

超高解像度衛星観測データを用いた河川出水時の大阪湾における河口フロントの移動の可視化と変動機構の解明

○小林志保（京都大学大学院農学研究科）

中田聡史（国立環境研究所）

石坂丞二（名古屋大学宇宙地球環境研究所）

1. 研究目的

河川系水と海水が接する場所に生じる河口フロントが、台風や集中豪雨に伴う河川出水時に大きく移動し、潮汐フロント域への海洋ごみ・赤潮プランクトン等の輸送や集積に強く影響することが知られている。河川出水時における河口フロントの移動を把握することは、出水後に大量に沿岸域を漂流する海洋ごみ等の回収効率の向上に寄与する。

近年、人工衛星の海色センサから得られる有色溶存有機物（CDOM）の光吸収係数（ a_{CDOM} ）が海域の塩分と強い相関を持つことが知られるようになってきている。また2010年に運用の開始された静止衛星により、空間解像度500 mの海色データを1時間に1回得られるようになっており、大阪湾においても衛星 a_{CDOM} と塩分との間に強い相関関係があることが示されれば、大阪湾における河口フロントの動態を解析するために有用な指標となり得る。

本研究では、台風や集中豪雨に伴う河川出水が大阪湾の環境に及ぼす影響の定量化に寄与することを目指して、静止衛星から得られる高頻度・高解像度の a_{CDOM} データと塩分の関係を現地観測によって調べ、大阪湾において河川出水時における河口フロントの移動を可視化するとともに、その変動機構を調べた。

2. 研究方法

2018年8, 9, 10月に大阪湾全体に設定された20定点において(図1a)、また同年7/27, 7/31, 9/26, 11/15に大阪湾奥の観測ライン上に設定した500~1000 m間隔の定点(図1b)において、現場観測を実施した。採水とともに、Infinity-CT

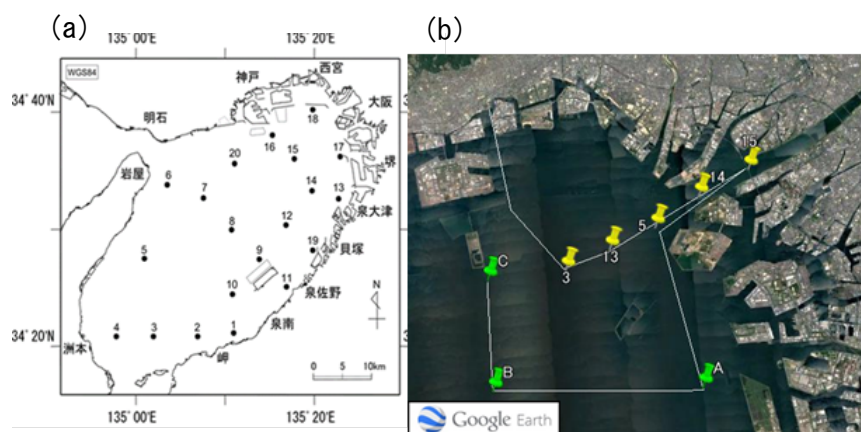


図1(a) 大阪府立環境農林水産総合研究所の観測定点。(b) 神戸大学実習船「白鷗」による大阪湾奥における現場観測および採水地点。

(JEF Advantech社)を用いた塩分測定を行なった。採水後すぐに濾過したサンプルを用いて有色溶存有機物による光吸収スペクトルを測定し、 $a_y(443)$ を得た。また、静止衛星COMS/GOCIの毎時観測によるデータのうち、波長555, 490, 443, 412 (nm)に

おける R_{rs} をダウンロードし、衛星 a_{CDOM} データを作成した。さらに、2015 年から 3 年間、毎年 5, 8, 11, 2 月に大阪湾全域における現地観測によって得た塩分と $a_y(443)$ のデータセット、および公表された気象、海象データを解析に用いた。

3. 結果と考察

大阪湾への主な流入河川である淀川、大和川および安治川における $a_y(443)$ の季節変化を現地観測により調べた。各河川の $a_y(443)$ は流量や潮時によって多少変化するが、その変化量は河川ごとの違いを上回るほど大きくはなく、淀川ではおおむね 0.4、大和川では 1.0 程度の値を示すことが明らかになった。また河川水中の $a_y(443)$ と溶存有機炭素濃度との間の決定係数は 0.72 と高く、 $a_y(443)$ は陸域由来の溶存有機炭素濃度に強く依存していることが示唆された。

2018 年に大阪湾奥の南北・東西ライン上に 500 ~ 1000 m 間隔の定点を設定して現地観測を行なったところ、7 月と 9 月には、塩分が急変する地点において $a_y(443)$ も急変し、 $a_y(443)$ が塩分と強い負の相関を示すという結果が得られた。このことから塩分が急変する河口フロントを、CDOM 光吸収係数を用いて高い精度で捉えることができることが示された。また、大阪湾の東岸には、水平スケール 5 km 間隔の定点の測定値の補間または海岸までの外挿では捉えることができない塩分勾配があったことから、水平解像度 500 m の衛星リモートセンシングが有用であることが示唆された。

2015 年から 2018 年の現地観測により得られたデータセット (N = 467) を用いて塩分と $a_y(443)$ の関係を調べたところ、塩分が 16 以上の定点については $a_y(443)$ と塩分の間の決定係数 (R^2) は 0.76 と比較的高かった (図 2)。また塩分が 0 のときの $a_y(443)$ の値は 0.97 となり、これは大和川の $a_y(443)$ と近い値であった。一方、塩分 16 以下の定点のプロットは、塩分が 0 のとき $a_y(443)$ が 0.4 ~ 0.6 になるような領域に向かって分布していた。これらの値はすべて淀川河口からその沖に設定した大阪湾奥の定点におけるものであった。上記で求めた河川水の $a_y(443)$ のうち、淀川の値が 0.4 程度、安治川の値が 0.6 程度であったことから、大阪湾奥における $a_y(443)$ は、淀川およびその支川の影響を主に受けていると考えられた。

次に、現場観測で測定した R_{rs} から算出した a_{CDOM} と $a_y(443)$ との関係を解析したと

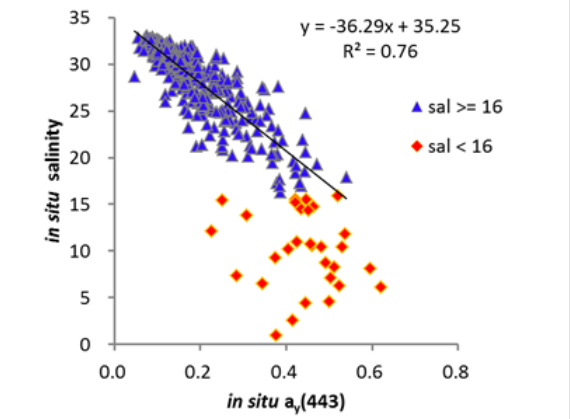


図 2 2015 年から 2018 年に得られた $a_y(443)$ と塩分

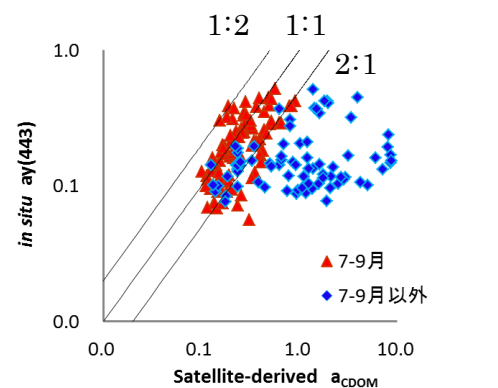


図 3 2015 年から 2018 年の間に得られた実測 $a_y(443)$ と衛星 a_{CDOM} の関係の関係

ころ，下記のアルゴリズム (Moon et al.,2012) を用いた場合に，推定精度が最も高かった。

$$R = \frac{Rrs(412)}{Rrs(555)} \quad \text{estimated aCDOM}(400) \text{ (m}^{-1}\text{)} = 0.2047 * R^{-1.3351}$$

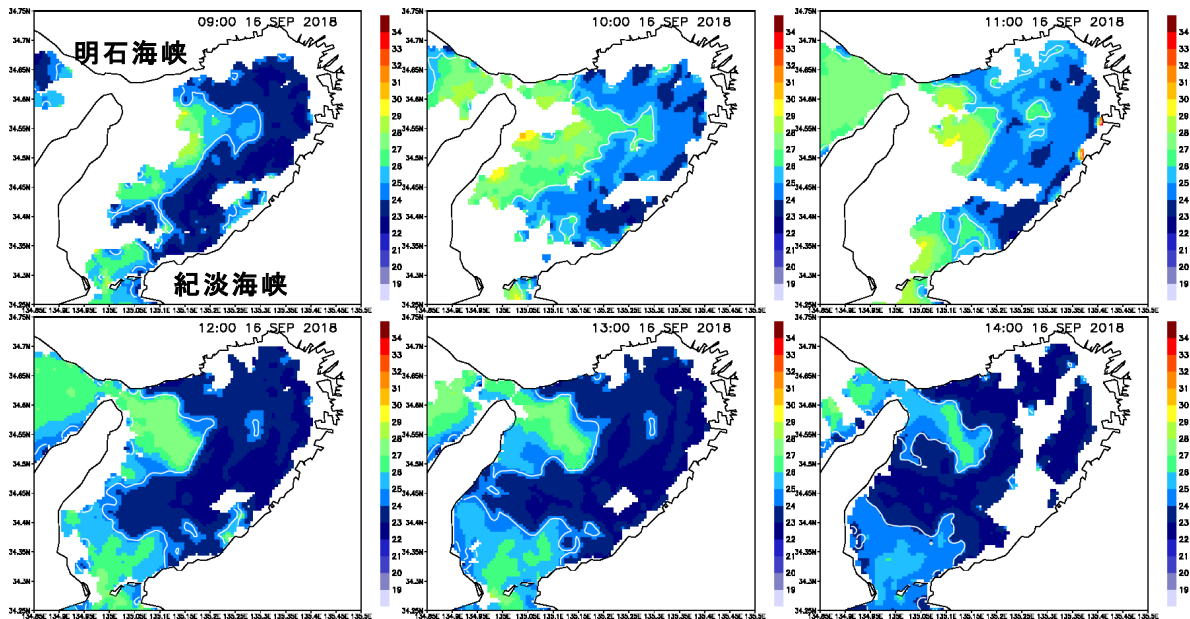


図4 大阪湾における2018年9月16日午前9時から午後14時までの1時間ごとの衛星推定塩分分布。白い太線は塩分フロントを表す。

そこで衛星 Rrs から算出した aCDOM と，2015 年から 2018 年までに大阪湾全域で得られた実測 $a_y(443)$ を比較したところ図 3 のようになり (N = 103)，7~9 月以外の季節には衛星 aCDOM と実測 $a_y(443)$ の間に相関は見られない一方，7~9 月には，ほとんどのプロットが両者の比率が 1:2，1:1 または 2:1 になる直線上に分布し，正の相関を示した ($r = 0.71$)。

以上のことから，衛星海色センサから得られる aCDOM を用いて大阪湾における塩分分布を推定し，塩分が 16 以上の範囲において河川出水時における河口フロントを可視化できることが示された。そこで衛星 aCDOM 用いて大阪湾における塩分分布を推定し，2018 年の出水時における河口フロントの挙動について調べた。

図 4 に，2018 年 9 月 16 日における 1 時間ごとの衛星推定塩分分布を示した。この約 1 週間前には，淀川の流量は $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 前後で推移していた。9 月 16 日には流量は $300 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度に減少していたが，海域には前週に供給された淡水の影響が残っていたと考えられる。また 9 月 16 日は中潮にあたり，午前 9 時から午後 13 時までの間は，上げ潮であった。図中に白い線で示した塩分フロントは午前 9 時には大阪湾中央部にあったが，徐々に西に移動し，午後 14 時には明石海峡付近に見られた。また，大阪湾南部にもやや高塩分の水塊があり，時間とともに徐々に北上する様子が伺われた。前者は上げ潮に伴う明石海峡の潮流渦の退縮，後者は上げ潮に伴う紀淡海峡からの外海側の高塩分水の流入に対応することが示唆された。

すべてのデータを掲載することはできないが，衛星データを用いることにより各年の

7月から9月について1時間ごとの塩分分布が可視化され、潮時による塩分フロントの移動が確認された。また、淀川流量が1500 m³/sを超える期間中には、潮時によらず塩分フロントが南下していく様子が伺われた。河川流量が変化した場合における塩分フロントの移動経路の分類、また風による混合や移流の影響の解析については、今後の課題である。

4. 結論

本研究では、台風や集中豪雨に伴う河川出水が大阪湾の環境に及ぼす影響の定量化に寄与することを目指して、静止衛星から得られる高頻度・高解像度の海色データを現地観測によって検証し、大阪湾において河川出水時における河口フロントの移動を可視化するとともに、その位置の変動と河川流量との関係を調べた。

大阪湾奥に東西、南北に設定した観測ライン上における現地観測の結果から、塩分が急変する河口フロントを、 $a_y(443)$ を用いても高い精度で捉えることができることが示された。また大阪湾の東岸には、水平スケール5 km間隔の定点の測定値の補間または海岸までの外挿では捉えることができない塩分勾配があり、500 m ~ 1 kmの水平解像度を持つ衛星リモートセンシングが有用であることが示唆された。

2015年度から2018年度にかけて大阪湾表層において得られたすべての塩分と $a_y(443)$ の値(N = 467)の関係を解析したところ、塩分が16以上の場合に $a_y(443)$ と塩分間の決定係数(R^2)は0.76と比較的高く、また人工衛星海色センサCOMS/GOCIから a_{CDOM} を得て実測の $a_y(443)$ と比較し、推定精度を検討したところ、7, 8, 9月には両者が正の相関を示し、衛星 a_{CDOM} は実測 $a_y(443)$ とよく対応することが示された。

以上の結果により、衛星海色センサから得られる a_{CDOM} を用いて大阪湾における塩分分布を推定し、7~9月に塩分が16以上の範囲において河川出水時における河口フロントを可視化できることが示された。そこで衛星 a_{CDOM} を用いて大阪湾における塩分分布を推定し、2018年の出水時におけるフロントの挙動について調べたところ、淀川流量の違いに対応するフロントの位置および形状の違い、潮時によるフロントの位置の違いなどが可視化された。

本研究の成果により、静止衛星の海色データから得られる a_{CDOM} を用いて1時間ごとの河口フロントの移動を捉えることが可能であることが示された。また大和川、淀川の $a_y(443)$ が互いに常に異なる値を示すことが示され、これを用いることによりそれぞれの河川に由来する物質が大阪湾の各領域の水質にどの程度寄与しているかを推定することが可能になる可能性も示唆された。

今後、衛星 a_{CDOM} と実測 $a_y(443)$ の対応関係をすべての月について調べ、どのような季節に、またどのような条件下において衛星 a_{CDOM} を用いることができるのかを精査していくことが必要である。また河口フロントの移動には海上風の風向、風速の変化も関与していると考えられるが、衛星データを用いた両者の関係の解析については今後の課題である。