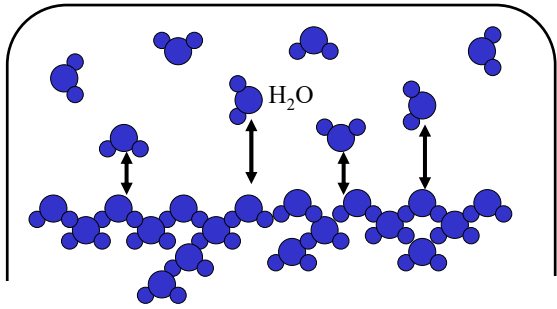
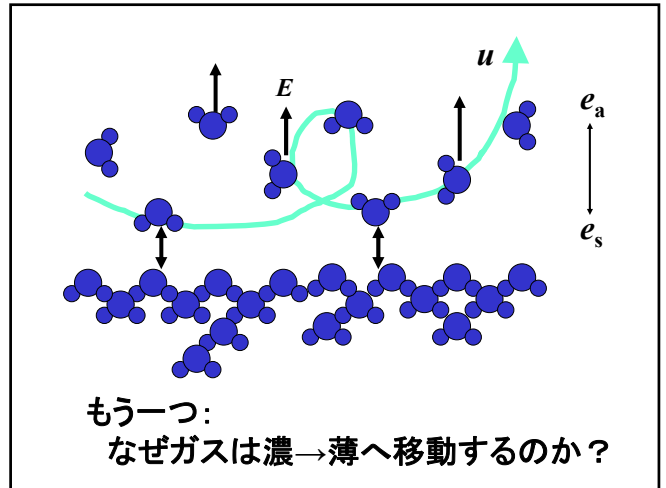


蒸発とは



1



2

基本

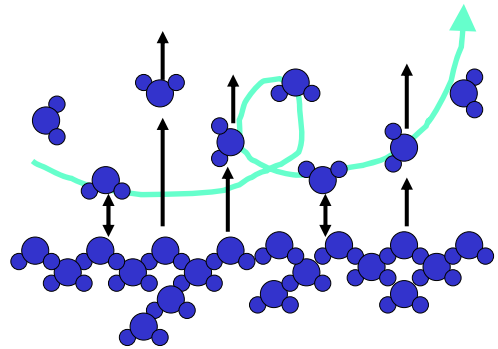
$$E = g(e_s - e_a)$$

$$g = g(u, \dots)$$

$$e_s = e_{\text{sat}}(T_s)$$

3

潜熱:なぜ蒸発すると温度が下がるのか？

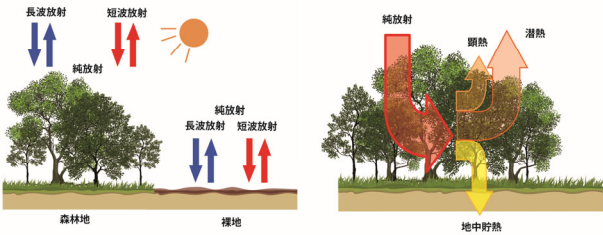


4

$$[\text{短波放射収支}] + [\text{長波放射収支}] = [\text{使えるエネルギー}] = [\text{潜熱}] + [\text{顕熱}] + [\text{地中貯熱}]$$

$$(1 - \alpha)R_s - \varepsilon(\sigma T_s^4 - R_L) = R_n$$

$$R_n = H + \lambda E + G$$



5

ところで

$$\mathbf{J/(m^2s) = W/m^2}$$

フラックス

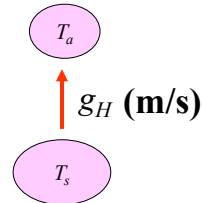
6

Hとは (W/m²)

$$H = \rho c_p g_H (T_s - T_a)$$

$$\rho c_p$$

kg/m³ × J/(kgK)



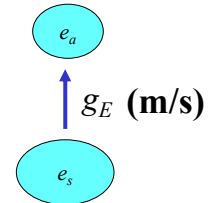
7

λEとは (W/m²)

$$\lambda E = \frac{\rho c_p}{\gamma} g_E (e_s - e_a)$$

$$\frac{\rho c_p}{\gamma}$$

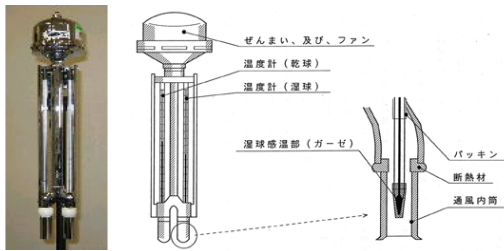
J/(m³K) / Pa/K



8

乾湿計定数について

$$e_{sat}(T_w) - e_a = \frac{\rho c_p}{\lambda \epsilon} (T_a - T_w)$$



9

T_a, e_a の空気を考える。

この空気に接する面の温度を T_a 、面での蒸発により T_w に下がることを考える。

温度変化による

$$[\text{面での熱量変化}] = c_p (T_a - T_w)$$

蒸発による

$$[\text{面での熱量変化}] = \lambda \frac{e_{sat}(T_s) - e_a}{P}$$

$$e_a = e_{sat}(T_w) - \frac{\rho c_p}{\lambda} (T_a - T_w)$$

γ : 乾湿計定数

10

平衡蒸発：湿面からの蒸発

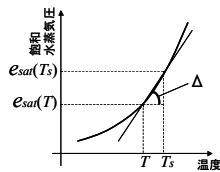
・・・って何？

1. その点で起きる蒸発はどこでも起きる。
2. 蒸発で水が動く先も飽和している。

$$\frac{\lambda E}{H} = \frac{\lambda \rho \epsilon g \frac{e_{sat}(T_s) - e}{P}}{\rho c_p g (T_s - T)}$$

$$\sim \frac{\lambda \epsilon}{\rho c_p} \frac{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)}{T_s - T}$$

γ とする。



$$\frac{\lambda E}{H} = \frac{\Delta}{\gamma}, \quad \lambda E + H = R_n - G$$

を利用して、

$$\lambda E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G)$$

平衡蒸発速度の基本式

11

ポテンシャル蒸発：最大蒸発能力

= **Penman式**

今度はずルはしないで

$$\frac{\lambda E}{H} = \frac{\lambda \rho \epsilon g \frac{e_{sat}(T_s) - e}{P}}{\rho c_p g (T_s - T)} = \frac{\lambda \epsilon}{\rho c_p} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{T_s - T}$$

$$= \frac{1}{\gamma} \frac{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)}{T_s - T} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)}$$

$$= \frac{\Delta}{\gamma} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)}$$

再度、 $\lambda E + H = R_n - G$ を利用、

さらに、 $E = g \{e_{sat}(T_s) - e\}$ を利用

$$\lambda E = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + \frac{\gamma g \lambda}{\Delta + \gamma} g \{e_{sat}(T) - e\}$$

Penman式

12

注目 : 明らかに $\lambda E > \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}(R_n - G)$

平衡蒸発の仮定が無いから
※海の方が蒸発速度が小さい! ?

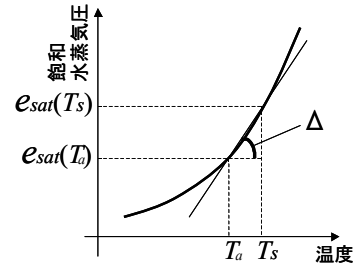
Priestley-Taylor式の誕生

$$\lambda E = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma}(R_n - G)$$

13

Penman-Monteith式 の導出

$$e_{sat}(T_s) = \Delta(T_s - T_a) + e_{sat}(T_a)$$



14

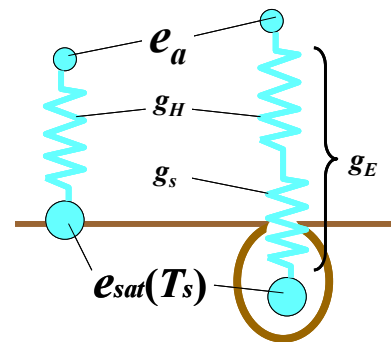
$$e_{sat}(T_s) = \Delta(T_s - T_a) + e_{sat}(T_a)$$

$$H = \rho c_p g_H (T_s - T_a)$$

$$R_n = H + \lambda E + G$$

から T_s を追い出す。
そして、 λE でまとめる。

15



16

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p g_H (e_{sat}(T_a) - e_a)}{\Delta + (1 + g_H/g_s)\gamma}$$

17

Penman-Monteith式 で遊ぼう

- $g_s \rightarrow \infty$: 完全湿面
- $g_H \rightarrow \infty$: g_s だけが制限

$$\lambda E_{imp} = \frac{\rho c_p g_s}{\gamma} (e_{sat}(T_a) - e_a)$$

葉が小さい・樹冠の凸凹が大きい

- $g_H \rightarrow 0$: 風が無い

$$\lambda E_{eq} = \frac{\Delta(R_n - G)}{\Delta + \gamma}$$

湿面が無限に続く・乾燥空気が入ってこない

18

- $\lambda E = (1 - \Omega)\lambda E_{imp} + \Omega\lambda E_{eq}$

$$\Omega = \frac{\Delta/\gamma + 1}{\Delta/\gamma + 1 + g_H/g_s}$$

g_s と g_H どちらが支配的か？



物理的か生物学的か？

- 熱収支式を解くと何が解かる？

$$(1 - a)R_S - \varepsilon(\sigma T_s^4 - R_L) = H + \lambda E + G$$

$$H = \rho c_p g_H (T_s - T_a)$$

$$\lambda E = \frac{\rho c_p}{\gamma} g_E (e_{sat}(T_s) - e_a)$$