

[タイトル] 植物体の簡単な電氣的等価回路モデルⅢ
－単一果房トマト植物体における光合成産物の転流－
Simple electrical equivalent circuit model of plants III
-Translocated behavior of photosynthates in a single-truss
tomato -

[抄録(要旨)]単一果房を有するトマト植物体を非常に単純な電氣的等価回路で模
し、光合成産物の転流をソースの葉部からシンクの果房への電氣的
な流れ込みとしてシミュレートした。その結果、¹⁴Cを用いた転流実
験に近い挙動が得られた。

[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), ト
マト(tomato plants), 転流(translocation), 光合成産物
(photosynthates), 木部(xylem), 師部(phloem)

(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Ⅲ

－ 1 日における光合成産物の転流 －

2023.3.17

奥島里美

[諸言] 電気分野での「転流」は直流から交流に電気を変換する場合のオフ制御のことを意味するが、ここでの「転流」は植物が吸収した養分や光合成等の代謝産物が組織間を移動することを意味する。

植物体やその器官を電氣的等価回路でモデルフレーム化し、細胞組織の特性はそれらの部品のパラメータ値に反映することを目指している。本稿では植物体の大雑把なモデルフレームにおける転流“的”な振る舞いを調べるため、単一果房トマトを非常に単純な電氣的等価回路で模し、光合成産物の転流をソースの葉部からシンクの果房部への電氣的な流れ込みとしてシミュレートした。特に本モデルでは木部と師部を区別した。想定した光合成産物がどの代謝物質であるかを特定したモデルにはなっていないが、主要代謝物質である C を想定した。

光合成産物の転流については C の同位体を用いたトレース実験が 1970～1980 年代頃に数多くなされた。また、近年はポジトロンイメージング装置 (PETIS) を用いて光合成産物の転流を非破壊かつ時空間連続的に可視化・定量化できるようになった¹⁾。

Yoshioka が行った C 同位体による転流実験では日中 (9-18 時) の異なる時間帯 (9 時、12 時、15 時) に $^{14}\text{CO}_2$ を葉に供給した後、その光合成産物がシンクである果房にいつ転流したかを単一果房のトマトの植物体について調べた。その結果、午前中に供給された ^{14}C の光合成産物は日中のうちにすべてが果房へ転流したのに対し、午後には供給された ^{14}C は主に夜間 (18-9 時) に転流した²⁾。これを電氣的等価回路で再現してみた結果を報告する。

[方法] 単一果房のトマトの電氣的等価回路モデルを、光、温度、 CO_2 といった外部環境の受容部を持つソース 2 つ (下位葉部と上位葉部) とシンク 1 つ (第 1 果房部) およびルート部 (根部) で構成した (図 1)。前報³⁾、前々報⁴⁾では根部から果房部までを結ぶ流路は 1 本であったが、本報では木部と師部を区別して流路を並行する 2 本構成とした。回路における転流ポイントは師部から果房部への結線位置とし、そこでの電位変動を記録した。

Yoshioka の実験²⁾に合わせて、外部環境条件の光は明期の 9 時間 (日中: 9-18 時) と暗期の 15 時間 (夜間: 18-9 時) を繰り返す 24 時間サイクルの方形波を想定した。ただし、転流ポイントの電位変動が 1 時間毎で追跡できるように、明期を 9-18 時、9-17 時、9-16 時、9-15 時、9-14 時、9-13 時、9-12 時、9-11 時、9-10 時とする 9 ケースでシミュレーションを行った。たとえば、明期が 9-18 時の電位変動から 9-17 時の電位変動を差し引くことで、17-18 時に葉が吸収した C の果房へ転流を推定できると想定した。

なお、回路モデルの抵抗やコンデンサ等のパラメータの設定値はすべて仮想値であ

り、前報³⁾、前々報⁴⁾の数値をほぼ踏襲した。

[結果]

(1) 転流ポイントの電位変動：

光合成活動時間（明期）が 9-10 時，9-11 時，9-12 時，9-13 時，9-14 時，9-15 時，9-16 時，9-17 時，9-18 時の 9 ケースの転流ポイントにおける電位変動を図 2 に示す。光合成活動時間が 9-18 時の場合、光合成産物の果房部への転流は 18 時少し前から始まり 1 時くらいまで継続した。光合成活動時間が 9-10 時の場合は果房部への転流は 10 時頃から始まり 18 時くらいまで継続した。

図 3 でも、17-18 時に葉に供給された C は光合成産物として 18 時少し前から果房部へ転流し始め、その転流は 1 時くらいまで持続した。9-10 時に葉に供給された C は 10 時頃から光合成産物として果房部への転流が始まり 18 時くらいまで継続するパターンとなった。

(2) 転流の日中と夜間比率：

葉へ供給された C がいつ果房部へ転流したか、その時間帯の日中(9-18 時) と夜間(18-9 時) の比率を表 1 に示す。Yoshioka の ¹⁴C による転流実験で測定された比率も併記した。Yoshioka の実験²⁾では 9-18 時を明期として 9 時に供給された ¹⁴C は 100% 日中に転流し終え、夜間の転流は 0%であった。12 時に供給された ¹⁴C は 87%が日中に、残り 12%が夜間に転流した。15 時に葉に供給された ¹⁴C は 60%が日中に、残り 40%が夜間に転流した。一方、本モデルでは 9 時に供給された C の光合成産物の 98% が日中に転流し、夜間は 2%であった。12 時に供給された場合の日中と夜間の比率は 89%と 11%、15 時に供給された場合は 50%と 50%であった。

表 1. 転流の昼夜比率

葉への C の供給時 間帯	モデル 1		Yoshioka ²⁾	
	日中(9-18 時) に転流した割 合 (%)	夜間(18-9 時) に転流した割合 (%)	日中(9-18 時)に 転流した割合 (%)	夜間(18-9 時)に 転流した割合 (%)
9	98	2	100	0
10	96	4		
11	93	7		
12	89	11	87	12
13	81	19		
14	69	31		
15	50	50	60	40
16	21	78		
17	0	100		

これを図 4 にグラフ化した。また、本モデル（モデル 1）の果房部内の静電容量部は 1kΩ の抵抗と 1.3 μF のコンデンサを直列したが、10kΩ と 1.0 μF に変更した場合（モデル 2）の結果も併記した。モデル 1 の転流の昼夜比率は Yoshioka の測定結果に

比較的近かったが、モデル 2 では日中の転流比率が全体的に低下し、夜間の比率が大きくなる、すなわち葉から果房への転流が遅くなる傾向となった。パラメータの設定は全くの仮想値であったが、今後は根拠のある値にする必要がある。

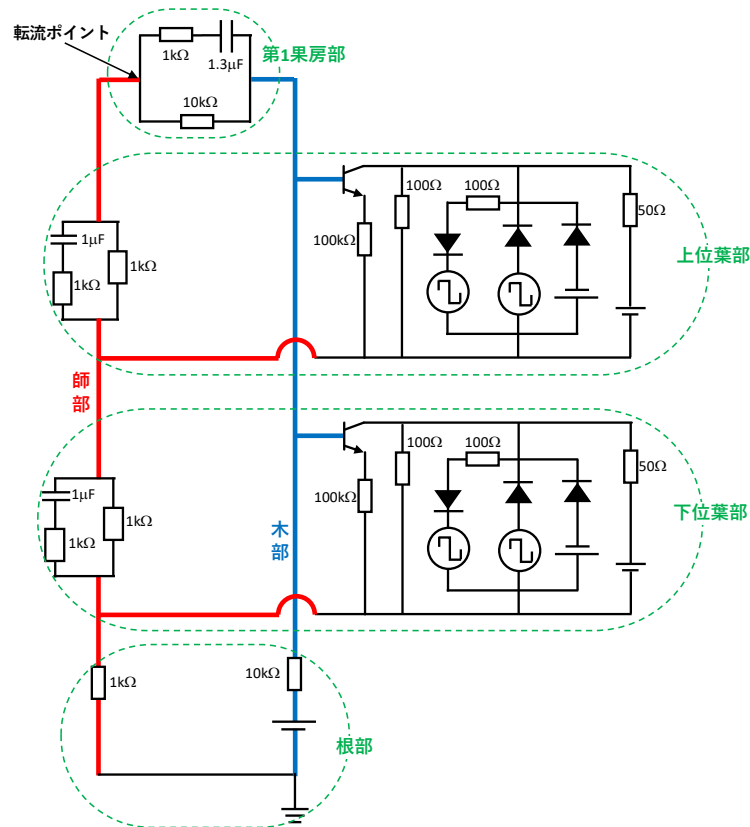


図 1. 植物体（単一果房のトマト）の電氣的等価回路モデル（モデル 1）

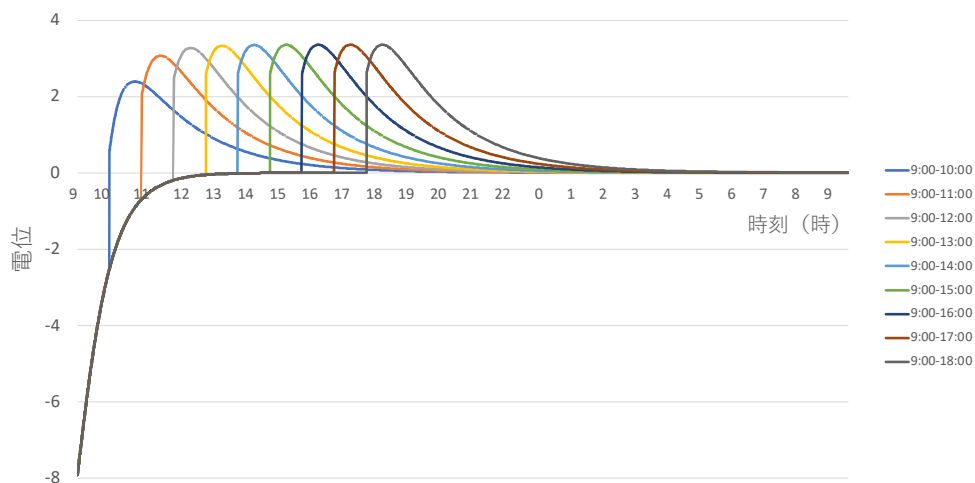


図 2. 光合成活動時間帯と転流ポイントにおける電位変動

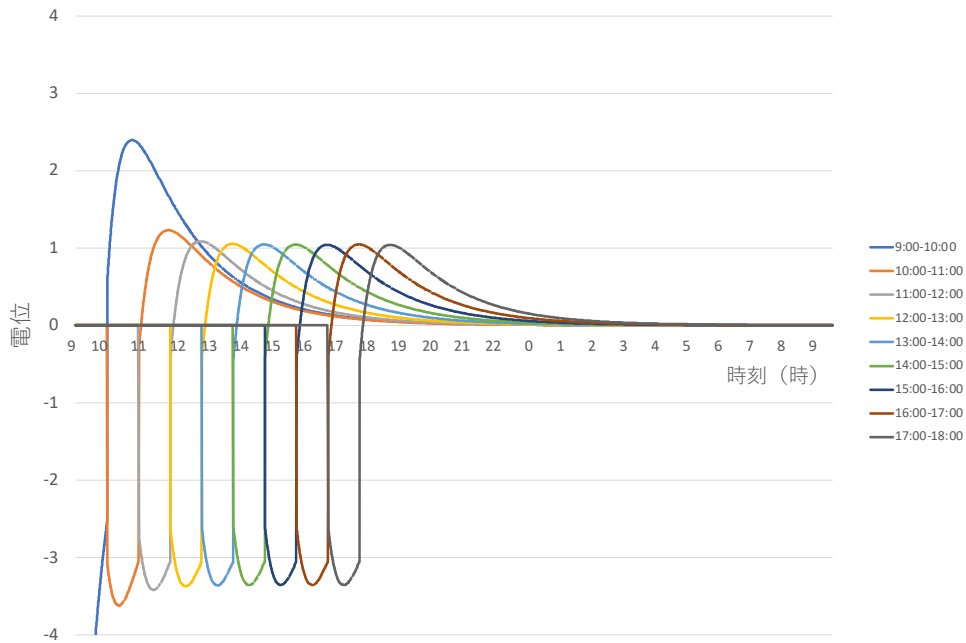


図 3. 葉に吸収された C の時間別転流動向

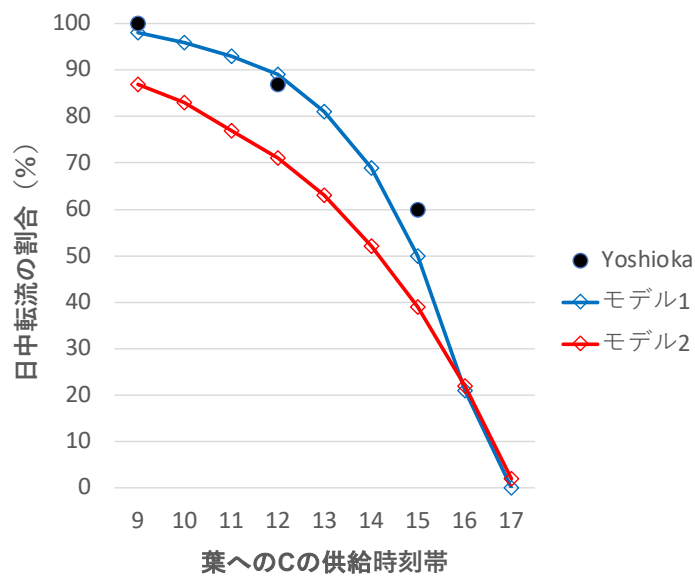


図 4. 日中の転流比率

引用文献：

- 1) Hidaka, K. *et al.* (2019) Dynamic Analysis of Photosynthate Translocation Into Strawberry Fruits Using Non-invasive ^{11}C -Labeling Supported With Conventional Destructive Measurements Using ^{13}C -Labeling . *Front. Plant Sci.* 9:1946 <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01946>
- 2) Yoshioka, Y. (1986) Translocation and Distribution of Photosynthates in Tomato Plants. *JARQ : Japan Agricultural Research Quarterly.* 19(4) , 266-270.

https://www.jircas.go.jp/sites/default/files/publication/jarq/19-4-266-270_0.pdf

- 3) 奥島里美 (2022) 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-, <https://doi.org/10.51094/jxiv.141>
- 4) 奥島里美 (2022) 植物体の簡単な電氣的等価回路モデル I ,
<https://doi.org/10.51094/jxiv.128>