

ホタテ漁場での資源量調査を目的とした 海底画像解析に関する検討

戸田 真志^{†1} 榎本 洸一郎^{†1} 桑原 康裕^{†3}

資源の枯渇の防止と効率的な操業を実現する上で、極めて重要な活動である水産資源量調査では、上述した水中カメラ技術に加え、安定した海上走行を可能とする船舶技術の発展により、画像自体の効率的な取得は可能になりつつある。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未だ確立されておらず、人手に頼るのが現状であり、調査の効率化・広域化に向けての重大なボトルネックとなっている。現在我々は、上記の課題を解決するために、画像処理技術を駆使することで、海底・海中観測画像群を解析し、そこに写るホタテなどの水産資源の数や大きさ、状態（生死）を自動的に計測可能なシステムの構築を目指している。本稿にて、その概要を紹介する。本研究は、視覚による海洋ユビキタスの具体的実現と位置づけられる。

Discussion on Seabed Image Analysis for Fishery Resources Investigation of Scallop

MASASHI TODA,^{†1} KOICHIRO ENOMOTO^{†1}
and YASUHIRO KUWAHARA^{†3}

In this research, we propose the extraction method of scallop area automatically in order to construct the system which can measure automatically the number, the size, and the state of fishery resources, especially scallops, by analysis of seabed images. Our algorithm uses hue information and characteristic pattern information of scallops. Effectiveness of proposed method was illustrated through the experiment.

1. はじめに

多量のセンサ、特に視覚情報からそこに写る対象等を抽出、同定する技術、いわゆるパターン認識技術は、「環境を計測する/みる」という観点において、ユビキタスコンピューティングを支える基本的な技術と位置づけられる。筆者らは、海洋/水産分野を対象とした海洋ユビキタス技術に関する研究活動を進めているが、海洋ユビキタスにおける「海中をみる」行為も同様であり、水産資源量の予測や保全、漁具の改良等、多様で幅広い活動を下支えする基礎的な情報の獲得行為であり、水産関連事業の従事者にとって極めて興味関心の高い活動である。従来、海洋分野では、衛星等のリモートセンシング技術を利用して、低解像度ではあるが広領域の、また、海洋観測ブイや船舶に搭載された超音波、温度計、潮流計、塩分濃度計等を利用して、中領域の、それぞれ「海中をみる」ことを行っているが、近年の撮像機器や耐水/耐圧部材の安価化により、水中カメラを駆使して、「海中をみる」行為が盛んに行われている。例えば、水産資源量調査等においては、水中カメラは幅広く利用されている。これは、温度計等の各種センサはあくまで海洋の環境因子の計測であって、結果的に、対象とする水産資源を「間接的にみる」行為になってしまうこと、また、大きくても数十 cm オーダーであることが多い水産資源に対して、海洋観測ブイや衛星の観測解像度はスケールが合致していない場合が多いこと、などに起因していると考えられる。海中は典型的な非整備環境であり、その環境下での安定したパターン認識技術の確立は困難であるが、その一方で、例えばパターン認識技術を利用しての水産資源の抽出行為等は、水産資源量保全活動に直結し、海洋/水産分野において極めて有効な情報となり得る。このような状況を受けて、筆者らは、視覚による海洋ユビキタス分野の確立と、それを支えるパターン認識技術に関する研究に取り組んでおり、その具体的実現として、視覚による水産資源量調査支援システムの開発を進めている。

資源の枯渇の防止と効率的な操業を実現する上で、極めて重要な活動である水産資源量調査では、上述した水中カメラ技術に加え、安定した海上走行を可能とする船舶技術の発展により、画像自体の効率的な取得は可能になりつつある。しかし、一方で、得られた画像を利

^{†1} 公立はこだて未来大学 システム情報科学部
School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{†2} 公立はこだて未来大学大学院 システム情報科学研究科
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

^{†3} 北海道立総合研究機構 網走水産試験場
Abashiri Fisheries Research Institute

用した水産資源の自動計数技術は未だ確立されておらず、人手に頼るのが現状であり、調査の効率化・広域化に向けての重大なボトルネックとなっている。自動化にあたっては、

- (1) 撮影環境は照度差が大きく且つ砂、泥等、多様な背景を有する高ノイズ環境である
- (2) 対象の計数に加えその状態（生死など）に関する視覚的推定が必要である

など課題が多い。

現在我々は、上記の課題を解決するために、画像処理技術を駆使することで、海底・海中観測画像群を解析し、そこに写るホタテなどの水産資源の数や大きさ、状態（生死）を自動的に計測可能なシステムの構築を目指している。本稿では、我々が現在北海道常呂地区にて実施している、ホタテを対象とした水産資源量調査の画像処理技術を用いた支援について紹介する。

2. 礫場環境下でのホタテ領域抽出

ホタテガイはウグイスガイ目イタヤガイ科に分類される二枚貝の一種である¹⁾。

常呂地区では、ホタテは礫場、砂場のいずれにも生息しており、まずは、礫/砂のいずれかが支配的な場について、ホタテ領域を自動的に抽出する手法の確立を目指している。本節にて、礫場環境下での処理手法と実験結果を、次節にて、砂場環境下での処理手法と実験結果をそれぞれ紹介する。なお、礫/砂の混在する場での自動抽出は今後の大きな課題と位置づけている。

2.1 設計の指針

本稿にて処理を行う海底画像の一例を図1に示す。なお、海底画像は、サイズが1536 × 1024 の24bitのカラー画像である。

ホタテ領域を他の貝や礫領域と比較すると、以下のような特徴を発見できる。

- 肌茶色の特徴的な色を有する
- 扇状の形状を有する

上記の特徴を利用して、ホタテ領域の抽出を図ることにした。なお、画像周辺部では十分な照度が得られず、色や形状を正しく認識することが困難である。そこで前処理として、輝度の平均・分散を用いて認識可能領域を抽出する。

2.2 ホタテ特徴のモデル化

本稿では第2.1節で述べたように、ホタテ領域の「色情報」と「形状」に注目して対象領域の抽出を図る。以下にて、各特徴のモデル化について詳述する。



図1 礫場での海底画像

2.2.1 形状特徴のモデル化

ホタテ領域の扇型形状を楕円とみなし、エッジ処理と細線化を施した後、Hough変換を利用して楕円形状を抽出し、ホタテ領域候補とした。エッジはSobelフィルタを用いて抽出した。エッジ画像 f の座標 (x, y) におけるエッジ強度 $|f(x, y)|$ は

$$|f(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial}{\partial x} f(x, y)\right)^2 + \left(\frac{\partial}{\partial y} f(x, y)\right)^2} \quad (1)$$

にて定義されるが、エッジ強度に関する閾値 $T_e = 180$ にて二値画像を得る。これに対して細線化処理を施した。図2は、エッジ処理を施した結果の一例である。

楕円関数 $f(x, y, \alpha, \beta, \phi)$ は、楕円中心座標 x, y 、傾き ϕ 、長半径 α 、短半径 β の5つのパラメータにて定義し（図3）、Hough変換を用いて楕円形状を抽出し、ホタテ領域候補とした。楕円検出の結果例を図4に示す。

2.2.2 色情報のモデル化

ホタテ領域の色に関する特徴を明らかにするために、海底画像から目視にてホタテ領域から約10,000点を抽出し、サンプル点とした。得られたサンプル点と画像全体のR, G, B各成分をHLS色空間へ変換し、色相、輝度、彩度のヒストグラムを求め、比較した。画像全体とホタテ領域を比較した結果のうち、色相に相当するものを図5に示す。

図5よりホタテ領域の色相は135度付近から170度付近の間に集中していることがわか

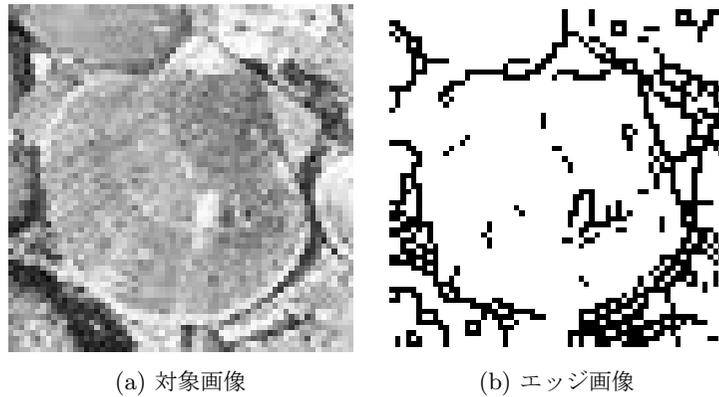


図 2 エッジ処理の結果例

る。彩度、輝度においてはホタテ領域とそれ以外の領域を分離する明確な特徴を得ることができなかった。そこで本稿では、色相範囲を 135~175 度とするフィルタを利用して、ホタテ領域の抽出を図ることとした。

3. 砂場環境下でのホタテ領域抽出

3.1 設計の思想

本稿で対象となる砂場環境の海底画像例を図 6 に示す。なお、対象画像は、サイズが 1536 × 1024 の 24bit のカラー画像である。ホタテ領域を他の領域と比較すると、

- 扇状の形状を有する
- 殻縁部の白い領域を有する

を確認できる。これらの特徴を利用して、ホタテ領域の抽出を図ることとした。

3.2 ホタテ特徴のモデル化

本稿では前節にて述べたホタテ領域の「形状」と「殻縁」に注目して、これらを統合することで対象領域の抽出を図る。以下にて、各特徴のモデル化について詳述する。

3.2.1 形状特徴のモデル化

形状特徴については、礫場と同様の手法を用いた。すなわち、ホタテ領域の扇型形状と楕円とみなし、エッジ処理と細線化処理を施した後、Hough 変換を利用して楕円形状を抽出し、ホタテ領域候補とした。エッジは Sobel フィルタを用いて抽出した。図 7 は処理結果

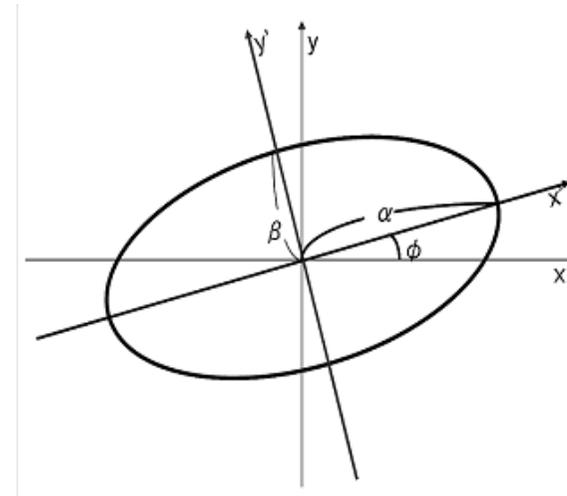


図 3 楕円のパラメータ



図 4 Hough 変換による楕円検出の結果

の一例である。

3.2.2 殻縁特徴のモデル化

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、覆われていない領域ができる（図 7(a)）。また、ホタテの殻縁部は安定して白色である。これらの特徴

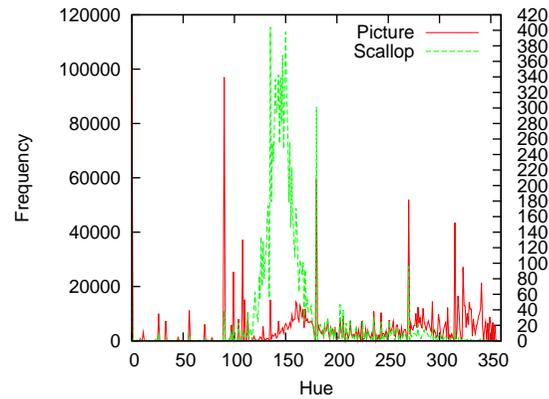


図 5 画像全体とホタテの比較：色相

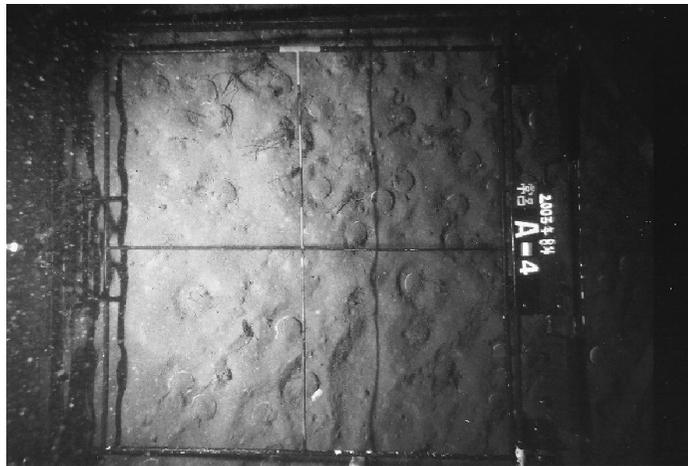
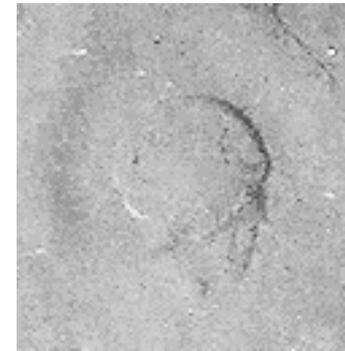


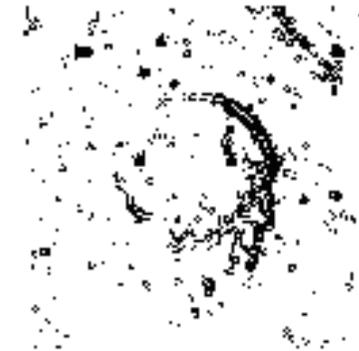
図 6 砂場での海底画像

を殻縁特徴として、ホタテ領域の特徴としてモデル化する。

3.2.1 節の形状特徴によって得られた楕円形状の近傍領域 N の面積を S_r 、領域 N に含まれる殻縁候補画素の面積を S_c 、閾値を T_s とする。ただし、領域 N は、形状特徴によって抽出された楕円形状からの距離 d が、 $d \leq t$ を満たし、 $t = 1$ とする。領域 N を図 8 に示す。



(a) 対象画像



(b) 二値化画像



(c) 細線化画像

図 7 エッジ処理の結果例

このとき、閾値 T_s が、

$$T_s \leq \frac{S_c}{S_r} \tag{2}$$

を満たすとき、ホタテ領域とした。

なお、殻縁候補画素は以下のようにして求めた。まず、対象画像には照度差があるため補正を行う。ここでは、対象画像全体における R, G, B それぞれの要素の平均値を求め、対象画像との差分を求める。得られた画像から、殻縁に見られる白色の抽出を行う。ここで殻縁候補画素は、補正された画素値 R', B', G' について、閾値 $T_{R'}, T_{B'}, T_{G'}$ を用いて、 $T_{R'} \leq R'$,

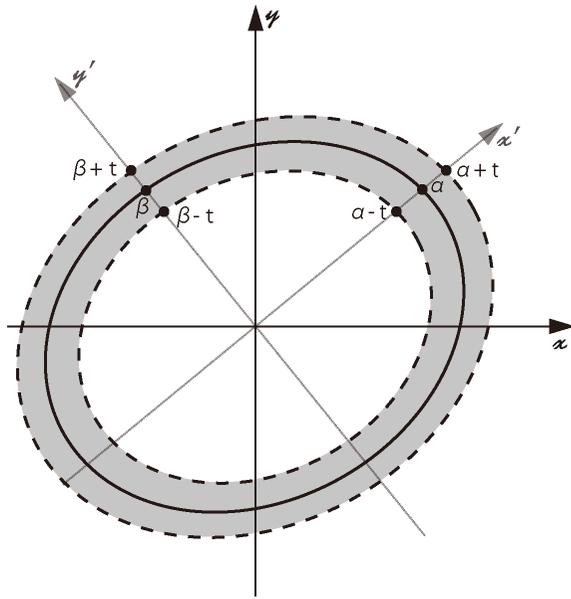


図 8 殻縁領域

$T_{B'} \leq B'$, $T_{B'} \leq B'$ にて求める. ただし, $T_R, T_G, T_B = 30$ とした. 得られた画像を図 9 に示す.

4. 実験と結果

前節までに述べてきた手法の有効性を検証するために, 実際の海底画像群を利用してホタテ領域の抽出実験を行った. 実験画像としては, 海底画像から, ホタテを含む画像とその他の領域の画像を 128×128 のサイズで切り出したものを使用した.

図 10 および図 11 は礫場における処理過程の一例である. また, 図 12 および図 13 は砂場における処理過程の一例である. なお, 表 1, 表 2 は, それぞれ, 礫場, 砂場における処理結果をまとめたものである. 礫場では 80%以上, 砂場でも 75%程度の精度にて抽出できていることがわかる.

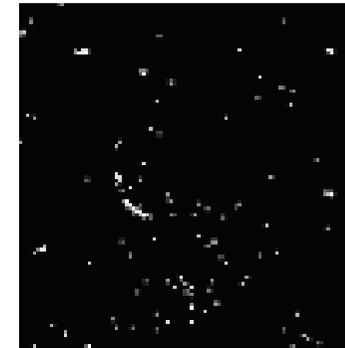


図 9 殻縁候補画像

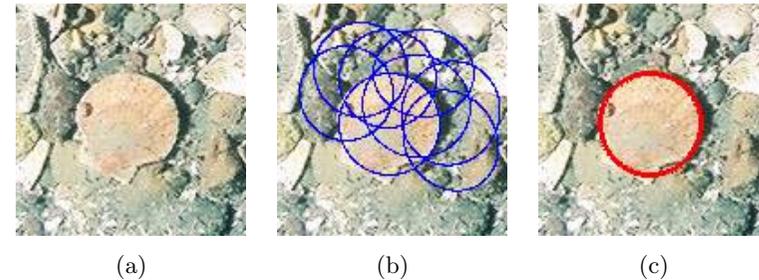


図 10 礫場における提案手法による抽出過程の例: ホタテ領域の場合 ((a): 原画像, (b): 形状特徴を利用した候補領域抽出結果, (c): 色相特徴を利用した領域同定結果)

表 1 礫場でのホタテ領域抽出結果

	Scallops	Others
画像数	46	104
True	38 (82.6%)	86 (82.7%)
False	7 (17.4%)	18 (17.3%)

5. おわりに

視覚による海洋ユビキタス研究の具体的実現として, 水中カメラ画像群を用いた海洋画像処理の研究プロジェクトについて紹介した. 本稿では特にホタテを対象とした水産資源量調査を取り上げ, 取得した海底・海中画像群を解析し, そこに写るホタテを自動的に抽出可能

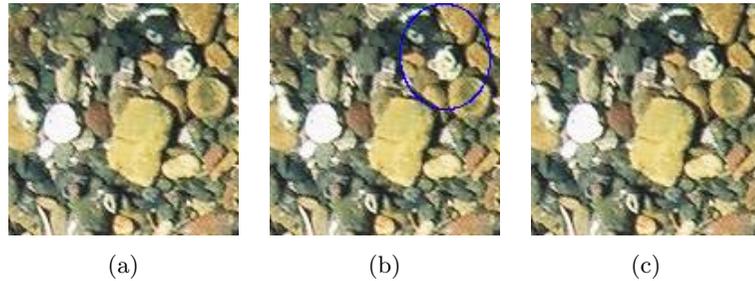


図 11 礫場における提案手法による抽出過程の例：ホタテ以外の領域の場合 ((a)：原画像, (b)：形状特徴を利用した候補領域抽出結果, (c)：色相特徴を利用した領域同定結果)

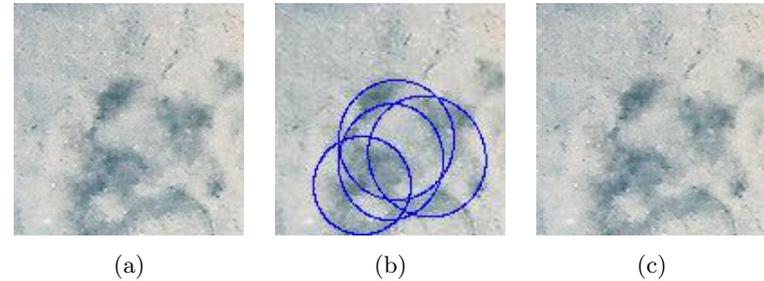


図 13 砂場における提案手法による抽出過程の例：ホタテ以外の領域の場合 ((a)：原画像, (b)：形状特徴を利用した候補領域抽出結果, (c)：色相特徴を利用した領域同定結果)

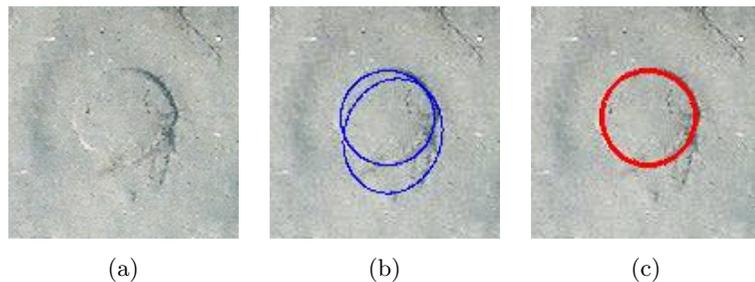


図 12 砂場における提案手法による抽出過程の例：ホタテ領域の場合 ((a)：原画像, (b)：形状特徴を利用した候補領域抽出結果, (c)：色相特徴を利用した領域同定結果)

表 2 砂場でのホタテ領域抽出結果

	Scallops	Others
画像数	34	307
True	26 (76.5%)	248 (80.8%)
False	8 (23.5%)	59 (19.2%)

な手法について述べた。

参 考 文 献

1) 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。
2) 今井 千文，山本 圭介，“写真画像計測を応用した漁獲物体長測定汎用法—日本海西部海域産キダイの銘柄別体長組成推定への応用”，水産大学校研究報告，Vol.55，No.4，

pp.123-131，2007。
3) 赤石 拓也，中川 孝之，鈴木 健司，岩佐 博邦，陳 文西，小林 登史夫，“画像解析を用いたヤマトイモの形状評価手法の開発と4年間の形状発現事例：栄養繁殖性作物における形状発現の経年追跡”，園芸学研究，Vol.5，No.3，pp.325-329，2006。
4) 下田 直樹，片岡 崇，岡本 博史，寺脇 正樹，端 俊一，“画像処理を用いた害虫の自動計数システム”，農業機械學會誌，Vol.68，No.3，pp.59-64，2006。
5) 庄野 浩資，峠 愛美，“切り花リンドウの採花ステージ評価における画像情報の有効性に関する研究—輪郭情報と色情報に基づく未熟蕾自動検出の可能性”，農業情報研究，Vol.15，No.1，pp.61-76，2006。
6) 高橋 秀行，渡部 俊広，北川 大二，“曳航式深海用ビデオカメラで撮影したベニズワイガニの甲幅推定法”，日本水産学会誌，Vol.71，No.4，pp.542-548，2005。
7) 水産庁増殖推進部編，“我が国周辺水域の漁業資源評価”，水産庁，2007。
8) 鄭 澤宇，岩田 洋佳，二宮 正士，田村 義保，“P形フーリエ記述子に基づくハナハス花弁の部分形状特徴の定量的評価”，育種学研究，Vol.7，No.3，pp.133-142，2005。
9) 平 雄一郎，森元 映治，富安 登，“画像処理データを用いたニューラルネットによる魚種の識別”，水産大学校研究報告，Vol.52，No.4，pp.139-147，2004。
10) 寺崎 誠，浜口 正巳，薄 浩則，石岡 宏子，“画像解析システムを用いた二枚貝幼生の自動識別法の試み”，うみ (La mer.)，Vol.39，No.2，pp.87-93，2001。
11) 矢田 貞美，樋口 宏一，戸田 勝善，“画像処理による浮遊クラゲの検知方法”，水産海洋研究，Vol.61，No.2，pp.105-113，1997。
12) M. Toda, K. Enomoto, Y. Kuwahara, M. Wada, and K. Hatanaka, “Extraction Method of Scallop Area in Seabed Images for Fishery Resources Investigation”, Proc. of MTS/IEEE OCEANS’ 08, 5 pages, in CD-ROM, 2008.
13) Koichiro Enomoto, Masashi Toda, Yasuhiro Kuwahara, Masaaki Wada and Katsumori Hatanaka, “Scallop Detection from Gravel-Seabed Images for Fishery Investigation”, Proc. of the IAPR Conference on Machine Vision Applications

(MVA2009), pp.479-482, 2009.05.

- 14) 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.hro.or.jp/exp/abashiri/saikin/manyuaru/manyuaru.pdf>.