

大島瀬戸近傍海域を対象とした潮流解析システムの開発

吉田 将司, 山田 峻太郎, 千葉 元*¹, 長峯 祐子*²

Development of a Tidal Current Analysis System in the Sea Area Near Obatake Seto

Masashi Yoshida, Ryotarou Yamada, Hajime Chiba, Yuko Nagamine

The tides of the Seto Inland Sea are complex and difficult to observe. Our observation system developed so far used LPWA, so a relay station was needed. In this study, two observation buoys were manufactured with the communication method changed from LPWA to LTE network. By installing these on the Suo Oshima side and around the "Oki no mo", it is possible to observe the entire "Obatake Seto" area in real time without a relay station. As a result, stable communication quality independent of base stations was achieved using LTE. Furthermore, the observed water temperatures demonstrated sufficient accuracy compared to standard observation equipment.

1. はじめに

瀬戸内海は四方を囲まれた内海で、外海とは豊後水道、紀伊水道、関門海峡の三海峡部のみで隣接する極めて閉鎖性の強い海域である。また島の点在により、潮流が複雑かつ強いいため、漁業や船舶航行等に影響を及ぼしている[1]。本研究の対象地域である山口県周防大島付近の海域では、準絶滅危惧種であり観光資源であるアワサングの生育について未解明なこと、潮流の流れや反流等の複雑な構造からここ数年でも船舶の乗揚げや衝突事故がいくつか確認されている。そこで本研究では瀬戸内海の水塊構造等の調査を行うため、2019年度から多点、多層でリアルタイム観測が可能な簡易型の水温、塩濃度観測システムを大島商船高専の千葉研究室協力のもと、山口県周防大島付近に導入してきた[2]。また、昨年度からは海面上に発生する潮目に着目し、宇部高専の長峯研究室と共同で海面のカメラ撮影および動画像強調法を用いた画像解析を行った[3]。しかし、観測ノードの設置場所が桟橋周辺に限られ、沖の潮流変化に即して観測できなかったこと、またこれまで使用してきたLPWA(Low Power Wide Area)規格の一つであるLoRa通信ではインターネット接続用の基地局設置が必要であったため通信範囲が制限されていた。そのため広範囲での観測が厳しく、潮流の解析までは至らなかった。

そこで本研究では、まず通信媒体をLoRa通信から携帯電話網を利用したLTE通信に変更することで通信範囲の制限を解除した。次に、開発した観測ノ

ードで9月に実施した実績をもとに、11月に沖合で水温及び潮流の観測実験を実施した。本稿ではシステムの構成と2回の実験概要及び結果の一部について述べる。

2. システムの概要

図1は本システムの構成を示す。観測ノードで得られた観測データはJSON形式に変換され、M5Stack用LTEモジュール(M5Stack COM.X)にて4G回線へ接続、GPSで取得した時刻に従い10分間隔でレンタルサーバへと送信される。レンタルサーバでは観測ノードの受信用、ホームページ表示用のPHPファイル、ログファイルをアップロードし、データを管理している。ホームページでは観測ノードのデータをリアルタイムで表示している。一方、同じく陸上に取り付けられた基地局では、従来のLoRaを用いた観測ノードからのデータ受信と同時に、内蔵カメラにより5分毎に付近海面を撮影する。図2は設置したカメラの概観を示す。観測データは本校のレンタルサーバ、また撮影された画像データは宇部高専のレンタルサーバへと送信、蓄積され、動画像強調法を利用した画像処理によって潮目を検出する。

図3は観測ノードの構成を示す。観測ノードはマイコンボードであるESP32内蔵の開発プラットフォームM5Stack Coreを用いて各センサの制御及びデータ処理を行う。本ノードはGPSモジュールで時刻、緯度、経度、環境センサモジュール(湿度セン

*1 大島商船高等専門学校 *2 宇部工業高等専門学校

サ SHT-30、温度気圧センサ QMP6988 内蔵) で温度、湿度、気圧、温度センサ DS18B20 で水深別の水温 3ヶ所 (0.5、1.0、2.0[m])、及び LTE モジュールから LTE 基地局からの RSRP (基準信号受信電力)、RSRQ (基準信号受信品質) を取得する。なお、温湿度および気圧、通信品質はケース内の測定値である。電源部は 10,000[mAh] の LiPo (リチウムイオンポリマー) バッテリーと 10[W] のソーラーパネルを 2 枚並列接続し、電源を供給する。

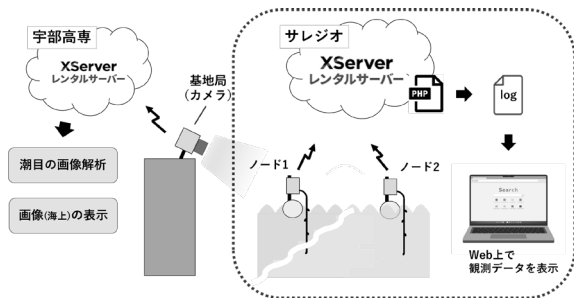


図1 観測システムの構成



図2 設置したカメラの概観

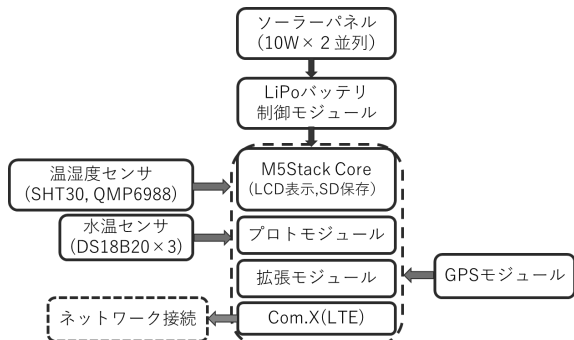


図3 観測ノードの構成

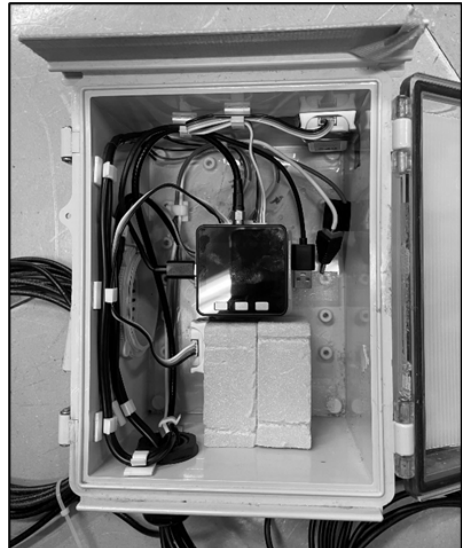


図4 観測ノードのケース内

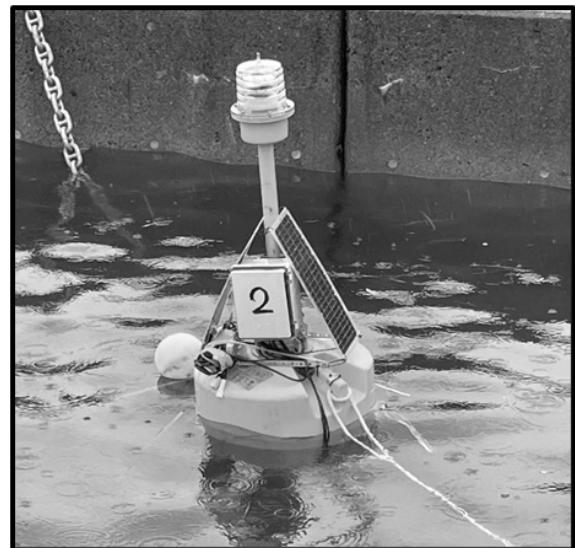


図5 観測ノードブイの外観

図6 WEBでの表示例

M5Stack データログ												
サーバ 受信 時刻	ID	データの種 別 (ID)	RSRP	RSRQ	経度	経緯	湿度	温度	気圧	水温1	水温2	水温3
2025-10-06 17:30:42	node2	2025/10/06 17:30:42	-86.00dBm	-3.00dB	33.9395207	132.1885007	64.34 %	1911.83 C	25.4375 C	25.4250 C	-127 C	
2025-10-06 17:30:38	node1	2025/10/06 17:30:38	-86.00dBm	-3.50dB	33.9393207	132.1882007	67.71 %	1911.62 C	25.5405 C	25.5405 C	25.1 C	
2025-10-06 17:20:44	node2	2025/10/06 17:20:44	-85.00dBm	-2.20dB	33.9395207	132.1885007	63.69 %	1911.73 C	25.4375 C	25.6875 C	-121 C	
2025-10-06 17:20:38	node1	2025/10/06 17:20:38	-89.00dBm	-4.50dB	33.9393207	132.1882007	67.51 %	1911.57 C	25.5300 C	25.5405 C	25.2 C	
2025-10-06 17:10:55	node2	2025/10/06 17:10:55	-89.00dBm	-3.00dB	33.9395207	132.1885007	61.59 %	1911.78 C	25.3750 C	25.4250 C	-127 C	
2025-10-06 17:10:38	node1	2025/10/06 17:10:38	-89.00dBm	-4.00dB	33.9393207	132.1882007	67.19 %	1911.57 C	25.5000 C	25.5000 C	25.1 C	

図6 WEBでの表示例

図4は観測ノードのケース内、図5は完成した観測ノードブイの外観、図6はWEBによる表示例を

示す。図の WEB ページでは最新 50 件のデータのみ表示され、過去のデータはサーバ内のログファイルに格納されている。本研究ではこの観測ノード 2 台（以下、ノード 1、ノード 2）を製作した。

3. 実証実験

動作試験及び通信試験のため、9 月上旬に大島商船高専の千葉研究室の協力のもと、製作した各観測ノードを山口県周防大島にある大島商船高専のすばる栈橋及び大島丸栈橋付近に設置した。まず、観測ノードをブイ（CB100、緑星社）に取り付けて海上に浮かべ、ロープで栈橋に係留した。その後、各観測ノードの設置状況及び動作状況を確認した。図 7 は 9 月 16 日から 22 日におけるノード 1 の水温観測結果を示す。図中の濃い線が水深 0.5[m]、薄い線が水深 2.0[m]、点線が気温（正確にはノード内の温度）を示している。この図から、表層の水温ほど大きく変動しているが、気温の影響を受けていることがわかる。図 8 は 9 月 11 日から 10 月 6 日における各ノードにおける LTE モジュールの RSRP（受信電界強度）[dBm]を示す。図の薄い線がノード 1、濃い線がノード 2 を示している。点線はこの通信機メーカーが使用している評価基準[4]で良好であることを表す -90[dBm]を示している。ノード 1 は実験開始当初に使用したバッテリーに不具合があり、数日受信が不安定であったが、バッテリーを交換後はノード 2 とほぼ同様の結果となった。ノード 1、ノード 2 における期間中の RSRP の平均値はそれぞれ -86.2[dBm] と -86.0[dBm]、標準偏差はそれぞれ 3.0[dBm] と 1.9[dBm]であり、評価基準と比較して十分な値であるといえる。測定値の変動要因としては、潮位による送信アンテナ高の変化に伴う 2 波モデルでの減衰の影響が考えられる。

次に、11 月 12 日から 12 月 27 日にかけて、第六管区海上保安本部海洋情報部と大島商船高専の共同観測として小松港沖合の沖ノ藻灯浮標にワイヤロープで繋がれていたブイ（CB100）に、ノード 2 を設置した。図 9 はブイの設置状況を示す。ブイ下部には電磁式流向流速計（JFE アドバンテック社製 INFINITY-EM）が水深 1.5m 層に設置されており、ここではセンサ周りの流向流速と水温が計測されている。図 10 は流向流速計と水温センサの比較結果を示す。図の薄い線がノード、濃い線が流向流速計での測定値を示している。約 2 週間の平均誤差が 0.13[°C]、標準偏差が 0.025[°C]であった。搭載した

水温センサ DS18B20 の精度仕様が±0.5[°C]であることから、十分な測定結果と考えられる。なおブイは 11 月 28 日に送信を停止した。

図 11 は基地局のカメラで撮影された画像データの例を示す。実験期間中、明確な潮目の線が発生しなかったため、宇部高専長峯研究室が実施した動画画像強調処理後の画像データでも潮目を判別できなかった。判別できない理由として、潮目が一本線ではなく、複雑に出現していたことが、画像データの観察結果から判明した。

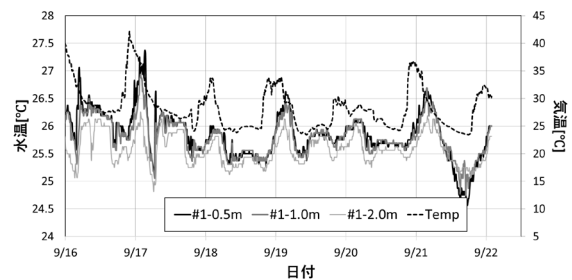


図 7 ノード 1 の水温観測結果

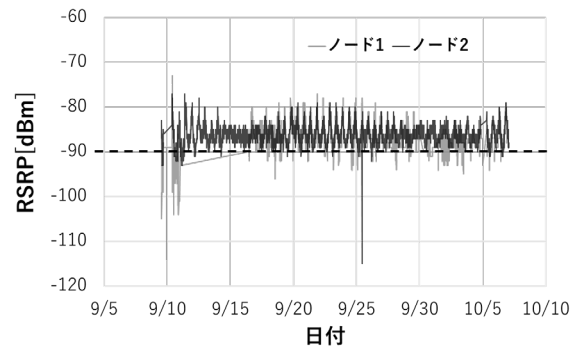


図 8 RSRP の観測結果



図 9 観測ノードブイの設置状況

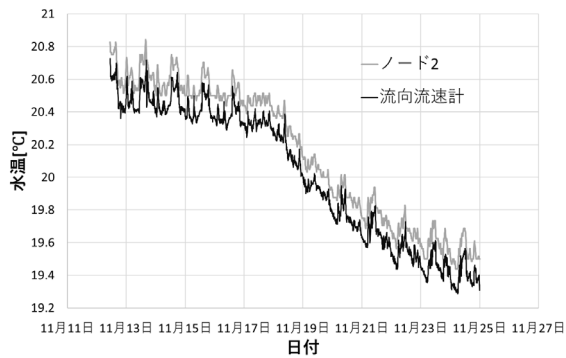


図 10 搭載水温センサと流向流速計の比較結果



図 11 基地局での撮影画像の例

4. まとめ

本研究では、瀬戸内海の大島瀬戸における潮流や水塊構造調査のための観測システムを開発した。今年度は通信方式を LPWA から LTE 公衆回線網へと変更した観測ブイを 2 台製作し、これを大島側と沖の藻周辺に設置することで、大島瀬戸全域をカバーするリアルタイム観測体制を構築した。2 回実施した実地試験の結果、基地局に依存しない安定した通信品質が得られ、一般的な観測機器と比較して十分な精度の水温観測結果であることを確認した。この結果は、安価な IoT デバイスによる面的観測が、単一点の精密観測では捉えきれない流動構造の三次元的な解明に有効であることを示唆するものである。ただし有効性を明らかにするためには、本実験で得られた他の観測データを加えて、さらに詳細に解析する必要がある。

今後の課題として、沖に設置したブイが 2 週間で停止したことから、塩害や日照不足に起因する電源停止を克服するためのハードウェアの堅牢化が不可欠である。さらに観測範囲の広域化や観測データの蓄積により潮流を空間的に把握することで、本研究の最終目的である船舶航行安全、アワサンゴ保全に寄与することを目指す。

謝辞

本研究は一般社団法人情報通信ネットワーク産業協会主催「高専ワイヤレステックコンテスト 2024」の技術実証費用及び本校 2025 年度課題研究費の助成を受け実施しました。

文献

- 1) 千葉 元, 道田 豊, “大島瀬戸強潮流近傍に位置する周防大島沿岸域の潮流調査”, 海洋理工学会誌, 2022,27 巻, 1 号, p.81-93,2022.
- 2) 中野裕紀, 吉田将司, “センサネットワークを用いた周防大島の浅海域における海水温と塩分濃度の調査”, 測位航法学会 GPS/GNSS シンポジウム 2022, BS-10,p229,2022.
- 3) 吉田将司, 池田創, 山田峻太郎, 千葉元, 長峯祐子, “周防大島における極沿岸域海象観測システムの試作”, 電子情報通信学会総合大会 2025, B-15-08, 2025.
- 4) 富士通株式会社, “無線環境化における電波強度や品質の目安について”, モバイルテクノ, 2025/9/29 閲覧, <https://www.fujitsu.com/jp/group/mtc/technology/course/radionetworkarea>