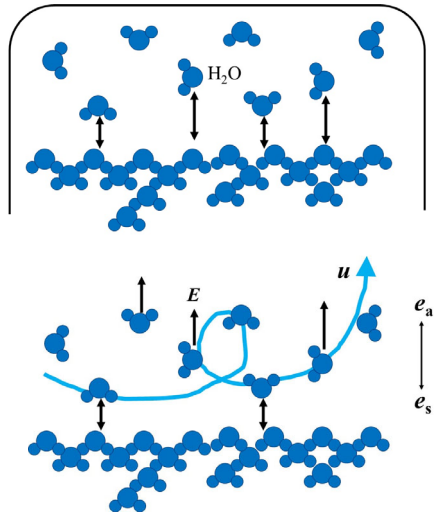


## 蒸発とは

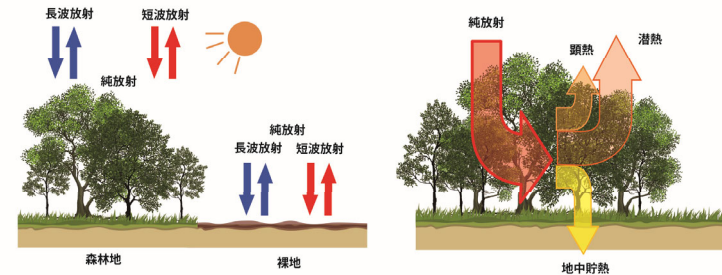


1

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

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

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



2

## 基本

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

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

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

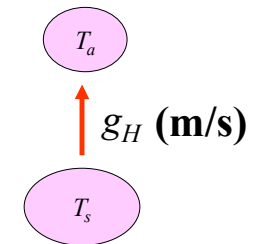
3

$H$ とは (W/m<sup>2</sup>)

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

$$\rho c_p$$

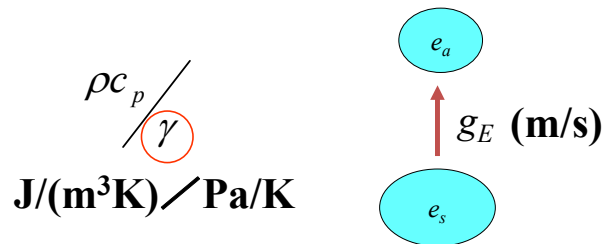
kg/m<sup>3</sup> × J/(kgK)



4

$\lambda E$ とは (W/m<sup>2</sup>)

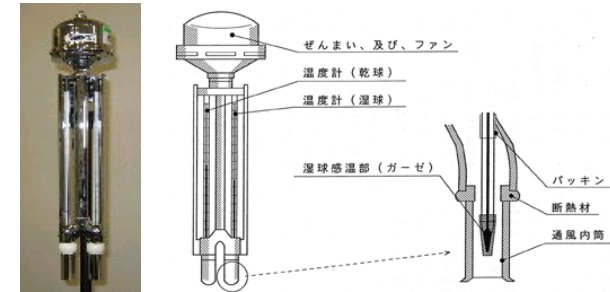
$$\lambda E = \frac{\rho c_p}{\gamma} g_E (e_s - e_a)$$



5

乾湿計定数について

$$e_{sat}(T_w) - e_a = \frac{Pc_p}{\lambda \varepsilon} (T_a - T_w)$$



6

$T_a$ 、 $e_a$  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**

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

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

$\gamma$  : 乾湿計定数

7

**平衡蒸発** : 湿面からの蒸発

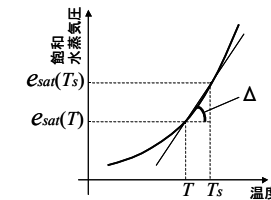
・・・って何？

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。

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

$$\sim \frac{\lambda \varepsilon}{Pc_p} \frac{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)}{T_s - T}$$

$\gamma$  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**

8

**ポテンシャル蒸発**：最大蒸発能力

= **Penman式**

今回はズルはしないで 
$$\frac{\lambda E}{H} = \frac{\lambda \rho \varepsilon g \frac{e_{sat}(T_s) - e}{p}}{\rho c_p g (T_s - T)} = \frac{\lambda \varepsilon}{p c_p} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{T_s - T}$$

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

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

再度、 $\lambda E + H = R_n - G$  を利用、

さらに、 $E = g\{e_{sat}(T_s) - e\}$  を利用

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

**Penman式**

9

**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! ?

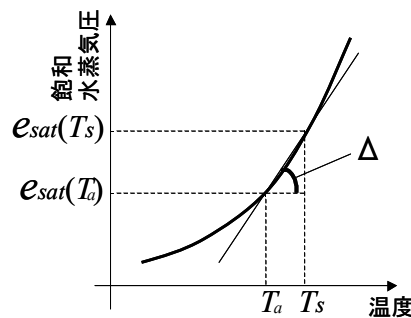
**Priestley-Taylor式**の誕生

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

10

**Penman-Monteith式** の導出

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



11

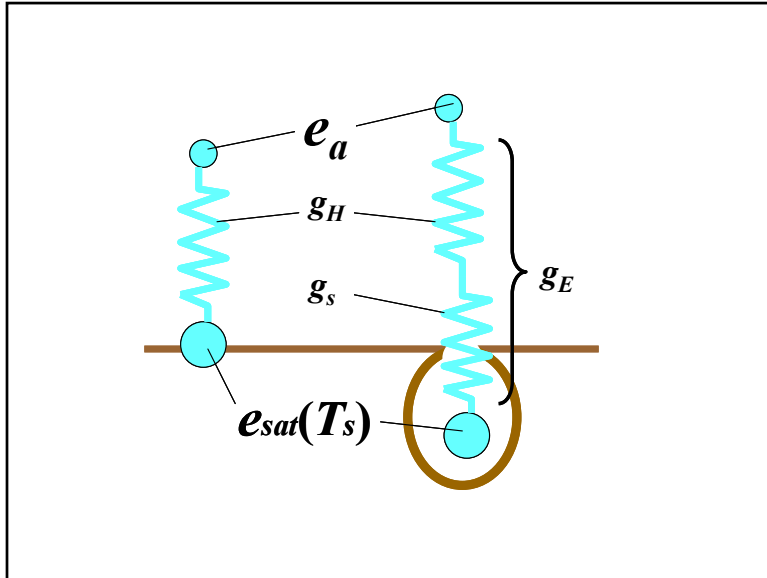
$$e_{sat}(T_s) = \Delta(T_s - T_a) + e_{sat}(T_a)$$

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

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

から  $T_s$  を追い出す。  
そして、 $\lambda E$  でまとめる。

12



13

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

14

### 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

15

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

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

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

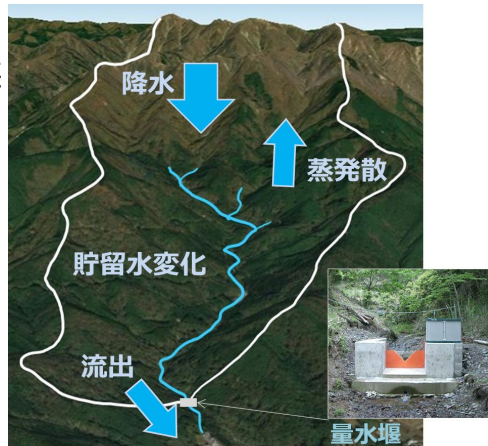
$$H = \rho c_p g_H (T_s - T_a)$$

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

16

## 蒸発散の推定

### ① 流域水収支： 流域試験地と量水堰



$$[\text{流出}] = [\text{降水}] - [\text{蒸発散}] - [\text{貯留水量変化}]$$