

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24580215

研究課題名(和文)多様な施業を組み合わせた時空間森林計画に関する研究

研究課題名(英文) Study on creating temporal and spatial forest plans using different prescribed silvicultural regimes

研究代表者

龍原 哲 (Tatsuhara, Satoshi)

東京大学・農学生命科学研究科・准教授

研究者番号：40227103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、単峰型の年齢構成の人工林を持つ地域から安定的に木材生産を行うため、地理情報を考慮して、多様な管理方法を組み合わせた長期収穫計画の策定手法について検討した。地理情報システムを利用して、地形因子から人工林の地位級を推定した。一つの森林経営体を対象として、2種類の伐採林齢を想定した収穫計画を策定する手法を示した。多くの森林経営体から構成される市町村レベルを対象として、多様な伐採林齢を導入した収穫計画を策定する手法を示した。

研究成果の概要(英文)：This study examined different approaches to creating long-term forest harvesting schedules of plantation forests using different prescribed silvicultural regimes involving geographic attributes, with the aim of producing a stable flow of timber from plantation forests with a bell-shaped age class distribution. The site classes were estimated from topographic factors using a geographic information system (GIS). For a single forest owner, a long-term harvest-scheduling model was created using two different timber harvest ages. For a municipality with multiple forest owners, a long-term harvest-scheduling model was created using many timber harvest ages.

研究分野：森林科学

キーワード：高齡林 施業方法 長期計画 長伐期施業 地理情報システム

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国の人工林の年齢構成は約 50 年生が最大となる単峰型となっている。そのため、主伐期を迎える人工林が国内に多数存在しており、国産材の潜在的な供給能力は向上している。しかし、国産材には大手住宅建設会社が要求する乾燥や強度など一定の品質で必要な量の木材を安定的に供給する能力が外材より低い地域が多いため、国内の建築用材の需要に十分対応できなかった。そのため、国内の森林資源を有効活用して国産材の需要を増加させるためには、長期にわたって安定的に原木を供給する能力を高めることが必要である。

また、木材価格の低迷により民有林では人工林の主伐が手控えられ、採算が取れる人工林の伐採齢も高くなっている。人工林では、地ごしらえ、植え付け、下刈りなどの保育作業にも多くの労働力が必要とされている。そのため、従来の標準伐期齢による皆伐一斉造林型の施業方法では経費の削減は容易ではない。輪伐期が長くなるほど人工林における単位収穫量当りの育林労働投下量が減少するので、人工林経営に必要な経費を削減する一つの方法として長伐期化による保育作業の節減が考えられる。

2. 研究の目的

本研究では 60 年以上の複数の輪伐期を組み合わせるにより安定的な木材生産を目指す人工林管理の仕組みを示す。地理情報システム (GIS) を活用して各林分の特性を考慮するとともに、施業を行うのに必要となる労働量あるいは収益を均一にできるような収穫計画を同時に策定することにより、各人工林小班の施業方法を決定するような時間空間の両面に関わる森林計画を策定する手法について検討する。

(1) 地形因子による地位級区分

GIS を利用して森林管理を行う場合、対象地全体について各林分の地位を地理情報から求められると便利である。数値標高モデル (DEM、Digital Elevation Model) から簡単に計算できる地形因子を基にスギ及びヒノキ人工林の地位級を推定した。

(2) 二重輪伐期による森林計画の策定

これまでの人工林経営計画は必要なだけ林業労働力が確保できるという仮定の下で策定されることが多かった。労働量の確保に制約がある場合には、実際に施業を実行できる面積や施業を実施したほうがよい林地を示すことが重要である。また、施業に必要な労働力を事前に把握することも重要である。そこで、労働量を制約条件に使用した数理計画法を用いて、長短 2 つの輪伐期を想定し、各輪伐期を実行する伐採箇所の決定までを含めた長期経営計画を策定した。

(3) 多重輪伐期による森林計画の策定

林業採算性の悪化により、資源があっても収益性が低く素材生産活動が困難な林分も

存在するため、単に対象森林の蓄積量や成長量のみから木材供給量を算出するだけでは不十分である。日本の人工林の年齢構成が単峰型であるため、安定的に収益を上げつつ木材供給量を一定とする収穫方法は直感的には理解できない。したがって、市町村程度の地域全体で長期にわたって安定的に木材を供給するためには、経済的に木材が生産可能な人工林からの木材生産量の把握が必要である。そこで、多数の輪伐期を想定し、収益の安定性を考慮した上で、数理計画法を用いて持続可能な木材供給量の水準を予測した。

3. 研究の方法

(1) 地形因子による地位級区分

対象地は東京大学千葉演習林のスギおよびヒノキ人工林とした。

スギ人工林内に 65 点、ヒノキ人工林内に 52 点の調査点を設定した。そして調査点ごとに DGPS で座標値を取得するとともに、周囲の優勢木 3~5 本の樹高を測定し、平均樹高を算出した。樹高成長曲線を用いて、調査点の平均樹高から 60 年生時の平均樹高を推定した。表 1 のように地位級を区分して調査点ごとの地位級を求めた。

表 1 地位級区分

地位級	スギ	ヒノキ
	60 年生樹高 (m)	
1	25 -	20 -
2	22 - 25	16 - 20
3	19 - 22	- 16
4	16 - 19	-
5	- 16	-

基盤地図情報 (縮尺レベル 25000) の等高線と標高点のデータから TIN (Triangulated Irregular Network) を作成し、その TIN から空間解像度 10m の DEM を作成した。地位を推定する地形因子として、斜面傾斜角、集水域積算、湿性指数、露出度、陰影起伏、曲率、断面曲率、平面曲率の 8 つを候補とし、これらの値を DEM から算出した。そして、調査点における各因子の値を取得した。

地位級を目的変数、地形因子を説明変数とし、判別分析により判別関数を求めた。得られた判別関数を用いて対象地全域の地位級を求めた。スギでは 5 つ、ヒノキでは 3 つに地位級を区分した。

(2) 二重輪伐期による森林計画の策定

対象地は東京大学千葉演習林のスギおよびヒノキ人工林小班とした。

最初に、地位や地利情報を考慮して、各施業方法を適用した場合の小班ごとの収入および労働量を算出した。施業方法として、80 年伐期と 160 年伐期の 2 つの皆伐施業に、何も手を加えない (非皆伐) という選択肢を加えた計 3 つを想定した。収入の計算を行う際に、収穫予測については林分密度管理図を使用した。労働量の計算では、保育労働量を千

葉演習林の保育工程表より、間伐や伐木造材、集材に必要な労働量を標準工程より算出した。集材方式は架線集材とした。

次に、1分期を20年、計画期間を8分期として、0-1整数計画法を用いた最適化を行うための定式化を行った。その際、各分期において、労働量が基準値を中心に上下5%の範囲に収まる、計画期間後の蓄積が計画期間初期の蓄積を下回らない、収入が前分期より減少しない、毎分期20ha以上の皆伐を行う、という制約条件を設定した。目的関数は計画期間内の収入合計を最大にすることとした。上記の制約条件下での最低必要労働量を算出した。そして、最低必要労働量から労働量を徐々に増加させて、長期経営シミュレーションを行った。各施業方法に選択された小班の属性値の傾向について分析した。

### (3) 多重輪伐期による森林計画の策定

対象地は新潟県村上市山北地区（旧山北町）とした。対象林分は、対象地内の民有林人工林スギ小班のうち、面積が0.1ha以上のものとした。使用したデータは、新潟県庁の山北地区全小班GISデータと森林簿、森林計画図から入力した道路データ、国土地理院から入手した等高線・標高点データである。

最初に、新潟県の地位指数曲線と裏東北・北陸地方スギ林分密度管理図を用いて、地位級ごとに各林齢に対する材長別・末口径別丸太材積と本数を求めた。伐期齢は60年から120年までで10年刻みに設定し、これに何も手を加えない（非皆伐）という選択肢を加えた8つの施業方法のいずれかを小班ごとに割り当てた。1分期、1年齢を10年とした。小班ごとに分期ごとの収益を計算し、ha当たり年当たりの収益がある基準以上となる施業方法のみ、その小班で選択可能な候補とした。

次に、計画期間は15分期とし、0-1整数計画法を用いて最適化問題として収穫計画を定式化した。収益基準を0円、収穫材積および収益の許容幅を10%とした上で、以下の4つのシナリオを想定し、長期経営シミュレーションを行って、木材供給量水準を予測した。シナリオ1：6～10年齢級伐採、総収穫材積の水準最大化

シナリオ2：6～12年齢級伐採、総収穫材積の水準最大化

シナリオ3：6～10年齢級伐採、中径材収穫材積の水準最大化

シナリオ4：6～12年齢級伐採、中径材収穫材積の水準最大化

また、シナリオの違いが木材供給量水準や各林分に採用される施業方法にどのような影響を与えるのかを分析した。

## 4. 研究成果

### (1) 地形因子による地位級区分

判別分析の結果、スギについては斜面傾斜角、集水域積算、露出度、曲率の4つの地形因子が、ヒノキについては湿性指数、露出度、

平面曲率の3つの地形因子が説明変数として選択された。判別精度を表す的中率はスギが60%、ヒノキが73%であった。選択された地形要因は全て樹木の水分条件に関係するものであり、スギ・ヒノキいずれにおいても水分条件の良いところで地位が良くなるという結果となった。露出度はスギとヒノキ両方に説明変数として選択されており、地位推定において有効な地形要因であると考えられる。判別分析の結果を基に、地形因子から千葉演習林のスギおよびヒノキの地位級区分図を作成した（図1）。

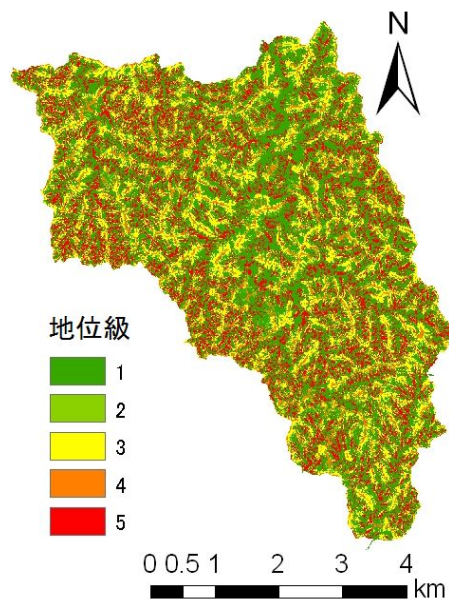


図1 スギの地位級区分図

### (2) 二重輪伐期による森林計画の策定

最低必要労働量を求めた結果、年あたり350人日であった。そこで、労働量の水準を年あたり400人日から200人日ずつ増加させた。1,200人日以上では解を得られなかったため、シミュレーションは1,000人日で終了した。3つの施業方法に割り当てられた小班的配置を図2に示す。

最低必要労働量の場合、皆伐に割り当てられた小班数は80年伐期、160年伐期それぞれ17小班、40小班であった。全体の15%ほどしか皆伐に割り当てられず、残りの310小班は非皆伐に割り当てられた。皆伐に割り当てられた小班には面積が大きい、地位が良い、斜面傾斜が緩い、道路からの距離や最大・平均集材距離が短い等の傾向が見られた。労働量の水準を増加させると、皆伐、特に80年伐期に割り当てられた小班数は増加した。160年伐期に割り当てられた小班は80年伐期に割り当てられた小班に比べて面積が大きい傾向にあったが、道路からの距離や最大・平均集材距離はほぼ同じ値となった。労働量の水準が400人日と600人日では皆伐に割り当てられた小班的属性は最低必要労働量の場合と同様な傾向を示した。さらに労働量の水準を増加させると、皆伐に割り当てられた

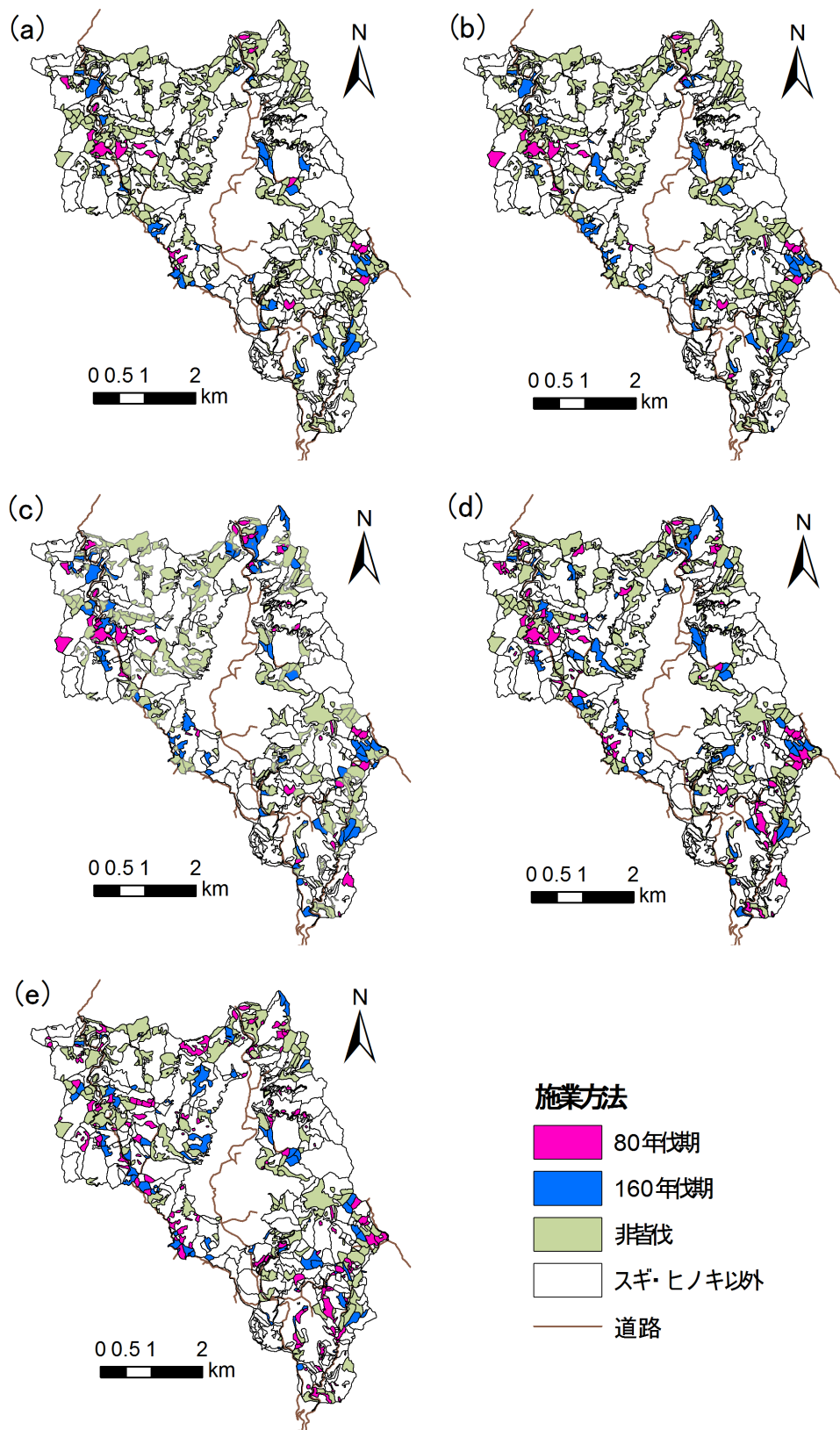


図2 労働量水準別の施業方法配置図

(a)350人日/年；(b)400人日/年；(c)600人日/年；(d)800人日/年；(e)1,000人日/年

小班と非皆伐に割り当てられた小班的面積、斜面傾斜角、平均横取り距離、架線張替回数の傾向が逆転した。

労働量水準の増加に伴い、条件が良くない

小班も徐々に皆伐に割り当てられるようになった。多くの小班で皆伐を行うよりは、条件の良い小班を集中して皆伐する方が収入の面で有利であると示唆された。

### (3) 多重輪伐期による森林計画の策定

割り当てられた各施業方法の小班面積割合をシナリオ別に示すと、図3のようになった。現在の伐期齢を継続するシナリオでは7割以上の小班面積で非皆伐が割り当てられたのに対して、伐期齢を20年拡大するシナリオでは、非皆伐が割り当てられた小班面積は全体の3割程度であった。

各シナリオで得られた収穫材積と収益の水準を見ると、伐期齢を拡大するシナリオでは現在の伐期齢を継続するシナリオに比べて約2倍になり、収益の水準はシナリオ2、4、1、3の順に大きくなった(表2)。分期ごとの総収穫材積を見ると、1分期を除いてシナリオ4がシナリオ2を上回った。収益の順番は総収穫材積量の順番とは必ずしも一致しなかった。

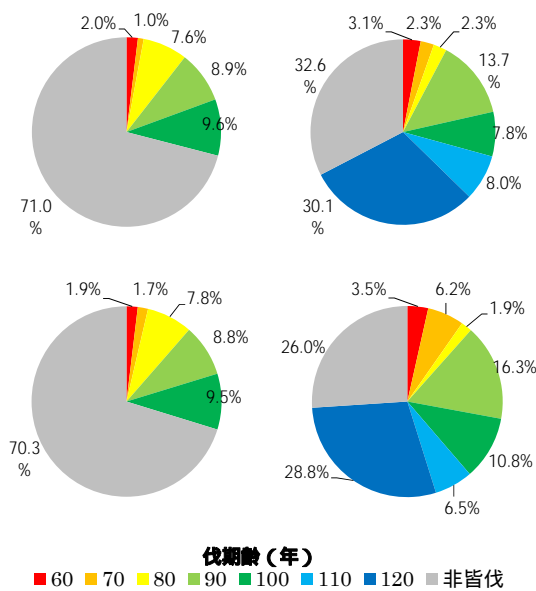


図3 各施業方法が採用された小班面積の全小班面積に対する割合

左上,シナリオ1; 右上,シナリオ2; 左下,シナリオ3; 右下,シナリオ4

表2 各シナリオの収穫材積と収益水準

シナリオ	1	2	3	4
収穫材積の水準 (千 m <sup>3</sup> )	232	437	36	78
収益の水準 (百万円)	261	676	211	569

伐期齢を20年拡大することにより現在の伐期齢と比べて収穫を行う面積と各分期の収穫材積が大幅に増加した理由は、初期の年齢構成が単峰型であるためである。収益水準の順番と総材積の収穫量水準の順番の不一致により、総材積の収穫量の最大化が必ずしも収益の最大化ではないといえる。収益水準では、中径収穫材積水準最大化シナリオが収穫材積最大化シナリオを下回った。そのため、地区内にある大規模製材・集成材工場の中

径材を中心に生産を行う計画では、森林所有者の収益が必ずしも最大化されない。地域で木材生産計画を考える際には、供給側の経済的最適行動と需要側の需要の違いをどう埋めるかを考える必要もある。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

Suguru Watanabe and Satoshi Tatsuhara, A long-term harvest scheduling model involving two types of rotation and variable labour requirements, Journal of Forest Planning, 査読有, Vol.19, No.1, 2013, 17-26

[http://ci.nii.ac.jp/els/110009983656.pdf?id=ART0010538302&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order\\_no=&ppv\\_type=0&lang\\_sw=&no=1461565471&cp=](http://ci.nii.ac.jp/els/110009983656.pdf?id=ART0010538302&type=pdf&lang=jp&host=cinii&order_no=&ppv_type=0&lang_sw=&no=1461565471&cp=)

守屋智之・龍原 哲、収益の安定性を考慮した持続可能な木材供給量水準の予測。日本森林学会誌、査読有、96巻、2号、2014、109-116

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfs/96/2/96\\_109/article-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jjfs/96/2/96_109/article-char/ja/)

龍原 哲・正垣悠太、1:25,000地形図から作成したDEMを基に推定した傾斜角と方位角の誤差。森林計画学会誌、査読有、48巻、2号、2015、67-74

〔学会発表〕(計4件)

龍原 哲・當山啓介・鈴木 誠、人工二段林における上木と下木の成長。第124回日本森林学会大会、2013年3月26日、岩手大学(岩手県・盛岡市)

守屋智之・龍原 哲、収益の安定性を考慮した持続可能な木材供給量水準の変化水準からの変動幅と収穫制約期間に関する分析。第125回日本森林学会大会、2014年3月28日、大宮ソニックシティ(埼玉県・さいたま市)

龍原 哲、新潟県村上市山北地区におけるスギ大径材の利用。第126回日本森林学会大会、2015年3月28日、北海道大学(北海道・札幌市)

奈良和正・龍原 哲、林分団地化を考慮した施業計画の策定。第126回日本森林学会大会、2015年3月28日、北海道大学(北海道・札幌市)

### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

龍原 哲 (TATSUHARA, Satoshi)

東京大学・大学院農学生命科学研究科・准教授

研究者番号: 40227103