

## 細砂場環境を考慮した殻縁特徴によるホタテ領域抽出

榎本 洸一郎<sup>†</sup> 戸田 真志<sup>††</sup> 栗原 康裕<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> 公立はこだて未来大学大学院 〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2

<sup>††</sup> 公立はこだて未来大学 〒041-8655 北海道函館市亀田中野町 116-2

<sup>†††</sup> 北海道網走水産試験場 〒099-3119 北海道網走市鱒浦 1-1-1

E-mail: †{g3111001,toda}@fun.ac.jp

あらまし 本論文では、水産資源量調査のために撮影された海底画像群からホタテの自動計測システムの開発を目的とし、砂場環境に適したホタテ領域の抽出手法について提案する。対象となる砂場環境下では、ホタテは砂に身を隠している。このため、ホタテの殻はほとんど確認することができず、視覚的特徴が少ない条件下で認識する必要がある。そこで、ホタテが呼吸することで露出している殻縁領域と、砂に覆われている殻領域をそれぞれモデル化し、抽出を試みた。その結果、殻縁が十分に確認できるホタテに対して 90.3% の精度を示した。これにより実画像を用いた実験により本手法の有効性を確認した。

キーワード ホタテ、水産資源量調査、自動計測、海底画像、画像処理

### 1. はじめに

水産資源量の調査は、資源の枯渇の防止と漁業の効率的な操業を実現する上で、極めて重要である。各関係機関は必要な調査を行い、水産資源の個体数・発育の状態の把握に努めている [1]。養殖漁業では資源量調査結果を基に、操業計画を立てる。

水産資源量調査は個体数だけでなく、種類、体長、位置、状態（生死）などを定量的に測定する必要がある [2]。近年、デジタルカメラの普及と双胴船技術の発達により、水中の映像を容易に撮影することができつつある [3], [4]。画像を利用する資源量調査は、対象資源を漁獲して資源量を推定する間接手法とは違い、対象資源に影響を与えずに調査を行うことのできる直接的手法である。また、魚群探知機などの音響調査では観測が困難な貝などの底生生物を調査することが可能であり、視覚的推定が可能であるため、生死などの状態を把握することも可能である。

一方で、得られた画像を利用した水産資源の自動計数技術は確立されていない。北海道、常呂のホタテの地撒き養殖では、個体数・発育状況を把握するために海底画像群の解析により資源量調査を行っている [1]。2007 年に北海道網走水産試験場が行った調査では、漁獲面積約  $58.5\text{km}^2$  中、 $580\text{m}^2$  の画像を所得している。しかし、これらの画像を用いた自動計測技術がないことから、画像中の対象資源を専門家が目視にて計測している。このため、得られた画像の解析に時間がかかることから、調査の広域化への大きな妨げとなっている。このため、ホタテを自動的に計測する技術が求められている。

ホタテは、主に礫場と砂場に生息している [5], [6]。対象海域の底質 [7] は、生息密度（個体 /  $\text{m}^2$ ）が 6 個体前

後の上漁場は礫、3-5 個体の中漁場は礫と大砂、2 個体以下の下漁場は細砂が卓越している。このため、資源量調査では礫場と砂場の両方に対応する必要がある。

著者らは、海底画像からホタテの数や大きさ、状態（生死）を自動的に計測可能なシステムの開発を目的として、礫場環境での抽出手法の提案し、その有効性を示している [8]。一方で、ホタテのもう 1 つの主な生活環境である砂場では、ホタテは殻の上を砂で覆い身を隠しているため、殻の色や模様などは確認することはできない。このため砂場環境では、ホタテの殻縁部領域のみが呼吸時の殻の開閉により砂泥が取り除かれる。また海底画像は、砂場の粒度によって背景が大きく異なる。さらに対象資源を人間が目視にて計測するために撮影されたものであり、撮影時の照明による照度差や海中を浮遊する砂などがある多ノイズの非整備環境下で撮影されたものである。また海底画像中には撮影のための機材が映りこんでいるため、抽出精度に影響を与えることもある [8]。本論文では対象となる砂場環境下において、礫場環境とは異なるホタテの殻縁特徴を定義し、砂場の環境変化を考慮した抽出手法を提案する。

本論文の構成は以下のとおりである。2. では、対象となる海底画像とホタテ抽出手法の指針を示し、3. では、海底画像群から海底環境が細砂場のものを自動抽出し、前処理として多ノイズを含む画像に適した平滑化処理と撮影機材のフレームの除去処理、照度が十分である認識可能領域を定義し、抽出する手法について述べる。4. では、ホタテ領域抽出のために、ホタテ殻の特徴である形状と殻縁をモデル化し、モデル化された特徴量を統合する。5. では、ホタテ領域の抽出実験の手法と結果を示す。6. では実験に対する評価を行い、最後に 7. でまとめを述べる。

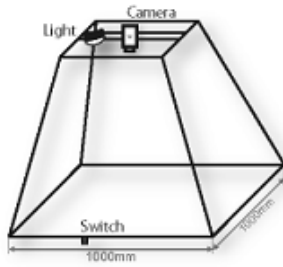


図 1 撮影機材の簡略図．

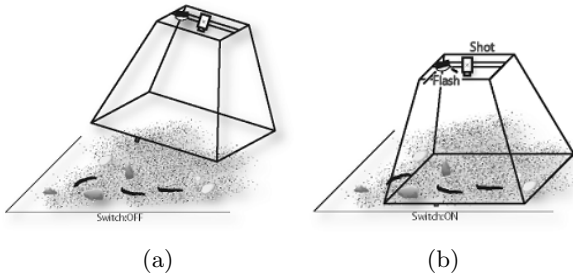


図 2 撮影手順．(a) 海底機材を調査点の海中に沈める．(b) 機材を海底に沈めると、底部のスイッチが反応し、自動的に海底が撮影される．

## 2. 設計の指針

### 2.1 海底画像の撮影方法

海底画像の撮影方法は生態学的知識に基づいている．ホタテの資源量調査では、 $1m \times 1m$  の調査点を撮影し、海底画像からホタテの計測し、資源を推定する．海底画像の撮影環境の簡略図を図 1 に示す．撮影機材には、デジタルカメラと照明、底部にスイッチがそれぞれ一つ備わっている．

海底画像の撮影手順を図 2 に示す．まず、船舶から撮影機材を海中に沈める（図 2(a)）．ただし、ホタテは急な照度変化を感知すると逃避行動をとるため、照明は撮影時まで点灯させない．次に撮影機材が海底まで落とす．このとき、機材の底部についているスイッチが反応し、自動的に照明が点灯し、デジタルカメラにより撮影される（図 2(b)）．

これにより、カメラと海底までの高さがほぼ一定であり、傾きを補正する必要がないため、調査に適した海底画像が取得できる．また砂や礫などの海底環境からも影響をうけない．また、ホタテに影響を与えることなく撮影できることから、資源量調査に適した手法である．

### 2.2 提案手法

本論文で対象となる砂場環境の海底画像例を図 3 に示す．なお、対象画像は、サイズが  $1536 \times 1024$  の 24bit のカラー画像である．対象画像は、人間が目視でホタテを観測するために撮影されたものであるため、撮影時の照明による照度差などがある．このため、十分な照明が得られていない領域も存在する．また、撮影機材の一部で



図 3 砂場環境の海底画像．

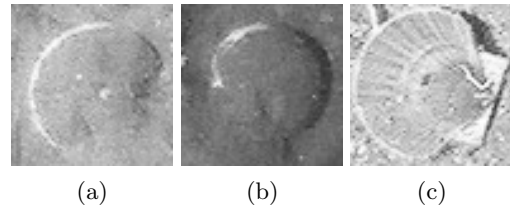


図 4 ホタテ領域（画像サイズ： $64 \times 64$ ）．(a), (b):砂場環境下のホタテ．(c):礫場環境下のホタテ．

あるフレームも画像中に含まれる．

ホタテ領域の例を図 4 に示す．ホタテ領域を他の領域と比較すると、(1) 扇状の形状、(2) 殻縁の白い領域、を確認できる．海底が砂場である場合、ほとんどのホタテは殻を砂で覆って身を隠している．しかし、ホタテは呼吸をする際に殻を開閉するため、殻縁部（殻の周辺部）の砂が落ち、殻縁部のみ確認することができる．ホタテの殻縁は白色であり、個体差はほとんどない．またホタテの個体同士は、同様の理由で重なることはない．

砂場環境下におけるホタテ領域抽出の流れを図 5 に示す．まず、細砂場環境の画像を自動判別し、前処理として、多ノイズを含む画像に適した平滑化処理と撮影機材のフレームの除去処理、照度が十分である認識可能領域を定義し、抽出する手法を提案する．次に、殻縁特徴と形状特徴により候補領域を抽出し、最後に、殻縁領域と殻領域からホタテ領域を判別する．

## 3. 前処理

### 3.1 底質判別

対象の海域において、砂場環境は荒砂場と細砂場に分けることができる．本論文では砂場環境のうち、対象となる細砂場を同時生起行列 (GLCM) [9] を用いたテクスチャ特徴により自動的に識別する．GLCM とは、二つの相対的な位置にある画素値の頻度によるテクスチャ特徴の一つである．ここで、相対的な変異  $\delta = (r, \theta)$  とし、本論文では  $\delta = (1, 0)$  とする．また底質の判別には標準偏差と均一性を用いる [9] ．

底質判別に用いるテクスチャ領域には、海底画像のフレーム中心から  $64 \times 64$  のマージンを取り、 $256 \times 256$  の領域を用いた．

砂場の海底画像 125 枚に対して GLDM による実験し

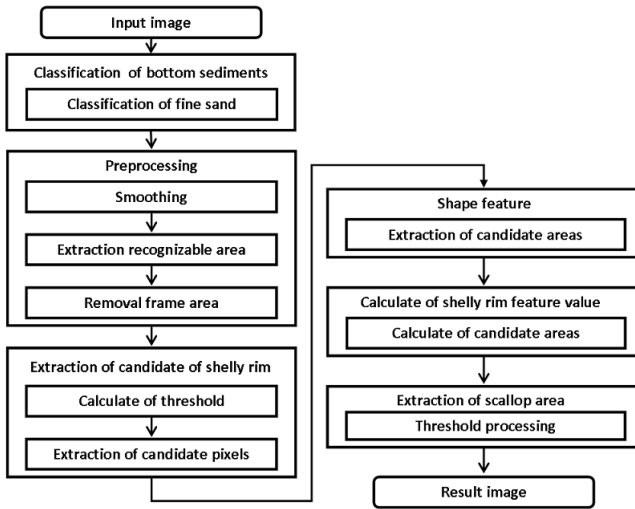


図 5 処理の流れ.

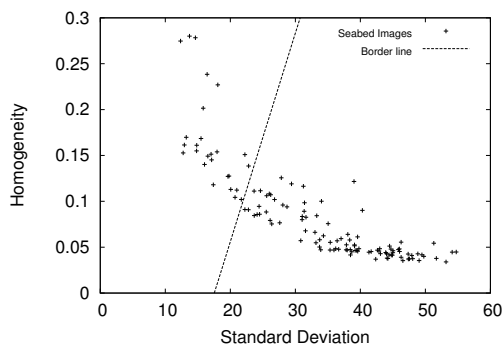


図 6 GLCM による底質判別結果 .

た結果を図 6 に示す . 本論文では , 図 6 の境界線以上のものを細砂場環境の海底画像とし , 実験を行うこととする .

### 3.2 Mean-Shift フィルタリングによる平滑化

対象画像の背景は粗砂や細砂などの砂の粒度によって背景が大きく異なり , ノイズを多く含むことから , ホタテ領域の特徴を失うことなく平滑化する必要がある . そこで本論文では , Mean-Shift フィルタリング [10] を用いて平滑化することとした

ここで , 色情報  $r$  と空間情報  $s$  に対するカーネル幅を  $(h_r, h_s)$  とし , 平滑化処理を行う . Mean-Shift フィルタリングによる平滑化結果を図 7 に , ホタテ領域の平滑化結果を図 8 に示す . ただし , カーネル幅  $(h_r, h_s) = (20, 15)$  とした . 図 7 より , ホタテの形状を失うことなく砂の領域は平滑化されているのがわかる . 本論文では , 全ての解析対象画像に対して平滑化処理した画像を用いることとする .

### 3.3 フレームの除去

対象画像中には , 撮影機材のフレームが含まれている (図 3) . フレームは黒色であり , 画像中の中央から上方にかけては青色に塗装されている . また撮影時の照明に



図 7 Mean-Shift フィルタリングによる平滑化結果 (対象画像は図 3) .

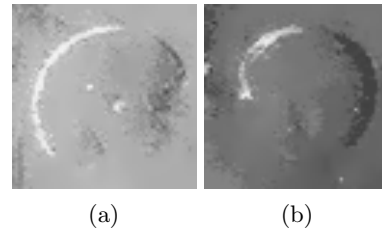


図 8 ホタテ領域の平滑化例 (対象画像は図 4(a), (b)) .

より , フレームの一部が反射することがある . このため , ホタテ領域の誤検出の原因となることから , 抽出精度に悪影響を及ぼすことを報告している [8] . フレームの上方にはカメラが固定されているため , カメラとフレームの位置は安定している . このため , 対象画像中のフレームの大きさは既知である .

フレーム除去処理は , フレーム中で特徴的な領域をテンプレートとしたテンプレートマッチングによって行う . テンプレート画像は , 海底画像においてフレームの中央上部と中央部を , 評価には , RGB 値に対する二乗誤差和 (SSD) をそれぞれ用いた . フレームの中央上部と中央部の座標から , 既知である画像中のフレームサイズに従い除去を行う .

### 3.4 認識可能領域

対象画像は , 撮影時の照明による照度差が大きく , 十分な照度が得られていない領域がある . このような領域では , 正確な色情報や形状情報を得ることは困難である . そこで , 十分な照度が得られている領域を認識可能領域とし , この領域に対してホタテ領域を抽出することとする .

認識可能領域を以下のように定義する . 大きさ  $(M, N)$  の画像  $I$  , 大きさ  $(W, H)$  で画像  $I$  中の局所領域を  $I_{local}$  とする ( $I_{local} \subset I$ ) . 局所領域  $I_{local}$  に対して , 輝度値の平均値  $L_\mu$  を求め , 閾値  $Th_L \leq L_\mu$  を満たすとき , 認識可能領域とする . この処理を , 局所領域  $I_{local}$  の移動幅  $k$  とし , 対象画像  $I$  全体に対して行う . 本論文では , 局所領域  $I_{local}$  の大きさ  $(W, H) = (64, 64)$  , 移動幅  $k = 16$  , 輝度値の平均値に対する閾値  $Th_L = 75$  とした . ただし , 対象画像にフレームの位置は安定しているため , 画像周辺部は認識可能領域ではないとした . フレーム除去と認

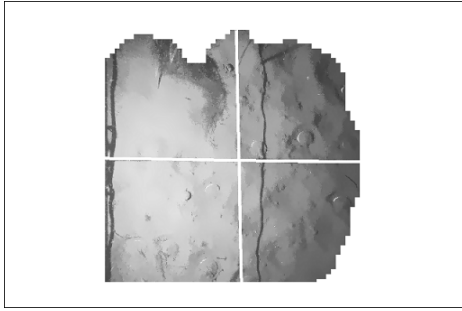


図9 フレーム除去と認識可能領域の抽出結果（対象画像は図7）。

識可能領域の抽出結果を図9に示す。

## 4. ホタテ特徴のモデル化

### 4.1 殻縁候補

海底が砂場である場合、ほとんどのホタテは殻を砂で覆って身を隠している。しかしホタテは、呼吸をする際に殻を開閉するため、殻縁部（殻の周辺部）の砂が落ちて露出している領域ができる（図4）。また、ホタテの殻縁部は安定して白色である。このためホタテ領域の近傍を見たとき、殻縁部分は最も明るい領域であると仮定できる。ここでは、これらの特徴を殻縁特徴とし可変閾値を用いることで照度差に対応した殻縁候補点の抽出手法を提案する。

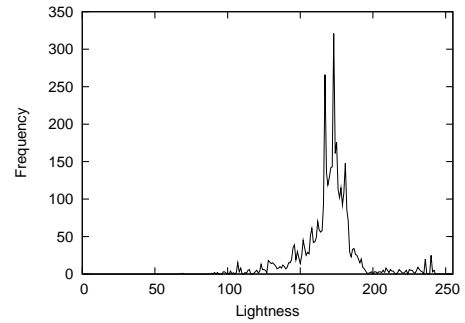
殻縁特徴を定義するにあたり、大きさ  $(W', H')$  で画像  $I$  中の局所領域  $I_{local'}$  を定義する。局所領域  $I_{local'}$  が十分に大きく且つ、ホタテの殻縁領域が含まれているとき、図4より、殻縁領域が  $I_{local'}$  を占める割合は小さい。また殻縁領域は白色であるため、局所領域  $I_{local'}$  において、もっとも輝度値の高い領域であるといえる。

これらの特徴から以下のように殻縁候補点  $SR_c$  を定義する。まず局所領域  $I_{local'}$  における輝度値のヒストグラムを求める。このとき殻縁領域は、ヒストグラムの分布の中で輝度値が高く且つ他の領域分布に含まれず、十分に小さい。ここでヒストグラムの平均値  $L_{\mu'}$ 、標準偏差  $L_{\sigma'}$ 、局所領域の中央座標  $(x'_0, y'_0)$ 、座標  $(x'_0, y'_0)$  に対応する画像  $I$  の座標  $(x, y)$ 、殻縁候補点とする割合  $p$  としたとき、座標  $(x'_0, y'_0)$  の殻縁候補点に対する閾値  $Th_{SR}(x'_0, y'_0)$  を、

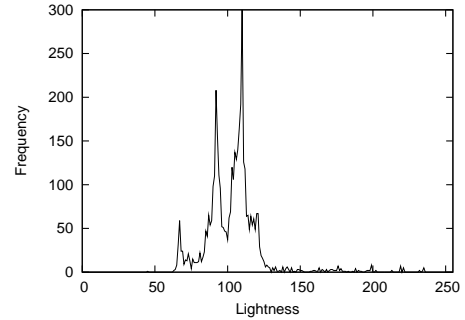
$$Th_{SR}(x'_0, y'_0) = L_{\mu'} + \lambda L_{\sigma'} \quad (1)$$

とする。ただし  $\lambda$  は、ヒストグラムの分布が正規分布としたときに、殻縁候補点とする割合  $p$  により決定され、正規分布表に従う。この閾値  $Th_{SR}(x'_0, y'_0)$  を画像  $I(x, y)$  に対応する閾値とする。この処理を移動幅  $k'$  により画像  $I$  全体に対して行う。このとき、閾値  $Th_{SR}$  は移動幅  $k'$  の間隔が空くため、線形補間法により画像  $I$  全体の閾値  $Th_{SR}$  を決定する。画像  $I(x, y)$  が

$$Th_{SR}(x, y) \leq I(x, y) \quad (2)$$



(a) 閾値  $Th_{SR} = 214$ （対象画像は図8(a)）。



(b) 閾値  $Th_{SR} = 149$ （対象画像は図8(b)）。

図10 局所領域の輝度ヒストグラムと閾値  $Th_{SR}$ 。

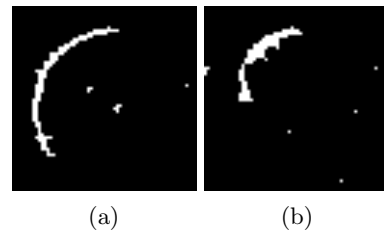


図11 ホタテ領域の殻縁候補点抽出結果（対象画像は図4(a), (b)）。

を満たすとき、殻縁候補点  $SR_c$  とする。本論文では、局所領域  $I_{local'}$  の大きさ  $(W', N') = (64, 64)$ 、移動幅  $k' = 16 (= k)$ 、殻縁候補点とする割合  $p = 0.01$  とし、 $\lambda = 2.326$  で与えられる。図8を局所領域としたときのヒストグラムを図10に、殻縁候補点を抽出した結果を図11に示す。

### 4.2 殻縁の形状特徴

ホタテの殻は扇状の形状を有し、殻縁部分にも同様の特徴をみることができる。本論文では、ホタテの殻縁形状を楕円と見なし、楕円検出 Hough 変換を用いてモデル化を試みた。Hough 変換とは、候補となる関数のパラメータ空間上に特徴点に従い投票することで検出される。ノイズに強く、対象の画像に適した手法である。ただし直線の場合2次元、楕円の場合5次元のパラメータ空間が必要となる。また、図4より対象となる殻縁の形状は、楕円を構成する特徴点が50%にも満たないことがほとんどである。このため全ての特徴点を用いて以下で述べるパラメータ空間に対して投票を行い楕円の検出を行う。ただし、本論文では用いる特徴点は次節で詳述する。

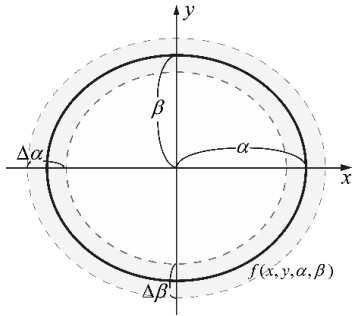


図 12 楕円と近傍領域.

本論文では、楕円の中心座標  $(x, y)$  , 半長径  $\alpha$  , 半短径  $\beta$  , 長軸の傾き  $\phi$  の 5 個のパラメータで表し、楕円に対する関数  $f(x, y, \alpha, \beta, \phi)$  を定義する。そして、対象画像の特徴点に対して Hough 変換により楕円の検出を行う。しかし、対象となる殻縁の形状は、楕円を構成する曲線のうち半分にも満たない。そこで本論文では、長軸の傾き  $\phi = 0$  とし 4 次元のパラメータ空間に投票することで、高速化を図ることとした。また、ホタテは一定範囲の大きさ・形状であるため、楕円パラメータ  $\alpha, \beta$  が  $22 \leq \alpha, \beta \leq 36$  , 楕円率  $\beta/\alpha$  が  $0.85 \leq \beta/\alpha$  を満たすものとした。

### 4.3 殻縁特徴と形状特徴の統合

ホタテ殻の形状は扇状であり、殻縁はその形状に沿った白色の部分である。このため、殻縁候補点は、ホタテの殻縁領域内であるとき、殻の形状に沿って存在していると仮定できる。

楕円検出 Hough 変換によって検出される楕円とパラメータ空間の関係を図 12 に示す。ここで Hough 変換に用いられる半長径  $\alpha$  , 半短径  $\beta$  のパラメータ空間量子化幅を、それぞれ  $\Delta\alpha, \Delta\beta$  とする。このとき、対応するパラメータ空間に投票された特徴点は、楕円検出によって得られた領域をホタテ候補領域  $P$  としたとき、楕円近傍の殻縁領域  $Q$  ( $Q \subset P$ ) 上に存在する。ただし領域  $Q$  は

$$f(x, y, \alpha - \frac{\Delta\alpha}{2}, \beta - \frac{\Delta\beta}{2}) \leq Q \leq f(x, y, \alpha + \frac{\Delta\alpha}{2}, \beta + \frac{\Delta\beta}{2}) \quad (3)$$

とする。パラメータ空間の投票数は、対応するパラメータの殻縁領域  $Q$  に存在する特徴点の数と同値である。一般的に Hough 変換は、抽出したい物体のエッジ点を特徴点とし、抽出を行う。しかし、ここでは楕円を構成する特徴点を殻縁候補点とする。本論文では、パラメータ空間量子化幅  $\Delta\alpha, \Delta\beta = 2$  とした。

### 4.4 ホタテ領域の定義

前節では殻縁特徴と形状特徴の統合について述べてきた。しかし対象環境は、粗砂や細砂など砂の粒度によって大きく異なる砂場である。このため、図 13 に示すような場合、(a) と (b) のいずれも抽出される。しかし、ホタテ殻縁領域中の殻縁候補画素は密度が高く、殻縁に沿

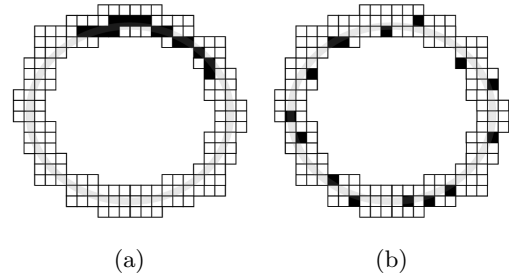


図 13 形状特徴により抽出された楕円と殻縁候補画素の分布例 (殻縁画素数は 15) . (a) 殻縁候補画素群の密度が高い . (b) 殻縁候補画素群の密度が低い .

て連続して存在する可能性が高いと仮定することができる。また、殻縁領域以外のホタテ領域中には、殻縁候補画素の密度は低いとも仮定できる。本論文では、ホタテ領域の中で、殻縁領域とそれ以外の殻領域の殻縁候補画素の分布に注目し、ホタテ領域を定義する。

殻縁特徴と形状特徴によって得られた楕円の周囲長を  $l$  , パラメータ  $d$  ( $0 < d \leq 1$ ) とするとき、弧の長さを  $dl$  で表す。殻縁領域  $Q$  において、弧  $dl$  上の特徴点 (殻縁画素) の個数を  $Num_{SR}$  とする。これを楕円上の全ての弧において求める。このとき、殻縁領域の特徴量  $R_{scallop}$  を、

$$R_Q = \max(\frac{Num_Q}{dl}) \quad (4)$$

と定義する。

次に、ホタテ候補領域  $P$  において、殻縁領域  $Q$  の内側の殻領域を  $\bar{Q}$  , 殻領域  $\bar{Q}$  に含まれる殻縁候補画素の数を  $Num_{\bar{Q}}$  とする。このとき、殻領域の特徴量  $R_{\bar{Q}}$  を、

$$R_{\bar{Q}} = \frac{Num_{\bar{Q}}}{\bar{Q}} \quad (5)$$

とする。

これより、特徴量  $R_Q$  と  $R_{\bar{Q}}$  が、

$$Th_Q \leq R_Q \cap R_{\bar{Q}} \leq Th_{\bar{Q}} \quad (6)$$

を満たすとき、ホタテ領域とする。ただし、 $Th_Q$  と  $Th_{\bar{Q}}$  は、それぞれ  $R_Q$  と  $R_{\bar{Q}}$  に対する閾値である。本論文ではパラメータをそれぞれ、 $d = 0.25$  ,  $Th_Q = 0.6$  ,  $Th_{\bar{Q}} = 0.03$  とした。

## 5. 実 験

### 5.1 実験方法

ホタテ 111 個を含む海底画像 26 枚に対して実験を行った。ここで、殻縁が十分に露出しているホタテを、殻縁領域が楕円の周囲長  $l = 1/8$  以上あるものとし、”clear”と呼ぶこととする。対象の画像群には”clear”なホタテは 93 個含まれていた。評価方法は、ホタテ領域を正しく抽出できたものを正検出 (true-positive) , 正しく抽出できなかったものを未検出 (true-negative) , ホタテ領域以外の領域をホタテ領域として抽出したものを誤検出 (false-negative) とする。

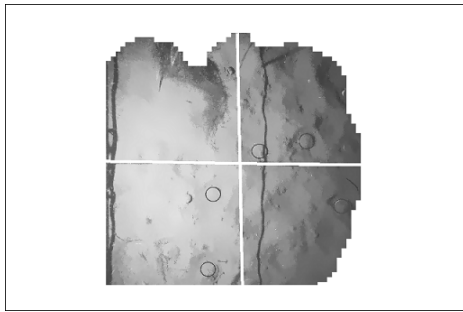


図 14 抽出実験の結果例（原画像は図 3）。

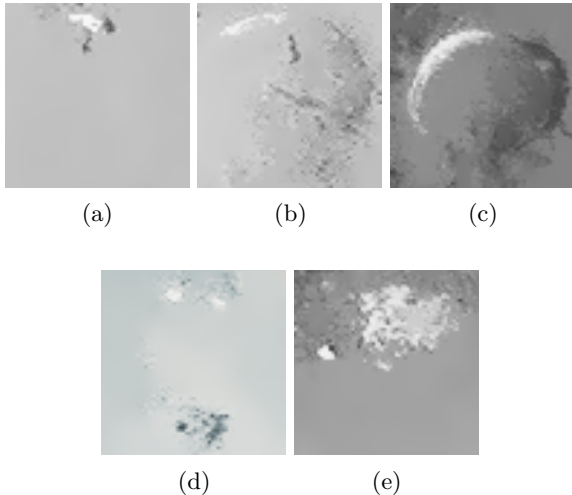


図 15 殻縁特徴量の結果例（(a)–(c) はホタテ領域画像，(d) と (e) は他の領域画像）。(a)  $R_Q = 0.3$ . (b)  $R_Q = 0.5$ . (c)  $R_Q = 1.0$ . (d)  $R_Q = 0.2$ . (e)  $R_Q = 0.8$ .

表 1 実験結果.

Num of scallop		True-positive		False-negative
all	clear	all	clear	
111	93	84(75.7%)	84 (90.3%)	21 (20.0%)

## 5.2 実験結果

ホタテの抽出結果例を図 14 と図 15 に、実験結果を表 1 に示す。図 14 より、ホタテ領域を正しく抽出できていることがわかる。また、図 15(a)–(c) より、ホタテの殻縁に応じて殻縁特徴量  $R_Q$  が変化していることが分かる。図 15(d), (e) はホタテ以外の領域であるが、殻縁特徴量  $R_Q$  だけでは図 15(e) はホタテ領域として検出されてしまう。しかし殻領域の特徴量  $R_Q$  により、これらの領域はホタテ領域として検出されない。

表 1 より、全体の抽出率 75.7% で、“clear” なホタテの抽出率 90.3% であった。

## 6. 考 察

砂場環境下におけるホタテ領域抽出手法として、ホタテの領域を殻縁領域とその内側の領域に分け、それぞれに特徴を定義し抽出を試みた。図 15 より、複数の特徴量を用いることにより、誤検出は抑えられ、正しい領域を抽出することができた。これらの結果は本手法が有効

であることを示している。

専門家の目視による計測精度は約 95% だといわれている。本実験では、“clear” なホタテの抽出率は 90.3% であった（表 1）。ホタテ領域がほとんど確認できない砂場環境においては、この精度は十分であるといえる。

## 7. おわりに

海底画像からホタテの数や大きさ、状態を自動的に計測可能なシステムの開発を目的とし、砂場環境の海底画像からホタテ領域を抽出する手法を提案した。対象画像は、粒度によって環境が変化する砂場であり、撮影環境による照度差を含む非整備環境下で撮影されたものであるため多ノイズを含む。これらの問題を解決するために、Mean-Shift フィルタリングを用いた平滑化及び認識可能領域を定義し、対応した。ホタテは、砂場環境下ではホタテ全体が砂に覆われており、視覚的特徴が乏しい。本手法は、砂場というホタテが身を隠している環境下において、照度差に対応した動的閾値を導入し得られたホタテの殻縁特徴と形状特徴を統合し、殻縁領域と殻領域からホタテを判別することで抽出精度の向上を試みたものである。実画像を用いた抽出実験を通じて、本手法の有効性を検証した。

今後は、礫と砂が混在する環境下での領域抽出手法を検討するとともに、動画への応用も行う予定である。

## 文 献

- [1] 北海道立網走水産試験場，“ホタテガイ地まき漁場におけるモニタリングマニュアル～市場ニーズに対応した計画的生産を目指して～”，北海道立網走水産試験場（オンライン），<http://www.fishexp.pref.hokkaido.jp/exp/abashiri/saikin/manyuaru/manyuaru.pdf>.
- [2] 勝川俊，“水産資源の順応的管理に関する研究”，日本水産学会誌，vol. 73, no. 4, pp. 656–659, 2007.
- [3] 本多直人，渡辺俊広，“水中ビデオカメラを装着した表中層トロール網によるエチゼンクラゲの鉛直分布調査”，日本水産学会誌，vol. 73, no. 6, pp. 1042–1048, 2007.
- [4] 藤田薫，渡辺俊広，北川大二，“トロール網のグランドロープに対するズワイガニ類の行動”，日本水産学会誌，vol. 72, no. 4, pp. 695–701, 2006.
- [5] 奥谷喬司（編著），“日本近海産貝類図鑑”，東海大学出版会，pp.910–911, 2000.
- [6] 丸邦義，道東海域におけるホタテガイの生態とその増養殖，水産業の再生戦略，恒星社厚生閣，pp. 49-70, 2000.
- [7] 西浜雄二，干川裕，サロマ湖における底泥の粒度組成と有機炭素含有率の分布，北海道水産試験場研究報告，vol. 39, pp. 1-9, 1992.
- [8] 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, Jul. 2010.
- [9] M. Robert, K. Haralick, and D. Its’Hak, “Textural Features for Image Classification,” Trans. IEEE, vol. 3, no. 6, pp. 610–621, 1973.
- [10] Y. Cheng, “Mean Shift, Mode Seeking, and Clustering,” Proc. IEEE, vol. 17, no. 8, pp. 790–799, Aug. 1995.