

## 論 文

SFM (Sustainable Forest Management) を志向した  
人工林収穫計画のシミュレーション解析

吉幸 朗\*・芝 正己\*・石川知明\*\*

Timber harvest scheduling simulations oriented toward  
SFM (Sustainable Forest Management) in plantation forests

Akira YOSHIKOU\*, Masami SHIBA\*, Tomoaki ISHIKAWA\*\*

森林生態系や水土保全機能の維持管理をも視野に入れた包括的な人工林管理計画策定法の可能性について、GISを援用した収穫計画・配分モデルを開発して検討した。滋賀県の造林公社事業地内スギ造林地を対象に、80年輪伐期施業を想定したシミュレーションの結果、許容単位伐区面積、最小許容伐期齢、隣接伐区間の緑被期間等の諸伐採規制条件に相応した伐採個所が適確に抽出されること、分期ごとに目標とする伐採面積が確保されつつ伐採面積分布の適正化が図られること、最終分期において法正的な林分構造に漸近すること等が確認された。一方、生態学的な条件を考慮した伐採規制のパラメータを組み込むことで、伐採面の分散と小面積化が図られ、現状の比較的単純な大面積パッチ優占の構造から大小さまざまな大きさのパッチ群からなる多様な森林空間構造が形成されることも認められた。本システムは、人工林の利用と保全のトレードオフをバランスする適応型の森林管理策定法の一形態であると位置付けられる。

キーワード：持続可能な森林管理、シミュレーション、収穫計画・配分モデル、森林空間ゾーニング、パッチ分析

In this paper we discussed the development of Spatial Decision Support System (SDSS) in combination with a raster GIS which offers image processing capabilities (IDRISI32) and a harvest schedule/allocation model which allows simulation of landscape perspective concerned (HARVEST). Application potential was illustrated through examples of predicting changes in landscape patterns with spatial attributes resulting from the initial landscape conditions and potential timber harvest activities combined with technical opportunities, constraints, and their trade-off. Using the proposed approach, resource managers could have the flexibility to design and demonstrate the long-term conservation outlook of forest resources under alternative management strategies geared to multiple economic, environmental, and social objectives.

Key words: harvest scheduling/allocation model, patch analysis, simulation, SFM (Sustainable Forest Management), zoning

## 1. はじめに

1992年の国連環境開発会議 (UNCED) 以降、地球環境問題に対する国際的な関心は一層高まっており、森林・林業分野においても「持続可能な森林管理SFM: Sustainable Forest Management」に向けたさまざまな取り組みが展開されてきている。このような流れを受けて、商業材生産を主目的に造成・管理されてきた人工林についても、従来の収穫量保続の原則に加え、森林生態系や水土保全機能に配慮した近自然的な育林・保育法や収穫・更新技術が求められてきている (芝, 2000)。

天然更新や再造林を前提として森林からの保続収穫量を推定する試みは、森林経理の研究分野において早くか

ら行われてきたが、森林調査やコンピュータの普及に伴い、その精度は格段に向上した。1980年代には、線形計画法を用いた様々な「収穫規整モデル」が提案され、中でも「FORPLAN」はよく知られたモデルである。このFORPLANは、線形計画法に面積あるいは材積平積分法による制約条件を組み込み、各分期の収穫量を規整しながら収穫量を最大にする最適解を導出することが可能であり、米国国有林において実際に導入されてきた。しかし、その後、①制約条件としての生態学的変数の設定が不十分であったこと (解析が小班単位でしか実行できなかった)、②導出された最適解を空間的に表す手段がない非空間分析モデルであったこと (計画実施のための具体的な情報が得られなかった)等が問題点として指摘された。

\* 京都大学大学院農学研究科森林科学専攻

\*\* 三重大学生物資源学部

\* Division of Forestry and Biomaterials Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

\*\* Faculty of Bioresources, Mie University

これらの問題点を解決すべく登場したのが、SNAPやHARVESTのような地理的な空間情報を処理することが可能なGISを援用した意思決定モデルSDSS (Spatial Decision Support System) である。これらは、森林被覆タイプや遷移段階、地勢 (地形・土壌・水文)、野生生物生息域といった一連の生態学的制約条件をも考慮しながら、伐区の配置や設定された保続収穫量を推定することが可能である。特に、HARVESTは、策定された森林管理計画に基づいた単位伐区面積、目標伐採面積、最小許容伐期齢、隣接伐区間の緑被規制等をパラメータとして、収穫林分や伐区の空間的・時間的配置と収穫量の配分をパッチ単位 (GISの分解能に相応したピクセル単体の集合で形成される領域) で調整するモデルである。景域レベルでの森林の断片化 (fragmentation) 構造の計量解析、野生生物の生息域 (habitat) の特定、溪畔域やビオトープ空間のゾーニング等、主に保全生態学的研究テーマを対象として導入されつつある (芝ら, 2001)。

しかし、HARVESTは本来、前述したように対象森林の林齢、齢級構造と伐採面の規模情報を主体とした収穫調整モデルであるため、崩壊地や渓流域等の山地保全・水文環境条件、地形条件や林道の有無等の収穫作業に伴う技術的側面は十分に考慮されていない。そこで本研究では、HARVESTのこれらの欠点を補うべく、収穫作業に伴う技術的・施業的諸条件を空間的に特定・機能区分し、収穫・利用計画と保全計画をリンクさせたより現実的なシミュレーションモデルの構築を目指した。

2. HARVESTによるシミュレーション

HARVESTでのシミュレーションでは、GIS解析用の4種類のデジタルマップ (Forest Age Map: 林齢図, Forest Type Map: 森林タイプ図, Management Area Map: 管理区域図, Stand ID Map: 林分ID図) と伐採条件を規定するパラメータ (図-1) の設定が必要となる。

伐採面 (以下、伐採パッチと記す) の形成と配置位置の決定法を図-2のアルゴリズムで示す。すなわち、図中「Select cell」のステップで、乱数によって初期ピクセルが <Forest Age Map> 上で選択される。設定した伐採条件のパラメータを基に、(1) 施業対象地域内の林地であるか否か?、(2) 最小許容伐期齢以上であるか否か?、(3) 隣接するパッチからの伐採規制 (緑被規制期間) が及んでいないかどうか?、がチェックされる。全ての条件を満たしていれば、次のステップである「Select size」に移行し、いずれかの条件を満たしていなければ、再度初期ピクセルを選択するステップに戻る。「Select size」では、前のステップで選択されたピクセルを中心に、これと同じ条件を満たす隣接したピクセルが探索され、随時伐採パッチに編入され面積が拡張される。このとき、あらかじめ指定した許容伐採パッチのサイズ (最大値, 最小値) と分布構造 (正規分布を想定した平均値と標準偏差) を勘案して伐採パッチ面積が特定されるが、上記の指定範囲外の面積を有する伐採パッチは除外され、範囲内の新たなパッチが選択される

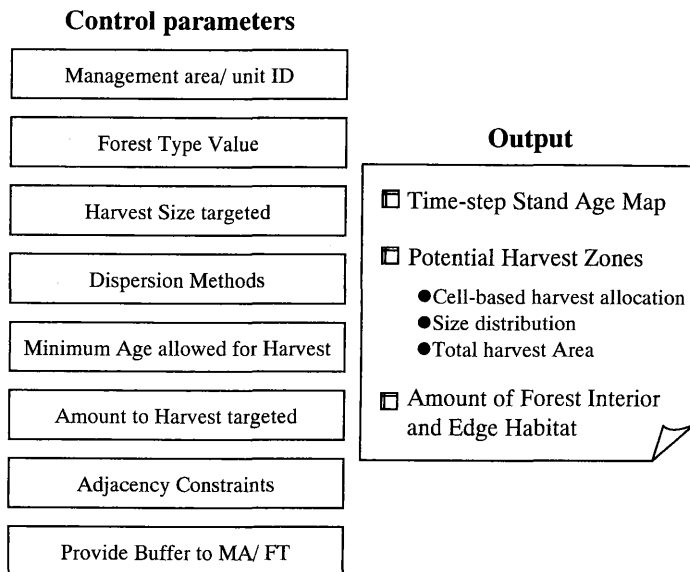


図-1 HARVESTで用いるパラメータとその出力  
Fig. 1 Parameters used by HARVEST simulation and the output from the model.

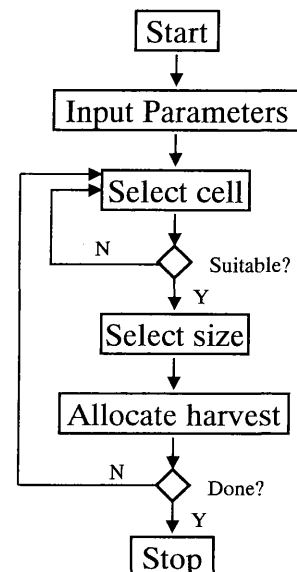


図-2 HARVESTの伐採パッチ配分アルゴリズム  
Fig. 2 Flow chart outlining the algorithm used by HARVEST.

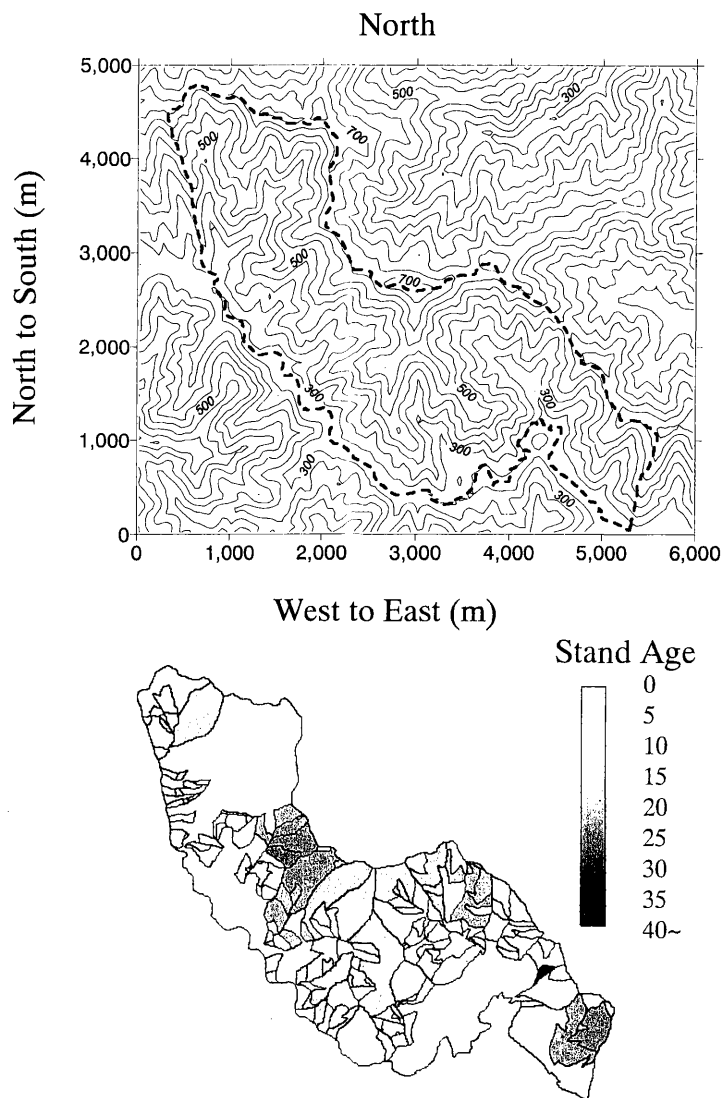


図-3 解析対象地の地形状況及びスギ人工林の齢級分布  
Fig. 3 Overview topography of the study area (top) and stand age distribution of sugi plantations (bottom).

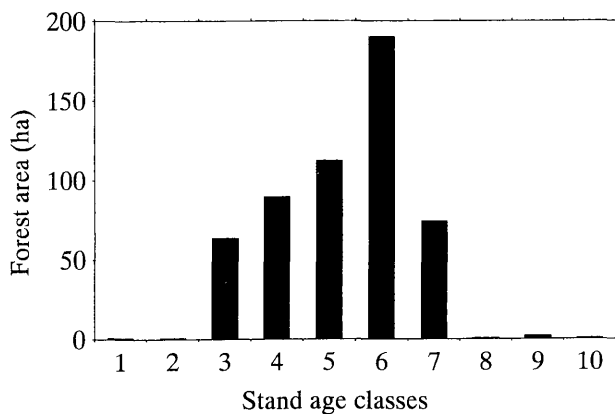


図-4 解析対象地におけるスギの齢級構造  
Fig. 4 Stand age distributions within the study area.

〔Allocate harvest〕のステップ)。このプロセスが分期ごとに目標伐採面積まで繰り返される (GUSTAFSON & CROW, 1999)。

### 3. 解析対象地

#### 3. 1. 解析対象地の概要

解析対象地は、滋賀県高島郡朽木村麻生地区のびわ湖造林公社事業地 (554.45ha) のスギ造林地 (531.89ha) である (図-3)。解析対象地におけるスギの齢級構成は、図-4 から明らかなように3~7 齢級に集中しており、除伐や保育間伐を必要とする若い林分がほとんどである。なお、当該地域には、制限林地は存在しておらず施業についての制約は特になく。一方、この地域はかつて京阪神への燃料材供給地として古くから薪炭林経営が発達していたために二次林が多く、公社事業地外の民有林については広葉樹の面積割合が80%を占めている。

#### 3. 2. 解析データ及びGISデータベースの編成

基礎データ作成には、滋賀県の森林基本図 (縮尺: 1/5,000) と森林簿、びわ湖造林公社の事業地経営図 (縮尺: 1/5,000) および森林調査簿、DTM解析用として国土地理院の数値地図 (50mメッシュ)、林相・崩壊地・水系判読用としてカラー航空写真 (縮尺: 1/8,000, 1/20,000) を用いた。なお、GISソフトは、Clark Universityが開発したIDRISI 32及びデジタル座標データの出力機能を持つCartaLinx 1.2を用いた。IDRISI 32の入出力地図データは、ベクターデータ、ラスターデータの双方の形で適宜編成した。以下にその概要を記す。

ベクターデータについては、スキャナーで画像として読み取った森林基本図を、CartaLinx1.2上に取り込んだ後、地番単位の境界線をデジタル化し、それに対応する森林簿のデータを入力しデータベース化した。また、崩壊地については、公社事業地経営図と上述のカラー航空写真を基にその位置と大きさをデジタル化して利用した。

一方、ラスターデータについては、数値地図 (図名: 古屋・饗庭野) の両データから対象地域に該当する部分を切り出し、Golden Software社製のSurfer 7を用いて10mのDTMを作成し (内挿法: kriging法)、IDRISI 32に取り込んだ。

4. 収穫計画のシミュレーション解析

4. 1. シミュレーションの設定条件と解析方法

4. 1. 1. 森林空間の機能別ゾーニング

本研究では、森林管理・施業計画に関する諸行政法規の遵守、生物多様性や林地の保全、持続的木材生産の観点から、解析対象地域を「収穫回避区域」, 「収穫制限区域」, 「収穫可能区域」の3区域に機能区分した。各区域の機能区分の設定基準は以下の通りである。

まず、地種区分により施業が法的に規制される制限林地、普通林地内の天然林、広葉樹二次林、野生生物生息地、固有自然植生分布地等は、潜在的に生態系機能が保持され、収穫利用が回避されるべき地域として「収穫回避区域」に区分する。なお、これらの区域は木材生産のための利用目的から除外するが、その機能の維持、更なる発揮のための最小限の管理は是認するものとした。

次に、「収穫制限区域」は山地保全や水文環境を念頭に、斜面傾斜、崩壊箇所、流域をパラメータとしたゾーニングを行った。斜面傾斜に関しては傾斜区分により、崩壊箇所に関しては既存の崩壊地の規模に応じた保護樹帯の設定、流域に関しては集水面積判定による流出経路とその周辺域に保護樹帯を設定することにより、各パラメータごとに制限区域を抽出した。この「収穫制限区域」では、必要最小限の皆伐しか許容せず、収穫方法にも一定の制限を設けて扱う区域とした。なお、傾斜区分条件、崩壊地や流域の保護樹帯幅に関しては、既存の調査データや統計資料（芝, 1998; SHIBA, 1998）を参考に潜在的な危険度や利用回避度の程度に応じて、その帯域や形状を変更して検討した。

これらの「収穫回避区域」, 「収穫制限区域」以外の区域を「収穫可能区域」として木材生産を目的とした利用区域にゾーニングした（図-5）。

以下、設定基準に基づく機能別のゾーニング法の概略を示す。

[傾斜区分による収穫可能区域のゾーニング]

斜面傾斜は、伐出方式選択の重要な因子のひとつであり、日本と同様な山岳林が多いオーストリアでは、架線による上荷・下荷集材とも限界斜面傾斜の目安は100%とされている（長岡, 1991）。当該地域では従来、架線集材が一般的な搬出方法として利用されており、これを根拠に、収穫可能区域の斜面傾斜の閾値を100%に設定した。あわせて、斜面傾斜の閾値を90%, 80%と設定した場合の収穫可能区域の変化の状態も検討した。なお、傾斜区分は、前述のDTMをデータとしてIDRISI 32の"SLOPE"機能を用いて行った。

[崩壊地と保護樹帯の設定によるゾーニング]

航空写真および事業地経営図を用いた判読の結果、解析対象地内には大小合わせて74箇所、合計31.1haの崩壊地が存在していた。平均面積は0.42ha（標準偏差：0.56ha）であったが、1ha以上の崩壊地8箇所で全崩壊地の46.3%を占めていた（最小面積：0.01ha, 最大面積：2.68ha）。面積の大きい崩壊地ほど、表土流亡や崩壊地の拡大など周辺の林地への潜在的な影響が大きいものと想定し、1haを保護樹帯幅を決定するための閾値とした。すなわち、1ha以上の大規模崩壊地8箇所については、それ以下の崩壊地に対して2倍の幅を持つ保護樹帯を設定した。なお、保護樹帯幅は、"BUFFER"機能を用いて、10m単位で10mから50mまで5段階とした。

[流域と保護樹帯の設定によるゾーニング]

流域に関するゾーニングは以下の手順で行った。まず、"RUNOFF"機能を用いて、DTMから流出経路を推定し、一定の集水面積（1ha, 4ha, 25ha, 50ha）を閾値とする流出経路図を作成した（図-6）。次に、国土地理院発行の1/25,000の地形図を用いて、水流次数の形状図を作成し、上記のDTMによる閾値ごとの流出経路図と比較した。その結果、水流次数の1次, 2次, 3次の水流パターンと集水面積を閾値として設定した1

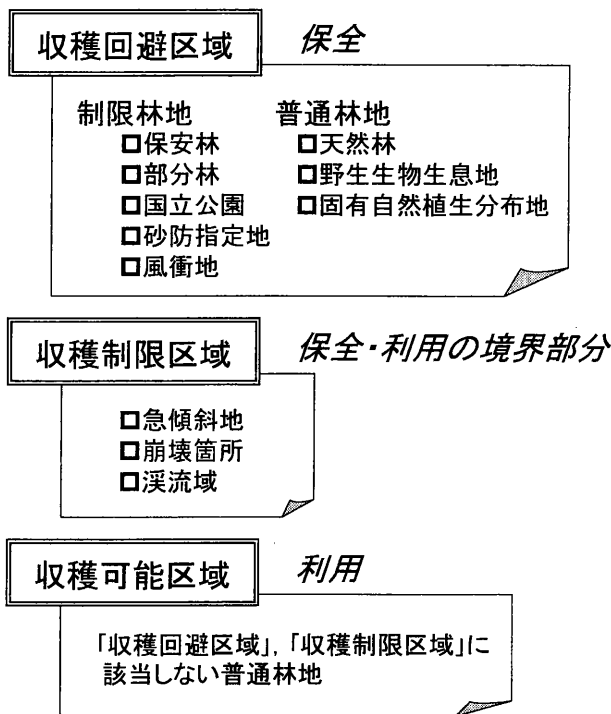


図-5 機能別森林空間のゾーニング方式  
Fig. 5 Classification of forest management unit into functionary categories.

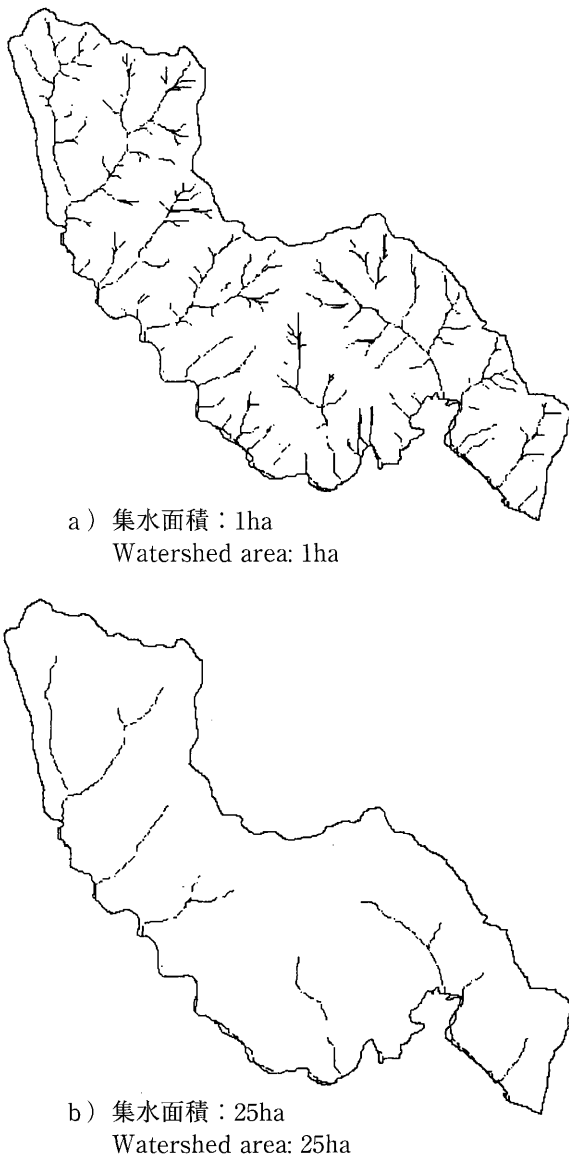


図-6 集水面積を閾値に抽出した流出経路の出力例  
Fig. 6 Runoff maps estimated by "RUNOFF" function.

1 ha, 4 ha, 5 haの流出経路図が、それぞれよく対応することがわかった。これにより、集水面積を閾値としてシミュレーションした流出経路パターンが、地形図から判読される水流次数の構造と近似し、本解析地域の渓流域の特徴を十分に与えていることが類推された。

ここでは、上述した1 ha, 4 ha, 25ha, 50haの各集水面積を閾値とする流出経路に沿って、10mから100mまで、10mごとの保護樹帯を想定した。

上記の手順で設定した各条件の閾値〔(傾斜区分による収穫可能区域: 3), (崩壊地と保護樹帯: 5), (渓流域と保護樹帯: 40)〕ごとのゾーニング総数は600通りであった。

#### 4. 1. 2. 収穫量配分のシミュレーション

80年輪伐期によるスギ人工林施業を目標に、各分期(5年)の目標伐採面積を25haの均等とし、16分期間のシミュレーションを実行した。なお、ここでは当該地域での将来にわたる経年的な収穫量の最低確保を念頭に、全域の80%以上の面積が収穫可能区域として得られる抽出条件について検討した。

設定したパラメータのうち最小許容伐期齢は当初40年としたが、シミュレーション期間中に同一個所での複数回の伐採を回避するために、シミュレーションの進行に従い、順次最小許容伐期齢を延長した。なお、伐採パッチの配分に林道からの到達距離は考慮せず、伐採後はすぐに更新されるものとした。次に、単位伐採パッチの面積については、過去の民有林伐採実績(芝, 1997; 同, 1999)を参考に、平均面積1 ha, 標準偏差0.5ha, 最小面積0.01ha, 最大面積2 haとした。

次に、収穫可能区域面積に対する伐採面積の相互関係を検討するとともに、空間的に配分された伐採パッチの変化量(個数・面積)を算定した。伐採パッチの個数、面積の算出方法は以下の通りである。

伐採パッチの個数は、シミュレーション期間中に配分された伐採パッチを全て数えることにより行う。なお、ラスターマップにおけるパッチ領域確定の際、斜め方向での接触を同一パッチ領域とするか、しないかで2つの処理方法が存在する。ここでは、同一グループのセルの一边が垂直もしくは水平方向に接していれば一つのパッチとみなすことにし、斜め方向での接触は同一パッチとは認めないこととした。この処理方法は、HARVESTの伐採パッチの配分アルゴリズムとも共通であり、これによりIDRISI 32とHARVEST間での処理方法の違いは生じない。平均伐採パッチ面積は、シミュレーション期間中に伐採パッチが配分された伐採面積をパッチ数で除して算出した。

#### 4. 1. 3. 森林空間構造のパッチ解析

現在、公社事業地内のスギ植栽地は、拡大造林の結果を反映し、植栽年度によって区分される比較的面積の大きなパッチ(大面積パッチ)が優占した構造を呈している。HARVESTによるシミュレーションを実行すると、これらの大面積パッチの内部にさまざまな大きさの伐採パッチが配分され、次第に断片化されることが予想される。このような断片化はFORMANの空間プロセスでは、穴あき(Perforation)、分割(Dissection)に区分されており(FORMAN, 1995)、シミュレーション前後で森林面積率の変わらない本研究では、パッチ数やエッジ長は増加し、平均パッチ面積は減少すると考えられる。シ

シミュレーション前後の森林空間構造の比較を行うにあたって、これら上記の空間パターン指標（パッチ数、平均パッチ面積、エッジ長）に加え、エッジ密度、フラクタル次数もあわせて検討した（村上，1997；SHIBA，2001）。

パッチ数の算出は、解析対象地内に存在する全てのパッチを数えることにより行う。平均パッチ面積は、ゾーニングによって抽出された収穫可能区域面積を総パッチ数で除して算定した。エッジ長は、隣接したパッチが接する部分をエッジと定義し、その総延長を算出した。このエッジ密度は、エッジ長を収穫可能区域面積で除して求めた。エッジ密度は、単位面積当たりのエッジ長を意味し、エッジ密度の増加は、林縁環境の相対的な多様性を示す（村上，1997）。フラクタル次数については、ピクセル単体の最も単純な形状である正方形を最小フラクタル次数（=1.0）とし、単位ピクセルの面積（100m<sup>2</sup>）とエッジ長（40m）を変数として、下式によって算出した（村上，1997）。

$$D = 2 \cdot \log(P/4) / \log(A)$$

$D$ ：フラクタル次数， $P$ ：エッジ長， $A$ ：パッチ面積

$D$ は1から2の間の値をとり、パッチの形状が正方形に近づくほど1に近似し、パッチの形状が複雑さを増すにつれて2に近づいていく。一般に、フラクタル次数はパッチ面積の大小によって影響されることが指摘されている。すなわち、形状の複雑な大面積パッチが優占する場合は高い値を示し、逆に形状が単純な小面積パッチが多数存在する場合は低い値を示す傾向がある（村上，1997）。そこで、この特徴を検証するために面積によるフラクタル次数の加重平均を加重フラクタル次数とし、その算出を次式によって行った。

$$Dw = \sum(D_i \cdot A_i) / \sum A_i$$

$Dw$ ：加重フラクタル次数， $D_i$ ：パッチ $i$ のフラクタル次数， $A_i$ ：パッチ $i$ の面積

シミュレーションを行った全収穫可能区域について、上述した指標を用いてパッチによって形成される森林空間構造を現状と比較した。

## 4. 2. 結果

### 4. 2. 1. ゾーニングによる収穫可能区域面積の推定

傾斜区分による閾値が100%，90%，80%と変化するにつれて、収穫可能区域面積の割合はそれぞれ99.8%，98.3%，90.3%と減少した。

崩壊地と保護樹帯についての抽出条件では、保護樹帯幅が10m，20m，30m，40m，50mと変化するにつれて、収穫可能区域面積の割合は91.2%，86.0%，79.9%，76.9%，68.6%と減少した。

渓流域と保護樹帯についての抽出条件では、図-7に示すように、収穫可能区域面積の割合は集水面積の閾値により大きく変化した。集水面積が1haの場合、収穫可能区域面積割合の減少が最も大きく、保護樹帯幅20mで80.3%，100mで22.6%まで減少した。集水面積が4haでは、40mで81%に、100mで52.6%に減少した。25haと50haの集水面積の場合、その減少割合は比較的少なく、100mの保護樹帯幅を設定してもそれぞれ80.3%，89.4%の収穫可能区域面積が確保された。

各種抽出条件を組み合わせた合計600（=3×5×40）通りについて、収穫可能区域面積割合が80%（=425.51ha）を超えるケースは62通りで、その中でも90%を超えるものは1ケースのみであった（表-1）。

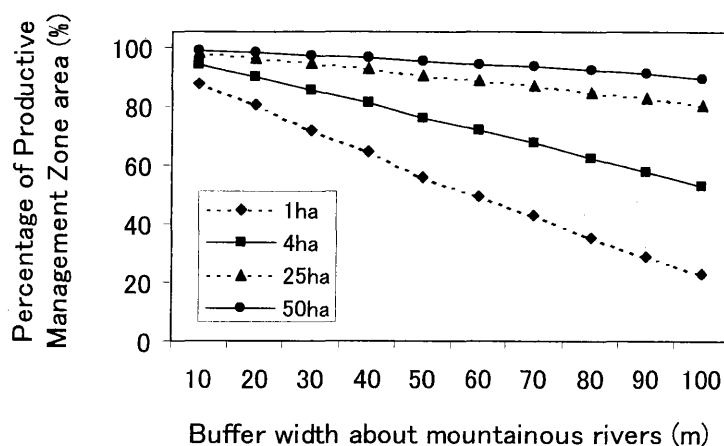


図-7 渓流域保護樹帯幅に対する収穫可能区域面積割合  
Fig. 7 The relationship between buffer width about mountainous rivers and percentage of Productive Management Zone area.

表-1 各種条件別の収穫可能区域面積割合  
Table 1 Percentage of Productive Management Zone after classification of forest management space

斜面 傾斜 (%)	崩壊地 保護樹帯幅 (m)	渓流域		収穫可能区域 面積割合 (%)	斜面 傾斜 (%)	崩壊地 保護樹帯幅 (m)	渓流域		収穫可能区域 面積割合 (%)
		集水面積 (ha)	保護樹帯幅 (m)				集水面積 (ha)	保護樹帯幅 (m)	
100	10	1	10	80.8	90	10	4	10	84.8
		4	10	86.2			20	81.6	
			20	82.9			25	87.8	
		25	10	89.2			20	86.5	
			20	87.9			30	84.9	
			30	86.2			40	83.5	
			40	84.8			50	81.6	
			50	82.9			60	80.2	
			60	81.3			50	88.8	
			50	10			20	88.1	
			20	30		87.2			
			30	40		86.4			
			40	50		85.4			
			50	60		84.5			
			60	70		83.7			
			70	80		82.6			
			80	90		81.5			
			90	100		80.3			
			100	10		80.3			
	20	4	10	10		81.6	20	4	10
25			10	84.2	25	10			82.9
			20	83.0		20			81.7
			30	81.6		30			80.3
			40	80.3	50	10			83.7
50		10	85.0		20	83.1			
		20	84.4		30	82.3			
		30	83.6		40	81.6			
		40	82.9		50	80.6			
		50	81.9		10	80.8			
80	10	25	10	81.1	80	10	25	10	81.8
		50	10	80.2			50	10	81.1
			20					20	81.1
			30					30	80.3
			40						
			50						
			70						

4. 2. 2. 収穫量配分のシミュレーション結果

図-8に、シミュレーションを行った全62通りについての16分期末の平均年齢構造を示す。15, 16年齢級については、それぞれの分期中に最小許容伐期齢を満す40年生以上のパッチが設定された目標伐採面積(25ha)以上確保されていないため、平均で3.60ha, 0.98haの伐採面積しか得られなかった。7~13年齢級は、目標とした25haの伐採面積が確保されているが、6年齢級以下については徐々に伐採面積が減少するとともに、そのばらつきが大きくなった。これは、シミュレーション進行に伴い、収穫可能区域が断片化・減少することに起因するものと考えられた。15, 16年齢級で目標を大きく下回る伐採面積しか確保されていなかったにもかかわらず、平均の伐採面積は315haに達した(表-2)。この値は、全16分期間の目標伐採面積であった400haの78.7%に相当し、法正的な資源配分構造に漸近しつつあると類推された。収穫可能区域面積と伐採面積 ( $r=0.34, p<0.05$ )、平均パッチ面積と伐採面積 ( $r=0.40, p<0.05$ )の間には、それぞれ有意な相関が見られた。しかし、平均伐採パッチ面積は目標とした1haには達しておらず、0.74haという結果であった(表-2)。

一方、林相パッチ図(図-9)には、対象地の北西部、中央部および南東部に、伐採パッチ配分の少ない区域や全く配分がなされていない区域が観測された。平均パッチ面積が目標値に達しなかった主な原因は、伐採パッチが小面積に断片化しながら形成されたためであると考えられた。その原因のひとつとして、シミュレーション期間の短さがあげられる(GUSTAFSON, 1999)。

4. 2. 3. 森林空間構造のパッチ解析結果

シミュレーション前後の2時点(現状, 80年後)で、全62通りのパッチ総数平均は、218個から1,061個と387%増加した(表-3)。平均伐採パッチ数が426個であったことから、伐採パッチの配分に伴い収穫対象外のパッチについても断片化が進行したと考えられた。パッチ数の増加から、平均パッチ面積は80%減少し、2.11haから0.42haとなった。エッジ長は、155.16kmから336.15kmと117%増加し、これを受けてエッジ密度も348.55m/haから754.90m/haとなった。フラクタル次数については、現状の1.071から0.4%減少し1.066となり、加重フラクタル次数は、1.112から1.142に2.6%増加した。この結果から、シミュレーションを通じ、パッチの形状

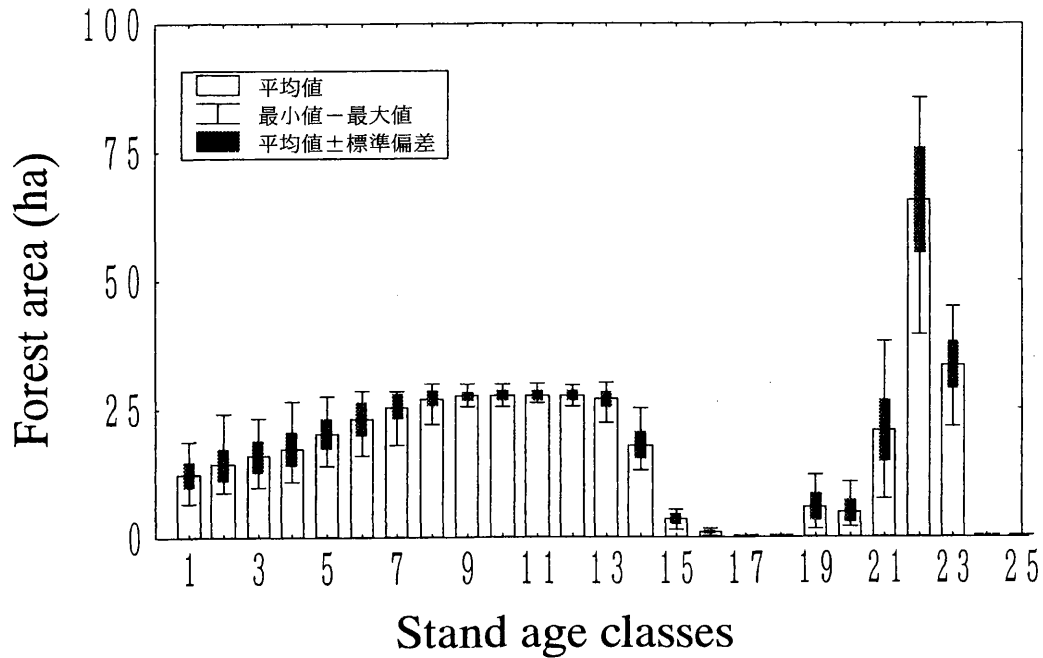


図-8 収穫量配分シミュレーション後の平均齢級構造  
 Fig. 8 Stand age distributions after harvest scheduling/allocation simulation.

表-2 収穫量配分結果  
 Table 2 Results of harvest scheduling/allocation simulation

項目	単位	平均	標準偏差	最小	最大	変動係数
収穫可能区域面積	ha	445.54	14.71	426.35	479.24	0.033
伐採面積	ha	315.02	23.11	288.77	345.41	0.073
伐採パッチ数	個	426	23.11	390	512	0.054
伐採パッチ面積	ha	0.74				

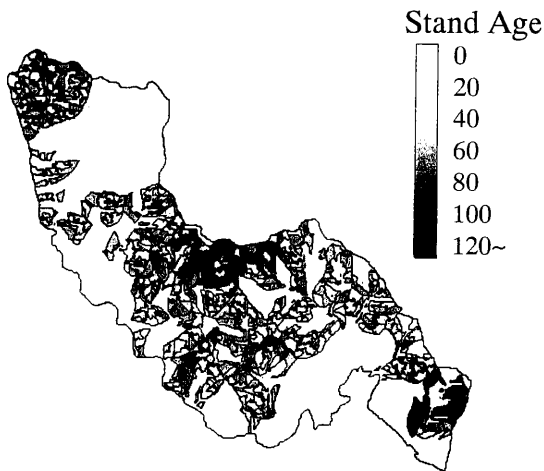


図-9 収穫量配分シミュレーション後の林相パッチ図出力例  
 Fig. 9 An example of forest patch map after harvest scheduling/allocation simulation.

にほとんど変化は見られないが、伐採パッチが配分されていない区域では、当初のパッチが比較的面積の大きいままに残り、加重フラクタル次数が相対的に増加したと考えられた。

また、パッチ数、エッジ長の変動係数は、シミュレーション前と比較して小さくなった。このことから、パッチ数、エッジ長ともに平均値を中心とする値に収束したものと考えられた。シミュレーション前後で森林面積率の変化しない本研究では、パッチ数、エッジ長から算出される平均パッチ面積、エッジ密度も同様の傾向を示すことが推測された。



表-3 シミュレーション前後の2時点(現状, 80年後)における各指標値の統計量  
Table 3 Descriptive statistics for present and after simulation (80 years)

指標	単位	状態	平均	標準偏差	最小	最大	変動係数
パッチ数	個	現状	218	40.68	165	341	0.187
		80年後	1,061	67.91	906	1,306	0.064
パッチ面積	ha	現状	2.11				
		80年後	0.42				
エッジ長	km	現状	155.16	10.28	139.18	182.58	0.066
		80年後	336.15	9.97	316.92	360.06	0.030
エッジ密度	m/ha	現状	348.55				
		80年後	754.90				
フラクタル次数		現状	1.071				
		80年後	1.066				
加重フラクタル次数		現状	1.112				
		80年後	1.142				

5. 考察

本研究では、森林生態系や水土保全機能の維持管理をも視野に入れたより包括的な人工林管理計画策定法の可能性について、GISを援用した収穫計画・配置モデルを開発してその有効性を検証した。滋賀県の造林公社事業地内スギ造林地を対象に、80年輪伐期施業を想定したシミュレーションの結果、許容単位伐区面積、最小許容伐期齢、隣接伐区間の緑被期間等の諸伐採規制条件に相応した伐採個所が適確に抽出されること、分期ごとに目標とする伐採面積が確保されつつ伐採面積分布の適正化が図られること、最終分期において法正的な林分構造に漸近すること等が確認された。一方、生態学的な条件を考慮した伐採規制のパラメータを組み込むことで、伐採面の分散と小面積化が図られ、現状の比較的単純な大面積パッチ優占の構造から大小さまざまな大きさのパッチ群からなる多様な森林空間構造が形成されることも認められた。

本解析システムの長所として以下の3点があげられる。

- ①さまざまな制約条件を組み込んだ森林の機能区分とゾーニングがGIS上で可能となり、その結果として、収穫可能区域が容易に判別・抽出される、
- ②GISの分解能に相応したピクセル単位での収穫量の時間的・空間的配分が可能となり、しかも森林空間構造の変化をパッチ単位で解析できる、
- ③パラメータや制限条件を任意に設定でき、しかも解析結果を数値だけでなくGIS上で視覚的に図化してでき

るので代案管理計画策定や合意形成が容易となる。

造林地の立地条件や更新・保育技術に関する側面、林内路網や搬出方式に関する技術的側面、労働力やコストに関する側面等を本システムにどのように組み入れていくかを今後の主要な研究課題としたい。

最後に、本研究の遂行にあたり、びわ湖造林公社の中川 健氏には事業地経営図・森林調査簿等の多くの貴重な資料を提供していただいた。ここに厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) FORMAN, R. T. T. (1995) Land Mosaics. 632pp, Cambridge University Press, Cambridge.
- 2) GUSTAFSON, E. J. (1999) HARVEST: A timber harvest allocation model for simulating management alternatives. *In Landscape Ecological Analysis: Issues and Applications.* KLOPATEK, J. M. and GARDNER, R. H. (eds.), 400pp, Springer, New York, 109-124.
- 3) GUSTAFSON, E. J. and CROW, T. R. (1999) HARVEST: linking timber harvesting strategies to landscape patterns. *In Spatial Modeling of Forest Landscape Change: Approaches and Applications.* MLADENOFF, D. J. and BAKER, W. L. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 309-332.
- 4) 村上拓彦 (1997) シミュレーションに基づく森林面積率と空間パターン指標の関係解析. 九州大学大学院農学研究科修士論文.
- 5) 長岡 稔 (1991) オーストリアにおける機械化の進め方. 林経協月報 352: 26-31.

- 6) 芝 正己 (1997) DEA(Data Envelopment Analysis)を導入した伐出生産効率性の多次元評価法に関する研究. 三重大演報 **21**: 63-100.
- 7) 芝 正己 (1998) 山村地域のランドスケープとしての森林景観資源機能の計量評価とその応用性について. 87pp, 平成9年度科学研究費補助金研究成果報告書.
- 8) SHIBA, M. (1998) Tactical sediment yield control to mitigating terrestrial and/or aquatic environmental impacts of forest road construction. *In* Proceedings of the IUFRO Division 8 Conference Environmental Forest Science. SASSA, K. (ed.), 658pp, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 51-66.
- 9) 芝 正己 (1999) 岐阜県下の素材生産事業体の伐出作業を事例としたDEA(Data Envelopment Analysis)効率性評価に関する研究. 森林研究 **71**: 77-96.
- 10) 芝 正己 (2000) 森林認証制度の研究的課題. 森林計画誌 **34(2)**: 115-126.
- 11) 芝 正己・吉幸 朗・石川知明 (2001) 持続可能な森林管理SFMのための空間配置と機能評価(I) -収穫計画と保全計画のリンク: 概念と枠組み-. 日林論**112**: 155-156.
- 12) SHIBA, M. (2001) Quantitative analysis of fragmented landscape patterns resulting from timber harvesting practices in Kyoto University Forests. *Int. J. For. Eng.* **12(1)**: 19-27.