

集約的施業と
切り捨て間伐の効率性比較

——福井県におけるスギ間伐実績に基づいたモデル分析——

安 達 啓 介

神戸学院経済学論集

第52巻 第3・4号 抜刷

令和3年3月発行

集約的施業と 切り捨て間伐の効率性比較

——福井県におけるスギ間伐実績に基づいたモデル分析——

安 達 啓 介

1 はじめに

我が国の林業は、長期にわたる木材価格の低迷を背景に、木材販売収入に対して育林経費が高い状態が続いている。そのため、安定的に森林経営を行うためには、補助金等の公的な支援が必要な状況にある（林野庁, 2018）。産業としての持続性や健全性だけでなく、国や地方の林業財政の厳しさも考慮するならば、できる限り補助金に依存しなくて済む森林経営が求められる。それを実現する一つの方法として、隣接する複数の小規模所有林を一つに取りまとめ森林団地化することで、作業現場を集約化し、効率的に搬出間伐や主伐を行う取り組み（以降「集約的施業」と略称）がある。この方法によって、森林作業道や山土場などの森林インフラの合理的な配置が可能となり、さらに高性能林業機械を効果的に使った作業により施業コストの削減が期待できる（林野庁, 2019）。その反面、初期投資が非常に高額となる。そのため、事業の採算性を確保するには、事前に、初回施業から最終伐までの複数回の伐出作業を考慮した長期的な施業計画、経営計画を作成し、それらを踏まえた慎重かつ綿密な見積りが必要となる。その際、森林インフラのような初回施業を超えて長期的に将来の施業に貢献する成果物をどのように評価するかが重要になる。費用便益分析を用いてトータルで見た収支で評価するのも一つの手だが、その場合、主伐以前の施業に対して森林インフラがどれだけの貢献を果たすかが明確には見

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

えてこない。特に、森林団地化したあとの初回の施業（主に間伐）の収支は、林業補助なしでは赤字となることが当然視されることが多い。他方、減価償却的にその費用をとらえたとしても、今度は施業を行わない期間の費用をどう処理するかが問題となる。そのような問題を解決する手段として金森（2018a）は、「割引現在材積」という概念を用いることで、林内路網や森林団地形成に必要なとなる所有林境界の確認、所有者間の合意形成など、その効果が初回の施業を超えて持続するものの費用を当期事業量に応じて特定する方法を提示している。そして、この手法を用いることで、大野市・勝山市（36事例）、福井市美山地区（4事例）で実施されたスギ人工林を対象とした初回の集約的間伐事例をもとに、従来の個別施業よりも、森林団地化による集約的施業の方が、社会の「資源費用」（P. Samuelson, W. Nordhaus, 2004, p. 304）を削減できるという意味で、社会的に見て効率的であることを明らかにしている。また、美山地区での比較結果は、切り捨て間伐よりも集約的施業の方が社会的に見て効率的であることを示すものであった。

切り捨て間伐は木材収穫をともなわないため、森林所有者からすれば補助金なしでは基本赤字となる。他方、集約的施業は収穫をともなう分、施業条件が良ければ黒字が見込める。近年では林地残材の有効活用、木材生産力の強化、木材産業活性化、さらには流木化リスクの削減の観点から、切り捨て間伐より搬出間伐が推奨される傾向にある。それは現在の補助制度の内容の変化を見ても然りである。ただし、集約的施業は単に搬出作業が加わるだけでなく、それ以前に高額な初期投資が必要となるため、両者の単純な比較をもってどちらがより優れているかは評価できない。そのため、そのような比較はほとんど行われない。通常、集約的施業の有効性は、従来の同種の施業との比較において語られることが多い（例えば、林野庁（2007）；金野（2012）；高橋・宮崎（2014）；野村・島田（2015）など）。だが、金森（2018a）の分析結果は、適切に費用を特定すれば、短期的な視点からでも、すなわち対象とする年の施業収支に焦点を当てて、その年に選択可能な施業どうしの社会的な効率性を評価で

きることを示すものであった。特に美山地区での結果は、比較対象が搬出をとまなわれないような別の種類の施業であったとして、その社会的な効率性を比較することが可能であることを示す例であった。ただし、同研究の主眼は、地区全体での純費用を比較することでその効率性を評価する点にあった。そのため、どのような林分条件、作業条件であれば、比較対象とする施業（例えば、従来型の間伐や切り捨て間伐など）よりも集約的施業の方が社会的に見て効率的となるかは明らかにされていない。

本研究では、福井県における施業事例に基づき、集約的施業をモデル化し、2015年度時点で施業頻度が最も高い45年生スギ (*Cyptomeria japonica* D. Don) 搬出間伐の純費用を推定し、同齢級のスギ林分における切り捨て間伐のそれと比較する。林分条件については3パターンの地位等級（特I, II, IV）を想定することで、地位の違いが集約的施業の効率性にどのように影響するかを検証する。伐倒から搬出までの素材生産方法は、緩・中傾斜地では車両系作業システムを、急傾斜地では架線系作業システムを想定し、森林団地形成から施業完了までの全工程を対象に純費用を推定する。その際、森林インフラや、所有林境界の確認、所有者間の合意形成（以降「森林団地形成」と略称）など、その効果が初回の集約的施業を超えて持続するものの費用については、45年生間伐に帰属させるべきものがどれだけかを特定する。

II 分析の枠組みとデータ

2.1 施業モデルの対象

本研究では、福井県の九頭竜森林組合と美山町森林組合の集約的間伐実績に基づいて施業モデルを作成する。両組合が管轄する森林区域ともに、優良大径スギ生産地に属し、古くから林業が盛んな地域であり、両組合ともに高密路網化、高性能林業機械の導入を前提とした集約的施業の実績が10年近くある（2019年時点）。両組合の施業例は福井県におけるモデルケースにもなっている。集約的施業の内容については、現時点では搬出間伐が大半を占めるが、両組合

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

ともに、将来の主伐や再造林、保育施業の効率化への布石として集約的施業を位置付けている（金森，2018a）。

両地域ともに、森林団地化によってまとめられた林分の多くは、VIII 齢級以上のスギ人工林分である。そして、そのほとんどが集落単位、林班単位で団地化されたものである。小規模所有林が密集している地域や、かつて個人での林業経営が盛んであった地域では、森林団地化によってまとめられた林分が複雑な林齢構成になりやすく、実際にそのような森林団地も存在する。だが、全体で見ると、同一集落内に連続して存在する人工林分は、ほぼ同時期（昭和40年代）に拡大造林されたものが多いため、同齢林または林齢のばらつきが小さい森林団地の方が多い。そこで、本分析では、2015年度時点で施業頻度が最も高い45年生スギ林分で構成された同齢林型森林団地での集約的間伐を施業モデル化する。モデル化に際しては、傾斜ごとに作業システムが異なることを考慮し、緩・中傾斜地（25°未満）での施業モデルは九頭竜森林組合の車両系作業システムをもとに作り、急傾斜地（25～35°）での施業モデルは美山町森林組合の架線系作業システムをもとに作った。これらのモデル作成に使用した主要データは、平成24年7月、8月、平成27年5月に両組合に行った聞き取り調査と両組合から提供された事業資料に基づいたものである。

2.2 スギ収穫林分

表—1.1, 1.2, 1.3は、福井県（2013）に記載されている「福井スギ生産保育体系図」のスギ収穫表の数値をもとに、地位等級特I, II, IVにおける45年生スギ林分の収穫条件とそれ以降120年生皆伐までの各伐期の収穫条件をまとめたものである。120年生より前の林齢（表中では「年生」と表記）の各値は、搬出間伐・抜き伐りを行った場合の収穫データである。各伐期の1本当たりの平均立木幹材積⁽¹⁾は、それぞれの林齢における平均樹高（m）と平均胸高直径

(1) 立木幹材積は枝条、根株を含まない材積であるが、搬出利用される材積そのものではない。

(cm) をもとに、林野庁計画課編（1970）の近畿・中国・石川・福井地方のスギ人工林に対応した二変数材積式⁽²⁾を用いて求めた。各伐期の1ha当たりの伐採材積は、平均立木幹材積（ $\text{m}^3/\text{本}$ ）にその年の伐採本数を乗じることで算出できる。伐採材積のうち、原木丸太として施業地から搬出される割合である搬出利用率は、両組合での聞き取り調査をもとに設定した。その搬出利用率を伐採材積に乗じることで1ha当たり搬出材積を求める。例えば、地位特Iの45年生スギ林分の場合、搬出材積は $82.8\text{m}^3/\text{ha}$ となる。費用計算の対象となる林分は45年生スギ林分だけであるが、それ以降120年生皆伐までの各伐期の搬出材積を算出している理由は、森林インフラ、森林団地形成の費用の特定に必要となるからである。

2.3 費用設定

(1) 素材生産費

次に、伐倒⁽³⁾、搬出までの素材生産工程⁽⁴⁾にかかる費用（以降、「素材生産費」と呼ぶ）を求めるにあたり、モデル化する各組合の作業システムの概要を説明する。九頭竜森林組合では、チェーンソーでの先行伐倒、造材・集材補助（2人）、プロセッサ（ウィンチ付き）での直接木寄せ・造材（1人）、フォワーダ（グラップル付き）での集材・搬出・極積（1人）の計4人体制での車両系作業システム（以降、「集約車両」と略称）が主に採用されていた。同組合によれば、集約車両でのVIII～XI 齢級（35～55年生）のスギ林分における搬出間伐および抜き伐りの1日当たり素材生産性（以降、「素材生産性」と略称）は $16\sim 20\text{m}^3/\text{日}$ であった。本分析では、搬出間伐および抜き伐り施業の素材生産性の下

(2) ここで使用した二変数材積式は、幹材積（ m^3 ）をV、胸高直径（cm）をd、樹高（m）をhとした場合、 $\log_{10}V = -4.19207 + 1.826961 \log_{10}d + 0.99227 \log_{10}h$ と表すことができる。

(3) この伐倒作業には切り捨て間伐も含まれている。

(4) ここでは、すべての作業工程が同時並行で行われる素材生産体制を想定している。

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

表一.1.1 スギ林分収穫表（地位特Ⅰ）

	45年生	60年生	80年生	100年生	120年生
平均胸高直径 (cm)	30	34	47	52	65
平均樹高 (m)	22	26	31	33	34
平均立木幹材積 (m ³ /本)	0.69	1.02	2.20	2.82	4.36
伐採本数	200	100	100	100	300
残存本数	600	500	400	300	0
伐採材積 (m ³ /ha)	137.9	102.3	220.1	281.7	1,308.6
搬出利用率	60%	90%	95%	95%	95%
搬出材積 (m ³ /ha)	82.8	92.1	209.1	267.6	1,243.2

表一.1.2 スギ林分収穫表（地位Ⅱ）

	45年生	60年生	75年生	90年生	120年生
平均胸高直径 (cm)	29.7	35.5	39.7	43.4	47.2
平均樹高 (m)	16.7	20.9	23.4	25.2	26.7
平均立木幹材積 (m ³ /本)	0.52	0.89	1.22	1.55	1.91
伐採本数	430	230	140	60	340
残存本数	770	540	400	340	0
伐採材積 (m ³ /ha)	221.5	205.0	171.2	93.0	650.3
搬出利用率	55%	90%	95%	95%	95%
搬出材積 (m ³ /ha)	121.8	184.5	162.7	88.3	617.8

表一.1.3 スギ林分収穫表（地位Ⅳ）

	45年生	60年生	75年生	90年生	120年生
平均胸高直径 (cm)	22.1	26.6	29.8	31.4	32.8
平均樹高 (m)	11.8	12.9	15.7	17.3	18.0
平均立木幹材積 (m ³ /本)	0.21	0.33	0.49	0.59	0.67
伐採本数	600	300	200	100	450
残存本数	1050	750	550	450	0
伐採材積 (m ³ /ha)	127.6	97.8	97.5	59.1	299.3
搬出利用率	50%	90%	95%	95%	95%
搬出材積 (m ³ /ha)	63.8	88.0	92.6	56.1	284.4

限と上限，そしてその中央値の場合の素材生産費を求める。以降，16m³/日の場合を「集約車両①」，18m³/日の場合を「集約車両②」，20m³/日の場合を「集約車両③」と表す。

一方，美山町森林組合では，施業対象地の大半が25～35°の急傾斜地で占められており，スイングヤードによる簡易策張り方式を用いた地曳き集材が作業

の軸となっている。作業全体としては、チェーンソーでの先行伐倒、造材・集材補助（2人）、スイングヤードでの全木集材（2人）、ハーベスタでの直接木寄せ・造材（1人）、フォワーダ（グラップル付き）での集材・搬出・植積（1人）の計6人体制での架線系集材システム（以降、「集約架線」と略称）が採用されていた。集約架線でのVIII～XI 齢級のスギ林分における搬出間伐および抜き伐りの素材生産性は20～25.5 m³/日であった。ここでも先ほどの集約車両と同じように、素材生産性の下限と上限、そしてその中央値の場合の素材生産費を求めることとし、20 m³/日の場合を「集約架線①」、22.75 m³/日の場合を「集約架線②」、25.5 m³の場合を「集約架線③」と表す。

搬出作業に関わる労働条件は、両組合での聞き取り調査をもとに、労働時間は1日8時間とし、チェーンソーの実稼働時間は3時間/日、それ以外の林業機械の実稼働時間は6時間/日とした。人件費は、両組合での作業種別の人件費を参考に、チェーンソーでの伐倒、造材作業、木寄せ・集材補助の場合は16,000円/人・日、プロセッサ、ハーベスタ、フォワーダ、スイングヤードのオペレータ労働の場合は22,000円/人・日とした。

表一2は、各施業システムで使用される林業機械の価格、償却費率⁽⁵⁾、耐用年数、年間稼働日数、保守・修理費率、年管理費率、減価償却費、保守・修理費、管理費、燃料・油脂費を示したものである。林業機械の価格は、各組合で使用している機械の中で使用頻度が高い規格・容量のものの市販価格の平均値を用いた。林業機械の年間稼働日数は九頭竜森林組合での平成23年度の稼働実績をもとに設定した。耐用年数は、チェーンソーについては両組合での平均耐用年数を用いたが、それ以外の林業機械については、明らかに使用年数が法定耐用年数を越えていたため、日本建設機械施工協会（2014）における同規格・機種⁽⁶⁾の標準耐用年数⁽⁷⁾を用いた。保守・修理費率、年管理費率、燃料・油脂単価（円/

(5) 償却費率とは機械価格に対する減価償却対象分の割合を指す。

(6) 本分析では、経済耐用年数を用いて減価償却費を計算しているが、実際は両組合とも法定耐用年数を用いて計算している。そのため、今回推定された素材生産費

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

時)は、チェーンソー、プロセッサ、ハーベスタ、フォワーダについては全国林業改良普及協会編(2001)における同規格・機種の値を用いた。スイングヤーダについては、保守・修理費率、年間管理費率は森林利用高度化研究会(2012)の値を、燃料・油脂単価は谷山・木村・豊田(2008)の値を用いた。これらの林業機械条件の下で、1日当たりの減価償却費、保守・修理費、管理費を計算した。

表一 2 林業機械に関わる諸条件

	機械価格 (万円)	償却 费率	耐用 年数	年間稼働 日数	保守・修理 费率	年間管理 费率	燃料・油脂 単価 (円/時)	減価償却費 (円/日)	保守・修理費 (円/日)	管理費 (円/日)	燃料・ 油脂費 (円/日)	機械経費 (円/日)
チェーンソー	20	0.9	5.0	150	0.85	0.065	264	240	227	87	792	1,345
プロセッサ (0.45m ² , W 付き)	2050	0.9	9.0	200	0.39	0.046	628	10,250	4,442	4,715	3,769	23,176
ハーベスタ (0.45m ² , W 付き)	1900	0.9	9.0	200	0.48	0.044	521	9,500	5,067	4,180	3,126	21,873
フォワーダ (6t 積, G 付き)	1800	0.9	10.5	190	0.33	0.048	833	8,120	2,977	4,547	4,995	20,640
スイングヤーダ (0.45m ²)	2000	0.9	9.0	170	0.20	0.090	912	11,765	2,614	10,588	5,472	30,439

注1) 各機械の括弧内の表記は旧JIS表示バケット容量(m³), 積載量(t), 付属機械(ウィンチ(Wと略称), グラップルローダ(Gと略称))を示す。

注2) 減価償却費, 保守・修理費, 管理費, 機械稼働費は以下のように算出した。

減価償却費=機械価格×償却费率÷耐用年数÷年間稼働日数,

保守・修理費=機械価格×保守・修理费率÷耐用年数÷年間稼働日数

管理費=機械価格×年間管理费率÷年間稼働日数

機械経費=減価償却費+保守・修理費+管理費+燃料・油脂費

注3) 燃料・油脂費は, チェーンソーは3時間稼働した場合の, それ以外の林業機械は6時間稼働した場合の値である。

表一 3 は, 施業モデル(集約車両, 集約架線)ごとに必要となる作業人数, 林業機械と, それに対応する1日当たりの人件費, 機械経費を示したものである。

素材生産費は, 施業モデルの1日当たりの人件費と機械経費の合計(円/日)に, 1ha当たりの伐採, 搬出作業に必要な作業日数を乗じて求める。作業日数は, 想定した素材生産性で, 地位ごとの45年生スギ林分における1ha当

は, 現実の値よりも若干低い値となっていると予想される。

(7) プロセッサ, ハーベスタ, スイングヤーダの耐用年数はバックホウ(クローラ型)の値を, フォワーダについては不整地運搬車(クローラ型)の値を適用した。

表一 3 1日当たりの人件費と機械経費

	集約車両				集約架線			
	作業 人数	使用機械	人件費 (円/日)	機械経費 (円/日)	作業 人数	使用機械	人件費 (円/日)	機械経費 (円/日)
先行伐倒，造材補助 単本集材	2	チェーンソー(2台)	32,000	2,691	2	チェーンソー(2台)	32,000	2,691
直接木寄せ，造材	1	プロセッサ	22,000	23,176	1	スイングヤード	44,000	30,439
集運材，積積	1	フォワーダ	22,000	20,640	1	ハーベスタ	22,000	21,873
合計	4		76,000	46,507	6		120,000	75,643

たりの搬出材積 (m³) を除することで求められる。ただし、この費用には施業現場への林業機械の輸送費用が含まれていないため、これを特定して加える必要がある。林業機械（チェーンソーを除く）の輸送にかかる費用は、美山町森林組合での単価を参考に、プロセッサ，ハーベスタ，スイングヤードについては1 施業地1 台当たり20,000円，フォワーダは15,000円/日とした。集約的施業の場合，森林団地内の路網ネットワークが十分に整備されていれば，追加的な機械輸送なしに，林業機械自らを走行させることで同団地内の別の施業現場に移動することが可能である。ここではそれが可能な林内路網が整備されているとして，集約車両，集約架線ともに機械輸送は1 回で済むものとした。この場合，集約車両では35,000円（2 台），集約架線では55,000円（3 台）の機械輸送費用が必要となる。これらを踏まえた結果が，表一 4 の素材生産費である。

表一 4 素材生産費

		集約車両① 16 m ³ /日	集約車両② 18 m ³ /日	集約車両③ 20 m ³ /日	集約架線① 20 m ³ /日	集約架線② 22.75 m ³ /日	集約架線③ 25.5 m ³ /日
作業日数 (日/ha)	特I	5.2	4.6	4.1	4.1	3.6	3.2
	II	7.6	6.8	6.1	6.1	5.4	4.8
	IV	4.0	3.5	3.2	3.2	2.8	2.5
素材生産費 (円/ha)	特I	668,636	598,232	541,909	864,531	766,676	689,927
	II	967,683	864,052	781,147	1,246,594	1,102,555	989,584
	IV	523,472	469,197	425,777	679,071	603,633	544,467

(2) 木材運搬費

施業現場から組合の木材加工場，ストックヤードまでの木材運搬にかかる費用は，金森（2018a）の大野・勝山地区，美山地区での事例の平均値をもとに，

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

集約車両では2,300円/m³、集約架線では2,655円/m³とした。地位別の搬出材積にこれらの単価を乗じたものが1ha当たりの木材運搬費となる。その結果をまとめたものが、表—5である。

表—5 木材運搬費

		特I	II	IV
木材運搬費 (円/ha)	集約車両	190,339	280,171	146,733
	集約架線	219,717	323,414	169,381

(3) 路網整備費

高性能林業機械を十分に活用するためには、耐久性の高い森林作業道を高密度に整備する必要がある。路網密度については、本分析では金森(2018a)の平成24～25年度の大野・勝山地区、美山地区のデータに基づき、それぞれの平均値から、集約車両では150m/ha、集約架線では70m/ha開設するものとした。ただし、美山地区の場合、4～8t積クラスの運材トラックが直接進入できる、強度の高い路網が多く整備されている。平成25～27年度までの年度ごとの開設実績(表—6)を見ると、森林作業道(作業道：幅員3.0～4.0m級、搬出路：幅員2.0～2.5m級)の総開設距離に占める作業道の割合は76.6%～89.5%、平均84.3%であった。本分析では、集約架線における路網70m/haのうち84.3%に当たる59mを作業道とし、残りの11mを搬出路とした。

路網単価(円/m)は、集約車両については金森(2018a)の大野・勝山地区36団地の平均値をもとに2,172円/mとした。集約架線は、表—6の各路網の平均値に基づき、作業道を7,449円/m、作業路を2,271円/mとした。⁽⁸⁾

高性能林業機械での作業は林内路網に非常に大きな負荷を与える。そのため、施業が完了した後に路網の補修が必要となる。また、次回施業までの期間、路網を維持管理しておく必要がある。本分析では、金森(2018a)をもとに、総

(8) 美山町森林組合の作業道は、実質的には専用林業道と作業道の中間に位置する強度の路網であるため、九頭竜森林組合の作業道よりも開設単価が高くなっている。

表一 6 集約架線における路網単価

		作業道 A	搬出路 B	比率 A/(A+B)
H25年度	延長距離 (m)	15,418	2,370	86.7%
	開設費用 (円)	135,551,000	6,212,000	
	平均単価 (円/m)	8,792	2,621	
H26年度	延長距離 (m)	18,182	2,124	89.5%
	開設費用 (円)	144,114,000	3,611,000	
	平均単価 (円/m)	7,926	1,700	
H27年度	延長距離 (m)	14,997	4,579	76.6%
	開設費用 (円)	82,348,000	10,784,000	
	平均単価 (円/m)	5,491	2,355	
合計	延長距離 (m)	48,597	9,073	84.3%
	開設費用 (円)	362,013,000	20,607,000	
	平均単価 (円/m)	7,449	2,271	

(出所) 各年の美山町森林組合総代会資料より作成

路網開設費（路網単価×路網密度）に対する施業後の補修費率を3%，年間の維持管理費率を1%とした。この場合，路網補修費は集約車両で9,774円/ha，集約架線で13,936円/haとなる。一方，路網の維持管理費については45年生間伐から次回施業（60年生間伐）前年までの15年分を計算する。これは異時点間の費用計算であるから，ここでは福井県の林道事業における一般的な起債利率（2%）を参考に，社会的割引率が0～4%の下での15年分の維持管理費の現在価値を求めた。割引率に応じたモデルごとの路網管理費を表一7に示す。

表一 7 路網管理費

		集約車両 (150 m/ha)	集約架線 (70 m/ha)
路網管理費 (円/15年分)	0%	48,870	69,679
	1%	45,624	65,051
	2%	42,700	60,882
	3%	40,061	57,118
	4%	37,673	53,713

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

路網開設にかかる費用については、金森（2018a）と同様に「割引現在材積」を算出することで、45年生スギ間伐における素材生産への貢献度を割り出し、当期の事業量に見合った費用を特定する。その方法として、まず、45年生間伐を0年目（始点）として、それ以降120年生皆伐までの各施業年の搬出材積を、割引現在価値の計算の論理と同じように、木材に対する時間割引率で割り引く。その率は前述の社会的割引率（0～4％）に準ずるものとした。このようにして割り引いた材積が「割引現在材積」である。さらに、各施業年の割引現在材積を合計する。そして、割引現在材積の合計に占める45年生間伐時の搬出材積の割合を求める。最後に、その割合を45年生間伐における開設路網の当期施業に対する貢献率と見なし、総路網開設費に乗ずる。これによって、45年生間伐の施業量に帰属する路網開設費を特定する。例えば、割引率0％、地位特Ⅰの場合であれば、割引現在材積の合計1894.7m³、45年生間伐時の搬出材積は82.8m³であるから、貢献率は4.4％となる。表—8.1、8.2、8.3は、地位等級ごとに割引現在材積と45年生間伐時の新規路網（森林インフラ）の貢献率を示したものである。

表—8.1 割引現在材積と貢献率（地位特Ⅰ）

		45年生	60年生	80年生	100年生	120年生	合計	貢献率
割引率	0％	82.8	92.1	209.1	267.6	1,243.2	1,894.7	4.4％
	1％	82.8	79.3	147.6	154.8	589.4	1,053.9	7.9％
	2％	82.8	68.4	104.6	90.1	281.5	627.3	13.2％
	3％	82.8	59.1	74.3	52.7	135.4	404.3	20.5％
	4％	82.8	51.1	53.0	31.0	65.6	283.4	29.2％

表—8.2 割引現在材積と貢献率（地位Ⅱ）

		45年生	60年生	75年生	90年生	120年生	合計	貢献率
割引率	0％	121.8	184.5	162.7	88.3	617.8	1,175.1	10.4％
	1％	121.8	158.9	120.7	56.4	292.9	750.8	16.2％
	2％	121.8	137.1	89.8	36.2	139.9	524.9	23.2％
	3％	121.8	118.4	67.0	23.4	67.3	397.9	30.6％
	4％	121.8	102.5	50.2	15.1	32.6	322.2	37.8％

表—8.3 割引現在材積と貢献率（地位Ⅳ）

		45年生	60年生	75年生	90年生	120年生	合計	貢献率
割引率	0%	63.8	88.0	92.6	56.1	284.4	584.9	10.9%
	1%	63.8	75.8	68.7	35.9	134.8	379.0	16.8%
	2%	63.8	65.4	51.1	23.0	64.4	267.7	23.8%
	3%	63.8	56.5	38.2	14.8	31.0	204.3	31.2%
	4%	63.8	48.9	28.6	9.6	15.0	165.8	38.5%

これらをもとに、路網整備にかかる費用（開設費，補修費，維持管理費）を集計したものを表—9に示す。以降、この費用を「路網整備費」と表す。

表—9 路網整備費

割引率	集約車両（150m/ha）			集約架線（70m/ha）		
	特Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ	特Ⅰ	Ⅱ	Ⅳ
0%	72,874	92,417	94,181	103,903	131,767	134,283
1%	80,980	108,258	110,242	115,462	154,353	157,182
2%	95,455	128,089	130,110	136,099	182,628	185,511
3%	116,529	149,567	151,595	166,146	213,252	216,144
4%	142,570	170,637	172,785	203,275	243,293	246,356

（4）森林団地形成費

森林団地形成に必要となる有林境界の確認，所有者間の合意形成にかかる費用は，金森（2018a）の大野・勝山地区および美山地区の平均費用をもとに，集約車両では14,183円/ha，集約架線では96,432円/haかかるものとした。ただし，森林団地形成は，森林インフラと同様に，初回の施業を超えてその効果が持続する。よって，森林団地形成にかかる費用も，貢献率を乗じることで45年生間伐に帰属する費用を特定した。その結果を表—10に示す。

（5）切り捨て間伐にかかる費用

集約的施業と切り捨て間伐との社会定な効率性を比較するため，集約車両に対しては，九頭竜森林組合の平成20年度の受託造林事業における21～35年生スギの切り捨て間伐費235,500円/haを用いた。集約架線の場合は，金森（2018a）

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

表—10 森林団地形成費（円/ha）

	割引率	貢献率	集約車両	集約架線
特 I	0 %	4.4%	619	4,212
	1 %	7.9%	1,114	7,572
	2 %	13.2%	1,871	12,722
	3 %	20.5%	2,903	19,740
	4 %	29.2%	4,141	28,155
II	0 %	10.4%	1,470	9,996
	1 %	16.2%	2,301	15,646
	2 %	23.2%	3,292	22,381
	3 %	30.6%	4,342	29,519
	4 %	37.8%	5,363	36,463
IV	0 %	10.9%	1,547	10,519
	1 %	16.8%	2,387	16,233
	2 %	23.8%	3,380	22,979
	3 %	31.2%	4,430	30,120
	4 %	38.5%	5,456	37,098

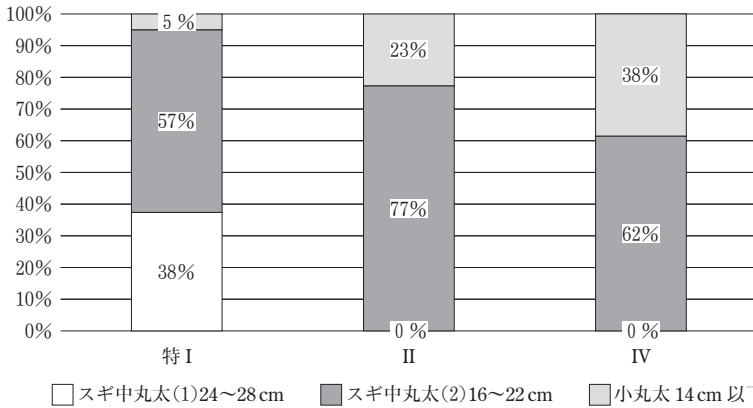
で用いられている，美山地区における45年生スギの切り捨て間伐費319,000円/ha（平成21年度のデータ）を用いた。

2.4 木材販売収入

同じ林齢であっても，林分の地位等級が異なれば，胸高直径や樹高が異なってくる。それによって，立木1本あたりの経済的価値も変わってくる。ここでは地位ごとの木材価値の違いを明確にするために，金森（2018b）の福井県スギの相対幹曲線（美山地区）を用いて，地位等級ごとの45年生スギ1本当たりの径級別丸太の割合（%）を求めた（図—1参照）。

次に，1本当たりの径級別丸太の割合に，径級ごとの材価（円/m³）を乗じて，その合計をとることで，45年生スギ1m³の価格を特定する（表—12中の「合計（円/m³）」がそれにあたる）。径級ごと丸太の材価（円/m³）は，福井県山林協会『若越の林業』（2012月4月号～2018年12月号）に掲載されている市場価格をもとに平均価格（スギ中丸太（1）：11,049円/m³，スギ中丸太（2）：9,489円/m³，小丸太：7,219円/m³）を求め，その値を用いた。最後に，地位等

図1 45年生スギ1本当たりの径級別丸太（4.0m）の割合



級ごとの45年生スギの材価（円/m³）に、それぞれの搬出材積を乗じることで木材販売収入を求める。その結果が表—12である。

表—12 木材販売収入

	スギ中丸太 (1) 24~28 cm	スギ中丸太 (2) 16~22 cm	小丸太 14 cm 以下	合計 (円/m ³)	木材販売収入 (円/ha)
特 I	4,165	5,435	363	9,963	824,499
II	0	7,333	1,640	8,973	1,093,031
IV	0	5,848	2,770	8,618	549,389

III 分析結果

3.1 純費用

各モデルにおける集約的施業の純費用は、地位等級ごとに（1）素材生産費、（2）木材運搬費、（3）路網整備費、（4）森林団地形成費を足し合わせたものから、それに対応する木材販売収入を差し引くことによって求められる。それらを計算した結果が表—13である。ここでは集約的施業と切り捨て間伐との比較を行う前に、地位等級の違いが純費用にどのような影響を与えるかを明確にしておく。そのため、1ha当たりの純費用を搬出材積（m³/ha）で除するこ

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

表一13 純費用（円/m³）

	割引率	貢献率	集約車両① (16m ³ /日)	集約車両② (18m ³ /日)	集約車両③ (20m ³ /日)	集約架線① (20m ³ /日)	集約架線② (22.75m ³ /日)	集約架線③ (25.5m ³ /日)
特 I	0%	4.4%	1,305	454	-227	4,445	3,263	2,335
	1%	7.9%	1,409	558	-123	4,625	3,443	2,516
	2%	13.2%	1,593	742	61	4,937	3,755	2,827
	3%	20.5%	1,860	1,009	328	5,385	4,202	3,275
	4%	29.2%	2,189	1,339	658	5,935	4,753	3,825
II	0%	10.4%	2,042	1,191	510	5,079	3,897	2,970
	1%	16.2%	2,179	1,328	647	5,311	4,129	3,201
	2%	23.2%	2,350	1,499	818	5,599	4,416	3,489
	3%	30.6%	2,534	1,684	1,003	5,909	4,726	3,799
	4%	37.8%	2,716	1,865	1,184	6,212	5,030	4,102
IV	0%	10.9%	3,388	2,537	1,856	6,951	5,769	4,841
	1%	16.8%	3,653	2,802	2,121	7,399	6,217	5,290
	2%	23.8%	3,980	3,129	2,448	7,949	6,767	5,839
	3%	31.2%	4,333	3,482	2,802	8,541	7,359	6,431
	4%	38.5%	4,681	3,830	3,150	9,124	7,942	7,014

とで、1m³当たりの純費用に換算した。

まず、集約車両③においては、割引率0%、1%を想定した場合の純費用がマイナスの値となった。これは、収支が黒字であることを示す。

次に、割引率と純費用の関係を見る。割引率が高まるにつれ、将来の搬出材積ほど大きく割り引かれるため、その分、割引現在材積の合計に占める45年生間伐における搬出材積の割合が高まる。つまり、貢献率が高まる。施業モデルや地位等級が同じでも、割引率が高くなれば、森林インフラや森林団地形成費の45年生施業に帰属する費用負担が大きくなり、その分、純費用も大きくなる結果となった。

他方、同じ割引率・貢献率の下では、地位等級が高いほど、純費用は低下することが分かる。これは、地位が高いほど、搬出される原木丸太の質や搬出材積量などの収穫条件が良くなるためである。

集約車両と集約架線とでは想定している施業条件が大きく異なる。特に、集約架線は集約車両と比べて路網密度は低いものの、作業道開設単価が集約車両のその3倍以上あるため、その分がコスト高の原因となっていた。

表—14 純費用（円/ha）

	割引率	貢献率	集約車両① (16 m ³ /日)	集約車両② (18 m ³ /日)	集約車両③ (20 m ³ /日)	集約架線① (20 m ³ /日)	集約架線② (22.75 m ³ /日)	集約架線③ (25.5 m ³ /日)
特 I	0%	4.4%	107,969	37,565	-18,758	367,865	270,010	193,260
	1%	7.9%	116,570	46,166	-10,157	382,784	284,928	208,179
	2%	13.2%	131,801	61,397	5,074	408,570	310,715	233,965
	3%	20.5%	153,908	83,504	27,181	445,636	347,781	271,031
	4%	29.2%	181,186	110,782	54,459	491,180	393,325	316,575
II	0%	10.4%	248,710	145,079	62,174	618,741	474,702	361,731
	1%	16.2%	265,382	161,751	78,845	646,977	502,938	389,966
	2%	23.2%	286,204	182,572	99,667	681,987	537,948	424,976
	3%	30.6%	308,732	205,101	122,196	719,749	575,710	462,739
	4%	37.8%	330,823	227,192	144,287	756,734	612,695	499,724
IV	0%	10.9%	216,131	161,856	118,437	443,451	368,014	308,848
	1%	16.8%	233,032	178,757	135,337	472,064	396,627	337,461
	2%	23.8%	253,893	199,618	156,199	507,139	431,702	372,536
	3%	31.2%	276,428	222,153	178,734	544,913	469,476	410,309
	4%	38.5%	298,644	244,370	200,950	582,104	506,667	447,501

3.2 比較結果

次は、集約的施業の純費用と切り捨て間伐のそれを比較してみる。表—14は、表—13の純費用（円/m³）を1ha当たりの値に直した結果である。

集約車両の場合、比較対象とする切り捨て間伐の費用は235,500円/haであった。同表の網掛けとなっている部分は、切り捨て間伐よりも集約的施業の方が社会的に見て効率的となるケースである（集約架線も同様）。地位特Iではすべてのケースで、地位IIでは集約車両②、③のすべてのケースで、そして地位IVでは集約車両②、③のすべてのケースに加え、①の割引率0%、1%のケースにおいて、集約的施業の方が社会的に見て効率的であった。これらの結果は、集約車両②、③と同程度の施業条件であれば、低地位の林分であっても、社会全体で見れば、切り捨て間伐よりも集約的施業の方が効率的であることを示唆している。

集約架線の場合、比較対象とする切り捨て間伐の費用は319,000円/haであった。この費用を下回ったのは、地位特Iを想定した場合の集約架線②（割引率0～2%）、③のケース、そして、地位IVでの集約架線③（割引率0%）の1

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

ケースに限られた。集約車両ほど、社会的に見て効率的となるケースは多くはないが、集約架線②、③ほどの生産性が見込め、地位特Ⅰのように収穫条件が良好であれば、切り捨て間伐よりも集約的施業の方が社会的に見て効率的となるケースがあることが分かった。

3.3 事業者の慣例的な方法による費用

本分析では、45年生スギ間伐にかかる費用のうち、当該間伐に帰属させるべき分を特定するために、割引現在材積の概念を使った独自の費用計算方法を用いた。だがこれは、事業者が通常用いている方法ではない。仮に、今回モデルとした森林組合での慣習的な方法に従って、森林インフラと森林団地形成にかかる費用をそのまま全事業費に含め、15年分の路網維持管理費を考慮しない場合では、純費用は表—15の結果となる。この見方に立つ場合、初回の集約的施業を切り捨て間伐よりも効率的であると評価することはできない。

表—15 初回事業にかかる全ての費用をそのまま含めた純費用（円/ha）

	集約車両①	集約車両②	集約車両③	集約架線①	集約架線②	集約架線③
特Ⅰ	384,233	313,829	257,505	834,641	736,786	660,037
Ⅱ	504,580	400,949	318,044	1,051,870	907,831	794,859
Ⅳ	470,160	415,885	372,465	873,541	798,104	738,937

他方、森林作業道などの森林インフラは「現実的には長期にわたって使用されることから、将来の全体計画をたてるにあたっては、償却の済んだ理想状態を想定する方が全体像を見通すことができ」（酒井，2009，pp.52-53）という見方もある。この見方に立つなら、森林インフラを半永久的に使用できる構造物と見なし、その耐用年数を無限として減価償却費をゼロとしてよくなるため、考慮すべき費用は、施業年度の補修費と年々の維持管理費だけで済む。これにならい、路網開設費と森林団地形成費をゼロとみなし、路網整備費として路網補修費と1年分の維持管理費だけ考慮した場合の純費用が表—16である。この場合、先に得られた結果よりも全体的に純費用を低く捉えることができる。

表一16 路網開設費，森林団地形成費を含まない場合の純費用（円/ha）

	集約車両①	集約車両②	集約車両③	集約架線①	集約架線②	集約架線③
特I	47,508	-22,896	-79,219	278,331	180,475	103,726
II	167,855	64,224	-18,681	495,559	351,520	238,548
IV	133,435	79,160	35,740	317,230	241,793	182,627

だが、現実問題として、森林インフラの整備には多くの林業補助が投入されていることを考えるならば、そのような「見えにくくなる費用」を「見える化」して常に認識できるようにしておくことは、森林所有者ならびに森林施業者、経営者のコスト意識，引いては長期的な森林経営のあり方について考えを深めるために必要である。確かに、森林経営の効率化に森林インフラの整備は欠かせないが、それが高額なものである以上、そのような構造物，資材・機器に対する林業投資や公的補助が社会的に見てどの程度適切であるかという視点は、短期においても長期においても重要である。本研究は、そのような森林経営上のさまざまな投資や施業の社会的な効率性の問題を，短期的な視点からでも検証できることを示す例である。

IV むすびに

本稿では、福井県における施業事例に基づき、集約的施業をモデル化し、45年生スギ間伐の純費用を推定し、同齢級のスギ林分における切り捨て間伐のそれと比較した。さらに、3パターンの地位等級（特I，II，IV）を想定することで、地位の違いが集約的施業の効率性にどのように影響するかを検証した。その際、森林インフラや森林団地形成など、その効果が初回施業を超えて持続するものの費用を、「割引現在材積」という概念を用いることで施業量に応じて適切に特定した。それによって、切り捨て間伐よりも集約的施業の方が社会的に見て効率的となる条件を，モデル分析を通して部分的に明らかにした。特に、緩・中傾斜地を想定した車両系作業システムでの集約的施業の場合，ある程度の素材生産性に達すれば，低地位な林分であっても，集約的施業の方が社

集約的施業と切り捨て間伐の効率性比較

会的に見て効率となるケースがあることが示された。また、金森(2018a)で示された比較結果と同様に、急傾斜地を想定した架線系作業システムでの集約的施業であっても、地位特Iに相当する林分であれば、集約的施業の方が社会的に見て効率となるケースが確認できた。

今回は45年生スギ間伐に焦点を当てた分析であったが、本分析で用いた「現在割引材積」の概念を利用した費用特定方法は、短期的な視点に留まらず、それ以降の複数の施業の中期的、長期的な費用分析にも使える。たとえば近年、シカによる農林業被害が全国的に拡大してきている。その対策としてのシカ侵入防止柵の設置や食害等防止のためのテーピングや防護シートの取り付けなども、森林インフラや森林団地形成と同じように、将来の収穫のために前もって必要な投資と言える。それらの費用・効果の評価についても、「割引現在材積」の概念を利用すれば、本稿と同様にアプローチできると予想される。この点を次回の研究課題としたい。

【謝辞】

最後に本論文の作成に当たって、福井県九頭竜森林組合、美山町森林組合の皆様からは何度も詳細かつ有益な組合資料、コメントを頂き、大変お世話になった。この場を借りて心より感謝の意を表したい。また、本論文におけるデータの解釈、主張の一切は私個人に帰するものである。

参考文献

- 福井県「社団法人ふくい農林水産支援センター(旧林業公社)のあり方検討委員会報告書(資料編)」2013年2月
- 福井県山林協会『若越の林業』(2012月4月号~2018年12月号)
- 一般社団法人日本建設機械施工協会「建設機械等損料表」2014年
- 金森啓介「高密度網化、高性能林業機械の導入を前提とした森林団地化による集約的施業の社会的な効率性 ー福井県における車両系・架線系作業システムでの集約的間伐を事例にー」『地域公共政策研究』第26号, p. 73-80, 2018年(a)
- 金森啓介「福井県スギ人工林に対応した相対幹曲線の推定 ー福井県版スギ細り表の作成を目的としてー」『地域公共政策研究』第26号, p. 81-93, 2018年(b)
- 金野和弘「森林施業における「土佐の森方式」の可能性:大規模集約化施業との対比

- において」『総合政策論叢』23巻, p.13-27, 2012年
- 野村久子・島田博匡「三重県の集約化団地における搬出間伐の実態」『三重県林業研究所研究報告』6号, p.1-11, 2015年
- 岡勝・井上源基・上村巧・小林洋司「高性能林業機械の保守・修理費率の検討」『森林利用学会誌』, No.20(2), pp 83-94, 2005年
- P. Samuelson, W. Nordhaus (2004), *Economics*, 18th ed., McGraw-Hill/Irwin
- 林野庁計画課編「立木間材積表西日本編」日本林業調査会, 1970年
- 林野庁「低コスト作業システム事例集」2007年3月
- 林野庁「平成30年度森林・林業白書」財団法人農林統計協会, 2018年
- 林野庁「令和元年度森林・林業白書」財団法人農林統計協会, 2019年
- 酒井秀夫「作業道ゼミナール 基本技術とプロの技」全国林業改良普及協会, 2009年
- 澤口勇雄「山岳林における林道路網評価と林道規格に関する研究 (1)」『森林総合研究所研究報告』372号, p.1-110, 1996年
- 高橋太郎・宮崎隆幸「高性能林業機械と従来型搬出機械による作業システムの開発」『長野県林業総合センター研究報告』28号, p.1-4, 2014年
- 谷山徹・木村光男・豊田信行「持続可能な森林施業に適した伐出方法に関する研究」愛媛県林業技術センター研究報告26号, p.27-35, 2008年
- 全国林業改良普及協会編「機械化のマネジメント」全国林業改良普及協会, 2001年