
日本型 SFM を指向した適応型人工林管理システム
(AFMS) の構築

16580120

平成 16 年度～平成 17 年度科学研究費補助金
(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 芝 正己

京都大学図書

京都大学フィールド科学教育研究センター 助教授



1060667843

附属図書館

研
05
9
図

日本型 SFM を指向した適応型人工林管理システム
(AFMS) の構築

16580120

平成 16 年度～平成 17 年度科学研究費補助金
(基盤研究(C)(2)) 研究成果報告書

平成 18 年 3 月

研究代表者 芝 正己

京都大学フィールド科学教育研究センター 助教授

はしがき

世界的な森林の減少・劣化の諸問題に対処するため、1992年の国連環境開発会議(UNCED)でアジェンダ21及び森林原則が採択された。そこでは、地球上の全ての森林を対象として、「持続可能な森林管理(Sustainable Forest Management : SFM)」の考え方、すなわち、生物多様性や生態系の維持管理をも視野に入れた包括的な森林管理への取り組みの必要性が強調された。これは、森林の持つ多様な機能を「木材資源の持続性」、「森林生態系の保全」、「地域社会への便益」の三つの保続概念(Concepts)に照らし合わせて、森林の保全と利用を両立させながら、多様な社会的ニーズに対応させていこうとするものである。

このSFMは、後のヘルシンキ・モントリオール両プロセスを経て、具体的な原則(Principles)、基準(Criteria)、指標(Indicators)作りへと発展し、欧米先進国を中心として特徴ある森林管理が試験的に開始されつつある。例えば、①Ecosystem managementを基本とした英国の森林施業・林地管理計画、②ドイツでの多自然型森林造成・機能別森林空間のゾーニングシステム③フランスでの高生産機能広葉樹林分の育成と無立木地の森林化計画、④天然林の積極的保護と集約的人工林経営との分離方式によるニュージーランドの二元的森林管理システム、⑤林分・流域・景域各レベルでの診断指標と管理実行コードにより利用・保全計画のバランスシートを設定する米国州有林の適応型森林管理システム、⑥カナダBC州の市民参加・合意形成方式の森林管理システム及び作業実行コード(Practice Codes)等に代表される。これらの国は、このような積極的な環境保全型の森林管理を実践しつつ木材生産活動も活発に行なっており、生産量も微増傾向にある。

このような各国のSFMシステムに共通するものは、(1):機能別に整合性のとれた森林空間のゾーニングと時系列的変化の予測システム、(2):管理目的やゴールへの到達性を容易にする可変的な収穫管理システム(利用強度・規模に関する時間的・空間的シミュレーションモデル)、(3):円滑な管理運営実行のための合意形成・意思決定システムの三点である。森林の利用形態や規模を異にしながらもこれらのシステムを相互に組み込んだ独自のアプローチを試みている。

一方、我が国では、国内に新たに森林を造成する余地は少ないものの、伐採・造林・保育・間伐等の一連の林業生産活動を通じて、成長旺盛な状態で森林が育成され、造成を基軸とする段階から森林資源を管理・循環させる段階までに移行してきている。このような観点から、我が国も「森林資源に関する基本計画」を軸に据えながら、森林に対する多様な社会的ニーズや経済環境状況の変化に柔軟に対応できるように、森林資源の更なる質的充実と公益的機能の効率的発揮をその目標としている。具体的には、①木材資源の効率的な循環利用を重視し、単層状態の森林として積極的に育成・管理する育成単層林、②人為と天然力を適切に組合せ、多様性に富む複層状態の森林として積極的に育成・管理する育成複層林、③主として天然力の活用により森林を的確に保

全・管理する天然生林の3つの森林利用機能に区分し、それぞれに目標とする状態を定めた上で、持続可能な森林管理に向けての森林資源の整備を推進することである。

本研究では、日本型の SFM を志向した新たな適応型人工林管理・経営システム AFMS(Adaptive Forest Management System)を構築すべく、現在までに、全国で約 420,000 ha の人工林を造成してきている造林公社事業地のうち、中部・近畿圏においてその管理面積や事業量が卓越し、積極的な資源造成計画や山村振興事業を継続的に行ってきた実績、琵琶湖周辺域や紀伊半島水系域の主要部分を形成する水源涵養・自然環境保全的重要地域であるという地理的条件、さらには、大阪、京都、神戸、名古屋といった消費地に隣接した木材資源供給地域でもある等を念頭に、滋賀県及び三重県両県の公社造林森林を対象とした実証的研究を企画した。具体的には、①ランドスケープエコロジーの概念による森林モザイク・パッチ構造の計量化と最適配置評価、②GIS・画像処理による空間属性情報のデータベース化と機能別ゾーニングの自動化、③GIS (Ildris32-GIS) を援用した時系列収穫量配分・配置モデル (HARVEST) の改良等、「森林機能区分、収穫管理、合意形成・意思決定」の3システムを統合した適応型人工林管理システム (AFMS) のモデル構築を目指した。

研究組織

研究代表者： 芝 正己 (京都大学 フィールド科学教育研究センター 助教授)

交付決定額 (配分額)

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 16 年度	2,400,000	0	2,400,000
平成 17 年度	1,400,000	0	1,400,000
総 計	3,800,000	0	3,800,000

研究発表

(1) 学会誌等

- (1) 芝 正己・牧 大介、森林認証と森林利用・生産技術の連環性 ―技術への新たな要求、第 115 回日本林学会大会学術講演集、119、2004 年 4 月
- (2) 芝 正己、長伐期育成循環型人工林の収穫計画・配分モデル、第 11 回森林利用学会研究発表講演要旨集、6、2004 年 11 月
- (3) 芝 正己・石川知明・石堂慶彦、長伐期育成循環型人工林の収穫計画・配分モデルについて、森林利用学会誌 19(4); 309-314、2005 年 3 月
- (4) 芝 正己・石川知明、長伐期型人工林の収穫配分モデル THSAM の一考察、第 116 回日本林学会大会学術講演集、4B02、2005 年 4 月
- (5) Masami Shiba、A GIS-based interactive spatial decision support system for SFM-oriented timber harvest scheduling/allocation strategies in plantation forests、Proceeding Council on Forest Engineering 28th Annual Meeting, Fortuna, CA USA; 61-73、2005 年 7 月
- (6) Masami Shiba、A GIS-based interactive spatial decision support system for integrating the management of protection and production forests. Protection forests: recognizing and maintaining the forest influence with regards by hydrogeomorphic processes、The International Forestry Review Vol.7(5); 313、2005 年 8 月
- (7) 芝 正己、持続可能な森林管理への森林認証および森林収穫実行規約の互換性、日本森林学会誌 87(4); 358-363、2005 年 8 月
- (8) 芝 正己・板谷明美、長伐期育成循環型人工林の収穫計画・配分モデルと SDSS の構造、第 56 回日本森林学会関西支部大会研究発表要旨集、No.208、2005 年 10 月

(2) 口頭発表

- (1) 芝 正己、森林認証と森林利用・生産技術の連環性 — 技術への新たな要求、第 115 回日本林学会大会、2004 年 4 月 2 日
- (2) 芝 正己、長伐期育成循環型人工林の収穫計画・配分モデル、第 11 回森林利用学会、2004 年 11 月 19 日
- (3) 芝 正己、長伐期型人工林の収穫配分モデル THSAM の一考察、第 116 回日本林学会大会、2005 年 4 月 3 日
- (4) Masami Shiba、A GIS-based interactive spatial decision support system for SFM-oriented timber harvest scheduling/allocation strategies in plantation forests、Council on Forest Engineering 28th Annual Meeting, Fortuna, CA USA、2005 年 7 月 12 日
- (5) Masami Shiba、A GIS-based interactive spatial decision support system for integrating the management of protection and production forests. Protection forests: recognizing and maintaining the forest influence with regards by hydrogeomorphic processes、XXII IUFRO World Congress, Brisbane Australia、2005 年 8 月 9 日
- (6) 芝 正己、長伐期育成循環型人工林の収穫計画・配分モデルと SDSS の構造、第 56 回日本森林学会関西支部大会、2005 年 10 月 15 日

(3) 出版物

該当なし

研究成果

目次

I 長伐期育成循環型施業を指向した人工林の新たな収穫計画・配分モデルと解析システムの開発

1.	研究目的	1
2.	HARVEST による時系列・空間的収穫シミュレーション	2
3.	緑資源機構津水源林整備事業の展開	3
4.	解析対象地及び森林資源	8
5.	解析データ及び GIS データベースの編成	15
6.	HARVEST による長伐期施業を想定したシミュレーション	22
7.	あとがき	67
8.	引用文献	67

II A GIS-based interactive spatial decision support system for integrating the manage of protection and production forests

1.	Abstract	69
2.	Introduction	69
3.	Framework of a GIS-based timber harvest scheduling system	71
4.	Functionary classification of forest management areas	72
5.	Harvest schedule/allocation	72
6.	Study area and Methods	73
7.	Harvest schedule/allocation strategies	75
8.	Results	76

9.	Discussions	80
10.	Acknowledgements	80
11.	References	81

I 長伐期育成循環型施業を指向した人工林の新たな収穫計画・配分モデルと解析システムの開発

1. 研究目的

これまで森林を支えてきた林業は、採算性の悪化から停滞し、林業生産が行われる場である山村も過疎化や住民の高齢化により衰退してきている。このため、人工林（日本の森林面積の4割：1,000万ha）を中心とした森林資源は量的には着実に増加してきているものの（総年成長量：5,500万 m^3 ）、十分な森林管理や整備が行われがたくなってきており、除伐や間伐等の手入れが不十分な人工林や、植林が行われない伐採跡地がいたる所に見られるようになってきている（4-7 齢級の要間伐林分：47.6%）。このまま推移すれば、水資源の涵養や山地保全といった森林の持つ公益的機能の発揮にも支障をきたすことが懸念される状況となってきている。

社会経済的基盤の脆弱な我が国の多くの山村地域を対象として、1961年から開始されてきた緑資源機構（旧緑資源公団）の水源地造成事業は、無立木地への森林造成や粗悪林分の改良事業により森林の水源地涵養機能の増進を目指し、40年の歳月を経た今日、全国で約43万haにも及ぶ水源地を造成してきた。また一方で、小規模な森林所有者や零細な林業事業体に替わって植林から保育までの一連の造林作業を代替し、収穫時に地権者との間で分収率に準拠した事業収入を得るという「分収造林方式」を導入することで、当該事業に関係した地元住民の就業機会の創設や確保、諸定住環境条件の整備支援、共同利用施設の整備等を通して地域の活性化に大いに寄与してきた。その結果、これらの多くの地域では、新たに森林を造成する余地は少ないものの、成長旺盛な状態で森林が育成され、造成を基軸とする段階から森林資源を利用・循環させる段階にまで移行してきている。従来から林業・林産業に大きく依存しているこれらの地域にとって、今後もこれらの森林資源の利用が重要であることは言うまでもなく、それ故、緑資源機構が設定された目標に向かって継続的な管理事業を今後も展開していくことは、これらの山村社会を維持していく上でも重要なことであると言える。

特に、平成13年に示された新森林・林業基本法の理念や最近の社会変化や要求に沿って緑資源機構が掲げている「人工林の長伐期育成循環型施業」や「広葉樹を適切に組み合わせた育成複層林施業」等の森林施業・管理計画の具現化は、その意味において急務と言える。

本研究では、上述の「人工林の長伐期育成循環型施業」や「広葉樹を適切に組み合わせた育成複層林施業」等、いわば、日本型のSFM（持続可能な森林管理）とも言える新たな人工林の収穫管理方式について、緑資源機構管理の大杉倉元谷団地（所在地名：三重県宮川村大杉倉元谷497-4、森林所有者：大杉谷生産森林組合、地上権設定部分面積：305.55ha、）の森林をモデルケースとして検討した。具体的には、森林生態系や水土保持機能の維持管理をも視野に入れた長伐期育成循環型施業を前提とした人工林の収穫計画・配分シミュレーションモデルの構築を目指すものであり、米国林業試験場で開発されたHARVEST（針広混交林や広葉樹二次林の長伐期施業収穫規整モデル）を参考に、①：森林の機能区分や時系列的変化のシミュレーション、②：輪伐期、許容伐区面積、最小許容伐期齢、隣接伐区の緑被期間等の諸伐採規制条件に相応した伐採箇所の自動判定や最適収穫量の推定、③：森林のパッチ分布やモザイク構造の計量的評価、等が一括して処理可能となるような簡易のGISを援用した汎用性のあるシステムの開発を試みた。

2. HARVEST による時系列・空間的収穫シミュレーション

HARVEST 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 (「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)。

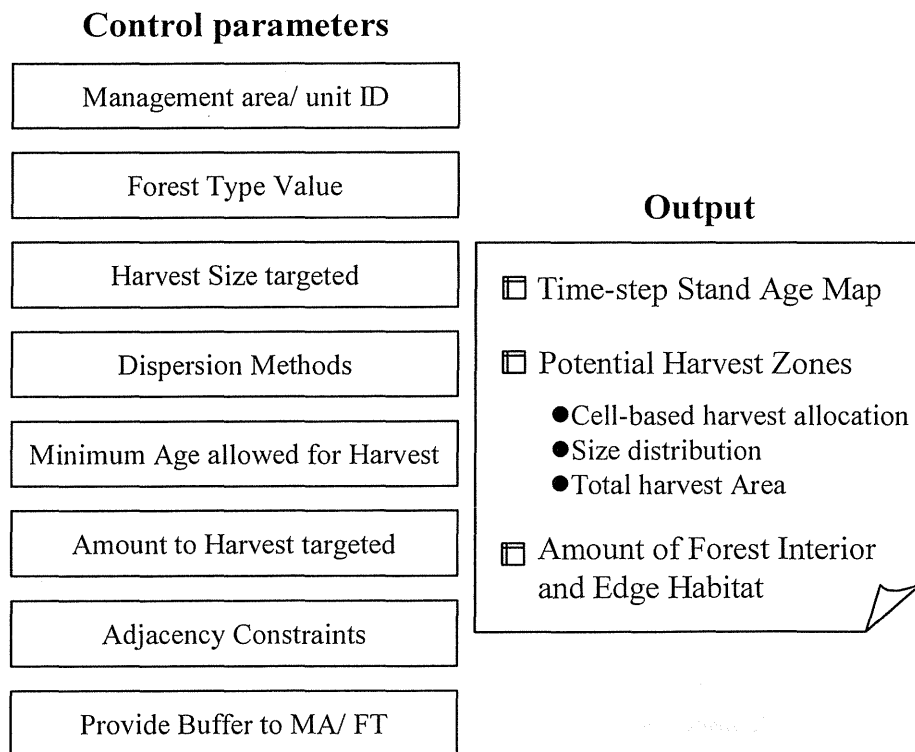


図-1 HARVEST で用いるパラメータとその出力

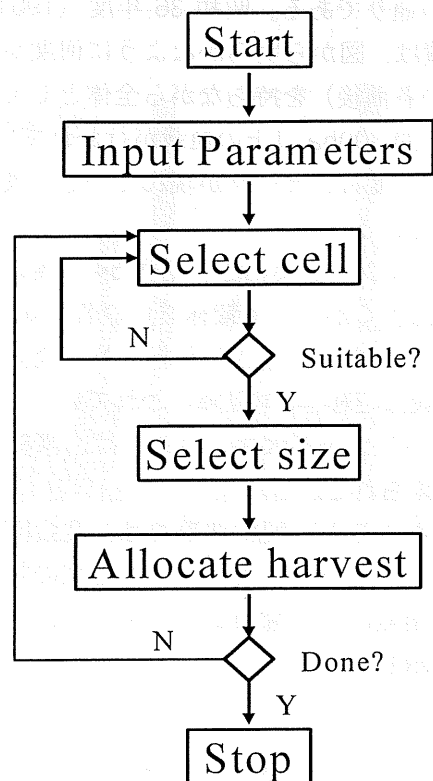


図-2 HARVEST の伐採パッチ配分アルゴリズム

3. 緑資源機構津水源林整備事業の展開

3.1 沿革

昭和 37 年 6 月 16 日、森林開発公団名古屋支所津駐勤所として設置され、翌 38 年 6 月 1 日、津出張所が開設し、和歌山県の飛地一部を含めて三重県全域を管轄区域として業務を開始した。その後、平成 11 年 10 月 1 日の「緑資源公団」の発足、平成 15 年 10 月 1 日からの「独立行政法人 緑資源機構」への移行に伴い、現在その名称も「津水源林整備事務所」とし現在に至っている。

3.2 水源林造成事業の展開

当該事業は、水源涵養上重要な保安林のうち、無立木地等の機能が低下した森林を急速かつ計画的に整備し、水源涵養機能の回復を早期に図り、より高度に発揮させることを目的とする。この事業の実施には、森林所有者がその土地を提供し、造林者がこれを造成しこれにかかる費用を緑資源機構が負担し、併せて森林育成や管理の技術的指導を行うものである。

三重県における水源林造成事業は、昭和 36 年度からスタートし、県下 38 全市町村のうち 33 市町村を対象として実行されて来た。平成 14 年度末現在、植え付け済み面積 11,034ha で、事業目標面積 12,200ha に対する進捗率は 90.4%となっている。なお、契約内容の状況は、契

約全面積：14,157ha、植え付け済み面積：11,034ha(77.9%)、要植え付け残面積：144ha(1.0%)、除地・岩石等 2,979ha(21%)の通りである。昭和 36 年度 (1961) から平成 14 年度(2002)の 41 年間の植え付け面積の実績は、図から明らかなように何度かのピーク（昭和 40 年、昭和 54 年度、昭和 62、平成 9 年の各前後）を持ちながら全体として減少してきた。最初の大きなピークは昭和 40 年前後で、年間 500ha 以上の植栽が行われている。その後は昭和 50 年度まで単純減少し、昭和 54 付近に二度目のピークが現れている。最近の数年間の植え付け面積は 150ha 前後のレベルで推移している。

樹種別では、ヒノキ、スギ、マツの針葉樹と、昭和 54 年度以降には一部広葉樹も植栽されてきている。三重県の民有林は古くから「尾鷲林業」の名で知られているが、昭和 40 年前後の一時期にスギも相当の割合で植栽されたこともあるが、全体を通して主要な植栽樹種はヒノキである。なお、マツの植栽は昭和 44 年以降行われていない。広葉樹の植栽は全体的には増加傾向にあるが、年度別のバラツキが大きい。これは、素材生産量（主・間伐）の変化と連動しているためであると考えられる。

次に、市町村別にその特徴をみると、契約件数では、度会町、飯高町、美杉村、宮川村、熊野市が上位を占め、いずれも三重県を代表する中勢地域の林業地帯である。契約・植え付け面積の数字では、度会町、南島町、尾鷲市が上位を占め、次いで、飯高町、宮川村がいずれも 1,000ha を超える実績を示している。

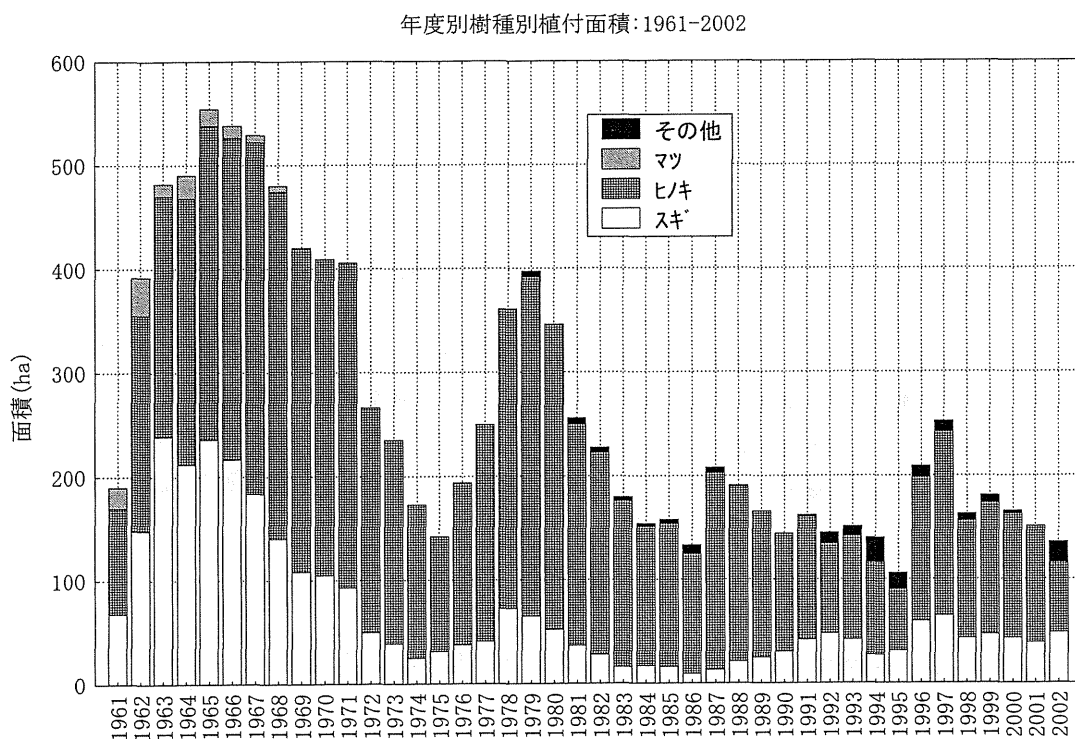


図-3 年度別樹種別植栽面積実績：1961-2002

市町村別事業契約件数

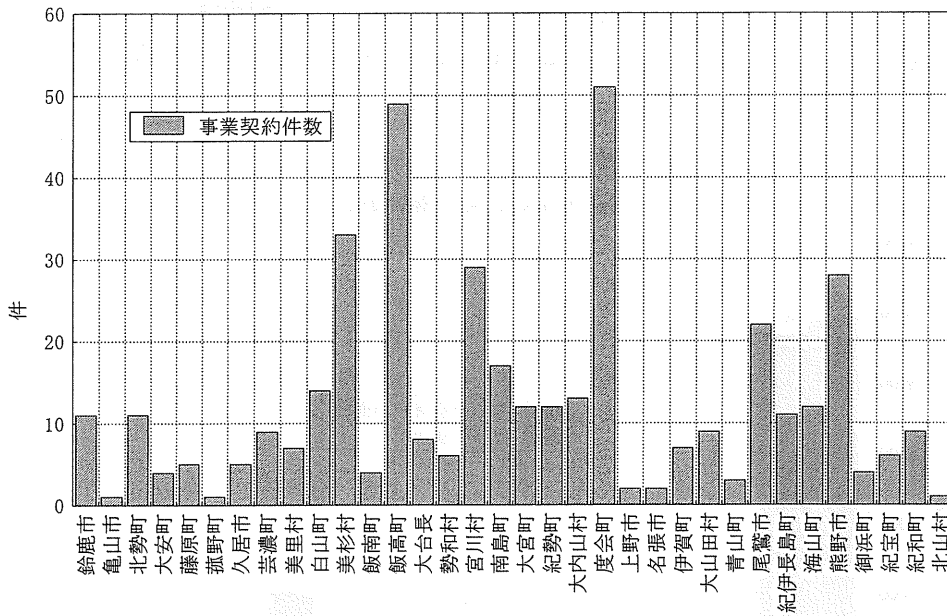


図-4 市町村別事業契約件数

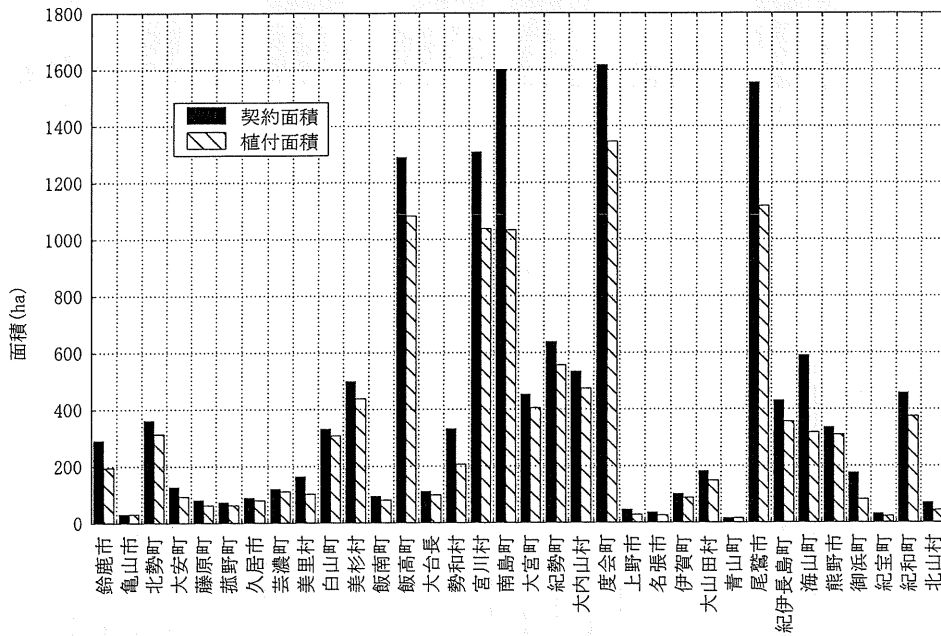


図-5 市町村別事業実況状況：2002年現在

契約形態別の植栽面積についてみると、造林費負担別では「2者契約」が面積ベースで全体の81.1%(11,483ha)を、「3者契約が18.9%(2,674ha)をそれぞれ占めており、契約関係として森林所有者と緑資源機構の2者契約の形が支流となっていることがわかる。次に、これら造林地の所有形態と実施主体を面積別に比較したのが下の図である(図-6)。所有形態・実施主体とも、市町村が圧倒的に多く6,918ha(48.9%)、6,674ha(47.1)とほぼ半数に及んでいる。森林組合1,678ha(11.9%)、2,952ha(21.0%)、記名共有2,425ha(17.1%)、1,690ha(11.9%)、個人1,484(10.5%)、

883(6.2%)がこれに続いている。造成水源林を対象とした森林調査は昭和54年度(1979)から実施されてきており、これまでに全造林地面積の86.24%に当たる9,516haで行われている(図-7)。24年間の年度別平均実施面積はほぼ400ha(396.5ha)であるが、最近の5年間では516.6ha/年と、年平均植え付け面積159.4haのほぼ3倍の割合で実施されている。

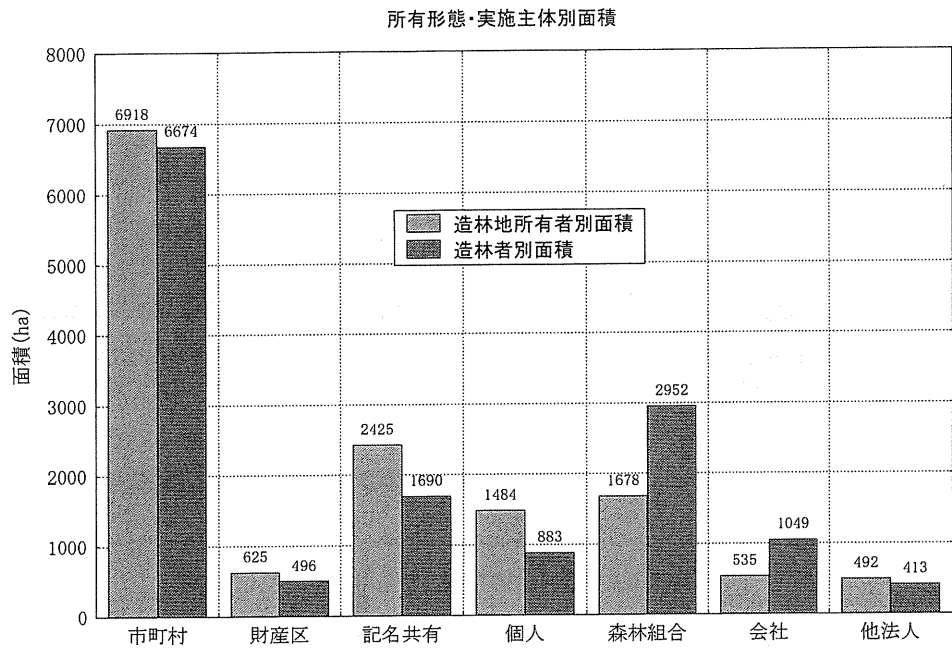


図-6 所有形態・実施主体別面積比較

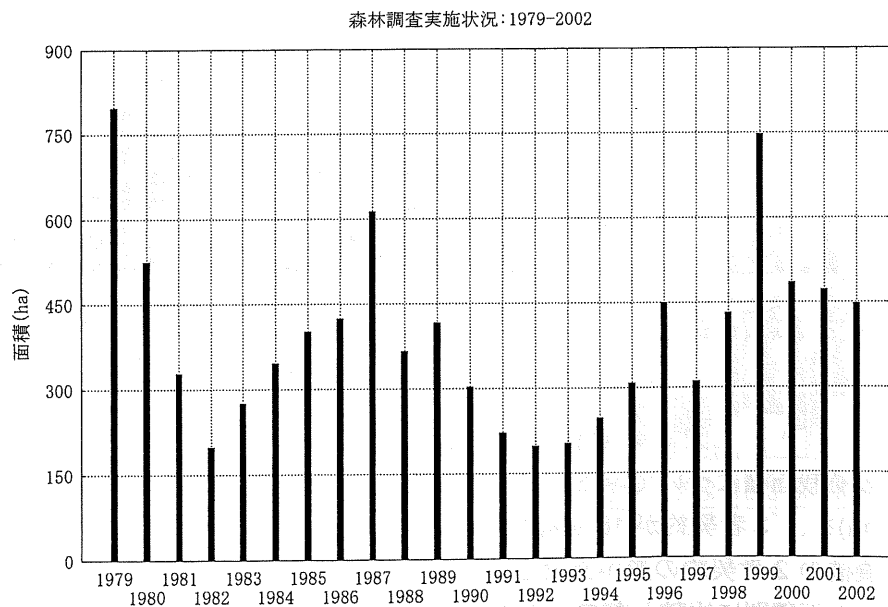


図-7 森林調査実施状況：1979-2002

造成森林を対象とした保育及び利用間伐の実施状況の推移を見たのが図-8である。利用間伐は造林事業が開始された23年後の昭和59年度に1haが初めて行われており、保育間伐は昭和61年度に53haが実施されている。平成14年度現在の累計で、利用間伐実施面積255ha、保育間伐実施面積7,429haとなっており、全面積に対する実施率は双方でほぼ70%(69.6%)のレベルに達している。利用間伐の実施面積は開始当初よりほぼ横ばいで推移してきており、19年間の平均で13.4haである。近年の木材需要動向、材価や伐採経費、労働力等の厳しい生産環境がこのような数字を反映していることは言うまでも無い。他方、保育間伐は開始当初より順調な伸びを示してきており、一時的に減少した年(平成9年度)を除いてほぼ造林保育の施業体系に従った実行がなされてきたことを示している。ちなみに平成10年度から12年度の3ヵ年の実行量は顕著であり、その実行面積は3,135haで、これまでの累積面積の42.2%も占めている。その後は若干減少傾向を示しており、これは若齢林分の減少、新規再造林地の減少等に起因しているためであると思われる。

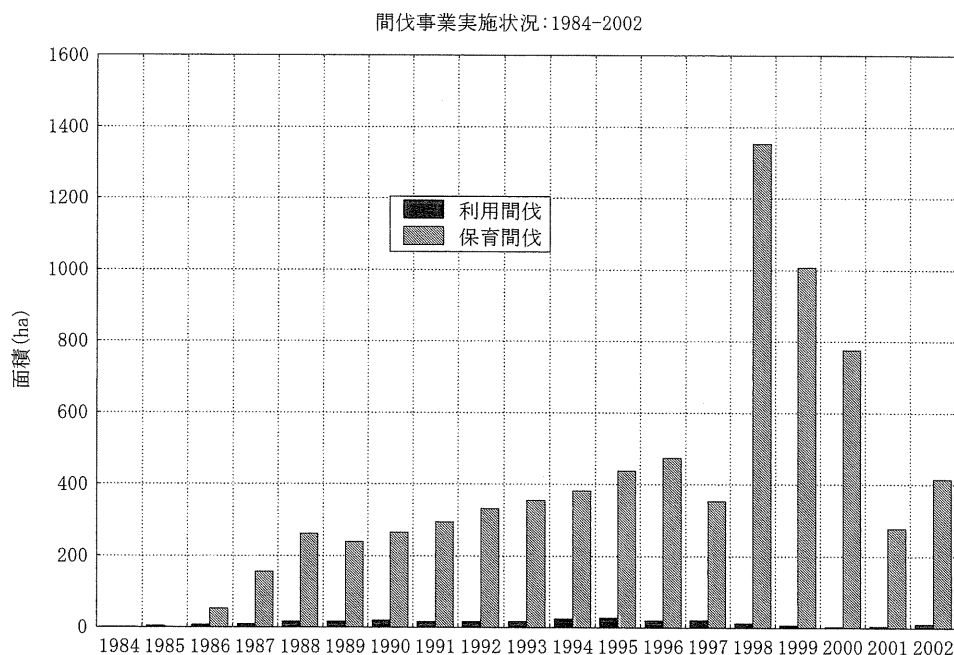


図-8 間伐事業実施状況：1984-2002

三重県地図

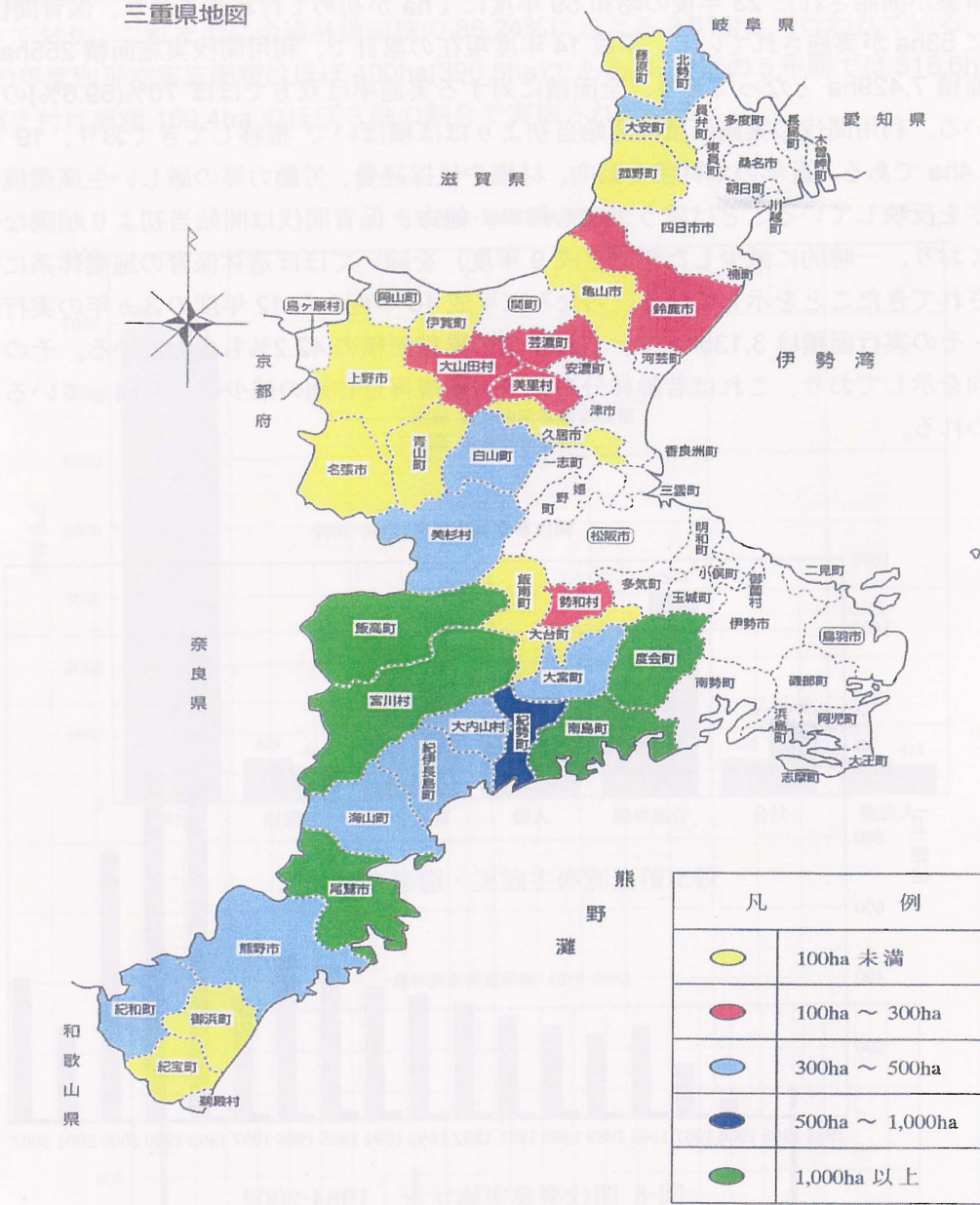


図-9 三重県下の市町村別水源林造成事業規模

4. 解析対象地及び森林資源

4.1 宮川村の地理及び森林

宮川村は中勢南部に位置し、東西 30.5Km、南北 14.8Km に広がり、総面積 30,754ha と県内随一の広さを持つ。南西から北東方向へとほぼ対角線状に流れる宮川を境として急峻な山峰が連なっており（最高峰：1,660m）、特に北側の部分ではその広がり大きい典型的な峡谷型の地形を呈している（図-10、11）。全域にわたって地形は急峻で、数値地形図(10m メッシュ)を用いた解析によると、平均傾斜は 42%を超えている。紀伊半島沿岸を北流する暖流の影響もあり年平均気

温は 15 度前後と比較的温暖で、積雪を見ることは稀である。村内の年平均降水量は約 2,400mm であるが、地域により著しい差があり全国でも有数の多雨地帯である大台ヶ原地区では 5,000mm に達する年もある。道路交通に関して、本村の公道整備水準は極めて悪く、幹線道路である県道大台ヶ原線が大台町佐原の国道 42 号線から分岐して宮川沿いに村内を大杉谷まで縦走しているにすぎない。地域外への峰越え道路として、宮川沿いの国道 422 号線から分岐した 2 路線及び国有林林道と連結した 1 路線が存在している。



図-10 宮川村全図

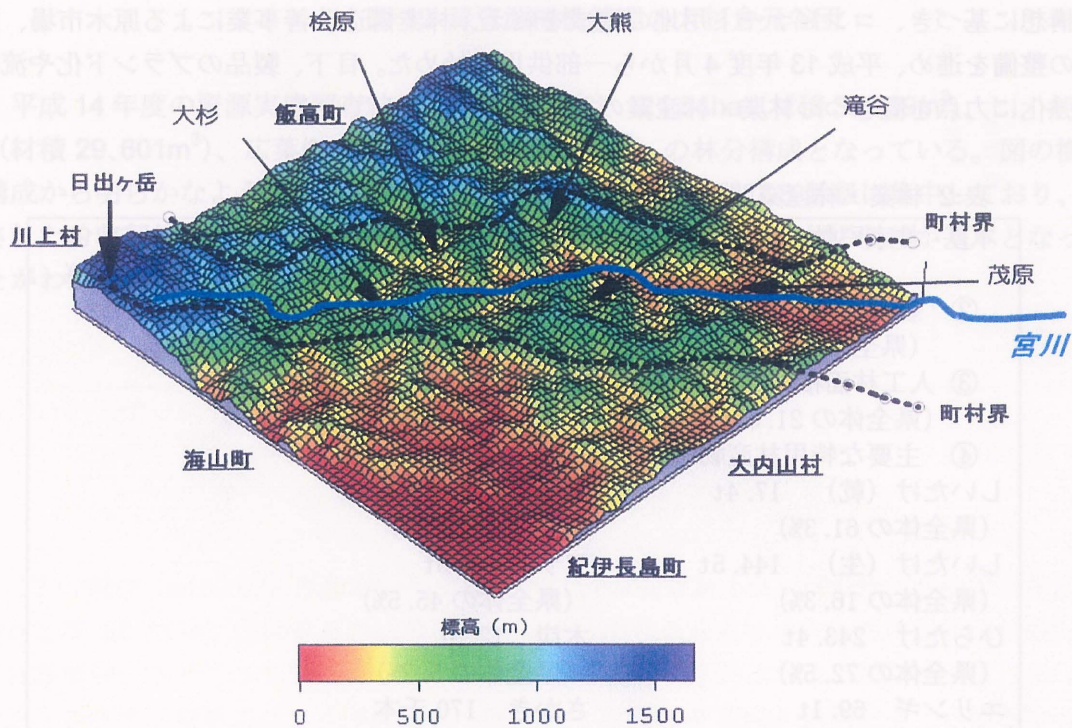


図-11 数値地形図から作成した宮川村全域の立体地形図

森林資源についてみると(表-1)、森林面積は30,754haで土地利用面積に占める割合(林野率)は97%に達している。宮川村での国有林率は19%(5,821ha)で、県内でも指折りの国有林占有率を示している。民有林の人工林率は56%(13,221ha)と近隣の市町村と比べて比較的低い値を示しているが、これは大杉谷地域を含めて天然林(10,118ha)が広く村内に残されているためである。人工林の樹種別植栽面積は、スギ:59.3%(7,840ha)、ヒノキ:39.1%(5,169ha)となっている。人工林全蓄積の67.8%を占めるスギの平均蓄積は188.5m³/haとなっているが、ヒノキを含む人工林の平均蓄積は132.9m³/haで、県平均167.8m³/haの8割程度の水準である。なお、人工林の齢級構成別の面積率は5-6 齢級が全体のほぼ40%を占めている。

表-1 森林資源状況(単位:ha)

森林面積	森林計画対象面積(ha)				国有林	林野率(%)	人工林率(%)
	民有林						
	人工林	天然林	その他	計			
30,754	13,221	10,118	356	23,695	5,821	97	56

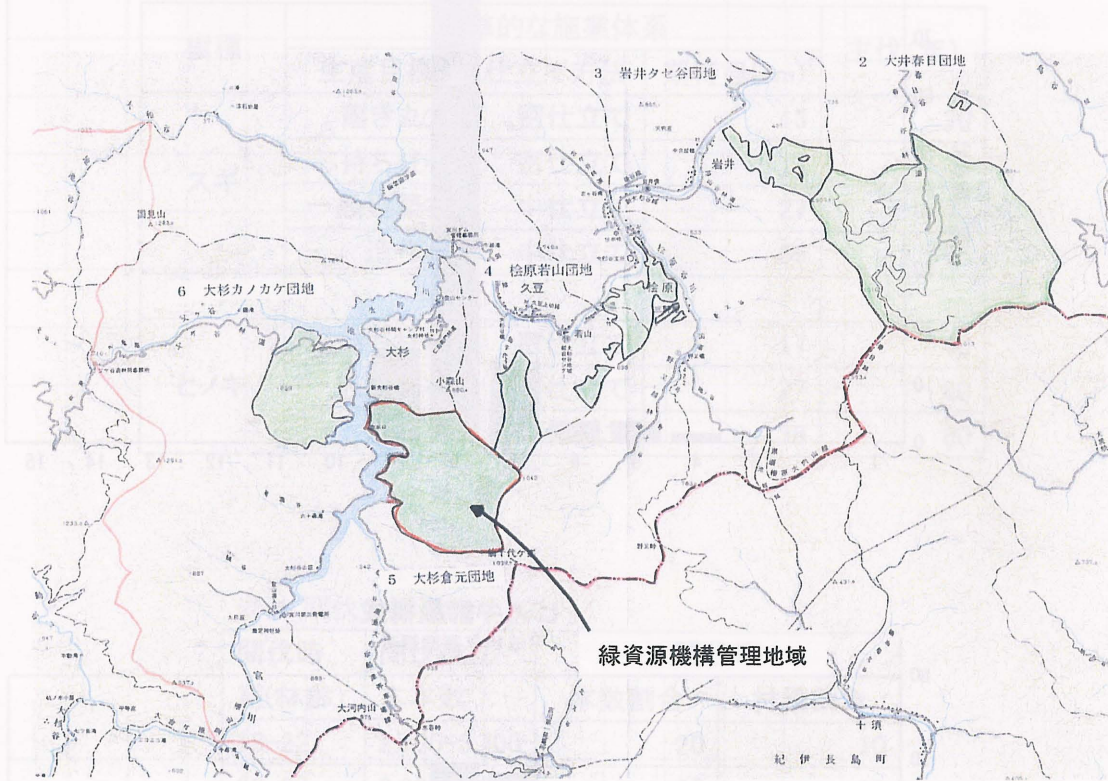
三重県松阪地方県民局管内の宮川・櫛田川両流域の森林林資源の蓄積量は、県全体の23%に当たる12,561千m³を占め、その年間成長量は219千m³に達している。特に、奈良県に接する飯高町西部を中心とした地域は、県下有数の優良林業地帯を形成し、「波瀬林業」として全国的に有名である。櫛田川下流の松阪市は昔から海運を利用した木材集散地として栄えており、現在は原木市場を抱え、国産材を加工する製材工場も多く全国屈指の国産材生産地として地域経済に占める比重は高い。しかし、近年の木材産業の構造的不況は当地域にも及んでおり、森林資源の有効活用と木材の流通・加工の近代化を図ることが急務となっている。このため、松阪木材コンビナート構想に基づき、コンビナート用地の造成を終え、林業構造改善事業による原木市場、製材施設等の整備を進め、平成13年度4月から一部供用を始めた。目下、製品のブランド化や流通販売面の強化に力点を置きつつ林業・林産業の再生を図ろうとしている。

表-2 林業・林産業関係の主要統計数字

① 林家戸数	18,708戸	1ha以下の山林保有林家	62.9%
		50ha以上	0.9%
② 森林面積	78,073ha	林野率	75.5%
	(県全体の20.9%)		
③ 人工林面積	50,228ha	人工林率	64.3%
	(県全体の21.6%)		
④ 主要な特用林産物			
しいたけ(乾)	17.4t	ぶなしめじ	368.8t
	(県全体の61.3%)		県全体の89.3%
しいたけ(生)	144.5t	ワサビ	0.5t
	(県全体の16.3%)		(県全体の45.5%)
ひらたけ	243.4t	木炭	12.5t
	(県全体の72.5%)		(県全体の5.2%)
エリンギ	69.1t	さかき	170千本
	(県全体の100%)		(県全体の61.8%)

4.2 緑資源機構管理大杉倉元谷団地森林

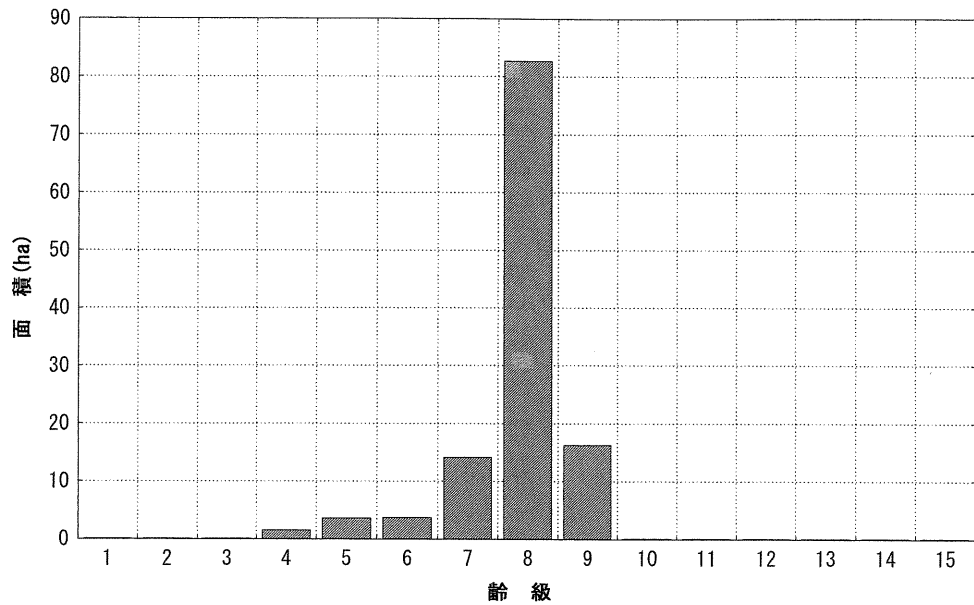
解析対象森林は、三重県多気郡宮川村の緑資源機構管理の大杉倉元谷団地（所在地名：宮川村大杉倉元谷 497-4、森林所有者：大杉谷生産森林組合、地上権設定部分面積：305.55ha、）の一部（143 林班：面積約 250ha）である。



図・12 緑資源機構管理の大杉倉元谷団

平成 14 年度の資源実態調査結果によると、スギ 121.84ha（材積 36,909m³）、ヒノキ 148.65ha（材積 29,601m³）、広葉樹 92.03（材積 10,786m³）の林分構成となっている。図の樹種別年齢構成から明らかなように、スギ、ヒノキともそのほとんどが 7-8 齢級に集中しており、当初設定された分収契約の伐期に近づきつつあるが、現在のところ間伐主体の収穫が基本となっていることがわかる。

スギ齢級構成
平成14年実態調査



ヒノキ齢級構成
平成14年実態調査

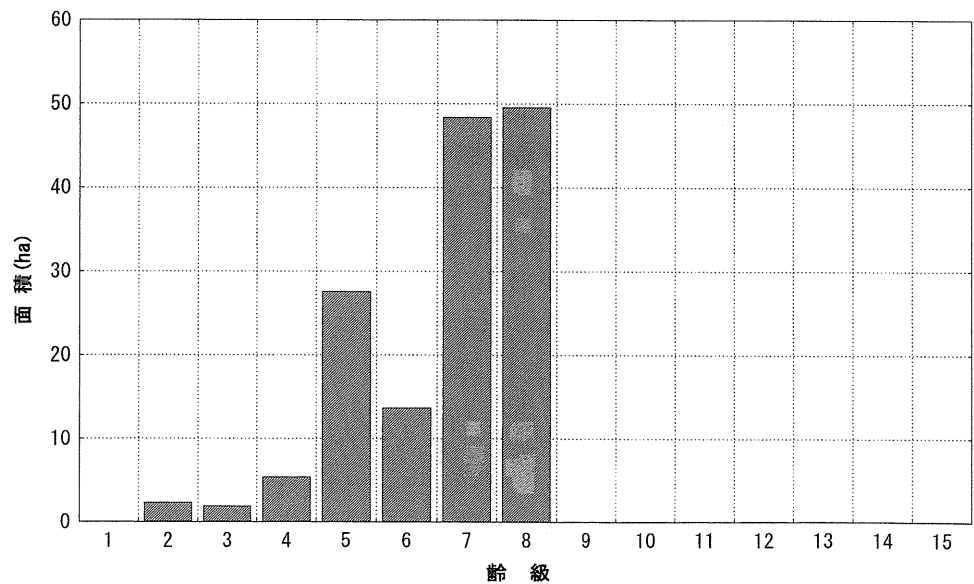


図-13 スギ及びヒノキの齢級構成

当該団地森林の造成は、地上権設定の行われていない一部地域（60.08ha）を除いて、大杉倉元谷団地の所有者である大杉谷生産森林組合と緑資源機構との2者契約で昭和38年より開始されている。宮川村流域における従来の標準的な施業体系では、スギ、ヒノキの一般建築材生産を目的とする場合、主伐期は45-60年が設定され当初の分収契約もこれに準拠したものとなっていたが、最近の木材需要や材価、生産費等の厳しい状況を反映して伐期の延長やこれに伴う契約の

見直し等の対策が講じられつつある。いづれにしても「人工林の長伐期育成循環型施業」等の森林施業・管理計画の具現化が早急に求められる状況にある。

表-3 宮川流域の人工林の標準的施業体系

樹種	標準的な施業体系			主伐(年)
	生産目標	仕立て方法	期待径(cm)	
スギ	磨き丸太	密仕立て	13	20
	芯持ち柱材	密仕立て	17	35
	一般建築材	中仕立て	27	45
	造作材	中仕立て	36	75
ヒノキ	芯持ち柱材	密仕立て	17	40
	一般建築材	中仕立て	27	60
	造作材	中仕立て	36	80

表-4 間伐の標準的な方法

間伐時期(林齢)	間伐後立木本数	間伐率	
		本数割合	材積割合
18-22	2,700-3,700	20	10
23-27	2,000-2,800	25	13
28-32	1,500-2,100	25	15
33-40	1,100-1,600	25	18

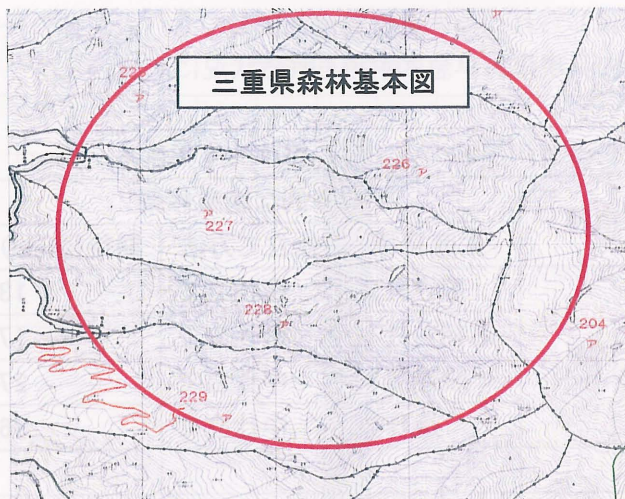
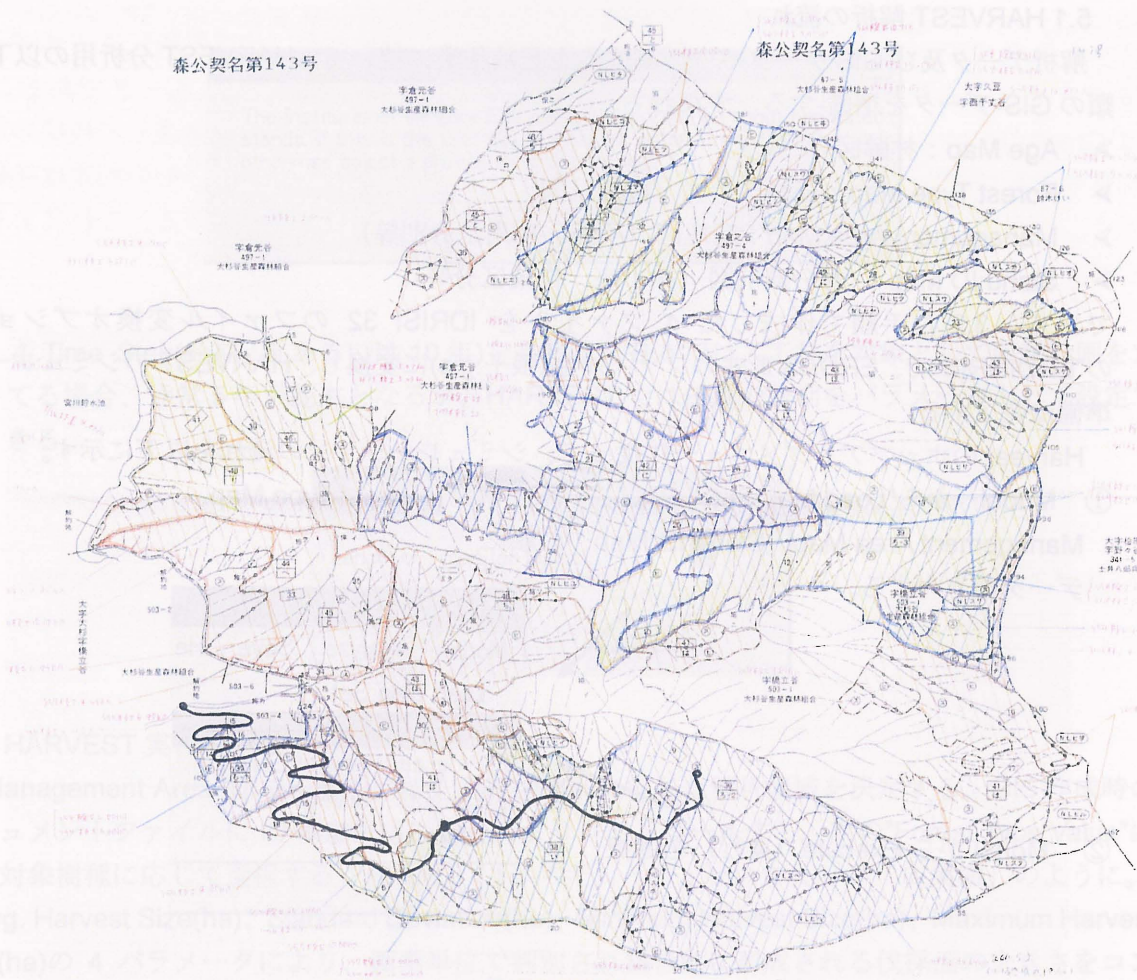


図-14 解析対象地を含む森林基本図と緑資源機構の経営管理図(1/5,000)



図・15 当該地域の標準的な人工林施業体系に従った緑資源機構管理森林の作業履歴図（保育履歴：下刈り・つる切り・除伐・枝打ち、間伐、林道・作業道）

5. 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、三重県の森林基本図（縮尺：1/5,000）と森林簿、上記の津水源林整備事務所管内の事業地経営図（縮尺：1/5,000）及び森林現況簿（末尾に添付）、DTM 解析用として国土地理院の数値地図（50m メッシュ）、カラー航空写真等を用いた。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入出力機能を持つ 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。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。一方、ラスターデータについては、数値地図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。

5.1 HARVEST 解析の流れ

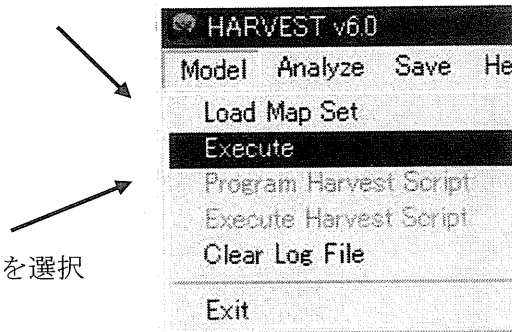
解析データ及び GIS データベース編成の上記前作業に続いて、HARVEST 分析用の以下の 4 種類の GIS-データを準備-する。すなわち、

- Age Map : 林齢図
- Forest Type Map : 森林タイプ (樹種) 図
- Management Area Map : 管理図 (所有、利用区分別等)
- Stand ID Map : 林分識別図 (林小班、作業区分等)

である。3.2.の手順で作成した 4 ファイルを IDRISI 32 のファイル変換オプション機能の"ERDIDRIS"で、ERDAS 形式のファイル(拡張子.gis)に変換し、HARVEST のシミュレーション準備は完了する。

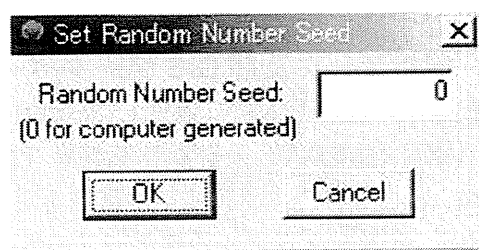
Harveat のポップアップメニューに従って、シミュレーションの流れを以下に示す。

- ① Model から"Load Map Set"を選択し、Age Map、Forest Type Map、Management Area Map、Stand ID Map の順にデータを入力する。

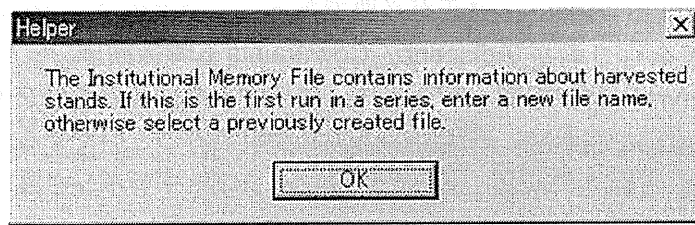


- ② Model から Execute (実行) を選択

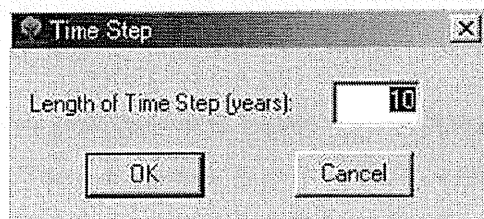
- ③ GIS データ領域から設定した条件に適う伐採地点 (画像の画素単位 : 8.8m x 8.8m/ 0.007ha) を抽出するための探索スタート画素をコンピュータの中で乱数を発生させて決定する(通常は default 値/0)



- ④ 設定する Harvest parameters を記憶するためのメモリーファイルを作成する。OK をクリックして Memory File 名を入力。このファイルを一度作成しておけば、引き続いて同一森林を対象としたシミュレーションを行う場合、このメモリーファイルを呼び出して前回の最終結果に追加的に分析が行える。



- ⑤ 4. Time Step(分期 : 5 あるいは 10 年)を与える。日本では人工林を対象として収穫計画を立てる場合、通常 5 年が基本となるが、HARVEST では任意の分期をパラメータとして設定できる。



⑥ HARVEST 実行パラメータ

“Management Area ID”で、管理区域や所有主体別に応じた解析領域を決定する。GIS 作成時のドキュメントファイルに ID 欄を設けることによりコントロールする。次の“Forest Type Value”は解析対象樹種に応じて選択する。例えば、「1 : スギ」、「2 : ヒノキ」、「3 : 広葉樹」のように。

Avg. Harvest Size(ha)、Standard Deviation(ha)、Minimum Harvest Size(ha)、Maximum Harvest Size(ha)の 4 パラメータにより、画素単位で判別され集散的に形成される伐採面の大きさをコントロールする。

次の“Dispersion Method : 分散方式”の指定パラメータは、上記の伐採面の大きさのコントロールに対して、空間的な配置や分布を調整する。すなわち、パッチ形成に関係する。現状の林相や林分、目標とする森林モザイク構造を念頭に、「分散型」、「クラスタ型」、「グループ型」から選択する。ただし、人工林を対象とするような場合、通常“Dispersed”が一般的である。

“Oldest First”のパラメータのチェックは、伐採順位を考慮するかどうかを決定するもので、伐期に達している複数の林分、あるいはサイトがある場合、「チェックあり」で、高齢林分から順次伐採されることを意味する。シミュレーションを実行するときは Harvest、次の分期に移行するときは Go To Next Timestep、収穫該当個所を確認するときは Update Maps、Exit で終了。終了後に、シミュレーション結果である Age Map に名前を付けて保存する。

“Minimum Age Allowable Harvest(yrs)”は、最小許容伐期齢を与える。この例では、「80 年」を設定しているが、間伐や択伐が実行される場合には、主伐（終伐）齢とは必ずしも一致したいのでこのパラメータの設定は重要となる。同様に、Minimum Time Since Last Harvest(yrs)は、前回の伐採からの回数を与えるもので、天然更新を前提とするような森林施業の場合（通常、回帰年と呼ばれるが）問題となる。次の 3 つのパラメータのグループは、分期あるいはシミュレーション期間の全収穫量を規整するもので、樹種ごとの伐際率、利用率、目標収量を設定する。ただし、このパラメータは他のパラメータ、例えば、伐採面に関するもの、分散方式等と自動的に連動している。従って、任意の大きさの指定は一部制限される。この制限を解除するためには、HARVEST

プログラム（言語は FORTRAN）の修正が必要である。隣接林分（伐採箇所）や河畔域への保護バッファの設定を行うのが“Adjacency Constraints：隣接制限”パラメータである。前者は“Green Up Interval(yrs)”：緑被期間：年”として、隣接する林分への影響を考慮して伐採の可否を判定するもので、新植地や弱齢林の周囲での伐際を制限することができる。その判定は林齢から行う。後者は対象とする森林タイプにメータ単位でバッファラインを設ける。これにより、パッチのエッジ効果やフラグメンテーションをコントロールする。

最後の4つのスイッチは、それぞれ以下の機能を持っている。

[Harvest]：該当する条件下での一回のシミュレーションを実行

[Go To Next Time step]：次の分期への移行スイッチ。その後、上記の[Harvest]を実行する。予測期間中をこの繰り返しで実行する。

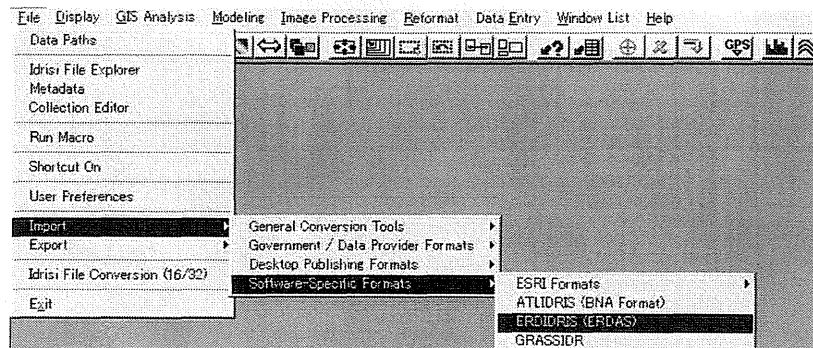
[Update Maps]：シミュレーション段階（あるいは、分期）ごとの伐採箇所の確認、地図化を行う。この過程で下記の“Analyze”のメニューを選択してパッチ分析が可能である。

[Exit]で Harvest のシミュレーションを終了する。終了後に、シミュレーション結果である Age Map に名前を付けて保存する。

5.2 IDRISI32 による HARVEST の出力結果の図化とパッチ分析

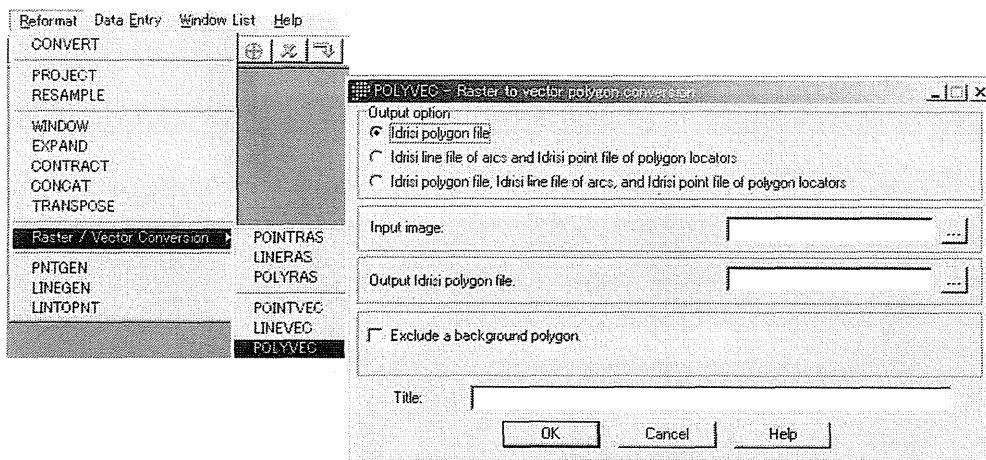
① HARVEST によるシミュレーションで出力される齢級図(Age Map)を GIS ソフトである IDRISI32 に Import することで、パッチの空間構造に関する詳細な評価が可能となる。ただし、

HARVEST の[Update Maps]により出力される齢級図は、ERDAS 形式のファイル(拡張子.gis)で出力されるのでそのままのファイル形式では処理することができない。従って、IDRISI32 のファイル変換機能を使って読み込みが可能なファイル形式へと行って行く。

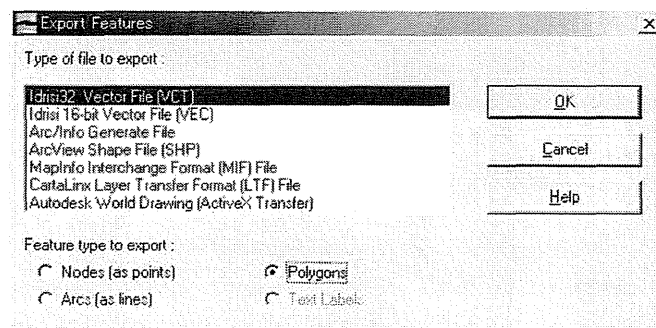


②. ラスター形式のデータをベクター形式に変換

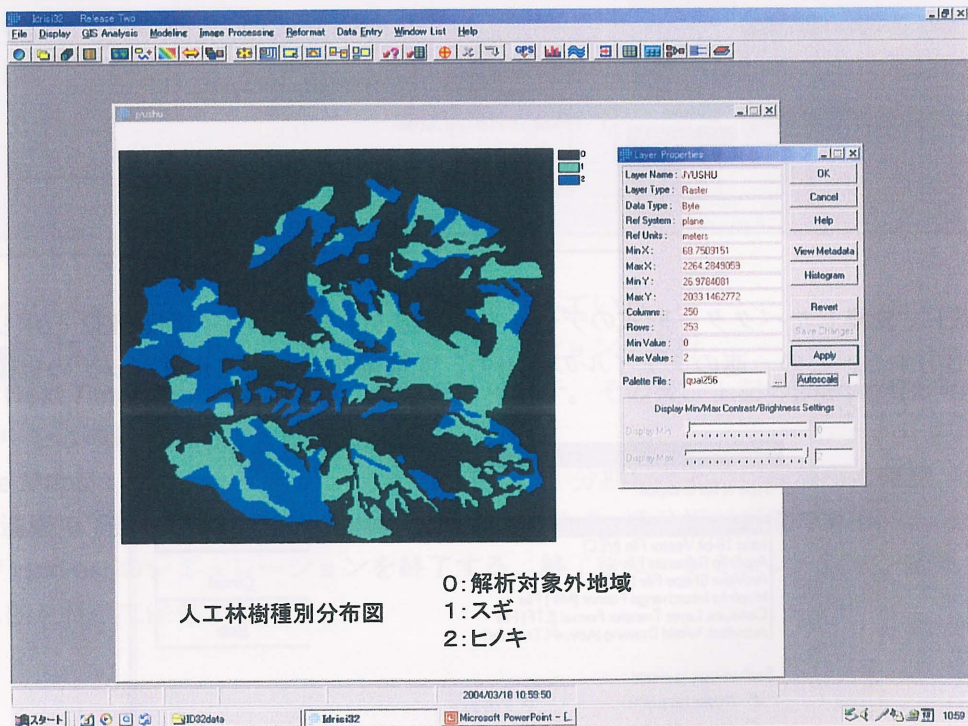
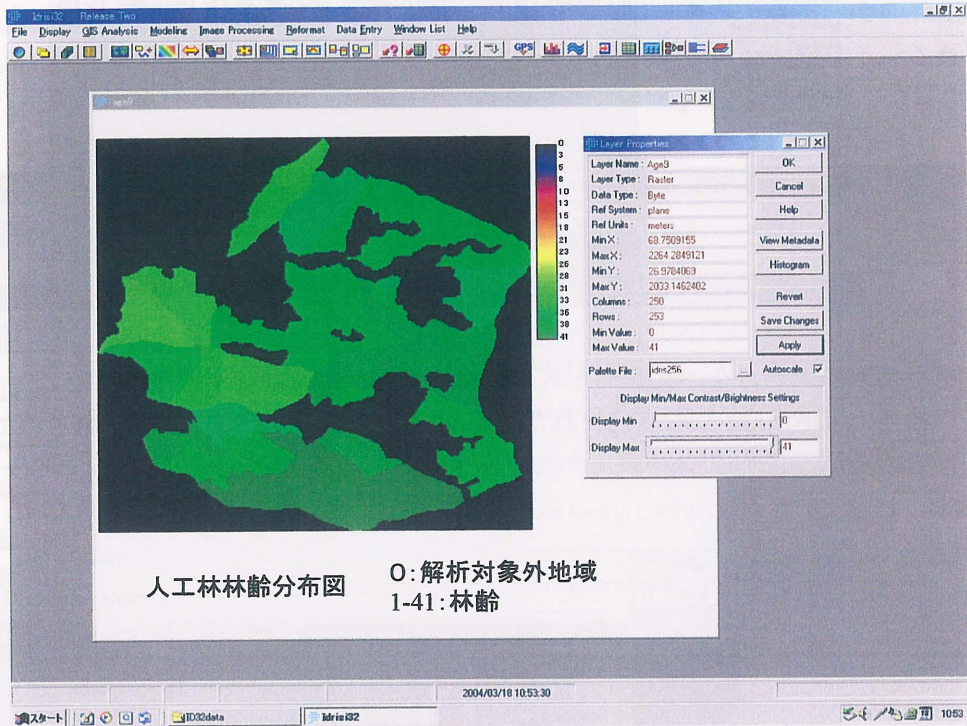
上記の操作で IDRISI32 に取り込まれた齢級図は、ラスターデータ形式であるので、線形処理が可能となるようにベクターデータに変換される。以下のポップアップメニューにその流れを示す。

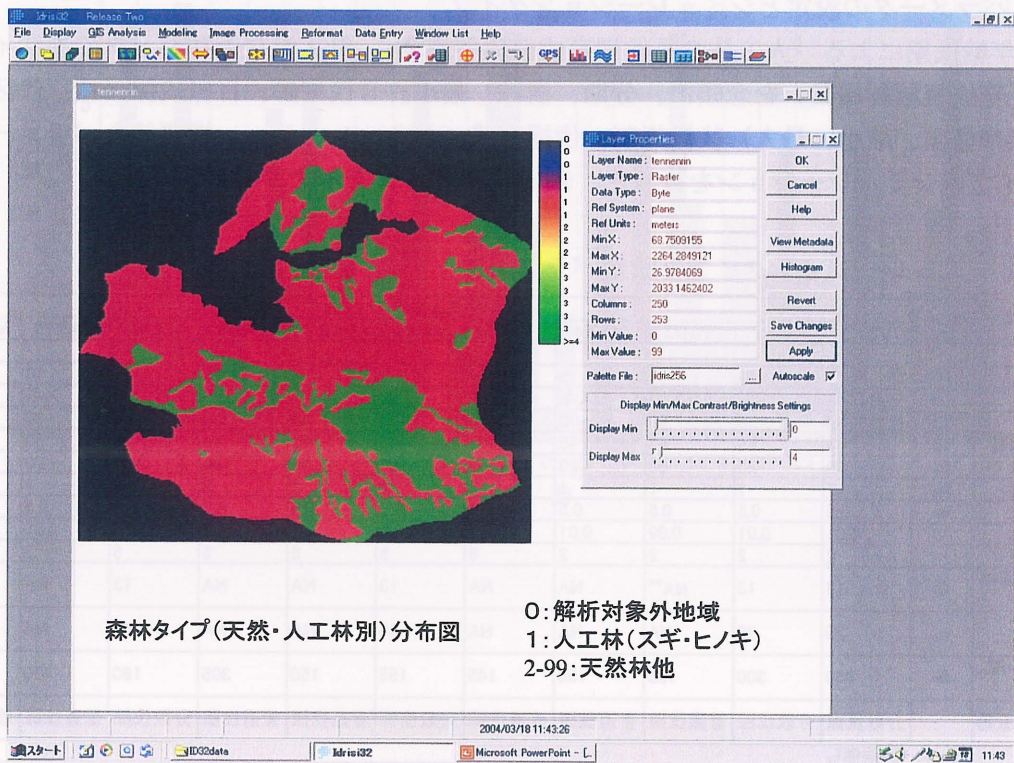
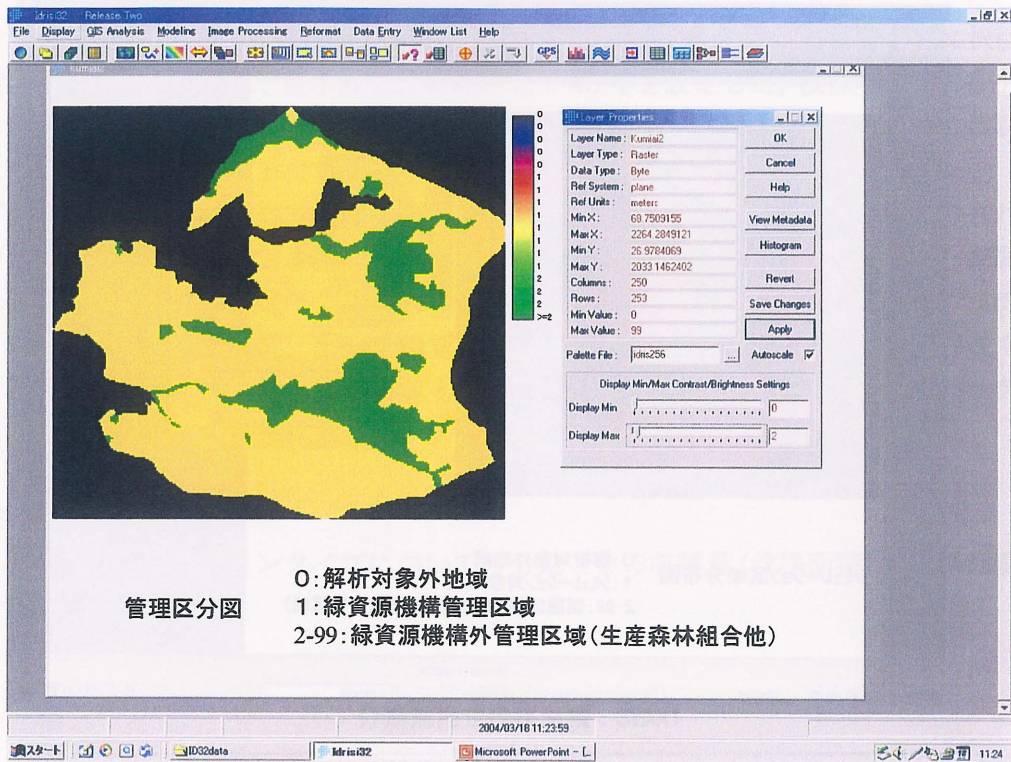


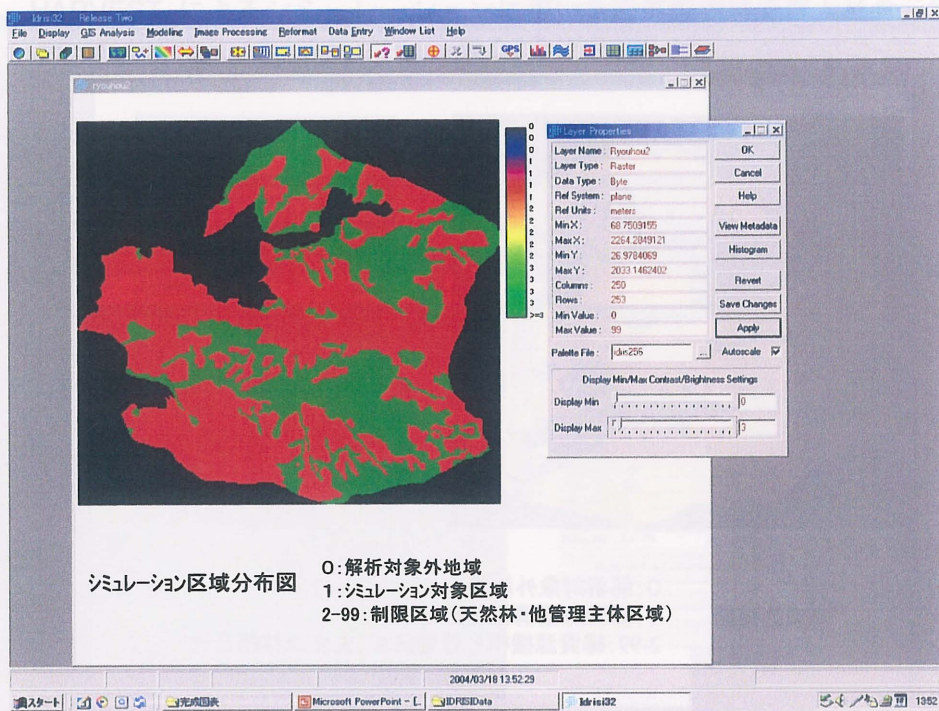
③ 最後に、変換したベクター形式のデータを CartaLinx で取り込み IDRISI32 へポリゴンとして再出力する。この一連のファイルの入出力、変換操作を行って森林パッチの自動解析を行うことができる。



以下に、HARVEST によるシミュレーションに用いた緑資源機構管理大杉倉元谷団地森林の GIS-データを示す。







6. HARVEST による長伐期施業を想定したシミュレーション

6.1 パラメータの設定とシミュレーションタイプ

80年輪伐期による「人工林の長伐期育成循環型施業」、針広混交森林パッチのモザイク構造による「育成複層林施業」を念頭に、分期、樹種、最小許容伐期齢、目標伐採面積、伐区面積（平均、標準偏差、最小、最大）伐採規制、伐採方式、シミュレーション期間等をパラメータとした12タイプのシミュレーションを行った。表-5にその一覧を示す。

表-5 シミュレーションタイプと設定パラメータ

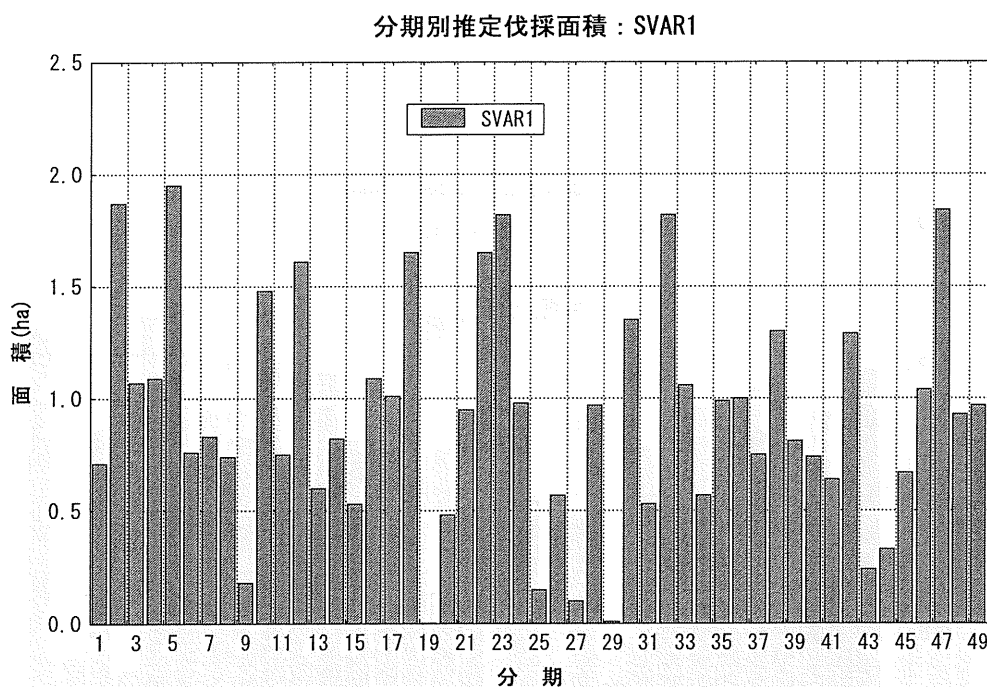
パラメーター	単位	シミュレーション・タイプ											
		VAR1	VAR2	VAR3	VAR4	VAR5	VAR6	VAR7	VAR8	VAR9	VAR10	VAR11	VAR12
①: 分期	年	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	10	10
②: 樹種		スギ	スギ	スギ	スギ	スギ	スギ	ヒノキ	ヒノキ	ヒノキ	スギ	スギ	スギ
③: 輪伐期	年	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
④: 最小許容伐期齢	年	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	80
⑤: 目標伐採面積	ha	50	25	50	25	100	100	50	100	100	20	50	20.6
⑥: 平均伐区面積	ha	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2
⑦: ⑥の標準偏差	ha	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
⑧: 最小伐区面積	ha	0.01	0.01	0.09	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.01	0.01	0.09
⑨: 最大伐区面積		2	2	2	2	5	5	5	5	5	2	2	5
⑩: 伐採規制(隣接林分との緑被期間)	年	13	13	NA**	NA	NA	13	NA	NA	13	NA	NA	NA
⑪: 隣接林分へのバッファー	m	25	25	NA	NA	NA	25	NA	NA	50	NA	NA	NA
⑬: シミュレーション期間	年	250	300	155	150	145	155	150	305	180	300	290	200
⑭: その他(伐採方式等)		分散伐採	分散伐採	普通伐採	普通伐採	普通伐採	分散伐採	普通伐採	普通伐採	分散伐採	普通伐採	普通伐採	普通伐採
備考		NA**: 制限無し											

ここでは分収契約上の最低収穫量の確保を目的として、主伐 80 年に至るまでの間に択伐的に伐採が可能になることを前提に、最小許容伐期齢として 45 年を設定した。伐採パッチの配分には既設林道・作業道からの到達距離は考慮せず伐採後すぐに更新されるものとした。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）を参考に決定した。

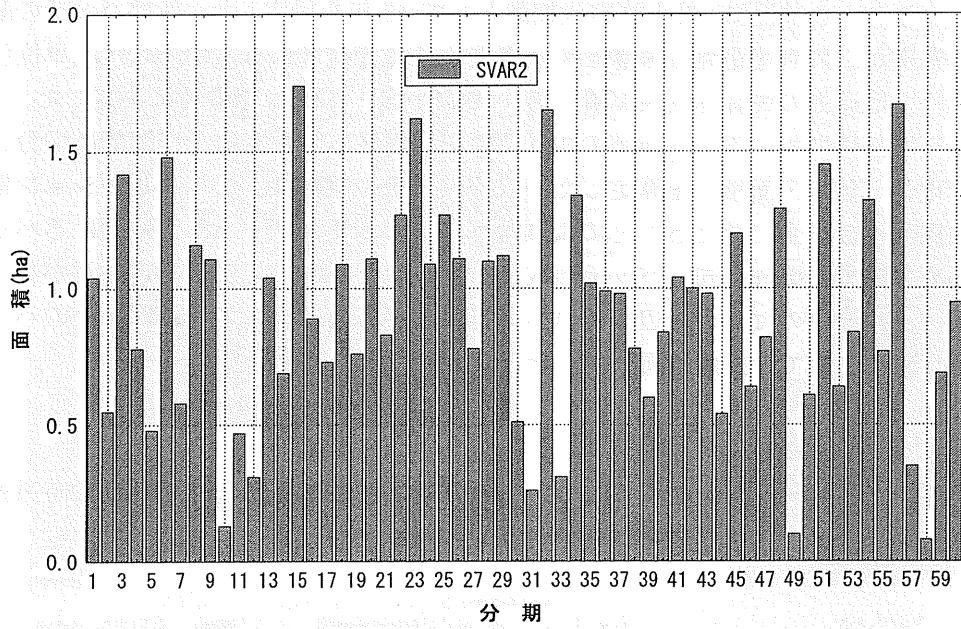
収穫可能区域面積に対する伐採面積の相互関係を検討するとともに、空間的に配分された伐採パッチの変化量（個数・面積）を算定した。伐採パッチの個数は、シミュレーション期間中に配分された伐採パッチを全て数えることにより行う。なお、ラスターマップにおけるパッチ領域確定の際、斜め方向での接触を同一パッチ領域とするかしないかで 2 つの処理方法が存在する。ここでは、同一グループのセルの一辺が垂直もしくは水平方向に接していれば一つのパッチとみなすことにし、斜め方向での接触は同一パッチとは認めないこととした。

6.2 シミュレーション結果

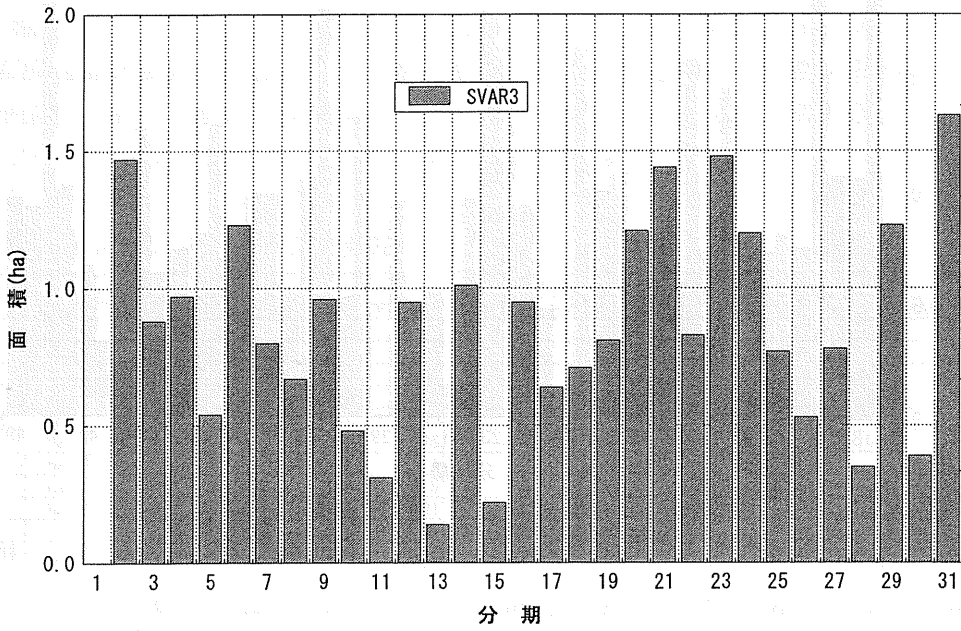
図-12 に各シミュレーションタイプについての分期ごとの収穫量（伐採面積）の時系列変化を、表-6 にその一覧を示す。



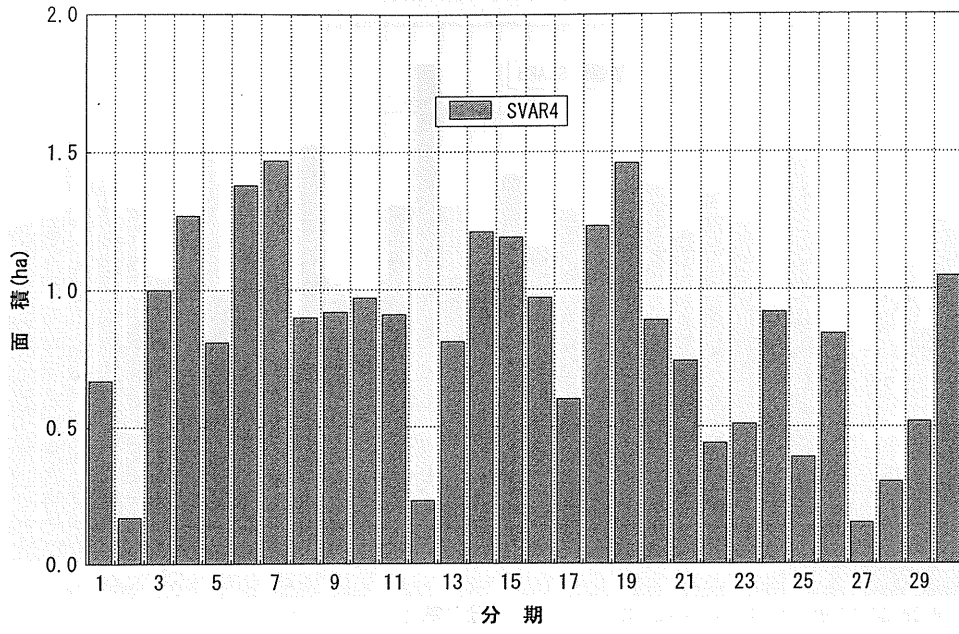
分期別推定伐採面積：SVAR2



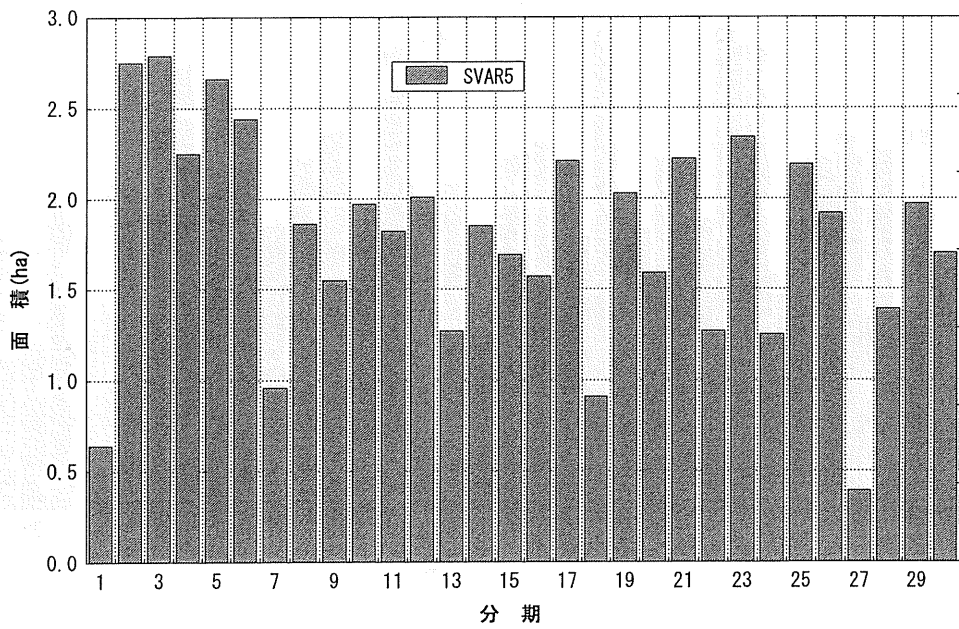
分期別推定伐採面積：SVAR3



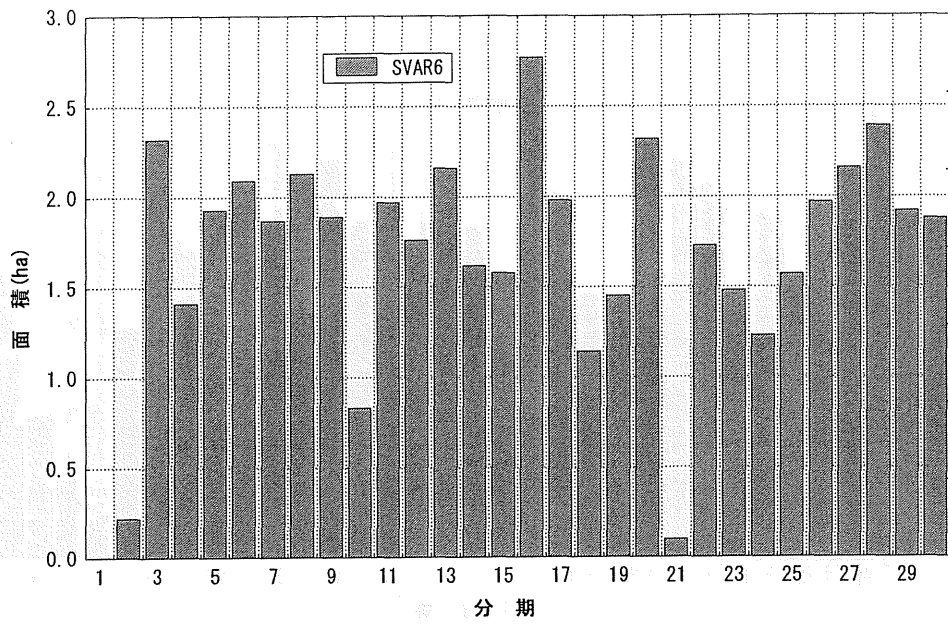
分期別推定伐採面積：SVAR4



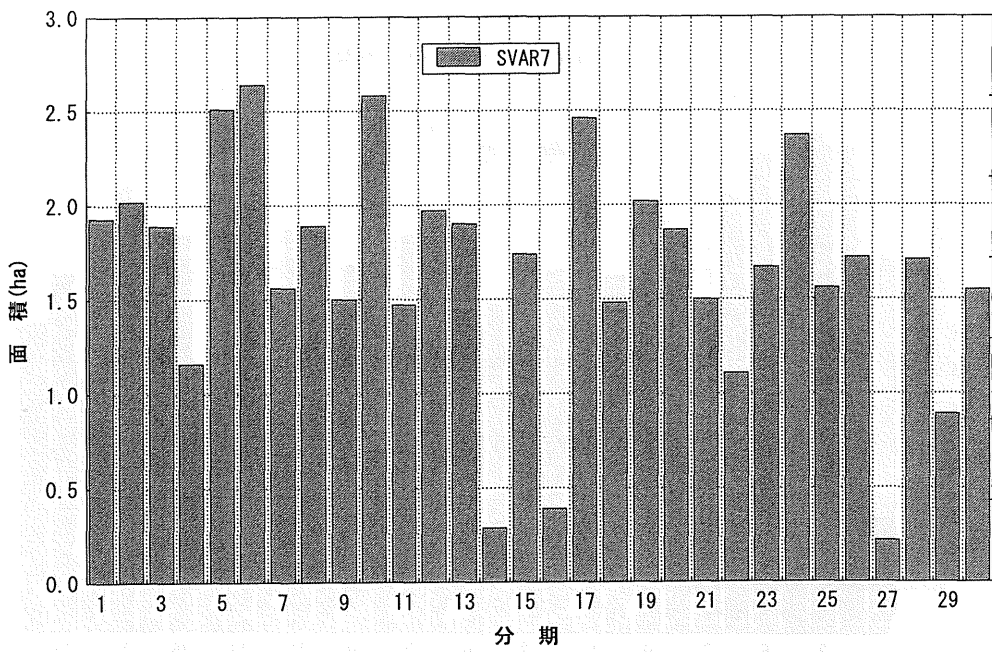
分期別推定伐採面積：SVAR5



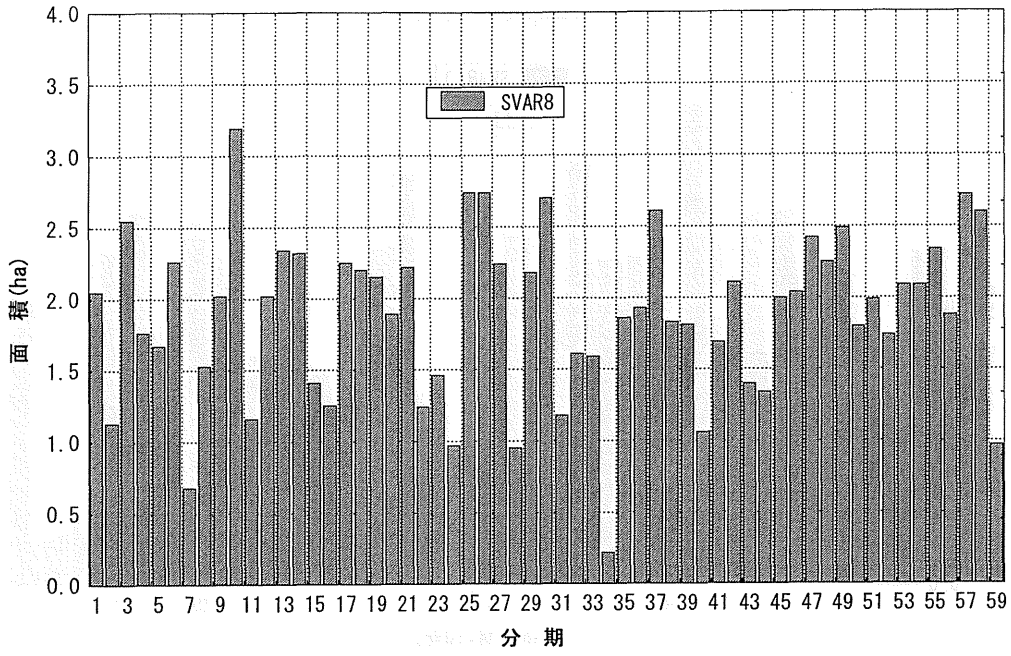
分期別推定伐採面積：SVAR6



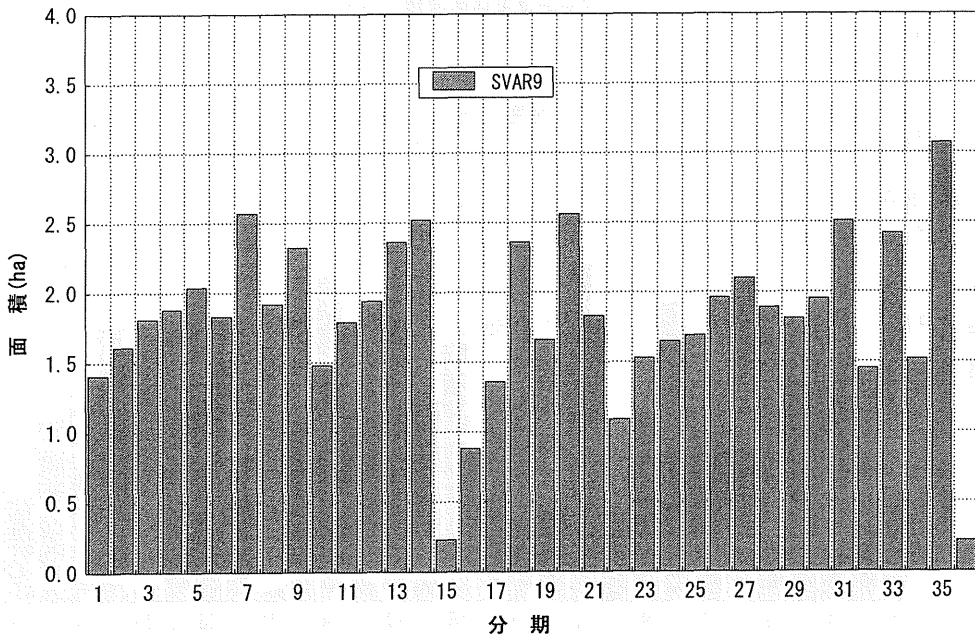
分期別推定伐採面積：SVAR7



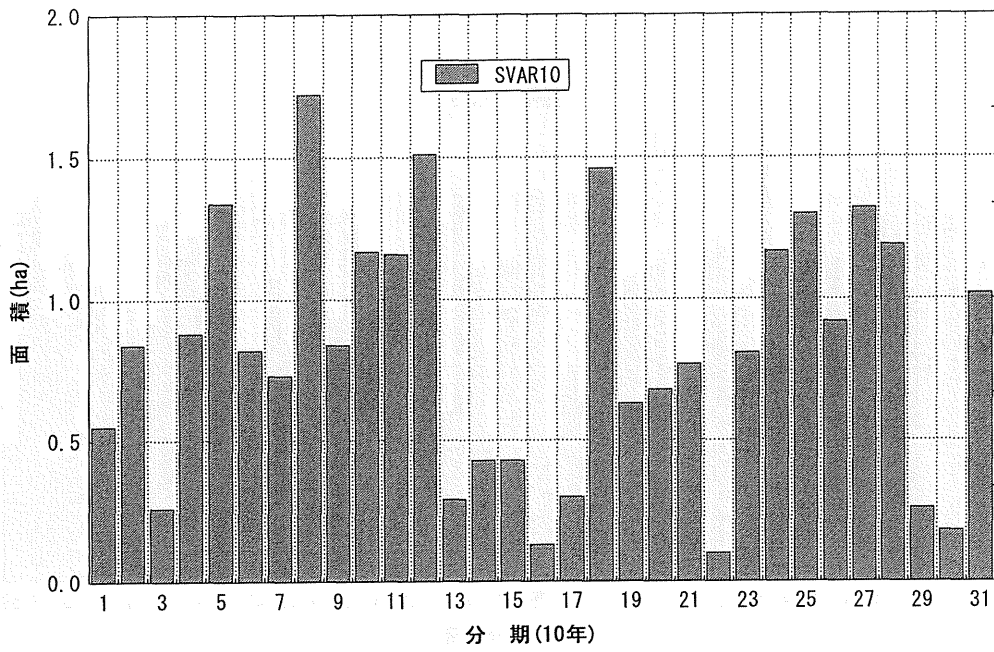
分期別推定伐採面積：SVAR8



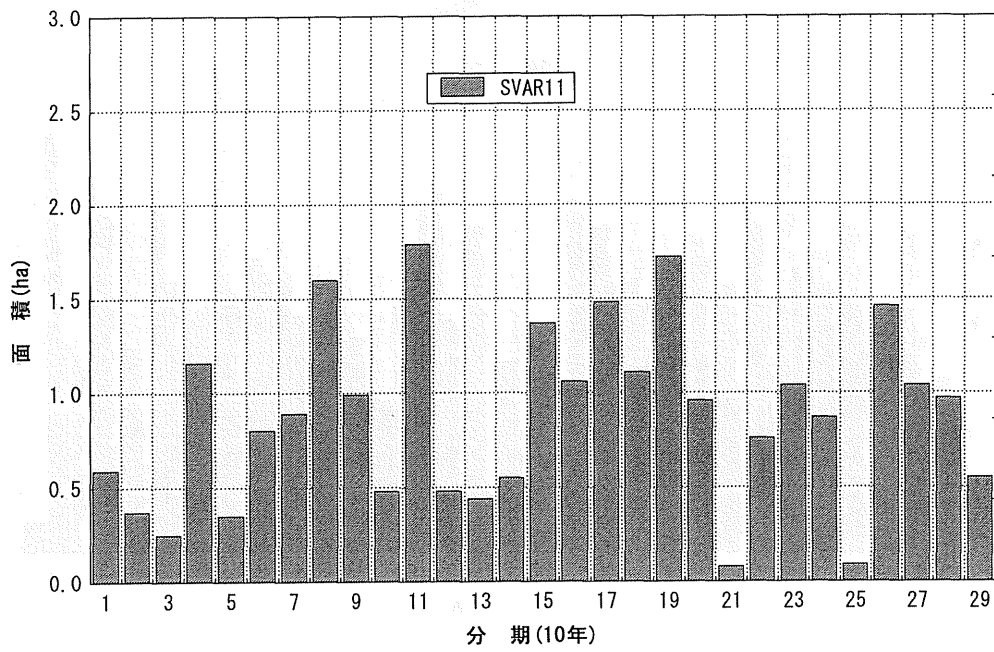
分期別推定伐採面積：SVAR9



分期別推定伐採面積：SVAR10



分期別推定伐採面積：SVAR11



分期別推定伐採面積：SVAR12

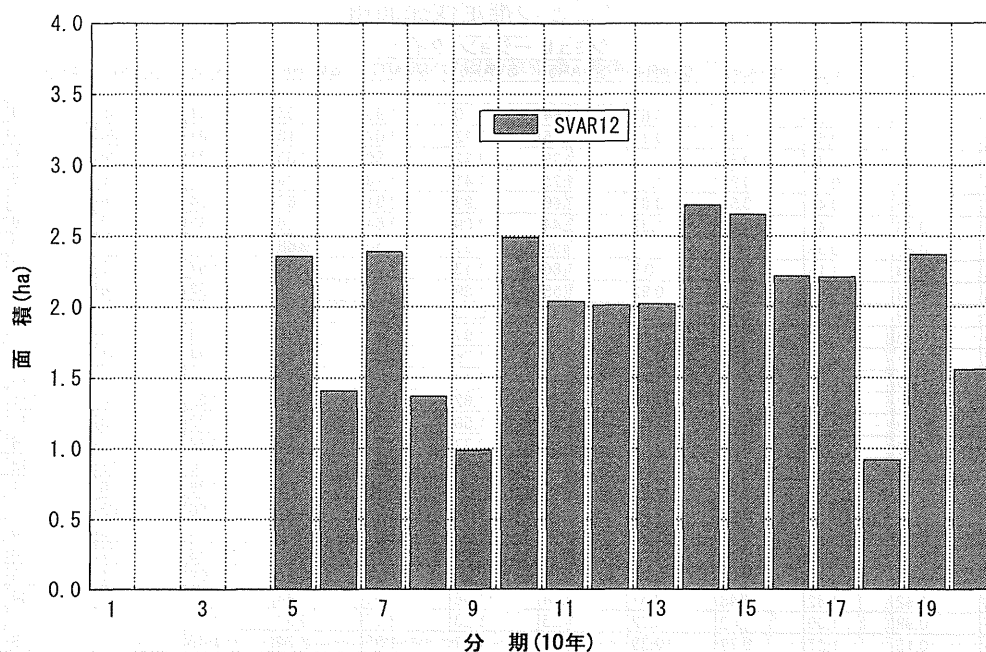


図-16 分期ごとの推定伐採面積

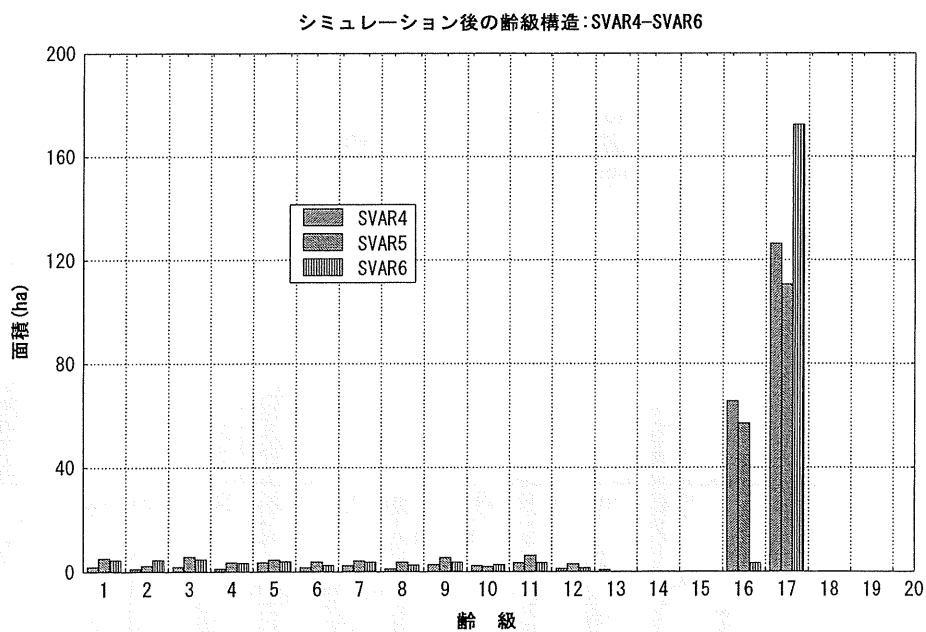
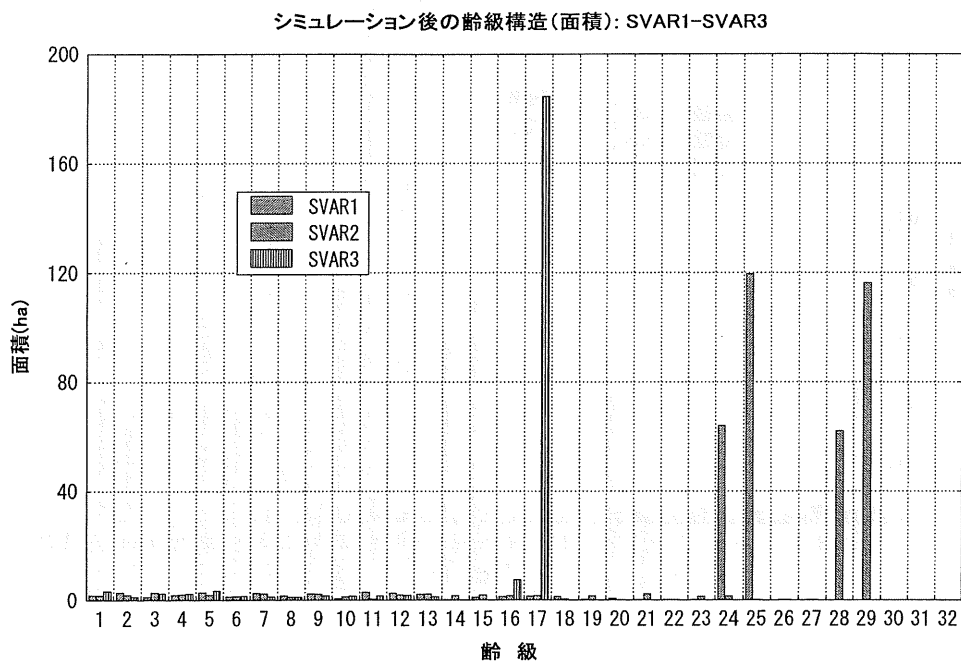
いずれのシミュレーションタイプも、全分期を通じて伐採収穫がほぼ一定して得られることを示している。しかし分期ごとの変動幅が見られることも事実である。分期ごとの推定伐採面積から、パラメータとして設定した単位伐採面の大きさに準拠した森林パッチが形成されたことが窺える。全分期間に設定した目標伐採面積については、ほとんどのタイプで確保が困難となる結果となった。この原因は、目標伐採面積と連動する単位伐採面（伐区）の大きさの設定に問題があったためである。すなわち、解析対象地の全面積に対する単位伐採面の大きさが相対的に小さすぎたためである。輪伐期のスパンを考えると、設定する伐採面を大きくすることで目標伐採面積が確保されることを意味する。ただし、この場合、伐採に伴い形成される個々のパッチの大きさが大きくなりモザイク構造が単純化することが懸念される。

表-6 シミュレーションタイプごとの推定伐採面積

分期	シミュレーション・タイプ											
	SVAR1	SVAR2	SVAR3	SVAR4	SVAR5	SVAR6	SVAR7	SVAR8	SVAR9	SVAR10	SVAR11	SVAR12
1	0.71	1.04	0	0.67	0.64	0	1.93	2.05	1.41	0.55	0.59	0
2	1.87	0.55	1.47	0.17	2.75	0.22	2.02	1.13	1.61	0.84	0.37	0
3	1.07	1.42	0.88	1	2.79	2.32	1.89	2.55	1.81	0.26	0.25	0
4	1.09	0.78	0.97	1.27	2.25	1.41	1.16	1.76	1.88	0.88	1.16	0
5	1.95	0.48	0.54	0.81	2.66	1.93	2.51	1.67	2.04	1.34	0.35	2.36
6	0.76	1.48	1.23	1.38	2.44	2.09	2.64	2.26	1.83	0.82	0.8	1.41
7	0.83	0.58	0.8	1.47	0.96	1.87	1.56	0.68	2.57	0.73	0.89	2.39
8	0.74	1.16	0.67	0.9	1.86	2.13	1.89	1.53	1.92	1.72	1.6	1.37
9	0.18	1.11	0.96	0.92	1.55	1.89	1.5	2.02	2.32	0.84	0.99	0.99
10	1.48	0.13	0.48	0.97	1.97	0.83	2.58	3.19	1.48	1.17	0.48	2.49
11	0.75	0.47	0.31	0.91	1.82	1.97	1.47	1.16	1.79	1.16	1.79	2.04
12	1.61	0.31	0.95	0.23	2.01	1.76	1.97	2.02	1.94	1.51	0.48	2.01
13	0.6	1.04	0.14	0.81	1.27	2.16	1.9	2.34	2.36	0.29	0.44	2.02
14	0.82	0.69	1.01	1.21	1.85	1.62	0.29	2.32	2.52	0.43	0.55	2.72
15	0.53	1.74	0.22	1.19	1.69	1.58	1.74	1.41	0.23	0.43	1.37	2.65
16	1.09	0.89	0.95	0.97	1.57	2.77	0.39	1.25	0.88	0.13	1.06	2.22
17	1.01	0.73	0.64	0.6	2.21	1.98	2.46	2.25	1.36	0.3	1.48	2.21
18	1.65	1.09	0.71	1.23	0.91	1.14	1.48	2.2	2.36	1.46	1.11	0.92
19	0	0.76	0.81	1.46	2.03	1.45	2.02	2.15	1.66	0.63	1.72	2.37
20	0.48	1.11	1.21	0.89	1.59	2.32	1.87	1.89	2.56	0.68	0.96	1.56
21	0.95	0.83	1.44	0.74	2.22	0.1	1.5	2.22	1.83	0.77	0.08	
22	1.65	1.27	0.83	0.44	1.27	1.73	1.11	1.24	1.09	0.1	0.76	
23	1.82	1.62	1.48	0.51	2.34	1.48	1.67	1.46	1.53	0.81	1.04	
24	0.98	1.09	1.2	0.92	1.25	1.23	2.37	0.97	1.65	1.17	0.87	
25	0.15	1.27	0.77	0.39	2.19	1.57	1.56	2.74	1.69	1.3	0.09	
26	0.57	1.11	0.53	0.84	1.92	1.97	1.72	2.74	1.96	0.92	1.46	
27	0.1	0.78	0.78	0.15	0.39	2.16	0.22	2.24	2.1	1.32	1.04	
28	0.97	1.1	0.35	0.3	1.39	2.39	1.71	0.95	1.89	1.19	0.97	
29	0.01	1.12	1.23	0.52	1.97	1.92	0.89	2.18	1.81	0.26	0.55	
30	1.35	0.51	0.39	1.05	1.7	1.88	1.55	2.7	1.95	0.18		
31	0.53	0.26	1.63					1.18	2.51	1.02		
32	1.82	1.65						1.61	1.45			
33	1.06	0.31						1.59	2.42			
34	0.57	1.34						0.22	1.52			
35	0.99	1.02						1.86	3.07			
36	1	0.99						1.93	0.22			
37	0.75	0.98						2.61				
38	1.3	0.78						1.83				
39	0.81	0.6						1.81				
40	0.74	0.84						1.06				
41	0.64	1.04						1.69				
42	1.29	1						2.11				
43	0.24	0.98						1.4				
44	0.33	0.54						1.34				
45	0.67	1.2						2				
46	1.04	0.64						2.04				
47	1.84	0.82						2.42				
48	0.93	1.29						2.25				
49	0.97	0.1						2.49				
50		0.61						1.8				
51		1.45						1.99				
52		0.64						1.74				
53		0.84						2.09				
54		1.32						2.09				
55		0.77						2.34				
56		1.67						1.88				
57		0.35						2.72				
58		0.08						2.6				
59		0.69						0.97				
60		0.95										

備考：SVAR10/SVAR11/SVAR12の分期は10年

次に、シミュレーションタイプごとの年齢構造を図-13 に示す。なお、各図は 3 タイプをセットとしてプロットしている。



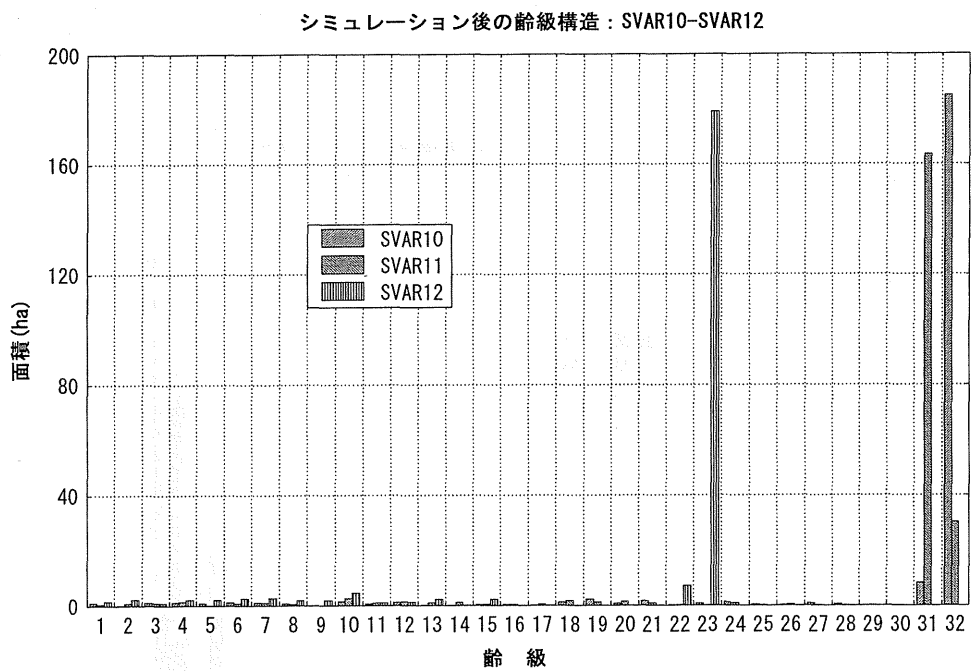
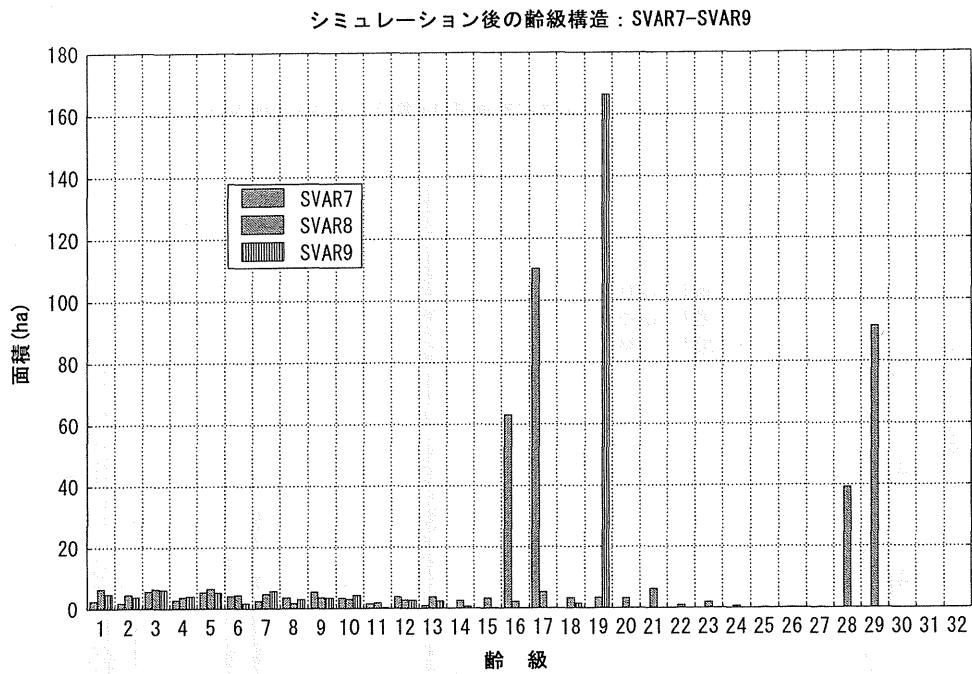
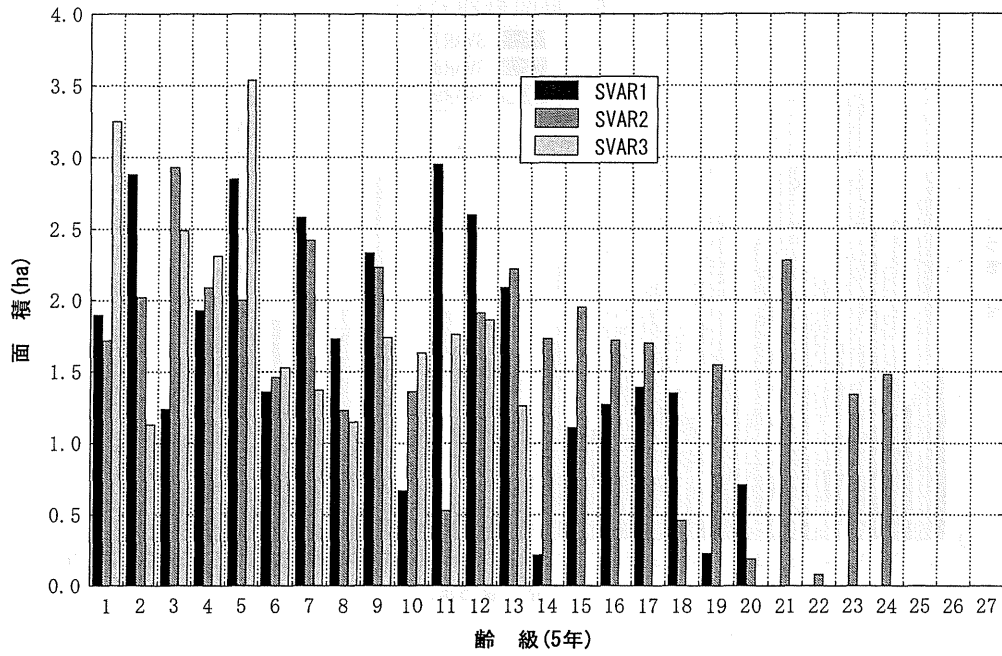


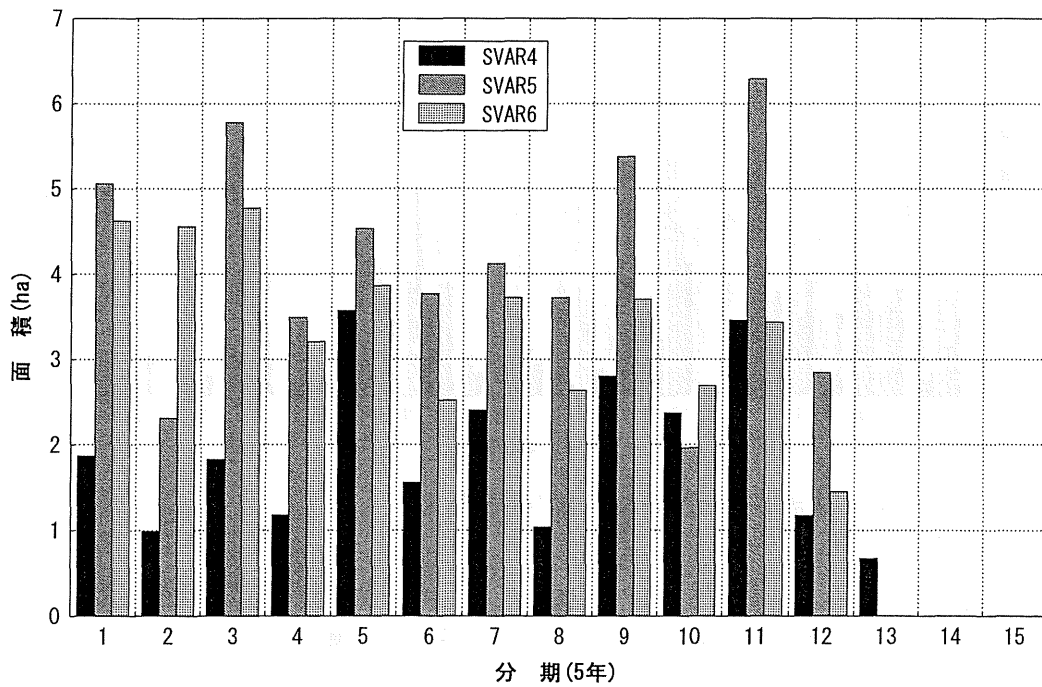
図-17 シミュレーション後の齢級構造

設定したシミュレーション条件では全分期を通した伐採量の確保がなされなかったため高齢級林分が集中的に残存する結果となった。図-17はそのような齢級構造の特徴を示している。そこで、残存する高齢級部分を除いて、シミュレーションによる伐採が行われた分期部分のみの齢級構造を比較したのが以下の図-18である。

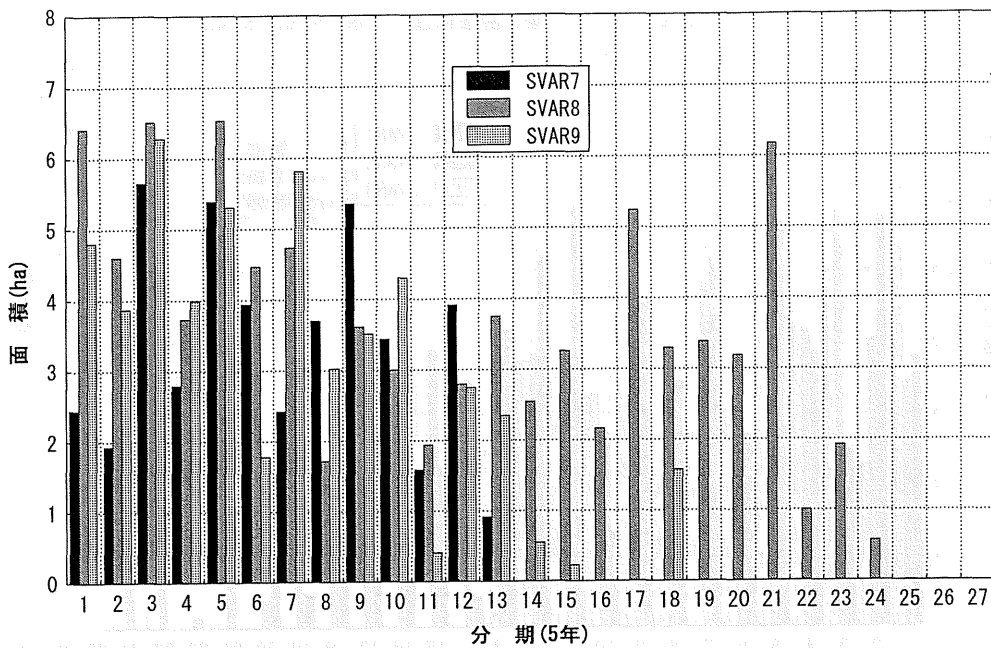
シミュレーション後の齢級構造：SVAR1-SVAR2-SVAR3



シミュレーション後の齢級構造：SVAR4-SVAR5-SVAR6



シミュレーション後の齢級構造：SVAR7-SVAR8-SVAR9



シミュレーション後の齢級構造：SVAR10-SVAR11-SVAR12

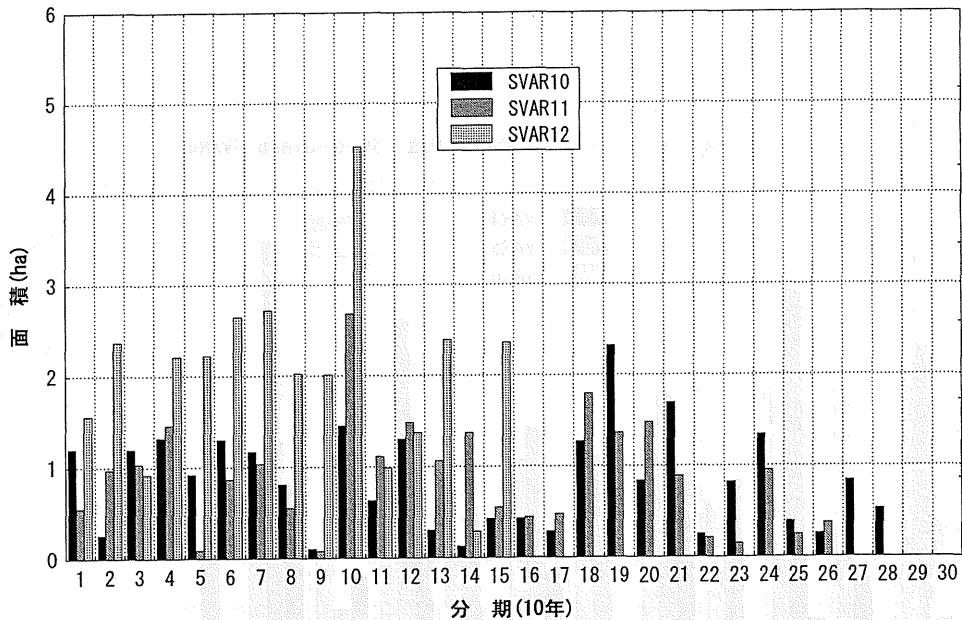


図-18 高齢級部分を除いた場合の齢級構造

図から明らかなように、いずれのシミュレーションタイプの場合も伐採後の面積分布の適正化が図られてくること、分期全体を通して法正的な林分構造（面積ベース）に漸近してることが確認される。

以上の結果から、伐採強度を一定水準まで高めることで長期的には林分構造の平準化が図られ

ることが類推される。ただし、この場合、できるだけ伐採箇所の分散を図って、大きな伐採パッチが形成されないように考慮する必要がある。

以下に HARVEST による分期ごとの伐採収穫面積・齢級分布・伐採パッチ分布の推定結果と最終分期の齢級分布図の出力結果を示す。シミュレーションの進行に伴い、パッチが分散的に形成され、しかも大小さまざまなパッチが出現して全域的にモザイク状の森林構造が現出されてきていることが理解される。

Simulation VAR1 H319Z1(1/0.5.0.01/2.0/45/25m)

HARVEST -- Session log
Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis
Map dimensions (rows x columns): 253 x 250
Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares
Total map area: 442.8 hectares
Total forested area: 217.0 hectares
Oldest age class (years): 45
Map loaded successfully.

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis
Map dimensions (rows x columns): 253 x 250
Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares
Total map area: 442.8 hectares
Largest Forest Type value: 2
Map loaded successfully.

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis
Map dimensions (rows x columns): 253 x 250
Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares
Total map area: 442.8 hectares
Largest Management Area value: 99
Map loaded successfully.

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis
Map dimensions (rows x columns): 253 x 250
Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares
Total map area: 442.8 hectares
Largest stand ID value: 1
Map loaded successfully.

YEAR = 1 - 5
Management Area ID: 1
Forest Type value: 1
Mean size of harvests: 1.00 hectares
Standard deviation in harvest size: 0.50 hectares
Minimum harvest size: 0.01 hectares
Maximum harvest size: 2.00 hectares
Area harvested was input as area
Percent of forest type to be cut: 31.30%
Percent of available forest type to be cut: 0.00%
Area of forest type to be cut: 50.0 hectares

Minimum age class (years) where harvest allowed: 45
Spatial dispersion method: Dispersed
Revisit interval (yrs): None
Length of time step: 5 years.
Adjacency constraints: enforced
Green-Up Interval: 13 years
Riparian Buffers: enforced
Forest Type Value that a buffer was placed around: 0

Buffer distance: 26.4 meters

Harvests may spill into other stands.

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 1

Year Area harvested (ha)

5 0.00

Simulation was completed successfully

YEAR = 6 - 104

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 6

Year Area harvested (ha)

10 0.71

Simulation was completed successfully

YEAR = 11 - 15

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 11

Year Area harvested (ha)

15 1.87

Simulation was completed successfully

YEAR = 16 - 20

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 16

Year Area harvested (ha)

20 1.07

Simulation was completed successfully

YEAR = 21 - 25

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 21

Year Area harvested (ha)

25 1.09

Simulation was completed successfully

YEAR = 26 - 30

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 26

Year Area harvested (ha)

30 1.95

Simulation was completed successfully

YEAR = 31 - 35

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 31

Year Area harvested (ha)

35 0.76

Simulation was completed successfully

YEAR = 36 - 40

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 36

Year Area harvested (ha)

40 0.83

Simulation was completed successfully

YEAR = 41 - 45

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 41

Year Area harvested (ha)

45 0.74

Simulation was completed successfully

YEAR = 46 - 50

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 46

Year Area harvested (ha)

50 0.18

Simulation was completed successfully

YEAR = 51 - 55

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 51

Year	Area harvested (ha)	
55	1.48	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 56 - 60		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 56
Year	Area harvested (ha)	
60	0.75	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 61 - 65		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 61
Year	Area harvested (ha)	
65	1.61	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 66 - 70		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 66
Year	Area harvested (ha)	
70	0.60	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 71 - 75		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 71
Year	Area harvested (ha)	
75	0.82	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 76 - 80		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 76
Year	Area harvested (ha)	
80	0.53	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 81 - 85		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 81
Year	Area harvested (ha)	
85	1.09	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 86 - 90		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 86
Year	Area harvested (ha)	
90	1.01	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 91 - 95		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 91
Year	Area harvested (ha)	
95	1.65	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 96 - 100		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 96
Year	Area harvested (ha)	
100	0.48	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 101 - 105		
Not enough suitable stands to meet harvest target (	50.00 ha)	year = 101
Year	Area harvested (ha)	
105	0.95	
Simulation was completed successfully		

YEAR = 106 - 110
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 106
 Year Area harvested (ha)
 110 1.65
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 111 - 115
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 111
 Year Area harvested (ha)
 115 1.82
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 116 - 120
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 116
 Year Area harvested (ha)
 120 0.98
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 121 - 125
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 121
 Year Area harvested (ha)
 125 0.15
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 126 - 130
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 126
 Year Area harvested (ha)
 130 0.57
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 131 - 135
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 131
 Year Area harvested (ha)
 135 0.10
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 136 - 140
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 136
 Year Area harvested (ha)
 140 0.97
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 141 - 145
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 141
 Year Area harvested (ha)
 145 0.01
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 146 - 150
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 146
 Year Area harvested (ha)
 150 1.35
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 151 - 155
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 151
 Year Area harvested (ha)
 155 0.53
 Simulation was completed successfully
 YEAR = 156 - 160
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 156
 Year Area harvested (ha)

160	1.82	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 161 - 165		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 161		
Year	Area harvested (ha)	
165	1.06	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 166 - 170		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 166		
Year	Area harvested (ha)	
170	0.57	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 171 - 175		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 171		
Year	Area harvested (ha)	
175	0.99	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 176 - 180		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 176		
Year	Area harvested (ha)	
180	1.00	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 181 - 185		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 181		
Year	Area harvested (ha)	
185	0.75	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 186 - 190		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 186		
Year	Area harvested (ha)	
190	1.30	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 191 - 195		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 191		
Year	Area harvested (ha)	
195	0.81	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 196 - 200		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 186		
Year	Area harvested (ha)	
200	0.74	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 201 - 205		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 201		
Year	Area harvested (ha)	
205	0.64	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 206 - 210		
Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 206		
Year	Area harvested (ha)	
210	1.29	
Simulation was completed successfully		
YEAR = 211 - 215		

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 211

Year Area harvested (ha)

215 0.24

Simulation was completed successfully

YEAR = 216 - 220

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 216

Year Area harvested (ha)

220 0.33

Simulation was completed successfully

YEAR = 221 - 225

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 221

Year Area harvested (ha)

225 0.67

Simulation was completed successfully

YEAR = 226 - 230

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 226

Year Area harvested (ha)

230 1.04

Simulation was completed successfully

YEAR = 231 - 235

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 231

Year Area harvested (ha)

235 1.84

Simulation was completed successfully

YEAR = 236 - 240

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 236

Year Area harvested (ha)

240 0.93

Simulation was completed successfully

YEAR = 241 - 245

Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 241

Year Area harvested (ha)

245 0.97

Simulation was completed successfully

YEAR = 246 - 250

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =246

Total boundary length between different-aged cells = 29.55 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	1.90
2	2.88
3	1.24
4	1.93
5	2.85
6	1.36
7	2.58
8	1.73
9	2.33
10	0.67
11	2.95

12	2.60
13	2.09
14	0.22
15	1.11
16	1.27
17	1.39
18	1.35
19	0.23
20	0.71
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	63.99
25	119.60
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	2	0.949
2	2	1.442
3	3	0.413
4	2	0.963
5	3	0.950
6	5	0.272
7	3	0.859
8	5	0.346
9	2	1.166
10	2	0.333
11	4	0.737
12	2	1.299
13	5	0.417
14	9	0.024
15	4	0.277
16	7	0.182
17	3	0.464
18	6	0.225
19	8	0.029
20	1	0.707
21	0	0.000
22	0	0.000
23	0	0.000
24	8	7.999
25	13	9.200

Total (all age classes)	99	2.191
-------------------------	----	-------

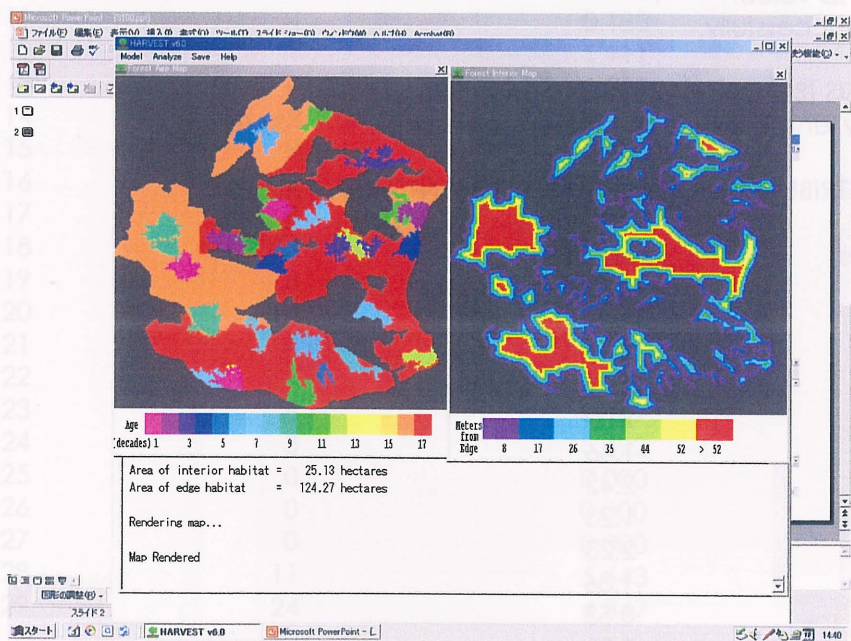
NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	2	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	0

4	1	1	0	0	0	0
5	2	1	0	0	0	0
6	4	1	0	0	0	0
7	2	1	0	0	0	0
8	5	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0
10	2	0	0	0	0	0
11	3	1	0	0	0	0
12	1	1	0	0	0	0
13	5	0	0	0	0	0
14	9	0	0	0	0	0
15	4	0	0	0	0	0
16	7	0	0	0	0	0
17	3	0	0	0	0	0
18	5	1	0	0	0	0
19	8	0	0	0	0	0
20	1	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0
24	5	1	2	0	0	0
25	10	0	2	1	0	0
Total	83	11	4	1	0	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =246

Interior buffer distance: 52.8 meters
 Number of years openings persist: 20
 Non-forest value in Forest Type Map: 0
 Area of interior habitat = 24.26 hectares
 Area of edge habitat = 130.71 hectares



Simulation VAR2 S319Z1(1/0.5.0.01/2.0/45/25m)

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\¥HARVEST¥IDRI32\data¥HarvestData¥Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 45

Map loaded successfully.

Loaded Forest Type Map: C:\¥HARVEST¥IDRI32\data¥HarvestData¥Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Map loaded successfully.

Loaded Management Area Map: C:\¥HARVEST¥IDRI32\data¥HarvestData¥Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 99

Map loaded successfully.

Loaded Stand ID Map: C:\¥HARVEST¥IDRI32\data¥HarvestData¥StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 1

Map loaded successfully.

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =296

Total boundary length between different-aged cells = 34.83 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	1.72
2	2.02
3	2.93
4	2.09
5	2.00
6	1.46
7	2.42
8	1.23
9	2.23
10	1.36
11	0.53
12	1.91
13	2.22
14	1.73

15	1.95
16	1.72
17	1.70
18	0.46
19	1.55
20	0.19
21	2.28
22	0.08
23	1.34
24	1.48
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	62.07
29	116.32
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	3	0.572
2	2	1.012
3	2	1.463
4	2	1.043
5	3	0.665
6	2	0.728
7	3	0.807
8	11	0.112
9	3	0.742
10	5	0.272
11	4	0.133
12	1	1.911
13	7	0.317
14	2	0.865
15	9	0.216
16	4	0.431
17	8	0.213
18	14	0.033
19	3	0.516
20	4	0.047
21	4	0.569
22	7	0.012
23	8	0.167
24	3	0.492
25	0	0.000
26	0	0.000
27	0	0.000
28	11	5.643
29	24	4.847
<hr/>		
Total (all age classes)	149	1.456

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

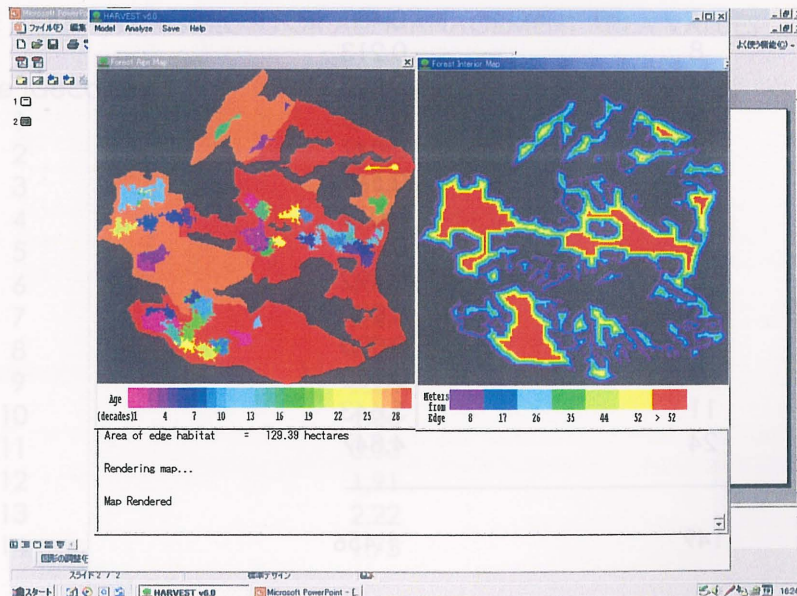
Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	3	0	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0
5	2	1	0	0	0	0
6	2	0	0	0	0	0
7	3	0	0	0	0	0
8	10	1	0	0	0	0
9	3	0	0	0	0	0
10	5	0	0	0	0	0
11	4	0	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0
13	6	1	0	0	0	0
14	1	1	0	0	0	0
15	9	0	0	0	0	0
16	4	0	0	0	0	0
17	7	1	0	0	0	0
18	14	0	0	0	0	0
19	2	1	0	0	0	0
20	4	0	0	0	0	0
21	2	2	0	0	0	0
22	7	0	0	0	0	0
23	8	0	0	0	0	0
24	3	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	8	1	2	0	0	0
29	21	0	2	1	0	0
Total	131	13	4	1	0	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =296

Interior buffer distance: 52.8 meters Number of years openings persist: 20

Non-forest value in Forest Type Map: 0

Area of interior habitat = 26.63 hectares Area of edge habitat = 129.39 hectares



Simulation VAR3

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 41

Map loaded successfully.

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Map loaded successfully.

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 1

Map loaded successfully.

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 99

Map loaded successfully.

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =156

Total boundary length between different-aged cells = 20.81 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	3.25
2	1.13
3	2.49
4	2.31
5	3.54
6	1.53
7	1.37
8	1.15
9	1.74
10	1.63
11	1.76
12	1.86
13	1.26
14	0.00
15	0.00
16	7.55
17	184.40

Total 216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	3	1.083
2	2	0.564
3	3	0.831
4	2	1.155
5	3	1.181
6	2	0.763
7	4	0.341
8	2	0.574
9	3	0.581
10	2	0.816
11	7	0.252
12	2	0.928
13	1	1.260
14	0	0.000
15	0	0.000
16	1	7.546
17	15	12.293

Total (all age classes) 52 4.172

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	1	2	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0
3	2	1	0	0	0	0
4	1	1	0	0	0	0
5	1	2	0	0	0	0
6	2	0	0	0	0	0
7	4	0	0	0	0	0
8	1	1	0	0	0	0
9	3	0	0	0	0	0
10	2	0	0	0	0	0
11	6	1	0	0	0	0
12	2	0	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	1	0	0	0	0
17	13	1	0	0	1	0
Total	40	11	0	0	1	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =156

Interior buffer distance: 52.8 meters
 Number of years openings persist: 20
 Non-forest value in Forest Type Map: 0
 Area of interior habitat = 29.96 hectares
 Area of edge habitat = 125.42 hectares

Simulation VAR4

S0319(1/0/5/0.01/2/45/50ha)

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 41

Map loaded successfully.

Rendering map...

Map Rendered

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Map loaded successfully.

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 99

Map loaded successfully.

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 1

Map loaded successfully.

Random number seed: 891119807

YEAR = 1 - 5

Management Area ID: 1

Forest Type value: 1

Mean size of harvests: 1.00 hectares

Standard deviation in harvest size: 0.50 hectares

Minimum harvest size: 0.01 hectares

Maximum harvest size: 2.00 hectares

Area harvested was input as area

Percent of forest type to be cut: 15.65%

Percent of available forest type to be cut: 15.65%

Area of forest type to be cut: 25.0 hectares

Minimum age class (years) where harvest allowed: 45

Spatial dispersion method: Dispersed

Revisit interval (yrs): None

Length of time step: 5 years.

Adjacency constraints: not enforced

Riparian Buffers: not enforced

Harvests may spill into other stands.

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =151

Total boundary length between different-aged cells = 22.93 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	1.87
2	0.99
3	1.83
4	1.18
5	3.57
6	1.56
7	2.40
8	1.04
9	2.80
10	2.37
11	3.46
12	1.17
13	0.67
14	0.00
15	0.00
16	65.68
17	126.38
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	3	0.623
2	2	0.494
3	3	0.609
4	2	0.592
5	3	1.190
6	2	0.780
7	2	1.201
8	2	0.518
9	3	0.933
10	2	1.187
11	3	1.153
12	2	0.585
13	1	0.665
14	0	0.000
15	0	0.000
16	13	5.052
17	12	10.531
Total (all age classes)	55	3.945

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	2	1	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	0
4	2	0	0	0	0	0
5	1	2	0	0	0	0
6	2	0	0	0	0	0
7	0	2	0	0	0	0
8	2	0	0	0	0	0
9	3	0	0	0	0	0
10	1	1	0	0	0	0
11	1	2	0	0	0	0
12	1	1	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	10	1	2	0	0	0
17	8	1	2	1	0	0
Total	39	11	4	1	0	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =300

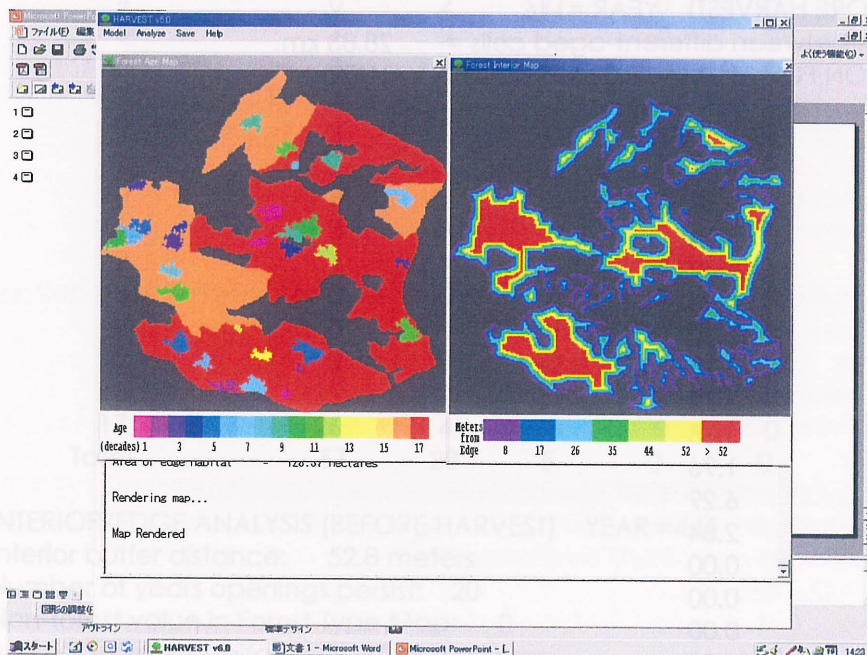
Interior buffer distance: 52.8 meters

Number of years openings persist: 20

Non-forest value in Forest Type Map: 0

Area of interior habitat = 28.53 hectares

Area of edge habitat = 128.37 hectares



Simulation Try1/ VAR5

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 45

Map loaded successfully.

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 99

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 1

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =146

Total boundary length between different-aged cells = 28.83 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	5.06
2	2.31
3	5.78
4	3.49
5	4.53
6	3.77
7	4.12
8	3.72
9	5.38
10	1.96
11	6.29
12	2.84
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	57.05
17	110.67
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	3	1.687
2	2	1.155
3	2	2.888
4	2	1.743
5	3	1.510
6	2	1.887
7	6	0.687
8	4	0.929
9	3	1.792
10	8	0.245
11	6	1.049
12	2	1.418
13	0	0.000
14	0	0.000
15	0	0.000
16	14	4.075
17	33	3.354

Total (all age classes) 90 2.411

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	0	3	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0
3	0	2	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0
5	1	2	0	0	0	0
6	0	2	0	0	0	0
7	4	2	0	0	0	0
8	2	2	0	0	0	0
9	0	3	0	0	0	0
10	8	0	0	0	0	0
11	3	3	0	0	0	0
12	1	1	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	11	1	2	0	0	0
17	26	4	3	0	0	0
Total	57	28	5	0	0	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =445

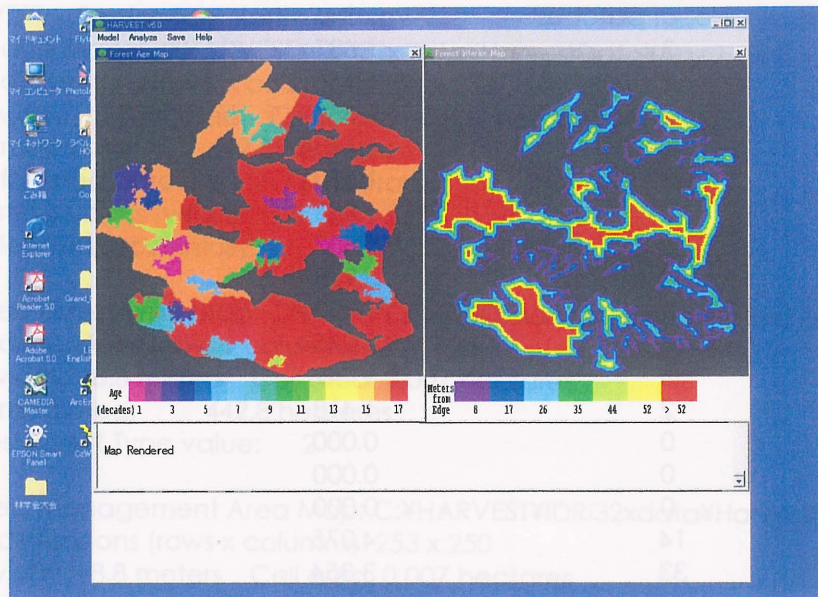
Interior buffer distance: 52.8 meters

Number of years openings persist: 20

Non-forest value in Forest Type Map: 0

Area of interior habitat = 27.08 hectares

Area of edge habitat = 125.30 hectares



Simulation VAR6/ Try3

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 45

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 99

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 1

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR = 151

Total boundary length between different-aged cells = 26.07 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	4.62
2	4.56
3	4.77
4	3.21
5	3.86
6	2.52
7	3.72
8	2.63
9	3.70
10	2.69
11	3.43
12	1.45
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	3.33
17	172.46
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	2	2.310
2	2	2.279
3	3	1.591
4	2	1.607
5	3	1.288
6	2	1.260
7	13	0.286
8	4	0.656
9	3	1.234
10	3	0.896
11	7	0.490
12	4	0.362
13	0	0.000
14	0	0.000
15	0	0.000
16	6	0.555
17	13	13.266
Total (all age classes)	67	3.238

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	1	1	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0
3	0	3	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0
5	1	2	0	0	0	0
6	0	2	0	0	0	0
7	11	2	0	0	0	0
8	3	1	0	0	0	0

9	1	2	0	0	0	0
10	1	2	0	0	0	0
11	5	2	0	0	0	0
12	4	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	5	1	0	0	0	0
17	12	0	0	0	1	0
Total	44	22	0	0	1	0

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR = 151

Total boundary length between different-aged cells = 26.07 km.

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR = 151

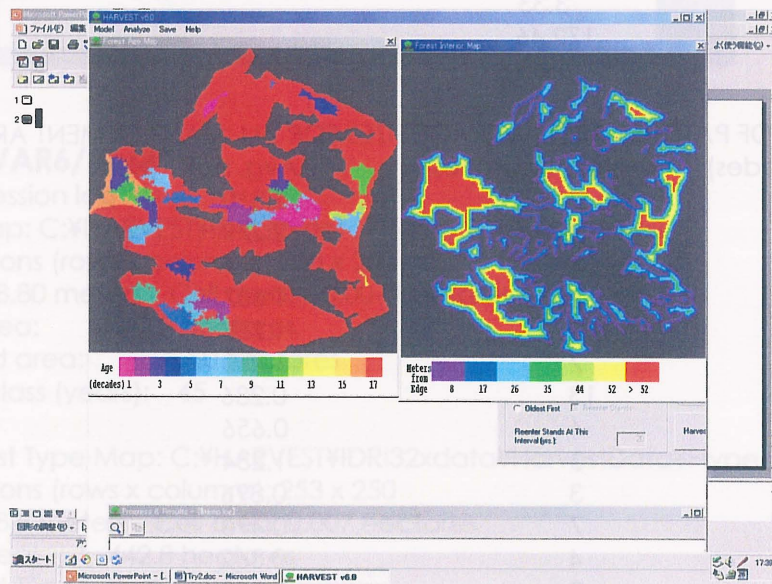
Interior buffer distance: 52.8 meters

Number of years openings persist: 20

Non-forest value in Forest Type Map: 0

Area of interior habitat = 20.19 hectares

Area of edge habitat = 130.39 hectares



Simulation VAR7

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\%HARVEST%\IDRI32\data\%HarvestData%\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 41

Loaded Forest Type Map: C:\%HARVEST%\IDRI32\data\%HarvestData%\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis
 Map dimensions (rows x columns): 253 x 250
 Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares
 Total map area: 442.8 hectares
 Largest Management Area value: 99

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis
 Map dimensions (rows x columns): 253 x 250
 Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares
 Total map area: 442.8 hectares
 Largest stand ID value: 1

YEAR = 1 - 5

Management Area ID: 1
 Forest Type value: 1
 Mean size of harvests: 2.00 hectares
 Standard deviation in harvest size: 0.50 hectares
 Minimum harvest size: 0.10 hectares
 Maximum harvest size: 5.00 hectares

Area harvested was input as area
 Percent of forest type to be cut: 31.30%
 Percent of available forest type to be cut: 31.30%
 Area of forest type to be cut: 50.0 hectares

Minimum age class (years) where harvest allowed: 45
 Spatial dispersion method: Dispersed
 Revisit interval (yrs): None
 Length of time step: 5 years.
 Adjacency constraints: not enforced
 Riparian Buffers: not enforced

Harvests may spill into other stands.
 Not enough suitable stands to meet harvest target (50.00 ha) year = 1
 PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =150
 Total boundary length between different-aged cells = 27.85 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	2.44
2	1.93
3	5.65
4	2.79
5	5.39
6	3.94
7	2.42
8	3.70
9	5.35
10	3.44
11	1.59
12	3.91

13	0.91
14	0.00
15	0.00
16	63.08
17	110.43
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

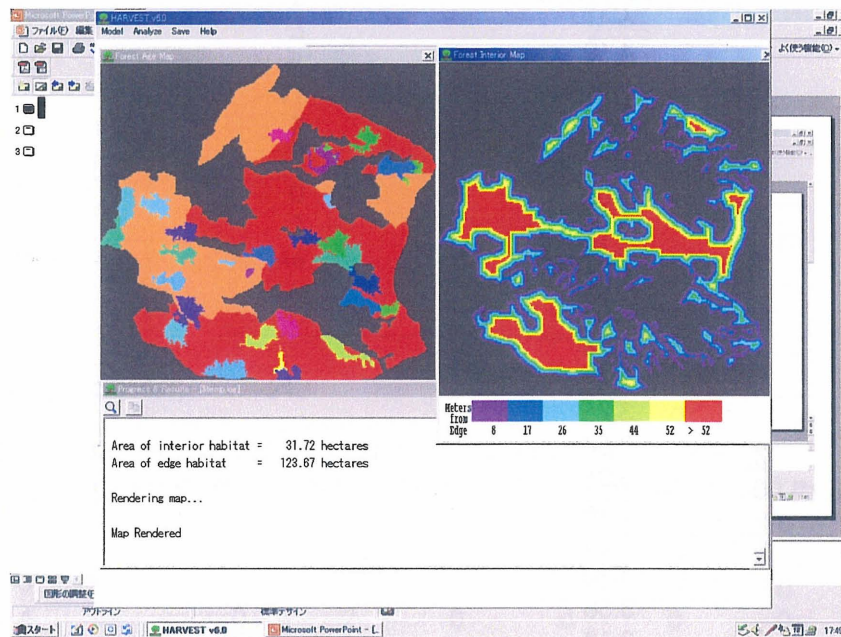
Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	2	1.218
2	2	0.966
3	3	1.883
4	2	1.393
5	3	1.797
6	2	1.971
7	3	0.807
8	2	1.848
9	3	1.783
10	2	1.719
11	11	0.144
12	2	1.953
13	3	0.303
14	0	0.000
15	0	0.000
16	7	9.012
17	28	3.944
Total (all age classes)		75
		2.893

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	1	1	0	0	0	0
2	1	1	0	0	0	0
3	0	3	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0
5	0	3	0	0	0	0
6	0	2	0	0	0	0
7	2	1	0	0	0	0
8	0	2	0	0	0	0
9	0	3	0	0	0	0
10	0	2	0	0	0	0
11	11	0	0	0	0	0
12	0	2	0	0	0	0
13	3	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	4	1	2	0	0	0
17	24	1	3	0	0	0
Total	46	24	5	0	0	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =150
 Interior buffer distance: 52.8 meters

Number of years openings persist: 20
 Non-forest value in Forest Type Map: 0
 Area of interior habitat = 31.72 hectares
 Area of edge habitat = 123.67 hectares



Simulation VAR8/Try2

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 45

Map Rendered

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 99

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares Largest stand ID value: 1
 PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =300
 Total boundary length between different-aged cells = 46.69 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	6.41
2	4.60
3	6.51
4	3.73
5	6.53
6	4.47
7	4.73
8	1.72
9	3.61
10	3.00
11	1.94
12	2.79
13	3.75
14	2.54
15	3.26
16	2.16
17	5.24
18	3.30
19	3.38
20	3.19
21	6.17
22	1.00
23	1.92
24	0.57
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	39.10
29	91.36
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	3	2.135
2	2	2.299
3	3	2.170
4	2	1.866
5	3	2.177
6	2	2.233
7	3	1.577
8	7	0.246
9	5	0.721
10	6	0.501
11	14	0.139
12	2	1.396
13	4	0.938
14	5	0.508

15	6	0.543
16	2	1.078
17	3	1.745
18	3	1.101
19	10	0.338
20	2	1.593
21	3	2.058
22	7	0.143
23	11	0.174
24	7	0.081
25	0	0.000
26	0	0.000
27	0	0.000
28	46	0.850
29	52	1.757

Total (all age classes) 213 1.019

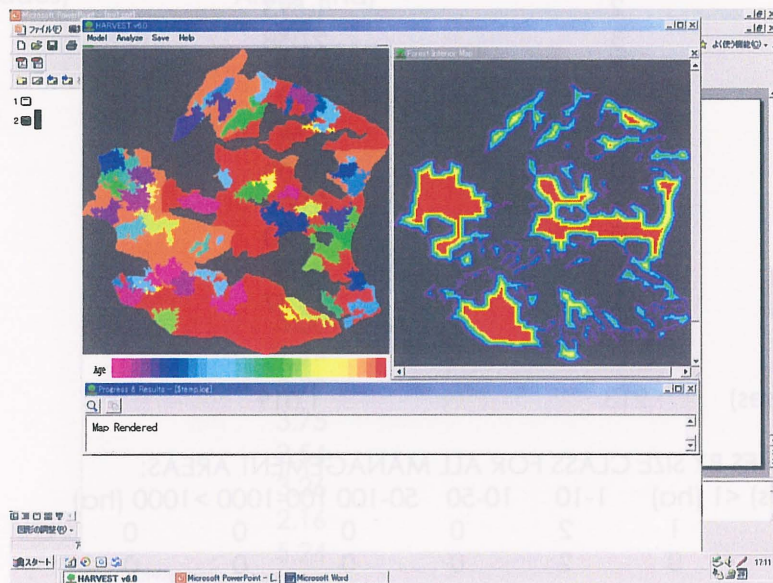
NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	1	2	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0
3	0	3	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0
5	0	3	0	0	0	0
6	0	2	0	0	0	0
7	0	3	0	0	0	0
8	7	0	0	0	0	0
9	3	2	0	0	0	0
10	5	1	0	0	0	0
11	13	1	0	0	0	0
12	0	2	0	0	0	0
13	3	1	0	0	0	0
14	4	1	0	0	0	0
15	5	1	0	0	0	0
16	1	1	0	0	0	0
17	1	2	0	0	0	0
18	1	2	0	0	0	0
19	9	1	0	0	0	0
20	0	2	0	0	0	0
21	0	3	0	0	0	0
22	7	0	0	0	0	0
23	10	1	0	0	0	0
24	7	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0
28	40	4	2	0	0	0
29	43	7	2	0	0	0
Total	160	49	4	0	0	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =300

Interior buffer distance: 52.8 meters

Number of years openings persist: 20
 Non-forest value in Forest Type Map: 0
 Area of interior habitat = 25.86 hectares
 Area of edge habitat = 122.89 hectares



Simulation VAR9/Try4

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 45

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 99

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 1

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR = 185

Total boundary length between different-aged cells = 26.46 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	4.80
2	3.87
3	6.28
4	3.99
5	5.30
6	1.78
7	5.81
8	3.02
9	3.51
10	4.30
11	0.41
12	2.74
13	2.35
14	0.55
15	0.23
16	0.00
17	0.00
18	1.58
19	166.45
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	3	1.601
2	2	1.936
3	3	2.093
4	2	1.995
5	2	2.650
6	3	0.593
7	4	1.452
8	4	0.756
9	3	1.169
10	2	2.149
11	13	0.031
12	6	0.456
13	13	0.180
14	8	0.069
15	7	0.033
16	0	0.000
17	0	0.000
18	6	0.263
19	16	10.403
<hr/>		
Total (all age classes)	97	2.237

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	1	2	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0
3	0	3	0	0	0	0
4	0	2	0	0	0	0
5	0	2	0	0	0	0
6	2	1	0	0	0	0
7	2	2	0	0	0	0
8	2	2	0	0	0	0
9	2	1	0	0	0	0
10	0	2	0	0	0	0
11	13	0	0	0	0	0
12	4	2	0	0	0	0
13	12	1	0	0	0	0
14	8	0	0	0	0	0
15	7	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	5	1	0	0	0	0
19	15	0	0	0	1	0
Total	73	23	0	0	1	0

INTERIOR/EDGE ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR = 185

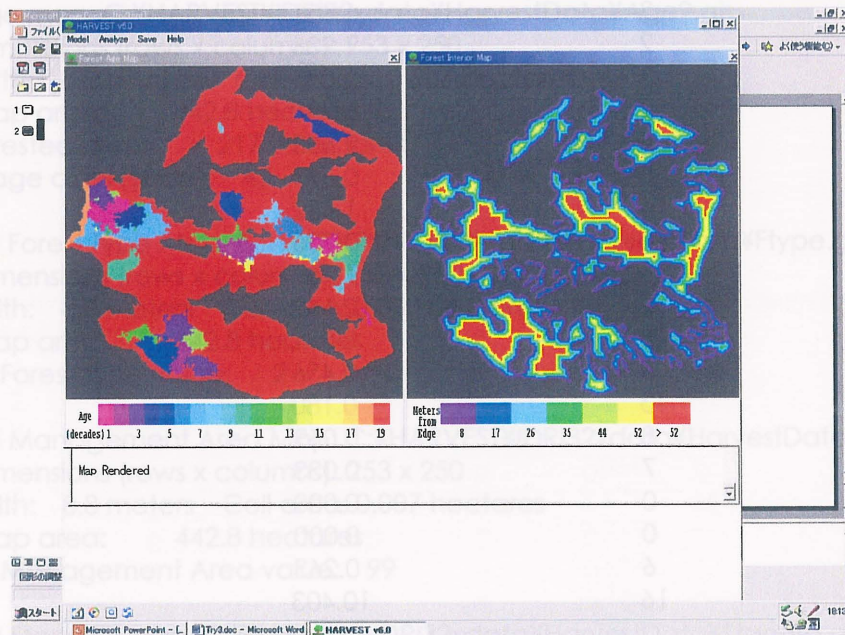
Interior buffer distance: 52.8 meters

Number of years openings persist: 20

Area of interior habitat = 16.34 hectares

Non-forest value in Forest Type Map: 0

Area of edge habitat = 134.74 hectares



Simulation VAR12/S3111-10terms

HARVEST -- Session log

Base age map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Age9.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.80 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Total forested area: 217.0 hectares

Oldest age class (years): 41

Loaded Forest Type Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ftype.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Forest Type value: 2

Loaded Management Area Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\StandID.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest Management Area value: 1

Loaded Stand ID Map: C:\HARVEST\IDRI32\data\HarvestData\Ryouhou2.gis

Map dimensions (rows x columns): 253 x 250

Cell width: 8.8 meters Cell area: 0.007 hectares

Total map area: 442.8 hectares

Largest stand ID value: 99

PATCH ANALYSIS (BEFORE HARVEST) YEAR =201

Total boundary length between different-aged cells = 17.13 km.

AGE CLASS DISTRIBUTION FOR ALL MANAGEMENT AREA VALUES

Age (decades)	Area (ha)
1	1.56
2	2.37
3	0.92
4	2.21
5	2.22
6	2.65
7	2.72
8	2.02
9	2.01
10	4.52
11	0.99
12	1.37
13	2.39
14	0.29
15	2.36
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00

22	7.12
23	179.23
Total	216.96

TOTAL NUMBER OF PATCHES AND AVERAGE SIZES FOR ALL MANAGEMENT AREAS

Age class (decades)	No. of patches	Avg. size (ha)
1	1	1.561
2	1	2.366
3	1	0.924
4	1	2.212
5	1	2.219
6	1	2.646
7	1	2.723
8	1	2.023
9	1	2.009
10	1	4.522
11	1	0.994
12	1	1.372
13	1	2.394
14	6	0.048
15	1	2.359
16	0	0.000
17	0	0.000
18	0	0.000
19	0	0.000
20	0	0.000
21	0	0.000
22	2	3.560
23	26	6.893
Total (all age classes)		48
		4.520

NUMBER OF PATCHES BY SIZE CLASS FOR ALL MANAGEMENT AREAS:

Age class (decades)	<1 (ha)	1-10	10-50	50-100	100-1000	>1000 (ha)
1	0	1	0	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0
6	0	1	0	0	0	0
7	0	1	0	0	0	0
8	0	1	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0
10	0	1	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0
13	0	1	0	0	0	0
14	6	0	0	0	0	0
15	0	1	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0

19	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0
22	1	1	0	0	0	0
23	24	1	0	0	1	0
Total	33	14	0	0	1	0

あとがき

本研究では、人工林の長伐期育成循環型施業を志向した収穫計画・配分モデルと解析システムについて、GIS とリンクさせた収穫計画・配置モデル Harvest を導入してその可能性を検証した。三重県の緑資源機構管理の大杉倉元谷団地（所在地名：宮川村大杉倉元谷 497-4、森林所有者：大杉谷生産森林組合、地上権設定部分面積：305.55ha、）の一部（143 林班：面積約 250ha）対象に、80 年輪伐期施業を想定したシミュレーションを行った結果、伐区の大きさ伐採方式、許容伐採齢や目標伐採量等の諸条件に相応した伐採個所や量が的確に推定され、分期ごとの伐採強度を高めることで目標とする伐採面積確保が容易となり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類推された。一方、緑被期間や隣接林分へのバッファリング等の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様々な大きさのパッチからなる多様なモザイク状の森林空間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、三重県緑資源機構津水源林整備事業所長谷川文昭前所長、渡邊康文主任並びに江口法久現所長には、貴重な資料の提供と多くの有益なご助言を頂いた。ここに厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- 1) 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.
- 2) 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.

- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.

II A GIS-based interactive spatial decision support system for integrating the manage of protection and production forests

Abstract

Protected forests require management strategies that differ from productive forests, but it is necessary to integrate management of both forests from a landscape perspective. This integration is necessary for protected forests to be managed in the most economical and sustainable way possible, and to make sure that management of adjacent productive forests does not negatively affect protected forests. Traditional approaches to forest management planning do not offer this integration because they lack a holistic (i.e., multiple values) and spatial approach. In this paper the author describes the development of a spatial decision support system using GIS, and harvest schedule/allocation model, which allows simulation of potential forest resource management activities from a landscape perspective. This approach combines landscape perspective with improved analytical tools. It enables resource managers to design and demonstrate the long-term conservation outlook of forest resources under alternative management strategies with multiple objectives (economic, environmental, and social).

Keywords: *sustainable forest management, spatial decision support system, harvest scheduling/allocation model, visual feedback, GIS*

Introduction

In order to deal with sophisticated issues of integrating forest resources management with environmental, and social values and objectives in a sustainable manner, more holistic and spatial approaches than traditionally applied is necessary to manage forest ecosystem from a perspective of stands (Baskent and Jordan 1995; Forman 1995). By taking a landscape perspective, combined with improved analytical tools to support the consensus-based management decision-making, it may be possible to benchmark forest management practices to meet an adequate scale or level of potential impacts caused by silvicultural and harvesting activities (Fig.1).

As a timber harvesting management tool, linear programming solution applying Harvest Scheduling Model (HSM) (e.g. FORPLAN) has been developed and put to practical use. It displays its great ability in acquiring optimum answers, which maximize the volume of timber harvesting by compartment or sub-compartment unit. The latest HSM emphasizes spatial aspects of management planning from the landscape perspective (Kurttila 2001; Murray 1999; Yoshimoto 2001). Special aspects, called adjacency constraints, limit the harvest of adjacent units. This type of approach will help to recognize the potential impact of broader regional harvest-flow constraints (M, and Hoganson 2000; Hoganson and Borgesa 2000).

When it comes to considering the landscape perspective, however, the ability of HSM seems to be insufficient because it cannot generate landscape patterns with spatial attributes resulting from initial landscape conditions and potential activities for timber harvesting (Gustafson and Crow 1999). In other words, HSM cannot manage opening-up scale both in space and time for combining the data of each polygon as a minimum management unit.

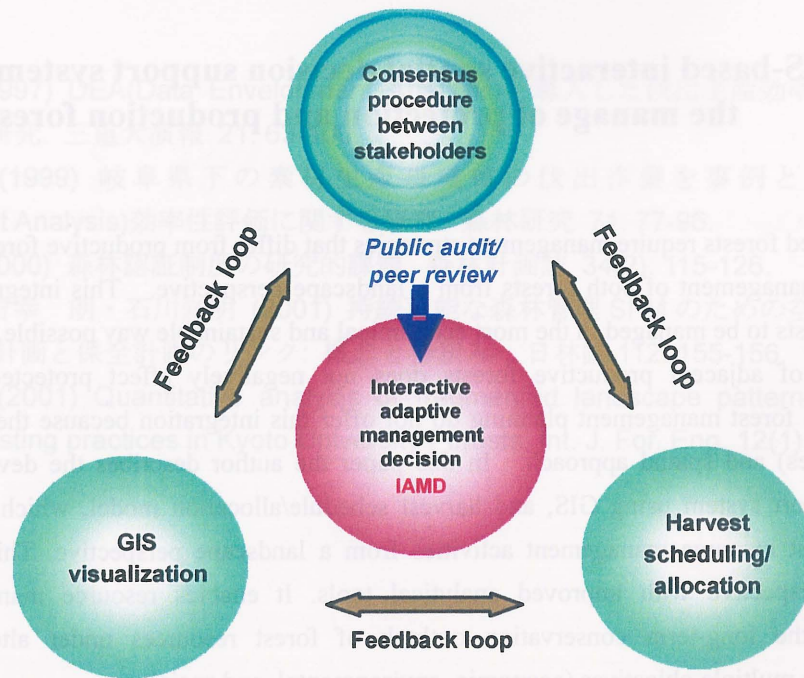


Figure 1 Concept of a proposed SDSS.

GIS has now made it possible to incorporate spatial components into harvest schedule/allocation planning and simulation models. In some cases, the modeling capabilities of a particular GIS may be used directly to support decisions on timber harvesting. In other cases, an external model is linked to GIS database.

In this paper the author describes the development of a GIS-based timber harvest scheduling system oriented toward SFM (Sustainable Forest Management) combined with raster GIS. It offers image processing capabilities (IDRISI32) and a harvest schedule/allocation model, and allows simulation of differences in terms of the size of timber harvest units, the total area harvested, intervals of harvest rotation, and the spatial distribution of harvest areas (HARVEST).

The emphasis is on providing visual feedback of the outcome (e.g. the resulting patterns of forest openings and age class structure). The proposed approach enables resource managers to have the flexibility to design and demonstrate a long-term conservation outlook of forest resources under alternative management strategies with multiple objectives: economic, environmental, and social (Fig. 2).

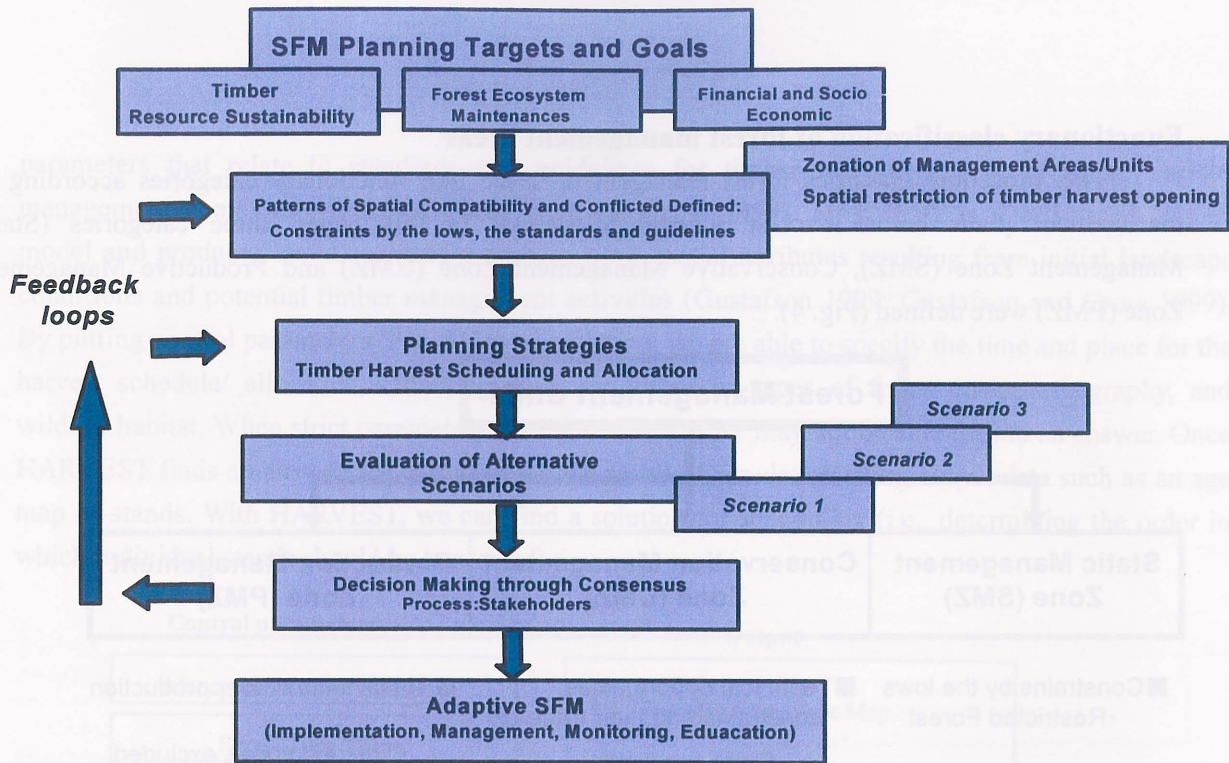


Figure 2 Framework of a SDSS for adaptive forest management.

Framework of a GIS-based timber harvest scheduling system

As stated above, a GIS-based timber harvest scheduling system is characterized by the combination of a raster GIS (IDRISI 32) and a harvest schedule/allocation model (HARVEST). Procedures are: separated functionary classification of forest management space, harvest schedule/allocation and data analysis (Fig. 3).

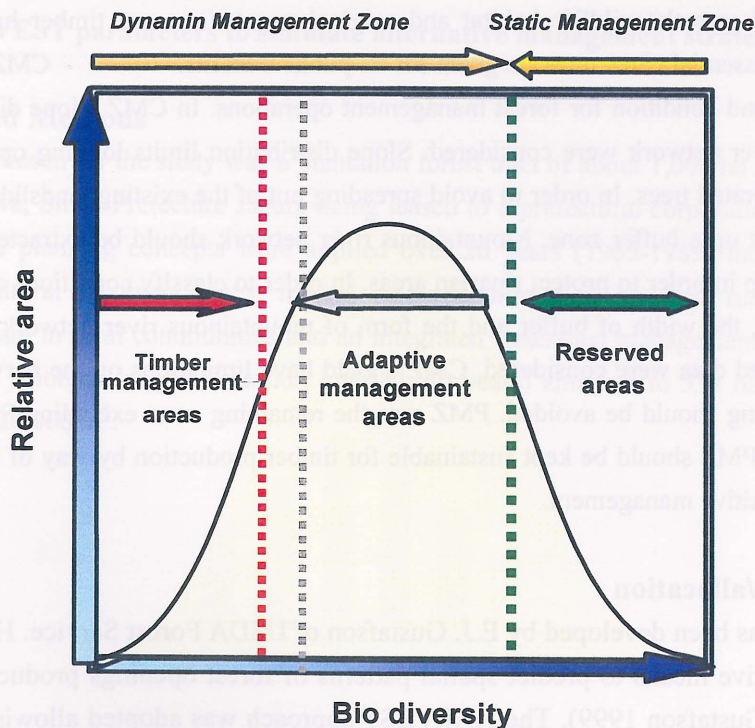


Figure 3 Zonation model to reflect differences in management approach: Bell shaped model.

Functionary classification of forest management areas

This procedure classifies forest management space into functionary categories according to management plans before harvest schedule/allocation. In this paper, three categories (Static Management Zone (SMZ), Conservative Management Zone (CMZ) and Productive Management Zone (PMZ) were defined (Fig. 4).

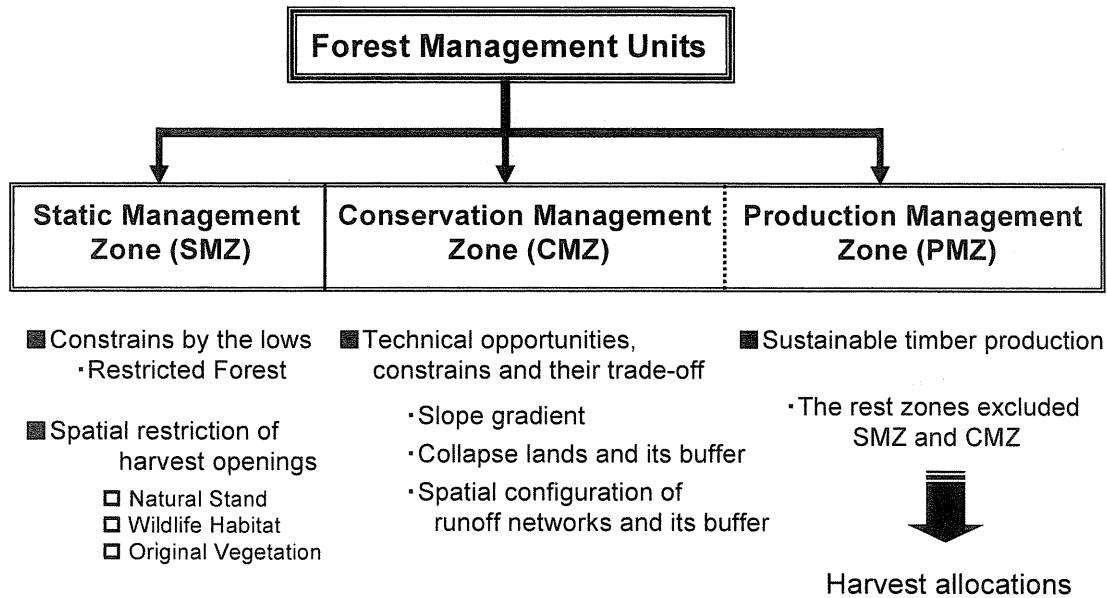


Figure 4 Adaptive standards applied to the zonation to three forest management units.

SMZ was established to maintain forest ecosystems. SMZ is composed of natural stands, broad-leaved second growth, wildlife habitat and original vegetation, and timber harvesting should be avoided. However, essential cares must be given for its public benefits. CMZ was established to maintain the forestland condition for forest management operations. In CMZ, slope distribution, landslide and mountainous river network were considered. Slope distribution limits logging operations and affects the growth of regenerated trees. In order to avoid spreading out of the existing landslide and its soil loss, it may be proper to set up a buffer zone. Mountainous river network should be extracted and then a buffer zone should be set up in order to protect riparian areas. In order to classify conditions of CMZ, such as the upper limit of slope, the width of buffer and the form of mountainous river network, various conditions based on the surveyed data were considered. CMZ should have limitations on the harvesting method, and especially clear-cutting should be avoided. PMZ was the remaining zone excluding SMZ and CMZ from unrestricted forests. PMZ should be kept sustainable for timber production by way of the right tree on the right site through positive management.

Harvest schedule/allocation

HARVEST has been developed by E.J. Gustafson of USDA Forest Service. HARVEST provides visual and quantitative means to predict spatial patterns of forest openings produced with alternative harvest strategies (Gustafson 1999). The HARVEST approach was adopted allowing flexible input of

parameters that relate to standards and guidelines for timber management areas where various management goals were assigned (Gustafson and Crow 1999). HARVEST is a cell-based (raster) model and produces landscape patterns which have spatial attributes resulting from initial landscape conditions and potential timber management activities (Gustafson 1999; Gustafson and Crow 1999). By putting control parameters (Fig. 5) into simulation, we are able to specify the time and place for the harvest schedule/ allocation, including such conditions as types of forest cover, topography, and wildlife habitat. When strict parameters are input, HARVEST may not be able to find an answer. Once HARVEST finds an answer, we can examine the result of simulation using output data such as an age map of stands. With HARVEST, we can find a solution for scheduling (i.e., determining the order in which individual stands should be harvested).

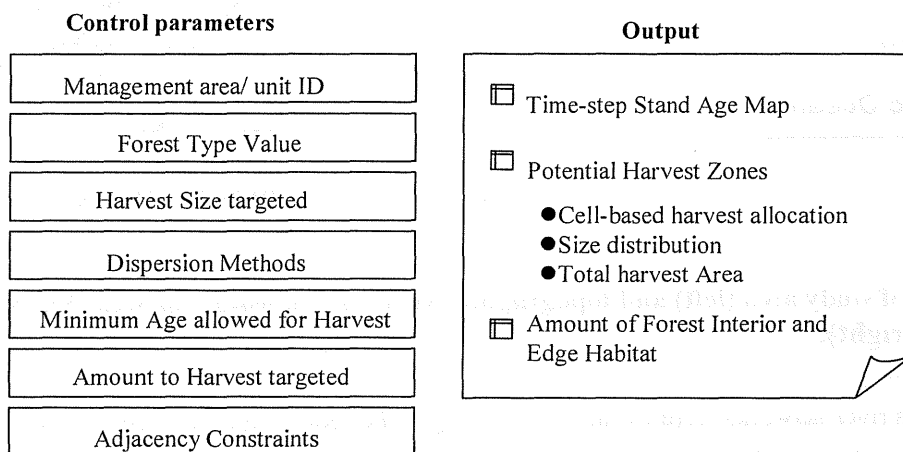


Figure 5 HARVEST parameters to simulate alternative management strategies.

Study area and Methods

The area chosen for the study was a plantation forest tract of about 1,000 ha located in the northwest side of Lake Biwa, Shiga Prefecture Japan, being leased to a prefectural corporation of afforestation (Fig. 6). A number of planning concepts were applied over 20 years (1965-1989) including an afforestation program, silvicultural treatment plans, natural resource promotion projects, rural community forestry promotion program in rural communities and an integrated watershed management plan. The area planted with *Cryptmeria japonica* (original rotation interval: 40 years) amounts to 532 ha and the volume of its stands is about 120,000 m³.

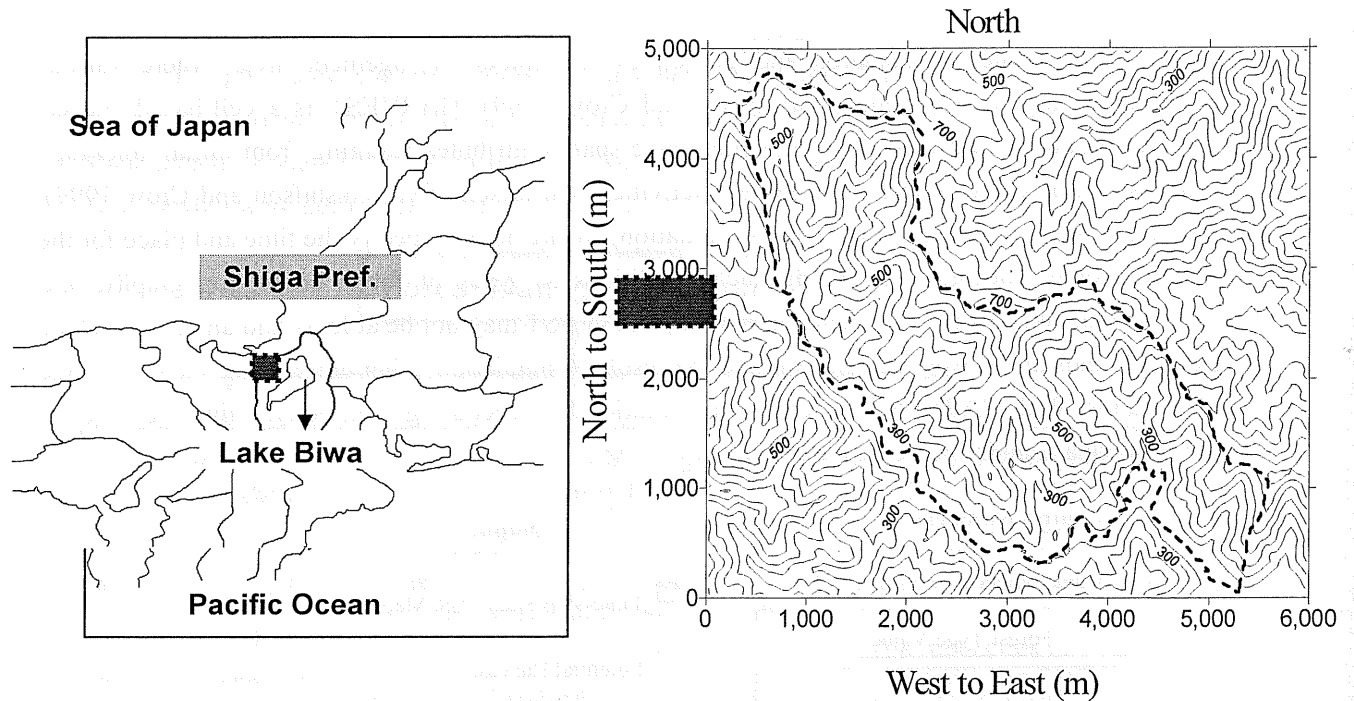


Figure 6 Location of study area (left) and topographic overview of opening up area (532 ha) with 50 m contour intervals (right).

Mountainous river networks were extracted according to the following procedure. Courses of rainfall runoff were extracted by the "RUNOFF" function from DEM, and then classified into watershed areas. In this way, courses of runoff were extracted by fixed watershed area.

Next, courses of runoff were compared with the river systems in a 1:25,000 topographic map based on its shape. The course of runoff in a watershed area of 1 ha corresponds to the first order stream in the map. In the same way, watershed areas of 4 ha and 25 ha correspond to the second and third order streams respectively. The watershed area of 50 ha also corresponds to the perennial stream in the map. Using the "BUFFER" function, a buffer zone was set up around the courses of runoff between 10 m and 100 m with a step of 10 m each. Mountainous river network and its buffer zone were mapped as CMZ, and the remaining part as PMZ. 40 maps in total were prepared as conditions for CMZ (Fig. 7).

All sorts of maps were combined and then classified the area into CMZ and PMZ with 600 (= $3 \times 5 \times 40$) conditions in total.

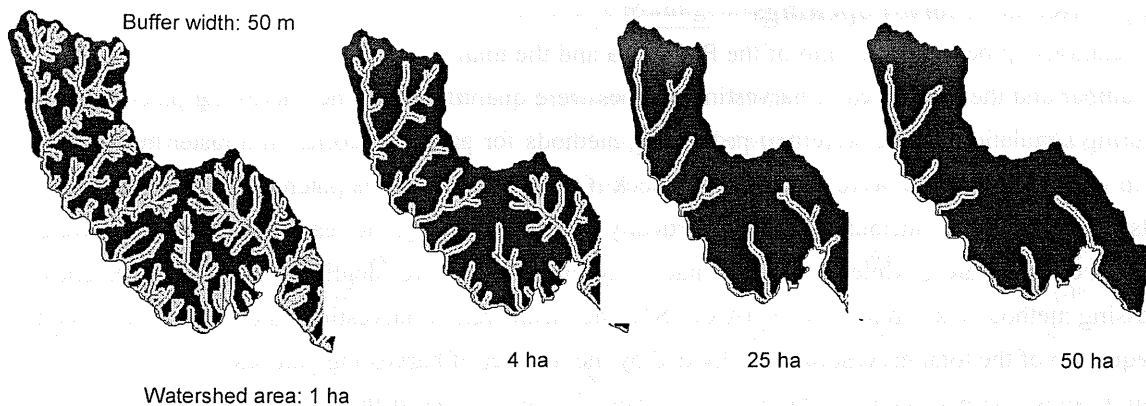


Figure 7 Spatial configuration of runoff network simulations- watershed area (1ha, 4ha, 25ha and 50ha); buffer width (10m to 100m with 10m step).

Harvest schedule/allocation strategies

Harvest schedule/allocation was planned through HARVEST on the condition that the ratio of PMZ area should surpass 80% of the area planted with *Cryptmeria japonica*. The objective of harvest schedule/allocation was determined: the present short-term (rotation interval: 40 years) plantation management should be shifted to a long-term (rotation interval: 80 years), and sustainable one. In order to realize it, age class structure of stands must be changed gradually from the current pattern of the concentration in 3 to 7- age stand class (Fig. 8) to even out throughout the classes. The simulation period was set for 80 years (= 16 working periods). The targeted area for harvesting was decided to be 25 ha during every working period. The minimum allowable age for cutting was 40 years at the beginning, and then extended gradually in order to avoid plural harvesting at the same place during simulation. As for parameters for each harvesting patch, the mean area of cutting was set at 1.0 ha with reference to private forest management systems conducted in Shiga and Gifu Prefecture (Shiba 1997; Shiba 1999). The maximum patch was 2.0 ha and the minimum was 0.01ha (= resolution of GIS data; its pixel size was 10m). Harvested patches were supposed to be regenerated promptly after the final cutting.



Figure 8 Stand age class distribution in the ongoing forest management plan.

Resulting patterns of forest openings

The relationship between the ratio of the PMZ area and the total area for harvesting were examined. Then the number and the mean area of harvesting patches were quantified. All the harvesting patches were counted during simulation. There were two processing methods for patch territories in a raster map. Cells that were in contact diagonally were identified to check if they were the same patch or not. In this paper, when cells with the same attributes shared, vertically and horizontally, at least one side, they were identified as the same patch, while those in contact only diagonally were identified as different patches. This processing method was common with HARVEST. The mean area of harvesting patches was calculated using the equation of the total harvesting area divided by the number of harvesting patches.

From a landscape perspective, changes in number, size and shape of the patches were measured in the area with *Cryptomeria japonica*. Change in patch structure will be proven through this analysis.

The total number of patches was counted in the area with *Cryptomeria japonica*. Concerning the patch size, its mean area was calculated by dividing the total area for planting by the total number of patches. The edge density and fractal dimension were measured as indices of change in patch shape (Shiba 2001). The length of the edge was calculated from its total length after defining the edge as a part of its neighboring and yet separate patch. The edge density was calculated through the equation of the total planting area divided by the length of the edge. The edge density means the length of the edge per fixed area. An increase in the edge density means its relative increase in edge environments (Forman 1995). The fractal dimension was calculated by means of setting up a minimum fractal dimension (= 1.0) from the relationship between a pixel area (= 100 m²) and the length of the edge (= 40 m) of a unit pixel. The fractal dimension was calculated using the following equation (Murakami 1997).

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

where D is the Fractal dimension, P the Edge Length, and A the Patch Area.

Comparison was made between the indices of the present forest patches and the expected ones through simulation.

Results

Functionary classification of forest management space

Changes in the ratio of the PMZ area under each condition were examined. As for the slope distribution, the ratio of the PMZ area decreased to 99.8 %, 98.3 % and 90.3 % as the mapping condition on the slope changed from 100 % to 90 % and 80 %, respectively. For collapses, the ratio of the PMZ area decreased gradually as conditions on the width of a buffer expanded. In the 30 m buffer zone, the ratio of the PMZ area was less than 80 %. As for the mountainous river network, the ratio of the PMZ area changed greatly in each fixed watershed area. The ratio of the PMZ area decreased substantially in the watershed area of 1 ha; it decreased to 22.6 % with a buffer zone of 100 m. On the other hand, the ratio of PMZ area decreased little by little in the watershed area of 50 ha: it only decreased to 89.4 % with a 100 m buffer zone. 62 conditions out of all the conditions surpassed 80 % of the PMZ area, and only one condition out of 62 surpassed 90 % (Table 1).

Table 1 The ratio of PMZ (Productive Management Zone) area after zonation.

Slope Gradient (%)	Land collapses Buffer width (m)		Mountainous river network Fixed watershed area(ha) Buffer width (m)		Ratio of PMZ area (%)	Slope Gradient (%)	Land collapses Buffer width (m)		Mountainous river network Fixed watershed area(ha) Buffer width (m)		Ratio of PMZ area (%)		
	width (m)	area(ha)	width (m)	area(ha)			width (m)	area(ha)	width (m)	area(ha)			
100	10	1	10	80.8	90	10	4	10	84.8				
			4	86.2				20	81.6				
			20	82.9				25	87.8				
		25	10	10		89.2	50	10	50	10	86.5		
				20		87.9				20	84.9		
				30		86.2				30	83.5		
			50	10		40		84.8	20	10	20	40	81.6
						50		82.9				50	80.2
						60		81.3				60	88.8
	20			10	90.1	4		10		10	10	88.1	
				20	89.4						20	87.2	
				30	88.6						30	86.4	
	20	4	10	40	87.8	80	10	25	40	85.4			
				50	86.7				50	84.5			
				60	85.8				60	83.7			
		25	10	10	70		84.9	10	10	50	70	82.6	
					80		83.8				80	81.5	
					90		82.7				90	80.3	
50			10	10	100		81.5		20	10	4	100	80.3
					20		81.6					20	82.9
					30		81.6					30	80.3
80	10	10	40	80.3	10	10	25	40	83.1				
			50	85.0				50	82.3				
			60	84.4				60	81.6				
	10	10	10	30		83.6	25	10	25	30	80.6		
				40		82.9				40	81.1		
				50		81.9				50	81.8		
				60		81.1				60	81.1		
80	10	10	70	80.2	10	10	25	70	80.3				

Harvest schedule/allocation

The result of 62 conditions of functionary classification for harvest schedule/allocation is shown below. Age class structure of stands changed to an almost even level throughout classes from the current concentration in the 3 to 7-age class of stands through simulation (Fig. 9). The targeted area for harvesting (= 25 ha) was achieved in the 7 to 13-age class and the harvesting area decreased gradually in the below 6-age class. This result suggests that adjacency constraints were controlled by harvesting patches. Stands in the 15 and 16-age class were arranged only in the areas of 3.60 ha and 0.98 ha respectively because those with allowable cutting age for harvesting were not readily available during each working period. Despite being far short of the harvesting area for 15 and 16- age class, the total harvesting area on average amounted to 315 ha (Table 2). This figure was equal to 78.7 % of the area targeted for harvesting, so it can be interpreted that the age class structure of stands is approaching a normal level based on the assumption of sustainable forest management.

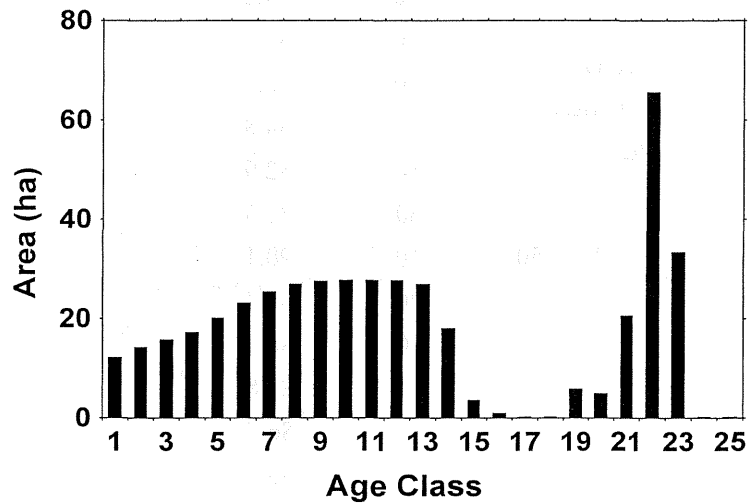


Figure 9 Stand age class distributions after harvest scheduling simulation with a rotation length of 80 years.

Table 2 Results of the landscape statistics after harvest scheduling simulation.

Variable	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of variation
PMZ area (ha)	445.5	14.7	426.4	479.2	0.033
Total harvesting area (ha)	315.0	23.1	288.8	345.4	0.073
Harvesting patch number (No.)	426	23.1	390	512	0.054
Harvesting patch area (ha)	0.74				

Resulting patterns of forest openings

The total area for harvesting and the ratio of the PMZ area didn't seem to be correlated. This trend can be seen in the variation of coefficients on the total area for harvesting compared with the ratio of the PMZ area (Table 2). The number of the harvesting patches and the ratio of the PMZ area don't seem to be correlated, either. This trend can also be seen in the variation of coefficients. And the result of the average patch area for harvesting was 0.74 ha, not reaching the targeted area of harvesting (=1.0 ha).

Figures 10 and 11 show the examples of stand age maps before and after harvest simulation respectively. Comparing both figures, large patches of the present landscape pattern were subdivided into smaller patches as a result of specifying harvesting patches in terms of space and time through simulation. It is a matter of course that harvest scheduling was limited to the PMZ area. The situation seemed to be that there were no or little harvesting parts especially in northwestern, central and southeastern parts. One reason may be that the allocation of harvesting patches in these parts controls the total harvesting area. From another viewpoint, harvesting was scheduled continuously at limited spots so that no harvesting patches were subdivided due to the concentrated allocation of harvesting patches. This led to the result that the mean patch area for harvesting did not reach the targeted area of harvesting.

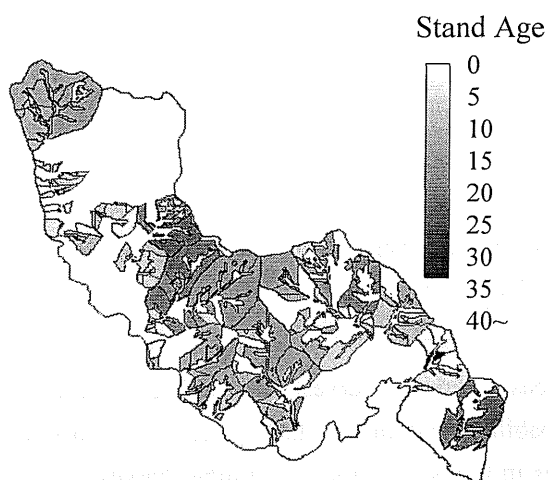


Figure 10 Actual stand age map.

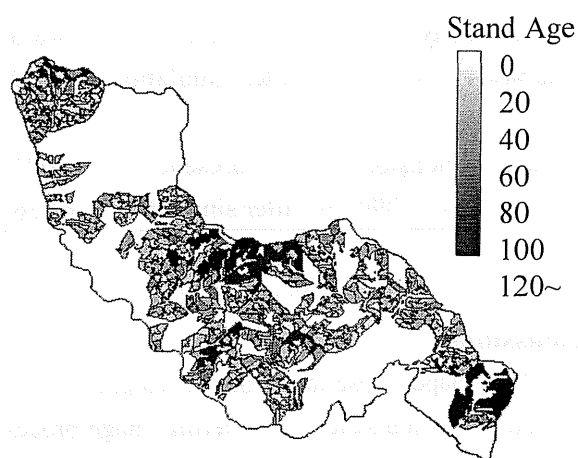


Figure 11 Stand age map after harvest scheduling simulation with a rotation length of 80 years.

With respect to the resulting patterns of forest openings (Table 3), the total number of patches increased by 387 % from the current 218 to 1,061 post simulation. It can be said that no harvesting patches were subdivided nor fragmented because when harvesting patches were allocated, the number of harvesting patches was 426. As the total number of patches increased, the mean patch area decreased by 80 % from 2.11 ha to 0.42 ha. The length of the edge increased by 117 % from 155 km to 336 km and the edge density also increased by 117%. The fractal dimension increased by 0.4 % from 1.12 to 1.14. This result suggests that the patch shape tends to be less complex. The variation in coefficients on the total number of patches and the length of the edge are considered to converge into little values through simulation. The mean patch area and the edge density, depending on the total number of patches and the length of the edge, can be expected to show similar tendency because the ratio of forest areas was fixed before and after simulation.

Table 3 Comparison of landscape statistics: patch abundance, patch size and patch shape.

Variable	Condition	Mean	Standard deviation	Minimum	Maximum	Coefficient of variation
Total patch number (No.)	present	218	40.7	165	341	0.187
	after simulation	1,061	67.9	906	1,306	0.064
Mean patch area (ha)	present	2.1				
	after simulation	0.42				
The length of edge (km)	present	155.2	10.3	139.2	182.6	0.066
	after simulation	336.2	10.0	316.9	360.1	0.030
Edge density (m/ha)	present	348.6				
	after simulation	754.9				
Fractal dimension	present	1.071				
	after simulation	1.066				

Discussions

This paper described the development of a GIS-based timber harvest scheduling system in combination with a raster GIS offering image processing capabilities within the same system and a harvest schedule/allocation model allowing simulation of differences in terms of the size of timber harvest units, the total area harvested, intervals of harvest rotation, and the spatial distribution of harvest areas.

GIS allows the production of spatial land mosaic following the functionary classification strategy. The HARVEST capabilities were illustrated through examples of predicting changes in landscape patterns with spatial and temporal contexts resulting from initial landscape conditions and potential harvesting activities. This method is not yet achieved by traditional timber harvesting management tools.

The flexible management strategies were geared toward multiple objectives (economic, environmental, and social). Analyses of resulting patterns will act as a key factor for decision-making.

Acknowledgements

The author thanks Dr. David Wilford, Ministry of Forests, Northern Interior Forest Region, Regional Service Centre, for his kind assistance to review and correct the manuscript and also the abstract for technical session presentation. This research was partly supported by a Grant-in-Aid of Scientific Research (No.16580120) from Japan Society for the Promotion of Science.

References

- 1) Baskent, E. Z. and Jordan, G.A. (1995) Characterizing spatial structure of forest landscapes. *Can. J. For. Res.* 25: 1830-1849.
- 2) Borgesa, J. G. and Hoganson, H. M. (2000) Structuring a landscape by forestland classification and harvest scheduling spatial constraints. *For. Ecol. Manage.* 130: 269-275.
- 3) Forman, R. T. T. (1995) *Land Mosaics*. 632pp, Cambridge University Press. Cambridge.
- 4) 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). Springer, New York, pp.109-124.
- 5) 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, pp.309-332.
- 6) Hoganson, H. M. and Borgesa, J. G. (2000) Impacts of the time horizon for adjacency constraints in harvest scheduling. *For. Sci.* 46(2): 176-187.
- 7) Kurttila, M. (2001) The spatial structure of forests in the optimization calculations of forest planning – a landscape ecological perspective. *For. Ecol. Manage.* 142: 129-142.
- 8) Murakami, T. (1997) Analyzing the relationship between the ratio of forest area and spatial pattern indices based on simulation. Master thesis, Kyushu University, Fukuoka. (in Japanese)*
- 9) Murray, A. (1999) Spatial restrictions in harvest scheduling. *For. Sci.* 45(1): 45-52.
- 10) Nagaoka, M. (1991) Development of forest mechanization in Austria. Monthly report of Forest Enterprises' Association of Japan 352: 26-31. (in Japanese)*
- 11) Shiba, M. (1997) Measuring the multi-dimensional efficiency of production performances in timber harvesting operations by means of Data Envelopment Analysis (DEA). *Bull. Mie Univ. For.* 21: 63-100. (in Japanese with English abstract)
- 12) Shiba, M. (1999) Dateneinhüllungsanalytische Anwendungsmöglichkeiten zur Bewertung der relativen Leistungsfähigkeit von Holzernmaßnahmen dargestellt am Beispiel des privaten Holzproduktionskörpers in der Präfektur Gifu. *For. Res., Kyoto* 71: 77-96. (in Japanese with Germany abstract)
- 13) 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.
- 14) Yoshimoto, A., Brodie, J. D. and Sessions, J. (1994) A new heuristic to solve spatially constrained long-term harvest scheduling problems. *For. Sci.* 40(3): 365-396.

* The title is tentative translation from the original Japanese title by the authors of this paper.