

野蒜海岸・洲崎湿地の気象・水文・熱収支に関する基礎研究

貞山・北上・東名運河研究会 正会員 ○ 後藤光亀
東松島市 復興都市計画課 正会員 森 祐樹 小山あや
野蒜塾 早川 宏

1. はじめに

東松島市の野蒜海岸に隣接する洲崎湿地は、夏季の水草・藻の大繁殖などによる表層水温の上昇や水質・密度躍層の顕在化による下層水の酸欠が懸念されている。また、蒸発散の値を越える水位低下が生じており、水環境の管理上その要因把握が重要である。本報告は、現地での気象観測や水温分布の連続計測を用い、簡単な表計算ソフトを用いて、バルク法による熱収支解析を行い、水面からの蒸発量に関する基礎的検討を加えた。また、洲崎湿地が環境学習の場として多くの学校教育や研究の対象として利活用し得るような基礎データの集積と解析法の手順を報告する。

2. 調査方法

気象の観測項目は、日射量（短波放射）、乾球温度（気温）、湿球温度（相対湿度・比湿）、風向・風速である。設置場所を図-1に示す。また、洲崎湿地ⅠとⅢの深さ方向に4～6水深の水温を計測した。日射量は英弘精機・小型日射量ML-10、風向・風速はYOKOGAWA社の風向計A-802、風速計A-702を用い、T&D社MCR-4Vの電圧用ロガーで、温度は熱電対・銅コンスタンタン線を用い、同MCR-4TCの熱電対用ロガーで、10分間隔の平均値として記録した。デジタル水位計は（株）メテオ電子WaterMemoryCard2を用いた。



図-1 洲崎湿地の気象・水温調査地点

2. 熱収支解析・バルク法

バルク法は、地上2m付近の気象観測データと地表面との情報のみから熱交換を評価する。バルク法による熱収支解析に必要な現地での観測項目は、日射量 $S \downarrow$ (W/m^2)、気温 T_a 、表面温度（表面水温） T_s 、比湿 q （大気と水表面）、風速 W である。気象観測項目で、日射量と風向・風速は、地域差が大きく、現地観測が必須である。

日射量 $S \downarrow$ の一部は、地表面で反射する（アルベド α (-)、水面： $\alpha=0.05$ 、短波逆放射 $\alpha S \uparrow$ ）。大気からの長波放射量 $L \downarrow$ 、地表面からの長波逆放射量 $L \uparrow$ 、大気と地表面との温度差による顕熱輸送量 H 、大気と地表面の水蒸気量（比湿）差による潜熱輸送量 ℓE は、以下の式で算出される。

$$L \downarrow (W/m^2) = \sigma T_a^4 (0.44 + 0.081 \sqrt{e_a}) \quad \cdots (1)$$

$$L \uparrow (W/m^2) = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad \cdots (2)$$

$$H (W/m^2) = C_p \rho_a C_c W (T_s - T_a) \quad \cdots (3)$$

$$\ell E (W/m^2) = \ell \rho_a C_e W (q_s - q_a) \quad \cdots (4)$$

σ : ステファン・ボルツマン定数 ($5.670 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$)、 T_a : 気温 (K)、 T_s : 地表面温度 (K)、 e_a : 大気の水蒸気圧 (hPa)、 ε : 射出率 (-)、 ρ_a : 空気密度 (kg/m^3)、 $C_c \cdot C_e$: 輸送係数 (-)、 W : 風速 (m/s)、 q_s : 地表面の比湿 (-)、 q_a : 大気の水蒸気比湿 (-)、 C_p : 定圧比熱 (J/kgK)、 ℓ : 蒸発（気化）に伴う熱量 ($2.454 \times 10^6 J/kg$, at $20^\circ C$)、 E : 単位時間当たりの蒸発量 ($kg/m^2 s$)。

3. バルク法による解析手法

今回の乾球・湿球温度の計測は強制通風式でなく湿球温度の検証が必要であったので、大気の水蒸気比湿の計算には洲崎湿地から約15km離れた石巻観測所の相対湿度を使用した。相対湿度 Rh と大気圧 p の気象観測データから、大気の水蒸気圧 e_a 、飽和水蒸気圧 e_s 、比湿 q を式 (5) ~ (7) から求める。

$$Rh (\%) = e_a / e_s \times 100 \quad \cdots (5)$$

$$e_s (hPa) = 6.116 \times 10^{(7.591 \times T / (T + 240.7))} \quad \cdots (6)$$

T : 温度 ($^\circ C$)、適用範囲： $-20 \sim 60^\circ C$

$$q (-) = 0.622 e / p \quad \cdots (7)$$

なお、気圧1atmでの水の気化潜熱量 ℓ 、空気密度 ρ_a 、空気の定圧比熱 C_p は、式 (8) ~ (10) から求める。

$$\ell (J/kg) = (2502 - 2.378 \cdot T_w) \times 1000 \quad \cdots (8)$$

T_w : 水温 ($^\circ C$)、適用範囲： $0 \sim 60^\circ C$

$$\rho_a (kg/m^3) \doteq 351.99 / T_a \quad \cdots (9)$$

$$C_p (J/kgK) \doteq 1030.5 - 0.1998 T_a \quad \cdots (10)$$

T_a : 気温 (K)、温度 $0 \sim 40^\circ C$ で、 C_p : $1005 \sim 1008 (J/kgK)$

ここで、水表面は飽和比湿とし、水面の射出率 $\varepsilon = 0.97$ 、 C_c 、 C_e は 1.0×10^{-3} の値を用いた。以上の熱収支解析は、エクセルの表計算で加減乗除と平方根・SQRT関数、べき乗・POWER関数のみで計算できる。

4. 現地計測・熱収支解析の結果および考察

図-2は、2020年8月から9月の洲崎湿地Ⅰの水位変化と10分間降水量である。洲崎湿地Ⅰの流域面積は小さいので、流域からの流入水と湿地の湛水面への直接降水で、急激な水位上昇を見せる。一方、2018年夏季の降水がない期間の蒸発散量を加味した洲崎湿地の水位低下は2～3mm/d、2019年1/9～3/5の水位低下は1.4mm/dであり、湿地Ⅰ・Ⅱと湿地Ⅲを締め切る（2019年4月頃）前の水面標高がT.P. -0.5～-0.7mと水位の低い時期である。

これに対し、締め切り後の2019年10月の台風19号直後の洲崎湿地Ⅰ・Ⅱの水位低下（水面標高T.P. +0.6～+0.4m）は27mm/dを示し、2020年8/20～8/24の水位低下は14.0mm/d（水位標）、8/24～8/28は16.0mm/d（水位計）で、水面標高（T.P. 0.0～-0.2m）も高い状況であった。

キーワード：熱収支解析、バルク法、蒸発量、洲崎湿地、環境学習、東日本大震災

連絡先：貞山・北上・東名運河研究会 Add.仙台市青葉区小松島2丁目16-27-301 Tel.090-4476-0810

潜熱輸送量から、洲崎湿地の蒸発量を試算してみる。

洲崎湿地は、日中は南東方面からの海風が $2\sim4\text{m/s}$ であるが、今回の解析期間は相対湿度が $80\sim100\%$ と高く、潜熱輸送量は日中でも最大 100W/m^2 である（図-3）。夜間は相対湿度が 100% 近くになり、風が止むので潜熱輸送が小さくなる。Eの 1m^2 当たりの 1kg の水は 1mm なので、 $0E$ が 100W/m^2 は、 $E=0.408\times10^{-4}\text{ (mm/s)}$ 、24時間の蒸発量では 3.53 (mm/d) となるが、夜間の潜熱輸送は少なく水面からの一日の蒸発量を評価するとそこまでは達していない。なお、今回設置した水位計の精度は高くないが、水位の変動を見ると夜間は水平でほとんど変化しない。

したがって、2020年8月の洲崎湿地 I の $14\sim16\text{mm/d}$ の水位低下は、蒸発散量を加味しても大きく、その要因の把握が今後の洲崎湿地の水環境管理の上で重要となる。

図-3のd)は、水面を温める $S\downarrow$ と $L\downarrow$ を正の値、水面から熱を奪う $L\uparrow$ 、顕熱・潜熱輸送量を負の値としてそれぞれ表示した。この関係から日射量が熱収支の上で極めて大きく影響することが知れる。図-3のe)は、水面の加

熱フラックス $\{(1-\alpha)S\downarrow + L\downarrow\}$ と水面の冷却フラックス $(L\uparrow + H + 0E)$ 、そして両者の残差を貯熱として示した。解析期間は加熱フラックスが勝り、洲崎湿地の水温も上昇を示す。一方、8/29～8/30の降水による流域からの流入水や降水が水温を低下させるが、その後再び水温が上昇し、水温躍層が形成される。洲崎湿地は水深が浅いので、流入水や水面の水草や藻の繁茂による顕著な水温躍層の形成や塩分濃度の高い底層水の水質・密度躍層に伴う酸欠現象の発生が生じやすい水環境である。

5. おわりに

現地観測でバルク法解析に必要な項目を観測値で得て、野蒜海岸という外洋に面した洲崎湿地での熱収支の実態を検証した。今後、これらの現地観測を継続すると共に、観測・解析スキルの提供や観測データの開示をして、仙台湾の海岸線の環境モニタリング場所の一つとして環境学習に利活用できる展開を進める予定である。

参考文献 1) 後藤・池田「洲崎湿地の水質・生態特性について」2020.3、
2) 近藤純正「水環境の気象学」、1994

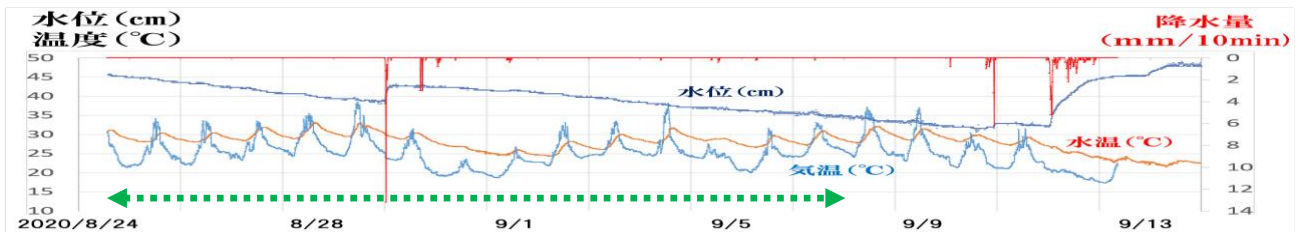


図-2 洲崎湿地 I の水位・水温(水位計)変化と宮野森小学校での気温・降水量(mm/10分) 矢印:計測・熱収支解析期間

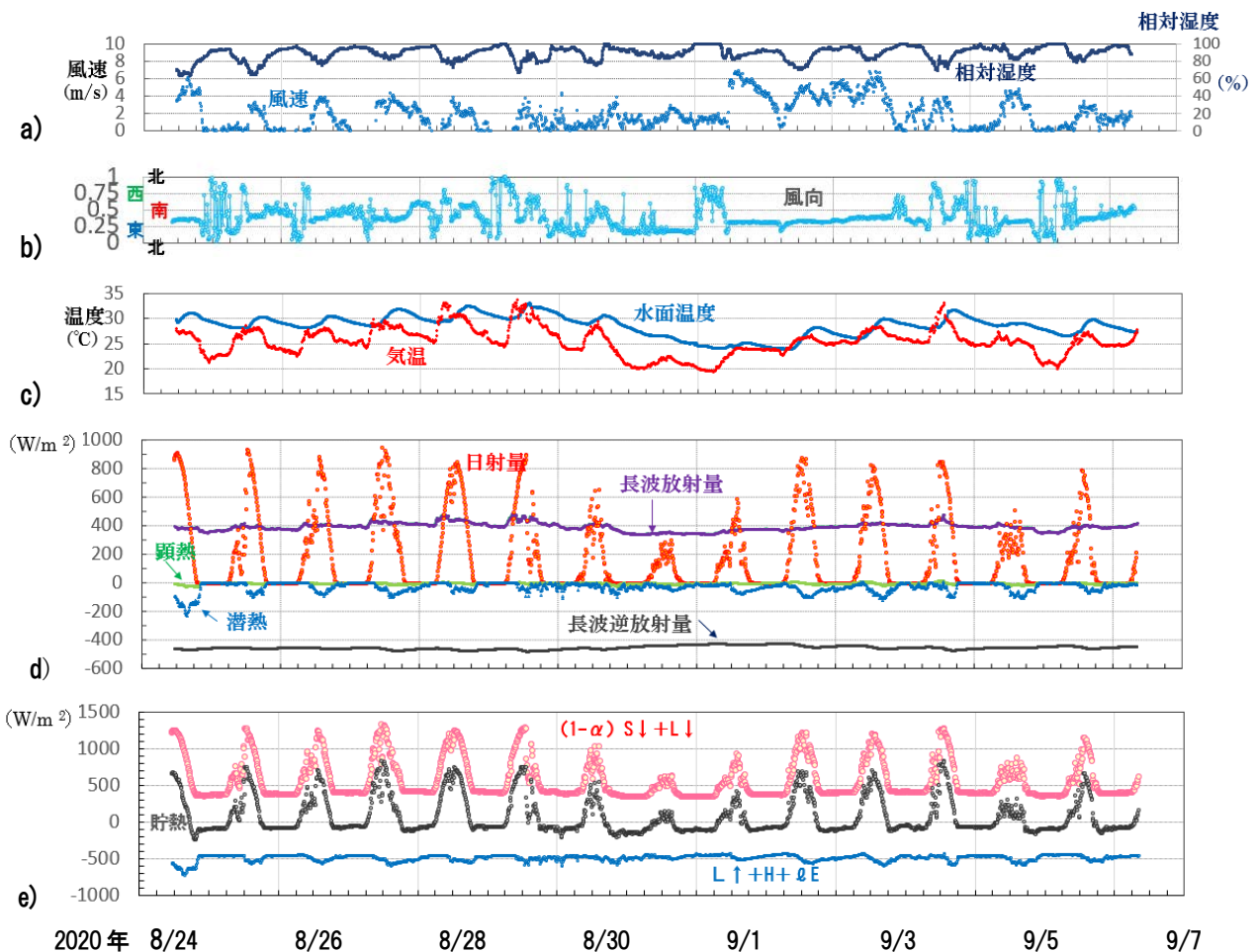


図-3 洲崎湿地 I の気象と水温観測による熱収支解析（表面水温:水深 0.3m、2020.08.24～09.07）