

[タイトル] 植物体の簡単な電氣的等価回路モデルⅣ
—複数果房の植物体における光合成産物の転流—
Simple electrical equivalent circuit model of plants IV
-Translocated behavior of photosynthates in a plant with 3
trusses-

[抄録(要旨)] 3つの果房を有する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。その結果をトマト植物体の比
較的短期(48時間)と長期(約1ヶ月間)の転流実験について報告
された文献データと比較した。

[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), ト
マト植物体(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Ⅳ
－複数果房の植物体における光合成産物の転流－

2023.3.29

奥島里美

[諸言]

前報¹⁾では単一果房のトマト植物体を想定した非常に単純な電氣的等価回路モデルを作り、24時間の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。その結果、午前中に葉で作られた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、午後の産物は夜間にまで転流が継続する傾向が再現された。

田中と藤田^{2,3)}は3つの果房を有するトマトの植物体でC同位体や乾物重による転流実験を行った。まず¹⁴CO₂を3時間吸収させ、その45時間後に¹⁴Cの3つの果房への転流量を調べた。その結果から¹⁴Cの62%が第1果房へ、36%が第2果房へ、2%が第3果房へ転流したと推定された。さらに、3果房のトマト植物体について1)葉も果房も切除しない標準区、2)第1果房を切除した区、3)第1層位葉を切除した区、4)第1～2層位葉を切除した区、5)第2～4層位葉を切除した区を設け、8月9日から9月10日までの1ヶ月間に収穫した果房位ごとの果実重(乾物重/個体)を発表した。

本報では3果房を有する植物体の非常に単純な電氣的等価回路モデルを作り、転流を想定したシミュレーションを行って、上記の田中と藤田^{2,3)}の結果と比較したので報告する。

[方法] 3果房を持つ植物体の電氣的等価回路モデルを光、温度、CO₂といった外部環境の受容部を持つソース5つ(第1～4層位葉。ただし、第1層位葉は上下2層に分けた。)とシンク3つ(第1～3果房部)およびルート部(根部)で構成した。前報¹⁾と同様、木部と師部を並行する2本の流路として構成し、回路における転流ポイントは師部から各果房部への結線位置とした。外部環境条件の光は前報¹⁾と同様、明期9時間と暗期15時間の24時間サイクルの方形波を毎日繰り返すと仮定した。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¹⁾の数値をほぼ踏襲した。

田中と藤田の実験^{2,3)}に合わせて、(1)短期(48時間)と(2)長期(1ヶ月間)に分けて計算を試みた。(1)と(2)の供試植物体の模式図と電氣的等価回路モデルをそれぞれ図1と図2に示す。

なお、電氣的等価回路モデルにおいて各層位葉部へ供給する光エネルギー量は供試植物の各層位の葉の乾物重に比例した値とした(表1)。葉面積が葉の乾物重におおよそ比例すると想定した。群落内の葉に到達する光強度は下層ほど低下するが、本報では単独株でどの層位も到達する光強度には大きな違いはないと仮定した。

[結果]

(1) 短期 (48 時間) の転流実験との比較

田中と藤田の実験²⁾では、第1層位にある⑤葉、第2層位にある⑪葉、第3層位にある⑭葉に¹⁴Cを3時間吸収させ、その45時間後の第1~3果房への移行結果を報告している。⑤、⑪、⑭葉を合わせた¹⁴Cの各果房への移行割合が光合成産物の各果房への転流比とみなして、この転流比と等価回路モデルの各果房の転流ポイントにおける流入電位を比較した(表2)。田中と藤田の実験²⁾からは第1~3果房への転流比はそれぞれ69%, 30%, 2%と推定された。一方、等価回路モデルでは66%, 26%, 8%であった。似たような比率を示したものの、田中と藤田による実験の方が第2果房への転流比が大きかった。等価回路モデルでは各果房のシンクとしての活性度は同じと仮定したが、実験中の第1果房は肥大中、第2果房は肥大開始、第3果房は開花始めだったので、シンクとしての活性は第2果房が最も高く、第1果房は最盛期を過ぎ、第3果房は活性期にまだ入っていない状況だったのではないかと想像される。これが田中と藤田の実験による第2果房への転流比の方が大きかった原因の一つかもしれない。

(2) 長期 (1ヶ月間) の転流実験との比較

田中と藤田³⁾の1) 標準区、2) 第1果房切除区、3) 第1層位葉切除区、4) 第1, 2層位葉切除区、5) 第2~4層位葉切除区における実験期間(8月9日~9月10日)終了時の各果房の果実重を表3に示す。実験開始時の全果実重(乾物重)は10[g/個体]以下であったものが実験終了時には200[g/個体](標準区)になったことから、果実重は実験期間中の果房への転流をほぼ反映したものであろうと解釈し、これとモデル計算による各果房への転流比を比較した(表3)。

1) 標準区: 何も切除していない標準区では第1~3果房への転流比は実験でもモデル計算でもすべて30%台でほぼ等分だった。

2) 第1果房切除区: 実験でも計算でも第2果房への転流比は53%、第3果房への転流比は47%であった。

3) 第1層位葉切除区: 実験でも計算でも標準区と同様、転流比は第1~3果房でほぼ等分であった。ただし、実験では第1層位葉切除区の3果房への総転流量は標準区の98%であったが、モデル計算では第1層位葉切除区の方が標準区よりも2割増加してしまった。

4) 第1, 2層位葉切除区: 実験では第1, 2層位の葉を切除しても第1~3果房への転流比はほぼ等分で、1) 標準区や3) 第1層位葉切除区の場合と変わらなかった。しかし、モデル計算では第1果房へ18%、第2果房へ37%、第3果房へ45%と各果房間に違いが出た。また、モデル計算では3) 第1層位葉切除区と同様、4) 全果房への転流量は標準区の1.16倍に増えてしまった。

5) 第2~4層位葉切除区: 実験における第1~3果房への転流比はそれぞれ48%、43%、9%であったが、モデル計算においては40%、32%、28%と第3果房への転流比が実験より大きかった。

実験期間の1ヶ月中に作物は成長するので、それに伴い計算条件も変化させるべき

であるが、本モデルでは変化しない強引な計算であった。例えば、第1～3果房のシンクとしての活性度は期間を通じてみればどれも同じと想定できても、第2～4層位葉切除区では葉は第1層位だけと少なく、各果房が十分な光合成産物を得て成熟する前に実験期間が終了となった場合は各果房の全期間を通じた活性度に差が残ったままであったのかもしれない(図3)。そこで、モデルの第1～3果房の抵抗と静電容量の設定値に表4のような差をつけた計算を試みた。その結果、5)第2～4層位葉を切除したモデル計算で第1～3果房への転流比は実験値に近づき、4)第1,2層位葉を切除した計算でもわずかながら実験の転流比に近づいた。

今回はモデルの中のパラメータ値を適当に定数として設定して強引に計算を行った。転流比さらには転流量を予測するには、近年精緻な研究が進んでいる代謝系や貯蔵系のモデルと結びつけるなどの工夫が必要と思われる。

引用文献：

- 1) 奥島里美 (2023) 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-, <https://doi.org/10.51094/jxiv.356>
- 2) 田中 明, 藤田 耕之輔 (1972) トマトの果実生産における Source と Sink の相対的意義の解析(第2報)：異なる葉位の葉からの ^{14}C の移行, 日本土壤肥料学雑誌, 43(3) 77-80, https://doi.org/10.20710/dojo.43.3_77
- 3) 田中 明, 藤田 耕之輔 (1972) トマトの果実生産における Source と Sink の相対的意義の解析(第3報)：葉または花房切除が光合成産物の移動および乾物生産におよぼす影響, 日本土壤肥料学雑誌, 43(11) 423-428, https://doi.org/10.20710/dojo.43.11_423

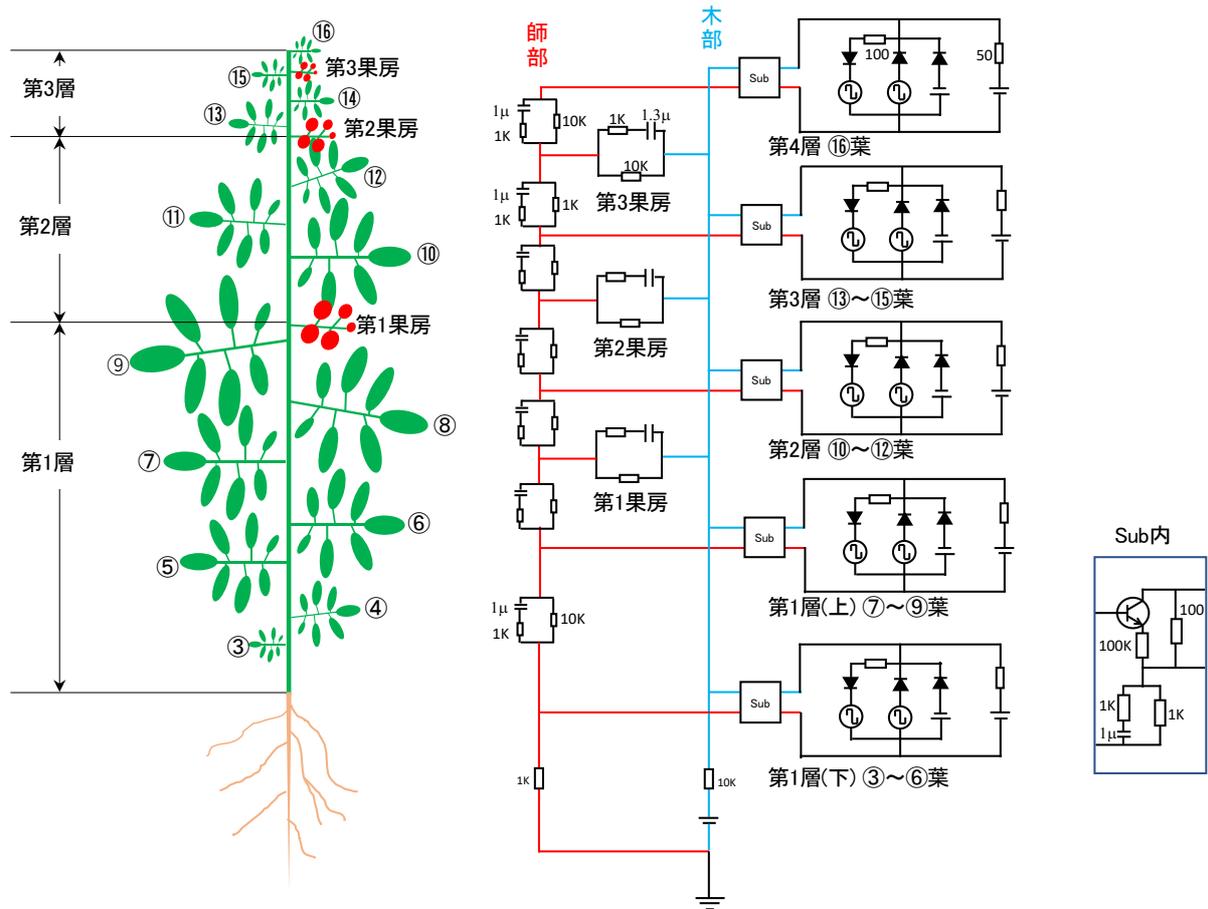


図1 田中と藤田の短期間（48時間）転流実験²⁾における供試植物体の模式図（左）とそれに合わせて作成した電氣的等価回路モデル（右）

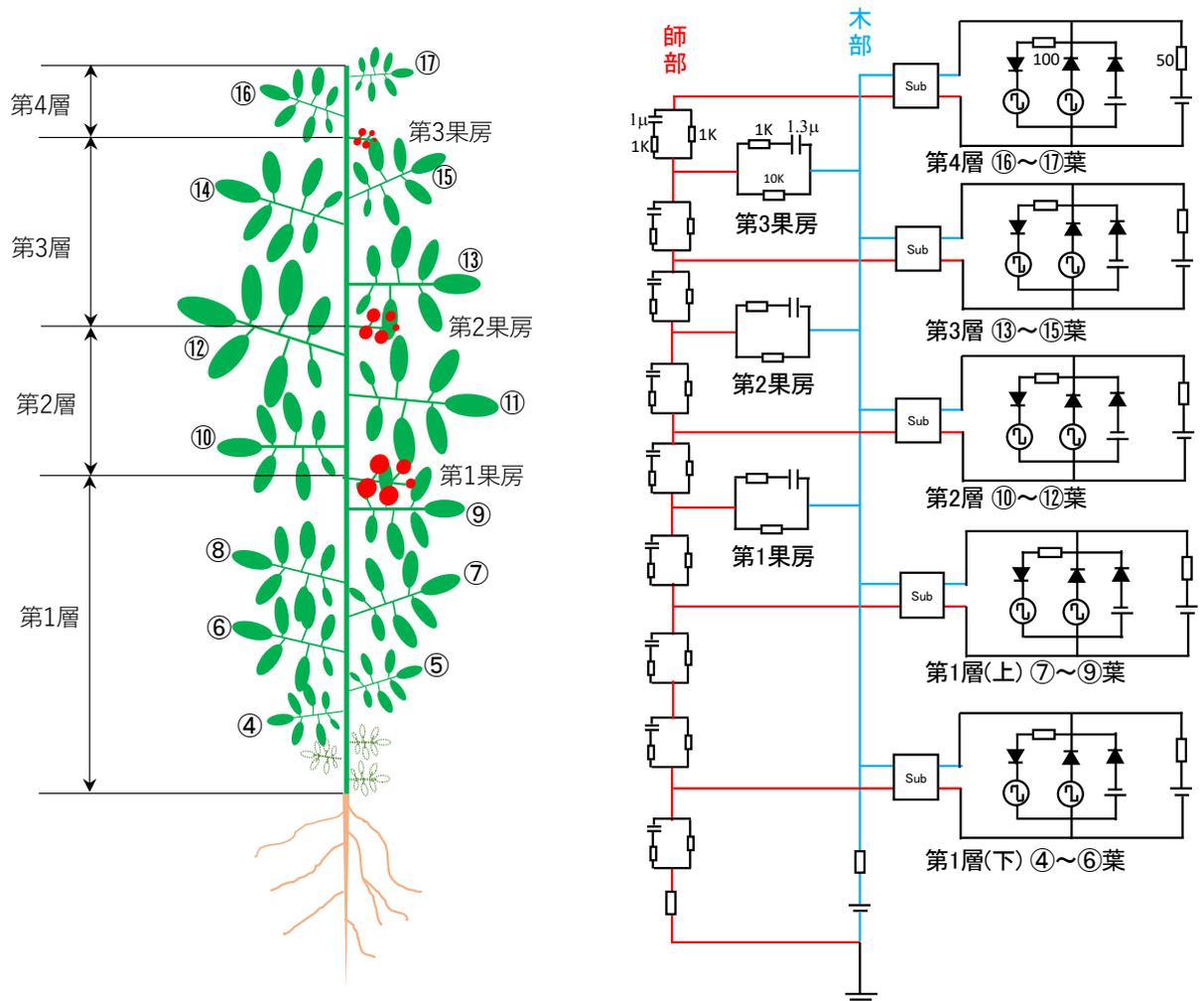
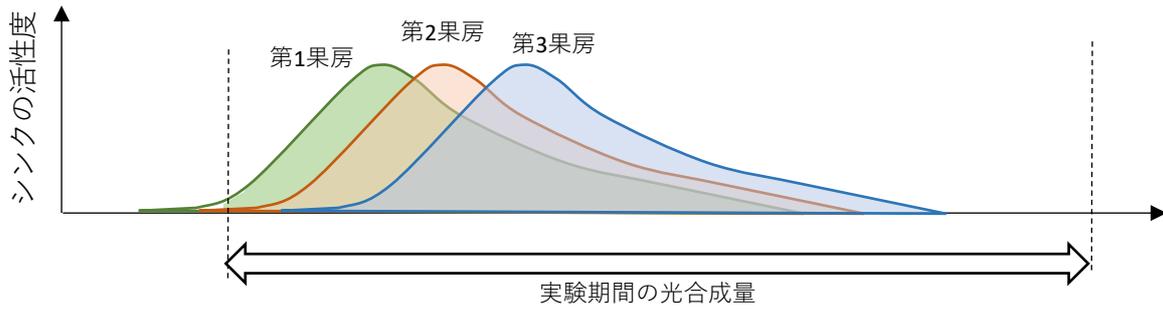
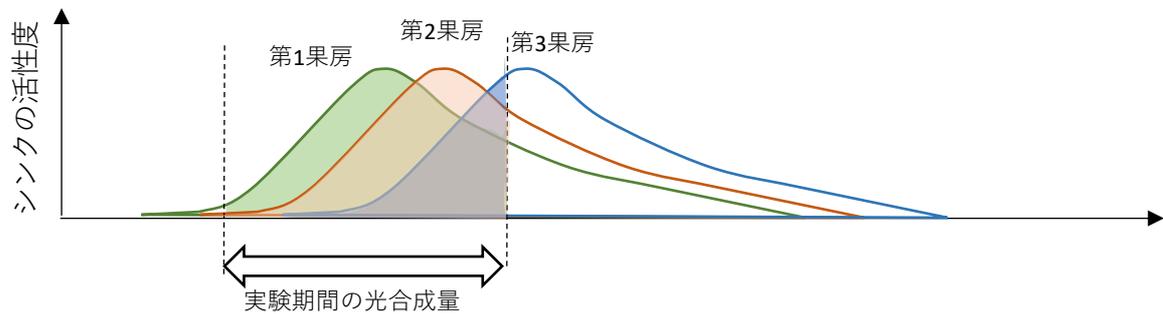


図2 田中と藤田の長期間(1ヶ月間)転流実験³⁾における供試植物体の模式図(左)とそれに合わせて作成した電氣的等価回路モデル(右)



1) 標準区の場合



5) 第2,3,4層位葉切除区の場合

図3 各果房のシンクとしての活性度のイメージ図

表1 田中・野口³⁾における供試植物の葉の平均乾物重とそれに基づく電氣的等価回路モデルの設定光量

田中・野口 ³⁾		電氣的等価回路モデル		
層位	乾物重[g/個体]	層位	仮定受光配分比	設定光量[V]
第3層	2.61	第4層	0.1	2
第2層	4.91	第3層	2.61	40
第1層	17.14	第2層	4.91	74
		第1層(上)	8.57	130
		第1層(下)	8.57	130

表2 短期間(48時間)における各果房への転流比

	田中・野口 ²⁾				電氣的等価回路モデル		
	果実重[g]			転流比	転流ポイントの	転流比	
	第1層 由来	第2層 由来	第3層 由来	合計	[%]	流入電位[V]	[%]
第3果房	374	6	337	717	2	0.634	8
第2果房	3040	4383	4057	11480	30	1.967	26
第1果房	18554	5557	2431	26542	69	4.963	66

表3 長期間（1ヶ月）における各果房への転流比

1) 標準区

	田中・野口 ³⁾ の転流実験		電氣的等価回路モデル	
	果実重(乾物重)	転流比	転流ポイントの流入電位	転流比
	[g/個体]	[%]	[V]	[%]
第3果房	62	32	7.332	31
第2果房	70	36	8.623	36
第1果房	62.2	32	7.958	33

2) 第1果房切除区

	田中・野口 ³⁾ の転流実験		電氣的等価回路モデル	
	果実重(乾物重)	転流比[%]	転流ポイントの流入電位	転流比[%]
	[g/個体]		[V]	
第3果房	80	47	8.491	47
第2果房	90.3	53	9.628	53
第1果房	-	-	-	-

3) 第1層位葉切除区

	田中・野口 ³⁾ の転流実験		電氣的等価回路モデル	
	果実重(乾物重)	転流比[%]	転流ポイントの流入電位	転流比[%]
	[g/個体]		[V]	
第3果房	60	32	8.36	29
第2果房	67.5	36	10.984	38
第1果房	61.8	33	9.575	33

4) 第1,2層位葉切除区

	田中・野口 ³⁾ の転流実験		電氣的等価回路モデル	
	果実重(乾物重)	転流比[%]	転流ポイントの流入電位	転流比[%]
	[g/個体]		[V]	
第3果房	49.9	31	12.575	45
第2果房	58.8	37	10.236	37
第1果房	52	32	5.11	18

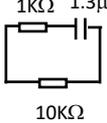
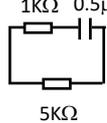
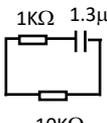
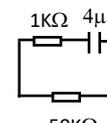
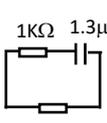
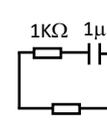
5) 第2,3,4層位葉切除区

	田中・野口 ³⁾ の転流実験		電氣的等価回路モデル	
	果実重(乾物重)	転流比[%]	転流ポイントの流入電位	転流比[%]
	[g/個体]		[V]	
第3果房	8.4	9	2.53	28

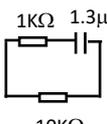
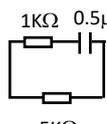
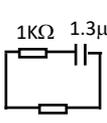
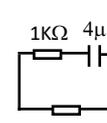
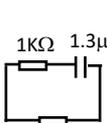
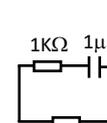
第2果房	40.1	43	2.84	32
第1果房	45.4	48	3.56	40

表4 果房の設定値による転流比の違い

4) 第1,2層位葉切除区

	田中・野口 ³⁾ 転流比[%]	電気的等価回路モデル			
		設定値	転流比[%]	設定値	転流比[%]
第3果房	31	1K Ω 1.3 μ F  10K Ω	45	1K Ω 0.5 μ F  5K Ω	40
第2果房	37	1K Ω 1.3 μ F  10K Ω	37	1K Ω 4 μ F  50K Ω	37
第1果房	32	1K Ω 1.3 μ F  10K Ω	18	1K Ω 1 μ F  30K Ω	23

5) 第2,3,4層位葉切除区

	田中・野口 ³⁾ 転流比[%]	電気的等価回路モデル			
		設定値	転流比[%]	設定値	転流比[%]
第3果房	9	1K Ω 1.3 μ F  10K Ω	28	1K Ω 0.5 μ F  5K Ω	12
第2果房	43	1K Ω 1.3 μ F  10K Ω	32	1K Ω 4 μ F  50K Ω	42
第1果房	48	1K Ω 1.3 μ F  10K Ω	40	1K Ω 1 μ F  30K Ω	46