

平成 30 年 6 月 4 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26292016

研究課題名(和文)変動環境下でのバラ群落の炭素収支計測に基づく整枝および環境管理の最適化理論の構築

研究課題名(英文)An optimization strategy of the plant architecture and the environment control revealed by measuring the carbon balance in the greenhouse rose vegetation under fluctuating environments

研究代表者

土井 元章(Doi, Motoaki)

京都大学・農学研究科・教授

研究者番号：40164090

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,300,000円

研究成果の概要(和文)： 整枝管理および環境管理の最適化理論の構築を目指し、バラ生産群落の生育シミュレーションモデルの開発を行った。変動する環境下で二酸化炭素取り込み速度を計測することで、群落の光-温度-光合成曲線を導出し、これを用いて1日の炭素獲得量を予測するシステムダイナミクスモデルを構築した。加えて、折り曲げ枝群落の光合成産物が開花時の各器官へどのような割合で分配されるかについて、¹³Cを用いたフィーディング実験により検討した。構築したSDモデルの検証の結果、昼間の光合成量、夜間の呼吸量とも過大に予測され、また冬季に予測値誤差が大きくなることが明らかとなった。これらの予測誤差の原因について考察した。

研究成果の概要(英文)： To discuss an optimization strategy of the rose plant architecture and the environment control, a growth simulation model of greenhouse rose vegetation was developed. Using the light-temperature-photosynthesis curve generated by measuring the photosynthetic and respiration rates under fluctuating environments, we constructed a system dynamics (SD) model which predicts daily carbon gain. In addition to this, the distribution ratios of photosynthates produced by the bending shoots to other organs were evaluated by ¹³C₂ feeding experiments. From the results of the SD model validation, it was found that both photosynthesis during daytime and respiration during nighttime are over-estimated and that the error becomes larger in winter. The course of these prediction errors was discussed.

研究分野：園芸科学

キーワード：シミュレーションモデル バラ 最適化理論 炭素収支 転流 整枝管理 栽培環境管理

1. 研究開始当初の背景

園芸作物の整枝管理とそこで形づくられた群落構造に応じて環境管理を最適化することは、高生産性を実現する上で重要である。特に施設園芸生産においては、温度、湿度、光環境、二酸化炭素濃度等を高度に制御することが可能で、群落構造と環境制御を最適化して組み合わせることで、高い生産性を実現できるものと考えられる。しかし、これらの栽培管理は未だ生産者の経験の域を脱していない。

バラの切り花生産においては、1980年代後半から世界的に、切り上げ方式からアーチング方式へと転換した。その後、アーチング栽培の欠点を補うため、ハイラック方式やレベリング方式が考案され今日に至っている。アーチング栽培では、それまで複雑であった整枝管理が単純化され、光合成生産物のソース器官となる折り曲げ枝がシンク器官である収穫枝から切り離された。すなわち、収量や品質を炭素の獲得と分配の観点からとらえることが容易となった。

これまで、植物の光合成と環境との関係を説明するモデルは数多くある。バラに関しては、Lieth・Pasian(1990)が葉の光合成とPPFD、葉温、葉齢との関係をモデル化したのが最初で、Kim・Lieth(2003)は、光合成、気孔コンダクタンス、蒸散の3つのモデルを組み合わせる純光合成速度を高精度で予測するモデル開発に成功した。しかし、これらはいくまで個葉の光合成を予測したにすぎず、群落の光合成予測に適用してそこから生産性を考察することは困難であった。近年、生産群落の物質生産をモデル化しようと試みた提案が Buck-Sorlinら (2011) によってなされた。このモデルは、バーチャルな施設をコンピュータ上に建設し、葉の配置される位置での光環境をシミュレーションするものである。さらに、Kim・Lieth(2003)のモデルを使って個葉が置かれた光環境との関係で群落を議論している。しかし、収量性や施設の環境管理に直結する考察をするまでには至っていない。

研究代表者らは、バラのアーチング栽培がこれまで経験的に行われてきた整枝管理に理論的背景を与えるモデルとなりうることに気づき、切り花の生産性と整枝管理法との関係を検討してきた (Shimomuraら, 2000; Doiら 2009)。この研究の過程で、整枝管理と施設環境管理を包括的に論ずるには、炭素収支・分配のモデルを構築して、収量を炭素の切り花への蓄積量として評価することが不可欠であり、そのためのシミュレーションモデルを構築することが有効であると考えに至った。また、変動する環境下で群落の光合成を連続測定し、それを環境パラメータに応じて再構築すれば、容易にモデル開発と検証に必要な実測値を得ることができると気づいた。

2. 研究の目的

本研究では、バラ切り花の生産群落を対象に変動する施設環境を活用してそこから炭素

収支と環境パラメータとの関係を抽出する手法を採用し、炭素収支と炭素分配に着目しつつ、成育と収量・品質を予測するシミュレーションモデルを構築し、それを用いて整枝管理と施設環境管理の最適化理論を構築しようとするを目的とした。すなわち、光合成と呼吸速度を変動する環境下で連続計測し、これを温度、光強度、二酸化炭素濃度等を軸として再プロットすることで環境に対する炭素収支の様相を群落レベルで把握した。さらにこの結果を炭素分配と関連づけることで収量を予測するシステムダイナミクス (SD) モデルの構築を目指した。

3. 研究の方法

(1) 植物材料と栽培管理

‘サムライ 08’、‘スイートアバランチェ’、‘ローテローゼ’を実験材料とし、必要に応じて使い分けた。特に断らない限り、‘オドラータ’ (*Rosa gigantea*) を台木として 50 mm 角のロックウールキューブに挿し接ぎし、ミニプランツを得た。これをロックウールベッド (200 mm×450 mm (または 900 mm)×75 mm) に定植した。1 ベッドにつき 4 株または 9 株を植え付け、いずれの整枝法とも、南側への片側折曲げとして整枝した。栽培は 2014 年 6 月から 2017 年末までとしたが、一部の株は 2016 年 6 月に新たに定植して仕立てた。

園試処方 1/3 単位培養液を掛け流し方式で灌液した。灌液量はいずれの時季とも廃液があることを確認しながら、季節に応じて変更した。設定温度 17℃で加温を行った。晩春から初秋までは、換気を必要に応じて行った。また、7 月下旬から 9 月末までは 20%遮光の寒冷紗を用いて遮光した。

施設内の環境 (温度、湿度、日射量) については、データロガー (LG-220, グラフテック) を用いて記録した。

(2) 群落光合・呼吸成速度の計測

群落光合成・呼吸速度の計測は、アーチング仕立ての ‘スイートアバランチェ’ の 4 株植群落を図 1 に示す光合成測定用の同化箱に入れ、施設内の変動する環境下で計測した。

折り曲げ枝群落の葉の量は LAI により評価し、特に断らない限り LAI3.0 になるように測

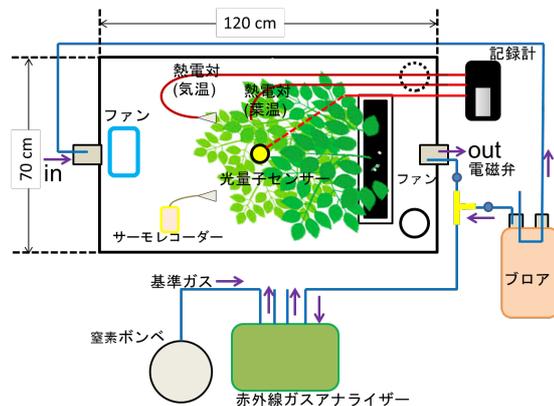


図 1 群落光合成測定用同化箱の模式図

定前に調節した。また、硫酸により pH を 4.0 に調整した培養液を培地に十分にかけ流して、二酸化炭素の溶け込みを極力抑えた。

赤外線ガスアナライザー (LI7000, Li-Cor) を用いて空気入口および出口の二酸化炭素濃度を 1 分切り替えて送り込み、10 秒間隔で二酸化炭素濃度を計測して記録した。光合成を行っている時間帯の測定値の二酸化炭素濃度は、図 2 に示すような変化を示すことから、濃度が最も安定する流路切り替え後 6 番目の測定値を用いた。

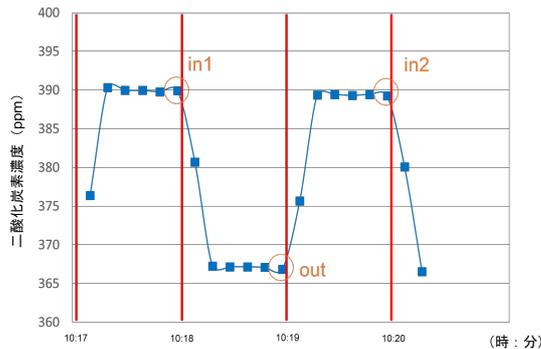


図 2 二酸化炭素濃度の測定結果例

群落内の 1 株当たりの光合成速度 ($\mu\text{mol} \cdot \text{s}^{-1}$) を入口および出口の二酸化炭素濃度の差から、下式を用いて算出し、これを、2 分間を代表する群落内 1 個体の純光合成速度とした。

光合成・呼吸速度 = $V \times \{ (in1 + in2) / 2 - out \} \times 273.15 / \{ 22.4 \times (273.15 + T) \} \times 1/4$
ただし、V: 同化箱への空気流入量 ($5.8 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$), in1, in2, out: 図 2 に示す時点での二酸化炭素濃度, T: out 測定中の気温。

計測時には、同化箱内で温度、湿度、折り曲げ枝群落直上の光強度 (PPFD) の計測を行った。上記の光合成・呼吸速度の計算値を連続して求め、これを積算することで 1 日の二酸化炭素吸収量とした。次に、これらのデータを用いて光-光合成成曲線を求めた。導出の際に用いたデータの温度は $18^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$ 、PPFD は $0 \sim 1800 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ であった。また、二酸化炭素濃度は 400 ppm 前後 ($340 \sim 480 \text{ ppm}$) であった。なお、光-光合成成曲線の導出に用いるデータは、以下の条件を全て満たす場合にのみ採用した。

$|in1 - in2| \leq 5 \text{ ppm}$ (昼間)
 $\leq 2 \text{ ppm}$ (夜間)
out 測定中の PPFD の変化 $\leq 25 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
out 測定中の温度の変化 $\leq 1.0^{\circ}\text{C}$

これにより抽出されたデータを、 2°C ごとの温度幅でソートし、PPFD に対してプロットした。Delta Graph ver. 7.0 (Red Rock) のカーブフィット機能により、以下の式を用いて非直角双曲線を近似した。

$$y = b \cdot x / (2 \cdot k) + c / (2 \cdot k) - \text{Sqrt} \{ (b \cdot x + c)^2 - 4 \cdot b \cdot c \cdot k \cdot x \} / (2 \cdot k) - a$$

ただし、y: 純光合成速度, x: PPFD, a: 暗呼

吸速度, b: 光強度に対して光合成速度が直線的に増加する際の直線の傾き, c: 光飽和時の真の光合成速度, k: 凸度。

なお、a の近似値 (y 切片) は、 31°C 以上の温度プロットで読み取ることができなかった。そこで、 29°C までの a 値を指数近似して a 値の推定値を定数として入力した。決定係数が十分に高い ($R^2 \geq 0.9$) ことを確認して、パラメータ値を確定した。

次に、a, b, c, k のパラメータ値を温度に対してプロットした。a 値は指数関数, b 値は 2 次関数, c 値は 3 次関数, k 値は 4 次関数により近似した。各パラメータの近似式を用いることで、温度と PPFD の瞬時値から、その時の光合成速度を算出できるようにした。これによって、 1°C 刻みおよび PPFD $10 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 刻みでの光合成速度を算出した。この光合成速度を温度および PPFD に対してプロットし、3 次元のグラフ曲面を得た。以下これらの関係式を用いて炭素獲得量をシミュレートするモデルを回帰モデルと呼ぶ。

(3) ^{13}C を用いた炭素分配率の計測

‘スイートアバランチェ’の挿し接ぎ苗を、パーライトを充てんした 18 cm ポットに鉢上げし、(2) と同様に栽培した。最初に発生した枝はすべてを折り曲げ枝 (BS) とした。その後半数はアーチング仕立てとした。残り半数を切り上げアーチング方式で仕立てるため、株当たり 2 本のシュートを株元から高さ 10 cm を残して (採花母枝: MS) 採花し、そこから発生する収穫枝は 2 cm ずつ残し採花した。1 本の採花母枝につき 1 本の収穫枝のみとなるように、 unnecessary 芽は取り除いた。

フィーディングには、99 atom % の $^{13}\text{C}_2$ を 1% 含むガスを用いた。施与直前に透明なビニル袋で BS を密閉し、その中に 20 L の上述した混合ガスを注入した (図 3)。ビニル袋は処理開始後 5 時間後に取り外し、処理開始 72 時間後に BS, クラウン (CR), 根 (R), MS, 収穫枝 (S), 花 (F) に分別し、 80°C で 90 時間以上乾燥させた。 $^{13}\text{C}_2$ を施与した葉は、乾燥前に葉面積測定器を用いて葉面積を計測した。乾物は重さを測り、ミルで粉砕した。広島県福

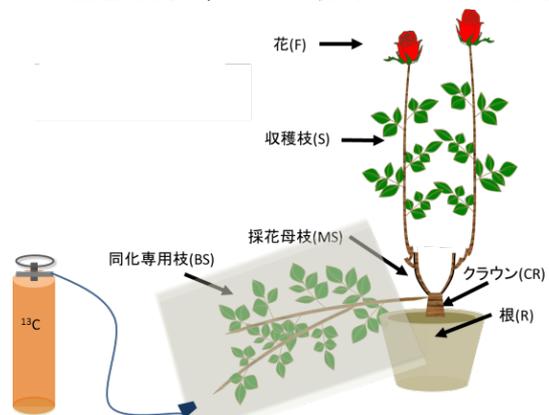


図 3 $^{13}\text{C}_2$ のフィーディング方法

山市の西日本農業研究センターにて安定同位体比質量分析装置を用いて、乾燥粉末を分析し、同化専用枝で獲得した炭素の各部位への分配率を算出した。各処理は3~4反復とした。

(4) 炭素収支を予測するSDモデルの構築
環境パラメータを入力することで、バラの収穫枝発生から開花までの成長(炭素の蓄積)をシミュレートするモデルを作成した。モデルの作成には、シミュレーションソフトウェア「ExtendSim9」を用いた。

(5) SDモデルによる予測と検証
光-光合成曲線の導出に用いたデータ取得日とは異なる日時の温度および日射量のデータを用いて、1日の炭素獲得量をシミュレートした。すなわち、これを季節と天気の異なる6日分のデータを用い、それぞれの日の炭素獲得量のシミュレーションを行った。得られた値を昼夜に分けて実測値から得られた炭素獲得量と比較した。

4. 研究成果

(1) 群落光合成・呼吸成速度の計測 折り曲げ枝群落の光合成速度の計測

折り曲げ枝のみをもつアーチング仕立てのバラ‘スイートアバランチェ’群落を群落光合成測定用の同化箱に入れ、光合成・呼吸速度の計測を行った。計測は数日にわたって行ったが、ここでは、夏季、冬季の代表的な1日のデータを示した。

図4には夏季における同化箱内の温度および折り曲げ枝群落直上でのPPFDの変化と、1株あたりの群落光合成速度の測定結果を示した。また、これらから1日の積算二酸化炭素吸収量を求めた。図5には冬季の測定結果を示した。

光-光合成曲線の導出

図6は、折り曲げ枝のみをもつ‘スイートアバランチェ’群落内の1株当たりの光-光合成曲線を2016年5~6月の計測データを用いて作成したものである。2℃ごとの温度幅でデータソートし、PPFDに対してプロットした。

19℃から25℃へと温度が上昇するに伴って、光飽和時の真の光合成速度(c値)が徐々に大きくなり、25℃で $3.29 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ と最大

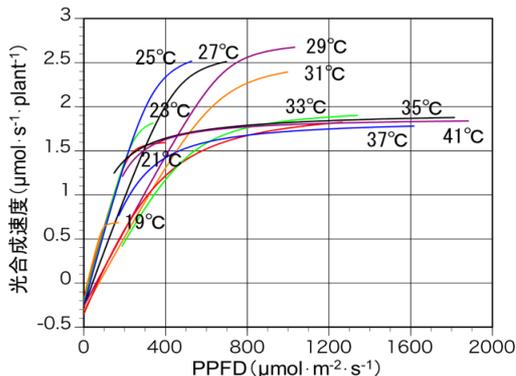


図6 ‘スイートアバランチェ’の折り曲げ枝群落の光-光合成曲線

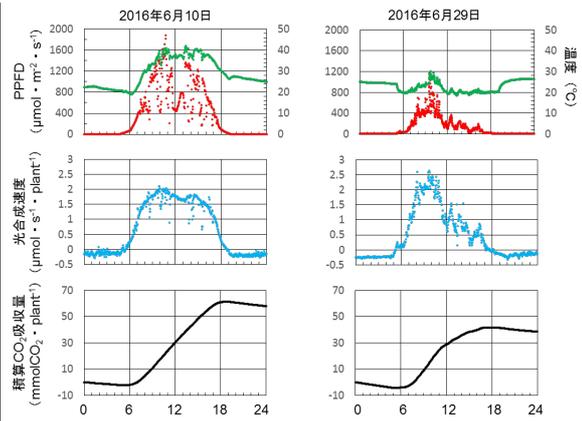


図4 夏季の晴天日および曇天日における光合成速度および積算二酸化炭素吸収量

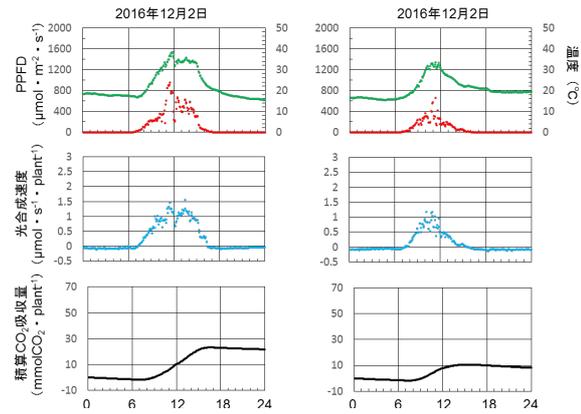


図5 冬季の晴天日および曇天日における光合成速度および積算二酸化炭素吸収量

となった。温度がさらに31℃まで上昇するに伴い、低PPFD下における光合成速度が直線的に増加する際の直線の傾き(b値)が徐々に低下していった。またc値も徐々に低下したが、光飽和点は徐々に上昇していった。これは呼吸速度(a値)が温度上昇に伴って指数関数的に増加することに起因していると考えられた。33℃以上では光飽和時の光合成速度は明らかに低下し、 $1.8 \mu\text{molCO}_2 \cdot \text{s}^{-1}$ 程度となった。

これらの各温度別のカーブフィットの結果から得られたa, b, c, k値について、温度に対して近似式を得た(データ省略)。この結果をもとに、温度およびPPFDに対する光合成速度の近似値を算出し、3次元グラフ化した(データ省略)。

(2) ^{13}C を用いた炭素分配率の計測

仕立て方の違い

2015年に切り上げアーチング方式とアーチング方式で仕立てた株を用いて、収穫枝が長さ10cm時および開花時に $^{13}\text{C}_2$ をフィーディングした。

収穫枝長10cmの時点でフィーディングを行うと、切り上げアーチング方式の転流率は51.0%、アーチング方式では66.8%となり、ややアーチング仕立てで高くなったものの、有意差は認められなかった(表1)。この時期、

表1 アーチングと切り上げアーチング仕立ての折り曲げ枝への ¹³C フィーディング後の転流率および分配率

収穫枝 ステージ	仕立て方	転流率 (%)	分配率 (%)				
			R	CR	MS	S	F
10 cm	アーチング	66.8	2.2	8.2	-	89.6	-
	修正アーチング	51.0	8.5	9.0	7.3	75.2	-
開花	アーチング	44.2	20.5	52.7	-	22.0	4.8
	修正アーチング	17.7	44.9	44.3	2.5	7.7	0.6

光合成産物の75~90%が伸長中の収穫枝(S)へ配分された。

一方、開花時のフィーディングでは、切り上げアーチング方式で転流率17%、アーチング方式で44%と大きな差があった。また、この時期根(R)やクラウンへの分配率が大きく、採花母枝(MS)や収穫枝(S+F)への分配率は10cmの時点から比べると大きく低下した。

処理時期(季節)のちがい

2015年3月8日, 5月15日, 10月3日, 11月24日に収穫枝の発蕾時にフィーディングした。

転流率は27%~43%であり、処理時期による有意な差はなかった(データ省略)。どの季節でも収穫枝(S)に多くの光合成生産物が分配されていた(50~80%)。

収穫枝の成育ステージの異なる株への ¹³C フィーディング

異なる収穫枝の成育ステージで ¹³C フィーディングを行い75時間後に株を分解して、¹³C を分析した。

転流率は収穫枝の発育ステージによって有意な差がみられ、開花時に最も低く23%であり、収穫枝長10cm時に最も高く51%であった(表2)。各部位への分配率をみると、収穫4日後(萌芽前)、8日後(収穫枝2cm時)ではR, CRで高く、両者を合わせると分配率は50%を越えた。収穫枝長10cmまで成長すると、その割合は20%以下まで減少し、75%が収穫枝に分配された。発蕾時においても60%近くが収穫枝に分配されていたが、開花時になると一気にその割合は減少し、一方でCRとRへの分配率が80%を越えて高くなった。

表2 切り上げアーチング仕立てにおける収穫枝の異なる生育ステージでの折り曲げ枝への ¹³C フィーディング後の転流率および各器官への分配率(処理開始72時間後にサンプリング)

収穫枝 ステージ	転流率 (%)	分配率 (%)				
		R	CR	MS	S	F
0 cm (4日後)	44.0	27.0	36.9	36.1	-	-
2 cm (8日後)	40.2	20.7	32.8	46.5	-	-
10 cm	51.0	8.5	9.0	7.3	75.2	-
発蕾時	38.3	12.2	14.4	15.0	58.4	-
開花時	23.4	38.0	43.0	7.7	10.0	1.3

0 cm, 4 cm時のMSはSを含む

異なる時点での ¹³C フィーディングが開花時点での転流率および分配率に及ぼす影響

萌芽前の収穫3日後, 収穫枝10cm時, 発蕾時に ¹³CO₂ をフィーディングして得られた同化産物は、開花時に約40~50%が折り曲げ枝から他器官へ転流していたが、開花3日前に処理した場合の転流率は約20%と低かった

(表3)。RとCRへの分配率は、収穫3日後は約80%であったが、収穫枝10cm時、発蕾時には20~30%まで低下し、この時期の光合成産物の多くは収穫枝(S)へと分配された。しかし、開花3日前にはRとCRへの分配率が再び約70%と上昇した。収穫枝10cm時、発蕾時には、収穫枝への分配率が多くなった。

表3 異なる時期に折り曲げ枝へフィーディングした ¹³C の開花時点での転流率および各器官への分配率

処理 ステージ	転流率 (%)	分配率 (%)				
		R	CR	MS	S	F
0 cm (3日後)	41.4	57.6	23.4	9.1	7.2	2.8
10 cm	51.9	17.5	5.6	7.2	66.8	1.5
発蕾時	50.8	22.6	9.3	12.4	52.0	3.8
開花3日前	27.9	48.4	21.7	10.4	12.2	7.3

(3) 炭素収支を予測するSDモデルの構築

システムズシンキングによりSDモデルのダイアグラムを作成した。これに基づいて、1日の炭素収支を算出するモデルを構築した

(図8)。植物体の部位構成は、収穫枝が2本発生すると仮定して、「クラウン」、「折り曲げ枝」、「収穫枝1」、「収穫枝2」、「根」の4部位とした。1成長のサイクルとして、2014年9月26日(収穫枝未発生)から10月25日(開花時)を仮定し、この30日間を採花枝の発生と成長に合わせてStage 0(9月26日~10月1日)、Stage 1(10月2日~9日)、Stage 2(10月10日~17日)、Stage 3(10月18日~25日)の4つのステージを設定した。

第1段階として、ステージ別に1日ごとの炭素獲得量を、10分単位の光合成および呼吸速度から積算するシステムダイナミクスモデルを作成した。ここに、この期間に盛岡の栽培温室で観測された光および温度のデータを入力して、出力させた。第2段階として、前記植物体の部位構成を基に、光合成枝および採花枝における1日ごとの炭素獲得量と、任意に設定した他の部位への炭素の相互分配率から、各部位の炭素蓄積量をシミュレートするモデルを作成した。これに第1段階で得られた1日当たりの炭素獲得量を入力し、1成長サイクルにおける各部位における炭素蓄積量を出力させた。

入力データとしては、京都大学で採取された光-温度-光合成曲線をもとに、a, b, c, kを温度の関数として捉え、各パラメータの温

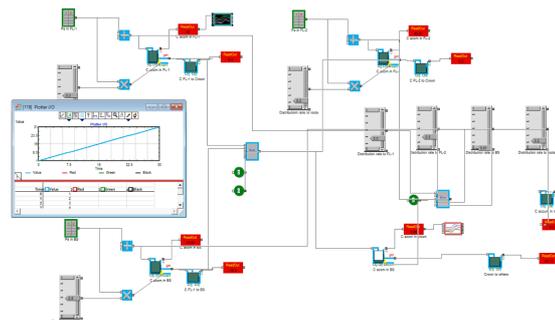


図8 アーチング栽培バラの各部位における炭素蓄積量をシミュレートするモデルの「ExtendSim9」上への展開

度との関数式における定数を決定した。以上のモデルをシミュレーションソフトウェアである ExtendSim 上に展開し、SD モデルとした (図 9)。

(4) SD モデルによる予測と検証

モデル構築に利用しなかった日の温度と PPFD のデータを用いて、回帰モデルおよび構築した SD モデルによって算出される 1 日の積算二酸化炭素吸収量の予測値を得た。この予測値を群落の光合成速度の計測により得た実測値と比較することで、炭素収支シミュレーションモデルの検証を行った。モデルの

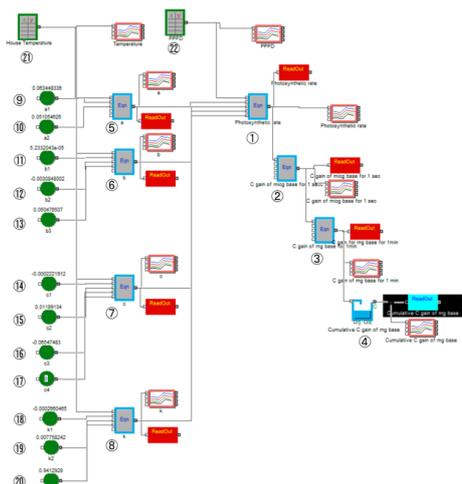


図9 1日の炭素収支をシミュレートするSDモデルの構造
①光合成速度の瞬時値を算出するブロック、②炭素獲得量の瞬時値を算出するブロック、③1分間の炭素獲得量を算出するブロック、④日積算炭素獲得量を算出するブロック、⑤パラメータ a 値を算出するブロック、⑥パラメータ b 値を算出するブロック、⑦パラメータ c 値を算出するブロック、⑧パラメータ k 値を算出するブロック、⑨~⑳定数が格納されているブロック、㉑温度推移を格納するブロック、㉒PPFD 推移を格納するブロック

検証に使用するデータを獲得した日は、2016年6月10日(夏季晴天日)、6月29日(夏季曇天日)、12月2日(冬季晴天日)および12月4日(冬季曇天日)を選択した。

回帰モデル、SDモデルのいずれにおいても昼間の二酸化炭素吸収量、夜間の呼吸量とも実測値より大きく予測された。また、予測精度は回帰モデルのほうがSDモデルより優れていた(表4)

SDモデルにおいては、いずれのシミュレーションを行った日においても、夜間は呼吸量が大きく見積られる傾向がみられ、昼間は光合成速度が大きく見積られる傾向がみられた。予測値が実測値よりも大きく見積もられたのは、暗呼吸速度(a値)が大きく予測されたことおよび昼間の光合成速度が大きく見積もられたことにより、これらがお互いの誤差を相殺しながらも昼間の光合成速度のプラス方向への誤差がより大きく、結果予測値がより大きな値となったことが原因である。c値についても、実測データの不足により、低温および高温域での光合成速度の推察および近似式に問題がある可能性が示唆された。パラメータ値の近似の修正によるシミュレーシ

ョンモデルの修正を行うことが必要であると考えられた。なお、時間別に実測値と予測値を比較したところ、季節を問わず日の出後数時間のPPFDが増加する時間帯における予測値が実測値を大きく上回っていることが明らかとなった(データ省略)。

また、夏季と冬季については、夏季よりも冬季において誤差が大きくなった。これは、冬季の折り曲げ枝群落の光合成能力の低下が原因である可能性が考えられた。季節変化との関係に着目し、シミュレーションモデルの修正を行うことが必要であると考えられた。

表4 折り曲げ枝のみを持つ‘スイートアバランチ’群落における3通りのシミュレーションによる1日の株あたり炭素収支の推定

日付	算出方法	二酸化炭素吸収量 (mmol CO ₂)			実測値との誤差 (%)		
		昼間	夜間	合計	昼間	夜間	合計
2016/6/10 (晴時々曇)	実測	63.1	-5.2	57.9	-	-	-
	回帰モデル	68.2	-7.9	60.2	8.1	51.9	4.0
	修正回帰モデル	68.2	-6.1	62.0	8.1	17.3	7.1
	SDモデル	73.1	-5.7	67.4	15.8	9.6	16.4
2016/6/29 (曇時々晴)	実測	45.2	-6.8	38.4	-	-	-
	回帰モデル	50.7	-8.8	42.0	12.2	29.4	9.4
	修正回帰モデル	50.3	-6.8	43.5	11.3	0.0	-13.3
	SDモデル	48.5	-6.0	42.5	7.3	11.6	10.7
2016/12/2 (晴時々曇)	実測	24.8	-3.0	21.7	-	-	-
	回帰モデル	33.4	-8.0	25.4	34.7	166.7	17.1
	修正回帰モデル	33.9	-4.6	29.3	36.7	53.3	35.0
	SDモデル	39.9	-7.7	32.2	60.7	155.5	48.4
2016/12/4 (曇時々晴)	実測	12.0	-3.9	8.1	-	-	-
	回帰モデル	17.8	-8.3	9.5	48.3	112.8	17.3
	修正回帰モデル	18.6	-5.0	13.6	55.0	28.2	67.9
	SDモデル	19.0	-6.4	12.6	58.0	63.0	55.6

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 2 件)

バラの切り上げアーチング方式における折り曲げ枝で獲得した炭素の分配

後藤丹十郎・磯部知里・増田美華・田中義行・安場健一郎・吉田裕一・石岡巖・梶原真二・土井元章. 2016. 園芸学研究(別) 1: 225.

小野伊織・森聡 太・稲本勝彦・後藤丹十郎・土井元章. 2017. バラアーチング栽培における1日の炭素収支をシミュレートするシステムダイナミクスモデルの構築. 園芸学研究(別) 2: 313.

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土井 元章 (DOI, Motoaki)
京都大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 40164090

(2) 研究分担者

後藤 丹十郎 (GOTO, Tanjuro)
岡山大学・環境生命科学研究科・教授
研究者番号: 40195938

稲本 勝彦 (INAMOTO, Katsuhiko)
国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構・野菜花き研究部門・ユニット長
研究者番号: 50223235