

II-332

風による成層破壊に関する一考察

—東京湾での青潮監視の観測データに基づいて—

大阪大学大学院 学生員 尹 鍾星

大阪大学工学部 正 員 中辻啓二

大阪大学工学部 正 員 村岡浩爾

1 まえがき

青潮発生時の流動・温度構造の特性を把握する目的で、環境庁は1990年夏に東京湾の船橋沖と中の瀬の2測点での温度の鉛直方向分布の連続観測と東京湾を縦断する7点での温度・塩分濃度・溶存酸素・栄養塩類の鉛直分布の定点観測を5回行った¹⁾。観測時には青潮の発生は残念ながら観られなかったが、温度分布と風との間には明瞭な相関が認められた。本文では、青潮の発生がしばしば観測される船橋沖での観測データに基づいた鉛直一次元の力学的考察から、風による成層破壊の機構について検討したので報告する。

2 観測データ

図-1は船橋沖約8km地点(水深 $H \approx 12\text{m}$)で1990年8月20日~9月19日の期間に鉛直方向に11点で連続観測された水温の変化と千葉測候所での風向・風速の測定結果を示す。1990年は猛暑が続き、真夏日や熱帯夜の継続日数の記録を更新した夏であった。また、大型台風の襲来と前線の発達が例年になく多く、警報が頻繁に発令された。図-1からも明瞭のように、台風あるいは前線の通過にともなう強い南西風(岸向き風)によって船橋地点では成層構造が破壊され、水温分布が鉛直方向に一樣になる混合現象が6回もあったことが特徴的に認められる。しかし、風が止んだ後には、成層が1日程度の極めて短時間に再形成される傾向にある。

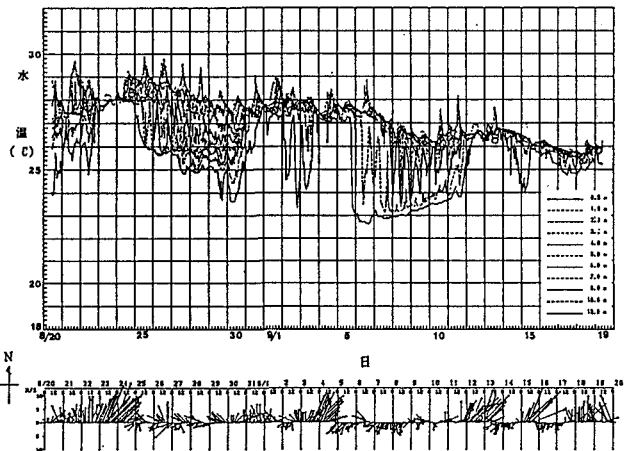


図-1 水温と風向・風速の測定結果

3 Wedderburn数に基づく成層破壊の評価

Spigel・Imberger²⁾は成層状態の湖に風が作用した場合の躍層の変化や混合現象をRichardson数 $Ri^* (= \Delta \rho g h / u_*^2)$ と湖の躍層水深と長さとの形状比 h/L により分類できることを示した。ここに、 $\Delta \rho$ は上下層の密度差、 u_* は風によって引き起こされる吹送流の摩擦速度である。さらに、両者の積で表現されるWedderburn数 W を導入すると、 $W = 1.0$ を境に風による強いせん断によって躍層面が不鮮明になり、且つ急速に湖底に達する彼らの分類によるC型類型が現れることを

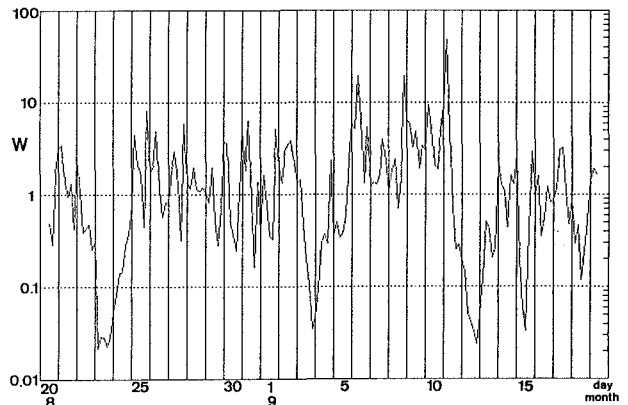


図-2 Wedderburn数の経時変化

次元解析から示した。この分類が妥当であることは著者らが実験的に確認している³⁾。そこで、閉鎖性内湾である東京湾においても適用できると仮定して、観測データに基づいて算出したW数の変化を示したのが図-2である。塩分濃度の実測は約5日毎にしか行われていないので、内挿した塩分分布と水温から密度分布を算出した。また、 $L=50\text{km}$ と想定すると、W数が0.1を下回る時期が、水温が鉛直方向に一様になる混合状態に対応しているのが判る。その値はオーダー的に評価すべきものであることから、Spiegel・Imbergerの評価方法が内湾においても有効であることが分かる。その時の風速は 6m/s 以上である。同じような試みが藤原ら⁴⁾によって瀬戸内海の内湾に対して行われ、成層度の強い大阪湾東部や広島湾北部では限界風速が 8m/s 以上になることを指摘している。

4 成層の破壊機構に関する力学的考察

成層の破壊機構を表現するもう一つの方法にエネルギーを考える一次元水柱モデル⁵⁾がある。いま成層状態にある(躍層水深 h 、密度差 $\Delta\rho$)水柱が下層水と完全に混合すると考えるならば、ポテンシャル・エネルギーの増分 ΔV は次式で表される。

$$\Delta V = 0.5g\Delta\rho h(H-h) \quad (1)$$

成層状態は海底摩擦による潮流のエネルギーと風による鉛直混合作用によって破壊されると考えられるが、風のための効果を考えると、

$$\Delta E / \Delta t = \rho_a k_s U_a^3 \quad (2)$$

ここに、 ρ_a は空気の密度、 $k_s (=6.4 \times 10^{-5})$ は海面の抵抗係数、 $U_a (\text{m/sec})$ は風速を表す。

風のエネルギーの ε 倍が躍層面に擾乱を与え、混合を促進すると想定すると、

$$\Delta V < \varepsilon \Delta E \quad (3)$$

となった時に、成層が破壊される考えられる。

そこで、 ΔV と $\varepsilon \Delta E$ の経時変化を示したのが図-3である。風向が大きく変化するまで

を風の一事象の継続時間と考えて、風のエネルギー $\rho_a k_s U_a^3$ を累積して $\varepsilon \Delta E$ を求めた。図では $\varepsilon = 0.1$ を採用して示したが、式(3)から求まる成層破壊の発生時は図-1の底層に及ぶ上下混合の発生時刻と比較して少し早いようであるが、良好な一致が認められる。

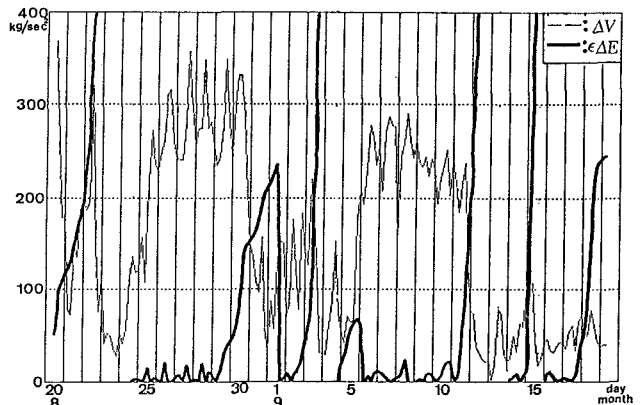


図-3 ΔV と $\varepsilon \Delta E$ の経時変化

5 おわりに

東京湾での水温の観測データに基づいて、風による成層破壊に関して鉛直一次元を仮定した基礎的な考察を行った。観測データに観られるように、再成層化が1日程度の短時間に生じることから考えても、潮流や密度流や吹送流、さらに地球自転といった種々のスケールを有した現象が重畳して起こっており、一点での計測や鉛直一次元解析で議論できるとは到底考えられない。今後、実測データの収集とともに、三次元的な解析を実施する必要がある。用いたデータは環境庁水質規制課から提供を受けた。記して、謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境庁(1991): 青潮の発生機構の解明等に関する調査報告書, 平成2年度環境庁委託業務結果報告書。
- 2) Spiegel, R.H. and J. Imberger(1980): J. Phys. Oceanogr., Vol.10, pp.1104-1121.
- 3) 中辻啓二・長坂誠司・村岡浩爾(1991): 水工学論文集、第35巻、pp.603-608.
- 4) 藤原建紀・高杉由夫・肥後竹彦(1989): 沿岸海洋研究ノート、第27巻、第1号、pp.38-46.
- 5) Simpson, J.H. and J.R. Hunter(1974): Nature, Vol.250, pp.404-406, August 2.