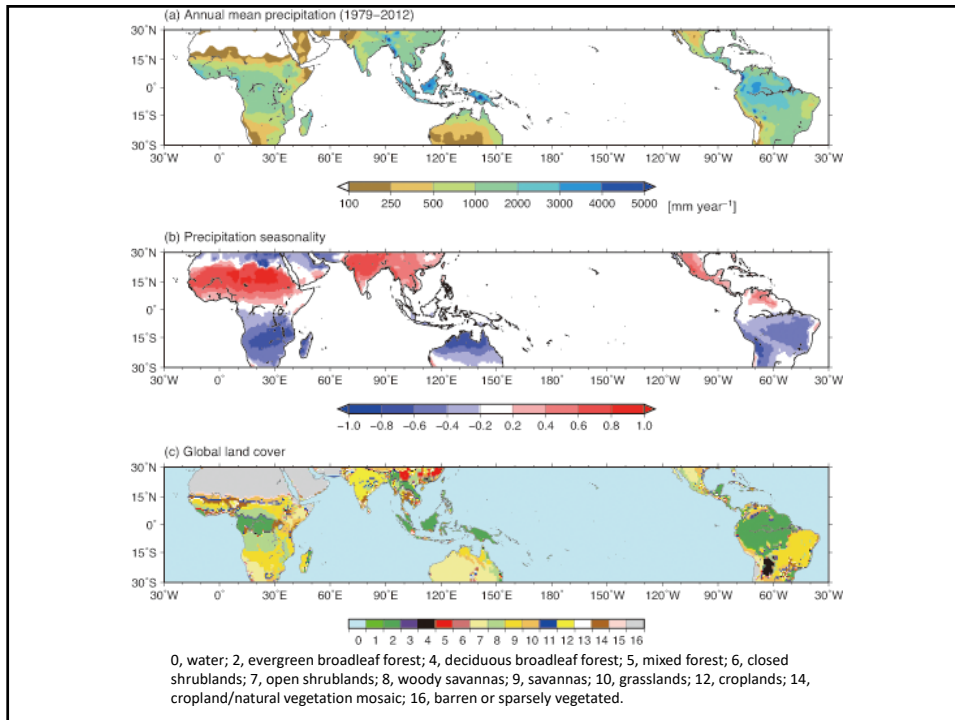
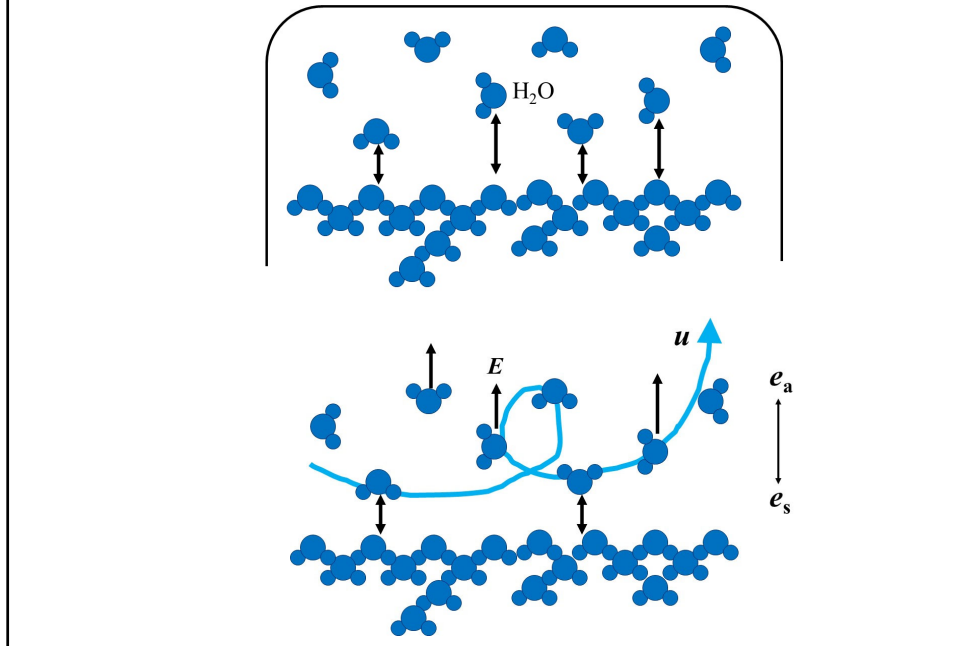


1



2

## 蒸発とは



3

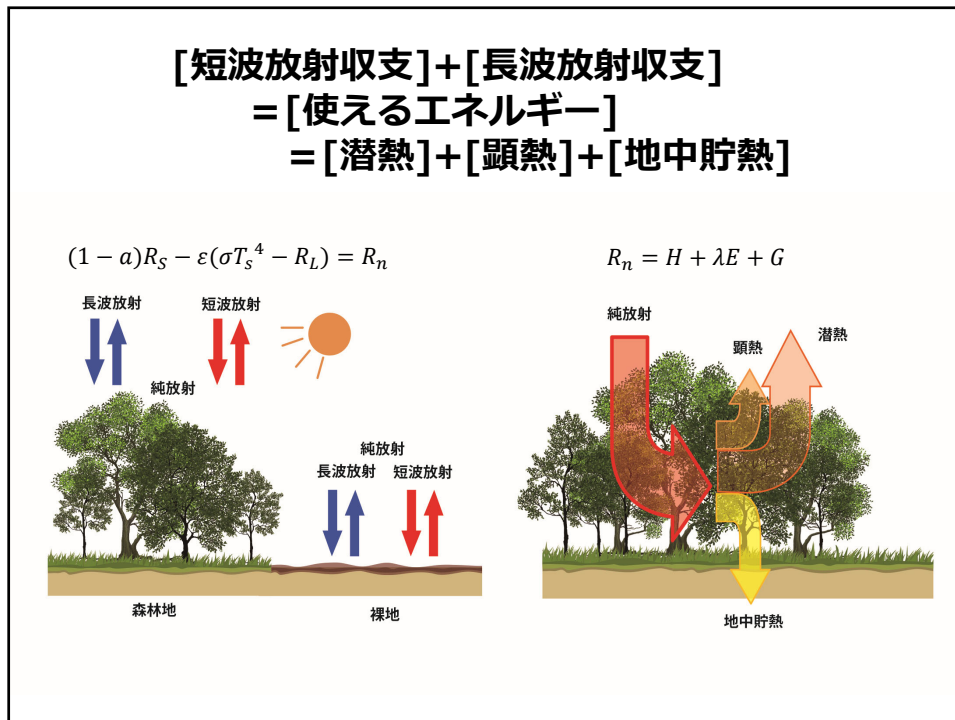
## 基本

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

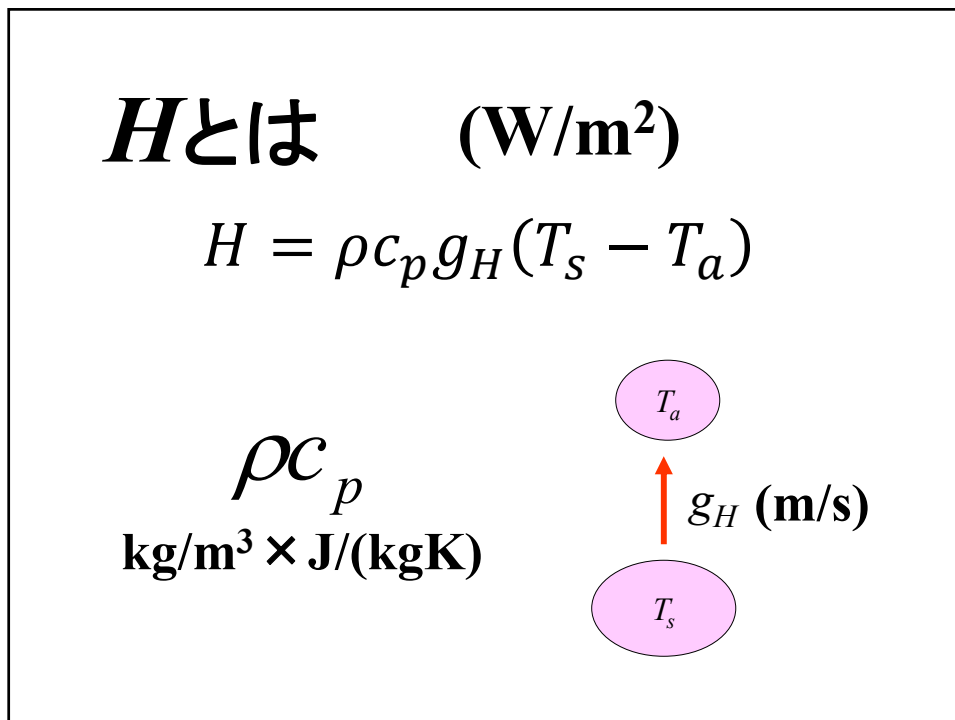
$$g = g(u, \dots)$$

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

4



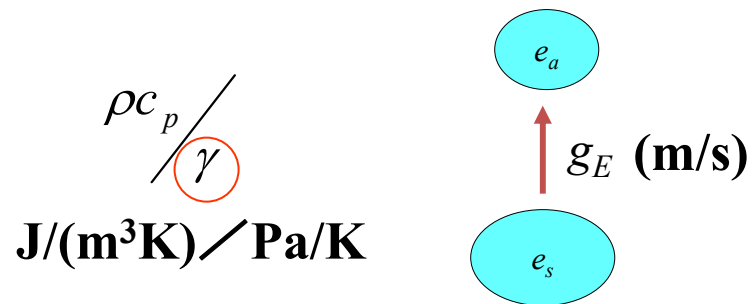
5



6

$\lambda E$ とは (W/m<sup>2</sup>)

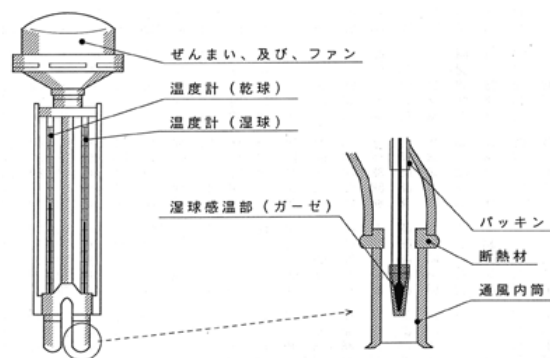
$$\lambda E = \frac{\rho c_p}{\gamma} g_E (e_s - e_a)$$



7

乾湿計定数について

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



8

$T_a$ 、 $e_a$  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

9

## 平衡蒸発 : 湿面からの蒸発

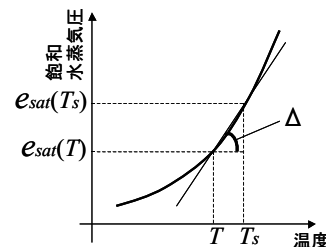
・・・って何？

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。

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

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

$\gamma$  とする。



$$\frac{\lambda E}{H} = \frac{\Delta}{\gamma}$$

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

を利用して、

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

**平衡蒸発速度の基本式**

10

**ポテンシャル蒸発** : 最大蒸発能力

= **Penman式**

今度はズレはしないで

$$\begin{aligned} \frac{\lambda E}{H} &= \frac{\lambda \rho \varepsilon g \frac{e_{sat}(T_s) - e}{P}}{\rho c_p g (T_s - T)} = \frac{\lambda \varepsilon}{P c_p} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{T_s - T} \\ &= \frac{1}{\gamma} \frac{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)}{T_s - T} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)} \\ &= \frac{\Delta}{\gamma} \frac{e_{sat}(T_s) - e}{e_{sat}(T_s) - e_{sat}(T)} \end{aligned}$$

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**

11

**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! ?

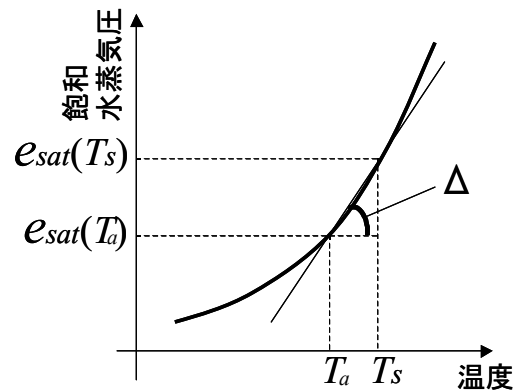
**Priestley-Taylor式**の誕生

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

12

## Penman-Monteith式 の導出

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



13

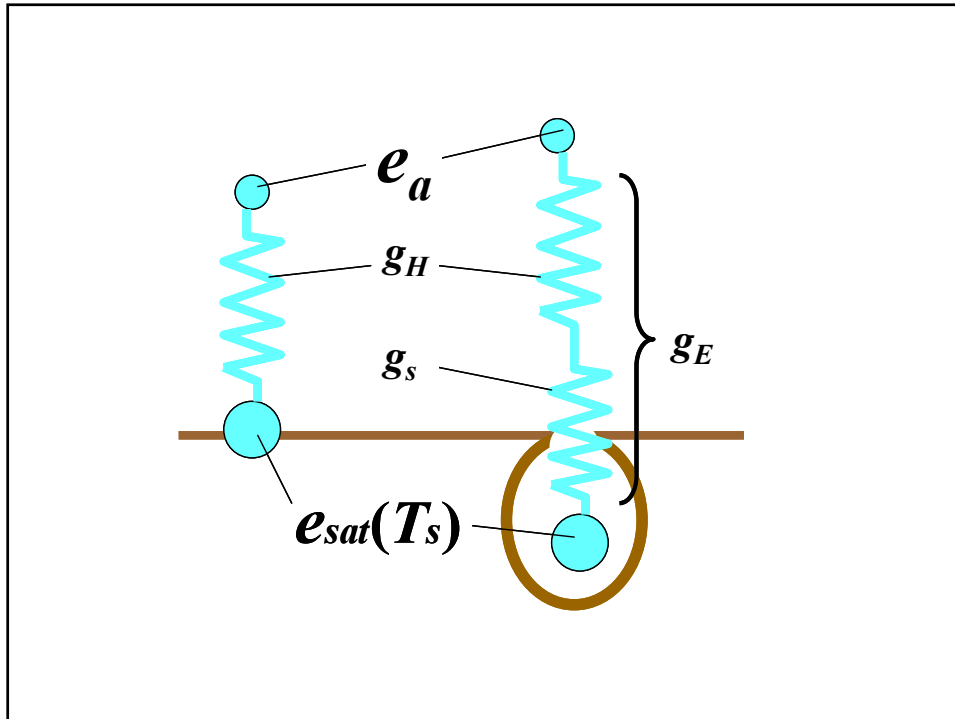
$$e_{sat}(T_s) = \Delta(T_s - T_a) + e_{sat}(T_a)$$

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

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

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

14



15

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

16



## 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

17

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

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

$g_s$  と  $g_H$  どちらが支配的か？



物理的か生物学的か？

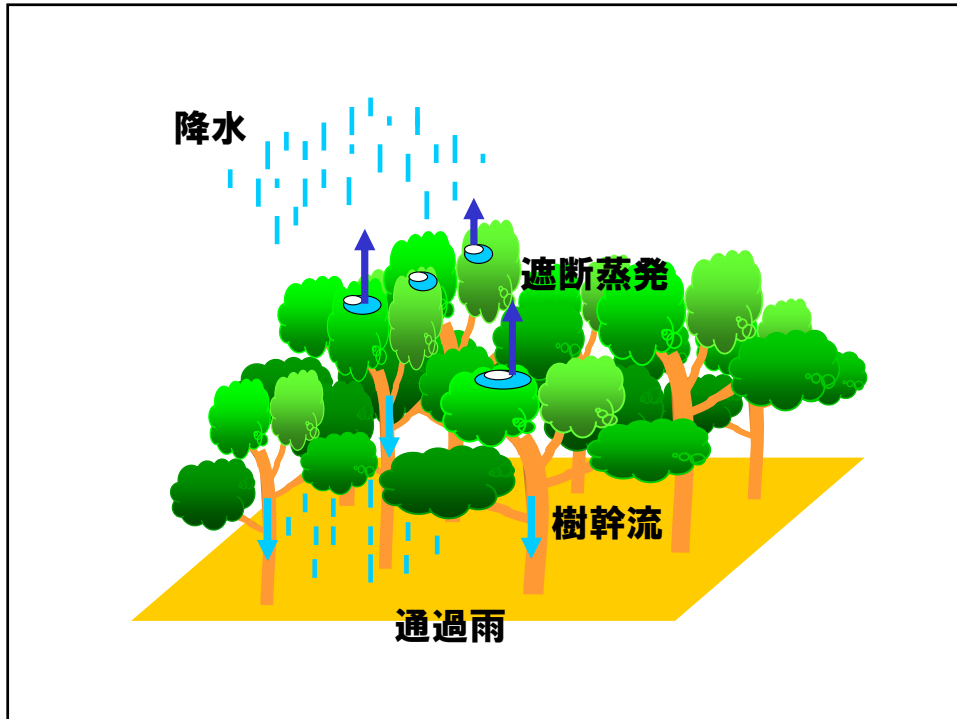
- 熱収支式を解くと何が解かる？

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

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

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

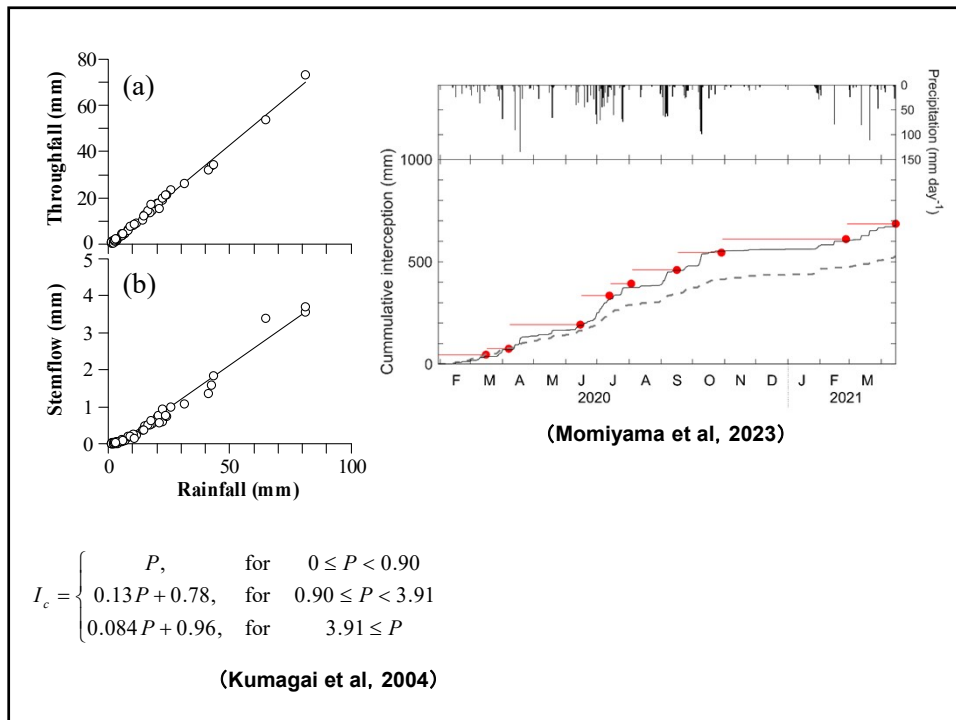
18



19



20



21

短い降雨イベント  $Li = c \int_0^D P dt$

長い降雨イベント  $Li = c \left[ \int_0^{t_0} P dt + \int_{t_0}^D E_{po} dt \right]$

$$Li = \int_0^{t_0} E_i dt + S_{ic} + \int_{t_0}^D E_i dt \quad \leftarrow \quad S_{ic} = c \int_0^{t_0} P dt - \int_0^{t_0} E_i dt, \quad \int_{t_0}^D E_i dt = \int_{t_0}^D c \frac{S}{S_{ic}} E_{po} dt$$

降水  $E_i$  遮断蒸発  $cP$   $S$  樹幹流  $O$  通過雨

22