

急峻山岳林におけるエアリアルロギング作業の適正化

伊藤 幸也*・仁多見俊夫**・小林 洋司**・岩岡 正博**
南方 康**・赤岩朋敏***・中山 勇***

Optimal Location of Landing Places in the Aerial Logging Operation at Mountainous Terrain

Koya Ito, Toshio NITAMI, Hiroshi KOBAYASHI, Masahiro IWAOKA,
Yasushi MINAMIKATA, Tomotoshi AKAIWA and Isamu NAKAYAMA

I はじめに

近年、急峻山岳林において森林環境を配慮しながら有用な大径広葉樹や天然針葉樹等を搬出するために、ヘリコプタを用いたエアリアルロギング作業が行われる場合が増加している。エアリアルロギング作業は、市場価値の高い材の搬出作業へ適用される場合が殆どであるが、単位時間当たりの作業コストは極めて高い。この作業コストを軽減するためには、ヘリコプタが集材土場と荷の吊り上げ地点を往復する際の飛行ルート、飛行時間・飛行時のエネルギー消費の観点から適正化することが重要である。本報告は、1987年12月に東京大学秩父演習林において行われた集材作業を想定したヘリコプタ試験飛行のデータをもとに、集材地点と土場位置および適切な飛行ルートに関して電算機によるフライトシミュレーションを行って適正な荷卸し土場の配置について検討したものである。

II 調査地の概要とヘリコプタの性能諸元

調査地の秩父演習林は、埼玉県の西秩父郡大滝村にあって、荒川の源流地域の一部を占める地形急峻の山岳林である。本報告の対象地区は、荒川流域右岸滝川谷下流部の第11林班から第20林班までの面積1498.25 ha (蓄積171667 m³)である。調査地の標高は700~1900 mにわたり、標高差が極めて大きく林道開設も容易ならざる地形であるが、群状に有用針・広葉樹が分散存立する林相であり、従ってこれらを有効に利用するためには将来の森林施業上エアリアルロギング作業が適用される可能性の高い流域である。その中で、ヘリポートおよび土場予定地としては、滝川の支流豆焼沢左岸に面したワサビ沢との合流点にヘリポートを、滝川の左岸で対象区域の中心部に高平土場、滝川と豆焼沢の合流点に滝川土場、滝川の最下流域で北端にあたる地点に滑沢土場の4箇所を予定した。

調査地の林相は、原生林の面積26% (蓄積51%)、択伐跡地18% (21%)、再生林41% (18%)、人工林13% (10%)、その他であり、天然林の比率の高い流域である³⁾。

* 東京大学農学部附属演習林研究部

Administration office of the University Forests, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

** 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

*** 東京大学農学部附属秩父演習林

University Forest at Chichibu, Faculty of Agriculture, University of Tokyo.

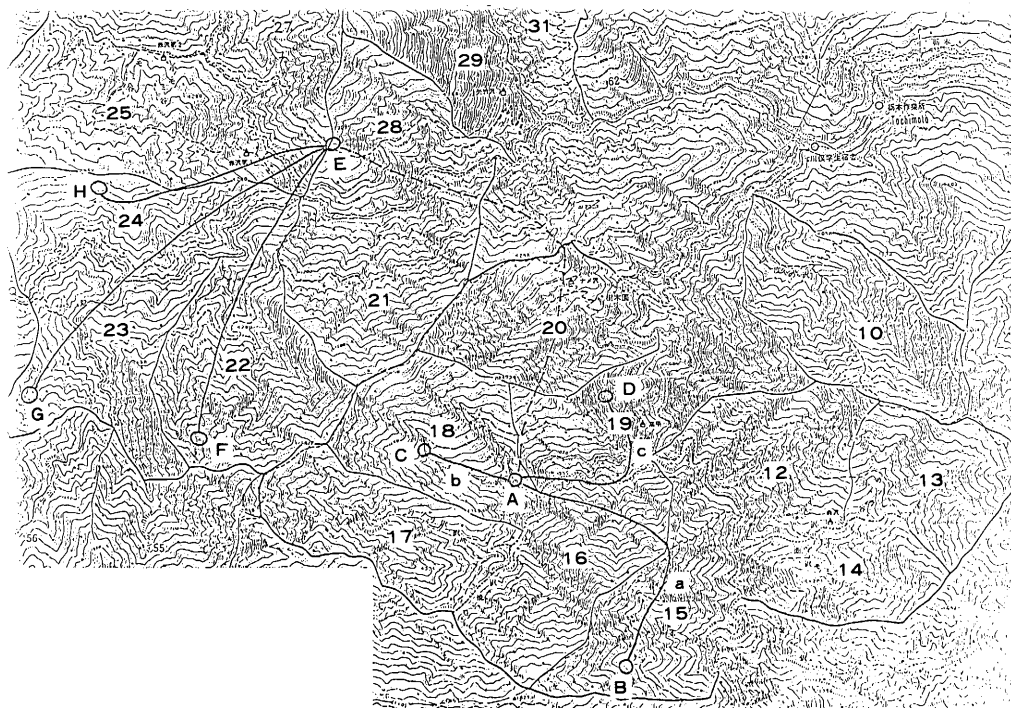


図-1 ヘリコプタ飛行試験における飛行経路

Fig. 1. Flight route at the helicopter flight test.

テストフライトに使用したヘリコプタは実際の木材搬出用に使用される機種に近いベル 214 ST で性能諸元の概略は全長 18.95 m, メインロータ直径 15.85 m, 全高 4.66 m, エンジンの最大出力 1625 HP (2 基), 最大重量 7938 kg, 積載量 2.0~2.8 t, 巡航速度 260 km/h, 燃料消費量 490 l/h である。

Ⅲ ヘリコプタの試験飛行

試験飛行は、1987年12月3日にA社のベル214ST(19人乗り)の大型ヘリコプタを使用し、物資の運搬・木材の搬出作業を想定して行い、飛行時間は入川流域への到達飛行ルートを検討飛行も含めて1時間10分を要した。飛行経路の平面図を図-1に示す。

調査対象地の滝川流域における試験飛行は、ヘリポート予定地から群状に存立する有用天然木の多い15, 18, 19の3林班への往復飛行を想定して行った。ワサビ沢ヘリポート予定地Aと15林班B地点との間の飛行(aコース)は高低差の大きい尾根を迂回しながら飛行した。18林班C地点は、ヘリポート背後の山腹上方へ短距離で高度を上げる飛行(bコース)を行った。19林班D地点へは、短距離で小尾根を巻いて高度を上げる飛行(cコース)を行った⁴⁾。ヘリポートへの進入はどのルートからでも十分なゆとりを持って進入可能であった。また、ワサビ沢ヘリポートから入川流域土場予定地Eへ移動した後、原生林地帯である22林班はF地点、23林班はG地点、24林班はH地点をそれぞれ吊り上げ地点と考え、試験飛行を行った。これらの試験飛行にお

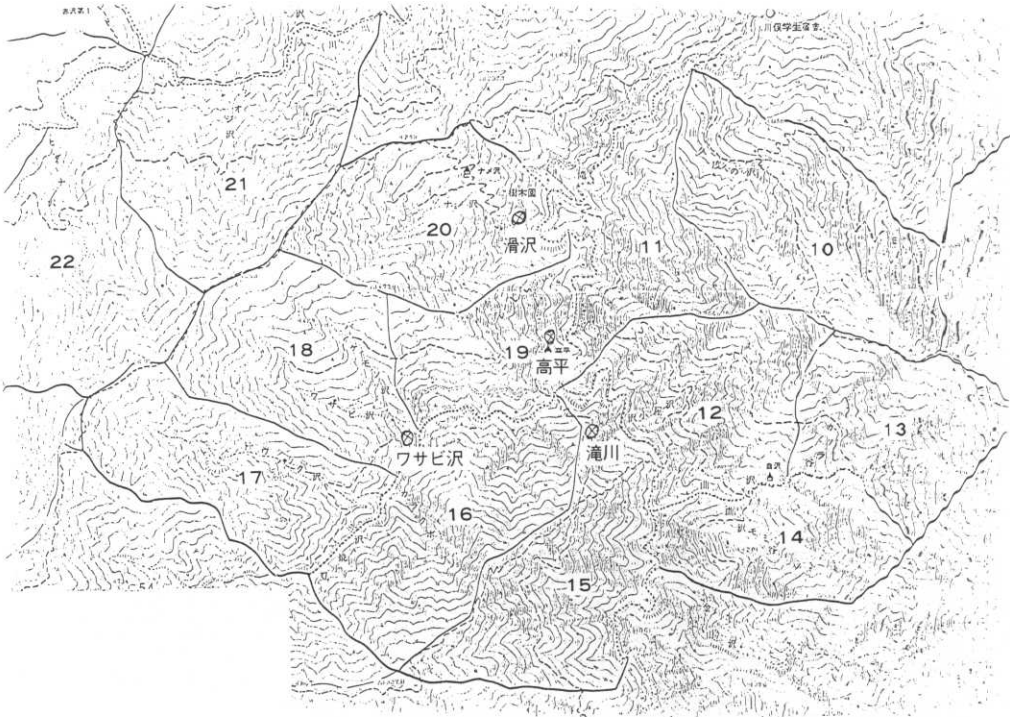


図-2 滝川流域における土場予定地

Fig. 2. Landing location at the Takikawa basin.



図-3 テストフライトに使用したヘリコプタ (ベル 214ST)

Fig. 3. A helicopter used for the flight test.

ける飛行時間と飛行高度の関係を飛行地点とともに表-1 に示す。

IV エアリアルロギングのシミュレーション

1. 飛行距離と飛行時間の算出法

エアリアルロギングのシミュレーション構築に当たり、以下の仮定を設けた。ヘリコプタは地



図-4 ワサビ沢ヘリポート予定地
Fig. 4. Landing at the Wasabi-zawa.

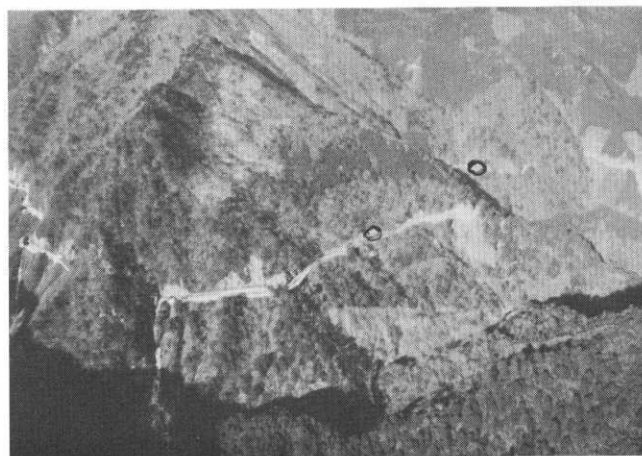


図-5 高平 (写真左) と滑沢土場予定地
Fig. 5. Landing at Taka-daira (left) and Name-zawa (right).



図-6 第15林班針・広混交原生林
Fig. 6. Natural Soft and Hard wood Mixed Stand at the 15 compartment.

表-1 ヘリコプタ飛行試験における飛行高度
Table 1. Time and altitude of test flight

ポイント No.	飛行時間 (分)	海拔高度 (m)	飛行地点
1	0.0		川越ヘリポート
2	3.3	682.5	
3	9.3	947.6	
4	11.5	430.4	秩父市上空
5	16.0	1051.4	
6	18.0	1095.4	
7	19.3	1261.7	
8	19.9	1211.6	
9	22.0	1405.5	
10	25.3	1482.4	
11	26.2	1237.7	ワサビ沢ヘリポート上空
12	27.5	1504.4	15 林班
13	28.3	1487.2	
14	29.3	1486.9	
15	31.3	1225.3	ワサビ沢ヘリポート上空
16	32.1	1269.5	18 林班
17	33.5	1213.6	ワサビ沢ヘリポート上空
18	34.0	1246.8	19 林班
19	35.3	1196.5	ワサビ沢ヘリポート上空
20	36.0	1363.0	
21	37.0	1468.3	滝川から入川へ
22	37.9	1268.0	
23	38.5	1112.3	
24	39.3	1339.9	入川土場予定地上空
25	42.3	1689.1	22 林班
26	44.9	1366.2	入川土場予定地上空
27	47.5	1726.7	23 林班
28	48.7	1570.8	
29	50.0	1376.0	入川土場予定地上空
30	50.9	1520.2	24 林班
31	52.9	1347.5	帰路
32	56.7	2318.8	
33	62.7	1328.3	
34	66.3	921.8	
35	68.7	471.2	
36	72.2	314.7	
37	73.9	369.9	
38	75.5		川越ヘリポート

上から 100 m 以上の高度差をもって飛ぶこととし、1) 対象地区内を 50 m メッシュの DTM で表し、土場予定地 A と集材予定地 B を結びその距離を L とする。2) A~B 間の水平距離が 300 m 以上の場合は、点 B は集材の範囲外とする。3) A, B を通り直線 A~B と直交する水平線を含む平面 P をヘリコプタが飛ぶ平面と仮定する (図-7)。4) P 内で地面との高度差が 100 m 以上の点を選び、その点群を Q とする。5) Q の点間を飛行する際に要する時間の最小値を求め、その時間を点間の飛行時間を表す行列 M へ入れる。6) ダイクストラ法によって行列 M から A~B 間の最短飛行ルート時間 T を算出する。7) T を土場 A から飛行するとしたときの B の飛

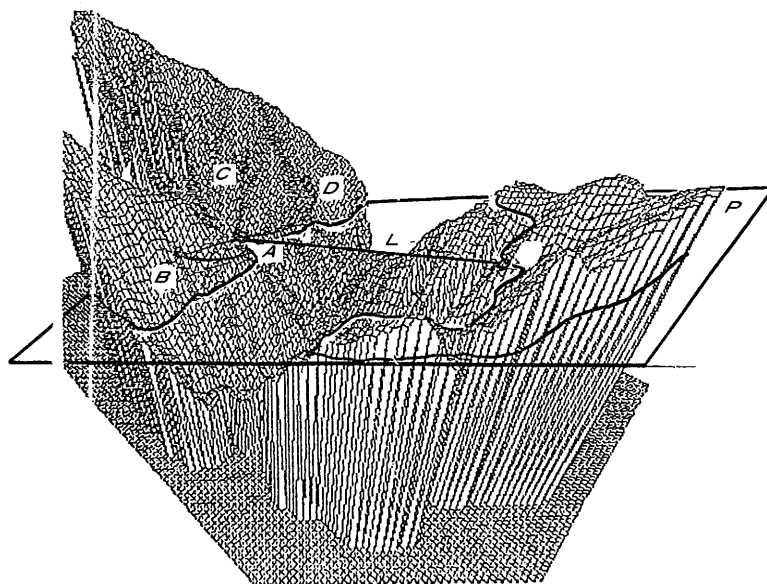


図-7 DTMによる滝川流域の鳥かん図とヘリコプタフライトに用いる飛行平面

Fig. 7. Bird-view map of the Takikawa-Basin and the flight-plane used for helicopter flight simulation.

行時間とする。

なお、ヘリコプタの積載量は $1.80 \sim 3.25 t$ とし A~B 間の高度差に対する水平距離の比（飛行傾斜勾配）が $1/10$ を越える場合は、垂直上昇速度を加え、(1) 式を適用して、1 回当たりの作業飛行時間を算出した^{1,2)}。

$$T = 2L / (VLG + VLB) + T_1 + (H - L/10) / Vh \quad (H - L/10 > 0) \quad (1)$$

$$T = 2L / (VLG + VLB) + T_1 \quad (H - L/10 \leq 0) \quad (1')$$

ただし、

T 1 回当たりの作業飛行時間 (分)

L 水平距離 (km)

H 垂直高度差 (m)

VLG 往路飛行速度 (空搬) (km/分)

VLB 復路飛行速度 (実搬) (km/分)

Vh 垂直上昇速度 (m/分)

T_1 荷吊り上げ荷吊り下げ時間 (分)

2. 土場位置の比較

図-2 に示したヘリコプタ集材における 4 箇所の土場候補位置の優劣の比較法は以下のとおりである。

まず施業対象地内の単位面積当たりの蓄積 V_0 (m^3/ha) を一定と仮定して、集材に要するサイクルタイムを 1 分幅の階に分け t_i (分/サイクル) で表し、各サイクルタイム階で集材可能な面積

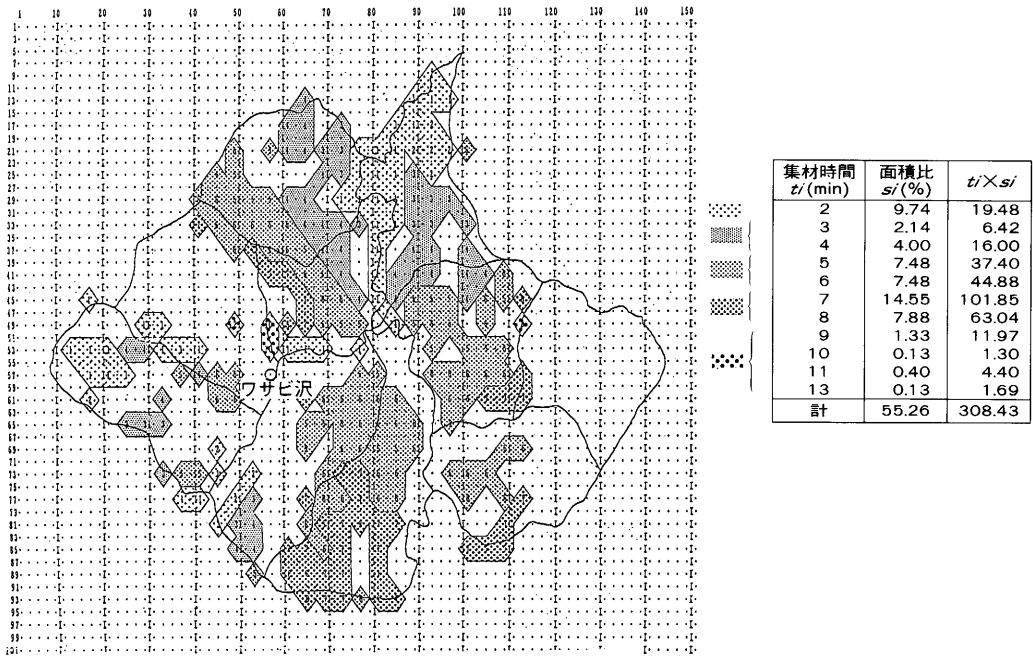


図 8-1 ワサビ沢ヘリポートを土場とした際のシミュレーションによるヘリコプタの集材時間と面積比
 Fig. 8-1. Logging time for the aerial logging to the landing at the Wasabi-zawa by a computer simulation.

比率を s_i とすれば、各集材サイクルタイム階の集材可能材積 V_i (m^3) は、

$$V_i = V_0 \cdot S_0 \cdot s_i \tag{2}$$

となる。ただし S_0 は対象地面積である。

ヘリコプタの平均積載量を ϑ (m^3 /サイクル) とおき、各サイクルタイム階における集材可能地区を集材するのに必要なサイクル数は、

$$V_i / \vartheta = (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot s_i \tag{3}$$

となり、各地区ごとの集材所要時間 T_i (分) は、

$$T_i = (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot s_i \cdot t_i \tag{4}$$

と表すことができる。

よって全地区の集材所要時間合計は、

$$\sum T_i = \sum \{ (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot s_i \cdot t_i \} = (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot \sum s_i \cdot t_i \tag{5}$$

となる。

ヘリコプタの集材費 C (円) は集材時間に比例するので、

$$C = k \cdot (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot \sum s_i \cdot t_i \quad k: \text{比例定数} \tag{6}$$

と表すことができる。

ここで立木単価を r (円/ m^3) とすれば、各地区の材価合計 P (円) は、

$$P = r \cdot V_0 \cdot S_0 \cdot s_i \tag{7}$$

となり、全地区合計は、

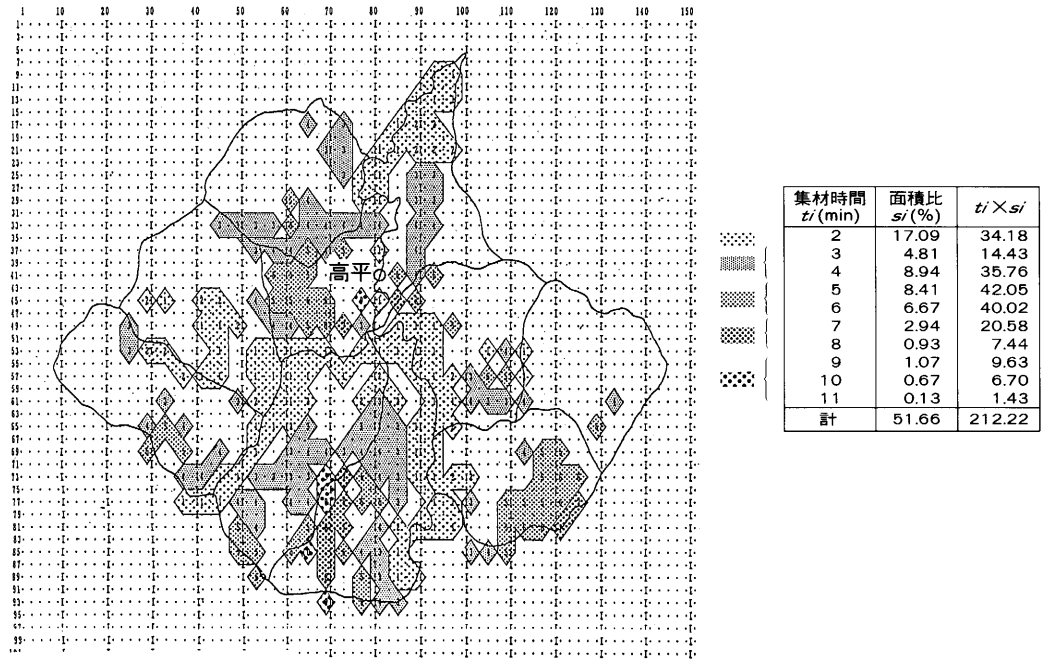


図8-2 高平を土場とした際のシミュレーションによるヘリコプタの集材時間と面積比

Fig. 8-2. Logging time for the aerial logging to the landing at the Taka-daira by a computer simulation.

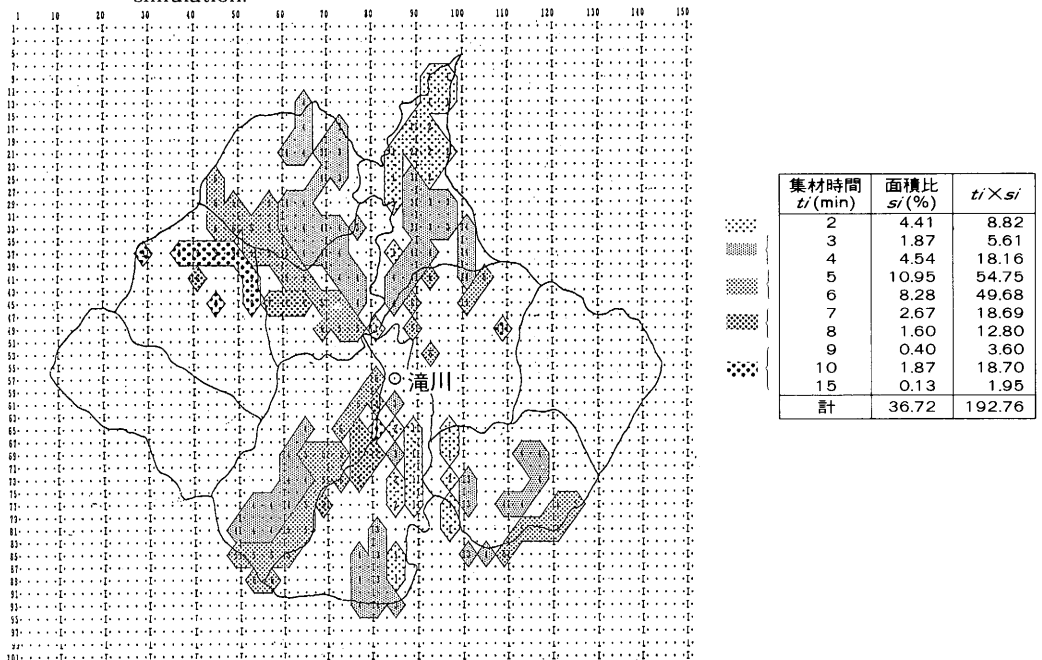


図8-3 滝川を土場とした際のシミュレーションによるヘリコプタの集材時間と面積比

Fig. 8-3. Logging time for the aerial logging to the landing at the Taki-kawa by a computer simulation.

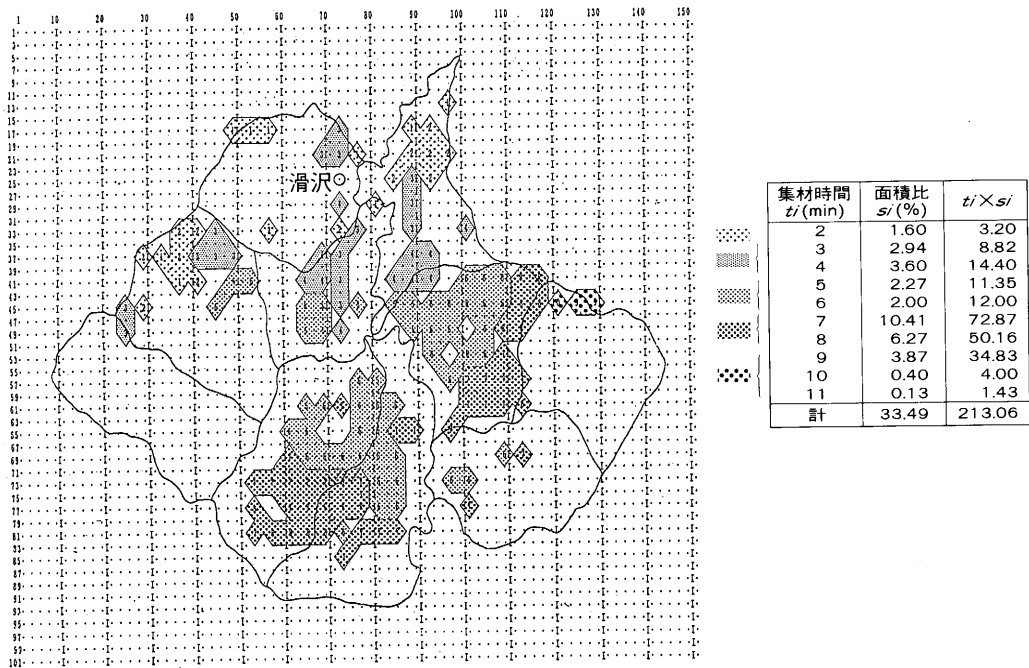


図8-4 滑沢を土場とした際のシミュレーションによるヘリコプタの集材時間と面積比

Fig. 8-4. Logging time for the aerial logging to the landing at the Name-zawa by a computer simulation.

$$\sum r \cdot V_0 \cdot S_0 \cdot s_i = r \cdot V_0 \cdot S_0 \cdot \sum s_i \tag{8}$$

となる。

よって収益 R (円) は、

$$R = r \cdot V_0 \cdot S_0 \cdot \sum s_i - k \cdot (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot \sum s_i \cdot t_i \tag{9}$$

と表すことができる。

ここで費用便益比として $(R/C) \times 100$ を考えると、

$$\begin{aligned} (R/C) \times 100 &= [\{r \cdot V_0 \cdot S_0 \cdot \sum s_i - k \cdot (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot \sum s_i \cdot t_i\} / \{k \cdot (V_0 \cdot S_0 / \vartheta) \cdot \sum s_i \cdot t_i\}] \times 100 \\ &= \{(r \cdot \vartheta / k) \times (\sum s_i / \sum s_i \cdot t_i) - 1\} \times 100 \end{aligned} \tag{10}$$

となる。

(10) 式の r は施業区によって定まる値であり、 ϑ/k は使用したヘリコプタによって定まる固有の値であるため、費用便益比の増減は、 $\sum s_i / \sum s_i \cdot t_i$ によってのみ定まると言える。

従って、 $(\sum s_i / \sum s_i \cdot t_i) \times 100$ は各土場候補地点の費用便益比による良否を数量的に表す指標と考えられるので、効果指数 A と呼ぶこととすれば、この値を用いてエアリアルロギング作業を行う場合に、どの土場が施業的により有効であるかを比較することができる。

V 結果と考察

ヘリコプタ集材による施業対象地の4箇所の土場を効果指数 A で表し比較してみると、表-2に示すとうりである。

表-2 ヘリコプタ集材による効果指数 A
Table 2. Efficiency index A for helicopter logging

土 場	$A = (\sum si / \sum si \cdot ti) \times 100$
ワサビ沢	17.92
高 平	24.34
滝 川	19.05
滑 沢	15.72

効果指数が大きいことは、集材可能面積が広いことと、短時間で集材できる面積の比率が高いことを表しており、この指数が大きい土場ほど他の土場よりも有利に集材が行えると考えられる。従って滝川流域を集材対象地と考えた場合には、高平に土場を設定するのが最も効率的な集材を行い得ることが推定される。

指数の大きい高平土場の立地条件は、施業対象地のほぼ中央に位置すること、対象地内の主谷に面していることなどであり、これらのことから考えても、当然、当該土場の利用は飛行距離が短くなり、尾根などの障害物のため迂回する率が低くなることが予想され、また指数の小さい滑沢土場は、対象地の北端に位置するため集材距離が長くなり、標高差の大きい集材予定地点への飛行の比率が多くなるので効果指数 A の値が少なくなることは自然である。

シミュレーションにより効果指数 A の値を求めることにより適切な土場位置を選定することがおおむね妥当であると考えられる。

VI おわりに

このモデルはある仮定のもとに組み立てられたものではあるが、調査対象地の滝川流域のような急峻山岳林において将来施業的にヘリコプタ集材を採用する場合、荷卸土場の選定にある程度合理的な基準を与えるものと判断される。

資料収集ならびに調査にあたっては、朝日航空株式会社航空事業本部の方々、東京大学秩父演習林の職員各位のご協力を戴いた。ここに謝意を表する。

なお、本調査は国道 140 号熊谷～甲府線の開設に伴い埼玉県より東京大学が受託した環境アセスメント調査の一環として行われたものである。なお本報告の一部は第 99 回日本林学回大会(1988. 4 新潟)で発表したことを付記する。

要 旨

本報告は、急峻山岳における高品質材のヘリコプタ択伐集材作業の適正化を目指し、試験飛行およびフライトシミュレーションを行うことによって、対象地区内における適切な土場の位置について検討したものである。

飛行試験においては、ヘリポートとして想定した地点は、ヘリコプタが十分ゆとりをもって進入離脱を行うことが可能であった。対象地の DTM を用いた計算機によるフライトシミュレーションにおいては、集材の土場位置の違いによる適切な集材範囲の差が明確になった。適切な土場の位置としては、1) 大きな沢に面してヘリコプタの進入に際して障害物の少ない前面に広い空間を有していること、2) 飛行距離を短縮するために対象地区内の中心部にあること、3) 荷吊り場との高度差が小さいことが必要な条件であることを明らかにすることができた。

キーワード: 山岳林, エアリアルロギング, フライトシミュレーション, 択伐作業, 飛行作業時間

引用文献

- 1) 朝日航洋株式会社：木材搬出の手引き.
- 2) 農林水産航空協会：1987. ヘリコプタによる林業関係物資輸送事業計画，実行指針.
- 3) 東京大学秩父演習林：1982. 秩父演習林第7期試験研究計画書.
- 4) 東京大学農学部付属演習林：1988. 秩父演習林自然環境調査報告書.

(1988年4月30日受理)

Summary

The optimal location of landing places was discussed through the helicopter flight simulations for the aerial logging at mountainous forests with high value timbers.

The results of flight simulation using DTM showed the obvious difference in the logging area among landing places.

It was also made clear that the optimal location of a landing place or heli-port in aerial logging should be satisfied with the following conditions, 1) it faces to wide open basin with few obstacles to helicopter flying, which makes helicopter easy to take off and landing, 2) it places at the nearly center of the logging sites to decrease average flying time, 3) there is few difference in the altitude between loading sites and a landing place.

Key words: mountain forest, aerial logging, flight simulation, selection cutting system, flight operating time