

問題 3.1

乾湿計の乾球温度が $34^{\circ}\text{C}$ 、湿球温度が $22^{\circ}\text{C}$ を示している。水蒸気圧、水蒸気モル分率、相対湿度、飽差を求めよ。観測地の標高は $1200\text{m}$ である。

【解答】

式 3.7 より観測地の標高 $1200\text{m}$ における大気圧 $p_a$ を算出する。

$$p_a = 101.3 \exp\left[\frac{-1200 \text{ m}}{8200}\right]$$

$$p_a = 87.51 \text{ kPa}$$

式 3.8 より飽和水蒸気圧 $e_s(T)$  を $34^{\circ}\text{C}$ 、 $22^{\circ}\text{C}$ それぞれの場合について算出すると

$$e_s(34) = 0.611 \exp\left[\frac{17.502 \times 34^{\circ}\text{C}}{34^{\circ}\text{C} + 240.97}\right]$$

$$e_s(34) = 5.32 \text{ kPa}$$

$34^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧は、 $5.32 \text{ kPa}$

$$e_s(22) = 0.611 \exp\left[\frac{17.502 \times 22^{\circ}\text{C}}{22^{\circ}\text{C} + 240.97}\right]$$

$$e_s(22) = 2.64 \text{ kPa}$$

$22^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧は、 $2.64 \text{ kPa}$

式 3.16 より水蒸気圧 $e_a$ を算出する。

$$e_a = 2.64 \text{ kPa} - \left(87.51 \text{ kPa} \times \frac{6.67}{10000^{\circ}\text{C}}\right) (34^{\circ}\text{C} - 22^{\circ}\text{C})$$

$$e_a = 1.94 \text{ kPa}$$

**水蒸気圧は、 $1.94 \text{ kPa}$**

式 3.5 より水蒸気モル分率 $C_v$ を算出する。

$$C_v = \frac{1.94 \text{ kPa}}{87.51 \text{ kPa}}$$

$$C_v = 0.022 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

**水蒸気モル分率は、 $0.022 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$**

式 3.11 より相対湿度 $h_r$ を算出する。

$$h_r = \frac{1.94 \text{ kPa}}{5.32 \text{ kPa}}$$

$$h_r = 0.36$$

**相対湿度は、 $0.36$**

式 3.12 より飽差 $D$ を算出する.

$$D = 5.32 \text{ kPa} - 1.94 \text{ kPa}$$

$$D = 3.38 \text{ kPa}$$

**飽差は, 3.38 kPa**

---

### 問題 3.2

暖かくて湿った日に, 皮膚表面は $36^\circ\text{C}$ であり, 汗で覆われていた. 汗が純粋な水と同じ水蒸気圧だとすると, 皮膚表面における水蒸気圧はいくらか.

---

#### 【解答】

皮膚は純粋な水と同じ水蒸気圧の汗で覆われていると仮定するので, 皮膚表面における水蒸気圧は, 皮膚表面の $36^\circ\text{C}$ における飽和水蒸気圧に等しい.

したがって, 式 3.8 より飽和水蒸気圧 $e_s(T)$  を算出すると

$$e_s(36) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 36^\circ\text{C}}{36^\circ\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(36) = 5.94 \text{ kPa}$$

**皮膚表面における水蒸気圧は, 5.94 kPa**

---

### 問題 3.3

容積  $0.1\text{m}^3$  の容器の中で, 相対湿度センサーが 0.5 を示すように較正しようとしている. 容器の壁に吸着水がないとすると,  $10^\circ\text{C}$  および  $40^\circ\text{C}$  の容器の中でこの値を示すには乾燥空気の中にどのくらいの水が蒸発しなければならないか.

---

#### 【解答】

式 3.8 より飽和水蒸気圧 $e_s(T)$  を  $10^\circ\text{C}$ ,  $40^\circ\text{C}$  それぞれの場合について算出すると

$$e_s(10) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 10^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(10) = 1.23 \text{ kPa}$$

$10^\circ\text{C}$ における飽和水蒸気圧は, 1.23 kPa

$$e_s(40) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 40^\circ\text{C}}{40^\circ\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(40) = 7.38 \text{ kPa}$$

$40^\circ\text{C}$ における飽和水蒸気圧は, 7.38 kPa

式 3.17 よりそれぞれの場合における飽和水蒸気密度 $\rho_{VS}$ を算出する.

10 °C の場合

$$\rho_{VS} = 1.23 \text{ kPa} \times \frac{18.02 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8.3143 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times (273 \text{ K} + 10 \text{ K})}$$

$$\rho_{VS} = 9.42 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

40 °C の場合

$$\rho_{VS} = 7.38 \text{ kPa} \times \frac{18.02 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8.3143 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times (273 \text{ K} + 40 \text{ K})}$$

$$\rho_{VS} = 51.10 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

飽和水蒸気密度に相対湿度を乗じ、それぞれの水蒸気密度 $\rho_V$ を算出する.

10 °C の場合

$$\rho_V = 9.42 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0.5$$

$$\rho_V = 4.71 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

40 °C の場合

$$\rho_V = 51.10 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0.5$$

$$\rho_V = 25.55 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

容器の体積は  $0.1 \text{ m}^3$  なので、それを乗じて乾燥空気に蒸発している水蒸気量を算出する.

10 °C の場合

$$4.71 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0.1 \text{ m}^3 = 0.47 \text{ g}$$

40 °C の場合

$$25.55 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0.1 \text{ m}^3 = 2.56 \text{ g}$$

$0.1 \text{ m}^3$  容器内の相対湿度が 0.5 となるために必要な水の量は、

10 °C の場合は、0.47 g

40 °C の場合は、2.56 g

---

### 問題 3.4

問題 3.3 の方法は相対湿度センサーの構成にはあまり役に立たない。よりよい方法は、制御された温度の水の中に空気を通して泡立たせることである。空気が 10°C の水の中を通過して泡立たとし、相対湿度センサーの入った 20°C の容器を通るとする。このとき、容器内の空気の相対湿度はいくらになるか。空気や相対湿度センサーが 20°C の状態であると思っていたのに、実際は 21°C だとしたら、較正にどの程度の誤差が生じるか。

#### 【解答】

10°C で泡立った時に飽和状態であるとする、  
式 3.8 より飽和水蒸気圧  $e_s(T)$  を算出すると

$$e_s(10) = 0.611 \exp \left[ \frac{21.87 \times 10 \text{ }^\circ\text{C}}{265.5 \text{ }^\circ\text{C} + 10 \text{ }^\circ\text{C}} \right]$$

$$e_s(10) = 1.23 \text{ kPa}$$

10 °Cにおける飽和水蒸気圧は、1.23 kPa

相対湿度センサーの容器の 20°C での飽和水蒸気圧は、同様に算出すると

$$e_s(20) = 0.611 \exp \left[ \frac{21.87 \times 20 \text{ }^\circ\text{C}}{265.5 \text{ }^\circ\text{C} + 20 \text{ }^\circ\text{C}} \right]$$

$$e_s(20) = 2.34 \text{ kPa}$$

泡立った空気はそのまま水蒸気圧で 20°C の相対湿度センサーの容器に入ってくるので、  
容器内の相対湿度  $h_r$  は、式 3.11 より

$$h_r = \frac{1.23 \text{ kPa}}{2.34 \text{ kPa}}$$

$$h_r = 0.526$$

**容器内の相対湿度は 0.526**

実際は容器内が 21°C であり、

容器内が 21°C の場合も同様に飽和水蒸気圧を求めると、2.49 kPa.

$$h_r = \frac{1.23 \text{ kPa}}{2.49 \text{ kPa}}$$

$$h_r = 0.494$$

実際の容器内の相対湿度は 0.494 である。

その結果、実際には相対湿度は 0.494 であるのに 0.526 と較正してしまうことになるので、その誤差は

$$0.526 - 0.494 = 0.032$$

**較正誤差は 0.032**

問題 3.5

ある日の屋外の最低気温が $-15^{\circ}\text{C}$ だとしたら、その日の $22^{\circ}\text{C}$ の実験室内の相対湿度はいくらか。

---

【解答】

以下の通りの前提にたつとする

屋外の $-15^{\circ}\text{C}$ における相対湿度を 1.0 とする

式 3.8 が $-15^{\circ}\text{C}$ においても成り立つ(氷面上における係数  $b = 21.87$ ,  $C = 265.5^{\circ}\text{C}$  を用いる)

外気の一日の水蒸気圧は一定で、屋外と実験室内の水蒸気圧が等しい

式 3.8 より飽和水蒸気圧 $e_s(T)$  を $-15^{\circ}\text{C}$ ,  $22^{\circ}\text{C}$  それぞれの場合について算出すると

$$e_s(-15) = 0.611 \exp \left[ \frac{21.87 \times (-15^{\circ}\text{C})}{-15^{\circ}\text{C} + 265.5^{\circ}\text{C}} \right]$$

$$e_s(-15) = 0.17 \text{ kPa}$$

$-15^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧は、0.17 kPa

$$e_s(22) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 22^{\circ}\text{C}}{22^{\circ}\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(22) = 2.64 \text{ kPa}$$

$22^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧は、2.64 kPa

屋外と実験室内の水蒸気圧が等しいと前提しているので、実験室内の相対湿度は、

$$\frac{0.17 \text{ kPa}}{2.64 \text{ kPa}} = 0.064$$

**実験室内の相対湿度は 0.064**

---

問題 3.6

吐く息の水蒸気圧は体温( $37^{\circ}\text{C}$ )における飽和水蒸気圧である。吸い込んだ空気が $20^{\circ}\text{C}$ で、相対湿度が0.2、1分間に15回呼吸をし、それぞれの呼吸量が1リットルだとすると、呼吸による水分損失を補給するのに、1日当り250mlの水の入ったグラスが何杯必要か。

---

【解答】

式 3.8 より飽和水蒸気圧 $e_s(T)$  を $37^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$  それぞれの場合について算出すると

$$e_s(37) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 37^{\circ}\text{C}}{37^{\circ}\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(37) = 6.28 \text{ kPa}$$

$37^{\circ}\text{C}$ における飽和水蒸気圧は、6.28 kPa

$$e_s(20) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 20 \text{ }^\circ\text{C}}{20 \text{ }^\circ\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(20) = 2.34 \text{ kPa}$$

20 °Cにおける飽和水蒸気圧は、2.34 kPa

式 3.17 よりそれぞれの場合における飽和水蒸気密度 $\rho_{VS}$ を算出する.

37 °C の場合

$$\rho_{VS} = 6.28 \text{ kPa} \times \frac{18.02 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8.3143 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times (273 \text{ K} + 37 \text{ K})}$$

$$\rho_{VS} = 43.91 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

20 °C の場合

$$\rho_{VS} = 2.34 \text{ kPa} \times \frac{18.02 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8.3143 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times (273 \text{ K} + 20 \text{ K})}$$

$$\rho_{VS} = 17.31 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

(※)J = Nm, Pa =  $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  で単位換算する.

吸気の相対湿度は 0.2 なので、その水蒸気密度は下記で算出される.

$$17.31 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0.2 = 3.46 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

1 回あたりの呼吸量が 1 L = 0.001 m<sup>3</sup>なので、呼吸 1 回での水分損失は、

$$\left( 43.91 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} - 3.46 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) \times 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{回}} = 0.04045 \frac{\text{g}}{\text{回}}$$

1 分あたり 15 回の呼吸をすると仮定すると、1 日での呼吸の回数は、

$$15 \frac{\text{回}}{\text{分}} \times 60 \frac{\text{分}}{\text{時}} \times 24 \frac{\text{時}}{\text{日}} = 21600 \frac{\text{回}}{\text{日}}$$

1 日の水分損失を算出すると

$$0.04045 \frac{\text{g}}{\text{回}} \times 21600 \frac{\text{回}}{\text{日}} = 873.72 \frac{\text{g}}{\text{日}}$$

250mL の水の入ったグラスからは 1 杯あたり 250g の水が供給されるので、

$$873.72 \frac{\text{g}}{\text{日}} \div 250 \frac{\text{g}}{\text{杯}} = 3.49 \frac{\text{杯}}{\text{日}}$$

**4 杯必要**

---

問題 3.7

気温が  $15^\circ\text{C}$ 、相対湿度が  $0.6$  だとすると、絶対湿度(または水蒸気密度)、比湿、混合比はいくらか。

---

【解答】

式 3.8 より飽和水蒸気圧  $e_s(T)$  を  $15^\circ\text{C}$  の場合について算出すると

$$e_s(15) = 0.611 \exp \left[ \frac{17.502 \times 15^\circ\text{C}}{15^\circ\text{C} + 240.97} \right]$$

$$e_s(15) = 1.70 \text{ kPa}$$

$15^\circ\text{C}$ における飽和水蒸気圧は、 $1.70 \text{ kPa}$

式 3.17 よりそれぞれの場合における飽和水蒸気密度  $\rho_{VS}$  を算出する。

$$\rho_{VS} = 1.70 \text{ kPa} \times \frac{18.02 \frac{\text{g}}{\text{mol}}}{8.3143 \frac{\text{J}}{\text{mol K}} \times (273 \text{ K} + 15 \text{ K})}$$

$$\rho_{VS} = 12.79 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

相対湿度が  $0.6$  なので、水蒸気密度は式 3.11 より

$$12.79 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times 0.6 = 7.67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

**水蒸気密度は  $7.67 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$**

標準気圧条件下  $101.3 \text{ kPa}$  とすると、水蒸気モル分率は式 3.5 より

$$\frac{1.70 \text{ kPa} \times 0.6}{101.3 \text{ kPa}} = 0.010 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}$$

混合比  $r$  は式 3.18 より

$$r = \frac{0.622 \times 0.010 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}}{1 - 0.010 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}}$$

$$r = 0.006226 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

**混合比  $r$  は  $6.226 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$**

比湿 $q$  は式 3.19 より

$$q = \frac{0.622 \times 0.010 \frac{\text{mol}}{\text{mol}}}{1 - (0.378 \times 0.010 \frac{\text{mol}}{\text{mol}})}$$

$$q = 0.006244 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

比湿  $q$  は  $6.244 \frac{\text{g}}{\text{kg}}$

---