

東京湾における海面熱輸送評価式の検討と表層水温の特徴について

防衛大学校 学生会員 ○平賀 向陽

防衛大学校 正会員 八木 宏

千葉工業大学 正会員 小田 僚子

1. 背景と目的

地球温暖化による気温や海水温の上昇が世界的に確認され、海面位上昇や台風大雨などの自然災害の増加も各地で発生している。東京湾においても海水温の上昇が確認されているが、生態系や水質環境にとって重大な支配因子でありながら、東京湾の水温長期変動の仕組みは未だ明らかにされていない。そこで本研究では、東京湾の熱環境・熱収支を考える上でキーとなる海面熱輸送量(評価式)の精査を行い、それに基づき表層水温の特徴把握を試みた。

2. 東京湾の海面熱フラックス評価

(1) 海面熱輸送評価式の検討

水域の熱収支を考える上では、水面を介した大気と水域間の熱輸送の評価が難しいとされる。本研究では、東京工業大学神田研究室によって行われた東京湾上の各熱輸送量の直接計測結果を用いて評価の検討を行った。計測期間は、2004年12月から2005年11月までの1年間、計測場所は千葉県波浪観測塔である。計測の詳細については、小田ら(2008)に詳しい説明があるので参照されたい。

i) 短波放射量

正味の短波放射量を評価する際に課題となるのは水面でのアルベド(反射率)である。そこで下向きと上向きの短波放射量から東京湾上の値を算出した。図-1に月平均値を示すが、アルベドは夏季に低下、冬季の上昇する年間変動を示している。図には、近藤(1994)による代表値も併せて表示しているが、東京湾の観測結果は概ねこれに対応しているものの季節変動の大きさに差違も見られた。また、この結果は沿岸流動モデルで用いられる年平均アルベドが東京湾の場合0.073程度であることを示している。

ii) 長波放射量

上向き長波放射量は表層水温から比較的シンプルに評価されることが多いが、下向き長波放射量に

は様々な評価式が提案されている。

図-2(a)(b)は、2004年12月について、観測値と代表的な評価式を比較したものである。これから、Brunt型評価式(新井, 2004)は過小評価の傾向で観測値の値が低いときに評価式に一致すること、Tennessee Valley Authority(1972)の評価は下向き長波放射量の変動の特徴を表しているものの変動幅が小さいなど課題があることがわかる。これは、前者は下向き長波放射量が低い晴天時を適切に表現するものの曇天時の長波放射量の増加を評価できないこと、後者は雲量による下向き放射量の増加を反映しているものの変動全体を表現できていないことを示唆している。そこで本研究では、晴天時の長波放射を表現するBrunt型評価式(新井, 2004)と雲量の効果を導入しているMonteith & Unsworth(1990)の式を組み合わせた次式を修正評価式として検討した。

$$L\downarrow = \{(0.51 + 0.066 \times \sqrt{e})(1 - 0.84C) + 0.84C\} \sigma T_a^4 \quad (1)$$

ここで、 $L\downarrow$: 下向き長波放射量、 C : 雲量(0-1)、 e : 大気の水蒸気圧、 σ : Stefan-Boltzmann定数、 T_a : 気温(K)となっている。図-2(c)に、式(1)と観測結果の比較を示すが、図-2(a),(b)と比べ全体的な下向き長波放射量の変動を良く表現している。他の期間も観測結果との対応は良く、東京湾上の下向き長波放射評価式として式(1)の妥当性が確認された。

iii) 顕熱・潜熱

顕熱及び潜熱輸送量は、一般にバルク式で評価されることが多い。そこで千葉県波浪観測塔で表層水温の計測が行われている2004年12月~2005年1月について、バルク式と観測結果を比較し、バルク型の評価式で概ね顕熱・潜熱輸送量を表現していることが確認された。

(2) 熱輸送量評価式の東京湾モデルへの適用

前節で検討した海面熱輸送量評価式を数値流動

モデルに適用し、数値計算結果と東京湾表層水の観測結果との比較を試みた。数値モデルは、ECOMSED をベースとして構築された東京湾モデル(灘岡ら, 2015)であり、2006年11月から2007年9月に東京湾全域13地点で行われた表層水温の連続観測結果(小田ら, 2009)と比較した。その結果、計算結果は表層水温の1年間の変化の傾向を良好に再現することが確認された。

3. 表層水温・海面熱輸送の特徴把握

図-3は、前章の海面熱輸送量評価式と千葉灯標モニタリングポストで計測されている表層海水温連続データから、東京湾奥部における海面熱輸送量の年間変動(2004年12月~2005年11月)を算出したものである。これを見ると、短波放射は80~200W/m²程度、長波放射は-40~-100W/m²、顕熱は5~-20W/m²程度、潜熱は-40~-90W/m²で変化している。海面は、短波放射量が多い夏季には正味で加熱、冬季には短波放射量の低減とともに長波放射、顕熱、潜熱の負の熱輸送量が増加することで海面が熱を放出するように変化している。

4. 結論

本研究では海表面熱輸送評価式の検討と表層水温・海面熱輸送量の特徴の分析を行った。その結果、今回示した評価式の妥当性が海面熱輸送量直接計測結果から確認され、この評価式を用いた再現計算も表層水温変化を良好に再現した。なお、紙面の都合上ここでは記載できないが、発表時には表層水温の感度分析についても報告する。

参考文献

- 1) 小田僚子, 神田学, 森脇亮: 直接測定に基づく東京湾海表面温度が都市の気温へ及ぼす影響, 水工学論文集, 第52巻, pp. 283-288, 2008.

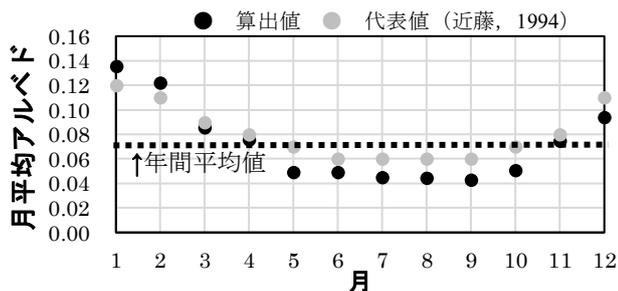


図-1 月平均アルベドの年間変動

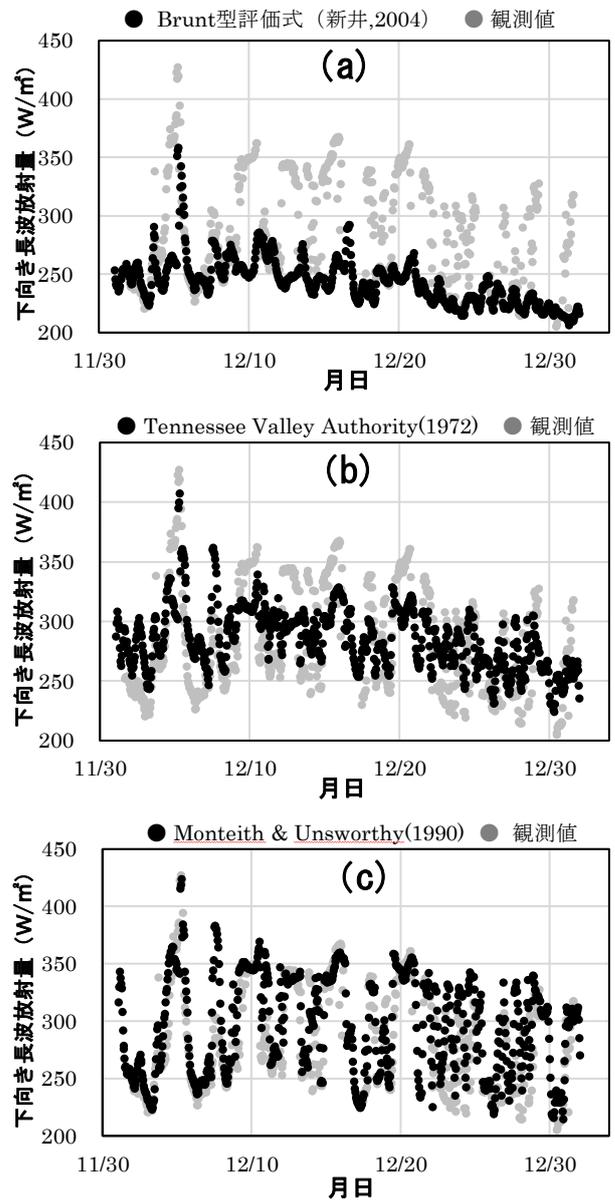


図-2 下向き長波放射量の観測結果と各評価式の比較(2004年12月)

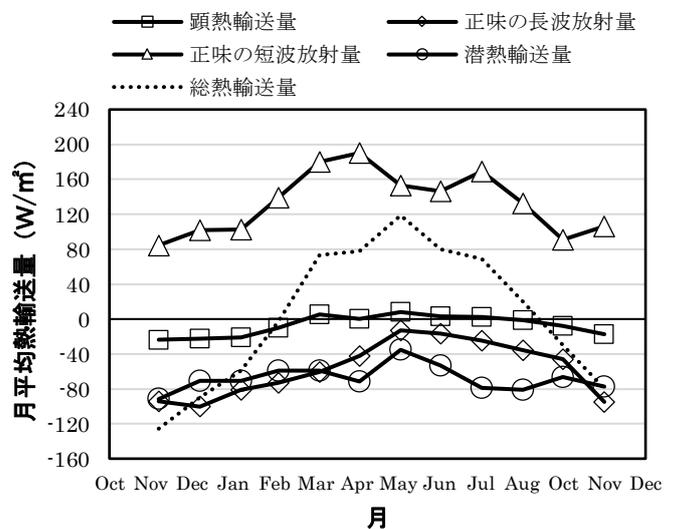


図-3 月平均熱輸送量の比較