

学位論文

シミュレーションによる
林業経営の経済性評価に関する研究

東京大学大学院 農学生命科学研究科 森林科学専攻

當山啓介

2011年

論文の内容の要旨

森林科学専攻
平成20年度博士課程 進学
氏名 當山啓介
指導教員名 白石則彦

論文題目 シミュレーションによる林業経営の経済性評価に関する研究

主に戦後に造成された人工林資源が成熟するに伴い、我が国では収益性改善による林業の再興や木材生産量の拡大が大きな課題となってきた。また、間伐の団地化や長伐期化、再造林放棄といった具体的課題の改善や解決も求められる。さらに、地球温暖化防止や生物多様性維持といった公益的機能発揮のためにも、検討の基礎となる林業経営情報が必要である。このため、包括的な林業経営シミュレーターを構築し、収益性や補助の効率性といった経済面から望ましい林業の在り方を把握し、提示することを目指した。

本研究の構成は大きく二つの部分から成っている。まず前半で、林業経営上の最小単位となる単一森林区画の経済性を柔軟に算出することを目指し、単一林分経営シミュレーションを行った。次に後半で、そのシミュレーターを活用して、森林区画の集合体である地域スケールの林業経営に対して検討を行った。

前半ではまず、「材価は一律としか想定できないのか材種間の違いを反映できるのか」「伐出費計算は集材距離の違いを考慮できるのか」といった、単一林分経営シミュレーターを構成する各サブモデルの構造（構造仮定）を適切に設計する必要がある。本研究では、単一森林区画の経済性に影響を与える因子（例えば材価や集材

距離)をなるべく多く可変的に扱うことができ、汎用性の高い単一林分経営シミュレーターを構築した。続いて、シミュレーションを適用して出力結果を観察する舞台となる標準的な森林区画状態や社会状態の各因子(例えば集材距離や材価)の値を設定する必要がある。本研究では、標準的な各因子の値(標準仮定)を設定した上で、各因子の値を変化させた場合の出力の挙動も観察できるようにした。なお、全因子が標準仮定である状態を「標準状態」と呼ぶこととする。

その上で、(1-1)適切な経済性評価のために要求される構造仮定の検証 (1-2)普通伐期方針、最適伐期方針、皆伐・再造林放棄方針及び混交林化方針の下での収益性等の経済性が持つ基本的特徴の整理 (1-3)収益性感度分析による、林業収益性確保の条件の包括的把握 (1-4)林業収益性確保のために有利な間伐・皆伐体系の決定論的探索——を行った。シミュレーション結果評価のため想定する対象地は山形県最上郡金山町のスギ人工林、想定する伐出作業システムはチェーンソー伐木・グラップル木寄せ・プロセッサ造材・フォワーダ集材である。

本研究の後半は地域森林管理シミュレーションを行った。ここでは、前半で構築した単一林分経営シミュレーターを用いて作成した各森林区画の管理方針案を使用し、まとまった規模の地域森林経営の0-1整数計画問題を構築した。具体的には二段階の最適化問題として、第一段階で利用間伐団地形成数の最小化(間伐団地の最大化)、第二段階で10分期(50年)の収益最大化を行った。そして、(2-1)現実的課題である利用間伐時の団地化を最大限推進することを想定し、その課題抽出(2-2)森林資源の現況から見て望ましい伐期や間伐体系の選択についての検討——を行った。想定する対象地は金山町内の所有規模が小さく高齢級の少ない民有林(スギ人工林は1,474区画554ha)である。

(1-1) 妥当な構造仮定

材価や伐出費の代わりに立木価格を単純に採用した場合は標準状態と比べて、最適伐期齢が大きく若齢にシフトし、また区画面積等の伐出費関連の因子を考慮しないため、収益性推定値が妥当となる条件は非常に限られた。従って、立木価格を採用することは単一林分経営シミュレーターにとって妥当な構造仮定ではない。また、土地純収益説に従い土地期望価(SEV)で収益性を表す場合、長伐期林業地における本研究で2%~3%程度以上の割引率を想定することは、造林費(及び管理費)が圧倒的に大きな影響を収益性に及ぼすことになるため非現実的である。構造仮定としてSEVを収益指標に採用する場合は、1%程度の低割引率以外は想定し得ない。一方、40年生からの将来収益現在価値(PVFP)を採用する場合は、比較的高い割引率を採用することも可能である。収益性や最適伐期の試算を行う際には以上の点を必ず踏まえ、また、標準状態設定において区画面積等各因子の選択は慎重に

行われ、かつ明示されるべきである。

(1-2) 4 方針の特徴と差異

標準状態においては再造林費を長伐期の皆伐収入で賄えるため、低割引率での SEV は最適伐期方針と皆伐・再造林放棄方針において高く、普通伐期方針と混交林化方針では低かった。SEV ではなく PVFP で見るならば、4%の割引率下でも収益は正であった。皆伐・再造林放棄及び混交林化方針は1輪伐期の補助総額が小さいため、対補助費の収益や原木販売額は非常に大きくなった一方、必要労働量は小さかった。高齢林間伐への高額補助がある場合を想定しても収益性の大小関係にはほとんど変化がなく、混交林化方針の PVFP を最適伐期方針及び皆伐・放棄方針のそれより大きくすることはできなかった。

(1-3) 収益性に対する感度分析

各因子の収益性に対する影響の度合いは、連年費用（収入）に換算すると理解しやすい。収入に直結する材価等の因子や平均集材距離等は、収益性に対する影響が一般に大きかった。

標準状態において区画面積を想定 of 最小値(0.3ha)から最大値(5ha)へ変化させた場合の収益性への影響も大きかったが、0.3ha などの過小な状態からの規模拡大による収益性改善効果は大きいものに対して、3ha などのある程度の規模を既に持つ区画の拡大による効果は小さかった。面積が過小であると平均集材距離や作業道単価といった付帯費用に関連する因子の影響が非常に大きくなり、好条件でない限り収益性の確保が難しくなった。

本研究の感度分析の結果は、他のシミュレーションが拠って立つ構造仮定や標準仮定を検証する際に参照できる。また、林業の各ステークホルダーが標準状態を設定し、自らの興味に合った感度分析図を入手できるようにすればなお有効であろう。

(1-4) 林業経営の経済性において有利な間伐・皆伐体系

最適伐期齢は、割引率が 0~1% の場合はほぼ全ての因子の組合せにおいて 110 年（上限）であった。2%以上の割引率においては、75 年~100 年生程度を最適伐期齢とするものも見られた。

最適な間伐体系については、上限の 110 年を最適伐期齢とした因子組合せにおいても、利用間伐を 1 回のみ行うのが最適だとした場合が全体的に最も多かった。利用間伐 3 回が最適となったのは、間伐補助タイプを高齢林間伐への高額補助があるものにした場合が大半だった。構造仮定によるが、利用間伐を繰り返すことによる費用のかかり増しがあるため、多回数利用間伐が収益面で有利と言えないと思われる。

なお、最適伐期齢での収益最大値に近い収益性を達成できる伐期齢の範囲は 30 年前後あるなど、伐期に対して収益性は明確な極大値を示すわけではなかった。

(2-1)地域森林管理モデルにおける利用間伐団地化の課題

シミュレーションの結果、形成される間伐団地には収穫量・立木材積制約水準の違いによる影響は少なかった。団地候補内の人工林資源量の制約から、利用間伐を極力同期化しても間伐団地の十分な規模を確保できない場合が多かった。間伐団地の平均面積はおよそ 4ha となり、5ha 未満が団地数の約 7 割、1ha 未満も約 2 割を占めた。団地化については、団地化の困難な小規模飛び地状の森林を条件不利森林と認め、これが多数存在しうることを認識して適切な処置を講じるべきである。

(2-2)森林資源の現況から見て望ましい伐期や間伐体系の選択

本格的な収穫を行うまで 3 分期ほど収穫を抑制し、その後は徐々に比較的若齢林を皆伐しながら資源成熟を図るのが有利とされた。立木材積・収穫量水準の制約による皆伐齢級構成への影響はあまりなかった。すなわち、収穫量水準が小さい場合、実施すべき団地間伐は変わらないが条件不利区画での皆伐を見送るのが有利とされた。また、選択された間伐体系は利用間伐が 1～2 回のもが多く、未成熟な齢級構成下で収益性を追求すると、多回数高齢利用間伐より皆伐が（最適伐期齢より若くとも）選択されることとなった。前半の結果と併せて望ましい伐期・間伐体系について考察すると、団地間伐を含む少数回の利用間伐を行った上で条件有利区画のみで最終的に皆伐する「選択と集中」型林業が有利である。この認識が、公益的機能の発揮の方策や効率的な補助のあり方を考える上で必要ではないか。

以上のように本研究は、林業の経済性を検討する際の客観的基礎を提供するとともに、客観的かつ妥当な仮定に基づくシミュレーションを通じて適切な判断材料を林業のステークホルダーに提供し、望ましい森林管理を実現するのに資するものである。

目次

第1章 序論

1-1. 我が国における人工林の変遷と課題	1
1-2. 森林の公益的機能と経済性	2
1-3. シミュレーションの意義	3

第2章 単一林分経営シミュレーション

2-1. はじめに	5
2-1-1. 我が国における単一林分経営シミュレーターの現状	5
2-1-2. 本章の目的	7
2-2. 方法	9
2-2-1. シミュレーションにおいて想定する対象地	9
2-2-2. シミュレーターの構造	9
2-2-3. 標準仮定と想定する仮定	20
2-2-4. 集計・分析の方法	26
2-3. 結果	27
2-3-1. 標準状態における収入および支出の概要	27
2-3-2. 4方針の収益性等の大小と補助額との関係	27
2-3-3. 標準状態における各因子の収益性感度分析	29
2-3-4. 全パターン平均による各因子の収益性感度分析	33
2-3-5. 収益性変化曲線	37
2-3-6. 諸因子と最適伐期齢、最適間伐体系との関係	39
2-4. 考察	42
2-4-1. 補助の効率性	42
2-4-2. 立木価格の採用	43
2-4-3. 割引率と造林費	43
2-4-4. 収入	44
2-4-5. 区画の規模	45
2-4-6. 間伐体系と最適伐期	46
2-5. 課題	48

第3章 地域森林管理シミュレーション

3-1. 背景と目的	50
3-2. 森林管理最適化問題における数理計画モデルの概要	51

3-3. シミュレーションにおいて採用する仮定	5 4
3-3-1. 対象地	5 5
3-3-2. 目的関数の定義とモデル構造	6 2
3-3-3. 収支計算	6 2
3-3-4. 同期化できる収穫の齢級	6 4
3-3-5. 定式化	6 4
3-3-6. 使用したソフトウェア	6 5
3-4. 結果	6 5
3-4-1. 収穫量・立木材積制約による差異	6 8
3-4-2. 形成される間伐団地	7 1
3-4-3. 伐採齢と皆伐	7 2
3-4-4. 採用された間伐体系	7 2
3-5. 考察	7 2
3-5-1. 団地規模の過小性	7 3
3-5-2. 収穫量・立木材積水準の影響	7 4
3-5-3. 伐期、間伐体系	7 4
3-5-4. 経時変化	7 4
3-5-5. 団地形成優先の是非	7 5
3-6. 課題	7 7
第4章 総合考察	
4-1. はじめに	7 8
4-2. 単一林分経営シミュレーションにおいて妥当な構造仮定	7 8
4-3. 非皆伐施業、多間伐の是非	8 0
4-4. 団地化における課題	8 0
4-5. 今後の課題と展望	8 3
謝辞	8 4
引用文献	9 1
参考資料1 使用した伐出作業の標準功程式及び仮定	9 6
参考資料2 金山町内森林および対象地の様子	

第1章 序論

1-1. 我が国における人工林の変遷と課題

人工林とは定義上、人の手によって造成された森林であり、わが国では主に用材利用を意図したスギ等の針葉樹林で構成されている。人工林は自然植生とは大きく異なる森林の形態であるため、元来は木の畑と言っても過言ではない存在である。日本には約1,000万haという、森林面積の2/5、国土面積の1/4以上に相当する人工林が存在するが、これは、木の畑として捉えるなら日本最大の作付面積の農作物であり、天然林の破壊という見方をすると日本最大の環境破壊であり、荒野への植林と捉えるなら日本最大の環境保護と言えよう。

わが国では少なくとも20世紀初頭から毎年数万ha以上の造林が行われていたが、第二次世界大戦後にはまず、戦時中の濫伐等により劣化した森林の復旧造林が行われた。それに続いて、木材供給不足に 대응するとともに燃料革命や化学肥料普及等によって経済的価値を失った薪炭林（あるいは里山）を活用するため、拡大造林が全国的に精力的に展開された（井口, 2004）。拡大造林期の山元立木価格は物価・賃金水準と比較して非常に高く、山林・立木はまさに宝の山であったことから、拡大造林を担った人々はバラ色の未来を夢見て苗を運んだに違いない。

その後は必然的に、拡大造林の成果である広大な人工林の下刈、除伐、間伐の適切な実施が各時代の重要課題であり続けてきた。賃金水準の上昇や木材輸入自由化が行われるなど林業を取り巻く条件は厳しくなり、長期間にわたって費用ばかりかかる保育施業は滞りがちであったことから、1979年度から始まった森林総合整備事業によって除間伐を含めた保育施業が本格的に補助される等、様々な対策がとられてきた（井口, 2004）。また、森林所有が小規模分散的であることによる非効率性の克服も長年の課題であり、森林所有者のための協同組織である森林組合の支援に加えて、所有者が保育・収穫作業を自発的かつ計画的に実施するよう、1968年には森林施業計画制度が始まった。1974年からは複数の小規模森林所有者で共同して施業計画を作成する団地共同森林施業計画も奨励され（森林計画制度研究会編, 1992）、さらに2001年からは森林所有者から委託を受けた者が施業計画を作成できるようになるなど工夫が重ねられてはきたが、林業は低迷を続けてきた。

そのような中、1997年の気候変動枠組条約締約国会議で採択された京都議定書によって、カーボンシンクとしての「管理森林」の役割が認められ、間伐対象齢級が多かった日本の人工林においては間伐実施が強力に推進されるようになった。このころには拡大造林由来の大面積の人工林資源の成熟が進み、これまで想定されてきた標準伐期齢を迎える人工林も増加してきた。行われる施業も利用間伐（や皆伐）

に推移することが期待され、保育の時代から利用の時代に移行しつつあると言われているようになってきた。現在では齢級のピークが10 齢級付近に達している。

しかし、かつてと比較しての低材価・高賃金をはじめとする諸原因により林業の採算性は低く、実施された間伐の多くは伐捨間伐であるほか、皆伐を含む木材生産量全体も低い水準に留まっており、「利用の時代」は実現途上である。さらに、再造林費の削減が進まない中で逆にシカ食害の蔓延による費用増加もあり、九州を中心に皆伐後に再造林が放棄されるケースが問題化しているなど、林業において顕在化している課題は数多い。これらの解決を目指して、近年、様々な機会を通じて森林管理に関する提案もなされてきた（例えば梶山, 2004 ; 持続可能な森林経営研究会, 2010 ; 「循環型社会に資する日本型森林管理・経営モデルの構築」検討委員会, 2010 ; 日本プロジェクト産業協議会森林再生事業化研究会, 2010）。

このような背景の中で政府は、2009 年末に「森林・林業再生プラン」、続く2010 年に「新成長戦略」を発表した。これらの中では、林業に関する包括的改革を行って林業の第一義的目的である木材生産活動を積極化することが強く謳われ、10 年後に木材自給率を50%以上にすることが目標として掲げられた。しかし、思い起こせば「再生プラン」のわずか3年前の2006年（平成18年）に策定された森林・林業基本計画においては、「100年先を見通した森林づくりを目指す結果、木材供給量は2004年の1,656万m³から2015年に目標として2,300万m³、2025年に参考として2,900万m³を見込む」と謳われていた。このように、目標設定に関する政策方針転換のテンポは非常に早く、その変更幅は劇的であった。ここで懸念されるのは、そのように大きく変更される新方針の実現性であろう。そもそもの方向性すなわち本当にあるべき「100年先の森林の姿」を検証し直すとともに、新たな目標の実現を支え、そこで問題点があれば迅速に指摘し改善方法を発見することが、実学たる農学あるいは林学に求められていると言えよう。

1-2. 森林の公益的機能と経済性

林業は本来、言うまでもなく産業であり、造林から木材加工及びその流通まで含めて裾野の広い産業群を農山村に提供しうる貴重な存在である（梶山, 2009）。一方で、森林は、一説には日本全体で年間70兆円を超えるとも言われる計り知れない公益的機能を発揮している（日本学術会議, 2001 ; 脇本, 2005）。最近の世論調査によると、我が国では、森林に対する国民の期待として最も大きい項目は二酸化炭素吸収を通じた地球温暖化防止であり、水源涵養や国土保全、環境改善といった機能に対する期待も高かった（内閣府, 2007）。細かい順位はともかく、ここで強調したいのは、そもそもの林業の主目的であった木材・林産物生産への期待が最低であり、

それらについて多くの国民が縁遠いものとして捉えていることである。生産活動としての林業は不要なのであろうか。

公益的機能発揮を促進したり、花粉症の主原因と目の敵にされるスギの樹種・品種転換といった根本的対策を行うとすれば、すぐ思い浮かぶ方法は公的管理による手入れ（間伐等）である。現在、独自の森林環境税等を財源として全額公的資金による公的管理を行う県が増えつつあるが、これは森林所有者が適切な人工林管理を行えない場合に一定期間の禁伐を条件に全額公的資金で間伐等を実施するといった形態であり、膨大な費用がかかる。しかし、間伐や林相転換が経済活動の一環として自発的に行われるのであれば、原則的に公的資金注入は不要となるはずである。このため、もちろん環境に配慮した丁寧な施業を担保する必要はあるが、公益的機能発揮の側面だけから考えても、産業としての林業の再建が望ましいことは間違いないだろう。

ただ、多面的な公益的機能を発揮している森林（民有林）は私的財であると同時に公共財でもあるため、個々の森林所有者が利己的な行動を野放図に選択しては、公共財が劣化して最終的に森林所有者にとっても損失となりかねない。このため、望ましい森林管理を森林所有者が選択するように、何らかの形で制約あるいは誘導する仕組みを整えることが求められる。例えば、公的な制約の典型例として法規制、公的な誘導の典型例として補助やピグー税、現代における非公的な規制・誘導の例として森林認証やカーボンオフセット等を支持する世論や集落内等での人々の相互意識、消費者に常に監視される企業意識等が挙げられる。しかし、これら全てが究極的には人々の意識によって決定され、経済的環境をも考慮しながらステークホルダーが意思決定を行うと言ってよいだろう。その意思決定における各判断材料の軽重を論ずるのは本論の範囲を超えるが、各種誘導を通じた外部経済の内部化すなわち「森林管理における公益的機能の経済性への転換・統合」が図られることから考えても、経済性が森林管理の意思決定基準の中で最上位あるいはそれに近い位置を占めることは疑いないだろう。したがって、筆者は基本的に「個々人が市場原理に基づき利己的な経済活動をしていけば、それが社会全体にとって望ましい森林状態を実現する」ようなルール・制度が整備されていることが、望ましい森林管理実現の前提であらうと仮定する。

このようなルール・制度を模索し、かつ森林所有者等が自らのためによりよい経営判断を下すためには、シミュレーションによって厳密かつ詳細な経済性評価が行われ、その情報が提供されることが有効だと考えられる。

1-3. シミュレーションの意義

シミュレーションはその客観性・普遍性・可変性が特徴である。例えば、他地域で成功した方針をある経営者も採用するか検討する際、諸条件を総合的に見た上で最終的には直感で自らの状況に適用可能か否かを判断していたところを、より定量的な判断を行えるようになると期待される。森林は、木材生産等のために消費するのは簡単でも、回復には超長期間を要するという特殊な存在である。このため、一人の人間が同一林分で多数回の主伐を経験することは非常に困難である。したがって、最新のデータ・技術に基づく適切なシミュレーション予測が森林管理上の適切な判断のために今後も求められると言えよう。

また、1995年の地方分権推進法、2006年の地方分権改革推進法に代表されるように、公的な役割を可能な限り「中央集権」から「地方裁量」に移行することは近年一貫した政策方針である。森林分野についても、1998年の森林法改正により総合的な市町村森林整備計画の作成をはじめとする各種権限と責任を市町村が持つこととなった（笠原，2004）。さらに、2001年に森林・林業基本法及び森林法で定められ2002年以降全国で実施されてきた「水土保全林」「森林と人との共生林」「資源の循環利用林」という三機能区分（ゾーニング）は、実効性と分かりやすさを向上させるためにいったん廃止した上で、市町村が必要に応じて独自裁量でゾーニングを設定するように提言された（森林・林業基本政策検討委員会，2010）。このように、地域の実情に合った森林管理施策の実施が市町村にますます求められているが、市町村の行政官には森林の専門家が少ない。また本格的な伐出、木材販売の経験のない地域も多いことから、地域ごとに適切な森林管理施策を実行できるか懸念されている。これらの点に対しては林業普及指導員制度を改組した新人材養成制度が検討されているが、加えて、適切なシミュレーションツールの活用によって政策シナリオを比較し、意思決定を支援することがますます求められると言えよう。

本研究は、望ましい森林管理の実現に資するシミュレーションモデルを構築してその利用条件を明らかにするとともに、シミュレーション結果から普遍的提言を行うことを目的とする。その際、上記のように、森林所有者に対して現場レベルで個別に経営判断を支援するツールと、政策立案のベースとなるような地域レベルでの分析ツールの双方が求められるだろう。その双方を検討するため、本研究は、単一林分経営シミュレーションモデルの構築及びそれを利用した分析（第2章）、さらにそのモデルと知見を利用して、まとまった規模の地域森林経営シミュレーションモデルを構築・利用する試み（第3章）と総合考察（第4章）で構成されている。

第2章 単一林分経営シミュレーション

2-1. はじめに

2-1-1. 我が国における単一林分経営シミュレーターの現状

わが国では、林木や林業経営の状態をより柔軟に予測する手法の開発が続けられてきた。樹木成長予測については、従来の収穫表や林分密度管理図より高い自由度を持つシステム収穫表 (Konohira, 1995) がある。これまでにシルブの森 (田中, 1991; 田中, 1993; 田中・嘉戸, 2001) や穂の国『創造』(稲田, 2006)、個別地域に即したもの (例えば長濱・近藤, 2006) 等とともに、全国的展開が進みつつある LYCS (白石, 1986; Nakajima et al., 2010; 森林総合研究所, 2010 a) が開発されている。これらから得られた林分情報を利用し、採材モデルを経由して収入の予測につなげることで、より詳細な収入予測を行うことができる。採材プログラムを用いて収入予測を行った例としては Tatsuhara and Dobashi (2006) が挙げられ、LYCS と統合したモデルも開発されている (Nakajima et al., 2009)。

一方、林業における主な支出である伐採搬出費 (伐出費) の予測も様々に試みられてきた。道の経費を含めるか等で形は多様であるが、その中心的な手法は、各作業のサイクルタイム、生産性や伐出費等のある段階を林分条件や立地条件から予測し (例えば澤口, 1996; 岡, 2006)、それらを必要に応じて積算して (梅田ら, 1982; 全国林業改良普及協会, 2001) 費用総和としたり集材距離等を変数とする費用関数とする。そのような手法とは別に、伐出費を立地条件等による回帰で直接説明したり (野田ら, 2006) 統計処理により各伐出システムが優位となる条件を探索したものがあ (藤野, 2008)。

もう一つの中心的支出である造林費の推定については、その費用が条件によってかなり左右されることが経験的に理解されており、また本研究の対象地である山形県最上地方の造林業者への聞き取りにおいても確認されている。しかし、条件の違いが生産性や費用にどの程度の違いをもたらすのかに関する研究はあるものの (例えば近藤ら, 2002; 近藤ら, 2004; 當山ら, 2009)、明確な結論を得るに至っていない。

以上のように、林業経営の経済性を構成する各部分の分析が進められてきた。しかし、異なる条件の下での単一森林区画の収益性等を総合的に扱うシミュレーター (単一林分経営シミュレーター。以下、シミュレーターと呼称) を構築し検討した例は多くない。なお本研究では、一体的に取り扱うひとまとまりの森林を指す最も妥当な表現として「(森林) 区画」を採用する。林学用語でそれに近い概念は「小班」であるが (南雲・岡, 2002)、行政用語として別の定義で扱われうる点と複数区画を

一区画とみなす必要がある時がある点を考慮し、本研究では採用しなかった。また、本来ならば「単一（森林）区画経営シミュレーター」などとすべきであるが、森林経営用であることが明示的となるように「単一林分経営シミュレーター」とした。

単一林分経営シミュレーションは二つの型に整理できる。一つ目は、代表的な条件（標準状態）を想定した上でそこでの現状把握や政策・諸条件変化の影響を観察するもの（標準型）であり、二つ目は、個別の対象林分の経営判断に資するために個々に適用させることができるもの（個別型）である。個別型を検証できるシミュレーターならば標準型も検証できるが、逆は必ずしも成り立たない。また、シミュレーターが採用する仮定は、モデルの構造自体に関する仮定（例えば、収入に関して、利用材積に比例させるか径級ごとに異なる材価とするかといった仮定。「構造仮定」と、主に標準状態を設定するための適切なパラメータの仮定（例えば、材価をいくりに設定するか。「標準仮定」）に分けられる。

以下に、単一林分経営の収支を総合的に計算した先行研究を挙げる。

まず、収支計算とはやや性格が異なるが、最適伐期齢の理論値とその挙動を検討したもの（赤尾・有木, 1989; 赤尾・岩井, 1990）が挙げられる。赤尾・岩井（1990）は（1）完全競争市場（2）定常性（3）1点投入1点算出（4）変数とする林木の成長関数 を前提的仮定とし、立木各種最適伐期齢の比較及び価格と利子率に対する挙動の整理を行っている。

事例に基づく研究として、大崎（1970）は栃木県の110戸の林家の造林から伐採までの投資利回りを実例より算出しており、統計的に有意でなかったものの「大規模所有、スギ、疎植（2000本/ha）、地拵補植実施、下刈多回、高割引率下では50年程度の伐採期」が有利であったとしている。

既存の単一林分経営シミュレーションのうち、「標準型」の典型的な例は森林・林業白書に見られる。例えば平成13年度森林・林業白書（林野庁編、2002）においてスギ・ヒノキ、造林等補助の有無ごとに「造林投資の利回り相当率」（1伐期における内部収益率に相当）を算出しており、これ以外の年度も標準的な収入・支出の合算による評価を提示している。加用ら（2006）のように全く誤った林分成長値を使用するような例は少ないものの、成長・材価・伐出経費・造林補助等の扱い方、すなわち標準仮定の設定次第で収益性試算結果は大きく異なるため、注意が必要である。敢えて言うならば、採用されている標準仮定（及びそれに基づく試算結果）が適切であるかどうかは専門家以外の第三者には判断しにくい。

「標準型」と「個別型」の中間的手法であるが、Kuboyama et al.（1997）は「標準型」モデルの上に複数タイプの雪害リスクを想定して高齢林のリスク割合が最適伐期齢に大きな影響を持つとした。また Kuboyama and Oka（2000）は 高齢林で被害率の高い風害地では最適伐期は短く、高齢林で被害率の低い雪害地では最適伐

期は長くなるとした。

「個別型」モデルによって感度分析を行った例としては、伐出生産性・割引率・造林保育必要人工数を変動させて各種の輪伐期を試算しているもの（平田・田中, 1984）、最適間伐体系選択という条件下での地位・植栽本数・材価体系・直径分布型・割引率と内部収益率の関係を示したもの（江尻, 1991）、材価・労働者賃金・割引率を変動させた場合を示して割引率の伐期依存性の明示を試みたもの（江尻, 1992；江尻, 1993）、地位や造林時賃金・伐出費単価と内部収益率の関係を調べたもの（家原・黒川, 1990）、地位・植栽密度・賃金単価を変化させて収益性の変化を見たもの（長谷川, 2000）、伐出費をGIS（地理情報システム）データから算出した上で地位・地利・木材価格が変化した場合に収益を確保できる森林の増減の程度を示したもの（Tatsuhara and Dobashi, 2006）、炭素価格・複数の間伐補助タイプと多様な間伐体系の下での現在価値を示したもの（Yoshimoto and Marušák, 2007）等がある。さらに、総合的な林業経営シミュレーションツールとして、森林総合研究所（2010b）はシステム収穫表LYCSや伐出費用算定モデル等を組み合わせた伐出収支予測システムFORCASを試作・公開しており、単一林分経営シミュレーションとして林業現場での意思決定においての活用とともに、政策決定の参考としてのシミュレーション活用も期待される。

また、1992年のUNCED（国連環境開発会議）における森林原則声明とそれ以降に広く作成・使用されてきた森林管理の「基準」「指標」では、森林の生産・経済面の持続性のみならず環境・生物多様性・地域社会の持続性といった内容が重視されている（Holvoet and Muys, 2004）。このように、現在および今後の森林管理においては多面的な持続可能性の担保が非常に重要である。この流れを受け、各国で検討されている森林管理計画問題においては経済性以外の面も重視され、それらを目的関数として扱うこともしばしばある（光田ら, 2009；Shan et al., 2009）。とはいえ、林業を経営、経済活動として行う範囲では、経済性の指標を最適化の目的関数として設定することも依然として多い（Newman, 2002）。

2-1-2. 本章の目的

わが国ではこれまで、特に伐出費の詳細な設定が行われたのは伐出費のみに着目する研究に限られていた。現実には立木条件や立地条件等によって大きな変動のある伐出費については、「個別型」収益性評価モデルにおいて伐出費水準自体を変動させた例はあるものの（平田・田中, 1984；家原・黒川, 1990）、伐出費を規定する伐区条件を変数として扱うなどして収益性や収益率、最適伐期等を包括的に検討した研究は見当たらない。したがって、本章ではまず、伐出費を規定する伐区条件を含むなるべく多くの因子を可変的に扱うことができ、汎用性の高いシミュレーターを

作成し、特定の一森林区画の林業経営を個別に診断できるようにした。ただし、「構造仮定」において強い仮定を置くことは手間を省くという利点がある上に、既知の情報が限られていて十分な精度を持つ推定ができない場合にも有効である。したがって、シミュレーターの各サブモデルの自由度が高いほどよいとは言い切れず、各サブモデルは明示的に示され、その妥当性は十分に検討されるべきである。

このように作成したシミュレーターを用いて、以下の点を目的として分析を行った。

- (1) 皆伐や非皆伐といった異なる方針下での、収益性をはじめとする経済性の差異を把握し、それらの方針の基本的な性格を理解する。
- (2) 妥当な構造仮定と標準仮定を検証する。これまでに提示されてきたシミュレーションはそれぞれ特定の仮定に立脚していたが、そこから導かれた結論が普遍的に適用可能なのか、あるいはその仮定の下に限定される結論であるのかに関して整理された例はない。したがって、妥当な構造仮定と標準仮定の検証を行い、結論に大きすぎる影響を与える構造仮定と標準仮定の探索・排除を試みる。
- (3) 収益性に対する各因子の感度分析を行い、これまで部分的に捉えられてきた林業における収益性確保の条件を包括的に把握する。
- (4) 林業経営の経済性において望ましい間伐・皆伐体系に関する決定論的探索とその結果を分析する。

なお、本研究では、経済性に分析の主眼を置くこととした。経済性という場合には効率性や木材生産量等の指標を目的関数（の一部）とすることも考えられるが、本研究では経済性の中心である収益性を目的関数とした。経済性以外の面については、林業の社会的側面の持続性は造林・間伐補助と必要労働量を明示させ、必要ならば制約条件として採用することで担保できることとした。生物多様性を担保する環境配慮等は本研究では扱わない。ただし、筆者には経済性・収益性のみを目的として森林管理方針を決定すべきとする意図は全くない。経済性の評価は外部経済重視の方針を採用するためにも不可欠である。というのは、その方針を実際に実行するためには、直接必要となる費用等とともに従来方針を取りやめた機会費用（逸失利益）の考慮が必要だからである。新規な方針をこれから普及させようとする場合にも、元となる収益最大化方針等における経済性を本研究のような単一林分経営・地域森林経営シミュレーターを用いて参照することで、より実現性のある制度設計が可能になるだろう。特にこれから人工林資源がますます成熟化して伐出生産性も向上すると期待される我が国において、利益追求型の林業・収益最大化方針が復権した暁にはこのような比較がますます要求されるようになってくると考えられる。本章で示す非皆伐方針を採用する場合の逸失利益はそのような検討の一例である。

前述の FORCAS の活用等によって、今後は現場においても各区画の経営見通し

を検討する手法が広まることも期待される。その前に、以上のような一般的傾向を整理しておくことが、異なる仮定の上での別個のシミュレーション結果を批判し合うような事態を防ぐためにも、各現場での単一林分経営シミュレーター適用結果を客観的に理解するためにも有意義であると考えられる。

2-2. 方法

2-2-1. シミュレーションにおいて想定する対象地

本章においては、多様な条件設定が可能で汎用性の高いシミュレーターを構築している。ただし、シミュレーターの構築・結果提示に際しては、山形県最上郡金山町（図2-1）のスギ民有人工林を想定した。金山町は、江戸時代に遡るスギ林業地であり、少数の大規模山林所有者が民有林面積の約3/4を保有している。町内平野部に設置されているアメダス観測点（北緯38度52.7分、東経140度19.9分、標高170m）での気象観測値は年平均気温9.8度、年平均降水量1916mm、最大積雪深平均値130cmであるなど、豪雪・湿潤な気候が特徴である。金山町は、高齢林になっても成長が鈍化しにくい条件の下での、200年生を超える人工林を含む高齢林からのスギ優良材生産地として有名である。しかし、次章で想定する対象地区のように、大規模山林所有者以外の森林所有構造は零細であり、高齢林割合が非常に少なく拡大造林期の齢級が単峰型を示す一般的な地区も存在する。地形は比較的緩やかで、農地が沢沿いに山裾まで広がっており、民有林の山の奥行きは比較的浅いところが多い。なお、町内東部の高標高地域は国有林が占めている。また豪雪地帯であることから、カモシカは生息するものの、シカの食害対策は不要な地域である。

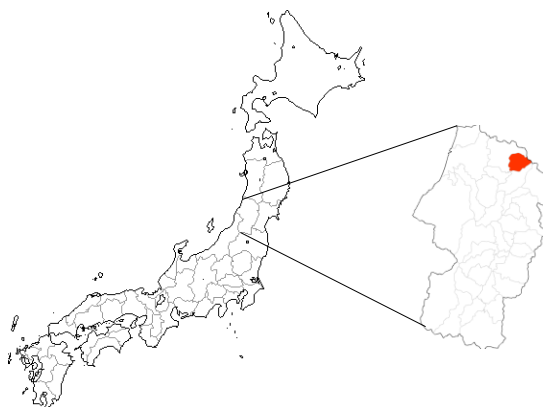


図2-1 金山町の位置

2-2-2. シミュレーターの構造

シミュレーターの構築に際してはまず、「材価は一律としか想定できないのか材種間の違いを反映できるのか」「伐出費計算は集材距離の違いを考慮できるのか」と

いった、シミュレーターを構成する各サブモデルの構造（これを本研究では「構造仮定」と呼称する）を適切に設計する必要がある。この構造仮定の設計は、各因子の可変性やシミュレーター全体の妥当性・汎用性を決定する重要な手順である。シミュレーターが採用しうると考えられる構造仮定を表2-1に示し、本章でのシミュレーターの構造仮定を以下に概説する。

(1) 目的関数と最適伐期

最適伐期理論は依然として世界中の研究者の主要な課題である (Newman, 2002)。その理論的中核を成しているのはファウストマン式であるが、割引率の客観的設定が困難であることと本来的に裸地から始める林業経営を想定していることが課題である。本シミュレーターが導き出す経済性の指標としては、「収益指標」「最適伐期齢」「準最適伐期幅」を想定した。収益指標としては森林純収益 (Forest Rent、FR)、4%以下の割引率を想定した土地期望価 (Soil Expectation Value、SEV) 及び将来収益現在価値 (Present Value of Future Profit、PVFP (Tanaka, 1991)) を想定し、それぞれの最適伐期齢における値を収益指標の代表値として出力した。3種類の収益指標のうち、SEVは裸地からの林業経営を想定している一方、PVFPはすでにある森林を想定し、過去の費用や収入を考慮しないで将来の収支を最大化する考え方であり、FRは両者を区別しない。PVFPでは一順目の皆伐が終わった時点では裸地状態に戻るため、それ以降はSEVが最大化されるようにすればよい。なお、PVFPは現在を起点とした純現在価値 (Net Present Value、NPV) とほぼ同じ概念であるが、過去の投資を考慮しないことを明示的に認識するためPVFPという表記を採用した。最適伐期齢算出モデルの構造はToyama (2011) と同様である。

SEV、PVFP、FRの定義は以下のとおりである。

$$SEV = \frac{Xu - Co(1+p)^u}{(1+p)^u - 1} - \frac{v}{p} \quad (1)$$

u : 伐期齢 (輪伐期)、 Co : 造林保育費用の植栽前前価、 p : 割引率、 v : 年間管理費、 Xu : 林齢 u におけるそれまでの利用間伐と皆伐による収支の現在価値であるが、50年生から110年生まで5年おきに最適間伐体系における値を取得し、それを u について三次近似した推定値を用いた。

なお、地代と管理費は毎年一定の支出とする限りは扱いが等しいので、本研究ではまとめて管理費として計上した。

$$PVFP = \frac{Xu + SEV_{max}}{(1+p)^{u-u_0}} - \frac{v}{p} \left(1 - \frac{1}{(1+p)^{u-u_0}} \right) \quad (2)$$

SEV_{max} : SEV において最適な伐期齢を選択した場合の SEV 、 u_0 : 現在林齢であるが、本研究では40年を想定した。

表2-1 単一林分経営シミュレーターにおける構造仮定の一覧

サブモデル	詳細	考えられるサブモデルの構造			本研究の構造仮定	備考
		固定的	1	2		
成長		一律	多シナリオ	動的	3	「一律」は材積成長や収穫表を一意に設定するもの
伐期		仮定	設定可能	最適選択	3	
植栽	密度	仮定	設定可能	最適選択	1	対象地がスギ専門に近い林地のため別種は考慮せず
	樹種、品種	仮定	設定可能	最適選択	2	
保育体系	間伐時期	仮定	設定可能	最適選択	3	
	間伐率	仮定	設定可能	最適選択	1	
	間伐種	仮定	設定可能	最適選択	1	
販売収入	材価	仮定	設定可能	変動	3	
	材種(径、材長)	仮定	推定	採材モデル	3	
	歩留まり	想定外	仮定	推定	3	
	材質、欠陥	想定外	仮定	推定	2	
CO ₂ 排出権、カーボンクレジット等	道	想定外	仮定		1	間伐による選別、間伐時損傷などを含む 皆伐時放出を含む長期的評価制度は国内になし
	集材距離	仮定	設定可能	(推定)	2	
	道の種類	想定外	設定可能	(推定)	2	
	土場設置条件	仮定	設定可能	(推定)	1	
	維持管理	想定外	仮定	推定	2	
	既設、新設	仮定	設定可能		2	
	開設費(単価)	仮定	設定可能	推定	2	
	設計、線形	想定外	定量	最適設計	2	
立地	地位	仮定	設定可能		2	「定量」:路網密度を仮定したり、木寄せ距離等から算出すること
	面積	仮定	設定可能		2	
	傾斜	仮定	設定可能		2	
	法規制	想定外	設定可能		1	
	環境制約	想定外	設定可能		1	
補助	造林	想定外	仮定	設定可能	3	多様な制約が有り得るため、評価が困難 同上
	間伐	想定外	仮定	設定可能	3	
	その他 (道、搬出補助等)	想定外	仮定	設定可能	3	
	機械購入	想定外	仮定	設定可能	3	
造林	植付・地拵	仮定	設定可能	推定	1	収支面での評価は造林補助率の結果を援用する
	下刈	仮定	設定可能	推定	1	
	切捨間伐	仮定	設定可能	推定	1	
伐出	その他	仮定	設定可能	推定	1	最適選択が実行可能・必要であるとは限らない
	システム	仮定	設定可能	最適選択	1	
	生産性	一括仮定	推定	推定+補正	3	
	労務単価	一括仮定	設定可能	設定可能	3	
	稼働率	一括仮定	仮定	連動	2	
	年間稼働日数等	一括仮定	仮定	設定可能	3	
	機械償却	一括仮定	仮定	連動	2	
	保険、労務管理等	一括仮定	仮定	設定可能	3	
運搬	単価	想定外	仮定	設定可能	3	材種等により運送距離が異なる点を考慮すべき
	運送距離	想定外	仮定	設定可能	3	
流通経費	市場手数料等	想定外	仮定	設定可能	1	直送等により省略可能な部分もある
	選別など	想定外	仮定	設定可能	1	
税	固定資産税	想定外	仮定	設定可能	2	固定資産税、所得税、法人税、相続税等。該当林分条件以外の影響が大きいため評価が困難
管理費		想定外	仮定	設定可能	3	
災害対策	リスク評価	想定外	仮定	設定可能	1	割引率に含めて考慮するのが通常
	保険	想定外	仮定	設定可能	2	
周辺条件	団地間伐 (皆伐制約)	想定外	仮定		2	有無によって生産性等が変化
		想定外	仮定		1	
利率(割引率)		仮定	設定可能		2	「割引率なし」も一つの仮定。
自家労働か否か		想定外	設定可能		1	何を最大化すべきかに関わる
自社消費か否か		想定外	設定可能		1	
不確実性		想定外	確率の変動		1	あらゆる因子に導入しうる

$$FR = \frac{Xu}{u} - v - \frac{Co}{u} \quad (3)$$

なお、森林純収益説において割引率は0である（想定しない）。

古くは吉田（1935）が指摘するように、最適伐期齢は刻々と変動するものである。また野村（1955）や平田・田中（1984）は、最適伐期齢はしばしば明確な頂点を示さず、伐期齢が多少前後してもほとんど収益性に違いがない場合も多いとしている。Toyama（2011）はこの最適伐期齢近傍の準最適と言える範囲を「最適伐期齢における前価合計より ha あたり 50,000 円（森林純収益説は 5,000 円）以内あるいは 5% 以内」と定義して試算し、最適に準じる伐期齢の幅がかなり広いこと、間伐・皆伐時の伐出同期化を通じた効率性改善によっても最適伐期齢はほとんど移動しないことを示した。本章においても同様の準最適伐期幅を提示し、評価対象とできるようにした。

ここで、諸国の研究と比較して我が国の状況で特に留意せねばならないのは、収益性が負になってしまう場合もしばしばあるということである。このことは、例えば平成 13 年度版森林・林業白書（林野庁編、2002）に「林業利率が負になった」と言及されていることから推察される。反対に、収益性が確保できるという予想になった場合、それは、条件が我が国の平均的条件より良好であるか、予想の枠組み・仮定・パラメータに欠陥があるか、昨今の言及に誤りや誇張があるかのいずれかである。収益性のない収穫を敢えて行うような非現実的仮定にならないよう、非生産林化や伐採回避の判断を行えるモデルとした。現実の伐採行動を精緻に予測すること、あるいは最適伐期齢理論と現実の伐採行動の連動性を検証することは難しいが、藤掛（2004）は実際の伐採行動と理論値との間に関係性がある例を示している。

以上のように、本シミュレーターでは伐出費や造林保育費を費用と見なして森林所有者側から見た収益性の最大化を意図した。ただし、何を目的とみなすかには様々な見方が存在することを付記しておく。例えば平田・田中（1984）は伐出費を費用として計上せずに収益を最大化するような「地域林業の収益率」を重要な定義の一つと指摘しており、森林所有者の利益ではなく地域としての利益を最大化した上で森林所有者と伐出業者との配分を考慮することも提案している。

また、災害リスクや利率・価格等の変動といった各種不確実性を考慮に入れると最適方針は当然変化する。例えばランダムに発生するという仮定の下でも災害の存在は最適伐期を若齢にシフトさせる（Buongiorno and Gilles, 1987）。しかし、それらを検討するための基礎である「決定論的に望ましい伐期や間伐体系」の算出が妥当でなければ、シフト等を評価する以前に、基礎である最適方針の絶対値に意味がなくなってしまう。本研究はその基礎の確立すなわち妥当な設定の模索を行う段

階である。したがって、不確実性の導入は今後の課題としたい。

(2) 成長予測

システム収穫表 LYCS Ver.3.2 (森林総合研究所, 2010a; 白石, 1986; Nakajima et al., 2010) を使用し、想定する間伐体系に応じた収穫表を作成・使用した。山形地方スギ人工林に対して作成可能な最高林齢である 110 年生までの収穫表を作成して使用した。ただし、100 年生以降は外挿値となる。

(3) 造林・保育

本研究で想定する造林・保育施業は表 2-2 の通りである。本内容は 2009 年度に山形県の森林組合および造林業者に対して行った聞き取り調査の結果を用いた。立地条件等による費用の違いや技術革新による費用低減については情報不足のため考慮せず、全森林一定とした。ただし、そのような変化が収益性にもたらす影響の程度については、造林補助率を変動させた場合の影響から類推することができる。

表2-2 想定したhaあたり造林保育施業

	費用 (円)	必要人工数 (人日)	実施想定林齢
地拵植付	520,000	22	1
下刈	66,000	6	1-8、年一回
除伐	210,000	25	13
伐捨間伐	126,000	14	30

注) 対象地ではシカによる被害は見られない。

また、森林組合は雪起こし・枝打ちを現在ほとんど実施していない。

(4) 間伐・皆伐体系

植栽密度は、最も標準的である ha あたり 3,000 本で一定とした。

本章においては以下のような条件で間伐・皆伐体系候補を設定した。

- ① 15 年生で除伐、30 年生で伐捨間伐を実施し、9 齢級までは共通の造林保育を行う。10 齢級以上 20 齢級以下で 3 回まで利用間伐を実施できるとした。間伐間隔は均等を基本とし、均等より早い段階に間伐を偏らせることを許容し、逆は不可とした。例えば、50・70・90 年生、50・60・90 年生での間伐は許容し、50・80・90 年生での間伐は除外した。これは、LYCS、材価および伐出費計算の構造上、間伐を後に偏らせる間伐体系の収益性が相対的に低くなることが想定されたためである。
- ② 利用間伐間隔は最低 10 年とし、前回の間伐からの経過時間が 20 年未満では本数間伐率 25%、20 年以上では 35% の全層間伐とした。

- ③災害に強く健全な林分状態を維持する必要がある。山形県では風害被害は少なく雪害被害も積雪地帯の割には低い（久保山, 2008）ものの、豪雪地帯である金山町においては雪害に注意を払う必要がある。雪害に対抗する目安としては、例えば石井ら（1983）は形状比が 70 以下では被害がみられないとし、石川ら（1987）は限界形状比や収量比数の目安を示している。本研究では、LYCS によって形状比が間伐前に 85 を超える間伐体系は採用しない（最終間伐後ならば、85 を超える前に皆伐する）こととした。
- ④現況や過去の施業履歴を参照できないため、現在齢級が 10 齢級以上である区画では便宜的に「これまでは 50 年、70 年、90 年生で利用間伐を行う間伐体系にしたがってきている」ことを想定し、それに矛盾する間伐体系は選択できないこととした。
- ⑤皆伐は、収穫表の制約もあることから 10 齢級から 22 齢級までとした。シミュレーションで想定する対象地である金山町では 10 齢級未満での皆伐は見られない。また、対象地におけるスギ標準伐期は、国税庁財産評価基本通達より 60 年とする。

なお、利用間伐対象林齢での間伐であっても、利用間伐をした場合の収支（原木販売収入＋補助－費用）が伐捨間伐をした場合の収支（補助－費用）を下回る場合は伐捨間伐とする。

また、これらの通常の方針（再造林方針と呼称）とは別に、皆伐までは再造林方針と同様に扱うが再造林は行わない方針（皆伐・再造林放棄方針、略して皆伐・放棄方針）と、皆伐の代わりに本数間伐率 40% の抜き伐りを主伐として行った後は非植栽木の侵入に任せて一切手を出さない方針（混交化方針）も同様に最適伐期齢等を出し、再造林方針との比較を行った。

（5）伐出システム

金山町では、地形が比較的緩やかで農地が沢沿いに山裾まで広がっており、山の奥行きが浅いこともあり、架線集材はあまり行われていない。むしろ豪雪地帯であることも積極的に生かし、積雪上を走行したり雪を固めた一時的な雪道を利用する等して林地や農地を痛めない車両系集材が主に行われている。

したがって本研究でも、伐出システムとしてはチェーンソー伐倒・グラップル（グラップルローダ）木寄せ・プロセッサ造材・フォワーダ集材・トラック運搬という車両系作業システムを想定した。システムとしては結果的に、現在全国的に推進されている高密路網開設を伴う車両系高性能林業機械システムの一つと言える。

なお、高性能林業機械システムが現在金山町で既に広く運用されているわけではない。高齢林も多く保有しコンスタントに皆伐・更新が行われてきた金山町では、

80年を越える高齢林の皆伐を民間素材生産業者が、利用間伐を森林組合が主に担当してきた。金山町のこれまでの林業は皆伐による優良材生産が主目的であり、かつ収穫される材が大径であったため、並材大量生産に適するプロセッサ等が適用しにくかったと考えられる。また森林組合も、戦後の拡大造林が一斉に間伐期を迎えた他地域と違い、造林保育事業量が継続的に大きかったために本格的な利用間伐開始と高性能機械配備が早かったとは言えず、プロセッサを平成22年に初めて購入したところである。このため、町内では高性能林業機械システムの実績は少ないが、今後は本方式の本格的運用が見込まれる。

本研究で使用した標準工程式と仮定は全国林業改良普及協会(2001)、岡(2006)を参照し、参考資料1に示した。

なお、本研究で採用した作業システムの標準工程において区画の傾斜は、伐出費に与える影響が小さかった(説明変数の一つではある)ため感度分析の因子に含めていないが、作業システムを選択する際や伐出作業の工程を簡易的に表す時には一般に主要な因子の一つとなる。

また、伐出システムは常に進化し、中長期的には大きく変化することも考えられる。これを予測することは不可能であるが、2-2-3(6)に述べるように異なる伐出費水準を想定することで、ある程度は伐出システム変化による結果を類推できる。さらに、2-2-2(12)と同様に伐出生産性を時間経過に伴い変化させる方法もシミュレーターの一部として導入したが、本研究の解析には用いていない。

(6) 作業道

道については、区画の中心からトラック道(幹線林道あるいは公道)までをつなぐ作業道をフォワーダが走行すると想定し、この作業道の長さを平均集材距離であるとした。また、区画内には、上述の伐出システムの実行を容易にするため、平均木寄せ距離20mとなるように作業道を開設することとした。トラック道までと区画内の作業道は双方ともトラック走行を想定していないため、両者を区別していない。なお、フォワーダ道であるため「作業路」という表現の方が適切である可能性もあるが、3-3-1で述べるように対象地において新規にトラック道を開設できる場面は限定されるため、本研究では集材の中心となるフォワーダ道を一括りに「作業道」と呼称する。

作業道は初めての収穫時(利用間伐あるいは皆伐)に開設することとし、また澤口・大川畑(1993)を参考に、道の維持管理費として収穫ごとに開設費の30%を維持管理費として利用間伐時に見込んだ。また、補助が助成される条件下での利用間伐において作業道を開設する場合は、標準仮定の造林補助率68%を採用し、山形県の造林補助単価よりmあたり作業道開設補助952円を見込んだ。なお、第3章へ

の適用を見越してより具体的な設定とするため、区画の中心からトラック道までの部分のうち一部は既に開設してあり（既設道長として指定）、維持費のみが必要となるという状態も想定できるようにしたが、本章では既設道長は0とした。

(7) トラック運送費

対象地における運送費相場をもとに、用材用原木は郡内の運送を想定して利用材積 1m³あたり 1,260 円（石 350 円）、合板およびチップ材（C材）については 100km 圏の運送を想定して利用材積 1m³あたり 2,700 円（石 750 円）とした。なお、町内には森林組合および地元企業の製材所が存在し、また町内および隣接する真室川町には大手板材製材工場が存在する。金山町中心部から、取引のある大手合板工場までは約 110km である。

標準状態において 50 年、70 年、90 年に間伐を実施する場合を例として、利用材積 1m³あたりの伐出費、作業道開設・維持費、トラック運送費を含めた素材生産費を図 2-2 に示す。トラック運送費が占める割合は小さくなく、検討対象地や木材加工工場等への距離が異なれば、トラック運送費はかなり変動することが予想される。なお本研究では、生産された原木は製材・合板・チップともに直送方式で木材加工工場に渡せると想定したため、想定する費用は市場手数料等を含んでいない。それらを含める場合については便宜的に、材価が下落した場合から類推する。

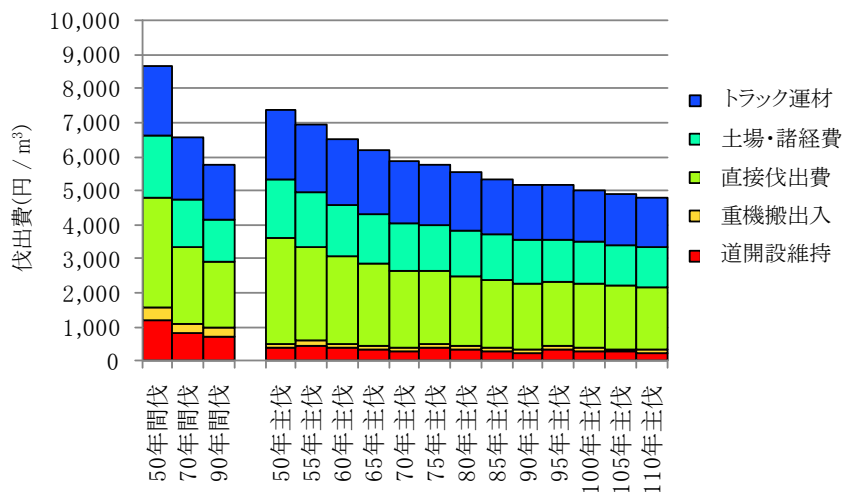


図2-2 標準状態における利用材積1m³あたりの伐出費内訳例

(8) 採材

採材モデルとしては Tatsuhara and Dobashi (2006) のものを用い、あらかじめ材種と材価を想定しておき、直径分布、樹高、幹曲線式を用いて材価の高い順に採材していくこととした。なお、利用率、材種の項も参照されたい。

(9) 利用率、材種

採材とも深く関係する事項であるが、保育段階の間伐材なのか手入れの行き届いた高齢林からの材なのかといった、材の出所次第で利用率やA材B材等の材種の割合が異なることは経験的に理解されており、原木販売収入に大きな影響をもたらす。そのため、シミュレーターはその違いを反映できるものであることが望ましい。

本シミュレーターでは、立木材積が製材用材（A材とする）、合板材（変色材等を含む。B材）、チップ材（C材）、林地残材（梢端等、極度の曲がり部分）に分かれるとした。その上で、対象地での聞き取り結果を基に、収穫する立木材積が以下のような割合で分配されるとした。

- ①残材は林齢に対応した割合で発生する。
- ②立木材積から残材を除いたものを、林齢に対応した割合でA材およびB材に仮に割り振る。
- ③収穫対象林分の直径分布に対して採材プログラムを適用し、材種ごとの割合を求めてA材総材積に乗じる。このとき、小丸太（末口6cm～14cm未満）のみをC材としてA材から除く。
- ④残るA材のうち1割を、腐れ・着色等により価格が低下したり合板用になるものとしてB材に割り振る（現状の市況では、腐れ・着色等があると合板でなく製材として扱われるとしても価格が合板レベルまで低下すると想定されるため、便宜的にB材として扱う）。

想定した材種は表2-3の通りである。さらに細かく材種を設定することも可能であるが、価格帯の大きく異なる材を区別できることが必要かつ十分であると判断した。これは、生産される原木が長期的にどのような径級で推移し、それに対する価格がどのように変化していくかを想定する際に、これより細かい分類をしても将来の想定がさらに困難になるためである。

立木材積からの利用率（歩留まり）は、聞き取り結果をもとに図2-3のように設定した（林業経営の将来を考える研究会編, 2010）。間伐の回数や程度に応じた配分の調整ができない点、元玉か否か、何玉めかといった区別を現段階では行っていない点は、シミュレーターとして改善の余地がある。

表2-3 想定した材種、材価

	A材			B材	C材
	大径材	中目材	適寸材	合板用材	チップ材
サイズ	末口40cm以上 4m	末口30cm以上 4m	末口14cm以上 3m	林齢に対応した 割合で発生	末口6cm-14cm 2m
材価(円/m ³)	標準仮定 16,000	14,500	13,000	8,000	5,000
	一律材価 11,000	11,000	11,000	8,000	5,000

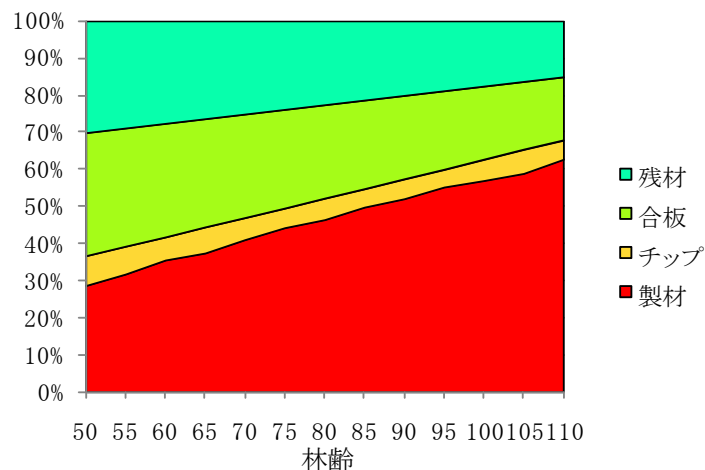


図2-3 林齢と立木材積からの歩留まり

(10) 材価

材価あるいは原木販売収入の扱いに関しては、立木価格を採用する、利用材積に一律の材価を乗じる、何らかの形で複数の異なる材価を当てはめる等の方法が考えられ、後者になるほど詳細な予測を試みていると言える。本シミュレーターでは上記の採材モデルと利用率仮定を用いた上で、2008年時点の事例を参考にして表2-3のように5通りの材価を標準仮定として用いた。

また、二酸化炭素吸収源としての森林の役割が注目されるようになり、わが国においてもオフセット・クレジット（J-V E R）制度等において森林への施業費用負担の対価として炭素価格が支払われるようになってきた。しかし、京都議定書の第二約束期間における森林の取扱いが未確定である中、伐採され利用される木材を二酸化炭素のシンクと見なすかソースと見なすか、炭素価格が支払われるのは伐採時か立木時かといった定義次第で最適伐期への影響が全く異なる。さらに、現行のカーボンオフセット制度においても、輪伐期に相当するような長期において、皆伐される森林を選択的に排除することを許さずに炭素蓄積の総量を評価する制度設計とはなっていない。このため本研究では炭素価格を考慮しないが、坂田ら（2001）のように伐採を二酸化炭素放出と見なさず他者の排出権獲得と見なす場合には、炭素価格に相当する価格を材価に一樣に上乘せする、つまり材価変動の一種として炭素価格の影響を検討することができる。

(11) 立木価格

林業の収益性評価に際しては、算出が非常に容易になることから立木価格が利用されることがある（例えば田家, 2009；林野庁編, 2002）。原理的には径級別等で異なる値を設定できるものの、既往研究では専ら日本不動産研究所「山林素地及び山

元立木価格調」の一意の値を用いており、本研究でもこの値を用いて検討することとした。立木価格算出時に基づいている現実の伐出システムや伐出費が本研究の標準仮定と同一でないと考えられるため、両者の直接比較は本来あまり意味がないが、「一律材価」と「立木価格採用」を想定する場合について、同時期の価格を採用することで比較を可能にした。すなわち、平成21年度全国平均スギ山元立木価格が2,548円である一方、「一律材価」想定における用材価格を11,000円としており、これは平成21年度14-22cmスギ中丸太全国平均価格10,900円（日本不動産研究所, 2010）にほぼ等しいものである（cf. p26, 表2-4）。

（12）時間経過に伴う変動

材価をはじめ各種パラメータの長期的推移を推定することはそれ自体が困難である。そのため通常は、感度分析を行う因子以外は標準仮定を長期的に不変とする。しかし森林経営方針策定の際の意志決定支援ツールとしては、例えば労務単価や材価の変動を見越した経営方針を模索できることがより望ましい。したがって本章では、材価や伐出費については現在の価格と最大50年間の価格変動を設定できるようにし、想定伐期齢と現在林齢から原木販売収入を計算できることとした。

（13）必要労働量

必要労働量は収益性の目的関数とは異なるが、森林管理上の制約として、あるいは雇用創出の面から、また次章のような地域森林管理シミュレーションで利用するためにも重要であるため、分析対象とした。ただし、どこまでを林業の必要労働量と見なすかは判断が難しい。本研究では造林保育施業の必要労働量は実例の平均値を一律に採用した一方、伐出作業については費用計算用のサイクルタイム（所要日数）から集計しており、両者とも仮定の強い推定となっている。なお、現実存在する道開設等の伐出事前準備、選木や調査、作業管理、事業体としての総務や営業等は含まれていない。

（14）公共事業評価

森林政策に関わる財政支出の中でも「造林」の割合は他項目と比べて大きくない（石崎, 2004 ; 石崎, 2010）こともあり、造林等への補助金の今後の増減を見通すことは難しい。しかし、森林・林業再生プラン及び新成長戦略において目指されている木材生産活動の活発化に伴っては、仮に補助総額が不変であっても単位面積や同一作業に対する補助水準は必然的に低下する（あるいは補助対象が限定される）ことが予想される。そのため、造林等への補助金の妥当性を考慮し、誘導目標のために効率的な補助のあり方を提示することは有意義である。

公共事業の効率性を評価する指標としては費用便益比（B/C ratio）がしばしば用いられるが、便益の客観的定義が難しい。例えば農林水産省は森林整備事業（造林補助、林道整備等）がもたらす便益として水源涵養、山地保全、環境保全、木材生産等を列挙している（日本林業協会編，2007）が、これらは客観的妥当性に疑問があるとして各便益の採用不採用を再検討された例もある（岡，2002）。したがって、費用便益比を絶対的に評価するというより、適宜定義された費用便益比の大小によって各選択枝の良し悪しを相対的に検証するという費用効果分析（岡，2002）を行い、方針決定の際の検討材料として提示できるようにした。

2-2-3. 標準仮定と想定する仮定

標準仮定としては対象地における代表値、あるいは文献値として標準的と考えられる仮定を採用するのが基本であろう。しかし、収益性がほとんど存在しない想定では評価が難しいため、林業を行うにあたってあまり不利でない林地の中で普遍的に存在しうると考えられる仮定を標準仮定とした。したがって、標準仮定における各因子の仮定は、仮定範囲の中央値だとは限らない点に留意する必要がある。

(1) 地位

地位は LYCS における地位 2（中位）を標準仮定とし、他に地位 2.2 と地位 1.7 を想定した。この3つの地位は、20年おきの間伐を採用した場合の年平均成長量がおおよそ 10、12（標準仮定）、14 m³（間伐材も含めての値）になる地位であり、より成長が悪い地域・林分も存在すると考えられる。

(2) 割引率

林業経営を評価する際に用いる割引率としては、「林業の超長期性を勘案し、森林純収益説を用いて割引率は用いない」「林業の超長期性等を勘案し、通常の利率より低い林業利率を用いる」「長期債券の利率といった信頼できる利率を用いる」等の考え方があり、割引率にはリスクプレミアム、税金分を加味することとされる（Bettinger et al., 2009）。

商法第 514 条で定められている「商事法定利率」は年 6 分（6%）である。民法第 404 条で定められている「民事法定利率」は年 5 分（5%）である。これらは民事・商事において明示的な取り決めがない場合の利率であり、一般の企業経営等においては通常、5%や 6%の利回りを期待するということでもある。海外では一般的に林業が産業として機能しており、林業のもたらす内部収益率や主観的割引率等が数%を超えることが期待されている場合も多い（例えば大塚ら，2008；Bullard and Gunter, 2002）一方で、ドイツ等のヨーロッパ長伐期林業地においてはその限りで

はなく、例えば Yousefpour and Hanewinkel (2009)、Yousefpour et al. (2010) はドイツトウヒ林での利率の標準仮定を2%としている。

一方、日本の林業は採算面で困難な状況にあり、高い割引率を想定することが難しい。

日本の林業において想定すべき割引率を検討するにあたっては、日本政策金融公庫が2010年現在、主に1.6~1.75%という低金利で林業家に対して林業用資金を融資しており、これも妥当な割引率の一つとして参考になると思われる。

我が国の林業における割引率や利回りに関する研究としては、土地純収益最大化において割引率を1~4%としたもの(平田・田中, 1984)、過去の公定歩合を割引率として考え3~9%の範囲で採用したもの(江尻, 1992)、条件によって林業は最大6%程度の内部収益率があると示したもの(家原・黒川, 1990; 江尻, 1993)、想定割引率を1~3%としたもの(Yoshimoto and Marušák, 2007)等がある。一方、例えば平成13年度版森林・林業白書(林野庁編, 2002)においては樹種・造林等補助の有無ごとに「造林投資の利回り相当率」(1輪伐期における内部収益率に相当)が算出されているが、これは割引をほとんど考えない長伐期においてかろうじて採算が合う条件の中で、伐期をすぎ50年ヒノキ60年に固定した仮定にやや問題があると言えるだろう。大崎(1970)は、栃木県の110戸の林家の造林から伐採までの投資利回りを実例より算出しているが、割引方法が単利である点は問題があると考えられる。

リスクプレミアムとは災害等のリスク分だけ割引率を高く設定することであるが、我が国の林業経営における最も一般的なリスク対策としては国営森林保険が挙げられる。現実には国営森林保険への加入率は様々な要因で低割合に留まっているが(久保山, 2008)、獣害を除く広範囲の自然災害被害を損失補償できる普遍的制度である。ここで、獣害の顕著でない対象地において国営森林保険が全ての災害被害を完全に補償できると仮定すると、保険料を支出として扱うと同時に災害に対するリスクプレミアムを設定した場合は二重計算となる。そのため、本研究では保険をかけることでリスクプレミアムを設定しないこととした。保険料及び税金については(5)管理費で詳述する。なお、災害等の被害率はリスクプレミアムの程度を理解するために参考になると思われるが、久保山(2008)によると5齢級以上での民有林被害率全国平均は主要気象害である風害・雪害ともに0.1%以下である上に、山形県では風害被害は少なく、雪害被害率も積雪地帯の割には低い。また、被害率に付加保険料(手数料に相当)を加味して決定される国営森林保険の保険料率は、山形県については(5)管理費に示すとおり0.23~0.27%となっている。

以上を勘案し、本シミュレーターでは割引率として0、1、2、3、4%を想定した。なお、割引率0%の場合は無限に続ける林業経営の評価ができないためSEVや

PVFP を算出できず、FR のみによる評価となる。

(3) 造林補助率

これまでの標準的な造林補助の仕組み（いわゆる公共造林）は、各施業に対して造林単価が県ごとに定められ、それに補助率（普通は国3割+都道府県1割）、査定係数を乗じた金額を補助額とするものであった（厳密にはさらに諸掛率を乗じたものを森林組合等に支払い、諸掛率の分は森林組合等のものとなる）。造林に対する補助には様々な事業があり、各林分の立地・履歴・林況や行政区域、3機能区分等によって各事業の適用可否が決まる。補助率・査定係数も事業や各林分の条件によって異なるため、最終的な補助率というものは一様ではない。しかし、平成20年度の山形県造林補助実績では補助率40%・査定係数170（1.7倍の意）の事例が圧倒的に多かったため、実費に対する補助率68%を標準仮定とした。

これを中心に、実質造林補助率0%、50%、68%、85%、100%を想定した。造林技術の向上や立地条件の変化により造林費が増減した場合の収益性変化も、補助率の変化から類推することもできる。

(4) 利用間伐補助タイプ

利用間伐の対象となる50年生以上の間伐に対する補助の仮定は以下の通りである。

元々、間伐は公共造林の枠内で助成され、その対象林齢は7齢級が上限である。しかし、拡大造林期の造林地の成熟に伴って間伐遅れの林分が増加し公益的機能の低下が懸念されるようになった。加えて、京都議定書において二酸化炭素吸収源として認められた「3条4項林」すなわち適切な管理をされた森林を確保するために、間伐の推進が重要課題であった。このため、様々な補助事業を通じた実質的な間伐補助対象齢級の拡大を始めとする間伐推進政策が強力に押し進められてきた。このように、造林補助と同様に多数存在する各事業の適用条件や補助の程度が様々なため、利用間伐補助の一般化は困難である。しかし、8齢級以上の間伐も補助対象とする里山エリア再生交付金事業等が山形県内で広く実施されており、また2010年度現在では過密林分ならば間伐補助対象齢級は問わなくなっている。これらを考慮し、12齢級以下の利用間伐について標準単価の68%（138,864円/ha）を助成すること（間伐補助タイプ2）を標準仮定とした。なお、本研究で用いる全ての標準単価は山形県平成21年度のものである。また、利用間伐の政策的推進の可否を検討するため、間伐補助タイプ1として「伐捨間伐容認、利用間伐非推進」、すなわち18齢級までの伐捨間伐のみ標準単価の68%（85,029円/ha）を助成して利用間伐には助成しない場合を想定した。さらに、間伐補助タイプ3として「高齢級の利用間伐

（抜き伐り）推進」、すなわち 18 齢級までの利用間伐を現在の補助メニュー中で最も高齢級を対象としている誘導伐（長期育成循環整備事業）として認め、標準単価の 68%（314,216 円/ha）を助成することを想定した。この場合は、標準単価に基づいた金額を使って樹下植栽を行わねばならないこととした。なお、山形県では長期育成循環整備事業はほとんど実施実績がない。

なお、前述のように間伐補助事業も多様であるが、特に平成 21 年度から開始された森林整備加速化・林業再生事業は、景気対策の性格もあるため通常の公共造林の枠外でありながらその規模が大きい。山形県では、平成 20 年度公共造林の補助総額が約 2.5 億円（国・県合わせて）であったのに対して、森林整備加速化・林業再生事業予算が平成 21 年度から平成 23 年度まで合計で約 20 億円（平成 22 年度当初時点。変更もありうる。およそ半額は路網整備に割り当て）である。この森林整備加速化・林業再生事業においては、利用間伐への補助が基本的に ha あたり一律 25 万円と高額である。しかも、齢級等の助成対象条件は市町村レベルで決定できる等、従来の間伐補助とは様相がかなり異なる。とは言え、その助成水準は間伐だけを対象と考えれば間伐補助タイプ 3 の間に収まっており、本章の想定範囲内と言える。また、市町村による単独補助や上乘せ補助がある場合もあり、平成 20 年度時点での山形県内での大きな上乘せ補助の例としては西川町の間伐補助 15% 上乘せが挙げられる。この他にも、山形県の独自課税である「やまがた緑環境税」（一人当たり年間 1,000 円の課税等）を用いた全額公費負担による放棄林整備予算が平成 21 年度で約 5.1 億円、市町村の裁量に任せられた間伐補助制度である美しい森林づくり基盤整備交付金（全額国負担、山形県全体で平成 21 年度予算が約 7,000 万円）や治山事業内の森林整備もあり、類似した施業に対する補助事業のメニューは多岐にわたっている。

（5）管理費

管理費とは毎年発生する費用のことで、様々な項目が含まれる。

大崎（1970）は、管理費として巡廻費・作業道等補修費・森林組合負担額・課税（固定資産税、財産税、富裕税、再評価税、相続税）を挙げている。この上、管理委託費等も管理費に含めうる上、それらのどれも標準的な値を見出すのが非常に困難である。所有形態の違いによっても「どこまでを経費とみなすか」が異なると考えられるため、明確に数量化できる事項のみを想定するのが無難であろう。

国営森林保険制度（森林保険協会，1999；森林保険協会，2005）は管理費の一部であると見なすことができる。国営森林保険ではリスクの大小に応じて都道府県を 3 段階に区分して保険料率が設定されているが、山形県はリスクが最も低いカテゴリに属している。また、20 年生以下の保険料率は 21 年生以上より高く、若齢時に

火災や乾燥害等の被害を受ける可能性が高いこととなっている。山形県針葉樹林における国営森林保険の保険料率は20年生以下で0.27%、21年生以上で0.23%となっている。60年生の成熟林では保険料は約8,000円/haとなり、これは管理費の目安とすることができる。実際には、災害リスクが懸念される時期（若齢時及び間伐後等）に絞って保険をかけることで、より少ない負担でリスクを効率的に回避することも可能だと考えられるため、保険料負担はもう少し低く見積もることも可能であろう。

税金については（日本林業経営者協会, 2008）、固定資産税（立木ではなく土地にかかる）と林業経営会社の場合は道府県民税・市町村民税（都民税）が課税され、毎年発生する経費であるため管理費の一部と見なす。なお、このほか、個人では所得税（山林所得として、育林費用を概算経費控除できる等特殊な扱いを受ける）、事業税としては法人税・個人事業税（林業、すなわち養苗・造林または撫育を行う場合は非課税。素材生産のみならば課税）がある。さらに相続税も重要であるが、いずれも状況により課税額は大きく変動して一般化が難しい。小規模所有の場合は非課税ということもあり、本研究ではこれらの税は検討の対象外とする。

本章では、金山町での山林の基準地価格（320,000円）に基づく固定資産税と成熟林での国営森林保険の保険料を参考に、haあたり年間管理費10,000円を標準仮定とし、0円、5,000円、10,000円、15,000円、20,000円を想定した。

なお、管理費の問題として、面積に管理費が比例するのかという疑問が挙げられる。税金や保険料については一般に面積に比例するが、小規模所有の場合は課税対象とならない等、絶対的ではない。巡視費や管理委託費、森林組合の組合費等は一件当たりの費用という性格が強であろう。また、収益性の高かった時代や成長の速い地域では高い管理費負担も可能であるが、そうでない場合は後述のように高い管理費の負担は不可能である。

既往の研究においては、haあたり年間管理費を平田・田中（1984）は6,000円、家原・黒川（1990）等は0円、Yoshimoto（1998）は50,000円としている。

（6）伐出費水準

伐出費（トラック運送費まで含めた伐採搬出費）の標準仮定は2-2-2（5）および参考資料1において詳述した方法により算出したが、伐出費水準が異なる地域や経営体をも検討の対象とするため、標準仮定の伐出費を単純に1.2倍、0.8倍した仮定も想定することにした。

（7）平均集材距離

平均集材距離（定義は2-4-1（6）において詳述）は、収益性確保が可能となることを考慮し、100m、200m（標準仮定）、400m、700m、1,000m、1,500mを想定した。この想定範囲は、対象地の平均集材距離の状況におおむね沿ったものである。

（8）面積

平均集材距離と同様の点を考慮し、0.3ha、0.5ha、1ha、2ha（標準仮定）、3ha、5haを想定した。

対象地において2haは単独区画としては非常に大きい部類に入るが、複数区画を同時に収穫することで比較的大きな区画とすることが可能であることを前提とした。というのは、昨今推進されている「施業集約化」すなわち伐出等作業の団地化によって、間伐等の事業規模は単独区画の規模を大きく超えることになる。したがって、団地化された区画は、所有構造等が引き続き零細であったとしても、団地全体（あるいはそのうちで施業を行った部分）が「単一区画」になったとして本シミュレーターを適用して解釈することとする。

（9）材価

標準仮定は2-2-2（10）、表2-3に既に示したが、材価（とくに大径材）がさらに低い場合も想定するため、用材（A材）の材価を全て11,000円とした「一律材価」の場合も想定した。また、2-2-2（12）で述べたように、50年かけて材価が「標準仮定」から「一律材価」に線形変化する場合も想定した。ただし、今回のシミュレーションにおいては現在林齢を40年としたため主伐までに時間がかかり、変動後の価格にしか影響を受けないことが多かったため、図2-6、図2-7においては評価対象から除外した。

以上のように本章で設定した各因子のパターン一覧は表2-4のようになっており、全パターン数は市場価逆算方式（立木価格非採用）で1,093,500通り、立木価格採用において375通りである。例えば2-3-4の区画面積の感度分析については、5通りの割引率と6通りの面積を想定しているため、各割引率・各面積について $1,093,500 / (5 \times 6) = 36,450$ 通りが含まれる（図2-7-1、図2-7-3）。

表2-4 想定した各因子の仮定

因子	有利不利の度合い						
	-4	-3	-2	-1	標準	+1	+2
地位				地位2.2	地位2	地位1.7	
間伐補助タイプ				利用間伐無補助標準的現行補助高齡級誘導伐			
立木価格				採用 [*] (2,548円/m ³)	非採用		
材価			一律材価	線形変化 ^{**}	現状		
作業道単価			5,000円/m	3,000円/m	1,500円/m		
伐出費水準				費用1.2倍	標準功程	費用0.8倍	
平均集材距離	1,500m	1,000m	700m	400m	200m	100m	
面積		0.3ha	0.5ha	1ha	2ha	3ha	5ha
造林補助率			0	0.15	0.32	0.5	1
管理費			20,000円/ha	15,000円/ha	10,000円/ha	5,000円/ha	0円/ha

* 立木価格採用の場合は、非採用の標準仮定より有利になる場合もある。

** 「一律材価」と「線形変化」における結果の差が小さかったため、図5、図6では「線形変化」における値を省略した。

注) このほか、割引率を0、1、2、3、4%で想定した。0%は森林純収益説の想定を意味し、VFR標準を出さない。

2-2-4. 集計・分析の方法

各因子の収益性に対する影響の評価を、以下の方法で行った。

1. 普通伐期（標準伐期齢 60 年を採用し再生林を行う）、最適伐期（最適伐期齢を採用し再生林を行う）、皆伐・再生林放棄、混交化（主伐として 40% 全層間伐と樹下植栽を行い、混交林化を意図して林業生産を停止する）の 4 方針について、標準状態における収支の概要を示し、各方針の差異を整理した。なお、皆伐・再生林放棄、混交化の両方針においてもそれぞれ最適伐期齢を採用する。
2. 上記 4 方針の性格をさらに理解するため、標準状態において特に収益性等と補助額との関係に着目して比較した。一輪伐期において補助総額を分母にとり、収益や木材販売額（林業による直接的付加価値）、必要労働力の合計を分子にとることで「対補助比」で表し、補助を公共支出（費用）と見なした場合の 4 方針の費用効果分析を行った。また、標準状態から間伐補助タイプだけを「高齡級誘導伐」タイプに変更して同様の分析を行った。
3. これ以降は、積極的かつ持続可能な経済活動を行う最適伐期方針に注目した。各因子の組合せにおいて最適伐期を選択することを前提としながら、標準状態から各因子を一つずつ変動させ、収益性の値を比較する感度分析を行った。これは、因子の数だけ次元がある収益性関数の、その多次元空間内の標準状態点での偏微分に等しい。
4. 定式化が複雑すぎて微分式が提示できない現実および本モデルにおいては、標準状態と異なる状態での感度分析は、標準状態のものと同様の挙動を示す保証はない。したがって、各割引率の下で、一つの因子の値ごとに全パターンの平均値をとることで全体的な感度分析とした。また、特徴的挙動を示すと思われ

- る区画面積が十分大きい場合と過小な場合を抽出して、同様の分析を行った。
5. 収益性の絶対値だけでなく最適伐期齢や準最適伐期幅に対する仮定の変化の影響を見るため、特に伐期齢と収益性の関係に特徴が見られる材価関係の仮定について両者を表したグラフを示した。
 6. 最適と選択された間伐・皆伐体系について検討した。

なお、本シミュレーターはVBA (Visual Basic for Application) によってMicrosoft社 Excel2007、Access2007を利用して構築した。

2-3. 結果

2-3-1. 標準状態における収入および支出の概要

図2-4は、50・70・90年生での利用間伐を想定し、割引率を用いず単純に一輪伐期の収入と支出を積み上げたものである。2-3-6において詳述するが、本対象地における本シミュレーションでは最適伐期齢は上限の110年が選択される条件の組合せが非常に多かった。標準状態での最適伐期方針では主伐時の収益が期待できるため、割引率を考慮しても長伐期が選択された。なお、110年は本シミュレーションの上限であり、本当はさらなる長伐期が最適であった場合もあると考えられる。普通伐期方針では期待できる収益が小さかった。また、皆伐・再造林放棄方針は当然であるが再造林の負担がないため、一輪伐期での収益性は最適伐期方針より有利であった。混交化方針については最適伐期方針・皆伐再造林放棄方針と比べて主伐収益が小さく不利であった。

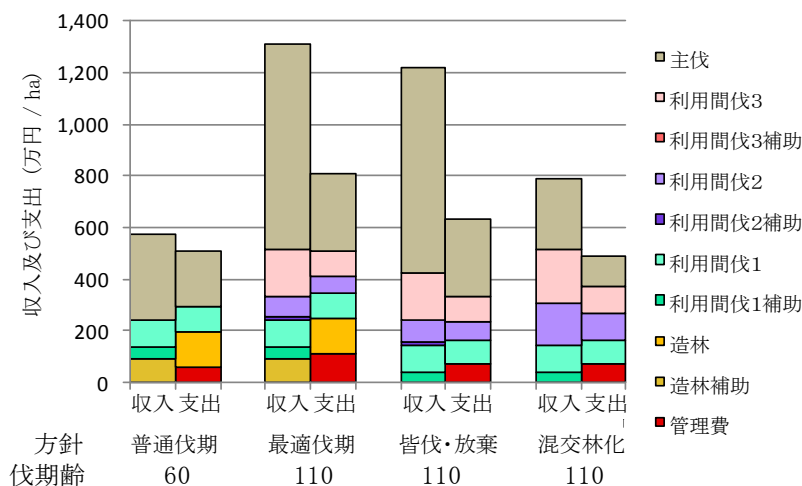


図2-4 標準状態における4方針の1輪伐期あたり収支累積

2-3-2. 4方針の収益性等の大小と補助額との関係

4方針の収益性等の大小と補助額との関係を、標準状態及び高齢級誘導伐に補助がある場合において算出した結果を図2-5に示す。補助、必要労働量、原木販売額についてはPVFPと同様に、現在林齢40年生時まで割引いた値を用いた。なお、放棄系2方針（皆伐・再造林放棄、混交化）は定義上、1順目だけは生産量を維持できるものの、持続可能ではない方針である。

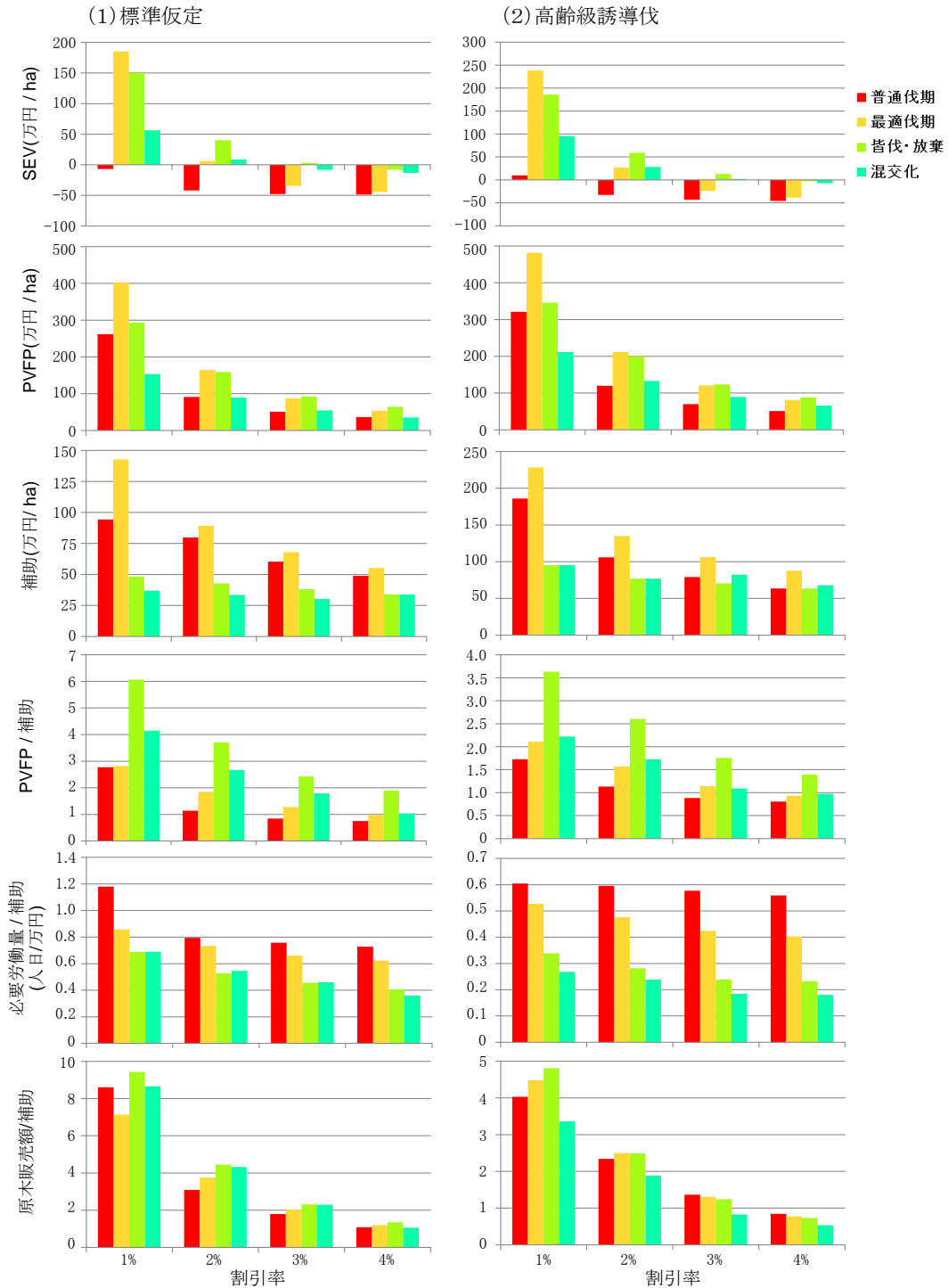


図2-5 標準状態における4方針の収益性等と補助額との関係

はじめに標準状態での結果を見ると、標準状態において収益性は、全体的に最適伐期方針と皆伐・再造林放棄方針が高く、普通伐期方針と混交林化方針はそれより低かった。普通伐期、混交林化の両方針では主伐における収益が十分でなかったと思われる。高割引率下の SEV では持続的経営である普通伐期・最適伐期方針の収益性が悪化するため、放棄系2方針は比較的有利となった。

再造林を要する普通伐期・最適伐期方針においては、補助総額と必要労働量は大きい想定となっている。放棄系2方針は再造林を行わない仮定であるため、想定する補助は伐捨間伐補助、利用間伐補助、利用間伐時道開設補助に限定され、補助を受け取らないこともありうる。

「PVFP／補助」は、やはり補助総額の小さい放棄系2方針において大きく、収益性の低い混交化方針でも補助額との比で見ると最適伐期方針より勝っていた。このように収益性に対する補助の効率性は、資源の持続性を無視するならば、放棄系2方針が勝ってしまう結果であった。

放棄系2方針は補助総額も小さいが、再造林を行わないため、必要労働量はさらに小さい。このため「必要労働量／補助」は、どの割引率においても、放棄系2方針の方が大きかった。また、割引率の違いによる差異は小さかった。

現在林齢から見て間伐補助は早い時期に必要なため、補助は原木販売よりタイミングが早く、割引率の影響を受けやすい。このため「原木販売額／補助」は、方針間の違いが小さかったが、高割引率で全般に小さな値となった。

高齢級誘導伐の間伐補助タイプを採用した場合は、放棄系2方針も利用間伐（誘導伐）補助を受けられるため補助総額が増加した。このため、補助の効率という意味では標準状態と比べて、各指標において悪化する結果となった。

また、収益性は標準状態と比べて全方針で改善したが、PVFPにおいて混交林化方針は最適伐期方針および皆伐・放棄方針を上回らなかった。

なお、この点については、標準状態及び高齢級誘導伐採用時に限らない。収益性条件が悪い少数のパターンを除いて、通常、PVFPにおいて混交林化方針は最適伐期方針および皆伐・放棄方針を上回ることはなかった。

2-3-3. 標準状態における各因子の収益性感度分析

図2-6は、標準状態における各因子の収益性感度分析の結果を示したものである。例えば、他の因子の収益性への影響の程度が管理費10,000円の影響の程度に相当するならば、その収入（支出）変化の大きさは、連年収入（支出）10,000円に等しいとみなすことができる。このように、0円から20,000円の毎年の支出であると想定している管理費は、図2-6と後述する図2-7において、異なる時点で発生する収入と支出を評価する尺度と考えることができる。

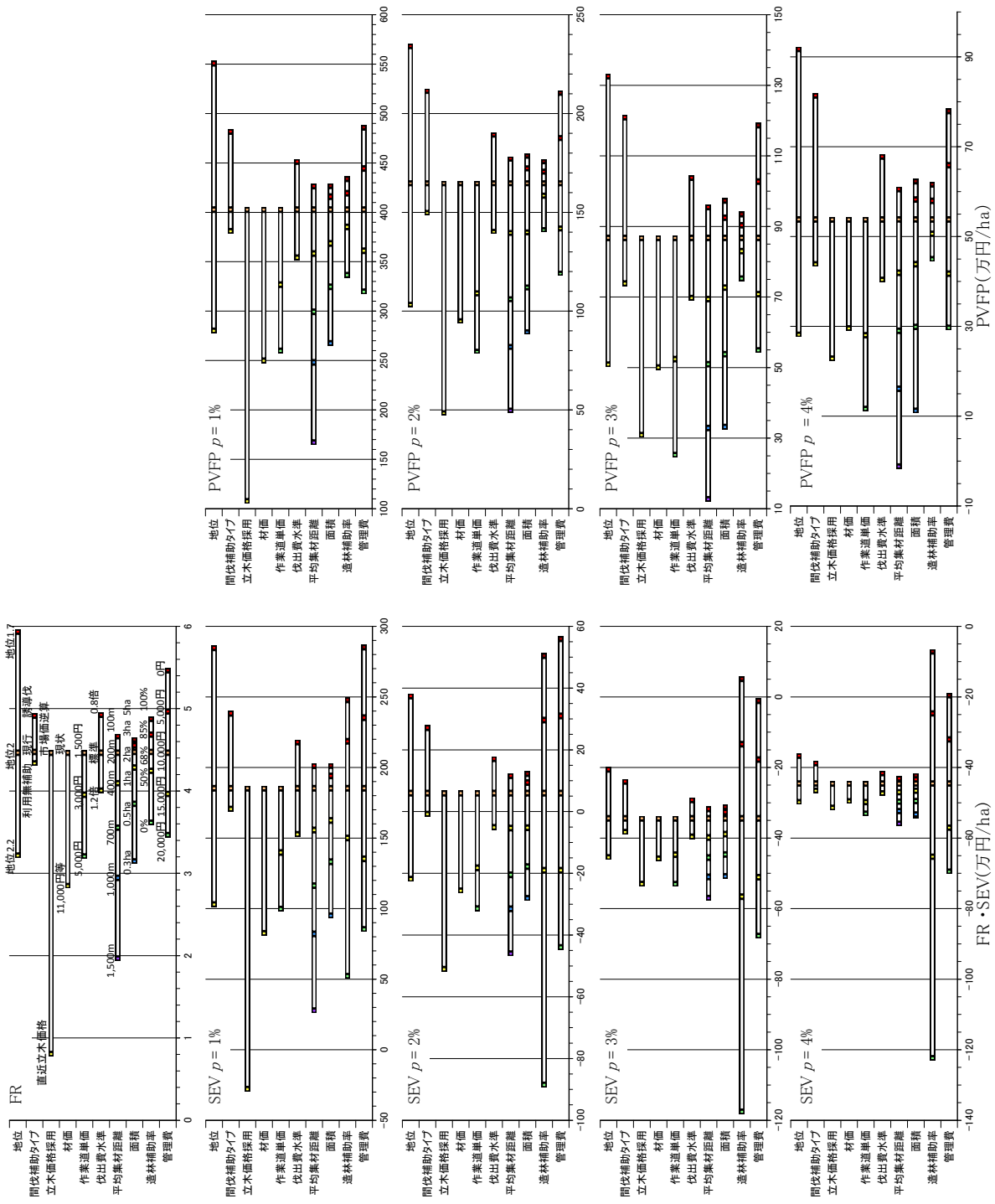


図2-6 標準状態での収益性に対する各因子の感度分析

注) FR:森林純収益、SEV:土地純収益、PVFP:40年生を現在林齢とした将来収益現在価値。すなわち、左側が裸地からの収益性、右側が40年生からの収益性である。横軸は万円/ha、橙色の値が標準状態における収益性。

以上を踏まえた上で、まず全体的な指摘を二つ行う。

①土地純収益説にしたがって裸地からの経営を想定して過去（一巡目）の費用を計上する場合は、計上しない場合と比べて、造林費（および管理費）の影響が大きい。とくに高割引率での影響が非常に大きい。これは、この両者（とくに造林費）が最初に生じる時期（一巡目初期）が他の収支と比べて圧倒的に早いからである。

理論的には土地純収益説に基づき土地期望価を最大化することが最も正しいと言われる（赤尾・有木，1989）。しかし、現存する人工林の今後を論じる際には、拡大造林期の造林費に利子がついた後価を実際に伐採収入で賄うという計算は非現実である。確かに日本の造林費は他国と比較して非常に高く、その負担額の絶対値は大きい。しかし、造林補助率（造林費用）の大小が収益性に対して及ぼす影響力が、高齢林皆伐収益と比較して数倍以上であるなど、常に圧倒的な影響力を持つと見なす高割引率下の土地純収益説は、現在の感覚とずれがあると感じられる。また、皆伐収入の大小は、過去の造林費用の後価合計よりも次回の再造林費用と比較される文脈のほうを、現在多く耳にするとと言えるだろう。

したがって、今後の森林経営方針は将来収支の純現在価値によって判断するほうが自然であると考えられる。本章では、過去の造林費を考慮する場合（土地期望価：SEV、森林純収益説：FR）と考慮しない場合（将来収益現在価値：PVFP）の双方を提示した上で、PVFPを中心に論じる。

②割引率の高いSEVにおいては①の通りであるが、PVFPにおいては、割引率が異なっても収益性への影響の程度があまり変わらない因子と、変動する因子がある。伐採搬出費用に関わる因子の影響力は割引率にあまり影響されず、材価・地位・造林補助率は割引率が低いほど影響が大きい一方で、間伐補助はむしろ割引率が高いほど影響がやや大きい。このことは端的に、収入および支出の生じる時期が早いものは高割引率下で重要であり、逆に時期が遅いものは高割引率下では重要度が低いということの表れだと考えられる。

以下、収益性への各因子の影響について詳細に述べる。

（1）造林補助率

造林補助率すなわち造林費負担の大小は、ある程度高い割引率下でのSEVにおいては収益性に圧倒的な影響を与えていた。2%程度の割引率でも収支を正にするのが難しく、ごく小さい割引率以外は、導入することが非現実的であった。一方、PVFPにおいては造林費負担の影響は小班面積や平均集材距離、間伐補助タイプ等と比べても大きくなかった。

(2) 管理費

SEV・FR、PVFP のどちらにおいても管理費は収益性に大きな影響を及ぼした。PVFPにおいて年間管理費が ha あたり 1 万円違うことが収益性に与える影響は、造林補助率 0~100%、平均集材距離 100~600m、伐区面積 1ha ~5ha の違いにも匹敵していた。

毎年の管理費については、巡視費、作業道等補修費、租税等も含めて定義自体が難しい。ただ、租税に加え、所有者本人の巡視等を費用とみなすと簡単に標準仮定の 1 万円/ha を超えてしまうと考えられるため、その影響力は非常に大きい。森林管理に関連する諸経費を管理費として計上しなくて済む構造でないと、現代の林業は利益を生まないと言える。同時に、行政コスト等もほとんどかからない仕組みが本質的には求められる。ただし、毎年一定と仮定する限り、管理費は最適伐期に影響を与えない。これは理論上も明快である (Johansson and Löfgren, 1985)。

(3) 区画面積

区画面積 (伐区面積) の拡大は収益性を大きく改善させていた。具体的には、伐出費のうち付帯費用 (ここでは、重機搬出入費や作業道開設・修繕費といった、変動費以外の費用を指す) の相対的負担が大きく異なっていた。例えば面積が 0.5ha と 5ha の場合を比較すると、標準仮定での 50 年主伐における利用材積 1 m³ あたり重機搬出入費は 50 円と 500 円、作業道修繕費が 320 円と 730 円のようになっていた。ただし、標準状態では、2ha を超えるようなある程度大きい区画をさらに拡大しても収益性改善幅は小さかった。

(4) 平均集材距離

平均集材距離は定義上、フォワーダの集材工程の費用と作業道開設維持費に主に反映される。平均集材距離の違いによる収益性への影響を標準状態の PVFP で見ると、100m から 1,000m への変化がおおよそ連年費用 (管理費) 20,000 円と同程度であった。

(5) 間伐補助タイプ

現行の間伐補助制度の中では、長期育成循環施業の名前で実施されている高齢級誘導伐 (ha あたり標準単価 462,083 円、想定補助額 314,216 円) を実施し、なおかつ最終的に皆伐することで、収益性がある程度改善した。改善幅は例えば伐出費が標準仮定から 20% 削減される場合とほぼ等しかった。

(6) 地位

PVFPで見ると、地位 1.7 から地位 2.2 の差は収益性に対して、連年費用 20,000 円分を上回る影響があった。もっとも、地位の差による影響は、成長が良くとも材が目粗である、成長が悪くとも芯が詰まっているといった材質の評価がされる場合は縮小されうると考えられる。

(7) 材価・立木価格採用

合板・小丸太以外の材価が全て 11,000 円になると引き起こされる収益性の悪化は、かなり大きかった。

標準状態において一律の立木価格採用を想定すると、市場価逆算の標準仮定と比較して、低割引率下では収益性が大きく悪化した。しかし、割引率が大きいときは高い収益性を示した。

2-3-4. 全パターン平均による各因子の収益性感度分析

図 2-7 の 3 つの図は、各割引率の下で、各因子の値ごとに全パターン（因子の値の組合せ）の平均値を求めた結果である。図 2-7-1 は区画面積 0.3ha のパターンのみ、図 2-7-2 は全ての区画面積、図 2-7-3 は区画面積 5ha のパターンのみを対象にしており、区画面積規模の違いによる変化を観察できるようにした。

ただし、各因子の想定値は恣意的で均等ではないため、平均値自体は特に意味を持たず、収益性の相対的大小のみが評価に耐えうると考えられる。このため、標準仮定での値を 0 として表示した。

図 2-7-2 を図 2-6 と比較すると、区画面積・平均集材距離・作業道単価の影響は大きくなった。この直接的原因は標準状態が想定中央値ばかりでないことにあるが、背景としては各因子の収益性への影響の不均一性が考えられる。というのは、収穫時の付帯費用と平均集材距離（作業道開設を伴う）および作業道単価は正の相関関係にあり、面積は逆比例に近い負の相関関係にある。したがって、特に標準仮定の 2ha より狭い区画、あるいは道の開設維持費がかさむ場合には、逆の場合の収益性改善以上に収益性が悪化することになる。このことは、図 2-7-1 の 3 つの図において、区画面積が小さいほど平均集材距離や作業道単価といった付帯費用に関連する因子の影響が非常に大きくなることから明らかである。

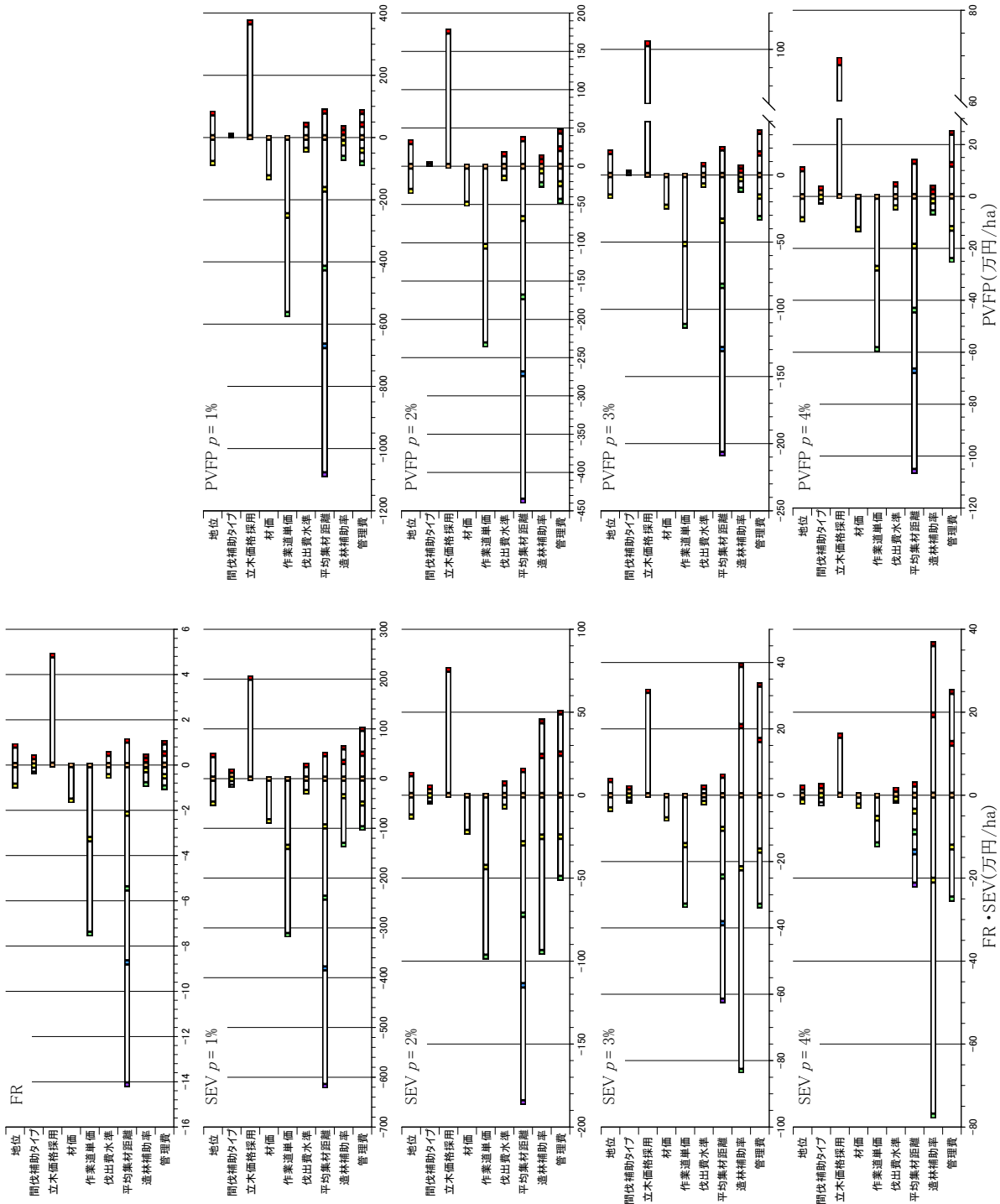


図2-7-1 区画面積0.3haの全組合せ平均による、収益性に対する各因子の感度分析
 注) FR: 森林純収益、SEV: 土地純収益、PVFP: 40年生を現在林齢とした将来収益現在価値。すなわち、左側が根拠からの収益性、右側が40年生からの収益性である。横軸は万円/ha、橙色の値が標準状態における収益性。

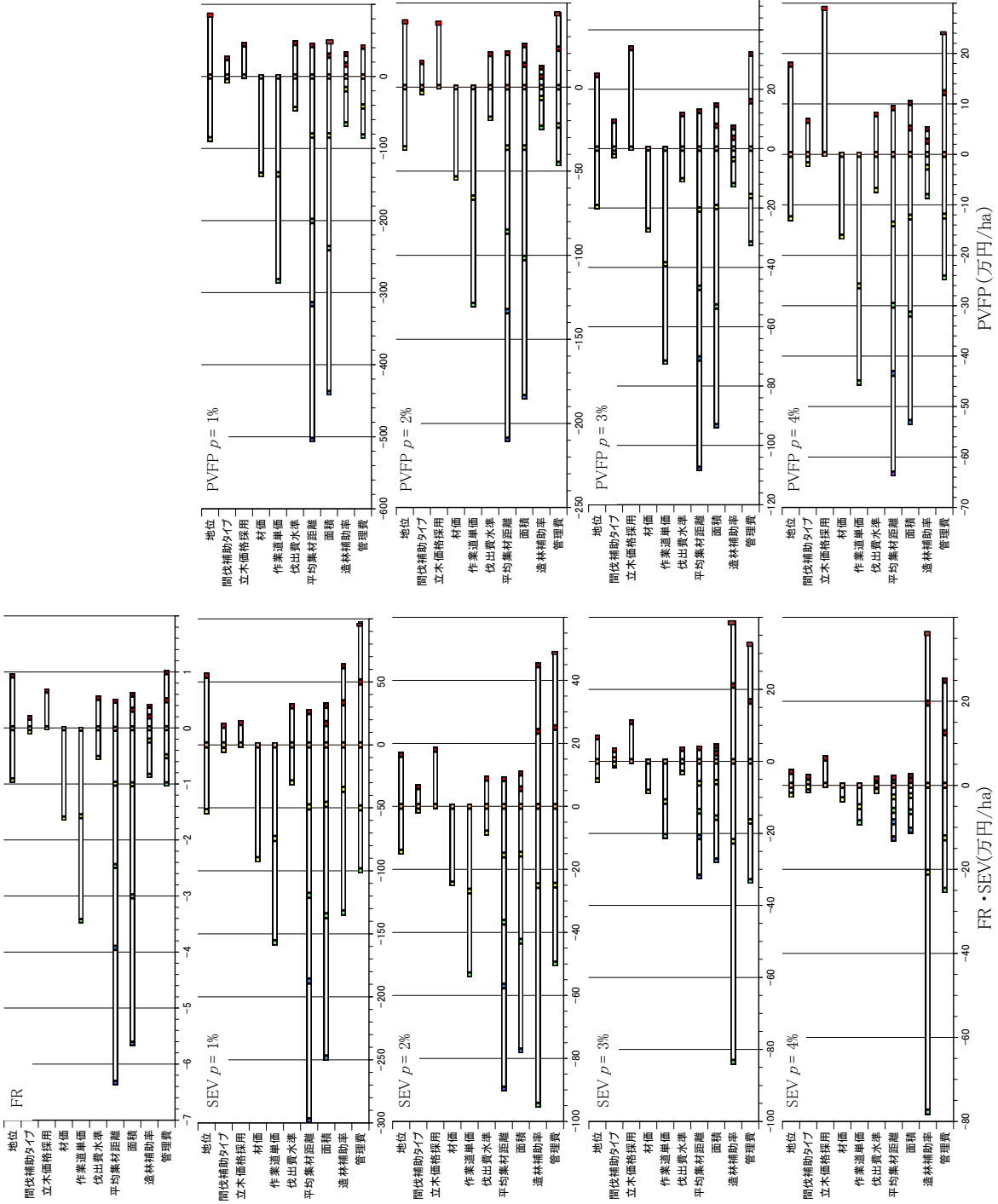


図2-7-2 全組合せ平均による、収益性に対する各因子の感度分析

注) FR: 森林純収益、SEV: 土地純収益、PVFP: 40年生を現在林齢とした将来収益現在価値。すなわち、左側が裸地からの収益性、右側が40年生からの収益性である。横軸は万円/ha、橙色の値が標準状態における収益性。

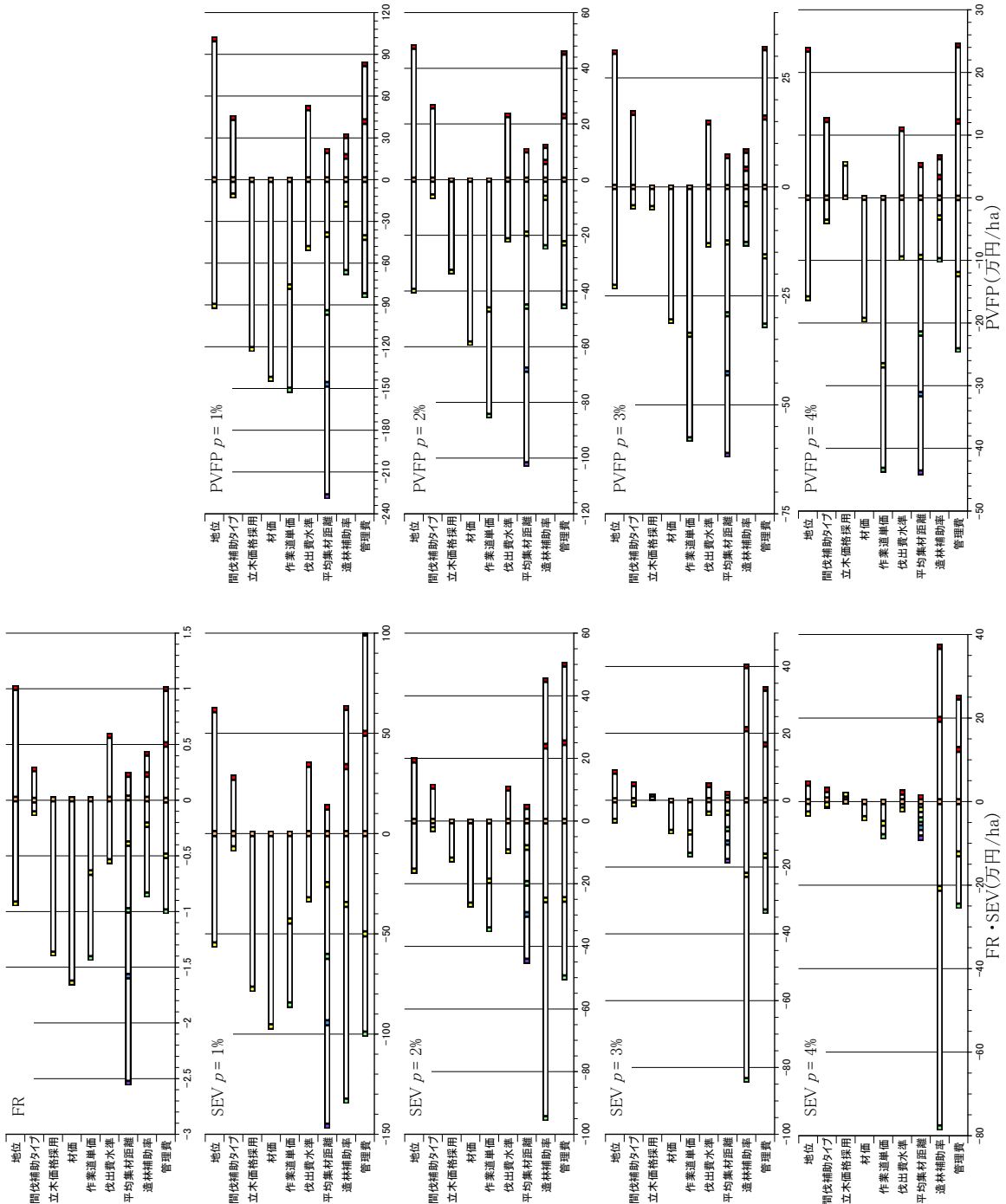


図2-7-3 区画面積5haの全組合せ平均による、収益性に対する各因子の感度分析
 注) FR:森林純収益、SEV:土地純収益、PVFP:40年生を現在林齢とした将来収益現在価値。すなわち、左側が裸地からの収益性、右側が40年生からの収益性である。横軸は万円/ha、橙色の値が標準状態における収益性。

一方、再び図2-7-2を図2-6と比較すると、地位・材価・立木価格の影響が小さくなった。材価が高くしかも大径材に価格優位性がある標準仮定においては成長のよい林分が有利であるが、材価が安くかつ径級にかかわらず一定であるパターンにおいては地位・材価・立木価格の違いが収益性に与える影響が小さくなるのが原因であると考えられる。

一律の立木価格を採用する場合はしない場合と比べて、区画面積が小さい場合は不利性が反映されないため収益性は大きく改善し、逆の場合は基本的に悪化した。割引率が高い時に比較的有利となる点は図2-6と変わらなかった。

2-3-5. 収益性変化曲線

図2-8は伐期齢を横軸にとり、収益性の変化と、収益性が最適伐期齢に近い値を示す伐期齢の幅を示したものである。表2-5は図2-8の結果の林齢を明示したものである。

収入に関する構造仮定を「径級に従い価格に差（標準仮定）」から「一律立木価格」「一律材価（用材価格が一種類のみ）」のように切り替えた場合は、収益性の上下だけでなく伐期齢を横軸とする収益性変化曲線にも違いが生じた。すなわち、収益性の絶対値の変化は設定価格によっても、最適伐期齢と準最適伐期幅は概ね「径級に従い価格に差（標準状態）」「一律材価」「一律立木価格」の順に若齢に推移した。例えば割引率3%におけるPVFPでは、「一律立木価格」における最適伐期齢は標準状態のそれより14年若齢となった。

また、収益性を見込めるPVFPを想定すると、準最適伐期幅は30年前後となり、収益性は伐期についてあまり明確な極大値を持たなかった。

ただし、低割引率下では最適伐期齢も準最適伐期幅も110年の上限に当たってしまい、真値は不明であった。

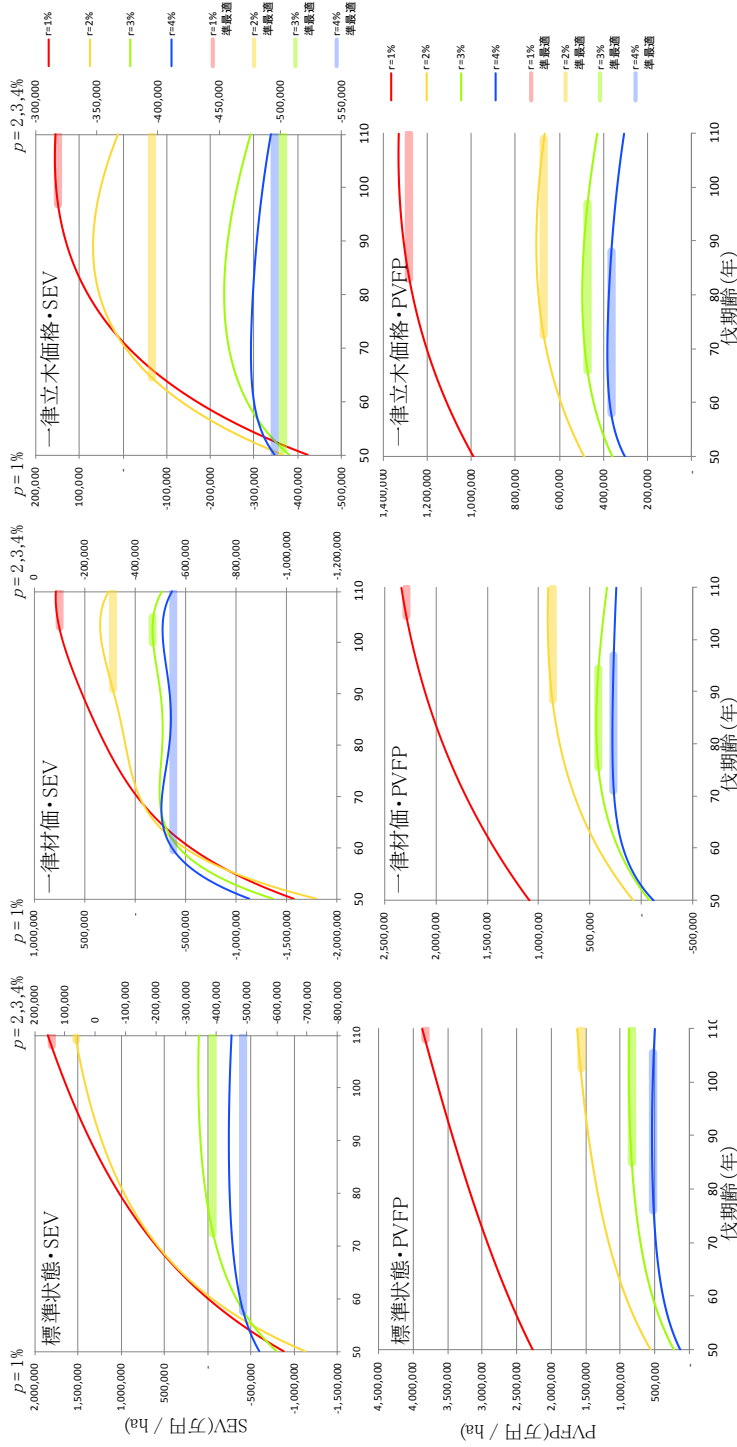


図2-8 材価設定の違いごとの伐期齢とhaあたり収益性と準最適伐期幅

注) 材価設定以外は標準状態と同一の仮定である。

森林純収益 (FR) の収益性の軌跡は土地期望値 (SEV) $r=1\%$ と似ているため省略した。

表2-5 材価設定の違いと最適伐期齢および準最適伐期幅

	FR・SEV				PVFP			
	標準仮定	一律材価	立木価格	標準仮定	一律材価	立木価格	標準仮定	一律材価
FR	110	110	110	110	110	110	110	110
最適伐期齢	109 - 110	107 - 110	101 - 110	106	110	105 - 110	83 - 110	106
準最適伐期幅	110	109	106	110	110	105 - 110	83 - 110	106
$r=1\%$	110	104	89	110	107	90	90	90
最適伐期齢	109 - 110	91 - 110	65 - 110	103 - 110	90 - 110	73 - 109	73 - 109	90
準最適伐期幅	103	103	80	103	96	81	81	81
$r=2\%$	103	100	105	110	85 - 110	82 - 110	66 - 97	69
最適伐期齢	90	68	69	90	86	69	69	69
準最適伐期幅	58 - 110	60 - 110	50 - 110	76 - 106	75 - 100	58 - 88	58 - 88	69

(注) 単位は全て年

2-3-6. 諸因子と最適伐期齢、最適間伐体系との関係

各因子を2-3-4と同様に変動させた全組合せにおいて選択される間伐体系を集計すると、表2-6のようになった。ただし、50年生以上の間伐でも伐出時採算が合わない場合は伐捨間伐になるが、両者を区別していない。また、各因子の想定値(表2-4)は恣意的であるため、値の絶対値より相対的な比較に客観的な意味があるものとする。

全体としてはまず、最適伐期が上限の110年(①)となる組合せが全体の約3/4を占め、それより若い75年~100年生程度を最適とするものも見られた(②)。最適伐期齢は割引率によって強く規定され、森林純収益では全ての組合せが、割引率1%でもほとんどが①であった。

①となる組合せでは50年生以上で利用間伐を1-3回繰り返すどの間伐体系も選択されていたものの、最後の間伐を50年あるいは60年で終える間伐体系(表2-6中の間伐体系B、C)が最適とされることが約70%と多かった。これは、本シミュレーターにおいては可能ならば「利用間伐を控え、一気に主伐」を選択するインセンティブが高いことを示している。一方、②については主に割引率2%以上で選ばれることがあったが、利用間伐なしで75年生で主伐(表2-6中のA)と50~60年生に間伐を行い75~100年生で主伐(同B、C)という間伐体系が最適とされる場合が多く、2~3回の利用間伐を行った後に80~100年生で主伐する(同F、G)という間伐体系がそれに続いた。

また、表2-7のように想定する間伐補助制度ごとに見ると、利用間伐回数が3回の間伐体系が選択された組合せは、高齢級誘導伐補助がある場合(間伐補助タイプ3)がほとんどであった。高齢級誘導伐補助がある場合でも、一回の利用間伐のみで105-110年生の主伐という間伐体系が選ばれる場合がやはり多かった。

なお、長伐期や多間伐に有利となる仮定を外した場合を検討するため、大径材の価格が高くない一律材価や高齢級誘導伐を想定した場合における最適伐期齢及び最適間伐体系も表2-7-2に示した。この場合も、表2-6・表2-7とあまり変わらない結果となった。

表2-6 割引率ごとの最適伐期齢と最適間伐林齢の組合せ (FR・SEV) (PVFP)

全体													最適伐期齢															
間伐体系	間伐林齢	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計			
A	なし				35155								35765			24	379	30043							30446			
B	50	30		125	50	20		190	12895	21705	480	524750	560245	18		164	74	27			327	15399	22009	274	396230			
C	60		235	1605	16490	2680	15550	19435	37540	6675	18790	109500	228500		254	1517	16683	2688	15255	20569	33558	6948	9628	43303	150403			
D	50,60		665	1390	940	835	505		16240				20575			597	1502	954	1009	363					7684			
E	50,70					65	165	50					2160					83	227	106	3			180	599			
F	50,80							70	2170	3505	10365	630	95835	112575					108	2764	5039	12903	277	84562	105653			
G	50,60,70					1585	5100	1215	10880	1240	1300	35	1955	23310				1215	5485	1536	11473	841	1067	30	124	21771		
H	50,60,80							685	675	655	4505	660	9395	16575						858	520	1232	5316	303	12003	20232		
I	50,60,90											10	25	22045	22080									13	107	72	15826	16018
J	50,70,90											115	1775	1270	68555	71715								173	1892	708	80274	83047
総計		75	285	2910	54670	8805	18520	33905	55950	62575	21890	833915	1093500	18	278	2657	49517	9237	18993	36122	56258	50242	11292	640186	874800			

FR													
間伐体系	間伐林齢	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計
A	なし												0
B	50												106375
C	60												58200
D	50,60												12300
E	50,70												1800
F	50,80												24975
G	50,60,70												1750
H	50,60,80												1425
I	50,60,90												11875
J	50,70,90												0
総計		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218700

p=0.01													
間伐体系	間伐林齢	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計
A	なし												0
B	50												116980
C	60								160	15550	29165	44875	39745
D	50,60								3165	3165			6330
E	50,70												80
F	50,80												25675
G	50,60,70												0
H	50,60,80									800			800
I	50,60,90									3630			3630
J	50,70,90									23495			23495
総計		0	0	0	0	0	0	0	160	15550	202990	218700	218700

p=0.02													
間伐体系	間伐林齢	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計
A	なし				1620								1620
B	50							60	4350				117405
C	60				30			1000	1025	17160	4700	2670	8755
D	50,60								290				775
E	50,70												0
F	50,80												26080
G	50,60,70								575	300			200
H	50,60,80												1075
I	50,60,90									150	110		4655
J	50,70,90										10		3460
総計		0	0	0	1650	0	1000	1890	17520	9200	3030	184410	218700

p=0.03													
間伐体系	間伐林齢	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計
A	なし												12225
B	50								3580	8255			105190
C	60				5420	545	7560	7410	14715	1370	320	1330	38670
D	50,60				310	190	570	215					1285
E	50,70						20	5					25
F	50,80								220	355	4595	340	14155
G	50,60,70							110	4890	410	680	10	110
H	50,60,80					90	1005						67
I	50,60,90							280	205	120	2605	180	2205
J	50,70,90												1825
総計		0	0	0	18045	1740	8540	12945	19190	18555	1570	138115	218700

p=0.04													
間伐体系	間伐林齢	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	総計
A	なし												21920
B	50								190	9255	9100	480	83210
C	60				235	1605	11040	2135	6990	11000	5665	445	250
D	50,60				665	1080	750	265					2760
E	50,70						65	145	45				255
F	50,80							70	1950	3150	5770	290	4950
G	50,60,70												16180
H	50,60,80					1495	4095	1105	5415	530	420	25	95
I	50,60,90							405	470	535	1750	370	310
J	50,70,90											10	15
総計		75	285	2910	34975	7065	8980	19070	19240	18220	1740	106140	218700

注) 灰色の部分は間伐・形状比の制約上、伐期齢として選択することができない。□

2-4. 考察

本研究で整理された事項をまとめ、収益性や林業経営方針評価の今後の研究において必ず踏まえるべき点として以下を指摘する。

2-4-1. 補助の効率性と4方針の比較

森林・林業再生プランが目標として木材自給率50%を謳っているように、林業活動の活発化を図ろうとする場合、素材生産業者の人員や生産力を短期間で増加させるのは難しい。また、緑の雇用担い手対策事業等の効果で新規就労者数が増加してきたとはいえ、林業労働者数はかつてと比べて非常に少ない（林野庁編，2010）ため、労働力不足の制約は強力に働きうると推定される（植村，2010）。さらに、国や地方自治体の厳しい財政状況の中、今後は補助総額を大きく増加させることも困難であろう。したがって、補助については少ない金額で大きな成果を得る効率性が今まで以上に重要となってくるであろう。そのような状況下で、放棄系2方針（皆伐・再造林放棄方針、混交林化方針）は、必要となる補助および労働量が小さい。したがって、森林資源が十分あり、労働力や補助の制約が強く、かつ木材生産を向上させたいという場合には放棄系2方針は目的によく合致する。ただし、放棄系2方針で省略される労働量は造林保育のものであり、混交林化方針では皆伐ができないため、素材生産のみの生産性は皆伐を実施する他の方針に劣る。

したがって、現在の政策に照らして木材自給率すなわち木材供給量を急速に上昇させることを可能とするには、労働量と補助総額の制約を緩和しない限りは現状より皆伐・再造林放棄方針を増加させるしかなく、少なくとも本研究の混交化方針（非皆伐）の想定を採用すると労働量制約に抵触しやすくなるため、皆伐系の方針と比べて生産量増加には適さない。このことは、大型製材工場等の大規模木材需要者に原木を大量供給しなければならない素材生産事業体は従来から間伐ではなく皆伐中心に操業していることとも整合する。

収益、原木販売額、必要労働量の「対補助比」を補助の効率性の指標だとして考察すると、放棄系2方針は再造林を負担しないため補助総額が小さく必然的に補助の効率も高かった。ただし、必要労働量を雇用と見なしてこれが大きい方がよいと考えるならば、放棄系2方針は補助額あたりの雇用創出の程度が小さかった。これは単純に、利用間伐補助や作業道開設補助より造林補助の方が人件費の割合が大きいことが原因と考えられる。

本章の結果によると、皆伐再造林放棄方針は公益的機能の面から通常は許容されないとしても、なるべく混交林化方針より最適伐期方針を採用する方が有利である。このことは、現在わが国では収益性が低いため皆伐を回避するケースが多いと言わ

れていることと一見矛盾する。しかし、少なくとも110年生等の高齢林の皆伐を想定すれば、再造林費を十分賄うことができる場合も多いと考えられるため、矛盾してはいないと考えられる。この最適伐期方針が優位である状況は、現行制度の中の手厚い利用間伐補助を採用しても変わらなかった(図2-5)。すなわち、今後増加してくる高齢林でも皆伐が有利であり、皆伐を抑制したいならば、高齢林保持に対する直接支払いや皆伐回避を条件とする補助、相続税の優遇といった新規な制度設計が必要であると考えられる。これに関しては2-4-6において再度考察する。

2-4-2. 立木価格の採用

収益性評価における立木価格採用は伐出費や木材販売収入の大小に関わる各種条件の差異を考慮しない仮定である。そのため、径級や林齢等の階層別に設定されるなど工夫された立木価格の値が入手困難である現状においては、立木価格を単一林分経営シミュレーターとして使うには不適當である。具体的には、立木価格採用は、区画の規模や立地条件次第で大きく変動する付帯費用(作業道の開設、林業機械搬出入等)による変動を無視してしまうほか、林分条件による伐出費のうちの変動費の変化(図2-2)や材価の差(表2-3)も考慮しない。このため、図2-7のように、標準仮定と比較して同程度の収益性予測値を返す場合が少なく、融通性が不足していると言わざるを得ない。また、図2-8、表2-5においては、最適伐期齢と準最適伐期幅は概ね「標準状態(径級に従い価格に差)」「一律材価」「一律立木価格」の順に若齢に推移していた。詳細に条件を設定する方がより正しいと仮定すると、若齢林と高齢林の間で材価・伐出生産性に現に差があるにもかかわらず材価を不用意に一律と仮定したり、立木価格を採用してしまうと、収益性の絶対値だけでなく算出された最適伐期も適切でないと考えられる。

なお、本研究では歩留まり(利用率)は「林齢とともに増加する」と仮定した。これを「林齢等に関わらず歩留まりと材価は一律」とした場合の最適伐期齢はやはり若齢にシフトし、「一律材価」と「一律立木価格」の間の値になると予想される(図2-8)。

2-4-3. 割引率と造林費

割引率を考慮する場合、土地純収益説(裸地から開始)を単純に採用して3%や4%といった低くない割引率を用いると造林費用の負担が圧倒的に大きく、「林業はほぼ破綻している」と解釈するしかない。例えば図2-6を見ると、標準状態から一因子のみを変更する場合において、割引率3%で土地期望価(SEV)が正になるのは造林補助率が100%(造林費用負担が0)の場合のみであり、それ以外では土地期望価は負である。逆に、すでにある森林からの収益性(PVFP)を評価するな

らば、造林費用の収益性変化への影響は割引率が高いほど比較的小さくなった。また、図2-5では、SEVではなくPVFPを採用するならば、3%や4%といった割引率を想定しても収益性は常に正であった。皆伐収入が再造林費用を下回らない条件下であれば通常、収益は小さいながらも赤字にはならない。以上をまとめると、構造仮定としてSEVを収益指標に採用する場合は、1%程度の低割引率以外は想定し得ない。一方、PVFPを採用する場合は比較的高い割引率を採用することも可能である。ただし、その場合は2巡目以降はほとんど収益をもたらさず、むしろ皆伐・再造林放棄方針の方が有利となってしまう(図2-5)。また、伐期に対してPVFPはあまり明確な極大値を持たないことが、最適伐期齢が比較的若齢となる高割引率において明瞭に表れている(図2-8)。

なお、PVFPにおける造林費用の収益性変化への影響の程度は作業道単価の変化(森林所有者にとっては作業道開設補助の変化と捉えてもよい)よりも小さいと言える(図2-6、図2-7のPVFP部分を参照)。このため、持続可能な林業の収益性改善のためには、造林補助より再造林義務付きの林道・作業道開設補助等の方が有効である可能性が示唆された。もし育林保育施業費用が作業道整備により削減できるなら、その優位性はさらに大きくなる。

また、図2-8、表2-5に見られるように3%や4%といった低くない割引率を用いた場合、土地純収益説(土地期望価、SEV)では準最適伐期幅が非常に広く、「どの伐期でもほぼ等しく採算性が悪い」と判断できるほか、40年生時から考える将来収益現在価値(PVFP)においても準最適伐期幅は30年前後あった。さらに言えば低割引率時には準最適伐期幅がシミュレーション上限の110年にかかっていることから、実際の準最適伐期幅はさらに広いことが予想される。したがって、Toyama(2011)が確認し、また古くから指摘されていることではあるが(例えば野村、1955)、準最適伐期幅は一般に広く、実際の伐期齢決定において最適伐期齢を忠実に採用して伐採すべきだとは言えない。諸条件の変化により、現実の伐採齢も幅があることが自然で合理的だと捉えるべきである。

ここでは、割引率変化に伴ってSEVへの影響の度合いが極端に変化する造林補助について論じたが、管理費についても、程度は小さいものの同様の性格が見られる。両者に共通することは、裸地から経営を開始する場合に収穫のはるか以前に必要な支出であるという点である。以上のことから、収益性や最適伐期の試算を行う際には、割引率、想定する開始状態(裸地か壮齢林か)、造林費用負担、管理費と後述する区画面積について、少なくとも採用した仮定を明示しなければ収益性評価を妥当に論じることはできない。

2-4-4. 収入

地位や材価等、木材販売収入に関係する因子の影響は常に大きい、その程度は割引率が低い時の方がやや大きかった。標準状態においては、影響の程度はFRや低割引率でのSEVでは管理費20,000円分に近い規模であり、PVFPではさらに大きかった。本章における地位の想定幅は2-4-2(1)で述べたように年平均成長量が約10~14m³となる範囲を選択している。したがって、これらより成長速度が大きく劣る区画を想定する場合は図2-6・図2-7の範疇を超え、家原・黒川(1990)や長谷川(2000)が指摘するように収益性の面で挽回できない不利条件となるだろう。適地選別や収入を上昇させる方策は、収益性改善の前提条件として大いに実施しなければならない。

2-4-5. 区画の規模

特に利用間伐において、収穫規模が過小であると伐出収益性が低くなるため団地化等による収穫規模の確保が重要であることは研究としても事例としても報告されている(例えば近藤ら, 2000; 當山・龍原, 2007; 日水, 2007)ように周知であり、団地化・集約化政策推進の要因でもある。

団地化によって過小区画の規模拡大(面積増加)が達成されると、作業道の開設といった付帯費用負担が分散・減少する。しかも、因子間の相互作用をないものと考えて伐出費を数量化I類で表現できた架線集材の場合(當山・龍原 2007)と異なり、作業道開設維持費等の付帯費用が大きいほど、費用分散の効果は重要となった(図2-7)。すなわち、作業道開設費が高い等の不利条件を抱える場合は、過小区画の規模拡大によって初めて林業経営を可能とする前提が築かれると言えよう。ただし面積増加による費用分散の効果は指数関数的に減少していくため、標準状態程度の付帯費用絶対額では、3ha等のある程度大きい区画をさらに拡大することによる収益性改善幅は小さかった(図2-6)。

本シミュレーターの伐出システムにおいては、標準状態における数ha規模の区画のさらなる拡大のみによる収益性改善は、1ha未満等の小区画の拡大によるそれよりずっと小さかった。ただし、作業道開設維持費が大きい場合にはやはり、区画規模拡大による負担分散が望ましい。

現在取り組まれている間伐の団地化は通常、数haより大きいスケールを想定している。ここで発揮されている団地化の効果は、高性能林業機械の稼働率向上や営業費・管理費の節約、作業道の適正配置といった点か、作業道開設維持費等の付帯費用が大きい場合の不利性緩和が主体であることになる。前者が森林所有者・行政・森林組合・素材生産業者の間の協力により達成されるならば、集材距離が短い好条件地で空間連続的な団地を数ha以上の規模まで拡大させる利点は比較的小さいだろう。

本研究では高密路網とチェーンソー伐木－グラップル木寄せ－プロセッサ造材－フォワーダ集材の伐出システムを想定してこのような結論となり、伐出システムが異なる場合は想定していない。ただし、第2章の標準仮定において面積に関係なく区画ごとに発生すると想定している付帯費用は、トラック道～区画間の作業道開設費 $200\text{m} \times 548 \text{円}$ （補助を除いた単価） = 109,600 円や林業機械搬出入費 83,568 円などであり、異常に大きな金額ではない。本章ではこのような付帯費用が過小区画の収益性の大幅な低下をもたらしたが、本格架線伐出システム等の他の伐出システムでも同程度の費用が発生するならば、本研究と類似する結論が導き出されることになる（當山・龍原，2007；當山・龍原，印刷中）。タワーヤードを中心とした伐出システム等において、架設撤去費が小さくかつ必要作業道が少なくて済む場合は、本研究と異なる傾向を示すと考えられる。

なお、伐出経費の分析において石川ら（2008）は伐出経費が最小となるような最適な伐区面積があるとしているが、これは集材距離と伐区面積の2変数を伐区面積の1変数のみで表現している。そのため、伐区がトラック道に接した上で奥に広がる形を前提とした場合において正しい。本研究ではフォワーダ運搬でトラック道と伐区を連絡する（すなわちトラック道と伐区が接していない）場合も想定しているため、平均集材距離が等しい条件においては伐区面積が大きいほど付帯費用が相対的に減少し、収益性が改善した。

2-4-6. 間伐体系と最適伐期

最適伐期齢は、割引率が0～1%の場合はほぼ全ての因子の組合せにおいて110年（モデルの上限）であった。2%以上の割引率においては、75年～100年生程度を最適伐期齢とするものも見られた。

最適伐期については、本研究では基本的に長伐期を有利とする結果であった。山形県のスギ高齢人工林の成長があまり鈍化しないことは収穫表に表れているほか、対象地に隣接する秋田県における試験地調査では高齢林成長が収穫表を上回ることも指摘されている（大住ら，2000）。さらに、大径材の価格プレミアムを想定しない場合でも主に長伐期が選択される結果となった（表2-7-2）ことから見ても、この地方においては長伐期が一般的に優位となりやすいと言えるだろう。

いつどの程度のどんな種類の間伐を行うべきか、あるいはいつ主伐すべきかは本来、その森林の置かれている地位や地域、気象害といった個別の事情によって変化すると考えられるため、現場ごとに現況を見極めながら決定すべきものである。したがって、本考察もその個別の数値よりもそこから得られる定性的理解を重視すべきと考える。

図2-7の3つの図でもわかる通り、準最適伐期幅が大きい場合は、若干の伐期

変動は収益性にほとんど影響を及ぼさない。収益性最大化の目的を土地期望価（SEV）とするか将来収益現在価値（PVFP）とするかで程度は異なるが、準最適伐期幅は多くの場合で十数年から数十年に及び（Toyama, 2011）、最適伐期齢が上限の110年とされた場合はさらなる高齢級までが準最適伐期幅に含まれると考えられる。伐期齢が異なればその時に最適である間伐体系は必然的に変化するので、伐期齢および最適間伐体系に関して収益性はあまり明確な頂点を持たない可能性はある。

ただし、選ばれた最適間伐体系に着目すると、長伐期を最適としつつも利用間伐回数が1回程度と少ない間伐体系が有利であるとしたケースが多かった。この結果は、純収益最大化のために間伐実施が必要とされる期間は20-40年生程度に限られるとした江尻（1992）の結果ともある程度整合するものである。もちろん、高齢林の風害が見込まれる立地等では少ない間伐回数で済ます方針は危険性が高くなり、また森林の健全性維持・公益性発揮の観点からも多間伐の間伐体系を選ぶべきである可能性はある。しかし、本研究では間伐率は比較的高く、例えば50年や60年に最後の間伐を行う間伐体系でも収量比数は常に0.8未満である等、形状比および収量比数は不健全な値とはなっていない。Yoshimoto（2006）は補助金受給が許されるならば可能な限り多間伐とするのが有利であるとし、木島ら（2009）も複数回の低間伐率利用間伐実施が有利であるケースがありうることを示唆しているが、収穫時の規模拡大の優位性を考慮に入れると、利用間伐対象になってからの多間伐は必ずしも有利でない。端的に言えば、利用間伐を繰り返すことは伐出費用のかかり増しを必ず伴うため、間伐による相当の付加価値増加や危険性回避が認められない限りは、多数回利用間伐は収益面で有利と言えないだろう。この結果は、材価一律の仮定、すなわち高齢級で一気に収穫するメリットが減じた場合においても変わらなかったことから、少数回利用間伐有利という結果はある程度の普遍性を持つであろう。むしろ、強度の間伐を伐り捨ててもよいから行っておき、後の皆伐における収益を期待する方針が有望な選択肢である可能性もある。ただし、本研究では特殊材や優良材を想定せず、また間伐による形質（より材価の高い材の割合の増加）や歩留りの向上を考慮に入れていないため、多数回利用間伐のメリットを十分に反映できなかった可能性はある。

また、小規模経営等で早期の収入が求められる場合も考えられる。その場合、比較的早期の皆伐と利用間伐のどちらが優位か本章では比較していないが、3-5-3において改めて考察を行う。いずれにせよ、さらなる成熟を待つのができれば望ましいことに変わりはない。

高齢級誘導伐補助を実施する場合には3回利用間伐して長伐期という体系も選択されるようになったが（表2-7）、その割合は多くなかった。この点も、長伐期に

における多数回の利用間伐が優位とは言えないことを示している。

ただし、この結論は伐期を110年上限とし、なおかつ利用する材の形質の良し悪しを問わないシミュレーションにおけるものである。弱度の利用間伐を繰り返すことによる一回の出材量不足に伴う伐出生産性悪化を上回る形質・材価上昇や高成長を見込める場合、あるいは地利条件等が非常に良好で少量の「抜き伐り」が高い生産性で実行できる場合であれば、長伐期多間伐方針あるいは択伐非皆伐方針が収益性で競争力を持つと言えるだろう。

2-5. 課題

本章の手法及び結果に関して課題として挙げられるのは、以下の点である。

構造仮定においてはまず、伐出システム及びそれに対応した路網の仮定が固定的であることが挙げられる。グラップル集材システムが妥当と考えられる比較的限定された対象地を想定した本研究では問題とならないと考えるが、モデルの普遍性の面からは拡張が望まれる。この点に関しては、費用算出内容に関わらず収益性の変化を再現することに重点を置いて回帰式で伐出費を求める方法（森林総合研究所、2010）が便利である。ただ、道の条件等の詳細を明示的に反映したい場合は、本研究のように各費用項目を積み上げる方式で複数の伐出システムを選択できる伐出費算出モデルの構築が求められる。その際は、作設する道の仮定も伐出システムに合わせたものに修正せねばならないだろう。さらに、中長期的にはよりよい伐出システムが開発導入されることも考えられるので、伐出・造林の生産性あるいは費用の水準を任意に変更できるモデルによる検討も求められよう。

本研究で得られた最適伐期齢等の結果を解釈するに当たって最も留意せねばならない課題（仮定）は、林齢・径級・過去施業履歴に対しての材の歩留りや形質の関係である。前述しているように本研究では、間伐施業に伴う歩留りや形質変化の情報が入っておらず林齢次第で一律としている。この点は伐出費の推定式、成長予測とともに伐期の長短を選ぶ重要な要素であり、改善の余地が大きい。標準状態は本対象地の現状において最も妥当な仮定であると考えているが、標準仮定における材価設定（大径材の価格優位性が残っている）と歩留り・形質変化の仮定が相まって、比較的長伐期かつ間伐回数が少ない場合が優位であるという本研究の結論を後押しした可能性はある。

また、より複雑な間伐体系を検討できることが望ましい。本研究では間伐の多寡による違いの大まかな傾向は反映したと思われるが、間伐時期以外にも間伐種や間伐率、それに対応した伐出システム選択や材質変化が反映されるべきだと言える。

上記の点以外の未設定構造仮定における収益性や最適伐期齢への影響については、

本研究の仮定の範囲内から類推することが部分的に可能であると考えている。例えば、獣害対策が造林費用を押し上げる地域におけるシミュレーション結果は、造林補助率が0%や50%と低い本研究の仮定による結果を援用して考えればよいし、そもそも費用仮定を獣害対策費を組み込んだ形に変更することも容易である。

FR、SEV、PVFPといった収益性を目的関数とした構造自体に関して留意すべきは、収益性があると言っても将来の収益であり、特に長伐期を有利とした条件組合せにおいては、実際に森林所有者に利益がもたらされるのは先の話になることもあるということである。「110年伐期で十分な収益が得られる」という解釈は、まだ数十年も「寝かせて」やっと高い収益を挙げられることが多いことを意味する。このため、結局のところ収益力はあったとしても実感として非常に低く、山林所有を企業経営として期待するような利率（収益率）は到底期待できないと言わざるを得ない^(注1)。それでも、これはヨーロッパ型の長伐期林業においてはさほど特異なことではなく、非皆伐施業よりは皆伐を行った方が有利であるというのが本研究の結論の一つである。この点については3-5-3においても考察する。

本研究では山形県スギ人工林を対象とする収穫表のみを用いて分析・考察したが、他地域・他樹種の成長特性においては異なる結論を導く可能性がある。特に成長のピークを迎える林齢が早く、しかもその後の成長が大きく落ち込む地域に対しては再分析が必要だと思われる。

(注1) 造林費・素材生産費等をコストとした場合に、山林所有がもたらす利率は低いという意味。低金利状態が続く我が国においては、林業も投資先の一つとして見れば投資リスク分散のために低い利率（収益率）でも許容される可能性はある（Blandon, 1985）が、企業経営としては許容できない水準であると考えられる。文章になったものとしては、西日本林業経済研究会（2009）第三部が参考になる。

第3章 地域森林管理シミュレーション

3-1. 背景と目的

第2章では単一森林区画経営を扱ったが、単一区画の経営判断の積み重ねが、総体として地域の森林を形作る。地域森林の中には多様な地利条件・成長条件・面積規模・林相の多数の森林区画が隣接しながら分布しており、その空間的配置や周辺区画との兼ね合い（施業の共同化や、同時収穫を避ける分散化等）を考慮することで、単一林分の経営判断だけでは達成できない、よりよい地域森林管理に資する方針や施策を検討することができる。例えば、地利条件の有利な区画に収穫や保育施業が偏る（伊藤ら, 2005; 藤掛, 2007; 當山・龍原, 印刷中）状態は地域森林管理にとって好ましくない可能性があり、地域森林全体を視野に入れた実行可能な方針の提案・実行が求められることを示している。このような地域森林管理の方針策定に際しては、異なるシナリオがもたらす予想結果を比較できるシミュレーションが有効である。また、わが国では、2-1-1で述べたように単一林分経営シミュレーションが普及する準備が整ってきており、今後、各林分を管理する上でのシナリオに関する情報を研究者および一般の森林管理者が入手することが容易になると予想される。

本章では、第2章で構築した単一林分経営シミュレーションモデルを活用して各森林区画の管理方針選択肢を作成した。その上で、全体として望ましい選択肢を選ぶ地域森林管理シミュレーションモデルを作成・使用した。検討すべき内容としては、利用間伐における団地化、すなわち複数森林区画における作業同期化を通じた効率性改善の実行可能性及び課題抽出と、森林資源の現況から見て望ましい伐期や間伐体系の選択を想定した。

団地化については、森林所有が小規模分散的であることが森林の効率的作業実施の障害であるということは早くから認識されており（例えば原, 1931）、その解決のための様々な施策が実施されてきた。特に林地の小規模分散性を克服するために、森林計画制度の中でも森林所有者が直接樹立に関わる森林施業計画において工夫がなされてきた。1974年の改正森林法において新設された団地共同森林施業計画制度（団共）では、複数人による共同の森林施業計画樹立が推奨された（森林計画制度研究会編, 1992）。2001年に改正された森林法では、森林施業計画が樹立できるのは概ね30ha以上の属地的にまとまった森林に限定された（森林施業計画研究会編, 2005）。現在に至るまで、森林所有者の取りまとめによる効率的施業の実施を目指す「提案型集約化施業」が森林組合等を通じて全国的に推進されており、例えば2010年現在では、第2章2-4-2（4）で触れた森林整備加速化・林業再生事業の助

成を受ける条件となっている「集約化推進計画、集約化実施計画」の作成が進んでいる。このような団地化については、達成された効率化の程度等に関する研究は近藤ら（2000）、當山・龍原（印刷中）の他には見当たらないなど、現場での懸命の取り組みを客観的に評価して課題を解消するための研究は少ない。

なお、本章においては地域森林管理を「統一された主体の下の経営判断で決める」かのように決定論的にシミュレートを行うことになっている。民有林においてこれが実現するためには長期経営委託が必要となるが、このような経営委託の形として例えば「長期伐採権制度」（堺，2003）や「団地法人化」（藤澤，2003；林業経営の将来を考える研究会編，2010）が構想され、実務レベルでは日吉町森林組合を主な手本とする提案型施業が推進されている。しかし、本章は必ずしも「単一地域に単一経営体」でなければならないとするものではない。志賀（2009）は「地域の自治的側面や地域的歴史性の軽視に陥ってはならない」と述べており、また、日本林業経営者協会が事務局を務めた「循環型社会に資する日本型森林管理・経営モデルの構築」検討委員会（2010）も「（多くの所有者による自由な経営により）結果的に多様な森林が地域にモザイク状に出来あがってくる」（括弧内筆者補足）ことを良しとしている。本章は、異なる条件下の地域森林管理シナリオを実施した場合に必然的にもたらされる影響を推測し、シナリオ間の比較を通じて方針決定のための検討材料を提供するものである。

3-2. 森林管理最適化問題における数理計画モデルの概要

本章では、単一林分経営シミュレーションモデルの出力情報を基に、区画ごとに管理方針（間伐・皆伐体系）を選んでいくことができるベクターベースの0-1整数計画問題として地域森林管理シミュレーションモデルを構築した。その際、近年強く推進されている利用間伐対象林を間伐団地として一体的に扱ってコスト削減を図る取り組みを念頭に置き、重機の搬入搬出や作業道の開設維持を伴う伐出作業を一体的に行いうる範囲を先に設定した上で、その中での利用間伐同期化（間伐団地の形成）による実質的な団地化を優先条件とした。さらに、整数計画問題の計算量の爆発的増加を抑えることも意図し、作成される間伐団地数を最小化する（団地形成を最大限促進する）部分問題を第一段階、収益最大化の部分問題を第二段階とする二段階の整数計画問題として定式化した。

このように、本章の地域森林管理シミュレーションモデルにおける最終的な目的関数は収益合計である。2-1-1でも述べたように、地域森林管理計画問題においては森林の経済性以外の面も目的関数として扱うことがしばしばあり（Shan et al., 2009）、複数の目標を統合した目的関数を設定する目標計画法（Goal

Programming) 等を用いることもできる (Davis et al., 2001) 一方、経済性の最適化を目的関数として設定することも多い (Newman, 2002)。ただし、経済性や収益性の算出においては、そもそも伐出費算出を単純化する強い仮定を設定した研究が多い。特に周辺区画との連携により伐出費が変動する点を広域に検討した例は、架線系集材での伐出費を扱った当山・龍原 (印刷中) 程度しかない。本来であれば、一つのモデル内の各サブモデル (ここでは地域森林管理シミュレーションモデルにおける成長、収入計算、伐出費計算、造林管理費計算、意思決定に関する各種制約といったサブモデル) は同程度の精度を持つべきであると考えられる。しかし、少なくとも伐出費算出に関する仮定が強い場合は、既往の地域森林管理計画問題の研究で提示された収益性等の評価が妥当でないことも考えられる。本来であれば第2章と同様、地域森林管理シミュレーションモデルにおいても、異なる構造仮定を比較検討してその妥当性を検証すべきであろう。

本章では、団地化によって変動する伐出費算出モデルを採用した上で、計画期間内における収益 (収入から支出を差し引いたもの) 合計を目的関数とし、その最大化を行うこととした。

本章は、詳細な伐出費算出モデルを採用した上での利用間伐団地化という非常に具体的な課題解決を意図した計画問題を、3-3-1で述べるように1,000区画を超えるスケールで検討しようというものである。これは、光田ら (2009) の区分に当てはめれば、空間スケールは「団地レベル」、計画レベルは「戦略～戦術レベル」であると表現できるだろう。

なお、地域全体の収益性を見るという観点から割引率は想定しない (0とする) が、容易に導入可能である。また、0-1整数計画問題には多くの研究蓄積があるが、問題が大規模になるといわゆる「次元の呪い」が起きて分枝制限法等の厳密解法で最適解が求められなくなり、モンテカルロ法、タブーサーチ、simulated annealing (焼きなまし法)、遺伝的プログラミングといった何らかのヒューリスティクスを適用する必要性が生じる (Shan et al., 2009)。本章でも3-3-6に後述するようにヒューリスティクスを用いた。

地域森林管理における収益最大化のシミュレーションは必ずしも現実とは一致しないが、ある方針を実施した場合の地域森林の将来形を提示することはその方針の真の姿を理解する一助となる上に、異なる制度や条件を設定した場合の影響を事前に想定しておくことは有意義である。したがって、このようなシミュレーションによる検討は有効であると考えられる。

3-3. シミュレーションにおいて採用する仮定

3-3-1. 対象地

対象地は第2章と同じ山形県最上郡金山町のうち、森林所有構造が零細で高齢林割合が少なく齢級構成がほぼ単峰型という全国平均に近い特徴を有する、町内南部の民有林 1,161ha（うちスギ人工林 554ha）とした。0-1 整数計画問題としてはスギ人工林のみを生産林として扱う。優良な高齢林の存在を特徴とする金山町ではあるが、対象地のスギ人工林齢級分布は図3-1のようになっており、対象地は12 齢級以下が面積の83%を占める。また、スギ人工林 554ha は 1,474 区画で構成されており、第2章の単一林分経営シミュレーターにおける林分の最小面積仮定 0.3ha を下回る区画も多数存在するなど小班規模も零細であるため、団地化が大いに求められると推察される。なお、ここで言う区画とは、森林簿において林班-小班-施業番号-施業枝番で分けられた最小単位のことである。各区画の樹種や林齢といった林分情報については山形県の森林簿・GISデータを用いた^(注2)。

対象地の地区はほぼ一続きの山塊（丘陵）を成しており、小河川や幹線道で複数に分断されている。なお、対象地の詳細については3-3-2（2）と表3-2、図3-2でも改めて述べる。

注意すべき特徴として、対象地は農地（平地だけでなく、一般に谷地、谷戸と呼ばれるような谷間を拓いた田畑も含む）に接する場所が多く、付近には農道や河川管理道等も多い。しかし、低規格な農道等は大型トラック・重機運搬車といった車両の通行が不可能である場合も多く、山側が拡幅等を行いたくとも金銭面以外の問題があり現実的に困難とのことであった。そのような道については、現状では、積雪のため道及び農地を傷めない冬期に作業が限定され、かつ冬期は積雪上（雪道）であるためトラック等の通行はできない。そのため本章ではトラック道の新規開設を想定しておらず、フォワーダ走行距離が長くなる傾向がある。低規格農道等の奥にある地区の森林管理のためには、そのような道の拡幅・舗装等が可能となることが森林側から見れば大いに望ましい。

対象地の状況については参考資料2も参照されたい。

(注2) この森林簿等デジタルデータ・森林計画データは、山形県の森林簿のデジタルデータを複製したものである。承認番号22森第416号

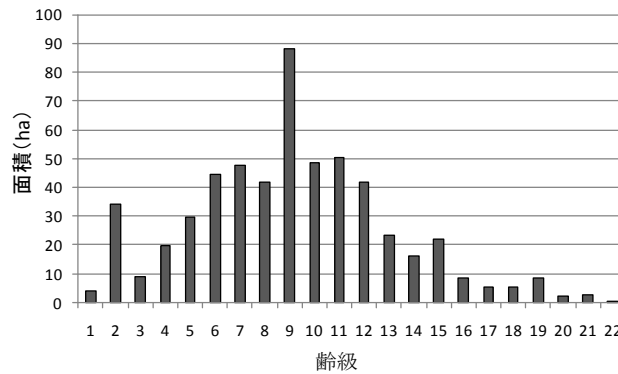


図3-1 対象地のスギ人工林齢級分布

3-3-2. 目的関数の定義とモデル構造

3-2で概説したように、本章の地域森林管理シミュレーションモデルは二段階の構成となっている。第一段階では、近隣区画の利用間伐同期化によって、作成される間伐団地数を最小化することで間伐団地の規模拡大を図る。第二段階では、計画期間内における収益合計を目的関数とし、その最大化を行う。ただし、収益合計と木材生産水準や立木材積の間には密接な関連がある。本来であれば、計画期間終了時点での森林の純現在価値（NPV：Net Present Value 現在林齢が存在するため、SEVで検討するのは妥当でない）を含めた収益の総和を最大化することが望ましい。しかし、この方法は未来の収益が一意に求まる前提であるため、周辺区画との協調による団地化次第で各区画の伐出費、収益性ひいては現在価値も変化するという団地化の原則と本質的に矛盾する。そこで本章では目的関数を計画期間中のみ収益合計とするが、この場合は素材生産量や立木材積水準の設定すなわち制約が重要になる。これは、計画期間中の収益増加を目的とする地域森林管理シミュレーションモデルにおいては、収益性が少しでもある森林が残っている限り、許される限りの伐採をすることが必然的に最適となるからである。したがって、過伐を回避し資源の長期的保続を担保するためには、適切な制約条件を課すことで極端なシナリオを排除することが重要である。このような数理計画問題で用いられる制約としては、収穫量や収入等を一定に保つイーブンフロー制約が米国で実践されていた例があるが（Buongiorno and Gilles, 1987）、計画開始時の資源充実度が過小あるいは過大である場合はイーブンフローが現実的でないことも考えられる。本章では、各分期は立木材積を既定量以上増加させねばならないとし、分期間で求められる立木材積増加量を複数設定することで、安定的かつ様々な水準の立木材積・素材生産を視野に含む検討を行うこととした。具体的には、計画期間開始時の立木材積を基準とし、1分期ごとに開始時蓄積の-1、0、1、2、3、4%以上増加しなければならないとした（-1%の場合は、1%分より減少させてはならないことを意味

する。5%以上では許容解を発見できなかった)。この時、立木材積以外の数値(例えば皆伐面積、必要労働量、高齢林面積など)を制約条件として同様に用いることも可能であるが、多数の制約を導入すると計算量の膨大化を招く。

また、再造林費が皆伐の次期、保育費は次期以降に発生することとしているが、これでは最終分期に皆伐を行った場合は再造林費が計算に組み込まれずに見かけ上有利になってしまうため、最終分期に引き続く分期の再造林費も収益計算に組み入れた。

3-3-3. 収支計算

基本的に、第2章で構築・使用した単一林分経営シミュレーションモデルを活用した。すなわち、基本的に第2章の標準状態を想定し、開始時林齢、区画面積、平均集材距離、共用道長(3-3-3(2)に後述)、既存道長(同)は個々の区画の値を使用し、異なる間伐・皆伐体系による出力結果全てを選択肢として保存して利用した。ただし、団地化による収益性への影響を個々の区画にも反映させるため、以下の点の仮定を改変した。

(1) 間伐仮定

利用間伐の同期化を検討するならば、年単位の間伐実施有無を想定せねばならないが、間伐実施時期を数年前後させることはあまり支障がないと考えられる。したがって本章では、5年を一分期とし、間伐実施の有無を分期ごとに決定し、同一分期内の間伐は同期化することとした。

第2章で述べたように、単一林分における最適間伐体系は必ずしも尖鋭な極大解を持たない。しかし、団地化(利用間伐同期化)制約を満たすためには柔軟な間伐時期選定が行えることが望ましいことから、本章においては以下のような条件で間伐・皆伐体系候補を設定した。なお、これらの仮定は2-2-2(4)で述べた第2章の仮定に類似している。

- ①30年生時に伐捨間伐を実施し、9齢級までは共通の造林保育施業を行う。46年生(10齢級)以上100年生以下(20齢級)で3回まで利用間伐を実施できる。
- ②利用間伐間隔は最低10年とし、前回の間伐からの経過時間が20年未満では本数間伐率25%、20年以上では35%の全層間伐とする。
- ③極端な間伐体系を排除するため、形状比が間伐前に85を超える間伐体系は採用しない(最終間伐後ならば、85を超える前に皆伐する)。なお、第2章で存在していた無間伐-早期皆伐方針(表2-6、表2-7における間伐体系A)については、表2-6にあるように収益性の低い高割引率下でのみわずかに最適と判断

されるだけなので、本章の仮定からは除外した。

- ④各区画の現況や過去の施業履歴を参照しなかったため、各齢級の現在齢級が10齢級以上である区画では便宜的に「50年、70年、90年生で間伐を行っている」ことを想定し、それに矛盾する間伐体系は選択できないこととした。例えば、現在齢級が13齢級の場合は50年生で間伐を行った場合の林分状態を想定し、「60年・80年に間伐」といった間伐体系は選択できない。
- ⑤最も若い皆伐は12齢級で、皆伐は最後の利用間伐から2分期後以降に可能とした。また、システム収穫表LYCS Ver.3.2が山形地方スギに対して作成できる収穫表は110年生までであるが、成長予測が出来ないからといって超高齢級での皆伐が不可能とするのは非現実的である。本章では、立木材積等が過小評価となるが、110年生以降も110年生時と同じ林分状態のまま維持できる(皆伐を先送りでき、いつでも皆伐できる)ものとし、そのまま計画期間を過ぎて皆伐をしないで終えることもできるとした。
- ⑥3-2で述べた第一段階すなわち間伐団地数の最小化によって、各団地候補においては利用間伐が許される分期が制約される。したがって、各区画にとっては、①~⑤の条件で作成した間伐・皆伐体系候補のうち利用間伐時期が制約に違反しないもののみが実際に選択可能な間伐・皆伐体系候補となる。なお、3-3-4で述べるように、行うならば団地候補内で同期化せねばならない利用間伐の齢級は10~13齢級とした。

①③④の条件のため、現在齢級が若齢、あるいは高齢の区画では、選択できる間伐体系は比較的少なくなった。計画期間を10分期とする場合は全体で315通りの間伐・皆伐体系候補があり、①~⑥全ての制約を満たして一区画が一度に選択しうる候補としては176通りが最多であった(表3-1)。

なお、表3-1からわかる通り、想定する全ての間伐体系において、団地化対象となる10~13齢級において一度は間伐を行うこととなった。その際、現在齢級が11~13齢級の区画は本来、計画期間前に間伐を実施している場合も考えられる。しかし便宜上、計画期間内に13齢級までに1回以上の間伐が不可欠とした。

また、利用間伐対象林齢での間伐であっても、利用間伐をした場合の収支(原木販売収入+補助-費用)が伐捨間伐をした場合の収支(補助-費用)を下回る場合は伐り捨てるという仮定は第2章と同様である。その際、団地間伐を行うこととなっていた団地候補・分期において、間伐する全区画が伐捨間伐となってしまった場合には間伐団地は作成しない。

(2) 伐出時の団地化効果と想定する利用間伐同期化

一般に近接森林所有者の協同による利点として様々な点が挙げられている (Kittredge, 2005) が、伐採搬出費のコスト計算の全項目 (梅田ら, 1982 ; 全国林業改良普及協会, 2001) のうちで団地化により削減できる可能性が指摘できるのは、主に以下の点であると考えられる (Toyama, 2011)。

まず各現場の費用のうちで直接的に削減しうる点としては以下が挙げられる。

- ①路網の効率的配置による道開設費の削減およびその後の全作業の効率化。
- ②林業機械の搬入搬出、幹線作業道・収穫地まで到達するための作業道の修繕や補強、土場の確保や近隣への説明等の、伐出作業を行うにあたって必要な準備作業をまとめて行える点。

やや間接的であるが、以下の点は団地化により実現が容易になると考えられる。

- ③残材処理や林地の整理を伐出作業の一環としてグラップル等を用いて行い、再造林を容易にする点。特に、全木集材実施後にはもともと残材が少ないため、伐出時の努力によって地拵等の再造林費が大きく減少する。
- ④伐出事業を大規模する事で、経営として年間の機械稼働率向上が期待できる点。

これらの団地化効果を実現するために求められる団地の条件とはいかなるものであろうか。例えば、制度的に求められている団地化の例として3-1に挙げた森林施業計画や集約化実施計画においては、30ha以上の「一体として整備できる団地的まとまりを持った森林」を対象としている。しかし、この「団地」の運用上の定義は、一体として整備できるために「移動時間が60分程度以内の範囲内にあること」である。移動60分という数値は「作業現地での作業時間を十分確保できる」との理由で設定されているが (森林施業計画研究会編, 2005)、60分もあれば市町村境界を越えるような広域を移動できる。すなわち、伐出作業の連続的事業地とは定義が異なるこのような「団地」であれば、団地化効果①②の達成は担保できない (団地化効果③④には寄与できる可能性が高いものの、③④は団地化しなければ不可能だという点ではない)。団地化効果①②を達成するには、基幹作業道や進入路が共通であるような強い連続性を持つ複数区画が同時に間伐対象となることが第一義的には望ましいと言える。このような連続的空間を本研究では「(間伐) 団地候補」と呼ぶこととし、以下のように整理した。

尾根、河川や沢、断崖、田畑や国道等、それを跨っての一体的伐出作業が困難な物理的障壁を森林組合作業員との現地検討で明示し、それによって区切られた団地候補をあらかじめ設定した。その結果、対象地においては表3-2、図3-2のように34団地候補が設定できた。対象地は93~114の22林班に相当する (団地化の検討が目的であるため、小規模な飛び地状の森林については対象から除いている)

ため、団地候補の規模は林班と同程度かそれより小さいものが多かった。

表3-2 団地候補の詳細

団地候補	面積(ha)		小班数		共用道長 (m)	既存道長 (m)
	スギ	全樹種	スギ	全樹種		
1	17.77	36.72	37	69	990	220
2	9.72	17.24	32	56	210	0
3	22.96	89.94	66	182	1,033	980
4	5.32	14.76	14	23	545	230
5	19.58	34.3	54	74	708	200
6	19.03	40.41	54	101	473	0
7	14.35	27.46	41	57	1,263	440
8	46.4	63.37	106	145	908	680
9	26.92	162.68	55	72	0	0
10	1.57	15.65	6	12	4,848	0
11	32.53	58.02	58	77	500	80
12	14.93	16.85	55	67	788	0
13	27.48	30.22	41	50	718	0
14	27.67	43.45	69	115	210	0
15	32.12	40.63	68	108	918	620
16	12.87	17.45	43	57	210	0
17	8.71	35.2	26	140	1,070	1,070
18	13.61	29.3	43	66	105	0
19	40.43	56.59	154	230	0	0
20	22.24	36.14	60	95	725	200
21	11.91	20.53	28	46	825	650
22	29.43	37.19	62	78	193	0
23	5.92	8.65	16	21	525	350
24	12.65	49.88	64	138	385	0
25	1.9	7.71	8	19	358	200
26	9.03	45.72	33	79	193	0
27	10.16	11.43	44	56	455	0
28	8.46	16.86	29	60	0	0
29	2.04	3.26	9	16	53	0
30	4.89	12.54	14	30	658	500
31	1.4	4.96	10	28	665	0
32	7.54	23.83	13	48	0	0
33	1.49	10.42	4	18	0	0
34	30.71	42	58	73	0	0
合計	553.74	1161.36	1,474	2,506		

注) 団地候補34は間伐団地化不要小班の便宜的な受け皿で、実際は3か所に分散している。

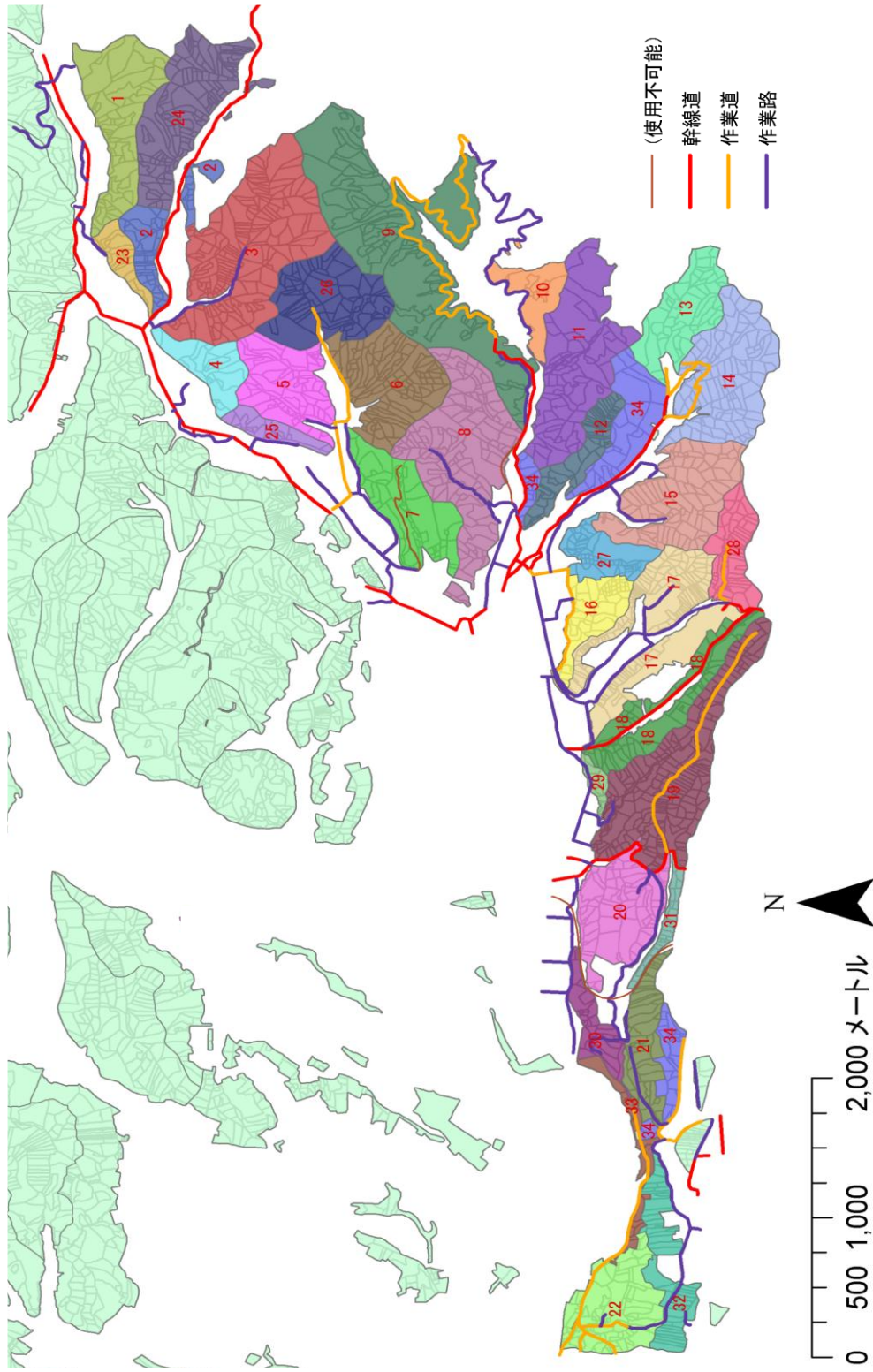


図3-2 対象地の団地候補と道の分布

注) 対象地は34団地候補に分けられたが、34番目は間伐団地化不要小班の便宜的な受け皿であり、3か所に分散している。

各団地候補については地形や周辺環境に即して、以下のようなタイプが見受けられた。

- ・奥行の浅い団地候補に沿ってトラックの通行可能な車道が通っており、伐出が非常に容易な場合。この場合は、団地化の必要性が薄いため後述の団地制約を適用しない。(表3-2の団地候補34がそれに該当する。)

- ・車道から団地候補に到達するための明確なルート(共用道。フォワーダ利用を前提としてトラックは走行不可能)があり、各区画からはルートの団地候補到達地点まで搬出すれば良い場合。

- ・団地候補に車道から到達するための明確なルートはなく、到達後も各区画へはさらに横に作業道の展開が必要な場合。

これらの違いを踏まえて、団地候補からトラック走行可能な車道までの距離、そのうち既に開設してある長さ、各区画から共用作業道等までの最短水平距離をGIS上で算出して、最終的に各区画の平均集材距離、区画内作業道長、共用道長、既設道長(共用道のうち開設費用が不要で維持管理費のみが必要な部分の長さ)を設定した。なお、共用道は第1分期に開設するものとし、作業道のmあたり開設単価は1,500円、それに敷き砂利代750円を加えた。路網密度補正係数は澤口・大川畑(1993)、中澤ら(2009)を参考に1.75とした。道については国土地理院(2010)が提供する基盤地図情報(縮尺レベル25000)の車道ポリラインデータを基に、現地検討によりフォワーダやトラックの走行可能性等の情報を追加して分析に用いた。

このような仮定の下で、上述の団地化効果のうち①②が発揮される。すなわち、①については共用道の開設費・維持管理費を団地候補全体で分期ごとに分担し、②については、利用間伐において同時収穫する場合にはまとめて一回だけ発生することとした。なお、実際の準備作業の内容は現地状況によって多様であるが(例えば小河川を越える場合も、丸太や鉄板による簡易架橋、冬季の積雪埋め立てなど様々な手段が取られる)、本章では一律に山元土場確保(100,000円)、進入部分を中心とした路体保護のための鉄板の確保と搬出入費(100,000円)、林業機械搬出入費(40,000円×2=80,000円)を見込んだ。

(3) 伐出費計算の変更

道や区画面積以外の仮定については、第2章の標準仮定を採用した。

また、第2章の単一林分経営シミュレーションモデルでは、共用作業道開設・維持費(上記①)、林業機械の搬入搬出等の伐出準備費用(上記②)についても個々の区画で負担することになっていた。それを、①については団地候補ごとの負担、②については「同期化された利用間伐、高齢級の利用間伐(抜き伐り)、皆伐」一回ごとに発生するようにし、それらを個々の区画の費用から分離した。したがって、第

2章の単一区画と比べて、過小区画であることによる不利の度合いは小さく、伐出収益性が負になりにくい想定となっている。

3-3-4. 同期化できる収穫の齢級

団地候補内の複数区画で利用間伐を同期化するとしても、材の大きさがあまりに異なると同一の林業機械で対処できなくなる。本章では、10~13 齢級の利用間伐は同一の林業機械（プロセッサ、フォワーダ、グラブプル）が使用できると考え、それらのみが団地化する必要がある収穫であるとした。すなわち、それより高齢級の利用間伐（抜き伐り）や皆伐は、仮に同一分期に同一団地候補内に複数の収穫区画があっても、個別に収穫することとした。高齢級の利用間伐（抜き伐り）や皆伐でも同時実施によってメリットは発生するが、単独区画でも出材量を確保しやすいため、利用間伐と比較して同時収穫の必要性は比較的低く、政策的にも推進されていない。逆に大面積皆伐を防ぐ意味では、同一分期内で複数区画が皆伐を選択する場合でも、伐採年度を調整してずらすことは多くの場合で可能であると考えられる。現実的にも、自らの収入を最優先に考える主伐においてはその実施時期を周辺区画と関係なく自由に決められることにはメリットがあると考えられる。

3-3-5. 定式化

以上のモデルを定式化すると以下のようなになる。

Minimize

$$\sum_{i=1}^{N2-1} \sum_{t=1}^{T'} X_{i,t} \tag{1}$$

Subject to

$$X_{i,t} \geq a \sum_{k=1}^{N1} (flag1_{k,i} XTh_{k,t}) \quad \forall i,t \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^{N1} XTh_{k,t} = \begin{cases} 1, & \text{if } u0_k \leq T' \\ 0, & \text{if } u0_k \geq T'+1 \end{cases} \quad \forall k \tag{3}$$

$$XTh_{k,p,t}, flag1_{k,i} = \{0,1\}$$

t : 分期

T : 計画期間分期総数 (10) (注) 括弧内の数字は本研究で用いた値。

T' : $T + 3$ (13)

k : 区画

$N1$: 区画総数 (1474)

i : 団地候補

$N2$: 団地候補総数 (34) (うち一つは団地化不要区画の形式的受け皿)

$X_{i,t}$: 分期 t に団地候補 i において団地間伐を実施する場合は 1

$flag1_{k,i}$: 区画 k が団地候補 i に属している場合は 1

$XTh_{k,t}$: 区画 k が分期 t において団地間伐適齢期に利用間伐を実施しうる年齢となる場合は 0 か 1、そうでなければ 0

a : 十分小さい数 (0.01)

$u0_k$: 区画 k の計画開始時年齢

(1) 目的関数 1 : 作成される間伐団地数の最小化。なお、本来の計画期間分期総数より長い期間 (ここでは 13 分期) で最小化を行い、その結果、間伐団地を形成できる分期 t が団地候補 i ごとに決まる (注3)。それを $t \leq T$ の範囲内で採用し、間伐団地が形成される分期の制約に抵触しない j を区画 k ごとに選択する。

(2) 団地候補 i で分期 t に間伐団地が形成される場合のみ、区画 k は 10-13 年齢で利用間伐が可能となる。

(3) 計画開始時年齢が 13 以下の区画は 10-13 年齢で必ず 1 回は間伐しなければならない (注3)。

Maximize

$$\sum_{k=1}^{N1} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J x_{k,j} (My_{k,t,j} - Co_{k,t,j} + Su_{k,t,j}) - \sum_{i=1}^{N2} \sum_{t=1}^T RoadCo_{i,t} \quad (4)$$

$$- FCo \left(\sum_{i=1}^{N2} \sum_{t=1}^T X'_{i,t} - \sum_{k=1}^{N1} \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J x_{k,j} (Hv_{k,t,j} + Th_{k,t,j} flag2_k) \right) - \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^J x_{k,j} RCo_{k,j}$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^J x_{k,j} = 1 \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^{N1} v0_k \leq (1+b) \sum_{k=1}^{N1} \sum_{j=1}^J x_{k,j} v_{k,t,j} \quad \forall t \quad (6)$$

$$X'_{i,t} \geq a \sum_{k=1}^N (x_{k,i} Th_{k,t,j} flag1_{k,i}) \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$X_{i,t}, x_{k,j}, flag1_{k,i}, flag2_k = \{0, 1\}$$

(注3) 第1段階で本来より長い期間を設定するのは、計画期間末に団地間伐適齢期がかかる区画の間伐実施時期を、計画期間内外どちらにもできるようにするためである。

j : 各区画が採用しうる間伐・皆伐体系の選択肢

J : 間伐・皆伐体系の選択肢総数 (最大 176)

(注) 一区画が採用しうる間伐・皆伐体系は現在齢級によって異なり、その最大数が 176 である。実際に存在する間伐・皆伐体系の数はさらに多い。詳細は表 3-1 参照。

$x_{k,j}$: 区画 k が間伐・皆伐体系 j を採用する場合は 1

$My_{k,t,j}$, $Co_{k,t,j}$, $Su_{k,t,j}$: 区画 k が選択肢 j を採用した場合の、分期 t における森林所有者側から見た収入、支出、補助

$RoadCo_{i,t}$: 分期 t に団地候補 i における共用作業道開設費及び維持費

FCo : 皆伐、高齢級間伐、団地間伐ごとに生じる伐出準備作業 (林業機械搬出入等) の費用 (280,000)

$X'_{i,t}$: $X_{i,t}$ の解

$Hv_{k,t,j}$: 区画 k が選択肢 j を採用した場合に、分期 t において皆伐あるいは高齢級間伐を実施する場合は 1

$Th_{k,t,j}$: 区画 k が選択肢 j を採用した場合に、分期 t において団地間伐適齢期に利用間伐を実施する場合は 1

$flag2_k$: 区画 k が団地化不要区画である場合は 1

$RCo_{k,j}$: 区画 k が選択肢 j を採用した場合の、分期 $T+1$ における森林所有者側の再造林支出

$V0_k$: 区画 k の計画当初立木材積

$V_{k,t,j}$: 区画 k が選択肢 j を採用した場合の、分期 t における立木材積

b : 立木蓄積増加制約の水準 (-0.01、0、0.01、0.02、0.03、0.04)

(4) 目的関数 2: 収益の最大化。

(5) 各小班で取りうる選択肢は一つ。

(6) 蓄積の非減少制約。このような制約式は、立木材積、利用材積、必要労働量、高齢林面積、成熟度などで導入可能。

(7) 団地候補内での 10-13 齢級の間伐を同期化する。

3-3-6. 使用したソフト

この 0-1 整数問題を解くにあたっては数理システム社 NUOPT12.0 for Windows ver.12 (数理システム, 2010) をソルバーとして用いた。

第一段階の間伐団地数最小化問題は分枝制限法による厳密解法によって最適解を算出した。収益最大化問題については、計画期間を 10 分期として NUOPT のメタヒューリスティクス WCSP により解いた。WCSP は目的関数も制約の一つとし

て扱う0-1整数計画問題ソルバーであり、ヒューリスティクスの種類としてはタブーサーチである (Nonobe and Ibaraki, 1998 ; Nonobe and Ibaraki, 2001)。本章では計算速度向上のため目的関数を 10,000 で除して計算した。WCSP では最適解の保証は得られないが、計画期間を5分期とする問題において分枝制限法による厳密解法と比較した結果では、大域的最適解と同一の目的関数値をもたらす解を導くことを確認した。また WCSP の計算は各試行において与えられる乱数に依存するため、計算時間 1,000 秒以内で収束した値をその試行の最良解とし、5回の試行の最良解のうちで最も高い値を最適解として採用した。動作環境は OS : Windows7 64bit、CPU : Intel Core i7 860 2.80GHz、メモリ : 16.0GB である。

また、地理情報の整理・出力には ESRI 社の ArcGIS9.3 を用いた。

3-4. 結果

3-4-1. 収穫量・立木材積制約による差異

本章では、望ましい収穫量・立木材積制約 (シナリオ) を特定することを目的としていないため、その水準の違いによる優劣を論じる意図はない。ただ、それぞれ的水準を採用した場合の客観的な差異について始めに整理しておく。年齢級の推移を図3-3、収益・立木材積・原木販売収入の推移を図3-4に示した。

収益については、全てのシナリオにおいて、必要な共用道は第1分期に開設するという点を差し引いても計画期間初期の収益性はマイナスであり、計画期間後半に収益性が大きく改善される予想となった。なお、団地形成回数を最小化すると第5分期に団地間伐が集中しやすいことに伴い、収穫量・立木材積制約に抵触しやすくなり皆伐が減少し、第5分期で十分な収益を上げられないこととなっている。

収益性向上のためには資源成熟が必要なため、全てのシナリオで計画期間初期は皆伐を控え、第3分期くらいから本格的に収穫を行うこととなっていた。このため、立木材積増加水準-1%のシナリオでも第3分期までに蓄積が増加し、最終的に開始時よりも蓄積水準は高くなった。

なお、素材生産を全く行わなかった場合でも、管理費等が発生するため収益性は負となる。

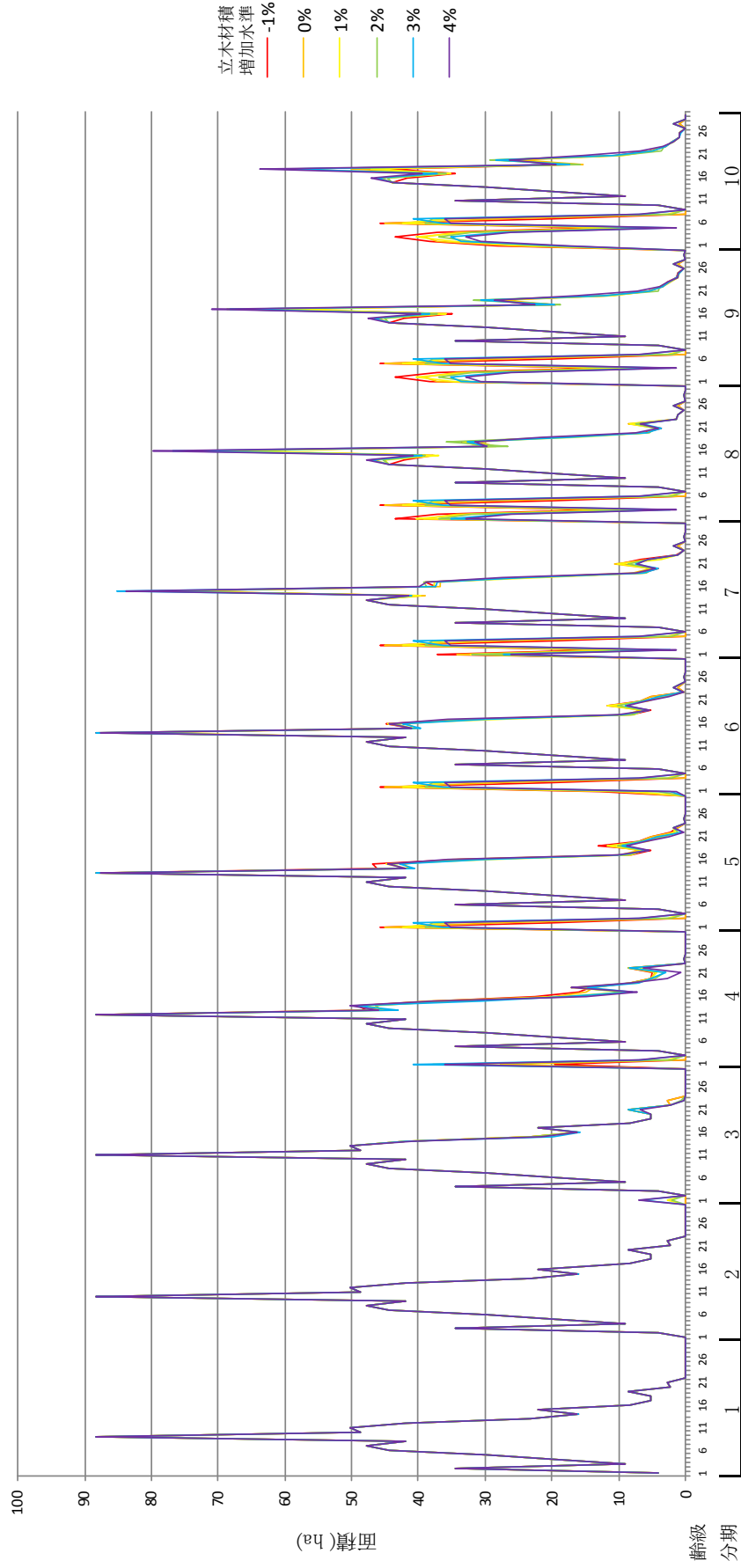


図3-3 シナリオごとの齡級推移

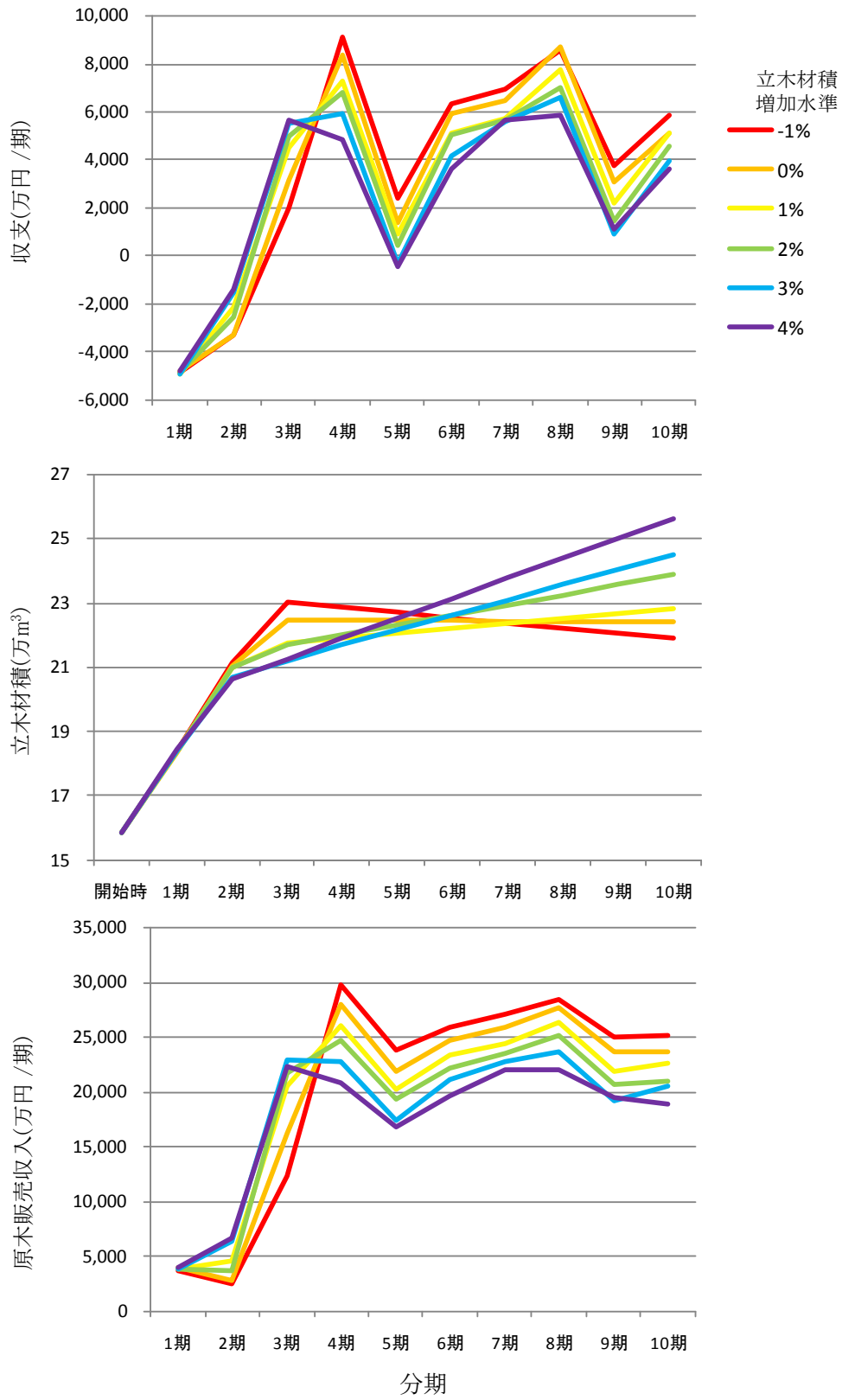


図3-4 収益・立木材積・原木販売収入の推移

3-4-2. 形成される間伐団地

本章では団地形成を最大限促進することにしたため、伐出準備費用や道開設・維持費の分担について取り決めていない。このため、近接する分期の間で例えば 0.1ha と 10ha の間伐団地を形成することを選択してしまいうるが、費用の公平な分担を考えると 5ha を 2 回にするか 0.1ha を伐捨間伐にする方が現実的である。また各時点での年齢構成によって各団地候補における間伐団地の形成しやすさは変化する。本章では、間伐団地の形成しやすさを示す目安として、計画期間を通じた各団地候補における平均間伐団地面積と間伐団地形成数を表 3-3 に示した。また、平均間伐団地面積とスギ人工林面積及び共用道長の関係を図 3-5 に、間伐団地をその面積によって分類した結果を表 3-4 に示した。

表 3-3 のように、計画期間である 10 分期 50 年間に各団地候補において間伐団地を形成するのは 0～4 回、平均約 2 回であるが、スギ人工林面積が 20ha を超えるような相応の規模を持つ団地候補では 3 回以上、すなわち 15 年に一回程度行うのが普通であった。

間伐団地の平均面積は各シナリオでおよそ 4ha となった。当然のことであるが、団地候補内に利用間伐同期化が必要な対象年齢のスギ人工林が多くあるほど、形成しうる間伐団地も大きくまとまったものになりやすい。また、伐出の収益性が正とされない区画は間伐するにしても伐捨間伐になるとしているため、林分条件や立地条件が不利だと大きな間伐団地を形成しにくくなる。図 3-5 によって、間伐団地面積は団地候補面積におおよそ比例していることは確認できたが、共用道長との関係は明瞭でなかった。シナリオの違いによる間伐団地への影響は認められなかった。

表 3-4 のように、面積が 10ha 以上である間伐団地は面積にして間伐団地全体の 3 割程度となった。逆に、5ha 未満も 3 割以上を占め、1ha 未満も 3% 以上あった。間伐団地数で見れば 5ha 未満は約 7 割、1ha 未満の間伐団地は約 2 割を占めた。

表3-3 各団地候補の間伐団地

団地候補	平均間伐団地面積 (ha)						計画期間中の間伐団地形成数						スギ面積 (ha)	共用道長 (m)
	立木材積増加水準						-1%	0%	1%	2%	3%	4%		
	-1%	0%	1%	2%	3%	4%								
1	2.4	2.5	2.6	3.4	2.8	2.8	3	3	3	2	3	3	17.77	990
2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.1	1	1	1	1	1	1	9.72	210
3	4.1	4.6	4.0	4.1	4.0	4.4	3	3	3	3	3	3	22.96	1,033
4													5.32	545
5	4.9	5.0	4.9	4.9	4.9	4.9	3	3	3	3	3	3	19.58	708
6	1.8	1.9	1.8	1.8	1.9	1.6	4	4	4	4	4	4	19.03	473
7													14.35	1,263
8	7.3	7.7	7.0	7.7	7.3	7.1	3	3	3	3	3	3	46.4	908
9	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3	3	3	3	3	3	26.92	0
10													1.57	4,848
11													32.53	500
12													14.93	788
13	4.8	4.4	4.8	4.6	4.6	4.5	3	3	3	3	3	3	27.48	718
14	4.7	4.7	4.7	4.2	4.7	4.4	3	3	3	3	3	3	27.67	210
15	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	3	3	3	3	3	3	32.12	918
16	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	2	2	2	2	2	2	12.87	210
17	1.6	1.6	1.6	1.3	2.3	2.3	3	3	3	3	3	3	8.71	1,070
18	2.1	2.1	1.6	2.1	1.6	2.1	2	2	3	2	3	2	13.61	105
19	5.4	5.4	5.3	5.4	5.2	5.2	4	4	4	4	4	4	40.43	0
20	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	3	3	3	3	3	3	22.24	725
21	3.1	3.1	3.2	3.1	3.2	3.1	3	3	3	3	3	3	11.91	825
22	6.8	6.9	6.9	6.8	6.8	6.8	3	3	3	3	3	3	29.43	193
23	3.3	3.3	2.0	2.0	1.8	1.8	1	1	2	2	2	2	5.92	525
24													12.65	385
25													1.9	358
26	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	2	2	2	2	2	2	9.03	193
27	2.8	2.8	2.8	2.3	2.8	2.3	2	2	2	2	2	2	10.16	455
28	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1	1	1	1	1	1	8.46	0
29	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	2	2	2	2	2	2	2.04	53
30	0.9	0.9	0.9	0.9	0.6	0.9	3	3	3	3	3	3	4.89	658
31													1.4	665
32	2.3	2.3	2.3	2.2	2.3	2.3	2	2	2	2	2	2	7.54	0
33	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1	1	1	1	1	1	1.49	0
平均	3.9	3.9	3.8	3.9	3.8	3.8	1.9	1.9	2.0	1.9	2.0	1.9		

注) 空欄は、その団地候補において計画期間内に間伐団地が形成されなかったことを示す。

表3-4 間伐団地の面積規模

立木材積増加水準	-1%	0%	1%	2%	3%	4%
10ha以上	28%	32%	28%	33%	28%	28%
5ha以上	66%	68%	65%	67%	67%	66%
累計面積	80%	78%	78%	77%	80%	77%
2ha以上	89%	89%	88%	87%	88%	89%
1ha以上	97%	97%	96%	97%	96%	97%
合計 (ha)	246.32	248.67	247.05	243.15	248.22	244.3
10ha以上	8%	10%	8%	10%	8%	8%
5ha以上	29%	30%	28%	29%	29%	28%
団地数	3ha以上	44%	41%	42%	40%	43%
2ha以上	59%	59%	57%	54%	55%	58%
1ha以上	81%	79%	78%	79%	77%	80%
合計	63	63	65	63	65	64

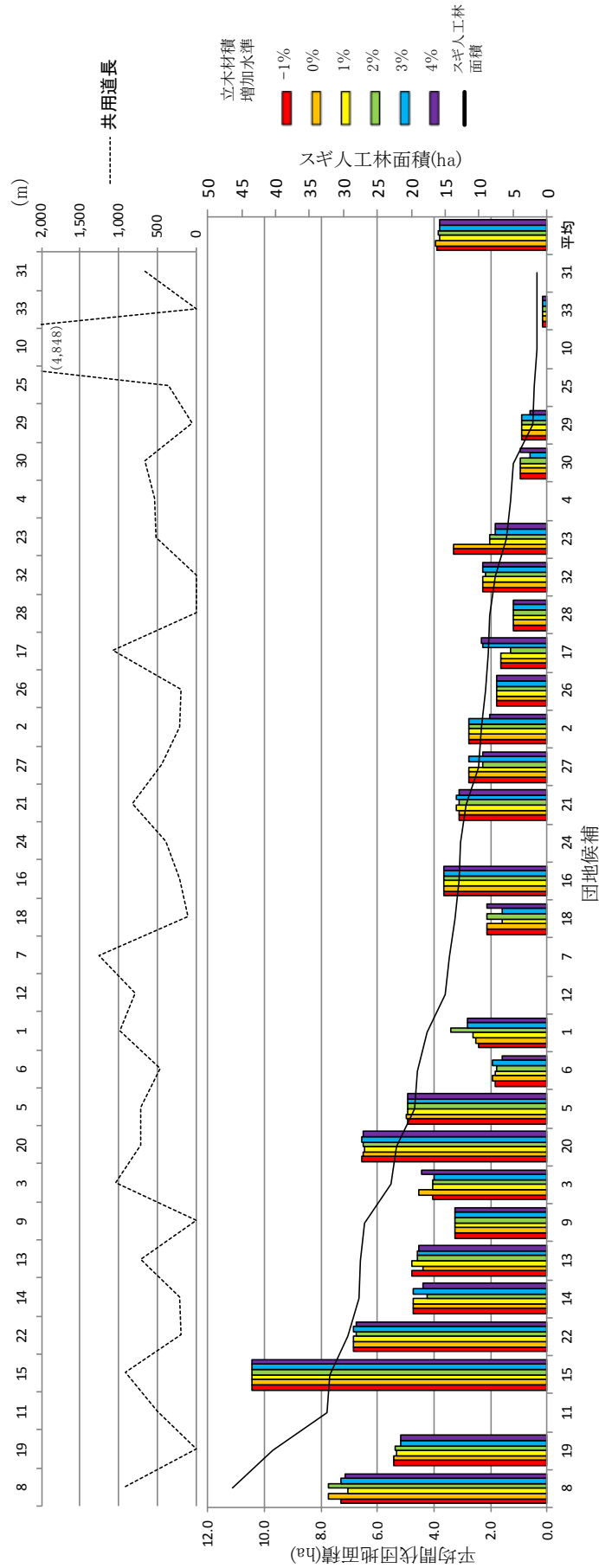


図3-5 各団地候補における平均間伐団地面積とスギ人工林面積及び共用道長の関係

3-4-3. 伐採齢と皆伐

平均皆伐齢級を見ると（図3-6）、当初存在した高齢林分の伐採が計画期間初期に行われ、それが尽きると比較的若い林分の皆伐が行われた。しかし伐採齢は再び上昇し、最低時には16～17 齢級だった伐採齢が計画期間末には約19 齢級となった。シナリオ間で皆伐齢級構成の違いはあまりなかった。一方、皆伐面積におけるシナリオ間の差は、推移が安定する第4分期以降はおおよそ一定であった（図3-7）。なお、間伐団地形成が多い分期には必然的に皆伐面積が小さくなった。

図3-8は皆伐齢級に達しながら皆伐を選ばなかった区画の面積割合を示しており、面積が過小な区画ほど最後まで皆伐されない割合が高かった。

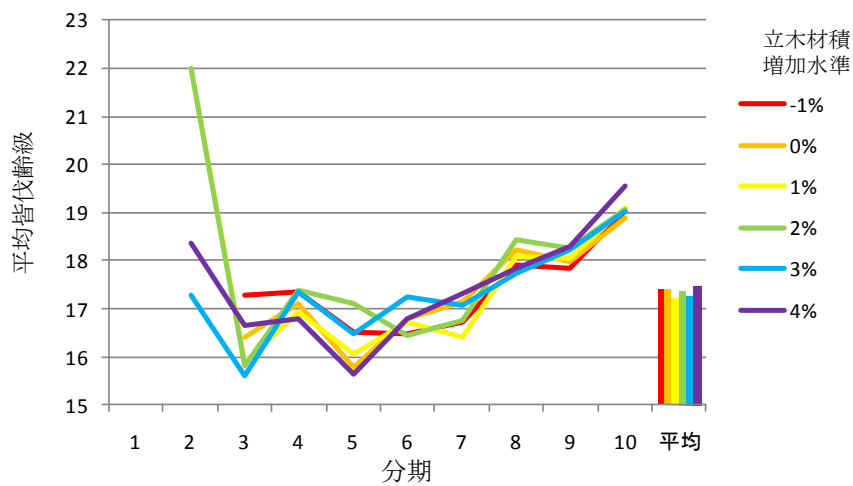


図3-6 面積加重平均による皆伐齢級の推移

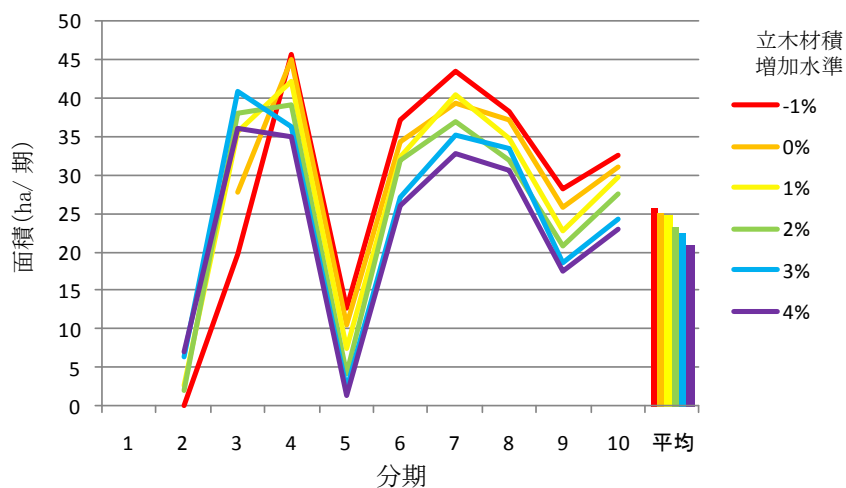


図3-7 皆伐面積の推移

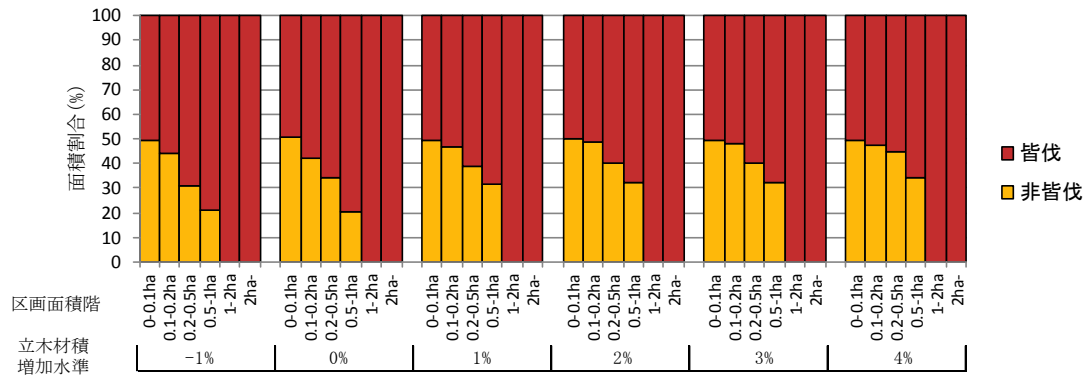


図3-8 22齢級に達した区画の皆伐有無

3-4-4. 採用された間伐体系

図3-9に、計画期間中に取りうる間伐・皆伐体系の自由度が高いと考えられる開始時齢級9~14の区画において選択された間伐回数（10 齢級以上）の面積割合を示した。選択された間伐体系は、団地間伐齢級である10~13 齢級での1回しか利用間伐を行わない場合が多かった。一方、3回を選択した割合は非常に低く、14 齢級以上の利用間伐は少なかった。なお、比較的若齢での皆伐（例えば60年生）が選択された場合は必然的に間伐回数は少なくなる。

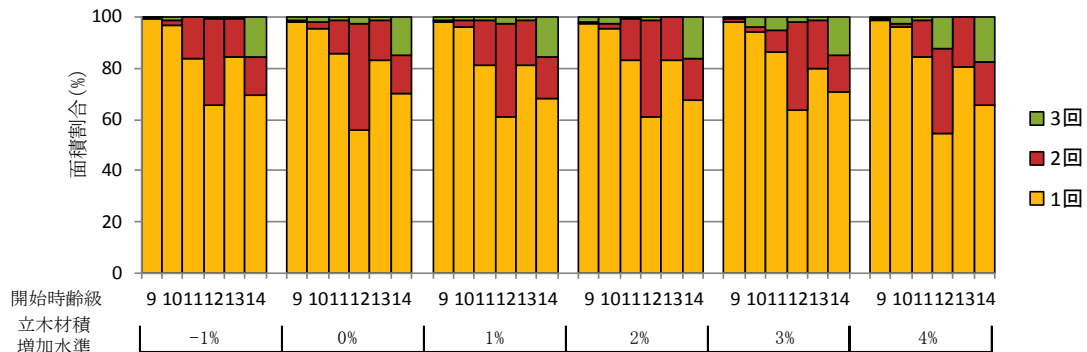


図3-9 開始時齢級9-14の区画において選択された利用間伐回数の割合

3-5. 考察

3-5-1. 団地規模の過小性

第2章の結果からもわかる通り、50年生、60年前後の間伐はその後の林分状態を長く左右し、最適間伐体系の面からも重要な収穫である。その伐出作業の効率性のためにはある程度大きな伐出規模が不可欠であり、特に単位面積当たりの出材量が小さい利用間伐においてはその必要性が大きいことは2-4-5でも指摘した。

表3-3、表3-4のように、対象地における各団地候補において間伐団地によ

る利用間伐を15～20年に一回というように極力同期化して回数を減らすことができたとしても、団地候補内の人工林資源量及び年齢構成の制約から間伐団地の十分な規模（ロット）を確保できない場所が多かった。間伐団地面積は3-3-3(2)で挙げられた30haに遠く及ばず、1haに満たない場合さえ多数あった。小規模かつ飛び地状に人工林が分布している場合は、単一林分経営シミュレーターに当てはめれば、団地化を行っても「区画規模が小さい」場合に相当する。このため、収益性の面で非常に不利である。すなわち、本章のように団地間伐を行う際にも、共用道開設維持費負担の面からも非常な困難が伴う。したがって、人工林率に代表されるような「人工林（正確には生産林）の密度」や団地候補の規模は地域の素材生産業ひいては森林管理の収益性に大きな影響を与えるということがしっかり認識されるべきである。周囲に生産林が少ないという意味での条件不利区画も、その客観的定義や取り扱い方（林業支援強化あるいは非生産林化・公的管理への移行等）の検討が必要であると考えられる。

なお、この考察に際しては以下の点に留意する必要がある。

まず、現実的には高規格高密度の道の開設や高性能作業システムを避けて低規格なシステム（幅員の小さな作業路と林内作業車等による作業）を選択することで、不利性を緩和できると考えられる。ただ、その場合でも収益性は標準状態には劣ると考えられ、条件不利であることには変わりないだろう。

次に、団地候補内で間伐団地を形成するのに十分な人工林資源がない場合、尾根越え林道等の新規開設によって複数の団地候補を統合することで規模の拡大を図りうる。しかし、一般的には各区画がその費用を負担するのは難しいだろう。また、対象地域では混交してきた非植栽木だけでなく天然林の伐採収穫も行われており、ロットの拡大という意味では、人工林の過小性を補う側面があると考えられる。

本章の仮定においては、伐出準備費用や道開設費・維持費は団地単位で必要になるものとして個々の区画の収支とは別にして伐出の可否を決定したため、間伐（条件が悪ければ皆伐でも）の本来の収支が負となっても実行している場合がある。そのような伐採を回避（あるいは伐捨間伐に変更）すると全体の収益は若干改善されると予想される。

3-5-2. 収穫量・立木材積水準の影響

立木材積・収穫量水準の制約が異なっても、表3-3・表3-3・表3-4・図3-5のように、形成される間伐団地に大きな変化はなかった。すなわち、団地化が要求される初回利用間伐までは結果的に、対象森林全体の立木材積・収穫量水準とは無関係に最適な団地間伐が決まっていたことになる。また、図3-6のように皆伐年齢の分布にも大きな変化は見られず、ただ皆伐面積が縮小していた。すなわ

ち、収穫量水準を小さくすると、収益性のある団地間伐を実施することに変化はないが条件の不利な区画での皆伐が見送られていくようになった。

3-5-3. 伐期、間伐体系

未成熟な資源構成の下での第10分期までの収益最大化問題である本章のシミュレーションでは、選択された伐採齢が平均約90年となり、第2章の単一林分経営シミュレーターが示す割引率なし（森林純収益説）における最適伐期及び準最適伐期幅より短い伐期が選択されていた。特に、第2章では不利とされた比較的若齢の皆伐が計画期間内の早い段階において多く実施される結果となったことは、早期の収穫量安定及び収益確保が計画期間内に求められる場合には比較的若齢の皆伐を選択するのが有利であることを意味する。

選択された間伐体系は、利用間伐を1回か多くても2回しか行わないものが多かった（図3-10）。利用間伐を3回行う間伐体系を選んだ割合は低く、多数回間伐は積極的に選択されない結果となった。これは第2章の結論とも整合するものである。換言すれば、十分な長伐期が選択できない未成熟な齢級構成下で収益性を追求すると、高齢級利用間伐より皆伐が（多少伐期が最適より若くとも）選択されるのが合理的である。このことは、環境制約あるいは再生林労働量制約等にも抵触しやすい一因となりうる。また、3-5-2と合わせて考えると、収穫量水準が低いシナリオは木材需要が小さい場合や労働量制約が厳しい場合に近いシナリオであると考えられるが、そのような条件も、皆伐を回避して多間伐・高齢級間伐を積極的に選択する要因とはならなかった。

なお、対象地は過小な区画が多く、最大の区画でも3.44 haである。このため、利用間伐回数を少なくして出材量を集中させる間伐体系が選ばれやすかった面はある。しかし、例えば1ha以上の区画だけを見ても利用間伐を3回実施した割合は小さかった。区画ごとに皆伐中心の収穫を行うやり方は「小面積皆伐中心」の収穫だと言ってもよい。

3-5-4. 経時変化

3-4-3でも述べたように、人工林資源が未成熟な地域で計画期間内の早い段階で十分な収穫量を確保するためには、比較的若齢の皆伐を多く実施せざるを得ない。10分期を計画期間とする本章の例においては本格的に収穫を始めて収益性が正になるのは第3分期以降となり、長伐期が最適とされる対象地では、可能ならばもう15年ほど本格的な主伐を待つのが有利であるという結果となった。

3-5-5. 団地形成優先の是非

図3-4の第5分期のように、許容される木材収穫量あるいは需要量が規定された中で利用間伐・団地間伐の大規模な実行を与件とすると、該当分期の収益性は悪化する可能性があることを示した。現実には団地候補間で団地形成時期を分散することは可能で、分散できれば利用間伐材が短期間のみ過剰となる事態は避けうる。しかし、齢級構成に偏りがある現状から始める限りは、特定の分期周辺で利用間伐を集中的に行う必要性が高いことは事実であるため、間伐材が過剰となる可能性は依然として残る。このことから、広域で計画的に間伐団地を移動して間伐量を時間的に平準化する計画的実施ができない場合は、許容される収穫量水準が小さいほど皆伐で素材生産する余地がなくなり、収益性は悪化すると予想される。

わが国の現状においては、まずは間伐団地による林相改善や道開設により林業実施の基礎的条件を整えようとしている段階にある場合が多いと考えられるが、需要が増加しない中では市況と関係のない間伐材増産は材価低落を招くことは明らかである。それに加えて本研究では、材価が不変であっても収穫量の枠（あるいは需要量）を間伐材が過剰に占めてしまい、皆伐と比べて伐出生産性が低いため全体としての損失につながりうることを示した。

3-6. まとめと課題

本章では、第2章の単一林分経営シミュレーターの出力を活用することにより、地域森林管理シミュレーションモデルを作成して間伐団地形成を中心的課題とする収益最大化整数計画問題の解法を試みた。

利用間伐の団地化を最大限推進したとしても、十分な間伐団地規模を確保できない場合が多数見られた。単一区画が過小であるだけでなく間伐団地形成においても、近隣人工林の有無という抗い難い前提条件があることを再認識すべきである。3-3-3(2)で述べたように、現行の補助を受給するためには、「集約化」する林地の直接的連続性が条件とされていないため問題ないのかもしれない。しかし、そのような実質的効果の薄い団地化の推進が補助されているとすればそれ自体にも問題がある。

本章では、想定する（求められる）収穫量水準に関わらず、高齢林間伐より皆伐の実施を選択する結果となり、その皆伐齢級は計画期間前半を中心に比較的若齢の場合も多かった。再造林技術の改良等によって皆伐が現状より有利になると、この傾向はさらに強まると考えられる。第2章では、高齢級間伐補助制度があっても非皆伐方針は皆伐方針より収益性面で優位にならないことも示しており（図2-5）、本章も、収益性が確保される条件下の80年生等ある程度の高齢級であれば、皆伐の方が優位で選択されやすいことを裏付ける形となった。この皆伐増加が始まるの

は本章では第3分期程度からであり、対象地と似た条件を持つ地域では、皆伐増加に対処する方策（再造林や林地保全を担保する制度や人材の準備等）が遠くないうちに求められると予想される。

また、少間伐長伐期を指向する第2章の結果と考え合わせると、当面は団地間伐のみと割り切り、長伐期に達するまで高齢級間伐も比較的若齢の皆伐も見送っておくことが可能ならば、それが長期的には有利であると見られる。なお、繰り返しになるが本対象地の齢級構成は全国平均にごく近いものである。

本章での収支計算の問題点として、伐出仮定の柔軟性不足が挙げられる。具体的には、過小な区画も多いにもかかわらず、皆伐・14 齢級以上での高齢林間伐（抜き伐り）は必ず区画ごとに別個に行うとしている。このため、利用間伐回数を少なくして出材量を集中させる間伐体系が選ばれやすかった面はある。実際には、過小区画では主伐においても、多少の林齢の差をさほど気にすることなく (Toyama, 2011) 他区画と同期化を図るのが合理的であるのは3-3-4の結果が示す通りである。あるいは、より低規格なシステムを用いることで収益性を改善できる可能性がある。同様に、トラック道沿いにあり伐出が容易な団地化不要区画についても、機械セットを変更するといった対処がなされるのが本来は合理的である。

第4章 総合考察

4-1. はじめに

条件の多様性も不確実性も大きい林業において、森林計画や経営方針をめぐるシミュレーションは、現場と乖離した机上の空論では信用できないばかりか危険だという意識を常に持つべきである（例えば大住, 1998 ; 木平, 2003 ; 杉野, 2010）ことは間違いない。確かに現実の林業経営では、経済性だけに注目しても、少しでも原木販売額が増えるよう採材や材の分別を工夫したり、新しい林業機械や施業法・品種等の導入を検討するなどして努力が積み重ねられるべきものであり、本研究の単一林分経営シミュレーターはそこまで細かい変更に対応することは困難である。さらに、気候や為替相場、社会情勢の激変といった大きな変化を完全に予測することは不可能である。しかし、林業におけるシミュレーションが無意味であるとする批判は適切ではない。森林・林業という現実根差したシミュレーションの本来の姿は、既に明らかである現象を再現できるモデルをまず構築した上で、未知の条件が発生した場合の結果を示すものである。この構造は、知識や経験に基づく人間の思考・判断を模すものだと見なすことができよう。したがって、思考・判断を否定しないのであればシミュレーションは有効であり、批判を甘んじて受けねばならないのは既知の現象の再現性能が不足する場合のみである。

シミュレーションの効果を端的に表すと「情報の不完全性の排除」と表現できるだろう。すなわち、部分々々は明らかではあっても複雑すぎる等の理由で我々が想像できなかった結果をシミュレーションが分かりやすく提示することで、我々はそれを判断材料とすることができる。

以上のように、客観的な情報に基づくシミュレーションによる定量的な情報の提供はよりよい森林管理の実現に有用だと考えられる。ここで、林業・森林管理に対するシミュレーションの基盤構築と活用を目指した本研究の目的を改めて整理すると以下のようなになる。

単一林分経営シミュレーション（第2章）の目的は、妥当な仮定の探索、収益性確保の条件や収益性に対して影響の大きい因子の客観的把握、林業経営の経済性において望ましい間伐・皆伐体系の探索であった。また、地域森林管理シミュレーション（第3章）の目的は、単一林分経営シミュレーターを活用して、団地化による伐出作業効率化と団地化推進を組み込んだ地域森林管理シミュレーションモデルを作成することと、その利用を通じて伐期や間伐体系選択と団地化推進における課題を検証することであった。

これらに対する本研究の結論及び今後の課題と展望を、以下に順次述べる。

4-2. 単一林分経営シミュレーションにおいて妥当な構造仮定

単一林分経営シミュレーターの構造仮定として立木価格を採用すると、現状を反映したと想定される本研究の構造仮定の結果と比較して、若齢に偏った最適伐期齢と準最適伐期幅を示した。また、本来は諸条件により大きく変動する収益性に対して一つの算出値しか出力しないため、その指し示す収益性が妥当であるパターン(因子の組合せ)は非常に限定される結果となった。したがって、単一林分経営シミュレーターの構造仮定として立木価格を採用することは極力避けるべきである。

また、土地純収益説に基づいて土地期望価(SEV)で収益性評価を行う場合、現状の林業では、造林費(及び管理費)が他の収支項目を圧倒するほど大きな費用負担となってしまっていて収益性も期待できないため、高い割引率(2~3%程度以上)を想定した上での林業開始は非現実的であり(図2-6、図2-7)、そこでの収益性感度分析は無意味である。したがって、採用できる収益性指標は、1%程度のわずかな割引率の下でのSEVか、割引率なしの森林純収益(FR)か、将来収益現在価値(PVFP)である。ただし、林木成長が速く比較的短い伐期が最適となる地域であれば、もう少し高い割引率もSEV計算で受け入れられると考えられる。

一方、区画面積が過小である場合は、平均集材距離や作業道単価といった伐出費のうちの付帯費用に関する因子の変動が収益性に多大な影響を与えてしまう(図2-7-1)。これは実際に起こりうることであるため、特に「標準型」の単一林分経営シミュレーションにおける標準仮定の設定は慎重に行う必要がある。

4-3. 非皆伐施業、多間伐の是非

本研究の仮定においては2-3-2、2-4-1に示した通り、混交林化方針は最適伐期方針と比較して収益性は低く、必要となる補助額や労働量が少なく、対補助比収益性は高く、対補助比必要労働量は小さかった。この傾向は高齢級利用間伐に対する手厚い補助の下でも変わらなかった。補助総額と素材生産労働量の制約下で最適伐期方針以上の木材供給量を求めるならば、混交林化方針ではなく皆伐再造林放棄方針を選択せざるを得ないことがわかった。

経営上有利なのは多間伐か少数回間伐かという点に関しては、わが国人工林における過去の経験は少ないものの、利用間伐(抜き伐り)を繰り返す非皆伐施業を推す(梶山, 2004; 梶原, 2008)意見がある。現在の政策としては消極的長伐期化の延長線上の意味合いもあるだろうが、非皆伐施業を推す議論には、事業量の揃わない少量利用間伐素材生産による高コスト性に対する配慮が欠けている懸念がある。

多間伐非皆伐施業は本研究の「混交林化方針」想定とは異なり130年、150年と収穫を続けていける施業のことを本来指すと考えられるが、このような超長伐期非皆伐施業の情報を筆者は持ち合わせていない。このため、仮に本研究の混交林化方針を多間伐非皆伐施業であると想定すると、これまでの結果・考察から判断するならば、多間伐非皆伐施業が経済的に有利となりうる「本研究とは異なる条件」として以下の点が考えられる。

- ①伐出費が一律であるとするか、あるいは間伐・抜き伐り時等のロットを確保しにくい場合でも生産性が皆伐と比べてあまり悪くないとする構造仮定や立地条件。この仮定が妥当となるには、広い区画（団地）と開設維持費の安い路網の確保、あるいは路網の費用負担が小さい伐出システムが前提となると考えられる。例えば、林道が整備された平地林はこの仮定に該当すると考えられる。
- ②再造林費が高い、造林補助率が低い、材価が低い、出材量が少ないなどの理由で再造林の費用負担が相対的に大きく、皆伐回避が有利と考えられる場合。ただし本研究の標準仮定では、110年生等に達した場合は収益が十分に大きく再造林も可能であるという判断となっており、再造林の技術が改良された場合はなおさらである。再造林の費用負担が非常に大きくなる高割引率下の土地純収益説においては、収益性が正となる条件はほとんどない。
- ③間伐を繰り返すことで高齢林でも成長が持続あるいは加速とする構造仮定。ただし本研究でも、高齢林にかけての成長鈍化がかなり小さいデータを用いている。
- ④間伐を繰り返すことで材質や材価が有利になるとする構造仮定。あるいは、3回程度の除間伐では密度管理が不十分で材質や歩留りに悪影響が及ぶとする構造仮定。
- ⑤多間伐により森林の健全性が増し、リスクが軽減するとする構造仮定。

本研究の結果とわが国の状況から考えると、①が実現可能なケースは普遍的とは言えないだろう。また、本研究で有利とされた3回程度の除間伐（2～3回の除伐・伐捨間伐と0～1回の利用間伐）を実施するという間伐体系は、予想される収量比数や形状比の観点からは大きな問題があるとは言えず、また強めの除間伐強度を設定しているため、一般的に言われる間伐遅れ林にも相当しないだろう。したがって、④⑤は本研究では考慮しなかったものの、特に間伐と残存木の形質に関する仮定の妥当性の検証は今後の課題である。

また、3-5-2、3-5-3、3-5-4に示した通り、第3章の対象地では第3分期程度まで収穫を抑え、木材資源の成熟を待つ方が最終的な収益合計で有利

である結果となった。この際、第2章が有利としていた長伐期に達しない森林が多い場合でも、収穫や収益を確保するために選択されたのは伐期の前倒しであり、高齢林利用間伐ではなかった。地域全体での収穫量水準を低く抑えねばならない場合でも、皆伐実施の総量は減るものの、高齢林利用間伐を選択することが収益性から見て有利とはならなかった。これらの点は多間伐方針の不利を指摘した第2章の結果を補強するものである。

白石（2008）は、最近の林業活動は皆伐・再造林放棄と管理放棄が同時に存在する形となっており、広範な森林から漏らさず「広く薄く」間伐・択伐を行うという森林・林業基本計画が目指している林業の実現見通しが立っていないと指摘している。本研究の結果も、多くの場合で非皆伐・多数回利用間伐という「広く薄く」の方針は有利でないことを示した。したがって、条件有利森林のみで少数回の間伐と最終的に皆伐を行う「選択と集中」型林業あるいは小面積皆伐林業が、第1章で述べた『個々人が市場原理に基づき利己的な経済活動』をしていることに相当し、「広く薄く」木材生産を行うことが合理的でない場合が多いという認識が必要ではないだろうか。公益的機能の発揮の方策も効率的な補助のあり方も、この認識の上で検討すべきである。

4-4. 団地化における課題

第3章では一例ではあるが、団地化の適用可能性も森林の置かれている条件次第であり、団地の十分な規模の確保がそもそも難しいケースの存在を示した。現実に推進されている提案型集約化施業においても実績が求められることもあり、このような取りまとめが必然的に困難な森林は条件不利森林のまま取り残されることとなる。条件不利森林への施策において、団地化の困難な小規模飛び地状の森林も対象に含めうることを検討すべきである。

4-5. 今後の課題と展望

本研究では、構築した単一林分経営シミュレーターを用いて上記のように、今後の単一林分経営シミュレーションのために普遍的な知見を提示したほか、収益性について感度分析を行い、図2-6や図2-7において具体的な値を示して標準的な目安とした。これらの結果の活用方法としては、個別林分の経営の参考にできるほか、過去に提示された、あるいは今後提示される様々な林業収益性シミュレーション、特に「標準型」の出力の絶対値（収益総額等）を解釈する際の目安とすることが挙げられる。具体的には、シミュレーションで採用されている構造仮定・標準仮

定を図2-6や図2-7にあてはめることで、その出力が一般的に標準的な条件におけるものなのか、あるいは偏った条件におけるものなのか、偏っている場合は標準的な条件に置き換えた場合は結果がどの程度シフトすると考えるべきかを示すことができ、各種シミュレーション結果の位置づけや妥当性を客観的に把握することにつながるだろう。

ただ、筆者が図2-6を作成したように、各人が興味のある標準状態を指定した上で、その状態での図2-6のような感度分析結果を参照することが最も有効であろう。本研究の構造仮定及び各因子の想定範囲内であれば、どの因子の組合せを標準仮定として採用しても、そこでの図2-6のような感度分析結果を作成することは容易である。求められる標準状態に応じて研究者が感度分析結果を提供し、意思決定に活用してもらう仕組みが便利であると考えられる。

また、当然であるが、経済性を検討したい区画の面積・地位・集材距離・既存道長等のパラメータを入力として用いて本シミュレーターを利用者が自ら使用すれば、本研究で示した内容は全て出力することができる。具体的な森林経営に際しては、各区画の経済性を単純に比較できるほか、変更させうる因子である作業道単価や平均集材距離、区画面積、管理費等を変化させて団地化や作業道開設の効果を予測することで、収益性の改善が見込める区画を探索するなどして経営計画策定に役立てることができると考えられる。一方、行政側からは、2-3-2や図2-5、あるいは2-4-3で考察したように、タイプの異なる間伐補助や造林補助、道開設補助の程度が収益性にもたらす影響を比較し、より効率的な補助のあり方を模索することができると考えられる。社会全体としても、補助水準ごとの収益性を適切に評価することで、高額補助によって採算性のない区画への造林等が後押しされてしまうような事態（モラルハザード）を回避しやすくなり（久保山, 2008）、将来の健全な林業基盤の構築につながるだろう。

一方、地域森林管理モデルに関しては、単一林分経営シミュレーターの出力を用いることで、区画ごとの条件を反映しながら団地化を含む伐出費の詳細な試算をモデルに組み込むことができた。その上で本研究では、1,000区画を超える規模での0-1整数計画問題の許容解から普遍的に正しいと解釈しうる内容のみを用いて考察を行った。費用計算を丁寧に行った上での地域森林管理モデルの研究は非常に少なく、それが各種の収穫規整を物足りないものにしてきた面も否定できないであろう。経済性以外の達成も意図する多目的森林管理においては目的間の重み付けが恣意的にならざるを得ないため、必然的に、シミュレーションツールを意思決定支援システム（Decision Support System, DSS）として利用し合意形成を図るという形になり、様々な手法が試みられている（光田ら, 2009）。その際、3-2で述べたように、今後のシミュレーションにおいては構造仮定の検証がより求められるだろう。

また、収益性（収入、費用）は重要な判断基準となるが、その精度の確保はそもそもの大前提である。丁寧な費用計算を含む地域森林管理モデルは計算量の膨大化に直面するが、本研究で扱った問題規模であれば適用可能である。

予測値は予測値であり、理解せずに盲信することには危険も伴う。林分レベルあるいはより大きなレベルで、本研究で提示したようなシミュレーションツールを意思決定支援システムという道具として活用するためには、本研究で得られた知見を踏まえることが有用と考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたっては多くの方にお世話になった。

指導教員である東京大学森林経理学研究室の白石則彦教授と龍原哲准教授には大きな信頼と数多くのアドバイスをいただいた。

狩谷健一総務課長を始めとする金山町森林組合の皆様には数年にわたって多くの手間を割いていただき、また林業に対する数多くの示唆をいただいた。

林業経営の将来を考える研究会においては、大日本山林会、現林業経済研究所所長の餅田治久先生、林政総合研究所の藤澤秀夫研究員をはじめとする皆様のご指導の下、大変貴重な経験をさせていただいた。

山形県庁を筆頭とする各自治体の担当の方々には森林の状況や森林政策の詳細について数多くの資料と説明をいただき、初歩的な質問にも丁寧に答えていただいた。

数理システム株式会社の皆様には数理計画ソフトの使用法に留まらないアドバイスをいただいた。

その他、本研究には直接用いていなくとも、山形県、新潟県、宮崎県、長野県をはじめとする各地の多くの林業事業体、森林所有者、地方自治体および林業関係団体の皆様にご教示いただいたことが全て、本研究の根底にある私の思想を形作っている。また、東京大学と森林計画学会、林業経済学会、森林利用学会をはじめとする学問界において、諸先輩方のご指導と学友の厚意を得ることができたのは大きな幸せであった。

御名を挙げきれなかった方々を含めて全ての方に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

最後に、常に支えてくれた両親に感謝したい。

なお、本研究にあたっては日本学術振興会特別研究員 DC2 として日本学術振興会より助成を受けた（課題番号 21-2554）。

引用文献

- 赤尾健一・有木純善（1989）最適伐期齢理論の課題と展望．京都大学農学部演習林報告 61:130-149.
- 赤尾健一・岩井吉彌（1990）決定論的最適伐期齢に関する諸考察．京都大学農学部演習林報告 62:122-137.
- Bettinger, P., Boston, K., Siry J.P. and Grebner D.L. (2009) Forest Management and Planning. 360pp, Academic Press.
- Blandon, P. (1985) Portfolio Theory and the Economics of Forestry. 日本林学会誌 67:442-448.
- Buongiorno, J. and Gilless, J.K. (1987) Forest management and economics. 285pp, Macmillan Publishing Company.
- Bullard S.H., Gunter J.E.1, Doolittle M.L. et Arano K.G. (2002) Discount rates for nonindustrial private forest landowners in Mississippi: How high a hurdle? Southern Journal of Applied Forestry 26:26-31.
- Davis, L.S., Johnson, K.N., Bettinger, P.S. and Howard, T.E. (2001) Forest Management: To Sustain Ecological, Economic, and Social Values. 804pp, McGraw-Hill.
- 江尻陽三郎（1991）逐次意思決定モデルによる最適間伐量の決定（Ⅱ）純収益の最大化．日本林学会誌 73:44-356.
- 江尻陽三郎（1992）逐次意思決定モデルによる最適間伐量の決定（Ⅲ）価格変動の間伐計画への影響．日本林学会誌 74:397-408.
- 江尻陽三郎（1993）スギ人工林における NPV 曲線および等 NPV 線について．日本林学会誌 75:511-518.
- 藤掛一郎（2004）林業経営体の木材価格への反応—ある林家の長期にわたる伐採記録の分析—．林業経済研究 50(3):19-26.
- 藤掛一郎（2007）宮崎県における民有人工林素材生産の活発化と再造林放棄．林業経済研究 53(1):12-23.
- 藤野正也（2008）我が国素材生産技術における車両系生産システムの優位性．林業経済研究 54(2):7-15.
- 藤澤秀夫（2003）森林・林業基本法体制下の森林保有構造を考える—団地法人化の提案—．山林 1429:2-11.
- 長谷川尚史（2000）地位に基づいたスギ一般用材生産林の収益性評価．森林利用学会誌 15:143-154.
- 原三六（1931）林業振興策に関する一考察．林學會雑誌 13:153-157.
-

-
- 平田種男・田中万里子（1984）輪伐期の研究. 東京大学農学部演習林報告 73:1-95.
- 日水久和・倉島郁（2007）新潟県における間伐材搬出の作業実態—林業普及指導員による間伐材搬出事例調査結果から—. 新潟県森林研究所研究報告 48:83-96.
- Holvoet, B. and Muys, B. (2004) Sustainable forest management worldwide: a comparative assessment of standards. *International Forestry Review* 6:99-122.
- 家原敏郎・黒川泰亨（1990）低位生産林地におけるヒノキ人工林造成の経営的評価. 日本林学会誌 72:34-45.
- 井口隆史（2004）民有林造林政策. (森林政策学. 堺正紘編著, 334pp, 日本林業調査会) . 117-130.
- 稲田充男（2006）システム収穫表 穂の国『創造』の開発. 豊橋創造大学紀要 10: 91-103.
- 石井弘・片桐成夫・三宅登（1983）冠雪害をうけたスギ人工林の直径分布、形状比分布と被害の関係. 日本林学会誌 65:366-371.
- 石川政幸・新田隆三・勝田柁・藤森隆郎（1987）わかりやすい林業解説シリーズ No.83 冠雪害—発生のおくみと回避法—. 101pp, 林業科学技術振興所.
- 石川知明・辻端武彦・松下明弘・板谷明美・浜本清美・辻端隆彦（2008）高性能林業機械による大径材搬出作業システムの作業分析と改善. 森林利用学会誌 23:53-62.
- 石崎涼子（2004）森林政策の財政支出（森林政策学. 堺正紘編, 334pp, 日本林業調査会）. 223-237.
- 石崎涼子（2010）森林・林業政策の改革方向と地域森林管理. 林業経済研究 56(1):29-39.
- 伊藤 奈々恵 , 広嶋 卓也 , 白石 則彦（2005）森林の施業実施に影響を与える因子とその分析—岐阜県を対象として. 森林計画学会誌 39:49-57.
- 持続可能な森林経営研究会（2010）持続可能な森林経営のための 30 の提言. 72pp, http://www.jafta.or.jp/14_jizoku_hp/web/index.html 2010 年 11 月 4 日取得.
- Johansson, P. O. and Löfgren, K. G. (1985) *The economics of forestry and natural resources*. 312pp, Basil Blackwell Ltd.
- 「循環型社会に資する日本型森林管理・経営モデルの構築」検討委員会（2010）今後の森林管理・林業経営に向けた提言 <http://www.rinkeikyo.jp/no3-12.html> 2010 年 8 月 15 日取得.
- 梶山幹弘（2008）究極の森林. 204pp, 京都大学学術出版会.
- 梶山恵司（2004）21 世紀日本の森林林業をどう再構築するか. 23pp, 富士通総研
-

- (FRI) 経済研究所研究レポート 182.
- 梶山恵司 (2009) 森林・林業再生のビジネスチャンス実現に向けて. 17pp, 富士通総研 (FRI) 経済研究所研究レポート 343.
- 笠原義人 (2004) 森林資源管理と森林計画制度. (森林政策学. 堺正紘編著, 334pp, 日本林業調査会) . 75-86.
- 加用千裕, 天野耕二, 島田幸司 (2006) 長期的炭素収支に基づく日本国内の森林経営手法の評価, 環境システム研究論文集, 34:235-243.
- 森林・林業基本政策検討委員会 (2010) 森林・林業基本政策検討委員会 最終取りまとめ 森林・林業の再生に向けた改革の姿. 22pp,
<http://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/saisei/index.html> 2010年12月9日取得.
- Kittredge, D.B. (2005) The cooperation of private forest owners on scales larger than one individual property: international examples and potential application in the United States. *Forest Policy and Economics* 7:671-688.
- 近藤洋史・今田盛生・吉田茂二郎 (2000) 間伐施業集団化に伴う集材機器の相違による収益性の解析. *森林計画学会誌* 34:75-84.
- 近藤耕次・吉田智佳史・岡勝・今富裕樹・鹿島潤・奥田史郎 (2002) 下刈作業におよぼす諸要因の分析. *日本森林学会関東支部論文集* 53:191-192.
- 木島真志・吉本敦・嘉戸昭夫 (2009) 富山県「シルブの森成長モデル」を用いた間伐手法・強度・時期の最適化. *FORMATH* 8:121-136.
- 国土地理院 (2010) 基盤地図情報サイト. <http://www.gsi.go.jp/kiban/> 2010年7月1日取得.
- 近藤耕次・吉田智佳史・岡勝・鹿島潤・今富裕樹・井上源基 (2004) 下刈作業の作業能率に影響をおよぼす要因について. *日本森林学会関東支部論文集* 55:299-300.
- Konohira, Y. (1995) Definition of the System Yield Table. *Journal of Forest Planning* 1:63-67.
- 木平勇吉 (2003) 森林計画学の再構築 (森林計画学. 木平勇吉編著, 228pp, 朝倉書店) . 1-18.
- 久保山裕史 (2008) 林業経営におけるリスクに関する研究, 158pp, 東京大学学位論文.
- Kuboyama, H., Amano, M., and Oka, H. (1997) Suitability of Long Rotations in Snow Risk Areas - A Stochastic Simulation of Timber Plantations. *Journal of Forest Planning* 3:99-106.
- Kuboyama, H and Oka, H. (2000) Climate Risks and Age-related Damage

Probabilities — Effects on the Economically Optimal Rotation Length for Forest Stand Management in Japan. *Silva Fennica* 34:155-166.

光田靖・家原敏郎・松本光朗・岡裕泰（2009）基準・指標の理念に基づく森林計画手法に関する検討. 森林計画学会誌 42:1-14.

南雲秀次郎・岡和夫（2002）森林経営学. 212pp, 森林計画学会出版局.

内閣府（2007）森林と生活に関する世論調査.

<http://www8.cao.go.jp/survey/h19/h19-sinrin/index.html> 2010年12月9日取得.

Nakajima, T., Matsumoto, M. and Tatsuhara, S. (2009) Development and Application of an Algorithm to Calculate Cross-cutting Patterns to Maximize Stumpage Price based on Timber Market and Stand Conditions: A Case Study of Sugi Plantations in Gunma Prefecture, Japan. *Journal of Forest Planning* 15:21-27.

Nakajima, T., Matsumoto, M., Sasakawa, H., Ishibashi, S. and Tatsuhara, S. (2010) Estimation of Growth Parameters using the Local Yield Table Construction System for Planted Forests throughout Japan. *Journal of Forest Planning* 15:99-108.

中澤昌彦・松本武・岡勝・田中良明・吉田知佳史（2009）中山間地域における路網密度補正係数の特性—境界面積の規模が係数に与える影響—. 森林利用学会誌 24(3・4):97-106.

長濱孝行・近藤洋史（2006）鹿児島県におけるスギ人工林システム収穫表 SILKS の構築. 森林計画学会誌 40:221-230.

Newman D.H. (2002) Forestry's golden rule and the development of the optimal forest rotation literature. *Journal of Forest Economics* 8:5-27.

日本不動産研究所（2010）山林素地及び山元立木価格調. 46pp, 日本不動産研究所.

日本学術会議（2001）地球環境・人間生活にかかわる農業及び森林の多面的な機能の評価について. 112pp,

<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/shimon-18-1.pdf>

2010年12月1日取得.

日本プロジェクト産業協議会（JAPIC）森林再生事業化研究会（2010）次世代林業システム—国家プロジェクトとして、推進提案—. 40pp,

<http://www.kentop.org/Reforestation/> 2010年11月4日取得.

日本林業経営者協会（2008）平成20年度版林業関係税制ガイドブック—林業・木材産業税制の早わかり—. 227pp, 日本林業経営者協会.

日本林業協会編（2007）林野公共事業における事前評価の手引 平成19年度版.

- 215pp, 日本林業協会.
- 西日本林業経済研究会報告 (2009) 宮崎はいかなる林業を目指すのか—宮崎の山が草刈り場で終わることのないように—. 林業経済 62(2):1-23.
- 野田巖・姫野光雄・斎藤英樹・鹿又秀聡 (2006) 立地条件に基づいた伐出作業システムの類型化と伐出経費の推計モデル—GIS を用いた地域森林資源管理での活用を想定して—. 九州森林研究 59:36-41.
- 野村進行 (1955) 林業経営経済学. 280pp, 朝倉書店.
- Nonobe, K. and Ibaraki, T. (1998) A tabu search approach for the constraintsatisfaction problem as a general problem solver. *European Journal of Operational Research* 106:599-623.
- Nonobe, K. and Ibaraki, T. (2001) An improved tabu search method for the weighted constraint satisfaction problem. *INFOR* 39:131-151.
- 大崎六郎 (1970) 育林業の採算性 (農林業の採算性分析). 長期金融 7(3):48-72.
- 大住克博 (1998) 林業研究が抱え込んでしまったズレ. 森林科学 24:49-51.
- 大住克博・森麻須夫・桜井尚武・斎藤勝郎・佐藤昭敏・関剛 (2000) 秋田地方で記録された高齢なスギ人工林の成長経過. 日本森林学会誌 82:179-187.
- 大塚 生美, 立花 敏, 餅田 治之 (2008) アメリカ合衆国における林地投資の新たな動向と育林経営. 林業経済研究 54(2):41-50.
- 岡勝 (2006) 機械化による伐出作業の経済的分析・評価に関する研究. 203pp, 東京大学学位論文.
- 岡敏弘 (2002) 政策評価における費用便益分析の意義と限界. 会計検査研究 25:31-42.
- 大川畑修 (1986) 架線集材における適正伐区長及び適正伐区面積について. 日本林学会関東支部論文集 37:255-256.
- 林業経営の将来を考える研究会編 (2010) 森林経営の新たな展開—団地法人経営の可能性を探る—. 251pp, 大日本山林会.
- 林野庁編 (2002) 平成 13 年版 森林・林業白書. 390pp, 日本林業協会.
- 林野庁編 (2010) 平成 22 年版 森林・林業白書. 202pp, 日本林業協会.
- 堺正紘 (2003) 「社会化」の受け皿としての長期伐採権制度の構造と法的性格. (森林資源管理の社会化. 堺正紘編著, 358pp, 九州大学出版会, 福岡). 340-354.
- 坂田景祐・木平勇吉・田中純一・井上公基 (2001) CO₂ 排出権取引を想定した森林経営の環境経済学的分析. 日本森林学会誌 83:220-224.
- 澤口勇雄 (1996) 山岳林における林道路線評価と林道規格に関する研究 (第 1 報)—林道路線評価パラメータの特性—. 森林総合研究所研究報告 372:1-110.
- 澤口勇雄・大川畑修 (1993) 路網規格の合理的配置 (I) HACK の法則の類似式

-
- 適用による幹線路網規格の決定. 日本林学会誌 75:16-23.
- Shan, Y., Bettinger, P., Cieszewski, C., J. and Li, R., T., (2009) TRENDS IN SPATIAL FOREST PLANNING. *International Journal of Mathematical and Computational Forestry & Natural-Resource Sciences* 11(2):86-112.
- 志賀和人 (2009) 境界確認・団地化に取り組む意義. (森林の境界確認と団地化, 志賀和人編著, 216pp, 全国林業改良普及協会) . 12-23.
- 森林保険協会 (1999) 森林保険ハンドブック. 115pp, 森林保険協会.
- 森林保険協会 (2005) 森林国営保険関係通知集. 234pp, 森林保険協会.
- 森林計画制度研究会編 (1992) 新版 森林計画の実務. 574pp, 地球社.
- 森林施業計画研究会編 (2005) 森林施業計画ガイドブックー森林施業計画がわかる本ー. 258pp, 全国林業改良普及協会.
- 森林総合研究所 (2010a) 収穫表作成システム LYCS.
www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/LYCS/index.html 2010年11月4日取得.
- 森林総合研究所 (2010b) 林業経営収支予測システム (FORCAS) 試用版.
www2.ffpri.affrc.go.jp/labs/FORCAS/index.html 2010年11月4日取得.
- 白石則彦 (1986) 同齡単純林の成長予測に関する研究. 東京大学農学部演習林報告 75:199-256.
- 白石則彦 (2008) 森林計画と森林施業. (現代森林政策学. 遠藤日雄編著, 271pp, 日本林業調査会) . 95-106.
- 数理システム (2010) NUOPT. <http://www.msi.co.jp/nuopt/index.html> 2010年11月15日取得.
- 杉野千鶴 (2010) ベルリンの森ー首都の森ー (前編) . 森林技術, 821: 2-14.
- 田中和博 (1991) 各成長段階における最大林分断面積の推定. 森林計画学会誌 16:99-124.
- Tanaka, K., (1991) : The form of the capital structure and optimal rotation: Considerations based on the present value of future profits. 日本林学会誌 73:106-117.
- 田中和博 (1993) 林分表予測システムと林分表のデータベース化. *Journal of PC-Forestry* 10:149-158.
- 田中和博・嘉戸昭夫 (2001) 富山県システム収穫表 Excel 版の開発. 日本林学会論文集 112:149.
- 田家邦明 (2009) 森林の CO₂ 吸収と伐期齡. 林業経済 62(9):1-16.
- Tatsuhara, S. and Dobashi, T. (2006) Classifying Plantation Forests in a Snowy Region According to Cutting Age using GIS: A Case Study of Private Forests in Sanpoku Town, Niigata Prefecture. *Journal of Forest Planning* 12:11-22.
-

-
- Toyama, K. (2011) The Effect of Simultaneous Harvesting of Adjacent Plantation Stands on Acceptable Cutting Age. *Journal of Forest Planning* 16 (in press) .
- 當山啓介・上村佳奈・山崎加奈・龍原哲 (2009) 育林作業の作業工程と地形・地理条件. *FORMATH* 8:13-23.
- 當山啓介・龍原哲 (2007) 効率的に架線系伐出作業を行うための林分及び伐区の条件. *森林計画学会誌* 41:169-178.
- 當山啓介・龍原哲 (印刷中) 架線系伐出作業における民有林の隣接区画統合が地域森林管理にもたらす影響. *森林計画学会誌* 43.
- 植村哲士 (2010) 日南町における 40 年間にわたる森林管理労働力に関する持続可能性ギャップ分析. *林業経済研究* 56(1):69-80.
- 脇本修自 (2005) 森林の公益的機能の評価と直接支払い—森林資源管理の外部経済効果に着目して—. *地域経済研究* 16:101-112.
- 吉田正男 (1935) 理論森林經理學. 405pp, 成美堂書店.
- Yoshimoto, A. (2006) Carbon pricing through subsidy payment for thinning activities in Japan, *Scandinavian Forest Economics* 41:415-427.
- Yoshimoto, A. and Marušák, R. (2007) Evaluation of carbon sequestration and thinning regimes within the optimization framework for forest stand management. *European Journal of Forest Research* 126:315-329.
- Yoshimoto, A. and Shoji, I. (1998) Searching for an optimal rotation age for forest stand management under stochastic log prices. *European Journal of Operational Research* 105:100-112.
- Yousefpour, R. and Hanewinkel, M. (2009) Modelling of forest conversion planning with an adaptive simulation-optimization approach and simultaneous consideration of timber, carbon and biodiversity. *Environmental Economics* 61:1711-1722.
- Yousefpour, R., Hanewinkel, M. and Gilles. L. M. (2010) Evaluating the Suitability of Management Strategies of Pure Norway Spruce Forest in the Black Forest Area of Southwest Germany for Adaptation to or Mitigation of Climate Change. *Environment Management* 45:387-402.
- 全国林業改良普及協会 (2001) 機械化のマネジメント:地域の経営力アップのために高性能林業機械をどう活かすか. 239pp, 全国林業改良普及協会.
-

参考資料 1 使用した伐出作業の標準方程式及び仮定

1. サイクルタイム算定

1-1. 中型フォワーダ（装輪式）

$$t_f = t_{f1} + t_{2.3} + t_{3.1} + t_0$$

$$t_{f1} = S \left(\frac{1}{V_{f1}} + \frac{1}{V_{f2}} \right)$$

$$V_{B1} = 3.5e^{-0.118\theta}$$

$$V_{B2} = 3.5e^{-0.0869\omega - 0.0594\theta}$$

$$t_{f2} = t_g * \frac{\omega}{\omega_g} + M_g$$

$$t_{f3} = m_f \cdot (50.0\omega_f + 25.468)$$

$$t_0 = M_f \cdot \mu$$

t_f : フォワーダのサイクルタイム (s)

t_{f1} : 一回の走行時間 (s)

t_{f2} : グラップルによるフォワーダへの積み込み時間 (s)

(注)荷積みはグラップルを利用

t_{f3} : 一回の荷おろし時間 (s)

(注)荷おろしはフォワーダ搭載のローダで行うと想定

t_0 : 1 サイクル中に発生する付帯・遅延時間 (s)

S : 平均集材距離 (m)

V_{f1} : 集材路走行速度（空荷時）(m/s)

V_{f2} : 集材路走行速度（積載時）(m/s)

θ : 傾斜（度）

ω : フォワーダ一回の積載量 (m³)

t_g : グラップルによる一回の積み込みサイクルタイム (s)

(注) 1-2 の旋回、荷つかみ、荷おろし、遅延の各時間合計を流用

ω_g : グラップルが一回で掴む材の量 (m³)

M_g : 方向転換・セットにかかる時間 (s) = 82.5 ※55*1.5

m_f : 一回の積載量をおろすために材を掴む回数

ω_f : フォワーダ搭載グラップルが一回で掴む材の量 (m³) = 0.6

M_f : 一回の付帯・遅延時間の平均 (s) = 135

μ : 1 サイクル中に発生する付帯・遅延時間の頻度 = 1.5

1-2. グラップル（木寄せ、フォワーダ積み込み） (注) 桤積みの工期を流用

$$t_g = (t_{g1} + t_{g2} + t_{g3} + t_{g4} + t_{g0})$$

$$t_{g1} = I_g \left(\frac{1}{V_{g1}} + \frac{1}{V_{g2}} \right)$$

$$V_{g1} = 0.75$$

$$V_{g2} = 0.75e^{-0.23\omega_g}$$

$$t_{g2} = r_g \left(\frac{1}{V_{g3}} + \frac{1}{V_{g4}} \right)$$

$$V_{g3} = 22.27$$

$$V_{g4} = 22.27e^{-0.91\omega_g}$$

$$t_{g3} = 10.89e^{0.61\omega_g}$$

t_g : グラップルによる木寄せ作業のサイクルタイム (s)

t_{g1} : 走行時間 (s)

t_{g2} : 旋回時間 (s)

t_{g3} : 荷つかみ時間 (s)

t_{g4} : 荷おろし時間 (s) =6

t_{g0} : 遅延時間 (s) =25

I_g : 一サイクルでの走行距離 (m) (注)ここでは平均木寄せ距離を採用

V_{g1} : 空走行速度 (m/s) =0.75

V_{g2} : 実走行速度 (m/s)

r_g : 旋回角度 (deg) =90

V_{g3} : 空旋回速度 (deg/s) =22.27

V_{g4} : 実旋回速度 (deg/s)

1 - 3 . プロセッサ

$$t_p = (t_{p1} + t_{p2} + t_{p3} + t_{p4} + t_{p0})$$

$$t_{p1} = I_p \left(\frac{1}{V_{p1}} + \frac{1}{V_{p2}} \right)$$

$$V_{p1} = 0.78$$

$$V_{p2} = 0.78e^{-0.092\omega_p}$$

$$t_{p2} = r_p \left(\frac{1}{V_{p3}} + \frac{1}{V_{p4}} \right)$$

$$V_{p3} = 17.39$$

$$V_{p4} = 16.6e^{-0.76\omega_p}$$

$$t_{p3} = 7.1 * \mu_{p1} + 14.9$$

$$t_{p4} = t_{p4.1} + t_{p4.2} + t_{p4.3}$$

$$t_{p4.1} = 7.1 * \mu_{p2} * m_c$$

$$t_{p4.2} = \frac{l}{1.8487e^{-0.025*dbh}}$$

$$t_{p4.3} = m_c * 0.0117 * Dc^{1.4647}$$

$$t_{p0} = t_{p0.1} * \mu_{p3} + t_{p0.2} = 13.2 * 0.77 + 8.5 = 18.664$$

t_p : プロセッサ造材のサイクルタイム (s)

t_{p1} : 走行時間 (s)

t_{p2} : 旋回時間 (s)

t_{p3} : 荷つかみ時間 (s)

t_{p4} : 造材時間 (s) =6

t_{p0} : 遅延時間 (s)

I_p : 一サイクルでの走行距離 (m) =10

V_{p1} : 空走行速度 (m/s) =0.78

V_{p2} : 実走行速度 (m/s)

ω_p : プロセッサが一回で掘む材の量 (m³) (注)ここでは平均単木立木材積とした

r_p : 旋回角度 (deg) =180 (注)余裕のある値とした。

V_{p3} : 空旋回速度 (deg/s) =17.39

V_{p4} : 実旋回速度 (deg/s)

μ_{p1} : 一サイクルでの荷つかみ発生頻度=0.91

$t_{p4.1}$: 位置決め時間 (s)

$t_{p4.2}$: 送材時間 (s)

$t_{p4.3}$: 鋸断時間 (s)

μ_{p2} : 一回の鋸断での位置決め発生頻度=0.77

m_c : 平均鋸断回数=6 と仮定

dbh : 平均胸高直径 (cm)

l : 送材すべき材の長さ (m) =16 と仮定

D_c : 平均鋸断直径 (cm) =30 と仮定

$t_{p0.1}$: 枝条整理時間 (s)

μ_{p1} : 一サイクルでの枝条整理発生頻度=0.77

$t_{p0.2}$: 遅延時間 (s) =8.5

1 - 4 . チェンソー (伐木)

$$t_c = (t_{c1} + t_{c2} + t_{c0})$$

$$t_{c1} = \frac{2I_c \lambda}{V_{c1} + V_{c2}}$$

$$t_{c2} = t_{c2.1} + t_{c2.2} + t_{c2.3}$$

$$V_{c1} = e^{-0.0484\theta}$$

$$V_{c2} = e^{-0.0317\theta}$$

$$t_{c2.1} = 30.3$$

$$t_{c2.2} = 0.047dbh^{2.283}$$

$$t_{c2.3} = (8.9977e^{(5.1264\lambda / 10000)}) / 100 * 74.9$$

t_c : チェンソー (伐木) サイクルタイム (s)
 t_{c1} : 伐採木間の移動時間 (s)
 t_{c2} : 伐倒合計時間 (s)
 t_{c0} : 付帯遅延時間 (s) = $40.4 * 1.72 = 49.488$
 I_c : 伐採木間の距離 (m) = 8m と仮定
 V_{c1} : 林内移動速度 (上り) (m/s)
 V_{c2} : 林内移動速度 (下り) (m/s)
 $t_{c2.1}$: 伐倒準備時間 (s) = 30.3
 $t_{c2.2}$: 伐倒時間 (s)
 $t_{c2.3}$: かかり木処理時間 (s)
 λ : 立木本数密度 (本/ha)

2. 費用算出

2-1. 固定費

$$Co_{fix} = (Co_{ia} + Co_{ib} + Co_{ic}) t_{total} / O_{rate}$$

t_{total} : 全作業時間合計

i : 各機械

Co_{ia} : 各機械の減価償却費

Co_{ib} : 各機械の管理費

Co_{ic} : 各機械の資本利子

O_{rate} : 標準的稼働率に対して想定する稼働割合 = 1

$$Co_{ia} = a * (1 - Sub) * P_i / D_{hri}$$

a : 減価償却率

Sub : 購入補助率 = 0.5 と仮定

P_i : 購入価格 (yen)

D_{hri} : 耐用時間 (hr)

$$Co_{ib} = MngR_i * P_i / T_{yri}$$

$MngR_i$: 管理費率

T_{yri} : 年間稼働時間 (hr)

$$Co_{ic} = (0.2098 - 1/D_{yr}) * P_i / T_{yri}$$

D_{yri} : 法定耐用年数 (yr)

2-2. 変動費

$$Co_{ivar} = (W_i + Mnt_i + Oil_i + Con_i) / 3600 * T_i$$

W_i : 作業者の賃金 (yen/hr)

Mnt_i : 保守修理費用 (yen/hr)
 Oil_i : 燃料油脂費用 (yen/hr)
 Con_i : 機材消耗品費用 (yen/hr)
 T_i : 稼働時間 (s)

2-3. システム生産性

$$Prod_{tandem} = 1 / \sum(1/Prod_i)$$

$Prod_{tandem}$: 直列作業想定時のシステム生産性 (m³/hr)

$Prod_i$: 各機械のシステム生産性 (m³/hr) (注) サイクルタイムより算出

$$Prod = Prod_{tandem} O_{rate} I = Prod_{tandem} \sum O_{ratei}$$

$Prod$: システム生産性 (m³/hr)

O_{rate} : 本システムの標準的稼働率

I : 本システムの工程数 (4)

O_{ratei} : 各機械の標準的稼働率

2-4. 機械の諸条件、その他

参考資料 想定した機械の条件

名称	購入価格 (円)	耐用時間 (時)	法定耐用年数 (年)	年稼働時間 (時/年)	オペレータ賃金 (円/時)	購入 補助率
フォワーダ (中型、ホイールタイプ)	16,000,000	4,956	6	840	3,333	0.5
グラブローダ(中型)	9,500,000	7,920	6	1,200	3,333	0.5
プロセッサ(中型)	19,000,000	5,832	6	1,080	3,333	0.5
チェーンソー	202,000	3,330	3	900	2,917	0
	管理費率	燃料油脂費 (円/時)	機材消耗品費 (円/時)	積載量 (m ³)	ひとつかみ (m ³)	標準的 稼働率
フォワーダ (中型、ホイールタイプ)	0.048	832	0	3.0	0.6	0.9
グラブローダ(中型)	0.049	376	0		0.6	0.5
プロセッサ(中型)	0.046	628	320			0.5
チェーンソー	0.065	264	20			0.9

以上の他に、付帯費用や諸経費として以下が挙げられる。ただし、本文中で「付帯費用」と言及したものは、以下のうちで区画面積や出材量に影響されない項目のみである。

土場単価 : 40,000 yen/100m³

人員輸送費 : 8,250yen/day

諸経費 : 伐出費 (土場開設含む) に諸経費率 20% を乗じたもの

付帯人件費率 : 伐出作業総人件費に付帯人件費率 20% を乗じたもの

林業機械搬出入費 (片道) : 41,784yen

(注) 澤口 (1996) での重機 3 台のための大型トラック一日分に相当。

参考資料 2 金山町内森林および対象地の様子



町内森林遠景。農地の奥に低山が広がる



斜面下部は人工林、上部は天然林となっているところが多い



皆伐作業地遠景



町内では主に車両系伐出システムにより、継続的に皆伐木材生産が行われている



森林組合の小規模伐出システム機械装備



広葉樹の侵入・成長は早く、混交林化は容易と考えられる



対象地沿いの農道。大型車両の走行は不可能、フォワーダや林内作業車の利用を想定



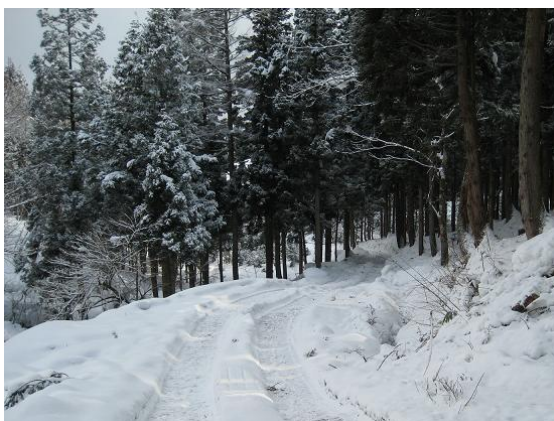
対象地と農道の中に小河川がある。伐出作業時には普通一箇所、渡河地点を設ける



比較的平坦な対象地内林分。ここはトラックが走行可能だが、手前に通過不可能区間がある



林道起点。鉄板で路面保護。水田脇を通過。水の張った水田脇の道は脆く、使用できない場合が多い



積雪時の作業道。路面や林地表面に対するインパクトは非常に少なくなる



積雪時林内。根曲がりは発生するが激害地ではない

