

〈特集〉

有明海観測タワーの自動モニタリング技術とその活用事例

伊藤 祐二¹⁾, 片野 俊也²⁾, 速水 祐一³⁾, 藤井 直紀⁴⁾

¹⁾ 佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1 E-mail: sj7549@cc.saga-u.ac.jp)

²⁾ 佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1 E-mail: f9130@cc.saga-u.ac.jp)

³⁾ 佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1 E-mail: hayami@cc.saga-u.ac.jp)

⁴⁾ 佐賀大学 低平地沿岸海域研究センター (〒840-8502 佐賀市本庄町1 E-mail: medusae@cc.saga-u.ac.jp)

概要

本稿では、有明海に構築されている佐賀大学海象観測タワーの自動モニタリング技術とタワーの観測データの活用事例を紹介した。湾奥部の筑後川河口沖に位置する本タワーは、気象、水質、流況、波浪を1時間間隔で測定できる有明海で唯一の包括的海象自動観測ステーションである。得られたデータにより、未解明であった1年を通じた筑後川河口域の海洋構造の経時変化を明らかにできたこと、ならびに無線で得られたリアルタイムデータに基づく赤潮の監視事例を示した。

キーワード：海象モニタリング、海洋構造、リアルタイムデータ、無線技術、有明海

原稿受付 2012.1.24

EICA: 16(4) 16-20

1. はじめに

豊富な水産資源により豊饒の海と考えられてきた有明海では、近年、湾奥部を中心に赤潮や貧酸素水塊の発生などの環境異変が顕在化している。こうした環境異変は、水産業を中心とした地域経済に影響を及ぼし、そうした経済活動を生活基盤とする周辺住民にとって重大な問題となっている。

有明海湾奥には、筑後川に代表される大小多数の河川から栄養塩や有機物が流入する。流入物質は、有明海特有の大きな潮流によって移流・混合され、潮汐とともにその一部が懸濁態として沈降・堆積・再懸濁を繰り返している。一方、そうした環境に適合し生息している多様な底生生物や水中の微生物によって、溶存物質が吸収・排出され、有機物が分解されることにより、湾奥は複雑な生態系となっている。このような水域環境の複雑さから、たとえば貧酸素水塊の発生機構や水質の時空間分布を定量的に説明するのは容易ではない。したがって、当水域の複雑な生態系を明らかにするために、現状では、湾奥の環境変化を経常的に把握することは重要であり、モニタリングに基づく調査・研究の重要性は高いものと考えられる。

海象の経時変化を把握するためには、海域における常時モニタリングは有効である。しかし、陸域に比べて海域におけるモニタリングの実施にはいくつかの障害がある。たとえば、海上では観測ステーションを容易に設置することができない。また、たとえステーションを設置することができたとしても、風雨に加え、

海水による腐食によって観測機器やステーション本体の劣化が比較的大きい。こうした課題が挙げられるものの、佐賀大学では、1974年に有明海湾奥部の中央に海象観測タワーを設置し (Fig. 1)、水質や流況などをモニタリングしてきた¹⁾。本タワーは、老朽化により1997年に一度撤去されたが、2006年に新設された。現在のタワーでは、気象、水質、流況、波浪を自動観測している。

本稿では、佐賀大学が保有する有明海観測タワーについて概説するとともに、最近のタワーデータの活用事例を紹介する。

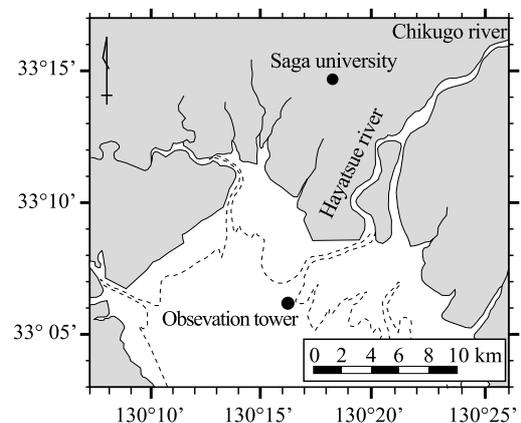


Fig. 1 Map of bay head of the Ariake Sea and location of the oceanographic observation tower. Dashed line is 0 m elevation according to chart datum

2. タワーの概要

2.1 位置および構造

観測タワーは、有明海湾奥部の筑後川河口沖（北緯 33° 6′ 13″，東経 130° 16′ 19″）に位置する（Fig. 1）。4.4 m×4.4 m 四方に配置された4本の鋼管柱で支持され、海底から支柱上端の天板までの高さは約 15 m である（Photo 1）。防食のために全体が塗装され、特に海水に没する支柱部は防食効果の大きい特殊塗料で塗装されている。天板上には、作業小屋、水質計自動昇降用のウインチベッド、気象ステーション、各計測データ送信用のモジュール基盤、アンテナ、ソーラーパネル、バッテリー、避雷針などを設置している。電源は、ソーラーパネルとバッテリーの組み合わせによって確保している。現在は、機器の洗浄、水質計洗浄用淡水の給水、センサーの校正などのメンテナンス作業を1ヶ月に1回の頻度で実施している。

2.2 観測データの収集方法

本タワーでは、気象、水質、流況、波浪を1時間間隔で測定している。得られたデータは、携帯電話回線を介してNTT（水質、流況、波浪）とau（気象）のデータ受信サーバーに送信され、そこからインターネット回線を介して大学のコンピュータでメールとして受信している（Fig. 2）。受信データは各測器専用のソフトウェアでそれぞれ処理され、1時間単位の時系列データとしてテキスト形式で保存される。

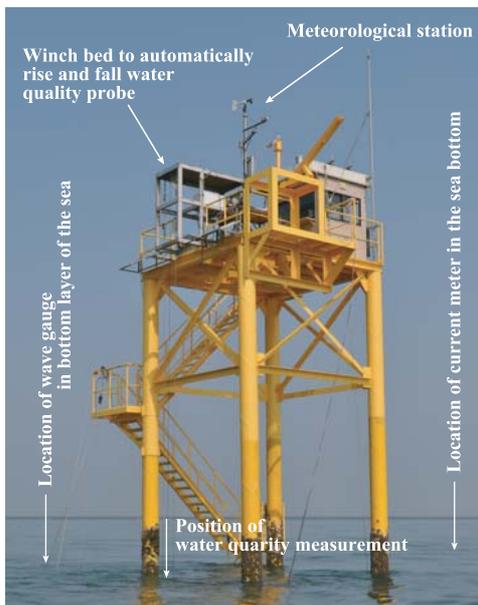


Photo 1 Oceanographic observation tower and arrangement of the observation equipments

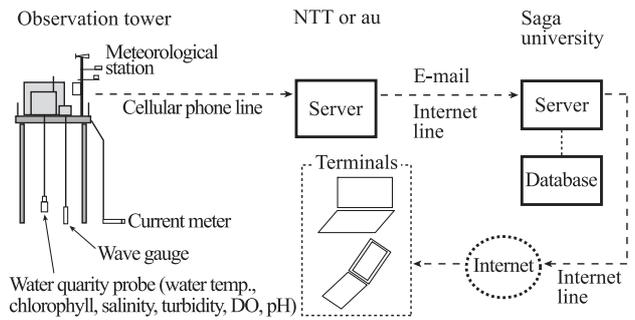


Fig. 2 Schematic diagram of the system of the observation data collection and its disclosure

2.3 観測項目

(1) 気象

気象観測項目は、気温、相対湿度、風向、風速、気圧、降水量、日射量、光量子量の8要素である。タワーの天板から高さ2.5 mに温湿度計（HMP155, Vaisala）、3.3 mに風向・風速計（05103-16B, Young）、1.6 mに気圧計（PRT410, Druck）、2.3 mに日射計（CMP-3E, Prede）、2.7 mに光量子計（PAR-01 (L), Prede）、作業小屋の屋根上に転倒ます型雨量計（KDC-S13-R1-501, ノースワン）を設置している。測定データは、ノースワン社製の無電源総合気象観測装置（KADEC21-Me-C）に記録している。気温、相対湿度、気圧はデータ記録時刻前の1分間の平均値、降水量（分解能は0.5 mm）、日射量、光量子量は観測インターバル間の積算値として記録している。風向と風速は、データ記録時刻前の10分間の平均風速とベクトル平均風向に加え、観測インターバル間の最大風速とそのときの風向をそれぞれ記録している。

(2) 水質

水質観測項目は、水温、塩分、濁度、クロロフィル蛍光強度、溶存酸素濃度、pHの6要素である。毎正時に自動昇降用ウインチが駆動し、ガイドワイヤーに沿って水質計 AAQ1183（JFE アドバンテック）が海面に向けて降下する。着水して海面位置を認識した後、さらに降下して海底の着底板に達すると、水深を測定し、測定点の間隔が海面から0.5 m間隔となるように海底から1点目の測定位置を自動調整する。海底から海面への上昇過程で0.5 m間隔の水質6要素のデータを得る。各測点では、約10秒間停止してそれぞれ50データを取得し、水温、塩分、濁度、クロロフィル蛍光強度はその平均値を、溶存酸素濃度とpHは値を安定させるためにその最終のデータを測定値とする。海面における測定が終了すると、AAQはウインチベッドに巻き上げられ、淡水で満たされた洗浄・待機用バケツに収納される。なお、洗浄用の淡水は、リザーブタンクに確保されており、バケツ内の淡水は2日に1回の頻度でリザーブタンクから自動的に補給・交換さ

れる。

(3) 流 況

流れについては、超音波ドップラー多層流速計 Aquadopp profiler (Nortek) により、鉛直方向 0.5 m 間隔の流向と流速を測定している。タワーの支柱が流れに及ぼす影響を軽減するために、流速計本体は支柱から約 5 m 離れた海底に固定している。Aquadopp のヘッド部には、水平面に対して 25° 傾いた 3 つのトランスデューサーが配され、各トランスデューサーから 3 方向に周波数 1 MHz の超音波を受発信する。海底から海面に向けて発信された超音波が水中の懸濁物粒子に反射して戻るときのドップラーシフトを測定し、その測定値から超音波の伝播方向に沿った流速ベクトルをそれぞれ得ている。3 つの流速ベクトルに基づいて、水平方向および鉛直方向の流向と流速を算出し、記録している。

(4) 波 浪

タワーの階段部と海底の間にワイヤーを張り、それに水圧式の波高計 (AWH-RS, JFE アドバンテック) を固定し、底層に静置している。観測項目は、水位と波数に加え、有義波、最大波、1/10 最大波、平均波の各波高と周期の 10 要素である。本波高計では、下記のゼロアップクロス法により波浪の情報を得ている。毎正時に 0.25 秒間隔で 2048 の水位データを取得し、平均水位を算出する。水位が平均水位を切り上がると

きの交点 (ゼロアップ点) を求め、その点から次の交点までを 1 波とする。得られた個々の波の高さと周期を集計し、その時刻の波数や有義波高などを求めている。

3. 観測データの活用事例

Fig. 3 は、タワーで得られた 2007 年における表層と底層の海水密度、表層と底層の密度差、潮位、筑後川河口から約 25 km 上流の流量観測地点で得られた毎時平均河川流量²⁾を示す。従来から筑後川の河口域は、強い潮汐混合作用の影響を受けて、海水の密度構造は空間的に一様であると考えられてきた。しかし、タワーで得られた水温と塩分のデータに基づいて密度を計算し、その経時変化を解析すると、表層と底層の密度差が増大する成層構造が頻繁に認められた (Fig. 3 の A, C, D, E)。10~12 月では密度差が鉛直方向に一様であったものの、1~9 月では成層が認められ、大潮小潮周期に対応した成層/非成層の周期的変化が確認された。特に、7 月では、成層強度が 1 年を通して最大となり、潮汐混合が増大する大潮時であっても成層は維持された。このように、これまで明らかにされなかった筑後川河口域の海洋構造の 1 年を通じた大潮小潮周期および季節に応じた経時変化を、タワーにおける自動観測データに基づいて確認することができ

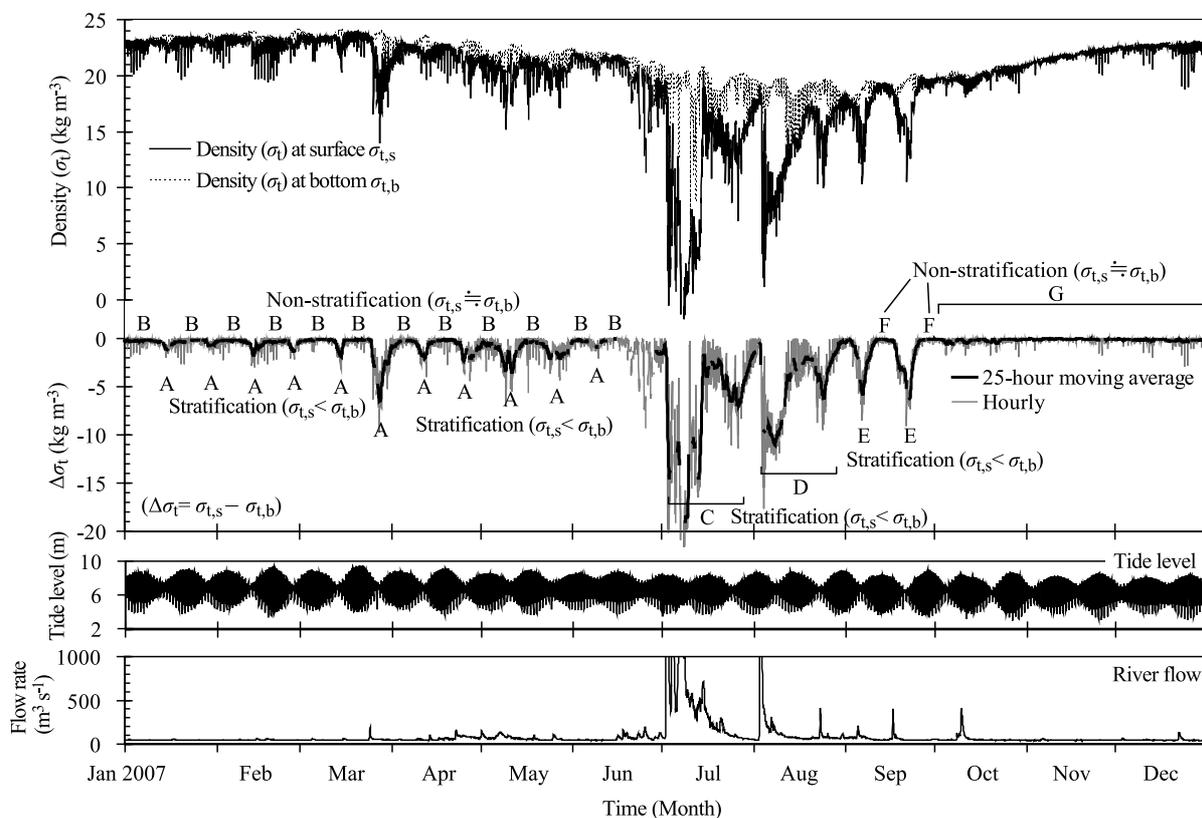


Fig. 3 Temporal changes in seawater density (σ_t) at surface and bottom layers, density difference ($\Delta\sigma_t$) between both layers, tide level, and river flow rate. The results are referred to Ito et al. (2012)

た。

Fig. 4 は、2007年7月13日と同10月11日の大潮満潮時における早津江川河口からタワー地点までの海洋構造の横断面²⁾を示す。この図は、タワーから3 km 上流の澇筋上の地点および8 km 上流の河口で得られた水質データとタワーデータとを組み合わせで作成した。Fig. 4では、河口側が低塩分・低密度、沖側が高塩分・高密度である状況が表示されている。7月13日の塩分と密度の結果より、先述した7月の密度成層の増強は、筑後川からの大出水によって表層に低塩分水が広がり、表層と底層の塩分差が拡大したためであることが分かる。また、水温、塩分、密度の7月と10月の差異は大きく、本水域の海洋構造は時期によって大きく異なることも確認できる。このように、タワーにおけるモニタリングと他の観測を組み合わせることによって、より広域の海象の空間分布を検討することができる。

現在、佐賀大学では、タワーで観測されたデータを受信し、そのデータをリアルタイムでグラフ化することができる環境を整え、さらにそのグラフをインターネットを通して公開 (<http://www.ilt.saga-u.ac.jp/aripro/tower/index.html>) している。Fig. 5に、2010年7月の表層と底層におけるクロロフィル蛍光強度の時間変化を例示する(注:この時期はインターネットによるデータ公開は開始していない)。期間の前半には、表層のクロロフィル蛍光強度が40以上になるような状態が続いたが、これはシャットネラ赤潮が発生していた時期である。その後、クロロフィル蛍光強度

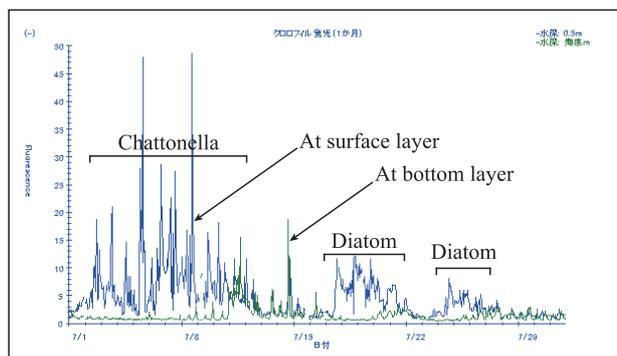


Fig. 5 Hourly changes in chlorophyll fluorescence in July 2010 described in the graphic software that can operate in real time data observed at the tower

は低下すると伴に表層から底層まで海水が混合された様子がうかがえる。続いて期間後半に2回生じた表層のクロロフィル蛍光強度の上昇は、ケイ藻のブルーミングを捉えている。有明海湾奥部における赤潮の発達過程や貧酸素水塊の発生機構は未解明の部分が多く、現時点では数値シミュレーションによる再現計算や発生の予測は十分な精度で実施できていない。したがって、それらの消長や発生予測の検討においては、タワーデータの果たす役割は大きいものと考えられる。著者らは、有明海異変の原因の解明を目指して、タワーにおけるリアルタイムデータによって赤潮の発生状況や表層と底層の水質を常時モニターしている。同時に、小潮時または大潮時に採水を実施して栄養塩濃度、クロロフィルa濃度の測定と植物プランクトンの種同定を行い、それらのデータをタワーデータと併せて蓄積している。

4. おわりに

貧酸素水塊の発生や赤潮の発達過程の解明には、詳細な調査データの解析が有効である。しかし、人手に頼る調査では、観測頻度が限られるため、常に十分なデータを蓄積できるわけではない。また、赤潮の発生を予測することは困難なため、これまでの赤潮調査の多くは赤潮が発達した後に行われることが多く、その発達過程の詳細なデータは極めて少ない。しかし、本稿で紹介してきたように、赤潮の発達する様子に関しては、タワーによる連続観測によって詳細な現場データを蓄積できつつある。一方、タワーにおける観測は1地点に限られることや、採水や分析を要する生物・化学データの蓄積が難しいといった欠点もある。そのため、従来通りの船舶による採水調査もこれまでと同様に行う必要がある。今後、船舶調査とタワーによる連続観測の組み合わせによって、赤潮の発達過程や貧酸素水塊の形成機構について新しい知見が得られるものと期待している。

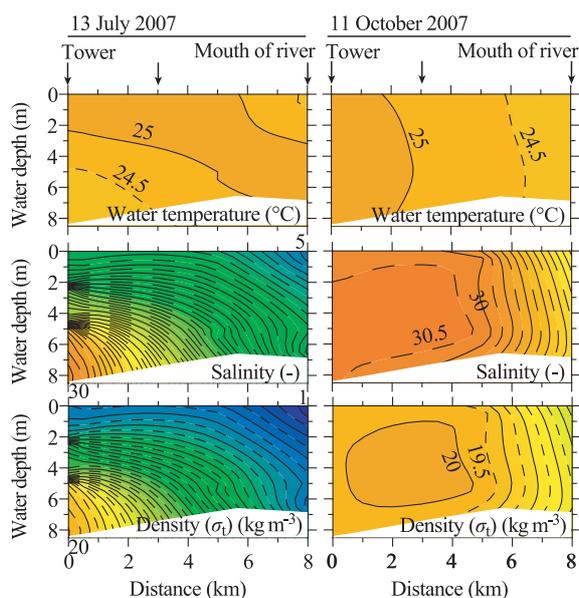


Fig. 4 Cross section of water temperature, salinity, density (σ_t) in the water area between tower and mouth of Hayatsue river observed at high tide in spring tide. The arrows (\downarrow) denote measurement location. The results are referred to Ito et al. (2012)

2013年の12月までに諫早湾潮受堤防の長期開門調査が開始されることになっている。有明海異変の問題はこれまで諫早湾潮受堤防建設との因果関係が疑われてきた。長期開門調査が始まれば、有明海湾奥部に及ぼす開門の影響を評価するのに、佐賀大学タワーにおける連続観測は極めて重要なデータを提供することができる。そのためにも、今後もタワーの継続的な維持・管理に努め、精度よい観測を続けていく予定である。

最後に、図版の転載を許可していただいた日本海洋学会、本稿の執筆の機会を与えてくださった佐賀大学

理工学部教授の大串浩一郎先生と EICA 編集関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤本昌宣：佐賀大学有明海海象観測システムの概要，浅海干潟総合実験施設研究紀要，No. 3, pp. 43-59 (1989)
- 2) 伊藤祐二，速水祐一，片野俊也，郡山益実：海象観測タワーデータに基づく筑後川エスチュアリー下部の海洋構造の季節・大潮小潮周期変化，海の研究，Vol. 21, No. 1, pp. 1-16 (2012)