

クワ枝条伸長生長予測モデルの広域適用性と予測精度の検証

福井邦明

(農業生物資源研究所)

要旨：宮城、福島、茨城、鹿児島各県における3品種、一ノ瀬、改良鼠返、しんいちのせの4カ年のクワ枝条伸長調査データを用いて、気温、日長、最長枝条長を説明変数としたクワ枝条伸長生長予測モデルの広域適用性と予測精度の検証を行った。枝条伸長速度の最大値を表すパラメータ PR_{max} を、各県共通とした場合と各県独自とした場合とでは、後者の方がモデルの推定精度が向上した。これは同一品種内での PR_{max} の値が、福島県でのみ他県に比べて低くなったためであり、福島県では他県に比べて水条件が悪かったのがその原因であると推測された。モデルによる推定値と実測値との誤差は、 PR_{max} を各県独自とした場合でどの品種とも約9 cmであり、また、推定値は実測値の年次変動をよく表したものであった。

キーワード：クワ、枝条伸長、予測モデル。

近年、クワの収穫方法は省力化のために摘葉法から条桑を基部または中間部から伐採する条桑収穫法に変遷している。また労働生産性向上のため多回刈が奨励され、年間のクワ収穫回数が増加し収穫時期も多様化しつつある。そのため、既存の栽培技術をそのまま新しい栽培体系に当てはめても安定した条桑収穫量を確保していくことが難しく、新たな栽培技術の開発が望まれている。その方法としては、新品種の育成・導入や新たな仕立法の確立などが考えられるが、クワの生育予測技術を開発することも、適切な収穫時期、伐採方法を決定し、安定した条桑収量を確保するための飼育計画の策定に寄与する有力な方法の1つと考えられる。

従来、クワ生育の良否を判断する生育指標として最長枝条長が用いられてきた。そのため多くの公立試験場で、毎年クワの時期別の最長枝条長の推移が報告されてきた（例えば、宮城県蚕業試験場2000、鹿児島県蚕業試験場2001）。また、条桑収穫法が一般的となった現在では、伐採強度は枝条の高さで決められるため、枝条長はクワの栽培管理の指標として重要なものとなっている。このようなことから岩田（1981）は、クワの伐採時期を異にした場合の枝条伸長生長に関する研究をまとめ、京都府綾部市において春切クワでは7月15日頃まで、夏切クワでは7月31日頃までに中伐すれば再発枝の生長は良好であるが、それ以降に中伐すると再発枝の生長が緩慢になると報告している。このようなことから、クワ枝条伸長生長を予測することが、クワの生育予測のための最も適当な方法と考えられる。これまで、枝条伸長生長の予測は、気温・降水量等の気象条件を説明変数とした重回帰式を用いてなされてきた（鈴木・金谷1981、加藤・井上1998）。しかし、このような重回帰式を用いた生長予測式では、広範囲な地域に適用する場合や、異常気象年のような予測値を外挿的に推定する場合などは信頼性が著しく低下することが知られている。そのため、広範囲に適用可能で、かつ予測精度を向上

するためには、枝条伸長生長に関与する気温や日長等の環境要因と生長速度の関数関係を予測式に取り込む必要がある。

これまでに著者は、枝条伸長生長と生育気温、日長の関係を明らかにし、旧蚕糸・昆虫農業技術研究所のクワ枝条伸長調査データを用いてクワ枝条伸長生長予測モデルを構築した（Fukui 2005）。しかし、この報告では、適用品種と適用地域を拡大した場合に予測精度が保持されるかどうか明らかではない。そこで本研究では、宮城県（旧宮城県蚕業試験場）、福島県（旧福島県蚕業試験場）、鹿児島県（鹿児島県蚕業試験場）及び茨城県（旧蚕糸・昆虫農業技術研究所）における1997年から2000年までの4カ年の複数品種のクワ枝条伸長調査データを基に、前報（Fukui 2005）で開発したクワ枝条伸長生長予測モデルのパラメータを品種ごとに新たに求め、モデルの広域適用性と予測精度の検証を行った。

材料と方法

枝条伸長生長予測モデルの構築と検証には、各地域で1997年から2000年までに調査されたクワの枝条伸長データを用い、最低2ヶ所以上で調査されている一ノ瀬、改良鼠返、しんいちのせの3品種を対象とした。各地域の圃場の概要、使用品種及び肥培管理法は第1表の通りであった。各地域とも各品種に対して春切・夏切桑園が設定された。各桑園の伐採方法は第2表の通りであり、各地域ともクワは根刈りに仕立てられた。枝条伸長調査は、10日毎に行われ、宮城県は15個体、それ以外の場所では10個体調査された。調査期間は第2表に示した。各調査日の代表値として平均値を用いた。気象データは、茨城県では研究所の気象観測露場のデータを、他県の試験場では各試験場に設置されたアメダス観測器のデータを用いた。

第1表 各試験場の圃場概要, 調査品種, 肥培管理方法.

県	畦間 (m)	株間 (m)	土壌	品種			春肥 (kg 10a ⁻¹)			夏肥 (kg 10a ⁻¹)			堆肥 (kg 10a ⁻¹)
				一ノ瀬	改良鼠返	しんいちのせ	窒素	リン酸	カリウム	窒素	リン酸	カリウム	
宮城	1.6	0.7	沖積層壤土	○	○		18	7.2	7.2	12	4.8	4.8	廃条堆肥を3年ごとに1000~1500
福島	2.4	0.7	砂壤土	○	○		18	7.2	7.2	12	4.8	4.8	稲ワラ800
茨城	2.0	0.6	火山灰土	○	○	○	15	6	6	15	6	6	木くずと牛糞1000~1200
鹿児島	2.0	0.5	硬質火山灰土	○		○	28	20	20	5.6	3.2	4.8	家畜糞尿 1500

第2表 各試験場の春切桑園・夏切桑園の伐採時期, 伐採高及び枝条伸長調査期間.

県	春切桑園				夏切桑園			
	発芽前	夏蚕期	晩秋蚕期	調査期間	春蚕期	初秋蚕期	晩秋蚕期	調査期間
宮城	基部伐採	伐採せず	株高100cm	6/20~9/30	基部伐採	伐採せず	株高40cm	6/30~9/30
福島	基部伐採	伐採せず	伐採せず	5/31~9/30	基部伐採	伐採せず	伐採せず	7/10~9/30
茨城	基部伐採	伐採せず	伐採せず	5/20~9/30	基部伐採	伐採せず	地上高120cm	6/30~9/30
鹿児島	基部伐採	株高50~60cm	株高80~90cm	5/30~7/10, 8/30~9/20	基部伐採	株高60~70cm	株高90~100cm	6/20~8/10, 8/30~9/20

鹿児島県の晩秋蚕期は古条あたり1本の新梢を30 cm残し他の新梢は基部から伐採.

鹿児島県の春切の夏蚕期までの調査期間は1999年のみ5/30~6/30.

鹿児島県の夏切の初秋蚕期までの調査期間は1998年は6/30~8/7, 1999年は7/10~7/30, 2000年は6/30~7/31.

モデル

枝条伸長モデルの構造は前報 (Fukui 2005) に従った. すなわち, 任意の日 x における最長枝条長 S (cm) は

$$S(x) = S(x-1) + s \quad (1)$$

で表される. ここで s は1日の枝条の伸びである. 枝条伸長速度 s (cm day⁻¹) は, 生長活性度と活性度最大時の伸長速度によって次式のように表すことができる.

$$s = PR \cdot GA \quad (2)$$

ここで GA (growth activity) は生長活性度を表し, PR (potential rate: cm day⁻¹) は生長活性度が最大時の枝条伸長速度を表す. 生長活性度 GA は生長点の生長活性を表し, 活性度が最大の時はクワの伸長生長は与えられた環境下でなしうる最大のものとなり, 活性度が無くなった場合はいかなる環境下においても伸長することがない. 従って, $0 \leq GA \leq 1$ となる. また GA は前日の値から外部及び内部要因によって変化するものである. PR と GA は気温 T (°C), 日長 L (hour), 最長枝条長 S (cm) によって決まる関数であり,

$$PR = PR_{\max} \cdot f_1(T) \cdot h_1(S) \quad (3)$$

$$GA(x) = GA(x-1) \cdot f_2(T) \cdot g(L) \cdot h_2(S) \quad (4)$$

と表すことができる. PR_{\max} (cm day⁻¹) は PR の最大値, $f_1(T)$, $h_1(S)$, $f_2(T)$, $g(L)$, $h_2(S)$ は関数であり, 次のように表せる.

$$f_1(T) = a_1 \cdot (T - b_1) + 1 \quad (5)$$

$$f_2(T) = a_2 \cdot (T - b_2) + 1 \quad (6)$$

$$g(L) = a_3 \cdot (L - b_3) + 1 \quad (7)$$

$$h_1(S) = -0.25 \cdot a_4^2 \cdot S^2 + a_4 \cdot S \quad (8)$$

$$h_2(S) = a_5 \cdot (S - b_5) + 1 \quad (9)$$

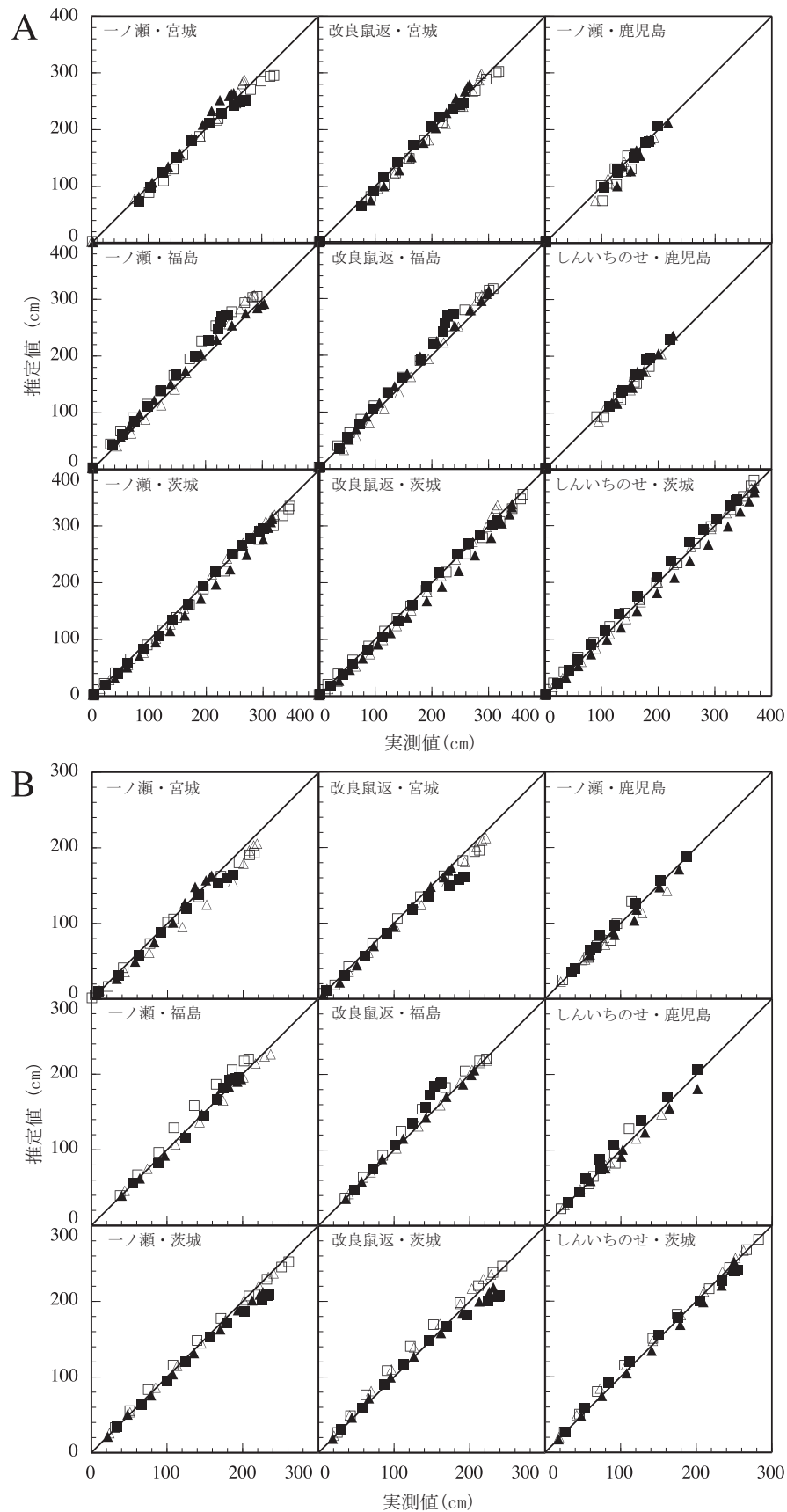
ここで, $a_1 \sim a_5$, と $b_1 \sim b_3$, b_5 は未知のパラメータである. $f_1(T)$, $f_2(T)$, $g(L)$, $h_2(S)$ に関しては, 右辺の値が0未満の場合は0, 1を越えた場合は1と定める. また, 夏至

にいたるまでの日長時間が短い期間に, GA が1未満となることを防ぐため, その期間の $g(L)$ は1と定めた. $f_2(T)$ は $g(L)$ が1未満の時に働く関数とする. パラメータは97, 98, 99年のデータを用いて, マルカート法による逐次計算によって品種毎に求めた. パラメータ決定に際し, 春切クワは各地域で毎年行われている各品種の発芽調査の発芽日から調査終了時までの気象データを用い, 初期値として発芽日の最長枝条長を1 cmとした. 夏切クワと鹿児島県の春切クワの再発枝については調査期間中の気象データを用い, 初期値には最初の調査データを用いた. GA は全てのデータに対して初期値を1とした. ただし本報では, クワの発芽とは, 芽から幼葉が外部に現れることを指し, 発芽日とは最初に発芽状態となった日を意味する.

上記のモデルは, 地域間の枝条伸長の差が気温と日長の違いによってのみ生じることを前提としたものである. しかし, 地域ごとの枝条伸長の違いが気象要因以外, すなわち土壌条件の違いによって生じることも考えられる. そこで, PR_{\max} を土壌条件を反映する地域ごとに異なるパラメータとした場合についても, 各パラメータの値を上記と同様の方法で求めた.

結 果

PR_{\max} を各地域共通のパラメータとした場合の各パラメータの値と, モデルによる推定値の RMSE (Root Mean Square Error) を第3表に, モデルによる推定値と実測値との関係を第1図に示した. モデルによる推定値の RMSE は品種間で異なり, しんいちのせで約9 cm, 一ノ瀬・改良鼠返で約13 cmであった. しんいちのせは推定値がおおむね実測値をよく表した. 改良鼠返は97年の福島県のデータを除くと推定値はおおむね実測値をよく表した. 97年の福島県では, 8月20日以降の枝条伸長速度が急速に低下している. この速度低下は同年同所における一ノ瀬にお

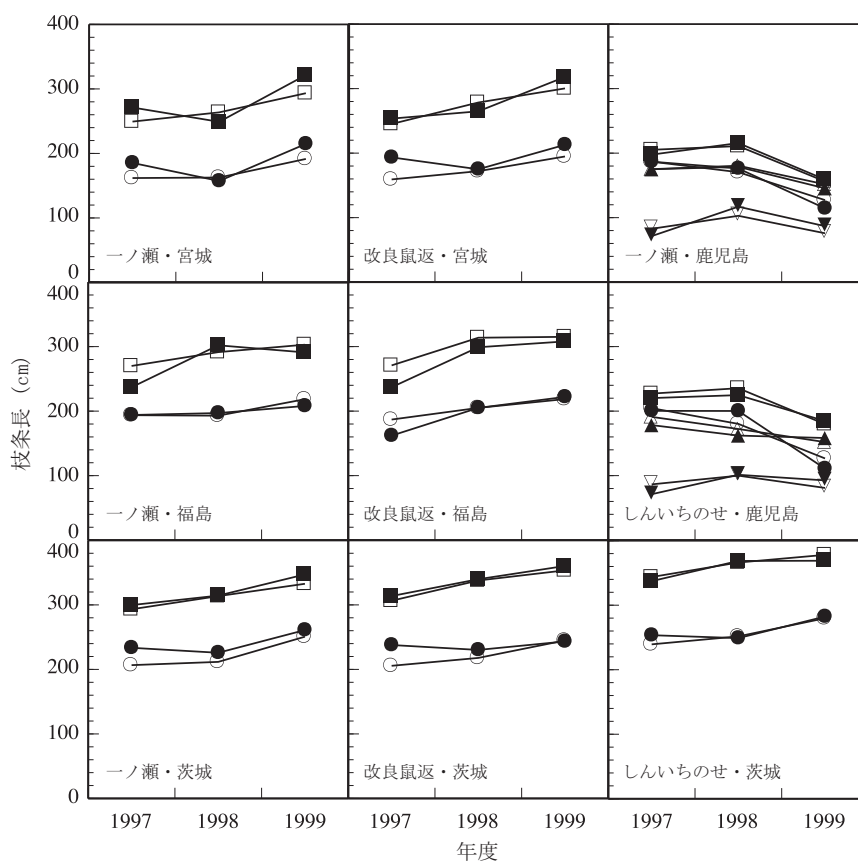


第1図 PR_{max} を地域共通とした場合の春切クワ (A) と夏切クワ (B) の枝条長の実測値とモデルによる推定値。
記号■, ▲, □, △はそれぞれ1997, 1998, 1999, 2000年のデータを表す。

第3表 モデルの品種ごとのパラメータとRMSE(root mean square error).

	PR _{max} を固定した場合			前報(Fukui2005)のしん いちのせのパラメータ	PR _{max} を地域ごとに設定した場合			
	一ノ瀬	改良鼠返	しんいちのせ		一ノ瀬	改良鼠返	しんいちのせ	
a ₁ (°C ⁻¹)	0.0457	0.0437	0.0454	0.0418	a ₁	0.0464	0.0468	0.0435
a ₂ (°C ⁻¹)	0.0805	0.0655	0.0694	0.0396	a ₂	0.0794	0.0944	0.0712
a ₃ (hour ⁻¹)	0.0148	0.0174	0.0107	0.0181	a ₃	0.0183	0.0087	0.0140
a ₄	0.0307	0.0576	0.0504	0.0652	a ₄	0.0299	0.0602	0.0366
a ₅ (cm ⁻¹)	-0.0000562	-0.0000016	-0.0000508	-0.0000455	a ₅	-0.0000694	0	-0.0000431
b ₁ (°C)	24.7	24.6	25.1	25.4	b ₁	24.8	25.0	25.5
b ₂ (°C)	23.7	22.2	21.9	21.9	b ₂	23.3	22.1	21.9
b ₃ (hour)	13.7	13.7	13.5	13.5	b ₃	13.6	13.6	13.5
b ₅ (cm)	147.9	117.4	190.8	206.5	b ₅	149.7	130.5	188.9
PR _{max} (cm day ⁻¹)	2.96	2.92	3.20	3.20	PR _{maxM}	3.04	2.93	
					PR _{maxF}	2.76	2.67	
					PR _{maxI}	3.11	2.93	3.20
					PR _{maxK}	3.10		3.20
RMSE	12.79	12.89	9.03	9.20	RMSE	9.75	9.36	9.17

地域ごとのPR_{max}はそれぞれPR_{maxM}は宮城県, PR_{maxF}は福島県, PR_{maxI}は茨城県, PR_{maxK}は鹿児島県を表す.



第2図 PR_{max}を地域共通とした場合のクワの最終的な枝条長の実測値とモデルによる推定値.
記号■は春切クワの実測値, □は春切クワの推定値, ●は夏切クワの実測値, ○は夏切クワの推定値を表す. ただし鹿児島に関しては, 伐採後に伸長した枝条長を春切クワの実測値と推定値は▲, △で, 夏切クワの実測値と推定値は▼, ▽で表した.

いても見られ, 干ばつによって引き起こされたものである. 一ノ瀬は宮城県を除くとモデルによる推定値はおおむね実測値をよく表した. 宮城県は98年の一ノ瀬の伸びが春切, 夏切とも生育後期に悪かった. 同年同所における改良鼠返の生育は, 生育後期にも落ちてないため, 気象以外

の要因によるものと思われる. 各品種ごとのパラメータでは, 伸長速度が最大となる気温 b_1 (°C) はしんいちのせで高く, 次いで一ノ瀬, 改良鼠返の順, 生長点の活性が低下し始める日長 b_3 (hour) を示すパラメータは一ノ瀬と改良鼠返には差がなく, しんいちのせは両者より短くなったが,

両パラメータとも品種間で値に大きな違いはなかった。また、短日の生長活性度低下を促進し始める気温を示すパラメータ b_2 ($^{\circ}\text{C}$) は、一ノ瀬で高く、次いで改良鼠返、しんいちのせの順であり、改良鼠返としんいちのせでは差はあまりなかったが、一ノ瀬は両品種に比べて 1°C 以上高かった。枝条伸長活性度が低下し始める最長枝条長を表すパラメータ b_5 (cm) は、しんいちのせで高く、次いで一ノ瀬、改良鼠返の順であった。また、その効果の大きさを表すパラメータ a_5 (cm^{-1}) はしんいちのせと一ノ瀬ではほぼ同等であったが、改良鼠返は両者の 30 分の 1 以下と、かなり小さい値であった。一方、しんいちのせのパラメータを前報 (Fukui 2005) のものと比べると、多くのパラメータ値が類似しており、特に $b_1 \sim b_3$ 、 b_5 と PR_{\max} はほぼ同等であった。また、モデルによる最終的な最長枝条長の推定値は、全ての地域、品種で実測値の年次変動の傾向をよく表したものであった (第 2 図)。

PR_{\max} を地域ごとに異なるパラメータとした場合の、各パラメータの値とモデルによる推定値の RMSE を第 3 表に示した。モデルによる推定値の RMSE は、 PR_{\max} を各地域共通のパラメータとした場合に比べてしんいちのせでは改善がみられなかったが、改良鼠返、一ノ瀬では両品種とも約 9 cm となり、しんいちのせ程度まで改善が見られた。各地域における PR_{\max} は宮城県、茨城県、鹿児島県でほぼ同じ値であったが、福島県は低い値を示した。そのため、 PR_{\max} を各地域共通のパラメータとした場合、福島県を含まないしんいちのせの RMSE が他の品種より小さくなった。品種ごとのパラメータについては、 PR_{\max} を各地域共通のパラメータとした場合と大きな違いは見られなかった。ただし、改良鼠返の a_5 は 0 となり、改良鼠返では枝条の伸長に伴う伸長速度の低下が起こらないことを示唆するものである。また、モデルによる最終的な最長枝条長の推定値は、 PR_{\max} を地域共通とした場合と同様、全ての地域、品種で実測値の年次変動の傾向をよく表したものであった。

モデルのパラメータの決定には用いなかった 2000 年のデータを用いて予測された最長枝条長は、 PR_{\max} を各地域共通にした場合、地域毎に定めた場合のどちらの場合も実測値をよく表したものとなった (第 1 図: 前者のみ図示)。

考 察

前報 (Fukui 2005) では枝条伸長モデルのパラメータは品種しんいちのせの茨城県のデータを用いて決定したが、そのモデルによる推定値の RMSE は 9.20 cm であり、年ごとの最長枝条長の変動をある程度説明できるものであった。本報では同様のモデルを用いて新たにパラメータを決定し、複数の地域、品種の枝条伸長の推定を行ったが、 PR_{\max} を地域ごとに異なるパラメータとした場合には前報と同程度の推定精度となり、最長枝条長の年次変動もある程度説明できた。また、パラメータの決定に用いなかった

2000 年のデータの最長枝条長の同モデルによる予測値は、実測値をよく表すものとなった。従って、本モデルはクワ枝条伸長生長の気温・日長反応を端的に表し、広域に適用可能なモデルといえる。以下、本モデルによって考えられるクワの枝条伸長生長の生理的意味、本モデルの改良すべき点と活用方法について考察を加える。

本モデルでは PR_{\max} を地域ごとのパラメータとした場合、福島県以外のパラメータ値は全ての品種で地域ごとの差が見られなかった。従来、クワの栽培においては窒素肥料は年 10 a 当たり 30~40 kg 投入することが一般的である (南澤 1974b, 全養連・蚕糸の光 1990)。この量は 1 年生の穀類の施肥量に比べてはるかに多い量であるが、これはクワが多年性で春季の生育が早く年間を通じた生産量が大きいこと、また木本性であり、穀類のように収穫物が枝先に集約することもないため比較的倒伏耐性が強く、過剰施肥に対する抵抗性が強いためである。従って試験圃場のように多量に施肥される条件下では肥料条件がクワ枝条伸長生長の律速条件となるとは考えにくい。福島県の土壌は砂質のため水分保持力が弱く干害が起こりやすい。本報告に用いたデータでも福島県では 1997 年に干ばつがあり、枝条の伸長が著しく低下した (第 1 図)。このことから、福島県の PR_{\max} の値が他地域に比べて低かったのは主に水分条件の悪化のためではないかと推察される。一方、施肥条件、水分条件が律速条件ではないと考えられる宮城県、鹿児島県、茨城県の PR_{\max} がほぼ同様の値を示したことは、この値がそれぞれの品種の普遍的な PR_{\max} 値に近いのではないかと推察される。従ってこの推測が正しいなら、任意の地域でこの PR_{\max} 値と気温、日長データを用いることで、その地域における各品種の潜在的な枝条伸長生長能力を推測することが可能となる。

気温及び日長感応を表すパラメータ値は、各品種間で大きな違いが見られなかった。今回用いた品種は、しんいちのせの交配親が一ノ瀬であり (南澤 1974a)、一ノ瀬と改良鼠返は鼠返の変異体との説があることなど (鶴田 1934)、お互いに遺伝的に近い関係にあると考えられる。このことがパラメータ値の類似性の要因の一つと推察できる。一方、最長枝条長がある値を越えた時に、枝条伸長活性を低下させる効果の大きさを表すパラメータ a_5 が、改良鼠返でほぼ 0 になったことは興味深い。関数 $h_2(S)$ は前報 (Fukui 2005) でしんいちのせの生育特性から導入した。しかし、本報告でこの関数の効果が改良鼠返でほぼ 0 となったことから、品種によっては枝条伸長に伴う枝条伸長活性の低下が起こらないものがあることを示唆している。

本モデルの改良点としては、前報 (Fukui 2005) でも指摘した通り、貯蔵養分と水分条件をモデルに組み込むことが必要と考えられ、そのためにそれぞれの要因の枝条伸長に対する影響を定量化することが望まれる。しかしそれ以外に、本報告のデータを用いてパラメータを決定する過程で 1 つの課題が明らかとなった。本モデルでは日々の生長

活性度の値が計算されなければ最長枝条長を予測することは出来ない。夏切の時期までに伐採されるクワの場合、その後の日長の推移から伐採後発芽する新梢の初期生長段階における生長活性度は1と考えられ、その後の日々の値は算出可能である。ところが、鹿児島県の栽培体系のような7、8月以降に伐採しその後に発芽、伸長する新梢は、生育初期段階から生長活性度を低下させる日長条件であるため、初期値を決定することが難しく、その後の日々の生長活性度を算出することができない。仮にクワの発芽時の生長活性度を1とした場合においても、伐採後の発芽時期を特定しなければ生長活性度を特定することは出来ない。本報告では、鹿児島県の春切桑園の夏蚕期以降と夏切桑園の初秋蚕期以降は調査開始時の生長活性度を1としてパラメータを求めたが、このことがモデルと実測値との誤差の一部となったと考えられる。晩秋蚕期の伐採後のクワ側芽は、帯青後、発芽することなく生育停止することがあるため、クワの生理面から考えた場合、生長活性度は発芽時に常に1というわけではない。しかし実際に再発枝を利用する栽培条件下では、発芽時の生長活性度を1と見なしても問題ないとする。このことから伐採後の再発芽時期さえ予測出来れば、このような条件下においても本モデルが利用可能となる。従って、伐採後の再発芽時期予測モデルを組み込むことが今後の本モデルの改良点である。

本モデルは最長枝条長を予測することができるため、生育予測、新規導入地での生育特性の予測等に用いることができる。また、本モデルでは最長枝条長以外にクワの日々の生長活性度も推定しているが、本モデルでは生長活性度は気温と日長の関数としてのみ扱った。しかし、生長活性度には水条件、栄養条件、病虫害等も影響を及ぼ

すことが予想される。これら生長活性度に影響を及ぼす主要な要因と生長活性度の関係が定量化され、日々の生長活性度をより正確に把握できればクワの生育診断が可能となる。さらに、この生長活性度を増減させる肥培管理技術が開発されたなら、将来的にはクワの生長をコントロールし、コスト管理も含めたきめ細かなクワの肥培管理が可能になると考える。

謝辞：本報告のとりまとめにあたり、クワ枝条伸長データ及び気象データをご提供いただいた元宮城県蚕業試験場技師小池修氏、元福島県蚕業試験場副場長堤和敏氏、福島県農業試験場専門研究員土井則夫氏、元鹿児島県蚕業試験場主任研究員遠嶋太志氏に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- Fukui, K. 2005. Modeling mulberry shoot elongation and leaf appearance in field conditions. *Plant Prod. Sci.* 8 : 115–121.
- 岩田益 1981. 桑枝条の伐採と再発枝の生長ならびにその栽培利用に関する研究. *蚕試報* 28 : 297–398.
- 鹿児島県蚕業試験場 2001. 参考資料. 鹿児島蚕試年報 28 : 42–46.
- 加藤徹・井上文恵 1998. 桑の春蚕期新梢量予想について. *埼玉蚕試報* 70 : 4–7.
- 南澤吉三郎 1974a. 栽桑学 基礎と応用. 鳴鳳社出版, 東京. 143–170.
- 南澤吉三郎 1974b. 栽桑学 基礎と応用. 鳴鳳社出版, 東京. 327–356.
- 宮城県蚕試試験場 2000. 資料 1. 桑樹の生育状況. *宮城蚕試年報* 45–47.
- 鈴木真雄・金谷正 1981. 晩秋蚕期における桑枝条長の予測. *山形蚕試要報* 17 : 70–73.
- 鶴田定平 1934. 実験 桑樹品種論. 明文堂, 東京. 35–445.
- 全養連・蚕糸の光 1990. 新蚕業読本. 全国養蚕農業協同組合連合会, 東京. 37–43.

Application of a Model for Prediction of Mulberry Shoot Elongation to Various Regions : Kuniaki FUKUI (*National Institute of Agrobiological Science, Kannondai 2-1-2, Tsukuba, Ibaraki 305-8602, Japan*)

Abstract : A model for prediction of shoot elongation was applied to various regions in Japan, and its fitness was evaluated. In the model, the shoot elongation rate in one arbitrary day was decided by the average temperature and photoperiod on that day and shoot length by those on the previous day. Parameters of the model were determined for shoot elongation data of three cultivars ('Ichinose', 'Kairyō-nezumigaeshi' and 'Shin-ichinose') in four prefectures, Miyagi, Fukushima, Ibaraki and Kagoshima. When the maximal shoot elongation rate (PR_{max}) was determined independently for all prefectures, root mean square errors of the estimated shoot length were about 9 cm for all cultivars. The values fitted by the model represented actual annual fluctuation of shoot elongation well. Estimated values were also in good agreement with the measured data which were not used for determining parameters. Therefore, the model seemed to represent the response of mulberry vegetative growth to temperature and photoperiod.

Key words : Mulberry, Prediction model, Shoot growth.