

島嶼域サトウキビ圃場における夏季干ばつに対する防災研究

農学部 肥山 浩樹

1. はじめに

わが国における島嶼域の多くは、農業が基礎的産業である。持続的な農業生産と振興には農業用水の安定的な確保が必要不可欠である。しかしながら、島嶼域では河川の発達に乏しく、天水やため池に依存した農業が営まれてきた。このため、作物の生育期である夏季に干ばつに見舞われると、代替水源の確保が困難となり、著しい農業被害を受ける。近年、この農業被害を軽減するために、沖縄県や鹿児島県では多くの地下ダムが建設されている。従来の上地上に築造されるダムと比較して、地下ダムは水没地がないことや堤体が安定していることなどの利点もあるが、適地が限られることや貯水効率が悪いことなどの短所も併せ持つ。

農業用水の確保や配水施設の規模決定、さらには、受益面積算定のためには、末端の圃場での消費水量を正確に推定する必要がある。本研究では、南西諸島から沖縄県にかけての島嶼域の基幹作物であるサトウキビの消費水量を、土壌水分の現地観測に基づいて評価すること目的とする。特に、サトウキビの生育にとって最も重要である梅雨明けから夏季にかけての消費水量について検討することで、夏季干ばつ期の生育不良を防ぐ手立てとなる。また、この時期に十分生育させることで、秋季に来襲する台風に対しても強いサトウキビを栽培できる。本研究により、実情に応じた畑地灌漑計画の推進が図られるとともに、気象災害に強いサトウキビ生産基盤の強化に貢献する。

2. 研究方法

2.1 試験圃場

試験圃場は、沖縄県糸満市照屋のサトウキビ圃場であり、前報¹⁾で使用した圃場の北隣に位置する。この圃場には米須地下ダムからの灌漑水が供給されている。観測期間は梅雨明け直後の令和元年6月27日から9月26日の3ヶ月間であり、観測終了時の9月27日における圃場の様子を図1に示す。栽培品種はNiF8(農林8号)であり、栽培型は株出しである。試験圃場の概要



図1 試験圃場

を図2に示す。圃場面積は約51aであり、畝間は通常より若干広い1.36mであった。試験圃場の土質は琉球石灰岩風化土であり、深さ70cmまでほぼ均質であった。試験圃場の中央付近に、4畝に跨がる5.4×5.4mの対象区画を設けた。これの概要も図2に併せて示す。

対象区画において、土壌の緻密度を測定するために、深さ方向の密度と土壌硬度分布を調査した。密度分布は、100cm³の定体積採土円筒を用いてサンプリングした。観測期間中に3回(6, 8, 9月)のサンプリングを行い、密度と同時に得られる体積含水率 θ を後述(2.4)の水分計の校正に利用した。土壌硬度は、先端角30°で底面積2cm²のポータブルコーン貫入試験器を用いて計測した。乾燥密度 ρ_d とコーン指数 q_c の鉛直分布を図3に示す。乾燥密度は、表層では小さいものの、深さ10cm以深では1.20~1.28g/cm³の範囲で推移している。コーン指数は、深さ15cmま

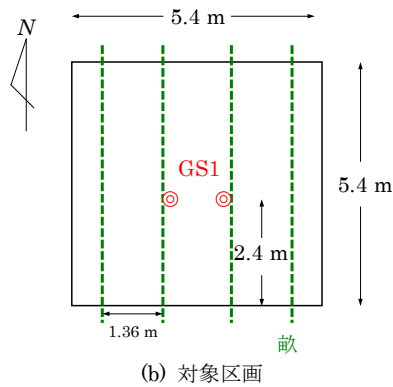
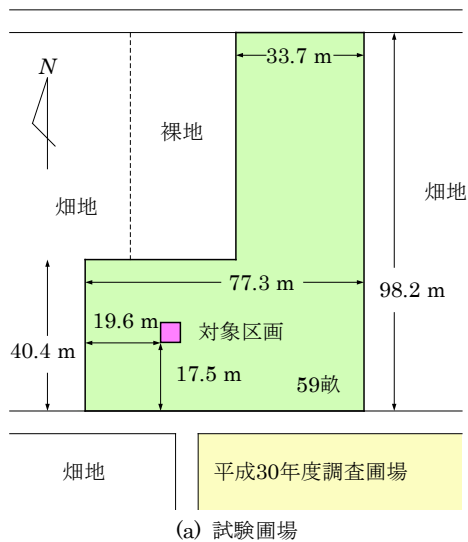


図2 試験圃場と対象区画の概要

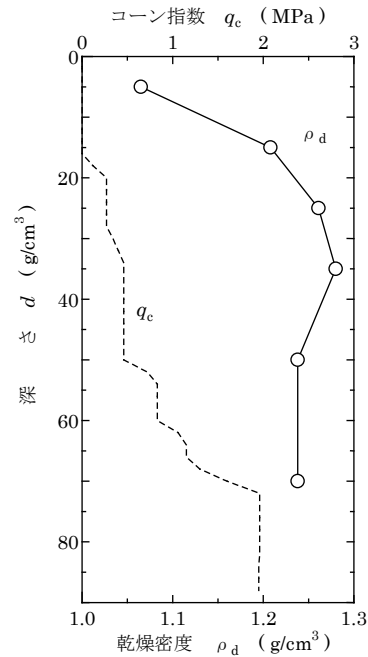


図3 ρ_d と q_c の鉛直分布

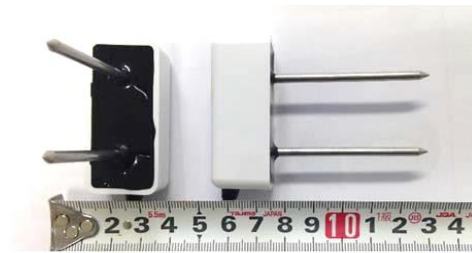


図4 GS1の外観

ではほぼ抵抗がなく、サトウキビ圃場の造成で対象となる深さ 60cm までは根の伸張を妨げない 1MPa 以下である。これ以深はやや硬くなるが、調査した深さ 90cm までは全て 2MPa 以下であった。前報¹⁾と比較すると、コーン指数はほぼ同じであったが、乾燥密度は今回の圃場の方がやや大きかった。

2.2 静電容量型土壌水分計

作物の消費水量を決定する方法としては、気象データから蒸発散量を算出するものやライシメータを用いて直接測定するものなどがあるが、従来から最も多く使用されているのが土壌水分減少法である。この方法では、植物根が容易に伸張し、養分を吸収しうる層である有効土層中に水分計を埋設し、経時的な水分変化量から日消費水量を算定する。水分計としては、土壌水分の負圧から水分量を換算するテンシオメータが用いられることが多かったが、近年、土壌の比誘電率 ϵ を計測することで土壌水分を推定する機器が開発され、実用に供されている。

比誘電率は物質固有の値を持ち、土壌中の空気、土粒子および水の比誘電率はそれぞれ 1, 3~5, 81 である。水の比誘電率が他と比べて大きいことから、土壌の比誘電率は水分量変化に敏感に反応する。比誘電率を測定するセンサーは、一般的には 2 種類が提供されている。1 つは電気インパルスが土壌中を通過する時間を計測するものであり、時間領域反射法 (Time Domain Reflectometry: TDR) や時間領域透過法 (Time Domain Transmission: TDT) など数種がある。もう 1 つは土壌のインピーダンス成分を測定することで比誘電率を測定する方式で、静電容量型土壌水分計 (Capacitance Sensor) と呼ばれる。前者と比べて後者は小型で安価なことが特徴である。比誘電率から土壌水分量を換算するには、Topp 式²⁾と呼ばれる式(1)がよく知られている。

$$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \varepsilon - 5.5 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 4.3 \times 10^{-6} \varepsilon^3 \quad (1)$$

ここで、 θ は体積含水率 (cm^3/cm^3)、 ε は比誘電率である。

この式は、砂質土壌に TDR を用いて行った実験式である上、比誘電率は土壌の電気伝導度、有機物含有量および温度の影響を受ける。また、製品自体に個体差があるため、精度が高い測定には現場条件に合わせた校正が不可欠である。

本研究で用いた静電容量型土壌水分計は METER 社製の GS1 (現製品名 TEROS-10) であり、データ収集には同社製のロガーである Em50 を用いた。GS1 の外観を図 4 に示す。一般的な TDR や TDT と比較すると、小型であるため埋設が容易である。

2.3 土壌水分の測定方法

土壌水分計は、図 2(b)に示す通り対象区画のほぼ中央部に、隣り合う畝で向かい合うように東西 2 箇所に埋設した。この時、周辺地盤を出来るだけ乱さないように、水分計が埋設可能な最小の幅でサトウキビの茎直下を鉛直に約 80cm 掘削した。埋設深さは畑地での土壌水分計測で標準とされる 5、15、25、35、50 および 70cm の 6 点とした。埋設時の様子を図 5 に示す。水分計の動作確認後、出来るだけ元の密度が確保できるように埋め戻した。その際、水分計のケーブルは、これを伝って水が浸入することを防ぐために、水平方向に充分伸ばし、ロガー側の端子は水分計から出来るだけ離れたところで地上に取り出した。観測期間中 (6/27-9/26) の測定間隔は 1 時間とした。

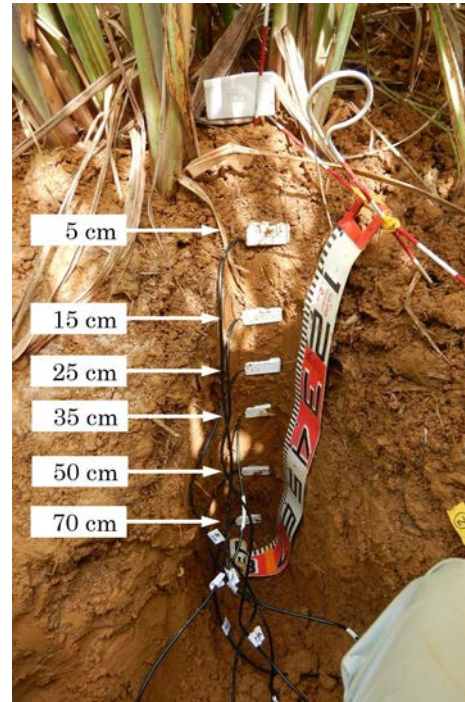


図 5 土壌水分計の埋設 (西側)

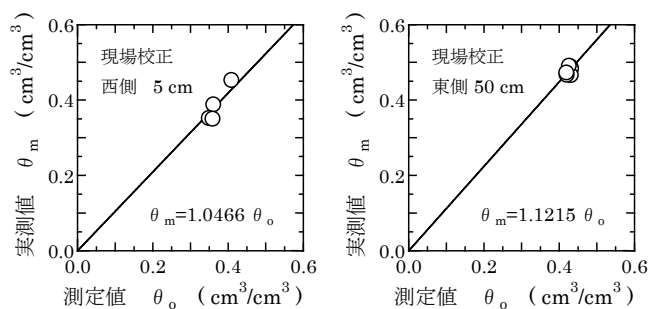


図 6 現場測定値による校正

2.4 土壌水分計の校正

土壌水分計は、前述の通り、現地土壌を用いて校正する必要がある。特に、本研究で対象としている土壌が粘性土であるため、Topp 式をそのまま適用することは困難である。通常は、現地土壌を室内で再現し、様々な水分量において水分計の出力を確認することで実施される。しかしながら、この方法では長時間が必要な上、室内で現地の土壌構造を再現することが極めて困難である。そこで、対象区画内で現地観測期間中に 3 回 (6 箇所)、水分計埋設深度にて定容積土壌サンプリングを行い、室内にて体積含水率の実測値 θ_m を求め、観測現場での土壌水分計の測定値 θ_o と比較することで校正した。その一例を図 6 に示す。現場測定値と室内実測値の間には線形関係が成り立つものと仮定して、両者の傾きを換算係数とし、これを測定値に乗じることで土壌水分を補正した。

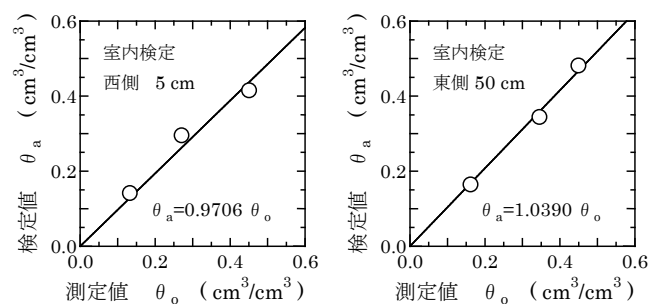


図 7 室内における検定

上記の補正方法だけでは、校正点が少ないことに加えて水分量の分布範囲が狭いことから信頼

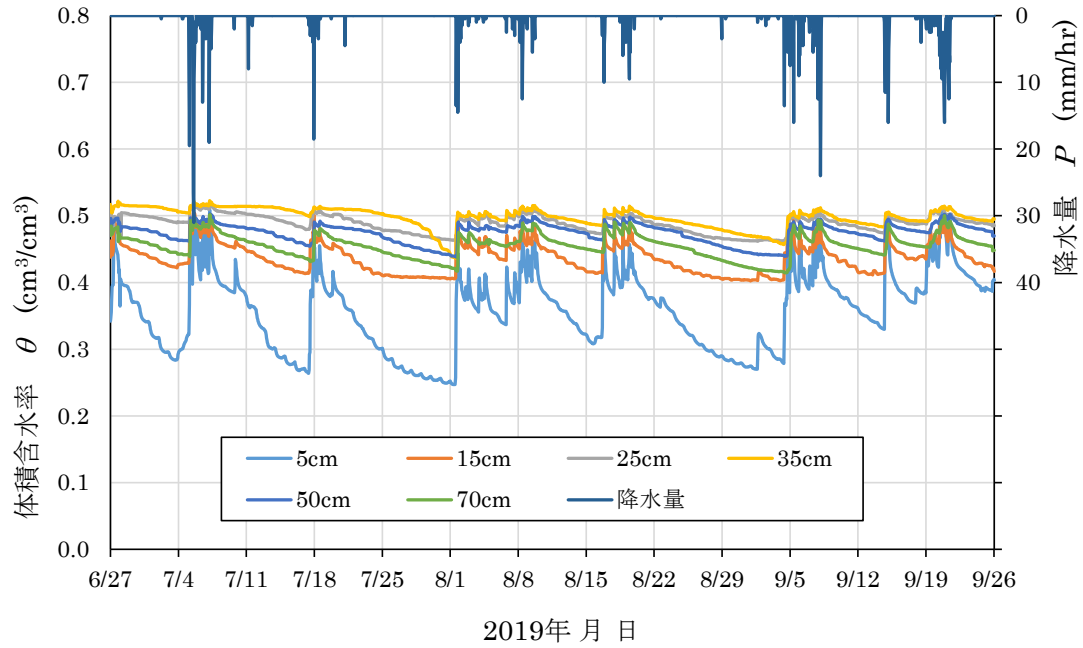


図 8 観測期間中の土壌水分の変化

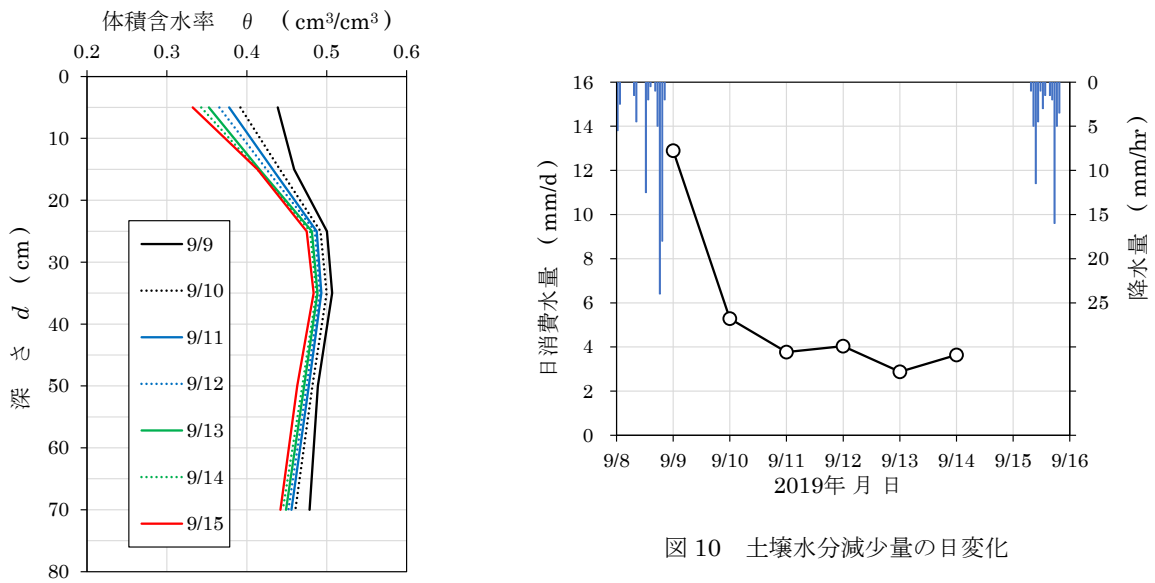


図 9 土壌水分鉛直分布

図 10 土壌水分減少量の日変化

性に欠ける。そこで、測定値と実測値の間に直線関係が成り立つのか室内で検定した。GS1 の測定影響範囲を包含するアクリル円筒内に、水分計が埋設された現地地盤と同じ乾燥密度になるように試料を締固め、GS1 を埋設した。試料の水分量は、ほぼ風乾状態から飽和に近い状態まで 3 通りに調整した。得られた検定結果の一例を図 7 に示す。室内で計測した GS1 の測定値 θ_m と検定値 θ_a の間にはほぼ直線性が認められたので、現場サンプリング試料に基づいた校正の妥当性が担保されたと判断した。

3. 結果と考察

観測期間中の土壌水分量と降水量の時間変化を図 8 に示す。土壌水分量は、前節の校正を施しており、畝間の東西 2 箇所得られたデータを平均している。降水量は、試験圃場から最も近いアメダスである安次嶺（那覇空港）のデータを用いた。なお、観測期間中に灌水は行われなかった。土壌水分は、降雨イベントが発生すると増加し、その後の無降雨期間に減衰する。この傾向

は最も浅い 5cm で顕著であり、深くなるほど反応に時間遅れが生じると共に変化が緩やかになる。一般的な畑地土壌では深くなるほど水分量が増加するが、この試験圃場では中位の 35cm において最大の水分量を示している。図 3 に示した乾燥密度のプロファイルと併せて考えると、この土壌は高い密度のときに保水性も高くなるであろうことが推察できる。

表 1 観測期間中の消費水量

| 期 間 (月日) | 日数 (d) | 総消費水量 (mm) | 平均日消費水量 (mm/d) | 最大日消費水量 (mm/d) |
|-------------|-----------|---------------|-------------------|-------------------|
| 7/11-7/18 | 7 | 32.2 | 4.6 | 5.6 |
| 7/21-8/2 | 11 | 47.1 | 3.9 | 5.0 |
| 8/9 -8/16 | 7 | 32.2 | 4.6 | 6.7 |
| 8/20-9/2 | 13 | 49.2 | 3.8 | 7.1 |
| 9/9 -9/15 | 6 | 32.5 | 5.4 | 12.9 |

時間経過と共に水分量が減少し、ほぼ無降雨期間と考えられる 5 つの期間を抽出し、土壌水分の鉛直分布の日変化からサトウキビ圃場の消費水量を推定した。この一例として、9 月 9 日から 15 日の 6 日間について解析した。この期間の土壌水分鉛直分布の日変化を図 9 に示す。深さ 15cm までの浅い部分での水分減少が特に大きい、最深部の 70cm まで全域に亘って水分減少が認められた。また、時間経過と共に水分の減少割合は減衰した。このことから、この圃場の有効土層を 80cm とし、日消費水量を求めた。得られた結果を図 10 に示す。降雨終了直後に日消費水量の最大値 12.9mm が得られたが、通常のサトウキビがこれだけの水分量を生育に資するとは考えにくいことと、直前の降雨イベントが総雨量 174mm で著しく多かったことから、有効土層最下端から下方への浸透が発生していると推察される。降雨直後を除けば、日消費水量は 3~5mm/d を推移した。この他の期間も含めて消費水量を取りまとめたものが表 1 である。いずれの期間についても同様な結果が得られており、このサトウキビ試験圃場の平均日消費水量はおおよそ 4.5mm/d であった。このことから、灌漑計画の策定において、灌水量を 5mm/d 程度とする必要がある。

4. おわりに

本研究では、小型で安価な静電容量型の土壌水分計を用いて、沖縄県糸満市のサトウキビ圃場において土壌水分を現地観測することで夏季の日消費水量を評価した。有効土層 80cm について土壌水分減少法により消費水量を推定したところ、無降雨期間の平均日消費水量は約 4.5mm/d であり、灌漑計画の策定には灌水量を 5mm/d 程度とする必要があることが分かった。また、従来からの課題であった土壌水分計の校正は、現地での定容積サンプリングや室内での検定試験を行うことにより、比較的簡便に必要な精度を得ることができた。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、糸満市土地改良区合同事務所 金城健正 事務局長には圃場の選定や農家との交渉でご尽力頂いた。また、赤嶺氏には試験圃場を快く提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 肥山浩樹(2019) : 島嶼域におけるサトウキビ圃場の消費水量に関する研究、鹿児島大学地震火山地域防災センター平成 30 年度報告書、129-134
- 2) Topp, G. C., J. L. Davis and A. P. Annan (1980) : Electromagnetic determination of soil water content ; Measurement in coaxial transmission lines, Water Resources Research, 16 (3), 574-582.