

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：82706

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12197

研究課題名(和文) 広範囲の海底環境を同時に長期観測する、海底地震計組み込み型観測ステーションの開発

研究課題名(英文) Development of a parasite deep-sea observatory into an ocean bottom seismometer for wide-area and long-term observations at sediment surface.

研究代表者

小栗 一将 (OGURI, Kazumasa)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・主任技術研究員

研究者番号：10359177

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：深海における堆積物表層の長期変動、すなわち底層流の強弱や海洋表層の一次生産量の変化、底生生物の種類や生息密度、そして底生生物による海底表層の生物攪乱の多少を明らかにするため、海底地震計組み込み型の観測ステーションを開発した。このステーションは組み込みマイコンおよび付属カメラと低消費電力タイマーからなる。深海調査研究船「かいらい」KR17-04航海において、このカメラを搭載した海底地震計を日本海溝の2点に設置、10-20日の連続撮影に成功した。この装置にCTD(デジタルXBT)を取り付け水温と塩分の取得も行うため、樹脂を電波誘導体とする水中非接触データ転送の評価も行い、Wi-Fi通信に成功した。

研究成果の概要(英文)：We developed a parasite deep-sea observatory embedding into an ocean bottom seismometer to observe time-series changes of hydrodynamic currents, activities and density of benthic organisms related to the surface primary production changes at sea surface, and bioturbation processes. This observatory consisted of an embedding microprocessor board with camera and a low power consumption timer. We deployed two ocean bottom seismometer with the observatories on R/V Kairei KR17-04 cruise and succeeded the continuous observation from 10-20 days. We also planned to mount a CTD (digital XBT) with underwater wireless communication used with a rubber material. With the basic experiment used with an aquarium, we confirmed the Wi-Fi communication, and we concluded the observatory can be extended for a purpose of long term monitoring of temperature and salinity at sea bottom.

研究分野：堆積学

キーワード：海底地震計 堆積物表層 組み込みマイコン 低消費電力タイマー 水中無線通信

1. 研究開始当初の背景

巨大地震の影響や海洋の温暖化、酸性化、そして生態系の変化などは、海底の環境や底生生物にも影響を与えると考えられる。これらのローカル・グローバルな変動に、地球の表面積の多く (<70%) を占める深海底の応答を理解することは、地球環境を理解する上で不可欠である (たとえば DOOS など: <http://www.deeпоceanobserving.org/>)。しかし、このような研究は、予算や人的リソースの限界、すなわち航海数や装置の開発・運用予算の限界によって阻まれてきた。しかしながら、研究代表者は、後者の問題は近年飛躍的に向上した組み込みマイコンやセンサ技術によって克服されつつある、と考えていた。問題は限られた航海の有効利用であった。

広大な海底に沢山のセンサを設置・回収して解析する研究には、海底下構造探査や地震調査がある。これらの研究・調査には、ガラス球に組み込んだ海底地震計 (OBS) を用いる。もし、この地震計にカメラやセンサを組み込むことができれば、航海の問題も一定程度解決する。研究代表者は、海底下構造探査の研究者に、OBS の海底観測ステーション化を相談、実験的に数台の OBS にカメラと温度計を取り付けて現場器系列観測を行う提案を行い、本研究を開始するきっかけとした。

2. 研究の目的

本研究の目的は、OBS に組み込むパラサイト型の時系列海底撮影装置と温度計を開発、これを実際の観測で使用し、深海底における多点長期現場観測の可能性を実証することである。観測地点には、海底下構造探査研究が盛んに行われている、日本海溝近辺を選んだ。ここはプレート境界型の大きな地震が度々発生するため、地球物理学的に重要な場所であるだけでなく、(1) 大陸棚斜面から海溝までと異なる水深で生物多様性や堆積学的な知見からもバリエーションが大きい。(2) 海洋表面におけるクロロフィル a 濃度の季節変動が大きい。(3) 従って、底生生物の種類・数や海底への影響も(2)に連動している可能性がある。これは、海底の生元素循環を理解する上での基本情報となる、というアイデアに基づいている (図 1)。

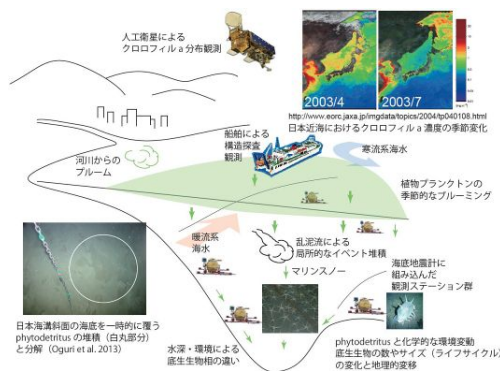


図 1: 海底の多点長期現場観測の意義。

3. 研究の方法

研究戦略として、まず初年度から次年度の間に以下の(1)~(5)の要素技術の開発を行い、次年度に(6)を実施、最終年度に研究の総括を行うこととした。

- (1) カメラ、ライトなどの選択。
- (2) 低消費電力タイマーの開発
- (3) (1)のガラス球への組み込み方の検討。
- (4) 水温・塩分・水深計センサ (CTD) の選定
- (5) CTD のデータ取得方法の検討。
- (6) 実際の海底における観測

なお、OBS はオペレーターの作業負荷を最低限に留めるため、また OBS 観測の本来の目的である地震波の記録の妨げにならないよう無改造とし、カメラやセンサのみを取り付け・取り外しできる構造を検討した。

(1) カメラには、価格、扱いやすさ、サイズより教育用 Linux ボード (Raspberry Pi model A+) およびカメラモジュールを選択した。カメラの撮影シーケンスについては、起動と同時にライト点灯信号を発生させ、撮影終了後に電源断とするシェルスクリプトを作成した。

ライトには LED 光源を採用した。具体的には、3W の LED を 2 つ使い、カメラの直近 (<1m) を照らすことを検討した。これらの電源には、市販の携帯電話充電用リチウムイオン電池 (5V 7800mAh) を用いた。

(2) 長期観測を行うためには、極力電力を消費しない工夫が必要となる。このために、通常は Raspberry Pi には電力を供給せず、タイマーによって起動させた時のみ電源を入れるための回路を開発した。この回路はリアルタイムクロック (RTC-8564NB, EPSON) およびマイコン (PIC18F14K50, Microchip Technologies) から構成され、待機電力はマイクロアンペアオーダーであり、市販の電池で一年以上の動作が可能である。タイマー設定は、Raspberry Pi のシェルスクリプトに起動日時、撮影間隔、そして撮影回数を書き込むことで行われる (図 2)。



図 2: カメラ (左上) ライト (左下) と Raspberry Pi に実装したタイマー回路。

(3) カメラおよびライトは、OBSのガラス球の内側に取り付け、耐圧容器やケーブル・コネクタを使用しないようにした。このために、ガラス球内面と同じ球面をもった取付部品を3Dプリンタで作成、これを両面テープで貼り付けることで達成した。Raspberry Piおよび電池は、OBSのバッテリー容器の空きスペースに組み込むことができた(図3)。

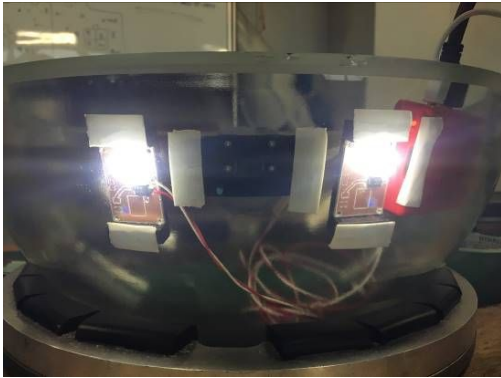


図3：カメラとライトをOBSガラス球の内側に貼り付けた様子。

(4) CTDには、デジタルXCTD(SEC社、カスタムメイド)を検討した。このCTDはシリアル通信出力機能を持ち、柔らかい樹脂に基板ごと固定することで深海でも使用が可能である。しかしながら、電池をOBSガラス球の外側に取り付ける必要がある。

XCTDの耐圧性能はメーカー自身の耐圧試験によって保証されているが、電池については耐圧試験が必要である。そこで、市販のマンガン乾電池とアルカリ乾電池をジェラフィンに固定し、60MPa(6000m相当)の圧力をかける試験を行った。

(5) SEC社のデジタルCTDは、取得データをUART方式で出力する。このデータをIrDA通信と、2.4GHzの無線通信に変換し、これをOBS内部で受信する手法を検討した。

(6) 海洋研究開発機構の深海調査研究船「かいれい」による日本海溝航海(KR17-07)において、開発したカメラシステムを搭載したOBS、2機を日本海溝斜面に設置し、海底下構造探査を行う10日~14日の間、海底の写真を連続的に撮影することにより、OBSを海底観測ステーションとしても使用できることを実証した。

4. 研究成果

(1) ガラス球の中にカメラとライトを入れた場合、ハレーションの発生が懸念される。そこで、カメラとライトの位置とハレーションやライトの映り込みがどのように、現れるかを検討した。この結果、カメラの同軸上にライトを配置するとハレーションが発生するが、カメラとライトの角度を60°以上にすれば問題のないことが確認された。

(2) タイマー基板およびLinuxのシェルスクリプトを製作、一晩以上の時系列撮影試験を行った結果、問題なく動作することが確認された。この装置をガラス球のかわりに塩ビパイプと透明アクリル板で製作した防水容器に封入し、干潟環境の長期観測に試用した。この結果、水産学分野において環境調査の評価に使用できる簡易観測装置としてスピナウト、水産学分野での長期モニタリングの有用性が確認された(図4、図5)。

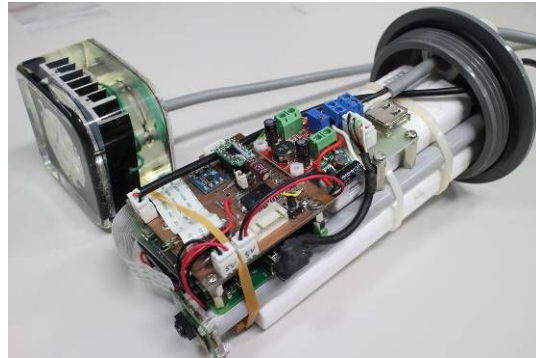


図4：カメラ試作機。室内での撮影試験および干潟での観測、水温測定に成功した。

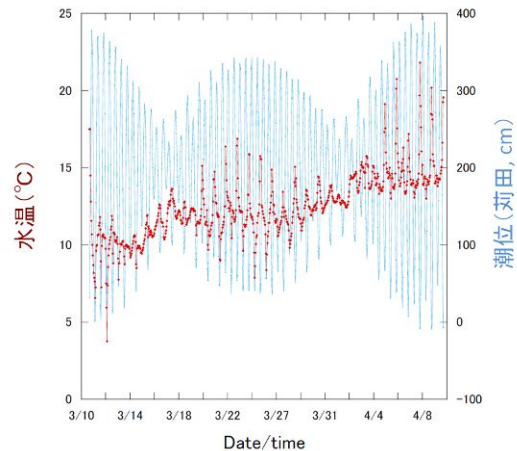


図5：カメラに取りつけた水温計で測定した約1ヶ月間の水温変化(大分県、中津)および気象庁発表による潮位のデータ(大分県、苅田)。水温の上下降が大きい原因は、潮汐によってセンサが水面上に出たためと考えられる。昼間は高温、夜間は低温となる。

(3) カメラとライトをガラス球の内壁に貼り付け、撮影を行ったところ、ガラス球の外表面、内面にわずかな凹凸が存在し、これが画像に歪を発生させ、また画像に濁りが発生することが判明した(図6左)。これを防ぐため、これを防ぐため、ガラス球の内面に透明な樹脂(ジェラフィン、SEC社)を、カメラのレンズ側が平坦となるよう塗布した。これによって、ガラスの凹凸に起因する画像劣化の問題は解決した(図6右)。



図 6：左、透明樹脂なし、右、透明樹脂あり。

(4) 市販の乾電池に圧力を加えた場合の様子を明らかにするため、社の耐圧試験水槽を用いた 11MPa の加圧実験を行った結果、電池容器内の空隙が凹み、液漏れが生じた。しかし、電源としての電圧は得られた。この結果から、樹脂で固定した電池は短時間であれば高圧下でも利用できるが、長期測定には向かないと判断した。また、メーカーの違いによって、電池容器の変形や液漏れの程度も異なることが判明した(図 7)。ただし、実験後の電池を放置したところ、すべてのメーカーの電池からも液漏れの発生が確認された。



図 7：加圧後の乾電池の様子。金属容器が変形し空隙が発生する。左の電池は、加圧実験直後には液漏れは発生しなかった。右の電池は、加圧実験直後の液漏れも確認された。

ガラス球からペネトレーターを通してケーブルを引き出し、これで電源を供給する手法は、OBS 本体を無改造で利用する目的に反するため本研究では採用を見送った。CTD 電池については、他に非常用の海水電池の利用も検討したが、長期間(一月以上)の安定した電源供給を保証できないため採用を見送った。深海における安価な使い捨て電池には、従来の樹脂固定にとられない手法の開発が必要と考えられる。

(5) 水およびガラスを通した IrDA 通信の評価は、図 6 に示す手法で行った。IrDA 送受信器 (RMP851A, Rohm) 双方の距離は水中で 20cm までは通信可能であることが判明した。

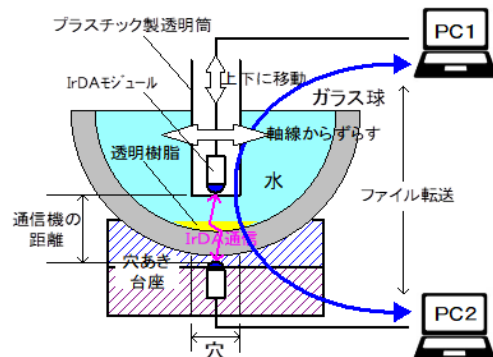


図 8：水中 IrDA 通信試験の概要。

2.4GHz の水中無線通信の手法には、研究分担者のもつ特許(特願 2015-529643)を適用した。まず、無線 LAN、ZigBee、Bluetooth の各種 2.4GHz 帯通信機器を混在させた状態での通信を検証した。これは大容量が必要となる映像のための通信機器と、制御信号を通信する機器に関して、通信手法を変えることにより各通信機器で使用するデータ通信量の低減化を狙ったものである。結果、混在した状況下でも問題なく通信を行えることが確認された。さらに、より細く扱いやすい同軸ケーブルを誘電体でできた防水容器の外側に接触させることによって同軸ケーブルを経由して電波通信ができることを確認した。

この手法は、総務省より電波法に接触する懸念(技適認証機器のアンテナ改造に該当する可能性)が示された。この問題について、弁護士等を交えて対策の検討を行った結果、シールドルームでの計測にて電波の性質に変化がないことを実験的に示せば問題ない、という見解が示された。そこで、最終年度にアンテナの改造に該当しないことを示す実験を技適認証機関にて実施、その実験結果を添付して法令適用事前確認手続(ノーアクションレター)を行った。この結果、総務大臣より電波法違反には当たらないとの回答が得られ、この水中無線通信技術が電波法の範囲内で使用できることが確認された

(http://www.soumu.go.jp/main_content/000503566.pdf)

(6) 日本海溝斜面の水深 4027m (Site 27)、5375m (Site 32) において(図 9)、OBS に組み込んだカメラおよび温度計を用い、海底写真と OBS 内の気温を測定した。



図 9：カメラと温度計を搭載した OBS。

観測地点を図 10 に示す。観測期間は、Site 27 では 2017 年 2 月 28 日 0:00 ~ 3 月 18 日 0:00 まで、Site 32 は 2017 年 2 月 28 日 0:00 ~ 3 月 11 日 12:00 までであり、それぞれ 73 枚、47 枚の海底の撮影に成功した。

図 11 は、カメラを搭載した OBS で撮影した Site 27 の海底写真である。Site 27 では礫岩が堆積し、海底には小型のナマコが生息していた。撮影された面積より、その個体数は 31 個体 m^{-2} と推定された。また、ユムシと

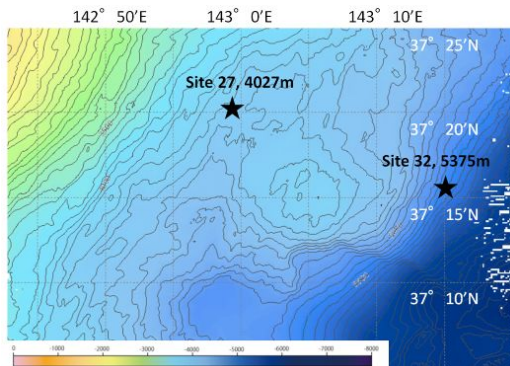


図 10： OBS の設置地点。



図 11： Site 27 の海底の様子。



図 12： Site 32 の海底の様子。

思われる底生生物が海底に移動痕を残す行動や、急激な流れに伴う堆積物の巻き上がりも記録した。

図 12 に、Site 32 の海底の様子を示す。ここでの表層は泥質の堆積物からなり、海底にはゴカイの棲管が多く分布していた。生息密度は 79 本 m^{-2} であった。また、クモヒドデが海底面直下を移動する様子や、大型のセンジュナマコなども撮影された。

Site 32 については、二枚の時系列画像の非引き算を行い、海底に変化が生じた箇所を抽出した。この結果、顕著な変化を確認した。画像を確認した結果、これらは底生生物による移動や、堆積物の摂食、糞の排出などによって生じていることが明らかになった。これらは非常に活発に、また常に生じていることが判明した。これらのことから、日本海溝の海底は底生生物の活動が非常に活発であることが明らかになった。なお、OBS 内の気温については、Site 27 で 1.37 ~ 1.43、Site 32

で 1.50 ~ 1.56 と一定であった。これらは、使用したセンサの精度 (DS18B20, MAXIM 製, 解像度 12Bit, 保証値 ± 0.5) を考慮すれば誤差の範囲内にあると考えられる。

以上の研究・開発・観測を通し、OBS にカメラや温度計を搭載し、深海底の長期時系列観察が可能であること、得られた画像から生物群集密度や海底の変動を解析できることを実証した。安価な外部電源の開発や、OBS 外部に軽量の CTD などのセンサを搭載し、海水やガラスを通したデータ通信を行い、OBS 内の組み込みマイコンにデータを記録する手法は今後改めて開発し、実証する必要があるが、これらの装置は安価に作れるため、OBS にカメラ、センサを搭載し、季節や年変化を記録できるような長期計測が可能になれば、深海底における海洋学的、地質学的、生物学的な情報は飛躍的に増え、新たな知見が得られるようになると期待できる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

小栗一将, 古島靖夫, 豊福高志, 脇田昌英, 渡邊修一, 土田真二, 藤原義弘, 藤倉克則, 北里 洋. 岩手県大槌沖の長期観測モニタリング. 東北海区海洋調査技術連絡会報, 査読無, 2017, 67, 17-21.

Oguri, K., Furushima, Y., Toyofuku, T., Kasaya, T., Wakita, M., Watanabe, S., Fujikura, K., Kitazato, H. Long-term monitoring of bottom environments of the continental slope off Otsuchi Bay, northeastern Japan. J. Oceanogr., 査読有, 2016, 72, 151-166.
DOI: 10.1007/s10872-015-0330-4

[学会発表] (計 13 件)

Mizuki, Y., Ozawa, M., Yoshizawa, G., Shimizu, E. Development of modular underwater vehicle using underwater wireless communication. 23rd International Symposium on Artificial and Robotics 2018, 2018/1/18.

Yoshizawa, G., Mizuki, Y., Kanno, R., Shimizu, E., Nagai, T. Development of ocean observation system using a Long-range Wi-Fi. 23rd International Symposium on Artificial and Robotics 2018, 2018/1/18.

小栗一将, 古島靖夫, 豊福高志, 脇田昌英, 渡邊修一, 土田真二, 藤原義弘, 藤倉克則, 北里 洋. 岩手県大槌沖の長期環境モニタリング, 第 67 回東北海区海洋調査技術連絡会, 2017/12/14.

Tezuka, N., Oguri, K. Evaluation of inexpensive Raspberry Pi-based time lapse camera system for tidal flat ecosystem observation. 第 45 回 UJNR 水産増養殖専門部会日米合同会議科学シンポジウム, 2017/10/16.

Oguri, K., Furushima, Y., Toyofuku, T., Kasaya, T., Wakita, M., Watanabe, S., Fujikura, K., Kitazato, Long term monitoring of continental slope environments in northeast Japan after 11th March 2011. 6th German-Japanese Joint Seminar High-speed Molecular Imaging Technology for Interdisciplinary Research, 2017/9/25.

小栗一将, 尾鼻 浩一郎, 藤江 剛, 三浦 誠二, 小平秀二, 寺田育正, 手塚尚明. 組み込みマイコンを用いた深海底の同時時系列観測. 日本地質学会第 124 年学術大会, 2017/9/19

梅田綾子, 清水悦郎, 川名優孝, 伊藤裕子, 設楽愛子. 知財移転に向けたリーガルサービスの必要性. 産学連携学会第 15 回大会, 2017/6/16.

Nagai, T., Shimizu, E., Yoshizawa, G., Mizuki, Y., Umeda, A. Development of maritime observation system using long-range Wi-Fi. 22nd International Symposium on Artificial and Robotics 2017. 2017/1/20.

小栗一将, 手塚尚明, 山北剛久, 渡邊修一, 藤倉克則. 長期時系列現場観察カメラの開発と堆積現象の観察. 日本地質学会 123 年学術大会, 2016/9/12.

Ozawa, M., Shimizu, E., Matsuoka, R., Development of Camera Module for Module-Composite Underwater Vehicle, 2016 International Offshore and Polar Engineering Conference, 2016/6/29

Oguri, K., Furushima, Y., Toyofuku, T., Wakita, M., Watanabe, S., Tsuchida, S., Fujiwara, Y., Fujikura, K., Kitazato, H. Seasonal changes of seafloor environments in continental slope off Otsuchi Bay, Northeastern Japan. 23rd Pacific Science Congress, 2016/6/14.

小澤正宜, 清水悦郎, 松岡 諒, "MCUV MaNTA の製造", ロボティクス・メカトロニクス講演会 2016 in Yokohama, 2016/6/9.

Hayami, A., Ozawa, M., Shimizu, E. Throughput analysis of radio communication under water. 2015 International Offshore and Polar Engineering Conference, 2015/6/23.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

小栗 一将 (OGURI, Kazumasa)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・海洋生物多様性研究分野・主任技術研究員

研究者番号 : 10359177

(2)研究分担者

清水 悦郎 (SHIMIZU, Etsuro)

東京海洋大学・学術研究院・教授

研究者番号 : 60313384

(3)連携研究者

小平 秀一 (KODAIRA, Shuichi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター・開発研究センター長

研究者番号 : 80250421

尾鼻 浩一郎 (OBANA, Koichiro)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター・主任研究員

研究者番号 : 10359200

三浦 誠一 (MIURA, Seiichi)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター・グループリーダー

研究者番号 : 00371724

藤江 剛 (FUJIE, Go)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・地震津波海域観測研究開発センター・主任技術研究員

研究者番号 : 80250421