

NOAA-AVHRRデータを用いた 東京湾における風による流動の時系列的解析の試み

An Attempt of Time-Historical Analysis of
Wind induced Current in Tokyo Bay using NOAA-AVHRR

上野 成三* 灘岡和夫** 勝井 秀博***

by Seizo Ueno, Kazuo Nadaoka and Hidehiro Katsui

Recently, some field observations show that currents in a bay respond to the change of wind as quickly as within two or three days. In this study, an attempt is made to analyze the characteristics of wind induced current in Tokyo Bay by remote sensing(NOAA-AVHRR). The result of the analysis for typical two series suggests that northern wind induces upwelling in the head and the east side of the bay like as 'aoshio phenomenon', and that the cross sectional gradation of water surface temperature changes by the alternation of the wind direction from south to north.

*keywords : remote sensing, wind induced current,
Tokyo Bay, upwelling, aoshio*

1. はじめに

近年、沿岸海域において物理・化学・生物に関する学際的な研究が進められ、湾内の流動パターンやその維持機構、さらに流動が水質変化に及ぼす影響などが明らかにされつつある。その研究過程で、風による流動に着目した現地観測がいくつか行われ、2,3日レベルの短期間の連風によっても湾内の流動は敏感に応答することが明かになってきた(宇野木¹⁾, 森川・村上²⁾, 藤原³⁾, 小田巻⁴⁾)。さらに、この風による流動は、「青潮」に代表されるように湾内の水質に急激な変化をもたらすことから、閉鎖性海域の水質変化を考える上で重要な要素となっている。一方、数値モデルによって、閉鎖性海域の流動に潮流・密度流・吹送流を考慮した上で水質分布を再現する試みも行われており、通年・季節平均の恒流パターンや水質分布に限れば現地データとの一致がみられている(蔵本・中田⁵⁾)。しかし、風による流動は数日の時間スケールで変動する特徴を持ち、その流動機構に未だ不明な点が多い。先にあげた観測例は多点連続計測という大規模な観測であり貴重な情報を提供してくれるが、観測例が少ない上、観測点数も限られているため現象のより詳細な解析が困難である。一方、人工衛星によるリモートセンシングを用いて同一地点を複数シーン収集すれば、時系列的な解析が可能となり、本現象の解析にとって有効な一手段となると予想される。そこで、本研究では、リモートセンシングデータを用いた風による流動の時系列的な解析の試みとして、既存の観測例の比較的多い東京湾を対象とし、

-
- | | |
|---------------------|---|
| * 正会員 工修 研究員 | 大成建設技術研究所土木構造・水理研究グループ
(〒245 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町344-1) |
| ** 正会員 工博 東京工業大学助教授 | 工学部土木工学科
(〒152 東京都目黒区大岡山2-12-1) |
| *** 正会員 工修 チームリーダー | 大成建設技術研究所土木構造・水理研究グループ |

飛来頻度の多いNOAAデータを用いた予備的な解析を行った。

2. 解析方法

リモートセンシングから得られる情報は海域の表層付近に限られ、風による流動現象の内、特に鉛直循環流を検討するには限界がある。しかし、温度成層の発達する夏季に鉛直循環流が発生すると、沿岸付近で底層の低温水塊が湧昇し表層水温の平面分布に局所的な低温域が現れる。よって、この低温域を目印にして湧昇域を判定し風との関係を調べれば、鉛直循環流の特性もある程度解析可能と予想される(図-1参照)。

水温分布の解析には気象衛星NOAAの熱赤外データ(AVHRR-5ch、波長11.5~12.5 μ m)を4画素平均(解像度は約3km)して用いた。NOAAは飛来頻度が多く(1日に約2回)時系列的な解析に適している。風のデータは海上で得られた風向・風速を用いた。この海上風データと気象庁月報⁵⁾を用いて、1984年4月から1991年3月までの7年間の内、雲量が少なく、かつ、湾軸に沿った南風系および北風系の風が交互に連風する2シリーズを選び出した。なお、本解析ではAVHRRデータから水温を推定する際に大気効果を補正していないため各シーン間の水温の絶対値に対する厳密な比較はできないものの、分布パターンに着目した比較はある程度可能である。

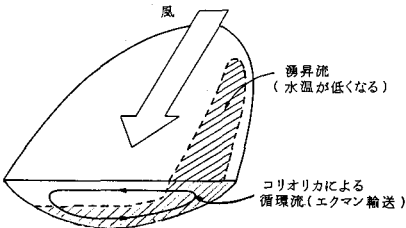


図-1 湧昇流による表層水温の低下

3. 事例解析

3.1 シリーズ①(1986年6月上旬)

1986年6月4日~15日における海上風ベクトルの時間変動を図-2に示す。同図にはNOAAの観測日時と青潮発生期間も併せて示した。4日~7日は北風系の連風があり船橋沖で青潮が発生した。8日~9日は逆に強い南風が吹いた。10日~12日午前中は北風系が連風し、その後南風系に反転した。解析したNOAAデータは、南風が約1.5日連風した9日14:36と、北風が約2.5日連風した後南風へ転向した直後の12日14:03の2シーンである。なお、この期間中、関東域では顕著な降雨は無く河川から湾内への大規模な出水は生じなかったと予想される。

6月9日と12日の2シーンについて湾内の表層水温の平面分布を比較する(図-3)。9日の水温分布は湾内全域で一様化したのに対して、北風

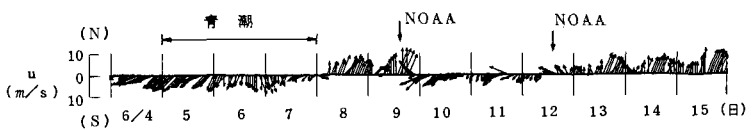


図-2 海上風ベクトルの時間変動(1986年6月4日~15日)

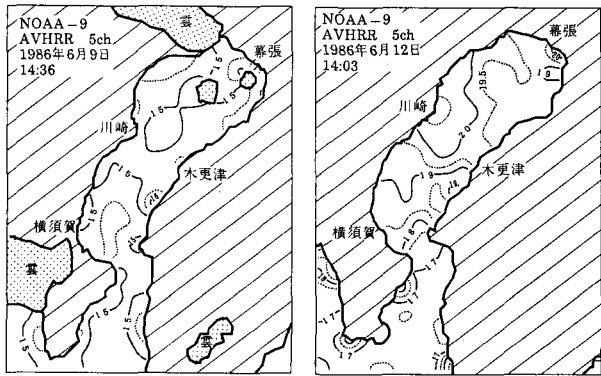


図-3 東京湾表層水温の平面分布(1986年6月9日,12日)

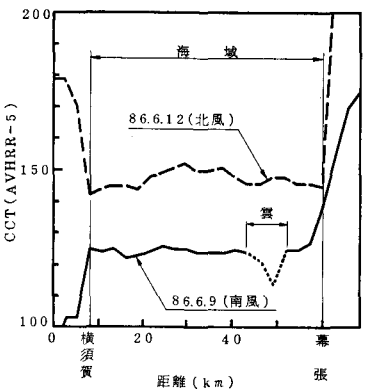


図-4 湾軸上の水温分布

連風後の12日は湾東部から湾奥部にかけて低温域が広がった。また、湾口部から湾中央に向かう水温勾配は大きくなった。なお、12日に比べて9日の水温が湾内全域で低くなったのは、9日に雲量が多く大気中の水蒸気により放射輝度エネルギーがより多く吸収されたためと考えられる。これらの水温分布の変化を詳しく調べるために、横須賀から幕張を通る湾軸上での水温分布を比較する(図-4)。南風下にある9日はほぼ一様化した分布であるのに対して、北風連風直後の12日は湾中央部で高く横須賀沖と幕張沖で低い分布となる。

以上より、湾内の表層水温分布は、南風下の9日の時点では一様化していたが、10日~12日の北風連風により湾東部から湾奥部にかけて低温域が生じた。これは、北風に伴う鉛直循環流により湾東部沿岸に沿って湧昇流が生じ底層の低温水塊が湧昇したことを示している。

3.2 シリーズ② (1990年8月上旬)

1990年7月30日~8月18日における海上風ベクトルの時間変動を図-5に示す。8月1日~2日は南風系の連風があり、3日~7日午前中は逆に強い北風が連風した。6日には船橋沖で青潮が発生した。その後、7日午後~17日にかけて南風系が卓越し、10~11日と13~17日には安定した南西風が連風した。解析したNOAAデータは、南風が約1日連風した2日13:04と、その後北風が約4日間連風した後南風へ反転した直後の7日13:51、および、安定した南風連風中の15日14:04の3シーンである。なお、この期間中の8月10日に大雨があり15日のNOAAデータには河川から出水の影響が多少含まれている可能性がある。

8月2日、7日、15日の3シーンについて湾内の表層水温の平面分布を比較する(図-6)。2日は、湾軸方向では湾口部で低く湾奥部で高い分布で、湾の横断方向では湾西部で高く湾東部で低い分布となった。この水温分布は東京湾における夏季の典型的な分布である。これに対して、北風連風直後の7日は湾奥部を中心に局所的な低温域が広がった。また、横須賀沖付近における湾の横断方向の水温分布は2日とは逆に湾西部で低く湾東部で高くなった。南風連風中の15日では、全体的な分布パターンは2日と同様に湾奥・湾西部で水温が高くなったものの、その水温勾配は大きくなった。これらの水温分布の変化を詳しく調べるために、図-4と同様に湾軸上での水温分布を比較する(図-7)。南風下にある2日は横須賀沖から幕張沖へ向かうにしたがって一様に水温が上昇したのに対して、北風連風直後の7日は湾中央部で高く横須賀沖と幕張沖で低い分布となった。この傾向は1986年6月12日の場合と同様である(図-5参照)。また、南風連風下の15日では、2日と同様に横須賀沖から幕張沖に向かって水温が上昇したもの、その水温勾配は2日の場合に比べてかなり大きくなった。

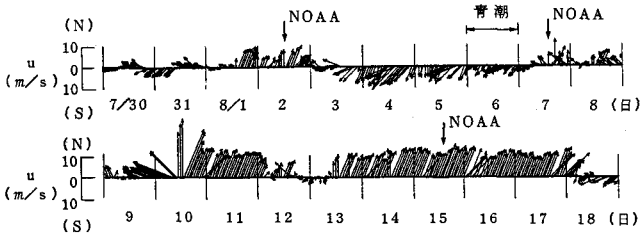


図-5 海上風ベクトルの時間変動 (1990年7月30日~8月18日)

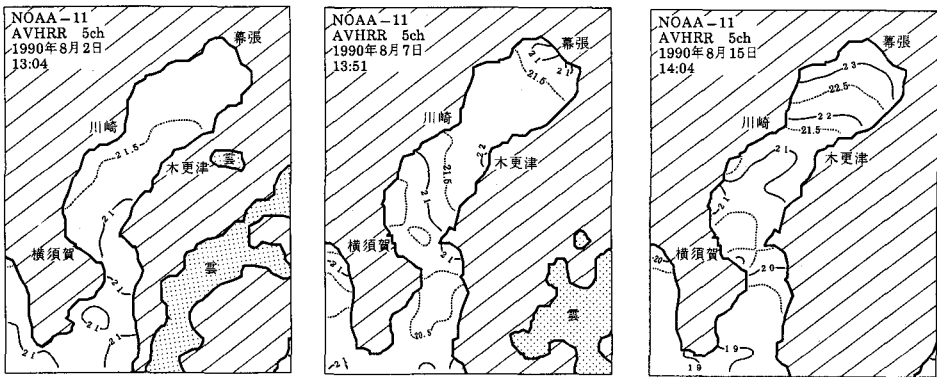


図-6 東京湾表層水温の平面分布 (1990年8月2日, 7日, 15日)

以上より、南風下で湾口から湾奥にかけて上昇する水温分布が、北風連風後では湾奥部で局所的に低温となる分布に変化することが示された。これは北風直後時に湾奥部で局所的な湧昇流が発生することを示し青潮現象とも合致する。また、横須賀沖付近における湾の横断方向の水温勾配が北風時と南風時で逆転することが示された。

4. 湾東部・湾奥部で生じる湧昇流に関する考察

北風が連風した直後の1986年6月12日と1990年8月7日の2シーン（以下、シーンA、Bとする）に現れた表層低温域は湧昇流の発生を示している。しかし、両シーンの湧昇流の発生領域を比較すると、シーンAでは湾東部沿岸から湾奥部にかけて広い領域であるのに対して、シーンBでは湾奥部を中心とした局所的な領域に限定された。このような湧昇域の発生域について、宇野木⁷⁾は北風の吹きだしから停止までの一連の水温・塩分分布の観測結果から、北風最盛期にいわゆる沿岸湧昇によって湾東部沿岸に沿って出現した湧昇域が、風が止むと内部ケルビン波として湾奥部へ移動する可能性を論じている。また、松山ら⁸⁾も数値計算によって同様な結果を得ている。この内部ケルビン波としての湧昇域の移動という観点から先の2シーンを調べると、風が止んでからの経過時間はシーンAよりBの方が長く、内部ケルビン波の位相速度もシーンAよりBの方が大きい（Bは上下層の密度差が大きくなる8月に観測された）。よって、ケルビン波が湾奥部へ移動する距離はシーンAよりBの方が大きいと予想され、シーンBで現れた湾奥部の局所的な湧昇域の発生が定性的に説明できる。

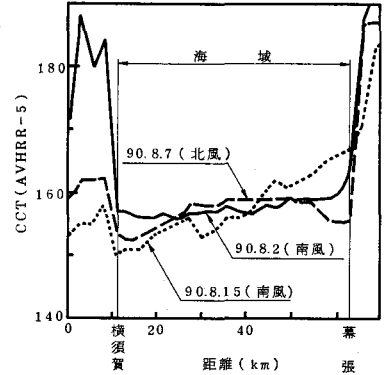


図-7 湾軸上の水温分布

5. おわりに

本研究では、NOAA-AVHRRデータを用いて東京湾の表層水温分布を時系列的に調べ、海上風との関連から湾内流動の解析を試みた。その結果、表層水温の平面分布はただか2,3日間の連風により急激に変化し、北風時に湾東・湾奥部で局所的に水温が低下することや、湾口付近における水温の湾横断方向勾配が風向きにより逆転することなどの興味深い現象が確認できた。また、水温分布の変化から湾内流動を推定すると、北風連風時に湾東部を中心とした湧昇域は、風が止むと内部ケルビン波的に振る舞って湾奥部へ移動する可能性が示唆された。今後は、さらに密な時間隔で同様の解析を行いより詳細な実態把握を行うとともに、数値計算により衛星データの断片的な情報を埋めていく予定である。

なお、本研究で使用した青潮の発生時期のデータは船橋漁協より提供を受けた。ここに感謝の意を表します。

《 参 考 文 献 》

- 1) 宇野木早苗：東京湾Ⅱ物理，日本全国沿岸海洋誌，東海大学出版会，p. 344-361, 1985.
- 2) 森川雅行・村上和男：東京湾における長周期流れの変動特性—現地データ(1983年9月)による検討—，港湾技研資料，No. 550, p. 3-50, 1986.
- 3) 藤原建紀・高杉由夫・肥後竹彦：成層状態の内湾に風が起こす現象，沿岸海洋研究ノート，第27巻，第1号，p. 38-46, 1989.
- 4) 小田巻実・佐藤敏・下平保直：閉鎖性水域の風による流動及び物質移動等の調査・評価手法に関する研究（夏季の東京湾の流況変動），日本海洋学会秋季大会講演要旨集，p. 154-155, 1990.
- 5) 蔵本武明・中田喜三郎：東京湾における流動と底層DO濃度シミュレーション，沿岸海洋研究ノート，第28巻，第2号，p. 140-150, 1991.
- 6) 気象庁：気象庁月報全国気象表，1984年4月～1991年3月.
- 7) 宇野木早苗：東京湾の湧昇と青潮，日本海洋学会秋季大会講演要旨集，p. 156-157, 1990.
- 8) 松山優治・当麻一良・大脇厚：東京湾の湧昇に関する数値実験—青潮に関連して—，沿岸海洋研究ノート，第28巻，第1号，p. 63-74, 1990.