

## 葉尖形の数量化によるツノハシバミ葉形の産地比較

荒瀬輝夫<sup>1</sup>・高橋 葵<sup>1</sup>・加藤泰造<sup>1</sup>・内田泰三<sup>2</sup>・古野正章<sup>2</sup>

<sup>1</sup>信州大学農学部, <sup>2</sup>九州産業大学建築都市工学部

### Among-Habitat Comparison of the Leaf Shape of *Corylus sieboldiana* by Quantification of Leaf-Apex Shape

Teruo ARASE<sup>1</sup>, Aoi TAKAHASHI<sup>1</sup>, Taizo KATO<sup>1</sup>, Taizo UCHIDA<sup>2</sup> & Masaaki FURUNO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Agriculture, Shinshu University

<sup>2</sup>Faculty of Architecture and Civil Engineering, Kyushu Sangyo University

**Summary:** This report aimed to quantify plant leaf shapes with special attention to leaf-apex shape. We analyzed logistic and cubic polynomial curve properties to express the one-sided leaf width ( $W$ ) along the midrib ( $t$ ). In addition,  $f(t) = T = t^\alpha$  ( $\alpha > 0$ ) was substituted for  $t$  in the curves based on the concept that the growth rate for midrib elongation would not be constant. A change in  $\alpha$  produced a continual change in the sharply elongated apex shape on the logistic curve by changing the point of maximum curvature and the inflection point. A change in  $\alpha$  also produced a continual change in apex-base symmetry (from ovate to obovate) on the cubic polynomial curve by changing the point of maximum value. In the leaf shape analysis of *Corylus sieboldiana*, the leaf apex shape and apex-base symmetry were quantified, which enabled parametric statistical methods such as analysis of variance, among-habitat comparisons, and correlation coefficients between the leaf shape and other parameters.

---

キーワード：葉形，数量化，ロジスティック曲線，3次多項式，ツノハシバミ

**Key words:** Leaf Shape, Quantification, Logistic Curve, Cubic Polynomial, *Corylus sieboldiana*

---

### 1. はじめに

葉形は植物分類の基準となる外部形態の1つで、多くの場合、図鑑類では形の名称(名義尺度)で記載されている。画像解析の普及もあいまって、葉長や葉幅、輪郭の特性などを用いた葉形を表す指数が考案されてきたものの、非対称形や凹形に弱いという弱点があり(金井・八田 1993)、葉形間の関係や序列も分かりにくい。葉形を何らかの曲線のパラメータの変化によって表現できれば、具体的な意味をもつ連続量として数量化できる。それにより、微細な差異や変化の解析が可能になり、遡って、計測すべき葉の部位も明確になる。

葉形のうち、葉の基部形については、外サイクロイド曲線の1種であるカージオイド(リマソ

ン)により、円形・鈍形から切形、腎形、心形までを表現できることが報告されている(荒瀬ら 2010)。カージオイドは人間の顔の年齢変化(Mark & Todd 1983; 山口・尾田 1997)といった生物の成長現象や、単一指向性のアンテナやマイクロホンの受信特性(マグローヒル科学技術用語大辞典編集委員会 1996)といった物理現象に適用される曲線であるため、葉の基部形への適用は、冬芽の成長という生理学的な背景を連想させるものである。

一方、葉形には他にも重要な要素があり、葉尖(葉の先端部)の形、葉の先端と基部との対称性(卵形、倒卵形など)、主脈を軸とする左右の対称性、鋸歯の数や形などが挙げられる。これらは、

一般によく用いられる縦横比や複雑度（葉縁長<sup>2</sup>/個葉面積）では表現しきれない特性である。

とくに葉尖形は、基部形に比べると研究対象として注目されており、光シグナルの受容や、葉の雨濡れ（排水機能）との関連が指摘されている。光シグナルの受容については、葉の先端部に受容体が集中していることが知られている（Küpers *et al.* 2023）。すなわち、葉の光合成や生理機能に、とくに樹冠内部の葉では葉尖形が大きく影響すると推測される。一方、雨濡れについて、葉の組織内部に組み込まれている機能として、イネでは、葉の先端に導管と細胞間隙からなる排水組織が存在している（Maeda & Maeda 1988）。また、葉の形状のもつ機能として、先端が鈍形よりも鋭尖頭のほうが葉面の水を速やかに排水できるとされる（園池 2016；Wang *et al.* 2020）。ここで、雨濡れには様々な生理的なデメリットがあり、病原菌の感染（鈴木ら 2003；澤岨 2013）、雨滴による葉面のワックスの物理的浸食と雨後の蒸散量の増大による葉の乾燥（木村 1994）、葉面の分光反射特性の変化（木村ら 2000）などが報告されている。葉尖形の種内変異や種間差に関する研究は、とくに栽培植物で行われているようで、セリの葉形は、栽培セリのほうが野生セリに比べて鈍頭になる傾向にあり、実用形質として淘汰されてきたことの影響とされている（今津・織田 1965）。一方、中国茶とアッサム栽培種の葉形について、アッサム栽培種では葉のサイズはより大きく、先端形は尾状の鋭尖頭～鋭頭の傾向にあったことが報告されている（橋本 1971）。

そこで本報では、葉尖形に着目して葉形の数量化を試みた。得られた手法をカバノキ科の落葉低木ツノハシバミ（*Corylus sieboldiana*）の葉に適用し、葉形の産地間差を表すことができるかを検証することとした。

## 2. 理論

### 2.1 ロジスティック曲線による葉尖形の数量化

ツノハシバミの葉尖形は、植物形態学用語で言うところの尾状鋭尖形である（図-1）。そこで、これらを単一のパラメータで表現できる関数として、成長曲線の1種であるロジスティック曲線を用いることにした。

片側の葉幅を  $W$  とし、主脈上の点を  $t$ 、 $W$  の増加率を  $r$ 、最大葉幅を  $K$  とおく。葉原基の縦方向

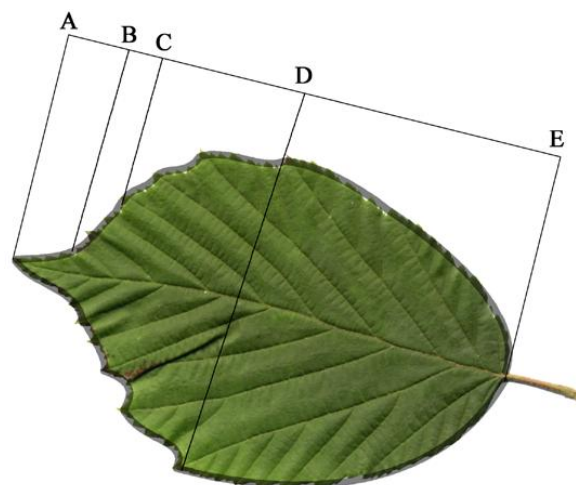


図-1 ツノハシバミの葉形の例と計測部位  
A: 葉の先端, B: 曲率最大点, C: 変曲点, D: 最大葉幅点, E: 葉の基部, AB=尾状先端部, AE=主脈（葉長）. 葉縁の細鋸歯は太い輪郭線で目立たなくしている.  
信州大学農学部構内, 2024年9月採集.

Figure 1 Leaf shape and measurement points for *Corylus sieboldiana*. A: leaf apex, B: point of maximum curvature, C: inflection point, D: maximum leaf width, E: leaf base, AE = leaf length, AB = sharply elongated apex. Fine serrations on the leaf margin are covered by a thick contour line.

の成長の基礎をなすのは頂端分裂組織の成長なので（熊沢 1979）、葉の先端側を  $t=0$  とする。一方、葉身の扁平部分の形成は葉縁分裂組織の成長に基づくので（熊沢 1979）、その成長量が片側葉幅  $W$  となり、先端部から基部にかけての成長が葉形をなすといえる。ツノハシバミの葉では、先端部からの  $W$  の変化について、増加率は初期に小さく、その後大きくなり、最大葉幅に近づくと緩やかになってやがて 0 となると見なせる（図-1）。そこで、 $W$  が  $t$  を説明変数とするロジスティック増殖であると仮定すると、微分方程式は、

$$W' = dW/dt = rW(1 - W/K) \quad \dots\dots(1)$$

となり、これを解いて

$$W = \frac{K}{1 + \left(\frac{K}{W_0} - 1\right)e^{-rt}} \quad \dots\dots\dots(2)$$

となる。

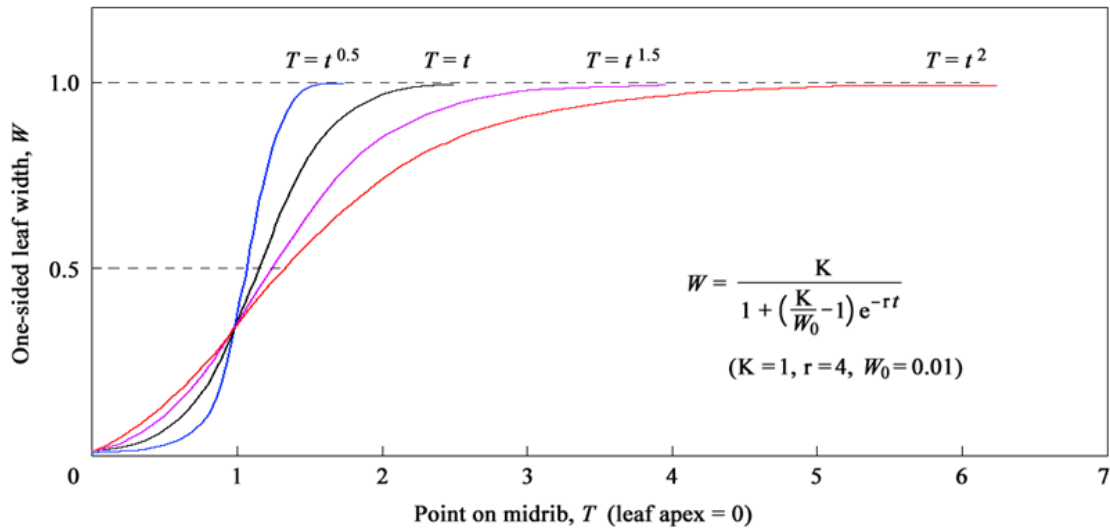


図-2 ロジスティック曲線による葉尖形の表現

Figure 2 Expression of leaf-apex shape by logistic curve

ここで、「主脈の成長 ( $t$ ) が一定速度とは限らない」とすれば、実際に見えている主脈上の位置は、 $t$ の何らかの単調増加関数  $f(t)$  であるといえる。試みに、単純な単調増加関数として

$$f(t) = T = t^\alpha \quad (t = T^{1/\alpha}) \dots\dots(3)$$

とする ( $\alpha$  は正の定数)。 $t$  と  $T$  の大小関係は、 $\alpha < 1$  のとき、 $0 < t < 1$  で  $t < T$ 、 $1 < t$  で  $t > T$  ( $t$  軸が  $t=1$  の左側で引き伸ばされ、右側で縮められる変換) になり、逆に、 $1 < \alpha$  のとき、 $0 < t < 1$  で  $t > T$ 、 $1 < t$  で  $t < T$  ( $t$  軸が  $t=1$  の左側で縮められ、右側で引き伸ばされる変換) になる。

なお、(1) 式をさらに  $t$  で微分すると、

$$W'' = d^2W/dt^2 = r^2W(1 - W/K)(1 - 2W/K) \dots\dots(1')$$

が得られるため、 $\alpha$  の値にかかわらず、 $W=K/2$  のとき  $W''=0$  (変曲点) となる。すなわち、主脈のスケールを歪めても、つねに葉幅が最大葉幅のちょうど半分になる位置で変曲点となる。

また、先端の尾状鋭尖部の基部側が曲率最大となる点であり、これは  $\alpha$  の値によってずれることが図-2 から読み取れる。曲率を  $\rho$  とすると、 $\rho$  は以下の式で表される。

$$\rho = (1+W'^2)^{3/2} / |W''| \dots\dots(4)$$

図-2 では (3) 式で  $t$  軸を変換していることから、曲線の曲率を求めるには置換微分が必要である。よって、(4) 式に、(1)、(1') 式と

$$T' = dT/dt = (1/\alpha)T^{1/\alpha-1} \dots\dots(3')$$

表-1 ロジスティック曲線 (図-2) の変曲点に対する最大曲率点の  $T$  軸上の相対位置 (AB/AC) と  $\alpha$  との関係

Table 1 Relation between position of point of maximum curvature relative to inflection point on  $T$ -axis (AB/AC) and  $\alpha$  on logistic curve in Figure 2

AB/AC	Point of $\rho_{\max}$ (AB)	Inflection point (AC)	$\alpha$ ( $T = t^\alpha$ )
0.40	0.4904	1.2260	1.469
0.45	0.5430	1.2067	1.354
0.50	0.5936	1.1873	1.238
0.55	0.6424	1.1680	1.120
0.60	0.6892	1.1488	1.000
0.65	0.7342	1.1296	0.879
0.70	0.7773	1.1104	0.755
0.75	0.8184	1.0912	0.629
0.80	0.8576	1.0720	0.501
0.85	0.8954	1.0534	0.375
0.90	0.9324	1.0360	0.254
0.95	0.9687	1.0197	0.141
0.99	0.9955	1.0056	0.040

$$T'' = dT'/dt = (1/\alpha)(1/\alpha-1)T^{1/\alpha-2} \dots\dots(3'')$$

を導入して置換微分を行うことで (4) 式が変形され、 $\rho_{\max}$  となる  $T$  を求めることができる。

図-2 に、 $K=1$  (最大葉幅=1)、 $r=4$ 、 $W_0=0.01$  とし、 $\alpha=0.5, 1, 1.5, 2$  とした場合の  $T$  と  $W$  のなす曲線を示した。曲線の形状を確認したところ、最大葉幅となる位置は  $\alpha$  の値によって大きく変

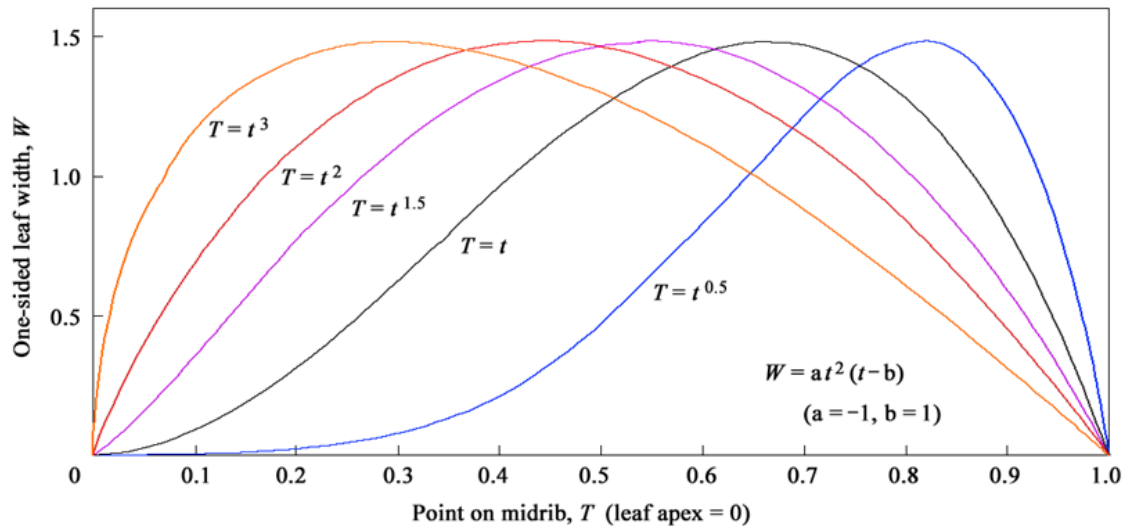


図-3 3次多項式による葉形（上下対称性）の表現

Figure 3 Expression of leaf shape (apex-base symmetry) by cubic polynomial

化しており指標にしにくい。そこで、「先端部から変曲点までの主脈上の距離」と、「先端部から最大曲率点までの主脈上の距離」（それぞれ図-1のACとABに対応）に注目し、変曲点に対する最大曲率点の相対位置（AB/AC）を算出した。

表-1にAB/ACと $\alpha$ との関係を示す。ただし、置換微分による(4)式の変形式は非常に煩雑な式となり、AB/ACの値に対する $\alpha$ の解を代数的に得ることは困難なため、本報では最急降下法のアルゴリズムで $\alpha$ と $t$ の値を変化させ、数値計算によって解を求めた。 $\alpha=1$  ( $T=t$ )のときAB/AC=0.6であり、 $\alpha$ が1より大きくなるとAB/ACは減少する（最大曲率点が先端側にずれる）こと、 $\alpha$ が1より小さくなるとAB/ACは1に近づく（変曲点側にずれる）ことが読み取れる。図-2からも、 $\alpha=0.5$ のときには最大曲率点が変曲点側に近づく（AB/AC=0.8付近）、曲線が明らかな凹形を示し、先端側が尾状鋭尖形に見える。ただし、 $\alpha$ が大きくなるにつれて凹形が目立たなくなり、 $\alpha=2$ では最大曲率点が不明瞭になることがうかがえた。そのため、この解析法による葉尖形の表現は、 $\alpha=1.5$ 程度まで（AB/AC=0.4程度まで）が限界ではと思われる。

## 2.2 3次多項式による葉形の数量化

ロジスティック曲線では、片側葉幅 $W$ は最大値に達して一定になるため、基部側まで含めた葉形を表現することができない。そこで、基部側まで含み（ $t$ が大きくなると再び $W=0$ になる）、先端（ $t=0$ ）側で成長曲線のような変化をたどる曲

表-2 3次多項式（図-3）の極大値の $T$ 軸上の位置（AD/AE）と $\alpha$ との関係

Table 2 Relation between the position of maximum value on  $T$ -axis (AD/AE) and  $\alpha$  on cubic polynomial curve in Figure 3

AD/AE	$\alpha$ ( $T= t^\alpha$ )	Leaf shape
0.05	7.388	Obovate
0.10	5.679	
0.15	4.679	
0.20	3.969	
0.25	3.419	
0.30	2.969	
0.35	2.589	
0.40	2.260	
0.45	1.969	
0.50	1.710	Elliptic (apex-base symmetry)
0.55	1.474	Ovate
0.60	1.260	
0.65	1.062	
0.70	0.880	
0.75	0.710	
0.80	0.550	
0.85	0.401	
0.90	0.260	
0.95	0.127	

線として、3次多項式を取り上げることにした。 $t=0$ のとき $t$ 軸と接し、 $t>0$ で正の値となったあとに $t=b$ で $t$ 軸と交わる3次多項式は、

$$W = at^2(t-b) = at^3 - abt^2 \quad (a < 0, b > 0)$$

とおける。 $W$  を  $t$  で微分すると、

$$W' = 3a t^2 - 2ab t, \quad W'' = 6a t - 2ab \quad \dots(5)$$

である。

ここで、あとで比較しやすいよう、 $a$  を  $-1$  に、葉長を  $1$  ( $t$  軸上の交点の座標を  $1$ 、すなわち  $b=1$ ) とする。すると、

$$W = -t^2 (t-1) = -t^3 + t^2$$

$$W' = -3t^2 + 2t, \quad W'' = -6t + 2 \quad \dots\dots\dots(5')$$

になる。 $0 < t < 1$  の区間の極大値は、 $W' = 0$  を解いて  $t = 2/3$  で、このとき  $W = 4/27$  が得られる。また、変曲点は、 $W'' = 0$  を解いて  $t = 1/3$  で、このとき  $W = 2/27$  が得られる。

ここで、ロジスティック曲線のとときと同様に、

$$f(t) = T = t^\alpha \quad (t = T^{1/\alpha}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

を導入する ( $\alpha$  は正の定数)。

図-3 に、例として  $\alpha = 0.5, 1, 1.5, 2, 3$  としたときの 3 次多項式の曲線を示した。まず、 $\alpha = 1$  ( $T = t$ ) のときに注目すると、変曲点から  $T = 0$  (先端部) 寄りの部分の凹部 (下に凸の曲線部分) はあまり顕著でなく、尾状鋭尖形は不明瞭である。しかし、 $\alpha$  の値を変化させると、 $W$  が極大値 (最大葉幅) となるのは、 $\alpha$  が小さいとき  $T = 1$  (基部) 寄りに、 $\alpha = 1.5$  付近のとき基部と先端部とのほぼ中央部になることが読み取れた。一方、 $\alpha$  が  $1.5$  より大きくなると、先端から変曲点までの曲線の凹部がなくなり曖昧になり、 $T = 0$  (先端部) 寄りで極大値 (倒卵型) となることが読み取れた。

これらのことから、3 次多項式を用いると、尾状鋭尖形の表現には不向きであるが、最大葉幅の主脈上の位置の変化を明確に示せるといえる。よって、3 次多項式により、先端部から基部までを含めた葉形 (卵型から倒卵型など) を連続的に表現できることが期待できる。最大葉幅の位置で主脈と直交する軸 (図-1 の D を通る直線) を想定すると、(主脈を軸とする葉形の左右対称性: left-right symmetry に対し) 最大葉幅の軸は葉形の「上下対称性 (apex-base symmetry)」を示すものと言えよう。

表-2 に、3 次多項式に (3) 式を導入したときの曲線 (図-3) の最大葉幅の位置 (AD/AE) と  $\alpha$  との関係を示す。最大葉幅はつねに  $t = 2/3$  のときなので、 $AD/AE = T = (2/3)^\alpha$  であり、 $\alpha$  は代数的に  $\alpha = \log T / \log (2/3)$  で求められる。表-2 から、極

大値 (最大葉幅) は、 $\alpha = 1.710$  のとき  $AD/AE = 0.5$  (主脈のちょうど中央)、 $\alpha < 1.710$  のとき  $AD/AE < 0.5$  (基部側)、 $\alpha > 1.710$  のとき  $AD/AE > 0.5$  (先端部側) となることが読み取れる。対応する葉形の名称は、境界の基準をどこに設けるかの議論を避けるとして、 $\alpha = 1.710$  で楕円形 (本報で上述した「上下対称」)、 $\alpha < 1.710$  のとき卵形、 $\alpha > 1.710$  のとき倒卵形に相当する。

### 3. データ解析例

#### 3.1 調査方法

ツノハシバミの葉のサンプルは、長野県内 38 地点での系統収集 (高橋 2025) における採取試料のうち、信州大学農学部構内 (南箕輪村、以下「大学構内」と信州大学農学部手良沢山演習林 (伊那市、以下「手良沢山」) の 2 系統を用いた。これら 2 地点は同じ上伊那地域にあり、天竜川を挟んでそれぞれ西側 (標高 761 m) と東側 (標高 987 m) に位置している。

各地点で標準的な生育状況の個体を 1 個体選び、受光状態の異なる 2 本の枝 (日光のよく当たる張り出した外向きの外枝、日光の当たりにくい樹冠内部の内枝) を採取した。採取する枝の長さは、外枝は前年枝の分岐から枝の先端までとしたが、この採り方では内枝はかなり短くなる (葉数も乏しくなる) ため、外枝と同じ長さとした。さらに、枝を先端側と基部側に二分し、それぞれで 3 枚ずつの葉 (サイズが最大、平均的、最小のもの) を採取した。すなわち、実験計画は「産地 (2 系統)」「枝のタイプ (外枝、内枝)」「枝上の位置 (先端側、基部側)」の要因の組合せによる 3 元配置法である。

現地調査と採取は、2024 年夏季～秋季に実施した。葉の試料は、新聞紙に挟んで平面状に乾燥して押し葉標本とした。乾燥後、葉の試料をスキャナ (CanoScan LiDE400, Canon) を用いて解像度 400 dpi で画像化し、画像解析ソフト (Motic Image Plus 2.4S, 島津製作所) で葉の各部位を計測した。計測部位は葉長 (図-1 の AD: 最大葉幅より先端側の葉長, DE: 基部側の葉長)、葉幅 (主脈の左側と右側)、個葉面積、葉縁長、葉柄長などである (高橋 2025)。これらに加えて、葉尖形について「変曲点に対する最大曲率点の相対位置 (AB/AC)」、先端部から基部までを含めた葉形について、最大葉幅の位置 (AD/AE) を求めること

表-3 ツノハシバミの葉尖形と葉形の測定結果（平均値，n=3）

Table 3 Measurement results for leaf shape (leaf-apex shape and apex-base symmetry) for *Corylus sieboldiana* (average, n = 3)

Leaf shape	Habitat	University campus (Minami-minowa Village)				Terasawayama Research Forest (Ina City)				Standard error	Significance by ANOVA						
		Branch type Position	Outer branch		Inner branch		Outer branch		Inner branch		Habitat (H)	Branch type (B)	Position (P)	H×B	H×P	B×P	
			Tip side	Base side	Tip side	Base side	Tip side	Base side	Tip side								Base side
Leaf-apex shape	AB/AC	0.627	0.548	0.596	0.663	0.602	0.761	0.432	0.529	0.077	ns	$p < 0.10$	ns	**	ns	ns	
	$\alpha$	0.928	1.120	1.003	0.840	0.988	0.599	1.403	1.165	0.188	ns	$p < 0.10$	ns	**	ns	ns	
Apex-base symmetry	AD/AE	0.490	0.497	0.499	0.542	0.539	0.563	0.611	0.577	0.034	**	$p < 0.10$	ns	ns	ns	ns	
	$\alpha$	1.761	1.726	1.716	1.523	1.526	1.422	1.219	1.362	0.151	**	$p < 0.10$	ns	ns	ns	ns	

\*\* は、要因の効果が分散分析の F 検定で有意 ( $p < 0.01$ ) であることを示す。

\*\* denotes significant effect of the factor determined by analysis of variance, F-test ( $p < 0.01$ )

とし、AB（葉の先端から最大曲率点までの主脈上の長さ）、AC（葉の先端から変曲点までの主脈上の長さ）、AD（葉の先端から最大葉幅までの主脈上の長さ）を画面上で計測した。測定値から AB/AC、AD/AE の値を算出し、表-1、表-2 を用いて対応する  $\alpha$  の値を求めた。

なお、ツノハシバミの葉は左右非対称であるため（図-1）、測定には、葉縁の形状が明確な（不自然な歪みや虫食い等がない）側を選んだ。

また、葉尖形や上下対称性に葉のサイズが影響するかを検討するため、葉のサイズとして葉長を取り上げ、AB/AC、AD/AE の値、およびそれぞれ対応する  $\alpha$  の値との相関係数を求めた。

### 3.2 結果と考察

ツノハシバミの葉形の調査結果は、表-3 のとおりである。まず葉尖形について、大学構内系統、手良沢山系統で AB/AC はそれぞれ 0.548~0.663、0.432~0.761、 $\alpha$  はそれぞれ 0.840~1.120、0.599~1.403 であった。分散分析の結果、AB/AC、 $\alpha$  とも、要因の主効果はいずれも有意ではなく（枝のタイプのみ  $p < 0.10$ ）、交互作用の効果では系統の系統×枝のタイプの効果のみ有意 ( $p < 0.01$ , F 検定) であった。表-3 から、内枝より外枝で尾状鋭尖形が顕著（AB/AC が大、 $\alpha$  が小）である傾向にあり、手良沢山系統でその傾向がより顕著であることが読み取れた。なお、AB/AC と  $\alpha$  は、図-2 と表-1 が示すとおり、値の大小関係は逆転している。

先端部と基部の上下対称性について、大学構内系統、手良沢山系統で AD/AE はそれぞれ 0.490~0.542、0.539~0.611、 $\alpha$  はそれぞれ 1.523~1.761、1.219~1.526 であった。分散分析の結果、AD/AE、 $\alpha$  とも、要因の主効果は系統のみ有意 ( $p < 0.01$ ) で、枝のタイプが  $p < 0.10$  であり、交互作用の効

果ではいずれも有意ではなかった（F 検定）。表-3 から、大学構内系統がほぼ楕円形（AD/AE が 0.5 前後、 $\alpha$  が 1.7 前後）であるのに対し、手良沢山系統では卵形に近く（AD/AE が 0.6 に近づき、 $\alpha$  が 1.7 よりずっと小さい）、さらに内枝より外枝で最大葉幅の位置が基部側にずれる（AD/AE が大、 $\alpha$  が小になる）傾向が読み取れた。なお、AD/AE と  $\alpha$  についても、図-3 と表-2 が示すとおり、値の大小関係は逆転している。

次に、葉尖形および葉形（上下対称性）と葉長との相関係数を表-4 に示した。大学構内系統では、葉尖形と葉長との相関係数が  $r = \pm 0.722$  と有意 ( $p < 0.01$ , F 検定) であったのに対し、上下対称性と葉長ではほぼ  $r = 0$  であった。一方、手良沢山系統では、葉尖形と葉長との相関係数が 0.5 未満と低かったのに対し、上下対称性と葉長では相関係数は  $r = \pm 0.7$  程度と有意 ( $p < 0.05$ , F 検定) であった。

表-4 ツノハシバミの葉尖形および葉形と葉のサイズ（葉長）との相関係数

Table 4 Correlation coefficients between leaf shape (leaf-apex shape and apex-base symmetry) and leaf size (leaf length) for *Corylus sieboldiana*

Habitat	Leaf-apex shape		Apex-base symmetry	
	AB/AC	$\alpha$	AD/AE	$\alpha$
University campus (Minami-minowa Village)	0.722**	-0.722**	0.026	-0.026
Terasawayama Research Forest (Ina City)	0.477	-0.477	-0.700*	0.704*

\*, \*\* は、相関係数が有意であることを示す（F 検定、それぞれ  $p < 0.05$ ,  $p < 0.01$ ）。

\*, \*\* denotes significance determined by F-test ( $p < 0.05$  and  $p < 0.01$ , respectively).

これらの結果は、2 系統のみでの解析の試みではあるものの、葉尖形や葉形（上下対称性）を連

続値として数量化したことで、葉長に対する葉形の変化のしかたに系統間で差異があることを検出できた。今後、ツノハシバミの系統間差異や種内変異、環境応答などの研究につながることを期待される。

## 5. まとめ

本報では、葉尖形に着目して葉形の数量化を試みた。得られた手法をカバノキ科の落葉低木ツノハシバミの葉に適用し、葉形の産地間差を表すことができるかを検証した。

(1) 片側葉幅  $W$  と主脈上の位置  $t$  (葉の先端部 = 0) との関係をロジスティック曲線で表した。「主脈の成長が一定速度とは限らない」として単調増加関数  $f(t) = T = t^\alpha$  ( $\alpha > 0$ ) を想定したところ、 $\alpha$  の変化によって曲線の変曲点と最大曲率点の相対位置が変化し、尾状鋭尖形を連続的に表現することができた。

(2) 葉の先端から基部までを含む片側葉幅  $W$  と主脈上の位置  $t$  との関係を、3次多項式で表した。 $f(t) = T = t^\alpha$  ( $\alpha > 0$ ) を想定したところ、葉尖形の表現には不向きであった。しかし、 $\alpha$  の変化によって最大葉幅となる主脈上の位置が変化し、卵形から倒卵形までの上下対称性 (apex-base symmetry) を表現することができた。

(3) これらの手法を、ツノハシバミの葉形の計測に適用した。葉尖形と上下対称性が連続値としてデータ化され、産地や枝の違いによる葉形への影響や、葉のサイズと葉形との関係を統計的に解析することができた。

## 引用文献

- 1) 荒瀬輝夫・岡野哲郎・内田泰三 (2010) 葉の基部形の数値化によるイタドリ属2種の葉形比較. 環境科学年報 (信州大学), 32 : 60–64
- 2) 橋本 実 (1971) 茶樹の起源に関する形態学的研究. 第3報インド・アッサム地方における栽培種について. 熱帯農業, 15 (3) : 158–162
- 3) 今津 正・織田弥三郎 (1965) セリの形態および生態に関する研究 (第1報) 栄養生長期における栽培および野生セリの形態的差異. 園芸学会雑誌, 34 (4) : 33–40
- 4) 金井弘夫・八田洋章 (1993) 葉形の数値表現の基となる標本計測の必要数. 筑波実験植物園研究報告 12 : 83–89
- 5) 木村和義 (1994) 降雨後に切断した葉の乾燥促進につい

て. 岡山大学資源生物科学研究所報告, 2 : 191–200

- 6) 木村玲二・木村和義・田中丸重美・大槻恭一 (2000) 雨濡れによる作物葉の分光反射特性と植生活性度指数. 水文・水資源学会誌, 13 (5) : 355–361
- 7) 熊沢正夫 (1979) 植物器官学. 裳華房, 東京. pp. 185–193
- 8) Küpers, J.J., Snoek, B.L., Oskam, L., Pantazopoulou, C.K., Matton, S.E.A., Reinen, E., Liao, C., Eggermont, E.D.C., Weekamp, H., Biddanda-Devaiah, M., Kohlen, W., Weijers, D. and Pierik, R. (2023) Local light signaling at the leaf tip drives remote differential petiole growth through auxin-gibberellin dynamics. *Current Biology*, 33 (1), 75–85
- 9) Maeda, E and Maeda, K (1988) Ultrastructural studies of leaf hydathodes. II. Rice (*Oryza sativa*) leaf tips. *Japanese Journal of Crop Science*, 57 (4): 733–742
- 10) Mark, L. and Todd, J. T. (1983) The perception of growth in three dimensions. *Perception & Psychophysics* 33: 193–196
- 11) マグローヒル科学技術用語大辞典編集委員会編 (1996) マグローヒル科学技術用語大辞典 第3版. 日刊工業新聞社, 東京. pp. 280–281
- 12) 園池公毅 (2016) 植物の形には意味がある. ベレ出版, 東京. pp. 85–114
- 13) 鈴木剛伸・岩波靖彦・川合康充・小池英彦・松尾悦雄・藤巻 健 (2003) AMcDAS気象情報を利用したリング黒星病感染予測システム. 長野県農業総合試験場報告, 6 : 19–28
- 14) 高橋 葵 (2025) 食用ナッツ類としてみたツノハシバミの形態の変異—地域間および個体内における葉形の変異—. 2024年度 信州大学農学部専攻研究論文. 44 pp.
- 15) 澤岬哲也 (2013) 施設マンゴーにおける炭疽病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* の感染に及ぼす附着器形成と葉濡れ時間との関係. 沖縄県農業研究センター研究報告, 8 : 25–29
- 16) 山口真美・尾田政臣 (1997) 正面顔画像のカーゴイド変換が年齢認知に及ぼす影響について. 電子情報通信学会論文誌 J80–A : 1250–1259
- 17) Wang, T., Yifan, S., Dai, H., Li, C., Gao, C., Dong, Z. and Jiang, L. (2020) Apex structures enhance water drainage on leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 1890–1894

(原稿受付 2026.3.12)