

# 植物成長の数値モデルと天気予報を利用した灌漑水量の決定

## Determination of Irrigation Depths Using a Numerical Model of Plant Growth and Quantitative Weather Forecast

○藤巻晴行\* 柴田雅史\* 徳本家康\*\* 井上光弘\* 齊藤忠臣\*

○Haruyuki Fujimaki Masashi Shibata Ieyasu Tokumoto Mitsuhiro Inoue Tadaomi Saito

### 1 はじめに

半乾燥地においては水資源の需給が逼迫しており、より効率的な灌漑が求められている。必要な時に過不足なく灌水するために、各種センサーを用いた自動灌漑システムの開発と普及が進められているが、高い設置費用に加え、天気予報を考慮した調整が困難で降雨を有効利用しにくい、などの短所がある。その一方で、数日後までの数値天気予報が高い精度で可能になってきたことに伴い、天気予報を数値解析の入力データとして純収入が最大となるような灌漑水量の決定を可能とする社会的・技術的条件が整いつつある。そこで、自動灌漑システムによる灌漑区と、数値予報と土壌物理シミュレーションモデルを組み合わせた灌漑水量決定(シミュレーション灌漑)に基づく灌漑区とで、仮定の価格設定による純収入を比較することにより、後者の効果を評価することを試みた。

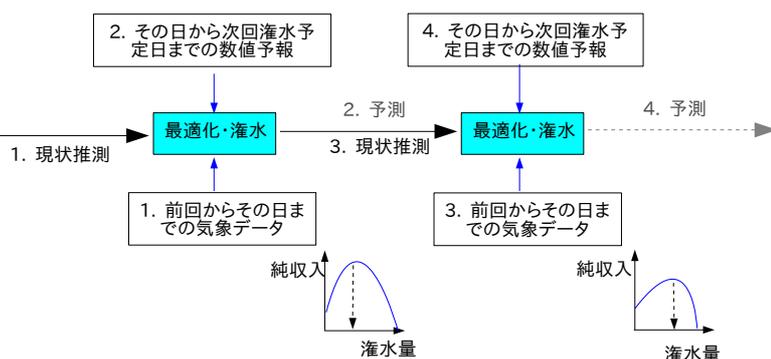
### 2 灌漑水量の決定法

灌漑水量は次の予定灌水日までの「純収入」が最大となるように決定する。本来、収入が得られるのは収穫後であり、ある灌水から次の灌水までの期間内に収入は発生しないが、その期間内に実現した乾物生産量の増分に概ね比例して収入が得られたと仮想して最適化を行う。ある期間内の純収入は次の式で与えられる。

$$\Delta N_r = P_c \varepsilon \int T dt - P_w \int q_i dt - \Delta C_{other}$$

ここで、 $\Delta N_r$ : 対象期間の純利益 (\$ a^{-1})、 $P_c$ : 作物価格 (\$ kg<sup>-1</sup> DM)、 $\varepsilon$ : 水利用効率、 $t$ : 時間 (s)、 $T$ : 蒸散速度 (cm s<sup>-1</sup>)、 $P_w$ : 水価格 (\$ kg<sup>-1</sup>)、 $q_i$ : 灌水フラックス (cm s<sup>-1</sup>)、 $C_{other}$ : その他の費用 (\$ a<sup>-1</sup>)である。期間内積算蒸散量は灌漑水量の関数であり、蒸散過程を組み込んだ土壌物理シミュレーションモデルは期間内積算蒸散量を与える「関数」として機能する。純収入と灌漑水量の関係は上に凸であり、必ず最大値が存在する。

作付後、初回の灌漑時に、観測開始日からそれまでの気象データをダウンロードして数値解析を行い、現状を推測する(update run)。これはいわばモニタリングの代用であり、最適化のための次の灌水までの数値予測の初期条件となる。次に灌水予定日までの数値予報をダウンロードして最適化計算を行う(optimization run)。その結果の最適値に従って灌水を行い、現状を再び推測する。以上のサイクルを収穫まで行う。本研究では、毎回の最適化計算において、試行を3回行い、3点の灌漑水量と純収入の関係から最適灌漑水量を求めた。



### 3 実験方法

16m×80mの圃場に、2013年6月4日、条間90cm、株間20cmでトウモロコシ(あまえんぼう86)を播種した。自動灌漑区(A区)とシミュレーション灌漑区(S区)を設け、S区の中央に位置するウェイングライシメータで蒸発散速度を測定した。灌漑にはチューブ間隔90cm、滴下間隔20cmの点滴灌漑を用いた。各区の深さ5、15、45cmにTDRと熱電対を埋設し、1時間ごとに水分と地温の自動測定を行った。自動灌漑区では、深さ15cmのTDR2本から出力される体積含水率の平均値が0.09を下回った際に、電磁弁を用いて1時間(約3mm)灌漑させた。S区では、土壌水分移動解析プログラムWASH\_2Dにより土壌中の水分分布や蒸発散量を予測し、それらの値から純収入が最大になるように灌漑水量を決定し、2日に一回灌漑

\*鳥取大学 \*Tottori University \*\*佐賀大学 \*\*Saga University キーワード: 水分移動, 畑地灌漑, 蒸発・蒸発散

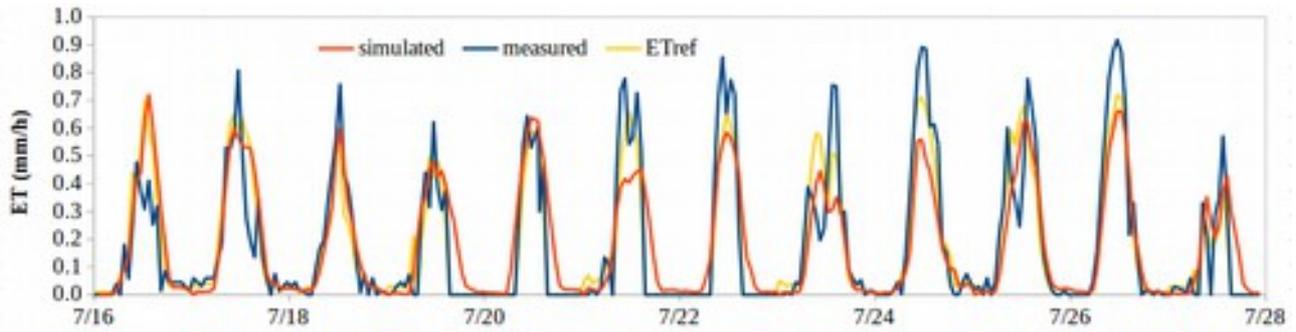


Figure 1. Comparison of measured and simulated ET

を行った。WASH\_2D に組み込まれている植物の生長モデル中のパラメーターは、実測値とのずれを基に 7/8, 7/16, 8/6 に調整した。初期生育期間中は S 区でも自動灌漑区と同量灌水し、7/1 に灌漑を開始させた。栽培期間中および収穫時に、葉面積、乾物生産量、草丈、茎直径、根群分布を測定した

**4 結果及び考察**  
蒸発散量の経時変化の数値解(update run)と実測値の例を Fig.1 に示す。数値解は蒸発散量をやや過小評価していることがわかる。これは蒸散作物係数を過小評価していたためと思われる。水分の経時変化の数値解(update run)と S 区での実測値の例を Fig.2 に示す。11 日と 14 日の灌水によるチューブ直下の水分上昇とその後の急減や、7/15 の降雨によるチューブから 40cm 離れた位置の水分の上昇を概ね良好に再現している。灌水量と 2 日間の予想蒸散量、純収入の予測値の関係の例を Fig.3 に示す。最大の蒸散量を与える灌水量よりかなり少ない水量を推奨値としていることがわかる。

収量と収入、支出、純収入(\$/a)を Fig.4 に示す。A 区に比べ S 区の方が灌水量が 1.5 倍多かったものの、収量がやや高くなり、水に対する支出は相対的に小さかったため、純収入は S 区がやや上回った。A 区の灌水量が少なかったのは、観測対象の 2 株のうち片方が重篤なアワノメイガの食害を受け、平均水分の減少が遅れたためと思われる。自動灌漑の観測は 3 株以上に対して行うことが望ましいだろう。

**5 まとめ**

数値予報と土壌物理シミュレーションモデルを組み合わせた灌漑水量決定法は、水分モニタリングに基づく自動灌漑より大きな純収入をもたらすことが明らかとなった。

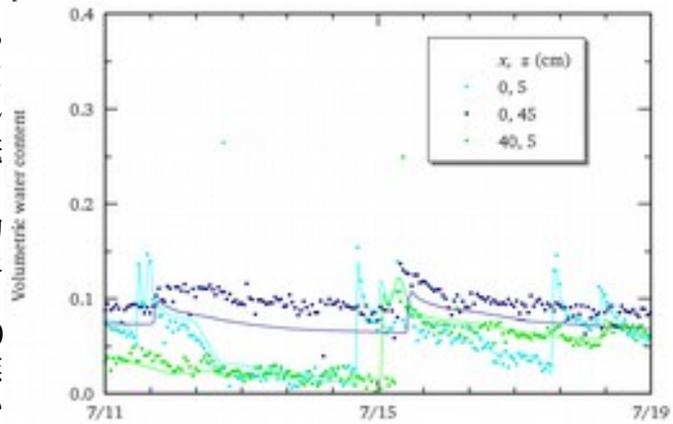


Figure 2. Measured and simulated water content and concentration for plot S

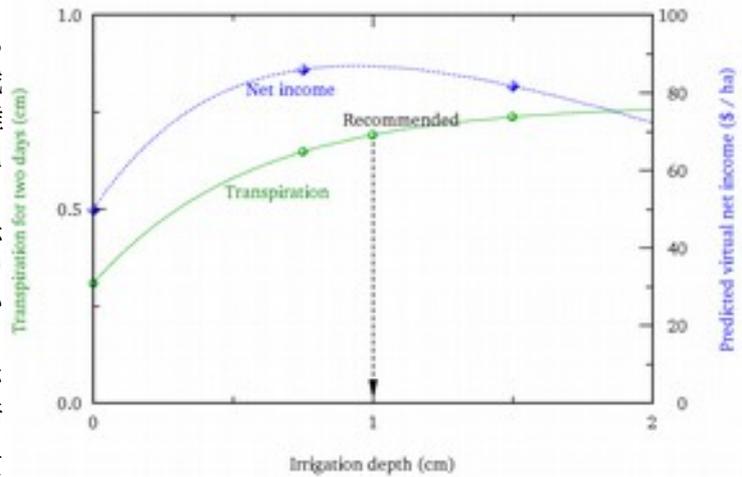


Figure 3 An example of predicted transpiration and virtual net income (Avg.20)

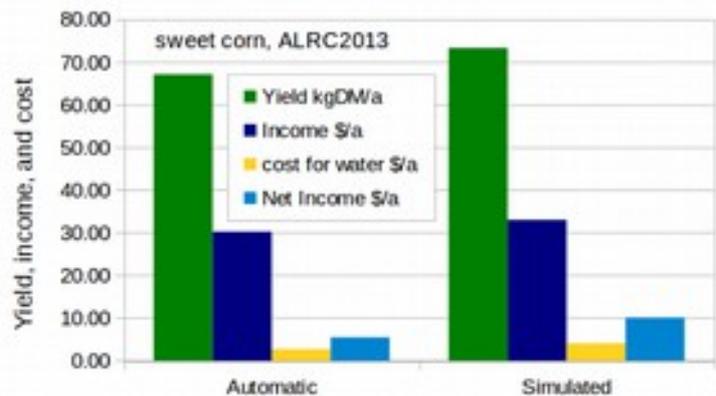


Figure 4. Comparison of yield and income