

発表タイトル：人工光型植物工場の最適設計に関わる 生育予測モデルの構築とその適用性評価

○木下 進一¹，密原 秀真¹，鈴木 優希也¹，吉田 篤正^{1, 2}
所属： 1 大阪公大・工学研究科， 2 早稲田大学・工学部

キーワード：植物工場，最適設計，同化箱，光合成モデル，生育予測モデル

要 旨

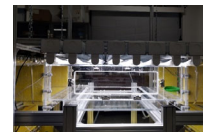
人工光型工場におけるエネルギー利用の高効率化を目的として，レタスの光合成速度に及ぼす各種環境因子の影響を閉鎖型循環回路で構成された同化箱により評価し，レタスの光合成モデルを構築し，これを考慮した生育予測モデルを構築した。このモデルの適用性について，本学C20棟環境シミュレータ室にて制御された栽培環境で生育させたレタスの実測重量と，これと同じ環境条件を生育モデルに入力して得られた予測重量とを比較することにより検証した。その結果，定量的な予測精度には不十分な点があり，光合成モデルにおける光強度以外の因子の影響，生育の進行に伴う一株内および株間の葉の重なりの影響などについて，詳細に検討する必要性を確認した。

1

研究目的

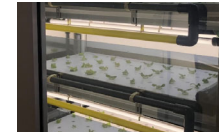
同化箱

環境変化に対応した
光合成予測モデルの構築
(光合成モデル)



実栽培環境

1日当たりの光合成量から
設定環境での生育量を予測
(植物生育モデル)



植物工場

工場における生育量の予測
→生育の不揃い改善へ



検証

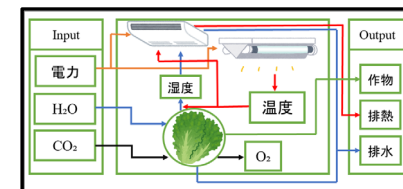
実用化

研究対象

研究目的

環境変化に対応した光合成モデル・植物生育モデル
の構築 対象品目：レタス(フリルアイス)

⇒ 高精度な生育量予測による植物工場の最適設計



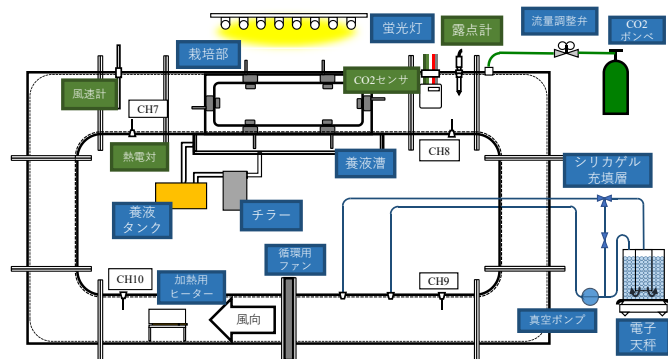
工場の熱・エネルギーお
よび物質収支モデル

2

同化箱 概要

閉鎖型の同化箱を使用

流路内のCO₂および水分収支から生理応答を測定



栽培部近傍で各環境因子を測定し
栽培部入口で設定条件に制御。

制御項目

温度・相対湿度・CO₂濃度(定値制御)
風速(回転数固定)

測定項目

温度・相対湿度・CO₂濃度・風速・水温・pH・EC

3

生理応答の測定原理

光合成速度

$$V_p = C_0 \cdot \frac{1}{S_0}$$

V_p : 面積当たりの植物の二酸化炭素吸収速度[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]

C_0 : 1秒当たりで供給される正味のCO₂モル数[$\mu\text{mol}/\text{s}$]

S_0 : 被験植物の総葉面積[m^2]

空気漏れを考慮

$$C_0 = (C_{\text{box}} - C_{\text{leak}}) / 0.0224$$

C_{box} : 制御によるCO₂供給速度[ml/s]

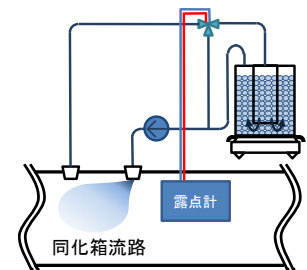
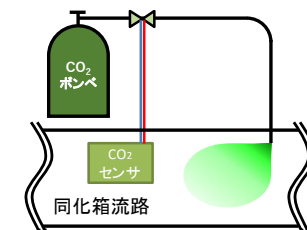
C_{leak} : リークによるCO₂供給速度[ml/s]

蒸散速度

$$E = W_{\text{water}} \cdot \frac{1}{S_0}$$

E : 蒸散速度[$\text{g}/\text{m}^2\text{s}$]

W_{water} : デシカント充填層の重量増加速度[g/s]



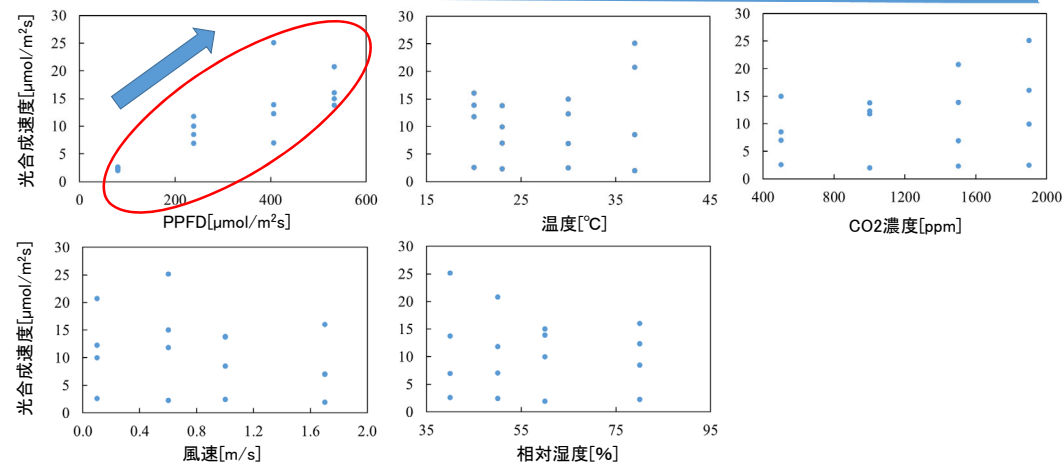
実験計画法に基づく生理応答測定

光合成モデル構築のため、以下の直交表(5因子4水準)に基づいて生理応答測定
→光合成速度の測定結果の**分散分析**を行い、各環境因子が与える影響が有意かどうか判断
得られた結果に基づいて光合成モデルを構築

level/factor	temperature[°C]	humidity[%]	CO ₂ concentration[ppm]	wind speed[m/s]	PPFD[μmol/m ² s]
1	20	40	500	0.1	100
2	20	50	1000	0.6	250
3	20	60	1500	1	400
4	20	80	1900	1.7	550
5	23	40	1000	1	550
6	23	50	500	1.7	400
7	23	60	1900	0.1	250
8	23	80	1500	0.6	100
9	30	40	1500	1.7	250
10	30	50	1900	1	100
11	30	60	500	0.6	550
12	30	80	1000	0.1	400
13	37	40	1900	0.6	400
14	37	50	1500	0.1	550
15	37	60	1000	1.7	100
16	37	80	500	1	250

5

測定結果及び分析結果



F検定の結果、光(PPFD)のみが光合成に有意である結果に
→光を主要な変数、その他を副次的な変数と設定しモデル構築へ

6

光合成モデルの構築方法

非直角双曲线式

$$V_p = V_d + \frac{g_p \cdot I_R + V_{p\max}}{2\varphi_p} - \frac{\sqrt{(g_p \cdot I_R + V_{p\max})^2 - 4g_p \cdot \varphi_p \cdot V_{p\max} \cdot I_R}}{2\varphi_p}$$

V_p :光合成速度[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$], V_d :暗呼吸速度[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$],
 I_R :PPFD[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$], φ_p :曲率(=1.0), g_p :初期勾配[$\mu\text{mol}/\mu\text{molm}^2\text{s}$],
 V_{nmax} :最大光合成速度[$\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$]

g_p および $V_{p\max}$ の推定式

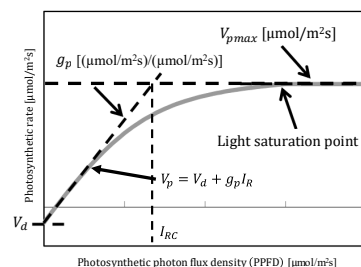
$$\begin{aligned}
 g_p &= E_1 T'^2 + E_2 T' + E_3 H' + E_4 c'^2 + E_5 c' + E_6 u'^2 + E_7 u' \\
 &\quad + E_8 T'c' + E_9 T'u' + E_{10} T'H' + E_{11} c'u' + E_{12} c'H' + E_{13} u'H' + E_{14} \\
 V_{pmax} &= E_{15} T'^2 + E_{16} T' + E_{17} H' + E_{18} c'^2 + E_{19} c' + E_{20} u'^2 + E_{21} u' \\
 &\quad + E_{22} T'c' + E_{23} T'u' + E_{24} T'H' + E_{25} c'u' + E_{26} c'H' + E_{27} u'H' + E_{28}
 \end{aligned}$$

実測値

$$T' = \frac{T_0 - T_L}{T_H - T_L}, c' = c/1000, H' = H/80, u' = u/1.0$$

T_0 : 温度[°C], T_H : 限界最高温度(=45°C), T_L : 限界最低温度(=5°C)
 c : 二酸化炭素濃度[ppm], H : 相对湿度[%], u : 風速[m/s]

これらの二乗誤差が最小になるように反復計算→ $E_1 \sim E_{28}$ を同定

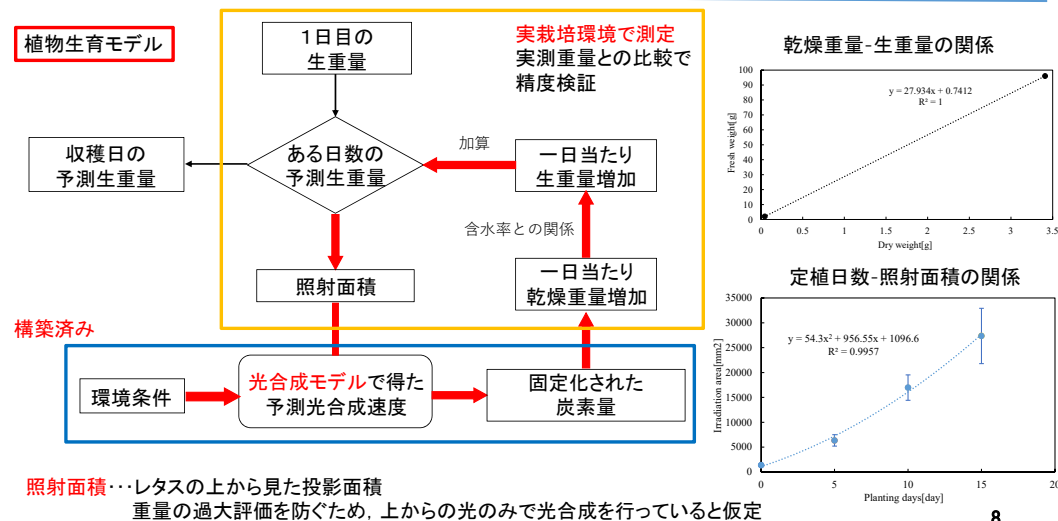


 : 環境因子の独立した影響に関する項
 : 環境因子の交互作用に関する項
 : 誤差項

各環境因子を無次元化
→係数比較により寄与の把握

7

植物生育モデルの構築方法



8

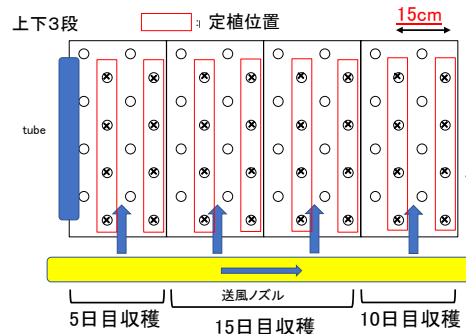
実栽培環境での生育実験

実施場所:大阪公立大学C20棟環境シミュレータ室

実験条件:栽培棚の各段で光を3条件変化(80, 180, 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)

温度:23°C(明期16h)/17°C(暗期8h) 相対湿度:70%

CO₂濃度:750ppm(明期)/400ppm(暗期) 風速0.4~1.0m/s



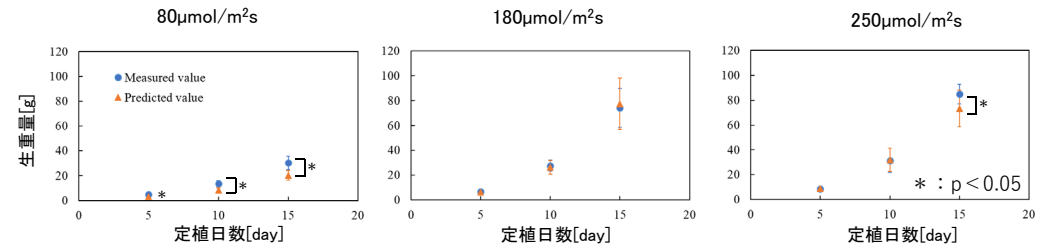
~栽培パネル~
各段に4枚あり、8個の穴のみで定植(株間の干渉防止)
5日ごとに収穫を実施 葉面積、上からの投影面積、生重量、乾物重量を測定



9

生重量の予測結果

各段における定植日数と生重量の予測値・実測値比較



・250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ の時、15日目の予測値・実測値間で有意差あり

→ 下層の葉面に対する透過光の影響の可能性

・80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ の時、全定植日数で予測値・実測値間に有意差あり

→他の2条件に比べて、株同士の干渉が少ないため、栽培パネルからの反射の影響を受けている可能性。

➡ 葉の重なるの考慮や、間引き栽培を行って得られた結果と比較

10

実際の照射面積

80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (収穫日)



収穫日であっても葉の数が少なく、栽培パネルからの反射の影響が考えられる。

250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ (収穫日)



株間の干渉により葉が上へと広がろうとする。

11

結言

[光合成モデル]

同化箱での実験結果から光合成速度の定式化を行った。

(1) 分散分析から光強度が支配因子であることが明らかとなった。

(2) その結果を受けて、光を主要な変数とし、気温、相対湿度、風速、CO₂濃度を副次的な変数とするモデルへと拡張した。

[植物生育モデル]

実栽培環境において測定した照射面積・生重量・乾燥重量の結果から、

生育モデルを適用して得られた予測重量と実測重量は概ね一致した。

12