

生理生態AIエンジンの開発およびWeb画面の作成

農業技術センター

〔背景・ねらい〕

IoPクラウドSAWACHIには、生産現場における気温や日射量などの環境データ、画像データや出荷量データが収集、蓄積されており、これらを利用した生理生態情報の「見える化」や「使える化」が求められている。

そこで、高知大学との共同研究により、ナスとニラを対象に、ハウス内の環境データと圃場に設置したカメラ撮影画像から推定した葉面積指数(以下、LAI_est)を用いて、群落光合成速度や蒸散速度を推定する技術(生理生態AIエンジン)を開発する。また、開発した生理生態AIエンジンの精度検証に加えて、推定される生理生態情報を農業現場で活用できるWeb画面の作成および蓄積されたデータの傾向分析を行う。

なお、植物の光合成速度や蒸散速度、LAIは、生育や収量を左右する重要な指標であるが、これまで農業現場では、簡易に測定する方法がなかった。

〔新技術の内容・特徴〕

内 容

1. 生理生態AIエンジンは、生理生態モデル(個葉光合成・蒸散モデル群+画像解析・LAIモデル)およびAIモデルから構成されている。生理生態モデルでは、入力情報として、環境データ(温度、湿度、日射量、CO₂濃度)および植物画像を入力することで、個葉光合成・個葉蒸散、LAI_estが一次データとしてそれぞれ出力される。さらに、これらの一次データをAIモデルに入力することで群落光合成・蒸散を推定することができる(図1、2)。
2. SAWACHI詳細分析画面を利用して、生理生態AIエンジンのみならず、花数実数AIや機器稼働データなどSAWACHIに収集される営農に関わるデータをWeb画面上で複合的に確認でき、IoP営農支援システムの構築に向けた農業現場での生理生態情報および営農データの「見える化」ができる(図3、4)。

特 徴

1. 個葉光合成・蒸散モデル群は、光合成速度の実測から得られる光合成速度とCO₂濃度との関係を示した曲線(A-Ci曲線)を解析し、温度・日射量・CO₂濃度に対する植物の反応を表すパラメーターである最大カルボキシル化速度(以下、 V_{cmax})、最大電子伝達速度(以下、 J_{max})を取得することで、その品目の特性に応じた個葉光合成を推定できる(図5)。
2. ナスにおける群落光合成の推定値は、光合成速度が高い値(約20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上)で過小評価する傾向が見られたが、実測値に対して概ね1:1のプロットとなっており、高い相関を示した(図6、7)。
3. ナス生産者の12月における日平均個葉光合成速度の分布をみると、中央値は3.47 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ で、最低値は1.64 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、最大値は5.19 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ であった。また、中央値が最も低いF生産者では2.55 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 、最も高いH生産者では4.73 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ と各生産者間で差異が見られた(図8)。
4. ナス生産者における12月の月平均個葉光合成速度と総出荷量の相関を見ると、12月の月平均個葉光合成速度が高い生産者ほど総出荷量が多く、12月の月平均個葉光合成速度と総出荷量に強い正の相関が見られた(図9)。

[留意点]

1. 生理生態AIエンジンから出力される群落光合成・蒸散速度は環境データやカメラ画像によって推定されるため、環境測定器やカメラの設置位置、カメラの清掃やセンサー交換の時期には注意する必要がある。
2. 2023年9月現在、個葉光合成・蒸散速度は、SAWACHIに接続されている1分ごとの環境データを用いて1分おきに算出され、LAI_estは毎日9時～15時にかけて1時間ごとに計測され、群落光合成・蒸散速度は10分おきに生理生態AIエンジンを用いて推定されている。
3. SAWACHIにおけるナスとニラの個葉光合成・蒸散速度の算出は2022年の3月より、群落光合成・蒸散速度の算出は2022年10月より提供が開始されている。
4. 個葉光合成・蒸散速度は環境データのうち、温度、湿度、日射量、CO₂濃度のデータ、群落光合成・蒸散速度は前述に加えてカメラ撮影画像によるLAI_estのデータがあるナス・ニラの生産者が対象である。
5. 適用範囲は県内の施設ナス、ニラ生産地域とする。

[評価]

光合成速度・蒸散速度・LAI_estが可視化され、栽培管理の新たな指標となり、栽培管理の最適化につながる。

[具体的データ]

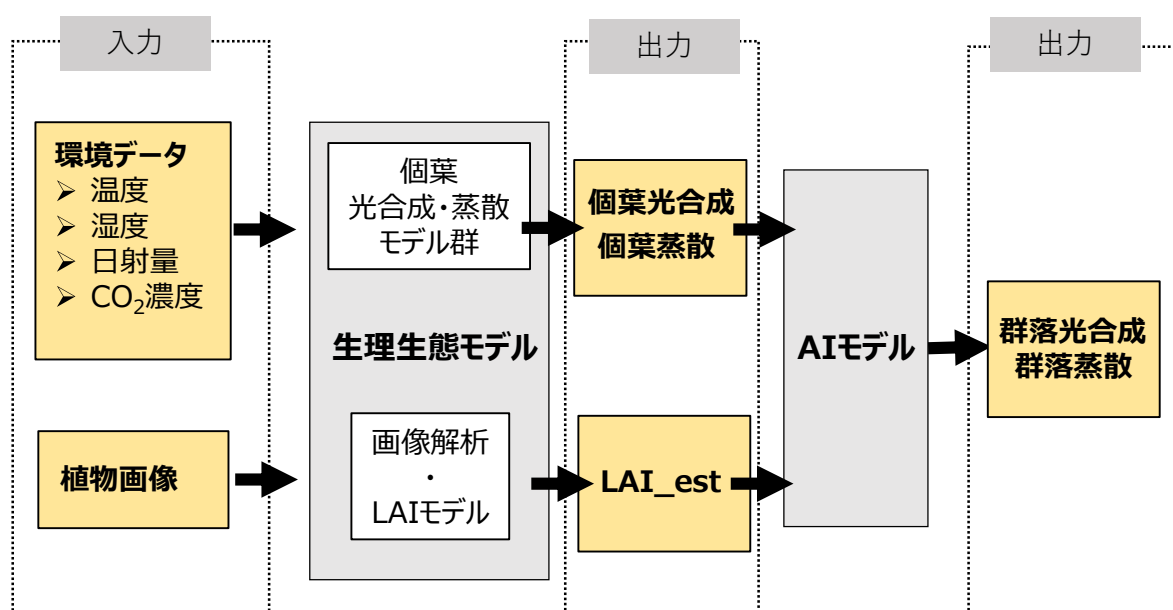


図1 生理生態AIエンジンの構成

- 注 1) 個葉光合成・蒸散モデル群：個葉光合成モデル(FvCB model)、葉面のCO₂・H₂O輸送方程式、気孔コンダクタンス式、葉の熱収支式からなる、植物生理や物質輸送のメカニズムに基づく複数の数式の総称。これらのモデルの連立方程式を解くことで、個葉光合成速度・蒸散速度が算出される。
- 2) FvCB model：Farquharらによって提唱された、ルビスコの反応速度論に基づいた光合成速度の生化学的数理モデル。光合成の生化学的反応における物質・エネルギー収支を定量的に記述したもので、光合成速度のCO₂濃度・日射量・温度依存性が数式化されている。
- 3) LAIモデル：群落の葉が空間内にランダムに分布していると仮定した場合における、群落のギャップ(葉面積と非葉面積との割合)とLAIとの関係を表した数理モデル。画像解析により群落のギャップを推定することで、LAI_estとして数値化できる。
- 4) 掲載論文：Hybrid AI model for estimating the canopy photosynthesis of eggplants(Koichi Nomura, et al., 2023)

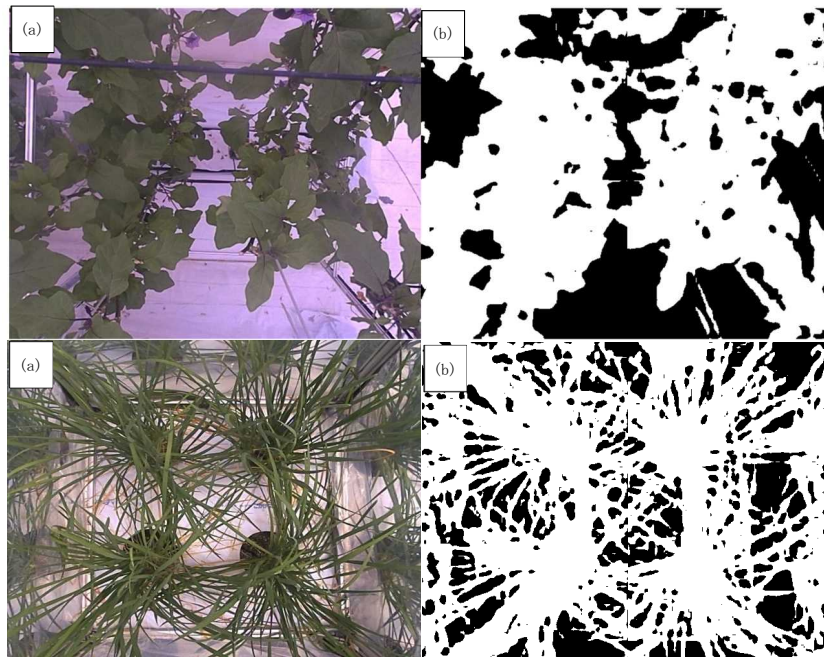


図2 植物体の直下写真(a)と画像解析により葉面積(白塗り部分)と非葉面積(黒塗り部分)に2値化した画像(b)(上段：ナス、下段ニラ)

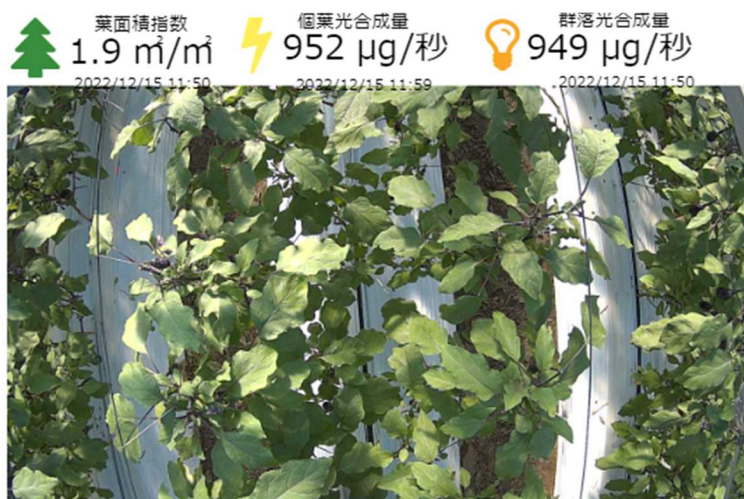
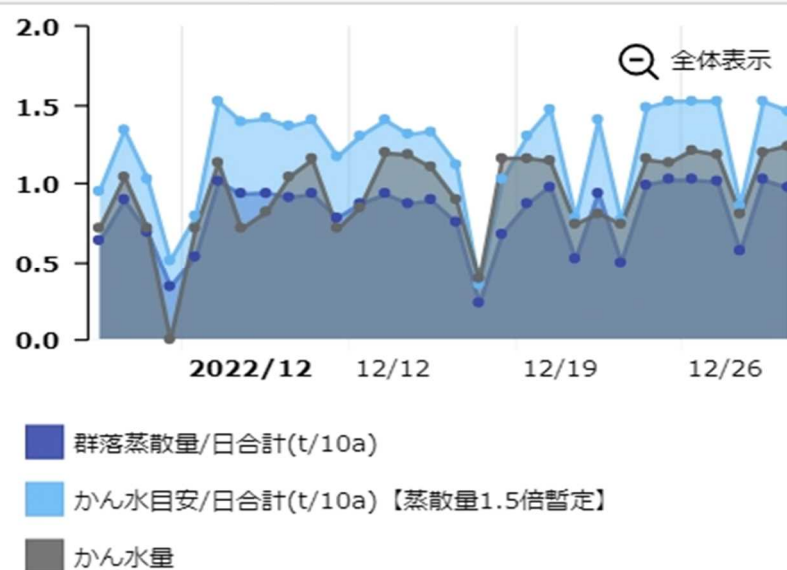
注) LAI_estモデルに右図から得られる群落のギャップ(葉面積と非葉面積の割合)を入力することで、LAI_estを算出できる。



図3 SAWACHI詳細分析画面における見える化画面(1)

注) 枠内が本技術項目部分。光合成単位はCO₂換算で表示。目安かん水量は群落蒸散量の1.5倍の値を暫定値として設定した。

蒸散量・かん水量



群落光合成量・日射量

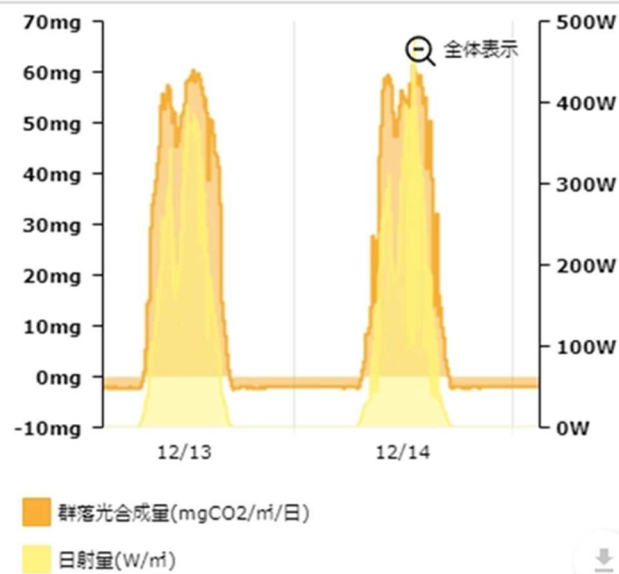


図4 SAWACHI詳細分析画面における見える化画面(2)

注) かん水量はポンプ稼働時間と実測流量から算出された値。

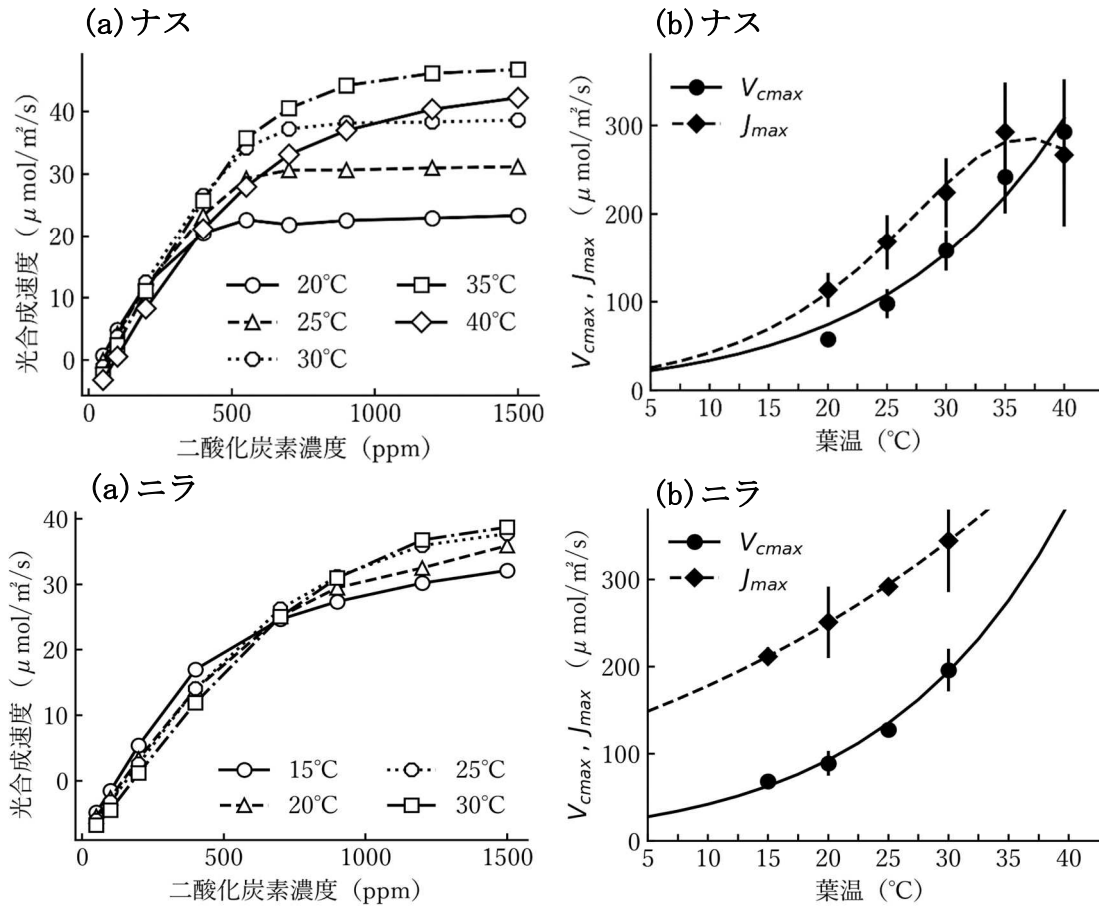


図5 CO_2 濃度・温度が光合成速度に及ぼす影響(a)、および(a)から算出した $V_{c\max}$ 、 $J_{\max}$ の温度依存性(b)
(ナス 2020、ニラ 2021)

注) (a)の計測条件は以下のとおり

ナス 期間：2020年8月～2021年2月
穂木：‘土佐鷹’、台木：‘ヒラナス’
光量(PPFD)： $1500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
相対湿度：60%
 CO_2 濃度：50、100、200、400、550、700、900、1200、1500ppm

ニラ 期間：2021年12月28日
品種：‘タフボーイ’
光量(PPFD)： $1500\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
相対湿度：60%
 CO_2 濃度：50、100、200、400、550、700、900、1200、1500ppm

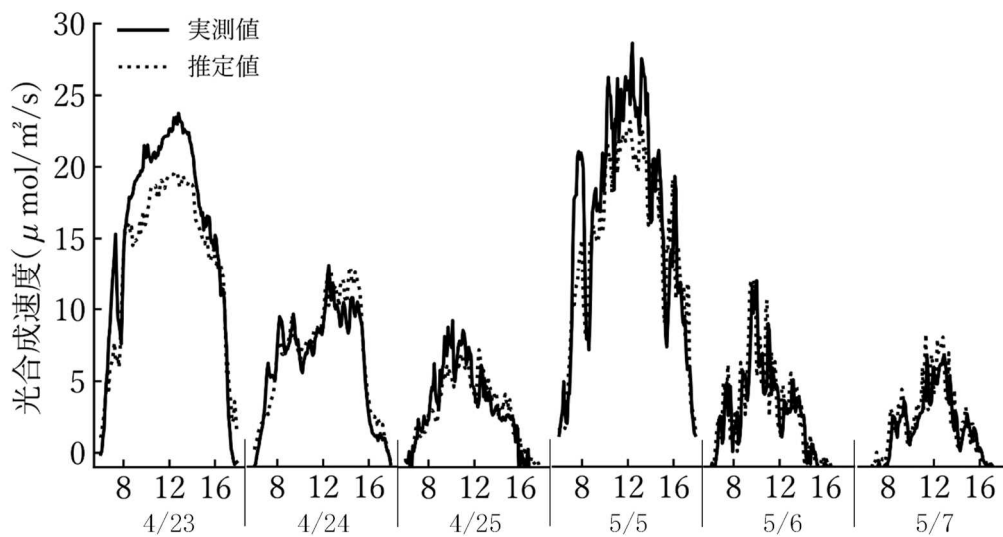


図6 オープンチャンバー法により計測した群落光合成速度(実測値)およびAIモデルから推定した群落光合成速度(推定値)(2022)

注) 期間：2023年4月23日～25日、5月5日～7日
穂木：‘土佐鷹’、台木：‘エンペラドール’
群落光合成速度の推定には、SAWACHIに実装されているパラメータを利用した。

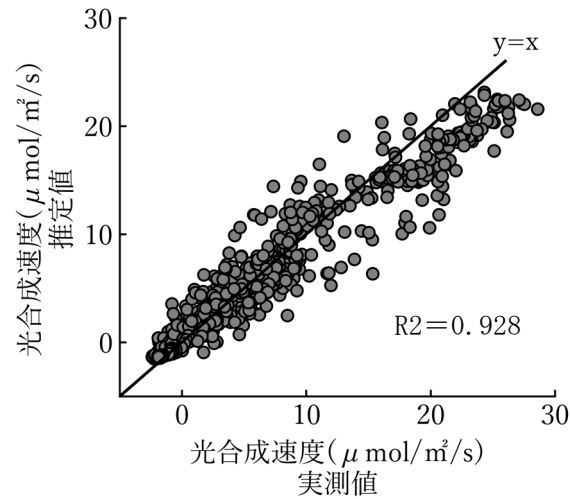


図7 群落光合成速度の実測値と推定値との関係(2022)

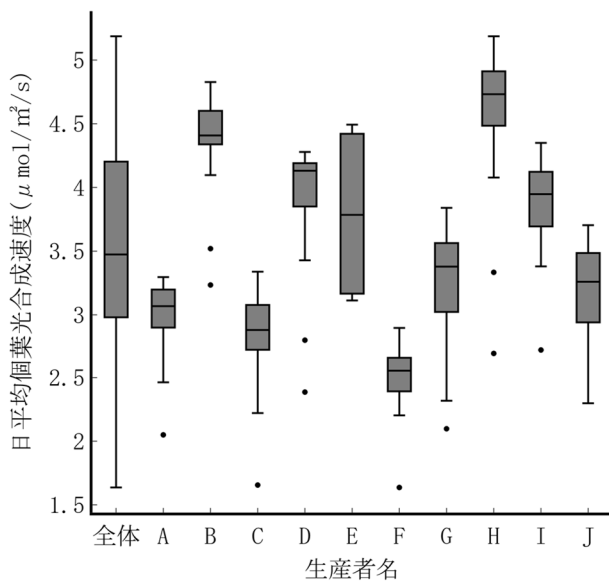


図8 ナス生産者における12月の日平均個葉光合成速度の箱ひげ図(2021)

注) 個葉光合成速度の期間は2021年12月1日～2021年12月31日とした。全体は10名の生産者全体の日平均個葉光合成速度の分布。

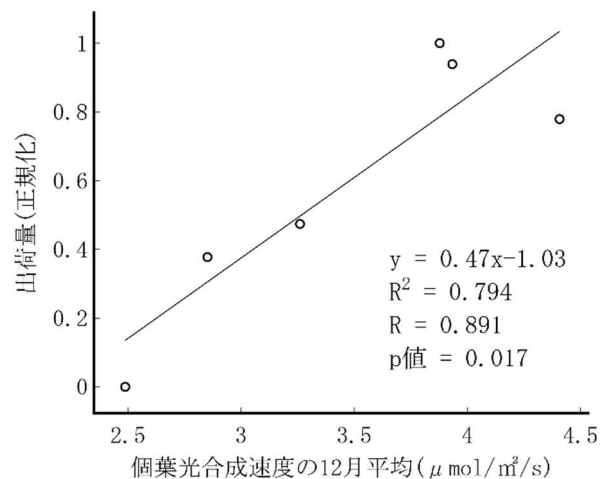


図9 ナス生産者における12月の月平均個葉光合成速度と総出荷量の相関(2021)

注) 個葉光合成速度の期間は2021年12月1日～2021年12月31日、総出荷量の期間は2021年9月1日～2022年6月30日とした。総出荷量は最大値と最低値の差で12.1t/10a。

[その他]

研究課題名：IoP営農支援システムの構築に向けたデータ集積と実用性評価

研究期間：平成31～令和4年度

予算区分：国補(内閣府地方大学・地域産業創生交付金事業)

研究担当：農業情報研究室、先端生産システム担当

分類：普及