

速報

路網と集材の費用を考慮した帯状択伐林における最適伐区形状の検討*¹鶴崎 幸*² ・ 溝上展也*³ ・ 吉田茂二郎*³

キーワード：帯状択伐林, スイングヤーダ

I. はじめに

現在世界全体の木材貿易量の増加や原油高などから外材輸入を取り巻く状況に不透明さが高まっている。これは、国産材需要を拡大する追い風となるものである(10)。国産材を安定的に供給し、国内林業の復活を実現させるためには、低コストで効率的な作業システムを確立する必要がある。これは高齢化、熟練技術者不足という現状を踏まえ、少人数で体力的負担が少なくとも実行できるようなシステムであることが望ましい。そのためには、路網の整備と高性能林業機械の組み合わせが重要である。

一方国民の森林に対するニーズが多様化する中、森林施業を行う場合、環境保全や風致に配慮した非皆伐施業が好まれるようになってきた。非皆伐施業は技術的な困難は伴うものの、環境保全機能と木材生産機能の両方を達成できるため、非常に重要な施業法のひとつである(5)。非皆伐施業の一つに帯状択伐施業がある。これは伐出時の損傷の心配が少なく、効率よく林木を搬出することができる。

現在帯状択伐林に関しては、下木の成長特性(4)や下層植生の多様性に関する研究(3)などがある。また実際に帯状択伐林を造成する際、どのような帯幅・帯長が相応しいのかについて、荒木(1)は成長の観点から、上木の影響を軽減するためには、少なくとも上木樹高の1~1.5倍の帯幅が必要であると報告している。一方帯状林は効率を重視した施業方法であるので、作業効率の観点からどのような形状が相応しいのかについても検討する必要がある。當山・龍原(14)はタワーヤーダ集材を効率よく行える伐区の条件として、出材量60m³以上の伐区規模を確保することが重要であるが、その後は平均集材距離が小さいことが重要で、伐区帯幅は伐出費に対してほとんど影響を及ぼさないことを示した。しかしこの研究は路網費用を考慮していない。帯状伐区は路網と一体化している。集材距離が短くなればその分路網を増やさなくてはならず、集材費用が安くなったとしても路網費用を合わせた場合、割高になる可能性がある。そこで伐区形状の検討は伐出費用だけでなく路網費用も考慮する必要がある。酒井ら(12)は路網費用と集材費用の関係から最適な集材距離を検討し

た。しかし帯状択伐林で重要と考えられる最適な帯幅は考慮しておらず、作業効率や収益性の観点からの最適な伐区形状は未だ不明である。そこで本研究は、路網費用と集材費用の関係から最適な帯状択伐林の形状を検討することを目的とした。なお集材には高性能林業機械の1つであるスイングヤーダを用いた。これは平成18年現在全国に419台所有されており、前年比23%増と今後益々の利用が見込まれる(10)。所有数が減少傾向であるタワーヤーダと比較して、ベースマシンが油圧ショベルであり、ヘッド部分をグラブやバケットに取り換え可能であること、機体を旋回させて搬出した木材を仕分けできる等の利点がある。

II. 対象地

本研究の対象地は大分県中部に位置する大分県民の森である。斜面傾斜31度、39年生のヒノキ林分で帯幅15m、帯長30mであった。

III. 調査方法

1. 事前調査

調査ではレーザ距離計を用いて立木位置、輪尺を用いて胸高直径を測定した。また大分県民の森において作成されたヒノキについてのNäslund式より樹高を推定し、材積表より材積を求めた。表-1に伐区内の林分構造を示す。

2. 集材調査

集材作業はオペレータ1名、先山作業員1名、元山作業員1名で行われ、集材本数59本、全て単木ごとに全木集材された。また架線の索張り方式はランニングスカイライン方式であり、上げ荷

表-1. 伐区内の林分構造

項目	値
平均胸高直径	23cm
平均樹高	15.3m
材積	450.9m ³ /ha
立木本数	1511本/ha

*¹ Tsurusaki, Y., Mizoue, N. and Yoshida, S.: Optimal cutting shape considering of both strip road cost and skidding cost on strip selection forest.

*² 九州大学大学院生物資源環境科学府 Grad. Sch. Biores. and Bioenvir. Sci., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

*³ 九州大学大学院農学研究院 Fac. Agric., Kyushu Univ., Fukuoka 812-8581

集材された。

集材の様子はビデオカメラを用いて撮影した。スイングヤーダ集材は、フック上げ→空搬器走行→フック下げ→歩行→荷掛け→実搬器走行→荷下げ→荷外しの流れで行われ、これらが1回終わるごとに材が搬出されるサイクル作業である。これら8つの要素作業について、後日ビデオを見ながら詳細な時間を測定した。

IV. 解析方法

1. 集材時間予測式の作成

生産性を把握するためには、集材時間を予測する必要がある。そこで、要素作業時間を目的変数に、説明変数は搬器が架線上を走行した距離を走行距離、作業員がフックを持って移動した距離を歩行距離、搬出した材の材積の3つの中で各要素作業と関係のあるものを用いて回帰分析し、ステップワイズ法により変数の選択を行った。また、回帰式として作成できない要素作業については平均値を用いた。詳細を表-2に示す。

2. 生産性に関するシミュレーション

ここではどのような形状で生産性が最大となるかを検討する。生産性は、搬出材積を集材に要した時間で除し、1日の作業時間を6時間として計算したものである。帯幅5-60m、帯長5-200mまで5mずつ変化させ、全ての組み合わせ計480通りの伐区形状を発生させた。作成した集材時間予測式を用いて伐区ごとに集材に要した時間を求めた。またスイングヤーダ集材する場合、伐採帯ごとに架線の架設撤収が必要となるので、これも集材時間に加えた。

林分構造は収穫表から引用し、haあたりの幹材積、haあたりの本数からそれぞれの伐区面積に応じて搬出材積、搬出本数を求めた。

3. 費用に関するシミュレーション

上記では伐区の実績のみに注目したが、現実の林分で集材する場合、伐区の間には路網が存在するので、伐区形状は路網と一体的に検討される必要がある。一般に集材する場合、集材距離が短いと効率が良いが、集材費用は安くなるが、その分多くの路網が必要となり路網費用は高くなる。一方集材距離が長いと効率が悪くなり集材費用が高くなるが、路網は少なくてよいので路網費用は安くなる。そこで集材費用と路網費用の和が最小となるのが最適な伐区形状である(12)。

先程と同様480通りの伐区形状について、集材費用と路網費用を算出し検討した。

集材に関する費用を人件費用、機械費用、油脂・燃料費用、機材消費費用として以下のように算出した(11)。

表-2. 集材時間予測式の説明変数

要素作業	説明変数
空搬器走行	$X_{空}$
歩行	$X_{歩}$
実搬器走行	$X_{実}, X_{歩}, vol$
フック上げ、フック下げ荷掛け、荷下げ、荷外し	平均値

$X_{空}$: 走行距離 (m), $X_{歩}$: 歩行距離 (m), vol : 搬出材積 (m^3)

i. 人件費用

$$P(L) = (w_1 \cdot n_1 \cdot T + w_2 \cdot T + w_1 \cdot R \cdot n_2) / vol$$

ここで、

$P(L)$: 人件費用 (円/ m^3)
w_1	: 作業員賃金 (円/時間)
n_1	: 作業員人数 (人)
T	: 集材時間 (時間)
w_2	: オペレータ賃金 (円/時間)
R	: 架設撤収時間 (時間)
n_2	: 架設撤収に従事した作業員数 (人)
vol	: 搬出材積 (m^3)

ii. 機械費用

$$Mp(L) = Ps(0.5(1+k)CRs + Ms + MTs + k \cdot MYs \cdot LYs) / (Ys \cdot LYs \cdot Do)$$

ここで、

$Mp(L)$: 機械費用 (円/ m^3)
Ps	: 機械価格 (円)
K	: 稼働率
CRs	: 機械の償却比率
$MsMTs$: 保守・修理比率
MYs	: 年間管理費率
LYs	: 耐用年数 (年)
Ys	: 生産性 (m^3 /日)
Do	: 年標準稼働日数 (日)

iii. 油脂・燃料費用

$$Fu = (fu \cdot T) / vol$$

Fu	: 油脂・燃料費用 (円/ m^3)
fu	: 時間あたりの油脂・燃料費 (円/時間)

iv. 機材消費費用

表-3. を参照。

路網は作業道を仮定している。作業道を林分の保育管理などのために長期使用すると考えると、開設費の年間償却費は限りなくゼロに近づく。一方、長期に使用するためには維持管理が必要となるので、路網費用は年間の維持管理費として以下のように算出した(12)。

$$r(L) = (5000k \cdot R \cdot s / 100) / (y \cdot L)$$

表-3. 費用算出に使用した数値

集材関係費用		路網関係費用	
オペレータ賃金(円/日)	12,170	作業道開設単価(円/m)	2,000
その他賃金(円/日)	9,380	年間平均材積成長量(m^3 /年)	10.0
機械価格(万円)	1,700	維持管理費率(%)	2
稼働率	0.9	路網修正係数	1.75
機械の償却比率	0.9		
保守・管理費率	0.32		
年間管理費率	0.07		
耐用年数(年)	9		
年標準実働日数(日)	140		
燃料油脂費(円/ m^3)	571		
機材消費費(円/ m^3)	86		

ここで、

$r(L)$: 路網費用 (円 / m ²)
k	: 路網定数
R	: 路網費用 (円 / m)
s	: 維持管理費率 (%)
y	: 年間平均材積成長量 (m ³ /ha)
L	: 帯長 (m)

実際に使用した数値を表-3に示す。機械価格は現場での聞き取り調査、それ以外は既存の研究より引用した(2, 6, 8, 9, 13)。

V. 結果および考察

1. 集材時間予測式

走行距離と空搬器走行時間の関係、歩行距離と歩行時間の関係を図-1、図-2に、作成した集材時間予測式を表-4に示す。

搬器が走行するよりも作業員が歩行する方が速いことが分かる。搬器の走行速度はオペレータが制御するが、空搬器走行する場合、搬器が横取り地点に辿り着いたことを確認するには先山作業員とオペレータの連絡が必要である。そこで搬器の走行速度を遅くして、搬器が横取り地点を通り過ぎるのを未然に防いだと考えられる。また作成した理論方程式について、自由度調整済み決定係数は0.5から0.7の間にあった。搬器の走行や歩行は、人間によって行われるのでばらつきがあるものの、距離と時間の間には関係があることが分かる。

2. 生産性に関するシミュレーション

シミュレーションに用いた林分は、九州地方ひのき林林分収穫表の50年生、本数772本/ha、幹材積498.2m³/ha、幹材積平均成長量10.0m³/haである。結果を図-3に示す。

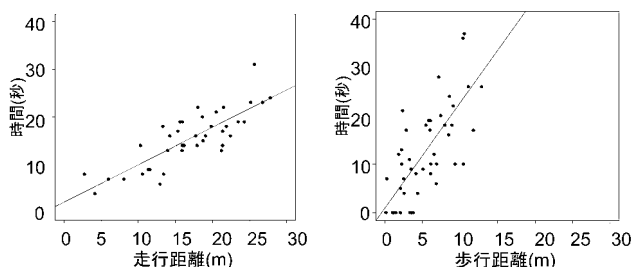


図-1. 走行距離と空搬器走行時間の関係

図-2. 歩行距離と歩行時間の関係

表-4. 集材時間予測式

要素作業	時間 (秒)	R ² adj
フック上げ	25.63	—
空搬器走行	$0.78X_{走}^{***} + 2.21$	0.66***
フック下げ	14.82	—
歩行	$2.18X_{歩}^{***} + 0.91$	0.53***
荷掛け	35.55	—
実搬器走行	$0.99X_{走}^{***} + 1.77X_{歩}^{***} + 16.80 \cdot vol + 4.01$	0.60***
荷下げ	12.41	—
荷外し	34.08	—

$X_{走}$: 走行距離 (m), $X_{歩}$: 歩行距離 (m), vol : 搬出材積 (m³)

このとき、帯幅30m、帯長35mで生産性は最大となった。

帯長が0-50mと50-200mの場合を比較すると、前者の方が生産性は大きく変化している。そこで帯幅を30mに固定し、帯長と1mあたりになおした架設撤収時間、空・実搬器走行時間の関係を図-4に示す。

空・実搬器走行時間は帯長と比例して長くなっているが、架設撤収時間は帯長が0-50mで急激に短くなっている。帯長が25m以下では架設撤収の影響が大きく、それ以降では空・実搬器走行時間の影響が大きくなるのが分かる。そこで両者を合計した時間の変化が異なった。合計時間が最も短くなる帯長で生産性は最大となった。

3. 費用に関するシミュレーション

結果を図-5に示す。

このとき帯幅20m、帯長115mで費用は最も安くなった。生産性のみを考慮した場合と比較して、最適な伐区形状は帯幅では短く、帯長では長くなった。また帯長が0-100mと100-200mでは、前者の方が費用の変化が大きい。そこで帯幅を20mに固定し、帯長の変化に伴う費用の変化を図-6に示す。

帯長が50mより短い場合、費用合計が非常に高価になった。路網費用は帯長が短い、つまり集材距離が短いために開設する路網の量が非常に多くなったのにも関わらず、伐区の面積が小さく搬出できる木材の量が少量であるため、高価になった。集材については、図-4から帯長が短いと集材時間の中で架設撤収時間の占める割合が高くなる。搬出できる木材の量が少量であったにも関わらず、木材を搬出する費用に加えて架設撤収に多くの費用が必要となったことより、集材費用も高価となった。そのため帯長が50m以下の場合、費用合計の変化が非常に大きくなった。一方帯長が50mを越えたあたりから、路網費用の減少幅は小さくなって

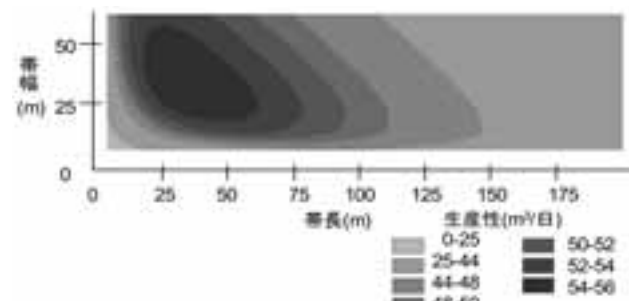


図-3. 生産性推定マップ

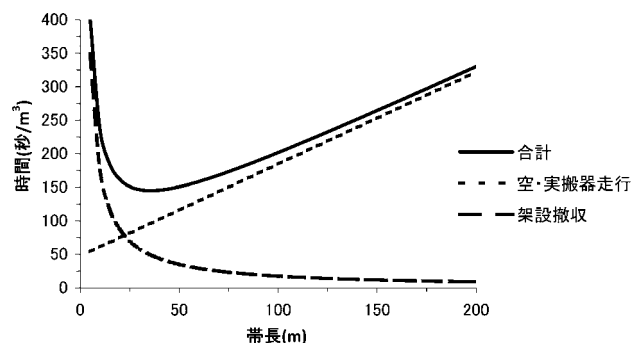


図-4. 帯長と集材時間の関係

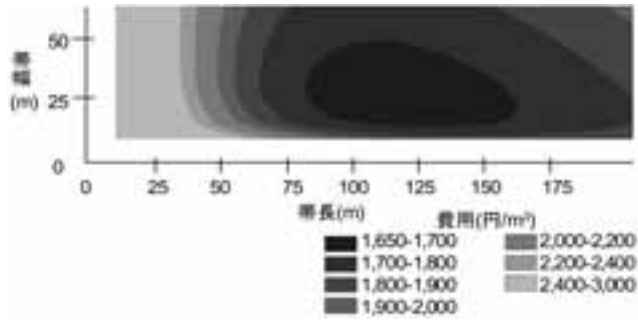


図-5. 費用推定マップ

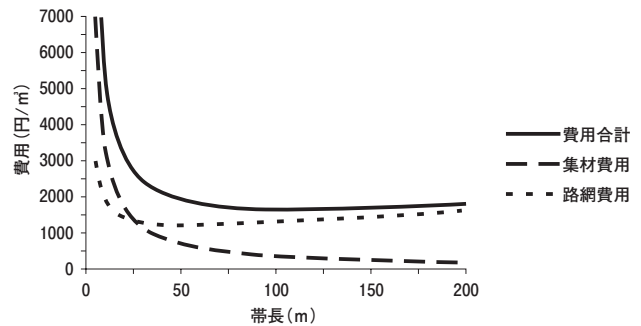


図-6. 帯長と費用の関係

いる。集材費用は徐々に高くなっている。そのため費用合計は変化が相殺され安定した。最適な伐区形状は帯幅20m、帯長115mと求めることができたが、帯長については50m付近から費用が安定しているため、設置地域や経済的な条件に応じて自由度の高い選択を行ってもよいと考えられる。また図-7に帯長を115mに固定し、帯幅の変化に伴う費用の変化を示す。帯長を固定しているため路網費用は変化せず、集材費用のみが変化し最適な帯幅を決定していることが分かる。以上より路網費用と集材費用から最適な伐区形状を求める場合、先に路網費用と集材費用の関係から最適な帯長が分かり、その帯長の下での帯幅と集材費用の関係から最適な帯幅を求められることがわかる。

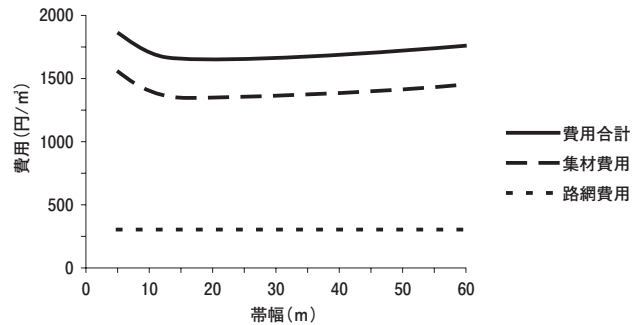


図-7. 帯幅と費用の関係

VI. 結 論

本研究は、帯状択伐林にてスイングヤード集材を実際に調査し、集材時間予測式を作成、多様な形状で生産性についてのシミュレーションを行い、最適な伐区形状の検討を行った。更に集材費用と路網費用の関係から最適な伐区形状の検討も行うことで、現場に近い検討を行うことができた。50年生の林分に2,000円/mの路網を入れる場合、帯幅20m、帯長50m以上が良いと考えられる。

引用文献

(1) 荒木実穂 (2007) 帯状択伐林における成長特性および生産性の評価, 九州大学修士論文.
 (2) 井上源基 (2001) 機械化のマネジメント, 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京: 136-145.
 (3) 伊藤 哲 (2005) H14-16年度科学研究費補助金基盤研究

(C) (2) 14560122研究成果報告書: 89-99.
 (4) 溝上展也ほか (2002) 日林誌 84: 151-158.
 (5) 文部科学省 (2004) 森林科学, 240pp, 実教出版, 東京: 118-120.
 (6) 岡 勝 (2001) 機械化のマネジメント, 239pp, 全国林業改良普及協会, 東京: 92-98.
 (7) 岡勝ほか (2005) 森林学誌 20: 79-90.
 (8) 岡勝ほか (2005) 森林学誌 20: 183-191.
 (9) 林野庁 (2007) 森林・林業白書.
 (10) 林野庁 (2008) 森林・林業白書.
 (11) 酒井秀夫 (1987) 東大演報 76: 1-85.
 (12) 酒井秀夫 (2004) 作業道, 281pp, 全国林業改良普及協会, 東京: 131-158.
 (13) 澤口勇雄 (1993) 日林誌 75: 16-23.
 (14) 當山啓介・龍原哲 (2007) 森林計画誌 41: 169-177.

(2008年12月6日受付; 2009年1月10日受理)