

学位論文題名

森林の景観施業に関する基礎的研究

—コンピュータグラフィックスによる樹形生成モデル—

学位論文内容の要旨

近年、森林の施業計画を立案する上で、木材生産と環境保全、さらには景観に配慮した施業技術の確立が求められている。その中で特に森林の景観施業に関しては、視覚的評価あるいは数値情報の可視化に基づく計画立案手法の開発の重要性が指摘されている。

一方、近年、建築設計や都市計画等の分野においてコンピュータグラフィックスによる景観シミュレーションが広く実用化されている。コンピュータグラフィックスは一度データを作成・入力することにより自由な視点からの画像表示が可能である。そこで、こうしたコンピュータグラフィックス技術を用いて樹木の成長や森林景観を画像上で、リアルにしかも経時的、立体的にかつ的確に表現することができれば、視点位置や視点距離等3次元視覚評価や経時的表現が必要とされる森林の景観施業を立案する上で有効な手法となろう。しかし、これまで一定の広がりをもつ地域の森林構造をコンピュータグラフィックスを用いて3次元的に表示した例は少なく、樹冠の枝葉部までリアルに表現したものはほとんどみられない。特に近景における景観シミュレーションにおいては樹種が特定できるレベルの樹形画像が必要とされるが、その成果は未だ得られていない。

本論文は、景観シミュレーション技術における基本的な研究課題である自然的でかつ写実的な樹形生成手法と森林景観のシミュレーション技術を開発し、コンピュータグラフィックスを活用した視覚的評価に基づく森林の景観施業および緑化計画の新しい立案手法を構築することを課題とした。

樹形生成のための成長モデルを開発するにあたっては、幾何学的

な樹冠形状を示す針葉樹と楕円形状的な樹冠を持つ広葉樹では成長特性や形状が大きく異なることから、針葉樹型と広葉樹型に対応した樹形生成モデルをそれぞれ考案した。成長モデルは、樹形に關与すると考えられる形状因子を推定してモデルの原型を作成し、シミュレーションで得られた樹形に対し視覚的な評価を基にモデルの改良を行うとともに、様々な形状因子の組み合わせにより樹形生成のための適正なパラメータを抽出し、モデル化を行った。なお、成長シミュレーションおよび結果のコンピュータグラフィックス表示のプログラムはC言語で作成し、ワークステーションで実行した。

針葉樹型の樹形生成手法として、本道の代表的な針葉樹であるトドマツを事例に、これまでの報告例や実測による樹幹および枝形状の解析資料を補完データとしてモデルを作成した。その際、針葉樹特有の枝の枯上がりや残枝等の樹冠形状と樹齡にともなう樹形の変化を、樹高および直径成長、枝の数と角度、枝寿命等の形状要素を時間（樹齡）の関数としてとらえる手法を導入し、成長過程のシミュレーション表示を行った。その結果、本モデルは樹冠形状に關与する樹冠角度と枝垂れ角度のパラメータを組み合わせることによりモミ属タイプからトウヒ属タイプの針葉樹までさまざまな樹冠形状が表現できること、また、枝の成長停止年数のパラメータの組み合わせにより枝の枯れ上がりの程度や樹冠部の疎密感等の樹勢表現が可能であることを示した。さらに、各種のパラメータを時間（樹齡）で変化させることにより時間の変化に対応した樹形、すなわち単木についての成長過程のシミュレーションが可能ながわかった。

一方、自然な枝振りをもつ広葉樹型の樹形を表現するためには、分枝システムや成長パターン等の遺伝的な形状形態に加え、光を求めて成長の軌跡を示す枝振り、受光量に対応した伸長成長と肥大成長、さらには受光量の不足にともなう枝の枯死等、個体成長の過程で形成される獲得形状的な成長モデルが必要とされる。特に、枝の疎密度や光を求めて成長した様子等の自然な枝振りを表現するためには関数モデルによる樹形生成には限界があり、広葉樹の樹形表示モデルの作成には新たな手法が必要とされる。

そこで、樹形生成に最も影響を与えると考えられる光環境の影響、すなわち上方の枝葉の存在や隣接木等受光量に対応した成長、消失等の成長モデルをホオノキを事例に検討した。その際、受光量のシ

ミュレーションモデルとして莖頂部を投影の中心とした全天空画像を想定しての光環境のシミュレーションモデルを考究し、受光量に対応した枝の成長と消失モデル、さらには明かるい方向に向かう枝の探索性、直径成長のシミュレーションモデルをそれぞれ開発した。その結果、本モデルは、より明るい方向を求めて枝を旋回することができる角度、すなわち探索性の自由度のパラメータと成長開始時の明るさのパラメータの組合せによって樹冠部の枝葉密度の表示と枝の乱雑性の表現が実現され、自然的な枝振りの樹形表示が可能なこと、また、直径成長のシミュレーションのモデル化によって、枝密度に対応した枝および幹の太さが画像表現できることを示した。さらに成長過程における個体相互影響の結果による枝の枯れ上がりや樹幹の被圧等光条件に対応した樹形表現も可能であることを示した。得られた画像は、いずれも実際の樹形をよく表現していると考えられ、本モデルを用いることにより自然な枝振りをもつ広葉樹形を画像生成することが可能なことがわかった。

コンピュータグラフィクスを活用しての施業計画をすすめるうえで、一定の広がりをもつ森林景観の立体的、時間的推移の画像化が不可欠である。そこで、これまで述べた樹形生成モデルをもとに現実林分の測定値から個体に対応した成長モデルのパラメータを推定し、それらを集合した人工林および天然林の景観表示を試み、その景観の妥当性を検討した。まず人工林の景観シミュレーションとして、個体ごとの形状パラメータから単木形状を生成し、得られた樹形を位置データをもとに集合して画像表示したところ、過去の林相および現実林分の画像生成を自然的に表現できることを示した。さらに、画像上の任意個体の消去や再表示つまり間伐景観シミュレーションについても画像表示することが可能であることを示した。また、画像上で任意の個体を広葉樹に変換することが可能なことから、針葉樹と広葉樹の比率を段階的に変化させて表示することにより混交比率を変えた森林景観表示、さらには葉色や着葉状態を単木ごとに表示を変えて画像生成することにより森林の季節的な景観表示が可能であることを示した。また施業計画の可視化の試みとして、トドマツ人工林の地位別仕立方法別施業体系のシミュレーション表示、街路における植栽景観のシミュレーションを行ったところ、いずれも自然的な画像が得られることを示した。

以上の研究成果により、これまで立木位置、樹高、枝下高、胸高直径、樹冠直径等の数値情報によって示されていた林分構造や樹木の情報に加えて、コンピュータグラフィックス技術を用いることにより、樹種や成長にともなう景観変化等が画像上で時間的・空間的に予測することが可能となり、視覚情報を必要とする森林の景観計画の立案や開発手段を見いだすための大きな手がかりを得ることができた。また本技術と施業体系図や密度管理図との併用による指導普及事業への活用も期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 和 孝 雄
副 査 教 授 五十嵐 恒 夫
副 査 教 授 浅 川 昭一郎

学 位 論 文 題 名

森林の景観施業に関する基礎的研究

—コンピュータグラフィックスによる樹形生成モデル—

本論文は5章で構成され、図58、表9、引用・参考文献112を含む総頁数143の和文論文である。別に参考論文33編が添えられている。

近年、森林の施業計画を立案する上で、木材生産と環境保全、さらには景観に配慮した施業技術の確立が求められている。その中で、特に森林の景観施業に関しては、視覚的評価あるいは数値情報の可視化にもとづく計画立案手法開発の重要性が指摘されている。一方、近年、建築設計や都市計画などの分野においてコンピュータグラフィックスによる景観シミュレーションが広く実用化されている。しかし、森林、樹木に関しては樹種特性や樹木の成長経過、あるいは樹種混交、樹木間競争の複雑性などに起因して、画像上で、リアルにしかも経時的、立体的に、かつ的確に表現する手法はこれまで開発されていない。

本論文は、景観シミュレーション技術における基本的な研究課題である自然的でかつ写実的な樹形生成手法と森林景観のシミュレーション技術を開発し、コンピュータグラフィックスを活用した視覚的評価にもとづく森林の景観施業及び緑化計画の新しい立案手法を構築することを課題としたものである。

樹形生成のための成長モデルの開発にあたっては、幾何学的な樹冠形状を示す針葉樹と楕円形状的な樹冠を持つ広葉樹では成長特性や形状が大きく異なることから、針葉樹型と広葉樹型に対応したモデルをそれぞれ作成することを試みた。

針葉樹型については、本道の代表的な針葉樹であるトドマツを事例に、これまでの報告例や実測による樹幹および枝形状の解析資料をもとに、樹齢（時間の経過）にともなう樹形変化などを表示できるモデルを作成した。その結果、樹冠形状に関与するパラメータの組み合わせによりモミ属タイプからトウヒ属タイプの針葉樹までさまざまな樹冠形状を表現できること、また、枝の枯れ上がりの程度や樹冠部の疎密感などの樹勢表現が可能なこと、さらには時間の変

化に対応した樹形、すなわち単木の成長過程のシミュレーションが可能なことがわかった。

一方、広葉樹型の樹形を表現するためには、針葉樹と異なる分枝システムや成長パターン等の遺伝的な形状形態に加え、光を求めて成長する枝振り、受光量に対応した伸長成長と肥大成長、さらには枝の枯死等、個体成長の過程で形成される獲得形状的な成長モデルが必要とされる。そこで、樹形生成に最も影響を与えると考えられる光環境に注目して、ホオノキを事例に、茎頂部を投影の中心とした全天空画像を想定してのシミュレーションモデルを考究し、受光量に対応したシミュレーションモデルを開発した。その結果、本モデルは枝の探索性のパラメータと成長開始時の明るさのパラメータの組み合わせによって樹冠部の枝葉密度の表示と枝の乱雑性の表現や自然的な枝振りの樹形表示が可能なこと、また、枝密度に対応した枝および幹の太さ、さらには個体相互影響による枝の枯れ上がりなど、自然な枝振りをもつ広葉樹形の画像生成が可能なことがわかった。

以上により得られた樹形生成モデルをもとに現実林分の測定値から個体に対応した成長モデルのパラメータを推定し、それらを集合した人工林および天然林の景観表示を試み、その景観の妥当性を検討した。その結果、本モデルは個体ごとの形状パラメータと、位置データを集合して画像表示することにより、過去の林相および現実林分の画像生成を自然的に表現できること、さらには、画像上の任意個体の消去や再表示、つまり間伐景観シミュレーションの画像表示も可能なこと、また、針葉樹と広葉樹の比率を段階的に変化させることにより混交比率を変えた森林景観表示、さらには葉色や着葉状態を単木ごとに画像生成することにより森林の季節的な景観表示が可能であることを示した。また、人工林の地位別仕立方法別施業体系のシミュレーション表示、街路における植栽景観のシミュレーションについても自然的な画像が得られることを示した。

以上、本研究で新たに開発した樹形生成モデルは、これまでの林分構造や樹木に関する数値情報に加えて、樹種や成長にともなう景観変化等を時間的・空間的に画像上で予測することを可能とし、視覚情報を必要とする森林の景観計画の立案や開発手段を見いだすための大きな手がかりを与えている。また、施業体系図や密度管理図との併用による指導普及事業への活用も期待される。これらの研究成果は、学術上高く評価されるだけでなく、実用的にも寄与するところ大なるものがある。

よって、審査員一同は、別に行った学力確認試験の結果と合わせて、本論文の提出者鈴木悌司は博士（農学）の学位を受けるのに十分な資格があるものと認定した。