

葉の折り紙モデルと枝先モデルによる植物の画像生成

海野啓明, 矢島邦昭, 早坂和文
kaino@cc.sendai-ac.jp
仙台電波工業高等専門学校
〒989-31 仙台市青葉区上愛子字北原1

植物の複雑な形状のうちでカラハナソウやカエデ等は折り畳みを考慮した折り紙モデルにより葉縁と葉脈が合理的に決定される。また、葉の揺らぎのモデル化のために、オリズランの葉の振動を解析し、水平振動の周期は葉の長さの1.5乗に比例することを示す。生け花やインテリアへの応用するには、葉ばかりでなく枝先、茎のモデル化が重要である。そこで先ず、枝先の3次元画像を見ながら特徴的な点データを修正・更新する枝先エディタを作成し、次にストランドモデルを利用した枝先モデルにより点データを作成し枝先エディタで修正する、半自動的方法を述べる。最後に、生け花のシミュレーションのために必要な基本的問題を検討する。

Origami Model of Leaves, Strand Model of Branches and Image Generation of Plant

Keimei Kaino, Kuniaki Yajima and Kazufumi Hayasaka

Sendai National College of Technology
1, Kitahara, Kami-ayashi, Aobaku, Sendai 989-31 Japan

When certain types of digitate leaves are folded up along their main veins as leaf buds, we can produce their margins and venations of leaves well by use of Origami modelling method. Motion of oscillating leaf of Orizururan (in Japanese) is similar to a damped oscillator. It shows that the period of horizontal oscillation of a leaf around the stem is proportion to $L^{1.5}$ where L denotes the leaf length. Using a branch editor we can manipulate control points of a branching path in 3D space and produce data of those points that is suitable for image generation of branches for ikebana.

1. はじめに

植物の中でも草花のコンピュータ・グラフィクス (CG) では、葉、花および茎などの器官をリアルに表現する必要がある。樹木の枝先についても同様である。これらは対象とする大きさが、樹木と比較すると十分小さいので成長の規則性が比較的容易に取り入れられることが利点であるが、総合的に表現する必要があるので画像の評価の基準は樹木より高いように思われる。例えば、草花の個々の特徴を全ての器官について良く表現し、それとわかる画像を生成する必要がある。また、葉の形は極めて多様で複雑であり、草花の画像生成のための葉の形に関する基本的な研究および文献が蓄積されているようには思われない[1][2]。茎や樹木の枝先も植物の特徴を与える重要な約割を果たしているため、葉と同様に特徴をよく捉えて表現する方法が必要となる。また、草花の揺らぎのシミュレーションも興味ある問題である。

草花の葉は、茎から葉序にしたがって芽から広がる。葉序 (対生, 互生など) は植物に固有であるが、葉の広がり方は向日性などより柔軟に向きを変える[3]。さらに、カラハナソウなどの蔓植物は茎が回転しながら巻き付いていく。茎の断面は多角形が多く、葉序の周期と関係がある。また、茎の表面構造 (毛, 刺, 茎のねじれ) も考慮する必要がある。これらは樹木の枝先と共通するところが多い[4]。成長モデルにより茎、葉の姿勢を自動生成するためには、植物固有の規則を見出す必要がある。切れ込みのある複雑な葉を生成する形状定義法として、われわれは葉の折り紙モデルを提案し[5]、カラハナソウやモミジに適用しそれらの画像生成を行ってきた。現在では、さらに、多くの実物の植物を観察しながら対話的に茎と葉のモデル化を行い、表現法を検討している。このような観点から、草花の画像生成の問題を考えると、葉の姿勢制御や枝先の形状生成などの多くの問題が残っていることがわかる。

また、草花の揺らぎに関しては、樹木の揺らぎを節点モデルを用いて模擬した例[6]がある。草花を樹木の枝と同様に扱えるかは明確ではないが、草花の振動を直接観察することは比較的容易である。草花では振動の解析ができるので、力学モデルを立てやすいという利点がある。本論では、オリズルランの葉の振動を解析して、葉の水平振動に関して葉の長さや周期には比較的簡単な関係があることを示す。

枝先は樹木の部分のうち最も成長の著しいところであるが、これまで、枝先の表現の手法についてはあまり議論されていないように思われる。枝先は樹木の特徴を表すのに不可欠の器官であり、応用範囲も広いので、枝先をCGの表現対象とすることはこれからの重要なテーマである[7]。枝先には、次の分枝のための芽が潜っており、またこれから枯死するものなど様々な状態が生じうる。また、潜伏芽や幹化による枝先の微妙なカーブ、光に向かって成長するための分枝、重力によるたわみ、ねじれ等の多様な変化が観察される。枝先の自然らしさを表現するには、これまでのモデルを検討し、さらに枝先固有の特徴を考慮したモデルの開発が必要である。本論では、代表的な枝先を取り上げてその特徴を観察する、そして枝先をモデリングするための枝先エディタを作成して枝先を生成する。さらに枝先の自動生成のための検討を行う。

葉、茎または枝先の画像が生成できて、素材が豊富に利用できれば、インテリアや生け花に応用できる。特に、生け花では草花や枝先を切る、曲げる、挿す等の操作が入るので、これらをシミュレーションすることは興味のあるテーマとなる。

2. 折り紙モデルによる葉の画像作成

草花のCGでは、葉や花の合理的なモデルと、柔らかで自然な表現法により画像を生成することが応用上大切である。葉の揺らぎの性質についても考察する。

2.1 葉の折り紙モデルと切れ込み

切れ込みのある複雑な葉（カエデ，カラハナソウなど）の形は，葉が芽のなかで折り畳まれていると考ええると，複雑な葉縁と葉脈が合理的に決定できることが示される．このことを考慮した葉の形状定義法を以下では葉の折り紙モデルと呼ぶことにする [5]．葉の折り紙モデルでは，予め折り畳んだものを簡単な曲線で切り取り，切り口を葉縁，谷折りを主な葉脈とみなす．切れ込みのある複雑な葉を折り紙モデルを用いて定義することができる．

これまでカラハナソウとモミジに適用してきた．カラハナソウの全体の画像を図1)に示す．ここでは，茎の断面は六角形でねじれを考慮したが，托葉や刺はない．茎は，3次元の点列をあらかじめ入力し，その後で曲線補間をする．先端の曲り具合はこの方法で表現している．これと関連するが，カラハナソウでも大きな切れ込みにより3，4裂となる場合がある（アサガオの葉も普通主な葉脈が3本あるが，それが4，5本になる場合がある）．これらの葉の変化は，折り紙モデルによれば，折り畳みの回数が2から3，4に増えたものと考えられるので，葉のモデル化も比較的容易である．

折り紙モデルにより葉のモデルを生成するためには，内心の定理を用いて複数個の折れ目（山折りと谷折り）の交点で折れ目の関係を設定し，葉縁と折れ目からなる全体のフレームを定める．最後に全体の形がうまく得られるようにパラメータを決める．これら一連の処理をCRT上でできるようにすることは，別の興味ある問題である．

2.2 葉の展開と変化

カラハナソウ（図1）の葉の展開のアニメーションを試みた．ここでは，展開する葉の画像を40枚用意して，CRT上でそれらを連続表示する．最終的には，適当な成長モデルを考えて，このような画像を用意し，成長過程をシミュレーションする予定である．また，折り紙モデルの葉は，折り畳みがあり葉に凹凸がある場合はそれで葉脈を表現できるが，平面に近づくと葉脈を明示的に表現する必要がある．折り紙モデルは葉縁と葉脈を同時に決定できるので，これは問題ない（図2(a)）．また，カラハナソウでは後から出てくる葉は余り凹凸が顕著でないので平面的な葉が有効に利用できる．

葉は展開すると，成長しながら受光量をなるべく大きくするように変形する．その典型的なものは，表が凸面になるように反り返った形である．折り紙モデルでは，葉の成長を縮尺で，凸面は平面を1方向に沿って曲げることしかできない．カラハナソウの葉のモデルを平面にしてから，その葉を中脈に沿って基から先までを4分割し，（30°斜めに上げてから）15°ずつ折り曲げた画像を生成した（図2(b)）．のっぺりした葉を尤もらしく見せるために，裏表の葉脈や表現を取り入れる必要がある．

2.3 葉の揺らぎの性質

草花の揺らぎの性質を調べるために，オリズラン（図3）を例にとってその振動を観測した．オリズランの葉は細長く，一本の茎の根元に袴状に密着している．葉は根元でU字状であるが先に方では平面状で，全体として上に凸である．捻れはするが，その他の変形には比較的強い．この植物の12枚の葉それぞれについて，先端を上下，および水平に振動させ，葉の長さ L と振動の周期 T と減衰時間 τ を調べた． T と τ の L 依存性を両対数グラフに示したのが図4である．振動の減衰は目測で行ったので正確とは言えないが，次のような特徴が見て取れる．上下振動については， T ， τ 共に L 依存性は余りない．一方，水平振動については， $T \propto L^{1.5}$ ， $\tau \propto L^{2.3}$ である．葉は根元が固定で葉先は自由端の振動である．葉は単振りよりは梁と見なしたほうがより現実的であると思われるが[8]，この場合は葉を分割して拘束節点モデル[6]を採用すればよいであろう．揺らぎの効果を取り入れたシミュレーションの興味ある問題である．

3. 枝先のモデリングリングと画像生成

3.1 枝先エディタによるモデリングリング

これまで植物のうちで茎（または枝先）のモデリングは、まづ茎（または枝先）の特徴点を入力し、ベジェ補間を適用した後に、角柱のパッチを当てて作成してきた。カエダの画像作成例を図5に示す。これは生け花の写真[10]を基にしており、葉は折り紙モデルで作成し、枝先は上述の手法で作成した。画像の評価としては、枝は葉と同様に重要で、枝が急に折れ曲がったような特徴を出すことが画像の善し悪しを決めると思われる。このような個所ではベジェ補間等を使えないので、モデリングの際に注意を払う必要がある。また、自然らしさの因子を見出すことを目的として、現在実際の枝からデータを測定してモデリングしている。ここでいう自然らしさの因子とは、枝の太さ、枝の分布、成長途中での枯死、葉の付具合などである。これらを自動生成する問題は興味があるが、問題は複雑であり現状は未だそこ迄に至らず依然思考錯誤の段階である。また、国内外でもこの種の試みは余りないようである。

枝先のデータを入力して3次元モデリングリングするためのツールとして、枝先エディタを作成したのでそれを説明する（図6）。このエディタはX-Windowsシステム上で動作する。枝先のデータは、枝先を特徴点で表現したときの、各点の座標データと、隣り合う2点の連結データである。エディタはこれらを読み込み、枝先を適当なボックスの中に3次元表示する。このボックスは自由に回転できる上、3面図を同時に表示することができる。エディタはこれらの機能を利用して、枝先の形状を確認しながら入力データの修正と更新を繰り返す。そして、より自然でバランスのとれた枝先の座標データを得ることができる。その後、太さを与えて多角柱連結し、枝先の画像を作成する。図7にカエダとケヤキの枝先の例を示す。さて、生け花の作品では、主枝と客枝（主枝より低い）が組合せられる、主枝は枝先で主に線や形を生かしたもの、客枝は草花で彩りを生かすと考えられる。生け花に適する枝先を生成するには、線や形の面白さをうまく出すことが重要である。枝先エディタはこの意味で、枝先の特徴を生成する簡易なデータ生成と変更のツールであるといえる。

3.2 枝先モデルを用いた半自動生成

冬の枝先の観察をすると、芽は頂点と落ちた葉の根元にあることがわかる。春先になるとこれらの芽が互いに作用し合いながら成長する。成長の仕方は、木の種類により異なるが、また同じ木でも場所（上か下か）によって変わる。ケヤキで葉は互生である軸に鋭角に芽が出るが、数年後にはほぼ直角になるなどの特徴が観察される。このような簡単な特徴を考慮して予め枝先のデータを自動生成しておき、それを枝先エディタで適当に変更することにより特徴点データ入力の手間を省くことができる。図8はこのようにして生成されたケヤキの枝先である。ここでは、自動生成のためのモデルとしてストランドモデルを利用している。これは、ストランドの束が植物の茎（枝）を形成するとするというモデルで、枝の太さはストランドの本数で決まり、ストランドの数が1本になるまで分枝が行われる[9]。また、枝先には葉を付ける必要があるが、その場合には葉の姿勢の問題が生じる。これらについても、形の規則性を考慮した半自動生成法を開発していく必要がある。

3. 生け花のシミュレーション

生け花においては、数種類の花材（葉もの、花もの、枝ものおよび水もの）を取り合わせ、ある花型に従って花をいける（立てる、盛る）。そして、草花や枝の美しさを表現する。花器は、「立てる」形式の生け花では壺型の器を使い、「盛る」形式のものでは水盤と呼ばれる平たい器を用いる。流儀によっては、野趣に富んだ花材と花器を利用する。生け花では型があるが、その1例を図8に示す [10]。

生け花では、花もさることながら葉の役割が重要である。葉の形と色の変化と組み合わせが自然の趣を与え

ている。また、一般に長さの異なるものを数種類組み合わせるため、長いものとしての木の枝が不可欠である。従って、生け花の花材として、葉を主体とする草花と木の枝先が重要であることがわかる。生け花のシミュレーションのための基本的問題としては、以下のものがあげられる。

- (1) 花材（特に葉ものと枝先のリアルな画像）が自由に選択できること。
- (2) 花材を移動すること、それを挿すこと（立てる、傾ける、曲げる（撓める）、折る）およびそれを切ること（長さの調整、葉や花の整理）ができること。また、視点の移動も自由にできること。
- (3) 花器の種類が選択できること。
- (4) 花型が適宜参照できること。

(1)のためには、植物の成長モデルを用いて葉や花の展開および季節変化を自由に調整できることが望ましい。枝先に(2)については、最終的には曲げたりや切る操作が入るので、ある程度はイメージ通りの枝先が得られるように、成長モデルにこのイメージを取り入れること必要であろう。これらのことを対話的にやれることが望ましい。研究テーマとしては盆栽の研究と関連することが多いので、その例を参考にしながら検討していく予定である。

5. おわりに

本報告では、初めに折り紙モデルを利用して複雑な葉とその展開のアニメーションとを作成した。次に、植物の画像を生け花のシミュレーションに応用する点で、枝先のリアルな表現が重要であることを述べ、枝先エディタのツールを作成してモデリングに利用した。最後に、生け花のシミュレーションのための基本的問題を検討した。

参考文献

- [1] P.Prusinkiewicz and A.Lindenmayer: The Algorithmic Beauty of Plants, Springer-Verlag, New York, 1990
- [2] R.Lecoustre et al.: Controlling the Architecture Geometry of a Plant's Growth - Application to the Begonia Genes, Creating and Animating the Visual World, pp.199-214, 1992
- [3] 前川文夫：植物入門，八坂書房，1979
- [4] 千葉則茂，大川俊一，村岡一信，三浦守：CGのための樹木の生長モデル—架空の「植物ホルモン」による自然な樹形の生成—，信学論（D-II），J76-D-II，pp.1722-1734，1993
- [5] K.Kaino: Geometry of Folded Pattern of Veins and Origami Model of Digitate Leaves, Form, Vol.9, pp.253-257, 1994
- [6] 河野充，佐藤義人，千葉則茂，拘束節点による樹木の揺らぎのシミュレーション，情処グラフィクスとCAD,92-CG-59,1992年10月
- [7] 矢高邦昭，海野啓明，千葉則茂：Computer Graphicsのための枝先モデルの検討について，平成7年度第3回情処学会東北支部研究会資料
- [8] M.Shinya and A.Fournier: Stochastic Motion ---Motion Under the Influence of Wind, EUROGRAPHICS '92, Vol.11, c-119-128, 1992
- [9] M. Holton: Strand, Gravity and Botanical Tree Imagery, COMPUTER GRAPHICS forum, Vol.13, pp.57-67, 1994
- [10] 千葉則茂，大志田憲，川瀬健二，張青，高橋淳也：盆栽／陶芸／水墨画のCGに向けて，情処研報94-CG-70, 1994



図1 カラハナソウのCG画像

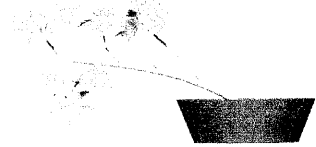
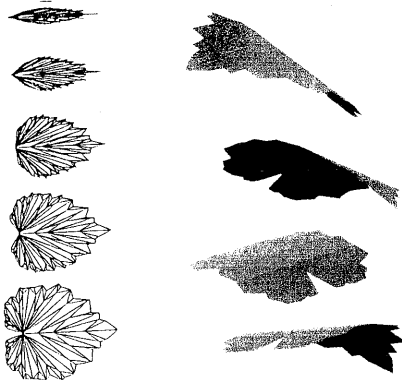


図5 カエデのCG画像



(a) 平面、葉脈付 (b) 曲面、葉脈付
図2 カラハナソウ

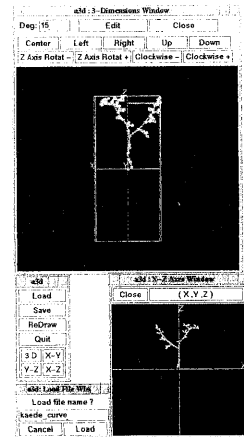


図6 枝先エディタ

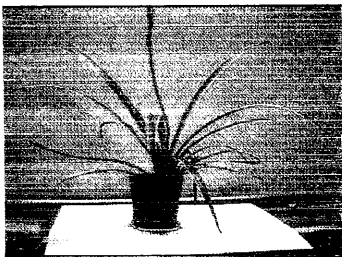


図3 オリズラン (写真)



図7 (a)カエデのCG画像 (b)ケヤキのCG画像

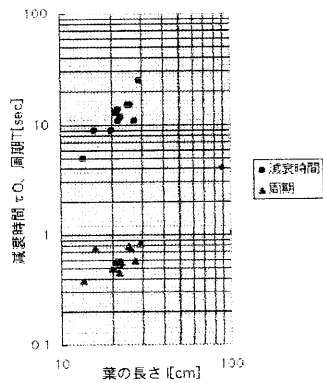


図4 葉の長さとの減衰時間、周期の関係



図8 strandモデルによるCG画像