

河口域における流動場及び物質収支モニタリング手法の提案 -お台場海浜公園を例として-

A Proposed Method for Monitoring of Flow Field and Mass Balance
in Estuaries: the Case of Odaibakaihin Park

学籍番号 126854
氏 名 楠本 仁麦
指導教員 鯉渕 幸生 准教授

1. はじめに

昨年 9 月、2020 年東京夏季オリンピックが開催される事が決定し、外国人旅行客の増加が見込まれることから、都内観光地の環境整備対策が急務である。台場地区は東京臨海副都心として 90 年代前半に本格的な開発が始まり、現在では商業施設、観光・レジャー施設の誘致が進んで多くの利用客で賑わいをみせるようになった。その中で都内有数の夜景スポットとして人気のお台場海浜公園ではよう人口ビーチが造成され期間限定で海開きを行ったり、マリンスポーツ用にレクリエーションエリアを試験開放したりするなど、都市部親水空間としての機能が期待されている。

同公園周辺海域は、隅田川河川水の東京湾への流出経路でもあるため、利用水域の水質管理もさることながら、湾内への流入負荷量を明らかにするための流量及び水質モニタリングの実施が望まれている地点である。隅田川はその全長 23.5km にわたり全て感潮域であり、注ぎ込む各支川（神田川、石神井川、新河岸川）の流量データも上流域のものに限られ、流量推定が困難である事が二瓶ら(2007)により指摘されている。

そこで、鉛直 2 層構造を示す水域におい

て、流量推算を行うため、上層層厚の推定方法などのモニタリング手法の開発を行い、上層層厚の変動を含む鉛直各層の流動特性と、それによって決定される水環境動態を明らかにすることを試みた。

2. 現地観測

本研究ではまず河川流入水と海水が形成する流動場を調べるため、2013 年に予備的な現地調査として、海上保安庁台場棧橋先端 (St.1) にて ADCP を設置し、流向流速の鉛直分布を計測した。観測地点を図 1 に示す。

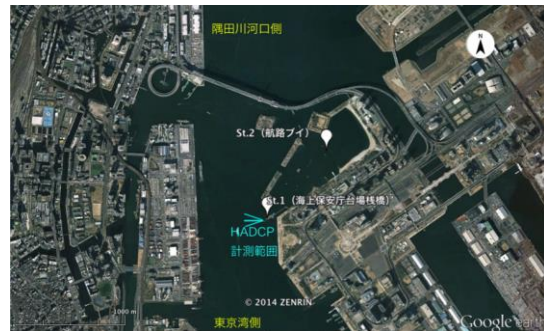


図 1 観測地点周辺図
(GoogleEarth より)

2014 年では、上述の予備調査により現地の水環境変動についてある程度説明が可能になったことより、2014 年では既設の HADCP テレメトリー装置に、多項目水質計の増設を行い、水環境状態のリアルタイムモニ

タリングを行った。1 台の水質計で複数層の計測が行えるように、海水ポンプを取り付けた。ポンプ式水質計の概要を図 2 に示す。

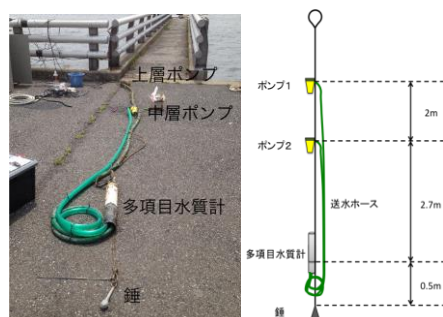


図 2 ポンプ式多項目水質計

3. 観測結果

St.1 から見て隅田川河口はほぼ真北に位置し、河川水の流下方向は南である。図 3 に 2013 年の ADCP 観測により得られた竜王流速データを示す。北方流速成分の鉛直分布時系列にはデータ全期間において鉛直 2 層構造が潮汐に関係するような形で消えたり現れたりを繰り返しており、強い潮汐流のパターンが確認できる。

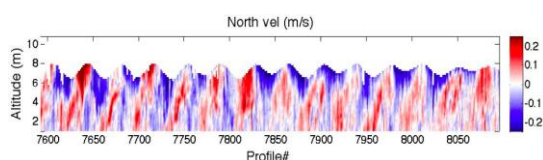


図 3 北方流速鉛直分布時系列
(赤色:＝陸方向, 青色＝海方向)

また、2014 年の観測で投入したポンプ式多項目水質計の水温・塩分データを図 4 に例示する。海水交換が良好に行われている様子が表れており、上層層厚についての検討もこのデータから行う事が出来る。今回製作したポンプ式水質計の有効性が示されたことになる。

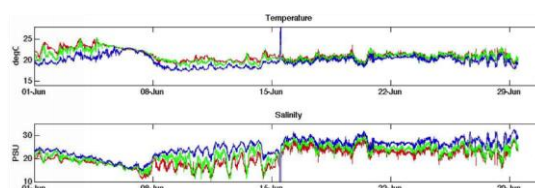


図 4 2014 年 6 月の 3 層水温塩分時系列
(赤: 上層, 緑: 中層, 青: 下層)

4. 上層層厚推定方法の開発

図 3 の ADCP の一次データからでは境界層の位置が明確にならないので、ここでは上層層厚推定の為の境界層検出の方法を検討する。図 1 には全層において潮汐流のパターンが認められたが、その表れ方は鉛直方向に一様ではなく、下層から上層に向かって位相伝播が起きている。そこで、この上層と下層の潮汐成分の位相差を利用して境界層の位置を特定できないか調べる事にした。まず、平均的にはどれほどの位相差が実際に存在するのか各層の代表流速時系列（上層代表流速＝海面から 0.4~0.8 m 深の平均流速、下層代表流速＝5.4~7.2 m 深の平均流速に相当）から潮汐成分を抽出し、両者を比較した。結果を図 5 に示す。

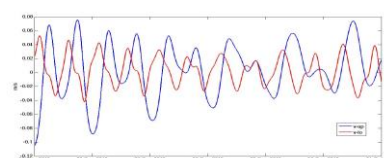


図 5 潮汐成分流速時系列の比較

これより、下層時系列と上層時系列の位相差は 0~200 分の範囲である事が示された。図 3 のデータにも強く表れているように、潮汐成分は全体の変動に大きく寄与しているため、検出が容易なシグナルであることが分かった。

次に位相差の鉛直分布を調べる為に、各深度流速時系列を 720 分毎の小时系列に分割

し、その全ての時系列において、下層代表流速とのラグ相関解析を行った。なお、海底から海面までの流速プロファイルは水位の変動に関わらず ADCP は等深度間隔に流速測定を行うため、各時間点で 1 プロファイルに含まれる流速サンプル数が異なる。そこで、解析にかける前に深度方向に 50 点のリサンプリングを行い、全ての時間点においてデータ数が揃うよう前処理を施した。この処理で図 6 の縦軸はセンサーからの距離 (m) ではなく、0=海底、1=海面になっていることに注意する。

位相差の鉛直分布図には上層-下層間の中間層が明確に表れた。境界を含む層は隣接する層との差分が最大になる層と定義し、上層層厚の推算を行った。その後同推定方法を HADCP データにも適用した。

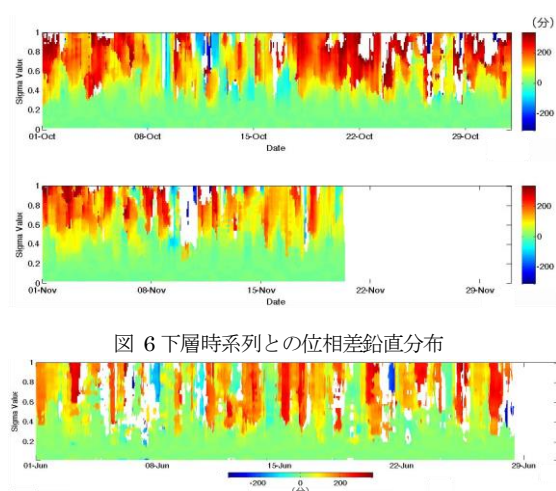


図 6 下層時系列との位相差鉛直分布

図 7 HADCP から求めた位相差分布

5. 考察

St.1 流動場の状況 (2014 年 4 月)

同月 3 日から 4 日に掛けてまとまった降雨が観測され、河川水流入により強い成層状態にあったと推察される。この降雨による合計降水量は 105mm であった。降雨直後は河川流入の増加により、上層層厚が増大し、上層水柱全体が境界層から受ける摩擦の影響

が小さくなり、外力の作用に敏感に反応する傾向があることが 2013 年 10 月の大雨時の調査でも分かっている。その為、4 日の日中 4 時間程度の短い時間だが南風が強吹する時間帯があり、上層流入 (北向きの流れ) のピークが観測された。

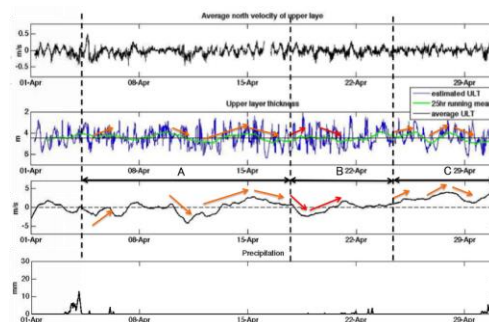


図 8 上層流速、上層層厚、風速南北成分 (25 時間平均値)、及び降雨量時系列

南風偏差と上層層厚の 25 時間移動平均値の対応をみると降雨後 10 日程度 (図 8 — 期間 A) は、南風 (北風) が強化されると上層層厚増大 (減少) という関係が見られる。これは同月 3 日の降雨後しばらく St. 1 周辺に流入した河川水が図 9a で示される様な形で張り出しており、河口に向けて風が吹くと上層河川水のフロントが河口に向かって押し戻され、境界層の位置が浅くなるためと考えたと説明がつく。

6 日に 7mm の小規模な降雨があった後は 21 日まで 1mm 以上の降雨が無かった。その間 (図 8—期間 B) において、南風偏差と上層層厚の関係が期間 A と反対になっていた。これはしばらく淡水の流入がないために、周辺海域全体で混合が進み、水平方向にも鉛直方向にも密度勾配が小さかった期間であったと考えられ、図 9b に示されるように南風が強まると、広範囲に広がっていた密度一様の上層水塊が河口域に集められることになり、上層層厚が深まったのだと説明できる。

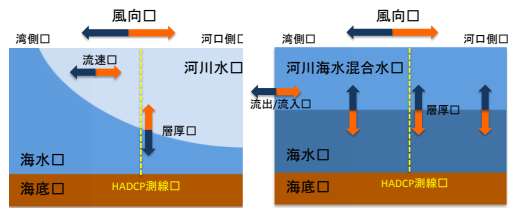


図 9a, 左) 淡水流入時, および 9b, 右) 混合時の風向, 上層流速, 層厚の関係

St.1 流動場の状況 (2014 年 6 月)

同月は大規模な降水が観測され, その降水量はピーク時の 6 日から 7 日にかけて 185mm, 5 日から 13 日の降雨が続いた期間全体で 246.5mm であった. この期間中の風向は北風であり, 上層流速を流出の方向に強化し, 6 日から 7 日の上層流出量は 8.14×10^7 (m³) であった. 図 4 のポンプ式水質計塩分データから, 降雨前の上層塩分を 20PSU とし, 降雨期間中の平均上層塩分を 14.8PSU とおくと, およそ 2.85×10^7 (m³) の淡水が同水路を通じて東京湾に流入したことになる. ピーク時総雨量 (185mm) で除して隅田川流域面積 (640km²) との比をとると雨水は流域の 4 分の 1 弱の面積分の周辺地域から集水され, 同水路を通過した計算になる. 上層流量は降雨期間や強度, 風向風速にも影響され, 必ずしも降水量と一意に関係しているとは限らないが, このように直接的な観測により淡水流入を定量化できたことは下水流入など, 水質汚濁問題を抱える同地点において重要な知見となりうる.

2014 年観測期間中の赤潮発生状況

図 10 に示す通り, 同公園内の観測期間中の小潮に当たる時期は, いずれの時期においても植物プランクトンの増大が見られる. 反対に大潮時には植物プランクトン量の激減が観測されたことから, 潮汐の振幅増大による水交換量増大が示唆された. た

だし, 4 月 28~30 日の大潮時にのみクロロフィル a の増大が観測され, その他の大潮時と反対の傾向となった. 水塊が大きく動く時期であるので, 周辺海域で増大した植物プランクトンの流入があった可能性があることから, ピークが観測された直前の上層層厚に注目してみると, 26 日と 28 日に層厚減少の傾向が見られ, さらに日射量では 26 日に最大値が観測されたことより, この時期に有光層への植物プランクトンの集積と急増が起きたと考えられる.

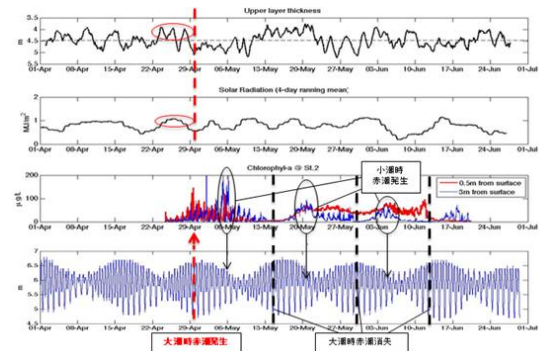


図 10 2014 年 4~6 月の推算上層層厚, 日射量 (4 日移動平均), St.2 におけるクロロフィル a (0.5m 深; 赤, 3.0m 深; 青), 及び HADCP 水位計水位時系列

6. まとめ

上層層厚推算方法を考案し, ADCP 及び HADCP データへの適用を行った. 上層推算流量とポンプ式水質計の塩分値を用いて, 2014 年 6 月 6~8 日に観測された出水時の台場周辺海域に流入した淡水量の定量化が可能となった. さらに, 推算した上層層厚を用いて, お台場海浜公園における赤潮発生の要因を特定することができた.

参考文献

二瓶泰雄, 高村智之, 渡邊敬之. (2007). 東京湾主要流入河川における流量モニタリングの現状と課題. 海岸工学論文集, 54(0), 1221-1225.