

機関番号：12605

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21700095

研究課題名（和文）

地理空間情報システムを利用した大規模仮想自然環境表示技術の構築

研究課題名（英文）

Establish of visualization method for large-scale forest landscapes based on the national vegetation survey of Japan.

研究代表者

赤木 康宏 (AKAGI YASUHIRO)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：90451989

研究成果の概要（和文）：

日本全国の森林をリアルタイムに表示するための一連の手法を構築した。第一に、環境省の提供する植生調査結果に含まれる約200種の樹木を自動生成するために、樹形データベースを構築し、様々な樹木を自動生成することを可能にした。第二に、大規模森林の可視化を行うために、樹木生成および表示高速化のための並列計算手法を構築し、全国の任意の地点の森林をリアルタイムに表示することを可能にした。

研究成果の概要（英文）：

We concentrate on the high-speed visualization for large-scale forest landscapes, since it has never been dealt with. First, we proposed parameterization and analysis techniques for trees which enable to represent specific shapes dependent on species. This technique aims to represent about 200 species of trees which are covered in vegetation research of ministry of the environment. Second, to visualize large-scale forest, we proposed a method which has the following three characteristic features: (1) It procedurally generates a forest from data sets of the national vegetation survey of Japan. (2) It generates a vegetation boundary which represents a natural arrangement of trees in the forest by using a fractal noise function. (3) To realize high-speed visualization, we propose a generating method of trees which is suitable for parallel processing on GPUs. The series of techniques can realize the high-speed visualization for large-scale forest landscapes generated from the national vegetation survey.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：グラフィックス、地理空間情報システム、自然景観、森林生成、階層バイズモデル、GPGPU、大規模可視化

1. 研究開始当初の背景

経済産業省「地理空間情報活用推進研究会」の報告書（平成 20 年度）によれば、本年度の GIS 関連産業の事業規模は約 4 兆円であり、平成 25 年度には約 10 兆円に達すると予想され、情報関連産業の中でも成長の著しい分野の一つである。近年では、GIS は様々な Web 技術との融合により、社会インフラの一つとして重要な役割を果たしている。GIS 関連産業のさらなる発展のためには、より高度かつ広範囲にわたる 3 次元情報提示技術の早急な研究・開発が必要である。これまでの GIS に関連する研究・開発では、航空写真を利用した地図提示サービスから、建物の立体化、パノラマ写真の表示という、3 次元空間への移行が積極的に推進されている。すでに都市部においては、航空写真から建物を復元する技術などの研究が数多く行われており、大都市の 3 次元表示が可能となっている。一方で、森林等の自然景観は、都市部の公園等を含め、その形状の複雑さから航空写真を提示するものがほとんどであり、3 次元 CG を用いた品質の高い情報提示を全国規模で行うサービスは存在しない。GIS に基づく 3 次元自然景観表示に関する先行研究では、数百 m 四方の森林を対象とした景観評価に関する研究（文献 4）等が行われ、景観評価ツールとしての有用性が得られているものの、大規模表示への対応は想定されていない。

2. 研究の目的

本研究では、人間の視界と同等な視野範囲から、衛星写真のような日本全土が一つの画面に収まる規模までの自然景観をシームレスかつ自由視点において表示できるシステムの開発を行う。本システムの実現のために、次に述べる 2 つのプロジェクトについて研究を行う。

(1) 植生分布データに基づく、自然な分布をもった森林の自動生成

森林表示の基本となる全国植生調査データは、全国を約 39 万のブロックに分け、それぞれを約 900 項目の植生区分を用いて分類している。各植生区分には、その地域を代表する数個の樹種名が記載されており、この情報を手掛かりに仮想的な森林を生成するためのツールの開発を行う。本ツールは、次の 3 種の機能をもつ。

- ① 植生区分に応じた森林を自動的に生成（樹木の配置・比率等を算出）し、表示する機能。
- ② 植生区分のみでは表現できない森林の地域特性を考慮するために、ユーザーが樹種の追加、比率の変更等のカスタマイズを行える機能。
- ③ 近景においては、研究代表者の先行研究

に基づき、樹木の風に揺れるアニメーション表示技術を発展させることで、品質の高い表示を行う機能。

(2) 数 m から数千 km 四方の領域をシームレスに表示できる大規模森林描画技術の開発
森林の表示範囲が数 km 以上に及ぶ場合、個々の樹木の詳細形状を描画することは不可能である。そこで、膨大な樹木情報を表示範囲に応じて適切に簡略化し、一般的な性能をもつ PC であってもシームレスな表示が行えるシステムを開発する。本システムは次の 2 種の機能をもつ。

- ① 樹木形状および動きのアニメーションを、距離に応じて簡易形状/簡易動作に置き換えることで、計算量を増やさずに広範囲を表示することのできる Level of Detail 機能。
- ② GIS から効率に情報を取り出し、応答性の高い森林表示を行うためのデータ管理機能。

以上の (1) (2) を組み合わせることで、全国規模の自然景観表示アプリケーションを実装し、風景写真および衛星画像等を用いた評価を行う。

3. 研究の方法

(1) 植生区分に応じた森林の自動生成

環境省が実施する植生調査に記載される 191 種の樹木形状を統一的に扱うことを可能とする樹木形状のモデル化手法について提案する。まず、植物学の知識に基づき様々な樹種に共通な枝の形成過程を考慮することで、樹木の生成および分析に必要なパラメータを 13 種と定める。次に、パラメータの分布および相関関係を表すための階層ベイズモデルを定義し、各パラメータ間の関係を分析する。最後に、一連の手法による樹木形状の自動生成を行い、形状の評価を行う。

① 樹木形状モデルの構築

本節で提案する手法では、各セグメントに対して本節で後述する 13 種のパラメータを設けることで、樹木形状の自動生成および分析に関する処理を統一的に行う。パラメータの中には樹高と幹の太さの関係のように、お互いに影響を与えあう可能性があるものも含まれる。このようなパラメータ間の関係性については、事前に主観的な関係を設定せずに、統計学に基づく分析により関係式を導く。また、実際の樹木を表現するためには、1 本の樹木内でもセグメント毎に異なるパラメータ値を与える必要がある。本手法においては、複数本の樹木パラメータを分析することで、各パラメータ値の分布モデルを構築し、種に応じたばらつきをもった形状を生成する。

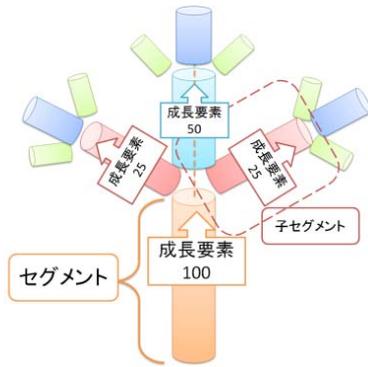


図 1 樹木形状モデル

② 統計学に基づく分析

本節では、13種のパラメータ間の相関関係を求め、種に固有の特徴と分布をもつ樹木パラメータの自動生成を行うための手法について述べる。本研究では、複雑な外乱を考慮することのできるモデルである、階層ベイズモデルによる解析を行う。

階層ベイズモデルでは、対象とするパラメータは全て何らかの確率分布に従うものとして扱い、観測を行う前にそれらの関係を主観的にモデル化し、事前分布を仮定する。そして、観測等によりデータが得られた後に、ベイズの定理を用いることで観測結果に従った事後分布が得られる。例えば、ある種の幹の半径が平均 θ 、標準偏差 σ の正規分布に従うものとして事前分布を仮定したとする(式1)。

$$P(\theta, \sigma) \sim \text{Normal}(\theta, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\theta)^2}{2\sigma^2}} \dots \text{式 1}$$

そして、 n 本の幹の半径のデータ(P2)が得られた後には、ベイズの定理により式2を用いて事後分布を求めることができる。

$$P(\theta, \sigma | P2) = \frac{P(P2 | \theta, \sigma) P(\theta, \sigma)}{P(P2)} \dots \text{式 2}$$

事後分布では、平均および標準偏差が事前分布よりも与えられた観測データに合うような値に更新される。自然界の樹木では幹の太さと樹高等には相関がある可能性があるため、それぞれの樹木パラメータを独立に扱った場合、確率モデルから樹木パラメータを生成した際にパラメータ間のバランスがとれず、不自然な形状を生成してしまう。

例えば、幹の太さの平均 θ が樹高の値を表す確率分布 P_1 と相関があるということを表現するために、平均 θ をパラメータの重みを表す確率分布 W を用いて次の式3~式5のようなモデルを与えることができる。

$$\theta = W_0 + W_1 P_1 \dots \text{式 3}$$

$$W_0 = \text{Normal}(\theta_{w0}, \sigma_{w0}) \dots \text{式 4}$$

$$W_1 = \text{Normal}(\theta_{w1}, \sigma_{w1}) \dots \text{式 5}$$

このモデルは、重みを表現する確率分布 W を用いて、太さの平均 θ が樹高と重み W との線

形結合によって与えられていること示している。また、重み W は正規分布に従う値として定義する。 W_1 の分布は平均 θ に対する樹高 P_1 の影響度合いを表し、重み W_1 の説明変数、平均値 θ_{w1} および標準偏差 σ_{w1} の値によって W_1 の値、つまり樹高 P_1 の影響度が変化する。以上のように、観測により得られるパラメータの分布を表現するための説明変数 θ が階層的に別の確率分布 W およびその説明変数を用いて表されるモデルを階層ベイズモデルとよぶ。ベイズ統計学によるアプローチでは、得られた観測データにより主観的なモデルをより真の分布を表すモデルに近づけることで、分析を行う点に特徴がある。

(2) 大規模自然景観のリアルタイム表示

近距離から遠距離までの様々な視点において品質の高い自然景観表示を実現するための動的な樹木形状の生成手法を提案する。その方法は、まず、(a)GISより視点付近の植生および地形データを取得する。次に、(b)フラクタルノイズを用いて植生の自然な配置を生成する。最後に、(c)樹種に応じた樹木形状の動的な生成を行い、表示する。各手法の詳細について以降で述べる。

① 群落のデータに関する前処理

植生調査データには約300万ヶ所の群落情報が格納されており、それぞれの群落形状は100以上の頂点をもつ多角形により表現されている。その膨大な情報量から個々の群落形状に応じた植生配置をリアルタイムに生成することは困難であるので、前処理において10m²の領域ごとに植生をサンプリングし、1km²の領域の情報を1ファイルとして保存する。また、それぞれの地点の標高データも同様にファイルに格納する。

② ノイズ関数に基づく樹木配置

提案手法では Lagae らの提案する Procedural Noise に基づき樹木を配置する。このとき、ノイズ関数の作り出すランダムな配置のみでは植生の粗密が考慮されないため、各地域の自然度を考慮した樹木の配置手法を新たに提案する。自然度は植生調査において調査される情報の1つであり、その地域の自然に対する人為的影響の少なさを1~10段階で評価したものである。提案手法ではこの値を0.0~1.0の範囲に正規化した値とノイズ関数を組み合わせることで自然な植生境界を生成する。その計算手順を次に示す。

- 1) ある地点 (i, j) の自然度を $NV(i, j)$ とする。
- 2) ノイズを生成する際に、式6に基づきノイズ関数の影響範囲 w_0 を自然度に応じて変化させる。

$$w_0(i, j) = e^{-\frac{\pi(1 + NV(i, j))^2}{2(\text{Resolution})^2}} \dots \text{式 6}$$

3) 植生の有無を式7により判定する。

$$IsForest(i,j) = \begin{cases} true & noise(i,j) \geq NV(i,j) \\ false & noise(i,j) < NV(i,j) \end{cases}$$

・・・式7

以上の手順により自然な植生の境界を生成する。

③ 樹木形状の動的生成

本節では、処理の並列性を高めることで樹木形状の生成に要する計算時間を大幅に削減することのできる、GPU に適した樹木の並列生成手法について述べる。GPU の計算能力を無駄なく生かすためには、GPU 内部の演算装置数よりも数百倍以上多い数の並列化可能かつ単純な処理を与えることが効果的である。この特徴から、提案手法では森林を構成する個々の樹木形状を独立に生成するばかりではなく、それぞれの樹木を枝および葉の単位で独立に生成する。

③-1 樹木形状生成アルゴリズムの並列化

樹木形状の自動生成手法では、再帰的な処理により幹から末端の枝へと段階的に形状の生成を行うので、枝の生成に順序性が生じる。並列性を考えずに二股に分枝の生じる樹木を生成しようとする場合(図2)、処理Aにおいて幹の形状を生成した後に、幹の形状情報を用いてそこから伸びる左右の枝形状を計算すればよい(処理BおよびC)。GPUにおいては、単純な演算処理に比べてメモリを介した情報転送に多くの待ち時間を要するという特徴があるので、形状生成に要する情報を最小限に抑え、かつ個々の処理を単純にすることができれば、前者の方法により効率のよい形状生成を行うことができる。一方、個々の処理を単純にするためには、並列処理の各処理単位において生成すべき枝または葉に至る途中にある枝形状を条件分岐等を伴わない簡便な方法で特定する必要がある。この方法の詳細については次項で詳しく述べる。

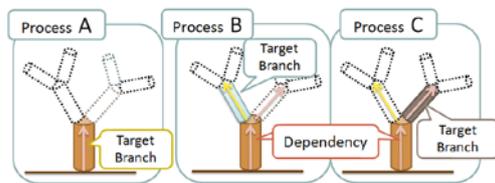


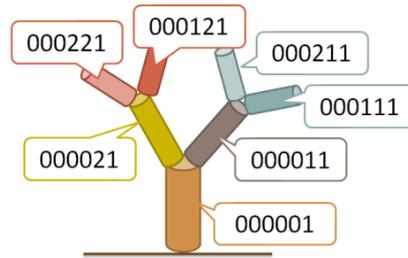
図2 枝の並列生成

③-2 分枝経路情報の符号化

並列処理を効率よく実行するために、幹から生成対象となる枝または葉に至るまでの経路情報を符号化し、各処理単位の扱う枝の形状を高速に計算する手法を提案する(図3)。以降、この特定の枝を表現する符号を枝コードと呼ぶ。枝コードは9桁の10進数値であり、それぞれの桁の値が分枝の際の枝の序数を表す。図3に示した例では、幹(枝コード:000001)から2本の枝が分枝している。この

2つの枝のコードは、幹の枝コードの一つ上位の桁に固有の番号(右側:1、左側:2)を付加したものとする。さらに末端の枝の枝コードについても同様に、上位の桁に分枝の序数を記録する。枝コードは枝の具体的な位置等の幾何学的情報ではなく、ある枝が根元からどのような経路を通りその枝まで到達しているかという位相情報を示す。この方法は、他の枝の計算結果等を用いることなく、枝コードと分枝規則を表す数個のパラメータのみで枝および葉を生成できるという利点がある。

図3 枝コードの生成



④コードによる大規模森林の生成

枝コードを用いた樹木生成手法により大規模な森林を生成するために、様々な種に対応する枝コードを事前に用意する必要がある。そこで、植生調査に含まれる全ての樹種について、事前に平均的なサイズをもつ樹木を既存手法により生成し、その構造から枝コードリストを作成する。このリストに基づき森林を生成する際には、分枝規則に含まれる多様性により枝の向きおよび太さ等が変化する他に、ある枝から先を生成しないという変化も生じるので、位相情報にもある程度の多様性をもたせることができる。

4. 研究成果

(1) 分に応じた森林の自動生成に関する成果

5種の樹木(A:アオモジ、B:アカエゾマツ、C:アカガシ、D:ケヤキ、E:ヤブニッケイ)を自動生成した結果を図4に示す。それぞれの樹木の枝ぶりおよび概形、葉の粗密を見ると、同種では同様の傾向を保ちつつ個体差が表現されており、異なる種を比較した場合、はっきりとした違いが感じられる。この結果から、13種のパラメータのみでも、個体差と種の違いを同時に表現できることが確認できた。一方、A-4およびC-4に示した結果では、自動生成された樹木パラメータが標準的な値から大きく逸脱し、自然界では見られない形状が生成されている。本手法によるパラメータ生成は値の範囲を定めず分析結果のみに依存するので、一定の確率でこのような形状が生成されてしまうという問題がある。入力する観測データを増やすことで結果が安定する傾向にあるが、階層的ベイズモデルを

用いる上では制御することが難しい。解決法としては、生成された樹木のもつ葉の分布などを調べ、樹木としての形態が保たれているかなどを評価する方法が考えられる。

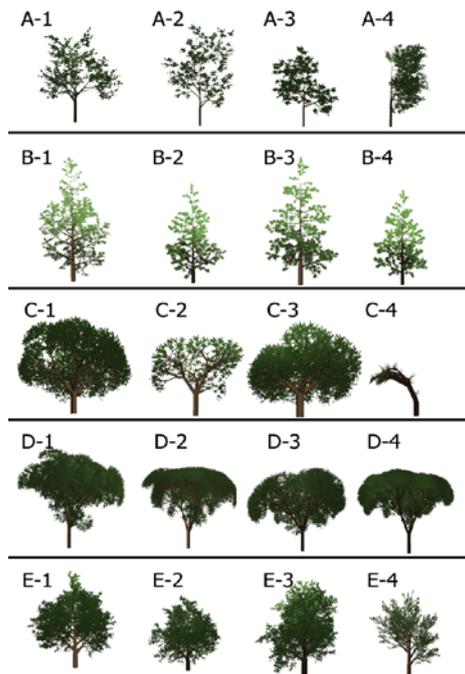


図4 樹木形状の自動生成

(2) 模自然景観のリアルタイム表示に関する成果

① 示速度の検証

本節では、大規模森林の生成および表示に要するフレームレートの計測を行い、提案手法による高速化の効果を検証する。提案手法では、地域による樹木密度の違いにより計算コストが変化するので、最も密度の高い、樹木の間引きが一切生じない、65536本の樹木が配置される地域の他に、密度の異なる4種の森林を選択した。計測結果を表3に示す。表3から、約一千万ポリゴンから構成される1番の森林であっても、24.33fpsという動画像と同等の表示速度が得られていることがわかる。他の2~4番の森林では、森林を構成する樹木数が減少するに従い速度が上昇している。この結果から、提案手法により膨大な数のポリゴンから構成される大規模森林を十分高速に生成できているといえる。

表3 表示速度

番号	樹木密度	FPS	ポリゴン数
1	100	24.33	9600002
2	78	31.34	7142402
3	57	42.76	4684802
4	35	66.28	2227202

② 森林の表示品質

近景から遠景までの森林を表示した結果を図5に示す。左上は、表示の基となる植生情報を図示したものである。この森林を描画するには樹木の簡略化手法を用いているが、簡略化レベルの変化による境界等は見られず、連続的な森林生成を実現できていることがわかる。

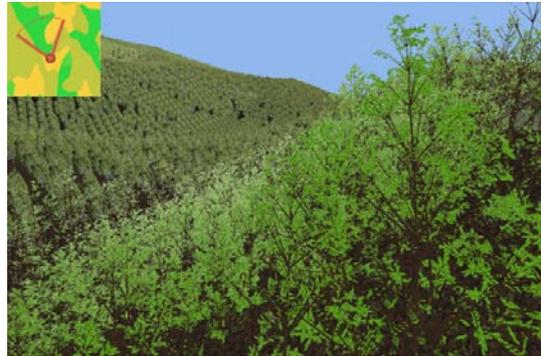
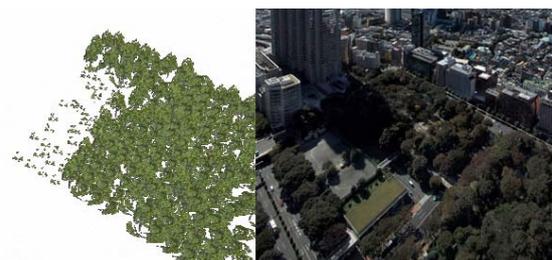


図5 大規模森林の表示結果

以上の結果から、一連の手法により全国規模の森林を24fps以上のフレームレートで描画できることを実現できた。

最後に、都市部の公園のように樹木密度の低い森林についての比較を行う。図6に本手法により生成した森林および対応する地域の実写画像を示す。図6から、樹木密度の低い地域では、個々の樹木の配置および形状が実物と異なることがわかる。本手法では、樹木の域域的な群生範囲を示した植生図に基づいているので、個々の樹木配置および個体の特徴を正確に得ることはできない。この問題を解決するためには、樹木配置データベースによる特定地域の植物配置の再現手法等の、より詳細なGISデータとの



連携手法を構築する必要がある。

図6 実空間との比較

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 赤木康宏、北嶋克寛：植生調査データに基づく大規模森林の表示高速化に関する研究、精密工学会論文誌、77巻、6号、pp.587-593、2011年。査読有

[学会発表] (計4件)

- ① Y. Akagi, K. Kitajima: Real-time visualization of large-scale forest landscapes based on the national vegetation survey of Japan, NICOGRAPH INTERNATIONAL 2010, 2010年6月19日、Singapore.
- ② 赤木康宏、北嶋克寛: 植生調査に基づく大規模自然景観のリアルタイム表示に関する研究、2010年度精密工学会秋季大会、2010年9月27日、名古屋大学.
- ③ 赤木康宏、北嶋克寛: 大規模森林表示のためのテクスチャ座標ビルボード生成に関する研究、情報処理学会 第136回グラフィクスとCAD研究会、2009年8月20日、富士Calm (山梨県).
- ④ 赤木康宏、北嶋克寛: 多様な樹種を生成および分析するための樹木形状表現に関する研究、情報処理学会 第138回グラフィクスとCAD研究、2010年2月12日、ホテル安比グラウンド (岩手県).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~kitajima/akagi/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

赤木 康宏 (AKAGI YASUHIRO)

東京農工大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：90451989