

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580335

研究課題名(和文) 数値天気予報と作物の成長モデルを活用した灌漑水量の決定

研究課題名(英文) Determination of Irrigation Depths Using a Numerical Model and Quantitative Weather Forecast and Comparison with an Experiment

研究代表者

藤巻 晴行 (FUJIMAKI, Haruyuki)

鳥取大学・乾燥地研究センター・准教授

研究者番号：90323253

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円、(間接経費) 1,200,000円

研究成果の概要(和文)：水分モニタリングに基づく自動灌漑区と、天気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に基づく灌漑区とで仮想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。1)鳥取の砂地圃場における大豆、2)チュニジア南部の砂質圃場における大麦、3)鳥取の砂地圃場におけるトウモロコシの3つの実験を行った。数値解析と実測値は概ね一致し、収入が乾物生産量に比例する場合には後者は前者と同等もしくはそれ以上の純収入をもたらしていることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：A scheme for determining irrigation depth using a numerical model of crop response to irrigation and quantitative weather forecast was presented. To optimize each irrigation depth, a concept of virtual income, which is proportional to an increment in transpiration amount during an irrigation interval, is introduced. The optimization module has been incorporated into a numerical model that simulates water, solute, and heat movement and crop growth. Three field experiments were carried out to evaluate effectiveness of the presented scheme. Results indicated that predicted water content and salinity agreed well with observation and net return were similar to treatment irrigated by an automatic irrigation system. These results revealed that proposed scheme can at least alter automatic irrigation systems and save costs for equipments such as soil moisture probes, dataloggers and solenoid valves.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学

キーワード：灌漑 作物の成長モデル 蒸散

1. 研究開始当初の背景

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。

2. 研究の目的

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。

3. 研究の方法

(1) 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、 ΔN_r ：対象期間の純利益 (\$ a^{-1})、 P_c ：作物価格 (\$ kg⁻¹ DM)、 ε ：水利用効率、 t ：時間 (s)、 T ：蒸散速度 (cm s⁻¹)、 P_w ：水価格 (\$ kg⁻¹)、 q_i ：灌水フラックス (cm s⁻¹)、 C_{other} ：その他の費用 (\$ a⁻¹)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) 圃場実験 1

17m×110mの砂地圃場に、2011年5月13日、条間30cm、株間20cmで大豆を播種した。自動灌漑区(A)とシミュレーション灌漑区(S)を設け、シミュレーション灌漑区の中央に位置するウェイニングライシメータで蒸発散速度を測定した。また、可能蒸散量測定用カラムと風速計を設置した。灌漑には散布直径11mのスプリンクラーを用い、配置は9.8m間隔の正三角形連結配置とした。

各区の深さ1, 5, 10, 20, 40, 70cm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10cmのTDR2本から出力される体積含水率の平均値が0.047を下回った際に、電磁弁を用いて1時間(5mm)灌漑させた。S区では、土壌水分移動解析プログラムWASH_1D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日に一回灌漑を行った。WASH_1Dに組み込まれている植物の生長モデル中のパラメータは、実測値とのずれを基に7/12に調整した。初期生育期間中はS区でもA区と同量灌水し、発芽後40日後にシミュレーション

オン灌漑を開始させた。可能蒸散量測定用カラムは、1/2000aワグネルポットに鳥取砂丘砂を充填し、圃場に埋設したポリバケツの中にカラム上面が地表面と同じ高さになるように設置した。土壌表面を発泡スチロールで覆い土壌面蒸発を抑制した。カラムは常に十分な灌漑を行い、水ストレスがかからないようにした。毎朝 7:00 にカラム重量を測定し可能蒸散量を算出した。栽培期間中および収穫時に、葉面積、乾物生産量、草丈、莖直径、根群分布を測定した。

(4) 圃場実験 2

チュニジア南部メデニン郊外の Institut des Régions Arides (IRA) の実験圃場において行った。自動灌漑区 (A区) とシミュレーション灌漑区 (S区) を設けた。各処理区に長さ 8 m 幅 2 m の 3 つの小区画を設置し、ランダムに配置した。土壌水分及び塩分を観測するため、各区に 5 本の 5TE (Decagon Inc., USA) を設置した。土壌面を発泡スチロールで被覆したポットを 2 個、土壌面が周囲と同じ高さになるように設置し、可能蒸散量を測定した。土壌は壤土質砂土であった。土壌水分移動特性、熱移動特性ならびに溶質移動特性を室内実験により測定した。

大麦の現地品種を 2012 年 11 月 28 日に播種し、各列 1m あたり約 20 株になるように間引いた。灌漑はエミッタ間隔が 20cm、チューブ間隔が 40cm の点滴灌漑システムにより行った。A区では深さ 10cm の 2 点の平均体積含水率が 0.1 以下になった場合に 20mm の水を与えた。灌漑水の電気伝導度は 8.7 ~ 9.5 dS/m であった。S区の灌漑間隔は 4 日とした。実際の気象データは実測し、天気予報は WeatherUnderground (<http://wunderground.com>) のウェブサイトからダウンロードした。作物の価格は 0.25\$ kg⁻¹DM、水の価格は 0.000015 \$ kg⁻¹ とした。

(5) 圃場実験 3

16m×80m の砂地圃場に、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水量を決定し、2 日に一回灌漑を行った。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、莖直径、根群分布を測定した。

4. 研究成果

(1) 圃場実験 1

子実乾物重 (kg/a) を基準にした収入、支出、純収入 (\$/a) を図 1 に示す。A区に比べ S区の収入は 5 割以下、純収入で 4 割以下になった。図 2 は、仮にシミュレーション灌漑区の子実 / 地上部乾物重比率が、A区と同じであったと仮定した場合の純収入である。この場合、S区の方が収入がやや少ないが、総灌水量が少なかったため、支出がわずかに低く抑えられ、純収入がほとんど変わらない結果となった。S区の子実 / 地上部乾物重比が小さかった理由は、生殖成長期において S区での灌水量もしくはタイミングに問題があったためと考えられる。数値解はセンサーによる実測値に概ね一致させることが

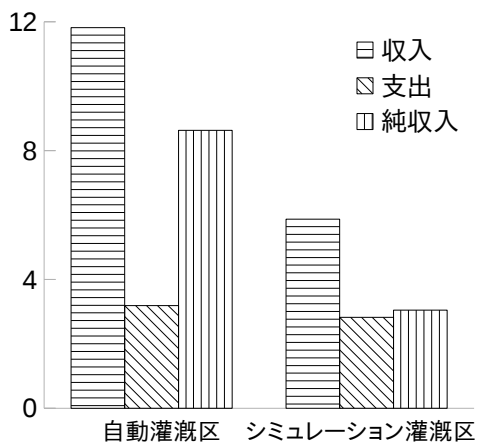


図 1: 子実乾物重を基準にした純収入の比較

できた。7/1 頃、水分の実測値が低下していたが、これはシミュレーション灌漑開始時であり、灌漑の実施が遅れたためである。この期間に不稔鞘が発生した可能性がある。また 8/5 に、鳥取砂丘砂において吸水が阻害される体積含水率 0.02 を下回っていた。この期間に子実の肥大が妨げられた可能性が考えられる。

また子実収量が新鮮重で A 区 1.5t/ha、S 区 0.8t/ha と少なかったが、雑草の過繁茂、カメムシを防除しなかった事、施肥のタイミングが適切でなく、肥料が溶脱したことなどが原因と考えられる。

(2) 圃場実験 2

収入、支出および純収入の比較を図 3 に示す。総灌水量は A 区の 548mm に対し、S 区は 514mm で、若干節水となったものの、子実収量が 84 kg/a と A 区の 98 kg/a より小さくなった。水の費用は収入に比べ相対的に小さいため、純収入は A 区が若干上回った。一方、子実を除く地上部乾物生産量では A 区の

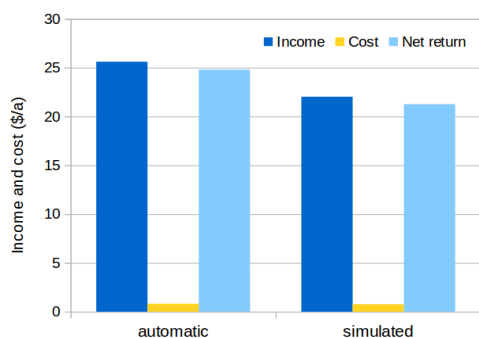


図 3: 子実乾物重を基準にした純収入の比較

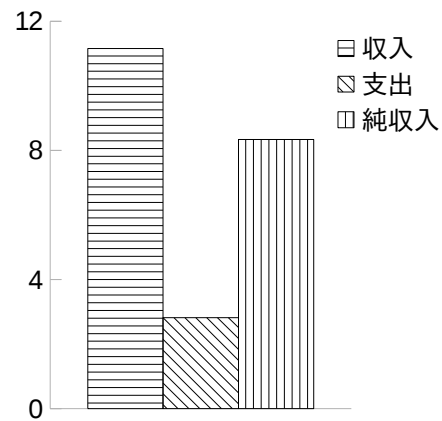


図 2: シミュレーション区の子実/地上部乾物重比率が、自動灌漑区と同じであったと仮定した場合の純収入

102kg/a に対して S 区は 98 kg/a でほとんど違いは無かった。従って、枝豆の場合と同様、開花期の弱い乾燥ストレスが子実収量を大きく減らしたものと思われる。開花期は乾物生産量増分あたりの仮想価格を引き上げるような補正係数を導入する必要があるかもしれない。

低収量のもう一つの要因は、シミュレーションの予測誤差にある可能性がある。土壌特性に加え、ストレス応答関数や成長モデル中のパラメータの適切な設定が求められよう。

(3) 圃場実験 3

水分の経時変化の数値解 (update run) と S 区での実測値の例を図 4 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。

収量と収入、支出、純収入 (\$/a) を図 5

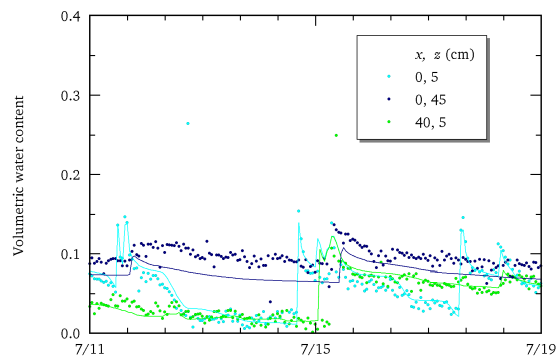


図 4: 水分の経時変化の数値解と実測値の例

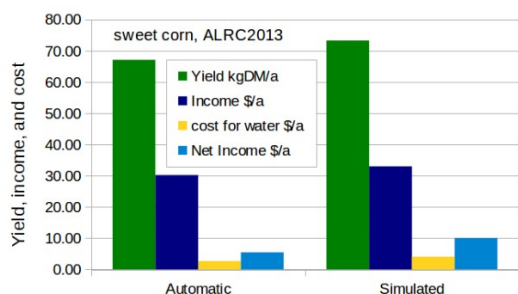


図 5: 子実乾物重を基準にした純収入の比較

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。

(4) 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していることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Saito T., H. Fujimaki, H. Yasuda, K. Inosako and M. Inoue: Calibration of temperature effect on dielectric probes using time series field data . Calibration of temperature effect on dielectric probes using time series field data, Vadose Zone Journal, 査読有 (in press).

[学会発表](計 3 件)

1) Fujimaki, H. , Tokumoto, I., Saito, T. and Shibata, M.: Determination of Irrigation Depths Using a Process Model and Quantitative Weather Forecas, ASA, CSSA, & SSSA 2013 International Annual Meetings, Tampa, USA (2014年11月6日) .

2) Okazaki, M., Kamel, N., Fujimaki, H. and Fathia, M.: Yield and water use efficiency of barley under different irrigation scheduling methods in southern Tunisia, 11th ICDD, Beijin,

China (2013年3月21日) .

3) 岡崎正泰・藤巻晴行・西原英治・井上光弘・齊藤忠臣: 植物の生長モデルと天気予報を利用した灌漑水量の決定. 平成 24年度農業農村工学会大会, 札幌(2012年9月20日) .

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

[その他]

WASH_2D(シミュレーションに用いた自作ソフトウェアの無料公開ページ)

http://www.alrc.tottoriu.ac.jp/fujimaki/download/WASH_2D

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤巻晴行(FUJIMAKI Haruyuki)

鳥取大学・乾燥地研究センター・教授

研究者番号: 90323253

(2) 研究分担者

齊藤 忠臣(SAITO Tadaomi)

鳥取大学・農学部・講師

研究者番号: 70515824