

# 地表面熱収支モデルによる畑地の蒸発散と土壌水分移動の解析

土壌圏循環学教育研究分野 518M223 高橋由奈

## I はじめに

土中水分量・地温の予測は、畑地の作物栽培に最適な灌漑や施肥管理に有効である。土中水分・熱移動の数値シミュレーションに必要な地表面境界条件である蒸発速度  $E_g$  や土中熱フラックス  $G_s$ 、および吸水項となる蒸散速度  $E_c$  は、気象条件と地表面熱収支から推定できる。Saito *et al.* (2006)は、地表面熱収支と土中水分・熱移動予測プログラム HYDRUS-1D を連結し、気象条件から裸地圃場の土中水分・熱移動の計算を可能にした。しかし、畑地では裸地から作物が生長するため、植生を考慮した地表面熱収支が必要である。Maruyama *et al.* (2010)は、植被面と土壌面における熱収支を計算する2層モデルを構築した(図1)。

$$\begin{aligned} Rn_c &= H_c + L_w E_c \\ Rn_g &= H_g + L_w E_g + G_s \end{aligned} \quad (1)$$

ここで  $Rn_g$  と  $Rn_c$  は土壌面と植被に対する純放射量 ( $W/m^2$ )、 $H_g$  と  $H_c$  は土壌面—大気間と植被—大気間の顕熱フラックス ( $W/m^2$ )、 $L_w E_g$  と  $L_w E_c$  は蒸発と蒸散による潜熱フラックス ( $W/m^2$ )、 $G_s$  は土中熱フラックス ( $W/m^2$ ) である。畑地の土壌水分・熱移動に注目すると、裸地では、耕耘後の降雨により地表面に形成される密で透水性の低いクラスト層が、水分移動や蒸発に与える影響を考慮する必要がある。また、植生下では、群落の放射透過率  $\tau$  は作物の生長にともない減少し、蒸発速度や土中熱フラックスが低下し、蒸散速度が増加する。そのため、 $\tau$  が熱収支や土壌湿潤条件下の可能蒸発散に与える影響の把握は重要である。本研究では、地表面熱収支に基づき気象条件から蒸発・蒸散速度を求め、数値計算で畑地土中の水分・熱移動を予測することを目的とした。ダイズ栽培圃場で現場観測を行い、圃場で得られた気象・生育データを用いて土中水分・熱移

動の数値計算を行った。本発表では、植生下の解析に焦点を当てる。群落の放射透過率  $\tau$  が地表面熱収支の各成分や可能蒸発・蒸散速度に与える影響の感度解析を行った。また、植物体の大きさが異なる土壌乾燥過程について、被覆率に基づく  $\tau$  を与えて計算し、水分量・地温の実測値との比較を行った。

## II 方法

三重大学附属農場のダイズ栽培圃場にて現場観測を行った。気象データおよび土中データとして土中水分量、土中水圧力、地温を各深さで測定した。数値計算には HYDRUS-1D を用いた。植生下で降雨後比較的湿潤な 7/31 を対象に、放射の群落透過率  $\tau=0.3, 0.5, 0.8$  を与えて地表面熱収支、蒸発散速度  $E$ 、地温の感度解析を行った。また、植生の大きさが異なる無降雨期間 2018/7/10~16(草高 40 cm, 被覆率 30%, LAI 1)と 7/31~8/6(草高 50 cm, 被覆率 60%, LAI 3)を対象に、放射透過率  $\tau$  を被覆率から与えた数値計算を行った。深さ 100 cm を計算領域とし、現場の層位に合わせた 0~20 cm, 20 cm 以深の 2 層に、土中水分量と土中水圧力の現場測定値に基づく水分移動特性を与えた。測定した気象データと生育データから求めた蒸発速度  $E_g$  と土中熱フラックス  $G_s$  を上端境界条件に与え、蒸散速度  $E_c$  を吸水項に与えた。

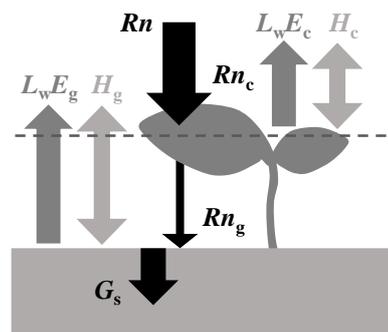


図 1. 2 層モデルの概略図

### III 結果

#### 1. 放射の群落透過率 $\tau$ の感度解析

図 2 に、7/31 において放射の群落透過率 $\tau$ を 0.3, 0.5, 0.8 としたときの蒸発散速度  $E$ , 蒸散速度  $E_c$  を示す。7/31 は土壌が湿潤であり、可能蒸発散速度で進行した。 $\tau$  の減少にともない日中の植被に対する純放射  $Rn_c$  が大きくなるため、 $E_c$  は増加し、蒸発速度  $E_g$  は減少した。一方、 $Rn$  と  $E$  の違いはなく、日蒸発散量はいずれも 0.7 cm 程度となった。図 3 に、 $\tau$  と可能蒸発散  $E_p$  に占める可能蒸発  $E_{gp}$  と可能蒸散  $E_{cp}$  の割合の関係を示す。 $\tau$  と  $E_{gp}/E_p$  は、ほぼ一価関係を示し、 $\tau$  は可能蒸発と可能蒸散の割合を決めるパラメータであると言える。

#### 2. 異なる植生条件での計算と実測の比較

図 4, 5 に、被覆率 30% で  $\tau=0.7$  とした 7/10 ~16, 被覆率 60% で  $\tau=0.4$  とした 7/31 ~8/6 の蒸発散速度  $E$  と蒸散速度  $E_c$  の計算値, 土壌水分量の実測値と計算値を示す。7/10 ~16 では、土壌乾燥にともない蒸発速度  $E_g$  は低下したが、 $E_c$  の低下は見られず、可能蒸散速度を維持した(図 4(a))。可能蒸発散で進行した 7/12 までの計算の水分量は実測を概ね再現したが、土壌乾燥が進行した 7/13 以降で実測値を過大評価した(図 4(b))。7/31 ~8/6 では、土壌乾燥にともない  $E_g$ ,  $E_c$  は低下した(図 5(a))。図 4 と同様に、8/1 までの計算は水分量の実測を概ね再現したため、 $\tau$  を被覆率で与えることで生長に応じた可能蒸発・蒸散の割合を与えられる可能性が示された。また、計算の水分量は、土壌乾燥が進行した 8/3 以降、特に 15 cm 以深で実測を過大評価したため、 $E_c$  を過小評価していると考えられる(図 5(b))。今後、土壌乾燥にともなう  $E_c$  の低下に影響を与える根の吸水モデルをより詳細に検討する必要がある。

引用文献:Saito et al., 2006, Numerical Analysis of Coupled Water, Vapor, and Heat Transport in the Vadose Zone, VZJ, Vol.5, 784-800.  
Maruyama et al., 2010, Coupling land surface and crop growth models to estimate the effects of changes in the growing season on energy balance and water use of rice paddies, Agricultural and Forest Meteorology, Vol.150, 919-930.

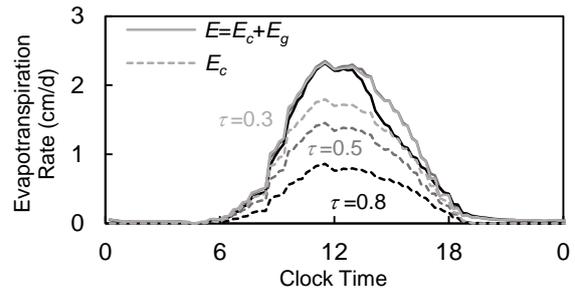


図 2. 群落透過率 $\tau$ による蒸発散・蒸散速度の変化

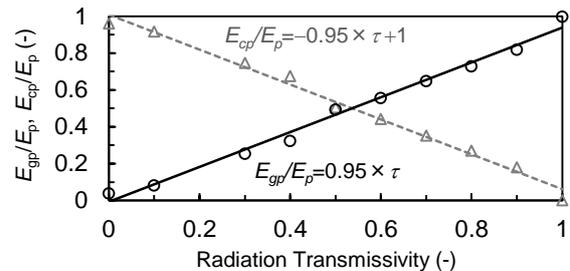


図 3. 群落透過率 $\tau$ と可能蒸発・蒸散の割合の関係

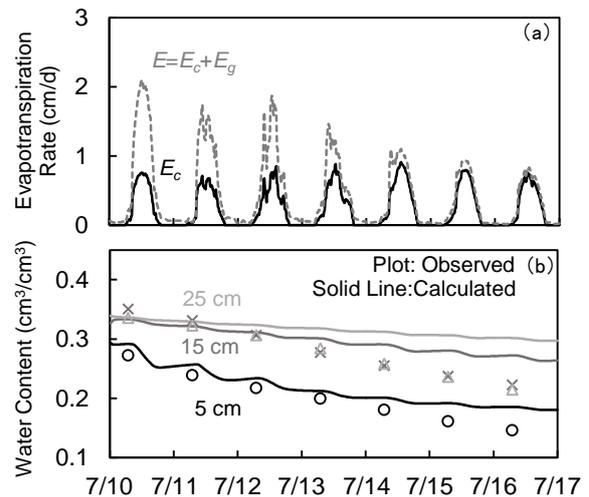


図 4. 被覆率 30% 時の蒸発散速度 (a) と土中水分量 (b)

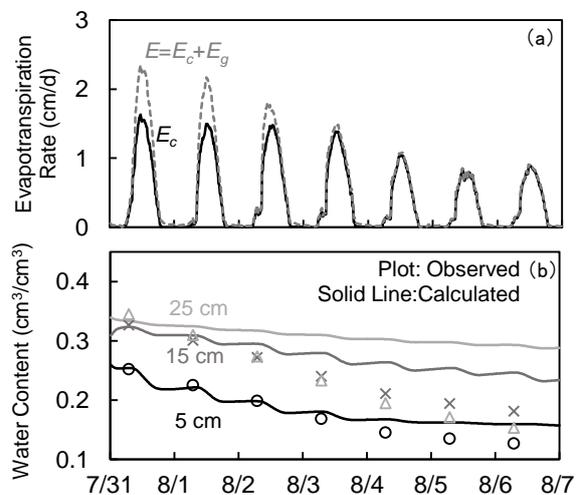


図 5. 被覆率 60% 時の蒸発散速度 (a) と土中水分量 (b)