

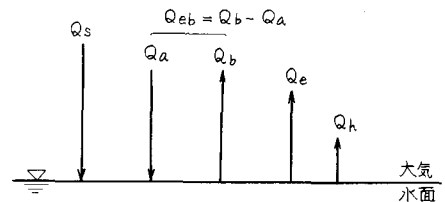
1. まえがき

海域に放出される温排水の拡散現象は、主として海域自身が有する流れや渦動によって支配されるが、温排水量の増大に伴って水面から大気への熱逸散も無視できないほど重要な役割を演じる。水面と大気間の熱交換過程において、図-1の模式図に示すように、水面を温める因子として日射による短波放射および大気の長波放射があり、水面を冷やす因子として水面からの長波放射、蒸発に伴う潜熱および対流による顕熱の輸送がある。水面から失われる熱損失量の大きさは、上記の熱収支要素の冷却因子から求められる熱交換係数（または、表面熱損失係数）によって代表される。本文においては、水蒸気および顕熱に関する近藤¹⁾の提案したバルク輸送係数を用いて熱交換係数の算定式を導き、その算定式を用いて計算される熱交換係数値と他の研究結果と比較した結果を述べたものである。

2. 水蒸気および顕熱のバルク輸送係数

運動量、水蒸気および熱などの物理量を海面とある高さにおける風速、気温および水蒸気密度で表現する方法をバルク空気力学的方法と呼び、次式のように書き表わすことができる。

$$\left. \begin{aligned} \text{運動量;} & \tau = \rho u_*^2 = \rho C_{Da} u_a^2 \\ \text{蒸発量;} & E = \rho C_{Ea} (q_w - q_a) u_a \\ \text{顕熱量;} & H = \rho C_p C_{Ha} (T_w - T_a) u_a \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$



Q_s : 短波放射量, Q_{eb} : 有効逆放射量,
 Q_a : 長波放射量, Q_e : 潜熱量,
 Q_b : 長波逆放射量, Q_h : 顕熱量.

ただし、 u_* : 摩擦速度、 u_a : 高度 a における風速、 q_w, T_w :

海面における水蒸気密度および水温、 q_a, T_a : 高度 a における水蒸気密度および気温、 ρ, C_p : 空気の密度および定圧比熱、 C_{Da}, C_{Ea}, C_{Ha} : それぞれ高度 a における運動量、水蒸気および顕熱の輸送係数

近藤は式(1)で示されるバルク輸送係数をそれぞれ一般化し、大気不安定度、気象データの測定高度および水面の空気力学的状態を考慮して半理論的に展開し、風速の大きさおよび大気不安定度の指標である水温・気温差の関数として C_{Da}, C_{Ea} および C_{Ha} の値を得ている。このバルク輸送係数と直接測定量と比較したものが図-2である。両者はほぼ良い一致を示している。

3. 熱交換係数の算定式

熱交換係数 K は、水面から大気へ逸散する熱フラックスの割合を示すもので次式で定義される。

$$K = -\frac{\partial}{\partial T_w} (Q_b + Q_e + Q_h) \dots\dots\dots (2)$$

式(2)の各項において、 Q_b をステファン・ボルツマンの式 $Q_b = \sigma (T_w + 273^\circ)^4$ 、 $Q_e (= LE)$ 、 L は潜熱量で平均的に 585 cal/g である) および Q_h に対しては近藤のバルク輸送係数を用いて数学的に展開する

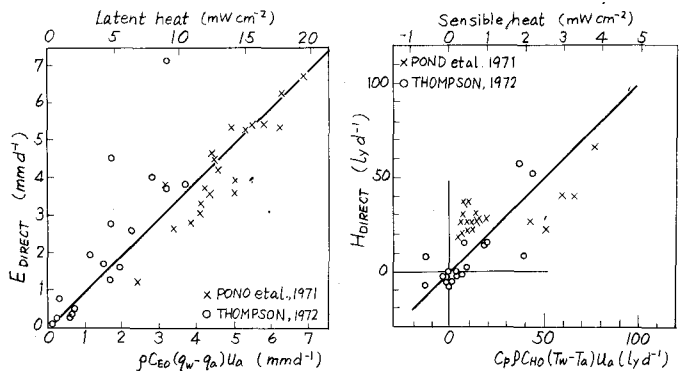


図-2 直接測定とバルク法による輸送量の比較(近藤)

と、最終的に次式のような熱交換係数算定式を得る。

$$K = 5.28 \times 10^{-12} (T_w + 273)^3 + 0.0288 C_{H_2O, a} \\ \times \{ \alpha (T_w - T_a) + f_s \} W_a + 0.0437 C_{EO, a} \\ \times \{ \alpha (C_w - C_a) + f_s \beta_w \} W_a \quad \dots (3)$$

ここに、 C_{EO} 、 C_{H_2O} は断熱状態($T_w - T_a = 0$)におけるそれぞれ水蒸気および顕熱の輸送係数で、風速 W_a の関数となる。図-3に高度 $a = 2m$ における C_{EO} および C_{H_2O} の値を示す。 f_s は大気不安定度関数、 α は $\alpha = \partial f_s / \partial T_w$ で大気不安定状態($T_w - T_a > 0$)における値をそれぞれ図-4に示す。 C_w は水温 T_w に対する飽和水蒸気圧(mb)で、近似的に次式で表わす。

$$C_w = 5.792 + 0.5489 T_w + 0.004325 T_w^2 \\ + 0.000605 T_w^3 \quad \dots (4)$$

上式は $T_w = 5 \sim 35^\circ C$ の範囲で $\pm 0.05mb$ 程度の誤差に収まる。また、 β_w は $\beta_w = \partial C_w / \partial T_w$ である。なお、添字2は高度2mを意味する。

式(3)から計算される代表高さ2mにおける熱交換係数値と他の研究結果を比較したものが図-5である。本提案式による熱交換係数値はRyan & Stolzenbachの式²⁾および実験値³⁾と実験値⁴⁾と比較しても妥当な値を与えることが認められる。

4. あとがき

今後の課題として、現地海域における観測を実施して、水面における水蒸気と熱の輸送係数を実証することが必要と考える。

参考文献

- 1) 近藤純正：海面と大気間の運動量・顕熱・水蒸気に対する輸送係数，国立防災科学技術センター研究報告，第10号，1974年10月，
- 2) Ryan P. J., K. D. Stolzenbach：Environmental heat transfer, M.I.T., Summer session, Text, Ch.1, 1973,
- 3) Hindley P. D., R. M. Miner：Evaluating water surface heat exchange coefficient, Proc. of ASCE, Hy. 8, Aug., 1972,
- 4) Günnerberg F.：The total heat exchange coefficient of surface water, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblentz, BRD

図-5 熱交換係数の比較(提案式およびRyanらの式の適用に際しては $T_w - T_a = 0 \sim 5^\circ C$ を考慮) ➡

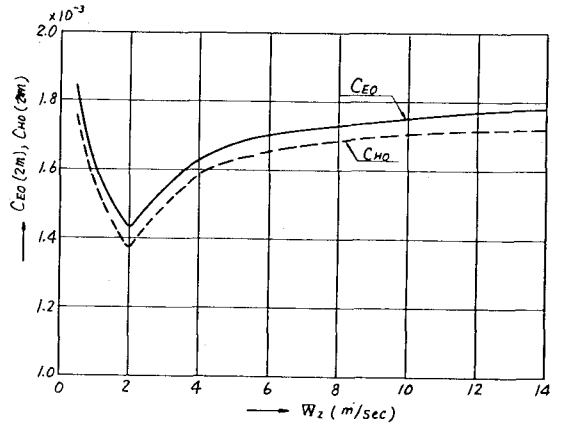


図-3 風速に対する C_{EO} 、 C_{H_2O} の値

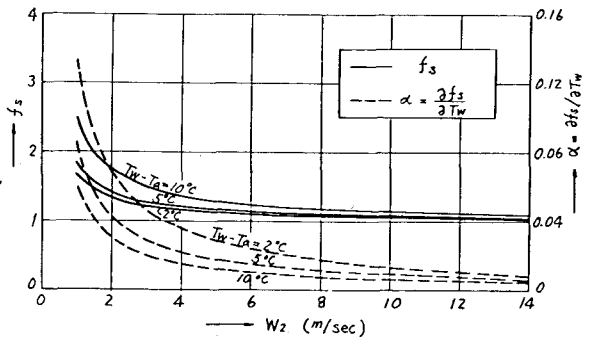


図-4 $T_w - T_a > 0$ における f_s 、 α の値

