

地表面温度の測定に基づく ダイズの水ストレスの推定

土壌圏循環学研究室
和中久実

卒業研究発表諮問会 2023年2月14日

はじめに

土壌が湿潤

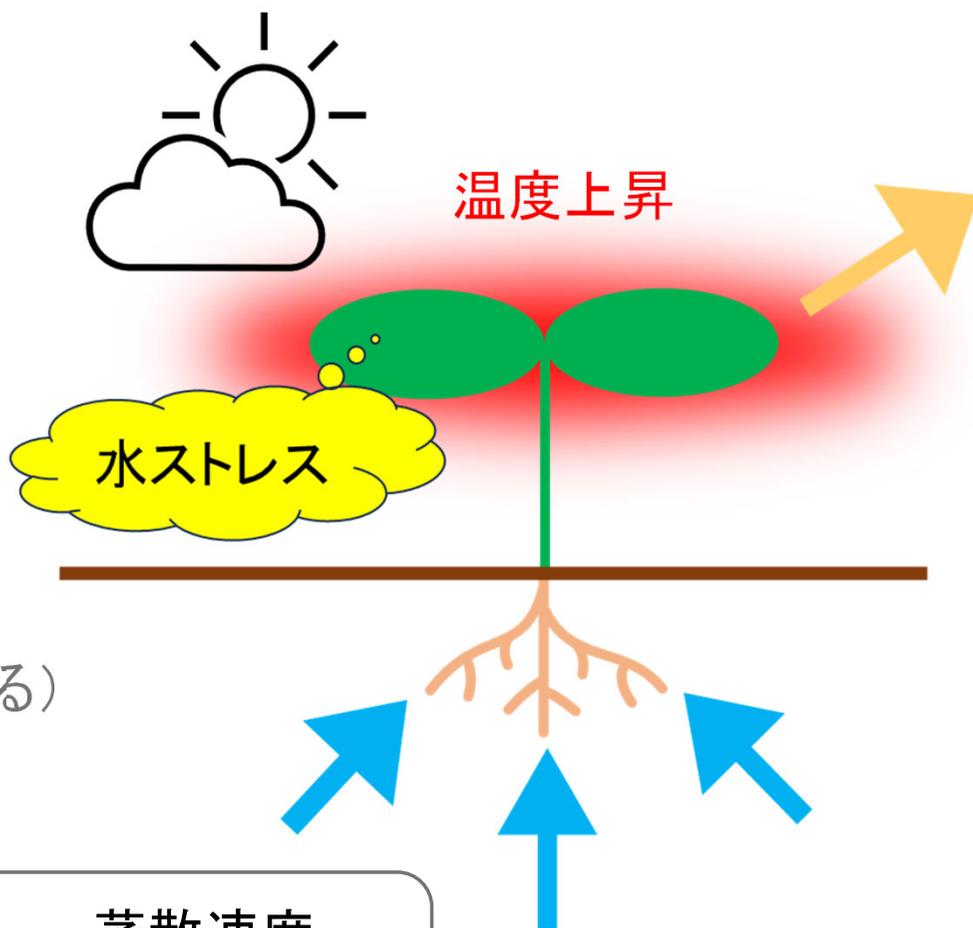
十分な吸水

蒸散速度



可能蒸散速度

(気象条件のみで決まる)



土壌が乾燥

不十分な吸水

蒸散速度



可能蒸散速度

$$\text{蒸散比} = \frac{\text{蒸散速度}}{\text{可能蒸散速度}}$$

ストレス受けると蒸散比が低下

葉の温度上昇を観測することで、作物の水ストレスを推定できる可能性

放射温度計 非接触かつ容易に表面温度を測定することが可能

ステファンボルツマンの法則

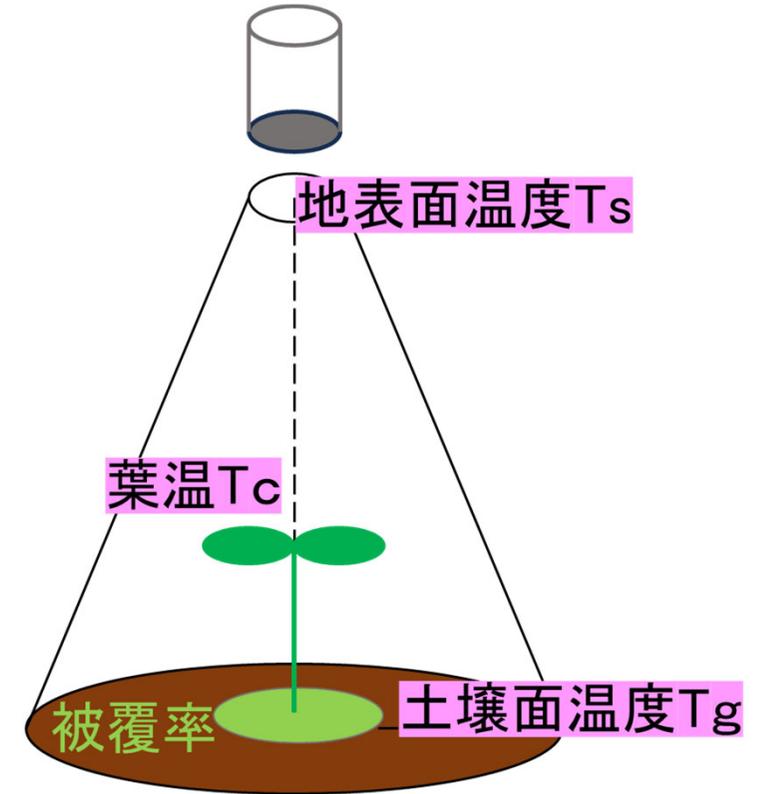
$$R = \varepsilon\sigma T^4$$

(T は絶対温度)

R : 放射量(下向き長波放射)

ε : 射出率(今回は1)

σ : ボルツマン定数

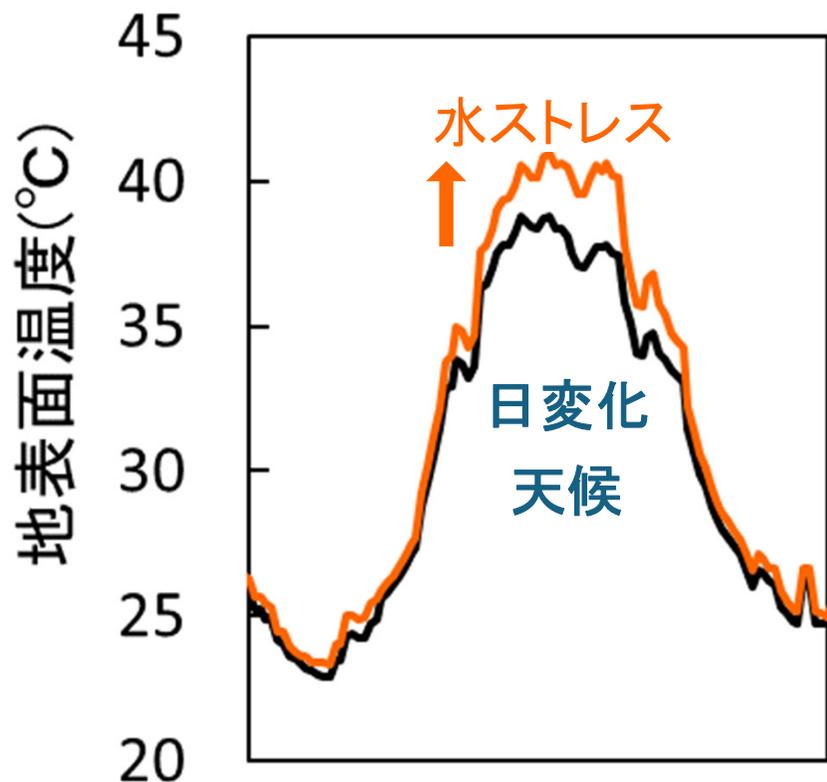


被覆率を放射透過率 τ で表せると仮定して

$$T_s = \sqrt[4]{\tau T_g^4 + (1 - \tau) T_c^4}$$

センサーで測定する放射は、
植生と土壌面からの放射の和

水ストレス判断のための対象温度？



水ストレスによる温度上昇を判断するには

水ストレスを受けない湿潤条件下での
地表面温度と比較する必要



日変化・天候を反映

数値シミュレーション

- 群落熱収支モデル
- 土中の水・熱移動モデル HYDRUS-1D

測定が難しい蒸散速度も計算可能

目的

放射温度計による地表面温度の観測値を用いた
ダイズの水ストレス状態の推定

小さい個体に対して群落熱収支モデルの適用が可能か

現場観測

- 放射温度計による地表面温度
- 土中データ
- 気象データ

数値シミュレーション

- 地表面温度を再現する乾燥過程での計算
- 可能蒸発散条件での計算
- 蒸散速度の計算

水ストレスの推定

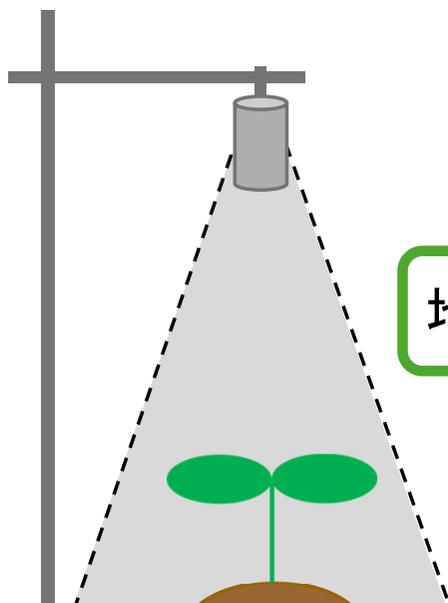
- 蒸散比を水ストレスの指標に

現場観測

三重大学附属農場内のダイズ栽培圃場 (2023/7/19~10/18)



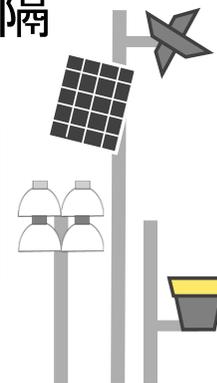
赤外放射温度計
SI-111(Apogee社)
30分間隔



地表面温度

ウェザーステーション
30分間隔

気温 湿度
風速 雨量
4成分放射量



土壤水分センサー
(5TE, TEROS-12)



5cm

土中水圧力センサー
(TEROS-21)



13cm

作土層
(20cm)

水分量
土中水圧力
地温
30分間隔



28cm

心土層

数値シミュレーション

入力データ

- 気象データ
- 植生データ: 透過率、LAIなど
- 土壌条件: 透水性・保水性など

群落熱収支式(2層モデル)

土壌面 : $Rn_g = H_g + L_w E_g + G_s$

植披層 : $Rn_c = H_c + L_w E_c$

HYDRUS-1D

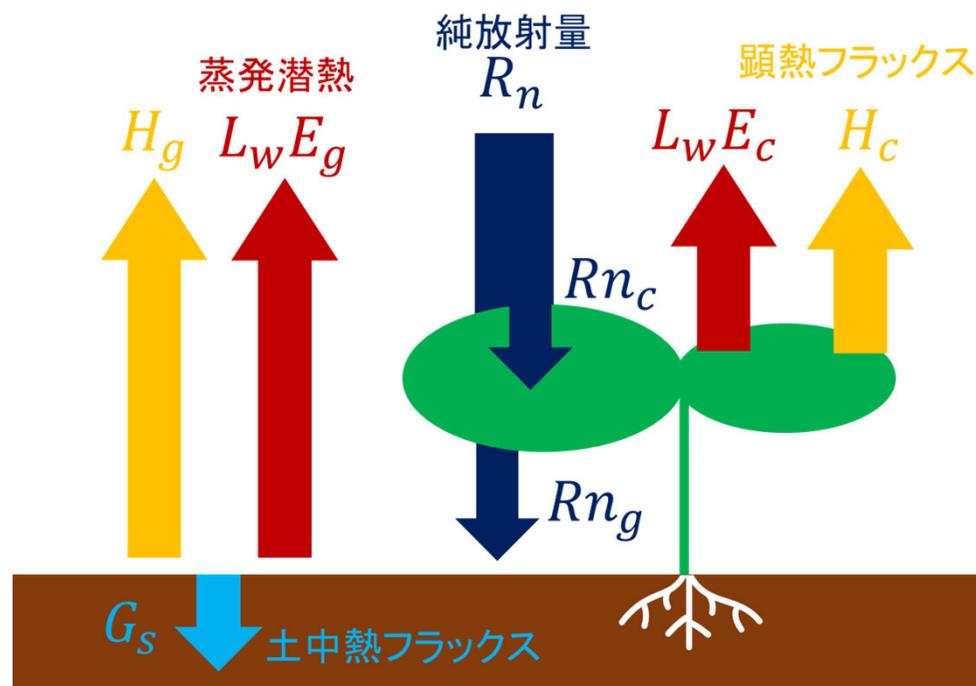
水分移動 $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K_{Lh}(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) + K_{LT} \frac{\partial T}{\partial z} + K_{vh} \frac{\partial h}{\partial z} + K_{vT} \frac{\partial T}{\partial z} \right] - S$

熱移動 $\frac{\partial C_p T}{\partial t} + L_w \frac{\partial \theta_v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right] - C_w \frac{\partial q_L T}{\partial z} - C_v \frac{\partial q_v T}{\partial z} - L_w \frac{\partial q_v}{\partial z}$

根の吸水モデル $E_c(t) = \int_{-L_R}^0 S(z, t) dz = E_{cp}(t) \int_{-L_R}^0 \alpha(h) \beta(z) dz$

出力データ

- 葉温 T_c 、土壌面温度 T_g 、蒸散速度
- 土壌水分、土中水圧力、地温
など



計算条件

実測値を再現する
乾燥過程の計算

常時湿潤で水ストレスがない
可能蒸発散を行う場合の計算

上端境界条件

土壌面蒸発速度 E_g ・ 土中熱フラックス G_s ・ 可能蒸散速度 E_{cp}

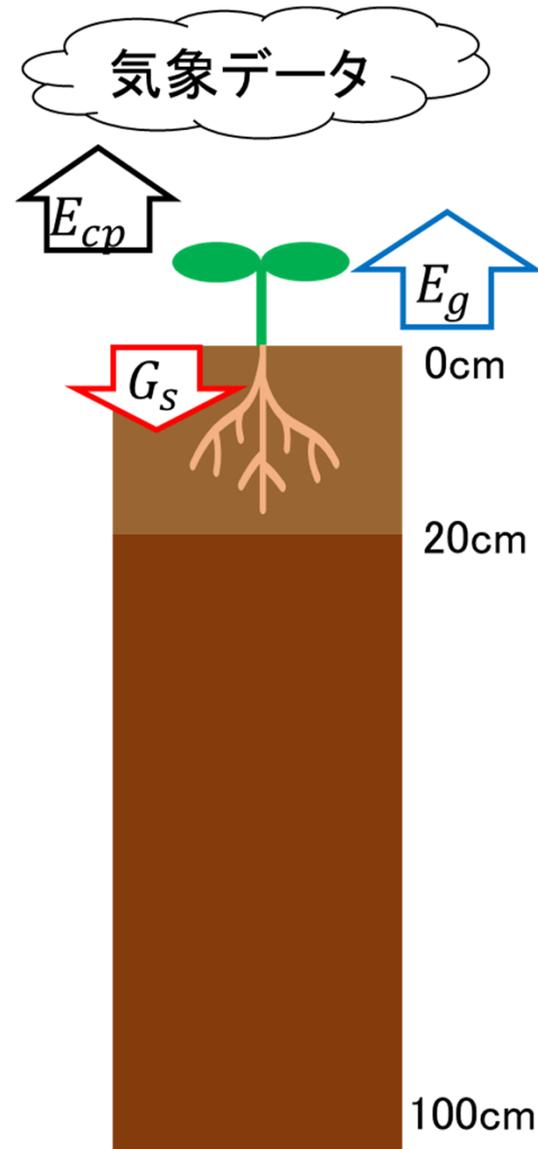
下端境界条件

自由排水

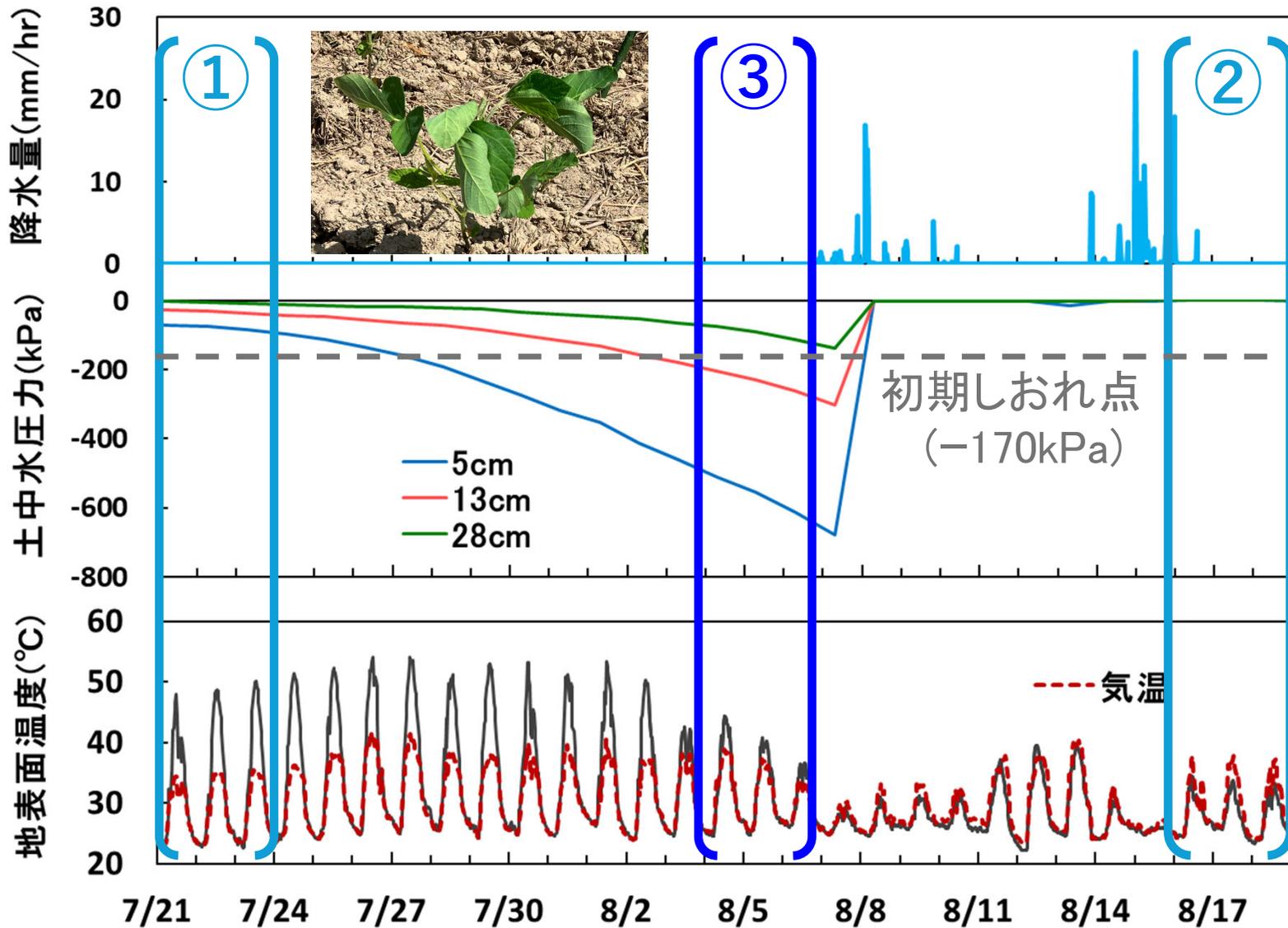
一定圧力条件: $h = 80$ cm
(地下水位を20cm深に)

$$\text{蒸散比} = \frac{\text{乾燥過程の計算による蒸散速度}}{\text{可能蒸散速度}}$$

乾燥による蒸散低下の割合から水ストレスを評価



観測データ



期間①
裸地で無降雨

不飽和透水係数の推定

期間②
湿潤期間

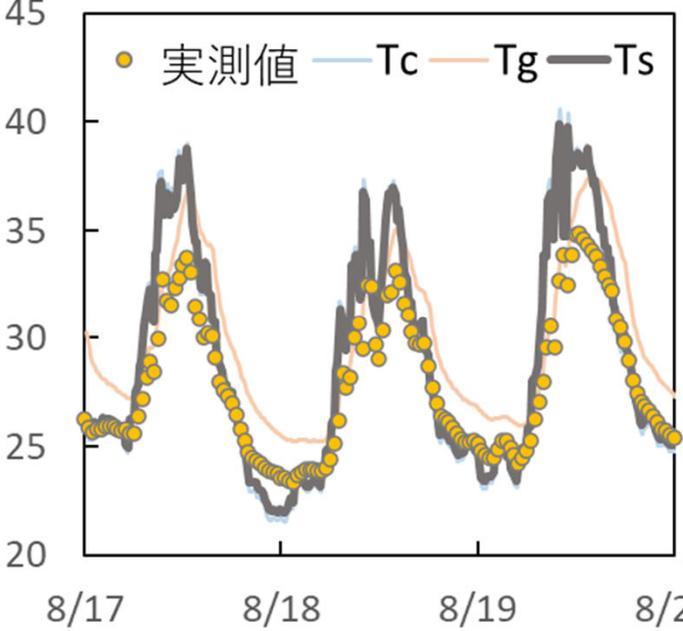
2層モデルの
適用可能性

期間③
乾燥期間で、
水ストレスある可能性

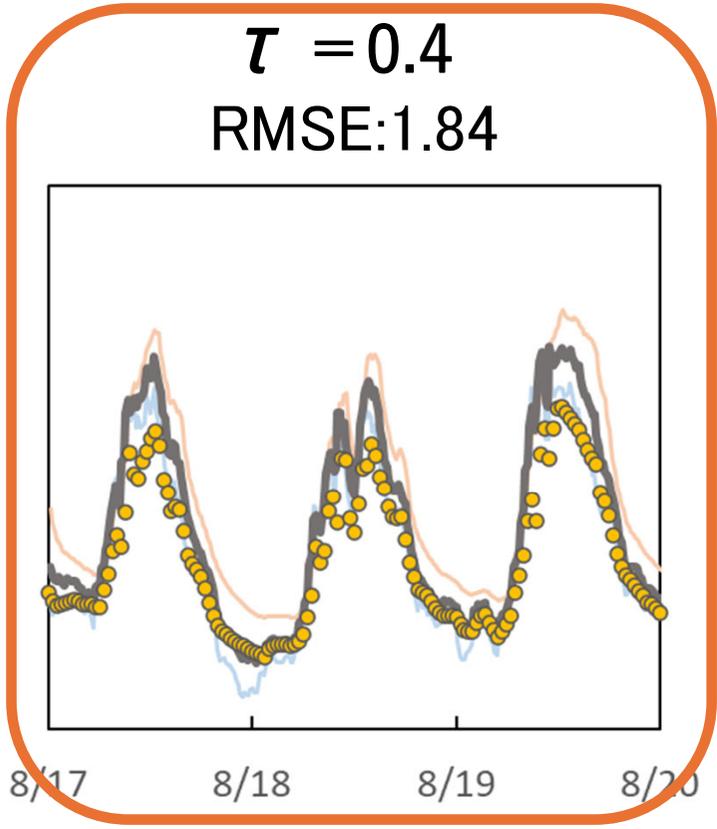
水ストレスの推定

期間②：土壌が湿潤 透過率 τ の調整による
2層モデル適用の可能性の検証

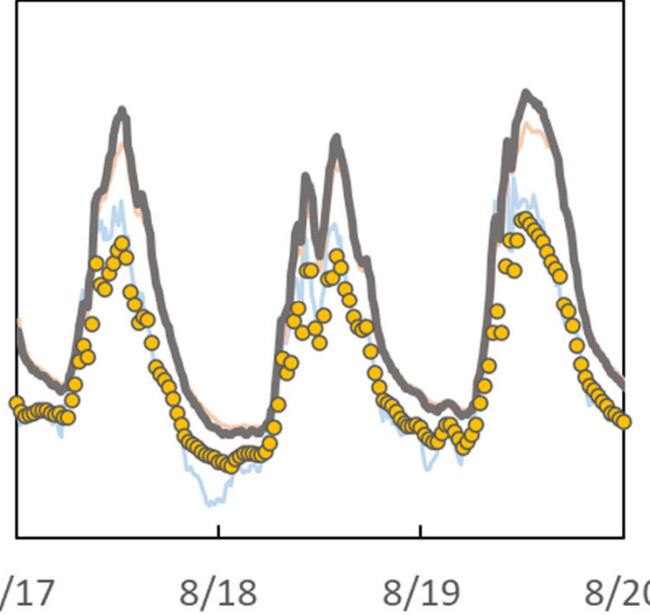
$\tau = 0.1$
RMSE:2.38



$\tau = 0.4$
RMSE:1.84

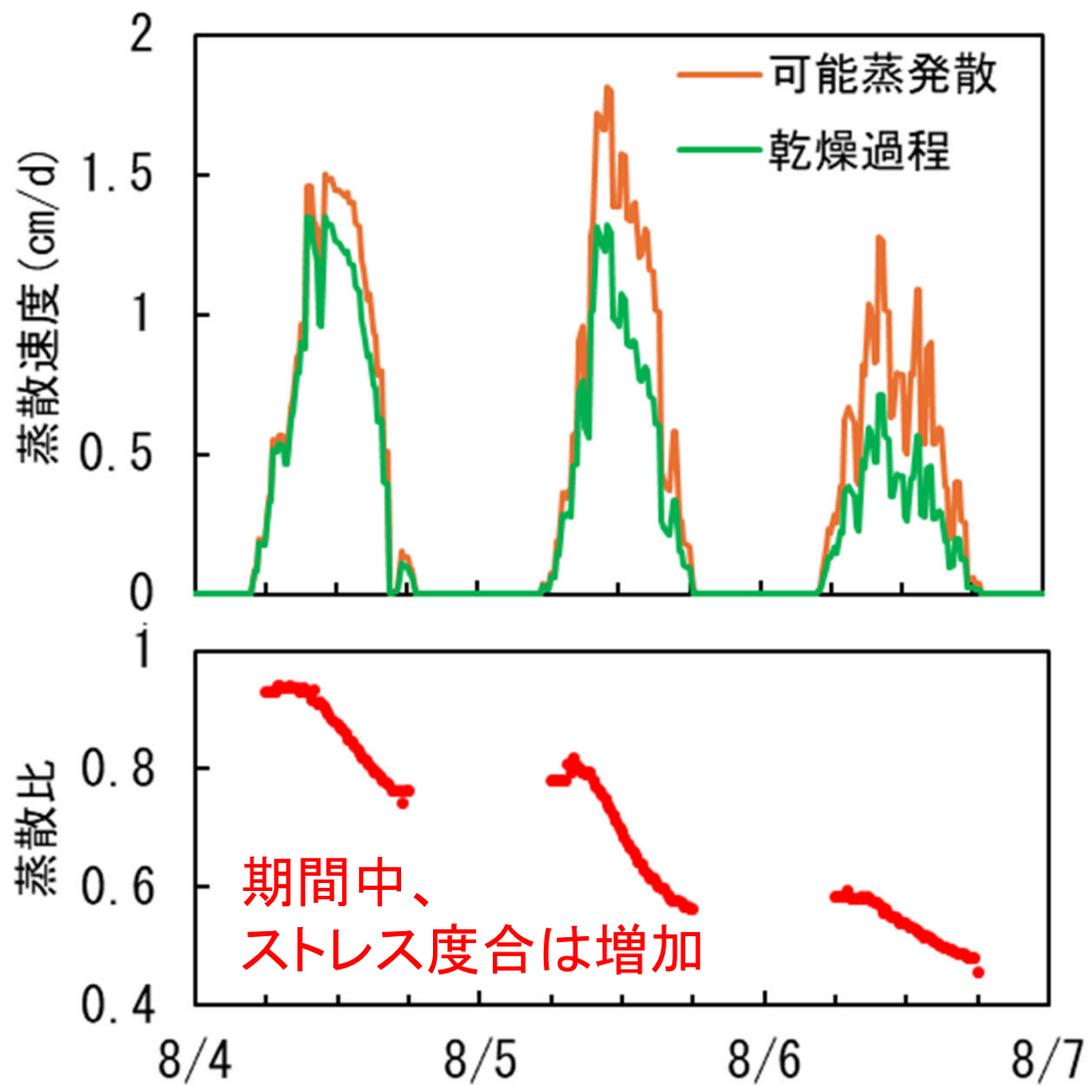
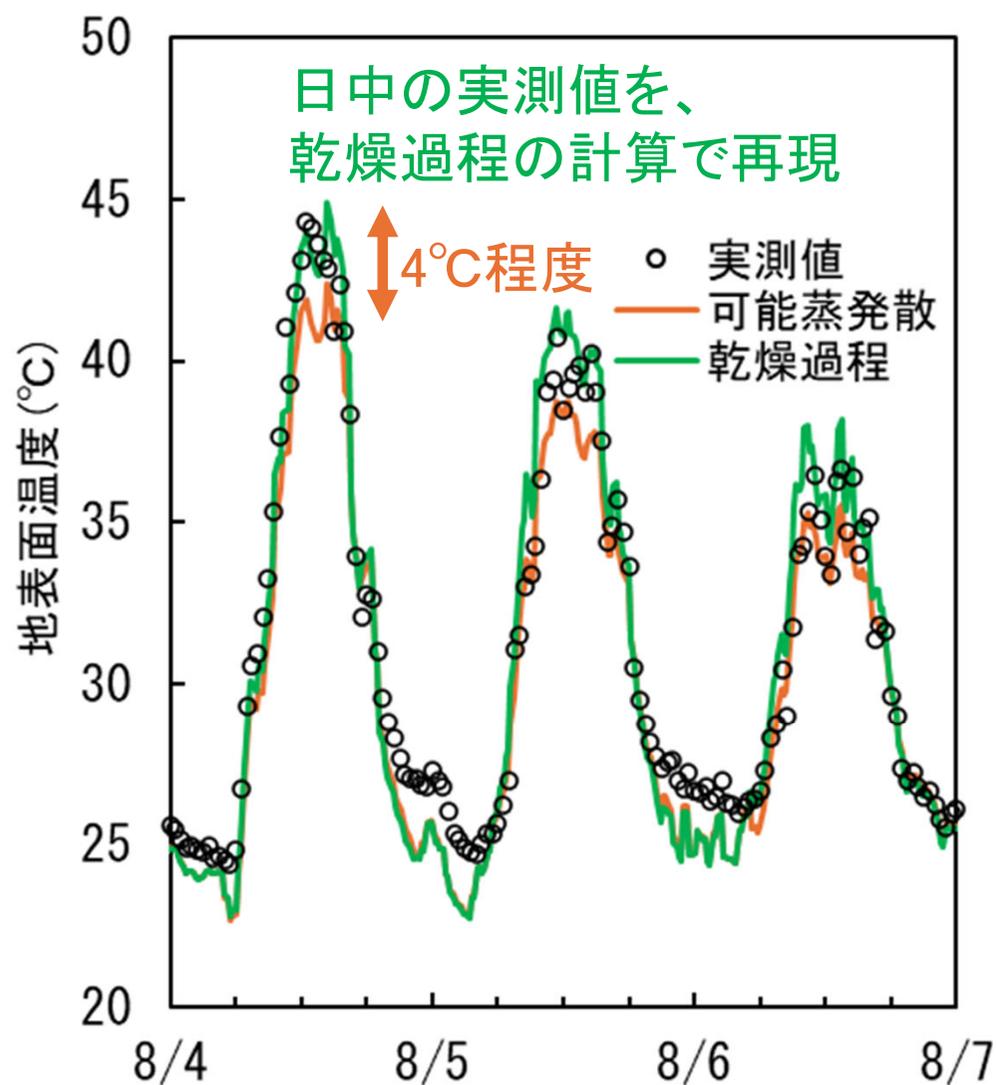


$\tau = 0.9$
RMSE:3.38



被覆率0.6程度より“透過率 = 1 - 被覆率”と仮定することで
2層モデルは群落ではないダイズにも適用可能

期間③：乾燥期間で水ストレスある可能性



まとめ

放射温度計による地表面温度の観測値を用いた ダイズの水ストレス状態の推定

小さい個体に対しても数値モデルの適用が可能か

➡ 透過率を“1-被覆率”と仮定すれば適用可能

- 地表面温度の日中の温度上昇を観測
- 実測値を再現する条件で計算した蒸散速度は可能蒸散速度より低下
- 水ストレスの指標にとった蒸散比は期間中低下

地表面温度の観測値に基づき水ストレスの経時変化を評価できた