

ヘリコプターによるアカマツ材の搬出

時光 博史, 池田 博行

時光博史・池田博行：ヘリコプターによるアカマツ材の搬出，広島県林技セ研報32：1～15，2000．急傾斜地アカマツ林からのヘリコプター利用による丸太搬出作業を調査した．最大積載量2トンのヘリコプター（SA330J）により148本（235m³）の丸太が実質2日間で搬出された．標準的な作業1サイクルは平均4分28秒で行われ，空荷飛行，荷掛け，空輸，荷降ろしの4部分に分けられた．この作業の中でも荷掛け作業のばらつきが4分15秒と大きく，この作業時間の短縮を図れば全体の効率化が行えると考えられた．荷掛けの制約はヘリコプターの機種による最大積載量であり，この作業に導入可能な丸太重量推定方法として，材長，末口径，元口径，胸高直径，比重，余裕重量を用いた新たな方法を示した．また，調査結果をもとに搬出計画を作成して造材長等が概ね妥当であると評価した．更に収益を上げるためには，高価な丸太を目的に造材して，安価な部分を捨て，毎サイクルの丸太重量を最大積載量に近づけることが重要であると考えられた．

[キーワード]

アカマツ，収益，造材，搬出，ヘリコプター

1. はじめに

急傾斜地の多い太田川流域中部においては標高の高い地域にも松枯れの被害が及んでいる．高齢のアカマツ林から産出される丸太は市場での価値は高いが，緊急に生産しなければ近い将来，被害を受けて枯損する恐れがある．このようなアカマツ林を対象にヘリコプターを利用して丸太の搬出が行われ，その実施状況を調査することができたので，その概要を示した．

また，ヘリコプターを利用して丸太生産を行うためにはどのような情報が必要であり，その情報によってどのような検討を行うべきであるかを知るために，丸太搬出事業と並行して模擬的に搬出計画を立て，搬出事業調査結果と対照した．

この丸太搬出計画は収益の増大を目的とし，収益は次の式により算出されるものとした．

$$\text{収益} = \text{丸太販売額} - \text{丸太生産費}$$

$$\text{丸太販売額} = \text{販売単価} \times \text{材積}$$

$$\text{丸太生産費} = \text{生産単価} \times \text{材積}$$

これらの式から，次のように具体的な目的が導かれる．

・収益を増大させるために，丸太販売額を増加させ，丸太生産費を低減させる．

・丸太販売額を増加させるために，販売単価の高い丸太を生産し生産材積を増加させる．

・丸太生産費を低減させるために，生産方法を選び，作業の効率を上げ，生産材積を減少させる．

また，販売単価は材積の内容により，生産単価も材積の内容によって変動し，生産材積の増減は丸太販売額と丸太生産費のそれぞれを介して収益を増減させる．材積の内容としては，販売に当たって丸太の材長や末口径により販売単価が異なり，生産に当たって丸太の造材本数や1本当たり重量により生産単価が異なることが等が問題になると予想された．

以上の関係から，各式のすべての項に材積の内容が関わることとなる．言い換えると，丸太搬出計画の検討は収益を決める丸太販売計画と丸太生産計画について「材積」として数値に表される造材の内容を具体的に決める指針を求めることが主題である．

2. 材料と方法

2.1 材 料

次のようなヘリコプターによるアカマツ材の搬出事業を材料とする．

(1) 搬出日：平成10年10月24～26日

(2) 生産対象林分：広島県山県郡戸河内町内90～100年生アカマツ散生林5ha（写真1）

(3) 生産事業者：日新林業株式会社

- (4) 実施事業：アカマツ材丸太の搬出
- (5) ヘリコプター選択理由：マツ枯れ被害が予想され、作業道や架線集材の利用が困難な地形にある高齢（大径木）のアカマツ林から緊急に丸太を生産するため



写真1 搬出対象地

2.2 方法

まず、ヘリコプターによる丸太搬出事業の実施状況を調査した。

次に、搬出事業調査結果と既往の調査研究をもとに模擬的な計画をたて、搬出事業の妥当性を評価した。

また、事業実施結果の評価が低いもの、困難なもの、又は収益向上が可能なものについて新たな方法の導入等を検討した。

2.2.1 調査内容

調査内容は対象となる林分について立木の胸高直径・樹高、造材された丸太の材長・末口径・元口径、ヘリコプターによる搬出作業の種別と経過時間、ヘリコプター利用料・契約方法等の聞き取り及び木材市場における材種別丸太販売価格である。

2.2.2 計画検討資料

計画検討資料は現地調査によって得られた測定資料と森林所有者に提示可能と思われる次のような情報とした。

2.2.2.1 造材計画資料

搬出の対象となる立木の計測値（樹高、胸高直径）から、造材後の丸太の材長又は胸高直径を推定した。推定には次の2方式を用いた。

①簡易推定

アカマツの樹幹は樹幹頂点からの距離と断面積が比例すると仮定し、次により末口径を近似した。また、この関係式から材長を推定した。

$$\text{末口径} = \text{胸高直径} \sqrt{1 - \text{材長} / \text{樹高}}$$

②細り式推定

県内で使用されている次の細り式により末口径又は材長を推定した。なお、式中において、末口径及び胸高直径の単位はcm、樹高及び材長の単位はmである。

$$\text{末口径} = 2.2897 (\text{樹高} - \text{材長})^{0.7575} \text{胸高直径}^{1.06413} \text{樹高}^{-1.0939}$$

なお、現実の立木と丸太の計測については、予備的な調査から予測の精度を高める必要があると思われたので立木の胸高直径は1cm括約、丸太の材長は0.1m単位、丸太の径は端数切り捨て1cm単位で末口及び元口について皮付きで計測した。

2.2.2.2 丸太材積推定資料

造材された丸太の計測値をもとに丸太の重量を推定し、空輸が可能であることの予測を行った。このための推定式を求めた。重量は次式で求めた。

$$\text{丸太重量} = \text{丸太の材積} \times \text{丸太の比重}$$

また、丸太の材積の算出方式は次の4方式を比較した。

なお、式中において材積の単位はcm、材長及び材長'の単位はm、末口径、元口径及び胸高直径の単位はcmである。

①JAS方式（材長はJASの規格にかかわらず0.1m単位で計算した）

$$6 \text{ m未満} \quad \text{材積} = \text{材長} \times \text{末口径}^2$$

$$6 \text{ m以上} \quad \text{材積} = \text{材長} \times (\text{末口径} + (\text{材長}' - 4) / 2)^2$$

ただし「材長'」は長さのm単位による数値で1に満たない端数を切り捨てたもの

②岐阜方式 丸太を円錐台とみなして次式で計算した¹⁾

$$\text{材積} = \text{材長} \times (\text{末口径}^2 + \text{末口径} \times \text{元口径} + \text{元口径}^2) \times 0.262$$

③2点方式 樹幹頂点からの距離と断面積が比例するとみなして次式で計算した

$$\text{材積} = \text{材長} \times (\text{末口径}^2 + \text{元口径}^2) \times 0.4$$

④3点方式 大径木の根元径が特に大である特徴を補正するため、立木調査時に得た地上高1.2mの胸高位置の径を転用して次式で計算した、これは丸太を胸高位置で2分割し2本に別れた丸太に2点方式を用いたことに当たる。

$$\text{材積} = ((\text{材長} - 1) \times (\text{末口径}^2 + \text{胸高直径}^2) + 1 \times (\text{胸高直径}^2 + \text{元口径}^2)) \times 0.4$$

2.2.2.3収支計画検討資料

丸太の販売価格の推定を行う。このため造材丸太の材積及び規格の推定値又は調査値とともに規格別単価を求めた。

また、ヘリコプター利用に要する経費を時間当たり標準単価によって概算した。

末口径（皮付き）；平均40／範囲25～64cm
元口径（皮付き）；平均60／範囲38～85cm
丸太材積；平均1.6m³／範囲0.4～3.1m³

3. 結果と考察

3.1 丸太搬出事業の概要

3.1.1 丸太生産全体

事業主体が行った丸太生産は次のようであった。

3.1.1.1 林分調査作業

林分周辺状況調査，ヘリポート・荷降ろし場候補地選定，伐採対象立木選木，No打ち，造材指示表作成。

造材指示表には，立木番号，胸高直径，丸太の材長，留意事項を記載。

当センター調査値は，次のとおり

伐採対象立木；145本，推定材積390m³

うち試料とした127本について

樹高；平均26m／範囲18～33m

胸高直径；平均58cm／範囲39～74

立木材積；平均2.7m³／範囲1.0～4.9m³

3.1.1.2 選木補正

目標とする総材積となるよう追加選木，No打ち，造材指示表作成。

なお，目的とする総材積という言葉は事業者から聞き取ったが，その数値は聞き取ることができなかった。

3.1.1.3 伐倒・造材

造材指示表により伐倒，造材。

当センター調査値は次のとおり。

搬出対象丸太；アカマツ丸太148本

丸太の総材積；235m³（皮厚3cmとしてJASの素材の方法で算出）

丸太の材長；平均10.1m／範囲3.5～18m

3.1.1.4 ヘリコプター会社と調整

ヘリコプター運行計画を林分調査，選木と並行して検討し，決定。

・使用機種；SA330J

最大積載量；2トン 全長；18.2m

・搬出距離；直線距離1,500m

・周辺の地形；対象林分と荷降ろし場兼ヘリポート周辺の地形は図-1のとおり

3.1.1.5 ヘリコプターによる丸太の搬出実施

平成10年10月24日～26日の3日間（実質2日間）搬出を実施。

搬出日の気象概況は表-1のとおり。

3.1.1.6 素材市場へ運送

搬出実施と同じ3日間に，待機する20tトレーラートラックへの積載終了ごとに運送

3.1.2 ヘリコプターによる丸太搬出作業

ヘリコプターによる丸太の搬出は次のように行われた。丸太の搬出は143回，延べ13時間11分（実飛行時間10時間48分）を要した。

3.1.2.1 作業開始前

ヘリコプター到着，整備，給油，確認飛行

3.1.2.2 搬出作業

空荷飛行，荷掛け，空輸，荷降ろしの4つの作業を1

表-1 搬出日の気象概況

区分	24日(晴)	25日(快晴)	26日(曇り)	平均	単位	観測地
平均気温	14.9	14.2	12.2	13.8	℃	加計
平均風速	0.8	0.8	0.5	0.7	m/秒	加計
最大風速	2	2	1	1.7	m/秒	加計
最多風向	北北西	南	北北東			加計
降水量	0	0	0	0	mm	加計
日照時間	7.4	8	0	5.1	時間/日	加計
平均気圧	1,013.0	1,014.1	1,014.2	1,013.0	hPa	広島

(注) 広島地方気象台(1998) 広島県気象月報より

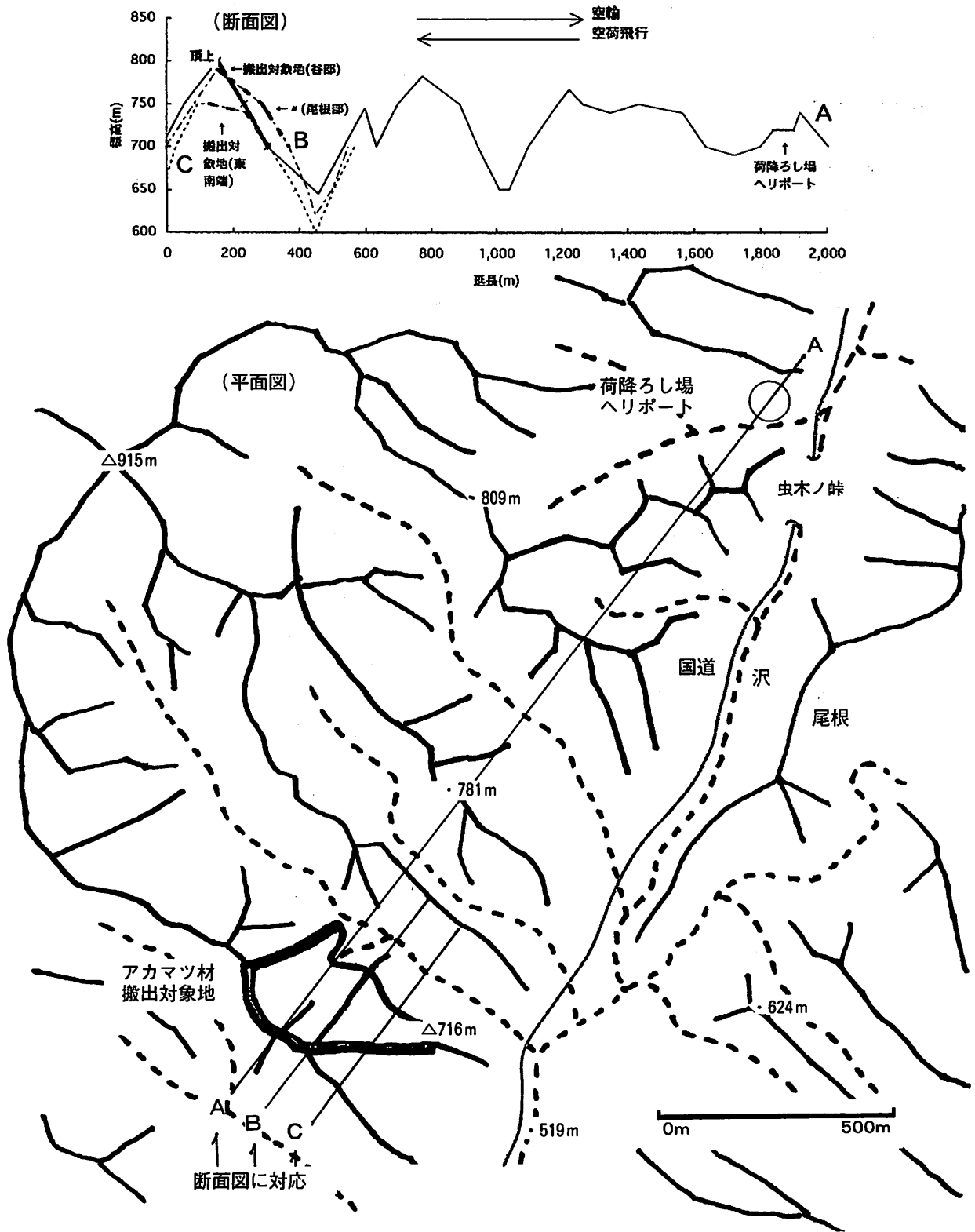


図-1 周辺の地形

サイクルとして実施された。

作業人員は9名、内訳は次のとおり。

- ・ヘリコプター機上 2名(パイロット1名, ナビゲーター1名)
- ・ヘリポート作業 2名(給油, 整備, 荷降ろし)
- ・グラップルオペレーター 1名(材移動, 荷降ろし空間確保, トラックへ積み込み)
- ・搬出対象地作業 4名(荷掛け, 無線連絡, 安全確認, 足場確保等)

1サイクル所用時間は平均4分28秒/範囲(2分51秒~8分32秒), 内訳は次のとおり。

・空荷飛行: 荷降ろし場から搬出対象丸太上空へ移動(水平方向の移動終了まで)

所用時間; 平均1分22秒/範囲(1分0秒~2分31秒)

・荷掛け(写真2): 吊り下げロープを降下させ, 先端に丸太を掛けて発進(水平方向の移動開始まで)

所用時間; 平均1分22秒/範囲(26秒~4分41秒)

・空輸(写真3): 丸太を荷降ろし場上空まで空輸(丸太接地まで)

所用時間; 平均1分33秒/範囲(28秒~2分18秒)

・荷降ろし: 丸太にかけていたスリングロープを吊り下げロープから外す(水平方向の移動開始まで)

所用時間; 平均11秒/範囲(3秒~1分0秒)



写真2 荷掛け作業



写真3 空輸作業

3.1.2.3 給油

搬出作業中に14回実施された。ヘリポートにおける給油時間と作業を行っていた時間に相当する給油間隔は次のとおりであった。なお、給油時間は昼休憩時間を兼ねた1回を除く13回についての値である。

給油時間; 平均7分0秒/範囲(3分58秒~8分48秒)

給油間隔; 平均39分0秒/範囲(13分23秒~1時間32分2秒)

3.1.2.4 グラップル作業(写真4)

グラップル作業については4分割し、主として搬出1日目の所用時間を測定した。4分割とは、待機位置から荷降ろし位置への移動、丸太持ち上げからトラック積み込み、積み込み終了から待機位置への移動、待機である。このうち0秒になる場合もあった「待機」を除く3つの部分の時間を1サイクル時間としている。また、丸太持ち上げからトラック積み込み作業時間の中には、通常は行われない丸太計測調査の時間が含まれている。

調査結果としては、3つの基本的な作業が連続して行われた31件について平均2分41秒を1サイクルとした作業時間が得られた。この作業時間から丸太計測に要した時間を控除した時間を1サイクル実質所用時間と呼ぶ。実質所用時間は29件について得られ、次のとおりであった。実質所用時間; 平均2分25秒/範囲(1分19秒~3分50秒)

所用時間がばらついた理由は、グラップルが3回に1

回は丸太を持つ位置や方向を変えたことと、丸太を持ち上げて一時停止し丸太にかかっているスリングワイヤーの取り外しを容易にしたことが直接的なものである。ただし、グラブは基本作業のためには十分な時間の余裕があり、次の丸太が降ろされるまでの余裕時間に、すでにトラックの荷台にある丸太の位置や方向を変えて調整し、あるいは長材と短材を土場で積み分け、あるいは市場価格を考慮した採材等の補助作業に利用された。なお、上記の所用時間計測中は丸太を直接トラックに積みこんだ場合がほとんどであったが、その後荷降ろし場からトラックでなく土場に積む場合が生じた。この場合、荷降ろし位置から土場の丸太積み位置へ丸太を移動する時間は、基本作業のトラック積み込みより所用時間が短いと思われた。

3.1.3 搬出作業時間のばらつき

作業時間のばらつきの要因と思われるものを次に示した。要因は1～数回生じた事例、又は全調査値についての関係である。



写真4 グラブとトレーラートラック

3.1.3.1 空荷飛行（1分31秒のばらつき幅）

・連続した作業場所への到達は容易であったが、一部離れた作業場所についてはその位置の搜索に時間を要した。

3.1.3.2 荷掛け（4分15秒のばらつき幅）

4つの作業のうちこの作業のばらつき幅が図-2のとおり最も大きかった。

・速い速度で飛ぶと吊り下げたロープが後方にながれ、急な停止をしたために反動でロープが大きくゆれて木にからんだ

・スリングロープを降ろすときに立木の枝が支障となり、1度上昇した後再降下した

・1度に2本吊ったが上昇できず、1本を外して搬出した

・重過ぎて吊り上げ不能の材があった

・搬出対象木の上に他の丸太が乗っており吊り上げてもずり落ちないので、吊り上げる丸太の順をかえた

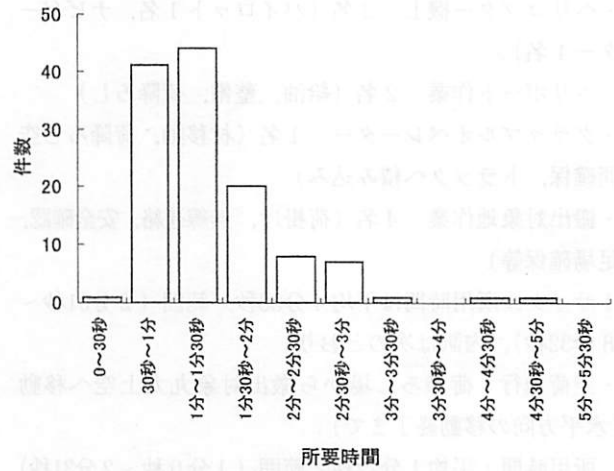


図-2 荷掛け時間のばらつき

また、荷掛け時間と丸太重量との関係は図-3のとおり重量が2トンを超えると最低の所用時間が徐々に多くなるが、重量が小さい場合にも荷掛け時間が長い場合があり一定の傾向は認められなかった。

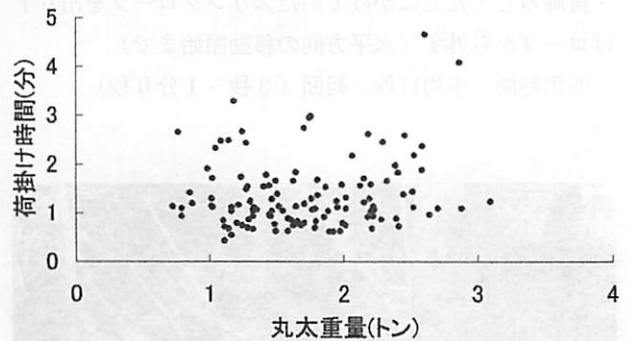


図-3 丸太重量と荷掛け時間の関係

3.1.3.3 空輸（1分50秒のばらつき幅）

空輸する丸太の重量と空輸時間の関係は図-4のとおりであった。図から読み取ると、丸太重量と空輸時間には弱い正の関係はあるが明瞭とはいえなかった。図から読み取ると空輸重量が重い場合には空輸時間は短くならないといえる。

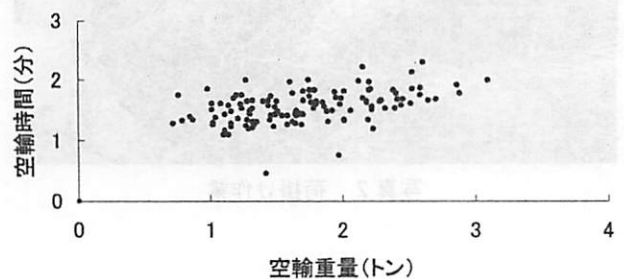


図-4 空輸重量と空輸時間の関係

3.1.3.4 荷降ろし (57秒のばらつき幅)

・吊り下げロープの先端につけていた電動の自動フックが故障し、吊り下げるスリングロープを手で外すことになった。このため荷降ろし時間が伸びることとなった。

3.1.3.5 給油 (4分50秒のばらつき幅)

重い材を運ぶ目的で機体を軽くしようと給油量を少くしたために、給油時間は短くなったが次の給油までの間隔が短くなった。

3.1.4 ヘリコプターによる搬出経費

ヘリコプターによる材の搬出経費はヘリコプター会社への委託料と搬出対象地の荷掛け作業のみと仮定し、委託料を時間当たりの標準料金によって概算すると次のようになった。丸太235m³を搬出するために1472万円を要した計算になるので、1m³当たりになると6万3千円の搬出費と計算された。

なお、作業員は4人のうち1名が会社負担であったので3名の負担とした。また、委託費用の積算のうち大空輸について以下の試算には、ヘリコプター会社が同じ機体で行った他地区の木材搬出経費が含まれている。他県からの機体空輸に要した大空輸費は単独で負担するものと仮定したが、現実には他地区も大空輸費の一部を負担することになるので、材料とした事業ではこれ以下の額で精算されたと思われる。聞き取りから費用はこれ以上高くならなかったことは裏付けられた。

荷掛け作業	3人×3日×2万円/人日= 18万円 (1%)
搬出作業	10.8時間×115万円/時間=1242万円 (84%)
大空輸	2時間×106万円/時間= 212万円 (15%)
計	1472万円 (100%)

3.1.5 丸太価格

アカマツ材が出荷された木材市場における丸太価格は、図-5のとおりであった。

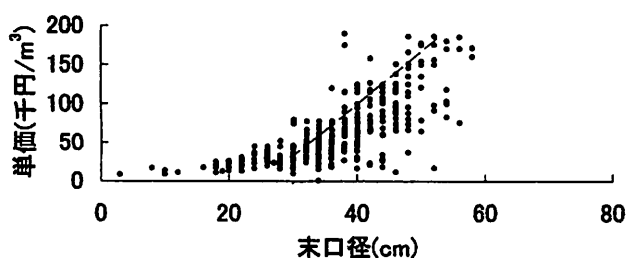


図-5 末口径別アカマツ材丸太価格
(材長3m以上、1998年11月)

末口径別の丸太価格と1m³当たり価格との明瞭な関係は図上からは求められなかった。そこで、単価の上限を図上から読み取ると、単価の上限は末口径30cmを超えると末口径により急上昇する場合があり、傾向として末口径が大きいくほど単価の上限は高くなっていた。末口径とこれにより変化する単価の概ねの上限線を図上に破線で示し、この関係を式に表すと次のとおりであった。

アカマツ材価格の上限:

$$\text{単価[千円/m}^3\text{]} = 100 \times (\text{末口径[cm]} - 25) / 15$$

材長が3m以下の材では末口径が大であっても単価の上限は8万円/m³であった。

3.2 調査結果と計画の対照

3.2.1 丸太販売計画

3.2.1.1 丸太販売単価

中国地方における聞き取りからヘリコプターによる木材生産費を1m³当たり2~5万円と仮定すると、丸太の販売価格は1m³当たり5万円以上が必要である。市場の丸太価格調査結果からみると、この単価を下回ることのない丸太の規格(材長、末口径)というものはなく、末口径30cm以上かつ材長3m以上で5万円以上の価格が多く観察された。このことから末口径30cm以上、材長3m以上の材の生産を計画することが適当であると考えられる。調査事例で搬出された丸太は、材長は3.5mが最小であり、148本のうち93%の丸太の末口径(皮付き)が30cm以上であったので、調査事例では適切な造材指針がとられたと評価できる。

3.2.1.2 造材長と末口径

現実に造材された丸太の末口径と同じ末口径が得られる材長を推定し、また造材された丸太の材長と同じ材長での末口径を推定した結果は図-6のとおりであった。簡易推定による材長の推定では平均して2m過大となり、末口径の推定も4過大となった。また、細り式による材長の推定は平均して1m過小、胸高直径の推定は1過小となった。2方式とも推定値と現実の値の乖離のばらつきが大きく、おおむね材長で10m、胸高直径で20程の範囲にあった。このように予測精度が良いとはいえないので、立木1本ごとの精密な計画を立てて計画どおりの造材を行うと大きな損失が生じると考えられる。造材業者には全体の目安と指針を示すに止め、現場作業は木材の規格と価格の関係を知る熟練者に任せることが適当と思われる。

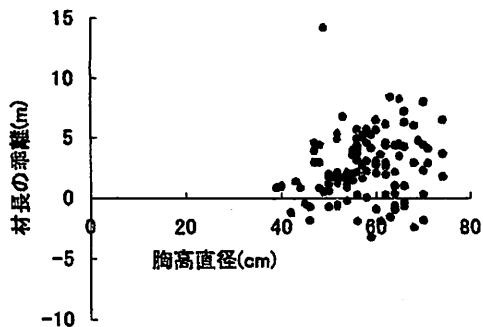


図-6-1 簡易推定により推定した丸太と造材された丸太との材長の乖離 (造材丸太の末口径で推定)

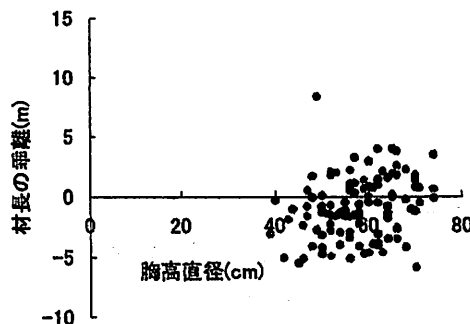


図-6-3 細り式により推定した丸太と造材された丸太との材長の乖離 (造材丸太の末口径で推定)

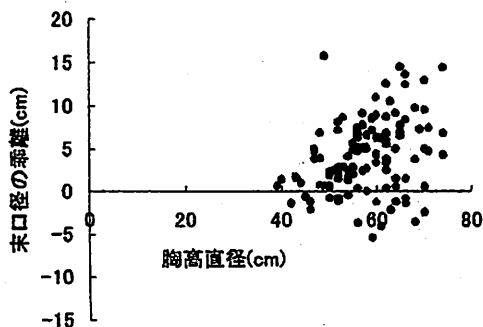


図-6-2 簡易推定により推定した丸太と造材された丸太との末口径の乖離 (造材丸太の材長で推定)

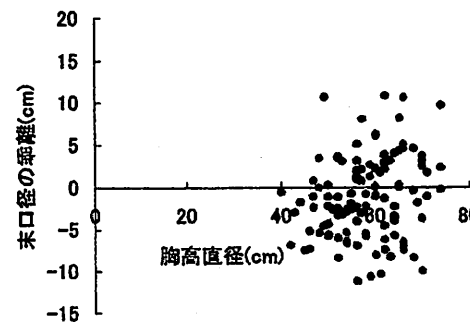


図-6-4 細り式により推定した丸太と造材された丸太との末口径の乖離 (造材丸太の材長で推定)

図-6 材長と末口径についての推定値と現実の造材丸太との乖離

3.2.1.3 造材計画

調査対象林分が全て平均木の大きさであると仮定して試算すると表-2のとおりであった。調査結果と比べて末口径で15%、材積で約30%過大計算となる。この値をそのまま用いる場合にはこの過大部分を補正する必要がある。試算では木材市場において72千円/m³で丸太が販売され、採材歩止まりが62%であることなどから換算すると45千円/m³で立木が販売されることに相当した。表-2の推定方法は推定値が過大となる問題点はあるが、計算式が簡単である利点があり、採材歩止まりの値も調査値に近いので、この式を用いて過大推定の問題は樹皮の厚さが厚いものとして補正し、調査事例の数値に近づけて材積や単価が増減する関係を求めた。

また、表-2の条件のうち採材長を4mから15mまで変化させてそれぞれ表-2と同様の試算を行い、木材生産事業者にとって重要な丸太販売単価と森林所有者にとって重要な立木販売単価の変化をみると図-7のとおりであった。

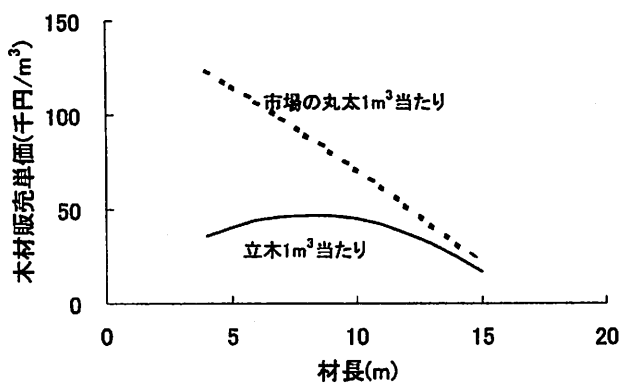


図-7 立木の造材長による木材販売単価の試算

表-2 丸太販売計画

区 分	試算値	試 算 方 法	
(試算前提)	樹高 胸高直径 本数 単木材積 立木材積	26m 58cm 148本 3.5m ³ /本 518m ³	現況調査結果平均値 現況調査結果平均値 現況調査結果 =樹高×胸高直径 ² ×0.4 =単木材積×本数
(試算条件)	材長	10m	仮定
(試算結果)	末口径 元口径 丸太材積 総丸太材積 採材歩止まり	46cm 58cm 2.2m ³ 322m ³ 62%	=樹高×(1-材長/樹高) ^{0.5} =胸高直径 =樹高×(末口径 ² +元口径 ²)×0.4 =丸太材積×本数 =100×総丸太材積/立木材積
(市場規格試算)	皮厚 丸太材積(JAS) a 丸太販売単価 販売額	5 284m ³ 30 72千円/m ³ 23百万円	仮定 JAS方式, 端数処理はしていない 仮定 =100×(末口径-皮厚-a)/15 =丸太販売単価×丸太材積(JAS)
(立木換算)	立木換算単価	45千円/m ³	=販売額/立木材積

樹高26mの立木からの採材長を4mから徐々に伸ばして試算すると、末口径は小さくなるので市場で販売する丸太の単価は次第に低下した。しかし、立木からの採材長は長くなるので採材歩止まりが高まり、ひいては販売される丸太全体の材積と金額が多くなった。更に採材長を伸ばすと、市場での単価が低下して、販売した材積は多いが1m³当たりになると、市場だけではなく立木について計算しても販売単価は低いものになった。試算の条件の下で立木に換算した販売高を最大にする材長は図から7~10mであるといえる。実際には長大材は2分するなど適宜有利な採材が行われるので長い材長では図-7より高い額となることは考えられる。

このように考えると調査地の平均木は短い造材より7m以上の造材が有利であったといえる。調査事例で搬出された丸太は、148本のうち91%の丸太の材長が7m以上であったことから、適切な造材がなされていたと評価できる。なお、根曲がり等立木下部に欠点がある場合は短い元玉を林地に切り残すことになるので別途検討が必要である。

3.2.1.4 造材の制約

以上から導かれた調査事例林分の立木の造材指針は末口径30cm以上かつ材長7m以上という下限値を示すものであった。生産に携わった丸太販売関係者からの聞き取

りによれば末口径と材長の上限は、それぞれ単独では制約とは考えられていないようであった。事例の丸太で最も長い材長が18mと十分に長いことはこの推測を裏付けている。

しかし、ヘリコプターの最大積載量を大きく超えた重量の材は空輸することができない。このような材は空輸を断念するか、空輸するために重量軽減の措置として切断作業を要する。1本の丸太あるいは丸太搬出作業の中断又は延期に係る時間の損失が生じる。このため最大積載量を基準にして丸太重量が重過ぎないということを搬出作業開始までに推定する必要がある。

搬出された丸太重量と丸太の材長、末口径、元口径及び立木調査時の胸高直径をもとに算出した材積との関係は図-8のとおりであった。図中に示した回帰線、その数式及び回帰の寄与率(R-2乗値)はExcel2000によるものである。既述の4つの材積計算方法についてこの回帰の寄与率をみると丸太の重量はJAS方式(材長は0.1m単位)によって算出した材積と最も関係が弱く、3点法により計算した材積と最も関係が強かった。岐阜方式と2点方式はその中間であった。

ここでアカマツの比重を0.8トン/m³とし、最も関係が強い3点方式で得た材積を用いて次式により丸太重量を推定したと仮定し、安全のため0.2トンの余裕を加えて丸太重量の上限を推定した。この上限の重量推定値を

図-8-4に破線で示した。

$$\text{推定重量[トン]} = 0.8 \times 3 \text{点推定材積[m}^3\text{]} + 0.2$$

材料とした搬出事業では、この上限の推定重量を超える重量の丸太は全体の9%であった。更に図に関係線は示していないが0.2トンにかえて0.4トンの余裕を加えた場合には、上限の推定重量を超える重量の丸太は全体の1%となった。

以上のような精度があれば丸太重量が搬出可能であることを推定するために実用に供することができると思われた。更に、今後ともヘリコプターで搬出した荷重のデータは容易に得ることができるので、ヒノキやスギといった樹種により、また地域により異なる式の係数を求めて推定の精度を高め、ヘリコプターの最大積載量に近い造材を更に容易にすることができると思われた。

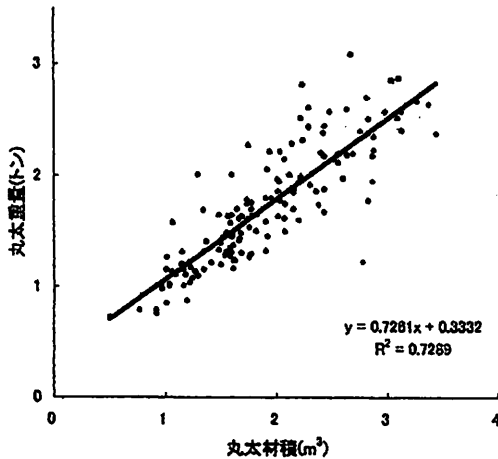


図-8-1 丸太重量とJASによる計算材積の関係

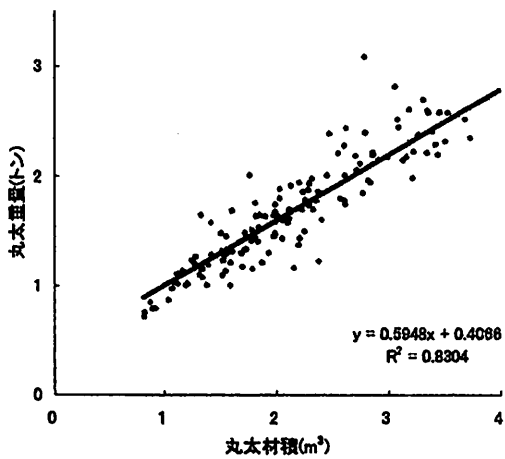


図-8-3 丸太重量と2点法による計算材積の関係

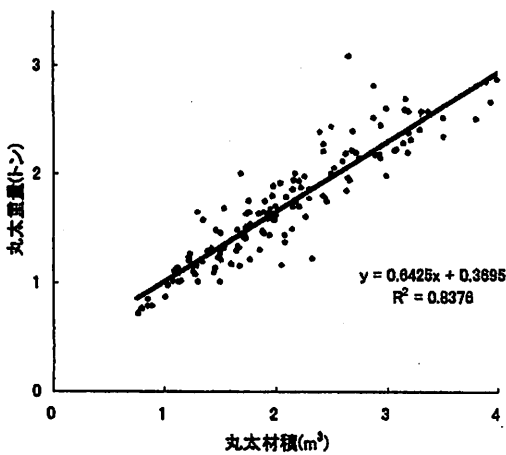


図-8-2 丸太重量と枚数方式による計算材積の関係

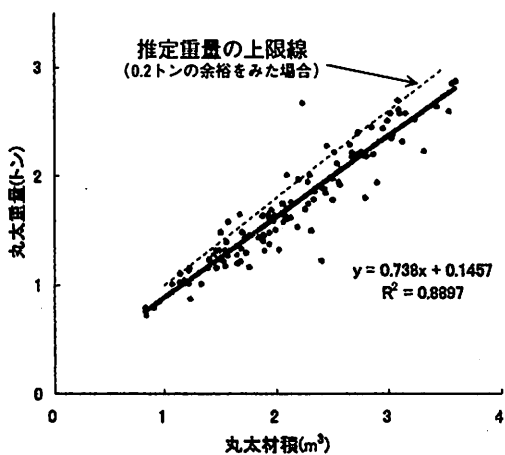


図-8-4 丸太重量と3点法による計算材積の関係

図-8 丸太の重量と各種の計算方法による丸太材積との関係

3.2.2 丸太生産計画

3.2.2.1 搬出方法

丸太を林外へ搬出する一般的な方法である架線集材による場合とヘリコプターを使用した場合を比較した試算例¹⁾によると、集材する1か所当たりの丸太の量について、量が少なればヘリコプター集材が有利であるとされる。この境界は150~250m²とされる²⁾。これはヘリコプター利用では固定経費が低く、運転コストが高いことによる。集材機では固定経費が高く運転コストは低い。今回の調査事例は境界値の範囲内にあつて、作業道の作設が困難な地形であり、部分的には間伐材の搬出に類似した条件下にあり、架線作業は困難である。また、架線の架設を想定すると2回以上の架設となるので、1か所当たりの集材量がより大量であってもヘリコプター集材が有利になると考えられ、ヘリコプターを利用したことは適当と評価できる。

3.2.2.2 ヘリコプターの機種

作業工程に影響を及ぼす因子についての既往の研究³⁾では、ヘリコプター集材作業ではヘリコプターの機種が最も大きい影響を及ぼしており、ついで集材木の樹種、集材木1本当たりの平均立木材積、1集材サイクル当たり平均集材量等が続いている。

今回の調査からは1つの機種、1つの樹種についての結果が得られた。そのなかで作業工程を上げるためにはばらつきの大きい荷掛け時間の短縮が課題と考えられた。そこで丸太重量と荷掛け時間の関係を作図したが、明瞭な傾向はみられなかった。また、空輸には距離に応じた空輸時間が必要であり、主伐の場合に要する時間を下限として間伐の場合には所用時間にばらつきが多いとされる³⁾。そこで同じ作業対象について、作業中の飛行速度や作業に要する時間に差はないと仮定すると丸太の搬出に要する単価は次のとおりである。

搬出単価[万円/トン]=1サイクル時間[時間]×作業料金[万円/時間]/積載量[トン]

積載量を最大積載量とみなし、基準料金単価で1サイクル時間を4分、木材1m³を0.8トンと仮定した計算例を示すと次のとおり。ただし大空輸費は含んでいない。計算結果からは最大積載量が大である機種を利用するほど搬出単価は低下し、計算上は有利となった。

AS332L : 21千円/m³

最大積載量3.5トン、作業料金135万円/時間

SA330J : 31千円/m³

最大積載量2トン、作業料金115万円/時間

204B-II : 37千円/m³

最大積載量1トン、作業料金70万円/時間

この結果から、調査事例で用いた2トン積の機種は、最大積載量がより小さい機種よりは低コストで利用されたと評価できる。更に最大積載量の大きい3.5トン積の機種が近距離にあり使用可能であれば1度に2本の丸太を空輸して、より低コストで丸太の搬出が行えたと考えられた。

3.2.2.3 地上作業

しかし、使用したSA330Jの事例では現実の積載量は平均して最大積載量の85%に当たる1.7トンであった。上記の例に準じて計算すると36千円/m³に当たる。この単価は最大積載量をもとに計算した値より5千円/m³高い単価となった。経営上は最大積載量ではなく現実の積載量が問題である。現実の積載量は熟練や地形、気象といった条件によって異なる⁴⁾。計画の作成に当たっては現実の積載量を推定する必要がある。

また、現場の技術には丸太の1本1本をどのように造材するのかという問題と、造材した近傍の丸太をどのように組み合わせるのかという相互に関連した問題がある。実際に使用される最大積載量の異なる機種別、樹種別等について更に検討が必要と思われる。調査事例では143回の空輸のうち97%は1本の丸太を吊っていた。1本の丸太を単位に生産を行うという計画が当初からあったと仮定すると、造材時にも荷掛け時にも作業指針が明確であり、最大積載量と現実の積載量との差と作業時間の無駄は小さく抑えられたものと思われる。ここから逆に、丸太1本当たりの平均重量に近い最大積載量であった調査事例の機種の選定は適切であったと評価できる。

また、ヘリコプター利用作業に熟練しない初期に積載量が50%の1トンであると仮定すると62千円/m³、75%の1.5トンと仮定すれば41千円/m³のコストとなった。この仮定から出発すると今回の調査例程度に熟練することによりそれぞれ31千円/m³、10千円/m³の低減が行えることになる。この仮定の試算によると熟練しない時期ほどヘリコプターによる搬出単価は急激に高くなり、その高い生産単価に見合った販売単価となることが期待できる丸太は限られる。このような場合の造材指針は立木のうちの低価格の部分を多く林地に残すことである。新たな方法を取り始めたばかりの作業者にとっては抵抗感が強く、指針の実現は容易でないとされた。経営者にとってはヘリコプター導入初期の赤字要因になる恐れがあると思われる。

3.2.2.4 搬出材総量

ヘリコプター使用料を時間当たり単価とすると、作業料金以外にヘリコプターが常駐する大阪等の基地からの機体空輸費を要する。1㎡当たりの搬出単価は次のようであった。

$$1\text{㎡当たり搬出費}[\text{万円}/\text{㎡}] = \frac{\text{機体空輸費}[\text{万円}] + \text{作業単価}[\text{万円}/\text{㎡}] \times \text{搬出総材積}[\text{㎡}]}{\text{搬出総材積}[\text{㎡}]}$$

ヘリコプターの機体の空輸費は空輸費[万円]=空輸単価[万円/㎡]×搬出総材積[㎡]となり基地が近いほど安価になる。また、上式によれば1往復の機体空輸費について搬出する材の総量が多くなるほど1㎡当たりの搬出費は小額で済むことになる。SA330Jの機体が30㎡/時間の効率で搬出すると仮定し、搬出総材積をかえ標準作業料金を用いて試算すると図-9のとおりとなった。機体空輸費が0円であれば搬出費は38千円/㎡である。機体空輸を行うに当たって仮に搬出単価が4万円/㎡を目標として、これ以下となる搬出総材積は、大阪等の遠方から片道2時間の距離の機体空輸では2,600㎡、片道1時間では1,300㎡、県内基地等近距離であって片道30分であれば650㎡となった。また、それぞれの機体空輸時間をかけた場合に200㎡の搬出を行うと仮定すると、60千円/㎡、49千円/㎡、44千円/㎡の搬出単価となった。この試算から1機の機体で搬出する材の総量は1,000㎡以上程度を確保し、県内か隣県に機体の常駐が可能となるよう地域として生産量を増加させ、継続したヘリコプター利用を行うことが個別の搬出事業における経費低減につながると思われた。今後、木材搬出以外の利用も含め、地元として利用度を高める努力が必要であろう。

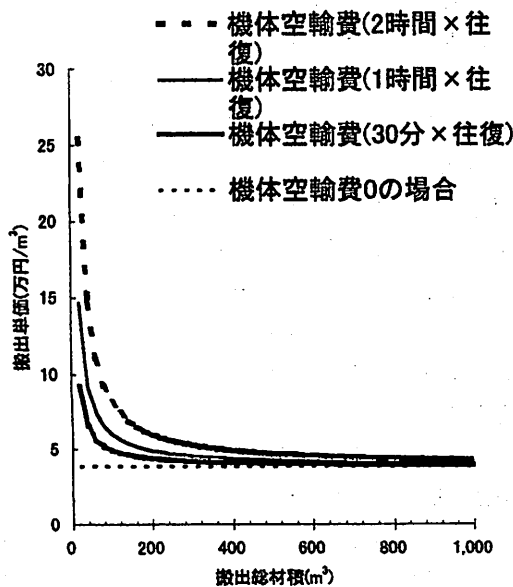


図-9 搬出総材積による搬出単価 (SA330Jの効率を30㎡/時間と仮定し標準料金で試算)

3.3 計画実施上の問題

3.3.1 ヘリコプター利用契約

前項の試算は森林所有者とヘリコプター会社間の通常の役割分担による時間単価での標準作業料金によるものであった。関係者からの聞き取りによると、実際に行われる木材の搬出契約は、森林所有者の熟練度や役割分担、ヘリコプター会社側の季節による繁忙や機体の遣り繰りの難易によって実質的な契約単価は異なる。

実際に行われる契約方法を聞き取ったところ3つの契約方法があった。ヘリコプター利用例が国内で最も多い奈良県吉野地方において空輸した「材の1㎡当たり単価」、中国地方においてヘリコプターが材を空輸した「1往復当たり単価」、国有林等において空輸した「飛行時間当たり単価」によって精算するという方法である。

ヘリコプター利用の経験が少ない森林所有者にとって理解しやすい契約は、1㎡当たり単価、1往復当たり単価、飛行時間当たり単価の順であると考えられる。この順で造材、搬出作業を行うに当たってたてるべき方針が少なく、明確である。

1㎡当たり単価で契約した場合には、ヘリコプターによる搬出費を含めた木材生産・販売経費全体から算出される1㎡当たり丸太生産に要する単価を超える1㎡当たりの販売単価が期待できる丸太のみを造材し、搬出するという方針を立てることが妥当と考えられた。

また、1往復当たり単価で契約した場合には、更に1回の荷掛けで最大積載量に極力近い量の丸太を搬出することが求められる。1本の丸太は無駄な部分を少なく極力軽くし、近接する丸太を組み合わせて求める重量に近づけるという伐採造材方針が妥当と考えられた。

飛行時間当たり単価では、更に1往復に要する時間を短縮するために荷掛け作業が素早く行える現場の準備が重要と考えられた。現場作業監督者からの聞き取りからもこれは裏付けられた。また、ヘリポートの選択が可能であれば、荷掛け場と荷降ろし場の距離により飛行時間の下限が定まるので、極力近距離の荷降ろし場・ヘリポートを使用する必要があると考えられた。更に、遠距離からの機体空輸費の低減も考慮する必要がある。

一方、ヘリコプター会社にとっては森林所有者とは逆に、飛行時間当たり単価が会社の支出を最も反映した積算方法であると考えられた。1往復当たり単価は重量物を運ぶパイロットにとっては技能を生かす方式ではあるが、逆に墜落の危険負担があり、会社にとっては無駄時間のコストを負担する恐れがある。1㎡当たり単価は、更に丸太の材積計算方式によって算定されない材積分を運ぶことになるという不満が聞かれた。後述するように

搬出する丸太の材積 m^3 の算出には問題がある。

森林所有者は丸太の量をできるだけ搬出した、パイロットは最大積載量以下の安全な重量の丸太を運びたい、ヘリコプター会社は人員と機体を有効に利用するため作業時間を短くしたいというそれぞれの課題を持っていた。森林所有者側としてはヘリコプター利用初期には計画や精算が容易な $1m^3$ 当たり単価や1往復当たり単価によるものが容易であると思われた。また、ヘリコプター会社側にとっては、飛行時間当たり単価が容易に積算可能な方式、すなわち実際に要する費用に近い方式であった。すなわち、この方式が会社側の危険負担を最も小さくするものであるから、契約交渉において最も安い単価として契約をまとめることができる方式であると考えられた。

3.3.2 ヘリポート整備

現在、広島県内の特定の林分からヘリコプターによる材の搬出を行おうとすると、電灯線、引込線、高圧線などの架線、木材運搬用索道など特に危険な障害物を避け、道路、家屋等の施設との関係に配慮して近傍のヘリポートや荷降ろし場を選定することになるとされている。

ヘリコプターによる丸太の搬出の1サイクル時間は、このヘリコプターと対象林分間の距離が短くなるほど短くなる。川崎バトルKV107Ⅱの調査例⁹⁾によると間伐より皆伐で所用時間が短く空輸距離3kmまでは次の関係が図から読み取れた。間伐ではサイクルタイムのばらつきが大きいとされる⁹⁾。

$$\text{サイクルタイム[分/回]} = 1 + 2 \times \text{空輸距離[km]}$$

試算を行うと、加計町の総面積にほぼ相当する $100km^2$ ($10,000ha$)の森林において、正方形の頂点に当たる位置に均一にヘリポート兼荷降ろし場を配置し1回に $2m^3$ 搬出すると仮定し、ヘリポートの配置数による空輸距離を次によるものとして上式を用いて標準作業料金を搬出単価を試算すると図-10のとおりとなった。

$$\text{空輸距離[km]} = (\sqrt{100 / \text{配置数[か所]}}) / 3$$

1か所のヘリポートで $100m^3$ の森林から木材を搬出すると7万円/ m^3 以上の搬出費となるが、3か所で5万円/ m^3 以下、5か所で4万円/ m^3 以下、10か所で3万円/ m^3 、38か所で2万円/ m^3 と配置数が増えるほど搬出単価は低下した。

材積の少ない広葉樹林を想定して $10,000ha$ の森林すべてから $100m^3/ha$ の材を搬出すると仮定して、ヘリポート計画数を1か所増加して軽減できる搬出費を試算すると図-11のとおりとなった。配置計画1か所から2か所に増加させると187億円、同様に3か所から4か所で49

億円、10か所から11か所で9億円、22か所から23か所で3億円、46か所から47か所で1億円を、計画ヘリポート数を変更して更に1か所増加させることによって丸太の搬出額を低減させることができた。つまり地域全体の収益の向上を考えると、1か所のヘリポート増設により丸太搬出費が低減される額を基準として、それ以下の額を増設するヘリポート1か所の配置と維持に投下するというヘリポート配置整備計画をたてるのが合理的である。更に現実的には、地形、地物や木材生産を行う地域であるかどうかを加味した計画を作成するべきであると思われた。

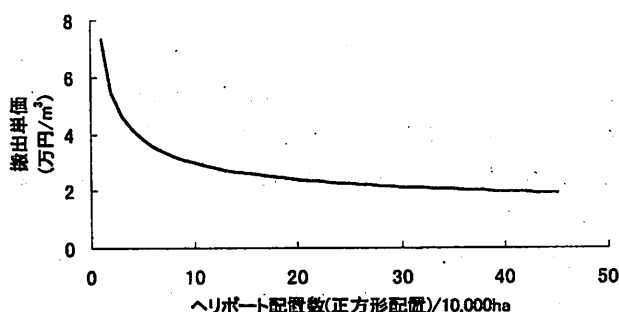


図-10 ヘリポート配置数による搬出単価試算 (SA330Jで $2m^3$ /搬出、皆伐、標準作業料金)

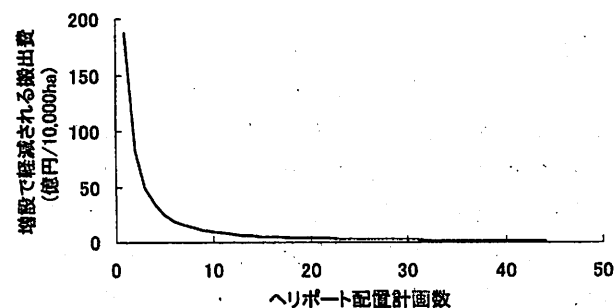


図-11 ヘリポート配置計画を更に1か所増加して軽減できる搬出費 (10,000haの森林から $100m^3/ha$ 搬出を仮定)

3.3.3 計測単位の統一

ヘリコプターによる木材の搬出は、森林所有者、木材の伐採、造材を行う素材生産業者とヘリコプター運行会社等複数の関係者が関わる。少なくともこの3者が関わる所要経費負担の交渉について聞き取り中に一部混乱がみられた。

調査した丸太の平均搬出重量は1.7トン、材積は重量との関係が強い3点方式を用いて樹皮付き末口径で計算すると $2.1m^3$ となり、樹皮の厚さを3cmと仮定してJAS方式で計算すると $1.6m^3$ となった。重量を材積で除して丸太の比重を計算すると、それぞれ $0.8t/m^3$ と $1.06t/$

m³である。木材は水に浮くので比重は1未満であるという常識から疑問だと感性的な声も聞かれた。

森林所有者は販売する立木の材積又は総金額が問題である。素材生産業者は丸太造材の作業量と販売する素材の材積が問題である。ヘリコプター運行会社は、搬出する重量が問題である。異なる事業者間の調整を円滑に行うために問題の数値間の換算率の標準値の明示や作業の境界における責任の所在を明確にすることが重要と思われた。

4. おわりに

奈良県のように古い林業地でなければ利用できないと思っていた高価なヘリコプターが、半世紀前まで薪炭林が広がっていた広島県でも普通の木材生産手段の一つとして利用された。この事例を幸運にも調査し、その概要を本論にまとめることができた。

また、調査から明らかになったヘリコプター利用の特徴をもとに、主として木材生産に携わる作業者と立木という財産の一部を販売して森林を経営する森林所有者の立場からヘリコプター利用計画の検討という形で今後の広島県内へのヘリコプター導入の可能性を示すことができた。

今後、ヘリコプター利用者側としては、まず調査事例のようにヘリコプターでなければ搬出が困難であるが、高い販売単価が期待できる丸太の生産について、材積単価や1往復単価による計画が容易な契約方式を検討し、現場作業や販売・精算の経験を積む。そして十分熟練した後は、ヘリコプター運行会社側にとって積算が容易な飛行時間当たり単価を導入して、契約単価の低減を図るという発展方向が考えられる。また、そうなれば事業全体に占める人件費の割合は低いので賃金単価を上げるなど林業従事者の処遇改善につなげることも容易であろう。更に、そのためには、両者の間に立って広い地域で丸太生産の仕事量をまとめ、ヘリコプター会社と価格交渉を行うことのできる木材生産事業の経営者が出現し、育つことが期待される。

最後に、調査から資料整理までご協力いただいた日新林業株式会社の加計正弘社長、広島県立大学の井原直幸助教授、当林業技術センターの兵藤博林業生産部長、涌嶋智研究員に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 岐阜県林業センター(1996)ヘリコプター集材マニュアル, 29pp.
- 2) 飛岡次郎(1988)数量化の方法によるヘリコプター集材作業の工期分析. 日林誌70(120). 433~440pp.
- 3) 田中良明(1998)林業技術ハンドブック「ヘリコプター集材作業」. 1281p. 日本林業技術協会, 東京.
- 4) 中日本航空株式会社(1998)ヘリコプターによる資材輸送のご案内, 27pp.

Evaluation of a Case of Helicopter Transportation System Applied for Pine Log Yield

TOKIMITSU, Hiroshi and IKEDA, Hiroyuki

Summary

In this paper we reported a case of helicopter transportation system applied for Japanese red pine yield in Hiroshima Prefecture, and evaluated that the case was done properly. A helicopter SA330J lifting 2t transported 148 logs (235m³) in 2 days net. A unit of the transportation work took 4 min. 28 sec. And the unit was divided 4 parts, which were free-flight, hanging-on, loading-flight and hanging-off. The most wide range of the working time of the parts was hanging-on, and the range was 4 min. 15 sec. The result said that a transportation time depends on its hanging time. And it was suggested that the troubles of hanging were depend on the number of over weight logs. Therefore it could be said that the good log making could develop the income. And a new estimate method of log weight was shown.

[Key words]

helicopter system, income, Japanese red pine, log making, transportation