

## 東京湾における外洋水流入・大気熱交換・河川流入に伴う熱輸送量の評価

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 : ○篠原 優太  
国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 : 細川 真也

### 1. 研究の背景と目的

世界の沿岸域にて長期的な水温上昇が報告されており、その傾向には地域差や季節性が存在する。日本の都市部に隣接する閉鎖性内湾も例外でなく、湾によって水温上昇量が異なることが報告されている(牧ら(2024)<sup>1)</sup>)。閉鎖性内湾の水温は、外洋水の流入・流出、大気との熱交換、河川流入、人工排熱など、複数の要因が作用することで形成される。閉鎖性内湾の水温変動やその地域性を理解するためには、これらの要因を統一的に評価・比較し、相対的な重要性の把握が求められる。本研究では、閉鎖性内湾の水温形成要因を統一的に評価する初期検討として、東京湾を対象に、長期観測値を用いて、東京湾の外洋水流入、大気熱交換、河川流入の各境界に伴う熱輸送量を推定し、その季節変化および相対的なオーダーを評価した。

### 2. 手法

外洋水流入量の推定に、東京湾口を横断するフェリー「かなや丸」に搭載された ADCP の観測データを用いた。観測データから、船速の除去、方位補正を適用した東西・南北方向の流速を取得し、金谷-久里浜を結ぶ直線上に投影した。投影した観測値を水平 125m、鉛直 4m の格子に配置し、格子ごとに調和解析を実施して主要 4 分潮の潮汐成分を推定した。観測した流速から潮汐成分を差し引くことで、残差流を求めた。この残差流には、エスチュアリ循環流をはじめ吹送流、潮汐残差流、ノイズ成分などが含まれると考えられる。外洋水流入量 $Q_{in}$ は、ADCP の観測不可領域である水深 11m 以浅を湾外への流出域と仮定し、月平均残差流断面内の正の流量を持つ格子を積分することで求めた。外洋水流入による熱輸送量は、外洋水流入量と、公共用水域観測結果から得られた外洋代表水温と湾内代表水温の差から評価した。解析には、2009 年から 2023 年までの観測データのうち、月内のフェリー運航日数が 16 日以上である月のデータを用いた。

大気熱交換量の算出には、気象庁により観測された、羽田および東京における観測値<sup>2)</sup>を用いた。気温、平均風速、海面気圧、蒸気圧、相対湿度、全天日射量、雲量の観測値から短波放射、長波放射、顕熱フラックス、潜熱フラックスを算出し、海面正味熱フラックスを求めた。大気熱交換による熱輸送量は、海面正味熱フラックスに東京湾の表面積を乗じることで評価した。

河川流入による熱輸送の評価には、東京湾に流入する主要河川として、荒川、江戸川、多摩川、鶴見川、中川、隅田川の 6 河川を対象とした。各河川について、順流域末端に近い観測地点における水文水質データ<sup>3)</sup>を用いて、月平均流量および河川水温を作成した。河川流入による熱輸送量は、各河川から東京湾へ流入する淡水量と、河川水温および湾内代表水温の差から評価した。

### 3. 結果および結論

図-1 に、フェリー ADCP から推定した月別平均の南北残差流の湾口断面分布を示す。正が湾内への流入、負が湾外への流出を示す。日向(2001)<sup>4)</sup>による東京湾口観測などで示される、上層流出、中層流入、下層流出の残差流構造が恒常的に確認された。よって、 $Q_{in}$  の計算時に用いた水深 10m 以浅を流出域とする仮定は概ね妥当であると考えられる。

図-2 に外洋水流入、大気熱交換、河川流入による熱輸送量の月別時系列図を示す。東京湾の境界

における外洋水流入と大気熱交換はいずれも $10^{11}$  [W]程度のオーダーを持つ。一方、河川流入に伴う熱輸送量は、外洋水流入および大気熱交換に比べて小さく、月平均スケールでは、東京湾全体の熱収支に対する寄与は相対的に小さい。冬季には、大気熱交換が海面を通じて湾内を冷却する一方、外洋水流入は加熱側に作用し、大気による冷却を緩和する可能性がある。夏季には、大気熱交換が湾内を加熱する一方、外洋水流入は冷却側に作用し、大気による昇温を抑制する可能性がある。

月平均スケールでは、東京湾の水温形成において、外洋水流入と大気熱交換の影響が同等に大きく、河川流入の影響は相対的に小さいことが示唆された。しかし、本研究は各境界における熱輸送量の推定に留まり、各境界における外洋水流入、河川流入、大気熱交換に伴う熱が、湾内でどのように混合・拡散し、水温へ反映されるかは不明である。今後、数値モデルを用いて、各境界から与えられた熱輸送の波及過程を解析し、東京湾の水温形成要因をより定量的に評価することが課題である。

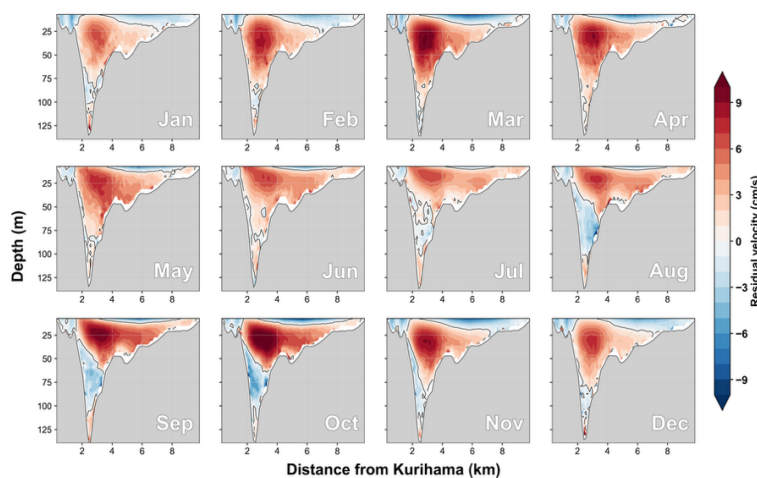


図-1 東京湾湾口断面における南北成分の月別平均残差流

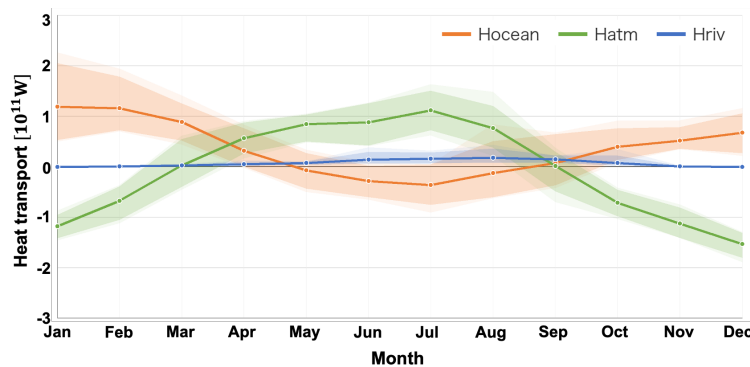


図-2 外洋水流入・大気熱交換・河川流入に伴う熱輸送量の月変化

#### 参考文献

- 1) 牧秀明, 東博紀, 安藤晴夫: 閉鎖性海域の水温・水質変動と気候変動の影響, 地球環境, Vol.29, No.1, pp.99-110, 2024.
- 2) 気象庁: 過去の気象データ検索, <https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>
- 3) 国土交通省: 水文水質データベース, <https://www1.river.go.jp/>
- 4) 日向博文, 灘岡和夫, 八木宏, 田淵広嗣, 吉岡健: 黒潮流路変動に伴う高温沿岸水波及時における成層期東京湾内の流動構造と熱・物質輸送特性, 土木学会論文集, No.684/II-56, pp.93-111, 2001.