

## 葉の輪郭形状の多重解像度解析を用いたコーディング

7T-7

月岡 健人<sup>†</sup> 品川 嘉久<sup>†</sup> 國井 利泰<sup>†</sup>東京大学<sup>†</sup> 会津大学<sup>†</sup>

## 1 背景

植物の形態は様々な生物学的な側面を持ったコンピュータ科学的にも興味深い問題であり、特に現実感のある形態の生成を追求する研究は、成長や環境との相互作用などの動的な側面も含めたモデル化により成功を収めている [7, 5]。しかし、これらの研究は、主として枝の分岐パターンの規則性に着目したものであり、そのような規則性の捕まえにくい葉のような部分の研究は進んでいない。また、生物モデルを扱っているにもかかわらず、生物に特有の進化という観点から種の間でモデルのパラメータを関連づけるような試みはまだなされていない。進化に関しては、形態モデルから受光面積などの生存を左右する指標を計算して最適とし、最も最適となる形態を求めたり、自然淘汰のシミュレーションを行なったものがある [3] が、そこから得られた最適な形態と現実の植物の形態との対応や、人為的に設定された最適の妥当性の検証が課題として残されている。

これらの問題点は、実際に植物の形態を測定し、特徴をコード化した記述を用いることで以下に示すように解決することができる。

- 葉の形のように目による観察では容易に記述できない複雑な形態の記述も可能となる
- 対象とする植物全てについて、共通のコードによる表現を得ることができるため、個体間、あるいは種間での記述の比較が行なえる
- 形態どうしの相違に関する定量的な尺度を作ることができるため、ある基準から得られた最適な形態と現実の形態との比較が可能となる

ただし、実際に植物の3次元的な分岐構造を測定するのは非常に難しい問題である。そこで、この研究では、具体的にこのような形態記述法を行ない得るテストケースとして、植物の葉を対象に、その輪郭の特徴を画像処理によって抽出してコード化し、生物学的モデルの立場からコードに関する考察を行なった。

## 2 多重解像度解析による葉の輪郭のコード化

葉の輪郭は、植物の主要な形態特徴であり、鋸歯の形や先端、つけねの形などについての分類のための記述法も考案されている [2] が、ここで注目されている特徴は、いずれも輪郭の曲率の極大、極小の並びにより記述することができる。そこで、ここでは、葉の輪郭を二次元閉曲線とみなし、変曲点で区切られた曲線上の区間を曲率の符号の正負によりそれぞれ凹凸領域としてコード化し、さらにこの情報を多重解像度解析の手法を用いて階層化した。

多重解像度解析では、対象を粗視化するに従い局所的な構造がより大局的な構造にまとめられていく過程を調べることができるが、ここでは周長に関する接線の累積角のグラフに対してウエーブレット [4] を用いた解析を行なうことにより、粗視化に伴う輪郭上の凹凸の変化を追跡した。生じる変化の最小単位は、

1. 凹凸凹 → より大局的な凹 (凸の消滅)
2. 凸凹凸 → より大局的な凸 (凹の消滅)

の二通りであり、この操作が階層的に繰り返されて最終的に変曲点の全くない状態に到達していく様子は木構造にまとめることができる。この木のノードは各凹凸領域に対応し、辺は凹凸構造の包含関係を表す。ノードにはさらに特徴領域の幾何学的パラメータを付け加えることができるが、ここではその領域に含まれる曲率の極大あるいは極小値と、領域内での (周長で測った) 相対的な位置を持つことにした。ここに述べた手続きの実際



図 1: アサノハカエデの輪郭

の例を、図 1 から 3 に示す。図 1 は写真から画像処理により取り出されたアサノハカエデの輪郭、図 2 はその一部分の拡大図と極率特徴 (変曲点、正の極大、負の極小)

Coding the contour shapes of leaves using multiresolution analysis

Taketo Tsukioka<sup>†</sup>, Yoshihisa Shinagawa<sup>†</sup>, and Tosiyasu L. Kunii<sup>†</sup>

The University of Tokyo<sup>†</sup>, The University of Aizu<sup>†</sup>

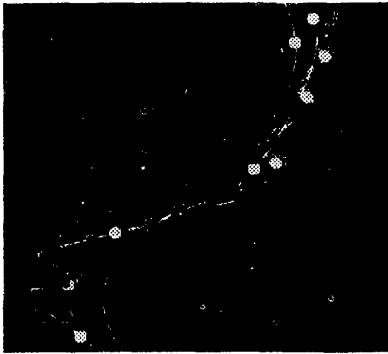


図 2: 輪郭上の特徴の粗視化に伴う変化

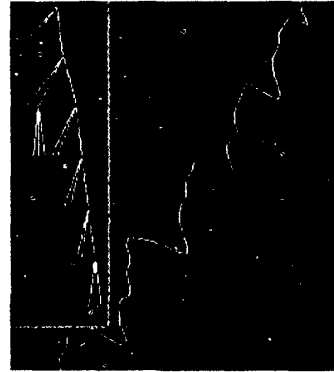


図 4: 葉の鋸歯と対応する凹凸の規則的な階層

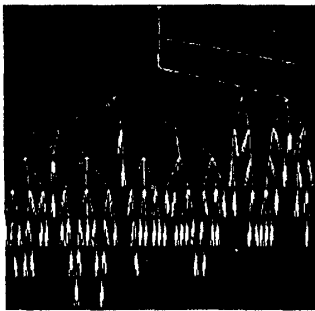


図 3: 凹凸の階層構造

の粗視化に伴う変化、図 3 はこの葉に対する凹凸変化の木構造を示す。

### 3 得られた葉の輪郭コードに関する考察

二次元の輪郭線に対するここでのべたような解析は、形状認識の分野でよく研究されている [6]。しかし、このような階層的な記述は生物学的なモデル化において特に興味深いものとなる。例えば、上に述べた凹凸構造の変化の過程は、逆に上記の二つの操作 1,2 の逆操作により、単純な輪郭に小さな凹凸を次々に付け加えて複雑な輪郭を生成するための生成規則とみなすことができる。このような見方をすれば、得られた木構造は導出木に対応し、どちらの生成規則を用いるかだけでなく、生成規則に対する凹凸の幾何学的パラメータを含めることにより、属性文法の導出木と考えることができる。例えば、図 4 のように、葉の鋸歯として現れる部分には凹凸の階層に文法を用いて記述できる規則性のあるパターンが生じていることが多い。現在は小数の葉しか用いていないため有意な結果は出ていないが、同一種のサンプルから集めた非常に多くの枚数の葉についてこのようなコード化を行なうことにより、grammatical inference[1] の手法を用いて何らかの規則性を凹凸の変化の文法として表現できるのではないかと考えている。

### 参考文献

- [1] H. Bunke and A. Sanfeliu eds. *Syntactic and structural pattern recognition: theory and applications*. World Scientific, Singapore, 1990.
- [2] L. J. Hickey. Classification of the architectures of dicotyledonous leaves. *American Journal of Botany*, 60(1):17-33, January 1973.
- [3] K.J.Niklas. Computer-simulated plant evolution. *Scientific American*, pages 78-86, 1986.
- [4] S. Mallat and S. Zhong. Characterization of signals from multiscale edges. *IEEE Trans. Patt. Anal. MachineIntell.*, 14(7):710-732, July 1992.
- [5] M.Aono and T. L. Kunii. Botanical tree image generation. *Computer Graphics*, 5(4):10-34, May 1984.
- [6] F. Mokhtarian and A. K. Macworth. A theory for multiscale, curvature-based shape representation for planar curves. *IEEE Trans. Patt. Anal. MachineIntell.*, 14(3):789-805, August 1992.
- [7] P. Prusinkiewicz, A. Lindenmayer, and J. Hanan. Developmental models of herbaceous plants for computer imaginary purpose. *Computer Graphics*, 22(4):141-150, August 1988.