

干潟域におけるバルク熱輸送モデルの適用性に関する検証

熊本大学大学院自然科学研究科 正会員 田中健路

1. はじめに

バルク法は、平均風速と温度・湿度などの地表付近の鉛直勾配より、地表・海面から大気への熱・物質輸送を算出する方法であり、気象・海洋数値モデルで非常に多く用いられている。海面を対象としたバルク輸送係数は Kondo (1975)¹⁾による風速に対する関数形が知られている。浅い水面を対象とした熱輸送モデルとして、Panin ら(2006)²⁾が水深と風速による補正関数を提唱している。しかしながら、従来用いられているバルク輸送係数は、一様な地表面条件を前提としており、干潟のように非定常・不均質な地表面条件に対する適用性が十分に検証されていない。

そこで、本研究では、熊本港北部に観測塔（位置は図 1 参照）で実施された干潟上の気象観測データを使用し、Panin ら(2006)²⁾の提唱した輸送モデルの極浅海条件下での適用可能性について検討を行った。

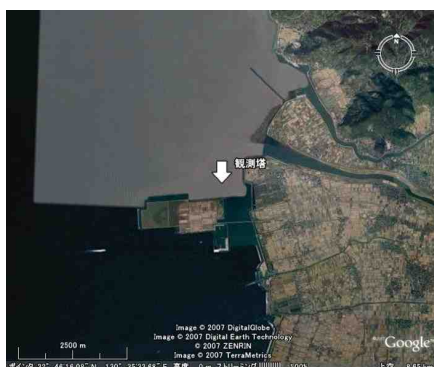


図 1 観測塔の位置

2. 浅い水面上の熱輸送：Panin モデル

バルク法では、顕熱フラックス(H)・潜熱フラックス(IE)をそれぞれ以下の式によって算出する。

$$(1) \quad H = \rho c_p C_H (T_s - T_z) U_z$$

$$(2) \quad IE = \rho l C_E (q_s - q_z) U_z$$

ここで、 U =平均風速、 T_s =地表面温度、 T_z =平均気温、 q_s =地表面比湿(kg/kg)、 q_z =大気比湿、 ρ =大気密度、 c_p =定圧比熱、 l =水の蒸発潜熱を表す。 C_U 、 C_H 、 C_E は運動量・顕熱・水蒸気輸送に対するバルク輸送係数である。

一様地表面条件下では、バルク輸送係数は安定度パラメータの関数として表される。Panin ら(1996)²⁾は、浅い水面上でのバルク法によるフラックス補正法とし

て、水深(D)と風速の関数で表される以下の補正関数を提唱した。

$$(4) \quad f = 1 + k_{sw} \frac{\eta}{D}$$

ここで、補正係数 $k_{sw} \approx 2$ 、 η は有効波高であり、以下の式で定義されるものである。

$$(5) \quad \eta \approx \frac{0.07 U_z^2 (gD/U^2)^{3/5}}{g}$$

式(4)、(5)により与えられる補正関数の値と風速・水深との関係を表したものを図 2 に示す。補正関数は水深 D の $-2/5$ 乗に比例しており、水深が 0 に近づくにつれて正の無限大に発散する。しかしながら、水深が 0 の場合には底面と大気との直接的な相互作用が支配的となる。したがって、本研究では水深 0.05m(5cm)以上の冠水時を解析対象とした。

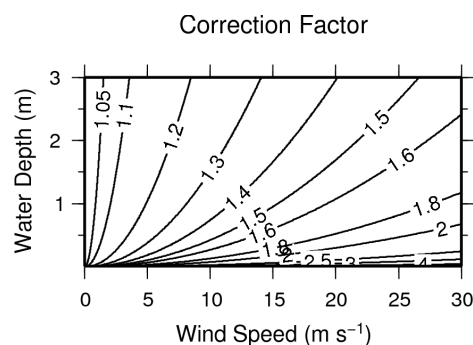


図 2 浅い水面上に対するフラックス補正関数(Panin ら 1996)(等値線)の風速(横軸)と水深に対する依存性

3. 現地観測データ

検証用の現地観測データとして、熊本港北側の干潟域で行われた乱流フラックス観測³⁾及び一般気象要素観測データ³⁾を用いた。解析対象は2005年7月26日～11月8日まで期間の冠水条件を抽出して計算を行った。平均風速は、フラックス直接観測で使用している超音波風速計(81000, YOUNG)の10Hz サンプルデータより10分平均値を使用し、温度湿度計(HMP45A, VAISALA)による気温・湿度と組み合わせて計算を行った。海面温度(T_s)は、4成分放射計(MS70, EKO)より測定される上下2成分の長波放射フラックスより算出した。ま

た塩分による影響を考慮するため、海面の比湿を飽和比湿の 0.98 倍⁴⁾として計算を行った。

4. 結果

Panin モデルによる計算結果と直接観測結果との比較を図 3 に、従来のバルクモデルと観測結果との比較を図 4 にそれぞれ示す。Panin モデルは従来のバルク法と比べてエネルギーフラックスを 10～15%程度大きく算出する傾向が見られる。顕熱フラックスは実測値に比べて変動幅が半分以下であり、乱流観測の過大評価・バルクモデルの過小評価双方の要因が考えられる。

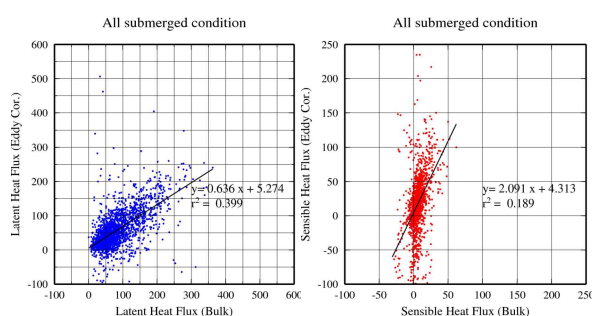


図 3 潜熱(左)・顕熱(右)フラックスの Panin モデルによる計算結果(横軸)と直接観測(縦軸)との相関関係。

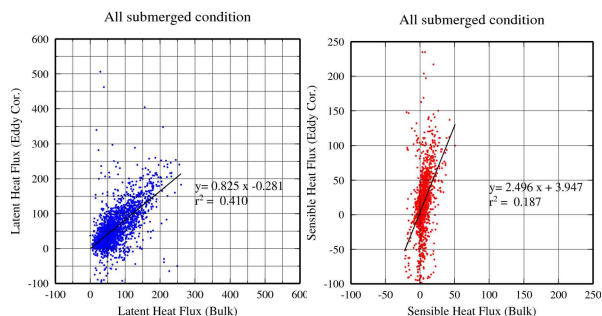


図 4 潜熱(左)・顕熱(右)フラックスの従来のバルク法による計算結果(横軸)と直接観測(縦軸)との相関関係。

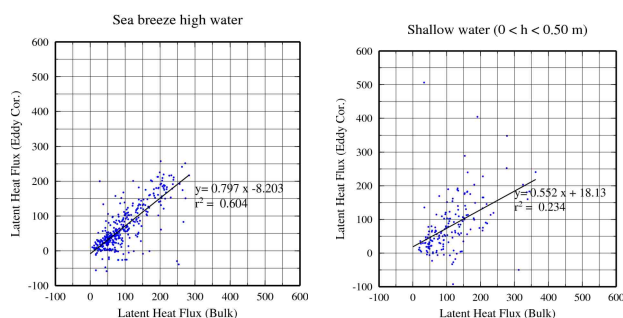


図 5 海風条件での潜熱フラックスの Panin モデルによる計算結果(横軸)と観測結果(縦軸)。左は水深 1.5m 以上の場合。右は水深 0.05m～0.5m の場合。

図 5 は Panin モデルで計算した潜熱フラックスに対して、海風条件(240-360 deg)を取り出したものである。水深による影響を見るために 1.5m 以上と 0.5m 以下の計算結果とに分けている。海風かつ水深 1.5m 以上の場合には $R^2 > 0.6$ と比較的良好な相関が得られているが、水深が 0.5m 以下の極めて浅い水深条件では $R^2 < 0.3$ となり、バラつきが顕著になる。その要因として、水深の低下とともにフラックスのソース領域内に干出域が出現し、干出した地表面からの蒸発・熱輸送の効果が無視されなくなることが挙げられる。また、0.5m 以下の水深の場合には観測値に比べて計算値が全体的に低く、補正効果が過大になる傾向である。

5. まとめ

Panin モデルに代表される浅海域での熱輸送に関する係数は、干潟域のように水深が 0 に近づく場合には適用可能な水深に注意を払う必要がある。0.5m を下回る水深条件では、底面からの直接的なエネルギー輸送を考慮に入れた補正関数を導入する必要があることが、本研究の観測データを用いた検証で明らかとなった。

参考文献

- 1) Kondo, J., 1975: Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions, *Boundary-Layer Meteor.*, **9**, 91-112.
- 2) Panin et al., 2006: On the parameterisation of evaporation and sensible heat exchange for shallow lakes. *Theoretical and Applied Climatology*, **85**, pp.123-129.
- 3) Tanaka, K., 2008: Diurnal Variation of Atmospheric Energy Fluxes over the Intertidal Zone by Eddy Correlation Measurement, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, (under review).
- 4) 日本気象学会, 2001: 気象研究ノート第 199 号