

密度・ σ_t ・ポテンシヤル水温計算式

JFE アドバンテック 株式会社

海洋・河川事業部

2012年11月1日

1 密度¹⁾

水温を T [°C], 圧力を P [dbar], 実用塩分を S とすると, 密度 ρ [$\text{kg} \times \text{m}^{-3}$] は下記式により求められる。

$$\rho(S, t, p) = \frac{\rho(S, t, 0)}{1 - \frac{p}{K(S, t, p)}}$$

$$t = T \times 1.00024$$

$$p = P \div 10$$

$$\rho(S, t, 0) = \rho_w + (b_0 + b_1t + b_2t^2 + b_3t^3 + b_4t^4)S + (c_0 + c_1t + c_2t^2)S^{3/2} + d_0S^2$$

$$\rho_w = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 + a_4t^4 + a_5t^5$$

$$K(S, t, p) = K(S, t, 0) + Ap + Bp^2$$

$$K(S, t, 0) = K_w + (f_0 + f_1t + f_2t^2 + f_3t^3)S + (g_0 + g_1t + g_2t^2)S^{3/2}$$

$$A = A_w + (i_0 + i_1t + i_2t^2)S + j_0S^{3/2}$$

$$B = B_w + (m_0 + m_1t + m_2t^2)S$$

$$K_w = e_0 + e_1t + e_2t^2 + e_3t^3 + e_4t^4$$

$$A_w = h_0 + h_1t + h_2t^2 + h_3t^3$$

$$B_w = k_0 + k_1t + k_2t^2$$

$$a_0 = 999.842594 \quad a_1 = 6.793952 \times 10^{-2} \quad a_2 = -9.095290 \times 10^{-3} \quad a_3 = 1.001685 \times 10^{-4}$$

$$a_4 = -1.120083 \times 10^{-6} \quad a_5 = 6.536332 \times 10^{-9}$$

$$b_0 = 8.24493 \times 10^{-1} \quad b_1 = -4.0899 \times 10^{-3} \quad b_2 = 7.6438 \times 10^{-5} \quad b_3 = -8.2467 \times 10^{-7}$$

$$b_4 = 5.3875 \times 10^{-9}$$

$$c_0 = -5.72466 \times 10^{-3} \quad c_1 = 1.0227 \times 10^{-4} \quad c_2 = -1.6546 \times 10^{-6}$$

$$d_0 = 4.8314 \times 10^{-4}$$

$$e_0 = 19652.21 \quad e_1 = 148.4206 \quad e_2 = -2.327105 \quad e_3 = 1.360477 \times 10^{-2}$$

$$e_4 = -5.155288 \times 10^{-5}$$

$$f_0 = 54.6746 \quad f_1 = -0.603459 \quad f_2 = 1.09987 \times 10^{-2} \quad f_3 = -6.1670 \times 10^{-5}$$

$$g_0 = 7.944 \times 10^{-2} \quad g_1 = 1.6483 \times 10^{-2} \quad g_2 = -5.3009 \times 10^{-4}$$

$$h_0 = 3.239908 \quad h_1 = 1.43713 \times 10^{-3} \quad h_2 = 1.16092 \times 10^{-4} \quad h_3 = -5.77905 \times 10^{-7}$$

$$i_0 = 2.2838 \times 10^{-3} \quad i_1 = -1.0981 \times 10^{-5} \quad i_2 = -1.6078 \times 10^{-6}$$

$$j_0 = 1.91075 \times 10^{-4}$$

$$k_0 = 8.50935 \times 10^{-5} \quad k_1 = -6.12293 \times 10^{-6} \quad k_2 = 5.2787 \times 10^{-8}$$

$$m_0 = -9.9348 \times 10^{-7} \quad m_1 = 2.0816 \times 10^{-8} \quad m_2 = 9.1697 \times 10^{-10}$$

また, 海洋では σ_t を密度として表すことも多い。

$$\sigma_t = \rho(S, t, 0) - 1000$$

上記式は, 実用塩分 S が 0~42, 水温 t が -2~40 [°C], 圧力 P が 0~10000 [dbar] の範囲で有効である。

¹⁾UNESCO (1983)

1.1 計算例

下記は、上記式の確認用の値である。 S , t , P に指定した値を入力した時の、計算結果が一致するかを確認すること。

| S | t [°C] | P [dbar] | $\rho(S, t, p)$ | $K(S, t, p)$ |
|-----|----------|------------|-----------------|--------------|
| 0 | 5 | 0 | 999.96675 | 20337.80375 |
| 0 | 5 | 10000 | 1044.12802 | 23643.52599 |
| 0 | 25 | 0 | 997.04796 | 22100.72106 |
| 0 | 25 | 10000 | 1037.90204 | 25405.09717 |
| 35 | 5 | 0 | 1027.67547 | 22185.93358 |
| 35 | 5 | 10000 | 1069.48914 | 25577.49819 |
| 35 | 25 | 0 | 1023.34306 | 23726.34949 |
| 35 | 25 | 10000 | 1062.53817 | 27108.94504 |

2 ポテンシャル水温²⁾

水温は圧力の影響を受けて変化する。そこで、海水を現場圧力下から任意の圧力下に断熱的に移動させた場合の水温をポテンシャル水温 θ [°C] といい、塩分を S 、現場水温を T [°C]、現場圧力を P [dbar]、基準圧力を P_r [dbar] とすると、下記式により求められる。(上から順に計算していくこと)

$$t = T \times 1.00024$$

$$h = P_r - P$$

$$xk = h \times \Gamma(S, t, P)$$

$$t = t + 0.5 \times xk$$

$$q = xk$$

$$p = P + 0.5 \times h$$

$$xk = h \times \Gamma(S, t, p)$$

$$t = t + 0.29289322 \times (xk - q)$$

$$q = 0.58578644 \times xk + 0.121320344 \times q$$

$$xk = h \times \Gamma(S, t, p)$$

$$t = t + 1.707106781 \times (xk - q)$$

$$q = 3.414213562 \times xk - 4.121320344 \times q$$

$$p = p + 0.5 \times h$$

$$xk = h \times \Gamma(S, t, p)$$

$$\theta(S, T, P, P_r) = \{t + (xk - 2.0 \times q) \div 6.0\} \times 0.99976$$

ここで、 $\Gamma(S, t, p)$ は下記式により求められる。

$$\begin{aligned} \Gamma(S, t, p) = & a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + (b_0 + b_1 t) (S - 35) \\ & + \{c_0 + c_1 t + c_2 t^2 + c_3 t^3 + (d_0 + d_1 t) (S - 35)\} p \\ & + (e_0 + e_1 t + e_2 t^2) p^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_0 &= 3.5803 \times 10^{-5} & a_1 &= 8.5258 \times 10^{-6} & a_2 &= -6.8360 \times 10^{-8} & a_3 &= 6.6228 \times 10^{-10} \\ b_0 &= 1.8932 \times 10^{-6} & b_1 &= -4.2393 \times 10^{-8} & & & & \\ c_0 &= 1.8741 \times 10^{-8} & c_1 &= -6.7795 \times 10^{-10} & c_2 &= 8.7330 \times 10^{-12} & c_3 &= -5.4481 \times 10^{-14} \\ d_0 &= -1.1351 \times 10^{-10} & d_1 &= 2.7759 \times 10^{-12} & & & & \\ e_0 &= -4.6206 \times 10^{-13} & e_1 &= 1.8676 \times 10^{-14} & e_2 &= -2.1687 \times 10^{-16} & & \end{aligned}$$

また、ポテンシャル水温を用いて計算した密度を、ポテンシャル密度という。

2.1 計算例

下記は、上記式の確認用の値である。 S 、 t 、 P 、 P_r に指定した値を入力した時の、計算結果が一致するかを確認すること。

| S | t [°C] | P [dbar] | P_r [dbar] | $\theta(S, t, P, P_r)$ |
|-----|----------|------------|--------------|------------------------|
| 25 | 10 | 1000 | 0 | 9.8935 |
| 30 | 20 | 5000 | 0 | 19.0211 |
| 35 | 30 | 10000 | 0 | 27.3851 |

²⁾UNESCO (1983)