

[タイトル] 植物体の簡単な電氣的等価回路モデルⅡ
—非常に単純なモデルフレームによる光合成の振る舞い—
Simple electrical equivalent circuit model of plants II
-Photosynthetic behavior with the simple model frame-

[抄録(要旨)]

葉に相当するソース部、果実に相当するシンク部、根に相当するルート部および外部エネルギーに相当する電圧源部から成る非常に単純な植物体の電氣的等価回路モデルにおいて、外部エネルギーに相当する電圧源部を外部の光量、温度、CO₂を想定した電位変動で表現し、それに伴う植物体のネット光合成速度様の電位変化をシミュレートした。

[著者名] 奥島 里美 (Okushima Limi)

[所属機関] 農研機構九州沖縄農業研究センター研究推進部
(Department of Research Promotion, Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, NARO)

[責任著者と電子メールアドレス]奥島里美, green@zy.sunnyday.jp

[キーワード]

電氣的等価回路モデル(electrical equivalent circuit model), 植物体(plants), ネット光合成速度(net photosynthetic rate)

(plants) [利益相反]示すべき利益相反関連事項はありません。

[著者の貢献]全部

植物体の簡単な電氣的等価回路モデル II 非常に単純なモデルフレームによる光合成の振る舞い

2022.5.2 奥島

[諸言] 植物の生育を予測するモデルは単純・正確かつ堅牢であることが求められる¹⁾。主要な実用的収量予測モデルは多分に(半)経験的なアプローチを含んでいて完全に単純・正確とは言い難い。一方、細胞組織のさまざまなスケールに沿って個々のすべての植物生理学的要素を組み上げていくアプローチによる予測モデルは堅牢性が失われがちである。

もし植物体を電氣的等価回路とみなすことができれば、それはオームの法則のみの非常に単純な数学式モデルと言える。さらに、どんなに複雑な動作をする回路も基本的に4種の部品(抵抗、コンデンサー、インダクター、メモスター)で構成されるので、これらの部品に細胞組織の特性を正確に反映させることができれば非常に複雑で多様な植物の生育システムを単純な数学式と生物学的洞察の組み合わせでモデル化できることになる。それは収量を予測するだけでなく生育に関する未知数や仮説を発見する研究ツールとしても使えるはずである。

4種の部品に細胞組織の電氣的特性を正確に反映させる点については植物のバイオエレクトロニクス研究の今後の進展に委ねることとして、ここでは植物体の電氣的等価回路の大雑把なフレームにおける光合成様の振る舞いについて調べたので報告する。

前稿²⁾では、葉に相当するソース部、果実に相当するシンク部、根に相当するルート部および外部エネルギーに相当する電圧源部で植物体全体の電氣的等価回路モデルを作成し、ソース・ルート間、ソース・シンク間で生じる電位変動をシミュレートした。本稿では電圧源部の回路を変更し、外部の光量、温度、CO₂を想定した電位変動に対するネット光合成速度様の電位変化をシミュレートした。

[方法] 変更したモデル(図1)の電圧源部には外部からソース部(葉)へ流れるエネルギーとして光量と温度とCO₂を想定した。すなわち温度とCO₂を並列した光量と夜間温度の回路を想定した。なお今回の主眼はソース部の光合成様の電圧変動を調べることにあるので、シンク部は果実の等価回路として最も単純なHydeモデルにしている。

回路中の抵抗とコンデンサーの値は本来、組織の特性を正確に反映させなければならないが、ここでは回路の大雑把なフレームに焦点を当てているため仮想の数値を使うにとどめ細胞組織の特性は一切考慮していない。

光エネルギーは24時間を1サイクル(昼夜等分)のパルス波と仮定した。温度とCO₂は終日一定の電圧値とした。ただし、これらの電圧は仮想値であり絶対値に意味はない。

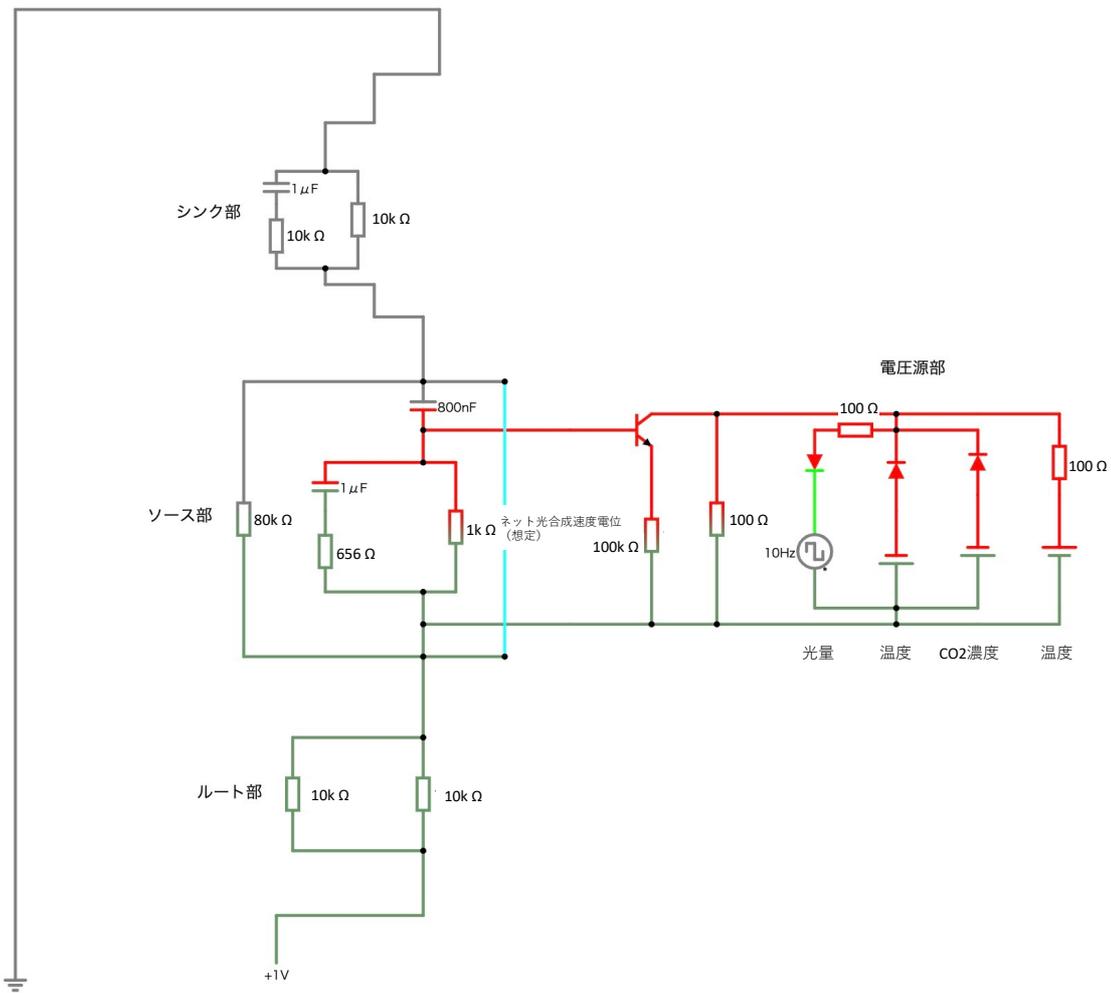


図 1. 植物体の電氣的等価回路モデル

[結果]

- (1) 電圧源部の光量の影響 (図 2) : 気温、CO₂ 濃度とも一定電圧 50V を仮定。パルス波の光量 (10~200V)) におけるネット光合成速度電圧 (最大値) の変化に光補償点と飽和点が見られた。
- (2) 電圧源部の CO₂ 濃度の影響 (図 3) : 気温は一定電圧 20V、光量はパルス波 200V を仮定。CO₂ 電圧 (0~40V) におけるネット光合成速度電圧 (最大値) の変化に CO₂ 補償点と飽和点が見られた。
- (3) 温度の影響 (図 4) : CO₂ 濃度は一定電圧 50V、光量はパルス波 200V を仮定。温度 (-20~80V)) におけるネット光合成速度電圧 (最大値) の変化にピークポイントが見られた。また CO₂ 濃度 30V に変えた場合のピークポイントは 50V でのピークより低く、ピークの発生温度も低下した。

光合成における制限要因 (光量、CO₂ 濃度、温度) の簡単な模式図 (図 5) と比較するとパターンの類似性が見られた。今後、設定条件や各部品の特性値を徐々に現実に近づけてモデルの検証を進める必要がある。

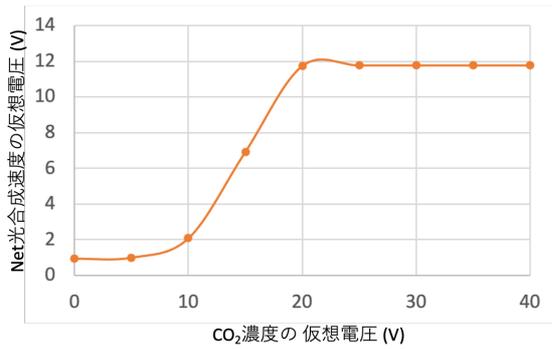


図 2. 光量の Net 光合成速度への影響

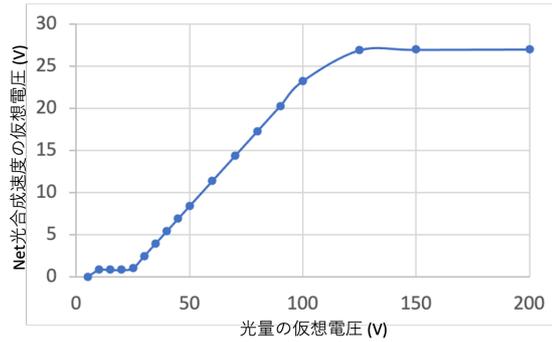


図 3. CO₂ 濃度の Net 光合成速度への影響

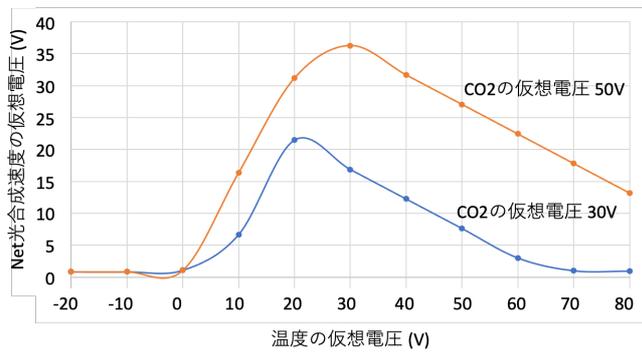


図 4. 温度の Net 光合成速度への影響

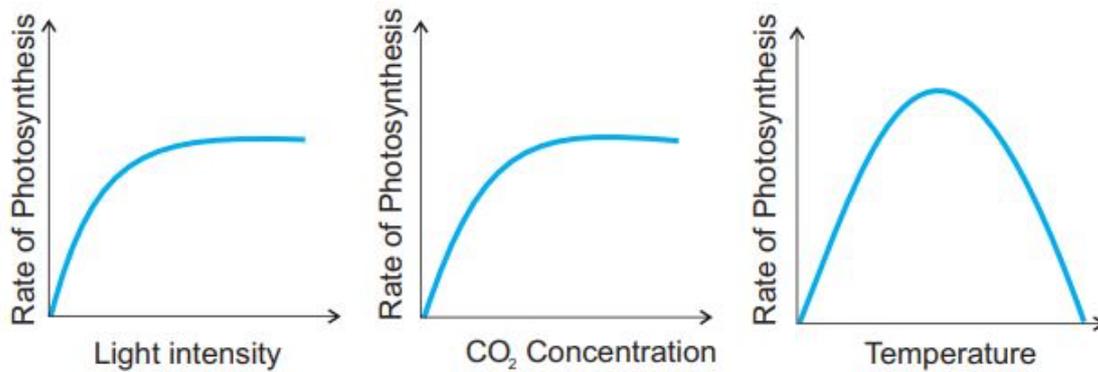


図 5. 光合成における制限要因（光量、CO₂ 濃度、温度）の簡単な模式図³⁾

引用文献：

- 1) Xinyou Yin, Paul C. Struik, Jan Goudriaan (2021) On the needs for combining physiological principles and mathematics to improve crop models. *Field Crops Research* 271, 108254.
- 2) 奥島里美 (2022) 植物体の簡単な電氣的等価回路モデル I , プレプリント <https://doi.org/10.51094/jxiv.128>
- 3) <https://noteshippo.com/factors-affecting-photosynthesis-internal-factors-and-external-factors/>, 2022 年 5 月 12 日アクセス