

# ドローンセンシングによるベントグリーンの 土壌水分ストレスの可視化と応用の可能性

～2025年芝草学会発表内容より改編～

丸和バイオケミカル株式会社

**MBC**

MARUWA BIOCHEMICAL Co., Ltd.

**UNICAS**



UTokyo

# 本センシング研究の背景および目的

- リモートセンシングは、多様な場面における植物生育や生理生態ストレス情報の検出に有効とされ、多くの場面でリモートセンシング技術が活用されている。
- ベントグラスグリーンの管理においても、水管理や施肥管理、薬剤散布の適正化など情報ニーズは高いが、本場面への応用は研究途上である。
- リモートセンシングにより、ゴルフ場グリーンの生育状態を把握することができれば、グリーンの品質管理レベルの向上に繋がると考えられる。

本研究では、以下 2 点を検討した。

- **ドローンリモートセンシングにより、グリーンの生理状態を可視化する技術の実証**
- **センシングと土壌水分における関係性の解明およびグリーン生育診断での利用可能性の検証**

# はじめに ~グリーンにおける生理的ストレス計量アルゴリズムの応用~

# 植物ストレス指数 (PSI) について

## ● 植物ストレス指数 (Plant Stress Index : PSI)

熱赤外面像による植物体の表面温度データおよび

地上での微気象データ (日射、風速、温度、湿度) をもとに

評価アルゴリズムで蒸散抑制レベルを算出する生理的ストレス指標

## ● PSIでわかること :

水不足や病気など気孔の閉鎖を伴う生理的ストレス反応を数値化。

→得られた数値を画像処理によりマップ上に表示すれば可視化できる。

→PSIを算出して画像に落とし込むことにより  
植物のストレスを可視化する。

## <PSIの算出>

熱赤外面像データ



微気象データ



日射  
風速  
温度  
湿度

評価アルゴリズム

$$\Psi = \frac{e_a - e_s}{e_s - e_w} = \frac{e_a - e_s}{e_s - e_w} = \frac{e_a - e_s}{e_s - e_w}$$

※この数式はダミーです

蒸散速度の変化, 気孔の開閉の有無を検出

蒸散が活発 PSI=0 蒸散がゼロ PSI=1

# PSI算出のための評価アルゴリズムの仕組み

## エネルギーバランスモデル

### ストレス指標

$$R_n = LE + H + G$$

(100) (60) (30) (10)

LE, 60

蒸散時の熱エネルギー

H, 30  
温度変化時に移動する熱

G 土壌熱, 10  
(地中への熱移動)

Rn (純エネルギー)

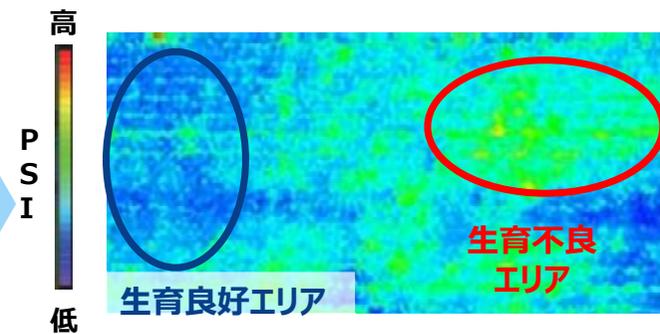
100

太陽光  
(エネルギー)

可視画像  
(ダイズ圃場)



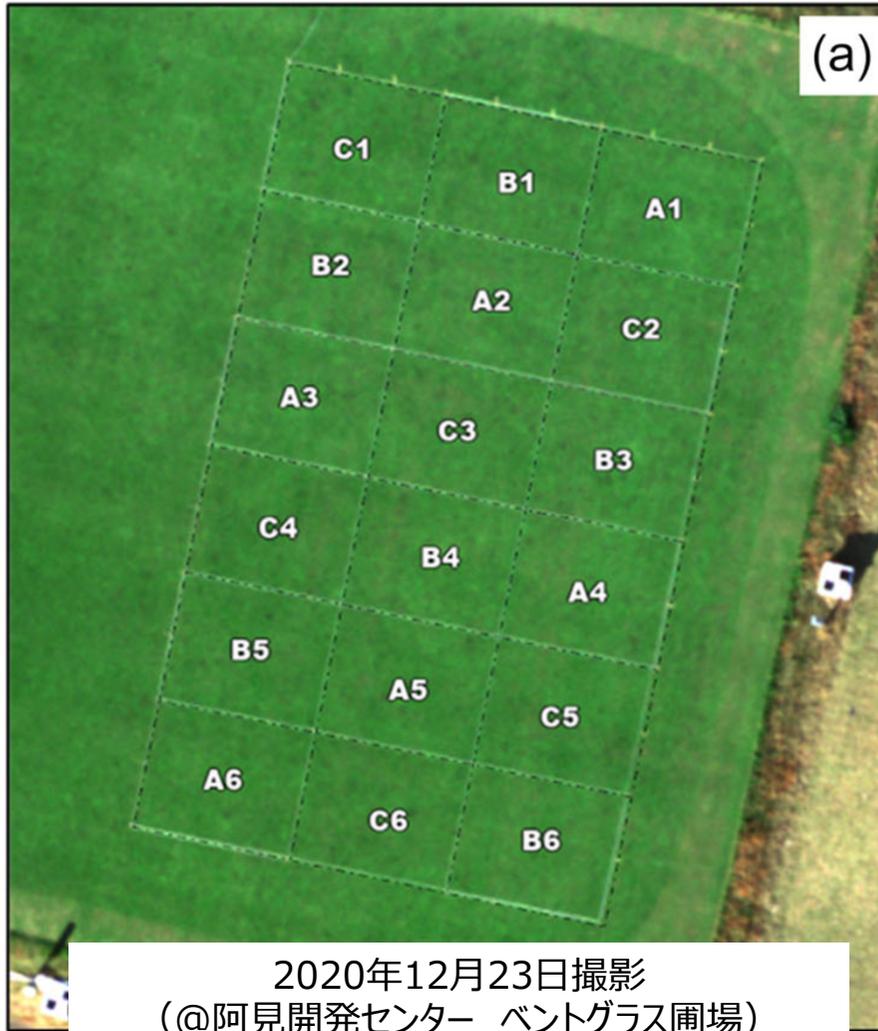
PSIマップ



➡環境条件を踏まえ  
植物の蒸散量LE(ストレスレベル)を推定



# グリーンにおけるドローンセンシングの検証



実施場所 : 丸和バイオケミカル株式会社  
阿見開発センター ベントグラス圃場

実施期間 : 2020年11月19日～12月28日

連制 : 1区5㎡ (2m×2.5m) 6連制

使用機材 : Zenmuse-XT2 (熱赤外画像・可視画像用カメラ)  
: DJI Matrice200v2 (センシング用ドローン)

計測機器 : 微気象センサー (気温・湿度・風速・日射強度の取得)  
: TDR350 (土壌水分測定, 12cm深)

飛行高度 : 60m (地上解像度 : 約8cm)

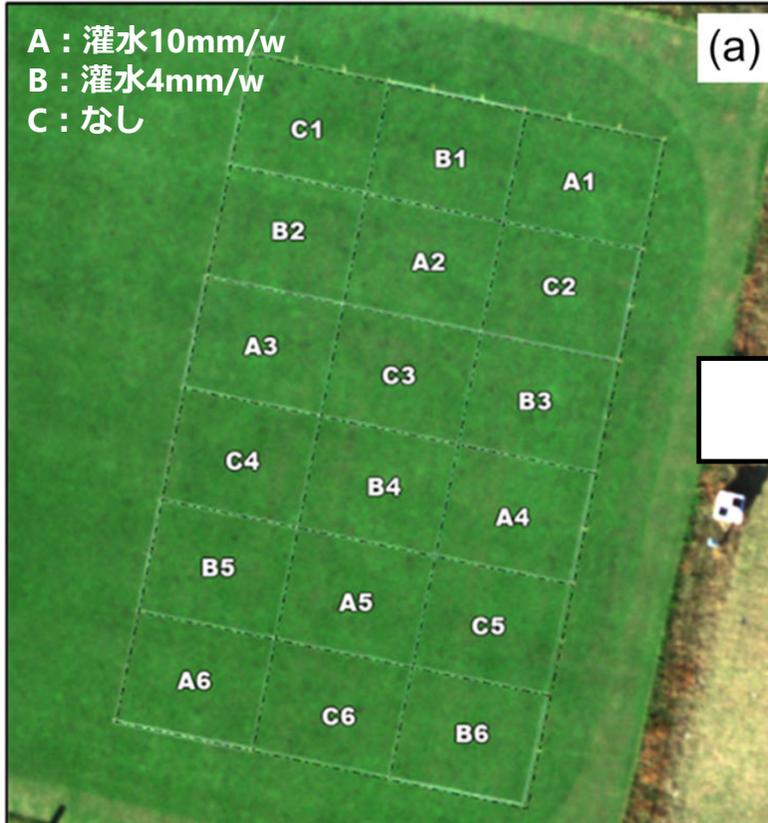
灌水管理 : 区ごとに灌水量を調節し、灌水の有無による影響を確認した。  
A : 10mm/w , B : 4mm/w , C : 灌水なし

備考 : センシングは灌水管理 2 日後に実施

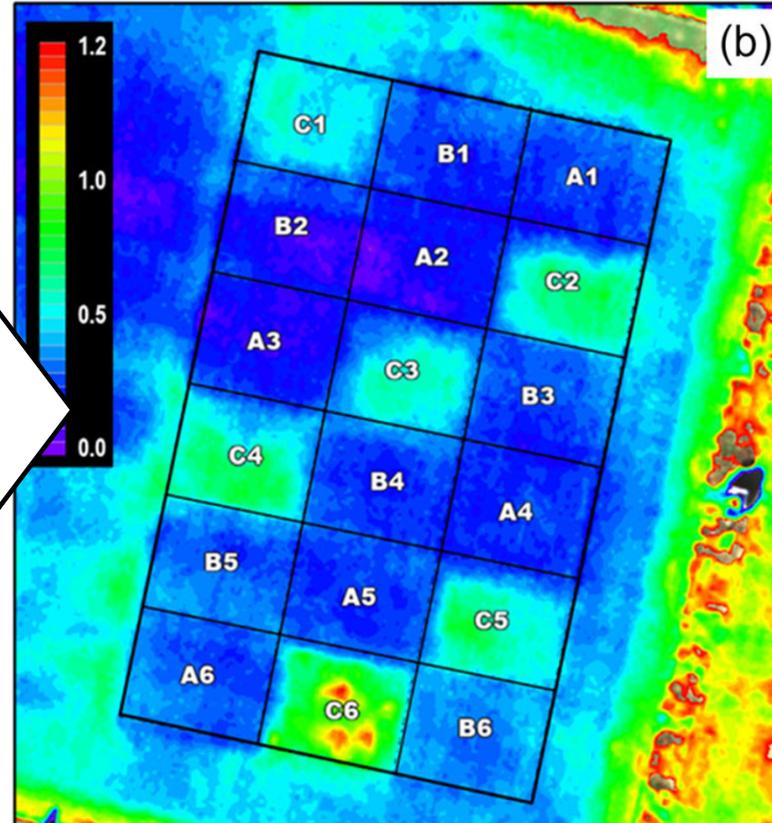
上記の条件で植物ストレス指数 (PSI) を算出し、  
ストレスマップ®を生成。

# 灌水の有無によるPSI値の変化

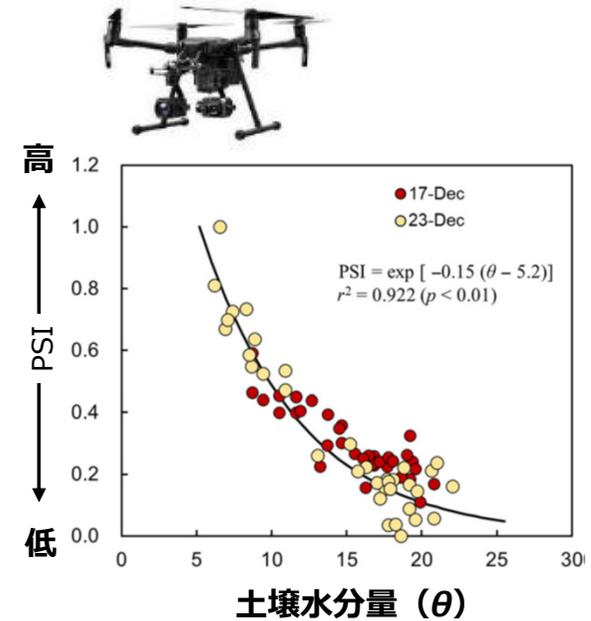
## 可視画像 (12/23撮影)



## PSIマップ°



## PSIの値と土壤水分を比較



- 可視画像では生育状況や葉色に違いはみられなかったが、PSIマップでは明瞭に差が認められた。
- 乾燥条件下において、PSI値と土壤水分量 (θ) では高い相関が確認された。

# (1) ゴルフ場でのセンシング実証試験

# 実証試験概要

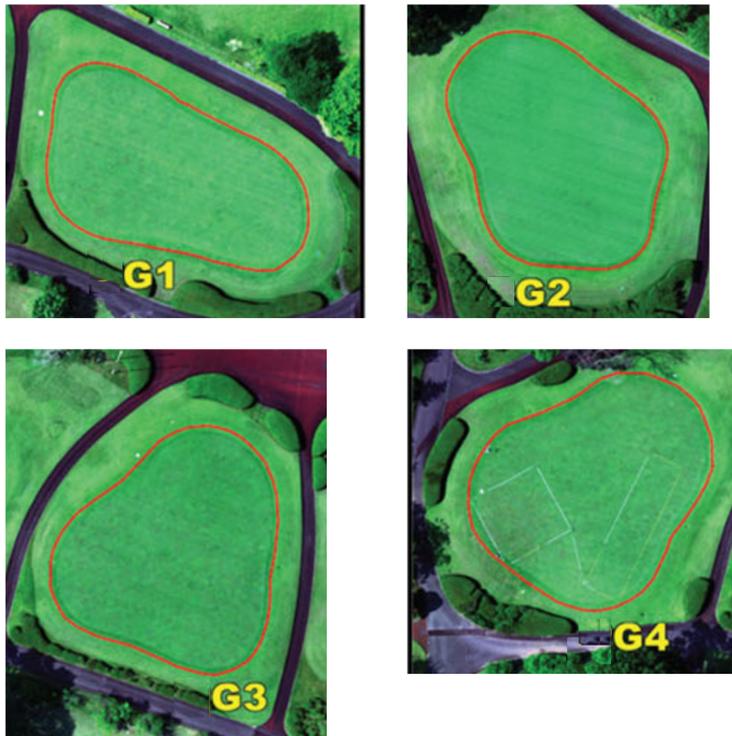
- 実施場所 : 茨城県内ゴルフ場ベントグラスグリーン
- 実施期間 : 2021年6~8月 および 2022年6~8月  
(ドローンセンシング : 約2週間ごとに実施)
- 使用機材 : DJI Zenmuse-XT2 (熱赤外画像・可視画像用カメラ)  
: DJI Matrice200v2 (センシング用ドローン)
- 計測機器 : 微気象センサー  
: TDR350 (土壌水分測定, 12cm深)
- 飛行高度 : **80m** (地上解像度 : 約10cm)

**サーモカメラ****微気象センサー****日射  
風速  
温度  
湿度**

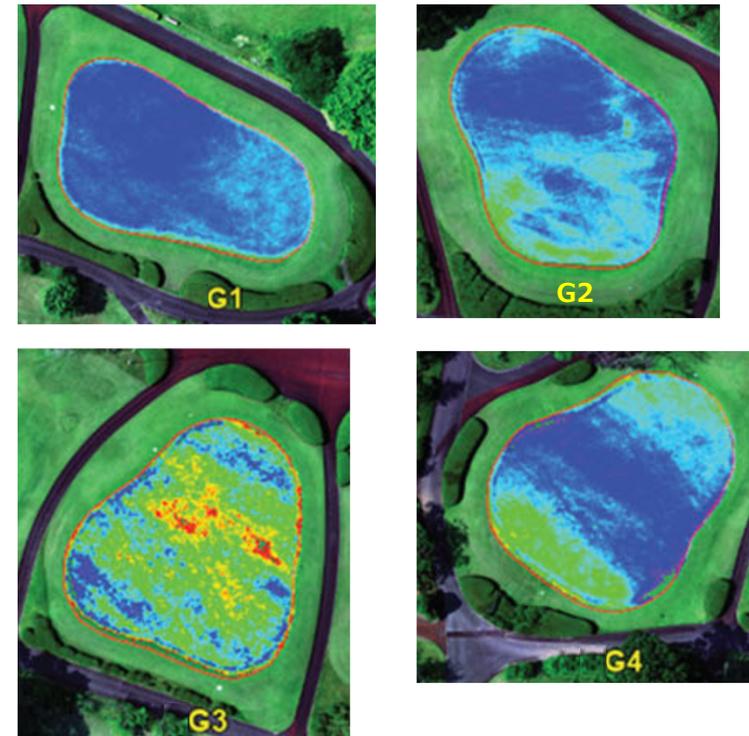
上記内容をもとにPSI を算出し、  
ゴルフ場グリーンにおけるストレスマップを生成した。

# PSIマップの生成：2021年7月20日撮影

## 可視画像



## PSIマップ



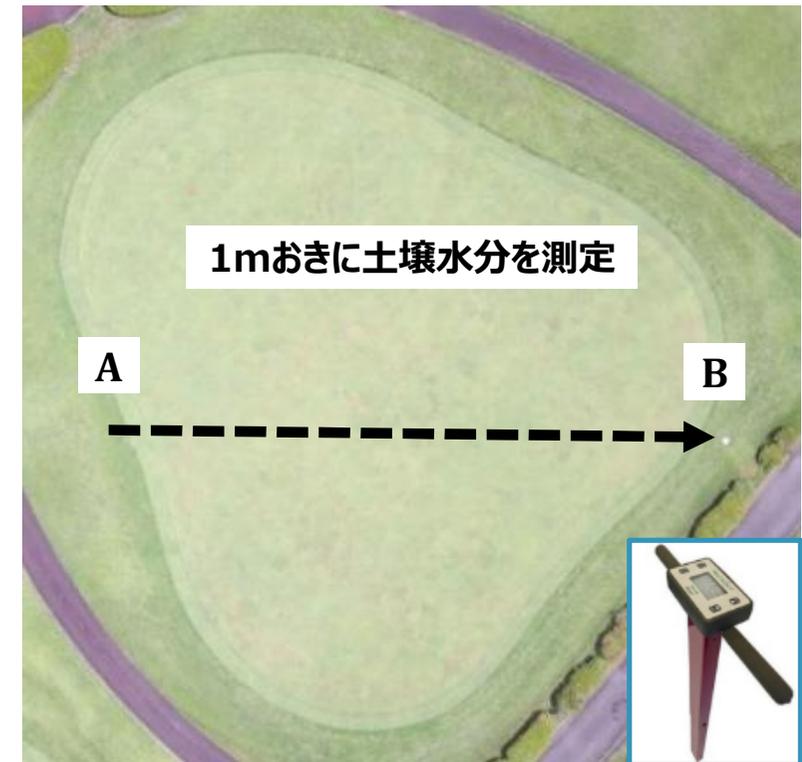
- 撮影した4つのグリーンにおいて、PSIマッピングによりグリーン内のばらつきが確認された。
- 特にG3では、高いPSI値を示す場所が見られた。

## (2) 植物ストレス指数 PSI と土壌水分の 関連性の検証

# 試験概要

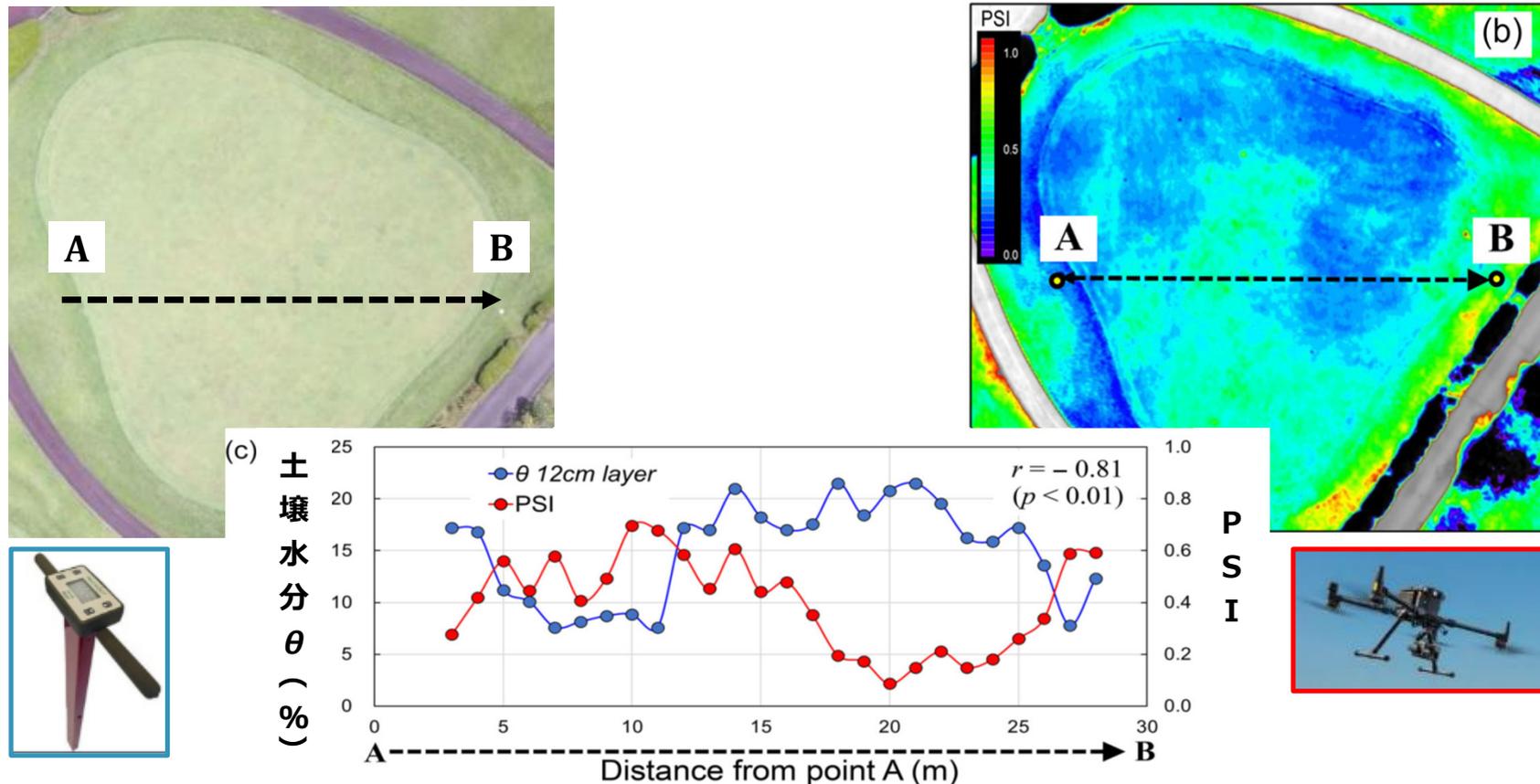
- 実施場所 : 茨城県内ゴルフ場
- 実施期間 : 2021年8~9月 計4日間  
(8/30, 9/9, 9/19, 9/27)
- 使用機材\* : DJI Zenmuse-XT2 (熱赤外画像・可視画像用カメラ)  
: DJI Matrice200v2 (センシング用ドローン)  
\*8/30のみドローンセンシングを実施
- 計測機器 : 微気象センサー  
: TDR350 (土壌水分測定, 12cm深)
- 測定手法 : A地点~B地点にかけて、1m間隔で水分測定

**PSIと土壌水分の関係性と  
それらの面的変動パターンを調査した。**



グリーン No.3

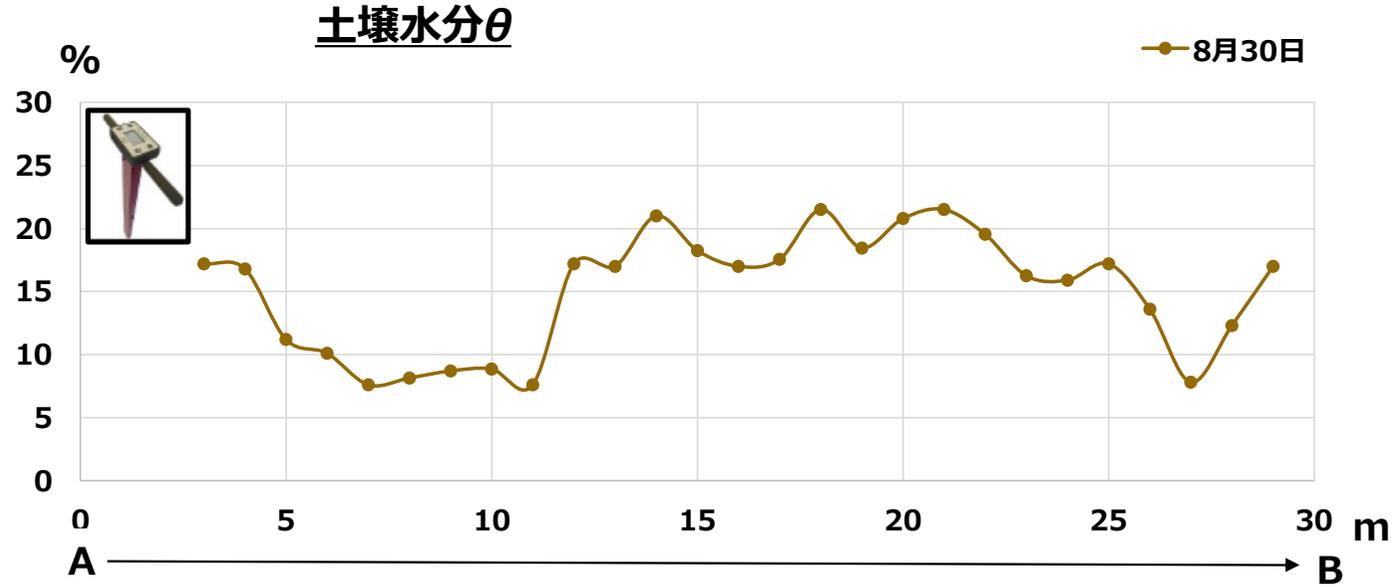
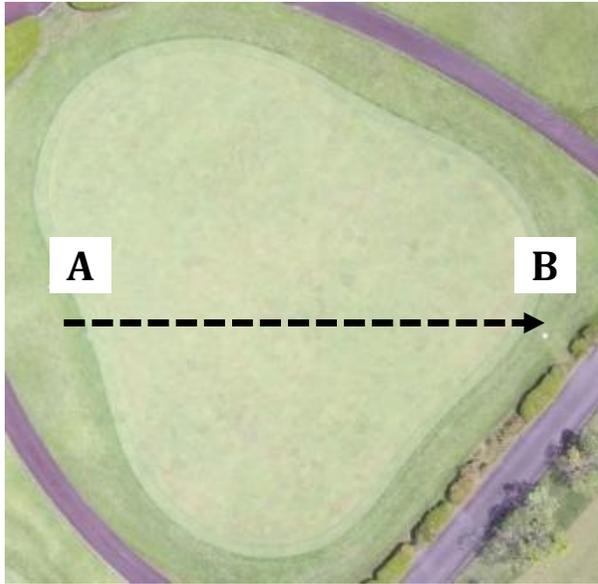
# PSIと土壌水分の関係性 (8/30撮影@G3)



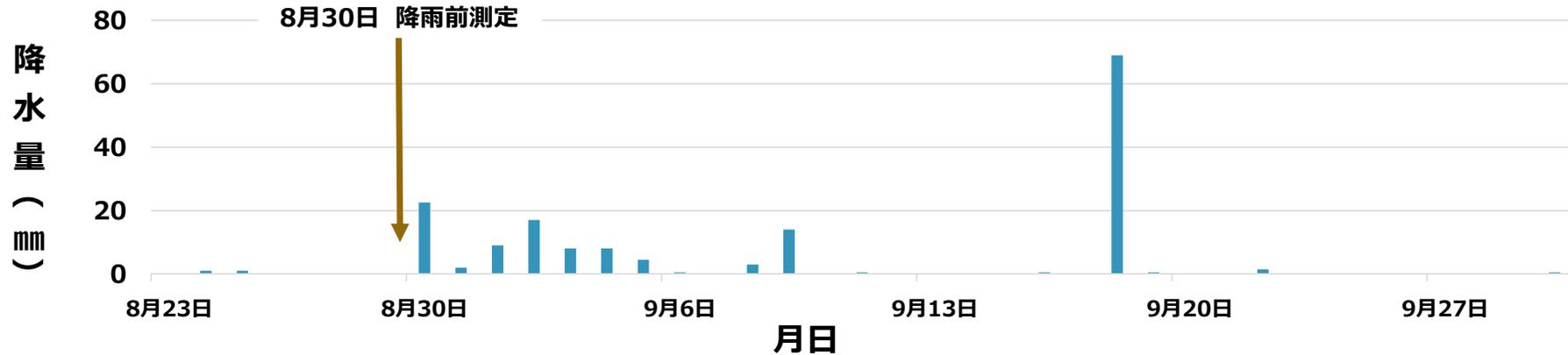
- PSIと土壌水分 $\theta$ との相関係数が $r=-0.81$  ( $P<0.01$ ) と強い負の相関を示した。
- センシングによりPSIを把握できれば、面的な土壌水分の把握が可能と考えられる。

# 土壌水分の経時変化

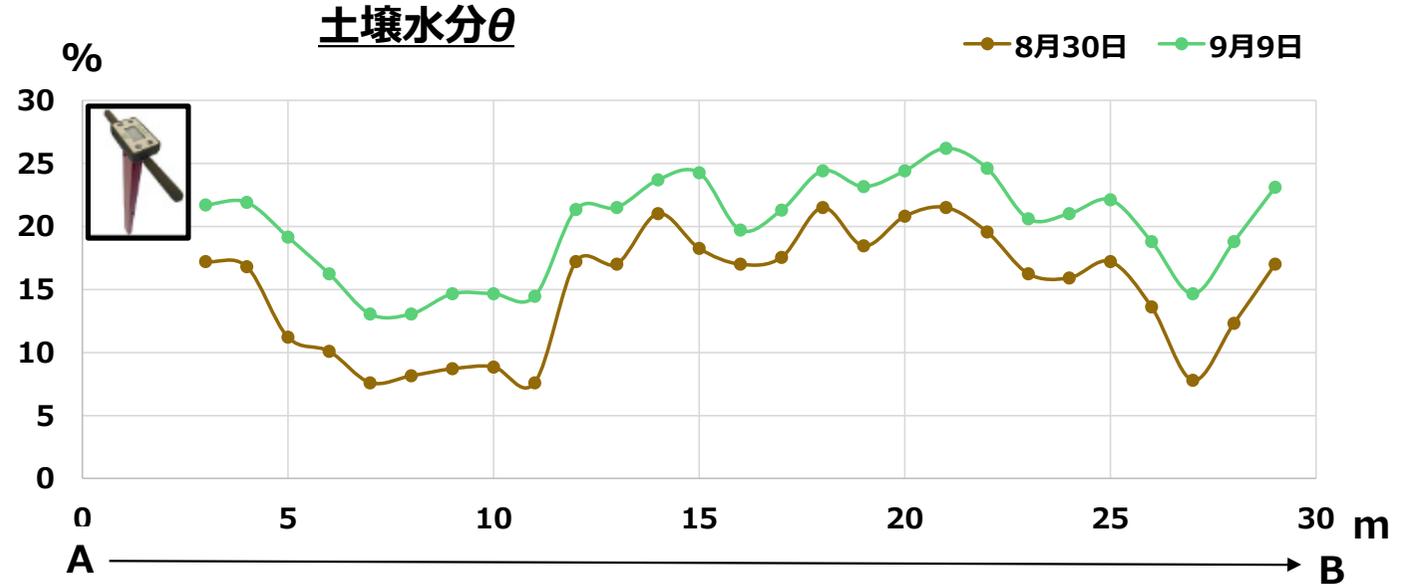
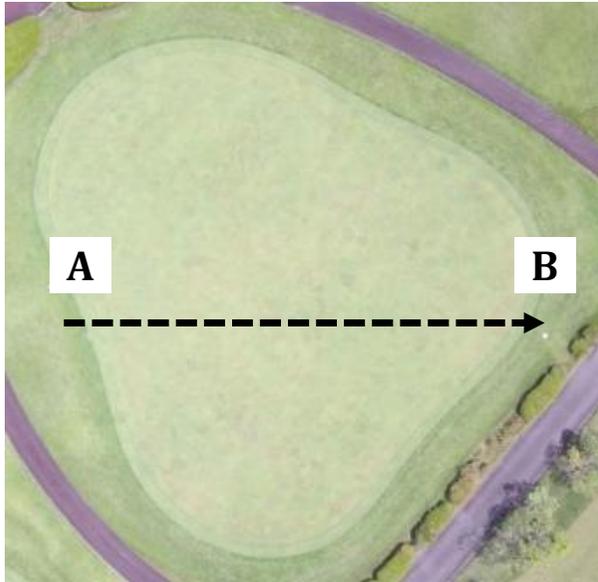
# 8/30調査（降雨前の土壌水分測定）



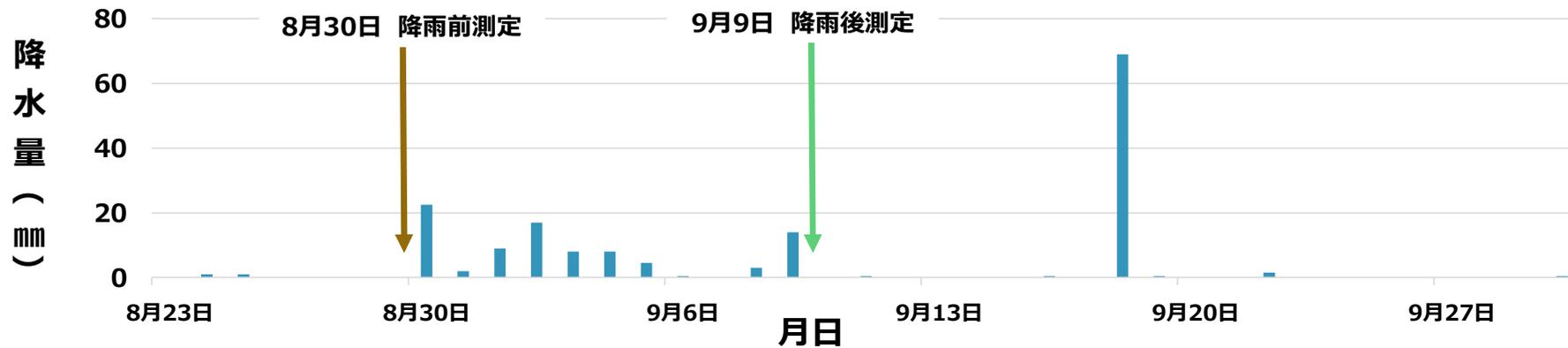
### アメダス ゴルフ場周辺の降水量 (mm)



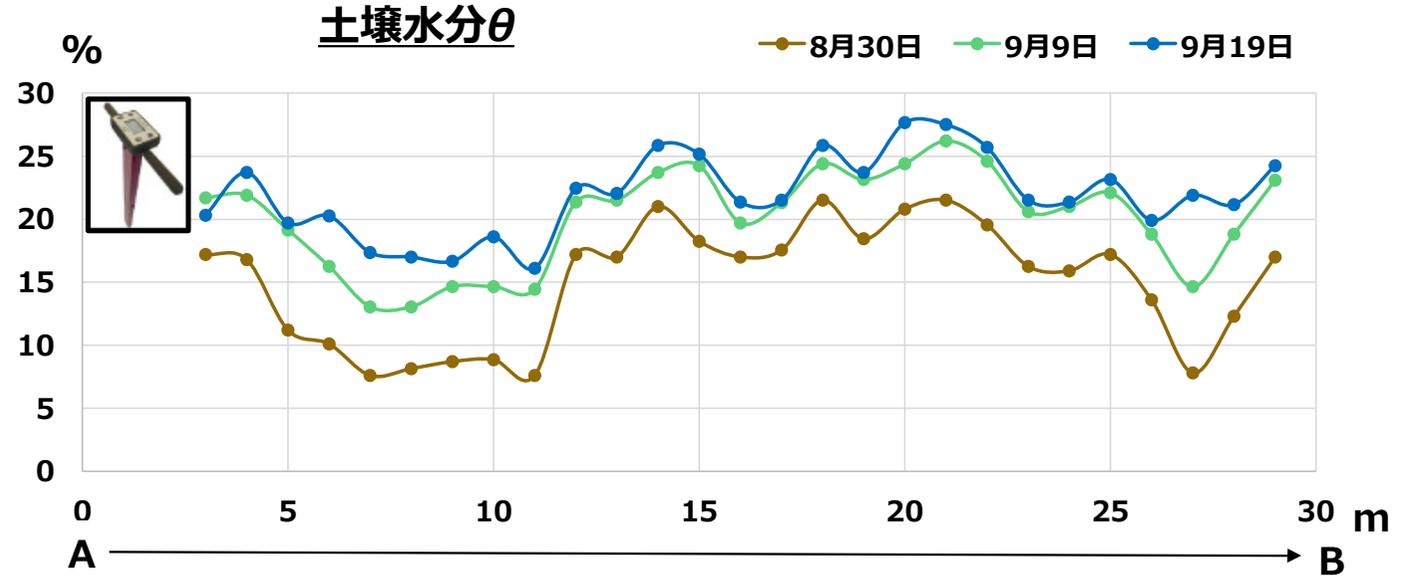
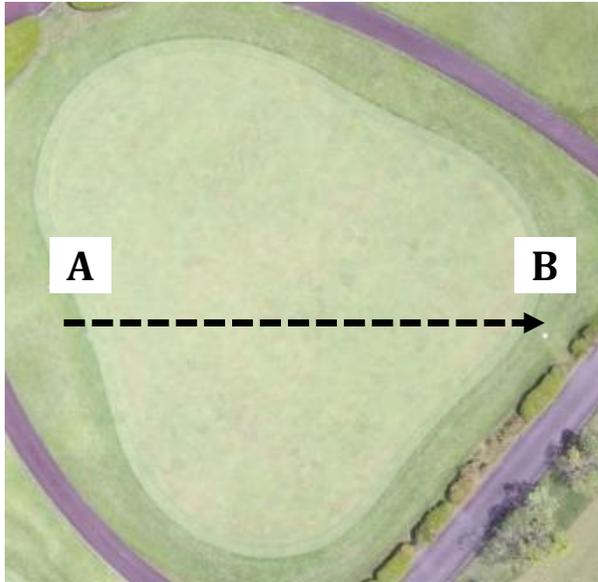
# 9/9調査（降雨後に土壌水分測定）



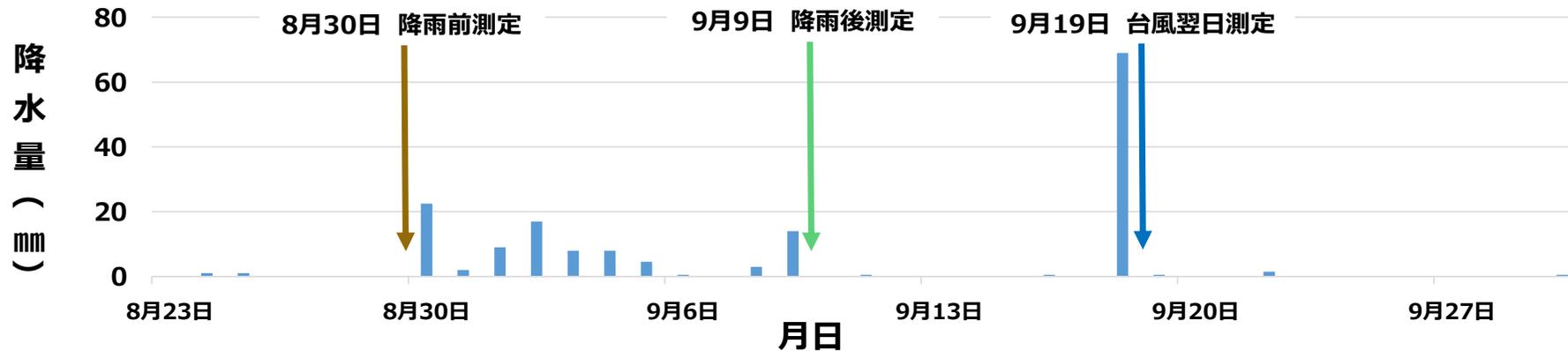
### アメダス ゴルフ場周辺の降水量 (mm)



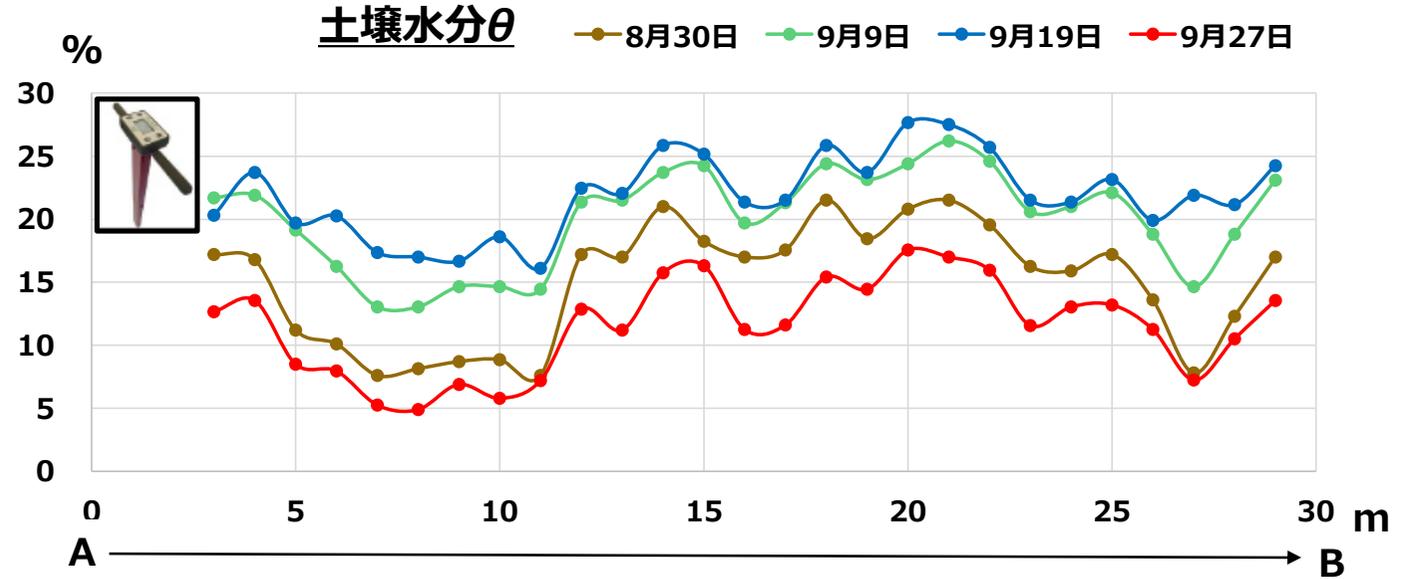
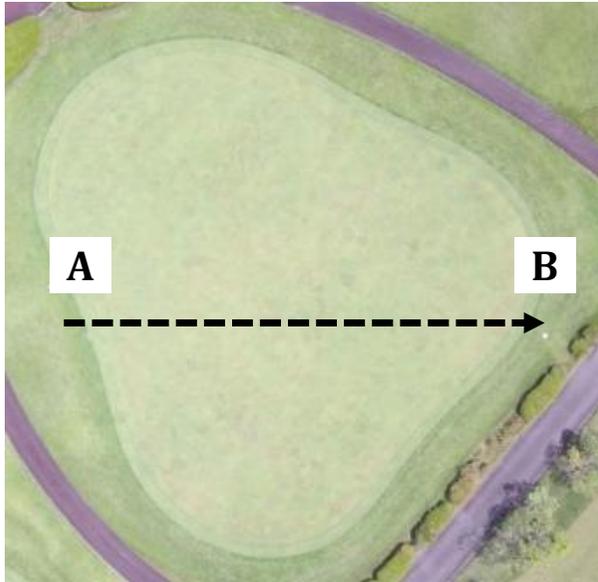
# 9/19調査（台風通過後に土壌水分測定）



### アメダス ゴルフ場周辺の降水量 (mm)



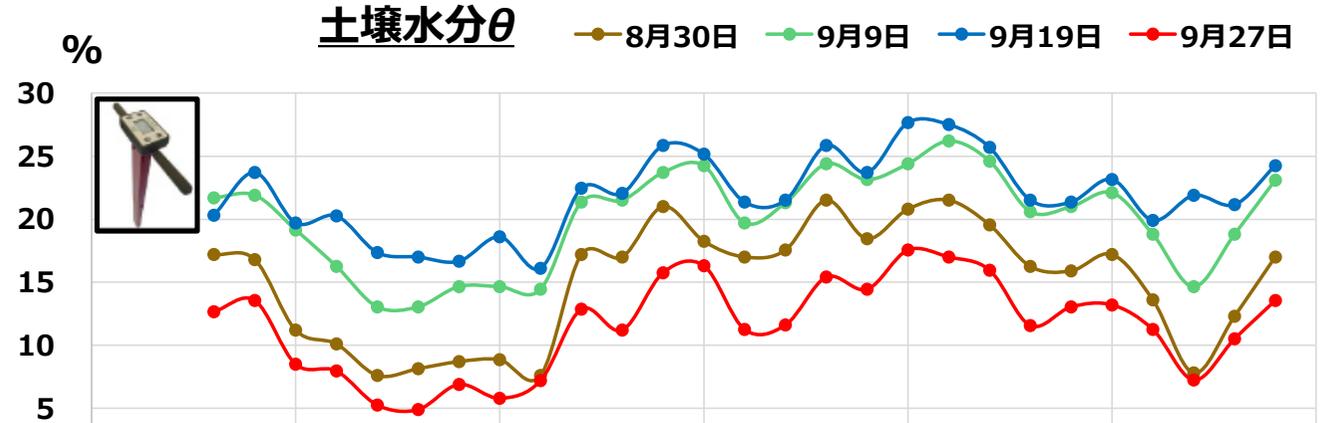
# 9/27調査（少雨条件での土壌水分測定）



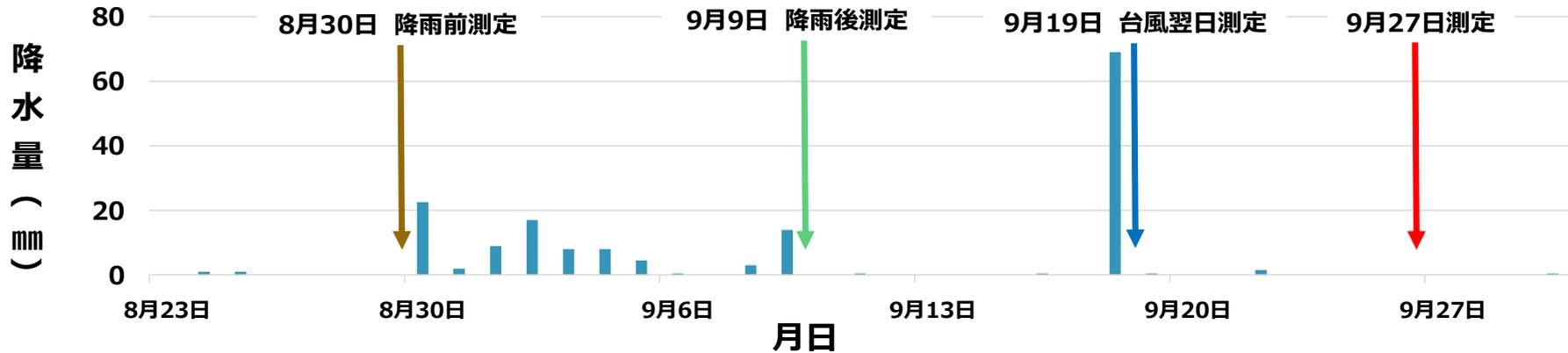
### アメダス ゴルフ場周辺の降水量 (mm)



# 9/27調査（少雨条件での土壌水分測定）



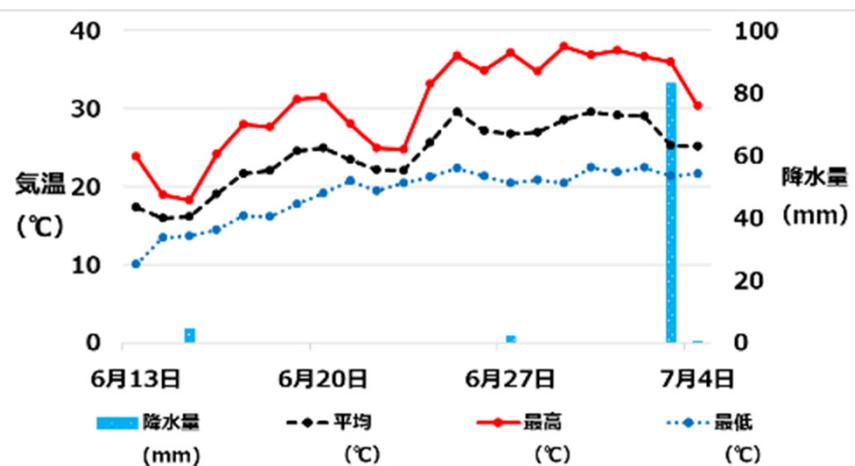
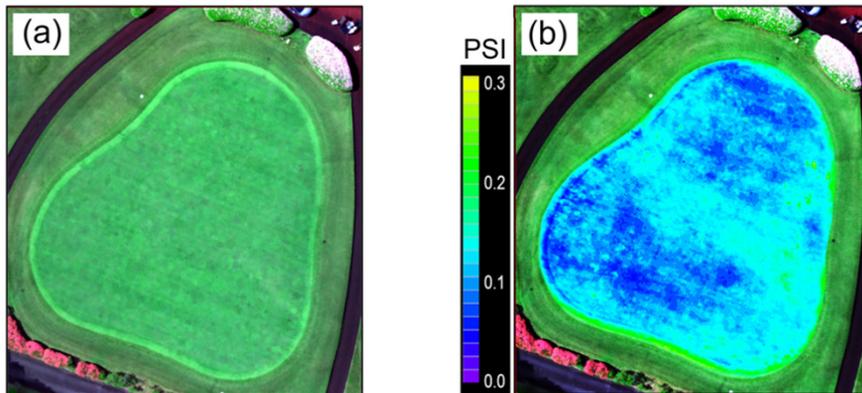
- 場所ごとの土壌水分のパターンは降水条件や測定時期によらず同様の傾向。
- 経時的な変化も少なく、グリーン固有の分布特性と考えられる。



0 m  
B

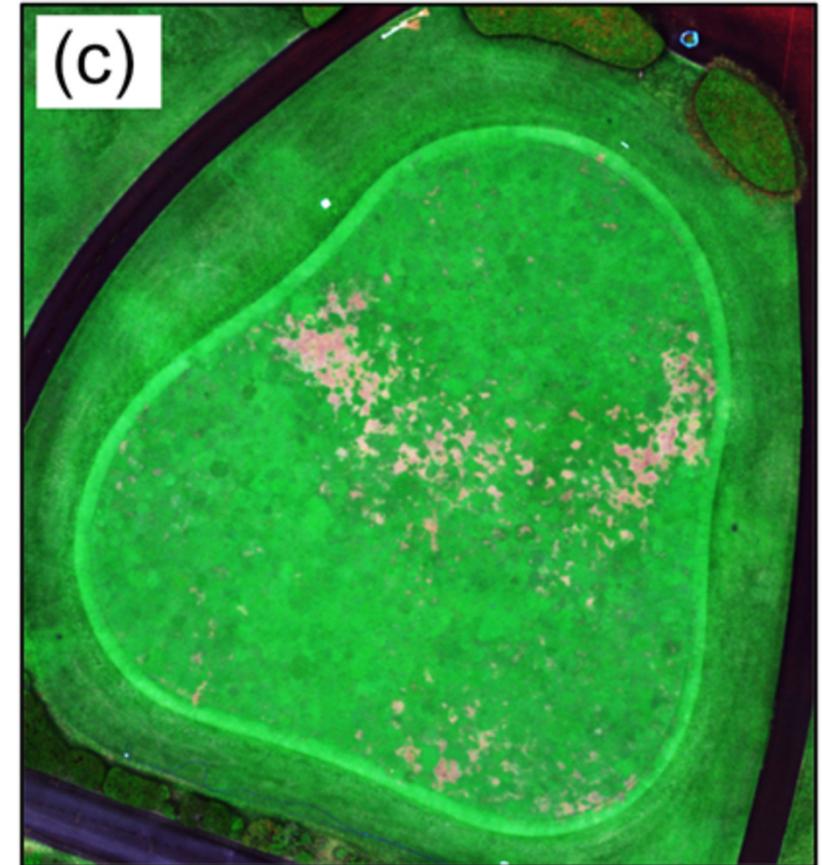
# 脆弱エリアを事前に可視化

2022年6月13日撮影



21日後  
→

7月4日撮影



- ストレス指数の高かったエリアでは、高温・少雨の異常気象により乾燥害が発生した。

# センシングから得られるデータ利用の可能性

- PSIと $\theta$ は高い相関性を示したことから、PSIの把握は効率的な灌水管理に繋がる。
- $\theta$ は場所ごとの変動パターンが一貫しており、各グリーンに固有の分布特性がある。
  - ➡PSIマップによる乾燥エリア等の事前予測により、予防的な芝管理が可能となる。
  - ➡ドローンセンシングによるPSIマッピングがグリーンの定量的な診断に有用である。



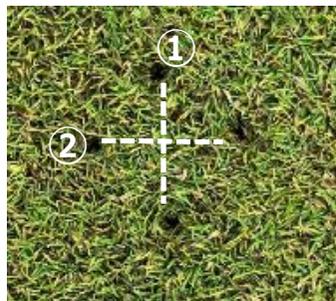
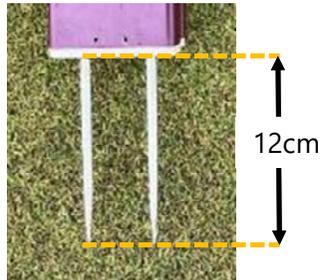
事前のセンシングにより、通年でのグリーン管理レベルの向上に繋げることができる。  
今後は、試験事例の蓄積のほか、他芝種における適用性の検証、長期モニタリングなどを検討

# 土壤水分と有機物の関係

# 土壌水分と有機物の相関

## 調査方法

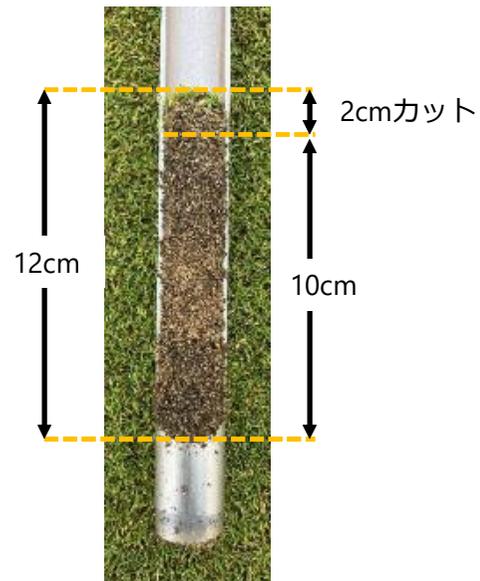
### 水分の測定



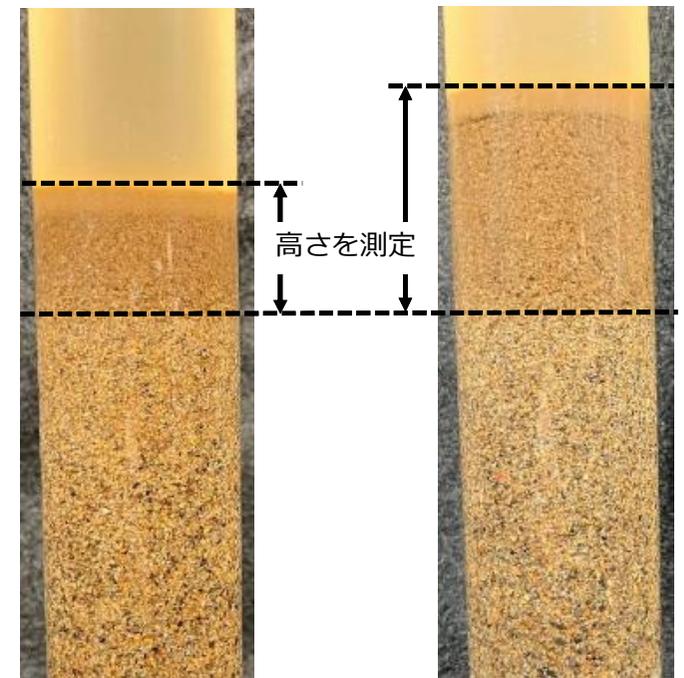
2回測定の平均値

### 【有機物の測定】

#### サンプリング



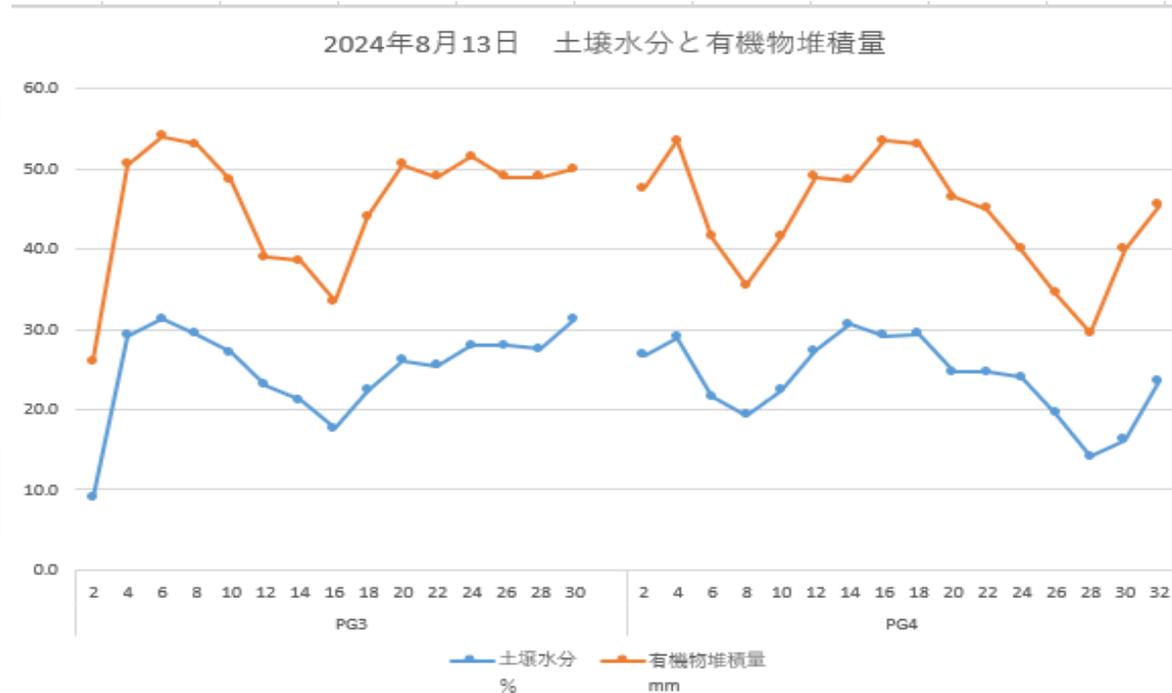
根部・残渣を除去し  
有機物堆積量を測定



アクリル管の内径 25mm

# 有機物の量と土壌水分の比較

2m間隔で土壌水分測定と  
サンプリングを実施



TDRで測定した土壌水分と有機物の堆積量には強い相関が見られた

- 💡 「適切な有機物」を「適正量」入れれば乾燥状態の偏りが補正できるのではないかと  
→ 均一な水管理を可能にし、夏季のグリーンの水管理を楽にできないか

ご清聴ありがとうございました

**MBC**

丸和バイオケミカル株式会社



UTokyo