植生型と地形依存性を考慮した天然林森林景観シミュレーションの構築

A Study on Development of Natural Forest Landscape Simulation by Considering Vegetation Type and Land Form Dependence

岡本 拓也* 斎藤 馨*
Takuya OKAMOTO Kaoru SAITO

Abstract : This study focuses on the development of the method to reconstruct landscape of natural forests by considering spatial distribution of tree species and its land form dependence. The experiment forest of Tokyo University located in Chichibu, Saitama Prefecture was chosen as the study area. Vegetation of the natural forest was classified into four types based on the ecological knowledge obtained by previous studies about natural forest vegetation. The elevation data was similarly classified by the same methodology in order to construct vector data of the vegetation. Finally, by integrating this elevation data with the plant model AMAP and vegetation data covering large area over the Chichibu mountain areas, the 3-D CG images of the forest landscape was depicted. As an aspect of the results, it was found that the methodology developed by this study was useful for simulating images of natural forest landscape.

Keywords: GIS, Plant Model, Visualization, Forest Landscape, Computer Graphics

キーワード : GIS, 植物モデル, 可視化, 森林景観, コンピュータグラフィックス

1. はじめに

森林は、生物多様性の保全、土砂災害の防止、水源のかん養、保健休養の場の提供などの極めて多面的な機能を有しており、人間の実生活と深く関わっている。しかし、その関わり故に、森林とそれを取り巻く環境はつねに変化する。それが望ましい方向であればいいが、手入れの放棄による樹木の茂り過ぎや意図に反した植生遷移、森林伐採による林地の裸地化にともなう森林景観、特に眺望景観へのダメージなど望ましくない変化も多い^{6, 12)}。

近年、各自治体において、森林景観をよりよいものにするための事業が行われるようになり、景観に配慮した森林施策が多く行われている¹⁴⁾。例えば、過去に植栽され、四季を感じ取りにくい人工林について、その一部を伐採したり、以前の植生を復元することで、広葉樹と針葉樹が一緒に生育する「混交林」へ誘導する施策²⁴⁾や、社寺周辺の美しい森林景観を守るために松枯れなどの枯損木や不良木を整理する施策²³⁾などが一部の自治体で行われている。この結果、景観が変わるとともに、生物の多様性や、森林の病気に対する健全性の向上が期待できる。

こうした景観ベースの森林施策が多く行われている状況の下で、地域ごとに特色のある森林における利用の変遷とその利用の結果として現れる景観の変容を把握し、再現する手法を確立することは、今後極めて重要になると考えられる。既往の景観を再現する手法として、フランスの熱帯農業開発センター(CIRAD)が開発した植物形状モデリングシステムであるAMAP(Atelier de Modelisation pour l' Architecture des Plantes)を用いて再現する手法が、造園関係では盛んに行われている^{8, 9, 16, 17, 20, 21)}。AMAPは植物学的な知識をもとに実存する樹木をモデル化したものであり、様々な樹種を各成長段階に合わせて使用できる。AMAPのシステムと機能は本條¹⁵⁾に詳しい。

AMAPをもとに森林景観の3次元シミュレーションを行ったものとして、斎藤ら⁷⁾が用いた方法がある。これは継続的に得られる森林情報である林相図や森林簿を基に景観画像を作成したも

のであり、リアルな景観画像の作成が可能となる。しかし、樹齢や植栽本数や混交歩合などが森林簿から分かり比較的容易にリアルなシミュレーションが行なえる人工林に対し、木材利用価値の低い天然林・二次林は可視化に応用可能な情報が極端に少なく、3次元CG化には課題があった。その背景として、天然林・二次林の森林簿上で「その他雑木」として記載されているデータを基にして林冠構成樹を植栽する方法で可視化を行った場合、岡本ら¹⁾が示したように、天然林独特の起伏に富んだ林を再現することができず、斉一的な林冠となってしまう。天然林の起伏に富んだ林冠を再現するには、庭園の可視化において多く行なわれている毎木調査を基に再現する手法が最善であるが、天然林においては、一定の方形枠内の毎木調査データは存在しているが、対象森林全域に及ぶ調査事例はない。

2. 目的

そこで本研究では、より現実に近い森林景観シミュレーション手法を確立するために、秩父山地山地帯天然林をスタディーエリアとして、天然林の植生に関する既往研究による生態学的な知見を基に3次元CGの作成手法を確立する。また、その画像を実際の眺望景観写真と、従来の手法である林冠構成樹を植栽する手法で作成した画像と比較することで、手法の有効性を検証する。

3. 方法

(1) 対象地の概要

埼玉県秩父市の東京大学秩父演習林栃本作業所管内第27林班の1小班内に設けられた観測鉄塔(北緯35°56'06", 東経138°48'22.5", 高度1268m)からの眺望景観を対象に景観画像の作成を行った。同演習林は、埼玉県西部の端に位置し、標高530mから1,980m、およそ1,450mという幅広い標高差をカバーするため、主に山地帯(冷温帯)と亜高山帯(亜寒帯)の二つの森林が含まれる。

*東京大学大学院新領域創成科学研究科

(2) 植生の区分

秩父山地には変化に富んだ地形と幅広い標高に対応した種々の森林が分布している¹⁰⁾。山地帯における地形条件と植生に関する既往研究¹¹⁾は、遷急線に着目し、その周囲の遷移後期の樹種を主体として発達した植生と、遷急線の内側あるいは下側に成立した遷移初期の樹種を主体とした植生との違いを明らかにしたものであった。

しかし、秩父山地の山地帯天然林でみられるような遷移後期の樹種を主体とする森林では、遷急線に因らない、尾根から谷部に向かう連続した植生変化と、地形条件あるいは地形傾度との関連性がみられる^{2,5)}。

今回のような広範囲に及ぶ地形と植生の変化を明らかにするためには大面積調査区における研究が有効であるため、ここでは山地帯天然林に配置した計 6.875ha に及ぶ毎木調査を行なった大面積プロットより植生型を決定した澤田ら¹⁰⁾に習い、天然林の植生の区分を 4 つに分けた。4 つに分けた植生の名称はそれぞれ、尾根部に位置し、ツガが優占する Type I、山腹部上部に位置し、イヌブナ、ツガ、ブナが優占する Type II、山腹部下部に位置し、イヌブナ、ブナが優占する Type III、谷部に位置する、イヌブナが優占し、サワシバ、ブナ、メグスリノキ、シオジなどが混交する落葉広葉樹混交型の Type IV とした。

図-1 に本研究の位置付けとフローを記す。

図-1 天然林・人工林の森林景観シミュレーション手順

(3) GIS

基本とするベクターマップは 2001 年の林相図データを使用した。このデータは、1985 年に撮影されたオルソフォトより林相判読を行って作成された 1991 年のデータを基に作られたものである。また、標高データは(株)北海道地図の販売している 10m×10m Digital Elevation Model (DEM) を用いて編集した。また作業はすべて MicroImages 社の TNTmips を用いた。

(i) 接峰面の作成

対象地の山地は、単純に尾根や谷があるだけでなく、細かい起伏に富んでいる。この GIS 上の地形の解析を容易にするため、接峰面を作成し¹³⁾、微地形を消去した後にベクターの作成を行った。接峰面の作成方法は方眼法を用いて、窓領域を 5×5、繰り返し試行回数を 20 に設定した。このように作成した接峰面の画像を図-2 に記す。

図-2 接峰面作成前の DEM 画像(左)と接峰面の DEM 画像(右)

(ii) ベクターの作成

作り出した接峰面を基に、先に述べた尾根部から谷部にかけて斜面を植生 Type I～IV の 4 つの区分に分割しベクターを作成した。今回は、尾根部と谷部にラインを引いたのち、斜面を四等分することでベクターを作成した。この作業は手作業で行ったが、将来的には TNTmips に付属するスクリプト、SML を作成して自動で作成させることも可能である。

(iii) AMAP へのデータの受け渡し

こうして作成した接峰面のデータを、AMAP で使用できるファイルにコンバートするに当たって、各タイプのベクターデータを平面直行座標系第九系の XYZ 座標に修正した後に各座標を CSV 形式のテキストファイルにコンバートした。その各座標を記した CSV 形式のテキストファイルを、AMAP において小班などグループ単位で植栽する際に用いるアウトライン形式 (OTL 形式) にテキスト処理を行って変換した。変換にはプログラミング言語の perl を用いた。

(4) AMAP

(i) 植栽樹種の選定

AMAP 上で植栽を行うにあたり、はじめに植栽樹種の選定を行った。選定にあたり、秩父山地山地帯天然林に関する大面積調査区をまとめた梶ら^{3,4)}を参考とし、樹高階分布と出現頻度に注目した。今回のような眺望景観のシミュレーションの場合、上層部のテクスチャを形作る林冠構成樹が要素として大きく、逆に樹高の低い樹は要素としてあまり大切ではないと考え、15m 以下のクサギやツツジなどの樹木は排除した。また調査区内に出現はするものの本数が極端に少ないハリギリやイワガラミなどの樹木も同様に排除した。このように重要度の低い樹木を排除した結果、秩父山地帯天然林の林冠を構成する主要な樹木として、アセビ、イヌブナ、サワシバ、シオジ、ツガ、ブナ、ミズメ、メグスリノキ、リョウブの 9 種を選出した。

(ii) 樹木ライブラリの作成

多様な樹種、樹齢から成る景観を可視化するため、様々な樹種の各成長段階での植物形状データベースを用意する必要がある。そこで、樹木の各成長段階での樹木ライブラリを作成・整備した。さらに、AMAP では各樹木の四季の変化が表現できるので、各樹木の四季のデータベースも同様に作成した。

また、AMAP 内にモデルが無い樹種に関しては、似た樹形の樹種を用いた²²⁾。表-1 に、実際の樹種と AMAP 上での代替用樹種の一覧を示す。

表-1 実際の樹種と AMAP 上での代替用樹種

種	Species	有無	AMAP 代替用樹種
アセビ	<i>Pieris japonica</i>	○	
イヌブナ	<i>Fagus japonica</i>	×	<i>Fagus sylvatica-a</i>
サワシバ	<i>Carpinus cordata</i>	×	<i>Fagus sylvatica-a</i>
シオジ	<i>F. spaethiana Lingelsh</i>	×	<i>Olea europea</i>
ツガ	<i>Tsuga sieboldii</i>	×	<i>Tsuga canadensis</i>
ブナ	<i>Fagus crenata</i>	×	<i>Fagus sylvatica-a</i>
ミズメ	<i>Betula grossa</i>	×	<i>Betula alleghaniensis</i>
メグスリノキ	<i>Acer nikoense</i>	×	<i>Acer rubrum</i>
リョウブ	<i>Clethra barbinervis</i>	○	

(iii) 植栽条件

植栽は本数の割合と樹高階分布を考慮した。はじめに澤田ら¹⁰⁾に記録された各タイプにおける主要樹種の本数の合計を基に、各主要樹種の本数割合を算出した。例えば、Type II であったら、ツガの本数割合は 11%、ブナの本数割合は 14%、イヌブナの本数割合は 75%、となる。

そして、各樹木の割合を出した後に、梶ら⁴⁾によって示された、それぞれの樹木における樹高階分布を基にして、それぞれの樹種の植栽割合を算出した。表-2 に各植生型における主要樹種の植栽比率を示す。

このようにして、4つに分けたタイプのそれぞれに対して、AMAP上にて植栽を行った。

4. 結果

(1) 各タイプにおけるシミュレーション画像

各タイプを同一の地形において作成したシミュレーション画像を以下の図3～6に示す。図-3はType I、図-4はType II、図-5はType III、図-6はType IVをそれぞれ表している。

始めに、Type I～IVまでの画像に共通して確認できた点として、岡本¹⁾が述べたような、林冠が齊一的になるということがなく、天然林独特の起伏に富んだ様々な林冠形態が画像から確認することができた点をあげられる。

またType Iはツガの優占する森林であるが、実際のデータだけでは分からない、ツガが優占する姿を一目で理解することができる。またType II・IIIはツガが優占する森林から次第にブナの優占する森林へと変遷していく姿をみることができる。Type IVはシオジなどの溪畔林独特の樹木が入り混じる森林を形成することができた。

(2) 比較検証

実際の秩父山地山地帯天然林の眺望景観を可視化し、実写真と既往の手法を比較検証した結果を図-7～9に示す。図-7は実写真、図-8は本研究による手法を基に作成された画像、図-9は既往研究に多く見られる林冠構成樹を植栽する手法によって作成された画像をそれぞれ示す。実写真は演習林内の観測鉄塔より冬季に撮影したものである。また、図中のAは対象地の尾根部を指し、Bは山腹部から谷部を指した。

図-7～9中のそれぞれのAでは、尾根筋にツガが優占する林冠が形成されている。しかし、図-9の場合には、尾根筋にしか優占しないツガが、山腹部のBにおいても優占しており、AもBも同じような林冠構造となってしまう。それに対して、図-8は実写真のBと同じように、針葉樹の存在しないブナの優占する森林を形成してい

表-2 各植生型における主要樹種の植栽比率

地形の区分	種	樹高階分布(m)									合計
		5≤	16≤	18≤	20≤	22≤	24≤	26≤	28≤	割合 (%)	
		<16	<18	<20	<22	<24	<26	<28	<30		
Type I (尾根部)	ツガ	13	2	2	2	2	1	1	1	24	
	ブナ				1	1	2	1		5	
	ミズメ			1	1	1	1			4	
	イヌブナ	26	1	1	1					29	
	アセビ	38								38	
Type II (山腹部上部)	ツガ	6	1	1	1	1	1			11	
	ブナ	5	1	2	2	2	1	1		14	
	イヌブナ	44	11	11	6	3				75	
Type III (山腹部下部)	ツガ	1	1	1	1					4	
	ブナ	11	2	2	2	2	2	1		22	
	イヌブナ	43	11	11	6	3				74	
Type IV (谷部)	ブナ	3	1	1	1					6	
	イヌブナ	39	6	7						52	
	メグスリノキ	1	1	1						3	
	シオジ	1	1	1						3	
	サワシバ	27	4	3	2					36	

図-3 Type Iのシミュレーション画像

図-4 Type IIのシミュレーション画像

図-5 Type IIIのシミュレーション画像

図-6 Type IVのシミュレーション画像

図-7 対象地の実写真

図-8 本研究の手法による3次元画像

図-9 既往の手法による3次元画像

る。このように、実写真を交えた3点の画像を比較した結果、図-8は既往の手法(図-9)とは異なり、全体的に起伏に富んだ林冠をしており、また地形傾度による植生の変化が表現されている事がわかる。

5. 考察

本研究では天然林の生態系の知見を元に天然林森林景観シミュレーション手法を構築した。従来の方法である、その地域に優占して存在している林冠構成樹を植栽する方法とは異なり、植生型と地形依存性を考慮した結果、より実写真に近いシミュレーションを行なうことができた。このことから、森林景観シミュレーションを行なう場合、人工林に比べ林分情報の少ない天然林において植生型と地形依存性という生態的知見を考慮することが重要であることがわかった。今後は人工林についても樹齢に加えて、地位指数による樹高成長を考えた上で、シミュレーションを行なっていくことが、より良い画像の作成に繋がると考えられる。

6. 今後の課題と可能性

本研究では、秩父山地山地帯天然林における生態学的知見を基にして、天然林の小班を4つの植生に分割し、3次元画像を作成した。今後の課題としては、初めに画質の向上が挙げられる。

実際の天然林は風倒や山火事などのいくつかの要因によって、形成されており、本研究で応用した極相林4タイプだけではなく、遷移過程の植生についての生態学的知識も必要である。また、今回は1事例を比較したが、今後は多くの森林についてより多くの地域で景観シミュレーションを行い、ケーススタディを重ねる必要がある。関連して、3次元CGは刺激媒体として写真などとはどういった相違があるのか、景観評価を行なってみる必要がある。

近年、XMLなどの汎用的な景観情報の記述方法が提案され、VRMLを初めとする、多様な方法で景観を可視化することが可能となりつつある¹⁸⁾。本研究の手法により、多くの生態学的知見を一般人に分かりやすく伝えると同時に、森林施業で問題となる森林をモデル上で再現し、景観比較による望ましい森林管理の方法が提示できることになると期待される。

<謝辞>

本研究を遂行するにあたり、研究に協力して頂いた東京大学大学院生物圏情報学分野の各位、執筆に当たり一方ならぬ御支援を頂いた東京大学新領域創成科学研究科環境学専攻の田内智子さん、ならびに浜 泰一さん、GISの処理方法をご教授頂いた(有)マップコンシェルジュ社の古橋大地さんに厚く御礼申し上げます。また、2名の審査者および編集委員の方々からは原稿改訂に関する大変有益な意見を多数頂いた。ここに記して深甚の謝意を表する。

参考文献

- 1) 岡本拓也・斎藤 馨・藤原章雄・シュバシ ヨハニ (2005): GISと植物モデルを応用した森林景観履歴復元手法の開発: ランドスケープ研究 68(5), 919-922
- 2) 梶 幹男 (1998): 秩父山地の気温の垂直変化と暖かさの指数からみた亜高山帯針葉樹林の下限高度: 秩父演習林自然環境調査成果集 秩父演習林の環境, 東京大学, 46-50
- 3) 梶 幹男・大久保達弘・芝野博文・蒲谷 肇・石田 健・宮下直・大森和也・澤田晴雄・芝野伸策・五十嵐哲也・瓜生アリセ孝子 (1997): 大面積プロットによる秩父地方山地帯天然林生態系の解明: 平成6年度～平成8年度科学研究補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書, 東京大学大学院農学生命科学研究科, 127pp
- 4) 梶 幹男・仁多見俊夫・蒲谷 肇・澤田晴雄・大森和也 (2000): 長期生態系プロットによる森林生態系の解明: 平成10年度～平成11年度科学研究補助金(基盤研究(B)(2))研究成果報告書, 東京大学大学院農学生命科学研究科, 40-63
- 5) 吉良龍夫 (1949): 日本の森林帯: 林業解説シリーズ17, 日林協, 36pp
- 6) 斎藤 馨 (1992): 景観情報処理に関する計画論的研究: 造園雑誌 55(5), 295-300
- 7) 斎藤 馨・熊谷洋一・本條 毅・石田裕樹・Lecoustre, R., DeReffye, P. (1993): リアルな森林景観シミュレーション-GISおよび植物モデリングの利用ー: 第9回 NICOGRAPH 論文集 226-236
- 8) 斎藤 馨・熊谷洋一・本條 毅・吉岡太郎・筒井一貴 (1995): GIS, CAD, 植物成長モデルを応用した景観シミュレーション手法に関する研究: ランドスケープ研究 58(5), 197-200
- 9) 榊原和彦 編著 (小谷通泰・土橋正彦・山中英生・吉川耕司 著) (1997): 都市・公共土木のCGプレゼンテーション-デザイン・コミュニケーションと合意形成のメディアー: 学芸出版社, 92-95
- 10) 澤田晴雄・大久保達弘・梶 幹男・大村和也 (2005): 秩父山地山地帯天然林における植生型および樹種個体群の空間分布と地形依存性: 日本森林学会誌 87(4), 293-303
- 11) 島田和則 (1994): 高尾山における先駆性高木種5種の地形分布と地形の意義: 日生態誌 44, 293-304
- 12) 樋口忠彦 (1975): 景観の構造ーランドスケープとしての日本の景観ー: 技報堂出版, 168pp
- 13) 頼 理沙・佐藤 浩・政春尋志 (2002): 数値標高データを用いた地形の曲面的計算の試みー接峰面と接谷面の作成についてー: 地理情報システム学会講演論文集 11, 405-408
- 14) 堀 繁・斎藤 馨・下村彰男・香川隆英 (1997): フォレストスケープー森林景観のデザインと演出ー: (社)全国林業改良普及協会, 191pp
- 15) 本條 毅 (1991): 植物の成長シミュレーションとコンピュータグラフィクス: PIXEL No.109, 133-140
- 16) 本條 毅・斎藤 馨・熊谷洋一 (1992): 植物形状モデリングとその可視化による景観予測に関する考察: 造園雑誌 55(5), 301-306
- 17) 本條 毅・竹内伸也 (1996): 地域環境の可視化に関する研究: 東海大学紀要開発工学部 5, 177-181
- 18) 本條 毅・野口祐司・林 恩美・梅木 清 (2005): XMLを用いた景観可視化: ランドスケープ研究 68(5), 897-900
- 19) 前田禎三・吉川二郎 (1952): 秩父山岳林植生の研究(第2報) 山地帯群落について: 東大演報 42, 129-150
- 20) 森本幸裕 (1993): 植物モデリング・可視化システムを用いた桂離宮庭園の植物景観のシミュレーション: ランドスケープ研究 57(2), 113-120
- 21) 林 恩美・本條 毅 (2002): VRML 画像を景観評価に用いる有効性について: ランドスケープ研究 65(5), 693-696
- 22) 林 恩美・本條 毅・丸田頼一 (2000): VRMLと植物形状データベースによる景観可視化手法に関する研究: ランドスケープ研究 63(5), 799-802
- 23) 「京都府 京都・文化の森づくり事業」: <<http://www.pref.kyoto.jp/forest/gyousei/plan/jigyo/bunka.html>>, 2005年10月25日参照
- 24) 「彩り豊かな森林景観づくり事業」: <<http://kankyuu.pref.shizuoka.jp/seibi/zorin/irodori.htm>>, 2005年10月25日参照