



地表面温度の測定に基づく 低水分領域の不飽和透水係数の推定

Estimation of unsaturated hydraulic conductivity for lower water content
based on soil surface temperature measurement

令和3年度卒業研究発表諮問会
2022年2月16日(水)

土壌圏循環学研究室 4年 518327
北田彰孝

はじめに

蒸発による乾燥過程の土壌水分変化の予測には？



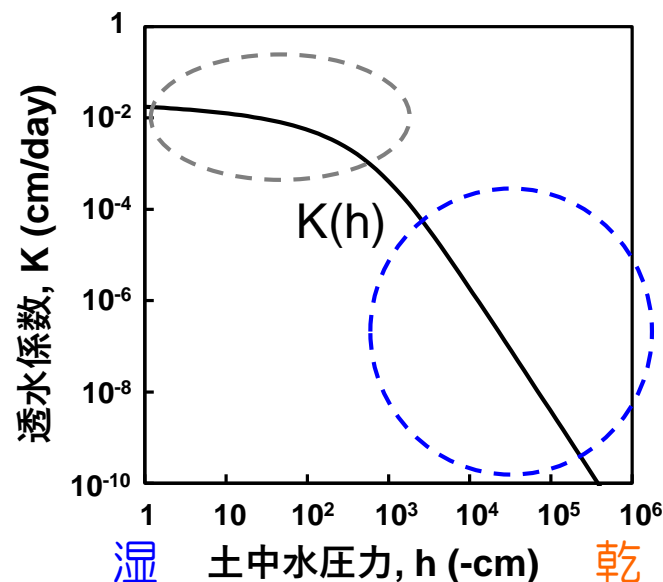
“低水分領域”の土中の透水係数の把握が必要

➤ 測定が難しく、研究例も少ない

蒸発法

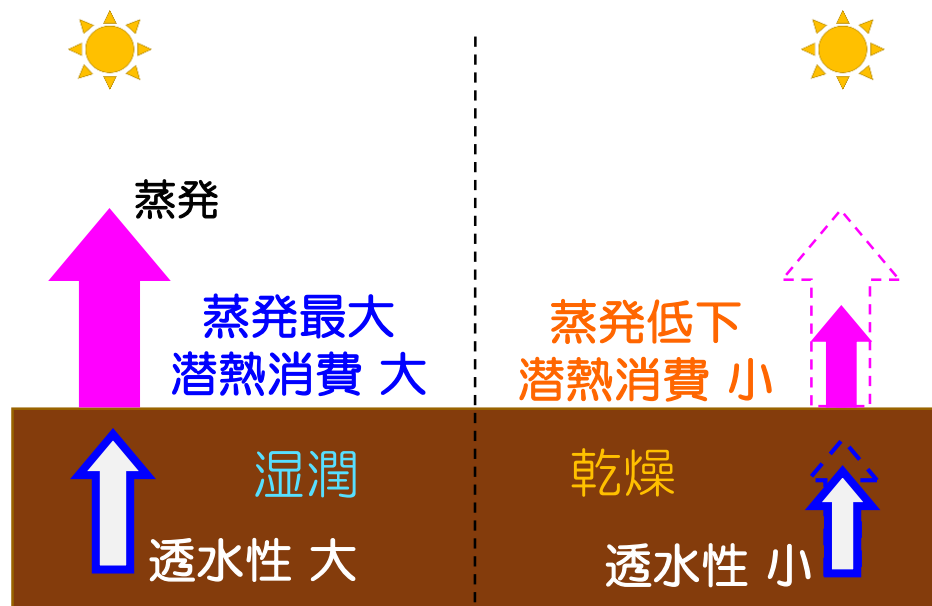
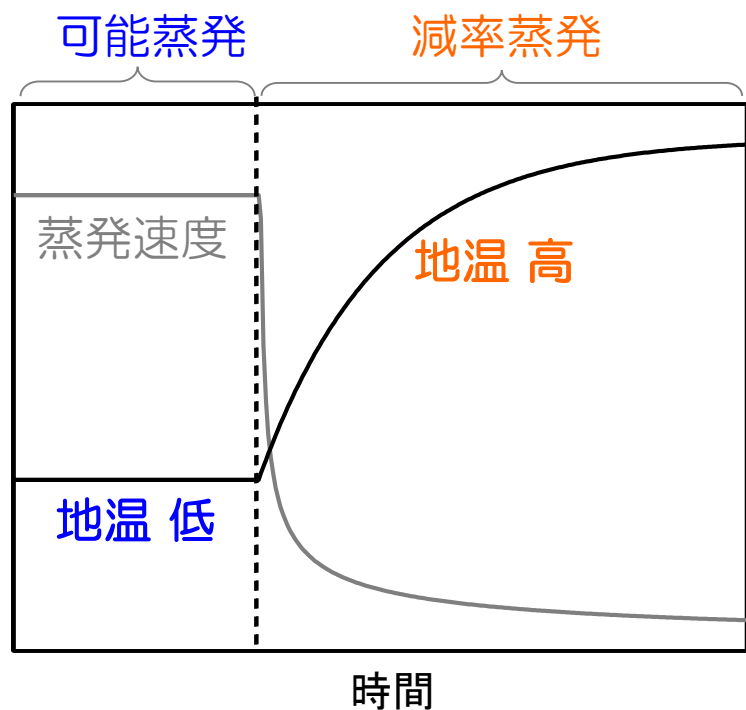
室内蒸発実験の圧力変化を
数値計算が再現するように逆解析

飽和近傍から比較的low水分領域までの推定



より低水分領域の $K(h)$ を現場で推定するには？

はじめに



乾燥に伴う地温の上昇から、
土中の透水係数の低下を推定できる？



特に**地表面温度**に着目

- 土壤に埋設せず非接触で測定可能

目的

乾燥過程での地表面温度上昇を再現する 表層土壌の不飽和透水係数を推定

- ・ 裸地圃場での現場測定
 - ・ 赤外放射温度計で地表面温度を測定
 - ・ 気象データ
 - ・ 土中データ（土中水圧力、水分量、地温）
- ・ HYDRUS-1Dで土中水分・熱移動の数値計算
地表面温度を再現する不飽和透水係数の推定

現場測定 三重大学附属農場内 裸地圃場 8/24～

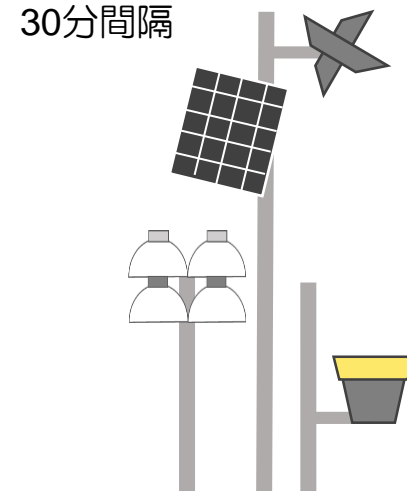
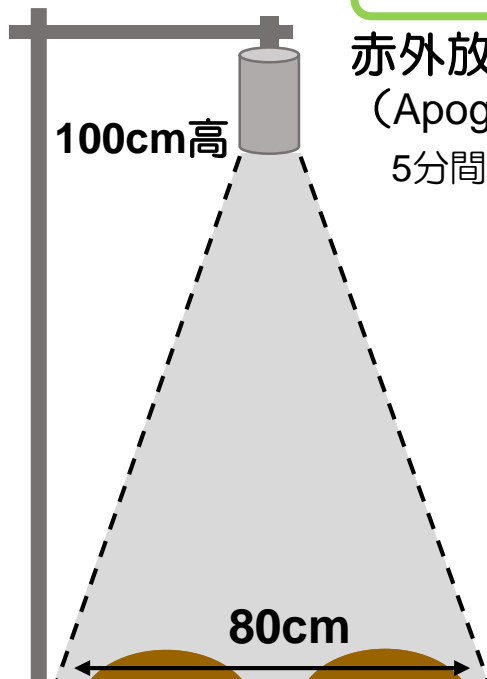


地表面温度

赤外放射温度計SI-111
(Apogee社)
5分間隔

気温 湿度
風速 雨量
4成分放射量

ウェザーステーション
30分間隔



作土層 20cm



5cm



13cm

30分間隔

土壤水分センサー
(5TE, TEROS-12)

土中水圧力センサー
(TEROS-21)

水分量
土中水圧力
地温

心土層



28cm

HYDRUS-1Dを用いた土中水分・熱移動の数値計算

期間 2021/8/21～9/2 (降雨の少ない乾燥期間)

支配方程式

液状水・水蒸気的水分移動

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

熱移動 h : 土中水圧力 θ : 水分量 T : 温度

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

上端境界条件

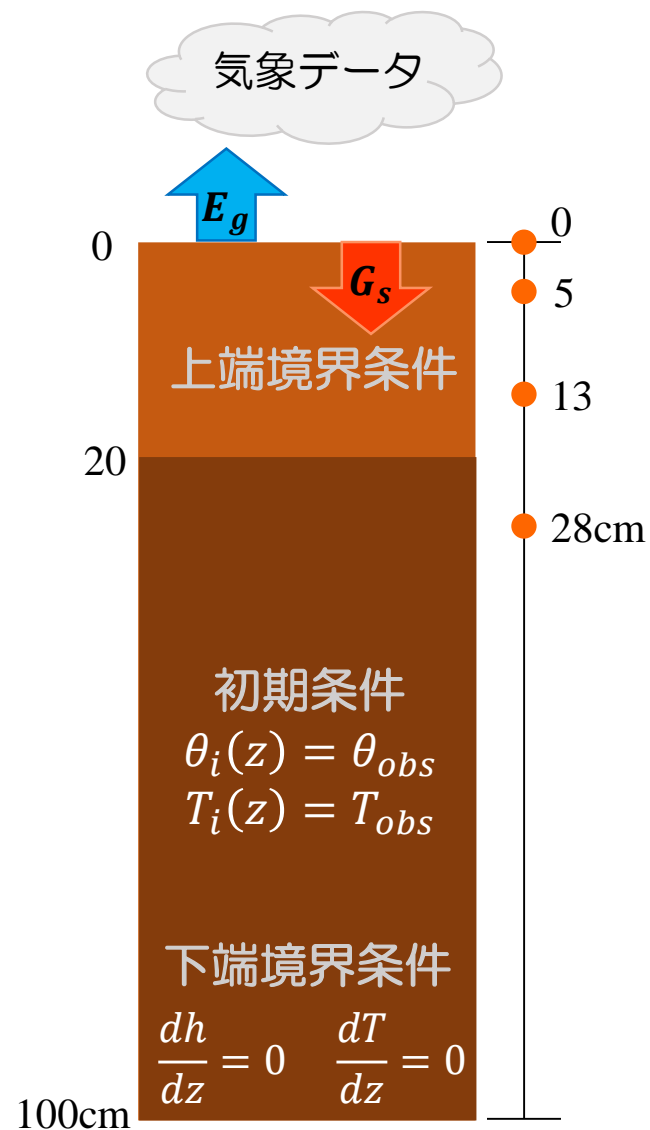
地表面熱収支式 + 観測データ

$$R_{ng} = H_g + L_w E_g + G_s$$

純放射量 顕熱 潜熱 土中熱フラックス

水分移動…土壌面蒸発速度 E_g

熱移動…土中熱フラックス G_s

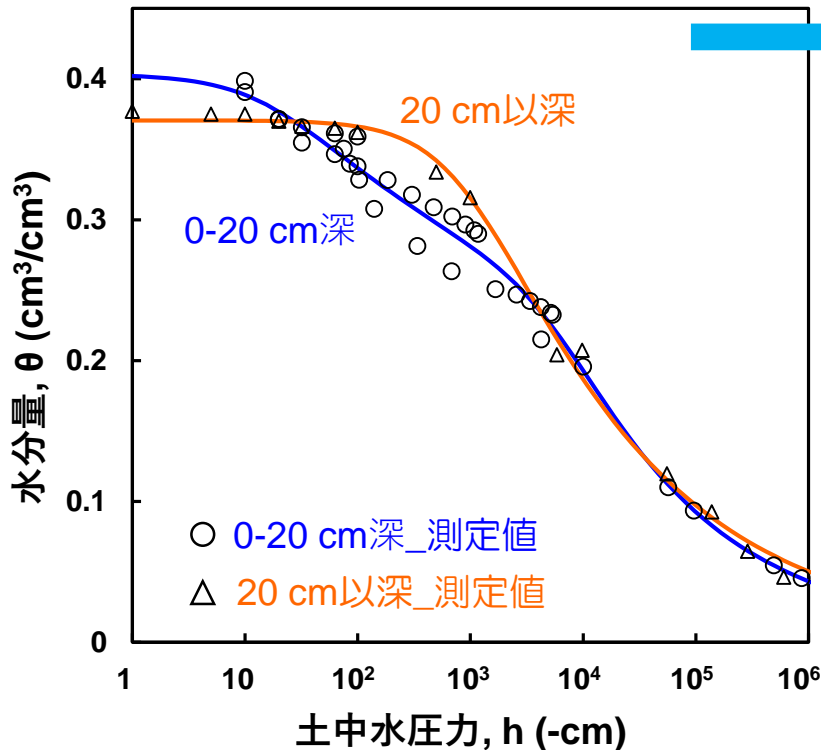


水分移動特性

Durner model
$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = S_e = w_1 [1 + (\alpha_1 h)^{n_1}]^{-m_1} + w_2 [1 + (\alpha_2 h)^{n_2}]^{-m_2}$$

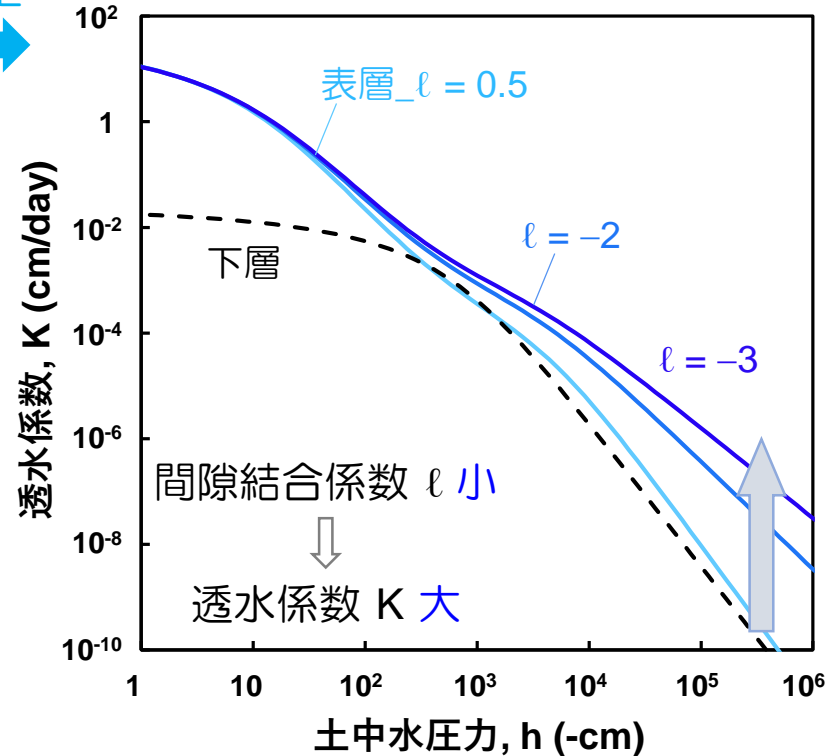
$$K(S_e) = K_s \frac{(w_1 S_{e1} + w_2 S_{e2})^\ell \left(w_1 \alpha \left[1 - \left(1 - S_{e1}^{1/m_1} \right)^{m_1} \right] + w_2 \alpha_2 \left[1 - \left(1 - S_{e2}^{1/m_2} \right)^{m_2} \right] \right)^2}{(w_1 \alpha + w_2 \alpha_2)^2}$$

水分特性曲線



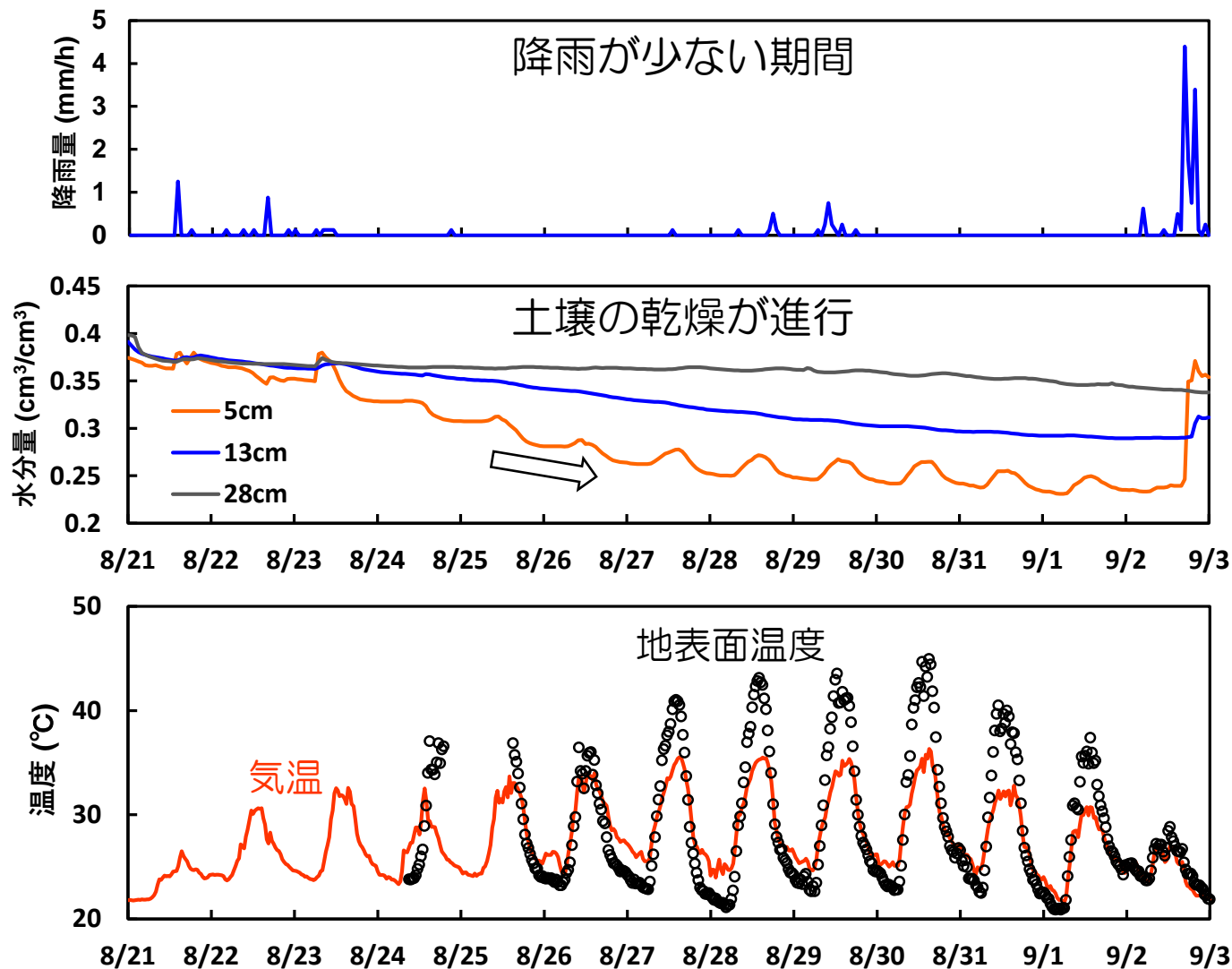
推定

不飽和透水係数



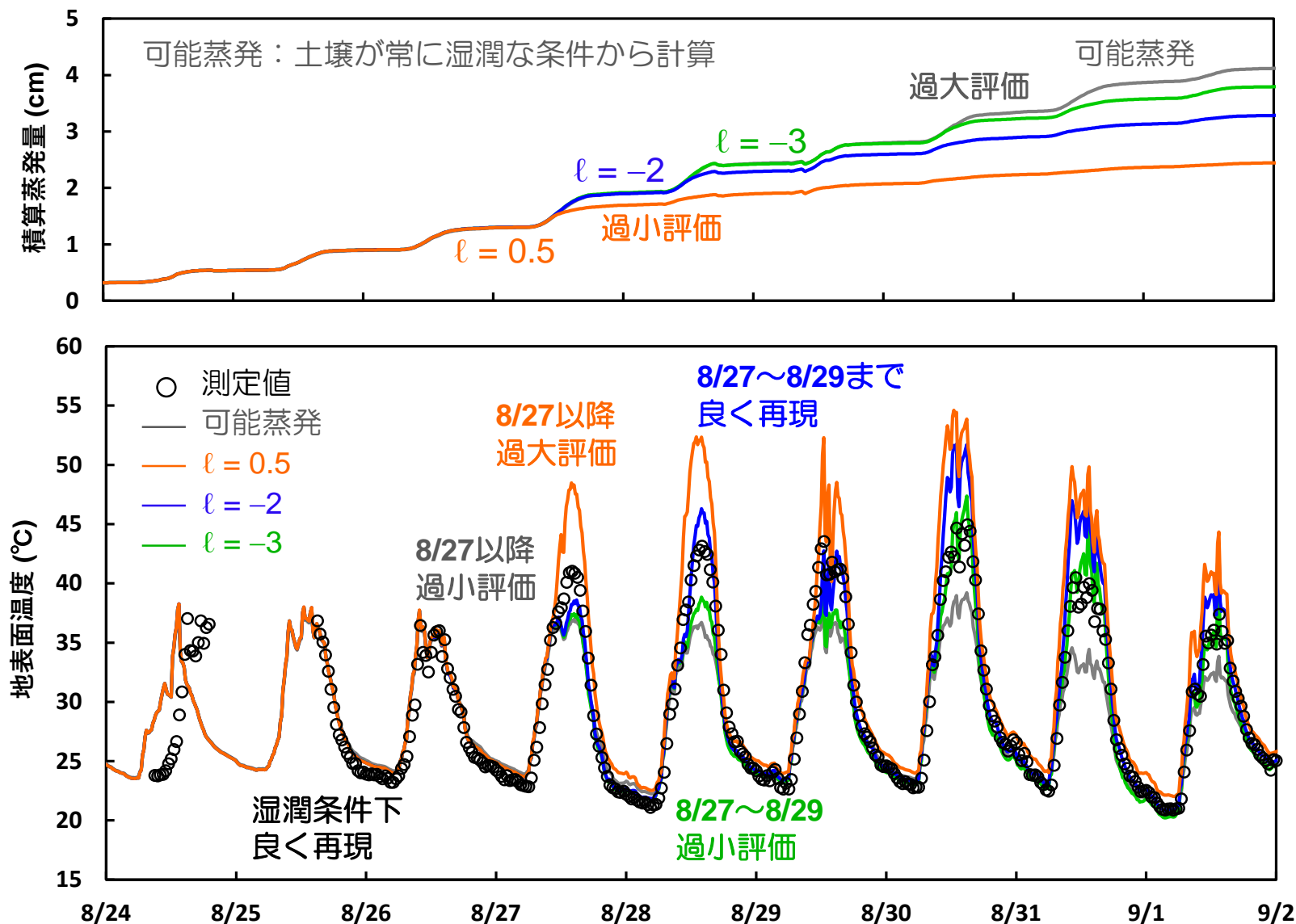
表層0-20cmの透水係数 $K(h)$ を変えて数値計算

地表面温度の測定結果



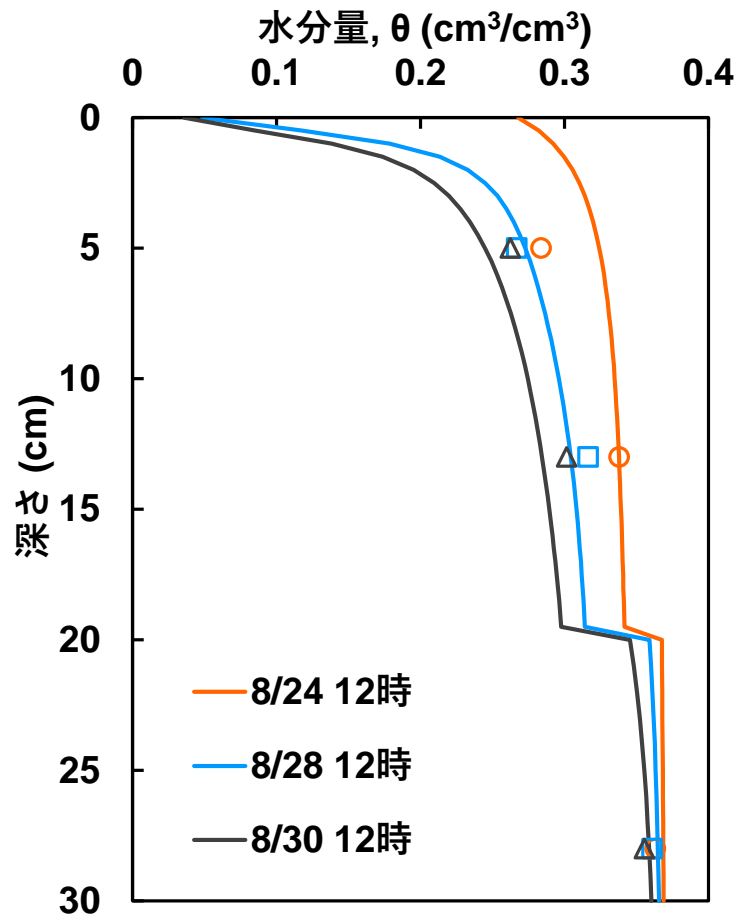
乾燥に伴い8/27頃から地表面温度が上昇

地表面温度の測定値と計算値

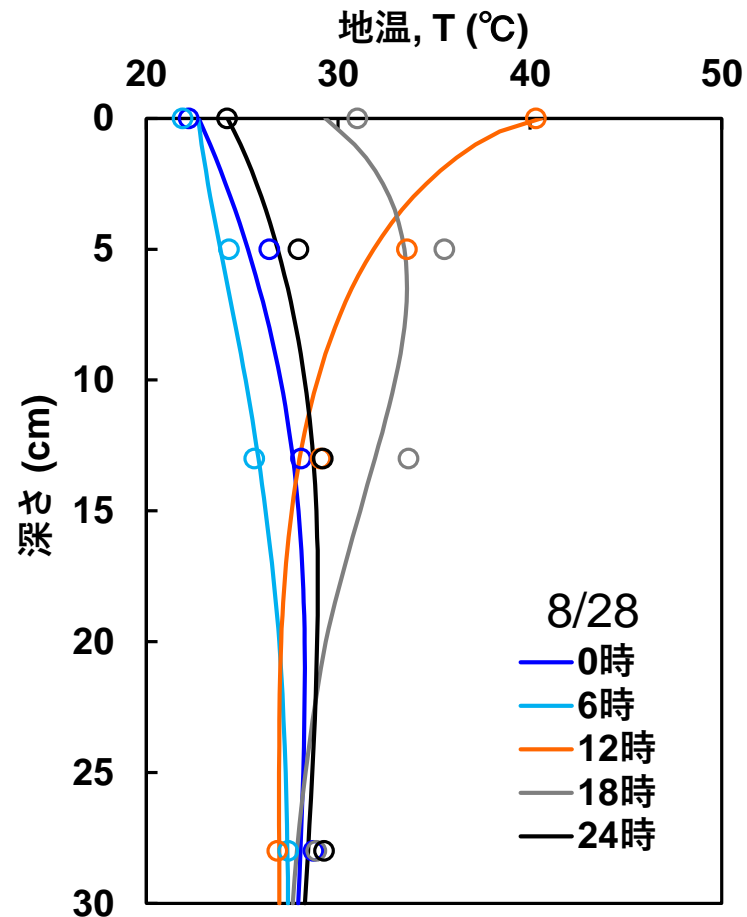


$l = -2$ で表される $K(h)$ が地表面温度を良く再現

$\ell = -2$ で計算した土中の水分・地温変化



水分の低下を概ね再現



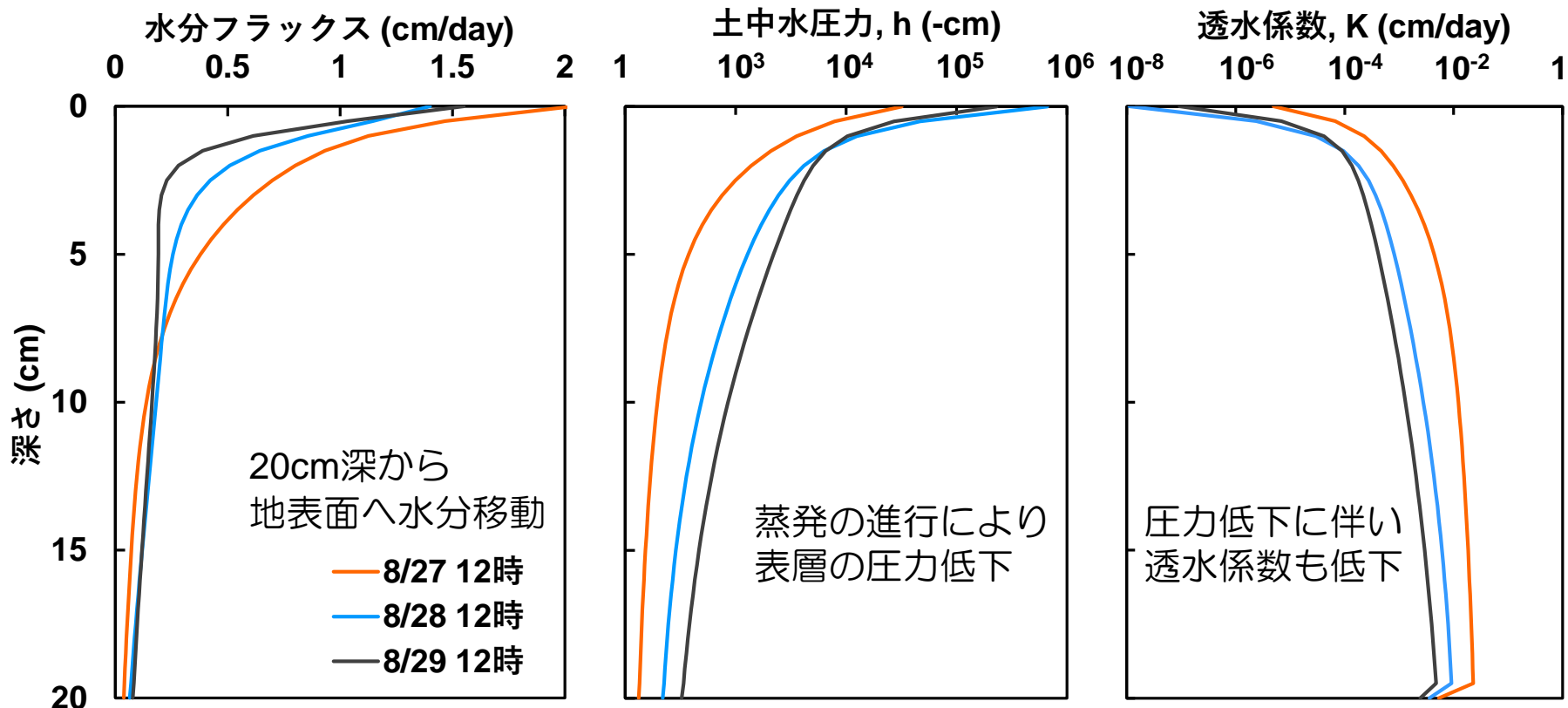
地温の日変化を良く再現

地表面温度から推定した $K(h)$ は、
表層の水分・熱移動を良く表現

不飽和透水係数K(h)の推定範囲

$\ell = -2$ を用いた計算結果

地表面温度の測定値を良く再現した8/27~8/29



推定したK(h)の圧力範囲は $-10^2 \sim -10^5$ cm程度

まとめ

乾燥過程での地表面温度上昇を再現する 表層土壌の不飽和透水係数を推定

- 赤外放射温度計を用いた地表面温度の測定
 - 乾燥に伴う日中の地表面温度の上昇
- HYDRUS-1Dを用いた数値計算
 - 間隙結合係数 $\ell = -2$ の $K(h)$ で測定値を良く再現
 - $K(h)$ の推定範囲は圧力 $-10^2 \sim -10^5$ cm 程度

地表面温度から表層の透水係数を推定できる可能性

UAVで地表面温度を測定し、圃場を面的に評価可能？