

浦 環

九州工業大学社会ロボット具現化センター
センター長、特別教授

センチメートル海底地形図と海底モザイク画像を基礎として生物サンプリングを行う
自律型海中ロボット部隊の創出

§1. 研究実施体制

(1)「研究総括」

- ① 研究代表者: 浦 環 (九州工業大学社会ロボット具現化センター センター長・特別教授)
- ② 研究項目
 - ・ 研究総括
 - ・ 他課題および他の研究プロジェクトとの連携
 - ・ 国際共同研究の推進

(2)「ロボット部隊」グループ

- ① 研究代表者: 浦 環 (九州工業大学社会ロボット具現化センター センター長・特別教授)
主たる共同研究者: 浅田 昭 (東京大学生産技術研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・ ロボット部隊編成と展開
 - ・ 海底センシング技術開発
 - ・ 海底モザイク技術開発

(3)「サンプリング」グループ

- ① 主たる共同研究者: 石井 和男 (九州工業大学大学院生命体工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 小型 AUV において検証した時間遅れシステム制御系を実海域試験用 AUV へ導入し、水槽試験において機能を検証
 - ・ 水中マニピュレータをサンプリング AUV に搭載し、実証試験

- ・生物をクラスタリングする画像処理アルゴリズムについて、リアルタイムでの特徴抽出及び把持対象候補推定試験を行い、機能を検証
- ・超音波通信のマルチパス、温度、ドップラー効果等をモデル化し、チャープ信号を用いた通信技術に関してシミュレーション及び実験を通じて性能向上

(4)「生物」グループ

① 主たる共同研究者:丸山 正

(海洋研究開発機構海洋生命理工学研究開発センター センター長代理)

② 研究項目

- ・底生動物のプランクトン幼生を AUV で連続的にサンプリングするため、平成 26 年度購入した連続プランクトンサンプラーを深海仕様にして、UROV/AUV に装着出来るようにする
- ・AUV で底生動物をマーキングし、その行動を追跡するため、飼育下での生体染色を試みる。また、底生動物の形態を3次元的に把握するため、X 線 CT による解析を試みる
- ・深海底生および浮遊・生物を AUV で解析するために、DNA 解析などで生物リストを整備する

(5)「熱水」グループ

① 主たる共同研究者:沖野 郷子(東京大学大気海洋研究所・教授)

② 研究項目

- ・既存データに基づく観測要件の検討と提示(過年度)
- ・海域調査試験で得られた地形・地質・海洋化学データの解析と手法の検証
- ・AUV を利用した地形・地質調査結果の解析
- ・AUV/潜水船を利用した磁気異常調査結果の解析と手法の検証
- ・AUV を利用した海洋化学調査結果の解析にもとづくセンサの検証
- ・データ可視化技術の開発

§2. 研究実施の概要

(1)「総括」:A

本研究課題の成果を社会還元するため、ロボット部隊を特定の海域に展開し、マルチレゾリューションな海底面の広域連続計測を実施するための調整、海域の検討、ロボット部隊の総括を行った。伊平屋北熱水フィールドを対象に、航行型 AUV とホバリング型 AUV および ROV による異なる高度からの画像マッピングを実施した。民間船と民間の保有する ROV による調査を行い、技術の民間移転を進め、取得データの統合的解釈と今後の展開に向けた検討を行った。また、琉球大学の瀬底研究所近傍のサンゴ礁を対象として、AUV によるサンゴ礁の広域マッピングを実施するための国際ミーティングおよびワークショップを実施し、他課題および国際連携を強化した。文部科学省の新基盤ツール課題「海洋鉱物資源広域探査システム開発」プログラムや「戦略的イノベー

シオンプログラム(SIP)」における海洋関連課題「次世代海洋資源調査システムの開発(海のジパング計画)」等とも連携を進め、環境の異なる複数の海域を対象とした多元的な調査を継続的に実施し、データを集積し、統合解析することで、領域内の生物の種/個体数および分布を特定するとともに経年変化に関する知見を得る国際プロジェクトへと発展させるためのネットワークを形成した。

(2) 「ロボット部隊」グループ:A

・ロボット部隊に関しては、以下を集中的に推進した。

複数 AUV によるマルチレゾリューションな観測手法を構築し[1]、伊平屋北熱水フィールドにおいて、航行型 AUV/ホバリング型 AUV/ROV を展開、高高度からの広い領域のマッピングと特定領域の詳細マッピングに成功した。これは、AUV の調査実績に裏打ちされた高い信頼性と高い自律性に基づいている。それぞれの AUV の実績を上げて複数展開および夜間潜航を行い、調査効率を向上させることが、海洋科学を発展させるひとつの道である。

ホバリング型 AUV による海底面の広域画像マッピングと底生生物の資源量調査については、ホバリング型 AUV「TUNA-SAND」による海底マッピングをオホーツク海だけでなく、東北沖でも実施。「TUNA-SAND」による海底調査は運用実績を重ねてきており、その自律潜航機能は信頼性が高い。民間との共同運用体制も整いつつある。30m 深度程度の浅海域であれば、10m×20m の範囲を 1 時間程度で画像マッピングできる体制が整っており、生物関係者らとの連携による瀬底などの調査への応用が期待される。

「TUNA-SAND」後継機としてサンプリングチームと連携して開発を進めてきたサンプリンググループなど海底と干渉できる生物サンプリング用ホバリング型 AUV「TUNA-SAND2」を建造した。また、ロボットに支援船からサンプリング対象を指示することができる高速大容量画像データ通信システムの開発を進め、駿河湾内にて、ロボット試験を実施、ロボットはターゲットとした生物模型を興味あり画像として支援船に送信、研究者が指示した画像位置に戻ることに成功した[2]。

・海底センシング技術開発に関しては、

ロボット部隊との共同での伊平屋北フィールドでの航行型 AUV による高高度からのマッピングにより初めて取得された広域海域マップについて、過年度取得したデータを含めた統合解析を実施した。これまでマッピングできていなかった場所の複数箇所では生物群集の死が明らかにされた(IODP 掘削サイトの西側に集中)。過去のデータと照合できるエリアでは、同じサイトで生物の分布の変化が見られることが分かった。今後は、複数の種の生物の分布の変化について定量解析を進める予定である。本成果は、Deepsea Research part I に投稿中である(Blair Thornton et al, “Biometric Assessment of Deep-sea Vent Megabenthic Communities using Multi-Resolution 3D Visual Maps”)。(論文リスト/未発行 2 番)

・海底モザイク技術開発に関しては、

海底モザイク技術開発に関しては、平成 27 年 7 月に鹿児島湾若尊カルデラ(水深約 200m)、同 12 月に沖縄トラフ伊良部海穴(水深約 600m)において、海底ステーションおよび AUV Tri-TON 2 を展開した。AUV には光切断による海底地形取得および画像観測のためのカメラの他、pH センサや CTD を搭載し、海底近傍の 3次元画像、化学パラメータを含む総合的な環境マッピングができることを示した。複数の AUV による相互ランドマーク測位による広域マッピング手法に

については、平成 26 年度に駿河湾で実施した 2 台の AUV による相互ランドマークナビゲーション試験結果について、SSBL による測位結果との比較による誤差推定を実施した。その結果、約 90 分の自律ミッション全体を通して、SSBL に対する AUV の位置推定誤差は最大 4m に程度に収まることを確認した。

(3)「サンプリング」グループ:B

海底サンプリング技術開発に関して、水深 2000m 耐圧性能を有する生物把持用マニピュレータを自律型水中ロボット「TUNA-SAND2」へ搭載し、ロボット本体のソフトウェアとマニピュレータ制御用ソフトウェアを統合した。ロボットの行動は大別して、(i)探査行動、(ii)復帰行動、(iii)捕獲行動から構成されており、(i)興味画像の自動選定及び母船への自動送信、(ii)圧縮画像の復元と復帰指令の生成、(iii)捕獲指令からのマニピュレータ動作について動作実験及び動作確認を行った。制御系 CAD の MATLAB/Simulink を用いて開発しており、視覚的にロボットの行動が確認できるシステムを構築した。

(4)「生物」グループ:C

底生動物のプランクトン幼生を AUV で映像と共に連続的にサンプリングするための装置の開発を中心にして取り組んでいる。平成27年度は、過年度中に購入した浅海用の連続プランクトンサンプリャーを AUV 搭載用深海仕様に改造、採集用には長巻のプランクトンネット生地(シルクと呼ぶ)を送るモーターを AUV でコントロールできるよう、また、AUV から電源を取れるように改良し、専用耐圧容器を製作して、ロボット部隊の開発したホバリング型 AUV「BOSS-A」に装備した。

深海底生動物のマーキングとその後の行動追跡では、沖縄トラフの伊平屋北などに高密度に生息するゴエモンコシオリエビ *Shinkaia crosnieri* にたいして、アシドブルーおよびクーマジープリアントブルーによる生体染色を伊平屋北で行い。その後の行動を ROV で追跡したところ、染色後 2日間は殆ど、動かずに同じ場所にどどまって留まっていることが判明した。

また、これまでに実施してきた深海底生生物の DNA バーコーディングに加え、平成 27 年度には深海域の大型ネクトンを約 200 個体採集し、それらの DNA バーコーディングを開始した。

(5)「熱水」グループ:D

熱水グループは、過年度に開発した地形・地質・地磁気データの解析手法を海域データに適用し、AUV による海底探査手法が有効であることを示した[3]。物理化学センサに関しては、海域観測データと試料分析や画像データの比較を通じて、センサ運用手法を検討した。また、各種センサデータを可視化する統合ソフトウェアを開発した。

主要論文

- [1] Yuya Nishida, Junichi Kojima, Yuzuru Itoh, Kenkichi Tamura, Harumi Sugimatsu, Kangsoo Kim, Taku Sudo and Tamaki Ura, “Virtual Mooring Buoy ABA for Multiple Autonomous Underwater Vehicles Operation”, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.28, No.1, 2016.

- [2] Jonghyum Ahn, Shinsuke Yasukawa, Tahashi Sonoda, Yuya Nishida, Kazuo Ishii, Tamaki Ura. Image Enhancement and Compression of Deep-Sea Floor Image for Acoustic Transmission, In Proc. OCEANS'16 Shanghai, 2016.
- [3] Honsho C., Ura T., Asada A., Kim K., and Nagahashi K., High-resolution acoustic mapping to understand the ore deposit in the Bayonnaise knoll caldera, Izu-Ogasawara arc, J. Geophys. Res. Solid Earth, 120, 2015.