

ニンジンのトンネル栽培における生育予測モデル

井方宏典・板東一宏・川下輝一・岡田邦彦(野菜・茶業試験場 生理生態部)

Growth forecast model of the carrot in plastic tunnel

Hironori IKATA, Kazuhiro BANDO, Teruichi KAWASHITA and Kunihiko OKADA

要約

井方宏典・板東一宏・川下輝一・岡田邦彦(1999): ニンジンのトンネル栽培における生育予測モデルの開発, 徳島農試研報(35): 7~13

トンネルニンジンの生育予測モデルを光合成による乾物生産の観点から機構的手法で作成し, 実測値によるシミュレーションを行って, モデルの問題点や今後の課題について検討した。

この生育モデルは, トンネル内気温, 日射量, 播種後日数を入力することによって, 根重を得ることができる。モデルの構造は6つのプロセスに分類され, それぞれの推定式は2年間の栽培データから求めた。過去のデータによるシミュレーションの結果, 根重の増加傾向は, 実測値とほぼ同様の傾向が得られた。

今後, 現地での利用を考えれば, 外気温や日射量からトンネル内気温を推定する方法を考える必要がある。また, 生育モデルで想定していない要因で予測がはずれる場合は, 実測データからフィードバックさせてモデルを修正していく必要がある。

キーワード: ニンジン, 生育予測, モデル, 機構的手法, トンネル内気温, 日射量

はじめに

現在, 徳島県のトンネルニンジンは, 4~5月出荷では全国シェアの大半を占めており, この出荷量の変動は, 価格に大きく影響を与えている。そのため, 県内産地JAでは, ニンジンの正確な生育・出荷情報を把握することで市場取引の安定化や, また生産者指導を進めているところである。

従来, 生育予測法は, 過去の気象データと生育・収量との重回帰式を用いたものが多いが¹⁾, この方法は推定式の作成・利用が簡便であるという長所がある反面, 過去に例のない気象変動パターンの中には適用できないという利用上の欠点と作期別・品種別に多年次にわたる多くのデータが必要という推定式作成上の欠点もあり, 実用性に欠ける²⁾。

このような, 統計モデルのもつ問題点を克服する目的で, 最近では気象と作物の生育収量との関係に関与する生理・生態学的なプロセスにもとづいたモデルによって, 両者の関係を動的に捉えていこうとする研究が行われている¹⁾。このプロセス積み上げ型のモデルでは, 時々刻々の生長速度はその時々々の作物の状態と環境条件に応じて自動的に決定され, 逆に作物の状態はその時までの生長速度を積分した結果として与えられるようになっている²⁾。ここでは, この手法を用い, モデル作成と併せて過去の気象データを用いたシミュレーションで検証を行い, モデルの問題点や今後の課題について検討を行った。

試験方法

1 モデル作成に用いた手法

この研究で用いた機構的手法と呼ばれる方法は, 作物の生育と収量形成に関する生理生態的プロセスの因果関係を明らかにし, それに基づいて予測を行おうとするものである。この研究では, 岡田の

「レタスの地上部乾物重増加モデル³⁾」の日捕捉日射量(DIR)と日射利用率(RUE)の積を乾物増加量とする構造を採用し、第1図のとおりニンジンの生長モデルの構造を表した。大まかに分類すると以下の6つのプロセスに分類される。

- (1) トンネル内積算気温による葉数の推定
- (2) 葉数による葉重の推定
- (3) 葉重による葉面積の推定
- (4) 積算捕捉日射量(シグマDIR)の算出
- (5) 全乾物重(DW)の算出
- (6) 根重および葉重の算出

それぞれのプロセスの推定式の求め方は以下のとおりである。

(1), (2), (3)は, その要因間の回帰式を求めた。

(4)の捕捉日射量(DIR)は, 次式で求められる。

$$DIR = R_s \times \text{群落吸光率} \cdots (a)$$

ここで, DIRは植物体が1日に吸収する日射量で, 日捕捉日射量(MJ/m²/day)という。R_sは日積算日射量(MJ/m²/day)である。群落吸光率は, 次式で求められる。

$$\text{群落吸光率} = 1 - I/I_0 \cdots (b)$$

ここで, Iは群落下, I₀は群落外の光強度である。

(b)式は, Lambert Beerの法則から次の式に置き換えられる。

$$\text{群落吸光率} = 1 - \exp(-K \cdot LAI) \cdots (c)$$

ここでKは作物固有の吸光係数であり, (b), (c)式から次の式で求められる。

$$K = 1/n(I_0/I) \cdot 1/LAI \cdots (d)$$

ここでLAIは葉面積指数で, 単位面積当たりの葉面積を単位面積で除したものである。

以上の式より1株あたりのDIR(MJ/plant/day)は次の式で求められる。

$$DIR = R_s \cdot [1 - \exp(-K \cdot LAI)] \cdot 1 \text{株面積} / 10000 \cdots (e)$$

ここで, 1株面積(cm²)は, 条間 × 株間である。(5)の乾物生産量については次式で求められる。

$$DW = RUE \cdot \text{シグマDIR} \cdots (f)$$

ここでDWは全乾物重(g), シグマDIRは1株あたり積算捕捉日射量(MJ/plant)であり, 植物が吸収した日射量のことである。RUEは, DWとシグマDIRが直線回帰式をとれば, その傾きから求めることができ, その値は生育を通じて一定であるといえる。

(6)の根重および葉重は次のとおり算出される。

まず, 全生体重(FW)を次の式で求めた。

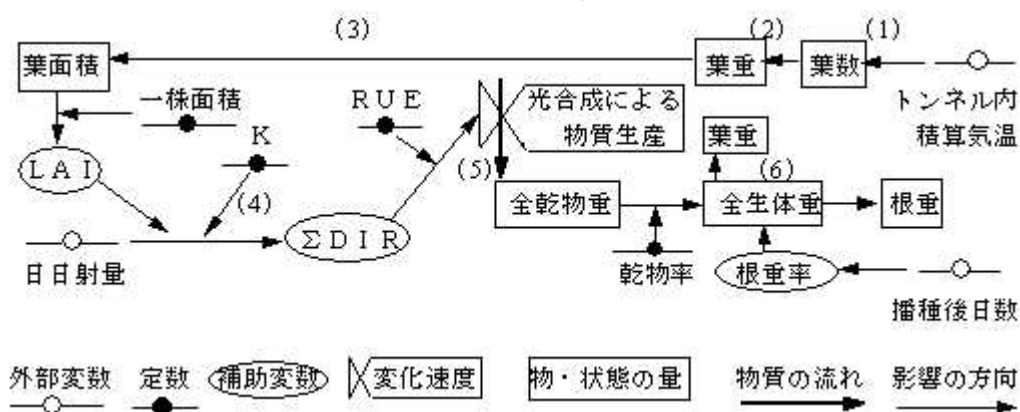
$$FW = DW \times \text{乾物率}^{-1} \cdots (g)$$

ここで, 乾物率は全生体重に対する全乾物重の割合であり, 生育をとおして一定の値であると仮定した。根重および葉重については次の式で求めた。

$$\text{根重} = FW \times \text{根重率} \cdots (h)$$

$$\text{葉重} = FW - \text{根重} \cdots (i)$$

ここで, 根重率は全生体重に対する根重の割合であり, 播種後日数との回帰式から求めた。



第1図 トンネルニンジンの根重増加モデルの構造

2 モデル作成およびシミュレーションによる検証に用いた栽培・気象データ

モデル作成には、当場で栽培した1996～1997年播種のデータを用いた。シミュレーションによる検証には、1995年播種のデータを用いた。データの項目および耕種概要については第1表、第2表のとおりである。

第1表 解析に使用したデータの項目

栽培データ; (15分毎)	葉数, 葉重(g), 葉面積(cm ²) 根重(g), 乾物重(g)
気象データ	日射量(MJ/m ²) ……場内気象観測, 日別データ トンネル内気温() ニンジン群落内日射量(MJ/m ²)

注1) ニンジン群落内の日射量の測定は、簡易積算日射計フィルム(大成化工(株))を用いて、野菜・茶業試験場で、1998年6月12日に播種した向陽2号の露地栽培で測定した。

注2) 葉面積の測定は、通常の葉面積計では測定が困難なため、葉を1枚ずつ切り離し、平面上に並べたものをデジタルカメラでパソコンに取り込み、RGB値を用いた画像処理で葉面積を求めた。

第2表 耕種概要

品種	向陽2号		
被覆資材	農サクビ(0.05mm)		
供試施設	間口3.0mのミニパイプハウス		
施肥	N:17.6 P ₂ O ₅ :35.6 k ₂ O:22.0 (成分kg/10a)		
間引き	本葉3～4枚頃に株間12cmに間引き		
播種年度	1995年	1996年	1997年
播種日(月/日)	12/8	11/1, 11/21	11/5, 11/19, 12/5
換気量	慣行, 多	慣行, 多	少, 慣行, 多

注) 換気は穴あけ換気, 換気量の詳細は第3表のとおりである。換気量の設定は変温管理のために行った。

第3表 トンネル表面積に対する換気孔面積率(%)

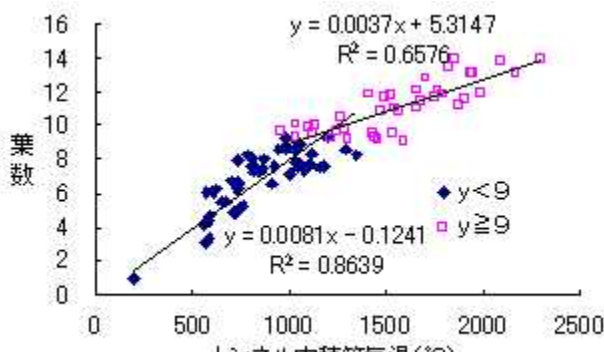
	1/16	1/26	2/14	3/19	4/5	4/18
慣行	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
少換気	0	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
多換気	0.2	1.0	3.0	4.0	5.0	7.0

結果

試験方法に従い、第1図のモデルの構造において、過去のデータから、それぞれのプロセスの関係式を求めた結果、次のようになった。

1) トンネル内積算気温による葉数の推定

トンネル内平均気温の積算値と葉数の関係は、第2図のように直線回帰をとった。9葉あたりから傾向が違いため、9葉を境に別々の直線を求めた。その結果葉数9葉までは、
 葉数 = 0.0081 × トンネル内積算気温
 - 0.1269

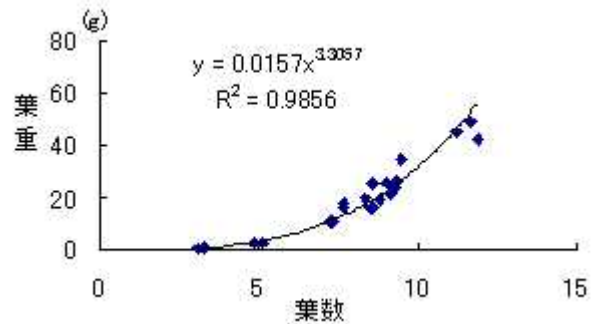


葉数9葉以上では、
 $\text{葉数} = 0.0037 \times \text{トンネル内積算気温} + 5.3147$
 という関係式が得られた。

2) 葉数による葉重の推定

葉数と葉重の関係は、第3図のようになり、その回帰式を求めた結果、

$\text{葉重} = 0.0157 \times \text{葉数}^{3.3057}$
 という、指数関数式が得られた。

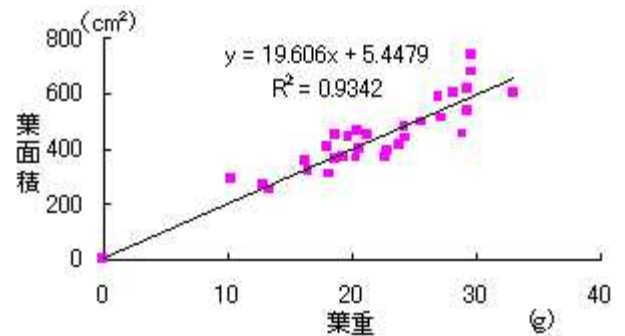


第3図 葉数と葉重の関係(1997年)

3) 葉重による葉面積の推定

葉重と葉面積の関係は、第4図のようになり、その回帰式を求めた結果、

$\text{葉面積} = 19.606 \times \text{葉重} + 5.4479$
 という、直線式が求められた。



第4図 葉重と葉面積の関係(1996年)

4) 捕捉日射量(DIR)の算出

吸光係数(K)については、ニンジンの群落の光強度を日射量測定フィルムで測定したところ(8月24日～8月26日)、 $I_0 = 18.85\text{MJ}$, $I = 6.26\text{MJ}$, 1株の平均葉面積が 340.3cm^2 , 株間・条間が $12 \cdot 18\text{cm}$ であったので $\text{LAI} = 1.575$ となった。ここで、(d)式より $K = 0.648$ と求められた。

結果、算出式は次のようになった。

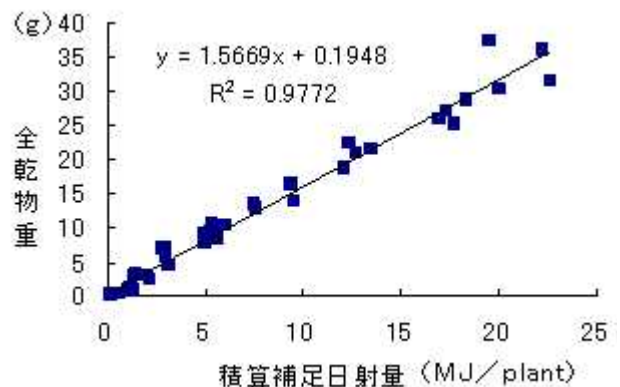
$$\text{DIR} = \text{Rs} \cdot [1 - \exp(-0.648 \cdot \text{LAI})] \cdot (1 \text{株面積} / 10000)$$

5) 乾物生産量の算出

試験方法のとおり、RUEを求めるため、第5図のように全乾物重(DW)と積算捕捉日射量(シグマ DIR)の回帰式をとったところ、直線の傾きから $\text{RUE} = 1.567$ となった。

結果、算出式は次のようになった。

$$\text{DW} = 1.567 \times \text{シグマDIR}$$



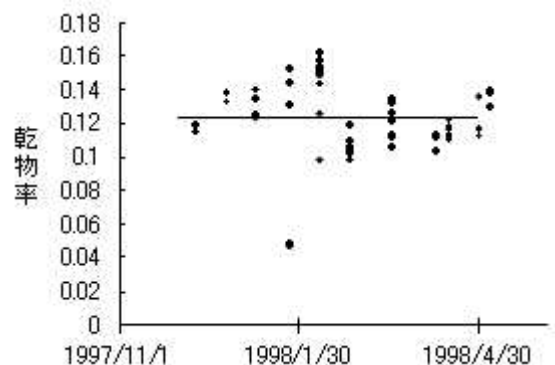
第5図 積算捕捉日射量と全乾物重の関係(1997年)

6) 根重と葉重の算出

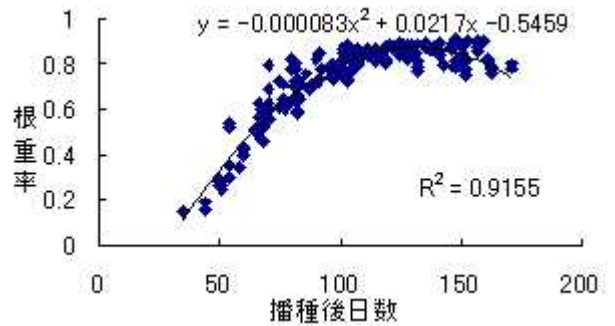
第6図のように、生育期間中の平均値として、乾物率 = 0.123とした。

結果、全生体重(FW)の算出式は次のようになった。

$$\text{FW} = \text{DW} \times 0.123^{-1}$$



第6図 乾物率の推移(1997年)



第7図 播種後日数と根重率の関係(1996, 1997年)

また, 根重率は第7図から次の式で求められる。

$$\text{根重率} = -0.000083 \times \text{播種後日数}^2 + 0.0217 \times \text{播種後日数} - 0.5459$$

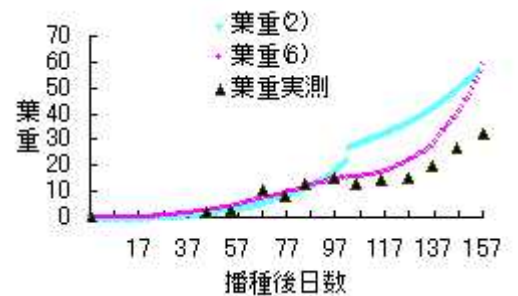
従って, 根重と葉重の算出式は次のようになる。 根重 = FW × 0.123

$$\text{葉重} = \text{FW} - \text{根重}$$

7) モデルのシミュレーションによる検証

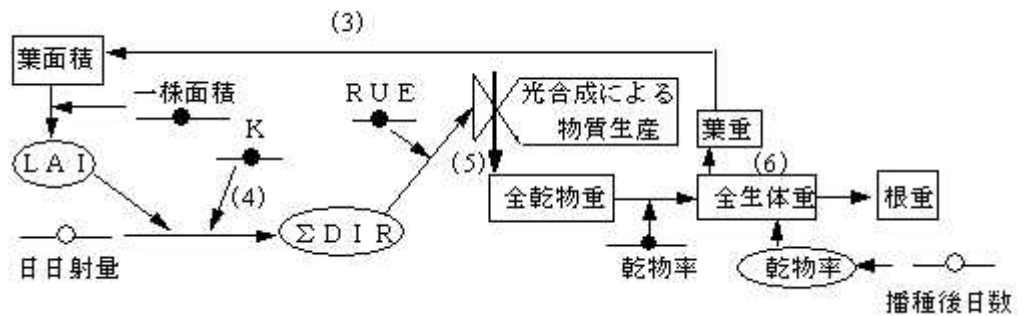
これまでに得られた式を第1図のモデル構造に従って組み立て、モデル作成に使っていない1995年のデータを用いてシミュレーションを行った。

ただ, 第1図のモデル構造では, 葉重の値が(2)の葉数から求める値と(6)の物質生産として求められる値の2通りの値が存在してしまう。



第8図 葉重値の比較

ここで第1図のモデルでシミュレーションした場合の2つの葉重の値と実測値を第8図で比較したところは種後90日頃までは(2), (6)の葉重ともほぼ同様の値を示すので, モデル構造に矛盾はない

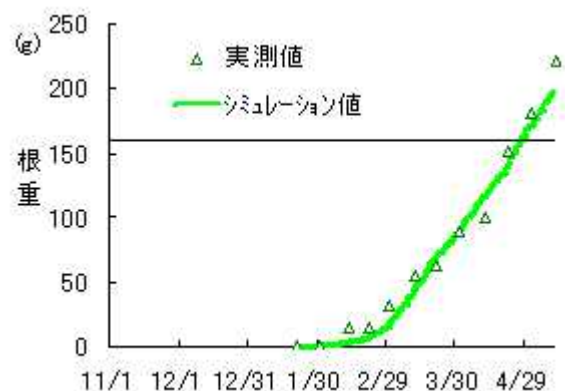


第9図 播種後90日以降のモデル

が, それ以降(2)の葉重の値が大きかけ離れてしまい, モデルに矛盾が生じてしまう。

この原因は, 生育後半になるにつれ, 葉数から葉重を推定する根拠が小さくなり, 他の要因が大きく関与すると考えられる。こうしたことから, ここでのシミュレーションでは, は種後90日までは図1のモデル構造で, 90日以降は(1)と(2)のプロセスを取り除いた第9図のモデル構造を採用した。

その結果, 求められた根重のシミュレーション値が第10図である。ここでは, 収穫日を根重160gを目安にしているが, 生育全般を通じて, 実測値とほぼ同様の傾向を得ることができた。また, 参考までに第4表に表計算ソフトでの計算シートを示した。



第10図 1995年播種における根重の実測値とシミュレーション

第4表 根重推定のための計算シート

る。これらの要因は、生育への影響を定量的に記述することが困難であるため、今の段階ではモデルに取り入れることができない。従って、このような想定外の要因で予測がはずれる場合は、実測データからフィードバックさせてモデルを修正していく必要がある。

摘要

トンネルニンジンの生育予測モデルを、プロセス積み上げ型の機構的手法で、光合成による物質生産の観点から作成した。モデルについては、過去のデータを投入してシミュレーションを行い、実測値と比較しつつ、モデルの問題点や今後の課題について検討した。

- 1 この生育モデルは、トンネル内気温、日射量、播種後日数を入力することによって、根重が得られる。
- 2 モデルの構造は、6つのプロセスに分類され、それぞれの推定式は2年間の栽培データから求めた。
- 3 過去のデータによるシミュレーションの結果、根重の増加傾向は、実測値とほぼ同様の傾向が得られた。
- 4 現地での利用を考えれば、外気温や日射量から、トンネル内気温を推定する方法を考える必要がある。
- 5 生育モデルで想定していない要因で予測がはずれる場合は、実測データからフィードバックさせてモデルを修正していく必要がある。

引用文献

- 1) 星野和生(1983):野菜の収量予測法研究の現状と問題点. 今月の農薬, 27(9):68 ~ 77.
- 2) 岡田邦彦(1995):生育モデルを用いた生育予測.野菜供給安定基金,平成6年度野菜情報利用高度化検討会報告書:2 ~ 26.
- 3) 竹崎あかね・亀野貞(1997):日射量がレタスの乾物重増加に及ぼす影響のモデル化.四国農試報, 61:67 ~ 73.