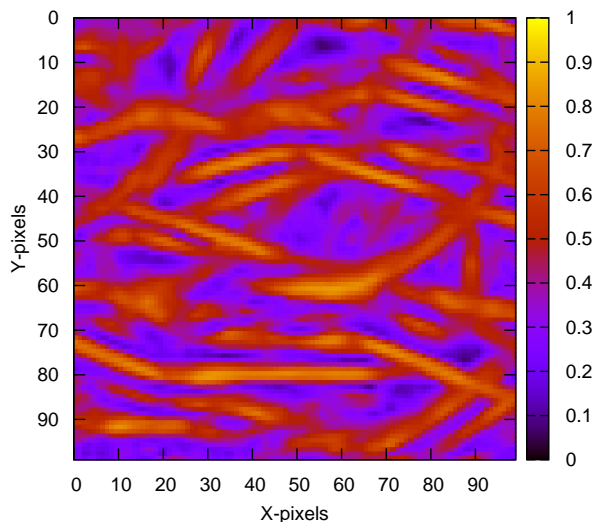


図 9 スガモ領域の線集中度 (対象画像は図 5(a))

図 9 に図 5(a) に対して求めた線集中度を示す．スガモの細長い葉上において線集中度が高くなっていることがわかる．線集中度は理想的な線状凸領域上で 0.5 以上をとることが示されている．本論文では，線集中度が 0.5 となる領域をスガモ領域として抽出する．

3.3 アイヌワカメ筋領域のモデル化

本論文ではコンブ領域とアイヌワカメ領域を筋の有無により識別する．ここでは，アイヌワカメが持つ筋のモデル化について説明する．画像上でのアイヌワカメの筋はスガモと同様，輝度が線状に盛り上がった領域であり，線幅，コントラストは個体差や照度差の影響により一定ではない．そこでこの筋領域もスガモと同様，線集中度フィルタを用いて抽出する．

図 10 に図 5(c) に対して求めた線集中度，図 11 に図 5(b) に対して求めた線集中度を示す．図 10 からアイヌワカメの筋上において線集中度が高くなっていることがわかる．ただし線集中度フィルタにはフィルタ長を短くした場合，輝度勾配ベクトル方向が円状に集中する場合にも線集中度が高くなる性質があり，図 5(b) コンブ領域上においても線集中度が高くなる領域が確認できる．

本論文では，コンブ領域上における線集中度が高くなる領域を除去するため，アイヌワカメの筋はある一定の長さを持つことから，抽出後の短い領域をノイズとして除去する．ここで抽出される筋領域の面積と，筋の長さをより精度よく対応させる為まず，線状凸領域の中心付

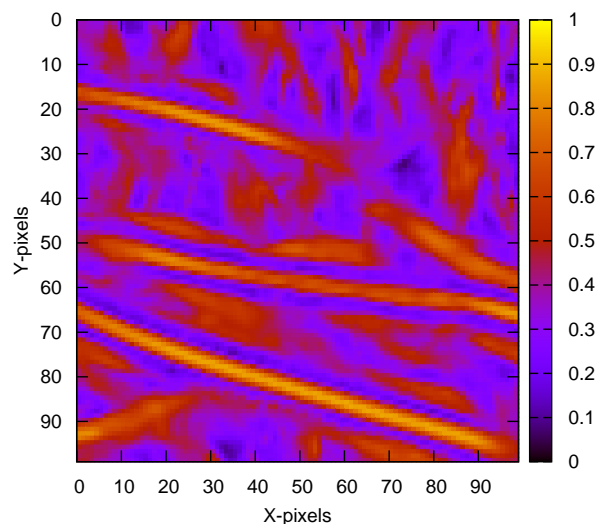


図 10 アイヌワカメ領域の線集中度 (対象画像は図 5(c))

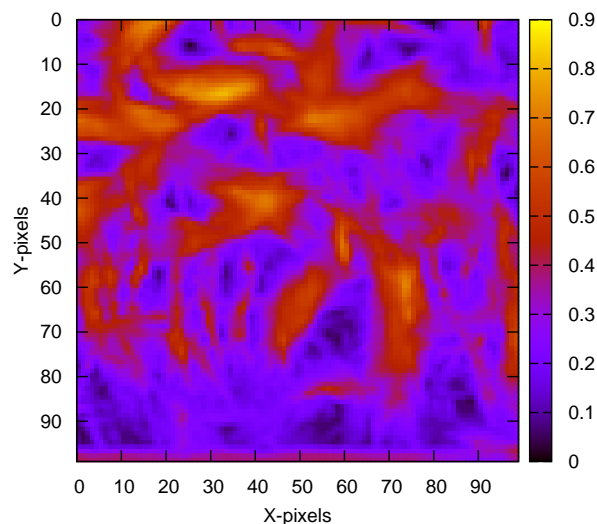


図 11 コンブ領域の線集中度 (対象画像は図 5(b))

近の画素のみを抽出する．中心線の抽出手法は吉永らによって提案されている [7]．注目点 (x, y) の線集中度を算出する際以下のような関数を用いると中心線付近の線集中度のみが算出できる．

$$C_{ct}(x, y) = \begin{cases} \max_{\varphi} \left[\frac{\max_{w_l} C_{Al} + \max_{w_r} C_{Ar}}{2} \right] & \text{if } |W_l - W_r| < T_w \\ 0 & \text{if } |W_l - W_r| \geq T_w \end{cases} \quad (9)$$

さらに，円状に輝度勾配ベクトル方向が集中する場合よりもアイヌワカメ筋上のように輝度勾配ベクトル方向が線状に集中する場合のほうが線集中度が高くなる傾向にある．そこで筋抽出の際には線集中度の閾値を 0.5 よ

りも高く設定する．

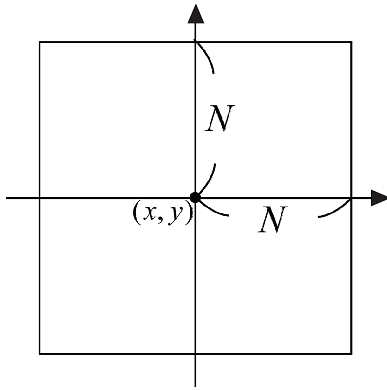


図 12 正方形領域

ただし，コントラストが低下した画像の筋上では輝度勾配ベクトル方向がノイズによって乱れ，線集中度が低くなる場合がある．そこで画像上のある点 (x, y) 周辺のコントラスト評価値を (x, y) を中心とした図 12 のような正方形領域上の輝度分散値

$$\sigma^2(x, y) = \frac{1}{4N^2} \sum_{k=-N}^N \sum_{l=-N}^N (f(x+k, y+l) - \bar{D})^2 \quad (10)$$

として定め，線集中度に対する閾値を $T_c + \sigma(x, y)R$ とする．ここで \bar{D} は正方形領域上の輝度平均値である． N は正方形領域の大きさを制御するパラメータであり，正方形の中心点 (x, y) から正方形の四辺までの距離である．パラメータ T_c は線集中度に対しての最小の閾値，パラメータ R は閾値の対し周囲の輝度分散をどの程度影響させるかを決定する．この閾値により抽出された領域のうち，その面積が T_{sum} 以上となる領域を筋領域として抽出する．

4. 実 験

ここでは，各特徴に基づく海藻類の抽出実験について説明する．

4.1 方 法

ここでは，実験の方法について説明する．実験には節 2. で示した映像を用いた．まずスガモ領域を，色特徴に基づくフィルタにより抽出された画素のうち，線集中度が 0.5 以上となる画素として抽出した．次に，コンブ及びアイヌワカメ領域を領域拡張法により抽出した．次に抽出されたコンブ及びアイヌワカメ領域からの膨張処理を 8 回，収縮処理を 12 回行い，膨張収縮後の領域から筋領域を抽出した，最後に抽出された筋領域からの距離が 10 以下となる画素をアイヌワカメ領域，それ以外のものをコンブ領域として抽出した．ここで線集中度フィルタのフィルタ長を 7，フィルタ幅を 20 とした．また，筋領域とみなす面積の閾値を $T_{sum} = 140$ ，抽出する線集中度の幅に対する閾値を $T_w = 5.5$ ，筋抽出に用いる線集中度の閾値パラメータを $T_c = 0.5$ ， $R = 0.001$ とした．

4.2 結 果

図 2 に対する抽出実験の結果を図 13 に示す．ただし図 13 は抽出された領域を，青い領域がコンブ，赤い領域がアイヌワカメ，緑の領域がスガモとして表す．

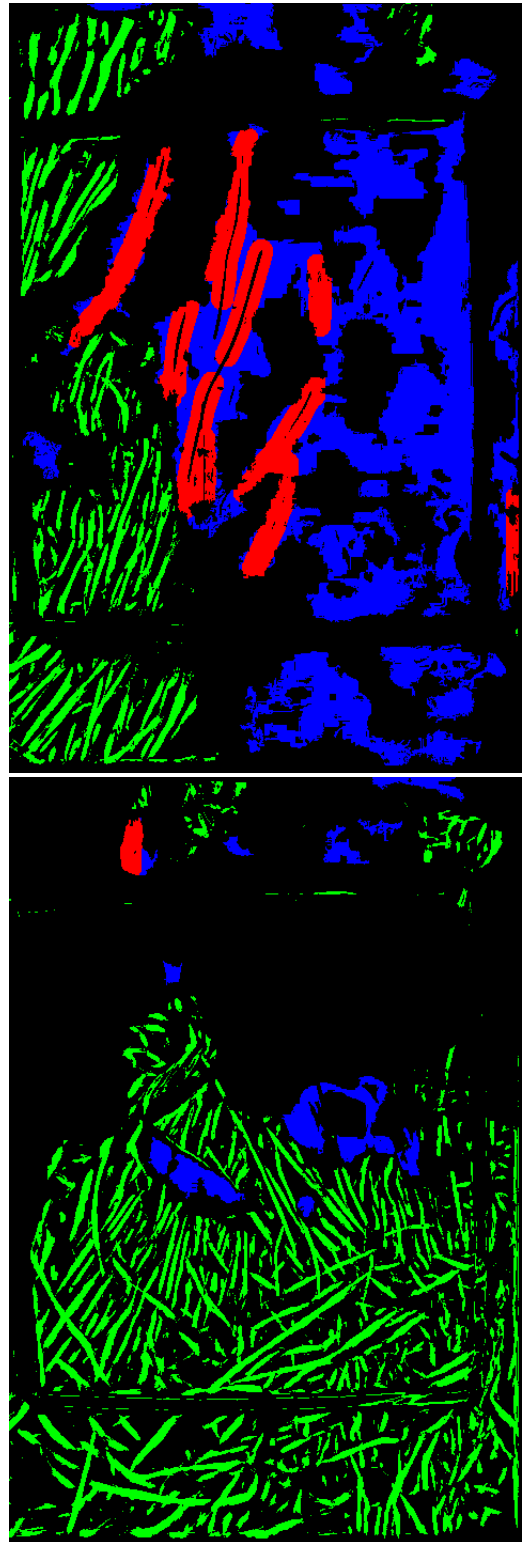


図 13 抽出結果 (対象画像は図 2，青がコンブ，赤がアイヌワカメ，緑領域がスガモ)

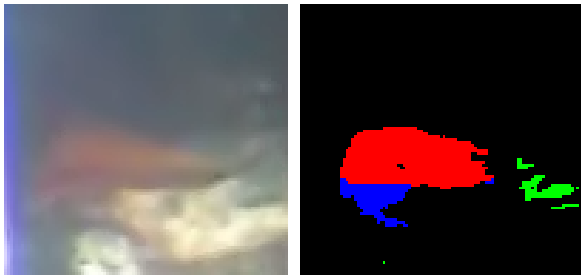


図 14 アイヌワカメ誤検出例 (画像サイズ 100 × 97)

5. 考 察

海藻類それぞれが持つ特徴を用いることにより、根室のコンブ漁場で撮影された水中映像から海藻類を識別して抽出することが可能であった。主観的な評価ではあるが、図 13 からコンブ、アイヌワカメ、スガモが精度よく抽出されていることがわかる。しかし、コンブとアイヌワカメを識別する際に用いた筋は、本来筋がないコンブであっても光の当たり方、個体差、カメラに対する葉の向きなどにより画像上において筋のような特徴を持つことがある。図 14 で示すように、実験でもそのような領域がアイヌワカメとして誤検出されていた。今後は抽出精度の評価とともに、抽出率の向上を目指す必要がある。また、本論文の中で用いた映像中での量は少ないものの対象の海域にはコンブやアイヌワカメ以外の茶色の海藻が生息していることから、今後これらの海藻との識別を検討しなければならない。

6. 応 用 例

抽出された海藻領域の画像上での面積は、植物群落で、ある種が地表面を覆っている度合いである被度とよく対応すると考えられ、コンブ漁業の効率化への利用が期待される。図 15 は水中映像撮影の際に記録した GPS データと抽出された領域面積の画像全体の面積に対する割合を統合したものである。これにより、海藻類の空間分布を把握することができる。

7. お わ り に

根室のコンブ漁場における水産資源量調査の自動化を目指して、水中映像からの海藻、海草類を抽出手法を提案した。海草のうちスガモは緑の色特徴と細長い線状の形状特徴を有する。海藻のうちアイヌワカメとコンブは茶色で、領域内での色変化が少ないという特徴を有する。また、アイヌワカメとコンブは筋の有無により識別できる。本論文ではこれらの特徴を用いて映像中からのスガモ、コンブ、アイヌワカメの抽出手法を提案し、実映像を用いた実験によりその有効性を検証した。今後は抽出精度を評価し、精度の向上を目指す予定である。

文 献

[1] 阿部英治, “雑海藻駆除によるコンブ漁場の再生技術,”

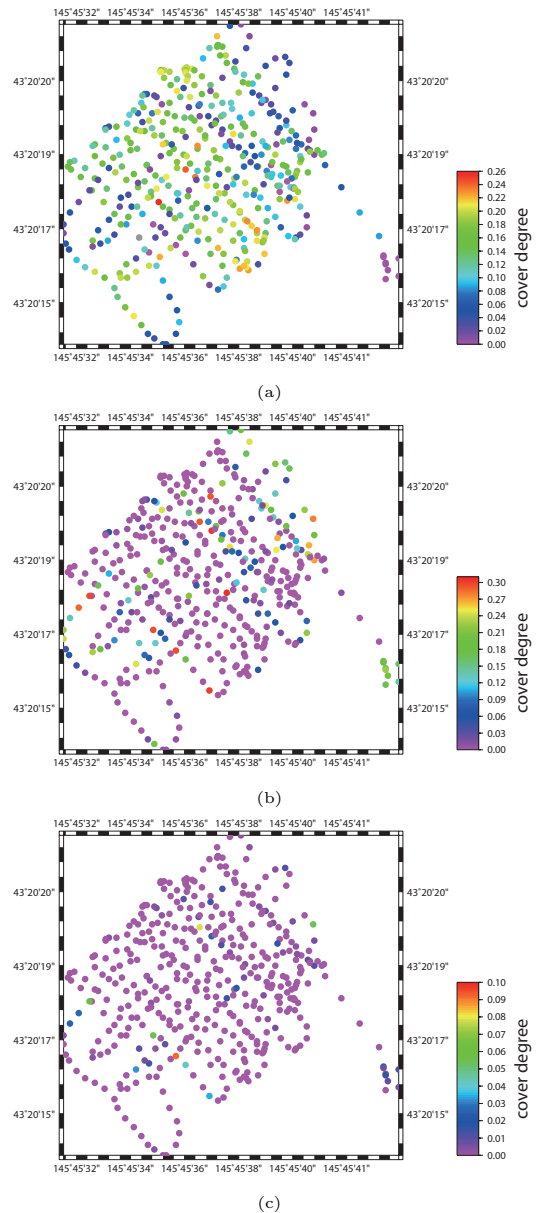


図 15 被度マップ: (a) スガモ . (b) コンブ . (c) アイヌワカメ .

釧路水試だより, vol. 72, pp. 4–8, 1995.

- [2] 北海道立釧路水産試験場・歯舞漁業協同組合, 1996–98 共同研究成果資料歯舞地域コンブ漁場の類型化に関する研究, 1999 .
- [3] 伊藤博, 坂西芳彦, “北海道東部コンブ藻場で観察された大型海藻類鉛直被度の季節変化,” 日本水産工学会学術講演会講演論文集, no. 2, pp. 239–240, June.2006.
- [4] 伊藤博, 坂西芳彦, “北海道東部のコンブ漁場における大型海藻類の競合実態の検討,” 日本水産工学会学術講演会講演論文集, no. 20, pp. 245–246, May.2008.
- [5] K. Enomoto, M. Toda, and Y. Kuwahara, “Extraction Method of Scallop Area in Gravel Seabed Images for Fishery Investigation,” Trans. IEICE, vol. E93-D, no. 7, pp. 1754–1760, 2010.
- [6] 吉永幸靖, 小畑秀文, “輝度勾配ベクトルを用いたコントラストや幅に影響されない線領域の検出法,” 信学論, vol. J81-D-2, no. 11, pp. 2547–2554, Nov.1998.
- [7] 吉永幸靖, 小畑秀文, 福島重広, 縄野繁, “輝度こう配ベクトル場モデルによる線の特徴抽出を用いたスピキュラ判別法,” 信学論, vol. J87-D-II, no. 1, pp. 146–154, Jan.2004.