

画像処理技術を用いた水産業支援の試み

戸田 真志^{1,a)}

概要：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。カメラを用いた水産資源量調査は、その代表格といえよう。カメラを用いた調査は、従来の音響探査等に比して圧倒的な空間解像度を有し、さらにユーザにとってわかりやすく直感的な情報が得られるが故に、実用化が大いに期待されている。本報告では、著者らが取り組む視覚を用いた水産業支援の試み、特に漁場の水中視覚情報から水産資源量を自動計測するシステムの開発について、北海道常呂地区や野付地区のホタテ漁などにおける事例を取り上げ、取り組みの背景や研究開発の詳細を紹介する。

1. はじめに

「海中をみる」ことは、水産資源量の予測や保全、漁獲計画の立案、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関心の高い活動である。マリンファームや計画漁業といったキーワードのもと、「獲る漁業」から「育てる漁業」への移行が著しく、また「持続可能な漁業」への変革が急務となっている近年においては、海中の情報を緻密に獲得し、解析、利用することは、漁獲計画の立案等、水産事業の根幹を支える重要なことと位置づけられている [1][2]。

従来、海洋分野では超音波や温度計、潮流計等を駆使して「海中をみる」ことを行ってきたが、近年の撮像機器や耐水/耐圧部材の安価化により、水中カメラを利用して「海中をみる」行為が盛んに行われている。カメラを用いた水産資源量調査は、その代表格と言えよう。カメラを用いた水産資源量調査は、音響探査等に比して圧倒的な空間解像度を有し、さらに、ユーザにとってわかりやすく直感的な情報が得られるが故に、実用化が大いに期待されている。水産資源量調査は個体数だけではなく、種類、体長、位置、状態（生死）など多角的な情報取得が望まれているが、これら状態把握においても視覚情報とそのパターン計測技術は期待が大きい。言うまでもなく、カメラを用いた調査は、対象資源を漁獲して資源量を推定する直接的な手法とは異なり、対象資源に影響を与えずに調査を行うことのできる間接的な手法であり、漁場の環境に影響を与

えない、という意味においても優位性が高い。しかし、その一方で、得られた画像・映像等の視覚情報群の自動解析技術は未だ確立されていない。例えば、北海道常呂地区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 [3]。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 58.5km^2 中、 580m^2 の画像を取得している。しかし、これらの解析は人手に頼るのが現状であり、調査の効率化、広域化を阻害する重大なボトルネックとなっている。自動化にあたっては、撮影環境は照度差が大きく、また、砂、泥等の多様な背景を有する高ノイズ環境であり、課題が多い。現在、筆者らは、上記の課題を解決するために、画像処理、特にパターン計測技術を駆使することで、漁場の水中視覚情報を解析し、そこに写る水産資源の数や大きさ等を自動的に計測/解析が可能なシステムの構築を目指している。筆者らが対象とする水産資源種は、ホタテガイ [4][5] やコンブ [6]、ケガニ [7]、ナマコ [8] 等多岐に渡るが、特にホタテガイは、筆者らが当初から研究を進めてきた資源種である。ホタテガイは主に礫場と砂場に生息しているが、筆者らは、個々の生息場に応じた自動抽出アルゴリズムを構築し提案している [4][5]。一方で、ホタテガイの資源量推定のために、同じホタテガイの漁場に生息し、ホタテガイの外敵となるヒトデの計数も求められている。ヒトデは、ホタテガイの養殖業や漁業において、ホタテガイなどを捕食する有害種である。このため、北海道常呂地区のホタテガイ地撒き養殖においては、対象海域にホタテガイの稚貝を撒く前に海底のヒトデを駆逐している [3] が、駆逐の計画立案や効果の測定、さらに、ホタテガイの漁獲量推定の精度向上のためには、ヒトデの個体数やその分布の把握が必要となる。

¹ 熊本大学総合情報統括センター
Center for Management of Information Technology, Kumamoto University, Kumamoto 860-8555, Japan

^{a)} toda@cc.kumamoto-u.ac.jp

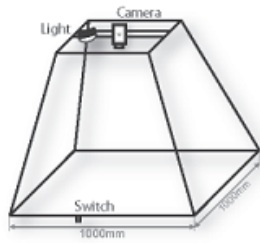


図 1 撮影機材の簡略図.

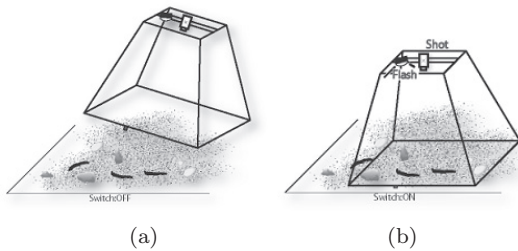


図 2 撮影手順. (a) 海底機材を調査点の海中に沈める. (b) 機材を海底に沈めると、底部のスイッチが反応し、自動的に海底が撮影される.

本稿では、ホタテガイを主な対象とした資源調査自動計測システムの開発事例を取り上げ、海底動画からのホタテガイのパターン計測技術に加え、ヒトデの自動計測事例を紹介する。また、上記の技術を盛り込んだホタテガイ自動計測アプリケーションの開発状況についても報告する。

2. 海底画像の撮影方法

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))。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。

3. 水産資源の自動抽出手法

3.1 礫場環境下でのホタテガイ抽出抽出

本稿にて処理を行う礫場環境下での海底画像の一例を図 4 に示す。ホタテ領域を他の貝や礫領域と比較すると、
(1) 肌茶色の特徴的な色を有する
(2) 扇状の形状を有する
の各特徴を発見できる。これらを利用して、礫場環境下におけるホタテ領域の抽出を図る。



図 3 礫場環境の海底画像.

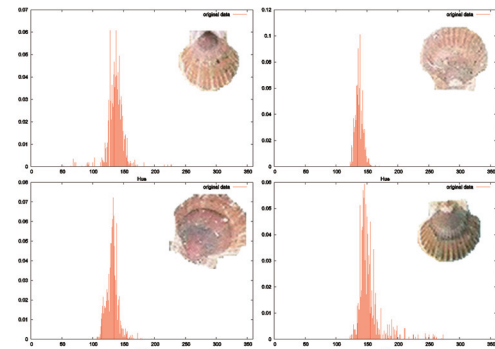


図 4 ホタテガイ領域における色相ヒストグラム例.



図 5 ホタテが含まれる領域での処理結果



図 6 ホタテが含まれない領域での処理結果

まず、ホタテ領域の扇状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、ホタテ領域候補とする。さて、ホタテ領域における色相ヒストグラムを見てみると、他領域に比べ 150 度付近を中心とした極めて狭領域に色相値が集中していることがわかる (図 2)。この性質を利用して、形状情報から抽出されたホタテ領域候補の中から真値の同定を図る。図 3、図 4 は処理結果の一例である。図 3 はホタテが含まれる画像での処理結果、図 4 はホタテが含まれない画像での処理結果である。いずれも左図が原画像、中図が形状特徴を利用したホタテ候補領域の抽出結果、右図が色相特徴を利用した領域同定結果を示している



図 7 砂場環境の海底画像.

3.2 砂場環境下でのホタテガイ領域抽出

本稿にて処理を行う砂場環境下での海底画像の一例を図 7 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. 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.

ホタテ領域の例を図 8 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, 殻縁部のみ露出する. 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. これらの特徴を利用して, 砂場環境下におけるホタテ領域の抽出を図る.

砂場環境では, 画像中の照度ムラが大きい反面, 殻縁部はきわめて微小である. そこで, 局所領域での輝度分布に応じた可変閾値を用いることで, 殻縁部の安定した抽出を図っている. 図 9 に抽出結果を示す. 礫場環境と同様に, 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, ホタテ領域候補とする. その後, 楕円形状近傍中の白領域の割合を求め, その情報を利用して形状情報から抽出されたホタテ領域候補の中から真値の同定を図る. なお, 殻縁特徴は, 「呼吸する際に殻を開閉させる」という生成のメカニズムから, 空間的に集中する傾向にある(図 10(a)). そこで, 殻縁特徴の集中度を考慮することで, ホタテ領域抽出の頑強性の向上を図っている. 図 11 および 12 は処理結果の一例である. 図 11 はホタテが含まれる画像での処理結果, 図 12 はホタテが含まれない画像での処理結果である. いずれも左図が原画像, 中図が形状特徴を利用したホタテ候補領域の抽出結果, 右図が殻縁特徴を利用した領域同定結果を示している

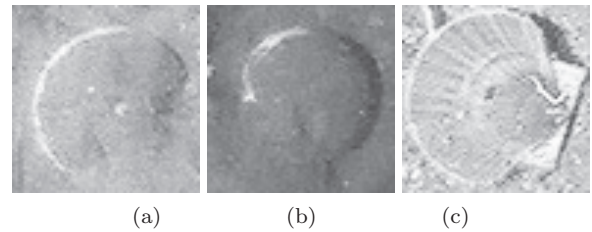


図 8 ホタテ領域(画像サイズ: 64×64). (a), (b):砂場環境下のホタテ. (c):礫場環境下のホタテ.

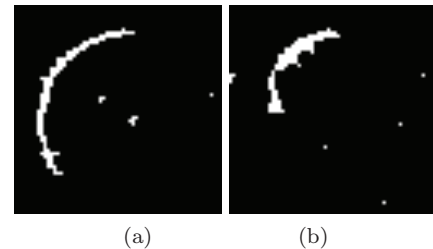


図 9 ホタテ領域の殻縁候補点抽出結果(対象画像は図 8(a), (b)).

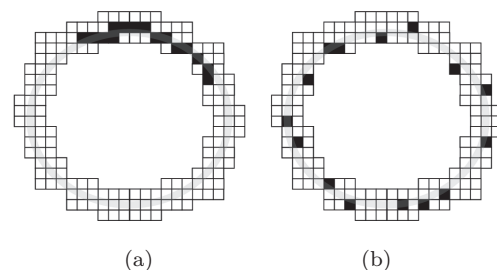


図 10 形状特徴により抽出された楕円と殻縁候補画素の分布例(殻縁画素数は 15). (a) 殻縁候補画素群の密度が高い. (b) 殻縁候補画素群の密度が低い.



図 11 ホタテが含まれる領域での処理結果



図 12 ホタテが含まれない領域での処理結果

4. 海底動画とその利用

ここまでデジタルカメラを用いた海底静止画とその利用について紹介してきたが, 近年は静止画に代わり動画にて記録するケースも多い. 後述するように, 現在利用している海底動画用の撮影機材は, 機材を潜水/着底させた後に,

小型漁船にて曳航することで、海底を滑るように進ませることが可能である。これは、前述した静止画用の撮影機材が潜水/着底/撮影/引き揚げ/移動の作業を繰り返す必要があることに比べると、撮影の手間を大きく減少させることが可能である。また、時間的に連続性を有する視覚情報が得られることで、例えば海底パノラマ画像の制作が可能となる [10] 等、水産資源の自動抽出以外の価値を付与することが可能である。本節では、海底動画の記録とその解析事例を紹介する。

4.1 海底動画の撮影手法

本稿で対象とする海底動画は、2012年7月19日北海道野付沖で撮影されたものであり、サイズは1980×1024, 30fps, 24bitのカラー映像である。またDVカメラは、海底からの高さが一定になるよう図13に示すような治具に設置されている。なおカメラの向きは鉛直下方である。治具には牽引用の鎖及びロープが結ばれており、本機材を潜水/着底させた後は小型漁船から本機材を曳航することで、海底を滑るように進ませ、海底の連続動画の撮影を可能とする。海底動画から切り出した画像の例を図14に示す。対象海域の底質は砂泥質であり、動画中にはマヒトデやエゾスナヒトデ、ホタテガイ、ホタテガイの死殻などが含まれる。本稿ではホタテガイに加えてマヒトデを対象とし、検出を試みる。マヒトデは、北海道から九州の浅い砂泥地に生息しており、漁業においてはホタテガイやアサリ、ハマグリなどを捕食する有害種である。マヒトデの例を図15に示す。色は白色から黄白色地に青紫色の縞模様があるのが特徴で、青紫色の割合は個体変異が激しい。模様のない、または薄い黄白色の個体も高い頻度で出現する。本稿では、マヒトデの中でも模様のない白色から黄色の個体を対象とする。

4.2 ホタテガイ抽出手法

本稿で対象とする漁場の底質は泥と砂の混合したものであり、ホタテガイに表出される特徴は砂場と類似する。そこで、既に提案している砂場におけるホタテガイ抽出アルゴリズムを利用する [5]。ホタテガイの抽出結果例を図16に示す。

4.3 マヒトデ抽出手法

対象となるマヒトデの抽出は以下の処理で行う。

- (1) 二値化処理
- (2) ノイズ除去 (膨張・収縮・面積)
- (3) 形状特徴による検出

まず、二値化処理により、対象候補領域と背景領域 (砂泥) に分ける。次に、膨張・収縮処理と各領域に対して面積に対する閾値処理によりノイズを除去する。最後に領域の形状によりマヒトデ領域を抽出する。これは、対象候補領域



図13 海底動画撮影装置



図14 海底動画の例。右側2個体はマヒトデ、中央左はホタテガイが砂と藻で隠れている。

とその凸包領域の面積比を用いて、ヒトデか否かの同定を行っている。ヒトデの抽出結果例を図17に示す。

5. ホタテガイ自動計測アプリケーションの開発

本節では、現場導入を見据えたホタテガイ自動計測アプリケーションについて紹介する。また砂場環境下のためのホタテガイ検出手法を用いた、水産資源量マップなどの応用例についても紹介する。

5.1 アプリケーション構築

海底動画を用いたホタテガイ自動計測アプリケーションにおいて、現場導入のためには専門家や水産業従事者が容易に使用できることが求められる。現在、プロトタイプシステムを実際に専門家に使用していただき、様々な意見を頂きながら開発を進めている。

アプリケーションの画面例を図18に示す。本アプリケーションは、GUIを用いることで専門的な知識がないユーザ

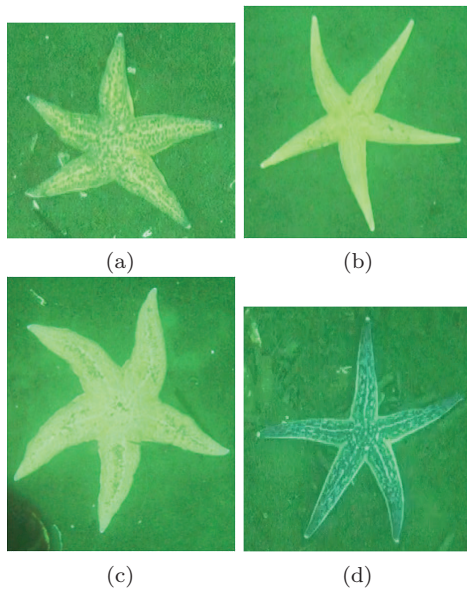


図 15 マヒトデと個体差.
(a) 白い体に灰色の模様がある. (b), (c) 模様が薄く全体が白い. (d) 模様が濃く、青い.

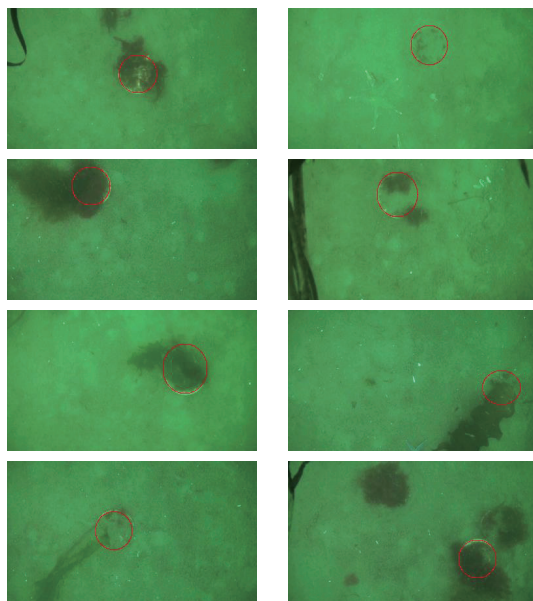


図 16 実験結果例 (ホタテガイ検出)

でも操作が容易にできるよう設計している (図 18(a)). また資源量マップの作製に必要な GPS ログの指定なども本アプリケーション上で操作することができる.

5.2 資源量マップ

海底動画は撮影時に GPS ログも同時に記録する. このため海底動画から得られる底質やホタテガイ・ヒトデ類の個数など, 様々な情報を位置情報と対応付けることでマップ化が可能となる. GPS ログの可視化例を図 19 に示す.

例えば, 図 20 は, 4.1 節の実験で用いた動画と同じ海域で撮影された 4 分 33 秒, 10 分 18 秒の動画に対して, 5.1 節にて紹介したホタテガイ自動計測アプリケーションを用

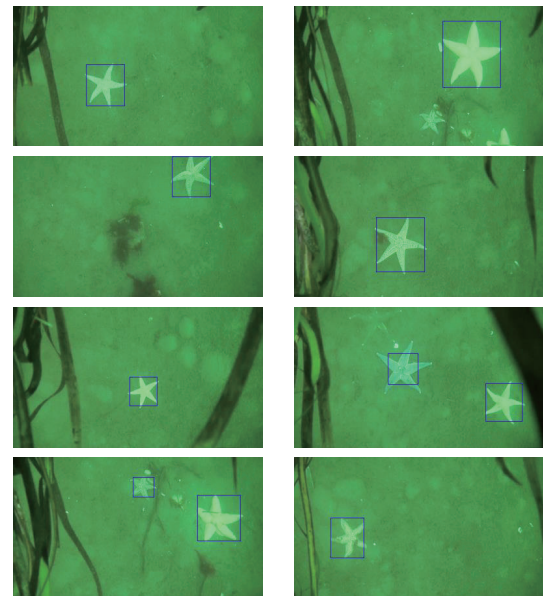


図 17 実験結果例 (ヒトデ検出)

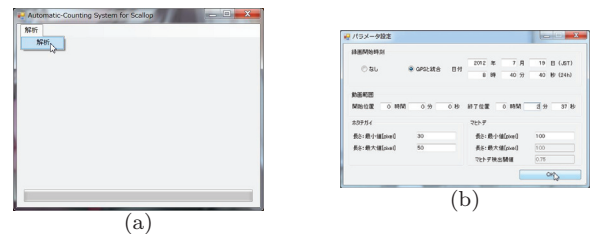


図 18 ホタテガイ自動計測のためのアプリケーションの画面例.

いて抽出したホタテガイの計数結果と位置情報を対応付けることで作成したホタテガイの資源量マップである. 同様の手法にて作成したヒトデ分布マップは, 図 21 である. 図 20 や図 21 に示した通り, ホタテガイ及びヒトデの計測結果とそれぞれの位置情報を対応付けることで, 2 次元空間的に個体数の分布を把握することが可能である. 筆者らは, 海底動画から底質を推定するアルゴリズムの開発も行っている [9] が, これらの情報と位置情報を組み合わせることで底質マップの作成も容易である. 各資源種の分布マップは, 第一義的には, 操業計画など漁業活動の支援を目的とするが, 一方で, 多くの資源種のマップや底質など付加的な環境情報マップの作成と, それらの統合により, 例えば, 「ヒトデ (捕食者) とホタテガイ (被捕食者) の分布の関連性」「ホタテガイの底質による固体密度」などを明らかにすることが可能となろう. 水産資源種の実環境下での生態は未だ不明な点も多く, これら海底情報を取得し可視化する取り組みは, 産業面のみならず, 生物学などの学術面での貢献も期待できると考えている.

6. おわりに

筆者らは, 北海道を主たるフィールドとし, ホタテガイやコンブ等, 多様な種を対象として, 画像処理技術を用いた水産業支援の取り組みを続けている. 本稿では, 当該研



図 19 海底動画撮影時に取得された GPS ログとその可視化例。

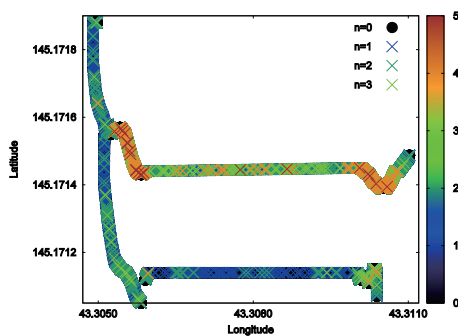


図 20 ホタテガイの資源量マップ。

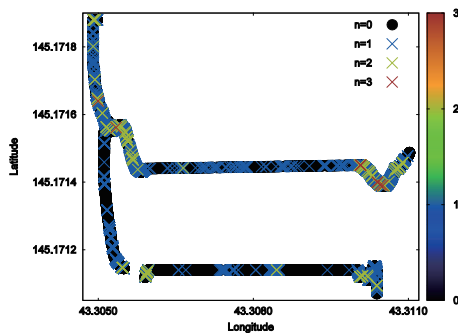


図 21 ヒトデ分布マップ。

究の背景を紹介すると同時に、特にホタテ漁場を取り上げ、海底画像/動画からのホタテガイの自動計測技術に加え、同一漁場に存在するヒトデの自動計測事例を報告した。また、これらの画像計測技術を核としたホタテガイ自動計測アプリケーションの状況についても紹介した。水産業は、筆者らが主に取り組む資源量情報のほか、環境情報や気象情報など、多様な情報を大規模且つ長期間に渡り活用することで成り立つ産業である。産業の大規模化、省力化、高精度化に加え、海からの恵みを「持続可能」とするためにも、情報技術の果たす役割は大きい。もちろんその中で画像処理技術は重要な一翼を担っており、また、画像処理技術で解決すべき課題も多い。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 勝川俊雄, "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, 2007.07.
- [3] 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>.
- [4] Koichiro Enomoto, Masashi Toda, and Yasuhiro Kuwahara, "Extraction Method of Scallop Area in Gravel Seabed Images for Fishery Investigation", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E93-D, No.7, pp.1754-1760, 2010.07.
- [5] K. Enomoto, M. Toda, and Y. Kuwahara, "Extraction Method of Scallop Area from Sand Seabed Images", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.97, No.1, pp.130-139, 2014.01.
- [6] Takeshi Hagisawa, Koichiro Enomoto, Masashi Toda, Masakatu Tamura, Masafumi Kimura, Sakae Takeda, "Extraction Method for Ezo-Wakame Using Line Convergence Index Filter", The Journal of the Institute of Image Electronics Engineers of Japan, Vol.42, No.2, pp.206-213, 2013.
- [7] 水島裕貴, 萩沢武志, 榎本洗一郎, 戸田真志, 原康裕, 佐々木潤, "水産資源量調査を目的とした海底動画からのケガニ領域抽出手法の検討", ViEW2011 ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, 2011.
- [8] 榎本洗一郎, 戸田真志, 清水洋平, 宮崎義弘, 吉田真也, "水産資源管理のためのユーザ支援型画像計測システムの提案", 動的画像処理実利用化ワークショップ (DIA2015), 4 pages in CD-ROM, 2015.3.
- [9] Koichiro Enomoto, Masashi Toda, and Yasuhiro Kuwahara, "Bottom Sediment Classification Method from Seabed Image for Automatic Counting System of Scallop", Proc. of International Symposium on Optomechatronic Technologies (ISOT 2012), 6 pages in CD-ROM, Oct. 2012.
- [10] Masataka Minami, Masahiro Migita, Masashi Toda, "Improvement of Panoramic Image on underwater", Proc. of International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST2013), pp.211-212, 2013.