

伐木・造材・集材システムの最適化に 関する研究 (第I報)

渡 辺 茂⁽¹⁾・白 井 明⁽²⁾・辻 隆 道⁽³⁾
桑 原 正 明⁽⁴⁾・柴 田 順 一⁽⁵⁾・上 田 実⁽⁶⁾
渡 部 庄 三 部⁽⁷⁾・石 井 邦 彦⁽⁸⁾

Shigeo WATANABE, Akira SHIRAI, Takamichi TSUJI, Masaaki KUWABARA,

Jun-ichi SHIBATA, Minoru UEDA, Shozaburo WATANABE and Kunihiro ISHII :

A Study of the Optimization of the Felling, Bucking and Logging System (I)

要 旨：立木を伐採し、集材する生産運搬系のシステムは林業システムにおいて重要な位置を占めているが、従来はおおむね経験によって事業が実行されてきた面が多分にあった。そこでわれわれはこの勘と経験を分析し、集材機を中心とした運搬系のシステムの最適化をはかる目的でもって調査研究に取りくんだが、われわれの研究グループに与えられた人員と予算の範囲には限界があり、膨大な資料をかかえ、整理して全国的に統一されたものを作ることは現在のところ不可能に近い。しかし、与えられた現場データから最適化を行なう計算プログラムの開発は一応完了したのである。

今後は全国的な組織を通じて資料の収集をはかり、それによって計算プログラムの各種修正値を求める必要がある。これらを考慮して本報告書の内容は、システム最適化の定義を明確にするために目的関数であるコストの具体的な構成、それらに影響するところの作業時間の組立て方について解析し、実際の資料の取扱については時間を求めるための作業条件と作業量の関係、集材機の機械的特性より集材サイクル時間等を定式化し、これらの分析値を総合し最適化の計算プログラムの作成を行ない、その内容については調査地について実際計算を行ない再現性の検討を行なった。

最後にプログラムの構成内容について全体を明らかにし、今後の修正および研究に対して便宜をはかった。

目 次

1. 序 論	3
1.1. 研究目的	3
1.2. 本研究の基本方針	3
1.3. 本報告の概要	4
2. 従来の研究の検討	4
2.1. 概 説	4
2.2. 伐 倒	5
2.3. 造 材	14
2.4. 集材機作業	20
2.5. 伐倒、造材、集材作業の最適化	21
2.6. 要 約	22
3. 最適化の基礎	23
3.1. 概 説	23
3.2. 一般的最適化問題の定式化と本研究への適用	23
3.3. 回 帰 分 析	24

1970年8月12日受理

(1) 東大工学部 (2) 東大工学部 (現電気試験場)

(3)~(8) 林業試験場機械化部 (4) 現林野庁業務課

4. 目的関数の構成	29
4.1. 概 説	29
4.2. 生産コストの分類	29
4.3. 主作業コスト	29
4.4. 副作業コスト	31
4.5. 物 件 費	32
4.6. 間 接 費	33
4.7. 造林コスト	33
4.8. 災害コスト	34
4.9. 全木集材による利益	34
4.10. 要 約	34
5. 作業時間の算出	35
5.1. 概 説	35
5.2. 普通集材方式の作業時間	35
5.3. 全木集材方式の作業時間	37
5.4. サイクル数および荷掛本数の算出	39
5.5. 要 約	42
6. 作業量の算定	43
6.1. 概 説	43
6.2. 伐 倒	44
6.3. 造 材	65
6.4. 荷 掛 け	86
6.5. 荷 卸 し	98
6.6. 要 約	104
7. 集材機を中心とした機械システムの特徴	104
7.1. 概 説	104
7.2. 実験の概要	108
7.3. 集材架線の設計	109
7.4. 集材機の性能	112
7.5. 作業索の張力	114
7.6. 集材機運転速度と運転時間	119
7.7. 要 約	128
8. 最適化プログラムの作成	128
8.1. 概 説	128
8.2. 最適化プログラム作成の準備	129
8.3. 最適化プログラムのブロック図	136
8.4. 読み込みと予備計算	137
8.5. 最適な変数の計算方式	139
8.6. 最適変数計算のブロック図	141
8.7. 伐倒, 山地, 盤合造材作業の作業量の計算	141
8.8. 機械計算 1.	141
8.9. 索張り方式の決定	142
8.10. 荷掛け, 荷卸し関係の計算	142
8.11. 機械計算 2.	142

8.12. 目的関数の計算	143
8.13. 要 約	143
9. 最適化の実施	144
9.1. 概 要	144
9.2. デック最適化計算に必要なプログラムおよびカードデック	144
9.3. 現場データ 1.	144
9.4. 樹種別常数	144
9.5. 現場データ 2.	145
9.6. コスト常数	145
9.7. 作業量の特性	145
9.8. 集材機関係のデータ	146
10. 最適化の計算例	146
10.1. 対象となる事業地	146
10.2. 予 備 計 算	147
10.3. 最適化の基礎的考察	148
10.4. 最適化の計算	152
10.5. 計 算 結 果	152
11. 結 論	158
文 献	159
Summary	160
付 表	162

1. 序 論

1.1. 研究目的

立木を伐採し集材する生産運搬系のシステムは、林業システムにおいて重要な位置を占めている。本研究はこの集材機を中心とした、運搬系のシステムの最適化を目的とする。

最適化とは具体的には次のことを意味する。「対象となるシステムのすべてのコストの総計を最小にする集材方式、索張り方式、索の直径、集材機種、作業員配置を決定する。」なお、この最適化の行なわれることは、同時に次のことが行なわれることである。

1. 作業条件と作業時間の関係が明らかになる。
2. 機械、人間とも無理のない作業方式が決まる。
3. 与えられた作業条件に対して、その作業を終えるまでの時間、コストが求められる。
4. その他、1日あたりの集材サイクル数、用意するスリング数など、すべての値を知ることができる。

また、最適化を実際に行なう場合は計算機を用い、したがって、現場で必要なのはデータを与えるだけでよい。

すなわち、本研究の最終目標は与えられたデータから最適化を行なう計算機プログラムを開発することである。

1.2. 本研究の基本方針

本研究で主眼を置いて扱うシステムの要素は次のようなものとする。

1. 伐倒作業（全木、普通を含む）
2. 山地造材作業
3. 集材作業（全木、普通を含む）
4. 盤台作業（トラック積込みを含めない）
5. 集材機を中心とした機械システム

なお、本システムはさらに大きなシステムの一部であるため、この最適化を行なうためには、厳密には他のシステムの影響をくわしく解析する必要がある。しかし、本研究では、作業員の間接費、副作業等の他のシステムとの接続部に関しては、くわしい解析を行わず、既存の資料に基づいて近似的に考慮した。

また、この最適化方式は一般的なものであり、いかなる地域でもただデータさえ変更すれば適用できるものとする。

1.3. 本報告の概要

研究目的を達成するために本報告書では、次章以下次のような手順で研究をすすめた。

まず2章では、本研究に関係のある従来の資料について、東大、林試の作業第1、機械第1の各研究室において、それぞれの立場から検討し、その代表的な研究に関してくわしく解析した。

3章は前章での検討、解析結果について、東大において最適化の問題を一般的に扱って定式化し、これを行なうための基礎理論を述べ、さらに本研究への適用の可能性を調べた。

4章では本システム最適化の定義を明確にするため、目的関数であるコストの具体的な構成について東大、林試において検討し、構成内容を示した。

5章は目的関数を構成する作業時間を求めるため、種々の作業について、コストに直接効いてくる作業時間の組み立て方について東大、林試一緒に検討し、ここでは伐木造材のような1人作業、集材のような組作業について時間を算出する方法を述べた。また、集材サイクル数、荷掛け本数等、時間を求めるに必要な値の算出法も示した。

6章は作業第1研究室が主体となり、現地調査結果より作業時間を求めるものに必要な作業量の算出を述べた。作業条件と作業量の関係を知るために、調査データの回帰分析を行なって両者の関係を明らかにした。さらに、作業時間の組立てを行なうため、単位作業の特性を明らかにした。

7章は機械第1研究室が主体となり、現地調査結果より、集材機を中心とした機械システムの特性を解析し、架線設計の理論、集材機的能力を述べ、集材機運転の物理的解析を行なって、与えられた機械の条件によって集材機運転サイクルを求める方法を示した。

8章は7章までの結果を総合し、東大が主体となり最適化の計算機プログラムの作成を行なった。

9章では東大で作られた最適化プログラムを現場に適用する場合の仕様を説明した。

10章は9章で示された仕様にしたがって、現地の実験資料をもって最適化の計算を行なった例を示したものである。

2. 従来の研究の検討

2.1. 概 説

集材機を中心とする運搬系システムの最適化を行なうためには、システムの特徴をはあくする必要があるが、システム全体を定量的に解析する研究は、これまでほとんど行なわれていない。しかし、概略的に

作業の実態を調べる試みはつづけられてきた¹⁾。また、集材の工程編成に関しても研究されたが²⁾、基礎となるデータが十分でなく、一般的に欠ける点がある。

伐木作業の工期と森林の特殊因子については、因子を直交化してその関係を検討している³⁾が、伐木作業時間を各因子から算出することはなされていない。しかし、最近このシステムの最適化の必要が認識され⁴⁾、その研究もすすめられはじめた⁵⁾。

本章では、最適化およびそのために必要な作業時間に関する研究の代表的なものをとりあげて検討する。

2.2. 伐 倒

昭和35年林野庁から林業試験場に委託した、チェーンソー伐木造材作業の作業量、および標準時間に関する研究⁷⁾を検討する。

調査は昭和35年12月、熊本宮林局管内矢部営林署鴨猪事業所で行なわれた。調査対象は、モミ、ツガの伐倒、枝払い・玉切作業で資料数は伐倒本数で56本、玉数で223本である。ここでは完全なデータのそろった伐倒木52本について検討した。

2.2.1. 伐倒作業の単位作業

伐倒作業の単位作業として林業試験場研究報告第149号に基づいて次の13個の作業をとりあげた。

- | | |
|----------|-----------|
| 1. 受口切り | 2. 追口切り |
| 3. 矢 打 ち | 4. 伐倒方向再考 |
| 5. 退 避 | 6. 受口切直し |
| 7. ヤリ落し | 8. 根張切り |
| 9. 方向の決定 | 10. 足場作り |
| 11. 障害除去 | 12. 退避路作り |
| 13. 懸木落し | |

なお、林試研報第149号には「合図」があるが時間も短く、条件によって変化するものと思われるので、ここでは省略した。

2.2.2. 伐倒作業の条件

伐倒作業の条件として林試研報第149号はつぎの6個を採用している。

1. 胸高直径
2. 樹 高
3. 足場傾斜
4. 斜面傾斜
5. 伐 根 径
6. 伐 根 高

ここでは条件として、その作業が行なわれる前に知ることのできるものをとることにする。すなわち、伐根高、伐根径は条件として不適当である。また、作業時間をあらかじめ調査によって推定するという見地からは、足場傾斜をおのおのの木について調べることを避けるためには、足場傾斜を条件に入れることができない。そこで、作業時間を推定する条件として、次の4個を考えた。

1. 胸高直径
2. 樹 高

3. 足場傾斜 (いれない場合も考慮した)

4. 斜面傾斜

ただし、伐根高、伐根径も以上 4 個の条件から推定した。

2.2.3. 条件間の関係

(i) 統計的性質

伐倒木に関する条件に 2.2.2. のはじめに示したように、①～⑥の番号をつける。

① 胸高直径 単位 (cm)

② 樹 高 (m)

③ 足場傾斜 (°)

④ 斜面傾斜 (°)

⑤ 伐 根 径 (cm)

⑥ 伐 根 高 (cm)

(a) 平 均

表 1. 伐 倒 条 件 の 平 均

①	②	③	④	⑤	⑥
66.67	23.05	32.55	31.25	74.90	54.87

(b) 共分散行列

表 2. 伐 倒 条 件 の 共 分 散 行 列

	①	②	③	④	⑤	⑥
①	937.0	166.7	-3.5	71.1	981.5	527.1
②	166.7	43.7	4.5	17.7	179.9	102.5
③	-3.5	4.5	75.1	64.8	-18.7	78.9
④	71.1	17.7	64.8	88.1	61.3	118.5
⑤	981.5	179.9	-18.7	61.3	1,053.6	518.5
⑥	527.1	102.5	78.9	118.5	518.6	518.6

(c) 相関行列

表 3. 伐 倒 条 件 の 相 関

	①	②	③	④	⑤	⑥
①	1.000	0.823	-0.013	0.247	0.988	0.608
②	0.823	1.000	0.079	0.286	0.838	0.547
③	-0.013	0.079	1.000	0.797	-0.066	0.322
④	0.247	0.286	0.797	1.000	0.201	0.446
⑤	0.988	0.838	-0.066	0.201	1.000	0.564
⑥	0.608	0.547	0.322	0.446	0.564	1.000

相関行列からわかるように、条件間にはかなり強い相関のあるものが多い。

(ii) 樹高と胸高直径

樹高と胸高直径の関係は、M. NEZURUND の樹高曲線がよくあてはまるとされている。

樹高： H ，樹高の推定値： $\hat{H}$ ，胸高直径： D とすれば，

$$\hat{H}-1.2=D^2/(b_0+b_1D)^2 \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

と表わせる。

$$Y=D/\sqrt{H-1.2}, \quad X=D$$

とすれば，

$$\hat{Y}=b_0+b_1X$$

として回帰できる。資料の数： N ， $S^2=\sum_{i=1}^N(\hat{Y}_i-Y_i)/N$ として， $|\hat{Y}_i-Y_i|>3S$ となる点を捨てて，ふたたび回帰すれば図1の樹高曲線が得られる。すなわち，

$$\hat{H}=D^2/(4.18+0.144D)^2 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

$$(b_0=4.18, \quad b_1=0.144)$$

ここで得た $\hat{H}$ を用いて $DH=H-\hat{H}$ を作れば， DH は標準的な樹高との差を表わす。この DH も作業時間の推定に有益な条件となる可能性がある。

いま，

$$Y=b_0+b_1DH+b_2H+b_3H+ \dots\dots\dots(2.3)$$

となる回帰式は結局，

$$Y=b_0+(b_1+b_2)H-b_1\hat{H}+b_3D+ \dots\dots\dots(2.4)$$

とすることができるので $\hat{H}$ を新しい条件として採用する。

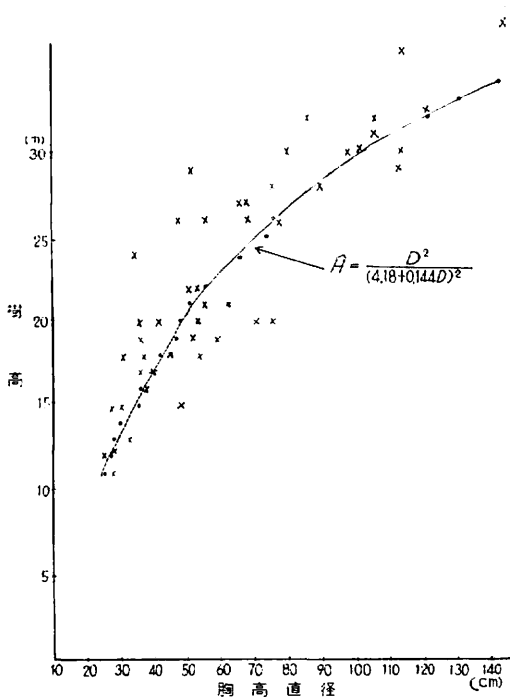


図 1. 樹高曲線と観測値

(iii) 斜面傾斜と足場傾斜

斜面傾斜は伐倒木を中心に周囲 20m ほどの平均傾斜で，足場傾斜は周囲 2m ほどの傾斜である。

したがって，両者の相関は一般に大きい正の値

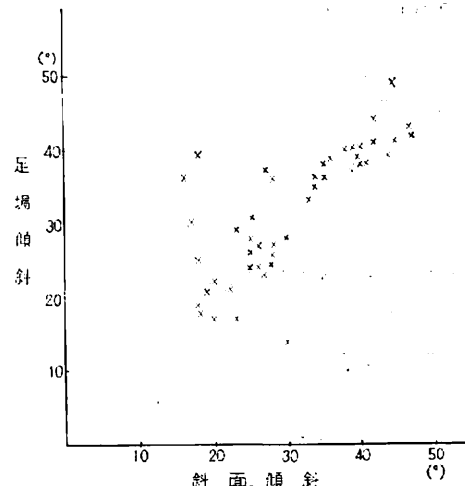


図 2. 斜面傾斜と足場傾斜の関係

であることが考えられるが、ここでも0.797であった。この相関は斜面の起伏を表わすものと考えてよい。

すなわち、相関が1に近いほど起伏の少ない斜面である。調査の両者の関係は図2のようになる。

(iv) 伐根径と他の条件の関係

伐根径と相関の強い順に条件をあげれば、1) 胸高直径、2) 樹高、3) 伐根高、4) 足場傾斜となる。伐根径を他の条件から回帰して求めることにする。

この場合、条件としては伐根高をはずす必要がある。

C_1 : 胸高直径、 C_2 : 樹高、 C_3 : 足場傾斜、 C_4 : 斜面傾斜、 C_5 : 樹高の推定値 ($\hat{H}$)、 d : 伐根高とする回帰式としては次の3種類を用いることにする。

(a) 直線回帰

$$Y=d, X_i=C_i \ (i=1, 2, \dots, 5) \text{ として}$$

$$\hat{Y}=b_0+b_1X_1+b_2X_2+b_3X_3+b_4X_4+b_5X_5 \dots \dots \dots (2.5)$$

の回帰式を用いる。

(b) 片対数回帰

$$Y=\log d, X_i=C_i \ (i=1, 2, \dots, 5) \text{ として式 (2.5) を用いる。}(d=\exp(\hat{Y}))$$

(c) 両対数回帰

$$Y=\log d, X_i=\log C_i \ (i=1, 2, \dots, 5) \text{ として式 (2.5) を用いる。}(\hat{d}=\exp(\hat{Y}))$$

以上3種類の重回帰を行なって、その当てはめの良さの目安として

$$S^2=\sum_i(\hat{d}_i-d_i)^2/N \text{ を比較すれば次のようになる。}$$

	(a)	(b)	(c)
S^2	17.2	20.3	18.1

すなわち、(a)の単なる直線重回帰で十分であることがわかる。この回帰式の係数 b_i は表4に示す。

表4. 伐根径の回帰係数

b^0	b^1	b^2	b^3	b^4	b^5
0.091	0.761	0.276	-0.164	-0.045	1.20

相関の最も高い胸高直径との関係は図3のようにほぼ直線関係を示す。図から胸高直径 (D cm) によって、

$$D < 100 \quad \hat{d}=1.1D$$

$$D \geq 100 \quad \hat{d}=1.08D \dots \dots \dots (2.7)$$

とすることができる(図3)。

(v) 伐根高と他の条件

伐根径の場合と同じように $C_i(i=1, 2, \dots, 5)$ および伐根径: h について回帰を行なう。(iv) と同様に(a), (b), (c)の3種類の回帰式を用いて、 S を比較すれば次のとおりで、

	(a)	(b)	(c)
S^2	414	434	448

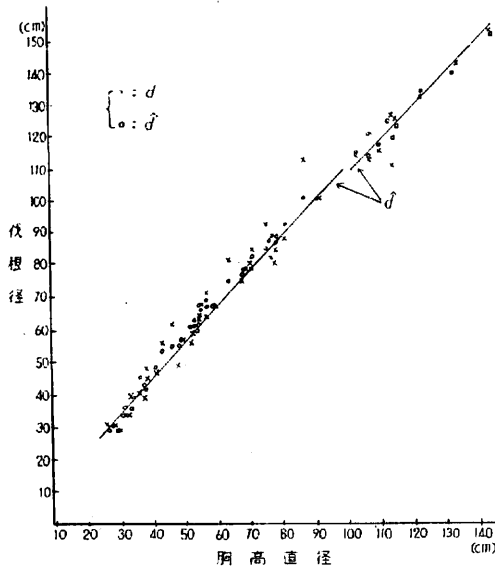


図 3. 胸高直径と伐根径の関係

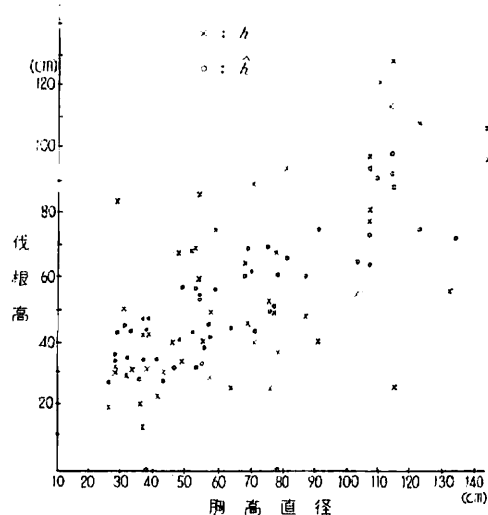


図 4. 胸高直径と伐根高の関係

やはり(a)の直線重回帰がよい。この場合 b_2 は次のようになる。

伐根高の回帰係数

b^0	b^1	b^2	b^3	b^4	b^5
-13.2	0.620	0.323	0.763	0.327	-0.685

h と最も相関の高い胸高直径との関係は、図 4 に示すようにかなりばらつきがある。伐根高の回帰係数の誤差率 (S/h) は 36% であるが、伐根高は条件因子からはほぼ推定できるものとみなしてよいと思われる。

2.2.4. 作業時間の統計的性質

伐倒作業の単位作業に、2.2.1 に示したように番号をつけて単位作業時間を T_i 秒 ($i=1, 2, \dots, 13$) とする。 T_i の平均、共分散行列、相関行列は表 5 となる。相関はほとんど正になり、負になるものはいずれも絶対値が小さく、両者はほとんど独立であるとみなすことができる。すなわち、ある要素作業時間が大きければ他の時間も大きくなる傾向にあるものが多いことを示している。特に相関の大きいもの (0.5 以上) を取り出せば表 6 となる。

表の組合せを順に追っていくことにすればつぎのようになる。

No. 1, No. 2, No. 3, No. 4 はいずれも関連作業である。No. 5, No. 7 の退避路作りは、発生したのはただ 1 つで、胸高直径 144cm, 足場傾斜 38.5°, 斜面傾斜 34.5° の困難な作業条件のためである。

No. 6 はやはり胸高直径の大きい場合に限り発生しているため、相関が高くなっている。No. 8 は根張切り、方向決定とも胸高直径の大きい場合に多くの時間を必要とすることが共通している。

2.2.5. 作業時間と条件の関係

(i) 作業時間と条件の関係

2.2.1 に示した伐倒の単位作業と条件の相関を求める。条件はデータとして与えられるもののほか、与

表 5. 伐倒作業時間の共分

共分散行列

	1	2	3	4	5	6
1	0.370E+05	0.249E+05	0.169E+03	0.496E+03	0.298E+04	0.144E+03
2	0.249E+05	0.218E+05	0.338E+02	0.507E+03	0.372E+04	0.150E+02
3	0.169E+03	0.338E+02	0.202E+04	0.546E+02	0.803E+02	0.378E+02
4	0.496E+03	0.507E+03	0.546E+02	0.337E+02	0.103E+03	0.901E+01
5	0.298E+04	0.372E+04	0.803E+02	0.103E+03	0.132E+04	0.343E+02
6	0.144E+03	0.150E+02	0.378E+02	0.901E+01	0.343E+02	0.166E+03
7	0.106E+03	0.137E+03	0.424E+02	0.549E+01	0.266E+02	0.160E+02
8	0.674E+04	0.397E+04	0.131E+03	0.368E+02	0.523E+02	0.523E+02
9	0.401E+04	0.212E+04	0.907E+02	0.471E+02	0.399E+02	0.386E+02
10	0.171E+04	0.136E+04	0.364E+02	0.242E+02	0.481E+03	0.191E+02
11	0.681E+04	0.452E+04	0.276E+03	0.198E+03	0.345E+03	0.568E+02
12	0.423E+03	0.593E+03	0.995E+01	0.184E+02	0.232E+03	0.337E+01
13	0.248E+04	0.190E+04	0.183E+04	0.392E+02	0.494E+02	0.911E+02

相関行列

1	0.100E+01	0.878E+00	0.196E-01	0.445E+00	0.427E+00	0.580E-01
2	0.878E+00	0.100E+01	0.509E-02	0.592E+00	0.695E+00	0.785E-02
3	0.196E-01	0.509E-02	0.100E+01	0.209E+00	0.492E-01	0.651E-01
4	0.445E+00	0.592E+00	0.209E+00	0.100E+01	0.491E+00	0.120E+00
5	0.427E+00	0.695E+00	0.492E-01	0.491E+00	0.100E+01	0.733E-01
6	0.580E-01	0.786E-02	0.651E-01	0.120E+00	0.733E-01	0.100E+01
7	0.539E-01	0.909E-01	0.925E-01	0.928E-01	0.719E-01	0.122E+00
8	0.471E+00	0.362E+00	0.393E-01	0.854E-01	0.194E-01	0.545E-01
9	0.500E+00	0.345E+00	0.483E-01	0.195E+00	0.264E-01	0.718E-01
10	0.367E+00	0.383E+00	0.335E-01	0.172E+00	0.548E+00	0.613E-01
11	0.356E+00	0.307E+00	0.617E-01	0.342E+00	0.954E-01	0.442E-01
12	0.327E+00	0.597E+00	0.329E-01	0.470E+00	0.948E+00	0.388E-01
13	0.126E+00	0.126E+00	0.399E+00	0.661E-01	0.133E-01	0.692E-01
平均	183.577	120.327	10.558	2.519	19.308	3.577

表 6. 強い相関のある要素作業の組合せ

No.	要素作業 1	要素作業 2	相関係数
1	受口切り	追口切り	0.878
2	受口切り	方向の決定	0.500
3	追口切り	伐倒方向再考	0.592
4	追口切り	退避	0.695
5	追口切り	退避路作り	0.597
6	退避	足場作り	0.548
7	退避	退避路作り	0.948
8	根張切り	方向の決定	0.658

散行列, 相関行列, 平均

7	8	9	10	11	12	13
0.106E+03	0.674E+04	0.401E+04	0.171E+04	0.681E+04	0.423E+03	0.248E+04
0.137E+03	0.397E+04	0.212E+04	0.136E+04	0.452E+04	0.593E+03	0.190E+04
0.424E+02	0.131E+03	0.907E+02	0.364E+02	0.276E+03	0.995E+01	0.183E+04
0.549E+01	0.368E+02	0.471E+02	0.242E+02	0.198E+03	0.184E+02	0.392E+02
0.266E+02	0.523E+02	0.399E+02	0.481E+03	0.345E+03	0.232E+03	0.494E+02
0.160E+02	0.523E+02	0.386E+02	0.191E+02	0.568E+02	0.337E+01	0.911E+02
0.104E+03	0.249E+02	0.934E+01	0.381E+02	0.162E+03	0.455E+01	0.123E+03
0.249E+02	0.552E+04	0.204E+04	0.276E+03	0.222E+03	0.138E+02	0.372E+03
0.934E+01	0.204E+04	0.174E+04	0.245E+03	0.648E+03	0.353E+01	0.192E+03
0.381E+02	0.276E+03	0.245E+03	0.584E+03	0.545E+02	0.779E+03	0.136E+03
0.162E+03	0.222E+03	0.848E+03	0.545E+02	0.991E+04	0.153E+02	0.142E+04
0.455E+01	0.138E+02	0.353E+01	0.779E+02	0.153E+02	0.453E+02	0.240E+02
0.123E+03	0.372E+03	0.192E+03	0.136E+03	0.142E+04	0.240E+02	0.104E+05

0.539E-01	0.471E+00	0.500E+00	0.367E+00	0.356E+00	0.327E+00	0.125E+00
0.909E-01	0.362E+00	0.345E+00	0.383E+00	0.307E+00	0.597E+00	0.126E+00
0.925E-01	0.393E-01	0.483E-01	0.335E-01	0.617E-01	0.329E-01	0.399E+00
0.928E-01	0.854E-01	0.195E+00	0.172E+00	0.342E+00	0.470E+00	0.661E-01
0.719E-01	0.194E-01	0.264E-01	0.548E+00	0.954E-01	0.948E+00	0.133E-01
0.122E+00	0.545E-01	0.718E+01	0.613E-01	0.442E-01	0.388E-01	0.692E-01
0.100E+01	0.328E-01	0.220E-01	0.155E+00	0.160E+00	0.663E-01	0.118E+00
0.328E-01	0.100E+01	0.658E+00	0.154E+00	0.300E-01	0.275E-01	0.491E-01
0.220E-01	0.658E+00	0.100E+01	0.243E+00	0.204E+00	0.126E-01	0.451E-01
0.155E+00	0.154E+00	0.243E+00	0.100E+01	0.227E-01	0.479E+00	0.552E-01
0.160E+00	0.300E-01	0.204E+00	0.227E-01	0.100E+01	0.228E-01	0.139E+00
0.663E-01	0.275E-01	0.126E-01	0.479E+00	0.228E-01	0.100E+01	0.349E-01
0.118E+00	0.491E-01	0.451E-01	0.552E-01	0.139E+00	0.349E-01	0.100E+01
4.827	14.615	31.250	5.346	71.769	0.942	25.481

えられたデータから回帰して得た因子も含めることにして、つぎのように記号をつける（単位はこれまでと同じとする）。

1. 胸高直径： D
2. 樹高： H
3. 斜面傾斜： θ
4. 樹高の推定値： $\hat{H}$
5. 伐根径の推定値： $\hat{d}$
6. 伐根高の推定値： $\hat{h}$
7. 足場傾斜： a
8. 伐根径： d
9. 伐根高： h
10. (胸高直径) 2 ： D^2
11. (伐根径) 2 ： d^2

単位作業時間は 2.2.1 の番号順に $T_1, T_2, \dots, T_{13}$ として条件との相関を表 7 に示す。

次に作業時間に相関の高いものを順に求めれば表 8 となる。表に示されるように作業時間は D^2 に相関

表 7. 作 業 時 間 と

作業条件 作業時間	1	2	3	4	5
1	0.8586	0.6857	0.1555	0.7881	0.8449
2	0.8675	0.6609	0.1805	0.7654	0.8431
3	0.0847	-0.0182	0.1204	0.0955	0.0782
4	0.5010	0.4273	0.2728	0.4255	0.4766
5	0.4917	0.4335	0.2603	0.3955	0.4633
6	0.0900	0.1886	0.0041	0.1518	0.1127
7	0.1051	0.2067	-0.0844	0.1814	0.1364
8	0.3534	0.1981	-0.2113	0.2947	0.3497
9	0.3286	0.2380	0.0359	0.2826	0.3185
10	0.3917	0.3364	0.2080	0.3267	0.3715
11	0.4405	0.3749	0.2097	0.4583	0.4419
12	0.3537	0.3080	0.1291	0.2556	0.3287
13	-0.1960	-0.2181	0.1036	-0.2030	-0.2088

表 8. 単位作業時間と条件との相関

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. 受 口 切 り	D^2	d^2	D	$\hat{d}$	d	$\hat{h}$	H	$\hat{H}$
2. 追 口 切 り	D^2	d^2	D	$\hat{d}$	d	$\hat{h}$	H	$\hat{H}$
3. 矢 打	a	θ						
4. 伐 倒 方 向 再 考	D^2	$\hat{h}$	d^2	D	$\hat{d}$	H		
5. 退 避	D^2	d^2	$\hat{h}$	D	$\hat{d}$			
6. 受 口 切 直 し	H	$\hat{H}$	d					
7. ヤ リ 落 し	H	d	a	$\hat{d}$	$\hat{H}$			
8. 根 張 切 り	d^2	D^2	$\hat{d}$	D	d	(a)		
9. 方 向 の 決 定	D^2	D	$\hat{d}$	h	d^2			
10. 足 場 作 り	D^2	$\hat{h}$	d^2	D	$\hat{d}$	d		
11. 障 害 除 去	D	$\hat{d}$	$\hat{h}$	d	D^2	d^2		
12. 退 避 路 作 り	D^2	d^2	$\hat{h}$	$\hat{d}$	D	d	H	
13. 懸 木 落 し	$\hat{H}$	($\hat{d}$)	(D)	(d^2)	(D^2)			

() は相関の低いもの。

の高い場合が多く、因子として重要であることがわかる。また、 H と $\hat{H}$ はほぼ同じ特性を示し、 H のかわりに $\hat{H}$ を用いてもさしつかえないと考えられる。 $\hat{d}$, $\hat{h}$ が高い相関を示す作業もあるが、いずれも他の条件の一次式であらわすことができるため、回帰をする場合に条件として採用する必要がない。

(ii) 回帰式の比較

作業時間を条件から回帰によって推定する場合、これまでのように時間を T 、条件を $C_i (i=1, 2, \dots)$ とすれば、2.2.4 で行なったように、式 (2.5) において

$$(a) \quad Y = T, \quad X_i = C_i$$

$$(b) \quad Y = \log T, \quad X_i = C_i$$

$$(c) \quad Y = \log T, \quad X_i = \log C_i$$

の方法が考えられる。林試研報第 149 号では(b)を採用している場合が多いが、いまここで代表的な作業として受口切り (T_1)、追口切り (T_2) についてあてはめの良さを検討する。

X_1 : 胸高直径 (D), X_2 : 樹高 ($\hat{H}$), X_3 : 斜面傾斜 (θ), X_4 : $\hat{H}$, X_5 : D^2 とおき、 $S = \sum (\hat{T} - T)^2 / N$

条 件 の 相 関

COC (1.11)

6	7	8	9	10	11
0.7533	-0.0857	0.8343	0.5896	0.8798	0.8650
0.7779	-0.0205	0.8440	0.5535	0.9248	0.9099
0.1013	0.1206	0.0798	0.0223	0.0739	0.0713
0.5375	0.1580	0.4551	0.2989	0.5487	0.5022
0.5345	0.1932	0.4771	0.3316	0.5741	0.5543
0.0662	0.0979	0.1426	0.0976	0.0291	0.0896
0.0339	-0.1299	0.1421	-0.0044	0.0325	0.0753
0.1853	-0.2626	0.3515	0.2460	0.3907	0.3968
0.2810	0.0289	0.2854	0.3106	0.3508	0.3007
0.4204	0.2417	0.3583	0.3473	0.4366	0.3997
0.4281	0.0668	0.4020	0.2464	0.3996	0.3606
0.3687	0.0962	0.3326	0.2084	0.4467	0.4198
-0.1110	0.1231	-0.1908	-0.0262	-0.1791	-0.1825

表 9. 回 帰 式 の 比 較

	分 散	(a)の回帰による S	(b)の回帰による S	(c)の回帰による S
T_1	37,000	7,552	8,668	10,350
T_2	22,000	2,609	2,254	2,139

とすれば、表9のようになる。

表で明らかなように T_1 の場合は(a), T_2 は(b)がよい。しかし、いずれも大きなちがいはない。

すなわち、回帰式は(a)を用いれば十分である。(b)は T が0の場合は不可能であり、(c)は T, C いずれも0でない場合にかぎり用いることができることから、(a)の回帰式が最も適当である。

(iii) 発 生 率

発生率の考え方は林試研報第149号の特徴であるとされているが、これは条件と胸高の相関が簡単に表わせない場合に便利である。しかし、発生率は一率であることが多く、発生率0の条件を求め、その他は発生率100%ということにして解析した。すなわち、与えられた条件によってある作業が生ずるか否かを決め、もし生ずるならば回帰によって推定するものとする。この方法を従来の回帰による方法と比較する。あてはめの良さの目安には

$$SS = \sum (\hat{T} - T)^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

を用いる。

ただし、①②③④はつぎの場合

- | | | | |
|--------------------------|---|----------------|---|
| 条件として(i)の X_i を採用 | { | 従来の回帰 | ① |
| | | 条件によって発生率を考慮する | ② |
| 条件として(i)の X_i と足場傾斜を採用 | { | 従来の回帰 | ③ |
| | | 条件によって発生率を考慮する | ④ |

表中の斜線は発生率を考えた場合、データが5組以下になったものを示す(表10)。

表から次のことがわかる。

表 10. 発生率を考慮した回帰の比較

作 業	①	②	③	④
3 矢 打	97,300	53,930	95,888	41,056
4 伐 倒 方 向 再 考	1,078	714	1,077	560
5 退 避	17,151	714	15,777	15,977
6 受 口 切 直 し	7,484	5,720	69,790	6,368
7 ヤ リ 落 し	4,427	3,438	4,420	3,265
8 根 張 切 り	198,300	7,743	198,100	\
9 方 向 の 決 定	77,400	76,050	76,470	72,388
10 足 場 作 り	220,370	140	19,640	\
11 障 害 除 去	382,700	381,700	382,100	380,900
12 退 避 路 作 り	565	\	537	\
13 懸 木 落 し	489,700	94,420	489,700	104,600

1. 発生率と条件を関係させて考えればあてはめはよくなる。

2. 足場傾斜を条件として入れなくても大差はない。

②の回帰によって得た $\hat{T}$ と T , $\hat{T}$ と胸高直径の関係を図 5 以下に示す。図には T , $\hat{T}$ が 52 点あるべきであるが、 T も $\hat{T}$ も 0 である場合は省略している。

(iv) まとまり伐倒作業の推定

(iii) で行なった回帰によって伐倒時間 $\hat{T}$ を求めてあてはめのよさを検討する。 $T = \sum_{i=1}^{18} T_i$, $\hat{T} = \sum_{i=1}^{18} \hat{T}_i$ として、 $\hat{T}_i$ をそれぞれ (iii) の①②で推定して比較すれば表 11 のようになる。

表 11. まとまり伐倒作業の回帰の比較

	$\sum (\hat{T}_i - T_i)^2 / N$	誤差率%	
①による回帰	4.65×10^4	47.3	(T の平均 494, T の分数 2.19×10^3)
②による回帰	3.00×10^4	35.0	

表 11 から②による回帰は①の場合より誤差率が 12.3% 減少している。全体としては誤差率で 12.3% の改善であるが、まとまり作業では大幅に誤差率が減少するものもあり、②の方法が有効であることがわかる (図 5~17 参照)。

2.3. 造 材

造材作業の時間分析に関しても 2.2 と同様に林試研報第 149 号を検討する。調査木は伐倒の場合と同じであるため、造材の条件の一部は重複する。ここではとくに玉切りに関する作業を考える。各単位作業および条件はいずれもみごとに对应している。

2.3.1. 玉切作業の単位作業

玉切作業の単位作業はつぎの 15 個の作業とした。

- | | |
|----------|---------|
| 1. 玉切り | 2. 引落し |
| 3. 段取り | 4. 持歩行 |
| 5. 道具取替え | 6. 始動停止 |
| 7. 足場作り | 8. 位置替え |

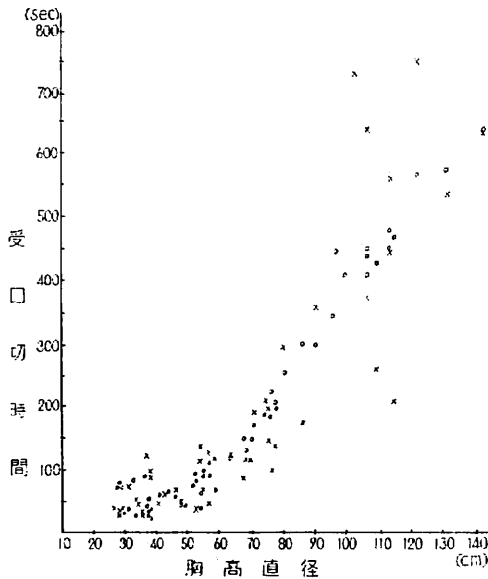


図 5. 胸高直径と受口切り時間

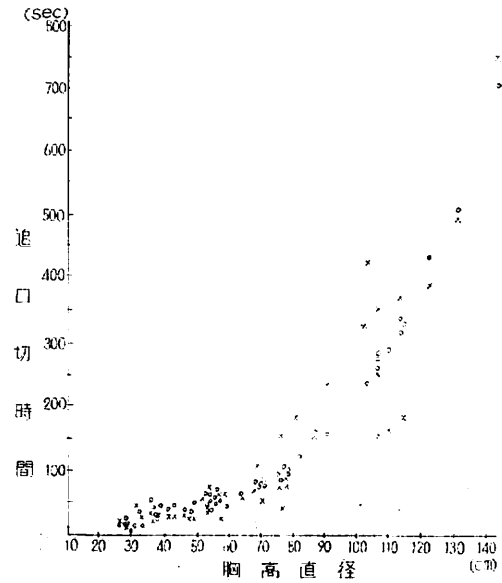


図 6. 胸高直径と追口切り時間

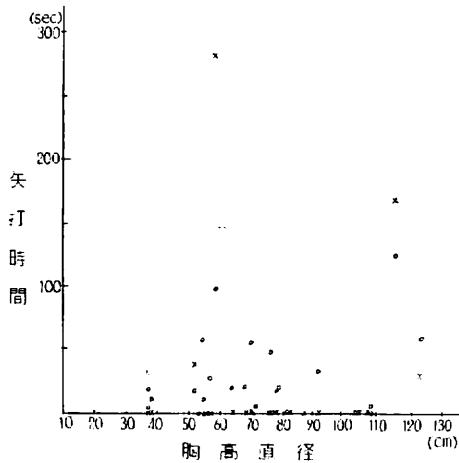


図 7. 胸高直径と矢打ち時間

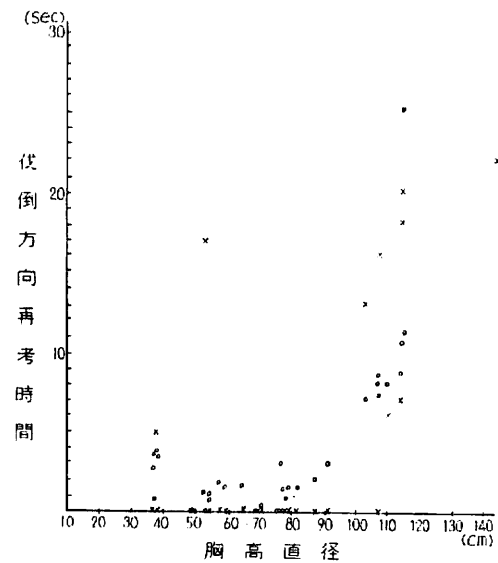


図 8. 胸高直径と伐倒方向再考時間

- | | |
|-----------|-----------|
| 9. くさび打ち | 10. 玉切進行見 |
| 11. 鋸引抜き | 12. 転材確認 |
| 13. くさび抜き | 14. 手直し |
| 15. 空身歩行 | |

なお 1. の玉切りはチェーンソーを用いて玉切りをする作業で玉切り方法によって区別していない。

2.3.2. 玉切作業の条件

玉切りの場合はあらかじめ知ることのできる条件が少ないため、林試研報第 149 号で用いた条件をみな

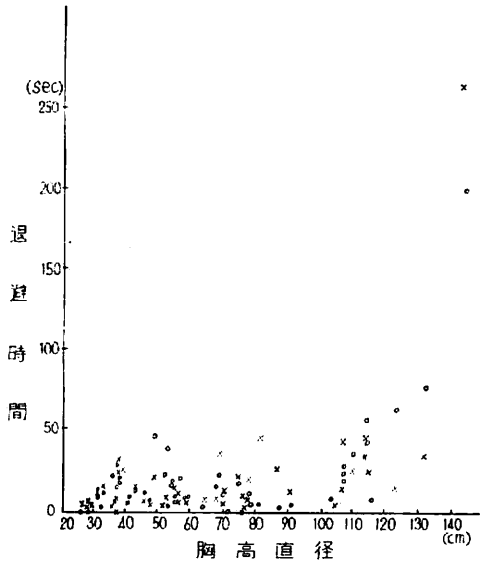


図 9. 胸高直径と退避時間

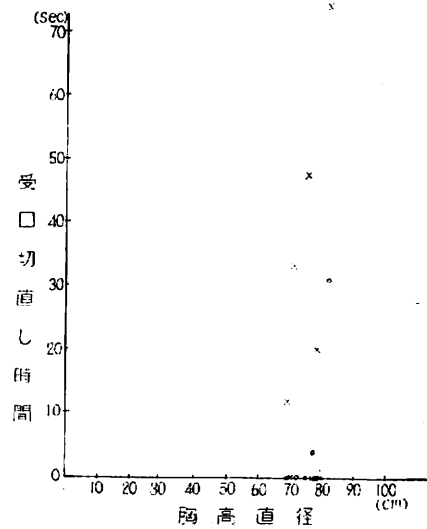


図 10. 胸高直径と受口切直し時間

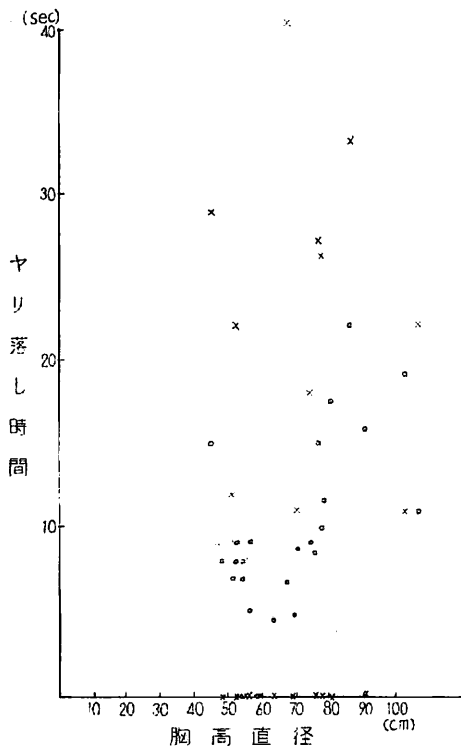


図 11. 胸高直径とヤリ落し時間

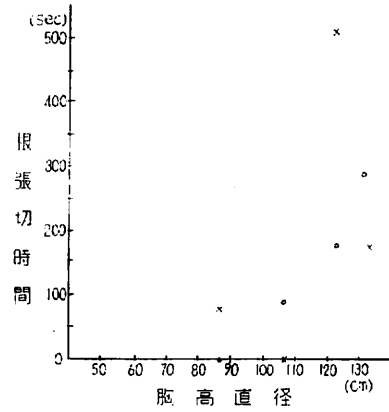


図 12. 胸高直径と根張切り時間

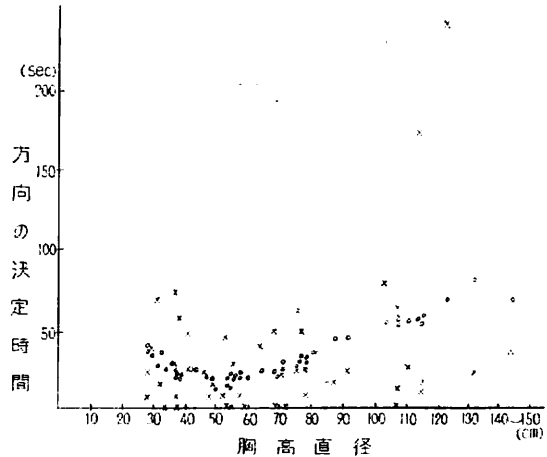


図 13. 胸高直径と方向の決定時間

共分散行列, 相関行列

7	8	9	10	11
-9.15	2.63	23.62	50.84	388.97

7	8	9	10	11
0.164E+03	0.174E+02	0.256E+02	0.592E+03	0.266E+02
0.333E+02	0.437E+01	0.943E+01	0.976E+02	0.387E+01
0.342E+02	0.158E+01	0.926E+01	0.327E+01	0.277E+02
0.343E+02	0.269E+01	0.797E+01	0.502E+02	0.565E+02
0.185E+03	0.189E+02	0.569E+02	0.612E+03	0.349E+02
0.249E+03	0.129E+02	0.146E+02	0.401E+03	0.612E+02
0.193E+03	0.410E+01	0.317E+02	0.111E+03	0.535E+02
0.410E+01	0.221E+01	0.163E+01	0.360E+01	0.432E+02
0.317E+02	0.163E+01	0.129E+03	0.125E+02	0.382E+01
0.111E+03	0.360E+01	0.125E+02	0.528E+03	0.255E+03
0.535E+02	0.432E+02	0.382E+01	0.255E+03	0.607E+04

6	7	8	9	10	11
0.62	0.38	0.38	-0.07	0.83	0.01
0.60	0.38	0.46	-0.13	0.67	-0.01
0.35	0.28	0.12	-0.09	0.02	0.04
0.46	0.26	0.19	-0.07	0.23	0.08
0.59	0.39	0.37	-0.15	0.78	0.01
1.00	0.58	0.28	0.04	0.57	0.03
0.58	1.00	0.20	-0.20	0.35	-0.05
0.28	0.20	1.00	-0.10	-0.11	-0.37
0.04	-0.20	-0.10	1.00	-0.05	-0.00
0.57	0.35	-0.11	-0.05	1.00	0.14
0.03	-0.05	-0.37	-0.00	0.14	1.00

表 13.

回 帰 方 法	S^2	m
(a)	1.02	$1.08 + 0.0377D$
(b)	0.792	$-14.3 + 0.0275D + 0.523H$
(c)	0.409	$-1.27 + 0.211H$

すなわち、樹高から玉数を推定するほうが精度もよいことがわかる。

2.3.4. 作業時間と条件の関係

2.3.2 に示した単位作業について条件との相関（表 14）から次のことがわかる。

1. 玉切りは末口径と強い相関がある。そのほか D , H , d とともに相関があるが、これは条件間に相関があるためである。

2. 玉切りを除いて他の作業は条件との相関が低い。なお、回帰を行ってもやはり玉切りを除いて、推定値として単なる平均値をとる場合と比較してあまりあてはめが良くない。

表 14. 玉 切 条 件

作業	1	2	3	4	5	6	7
	玉 切 り	引 落 し	段 取 り	持 歩 行	道具取替え	始 動 停 止	足 場 作 り
1D 2H	0.73 0.56	0.01 0.03	0.17 0.14	0.03 -0.00	0.17 0.08	1.12 0.07	0.15 0.07
3a 4θ	0.01 0.18	0.18 0.10	0.12 0.12	-0.00 -0.01	0.05 0.06	0.10 0.09	0.11 0.13
5d 6h	0.68 0.54	0.03 0.12	0.17 0.04	-0.03 -0.05	0.10 0.09	0.16 0.13	0.15 0.01
7β 8m	0.25 -0.05	0.14 -0.04	-0.04 0.14	-0.09 -0.13	-0.05 -0.16	-0.02 -0.18	0.07 -0.09
9γ 10ds	0.04 0.84	-0.14 0.02	0.03 0.09	0.17 0.10	0.17 0.25	0.07 0.22	-0.08 0.19
11l	0.06	0.07	0.03	0.00	0.07	-0.01	0.07
平 均 分 散	74.5 606.0	7.42 8.98	8.42 359	9.01 156	7.13 109	8.84 133	3.65 200

以上のことから、次のように考えることができる。

1. 林試研報第149号では作業を仕事の性質上単位作業、要素作業に分類しているが、与えられた条件から作業時間を推定する場合には、条件との結びつきを考えて分類するのが望ましい。

2. 玉切作業を細かく分けて、いずれも玉の条件と関係づけようとしているが、「持歩行」のように木全体に対応させるべきもの、「始動停止」のように枝払いの始動停止をいっしょにして木に関する作業とした方がよい場合がある。

2.4. 集材機作業

集材機作業の研究は伐木造材に比べておこなわれているが、作業の標準化をめざしてその定量的解析が行なわれている。

ここではその代表的な例として、「集材機作業基準時間（サイクル時間）等のとりまとめ要領」⁸⁾について簡単に検討する。

集材作業を11個のまとまり作業に分け、おのおの条件が与えられれば標準時間が計算できるようにしてあり、その手順も簡単な仮定のもとに行なわれている点で注目される。

しかし、作業時間を見積る場合に考慮すべき点、明確にしなければならない問題をつぎにあげる。

1. 集材機の馬力が変わった場合に適用できず、そのためには計算式の係数を全く新しく作り直す必要がある。

2. 実搬器走行は全走行距離と主索の傾斜のみによって決まるとしているが、実際は垂下比、吊り荷、スパンも大きな因子となる。

また引戻索を引張って走る抵抗、引戻索によって引寄せられる力なども考慮する必要がある。これらを考えれば吊り荷が軽いと走行速度が落ちること、傾斜がゆるやかである場合、途中で速度が落ちる程度なども説明できる。

3. 実搬器走行の場合、ブレーキをかけるが、そのブレーキ容量によって走行速度が制限されるが、この点が考えられていない。

と 時 間 の 相 関

8	9	10	11	12	13	14	15
位 置 替 え	くさび打ち	玉切進行見	鋸 引 抜	転 材 確 認	くさび抜き	手 直 し	空身歩行
0.32 0.27	0.28 0.15	0.16 0.12	0.11 0.07	0.07 0.05	0.23 0.16	-0.00 0.01	0.02 -0.04
0.07 0.07	0.03 0.07	0.10 0.10	0.10 0.12	0.03 0.04	0.03 0.08	0.01 0.01	0.07 0.04
0.30 0.22	0.14 0.20	0.13 0.16	0.03 0.12	0.08 -0.07	0.09 0.13	0.00 0.01	0.02 0.11
0.10 -0.06	-0.04 -0.07	0.08 0.09	0.02 -0.09	-0.02 -0.02	-0.07 -0.07	-0.05 -0.01	0.01 -0.20
0.14 0.40	0.18 0.31	0.01 0.14	-0.03 0.15	-0.11 0.09	0.07 0.27	0.08 0.01	0.12 0.12
-0.02	0.12	0.01	0.07	0.03	0.15	0.01	0.04
1.70 55.2	3.18 66.6	0.34 4.04	3.46 33.8	0.93 12.8	1.00 14.5	0.41 16.3	3.97 10.2

4. 盤合作業、荷かけ作業の安全基準が明確でないため、サイクル時間を算定することが困難である。

以上、根本的な問題点を示したが、集材機作業でその作業時間が機械、器具によって決まるものについて理論的にそれをみちびこうとする立場をとることは、システムの最適化を行なう場合に、必要な方針である。

2.5. 伐倒、造材、集材作業の最適化

本研究で行なう伐倒、造材、集材作業の最適化の一部ではあるが、長野営林局で提案された「製品生産事業作業工程選定方針（案）について」⁹⁾ およびそれに付随するチェーンソー作業¹⁰⁾と集材機作業¹¹⁾に関する資料について検討する。この案は集材作業として、全木集材と普通集材の選定基準を定めることを目標とし、そのための資料および計算法を提案した。このなかで集材機作業については2.4でとりあげた研究に基づいているため、ここでは省略し、チェーンソー作業、盤合作業、選定案について考える。

2.5.1. チェーンソー作業

チェーンソー作業（伐倒、造材作業）を単位作業に分解してその標準時間をおもに樹種別、胸高直径別、足場の良否別に算定している。

単位作業の条件因子の選び方はともに必要最小限度であり妥当と思われる。しかし、実施に当たってはつぎのようなかなり大きな問題点もある。

全作業時間を算出するのに、樹種別平均直径を用いているが、これは以下に示すことを意味する。

いま実際に胸高直径 $D_1, D_2, \dots, D_n$ の木があったとする。また、それに対応して作業時間が $f(D_1), f(D_2), \dots, f(D_n)$ とする。

そこでまず平均胸高直径 $\bar{D}$ を求める。

$$\bar{D} = (D_1 + D_2 + \dots + D_n) / n$$

すると、全作業時間 T は $T = n \times f(\bar{D})$ となる。

以上のことは次の仮定をしたことになる。

すなわち正確には、 $T = f(D_1) + f(D_2) + \dots + f(D_n)$ であるから

$$\begin{aligned} & f_1(D_1) + f_2(D_2) + \cdots + f_n(D_n) \\ & = n \times f\left(\frac{D_1 + D_2 + \cdots + D_n}{n}\right) \cdots \cdots (2.10) \end{aligned}$$

式 (2.10) がつねに成立するためには、

$$\begin{aligned} & f_1(D_1) + f_2(D_2) + \cdots + f_n(D_n) \\ & = f(D_1 + D_2 + \cdots + D_n) \cdots \cdots (2.11) \end{aligned}$$

が成立すればよい。

$$\left(\because n \times f\left(\frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}\right) = f\left(\sum_{i=1}^n D_i\right) = \sum_{i=1}^n f(D_i) \right)$$

すなわち、 $y=f(X)$ が直線関係である必要がある。ところが、実際は式 (2.11) が成立しない。実測の結果はむしろ、 $f(X)=b_0+b_1X+b_2X^2$ となり、 X^2 の項が大きく効いてくる。そのため式 (2.11) の仮定で算出すれば、実際より小さい時間を見積もることになる。このことは胸高が決まってから玉切り時間を算出するために平均玉径を決めて、その時間を玉数倍した場合についても同様である。

2.5.2. 盤台作業

盤台作業はチェーンソー作業と異なり、単位作業に分解することなく、合計時間のみを算出している。そのため算出の基礎となる仮定が明らかでない。また、サイクル時間の見積りに組作業の影響が考慮されていない。しかし、多くの実測によって求めた値ならば採用してもよいと思われる。

2.5.3. 全木・普通集材の選定

全木・普通集材の選定基準がどのように定量的に求められた意義は大きい。はじめにこの案を用いる場合の制限を示しているが、長野地方の集材機作業の大部分がこの制限内にはいるならば採用できるかもしれない。ただし、その基礎資料になるものに、これまで検討したような問題点があることに留意する必要がある。また組人員、集材機馬力、索張りなどを変えた場合については適用することが困難である。

2.6. 要 約

これまで行なわれてきた研究の中から、次に述べる代表的なものを取り上げて検討した結果を示す。

1. 伐木造材⁷⁾：この研究に用いたデータに基づいて新たに解析した結果、次の結論が得られた。

(a) 単位作業の分解は条件因子、発生理由によって分けるのが良い。

(b) 作業の発生率を一率にせず、条件によって変化させて回帰すれば、より良い回帰を行なうことができた。

(c) 条件として採用すべきもの、条件どうしの関係を求めた。

2. 集材機作業⁸⁾：この研究は簡単な仮定から出発して、筋道をたてて各種の値を求めているが、問題点はつぎようになる。

(a) 集材機走行速度を算出するのに必要な因子である吊り荷、作業索、ブレーキ能力、垂下比などが考慮されていない。

(b) 集材機の馬力が変わった場合にはそのまま適用できない。

(c) 完全作業基準が具体的に決められていない。

3. 最適化⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾：この研究は、はじめて定量的に工程選定基準を提示したものとして注目されるが、その手順、結論にはつぎの問題点がある。

- (a) 立木の胸高直径とその木に関する総作業量が直線関係にあることを仮定して、平均胸高直径で全作業量を算出している。
- (b) 盤台作業時間算出の基準がはっきりしていない。
- (c) 工程選定基準を適用するための制限が多くあり、集材機、架線方式の選定基準が具体的に決められていない。

3. 最適化の基礎

3.1. 概 説

集材機を中心とした運搬系システムの最適化を行なう前に、本章では一般的な最適化問題を定式化し、それを本研究に適用する基礎理論を述べる。すなわち、具体的な最適化問題の定式化のために必要なデータの処理、および代表的な最適化法の基礎を示し、その適用の可能性を検討する。

3.2. 一般的最適化問題の定式化と本研究への適用

一般に最適化問題を扱うには、まず何を最適とするか明確にしなければならない。次に、そのために何を決定するのかを決める。そこで、最適にすべき値と決定すべき変数、与えられた条件の関係を求める。ここではじめて最適化の問題が定式化される。これを式で示せば次のようになる¹²⁾。

I : 最適化すべき変数（コストなど）

x : 決定すべき変数（作業人員など）

q : 変えることのできない変数（環境を表わす変数）として

$$I = f(x, q) \quad (3.1)$$

の関係があるものとする。また x に対して制限があり

$$r_i(x, q') \geq 0 \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (3.2)$$

の制限条件とする。ここで式 (3.1), (3.2) の x, q, q' は 1 変数であるとは限らず、

$$I = f(x_1, x_2, \dots, x_n, q_1, q_2, \dots, q_n)$$

$$r_i(x, q') = x_1, x_2, \dots, x_n, q_1, q_2, \dots, q'_i$$

となる場合が多い。

最適化とは、式 (3.2) を満足し、式 (3.1) の I を最小（あるいは最大）にする $x(x_1, x_2, \dots, x_n)$ を求めることである。

式 (3.1), (3.2) が与えられた場合、その式の形によって各種の解法がある。システムの最適化には、まずその式を作ることが先決問題で、それが正しくシステムの特性を表わしているか否かによって最適化の結果が決まる。本研究では、

I : 総コスト

x : 作業人員、集材方式、架線方式、ロープ径、集材機馬力

q : 作業地の地形、立木の状態、作業者の特性

$r_i(x, q)$: 作業人員は 1 人、2 人、3 人、4 人、5 人、……のみをとること、集材機馬力は 4 種類の中から選ぶことなどの制限となり、

$$I = I_1(x, q) + I_2(x, q) + \dots \quad (3.3)$$

ここでは $I_1, I_2, \dots$ は作業員賃金、集材機償却費等である。このなかで I の関数形が定まっていなくても

のはおもに人間の作業が媒介となる項である。そこでまず、作業分析に用いた回帰分析を次に述べる。

3.3. 回帰分析¹³⁾

3.3.1. 回帰分析の基礎

各種のデータ間の関係を明らかにする方法の 1 つに回帰分析がある。回帰分析は変数 y が $x_1, x_2, \dots, x_m$ の 1 次結合で表わされるものと仮定し、

$$y = b_0x_1 + b_1x_1 + \dots + b_mx_m \dots\dots\dots (3.4)$$

において、 $b_0, b_1, \dots, b_m$ を n 組のデータ

$$\begin{array}{ccccccc} y_1, & x_{11}, & x_{12}, & \dots, & x_{1m} \\ y_2, & x_{21}, & x_{22}, & \dots, & x_{2m} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ & & & & (n > m) \\ & & & & \cdot \\ & & & & \cdot \\ y_n, & x_{n1}, & x_{n2}, & \dots, & x_{nm} \end{array}$$

はおのおの独立であるとする。

式 (3.4) をベクトル表示すれば

$$\bar{Y} = Y_b \dots\dots\dots (3.5)$$

ここで

$$\bar{Y} = (y_1, y_2, \dots, y_n) \dots\dots\dots (3.6)$$

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$b' = (b_1, b_2, \dots, b_m) \dots\dots\dots (3.8)$$

$\bar{Y}$ の推定値を $\hat{Y}$ とすれば、 b は $\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2$ を最小にするように定めれば b は次のようになる。

$$b = (X'X)^{-1}X'\bar{Y} \dots\dots\dots (3.9)$$

y の平均を $\bar{y}$ とすれば平均値に関する 2 乗和 : SSY , 回帰に関する 2 乗和 : SSR , 回帰による 2 乗和 : $SS\hat{Y}$ は

$$\left. \begin{array}{l} SSY = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \\ SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \\ SS\hat{Y} = \sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (3.10)$$

回帰の良さの目安を 1 つとして、

$$R^2 = SS\hat{Y} / SSY \dots\dots\dots (3.11)$$

があり、 R^2 が 1 に近いほど良い回帰である。また、推定誤差 S は、

$$S^2 = \frac{SSR}{n-m} \dots\dots\dots (3.12)$$

によって求められる。

回帰係数 $b_i (i=1, 2, \dots, m)$ の推定誤差 $\text{est} \cdot (b_i)$ は次の式で表わされる。

$$\text{est} \cdot (b_i) = \{(X'X)^{-1}\}_{ii} S \dots\dots\dots (3.13)$$

ここで $\{(X'X)^{-1}\}_{ii}$ は行列 $(X'X)^{-1}$ の i 行 i 列の要素, また b_i が D でなく意味を持つことの検定は,

$$t = \frac{b_i}{\text{est.}(b_i)} \quad \dots\dots\dots (3.14)$$

を用いて自由度 m の t 検定によって行なうことができる。

3.3.2. 異なる条件下のデータの回帰分析

回帰分析を行なう場合に得られるデータは必ずしも同一条件とは限らない。いま作業時間 y と作業条件 $x_1, \dots, x_m$ を回帰分析するのに、作業者Aと作業者Bについて観測するものとする。A, Bのデータを合わせて回帰分析を行なうことは必ずしもよくない。A, Bの能力の差を考慮する必要がある場合が多い。その場合は変数 x_{m+1} を新たに加え、データを次のようにする。

	y	x_1	x_2	$\dots\dots x_m$	x_{m+1}
A	y_1	$x_{1,1}$	$x_{1,2}$	$\dots\dots x_{1,m}$	0
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	0
	y_l	$x_{l,1}$	$x_{l,2}$	$\dots\dots x_{l,m}$	0
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	0
B	y_{l+1}	$x_{l+1,1}$	$x_{l+1,2}$	$\dots\dots x_{l+1,m}$	1
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	y_n	$x_{n,1}$	$x_{n,2}$	$\dots\dots x_{n,m}$	1
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$

そこで、 y を $x_1, x_2, \dots, x_{m+1}$ に関して回帰すれば、 $b_1, \dots, b_{m+1}$ を求めることができる。

b_{m+1} は作業者に関する係数であり、この有意性も式 (3.14) によって確かめることができる。また、A, B別々に回帰を行えば資料の数が少なくなる場合にも有効な方法である。

3.3.3. X の間に相関する場合

はじめに X の間に相関がないものと仮定したが、もし相関がある場合には X を交換して直交化すればよい。 X 間に相関があれば

$$X'X \approx A \quad \text{ここで} \quad A = \begin{pmatrix} r_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & r_n \end{pmatrix}$$

X を次のように交換して Z にする。

$$Z = XT \quad \dots\dots\dots (3.15)$$

Z は互いに相関がないため

$$Z'Z = I \quad \dots\dots\dots (3.16)$$

が成立する。そのためには式 (3.16) を満足するような交換を施す行列 T を求める必要がある。

$$Z'Z = T'X'XT \quad \dots\dots\dots (3.17)$$

$X'X$ は対称行列であるからこれを直交化するにはその固有値を求めればよい。 Z の各成分について X の成分がどの程度寄与するか知ることができる。また、 X のままで回帰した b が負になって説明がつかない場合にも Z に変換して意味を知ることでもできる。本研究では X と Y の関係を詳しく説明することを避けて X の直交化をはかることは省略した。それは、 Z に交換して $Y = ZC$ として C を求めても X に対する係数は $Y = ZC = XTCT$ から $b = TC$ として求めれば結局 (3.9) の b と合致するので回帰式を求めるのにはさしつかえない。

3.3.4. 線形計画法¹⁴⁾

線形計画法を定式化すれば次のようになる。

$$\text{拘束条件 } X_i \geq 0 (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (3.18)$$

$$\begin{array}{l} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 \\ \vdots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m \end{array} \dots\dots\dots (3.19)$$

のもとで目的関数

$$I = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n \dots\dots\dots (3.20)$$

を最小にする x_i ($i=1, 2, \dots, n$) を求めることである。

線形計画を解くにはシンプレックス法が用いられるが、式 (3.19)、(3.20) の係数を与えれば、 I の最小値およびそのときの x を求める計算機のプログラムも作られている（東大大型計算機センターのライブラリールーチンなど）。

ところで、これまでは求める変数 x は式 (3.18)、(3.19) を満足すればどんな値でもとりうるものとしたが、実際には x が人間の数などとなり整数しかとることのできない場合が多い。 x を整数と限る整数線形計画についても研究されていて¹⁵⁾、式 (3.19)、(3.20) の係数がすべて整数である場合については計算機のプログラムが開発されているが¹⁶⁾、複雑な問題を解くことは計算機の制限上困難である。

次に本研究での応用への可能性を考える。システムを小さく単純化して、各サブシステムについて検討する。

全木の集材機作業を行なう場合、盤台人員を x として、他の条件は一定とする。作業時間 (t) を x によらず一定の時間 (t_1) と x によって変化する時間 (t_2) に分ける。 $(t=t_1+t_2)$ 簡単にするため $t_2=\frac{b_1}{n}$ とする。コストは単位時間あたり盤台作業員 1 人 C_h 、他のコスト（機械、他の作業員）を C_e とする。目的関数 I を総コストとすれば、

$$\begin{aligned} I &= (C_h + nC_e)t \\ &= (C_h + nC_e) \left(t_1 + \frac{t_2}{n} \right) \\ &= (C_h t_1 + C_e t_2) + \left(nC_e t_1 + \frac{C_e t_2}{n} \right) \dots\dots\dots (3.21) \end{aligned}$$

式 (3.21) からわかるように、これは線形計画法によって解くことができない。上述のような簡単な仮定を設けても、集材機作業は線形計画に乗らないが、もしむりに使おうとすれば目的関数が線形となるように仮定を作り直す必要があり、これは事実を表わさなくなる。

3.3.5. ダイナミック・プログラミング¹⁷⁾

非線形な関係で表わされるシステムの最適化を行なうのに、ダイナミック・プログラミング (DP) が有効である場合がある。DP を本研究の対象となるシステムへの適用を考えながら説明する。ここで扱うシステムは集材方式、架線方式、ロープ径、集材機馬力、人員などを順次決めて、それによって作業を行なった場合のコストを最小にするのであるが、このように順次決定する政策を $x_1, x_2, \dots, x_n$ とする。 P_i を決定する場合のシステムの状態を q_i とし $(x_1, q_1), (x_2, q_2), \dots, (x_n, q_n)$ の組を考える (x, q はいずれも I 変数とはかぎらない)。最初のシステムの状態 q_1 で最初の政策 p_1 が選ばれたとする。この結果は新しい状態 q_2 になり、次の関数で表わされるものとする。

$$q_2 = T(q_1, x_1) \dots\dots\dots (3.22)$$

一般に $q_{i+1} = T(q_i, x_i), i=1, 2, \dots, n-1$ (3.23)

すべての決定がなされたら目的関数(コスト)が求められる(これを n 段決定プロセスという)。

$$I = f(x_1, x_2, \dots, x_n; q_1, q_2, \dots, q_n) \dots\dots\dots(3.24)$$

式(3.24)から $q_2, q_3, \dots, q_n$ は $x_1, x_2, \dots, x_n$ と q_1 で表わせる。

$$I = G(q_1; x_1, x_2, \dots, x_n) \dots\dots\dots(3.25)$$

したがって、最適値とは I を最小にする $x_1, x_2, \dots, x_n$ を求めることである。一般に、これを解析的に解くのは不可能であり、また x がすべての場合について I を計算して比較することも不可能なことが多い。

ところが、もし式(3.24)の関数がつぎの性質をそなえていれば解決できる。「 n 段の多段決定プロセスがあるとき、第 k 段までの決定が、すでになされたものとする。このとき残り $(n-k)$ 段の決定が G におよぼす影響は、 k 段までになされた決定の結果として生じた状態と、これから行なう $(n-k)$ 段の決定だけに依存する。」

このような性質をもったプロセスをマルコフプロセスといい、多くのプロセスは近似的にこの性質をそなえている。

さて、集材機作業システムについて考えてみれば、状態 q を何にとるのが第1の問題であろう。第 k 段の状態が、 $P_1, P_2, \dots, P_{k-1}$ がおのおの m_i 個の値をとる場合、 $m_1 \times m_2 \times \dots \times m_{k-1}$ より小さな数で表わさなければ意味がない。すなわち、全木集材が普通集材かを P_1 とすれば、それによって生ずる q_2 はやはり2種類あるため、DPをここに使っても意味がない。また、ロープ径 P_2 としてこれが5種類の値をとるものとすれば、 q_3 は $2 \times 5 = 10$ 種類となり、やはり計算回数は省略されない。システムのなかでもっとも使える可能性のあるものは、タイラー、ホーリングの選定と集材機馬力の決定のところで、この両者が決まれば状態量の1つとして集材機の走行時間をとることができる。馬力の種類が5とすれば、状態量は $2 \times 5 = 10$ より小さくとることができる。その後は人員について最適化を行なえばよい。

3.3.6. 最大傾斜法¹⁸⁾

式(3.1)が非線形で、3.5で述べたようなマルコフ過程の多段プロセスでもない場合は、これまでとりあげたような最適化の手法を用いることができない。さりとて、決定すべき x のすべての場合について計算をするのは、非能率的である。このとき、最大傾斜法が有効である場合がある。

最小にする目的関数は

$$\begin{aligned} I &= f(x_1, x_2, \dots, x_n; q) \dots\dots\dots(3.26) \\ &= f(X, q) \end{aligned}$$

いまある $X_0 = (x_{10}, x_{20}, \dots, x_{n0})$ について I を計算する。次に $x_{i1} (i=1, 2, \dots, n)$ を次のように決定する。

$$\begin{aligned} x_{i1} &= \left\lfloor x_{i0} - \lambda \frac{\sigma f(x_0, q)}{\sigma x_i} \right\rfloor \quad X = X_0 \dots\dots\dots(3.27) \\ (i &= 1, 2, \dots, k) \end{aligned}$$

ここで $\lambda > 0$, $\frac{\sigma f(x_0, q)}{\sigma x}$ は $f(X, q)$ の傾斜となる。

次に x_1 を基にして、同様に X_2 を求める。この計算をくり返せば何回か後に $f(X_{m-1}, q) \geq f(X_m, q)$ となれば X_n が求める解である。ふつう、はやく解に達するために各ステップで変化する量を決める λ

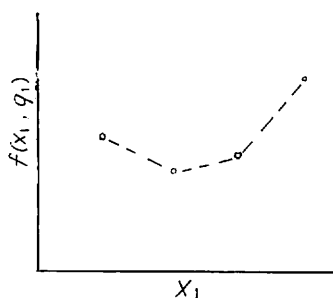


図 18.

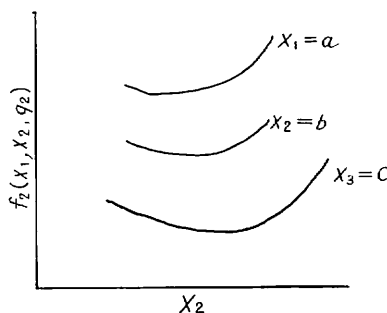


図 19.

を変えてやるが行なわれる。最大傾斜法が有効な場合は $f(X, q)$ が 1 つの極値をもつ場合である。

次に、最大傾斜法を集材機作業システムに適用する場合を考える。まず、作業人員を変数 x_1 にとり、他の条件を固定する。

目的関数は x_1 のみに依存し、

$$I = f_1(x_1, q_1) \dots\dots\dots (3.28)$$

となり、もし $f_1(x_1, q_1)$ が図 18 のように唯一の極小値をもてば、 x_1 について最大傾斜法を用いることができる。

同様にローブ径を x_2 とすれば、

$$I = f_2(x_1, x_2, q_2) \dots\dots\dots (3.29)$$

となり、もし式 (3.29) が図 19 のように x_1 がいかなる一定値をとっても、 x_2 に関して 1 つの極小値を持ち、また x_2 がいかなる一定値をとっても x_1 に関して同様のことが成立すれば、 x_1, x_2 に対して逐次に 1 変数の最大傾斜法を用いることができる。すなわち、 x_{20} をある値にして、 x_1 に関して最大傾斜法を適用して最適な x_1 を求め、そのときの I を $f'(x_{20})$ とする。

次にこれを x_2 に関して 1 変数の最適化とみなして新しい x_{21} を仮定して $f'(x_{20})$ と同様にして $f'(x_{21})$ を求める。 x_{21} での傾斜は

$$\frac{f'(x_{21}) - f'(x_{20})}{x_{21} - x_{20}}$$

とみなして最大傾斜法を行なうことができる。なおここで、仮定した極値が 1 つであるという条件は、このシステムにおいては成立するものと思われる。一応チェックをしてから最大傾斜法を用いることができるであろう。

3.3.7. 要 約

最適化の問題を定式化すれば式 (3.1) となる。定式化するためにはこの式の関数形を明らかにする必要がある。人間の作業時間を作業条件の関係のように、データをとって決定するのに回帰分析がある。回帰分析の基礎理論を示し、データをとった条件に差異がある場合、および条件間に相関のある場合の取扱ひ方について説明した。

次に、定式化された問題の代表的解法を順次述べたが、その要約は次のようになる。

1. 線形計画法……目的関数、制限条件が線形である場合に有効であるが、集材作業システムでは非線形のため適用できない。
2. ダイナミック・プログラミング……目的関数、制限条件いずれも非線形でかまわないが、決定すべき

変数を順に決めていく多段決定プロセスと考えた場合、それがマルコフ・プロセスになれば有効でない。本システムではその一部に適用することができる。

3. 最大傾斜法……目的関数、制限条件はいずれも非線形でもかまわないが、目的関数に極値が多数ある場合は困難である。本システムは最適解は2つ以上、しかも、とびはなれて存在することはないと考えられるため、変数が多くの値をとりうる場合（ロブ係など）に適用できる。

4. 目的関数の構成

4.1. 概 説

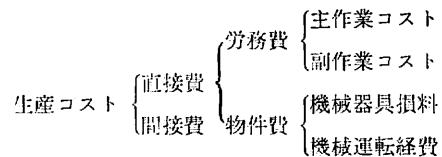
集材機を中心とした運搬系システムの目的関数は、このシステムの総コストと定める。ただし作業方法は必ず人間、機械とも安全で無理のないように最適化をはかる。ここで考える総コストは次のように大別される。

1. 生産コスト：事業地の立木を伐倒して集材するまでのコスト。
2. 造林コスト：集材後に造林するコスト。
3. 災害コスト：伐木から集材までの災害コスト。
4. 全木集材による利益：全木集材の場合は末木枝条処分および材の新鮮さによって利益があるものとする。

本研究では、造林コスト、災害コスト、全木集材による利益については詳細に算出することは避け、ほぼ妥当と考えられるように近似を行なっている。なお正確な算出ができれば、本最適化プログラムのデータを変更することによってその値を用いて計算することになる。以下各コストについてその算出法を述べる。

4.2. 生産コストの分類

生産コストを分類すれば次のようになる。



本研究では直接費を中心にしてコストを算出したが、生産コストの構成要素についてコストの算出法をつぎに示す。

4.3. 主作業コスト

ここで、主作業とは普通集材方式、全木集材方式に大別され、次の作業を含む。

1. 普通集材方式：伐木造材、荷かけ、荷卸し、集材機運転。
 2. 全木集材方式：全木伐倒、荷かけ、荷卸し、集材機運転、盤台造材
- 以下工程別にコストの算出を行なう。

4.3.1. 普通集材方式のコスト (C_{TSN})

普通集材方式の主作業コストは次の2つに分けておのおの COST を計算して加えればよい。

1. 伐木造材コスト： C_{BZH}
2. 普通集材コスト（荷かけ、荷卸し、集材機運転）： C_{SHH}

$$C_{TSH} = C_{NZH} + C_{SHH} \dots\dots\dots(4.1)$$

(i) 伐木造材コスト

伐木造材は 1 人組作業としてその作業日数を求めてコストを算出する。作業日数は

$$D_{NZH} = \frac{S_{NZH}}{60 \times H_{NZH}} \dots\dots\dots(4.2)$$

ここで、 S_{NZH} ：伐木造材の全作業量 (秒×人)

H_{NZH} ：伐木造材の 1 日あたり正味作業時間 (min) (通勤、休憩、昼休み等を除いた時間)

したがってコストは、

$$C_{NZH} = C_{ZD} \times D_{NZH} \dots\dots\dots(4.3)$$

ここで、 C_{ZD} ：造材手 1 日あたりのコスト

(ii) 普通集材コスト

ここで普通集材方式の作業としてつぎの場合を考える。

荷かけ n 人 ($n=1, 2$)

荷卸し 1 人

運転手 1 人

集材コストは集材作業日数から求めることができる。集材作業日数は、

$$D_{SHH} = \frac{T_{SHH}(n)}{60 \times H_{SHH}} \dots\dots\dots(4.4)$$

ここで、 $T_{SHH}(n)$ ：荷かけ手 n 人の場合の総作業時間 (sec)

H_{SHH} ：1 普通集材作業の 1 日あたり正味作業時間 (min)

したがって、普通集材コストは

$$C_{SHH} = D_{SHH} \{ (1+n)C_{SD} + C_{UD} \} \dots\dots\dots(4.5)$$

ここで、 C_{SD} ：集材手 1 日あたりのコスト

C_{UD} ：運転手 1 日あたりのコスト

4.3.2. 全木集材方式のコスト (C_{TSZ})

全木集材の場合も普通集材と同様な手順でコストを算出する。

$$C_{TSZ} = C_{NAZ} + C_{SHZ} \dots\dots\dots(4.6)$$

ここで、 C_{NAZ} ：全木伐倒コスト

C_{SHZ} ：全木集材コスト

(i) 全木伐倒コスト

全木伐倒作業は 1 人組作業とし、その日数は

$$D_{NAZ} = \frac{S_{NAZ}}{60 \times H_{NAZ}} \dots\dots\dots(4.7)$$

ここで、 S_{NAZ} ：全木伐倒の全作業量 (秒×人)

H_{NAZ} ：全木伐倒の 1 日あたり正味作業時間 (min)

したがってコストは、

$$C_{NAZ} = C_{ZD} \times D_{NAZ} \dots\dots\dots(4.8)$$

(ii) 全木集材コスト

ここでは全木集材作業として、つぎの場合を考える。

荷 か け 1人

$$\text{盤台作業} \begin{cases} \text{造材手} & n_Z \text{ 人} \\ \text{集材手} & n_S \text{ 人} \end{cases}$$

全木集材作業は数はずぎのようにして求める。

$$D_{SHZ} = \frac{T_{SHZ}(n_1, n_2)}{60 \times H_{SHZ}} \dots\dots\dots (4.9)$$

ここで、 $T_{SHZ}(n_1, n_2)$ ：盤台の造材手 n_1 人、集材手 n_2 人の場合の総作業時間 (sec)

H_{SHZ} ：全木集材作業の1日あたり正味作業時間 (min)

全集材コストは

$$C_{SHZ} = D_{SHZ} \{ (1+n_2)C_{SD} + n_1C_{ZD} + C_{UD} \} \dots\dots\dots (4.10)$$

4.4. 副作業コスト

ここで副作業とは、集材作業のための集材線架設、撤去、盤台作設とする。

(i) 集材線架設、撤去¹⁹⁾

架線についてはタイラー、ホーリング別に昭和38～41年の木曽谷事業所のデータについて回帰分析を行ない、次の結果を得た。

条件を x_1 ：支間距離 x_2 ：林地傾斜

x_3 ：集材面積 x_4 ：樹取距離

x_5 ：支間傾斜

工期を y として有意な条件だけをとりだせば

$$\left. \begin{array}{l} \text{タイラー} \quad y = 16.5 + 0.027x_1 - 0.202x_2 \\ \text{ホーリング} \quad y = 11.9 + 0.023x_1 + 1.17x_3 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.11)$$

ところがタイラー、ホーリングによって x_2, x_3 が一方のみに関係があるのは不合理であるため、工期は x_1 だけによって決まるものとして回帰すれば、

$$\left. \begin{array}{l} \text{タイラー} \quad y = 11.4 + 0.027x_1 \\ \text{ホーリング} \quad y = 12.1 + 0.029x_1 \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.12)$$

撤去は、タイラー、ホーリングとも共通とし、やはり x_1 のみに依存するとし、工期 y' は

$$y' = 3.98 + 0.008x_1 \dots\dots\dots (4.13)$$

結局集材線の架設、撤去コスト C_{KT} は、作業員の1日あたりのコストを C_{SD} とすれば

$$C_{KT} = C_{SD} (y + y') \dots\dots\dots (4.14)$$

すなわち、

$$\left. \begin{array}{l} \text{タイラー} \quad C_{KT} = C_{SD} (15.4 + 0.035x_1) \\ \text{ホーリング} \quad C_{KT} = C_{SD} (16.1 + 0.037x_1) \end{array} \right\} \dots\dots\dots (4.15)$$

(ii) 盤台作設コスト

盤台作設コストは、普通集材、全木集材により、地形によりそのコストが異なるが、ここでは普通集材の場合は盤台を作らず、全木集材のみに作設するものとする。また、全木集材も盤台も地形に関係なく一定面積あたりのコストを一定とする。長野の38年の資料によれば盤台作設コストは155.6円/m²で撤去に

は作設の 0.3 を見込んでいる。そこで、ここでは盤台面積を A_B/m^2 として盤台作設コスト： C_{BAB} を次のように定める。

$$C_{BAB} = C_{BAA} \times A_B$$

ここで、 C_{BAA} ：1 m^2 あたりの盤台作設コスト、ここでは 200円/ m^2 とする。

また A_B は与えられたものとするが、標準的なものとして 35m×10m とする。

4.5. 物件費

物件費、機械器具が作業によって劣化することによる機械器具損料と集材機の燃料のように消費する機械運転経費に分かれる。ここで考える物件は功程によって差のあるものにとどめ、同等な費用は考えない。したがって、チェーンソーの燃料は省略できる。以下各物件費の算出法を述べる。

4.5.1. 集材機および付属品

集材機の購入価格に対する 1 日あたりの損料については表 15 が定められているが、ここでは、集材機

表 15. 集材機の損料		の付属品に対してもこれを適用する。ただし、並滑車は集材機 1 台につき 15 個とし、耐用年数は 2 年とする。
集 材 機	損 料 (%)	
55PS 以上	0.1992	年間稼働日数を 200 日とすれば、1 日あたり購入価格の 0.25% の
20~55 PS	0.2154	損料とする。
20PS 未満	0.2580	

4.5.2. ワイヤロープ (20)

ワイヤロープ (主索, 作業索) の損料は使用条件によって異なる。いまある荷重を受けた搬器が 1 サイクルの間、動いたとすれば、その 1 サイクルあたりのコストは次のようにして求める。

その荷重のもとでのくり返し負荷の寿命を N とし、ワイヤロープの購入価格を C_{WRC} とすれば、1 サイクルあたりのコストは、

$$C_{WRC} = C_{WRC} \times \frac{n}{N} \quad \dots\dots\dots (4.16)$$

ここで、 n は 1 サイクルあたり負荷回数

式 (4.16) を用いて実際にはどのようなコスト計算を行なうかを次に示す。

(i) 主 索

直径 D の主索の寿命： N は次の式で表わされる。

$$N_D = \frac{16}{D} \cdot \frac{C_2}{\left(\frac{Q}{2A}\right) C_1} \quad \dots\dots\dots (4.17)$$

ここで、 Q ：主索にかかる総負荷 A ：主索断面積 $C_1=1.72$, $C_2=2.26 \times 10^5$

式 (4.17) は、ワイヤロープの疲労試験から得られたものである。疲労試験機はワイヤロープの張力変化がほとんど無いが、実際には図 20 のように 50% も変化する。

一方、疲労試験機では搬器の往復とも荷重がかかっている。この 2 つの相違は互いに相殺するものと考えられる。

(ii) 作 業 索

作業索の張力の変化が大きいので空搬器走行と実搬器走行の 2 つの条件下で考える。いずれの場合も荷上索、引戻索ともに 4 個の滑車を通過し、4 回曲げを受けるものとして計算する。すなわち、1 サイクルあたり作業索のコストは

$$C_{WLO} - C_{WL} \left(\frac{4}{N_1} + \frac{4}{N_2} \right) \quad \dots\dots\dots (4.18)$$

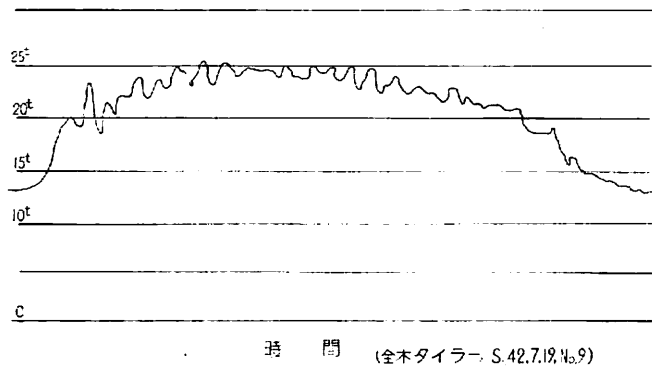


図 20. 主索の張力変化

ここで、 C_{WLO} ：作業索の購入価格

また与えられた荷重における作業索の寿命 N は、

$$N = \frac{1.04 \times 10^{12}}{(\delta b + \delta t)^{3.68}} \times \frac{10}{d} \quad (4.19)$$

ここで、 $\delta t = \frac{T}{A}$ 、 T ：索張力、 d ：索直径、 $\delta b = \frac{E\delta}{d}$ 、 E ：ヤング率、 δ ：索線径

なお、索張力、主索の荷重は7章で算出法を述べる。

4.5.3. 機械運転経費

機械運転経費としてはここでは集材機の運転経費であり、それは燃料費、オイル費、その他があるが、最も大きな割合をしめる燃料費をコストに組み入れることにする。燃料費を算出するには、集材の全サイクルにわたりどのような集材機運転を行なっても集材機の種類、すなわちガソリン、重油、プロパンガスのいずれを燃料としているかによって大きく異なる。

しかし、ここでは次のようにして算出することにする。

1. 集材機は大、中、小形ともディーゼルエンジンを用いるものとする。
2. 最小燃料費率は大形から小形まで約 190gr/p.s.-h～250gr/p.s.-h の範囲にわたるが、平均燃料費率： C_{FUE} は一率に 250gr/p.s.-h とする。
3. したがって、機械運転経費： C_{UN} は

$$C_{UN} = C_{FUE} \times W_{SH} \quad (4.20)$$

ここで、 W_{SH} ：仕事量の算出は、8.2 で述べる。

4.6. 間 接 費

間接費は作業員1人あたりに支払う間接給付であるが、年間次のようなものがある。

処理費：家族手当、山泊手当、休養手当、有給休暇、特別休暇

共通費：夏期手当、年末手当、年度末手当、運転手当、失業保険、厚生年金保険、健康保険、失業手当

ところで、作業員1人に対して必ず間接費がかかるが、その額は時期、場所、人によって異なるが、ここでは簡単にするため、1人平均1日に一定額 C_{KD} にかかるものとする。すなわち、間接費：

$$C_K = n \times C_{KD} \times TD \quad (4.21)$$

ただし、 n ：作業員数

4.7. 造林コスト

集材後の造林コストは造林する樹種、地域の条件等によって異なるが、ここでは全木集材と普通集材の差のみを考えることにして、次のように決定する。

「全木集材後の造林コストは普通集材の場合よりヘクタールあたり一定金額 (C_{ZPA}) 少なくすむ。」
したがって、造林コストは事業地の面積を A_i ヘクタールとすれば、

$$\begin{cases} \text{普通集材} \cdots \cdots 0 \\ \text{全木集材} \cdots \cdots -C_{ZPA} \times A_i \text{ 円} \end{cases} \cdots \cdots (4.22)$$

4.8. 災害コスト

本システムにおける作業を行なった場合に発生する災害にともなうコストである。工程によって災害コストに差があれば、目的関数を構成するときに考慮しなければならない。

本最適化で決定すべき変数のうち、索の太さ、集材機馬力、索張り方式、組人員に関しては、災害コストは一定とみなす。全木集材と普通集材に関しては一応考慮すべきであるが、昭和38年から41年までの木曾谷全事業所のデータを解析した結果、その差はないものとされた¹⁹⁾。したがって、ここでは考慮しなくて最適化を進めることにする。

4.9. 全木集材による利益

全木集材によって末木枝条処分および材の新鮮度によって利益がもたらされるものとする。その値は樹種、胸高直径などによって異なることが考えられるが、ここでは両者を含めて末木枝条 m^3 あたり一定値とする。したがって、総末木枝条材積を S_{rss} , m^3 あたり C_{ss} 円とすれば、

$$\begin{cases} \text{普通集材} \cdots \cdots 0 \\ \text{全木集材} \cdots \cdots -C_{ss} \times S_{rss} \text{ 円} \end{cases} \cdots \cdots (4.23)$$

ただし、 S_{rss} は蓄積の5%とする。すなわち、

$$C_{rss} = C_{ss} \times 0.05 \times (\text{蓄積}) \cdots \cdots (4.23)$$

4.10. 要 約

本研究で扱うシステムの目的関数は総コストと定め、コストを分類しておおのの構成を述べた。各項目についてコストを次のように考えて、目的関数に組み入れた。

1. 主作業コストは伐倒から集材までの作業に要する作業員コストであり、工程別、作業別に算出する。
2. 副作業コストのうち架線、撤去のコストはタイラー、ホーリング別スパン長に関して算出し、盤台作設撤去コストは面積あたり一定とする。
3. 物件費は機械器具損料と運転経費であるが、これを1日あたりのコスト、1サイクルごとのコストに分け、機械器具の耐用年数を考慮して算出する。
4. 間接費は作業員に対して支払われる間接給付であり、1日あたり一定金額とする。
5. 造林コストは全木集材と普通集材の差のみを考え、全木集材の方が面積あたり一定金額のコストが減少するものとする。
6. 災害コスト、工程によって変わらないコストとみなし、目的関数には組み入れない。
7. 全木集材による利益は、末木枝条処分および材の新鮮度による利益とし、全木集材の場合には材積あたり一定のコストが減少するものとみなす。

結論として目的関数となる総コストは以上の各項目の総和である。すなわち、式(3.3)に相当する目

的関数は、 $I = C_{TS} + C_{KT} + C_{BAR} + C_{BOK} + C_K + C_{ZOR} + C_{VSS} \dots\dots\dots (4.24)$

ここで、 $C_{TS} : \begin{cases} \text{普通集材} : C_{TSH} \\ \text{全木集材} : C_{TSZ} \end{cases} \quad C_{BUT} : \text{物件費} \quad C_{ZDR} : \text{造林コスト}$

5. 作業時間の算出

5.1. 概 説

4章で目的関数となる総コストを算出するとき、各主作業の作業時間が必要であった。そこで、4章と同様工程別に分け、主作業時間の算出法を述べる。

5.2. 普通集材方式の作業時間

4.3.1と同様に普通集材方式の作業時間（ T_{SH} ）を伐木造材時間（ T_{BZH} ）と普通集材時間（ T_{SHH} ）に分けて算出する。

すなわち、 $T_{SH} = T_{BZH} + T_{SHH} \dots\dots\dots (5.1)$

5.2.1. 伐木造材時間

伐木造材は1人作業であるため、式（4.2）の S_{BZH} がそのまま時間となる。 S_{BZH} は伐木造材の全立木について立木1本あたりの時間 T_{BZK} を求めて合計すれば正確に求めることができるが、ここではつぎの手順によって算出することにする。

① 集材地を図21のように適当な斜面に分割する。分割は必ずしも等面積にする必要も矩形にする必要もない。

たとえば図22のような等高線の場所ではこのように分割してもかまわない。分割された斜面を1, 2, …… M_S とする。

② 各斜面ごとにその面積、足場の良否、樹種別、胸径別立木本数を求めておく。

③ 各斜面ごとに樹種別、末口径別数を求める。

④ 各斜面ごとに作業移動、道具とりまとめ等、立木1本ごとに対応しない作業量の分析を求める（ S_{BZN} とする。）

⑤ 回帰分析によって立木1本あたり、玉1つあたりの造材作業量を推定する。これをそれぞれ S_{ZK} , S_{ZT} とする。

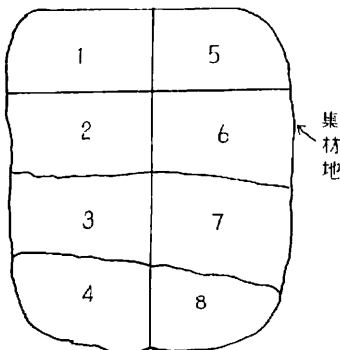


図 21. 集材地の分割

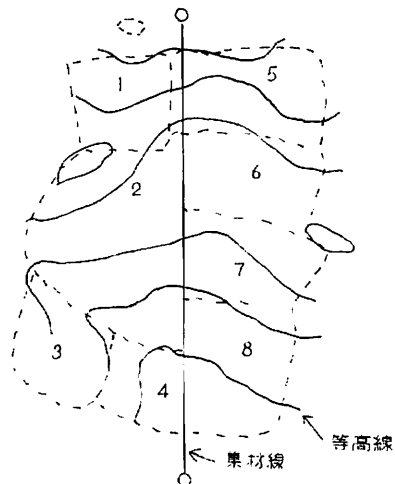


図 22.

⑥ 斜面ごとに③, ④を用いてその斜面における伐木造材作業量を求める。これを S_{BZS} とすれば

$$S_{BZS} = S_{BZN} + \sum (\underbrace{S_{BATH}}_{\text{斜面の木}} + \underbrace{S_{ZK}}_{\text{斜面の玉}}) + \sum S_{ZT} \dots \dots \dots (5.2)$$

⑦ 全作業時間は

$$T_{BZS} = S_{BZN} = \sum_{\text{斜面}} S_{BZS} \dots \dots \dots (5.3)$$

5.2.2. 普通集材時間

集材時間は1回の集材サイクルの時間を求めて、これを全サイクル数合計して正味集材時間を求めることができる。全サイクル数を N とし、1回のサイクル時間を $T_{CH1}, T_{CH2}, \dots, T_{CHi}, \dots, T_{CHN}$ (sec) とすれば、正味集材時間 T_{SHH} は

$$T_{SHH} = \sum_{i=1}^N T_{CHi} + T_{SHF}^* \dots \dots \dots (5.4)$$

T_{SHH} を求めるためには1回あたりのサイクル時間 T_{CHi} と全サイクル数 N を求めなければならない。 N については5.3で述べることにし、ここでは T_{CHi} の算出法を示す。サイクル時間に関係のある各作業時間を次のように定義する。

1. T_{NIH} : 普通荷かけ時間(荷掛滑車(LB)が荷掛地に着いてから荷掛後集材機が動きだすまでの時間)
2. T_{ORU} : 空搬器運行時間(空搬器返送のため集材機が動きだしてからLBが荷掛地に着くまでの時間)
3. T_{ORD} : 実搬器運行時間(実搬器走行のため集材機が動きだしてからLBが目的地に着くまでの時間)
4. T_{ORD} : 普通荷卸し時間(荷をつけたLBが目的地に着いてから空搬器運行のため集材機が動き出すまでの時間)

i 番目のサイクルに関する時間には添字 i をつければ、

$$T_{CHi} = T_{NIHi} + T_{ORDi} + T_{CROI} + T_{ORHi} \dots \dots \dots (5.5)$$

(5.5) の T_{ORUi} , T_{ORDi} については7章でその算出法を述べることにし、ここでは T_{NIHi} , T_{ORHi} の算出について説明する。

(i) 普通荷掛時間

LBが荷掛地に着いてから荷かけ後集材機が動きだすまでに、荷掛手の行なう作業量を S_{NIH} とすれば、

$$S_{NIH} = S_{NIHK} + S_{NIHC} \dots \dots \dots (5.6)$$

ここで S_{NIHK} : 組人員によって時間が異なる作業量(荷掛)

S_{NIHC} : 組人員によって時間が同じ作業量(退避等)

荷かけ時間は n 人作業とすれば ($n=1, 2$)

$$T_{NIH} = \frac{S_{NIHK}}{n} + S_{NIHC} \dots \dots \dots (5.7)$$

(ii) 荷卸し時間

荷をつけたLBが目的地に着いてから空搬器運行のために集材機が動き出すまでに荷卸し手が行なう作業量を S_{ORH} とすれば、荷卸し時間は

* 普通集材付帯作業時間で、その算出は8章で述べる。

$$T_{ORH} = S_{ORH} \dots\dots\dots (5.8)$$

5.3. 全木集材方式の作業時間

前節と同様に、全木集材方式の作業時間（ T_{SZ} ）を全木伐倒時間（ T_{RAZ} ）と全木集材時間（ T_{SHZ} ）に分ければ

$$T_{SZ} = T_{RAZ} + T_{SHZ} \dots\dots\dots (5.9)$$

5.3.1. 全木伐倒時間

全木伐倒作業は1人作業とするので式4.7の S_{RAZ} がそのまま時間となる。 S_{RAZ} の算出は次の手順で行なう。

- ① 集材地を図21のように分割する。
- ② 各斜面ごとにその面積、足場の良否、樹種別立木数を求めておく。
- ③ 各斜面ごとに作業移動のように立木1本ごとに対応しない作業量の合計を求める（これを S_{ZRN} とする）。
- ④ 回帰分析によって立木1本あたりの全木伐倒作業量を樹種、胸高直径、樹高、足場の良否の関数として推定する（これを S_{RAZ} とする）。
- ⑤ 斜面ごとの全木伐倒作業量 S_{RAS} は③、④を用い

$$S_{RAS} = S_{ZRN} + \sum_{\text{斜面の本}} S_{RAZ} \dots\dots\dots (5.11)$$

- ⑥ 全作業時間は $T_{RAZ} = S_{RAS} - \sum_{\text{斜面}} S_{RAS}$

5.3.2. 全木集材時間

全木集材の場合も普通集材と同様に式（5.4）のかわりに

$$T_{SHZ} = \sum_{i=1}^N T_{CZi} + T_{SZF}^* \dots\dots\dots (5.12)$$

ここで、 T_{SHZ} ：正味集材時間

T_{CZi} ：第 i サイクルに要する時間

N ：全サイクル数

N については5.3で述べることにして、ここでは T_{CZi} の算出法を示す。サイクル時間に関係のある各作業時間を次のように定義する。

1. T_{NIZ} ：全木荷掛時間（5.2.2）と同じ。
2. T_{ORU} ：空搬器運行時間（5.2.2）と同じ。
3. T_{ORD} ：実搬器運行時間（5.2.2）と同じ。
4. T_{ORZ} ：全木荷卸し時間（5.2.2）と同じ。
5. T_{RANO} ：盤台作業時間（盤台造材および退避に要する時間）。

i 番目のサイクルに関する時間には添字 i をつければ

$$T_{CZi} = T_{ORZi} + \max\{(T_{NIZi} + T_{ORUi} + T_{ORDi}), T_{RANO}\} \dots\dots\dots (5.13)$$

ここで、 $y = \max\{x_1, x_2\}$ とは

$$x_1 \leq x_2 \dots\dots y = x_2$$

$$x_1 > x_2 \dots\dots y = x_1$$

* 全木集材付帯作業時間で、算出法は8章で述べる。

式 (5.13) はつぎのことを意味する。

- (a) 荷卸し作業の間は他にになにも作業することができず、必ずサイクル時間にくいつく。
- (b) 盤台作業は退避も含むため、他の作業と同時に進行することができる。
- (c) サイクル時間は盤台作業時間と他の作業時間 (T_{NIZI} , T_{CRUI} , T_{ORDI}) のうち大きな時間によって決定される。

式(5.13)の T_{CRUI} , T_{CRCL} の算出法については 7 章で述べることにし、ここでは T_{NIZI} , T_{ORZI} , T_{RANZ} の算出について説明する。

(i) 全木荷掛時間

L B が荷掛地に着いてから荷かけ後集材機が動き出すまでに荷掛手が行なう作業量を S_{NIZH} とすれば、全木荷掛時間は、

$$T_{NIZ} = S_{NIZ} \dots\dots\dots (5.14)$$

(ii) 全木荷卸し時間

荷をつけた L B が目的地に着いてから空搬器運行のために集材機が動き出すまでに、荷卸し手が行なう作業量を S_{ORZH} とすれば、荷卸し時間は、

$$T_{ORZ} = S_{ORZ} \dots\dots\dots (5.15)$$

(iii) 盤台作業時間

盤台作業時間は次のように求める。

$$T_{RANZ} = T_{RANT} + T_{RANZ} \dots\dots\dots (5.16)$$

ここで、 T_{RANT} 退避時間、 T_{RANZ} 盤台造材時間

退避時間は実搬器運行において、実搬器が盤台近くなったら造材作業を中止して退避する時間で、ここでは一定時間とする。

次に、盤台造材時間であるが、ここで盤台造材とは測尺、枝払いから盤台整理まで、盤台上の造材に必要な作業すべてを含むものとする。時間を求めるのに、まず盤台造材作業を次のように分類する。

1. 造材手が行なう作業。
 2. 造材手でなくても行なうことのできる作業。
- 1 サイクルあたりの作業量をそれぞれ S_{NZC} , S_{NSC} とする。

4.3.2 で考えたように盤台作業人員を造材手 n_Z 人、集材手 n_S 人とすれば、盤台造材時間 T_{RANZ} は次のようにして算出する。

1. $n_S = 0$ のとき

$$T_{RANZ} = \frac{S_{NZC} + S_{NSC}}{n_Z} \dots\dots\dots (5.17)$$

2. $n_S = 1$, $\frac{S_{NZC}}{n_Z} \geq S_{NSC}$ のとき

$$T_{RANZ} = \frac{S_{NZC}}{n_Z} \dots\dots\dots (5.18)$$

3. $n_Z = 1$, $\frac{S_{NZC}}{n_Z} < S_{NSC}$ のとき

$$T_{RANZ} = \frac{S_{NZC} + S_{NSC}}{n_Z + 1} \dots\dots\dots (5.19)$$

式 (5.17), (5.18), (5.19) は次のことを意味する。

- (a) 造材手が行なう作業の作業時間 T_{zoz} は、造材手が nz 人の場合

$$T_{zoz} = \frac{S_{nzc}}{nz} \dots\dots\dots (5.20)$$

- (b) 集材手がいらない場合は全作業量 ($S_{nzc} + S_{nzs}$) を nz 人の造材手が均等に行なう。

- (c) 集材手がいる場合は時間 T_{zoz} の間に集材手は可能な作業を行なう。もし T_{zoz} の間に終了しなければ $T_{ranz} = T_{zoz}$ となり、終了しなければ造材手が残った仕事を手伝い、均等に作業を行なう。

$$(T_{ranz} = T_{zoz} + \frac{S_{nzs} - T_{zoz}}{nz + 1} = \frac{S_{nzc} + S_{nzs}}{nz + 1} \text{ で式 (5.19) が得られると考えてもよい。})$$

5.4. サイクル数および荷掛本数の算出

普通集材、全木集材ともにその時間を求める場合に全サイクル数 (N) が必要であった。また荷掛け、荷卸し時間はスリング数にも関係する。そこで本節では、このような時間算出に必要な値を算出する方法を述べる。

5.4.1. 問題の定式化

普通集材および全木集材において、1 サイクルに何本（玉）荷掛けすることができるかを求めることが要求される。この問題は普通、全木集材にかかわらず次のような条件で1 サイクルの荷掛数を求める問題とする。

- (a) 1 サイクルに荷掛けできる本数は主索から決まる制限重量を越えることはできない。
- (b) 1 サイクルに荷掛けできる木は一定範囲内の地域になければならない。
(玉でも同じことであるから今後省略する。)
- (c) 1 サイクルに可能な荷は全部掛ける。
- (d) 与えられた集材地にある木の重量別本数が与えられている。
- (e) 各重量の木は全林地に分散している。

これを式で示せば次のようになる。

1 サイクルに荷掛けする本数を n とし、おのおのその重量、平面内の LB を原点とした座標をそれぞれ $W_1, (x_1, y_1), W_2, (x_2, y_2), \dots, W_n, (x_n, y_n)$ とすれば

$$1. \sum_{i=1}^n W_i \leq W_{max}$$

ここで W_{max} : 主索から決まる制限重量

$$2. \sqrt{x_1^2 + y_1^2} \leq r$$

ここで r は LB を中心とした荷掛け可能な円の半径。

$$3. \sum_{i=1}^n W_i \leq W_{max} < \sum_{i=1}^{n+1} W_i$$

4. 重量 $W_1, W_2, \dots, W_m$ についてその本数 $N_1, N_2, \dots, N_m$ が与えられている。

5. 集材地に一定原点を定めて、位置の座標 (X, Y) を作れば、いかなる木もそれは $(X+dX, Y+dY)$ の範囲内にある確率 $P_r(X+dX, Y+dY)$ は等しい。すなわち、 $P_r(X+dX, Y+dY) = dX \cdot dY / A$

ここで、 A : 集材面積

5.4.2. n 本掛けできる確率の計算

5.4.1 の定式化のもとで n 本掛けできる確率を計算する。この問題をつぎのように 2 つに分けて考える。

1. 集材地の木のなかから任意に n 本とり出した場合、その n 本が制限重量内にある確率： $P_W(n)$
2. 集材地の任意の点を中心に半径 r の円内 n 本以上入る確率： P_{rn}

次に問題を、以下に示すように変換する。

集材地の木の総数を $M(\sum_{i=1}^m N_i = M)$ とすれば、「面積 A 内に $P_W(n) \times M = M'$ 本の木がたらめに分布している場合、適当に点を選び、その円内に n 本以上の木がはいる確率を求めよ。」

この確率を $P_r(n, M')$ とすれば、集材範囲の円の中心を 1 本の木に選べば n 本以上掛ける確率 $P_M(n)$ は、

$$P_M(n) = P_W(n) \times P_r(n-1, M') \quad \dots\dots\dots (5.21)$$

このようにすれば、 n 本掛けする確率 $P_N(n)$ は、

$$P_N(n) = P_M(n) - P_N(n+1) \quad \dots\dots\dots (5.22)$$

なお、式 (5.2) の右辺の各項の計算は以下にのべるようにする。

(i) $P_W(n)$ の計算

重さ W_i の木の全体に対する割合を $R(W_i)$ とすれば

$$R(W_i) = \frac{N_i}{M} \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad \dots\dots\dots (5.23)$$

また、 $P_n(n) = \sum R(W_{j_1}) \times R(W_{j_2}) \times \dots \times R(W_{j_n})$

$$\begin{aligned} & W_{j_1} + W_{j_2} + \dots + W_{j_n} \leq W_{max} \\ & = \sum K(j_1, j_2, \dots, j_n) \times R(W_{j_1}) \times R(W_{j_2}) \times R(W_{j_n}) \quad \dots\dots\dots (5.24) \\ & W_{j_1} + W_{j_2} + \dots + W_{j_n} \leq W_{max} \\ & W_{j_1} \leq W_{j_2} \leq \dots \leq W_{j_n} \end{aligned}$$

ここで、 $K(j_1, \dots, j_n)$ は次のようになる。

$j_1, j_2, \dots, j_n$ のうち、 i_1 の値をとるものが k_1 個、 i_2 の値をとるものが k_2 個…… i_c の値をとるものが k_c 個とすれば

$$K(j_1, j_2, \dots, j_n) = \frac{n!}{k_1! k_2! \dots k_c!} \quad \dots\dots\dots (5.25)$$

式 (5.23) は具体的には次の式で表わされる。

$$P_n(n) = \sum_{W_{j_1}=W_1}^{W_{max}} \sum_{W_{j_2}=W_{j_1}}^{W_{max}-W_{j_1}} \dots \sum_{W_{j_n}=W_{j_{n-1}}}^{W_{max}-W_{j_1}-\dots-W_{j_{n-1}}} K(j_1, j_2, \dots, j_n) \times R(W_{j_1}) \times \dots \times R(W_{j_n}) \quad \dots\dots\dots (5.26)$$

例 1) $M=10^3$, $n=2$ とし、 W_i , N_i を次のようにする。

i	$W_i(100\text{kg})$	N_i	$R(W_i)$	i	$W_i(100\text{kg})$	N_i	$F(W_i)$
1	1	100	0.1	4	4	200	0.2
2	2	200	0.2	5	5	200	0.2
3	3	300	0.3				

$W_{max}=4$ とすれば、式 (5.24) の不等式

$W_{j1}+W_{j2}+\cdots+W_{jn}\leq W_{max}$ は次のようになる。

$$W_{j1}+W_{j2}\leq 4$$

この不等式を満足する J_1, J_2 の間は次のようになる。

(1, 1), (1, 2), (1, 3), (2, 2)

$$\begin{aligned}\therefore P_W(2) &= \sum K(J_1, J_2) \times R(W_{j1}) \times R(W_{j2}) \\ &= R(W_1) \times R(W_1) + 2R(W_1) \times R(W_2) + 2R(W_1) \\ &\quad \times R(W_3) + R(W_2) \times R(W_2) \\ &= 0.1^2 + 2(0.1 \times 0.2 + 0.1 \times 0.3) + 0.2^2 \\ &= 0.15\end{aligned}$$

(ii) $P_r(n, m')$ の計算

面積 A 内にある半径 r の円内に 1 本の木がはいる確率は $a = \pi r^2$ として、

$$P = \frac{a}{A} \quad \cdots \cdots \cdots (5.27)$$

A 内に M' 本がでたらめに分布すれば、 a 内に n 本はいる確率は

$$P_S(n) = \left(\frac{M'}{n} \right) P^n (1-P)^{M'-n} \quad \cdots \cdots \cdots (5.28)$$

また、平均本数 m' は、 $m' = PM'$ $\cdots \cdots \cdots (5.29)$

式 (5.28) は計算がめんどうであるため $m' \ll M'$, $P \ll 1$ という仮定のもとで次のように近似式を求める。

$$\begin{aligned}P_S(n) &= \frac{M'(M'-1)\cdots(M'-n+1)}{n!} P^n (1-P)^{M'-n} \\ &\approx \frac{M'^n}{n!} P^n (1-P)^{M'} \quad \cdots \cdots \cdots (5.30)\end{aligned}$$

式 (5.29) より $M' = \frac{m'}{P}$ とすれば、

$$P_S(n) \approx \frac{1}{n!} m'^n (1-P)^{m'/P} \quad \cdots \cdots \cdots (5.31)$$

ここで、 $P \ll 1$ とすれば、 $(1-P)^{m'/P}$ は e^{-1} に近づくので

$$P_S(n) \approx \frac{1}{n!} m'^n e^{-m'} \quad \cdots \cdots \cdots (5.32)$$

したがって、 n 本以上はいる確率は

$$P_r(n, M') = P_S(n) + P_S(n+1) + \cdots \cdots \cdots (5.33)$$

ここで、 $P_S(0) + P_S(1) + \cdots = 1$ を用いれば

$$\begin{aligned}P_r(n, M') &= 1 - P_S(0) - P_S(1) - \cdots - P_S(n-1) \\ &= 1 - e^{-m'} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{1}{k!} m'^k \quad \cdots \cdots \cdots (5.34)\end{aligned}$$

例 2) 実際に三股事業地の例について計算を行なってみる。全木集材で樹種別毎木調査の結果を用いたが、近似計算を行なうため、樹種を考えないことにして胸径 (D) 別本数を求めて (例 1) と同様に表を作る。

i	$D_i(\text{cm})$	N_i	$W_i(\text{kg})$	$R(W_i)$
1	15	295	85	0.16
2	25	357	510	0.20
3	35	296	680	0.16
4	45	350	1,105	0.19
5	55	283	1,700	0.15
6	65	150	2,550	0.08
7	75	87	3,825	0.05
8	85	12	4,845	0.006
9	95	4	6,035	0.0002

この表は立木の状態であるが、これを
伐倒、半幹にした後の重量分布を次のよ

うにする。なお吊り荷の制限は 1,500kg

とする。

次表のデータおよび $A=7.63HA, a=50\text{m}^2$

半幹後の木の数を 2,400 とする。

式 (5.26) によって $n=2, 3$ の $P_W(n)$ を

計算すれば、

i	$W_i(\text{kg})$	$R(W_i)$
1	100	0.12
2	300	0.12
3	500	0.12
4	700	0.15
5	900	0.15
6	1,100	0.15
7	1,300	0.15
8	1,400	0.14

$$P_W(2)=0.486$$

$$P_W(3)=0.165$$

次に式 (5.29) により

$$m'=PM'=P_W(n)PM \cdots \cdots (5.35)$$

式 (5.35) より m' を求めれば、 $P=50/(7.63 \times 10^4)$ と

$$\begin{aligned} \text{して} \quad m' &= 2,400 P \\ &= 1.57 \end{aligned}$$

式 (5.22), (5.34) から n 本掛け以上の確立を求めれば、

$$P_M(3)=0.165(1-e^{-1.57})(1+1.57)=0.073$$

$$P_M(2)=0.486(1-e^{-1.57})=0.380$$

$P_M(4)=0$ とすれば、結局 n 本掛けの確率は

$$P_N(3)=0.073$$

$$P_N(2)=P_M(2)-P_N(3)=0.307$$

$$P_N(1)=1-P_M(2)=0.620$$

この値を調査地のデータと比較すれば、45サイクル中の割合は、

3本掛 0.09

2本掛 0.24

1本掛 0.62

この値は計算値とはほぼ一致する。

5.4.3. 全サイクル数

これまで n 本以上荷かけする確率 $P_M(n)$ 、と n 本荷掛けを求めたが、全サイクル数 N は、 $P_N(n)$ を用いて求めることができる。荷掛け数は M であるから次の式が成立する。

$$N \times \{P_N(1) \times 1 + P_N(2) \times 2 + \cdots\} = M \cdots \cdots (5.36)$$

いま、 n_1 本掛けまで考えるものとすれば、式 (5.36) より

$$N = \frac{M}{\sum_{i=1}^{n_1} \{P_N(i) \times i\}} \cdots \cdots (5.37)$$

5.5. 要 約

工程別作業時間の算出は次のようにして行なう。

1. 伐倒造材時間……集材地を数個の斜面に分割し、斜面ごとの作業量の合計が作業時間に対応する。
2. 普通集材時間……1サイクルを分割し、その時間を、 T_{N1H} , T_{CRU} , T_{CRD} , T_{ORH} と定義すれば、
サイクル時間は $T_{CH} = T_{N1H} + T_{CRU} + T_{CRD} + T_{ORH}$

T_{N1H} は荷掛手1人、2人によって異なり、 T_{ORH} は荷卸し作業量となる。合計時間は T_{CH} をすべてのサイクルにわたって合計したものである。

3. 全木伐倒時間……伐木造材と同様にして求める。

4. 全木集材時間……1サイクルを分割し、その時間を、 T_{N1Z} , T_{CRU} , T_{CRD} , T_{ORZ} , T_{RANC} とすれば、サイクル時間は、

$$T_{CZ1} = T_{ORZ} + \max\{(T_{N1Z} + T_{CRU} + T_{CRD}), T_{RANC}\}$$

となり、 T_{RANC} は盤台作業員3人、4人、5人によって異なる。

なお以上の時間の組立てには、次のことを仮定している。

1. 荷掛作業は集材機が動いている間に行なわない。
2. 盤台では災害器が盤台に近づいたら全員退避する。ここでは材が盤台に着く T_{RANT} 秒前とする。
3. 盤台作業を造材手の行なう仕事とだれでもよい仕事に分けて考えた。

次に普通集材、全木集材ともに成立する全サイクルの算出法を述べた。そこでは問題を理想化して、確率論的な理論を作った。

6. 作業量の算定

6.1. 概 説

5章の作業時間を算出するには、立木1本あたりの作業量、あるいは1サイクルあたりの作業量が必要である。ここで作業量とは、ある作業を行なうに必要な労働投下量をいう。すなわち、ある作業に従事した全作業員の作業時間を合計したものである。したがって、単位は「人×時間(秒)」で表わされ、1人作業の場合、作業量はそのまま作業時間となるが、2人以上の作業のときは従事した人数で作業量を除した値が作業時間となる。

作業量は基準時間と発生率とから構成される。基準時間とはある作業を行なったときに必要な時間をいい、発生率とはある作業を行なう率をいう。本研究において、作業時間を見積もるには、基準時間と発生率を乗ずることによって得られる作業量による。

基準時間の決定は、最も精度がよく、調査しやすい標準資料法による⁷⁾。これは作業を細分し、細分した個々の作業（要素作業という）について時間を詳細に観測し、自然条件、人間条件、機械条件などの作業を支配する諸条件の変化に応じた時間の変化を定式化する方法である。基準時間の決定にあたっては、分割された要素作業はその性質、発生の仕方によりいくつかを統合した単位ごとにより検討したが、このことは従来の研究においても良い結果が得られることが認められている⁷⁾。

作業時間はその内容により、従事する人数の変化に関係なく一定のものもあり、他作業と同時に進行される作業（同時作業）と中心的な作業と並行して行なわれる作業（並行作業）は作業時間として特に算定しなくともよいものがある。これらの作業時間の性格、特質を各工程別に明らかにしていく。

分析するデータは昭和42年7月18日から8月9日までに、長野営林局管内の3営林署の直営事業実行現場から得られたものである。表16に工程別のデータ収集地および作業内容を示しておく。

6.2. 伐 倒

伐倒作業は 1 人作業とする。したがって作業量は作業時間と一致する。伐倒作業は表 17 の要素作業に分割し、時間観測を行なったが、要素作業を統合整理した結果図 23 に示すような単位ごとにより定式化を図っていく。

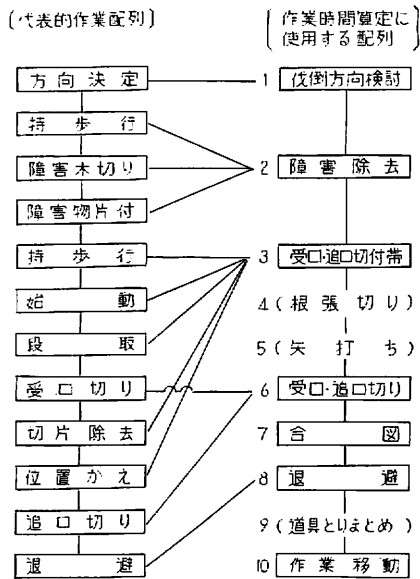
6.2.1. 伐倒方向検討

この作業は伐倒する方向を決定するために検討を加えたり、その他必要な段取りを行なうことである。伐倒方向の性質を全木伐倒と普通伐倒別に検討してみると、普通伐倒においては伐倒後直ちに同一作業者により造材されるため、造材作業に適した方向に伐倒方向をコントロールしているが、全木伐倒ではこの制限をゆるくしているようである。図 24、図 25 に今回の調査の伐倒方向と斜面との関係を示してあるが、

全木伐倒では斜面に対する角度が 45 度以上になる場合が多い。

伐倒方向の選定は材の損傷、次の作業の難易に影響を及ぼすのであるが、ここでは最適な伐倒方向を決定することはしない。

伐倒方向検討時間と条件との相関を調べた結果、比較的相関の高い胸高直径 (D cm) と樹高 (H cm) について、全木伐倒、普通伐倒別に重回帰分析を行なった。結果は表 18 に示す。この結果、伐倒方向検討時間は胸高直径と樹高の重回帰式で表わすことはできないことがわかる。つぎに、伐倒方向検討時間を胸高直径と樹高とに個々に直線回帰を行なった結果を図 26、図 27 に示すが、全木伐倒においては 5 % の危険率で回帰式の有意性が認められる。すなわち、大きな木になれば伐倒方向検討に多くの時間を要することになる。普通伐倒においても同様に考えて回帰係数の有意性は不十分であるが、回帰式は採用することができる。し



() 内の単位仕事は発生率は低いが作業量として考慮すべきもの

図 23. 代表的作業配列と単位仕事

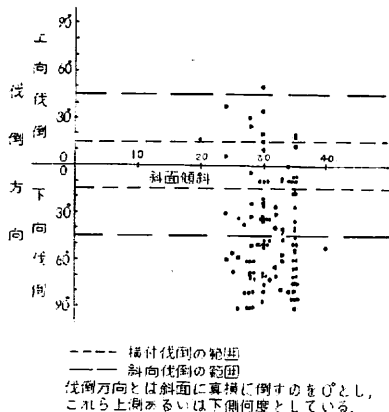


図 24. 全木伐倒における斜面傾斜と伐倒方向

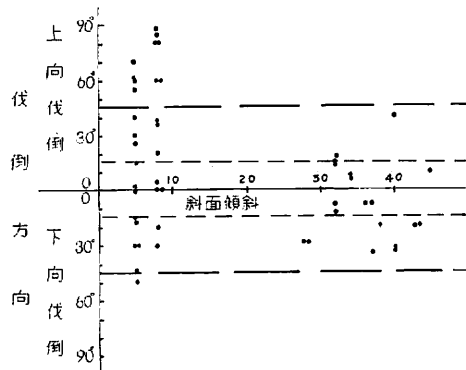


図 25. 普通伐倒における斜面傾斜と伐倒方向

表 16. 調 査 内 訳

No.	工 程	場 所	備 考
1	全 木 伐 倒	坂 下 営 林 署	ひのき天然林, チェンソー 1 人組作業
2	普 通 伐 倒	上 松 営 林 署	ひのき, さわら天然林, チェンソー 1 人組作業
3	普 通 造 材	上 松 営 林 署	同 上
4	全 木 荷 掛	三 坂 下 営 林 署	タイラー方式, 1 人組作業 ホーリング方式, 1 人組作業
5	普 通 荷 掛	三 坂 下 営 林 署	タイラー方式, 2 人組作業 ホーリング方式, 2 人組作業
6	普 通 荷 卸	三 坂 下 営 林 署	タイラー方式, 1 人組作業 ホーリング方式, 1 人組作業
7	全 木 荷 卸 し	三 坂 下 営 林 署	タイラー方式, ホーリング方式,
8	盤 合 作 業	三 坂 下 営 林 署	タイラー方式, 3 人～4 人組作業 ホーリング方式, 4 人～5 人組作業

表 17. 伐 倒 作 業 の 作 業 分 解 表

部分工程	纏り作業	単位作業	要 素 作 業	要 素 作 業 定 義
伐 倒	準 備 (後始末)	通 勤	1. 通 勤(往)	集合(解散)場所から機械置場到着までの通勤時間
			2. " (復)	機械置場から(集合)解散場所到着までの通勤時間
			3. 通 勤 途 中 休 計	通勤途中の休み時間
			4. 計	
		休 息	5. 休 息	機械置場に到着して, 朝の作業とりかかりまでの間に行なった休み時間(作業終了後も同じ)
			6. 火 た き	火をたくためのしば, まきの採取, および火をたきつける時間
			7. 計	
		身 仕 度	8. 身 仕 度	作業に必要な道具器材の着脱, 服装なおし時間
			9. 体 操	朝行なう体操の時間
		機 械 準 備	10. 機 械 出 入	朝夕, 機械工具および燃料の出し入れの時間 (機械格納箇所) (歩行を含む)
			11. 整 備	機械の定められた整備, 点検および清掃などの時間(朝の燃料の秤量を含む) (歩行を含む)
			12. 工 具 取 替 え	機械整備に必要な工具のとりかえ, 片づけのための時間 (歩行を含む)
			13. 調 整	1 日の作業前後に行なうエンジン調子の調整時間 (歩行を含む)
			14. 目 立	ヤスリを持ってチェンの目立をはじめてから目立完了までの時間 (歩行を含む)
			15. 燃 料 調 合	燃料調合の準備から完了までの時間 (歩行を含む)
			16. 燃 料 缶 移 し	混合燃料, チェンオイルを携行缶に移す時間 (歩行を含む)
			17. 給 油	燃料タンク, チェンオイルタンクのフタをあけて給油し, タンクのフタをしめるまでの時間 (歩行を含む)
			18. 計	

表 17. (つづき)

部分工程	繰り作業	単位作業	要 素 作 業	要 素 作 業 定 義
			19. 鋸 手 入 れ	鋸の目立、鋸柄の手入れ、器具の取替え時間 (歩行を含む)
			20. な た 手 入 れ	なたの刃とき、なた柄の手入れ (歩行を含む)
			21. お の 手 入 れ	おのの刃とき、おの柄の手入れ (歩行を含む)
			22. 矢・クサビ手入 れ	矢、クサビの作りおよびなおし、道具の取替 え時間 (歩行を含む)
			23. 測 棹 手 入 れ	測棹の手入れ、道具の取替え時間 (歩行を含む)
			24. 計	
	移 動	移 動	25. 職 場	朝夕の機械置場と作業箇所間、作業箇所と昼 食休み場所間の往復時間
			26. 作 業(伐倒)	伐倒が終わり、次の伐倒木に移るための歩行 時間
			136. 道 具 ま と め	
			27. 計	
	伐 倒 (段取)	伐倒方向 検討	28. 方 向 決 定	伐倒方向を決定するために枝つきの状況、力 枝ののび方、腐朽度の判定、受口箇所、追口 箇所を検討し決定する時間
			29. 段 取 り	移動が終わり方向決定にはいるまでの時間
			30. 道 具 取 替 え	前要素作業終了時点から機械器具の取替え完 了までの時間(完了後の歩行時間は含まない) (以下道具取替えは同じ定義)
			31. 空 身 歩 行	要素作業から要素作業に移るために空身で歩 行した時間(以下空身持歩行は同じ定義)
			32. 持 歩 行	要素作業から要素作業に移るために機械を保 持して歩行した時間(以下持歩行は同じ定義)
			33. 計	
	伐 倒	障害除去	34. 障 害 木 切 り	作業の障害となる雑木を機械、手工具で切り 倒す時間(刈払いながら片づける時間も含む) (以下障害木切りは同じ定義)
			35. ボ サ 切 り	雑草木、つるを刈払い片づける時間(以下ボ サ切りは同じ定義)
			36. 障 害 物 片 付	作業に障害となる末木、枝条、石礫などをと りかたづける時間(以下障害物片付は同じ定 義)
			37. 段 取 り	障害木、ボサ、障害物の除去を検討する時間
			38. 道 具 取 替 え	30と同じ
			39. 始 動・停 止	エンジンをかけるため始動前の準備と、スタ ータロープを引いてエンジンの始動および始 動のための必然的に起こる調節の時間と、一 動作終了後にエンジンを停止する時間(以下 始動停止は同じ定義)
			40. 空 身 歩 行	31と同じ
			41. 持 歩 行	32と同じ
			42. 計	
		足場作り	43. 足 場 作 り	伐倒木付近の足場のふみかため位置決定およ び根張、傾斜の関係で足場を組む場合の時間 (足場材料の採取も含む)
			44. 段 取 り	足場作りの前に足場の検討をする時間
			45. 道 具 取 替 え	30と同じ
			46. 始 動・停 止	39と同じ

部分工程	纏り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
伐倒 (元伐)		退避路作り	47. 空身歩行	31と同じ
			48. 持歩行	32と同じ
			49. 計	
			50. 退避路作り	伐倒に先だって作業安全のため退避に便なるように退避路をつくる時間
			51. 段取り	退避路作りの前に退避路を検討する時間
			52. 道具取替え	30と同じ
			53. 始動・停止	39と同じ
			54. 空身歩行	31と同じ
			55. 持歩行	32と同じ
			56. 計	
		根張切り	57. 根張切り	機械をもって根張部分にあてて切りはじめてから切り終わるまでの時間
			58. 段取り	根張切りにはいる前に根張切り部分の決定と足場の位置を決めて鋸を材にあてるまでの時間（切口に鋸を入れる時間も含む）
			59. 根張切進行見	根張切りの途中において根張りの切り進んでいる具合をみる時間（この場合機械が根張を切っていないことに注意）
			60. 位置替え	鋸断姿勢、位置をかえる時間（この場合機械が根張りを切っていないことに注意）
			61. 切片除去	切りとった根張の材片を除去する時間
			62. 鋸引抜き	鋸が材にはさまれたとき機械を引き抜く時間
			63. 道具取替え	30と同じ
			64. 始動・停止	39と同じ
			65. 空身歩行	31と同じ
			66. 持歩行	32と同じ
			67. 計	
		受口切り	68. 受口切り	受口箇所に機械をあてて切りはじめてから受口を切り終わるまでの時間（機械のもちかえも含む）
			69. 段取り	受口切りにはいる前に足場の位置を決めたり鋸を材にあてるまでの時間（切口に鋸を入れる時間も含む）
			70. 受口切進行見	受口切りの途中において受口の切り進んでいる具合をみる時間（この場合機械が受口を切っていないことに注意）
			71. 位置替え	60と同じ
			72. 切片除去	切りとった受口の材片を除去する時間
			73. 鋸引抜き	62と同じ
			74. 道具取替え	30と同じ
			75. 始動・停止	39と同じ
			76. 空身歩行	31と同じ
			77. 持歩行	32と同じ
			138. 突込み切り	引き抜けを防ぐためにバーの先端を使って材の中心部を切る時間
			78. 計	
		伐倒方向再考	79. 伐倒方向再考	受口を切り終わったとき、決定した方向に一致しているか、受口の深さが正しいかを再検討する時間
			80. 空身歩行	31と同じ

表 17. (つづき)

部分工程	纏り作業	単位作業	要 素 作 業	要 素 作 業 定 義
		受口切直し	81. 持 歩 行 82. 計 83. 受 口 切 直 し 84. 段 取 り 85. 受 口 切 進 行 見 86. 位 置 替 え 87. 切 片 除 去 88. 鋸 引 抜 き 89. 道 具 取 替 え 90. 始 動・停 止 91. 空 身 歩 行 92. 持 歩 行 93. 計	32と同じ 受口切りを行なって受口が正しく切れていない場合に再度受口を切りなおす時間 受口切直しにはいる前に足場の位置を決めたり、切直しの位置を決めて鋸をあてるまでの時間（切口に鋸を入れる時間も含む） 切直しの途中で切りの進んでいる具合を見る時間（この場合機械が切直しをやっていないことに注意） 60と同じ 切直した受口の材片を除去する時間 62と同じ 30と同じ 39と同じ 31と同じ 32と同じ
		追口切り	94. 追 口 切 り 95. 段 取 り 96. 追口切り進行見 97. 位 置 替 え 98. 鋸 引 抜 き 99. 道 具 取 替 え 100. 始 動・停 止 101. 空 身 歩 行 102. 持 歩 行 135. 元 口 は な し 137. 手 押 103. 計	機械を追口にあてて切りはじめ、伐倒寸前に鋸を引き抜くまで（シン抜けを防ぐツッコミ切りも含む。ただし、追口切りと区別する） 追口切りにはいる前に、足場の位置を決めて鋸を材にあてるまでの時間（切口に鋸を入れる時も含む） 追口切りの途中において追口の切り進んでいる具合をみる時間（この場合機械が追口を切っていないことに注意） 60と同じ 62と同じ 30と同じ 39と同じ 31と同じ 32と同じ
		合 図	104. 合 図 105. 計	伐倒直前に伐倒を知らせる合図の時間（この場合、機械が追口切りを一時やめていることに注意）
		矢 打 ち	106. ク サ ビ 打 ち 107. 矢 打 ち 108. 矢・クサビ抜き 109. 段 取 り 110. 道 具 取 替 え 111. 空 身 歩 行 112. 計	追口切り進行中、鋸路を開くためにクサビを打つ時間 伐倒方向が狂わないように、矢を追口に入れおので打込み倒すまでの時間 打ち込んだ矢、クサビの位置をなおすために矢、クサビを引き抜く時間 伐倒方向を考え矢の打込む位置を決めたり、足場の位置を決めて矢を打込むまでの時間 30と同じ 31と同じ

部分工程	纏り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
		退 避	113. 退 避	伐倒直前に伐倒木から離れて危険をさけるため退避する時間
			114. 伐 倒 確 認	伐倒を確認し、次の作業に移るまでの時間（この場合、息ぬき、立休に注意）
			115. 空 身 歩 行	31と同じ
			116. 持 歩 行	32と同じ
			117. 計	
		ヤリおとし	118. ヤ リ お と し	伐倒された伐根に引きぬけ、裂けがあるときに伐根に残った部分を切りおとし時間
			119. 段 取 り	足場の位置を決め、鋸を機械にあてるまでの時間
			120. 位 置 替 え	60と同じ
			121. 切 片 除 去	切りはなした材片を除去する時間
			122. 鋸 引 抜 き	62と同じ
			123. 道 具 取 替 え	30と同じ
			124. 始 動・停 止	39と同じ
			125. 空 身 歩 行	31と同じ
			126. 持 歩 行	32と同じ
			127. 計	
		懸木落し	128. 懸 木 落 し	伐倒された木が予定した方向に倒れないで懸木になったとき、これを処理する時間（内容はなるべく具体的に明記のこと）
			129. 段 取 り	懸木の処理について検討したり、そのための準備時間
			130. 道 具 取 替 え	30と同じ
			131. 始 動・停 止	39と同じ
			132. 空 身 歩 行	31と同じ
			133. 持 歩 行	32と同じ
			134. 計	
	余 裕	職 場	500. 打 合 せ 固 有	作業を進行するために生じた作業固有の打合せ（内容を詳細にする）
			501. 手 待 ち 固 有	作業を進行するために生じた作業固有の手待ち（内容を詳細にする）
			541. 判 断 勘 考	作業のために判断したり考えたりする時間
			502. 計	
		疲 れ	503. 坐 休	勤務時間内の所定の休憩時間（作業員が坐休椅坐休、横坐休した時間）
			504. 立 休	作業中作業員が休む時間（作業員が立って休んだ時間）
			505. 息 ぬ き	作業中作業員の息抜きした時間
			506. 計	
		用 達 し	507. 用 達 し	生理現象（大・小便）による余裕時間（歩行を含む）
			508. 汗 ふ き	汗ふき時間（汗ふきのための一連の動作は含む）（歩行を含む）
			509. 水 の み	湯、水をのむ時間（歩行を含む）
			510. 服 装 な お し	作業中の服装のみだれなおし（降雨のための合羽着用と合羽をもってくる歩行時間も含む）
			511. 計	

表 17. (つづき)

部分工程	纏り作業	単位作業	要 素 作 業	要 素 作 業 定 義
		作 業 (道具)	512. 鋸 修 理	作業中における鋸の目立、鋸柄の手入れ、器具の取替え時間 (歩行を含む)
			513. な た 修 理	作業中におけるなたの刃とき、おの柄の手入れ、器具の取替え時間 (歩行を含む)
			514. お の 修 理	作業中におけるおのの刃とき、おの柄の手入れ、器具の取替え時間 (歩行を含む)
			515. 矢 修 理	作業中における矢、くさびの作り、およびなわし、器具の取替え時間 (歩行を含む)
			516. 測 棒 修 理	作業中における測棒の手入れおよびつくり、器具の取替え時間 (歩行を含む)
			517. 計	
			518. 機 械 交 換	予備機との機械交換する時間 (歩行を含む)
			519. 機 械 調 整	作業中におけるエンジン部、鋸部の調整および点検 (気化器、プラグ、チェンオイル、チェンの張り、鋸屑除きなど)
			520. 注 油 フ カ シ	手動式チェンソーのチェンオイルの注油、自動式チェンソーの注油のためのフカシ
			521. 工 具 取 替 え	作業中における機械調整に必要な工具のとりかえ、片づけのための時間 (道具取り歩行は分けて観測する)
			522. 目 立 て	作業中におけるチェンの目立て
			523. 燃 料 点 検	作業中における燃料チェンオイルの消費状況を見るための時間
			524. 給 油	作業中における燃料タンク、チェンオイルタンクのフタをあげて給油し、タンクのフタをしめるまでの時間
			525. 燃 料 と り 歩 行	作業中における燃料缶をおいた場所から持ってくる往復の歩行時間および給油完了後の燃料缶を片付ける時間
			526. 燃 料 調 合	作業中に行なう燃料調合の準備から完了までの時間 (給油完了後機械を持ち上げて機械をふりまわす時間も含む)
			527. 燃 料 缶 移 し	作業中に行なう燃料、チェンオイルを携行缶に移す時間
			528. 道 具 さ が し (手工具)	作業中における道具さがし
			529. 道 具 さ が し (工 具)	作業中における工具さがし
			540. 札 と り	木につけた番号札をはずす時間
			530. 計	
	除 外	食 事	531. 食 事	弁当を出して食事をし、弁当をかたづけるまでの時間
			532. 食 事 休 み	食事後から午後の作業にとりかかるまでの間に行なった休み時間
			533. 計	
		そ の 他	534. 調査打合せ、手待ち	調査を進めるに生じた打合せ、手待ち時間
			535. 懸木落し(特殊)	特殊な長時間を要する懸木落しの時間
			536. そ の 他	規定要素作業外の不時に起こる作業時間 (おもに除外的時間であるが内容により単位作業に含まれる)
			537. 計	
		規定外通勤	538. 通 勤(往)	宿舎から集合場所までの通勤時間 (徒歩、乗物を明記)

部分工程	綴り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
			539. 通 勤(復)	集合場所から宿舍到着までの通勤時間
			540. 通 勤 途 中 休	通勤途中の休み時間
			541. そ の 他	通勤途中に起こる不時の時間（用達、水のみ、薪採取）
			542. 計	

表 18. 伐倒方向検討回帰計算

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 値	備 考
全 木 伐 倒	胸 高 直 径	0.351	0.2156	0.848	$N=54$ $\bar{Y}=26.33$ $\Sigma(Y-\bar{Y})^2=24760$ $\Sigma(Y-\hat{Y})^2=21160$
	樹 高	0.365	0.0119	1.151	
	定 数		-3.16		
普 通 伐 倒	胸 高 直 径	0.117	0.1384	0.302	$N=39$ $\bar{Y}=33.79$ $\Sigma(Y-\bar{Y})^2=46030$ $\Sigma(Y-\hat{Y})^2=43020$
	樹 高	0.250	0.018	1.406	
	定 数		-8.01		

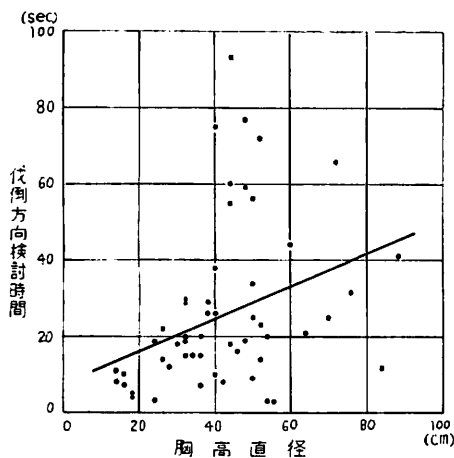


図 26. 全木伐倒の伐倒方向検討時間と胸高直径

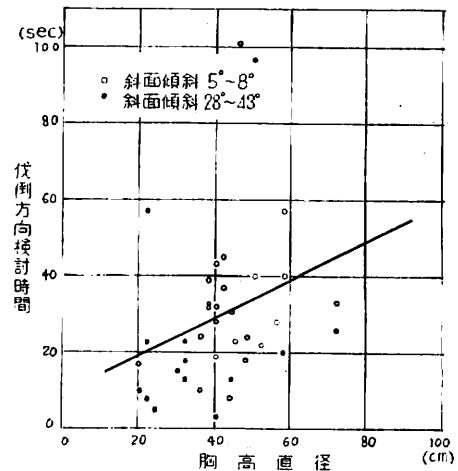


図 27. 普通伐倒の伐倒方向検討時間と胸高直径

たがって、伐倒方向検討の基準時間は全木伐倒、普通伐倒別に次のようになる。

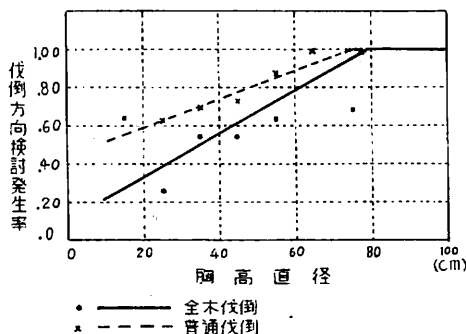


図 28. 伐倒方向検討発生率と胸高直径

$$\text{全木伐倒 } T_{NZ1} = 0.419D + 9.0 \cdots \cdots (6.2.1)$$

$$\text{普通伐倒 } T_{NH2} = 0.491D + 9.1 \cdots \cdots (6.2.2)$$

伐倒方向検討は立木伐倒の際には作業基準にさだめられているように、必ず実行しなければならないものである。しかし、伐倒方向検討として他の作業から必ず独立して行なわれるものではなく、伐倒方向が簡単に決定できる木では歩行中に行なわれる場合もあり、障害木を切り片づけながら行なわれたものもある。独立して伐倒方向検討が行なわれたもの

表 19. 伐倒方向検討と胸高直径の回帰

作 業 法	回 帰 式	回帰係数の t 値
全 木 伐 倒	$Y=0.419X+9.0$	2.62*
普 通 伐 倒	$Y=0.491X+9.1$	1.93

表 20. 伐倒方向検討と樹高の回帰

作 業 法	回 帰 式	回帰係数の t 値
全 木 伐 倒	$Y=0.0188X-6.0$	2.92**
普 通 伐 倒	$Y=0.0102X+9.5$	1.32

を図 28 に整理した。これから、全木伐倒、普通伐倒とも胸高直径が大きくなると伐倒方向検討を独立して行なう率（発生率）は高くなる。これは、普通伐倒の方が慎重に伐倒方向を選定していることを意味する。ここでは、図 28 に示した直線式を伐倒方向検討の発生率算定式として採り、次のようにする。

$$\text{全木伐倒 } E_{NZ1} = \begin{cases} 0.0115D + 0.094 & (D \leq 78) \\ 1.00 & (D \geq 79) \end{cases} \dots\dots\dots (6.2.3)$$

$$\text{普通伐倒 } E_{NH1} = \begin{cases} 0.0075D + 0.445 & (D \leq 74) \\ 1.00 & (D \geq 75) \end{cases} \dots\dots\dots (6.2.4)$$

伐倒方向検討の作業量は (6.2.1), (6.2.2), (6.2.3), (6.2.4) から次式により算定される。

全木伐倒

$$\begin{aligned} S_{NZ1} &= T_{NZ1} \cdot E_{NZ1} \\ &= \begin{cases} 0.0048185D^2 + 0.142886D + 0.846 & (D \leq 78) \\ 0.419D + 9.0 & (D \geq 79) \end{cases} \dots\dots\dots (6.2.5) \end{aligned}$$

普通伐倒

$$\begin{aligned} S_{NH1} &= T_{NH1} \cdot E_{NH1} \\ &= \begin{cases} 0.0036825D^2 + 0.286745D + 4.0495 & (D \leq 74) \\ 0.491D + 9.1 & (D \geq 75) \end{cases} \dots\dots\dots (6.2.6) \end{aligned}$$

6.2.2. 障害除去

この作業に関する作業基準の条項には伐採前の準備として次のように定められている。

(1) 伐倒木にまつわるつる類および周囲の小径木、低木、ササ、浮石など作業の支障となるもの、および

(2) 伐倒木の周囲にある枯損木など転倒または挫折のおそれのある木などは、よく見きわめて必ず切り払うこと。

実際の作業においてはチェーンソーによる障害木切りと、「鉋」か「鎌」によるボサ払いが作業の中心となっており、障害物のかたづけその他が付带的に発生する。この作業には障害となる小径木、低木等が直径因子として関係しているが、これらを立木 1 本ごとに、あらかじめ知ることはできない。しかし、大きな木では広い範囲を刈り払う必要があると考えれば、胸高直径なり、樹高を間接因子としてとることができる。そこで、障害除去時間を従属変数とし、胸高直径 (D cm) と樹高 (H cm) を独立変数として重回帰分析を行なった。結果は表 21 に示したように、障害除去時間は胸高直径と樹高の式で表わすことはで

表 21. 障害除去時間回帰計算

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 値	備 考
全木伐倒	胸高直径	0.207	0.4264	0.475	$N=83$ $\bar{Y}=99.59$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=540600$ $\sum(Y-\hat{Y})^2=512300$
	樹 高	0.222	0.0291	0.874	
	定 数		30.35		
普通伐倒	胸高直径	-0.160	-0.6325	0.597	$N=47$ $\bar{Y}=106.51$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=368800$ $\sum(Y-\hat{Y})^2=352700$
	樹 高	-0.190	-0.0287	0.916	
	定 数		186.28		

表 22. 障害除去発生率

胸 高 直 径 (cm)	全 木 伐 倒			普 通 伐 倒		
	発 生 数	資 料 数	発 生 率	発 生 数	資 料 数	発 生 率
～ 19	8	14	0.57	1	1	1.00
20 ～ 29	24	29	0.83	11	9	0.84
30 ～ 39	25	29	0.86	13	12	0.92
40 ～ 49	14	23	0.61	19	15	0.79
50 ～ 59	14	16	0.88	8	7	0.89
60 ～ 69	3	3	1.00	1	1	1.00
70 ～	6	6	1.00	3	3	1.00
平 均	13		0.78			0.86

きない。ここでは観測値の平均をとって、基準時間を次のように決める。

$$\text{全木伐倒 } T_{BZ_2} = 100 \quad \dots\dots\dots(6.2.7)$$

$$\text{普通伐倒 } T_{BH_2} = 107 \quad \dots\dots\dots(6.2.8)$$

この作業が発生したものは胸高直径級別に整理して表 22 に示すが、発生率と胸高直径の間には一定の関係は認められない。ここでは、障害木除去の発生率は平均値をとり次のようにする。

$$\text{全木伐倒 } E_{BZ_2} = 0.78 \quad \dots\dots\dots(6.2.9)$$

$$\text{普通伐倒 } E_{BH_2} = 0.86 \quad \dots\dots\dots(6.2.10)$$

したがって、障害除去作業量は (6.2.7), (6.2.8), (6.2.9), (6.2.10) から次のようになる。

$$\begin{aligned} \text{全木伐倒 } S_{BZ_2} &= T_{BZ_2} \cdot E_{BZ_2} \\ &= 78 \quad \dots\dots\dots(6.2.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{普通伐倒 } S_{BH_2} &= T_{BH_2} \cdot E_{BH_2} \\ &= 92.02 \quad \dots\dots\dots(6.2.12) \end{aligned}$$

6.2.3. 受口、追口切付帯

この作業は根張切り、矢打を除いた受口、追口切りに付帯するすべての作業を含める。

全木伐倒について受口、追口切付帯時間と胸高直径、樹高、斜面傾斜との相関は表 23 に示すように、比較的高い値を示す。そこで相関係数の高い (胸高直径)² ($D^2\text{cm}^2$)、胸高直径 ($D\text{cm}$) を独立変数として、受口、追口切付帯時間を従属変数として重回帰分析を行なった結果は表 24 である。この関係は図 29、図 30 に全木伐倒、普通伐倒別に示してあるが、普通伐倒においては時間のばらつきが大きく、回帰式に

表 23. 受口, 追口切付帯作業時間と諸条件の相関表

条 件 \ 樹 種	ヒ	ノ	キ	サ	ワ	ラ
(胸 高 直 径) ²			0.86			0.55
胸 高 直 径			0.84			0.49
樹 高			0.59			0.42
斜 面 傾 斜			0.43			0.08

表 24. 受口, 追口切付帯作業時間回帰計算

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 値	備 考
全 木 伐 倒	(胸高直径) ²	0.714	0.0183	4.395**	N=103 $\bar{Y}=23.99$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=47220$ $\sum(Y-\bar{Y})^3=22360$
	胸高直径	0.659	-0.6848		
	定 数		19.22		
普 通 伐 倒	(胸高直径) ²	0.542	0.0031	0.261	N=52 $\bar{Y}=34.90$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=28540$ $\sum(Y-\bar{Y})^3=19960$
	胸高直径	0.547	0.682	0.652	
	定 数		1.51		

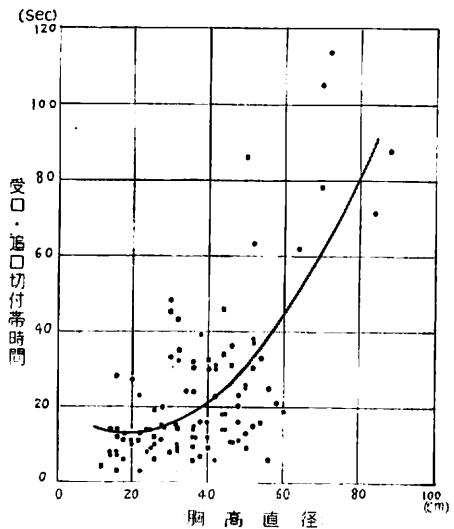


図 29. 受口・追口切付帯時間と胸高直径
(全木伐倒)

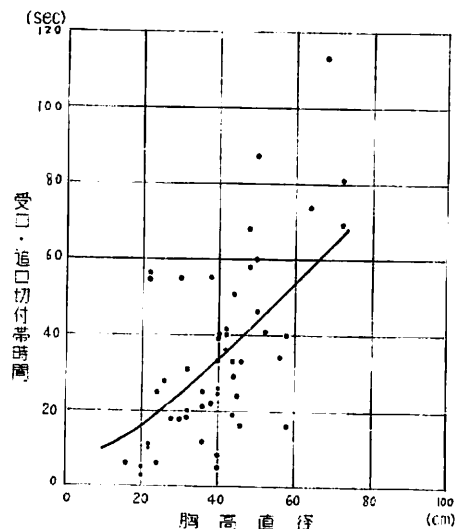


図 30. 受口・追口切付帯時間と胸高直径
(普通伐倒)

よって正確に表わすことができないことがわかった。しかし、胸高直径が大きくなるにしたがい、作業時間の増加することは認められるため、全木伐倒、普通伐倒とも胸高直径の 2 次式で表わすことにする。したがって基準時間は次式となる。

$$\text{全木伐倒 } T_{NZ_3} = 0.0183D^2 - 0.685D + 19.22 \quad \dots\dots\dots (6.2.13)$$

$$\text{普通伐倒 } T_{NH_3} = 0.0031D^2 + 0.632D + 1.513 \quad \dots\dots\dots (6.2.14)$$

この作業は伐倒のときには必ず発生している作業であった。したがって発生率は、

$$\text{全木伐倒 } E_{NZ_3} = 1.00 \quad \dots\dots\dots (6.2.15)$$

$$\text{普通伐倒 } E_{NH_3} = 1.00 \quad \dots\dots\dots (6.2.16)$$

したがって受口、追口切付帯の作業量は (6.2.13), (6.2.14), (6.2.15), (6.2.16) から次式により算出する。

$$\begin{aligned} \text{全木伐倒 } S_{BZ3} &= T_{BZ3} \cdot E_{BZ3} \\ &= 0.0183D^2 - 0.685D + 19.22 \quad \dots\dots\dots(6.2.17) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{普通伐倒 } S_{BH3} &= T_{BH3} \cdot E_{BH3} \\ &= 0.0031D^2 + 0.632D + 1.513 \quad \dots\dots\dots(6.2.18) \end{aligned}$$

6.2.4. 根張切り

この作業は根張切りに必要なすべての作業を含める。作業基準には「伐採点は、山側地ぎわを標準とし、なるべく下げる」とし、根張りをあらかじめ取り除くようにとされている。作業上からは発生が少ない作業であるが、安全性を高めることから重要な作業であるのでここでも検討を加える。

今回の調査では発生が少なかったので、観測データをそのまま表25に示す。表では根張り時間と胸高直径および樹高の関係を明らかにすることはできないし、どのようなときに発生するかも明らかにできない。したがって、ここでは観測値の平均をとり基準時間および発生率とする。

$$\text{全木伐倒 } T_{BZ4} = 24 \quad \dots\dots\dots(6.2.19)$$

$$E_{BZ4} = 0.025 \quad \dots\dots\dots(6.2.20)$$

$$\text{普通伐倒 } T_{BH4} = 42 \quad \dots\dots\dots(6.2.21)$$

$$E_{BH4} = 0.14 \quad \dots\dots\dots(6.2.22)$$

したがって、根張切り作業量算定式は次式となる。

$$\text{全木伐倒 } S_{BZ4} = 0.6 \quad \dots\dots\dots(6.2.23)$$

$$\text{普通伐倒 } S_{BH4} = 5.8 \quad \dots\dots\dots(6.2.24)$$

6.2.5. 矢打ち

この作業は追口切り進行中に鋸進入間けきを開くためのくさび打ちと、追口切りが終わり、伐倒を望む方向に確実にこなうための矢打ちの2種の作業をいう。

矢打ち時間は胸高直径が大きくなるにしたがい増加すると思われるが、図31に示されたように一定の関係は認められない。したがって、ここでは基準時間として観測値の平均をとり次のようにする。

表 25. 根 張 切 り 観 測 デ ー タ

	No.	樹 種	胸 高 直 径 (cm)	樹 高 (cm)	根張切時間 (秒)	備 考
全 木 伐 倒	1	サ ワ ラ	40	1450	12	根 張 り
	2	"	48	2028	34	"
	3	"	60	2250	27	"
普 通 伐 倒	1	ヒ ノ キ	58	2060	60	根 上 り 木
	2	"	40	2400	75	根元からふたまた
	3	"	56	2180	57	根 張 り
	4	"	72	2354	60	"
	5	"	40	2150	50	"
	6	"	40	2143	13	"
	7	"	24	1115	10	"
	8	"	50	2213	10	"

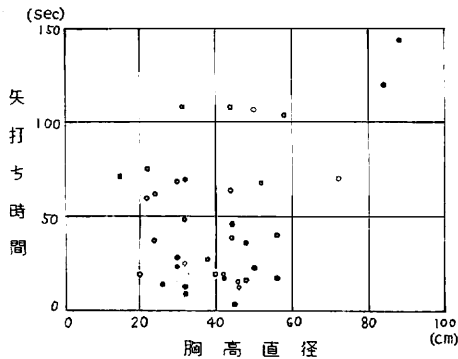


図 31. 矢打ち時間と胸高直径

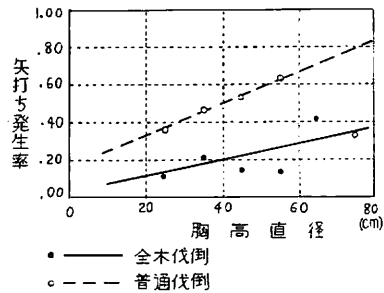


図 32. 矢打ち発生率と胸高直径

$$\text{全木伐倒 } T_{RH_5} = 39 \dots\dots\dots (6.2.25)$$

$$\text{普通伐倒 } T_{RH_5} = 58 \dots\dots\dots (6.2.26)$$

矢打ち作業の発生率を胸高直径級別に整理し、図 32 に示したが、胸高直径が大きくなるにしたがい発生率は増加する。そこで、図 32 に示した直線式を全木伐倒、普通伐倒の矢打ち発生率定式とする。したがって、

$$\text{全木伐倒 } E_{RH_5} = 0.0042D + 0.035 \dots\dots\dots (6.2.27)$$

$$\text{普通伐倒 } E_{RH_5} = 0.0082D + 0.167 \dots\dots\dots (6.2.28)$$

ここで、全木伐倒と普通伐倒の矢打ちを比較してみると基準時間、発生率ともに普通伐倒の方が大きくなっているが、伐倒方向をコントロールする程度の差が原因である。

矢打ち作業量算定式は (6.2.25), (6.2.26), (6.2.27), (6.2.28) から次式となる。

$$\begin{aligned} \text{全木伐倒 } S_{RH_5} &= T_{RH_5} \cdot E_{RH_5} \\ &= 0.1638D + 1.365 \dots\dots\dots (6.2.29) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{普通伐倒 } S_{RH_5} &= T_{RH_5} \cdot E_{RH_5} \\ &= 0.4756D + 9.686 \dots\dots\dots (6.2.30) \end{aligned}$$

6.2.6. 受口、追口切り

この作業はチェーンソーにより受口と追口を切っている正味時間をいう。この作業時間は受口切り、追口切りを別途に扱うより両者を合わせた方が誤差が少ないことが、従来の研究より確かめられている。したがってここでは受口、追口切りを一括して扱うことにし、条件としては伐根径（長径と短径の平均）をとるのが良いが、あらかじめ得られるデータとしては胸高直径の方がつごうがよい。ここでは図 33、図 34 に示した相関図から胸高直径の 2 次式として回帰分析を行なった。表 26、27 に樹種別、全木伐倒、普通伐倒別に回帰分析を行なった結果を示す。表 26、27 から全木伐倒と普通伐倒による差は認められないので 1 括して解析した。この作業は必ず行なわれる作業であるため発生率は 1.0 となり、基準時間＝作業量となる。受口、追口切りの作業量算定式は全木伐倒、普通伐倒に共通して樹種別に次のようになる。

$$\text{ヒノキ } S_{RH_6H} = S_{RH_6H} = 0.0986D^2 - 2.7637D + 56.31 \dots\dots\dots (6.2.31)$$

$$\text{サワラ } S_{RH_6S} = S_{RH_6S} = 0.0434D^2 - 0.4729D + 18.30 \dots\dots\dots (6.2.32)$$

なお、最適化計算においてはヒノキ、サワラ以外の樹種については、材の剪断強度により表 28 に示したようにヒノキ、サワラに分類した基準にしたがった。

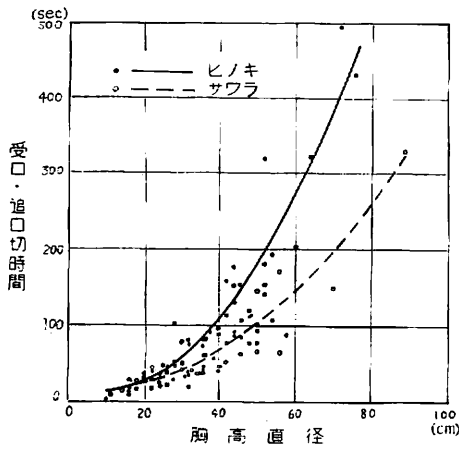


図 33. 全木伐倒の受口、追口切時間と胸高直径

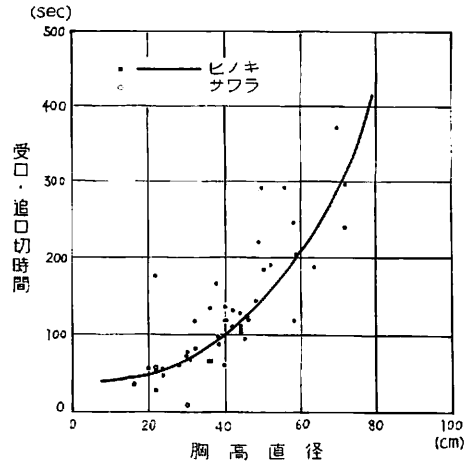


図 34. 普通伐倒の受口、追口切時間と胸高直径

表 26. 受口、追口切回帰計算 (1)

樹 種	作 業	因 子	相関係数	回帰係数	t 値	備 考
ヒ ノ キ	全木伐倒	(胸高直径) ²	0.962	0.1016	5.955**	$N=33$ $\bar{Y}=136.36$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=599400$ $\sum(Y-\hat{Y})^2=42110$
		胸 高 直 径	0.920	-2.054	1.301	
		定 数		29.83		
	普通伐倒	(胸高直径) ²	0.776	0.07345	2.134*	$N=48$ $\bar{Y}=121.92$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=352500$ $\sum(Y-\hat{Y})^2=139300$
		胸 高 直 径	0.751	-1.653	0.536	
		定 数		52.94		
サ ワ ラ	全木伐倒	(胸高直径) ²	0.896	0.04362	4.844**	$N=65$ $\bar{Y}=68.43$ $\sum(Y-\bar{Y})^2=180900$ $\sum(Y-\hat{Y})^2=35290$
		胸 高 直 径	0.855	-0.4859	0.617	
		定 数		17.46		

表 27. 受口、追口切回帰計算 (2)

樹 種	因 子	相関係数	回帰係数	t 値
ヒ ノ キ	(胸高直径) ²	0.881	0.09863	5.381
	胸 高 直 径	0.839	-2.764	1.657
	定 数		56.31	
サ ワ ラ	(胸高直径) ²	0.888	0.037	4.736**
	胸 高 直 径	0.848	-0.4729	0.593
	定 数		18.30	

表 28. 受口、追口切作業量算定式適応基準表

作業量算定式	適 応 樹 種
ヒ ノ キ	ヒノキ、アカマツ、クロマツ、ヒメコマツ、コウヤマキ、ツガ、広葉樹
サ ワ ラ	モミ、トウヒ、ネズコ、ヒバ、

6.2.7. 合 図

この作業は伐倒作業中に行なうすべての合図を含む。合図に関する作業基準によれば、「伐倒のときは必ず呼笛または大声で前もって合図し、その退避を確かめてから、さらに最後の合図をして伐倒し、伐倒の終わったときもさらに合図すること」と定められている。

伐倒合図は予告合図、本合図、終了合図の3つに分けられ、安全作業のためにはすべての合図を確実に実行すべきである。しかし、「人工林の小径木などを伐倒する場合で、主任または主任指名者が危険のおそれがないと判断した場合は、その指示によって合図を省略することができる」とされており、作業上でも追口切りなどの作業を行ないつつ合図をする場合もあるが、チェーンソーによる伐倒では切削速度も早く、エンジンの音も大きく、伐倒作業による事故も多いので、ここでは必ず合図をするものとする。

合図時間を考えるには、合図そのものと、安全の確認のための時間を考慮する。今回の調査においては合図の方法の標準化がなされていなかったため合図として観測されないものが多かったが、次のように仮定して合図時間とする。すなわち、合図3秒、確認4秒、計7秒。したがって、合図作業量算定式は全木伐倒、普通伐倒に共通して次のようになる。

$$S_{NZ7} = S_{NH7} = 7.0 \dots\dots\dots (6.2.33)$$

6.2.8. 退 避

この作業は危険を退けるための退避と、伐倒が確実に行なわれたかを見定める確認の動作がはいつている。作業基準によると

- (1) 道具類は退避の障害にならないように整理しておくこと。
- (2) 追口が浮きはじめたら、前もって見定めてある安全な場所にただちに退避し、木の傾く方向を見守ること。
- (3) 退避から次の作業に移るときは、上方や周囲に注意して落下する枝などがないかを確認すること。

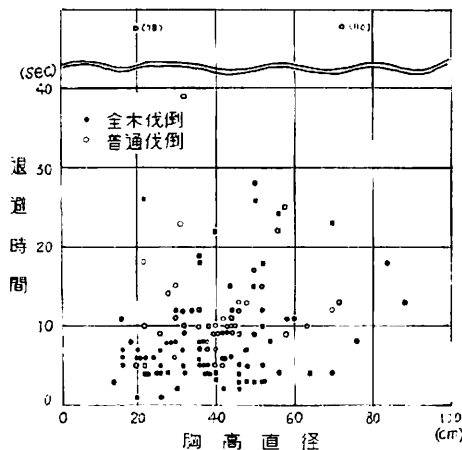


図 35. 退避時間と胸高直径

$$\text{全木伐倒 } S_{NZ8} = 8.0 \dots\dots\dots (6.2.34)$$

$$\text{普通伐倒 } S_{NH8} = 14.0 \dots\dots\dots (6.2.35)$$

6.2.9. 道具ととりまとめ

この作業は1本の木の処理が終わり、次の木へ移動（作業移動という）するとき、必要に応じて道具類

となっているが、(1)項は今回の研究では受口、追口切りの付帯の中を含めており、退避の項では(2)、(3)項の作業に必要な時間を考える。

退避時間に影響を及ぼす因子としては、木の大きさ、木の傾き、足場の状態、斜面傾斜などが考えられる。

しかし、図 35 に木の大きさとの関係を示したように、退避時間を条件と対応させて解析することはむずかしく、平均的な値を示すしかない。ただし、発生率については安全を考えて1.0とすることができる。したがって、退避の作業量算定式は全木伐倒、普通伐倒とも、観測値の平均をとり次のようにする。

表 29. 造 材 作 業 の 作 業 分 解 表

部分工程・纏り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
造 材 準 備 (後始末)	通 勤	1000. 通 勤(往)	集合（解散）場所から機械置場到着までの通勤時間（徒歩，オートバイ，自転車などを明示する）
		1001. 通 勤(復)	機械置場から（集合）解散場所到着までの通勤時間
		1002. 通 勤 途 中 休	通勤途中の休み時間
	休 息	1003. 計	
		1004. 休 息	機械置場に到着して，朝の作業とりかかりまでの間に行なった休み時間（作業終了後も同じ）
		1005. 火 た き	火をたくための柴，薪の採取，および火をたきつける時間
	身 仕 度	1006. 計	
		1007. 身 仕 度	作業に必要な道具器材の着脱，服装なおし時間
		1008. 計	
	機械準備	1009. 機 械 出 し 入 れ	朝夕，機械工具および燃料の出し入れの時間（機械格納箇所）（歩行を含む）
		1010. 整 備	機械の定められた整備，点検および清掃などの時間（朝の燃料の秤量は含む）（歩行を含む）
		1011. 工 具 取 替 え	機械整備に必要な工具のとりかえ，片づけのための時間（歩行を含む）
		1012. 調 整	1日の作業前後に行なうエンジン調子の調整時間（歩行を含む）
		1013. 目 立	ヤスリを持ってチェーンの目立をはじめてから目立完了までの時間（歩行を含む）
		1014. 燃 料 調 合	燃料調合の準備から完了までの時間（歩行を含む）
		1015. 燃 料 缶 移	混合燃料，チェーンオイルを携行缶に移す時間（歩行を含む）
		1016. 給 油	燃料タンク，チェーンオイルタンクのフタをあけて給油し，タンクのフタをしめるまでの時間（歩行を含む）
		1017. 計	
	道具準備	1018. 鋸 手 入 れ	鋸の目立，鋸柄の手入れ，器具の取替え時間（歩行を含む）
		1019. な た 手 入 れ	なたの刃とぎ，なた柄の手入れ（歩行を含む）
		1020. お の 手 入 れ	おのの刃とぎ，おの柄の手入れ（歩行を含む）
		1021. 矢くさび手入れ	矢，くさびの作り，およびなおし，道具の取替え時間（歩行を含む）
		1022. 測 棒 手 入 れ	測棒の手入，道具の取替え時間（歩行を含む）
		1023. 計	
		1024. 職 場	朝夕の機械置場と作業箇所間，作業箇所と昼食休み場所間の往復時間
移 動	移 動	1025. 作 業	1か所の作業が終わり，次の作業箇所に移動するための作業中の移動時間
		1026. 道具取りまとめ	移動のために行なう道具，機械を取りまとめる時間
		1027. 計	

表 29. (つづき)

部分工程	纏り作業	単位作業	要 素 作 業	要 素 作 業 定 義
	測 尺	測 尺	1028. 採 材 検 討	採材にあたって根曲り、材の曲り、腐朽度、折損部などをみながら採材長を検討する時間
			1029. 測 尺	測棒をもって材長を測り、玉切り箇所手工具でしるしをつけながら測尺する時間
			1030. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1031. つ る 除 去	測尺にあたって材にまきついているつるを除く時間
			1032. 障 害 除 去	36, 34を含む(各要素作業ごとに区分して時間を分析すること)
			1033. 空 身 歩 行	31と同じ
			1034. 持 歩 行	32と同じ
			1035. 計	
	玉 切	障害除去	1036. 障 害 木 切 り	34と同じ
			1037. ボ サ 切 り	35と同じ
			1038. 障 害 物 片 付	36と同じ
			1039. 段 取 り	37と同じ
			1040. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1041. 始 動・停 止	39と同じ
			1042. 空 身 歩 行	31と同じ
			1043. 持 歩 行	32と同じ
			1044. 計	
		玉 切	1045. 段 取 り	玉切にはいる前に足場の位置を決めて鋸を材にあてるまでの時間
			1046. 足 場 つ く り	玉切に際して足場のボサ切片づけ、足場組みなどのための時間(材料採取も含む)
			1047. 玉切①普通切り	機械を材にあて、上から下へ切り進み機械を引き抜くまでの時間
			1152. 引 き 落 し	普通切りをやって切り残された部分を腰鋸で切り離し、鋸を引き抜くまでの時間
			1048. ②回 し 切 り	機械を材の下側にあて、機械を回しながら切り進み機械を引き抜くまでの時間
			1049. 引 き 落 し	回し切りをやって切り残された部分を腰鋸で切り離し、鋸を引き抜くまでの時間
			1050. ③合 せ 切 り	材の下(上)側を切っておき、機械を引き抜いて上(下)から切り進み機械を引き抜くまでの時間
			1051. 引 き 落 し	合せ切りをやって切り残された部分を腰鋸で切り離し、鋸を引き抜くまでの時間
			1052. 位 置 替 え	60と同じ
			1053. ク サ ビ 打 ち	クサビを切口に入れ、おの、なたで打ち込む時間(この場合機械が玉切りを一時止めているかいないかに注意)
			1054. 玉 切 進 行 見	玉切の途中において、玉切の進んでいる具合をみる時間(この場合機械が玉切りを一時止めているかいないかに注意)
			1055. 鋸 引 き 抜 き	鋸が材にはさまれたとき機械を引き抜く時間
			1056. 転 材 確 認	
			1057. ク サ ビ 抜 き	107と同じ
			1058. 手 直 し	玉切りをやって木口がそろわない場合木口を平滑にするための切り直し時間
			1059. 道 具 取 替 え	30と同じ

部分工程	廻り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
			1060. 始 動・停 止	39と同じ
			1061. 空 身 歩 行	31と同じ
			1062. 持 歩 行	32と同じ
			1063. 計	
		サルカ切	1064. サ ル カ 切 り	元口にあるサルカ部分に機械をあてて切り離すまでの時間
			1065. 段 取 り	サルカ切りに入る前に足場の位置をきめて、鋸をあてるまでの時間
			1066. 切 片 除 去	切り取ったサルカの材片を除去する時間
			1067. 位 置 替 え	60と同じ
			1068. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1069. 始 動・停 止	39と同じ
			1070. 空 身 歩 行	31と同じ
			1071. 持 歩 行	32と同じ
			1072. 計	
		化粧掛け	1073. 化 粧 掛 け	第1玉元口にある根張部分に機械をあてて切り離すまでの時間
			1074. 段 取 り	化粧掛けにはいる前に足場の位置を決めて、鋸をあてるまでの時間
			1075. 進 具 取 替 え	30と同じ
			1076. 始 動・停 止	39と同じ
			1077. 空 身 歩 行	31と同じ
			1154. 持 歩 行	32と同じ
			1078. 計	
		支え木扱い	1079. 支 え 木 扱 い	玉切に際して引割れを防ぐため材に支え木コロまたは歯止めを入れたりする時間
			1080. 段 取 り	支え木扱いに際し、処理方法について検討する時間
			1081. 材 料 と り	支え木扱いに必要な材料を採取する時間
			1082. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1083. 始 動・停 止	39と同じ
			1084. 空 身 歩 行	31と同じ
			1084. 持 歩 行	32と同じ
			1085. 計	
		木口回し	1086. 木 口 回 し	丸太木口をおのまたは機械でもってまるめ落とす時間
			1087. 段 取 り	木口回しにはいる前、足場の位置を決めておの、または機械を材にあてるまでの時間
			1088. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1089. 空 身 歩 行	31と同じ
			1090. 持 歩 行	32と同じ
			1091. 計	
		捨 切 り	1092. 捨 切 り	腐朽、折損、シン抜け、割れの部分を切離す時間
			1093. 段 取 り	捨切りにはいる前に足場の位置を決め、鋸を材にあてるまでの時間
			1094. 鋸 引 抜 き	60と同じ
			1095. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1096. 始 動・停 止	39と同じ
			1097. 空 身 歩 行	31と同じ

表 29. (つづき)

部分工程	縄り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
	枝 払	障害除去	1098. 持 歩 行	32と同じ
			1099. そ の 他	
			1100. 計	
			1101. 障 害 木 切 り	34と同じ
			1102. ボ サ 切 り	35と同じ
			1103. 障 害 物 片 付	36と同じ
			1104. 段 取 り	37と同じ
			1105. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1106. 始 動・停 止	39と同じ
			1107. 空 身 歩 行	31と同じ
		枝 節 切	1108. 持 歩 行	32と同じ
			1109 計	
			1110. 枝 先 切 り	枝切りに際して枝の中間から先の方を切り落とす時間(歩行作業と区分して観測すること)
			1111. 枝 節 切 り	枝切りに際して機械を枝の根元にあて、切り離すまでの時間(歩行作業と区分して観測すること)
			1112. 段 取 り	枝切りの前に足場の位置を決めて、鋸をあてるまでの時間
			1113. 枝 片 付	枝切りした枝を片づける時間
			1114. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1115. 始 動・停 止	39と同じ
			1116. 空 身 歩 行	31と同じ
			1117. 持 歩 行	32と同じ
		手 直 し	1118. 計	
			1119. 手 直 し	完全に切り落とされないでいる枝節を再度切りなおして落とす時間
			1120. 段 取 り	手直しにはいる前に足場の位置を決めて、鋸をあてるまでの時間
			1121. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1122. 始 動・停 止	39と同じ
			1123. 空 身 歩 行	31と同じ
			1124. 持 歩 行	32と同じ
			1125. 計	
		木 回 し	1126. 木 回 し	枝切りに際して丸太を回わす時間
			1127. 段 取 り	木回しにはいる前に足場をきめたり、木回しの準備をする時間
			1128. 支 え 木 扱 い	木回しに際して材が転落しないように支え木をする時間(支え木材料の採取を含む)
			1129. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1130. 空 身 歩 行	31と同じ
			1131. 持 歩 行	32と同じ
			1132. 計	
	皮 剥	障害除去	1133. 障 害 木 切 り	34と同じ
			1134. ボ サ 切 り	35と同じ
			1135. 障 害 物 片 付	36と同じ
			1136. 道 具 取 替 え	30と同じ

部分工程	纏り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
			1137. 始 動・停 止	39と同じ
			1138. 空 身 歩 行	31と同じ
			1139. 持 歩 行	32と同じ
			1140. 計	
		皮 剥	1141. 皮 剥	皮剥器をもって材の皮を剥ぐ時間
			1142. 皮 片 付	剥がれた皮を片づける時間
			1143. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1144. 空 身 歩 行	31と同じ
			1145. 計	
		木 回 し	1146. 木 回 し	丸太の皮を剥ぐため材を回す時間
			1147. 支 え 木 扱 い	材の転落を防止するために支え木やコロを扱う時間（材料採取も含む）
			1148. 道 具 取 替 え	30と同じ
			1149. 空 身 歩 行	31と同じ
			1150. 計	
	余 裕	職 場	1500. 打 合 せ 固 有	500と同じ
			1501. 手 待 ち 固 有	
			1543. 判 断 勘 考	541と同じ
			1502. 計	
		疲 れ	1503. 坐 休	503と同じ
			1504. 立 休	504と同じ
			1505. 息 ぬ き	505と同じ
			1506. 計	
		用 達	1507. 用 達 し	507と同じ
			1508. 汗 ふ き	508と同じ
			1509. 水 の み	509と同じ
			1510. 服 装 な お し	510と同じ
			1511. 計	
		作 業 (道具)	1512. 鋸 修 理	512と同じ
			1513. な た 修 理	513と同じ
			1514. お の 修 理	514と同じ
			1515. 矢 修 理	515と同じ
			1516. 測 棹 修 理	516と同じ
			1544. 道 具 さ が し	528と同じ
			1517. 計	
		作 業 (機械)	1518. 機 械 交 換	518と同じ
			1519. 機 械 調 整	519と同じ
			1520. 注 油 フ カ シ	520と同じ
			1521. 工 具 取 替 え	521と同じ
			1522. 目 立	522と同じ
			1523. 燃 料・点 検	523と同じ
			1524. 給 油	524と同じ
			1525. 燃 料 と り 歩 行	525と同じ
			1526. 燃 料 調 合	526と同じ
			1527. 燃 料 缶 移 し	527と同じ

表 29. (つづき)

部分工程	纏り作業	単位作業	要素作業	要素作業定義
			1528. 道具さがし (手工具)	528と同じ
			1529. 道具さがし (工 具)	529と同じ
			1530. 計	
	除 外	食 事	1531. 食 事	531と同じ
			1532. 食 事 休 み	532と同じ
			1533. 計	
		そ の 他	1534. 調査打合・手待	534と同じ
			1535. 懸木落し(特殊)	535と同じ
			1536. そ の 他	536と同じ
			1537. 計	
		規定外通 勤	1538. 通 勤(往)	538と同じ
			1539. 通 勤(復)	539と同じ
			1540. 通勤途中休み	540と同じ
			1541. そ の 他	541と同じ
			1542 計	

をとりまとめることをいう。今回の調査においてはこの作業の発生は少なく、基準時間としては観測値の平均をとることにした。この結果、全木伐倒と普通伐倒について次の値を得た。

$$\text{全木伐倒 } T_{BZ_9} = 90 \dots\dots\dots (6.2.36)$$

$$\text{普通伐倒 } T_{BH_9} = 47 \dots\dots\dots (6.2.37)$$

全木伐倒と普通伐倒の基準時間の差は、発生率の差に原因しているものと考えられる。すなわち、調査の結果から全木伐倒と普通伐倒の道具とりまとめの発生率は、

$$\text{全木伐倒 } E_{BZ_9} = 0.05 \dots\dots\dots (6.2.38)$$

$$\text{普通伐倒 } E_{BH_9} = 0.11 \dots\dots\dots (6.2.39)$$

となったが、全木伐倒の発生率は低い。これは使用する道具が全木伐倒は普通伐倒より少なく、使用する機会も少ないため移動のときに携行する必要度が少なくなっている。このことが逆に道具をとりまとめるときに、道具をさがさねばならないという動作になり基準時間を長くしている。なお、伐倒のとき携行していた道具を参考までに次に示しておく。

全木伐倒：なた、おの、くさび

普通伐倒：なた、おの、くさび、かま、測棒

以上から道具まとめ作業量算定方式は次のようになる。

$$\text{全木伐倒 } S_{BZ_9} = T_{BZ_9} \cdot E_{BZ_9} = 4.5 \dots\dots\dots (6.2.40)$$

$$\text{普通伐倒 } S_{BH_9} = T_{BH_9} \cdot E_{BH_9} = 5.17 \dots\dots\dots (6.2.41)$$

6.2.10. 作業移動

1 本の木の処理が終わり、次の木へ移動する歩行作業である。このための作業量は木1本ごとに算定するよりも、1 作業斜面の総作業量を見積もる方が合理的である。すなわち、作業移動を行なう距離の合計は木の位置と伐倒する順序から決まるのであるが、斜面に格子状に立つ木を端から順に移動していく場合

にはほぼ等しいと考える。斜面の面積を A_{ua} (i は斜面につけた番号)、立木本数を n_i とすれば作業移動の合計は

$$L_{Ti} = 0.01 \sqrt{n_i \cdot A_i}$$

1本あたりの平均作業移動距離は、

$$L_A = 0.01 \sqrt{A_i / n_i}$$

したがって、1本あたりの作業移動作業量は、

$$S_{NZ10} = S_{NH10} = 0.01 \sqrt{A_i / n_i} / v_i \dots\dots\dots (6.2.42)$$

ここで、 v_i は斜面 i の平均歩行速度 (sec/m)

なお、歩行速度は斜面の傾斜、植生量、地表条件によって異なり、その算出法については 8.2.9 歩行速度の項においてのべてある。

6.3. 造 材

造材作業は山地で行なう山地造材と、全木集材後に盤台で行なう盤台造材に分ける。山地造材は1人作業とし、盤台作業は複数人作業とする。したがって、盤台造材においては作業人員が変化した場合の、造材時間の変化が求められるように定式化する。

調査は伐倒作業と同様に造材作業を表 29 に示したように要素作業に分解し、時間観測を行ない、作業の性質、発生程度により要素作業をいくつかの単位しごとに統合して解析していく。単位しごとは木1本に対応するものと、玉1本に対応するものに分ける。表 30 に造材作業の単位しごととしごとの内容を簡単に示してある。以下表 30 に示した単位しごとを順次解析、定式化していく。

6.3.1. 測 尺

山地造材における測尺時間は、木に関する条件（胸高直径、樹高、採材玉数）および林地の条件（斜面

表 30. 造材作業の単位仕事および仕事内容

分 類	番号	単 位 仕 事	仕 事 の 内 容
木ごと	1	測 尺	採材検討をし、測樫を使って材長を測り、玉切り箇所にするしをつける。これに必要な歩行、障害除去を含める。
	2	始 動 停 止	造材のために行なうチェーンソーの始動停止、エンジンの回転が一定になるまでの調整を含む。
	3	玉 切 り 歩 行	玉切りに必要な歩行。
	4	玉 切 り 付 帯	玉切りに付帯する作業のうち玉ごとに対応させるのが不適当なもの。クサビ打ち、鋸引き抜き、転材確認、支え木扱い、造材応援を含む。
	5	サルカ切り	伐倒のときに受口側に切り残される部分を切り取る作業。
	6	化 粧 が け	根張り部分を切り取る作業、幹についてはコブを取る作業も含める。
	7	障 害 除 去	玉切り、枝払いの障害となるものを除去する作業。
	8	捨 切 り	空洞やくさねのような欠点のある幹の部分を持ち捨てる作業。
	9	枝 先 切 り	長い枝や応力の働いている枝を切るとき、枝の先端をあらかじめ切り落とす作業。
	10	枝 払 い	枝を材面に沿って平滑に切り取る作業。
	11	枝払い付帯	枝払いに付帯する作業で段取、枝片づけ、枝節さがし等がある。
	12	枝払い手直し	平滑に切れなかった枝を切り直す作業。
玉ごと	13	玉 切 り	チェーンソーを材にあてて直角に材を切り離す作業で、切り下げ、切り上げ、扇状切りからなる。
	14	玉切り段取り	玉切前に足場の片付けや足場のふみかためを行ない、足の位置を決める作業、切断箇所の確認を含める。

傾斜)に影響されると考えられる。

そこで胸高直径、胸高断面積(胸高直径の2乗)、樹高、採材玉数、斜面傾斜を因子として回帰分析を行ない表 31 の結果を得た。

SY と SS の差の大小により回帰式の有意性の目安とする。

この結果から測尺時間は採材玉数と斜面傾斜の関数として表わされることがわかる。この関係を図示すれば図 36 となる。

表 31. 測尺回帰分析(1)(山地造材)

因 子	因子平均値	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
$(D.B.H.)^2$	1904.4	0.38	0.014	0.61	(1) $SY=803.5 \times 10^3$
D.B.H	41.6	0.41	0.991	0.45	(2) $SS=336.7 \times 10^3$
樹 高	2005.9	0.54	0.021	1.12	(3) $N=49$
斜 面 傾 斜	18.3	0.05	0.848	2.57*	(4) $\bar{Y}=162.86$
採 材 玉 数	3.9	0.70	31.168	4.16**	
定 数			-0.454		

注) (1) $SY=\sum(\text{観測値}-\bar{Y})^2$

(2) $SS=\sum(\text{観測値}-\hat{Y})^2$ $\hat{Y}: T$ の推定値

(3) N = データの数

(4) $\bar{Y}$ = 従属変数の観測平均値

表 32. 測尺回帰分析(2)

作 業 法	因 子	因子平均値	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
山 地	採 材 玉 数	3.90	0.8	38.0	9.4**	$SY=803.5 \times 10^3$
	斜 面 傾 斜	18.10	0.1	0.67	2.7**	$SS=358.4 \times 10^3$
	定 数			1.67		$N=49$
盤 台	採 材 玉 数	3.19	0.58	20.26	6.6**	$SY=2321 \times 10^3$
	定 数			23.02		$SS=2168 \times 10^3$ $N=128$

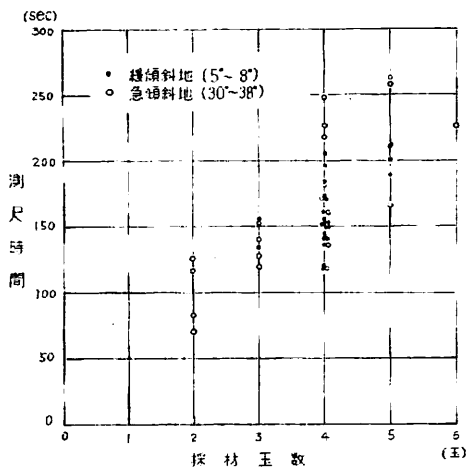


図 36. 測尺時間と採材玉数および斜面傾斜(普通造材)

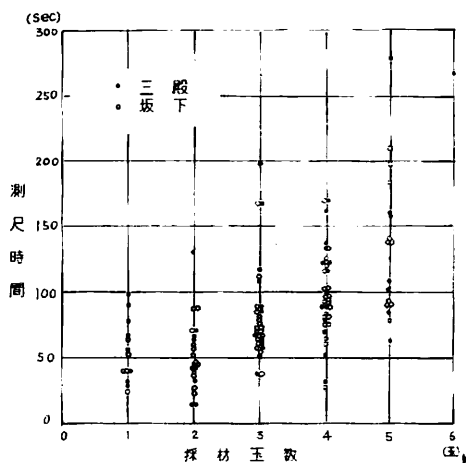


図 37. 測尺時間と採材玉数(盤台造材)

つぎに、盤台造材における測尺は山地造材の場合と異なり、斜面傾斜は作業条件とならない。しかし、この点を除けば両者の特性は同じと考えられる。すなわち、盤台造材の測尺時間は採材玉数のみの関数として表わすことができる。以上の結果に基づいて、ふたたび回帰式を求めれば表 32 の結果が得られた。

盤台造材の場合、2 調査地のデータがあるが、図 37 のように両者の差はないものとみなすことができる。

以上の計算結果から山地造材および盤台造材における測尺の基準時間はそれぞれ次の式で表わされる。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_1} = 38.0nt + 0.67\theta + 1.67 \quad \dots\dots\dots (6.3.1)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK_1} = 20.26nt + 23.02 \quad \dots\dots\dots (6.3.2)$$

ここで nt = 採材玉数, θ = 斜面傾斜

発生率は 1 本の木に対して必ず実行されるから 1 である。そこで、作業量はそれぞれ次のようになる。

$$\text{山地造材 } S_{SZK_1} = T_{SZK_1} \quad \dots\dots\dots (6.3.3)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_1} = T_{BZK_1} \quad \dots\dots\dots (6.3.4)$$

6.3.2. 始動・停止

始動・停止は造材作業中におこなうチェーンソーのエンジンをかける作業と、止める作業であるが、時間的には始動が大きな割合を占める。山地造材の場合は 1 本の木に対応することができるが、盤台造材の場合は数本の木を並列に処理するため、1 本の木に対応させて解析することは意味がない。しかし、木の木数が多ければ始動、停止の作業量も大きくなるものとみなすことができる。そこで、まず始動・停止の作業量に影響を及ぼすと考えられる木の大きさに関して、両者の関係を調べる。始動・停止の 1 回あたりの

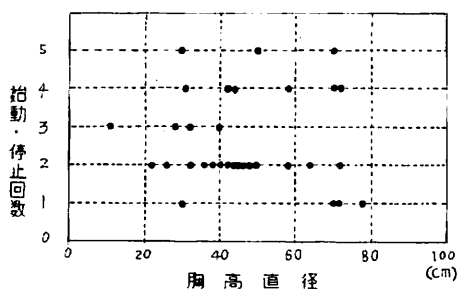


図 38. エンジン始動・停止回数と胸高直径（普通造材）

作業時間はチェーンソーの調子によるのであって、木の大小とは直接関係はないため、始動・停止の回数を考えることにする。1 本の木ごとにデータが得られる山地造材に関して、木の大きさを示す胸高直径と始動停止回数の関係を示せば図 38 となる。図からわかるように、始動停止回数は木の大小とは関係がないと考えられる。すなわち、1 本の木に対して一定の始動停止回数と作業時間を定めればよい。

盤台造材においても同様に、1 本の木に対して一定の回数とみなすことができる。

そこで、盤台で処理した木の総本数と、発生した始動停止の回数から平均回数を求め、同様にして 1 回あたりの平均作業時間を求めた。

以上の結果を表 33 に示す。

盤台造材では 1 回の始動によって数本の木を造材するため、山地造材に比べて少なくてすむことがわか

表 33. 平均始動停止回数と作業時間

作 業 方 法	平 均 回 数	平均作業時間
山 地 造 材	3.5	10.8秒
盤 台 造 材	2.4	10.5秒

る。1 回あたりの平均時間は両者の差は少ないが、山地造材の場合は足場が悪いから多くの時間を要するものとして、表の値をそのまま採用する。以上の結果、作業量はそれぞれ次の式で表わされる。

$$\text{山地造材 } S_{SZK_2} = 3.5 \times 10.8 = 37.8 \dots\dots\dots (6.3.5)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_2} = 2.4 \times 10.5 = 25.2 \dots\dots\dots (6.3.6)$$

6.3.3. 玉切歩行

この単位仕事は玉切りに必要な歩行であるため、作業条件としては木に関するものと山地造材の場合は玉に関するものが考えられる。

そこで、山地造材の場合は胸高直径、胸高断面積、樹高、採材玉数および斜面傾斜を因子として表 34 のような回帰分析を行なった。

この結果、玉切歩行時間は樹高と斜面傾斜の関数として表わすことができると考えられる。

つぎに、盤台造材における玉切歩行の作業条件には斜面傾斜は含まれないため、樹高のみの関数として作業量を表わすことができる。

図 40 に 2 か所の調査データに基づいた玉切歩行時間と樹高との関係を示す。

この結果両者には差がないと認められる。そこで、両調査データを一括して回帰分析を行なうことができる。表 35 に山地造材と、盤台造材における玉切歩行時間の回帰分析の結果を示す。山地造材の場合は回帰係数が有意とは断定できないが、標準的な作業時間として回帰式を採用する。

以上の結果、山地造材および盤台造材における玉切歩行の基準時間はそれぞれ、

表 34. 玉切歩行の回帰分析 (1) (山地造材)

因	子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
$(D, B, H)^2$		0.27	0.019	1.42	$SY = 1644 \times 10$
D, B, H		0.24	-1.474	1.09	$SS = 1241 \times 10$
樹	高	0.21	0.019	1.72	$N = 49$
斜	面	0.23	0.444	2.22	$Y = 14.88$
採	材	0.15	-1.198	0.26	
定	数		-2.501	0.10	

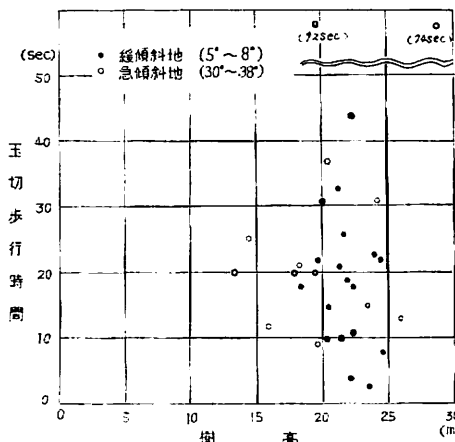


図 39. 玉切歩行時間と樹高および斜面傾斜 (山地造材)

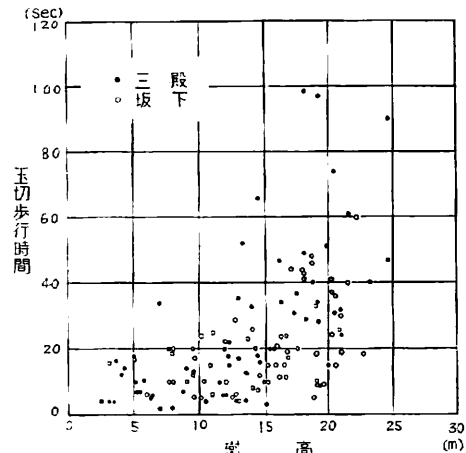


図 40. 玉切歩行時間と樹高 (盤台造材)

表 35. 玉切歩行の回帰分析 (2)

作業方法	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
山地造材	樹 高	0.11	0.013	1.29	SY=10680 SS=9402 N=32 $\bar{Y}=22.78$
	斜面傾斜	0.26	0.433	1.88	
	定 数		-11.748		
盤台造材	樹 高 定 数	0.43	0.071 -3.658	5.41**	SY=8500×10 SS=6893×10 N=127 $\bar{Y}=24.73$

表 36. 玉切付帯回帰計算

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
山 地	D, B, H	0.55	-6.682	1.41	SY=29,440 SS=15,260 N=13 $\bar{Y}=24.7$
	$(D, B, H)^2$	0.62	0.088	1.83	
	定 数		126.77		
盤 台	D, B, H	0.26	0.895	2.46*	SY=13,519 SS=12,456 N=47 $\bar{Y}=21.8$
	$(D, B, H)^2$	0.23	-0.0063	0.16	
	定 数		-6.1058		

$$\text{山地造材 } T_{SZK_3} = 1.3H + 0.43\theta - 11.75 \dots\dots\dots (6.3.7)$$

$$\text{盤台造材 } T_{NZK_3} = 7.1H - 3.658 \dots\dots\dots (6.3.8)$$

ここで、 H : 樹高 (m), θ : 斜面傾斜 (°)

玉切歩行は、今回の調査によれば必ずしもすべての木に対して発生していない。一般に造材作業の手順は枝払い→測尺→サルカ切り→玉切りとなっているが、この手順は作業条件により入れ変わることも多い。玉切歩行とは玉切りのための歩行であるため、枝払いから玉切りに移るような場合には、玉切歩行は発生しない。調査結果から、玉切り歩行の発生率を算出してみると式 (6.3.9), (6.3.10) のようになり、盤台造材の方が発生率が高い。

$$\text{山地造材 } E_{SZK_3} = 0.65 \dots\dots\dots (6.3.9)$$

$$\text{盤台造材 } E_{NZK_3} = 0.82 \dots\dots\dots (6.3.10)$$

盤台造材においては造材手が複数で作業を行なうため、作業の分担が自然とできあがっている。そのため1人の行なう作業は玉切り、枝払いと独立しているため、歩行作業も明確に独立してくるのである。ただし組作業によるむだな歩行作業が発生していることは予想されているが、分析はされていない。以上から玉切り歩行作業量は次式で表わされる。

$$\text{山地造材 } S_{SZK_3} = 0.00845H + 0.2795\theta - 7.6375 \dots\dots\dots (6.3.11)$$

$$\text{盤台造材 } S_{NZK_3} = 0.05842H - 2.9996 \dots\dots\dots (6.3.12)$$

ここで、 H : 樹高 (cm), θ : 斜面傾斜 (°)

6.3.4. 玉切付帯

このしごととは、玉ごとにみた場合の発生率は小さいために、玉の条件から作業量を見積もることは困難である。そこで、1本の木に対して発生する玉切付帯の作業量を考える。

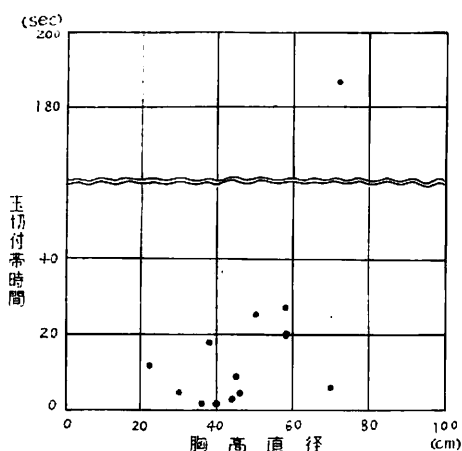


図 41. 玉切付帯時間と胸高直径 (山地造材)

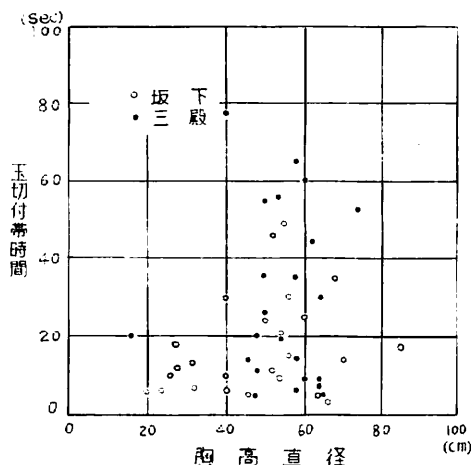


図 42. 玉切付帯時間と胸高直径 (盤台造材)

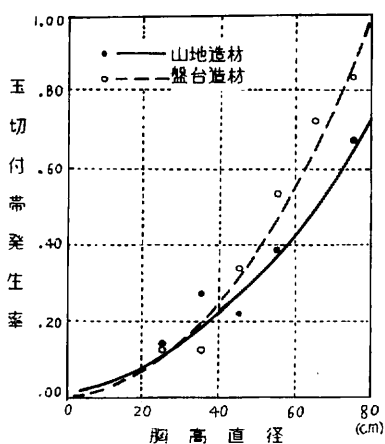


図 43. 玉切付帯発生率と胸高直径

山地造材の場合には作業条件として、胸高直径、胸高断面面積、樹高、採材玉数、斜面傾斜をとって作業時間を回帰分析した。表 36 に結果を示すが、発生率が小さいために回帰式の効果が少ない。

この作業が発生した場合について胸高直径との関係を図 41 に示す。異常値と思われるデータを検討した結果、表 30 に示した玉切付帯に含めたすべての作業が発生していることがわかった。

このような例は少ないので除外した。盤台造材の場合の胸高直径との関係を図 42 に示すが、山地造材の場合と同様に胸高直径と何らかの関係がありそうであるが、発生数が少なく定式化できない。そこで、基準時間としては平均値

を採用して、山地造材、盤台造材について次のようにした。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_4} = 25.0 \quad \dots\dots\dots (6.3.13)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK_4} = 21.8 \quad \dots\dots\dots (6.3.14)$$

玉切付帯の発生率は木の大きさと関係あると考えられるため、胸高直径を 10cm 幅に分割して、各区分について発生率をしらべた。図 43 に示したように玉切付帯の発生率は胸高直径の 2 次式で表わされ、次に示す式を得た。

$$\text{山地造材 } E_{SZK_4} = 0.000079D^2 + 0.0026D \quad \dots\dots\dots (6.3.15)$$

$$\text{盤台造材 } E_{BZK_4} = 0.00015D^2 + 0.0004D \quad \dots\dots\dots (6.3.16)$$

ここで、 D : 胸高直径 (cm)

したがって、玉切付帯の作業量はそれぞれ、

$$\text{山地造材 } S_{SZK_4} = 0.001975D^2 + 0.0065D \quad \dots\dots\dots (6.3.17)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_4} = 0.00327D^2 + 0.00872D \quad \dots\dots\dots (6.3.18)$$

6.3.5. サルカ切り

この単位しごに影響を及ぼすと思われる条件は、サルカの大きさである。サルカの大きさはあらかじめ知ることができないが、今回の調査によれば胸高直径との相関は0.734となり、サルカの大きさは胸高直径によって代表される。山地造材について胸高直径、胸高断面積、樹高、採材玉数、斜面傾斜を条件因子としてサルカ切時間の回帰分析を行なった。

表37に示す結果から、サルカ切時間は斜面傾斜と胸高断面積の関数として表わされることが予想される。図44にサルカ切時間と胸高直径の関係を傾斜別に示してある。盤台造材のサルカ切りは斜面傾斜は条件とならず、図45に示したとおり胸高直径と関数関係があると思われる。なお、調査地による差はないと考える。回帰分析の結果は表38に示したように、盤台造材の回帰式はあてはめの良いものではない

表 37. サルカ切回帰計算 (1) (山地造材)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
$(D, B, H)^2$	0.58	0.031	1.64	$SY=4603 \times 10$
D, B, H	0.52	-1.332	0.72	$SS=2342 \times 10$
樹 高	0.19	-0.008	0.53	$N=49$
斜 面 傾 斜	0.16	0.711	2.58*	$\bar{Y}=45.45$
採 材 玉 数	0.31	9.183	1.47	
定 数		9.816		

表 38. サルカ切回帰計算 (2)

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
山 地	D, B, H	0.56	-0.320	0.28	$SY=3944 \times 10$
	$(D, B, H)^2$	0.60	0.021	1.35	$SS=2140 \times 10$
	斜 面 傾 斜	0.09	0.633	2.35*	$N=46$
	定 数		10.218		$\bar{Y}=48.4$
盤 台	D, B, H	0.48	0.947	0.64	$SY=3024 \times 10^2$
	$(D, B, H)^2$	0.48	0.0067	0.47	$SS=2329 \times 10^2$
	定 数		-0.579		$N=102 \quad \bar{Y}=54.6$

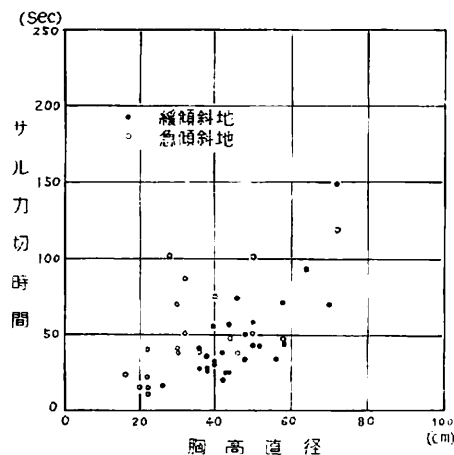


図 44. 山地造材サルカ切時間と胸高直径

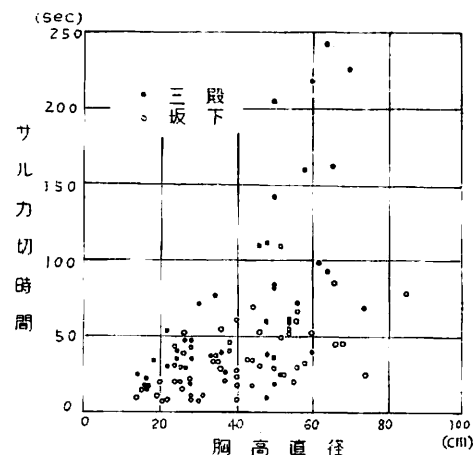


図 45. サルカ切時間と胸高直径（盤台造材）

が、平均値をとるよりも、この作業の特質を表わすには適しているため、回帰式を採用。基準時間は次のようになる。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_5} = 0.021D^2 - 0.32D + 0.633\theta + 10.22 \quad \dots\dots\dots(6.3.19)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK_5} = 0.0067D^2 + 0.947D - 0.579 \quad \dots\dots\dots(6.3.20)$$

サルカ切りは 1 本の木に対して必ず発生する作業のため、発生率は 1.0 となり、作業量は基準時間と等しくなる。

$$\text{山地造材 } S_{SZK_5} = T_{SZK_5} \quad \dots\dots\dots(6.3.21)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_5} = T_{BZK_5} \quad \dots\dots\dots(6.3.22)$$

6.3.6. 化粧がけ

表 30 の仕事内容にのべたように、この作業は根張り部分や、こぶを切り取ることをいうが、直接対応する条件をあらかじめ知ることはできない。そこで、表 39 に示したように、山地造材において与えられた条件すべてと回帰分析を行なった。

この結果から、胸高直径がもっとも有意性をもつ条件であると思われたので、表 40 に示すように回帰分析を行なった。

この結果から、回帰式のあてはめはできないとわかった。化粧がけの基準時間は調査データの平均を採用。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_6} = 35.0 \quad \dots\dots\dots(6.3.23)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK_6} = 44.0 \quad \dots\dots\dots(6.3.24)$$

つぎに、発生率を胸高直径について解析すれば表 41 となる。

胸高直径の大きい木では発生率が高くなるようであるが、かなりばらついている。そこで、ここでは簡単に胸高直径の小さい木では発生しないという事実を取り入れ、次式で定式化した。

表 39. 化粧がけ回帰計算 (1) (山地造材)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
$(D, B, H)^2$	0.32	0.001	0.07	$SY = 2019 \times 10$
D, B, H	0.33	0.357	0.22	$SS = 1755 \times 10$
材 高	0.19	-0.003	0.20	$N = 49$
斜 面 傾 斜	-0.25	-0.224	0.94	$\bar{Y} = 12.06$
採 材 玉 数	0.17	0.024	0.00	
定 数		4.19		

表 40. 化粧がけ回帰計算 (2)

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
山 地	$(D, B, H)^2$	0.19	-0.002	0.07	$SY = 6873$
	D, B, H	0.20	0.568	0.17	$SS = 6506$
	定 数		13.252		$N = 17 \quad \bar{Y} = 34.8$
盤 台	$(D, B, H)^2$	0.39	0.010	1.02	$SY = 28486$
	D, B, H	0.37	-0.426	0.42	$SS = 24089$
	定 数		30.27		$N = 55 \quad \bar{Y} = 35.0$

表 41. 化粧がけ作業の発生率

作 業 方 法	胸高直径級 cm	化粧がけ発生数	調 査 数	発 生 率
山 地 造 材	～ 19	0	1	0
	20 ～ 29	0	7	0
	30 ～ 39	5	11	0.45
	40 ～ 49	6	18	0.33
	50 ～ 59	4	8	0.50
	60 ～ 69	2	4	0.50
	70 ～			
	平 均	17	49	0.35
盤 台 造 材	～ 19	0	27	0
	20 ～ 29	16	43	0.37
	30 ～ 39	6	24	0.25
	40 ～ 49	10	24	0.42
	50 ～ 59	13	30	0.43
	60 ～ 69	7	18	0.35
	70 ～	3	6	0.50
	平 均	55	172	0.32

表 42. 障害除去作業発生状況

作 業 区 分	条 件	発 生 数	発 生 率	平 均 時 間
山 地 造 材	急 傾 斜 地	9	0.41	68.8
	緩 傾 斜 地	2	0.07	12.0
盤 台 造 材		10	0.058	40.0

$$\text{山地造材 } E_{SZK_6} \begin{cases} 0 & (D < 30) \\ 0.35 & (D \geq 30) \end{cases} \dots\dots\dots (6.3.25)$$

$$\text{盤台造材 } E_{BZK_6} \begin{cases} 0 & (D < 20) \\ 0.32 & (D \geq 20) \end{cases} \dots\dots\dots (6.3.26)$$

したがって作業量はそれぞれ、

$$\text{山地造材 } S_{SZK_6} = E_{SZK_6} \cdot T_{SZK_6} \dots\dots\dots (6.3.27)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_6} = E_{BZK_6} \cdot T_{BZK_6} \dots\dots\dots (6.3.28)$$

6.3.7. 障害除去

この単位ごとの発生率は小さいため、基準時間を作業条件の関数として表わすことはできない。そこで、調査データから発生率と平均時間を求めて表 42 に示してある。

山地造材の場合は斜面傾斜の影響が現われているが、資料数が少ないため結論は出せない。また盤台造材では作業条件が良いため、障害除去の発生はほとんど無視できるほどしかない。そこで、基準時間と発生率はそれぞれ次のようにした。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_7} = 38.0 \dots\dots\dots (6.3.29)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK_7} = 0 \dots\dots\dots (6.3.30)$$

$$\text{山地造材 } E_{SZK_7} = 0.21 \dots\dots\dots (6.3.31)$$

$$\text{盤台造材 } E_{BZK_7} = 0 \dots\dots\dots (6.3.32)$$

したがって作業量はそれぞれ

$$\text{山地造材 } S_{SZK_7} = 7.98 \quad \dots\dots\dots (6.3.33)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_7} = 0 \quad \dots\dots\dots (6.3.34)$$

6.3.8. 捨 切 り

今回の調査における捨切りに関するデータを表 43 に示す。

山地造材では捨切りは 1 回発生したのみであるが、一般的には捨切り発生率は立木の腐朽率折損率（自然折損、伐倒および全木集材の場合は集材による折損）によって決まる。しかし、ここでは全木集材方式では伐倒のときの折損率が伐倒方向の選定の仕方から高くなり、さらに集材による折損が加わるため折損率は増大する。普通集材と全木集材の材損傷率の差は直接調査しなかったが、この捨切り作業の発生率の差がこれを表わしていると考えられることもできる。ここでは調査データに基づき、捨切りの基準時間と発生率を次のように決めた。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_8} = 0 \quad \dots\dots\dots (6.3.35)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK_8} = 56.8 \quad \dots\dots\dots (6.3.36)$$

$$\text{山地造材 } E_{SZK_8} = 0 \quad \dots\dots\dots (6.3.37)$$

$$\text{盤台造材 } E_{BZK_8} = 0.26 \quad \dots\dots\dots (6.3.38)$$

したがって作業量はそれぞれ、

$$\text{山地造材 } S_{SZK_8} = 0 \quad \dots\dots\dots (6.3.39)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_8} = 14.8 \quad \dots\dots\dots (6.3.40)$$

6.3.9. 枝先切り

枝先切りは太く長い枝や、曲げられている枝を切り取るときに、作業をやりやすくするために行なわれるものである。それゆえ枝の量とは直接関係づけることはできないが、枝の量が多ければ枝先切りの発生も時間も多くなると考えられる。調査データによれば枝切断面積と胸高直径の相関は 0.52 あり、胸高直径を枝の量のかわりに因子として使うことができると判断した。そこで、山地造材を表 44 に示す回帰分

表 43. 捨 切 作 業 発 生 状 況

作 業	場 所	木の総本数	捨切り発生回数	発 生 率	1 本あたりの平均時間
山地盤台	上 松	49	1	0.02	10
	三 殿	77	30	0.39	63.9
	坂 下	95	14	0.15	41.6
	平 均	172	44	0.26	56.8

表 44. 枝先切り回帰計算（山地造材）

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
$(D. B. H)^2$	0.75	0.043	2.77**	$SY = 4253 \times 10$
$D. B. H$	0.69	-2.068	1.35	$SS = 1589 \times 10$
樹 高	0.23	0.001	0.11	$N = 49$
斜 面 傾 斜	-0.11	0.090	0.39	$\bar{Y} = 17.24$
採 材 玉 数	0.18	-3.811	-0.74	
定 数		32.332		

表 45. 枝先切り回帰計算

作 業	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
山 地	D, B, H	-0.13	-1.352	0.41	$SY=1867 \times 10$ $SS=1096 \times 10$ $N=25 \quad \bar{Y}=33.8$
	$(D, B, H)^2$	-0.12	0.011	0.34	
	定 数		77.34		
盤 台	D, B, H	0.32	2.062	0.727	$SY=3953 \times 10^2$ $SS=3557 \times 10^2$ $N=75 \quad \bar{Y}=57.0$
	$(D, B, H)^2$	0.31	-0.0075	0.002	
	定 数		-12.159		

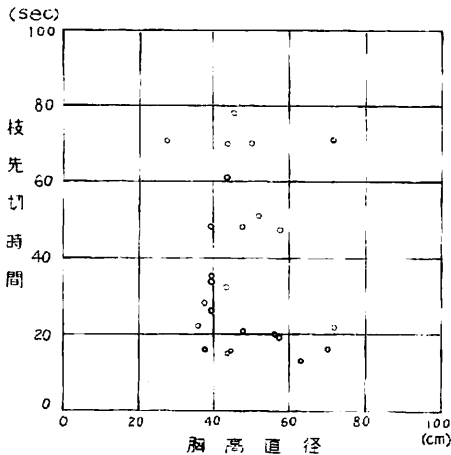


図 46. 枝先切り時間と胸高直径（山地造材）

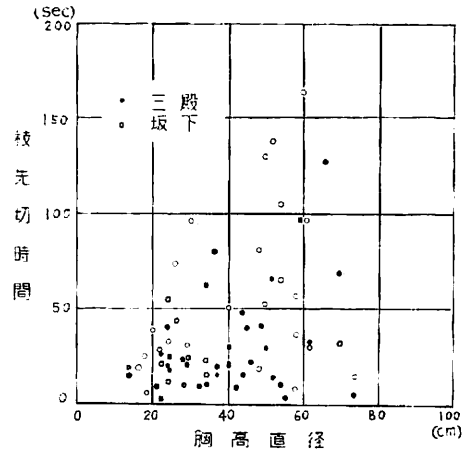


図 47. 枝先切り時間と胸高直径（盤台造材）

析を行なった。

この結果、胸高直径の関数として表わされることが予想されたが、データを枝先切りの発生したものと限定して回帰分析を行なった結果、表 45 に示すように、山地造材、盤台造材ともに胸高直径の関数として表わすことはできないことがわかった。

枝先切り時間と胸高直径の関係は図 46, 47 に示してある。

枝先切りの基準時間としては、調査値の平均をとり次のようにする。

$$\text{山地造材 } T_{SZK_0} = 38 \quad \dots\dots\dots (6.3.41)$$

$$\text{盤台造材 } T_{PK_0} = 57 \quad \dots\dots\dots (6.3.42)$$

山地造材と盤台造材の基準時間の差は、山地造材が材上で枝払いを行ない、枝の根元を切り払うようにし、枝先を切ることをさけるが盤台では材上で枝払いをすることはなく、枝払いの足場を作るために枝先切りを多くすることによると考えられる。

発生率についてみると、大きな枝は胸高直径が大きな木に多いことから、胸高直径が大になるにしたがい枝先切りの発生は高くなる。図 48 に胸高直径による発生率の変化を示したが、図に示した直線により発生率を定式化した。

$$\text{山地造材 } E_{SZK} = \begin{cases} 0 & (D \leq 20) \\ 0.02D + 0.016 & (20 < D \leq 70) \\ 1 & (D > 70) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.3.43)$$

$$\text{盤台造材 } E_{BZK_0} = \begin{cases} 0.0123D + 0.016 & (D \leq 80) \\ 1 & (D > 80) \end{cases} \quad \dots\dots\dots(6.3.44)$$

したがって、作業量はそれぞれ次式で表わされる。

$$\text{山地造材 } S_{SZK_0} = E_{SZK_0} \cdot T_{SZK_0} \quad \dots\dots\dots(6.3.45)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK_0} = E_{BZK_0} \cdot T_{BZK_0} \quad \dots\dots\dots(6.3.46)$$

6.3.10. 枝払い

枝払い作業は直接は枝の本数、枝の太さなどの枝の量に関係をもつものであるが、前述したように枝の量を胸高直径で代表させ、表46のように山地造材について回帰分析を行なった。

この結果から、枝払いは胸高直径と斜面傾斜の関数として表わされることが予測される。

そこで、この2因子により表47に示す回帰分析を行なった結果、いずれも回帰係数の有意性は認められる。

この関係は図49に示すが回帰式のあてはめは良い。

表 46. 枝払い回帰計算 (山地造材) (1)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
$(D, B, H)^2$	0.77	-0.036	0.51	$SY = 1469 \times 10^3$
D, B, H	0.78	14.411	2.09**	$SS = 323.1 \times 10^3$
樹 面 傾 斜	0.50	0.007	0.12	$N = 49$
採 材 玉 数	0.04	5.367	5.25**	$\bar{Y} = 321.77$
定 数	0.54	35.767	1.54	
		-461.76		

表 47. 枝払い回帰計算 (山地造材) (2)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
D	0.8	12.714	11.6**	$SY = 1.469 \times 10^3$
θ	0.1	5.598	5.4**	$SS = 398.8 \times 10^2$
定 数		-315.940	-5.4**	$N = 49 \quad \bar{Y} = 321.77$

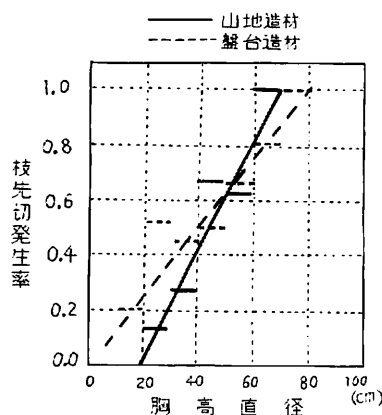


図 48. 枝先切り発生率と胸高直径

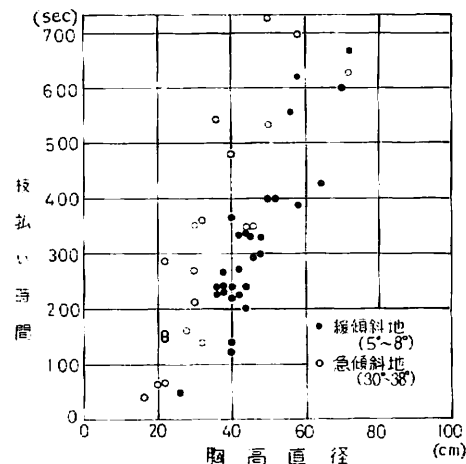


図 49. 枝払い時間と胸高直径および斜面傾斜の関係 (普通造材)

盤台造材については表 48 に示すように、胸高直径による回帰分析を行なった。

この結果から、胸高直径の 2 次の項の回帰係数の有意性は認められないものもあり、胸高直径と直線回帰をすることにした。

結果は表 49 に示すように回帰係数の有意性は認められる。

調査地による差は図 50 から考えられないので、両調査地を一括して得られた回帰式を基準時間算定式とする。

すなわち、

$$\text{山地造材 } T_{SZK10} = 12.71D + 5.60 - 316 \quad \dots\dots\dots (6.3.47)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK10} = 7.72D - 67.8 \quad \dots\dots\dots (6.3.47)$$

なお発生率は 1.0 と考えてよい。したがって、
作業量は基準時間と等しくなり、

$$\text{山地造材 } S_{SZK10} = T_{SZK10} \quad \dots\dots\dots (6.3.48)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK10} = T_{BZK10} \quad \dots\dots\dots (6.3.49)$$

6.3.11. 枝払い付帯

この単位しごとは枝払いと同様に、胸高直径および樹高などの条件と対応させて表 50 に回帰分析を行なった。この結果から、条件因子として有意性のあるものはみあたらないが、最も t 値の高い胸高直径と斜面傾斜の 2 因子による回帰分析を行ない、表 51 に示す結果を得た。この結果、胸高直径との関係は認められ、枝払い付帯基準時間は次のように胸高直径の関数として与えられる。

$$\text{山地造材 } T_{SZK11} = 1.595D - 1.28 \quad \dots\dots\dots (6.3.50)$$

ただし、 D = 胸高直径 (cm)

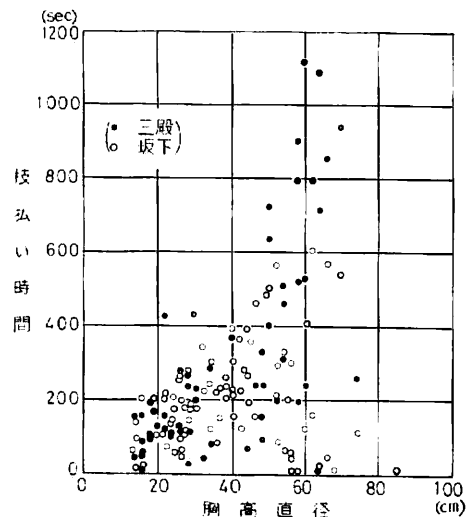


図 50. 枝払い時間と胸高直径の関係（盤台造材）

表 48. 枝払い回帰計算（盤台造材）

場 所	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
三 殿	D, B, H	0.28	-21.461	-1.79	$SY = 6076 \times 10^3$
	$(D, B, H)^2$	0.32	0.330	2.23*	$SS = 5189 \times 10^3$
	定 数		568.19	2.71	$N = 67 \quad \bar{Y} = 324.01$
坂 下	D, B, H	-0.03	4.687	0.21	$SY = 1569 \times 10^3$
	$(D, B, H)^2$	-0.05	-0.062	-0.19	$SS = 1551 \times 10^3$
	定 数		130.09	0.65	$N = 77 \quad \bar{Y} = 204.96$

表 49. 枝払い回帰計算（盤台造材）

場 所	回 帰 式	回 帰 係 数 の t
三 殿	$Y = 7.616X - 47.51$	6.253**
坂 下	$Y = 6.787X - 48.86$	4.116**
平 均	$Y = 7.724X - 67.75$	11.773**

表 50. 枝払い付帯回帰 (山地造材)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t	備 考
$(D, B, H)^2$	0.30	-0.016	-0.17	$SY=3.714 \times 10^2$
D, B, H	0.31	3.038	0.44	$SS=3.262 \times 10^2$
樹 高	0.25	0.017	0.30	$N=49$
斜 面 傾 斜	-0.02	0.918	0.89	$\bar{Y}=65.69$
採 材 玉 数		4.639	0.20	
定 数		-107.98	-0.84	

表 51. 枝払い付帯回帰 (山地造材)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
D, B, H	0.31	2.179	2.0	$SY=3.714 \times 10^2$
斜 面 傾 斜	0.02	-0.287	0.9	$SS=3.274 \times 10^2$
定 数		-26.878		$N=46 \quad \bar{Y}=69.98$

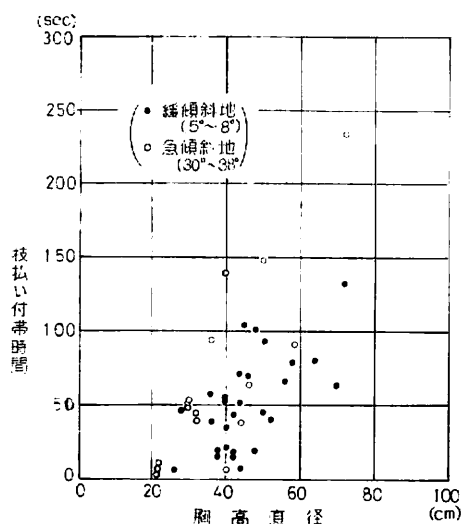


図 51. 枝払い付帯時間と胸高直径の関係 (山地造材)

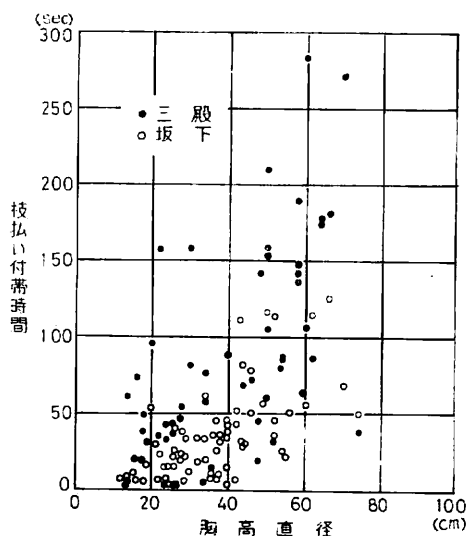


図 52. 枝払い付帯時間と胸高直径の関係 (盤台造材)

なお、図 51 に両者の関係を示す。

盤台造材の場合は山地造材の結果および図 52 から、直径の関数として表わされることが予想される。
表 52 に回帰分析の結果を示す。

枝払い付帯は木 1 本に対して必ず発生する作業である。したがって、基準時間と作業量は等しくなる。

$$\text{盤台造材 } T_{BZK11} = 1.881D - 13.12 \quad \dots\dots\dots (6.3.50)$$

したがって、枝払い付帯の作業量は

$$S_{BZK11} = T_{BZK11} \quad \dots\dots\dots (6.3.51)$$

$$S_{BZK11} = T_{BZK11} \quad \dots\dots\dots (6.3.52)$$

6.3.12. 枝払い手直し

この単位しごとは従来の研究によれば、胸高直径、樹高、枝量と相関が高いとされていたが¹⁾、今回の調査では山地造材においては発生を見ず、盤台造材においても発生は少なかった。盤台造材について発生したデータの胸高直径との関係を図53に示すが、両者の関係は明らかではない。相関係数を算出してみると0.297で、有意性は認められない。他の条件因子との関係も浅いため、ここでは基準時間としてデータの平均値を採る。すなわち、

$$\text{山地造材 } T_{SZK12}=0 \quad \dots\dots\dots(6.3.53)$$

$$\text{盤台造材 } T_{BZK12}=29.0 \quad \dots\dots\dots(6.3.54)$$

発生率はデータから算出して

$$\text{山地造材 } E_{SZK12}=0 \quad \dots\dots\dots(6.3.55)$$

$$\text{盤台造材 } E_{BZK12}=0.14 \quad \dots\dots\dots(6.3.56)$$

作業量は式6.3.53～6.3.56により次のようになる。

$$\text{山地造材 } S_{SZK12}=0 \quad \dots\dots\dots(6.3.57)$$

$$\text{盤台造材 } S_{BZK12}=T_{BZK12} \cdot E_{BZK12}=4.06 \quad \dots\dots\dots(6.3.58)$$

6.3.13. 玉切り

玉切りの方法として表29の要素作業に示したように普通切り、回し切り、合せ切り、突込み切りの4とおりがあり、さらにこの4とおりを組み合わせた切り方も考えられる。どのような条件のとき、どの切り方が採られるかを予想することはできない。しかし、玉切時間としては大差なくここでは一括して扱う。玉切時間は切断面径、および足場の良否（足場の良否を良、中、悪と分類し、それぞれに1、2、3の数値を与えた）と関係があると思われるので、樹種別に表52に行なった（ただし、サワラについては資料数

表 52. 枝払い付帯回帰（盤台造材）

場 所	回 帰 式	回 帰 係 数 の t	n
三 殿	$Y=2.307X-4.43$	3.504**	69
坂 下	$Y=1.199X-10.54$	5.731**	77
平 均	$Y=1.881X-13.12$	4.810**	146

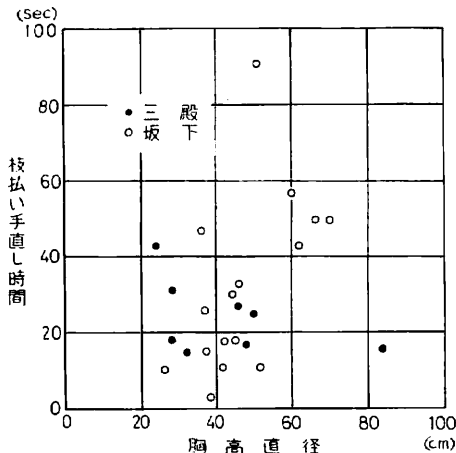


図 53. 枝払い手直し時間と胸高直径の関係

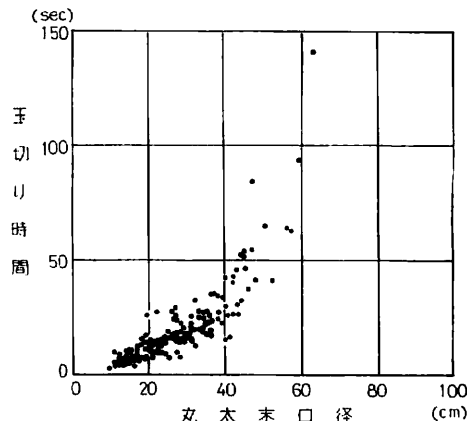


図 54. 山地造材の玉切時間と末口径の関係（ヒノキ）

表 53. 玉切回帰計算 (ヒノキ) 山地造材

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
D, B, H	0.83	-1.012	4.31**	$SY=51431$
$(D, B, H)^2$	0.88	0.037	9.79**	$SS=9024$
足 場 の 良 否	0.31	4.586		$\bar{Y}=20.34$
定 数		10.495		$N=161$

表 54. 玉切回帰計算, 盤台造材

樹 種	因 子	因子平均	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
ヒ ノ キ	D, B, H	27.40	0.83	-0.971	2.71**	$SY=3083 \times 10^2$
	$(D, B, H)^2$	955.70	0.87	0.0469	8.80**	$SS=721.2 \times 10^2$
	定 数			14.60		$N=230 \quad \bar{Y}=32.81$
サ ワ ラ	D, B, H	26.80	0.80	-0.744	2.80**	$SY=9446 \times 10$
	$(D, B, H)^2$	864.30	0.85	0.0335	8.42**	$SS=2482 \times 10$
				13.17		$N=190 \quad \bar{Y}=22.20$

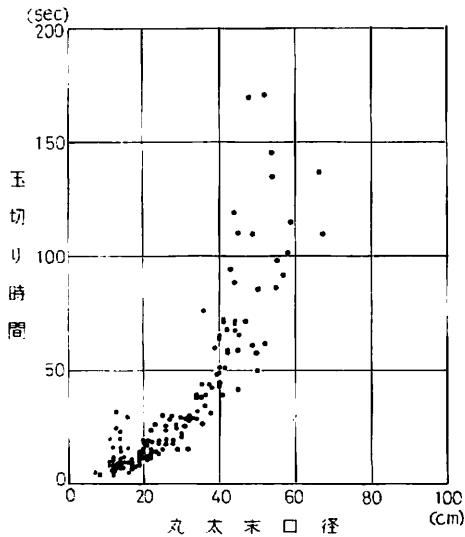


図 55. 盤台造材の玉切時間と末口径の関係 (ヒノキ)

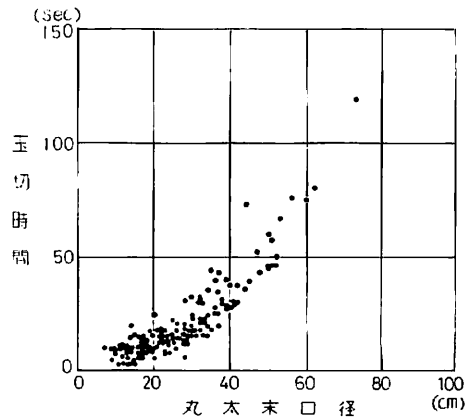


図 56. 盤台造材の玉切時間と末口径の関係 (サワラ)

が少なく省略した)。なお、図 54 から玉切時間は切断面径 (末口径) の 2 次関数になるとして扱ったが、これは玉切時間が断面積に関係していると考えることができる。回帰分析の結果から、山地造材のヒノキの玉切時間は丸太 1 玉ごとに次式となる。

$$\text{山地造材} \quad T_{SZT1H} = 0.037d^2 - 1.012d + 4.89A_{st} + 10.5 \dots\dots\dots (6.3.59)$$

ただし、 T_{SZT1H} : 山地造材における丸太 1 玉ごとの i 番目の作業の基準時間。玉切りの i を 1 とした。 H はひのきを表わす。 d : 末口平均径 (cm)。 A_{st} : 足場の良否 (良=1, 中=2, 悪=3)。

盤台造材の場合は足場の条件は必要なく、末口径の 2 次関数として表 53 に樹種別に回帰分析をし、図 55, 56 に関係を示してある。この結果から盤台造材の玉切り基準時間は次式となる。

表 55. 荷掛作業要素作業分解表

纏まり	単位	要素作業	コード No.	要素作業定義
準備後始末	通 勤	通 勤 (往)	2000	集合（解散）場所から、盤台、機械器具置場、荷掛地点までに到着するまでの通勤時間（休憩小屋がある場合は休憩小屋とする）
		(復)	2001	盤台機械器具置場、荷掛地点から（集合）解散場所に到着するまでの通勤時間（休憩小屋がある場合は休憩小屋とする）
		通 勤 途 中 休 み	2002	通勤途中に行なった休み時間
		計	2003	
	休 憩	休 憩	2004	盤台機械器具置場、荷掛地点に到着してから、朝の作業にとりかかるまでに行なった休み時間（作業終了後も同じ）。
		火 た き	2005	火をたくための薪採取や、火をたきつける時間
		計	2006	
	身 仕 度	身 仕 度	2007	作業に必要な道具器材の着脱、服装なおしの時間
		計	2008	
	道具準備	道 具 手 入 れ	2009	手鋸、なた、とび、つる、などの目立て刃とぎ、柄なおし、などの手入れ時間（歩行、道具取替えを含む。道具別に観測する）
		ス リ ン グ 手 入 れ	2010	スリングをつくったり修理したりする時間（歩行、道具取替えを含む）
		電 話 準 備	2011	連絡用の通信機の保守、手入れの時間および準備時間
		計	2012	
	体 操	体 操	2013	朝や作業時間中に行なう体操の時間
		計	2014	
移 動	移 動	職 場 移 動	2016	朝夕の荷掛け地点の休憩場所と作業場所間、作業場所と昼食休み場所間の往復時間
		作 業 移 動	2017	退避場所から荷掛地点までの移動時間（荷掛けの場合サイクルごと作業移動として取り扱う）
		道 具 と り ま と め	2018	移動のために行なう道具器具のとりまとめ時間
		電 話 移 動 取 扱 い	2019	移動にともなう電話移動、配線の配置に要する時間
		計	2020	
荷 掛 け	引寄せ合図	C R ・ L B 誘 導 合 図	2021	搬器（CR）を誘導しはじめてから、CRを停止させ、荷掛滑車（LB）を荷掛け地点に引き込みさせるための合図時間
		段 取 り	2022	合図をするために、搬器の位置をみたり、合図に必要な通信機などを操作し、合図を始めるまでの時間
		歩 行	2023	要素作業から要素作業に移るために歩行した時間
		計	2024	
	HBL外し	合 図	2025	HBLが引掛った場合の取りはずしのために行なった合図時間
		HBL引掛りはずし	2026	HBLが材根や枝条に引っかった場合に取りはずし時間
		段 取 り	2027	HBLが引っかかりはずしのために行なう検討や、点検、および取りはずしを始めるまでの時間
		歩 行	2028	HBLはずしにともなう要素作業から要素作業に移るために歩行した時間
		計	2029	

表 55. (つづき)

纏まり	単 位	要 素 作 業	コード No.	要 素 作 業 定 義
荷 掛 け	荷 掛 け	材 さ が し 検 討	2030	次の搬出材をさがしたり、LB引込み地点を検討している時間
		材 集 め	2031	次の搬出材を1か所に集めたり、手や道具で木よせしている時間
		ス リ ン グ 仕 分 け	2032	LBにつけてあるスリングを1本ずつ仕分けする時間
		スリングひきよせ	2033	搬出材にスリングを掛けるために、スリング（仕分けられた）を手で引きよせる時間
		ス リ ン グ 掛 け	2034	引きよせたスリングを搬出材に掛ける時間
		ス リ ン グ 取 り	2035	搬出材にかけたスリングの位置が悪く、かけたスリングを外す時間
		荷 掛 け	2036	あらかじめ荷作りされた搬出材をLBにかける時間
		段 取 り	2037	スリング引きよせが終わり、荷にスリングを掛ける場合にスリングを掛ける位置を検討したりする時間
		障 害 物 除 去	2038	スリング掛けの障害となる枝葉、末木、ボサ、石礫などを取り除く時間
		道 具 取 替 え	2039	前の作業が終わり、次の作業のために使う道具を取り替え完了するまでの時間
		歩 行	2040	荷かけにともなう要素作業から要業作業に移るために歩行する時間
		スリングひき歩行	2041	スリングを引きよせながら、スリング掛け地点まで、ひいて歩行する時間
		計	2042	
	荷掛なおし	合 図	2043	荷掛けなおしが生じた場合に要する合図時間（歩行も含む）
		ス リ ン グ 外 し	2044	掛けられているスリングを外す時間（歩行も含む）
		スリング掛けなおし	2045	はずしたスリングをかけなおしたり、はずれたスリングを掛けなおす時間（歩行も含む） 単位“荷掛け”が終了した後で掛けなおしが生じた場合にのみ、この単位の要素作業によって観測する
		計	2046	
	走行合図	引 出 し 合 図	2047	荷掛け地点から、CRの下まで積荷を引き出すまでに合図している時間
		走 行 合 図	2048	引き出しが終わり、搬器に荷を吊り下げさせて走行の合図をしている時間
		段 取 り	2049	(2022) と同じ定義
		歩 行	2050	(2023) と同じ定義
		計	2051	
	障害排除	合 図	2052	障害排除のために行なう合図時間
		障 害 排 除	2053	荷の引き出し、吊り上げをできなくしている障害物（伐根、他の伐倒木、枝葉などの障害物）を排除する時間
		段 取 り	2054	障害排除のために、方法を検討したり、またしごとを始めるまでの時間
		道 具 取 替 え	2055	(2039) と同じ定義
		歩 行	2056	障害排除にともなう要素作業から要素に移るために歩行する時間
		計	2057	

纏まり	単位	要素作業	コード No.	要素作業定義
スタンプ取 替え	退 避	運 転 中 の 退 避	2058	引き出しや引き寄せ中で運転中に行なう退避時間
		退 避 歩 行	2059	荷掛けが終わり、退避地点まで退避する歩行時間
		確 認 待 機	2060	退避地点の確認や、積荷を確認している時間
			2061	実搬器誘導が終わり、次の空搬器を誘導するまでの時間（今回の調査ではすべて退避として取り扱った）
		計	2062	
		ス タ ンプ 作 設	2063	G Bを取り付けるために伐根などに切り込みを入れたりワイヤーを通したりする穴をつくるための時間
		G B台付ワイヤー取付	2064	スタンプにG Bや台付ワイヤーを取り付ける時間
		G B台付ワイヤー取はずし	2065	スタンプからG Bや台付ワイヤーを取りはずす時間
		段 取 り	2066	スタンプの位置を検討したり、作設にはいる前の準備時間
		障 害 物 除 去	2067	スタンプ作設の障害となる枝条、末木、石礫、ボサなどを取り除き、片づける時間
		道 具 取 替 え	2068	(2039) と同じ定義
		末 登 り 降 り	2069	樹幹にスタンプ作設してG B、台付ワイヤーを取り付け、取りはずしたりときに木登りしたり降りたりする時間
		待 歩 歩 行	2070	G B、台付ワイヤロープを持って歩行する時間
			2071	スタンプ作設にともなう要素作業から要素作業に移るために歩行する時間
		計	2072	
	H B L入 れ 替 え	H B L 仮 止 め	2073	H B Lを入れ替えるために、ロープやチルホールなどでH B Lを仮止めする時間
		H B L仮止めはずし	2074	仮止めしたH B Lをはずす時間
		H B L 引 回 し	2075	H B Lを入れ替えるために、ワイヤーを引き回しする時間
		H B L ひ き よ せ	2076	H B LをG Bに入れるために引きよせている時間
		段 取 り	2077	H B L入れ替えの検討や、入れ替えにはいる前の準備作業時間
		障 害 物 除 去	2078	H B L入れ替えの障害となる末木、枝条、雑木などを取り除き、片づける時間
		道 具 取 替 え	2079	(2039) と同じ定義
		歩 行	2080	H B L入れ替えにともなう要素作業から要素作業に移るために歩行する時間
		道 具 取 り ま と め	2081	H B L入れ替えに用いた道具を取りまとめ片づける時間
		計	2082	
	合 図	合 図	2083	スタンプ取り替えに要する合図時間
		点 検	2084	取り替えたスタンプの点検試運転させながら点検している時間
		歩 行	2085	合図点検のために歩行した時間
		計	2086	
余 裕	職 場	打 ち 合 せ	2500	荷掛け作業を進行するために生じた当該作業固有の打合せ時間
		手待ち(盤 台)	2501	盤台作業のおくれによって待たされる時間

表 55. (つづき)

編 号	単 位	要 素 作 業	コード No.	要 素 作 業 定 義
除 外	疲 れ 用 達 作 業	手待ち(運 転)	2502	運転のつごうによって待たされる時間
		“ (掛 け)	2503	複数の作業員によって行なわれる場合の他の荷 掛けによって待たされる時間
		“ (ス リ ン グ)	2504	スリング交換, スリング点検によって待たされ る時間
		“ (ス タ ンプ)	2505	スタンプ作設中における他の作業員によって生 ずる待ち時間
		“ (脱荷フック)	2506	脱荷フック使用にともなう生ずる手待ち時間
		そ の 他	2507	その他不時の事情によって待たされる時間 (例 他作業従事者の作業, 他の歩行中など)
		計	2508	
		座 立	2509	勤務時間内の所定の休憩時間
		休 息	2510	勤務時間内に作業員が適宜に立休みする時間
		ぬ き	2511	“ 息ぬきする時間
		計	2512	
		用 達	2513	生理現象による余裕 (歩行を含む)
		汗 ふ き	2514	汗ふき時間 (汗ふきのため一連の動作を含む) (歩行を含む)
		水 の み	2515	湯, 水のみ時間 (湯, 水のみのため一連の動作 を含む) (歩行を含む)
		服 装 な お し	2516	作業中の服装のみだれなおしや降雨による合羽 着用時間 (歩行を含む)
		計	2517	
		道 具 修 理	2518	作業中における道具の手入れ時間 (歩行道具取 替えを含む)
		ロープ点検手入れ	2519	作業中におけるワイヤロープ, スリングなどの 点検手入れ時間 (歩行道具取替えを含む)
		電 話 修 理 扱 い	2520	作業中における電話や電話線の修理手入れ時間 (歩行道具取替えを含む)
		機 械 器 具 扱 い	2521	作業中における機械器具の点検手入れ時間 (歩 行道具取替えを含む)
		脱 荷 フ ッ ク 調 整	2522	作業中における脱荷フックの調整点検手入れ時 間 (歩行道具取替えを含む)
		道 具 さ が し	2535	作業中における道具器具をさがす時間 (歩行道 具取替えを含む)
		計	2523	
	食 事	食 事	2524	弁当を出して食事をすませ, 弁当を片付けるま での時間
		食 事 休 み	2525	食事後から午後の作業にとりかかるまでに休ん でいる時間
		計	2526	
		調 査 手 待, 打 合	2527	調査を進めるにともなう生じた打合せ, 手待 ち時間
		そ の 他	2528	規定単位作業以外の不時におこる作業時間 (内 容は詳しく観測のこと)
		計	2529	
	規定外通勤	通 勤 (往)	2530	宿舎から集合 (解散) 場所までの通勤時間 (徒 歩乗物を明記)
		“ (復)	2531	(集合) 解散場所から宿舎までの通勤時間 (徒 歩乗物を明記)
		途 中 休 み	2532	通勤途中の休み時間
		そ の 他	2533	通勤途中に起こる不時の時間
		計	2534	

$$\text{ヒノキ } T_{RZT_1H} = 0.0469d^2 - 0.971d + 14.6 \quad \dots\dots\dots (6.3.60)$$

$$\text{サワラ } T_{RZT_2S} = 0.0335d^2 - 0.744d + 13.17 \quad \dots\dots\dots (6.3.61)$$

ただし、 S はサワラを表わす。

玉切作業の発生率は当然 1 となり、基準時間と作業量は等しい。

$$\text{すなわち, } S_{SZT_1} = T_{SZT_1} \quad \dots\dots\dots (6.3.62)$$

$$S_{RZT_1} = T_{RZT_1}$$

6.3.14. 玉切段取り

この単位しごとは表 30 に示した作業内容から丸太の末口径、斜面傾斜、足場の良否に関係するものと思われる。そこで、山地造材の玉切段取りについて末口径と斜面傾斜の関係を、図 57 に示したが一定の関係はみられない。盤台造材においては斜面傾斜、足場の良否ともに考慮しなくともよい条件であることから、丸太の末口径について、図 58 にしらべたが一定の関係はみられず、ここでは山地造材、盤台造材ともに調査データの平均値を基準時間として与えておく。すなわち、

$$\text{山地造材 } T_{SZT_2} = 6.6 \quad \dots\dots\dots (6.3.63)$$

$$\text{盤台造材 } T_{RZT_2} = 11.3 \quad \dots\dots\dots (6.3.64)$$

玉切段取りの発生率を山地造材で斜面傾斜についてしらべてみると、緩傾斜地（ $5^\circ \sim 8^\circ$ ）は 0.73、急傾斜地（ $30^\circ \sim 35^\circ$ ）で 0.57 となり一般に予想される傾向とは逆の結果が得られた。これは玉切段取りの発生が斜面傾斜によって単純に変化するものでないことを意味しており、他の原因もあることを示しているが、今回は明らかにされない。ここでは観測データに基づき一定値を与える。すなわち、

$$\text{山地造材 } E_{SZT_2} = 0.65 \quad \dots\dots\dots (6.3.65)$$

$$\text{盤台造材 } E_{RZT_2} = 0.20 \quad \dots\dots\dots (6.3.66)$$

式（6.3.65）、（6.3.66）に示されたように、玉切段取りの発生率は山地造材の方が盤台造材よりも高くなっているが、これは足場の良否が関係しているものと判断できる。

以上から玉切段取りは次のようになる。

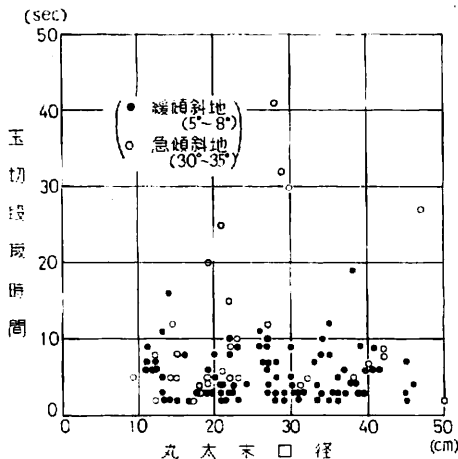


図 57. 玉切段取時間と丸太末口径および斜面傾斜の関係（山地造材）

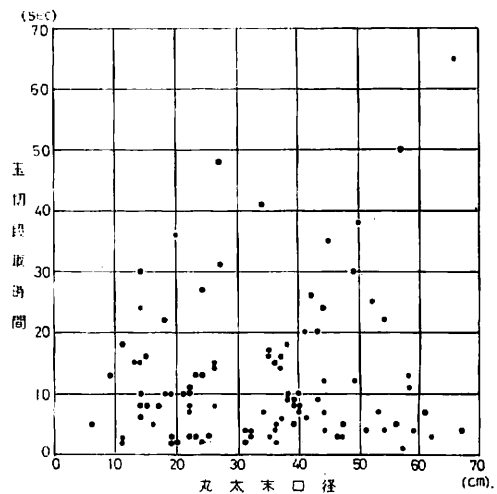


図 58. 玉切段取時間と丸太末口径の関係

$$\text{山地造材 } SSZT_2 = T_{SZT_2} \cdot E_{SZT_2} = 4.29 \quad \dots\dots\dots (6.3.67)$$

$$\text{盤合造材 } SBZT_2 = T_{BZT_2} \cdot E_{BZT_2} = 2.26 \quad \dots\dots\dots (6.3.68)$$

6.4. 荷 掛 け

集材機における荷掛作業は、表 55 に示した要素作業により時間観測を行ない、表 56 に示したように作業の性質、発生の仕方により、要素作業をいくつか統合した単位仕事により分析をおこなった。荷掛作業は全本集材と普通集材により若干作業内容を異にするが、これを作業量算定の定式化を通して明らかにしていく。

6.4.1. 荷 掛 け

この単位仕事は荷掛手の行なう作業の中心をなすものであり、集材サークルごとに必ず 1 回起こり、その作業内容は用いるスリングの数によって異なる。まず普通集材の荷掛作業量をスリング 1 本ごとに対応させ、1 本のスリングで荷掛けする時間を解析した。この作業量に影響する作業条件としては、荷掛材の本数： n_z 、材長の合計： $\sum l_z$ 、末口径の合計： $\sum d_z$ 、末口径の 2 乗の合計： $\sum d_z^2$ 、材積の合計： $\sum d_z^2 l_z$ 、斜面傾斜： θ 、植生密度： M_{sh} 、足場の良否： M_{ob} 、ローディングブロックの位置と荷掛点の距離の合計： R を考慮した。以上の条件因子に関して荷掛作業量を回帰分析した結果、表 57 となった。いずれの因子に対する回帰係数も有意とはいえず、しかも調査地によって大きく異なっている。すなわち、荷掛時間をスリングごとに定式化することは適当でないことがわかる。そこで、集材サイクルごとに荷掛作業量の定式化を行なった。この場合は作業条件として、前回の条件のほかにさらに荷掛スリング数： ns を加えた。以上の条件因子が荷掛時間を回帰分析した結果、表 58 が得られた。この場合も両調査地ともに有意である因子は見られないが、 n_z, M_{ob}, R, ns に対する回帰係数はいずれも両調査地ともに正である。そこで、この 4 因子に関してそれぞれ回帰分析を行なって、作業時間との関係を調べた。さらに両調査地

表 56. 荷掛作業量算定のための作業分解表

区分	No.	単 位 仕 事	作 業 内 容
サ	1	荷 掛 け	L B からスリングをはずしたり、引き寄せたりして、材をスリングでしばり、L B に掛ける作業、このための歩行も含む。
サ	2	ス リ ン グ 仕 分 け	L B についているスリングを、1 本ずつ仕分ける作業。
サ	3	荷掛段取り、材集め	荷掛けにともなう段取り作業のうち、荷掛け位置の検討、足場の確保を入れ、荷掛けする材を探したり、集めたりする作業も同じに扱う。
サ	4	障 害 物 除 去	荷掛けに障害となる枝条、末木、ボサ、石礫等を取り除く作業。
サ	5	合 図	荷掛けが完了した時に引き寄せ良しの合図と電話などで運転手に送る作業。
サ	6	退 避 歩 行	荷掛けが終り、退避地点まで走行する作業。
サ	7	荷 掛 け な お し	いったん荷掛けした材を、種々の事情で荷掛けしなおす作業。これには合図、スリングはずし、スリングかけの作業がはいっている。
サ	8	障 害 除 去	材の引き出し、吊り上げなどの運転の障害となるものを排除する作業。これには合図、障害排除、歩行がはいっている。
ヒ	9	電 話 移 動	合図用の電話を必要に応じて移動させる作業。
サ	10	作 業 移 動	退避場所から荷掛け地点までの移動。
ウ	11	引 込 み 合 図	C R, L B を荷掛地点へ誘導するための合図。
ウ	12	引 出 し 合 図	荷のついた L B, C R を引出すのを誘導する合図。
ヒ	13	ガイドブロック移動	ガイドブロックを移動させるための全ての作業。

注) サ：サイクル時間を構成する作業。
 ヒ：伐区全体として作業時間を見積もる作業。
 ウ：運転中に行なわれる作業であり、作業時間を見積もる必要がない。

表 57. 普通集材におけるスリングごとの荷掛作業量の回帰分析

調査地	因 子	因子平均値	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
三 殿	nz	1.202	0.16	1.208	0.06	$SY=70010$
	$\sum lz$	518.830	0.15	-0.046	1.11	$SS=58650$
	$\sum dzz$	36.447	0.22	1.710	1.65	$N=94$
	$\sum dz^2$	1277.96	0.16	-0.032	1.64	$\bar{Y}=39.14$
	$\sum dz^2 lz$	459.034	0.17	0.039	1.43	
	θ	31.765	-0.00	0.528	1.09	
	M_{sh}	2.420	0.26	-19.52	2.91**	
	M_{GN}	2.410	0.06	13.043	2.02*	
	R	2.395	0.11	-0.037	0.02	
	定 数			20.763		
上 松	nz	1.367	0.22	-2.905	0.33	$SY=1476 \times 10^2$
	$\sum lz$	535.74	0.21	0.032	1.63	$SS=1295 \times 10^2$
	$\sum dz$	33.24	0.22	-0.255	0.47	$N=237$
	$\sum dz^2$	945.05	0.15	0.031	2.72	$\bar{Y}=39.88$
	$\sum dz^2 lz$	288.06	0.06	-0.065	3.24	
	θ	32.81	0.11	-0.568	1.72	
	M_{sh}	1.87	0.03	-2.767	0.91	
	M_{GN}	2.30	0.02	4.311	1.24	
	R	3.37	0.17	0.211	0.28	
	定 数			37.847		

表 58. 普通集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (1)

調査地	因 子	因子平均値	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
三 殿	nz	2.306	0.234	15.398	0.431	$SY=9057 \times 10$
	$\sum lz$	995.306	0.180	-0.070	1.040	$SS=6662 \times 10$
	$\sum dz$	69.918	0.168	1.386	0.711	$N=49$
	$\sum dz^2$	2451.592	0.048	-0.034	1.008	$\bar{Y}=75.08$
	$\sum dz^2 lz$	880.612	0.052	0.055	1.109	
	θ	31.857	-0.042	0.444	0.330	
	M_{sh}	2.429	-0.249	-34.418	2.244	
	M_{GN}	2.408	0.144	25.968	1.715	
	R	4.551	0.273	2.044	0.565	
	ns	1.918	0.269	21.950	0.833	
				1.856		
上 松	nz	3.484	0.512	4.222	0.286	$SY=2.588 \times 10^2$
	$\sum lz$	1365.269	0.479	0.001	0.027	$SS=1.355 \times 10^2$
	$\sum dz$	84.710	0.475	0.015	0.017	$N=93$
	$\sum dz^2$	2408.344	0.211	0.027	1.370	$\bar{Y}=101.62$
	$\sum dz^2 lz$	734.086	0.070	0.073	2.139	
	θ	32.806	0.139	1.284	1.456	
	M_{sh}	1.892	0.091	1.561	0.181	
	M_{GN}	2.290	0.023	5.065	0.587	
	R	8.495	0.464	0.512	0.438	
	ns	2.548	0.600	32.024	3.633	
				22.841		

の差を調べるために、場所の特性に関する因子を加えた¹³⁾。すなわち、調査地三股では場所因子： W は 0 とし、上松では 1 とした新しい条件因子を加えて回帰分析を行なった。以上の結果を表 59 に示す。両調査地とも ns が最も有意で、他の因子もすべて正の回帰係数であることがわかる。また、場所係数は有意でなく、場所によって差はないものとみなすことができる。したがって、両調査地のデータを 1 つにまとめて取り扱うことにした。

ところで、表 59 で回帰分析した条件因子はそれぞれ独立した変数とは限らない。そこで、条件因子間の相関を求めれば表 60 となる。この結果 nz と R は高い相関があることがわかる。したがって、 nz と R を 1 つにまとめて nz で代表させることにして、これを表 59 で最も有意であることが確かめられた。 ns について回帰分析を行なった。この結果を表 61 に示す。いずれの因子の回帰係数も有意になり、作業量は nz と ns の関数として次式で表わされる。

表 59. 普通集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (2)

調査地	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t	備 考
三 股 (0)	nz	0.234	7.0896	0.577	$SY=90.570$
	M_{GN}	0.144	7.0327	0.555	$SS=79.370$
	R	0.273	2.4517	0.859	$N=49$
	ns	0.269	2.9301	1.236	$\bar{Y}=75.08$
	定 数		-2.5572	-0.482	
上 松 (1)	nz	0.512	4.6225	0.958	$SY=2.588 \times 10^2$
	M_{GN}	0.023	5.2868	0.648	$SS=1.494 \times 10^2$
	R	0.464	1.2057	1.104	$N=93$
	ns	0.600	32.281	4.071	$\bar{Y}=101.62$
	定 数		-19.096	-0.757	
平 均	nz	0.504	4.8643	1.108	$SY=3.619 \times 10^2$
	M_{GN}	0.029	6.3516	0.946	$SS=2.295 \times 10^2$
	R	0.470	1.3367	1.324	$N=142$
	ns	0.573	31.612	4.268	$\bar{Y}=92.46$
	定 数	0.250	-3.626	-0.440	
			-18.158	-0.866	

表 60. 普通集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分布 (3)

	nz	M_{GN}	R	ns
nz	1.000	-0.141	0.753	0.688
M_{GN}		1.000	-0.006	-0.051
R			1.000	0.578
ns				1.000

表 61. 普通集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (4)

因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t	備 考
nz	0.504	7.6020	2.214	$SY=3.619 \times 10^2$
ns	0.573	32.426	4.560	$SS=2.350 \times 10^2$
定 数		-6.5154	-0.519	$N=142 \quad \bar{Y}=92.46$

$$S_{NIH1} = 7.60n_K + 32.4n_S - 65.5 \dots\dots\dots (6.4.1)$$

つぎに、全木集材の荷掛けについて普通集材の場合と同様に作業量を、木の胸高直径の合計： ΣD 、胸高直径の2乗の合計： ΣD^2 、荷掛本数： n_K および前述の θ 、 R を条件因子として回帰分析を行なった（表 62）。つぎに、集材サイクルごとの荷掛作業量を、表から条件因子および荷掛スリング数に関して回帰分析をおこなった（表 63）。この結果、平均値に関する2乗和と、回帰に関する2乗和の比（ SS/SY ）を目安として回帰式のあてはめの良さを比較すれば、サイクルごとの回帰式の方がすぐれていることがわかる。そこで、サイクルごとの荷掛作業量の定式化をすすめることにした。

表 63 によれば、両調査地の作業量に大きな差があることがわかる。この原因としては斜面傾斜の平均値に差があることが考えられる。そこで表 63 において、最も有意な条件因子となった n_S と θ に関して回帰分析をおこなった（表 64）。この結果、 n_S の回帰係数は有意であることが明らかになったが、 θ に関してはほとんど無関係とみなされる。そこで、場所因子： W を新しく因子に加え、調査地別に 0 および 1 として回帰分析を行なった結果、表 65 となった。これから θ はやはり作業量と無関係であること、および作業者の能力に帰因する場所ごとの差があることが明らかになった。そこで、 θ を条件因子から除いて表 65 と同様な回帰分析を行なった。

表 62. 全木集材におけるスリングごとの荷掛作業量の回帰分析

調査地	因 子	因子平均値	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
三 股	ΣD	47.72	0.25	0.978	0.38	$SY = 4319 \times 10^2$ $SS = 3897 \times 10^2$ $N = 68$ $\bar{Y} = 148.01$
	ΣD^2	2243.84	0.20	-0.002	0.04	
	θ	43.96	0.13	1.361	1.19	
	R	1.82	-0.12	-8.645	0.85	
	n_K	1.25	0.15	10.368	0.25	
	定 数			46.913		
坂 下	ΣD	43.90	0.18	0.550	0.57	$SY = 1066 \times 10^2$ $SS = 929.5 \times 10^2$ $N = 96$ $\bar{Y} = 55.17$
	ΣD^2	1886.94	0.21	-0.002	0.15	
	θ	24.94	-0.12	-0.955	1.23	
	R	14.85	0.22	0.022	0.27	
	n_K	2.01	0.05	23.893	1.77	
	定 数			77.252		

表 63. 全木集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (1)

調査地	因 子	因子平均値	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
三 股	n_S	1.13	0.53	124.20	2.18*	$SY = 6246 \times 10^2$ $SS = 4048 \times 10^2$ $N = 60$ $\bar{Y} = 167.72$
	ΣD	54.08	0.41	11.504	0.38	
	ΣD^2	2543.02	0.13	0.001	0.02	
	θ	43.58	0.16	1.273	0.83	
	R	2.06	0.31	-6.644	0.58	
	n_K	1.42	0.49	15.780	0.32	
坂 下	定 数			-97.282		
	n_S	1.55	0.55	63.237	1.78	$SY = 1.333 \times 10^2$ $SS = 942.5 \times 10^2$ $N = 60$ $\bar{Y} = 85.32$
	ΣD	62.20	0.43	0.098	0.07	
	ΣD^2	2895.23	0.22	0.004	0.29	
	θ	24.71	-0.03	-1.857	-1.26	
	R			0.039	0.14	
	n_K	1.67	0.47	12.746	-0.69	
	定 数			25.042	0.65	

表 64. 全木集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (2)

調査地	因子	相 関	回 帰 係 数	t	備 考
三 股	ns	0.53	151.44	4.51**	SY=5.960×10 ² SS=4.255×10 ²
	θ	0.16	1.012	0.68	
	定 数		-45.518	-0.65	
坂 下	ns	0.55	56.588	5.07	SY=1.502×10 ² SS=1.033×10 ²
	θ	-0.03	-1.364	-0.93	
	定 数		29.648	0.77	

表 65. 全木集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (3)

調査地	因子	相 関	回 帰 係 数	t	備 考
三 股	ns	0.16	85.392	5.57	SY=9.735×10 ² SS=5.781×10 ²
	θ	0.46	0.836	0.78	
坂 下	W	-0.48	106.54	-4.15**	N=1:9 Ŷ=126.67
	定 数		37.166		

表 66. 全木集材におけるサイクルごとの荷掛作業量の回帰分析 (4)

調査地	因子	相 関	回 帰 係 数	t	備 考
三 股	ns	0.53	155.20	4.70	SY=5.960×10 ² SS=4.291×10 ²
	定 数		-5.652		
上 松	ns	0.55	55.189	5.00	SY=1.502×10 ² SS=1.049×10 ²
	定 数		-1.892		
平 均	ns	0.16	86.964	5.73	SY=9.735×10 ² SS=5.812×10 ²
	W	-0.48	-122.98	-8.53	
	定 数		71.887		

表 67. 普通集材におけるスリング仕分け発生率

固 定 ス リ ン グ 数	スリング仕分け発生回数	発 生 率
2	27	0.38
3	40	0.49

表 66 から一般的な回帰式としては次式が適当であると考えられる。

$$SNIZ_1 = 87.0ns - 123.0W + 71.8 \dots\dots\dots (6.4.2)$$

システムの最適化に用いる式としては、場所の因子を両調査地の平均化した (W=0.5) 次式を採用する。

$$SNIZ_1 = 87.0ns + 10.3 \dots\dots\dots (6.4.3)$$

6.4.2. スリング仕分け

この単位ごとにはスリングが 2 本以上ある場合に発生する。普通集材の場合は、一般にローディングブロックに数本のスリングをつけて作業を行なう。このスリングの数 (固定スリング数) が多ければ、スリング仕分けの必要性が増加すると考えられる。そこで、調査データから固定スリング数とこの単位仕事の発生率の関係を調べた表 67 から、両者の関係は予想されたような特性を示すことが明らかになった。

つぎにスリングを、仕分時間に影響を及ぼす条件として斜面傾斜、荷掛けするスリング数（使用スリング数）を考え、相互の関係を調べた。すなわち、表 68 のように斜面傾斜を段階に分けて、使用スリング数別の平均時間を求めた。この結果、使用スリングが多いほど、また斜面傾斜が急なほど多く時間がかかることがわかる。この表に基づいてスリング仕分けの基準時間を定式化すれば、

$$T_{NIZ2} = 5.5n_s + 0.40 + 4.0 \dots\dots\dots(6.4.4)$$

したがって、スリング仕分作業量は表 67 の発生率を用いて、

$$S_{NIZ2} = E_{NIZ2} \cdot T_{NIZ2} \dots\dots\dots(6.4.5)$$

$$\text{ここで、} E_{NIZ2} = \begin{cases} 0.38 & \text{固定スリング数 2} \\ 0.49 & \text{固定スリング数 3} \end{cases}$$

全木集材の場合は 1 サイクルに荷掛けする本は 1 本の場合が多く、固定スリングも 1 本ですることが多い。今回の調査では、スリング仕分けの作業が発生しなかった。他の地域で、スリングを数本用いて多くの木を荷掛けする場合には、この単位しごとが発生することも考えられる。しかし、ここでは全木集材の場合はスリング仕分けは行なわないものとして、

$$S_{NIZ2} = 0 \dots\dots\dots(6.4.6)$$

6.4.3. 荷掛段取り、材集め

この単位しごとは荷掛点付近の作業で、集材の運材、材の運転中は危険であるため作業を行なうことができない、そのためローディングブロックが荷掛点に到着してから作業を開始することになる。普通集材のこの単位しごとの発生率と荷掛けする材の本数との関係を調べれば表 69 となる。この結果から、荷掛本数とは関係のないことがわかる。つぎに、使用スリング本数との関係を表 70 に示すが、やはり一定の傾向を知ることができなかった。そこで、この単位しごとの発生率および基準時間は、全体の平均値を採用することにして

表 68.

傾斜 \ 使用スリング数	1	2	3
～15° 緩			
16～30° 中	17	21	2.4*
30～ 急	20	28	21.7

表 69. 普通集材における荷掛段取り、材集め時間と荷掛本数との関係

	荷 掛 け 本 数		
	1～2	3～4	5～
平 均 時 間	62.3	49.1	49.1

表 70. 普通集材における荷掛段取り、材集め時間とスリング本数との関係

	ス リ ン グ 本 数		
	1	2	3
平 均 時 間	76.2	50.7	52.6

$$T_{NIH_3}=54 \dots\dots\dots(6.4.7)$$

$$E_{NIH_3}=0.38 \dots\dots\dots(6.4.8)$$

$$S_{NZH}=2.05 \dots\dots\dots(6.4.9)$$

つぎに、全木集材の場合について同様の検討を行なった結果、基準時間はどの作業条件とも関係なく、

$$T_{NIZ_3}=100 \dots\dots\dots(6.4.10)$$

また発生率は斜面傾斜の階級別に、つぎのようになった。

斜面傾斜 30度以下 0.12

斜面傾斜 45度以上 0.20

今回の調査ではデータが得られたのみであったが、これを基にして他の斜面傾斜の発生率を内挿および外挿して作成した。この結果を表 71 に示す。したがって作業量は、

$$S_{NIZ_3}=E_{NIZ_3} \cdot T_{NIZ_3} \dots\dots\dots(6.4.11)$$

ここで、 E_{NIZ_3} は表 71 に示す。

6.4.4. 障害物除去

この単位しごとの作業量はスリング数、荷掛本数、斜面の状態などによって決まるが、今回のデータでは一定の傾向をみいだすことができなかった。そこで普通集材、全木集材ともに障害物除去の基準時間は発生した場合の平均を取ることにして、それぞれ、

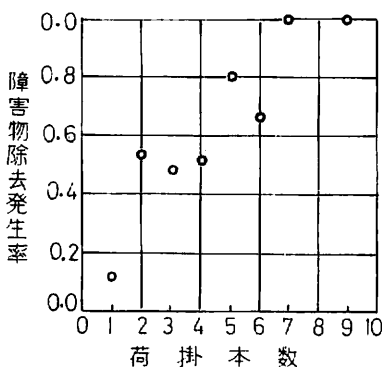


図 59. 荷掛本数と障害物除去発生率の関係（普通集材）

$$T_{NIH_4}=54 \dots\dots\dots(6.4.12)$$

$$T_{NIZ_4}=82 \dots\dots\dots(6.4.13)$$

つぎに、普通集材における障害物除去の発生率と使用スリング本数の関係を調べたのが表 72 である。

この結果、スリング 1 本と 2 本以上の差は明らかになったが、2 本と 3 本の差は予想とは逆の結果となった。そこで、スリング数と相関の高い荷掛けする材の本数と、発生率の関係を調べた表 73 から、荷掛け本数によって発生率が大きく影響を受けることが明らかになった。両者の関係を、図 59 に示すが、ほぼ線形な関係にあることがわかる。そこで、図の破線を発生率の推定値と定めた。これを式で表わせば、

$$E_{NIZ_4} = \begin{cases} (n_Z+1)18 & n_Z \leq 7 \\ 1 & n_Z > 8 \end{cases} \dots\dots\dots(6.4.14)$$

したがって作業量は、

$$S_{NIZ_4}=E_{NIZ_4} \cdot T_{NIZ_4} \dots\dots\dots(6.4.15)$$

つぎに全木集材の発生率について検討するが、この場合は荷掛けする木および使用スリング数が少なく、普通集材のような定式化は困難である。そこで、スリング仕分けの場合と同様に斜面傾斜との関係を

表 71. 荷掛段取り発生率

傾 斜	緩(0°~15°)	中(16°~30°)	急(30°~45°)	急 峻
発 生 率	0.8	0.12	0.16	0.20

表 72. 普通集材におけるスリング本数による障害物除去発生率変化

場 所 スリング数	三 殿			上 松			平 均 発生率
	資 料 数	発 生 数	発 生 率	資 料 数	発 生 数	発 生 率	
1	4	2	0.500	12	1	0.083	0.188
2	45	28	0.622	18	8	0.444	0.571
3				63	34	0.540	0.540

表 73. 普通集材における荷掛材本数による障害物除去発生率変化

場 所 荷掛け 材本数	三 殿			上 松			平 均 発生率
	資 料 数	発 生 数	発 生 率	資 料 数	発 生 数	発 生 率	
1	2	1	50.0	10	1	10.0	11.7
2	31	18	58.1	11	5	45.5	54.8
3	15	10	66.7	30	12	40.0	48.9
4	1	1	100.0	26	13	50.0	51.9
5				5	4	80.0	80.0
6				9	6	66.7	66.7
7				1	1	100.0	100.0
8							
9				1	1	100.0	100.0

表 74. 障害物発生率

傾 斜	緩(16°~25°)	中(26°~35°)	急(36°~45°)	急峻(46°~)
発 生 率	0.6	0.8	0.11	0.15

調べた。その結果は、

斜面傾斜 25°~35° 0.08

斜面傾斜 45° 以上 0.15

このデータから他の傾斜地の発生率を表 74 に示すように推定した。

したがって、全木集材の場合の作業量は

$$SNIZ_4 = ENIZ_4 \cdot TNIZ_4 \quad \dots\dots\dots (6.4.16)$$

ここで、 $ENIZ_4$ は表 74 に示す。

6.4.5. 合 図

この単位しごとは必ず行なわれるもので、その作業量（作業時間と同じ）は作業条件と関係なくさだめることができる。合図の時間は荷掛手が集材機の運転開始の指令を送りはじめてから集材機が動きはじめるまでとした。この時間は、調査データの平均値を採用した。また、集材方式によって合図の時間が異なる根拠もないため、普通、全木集材ともに同一データとして扱った結果、作業量は次式で表わされる。

$$SNIH_5 = 7.9 \quad \dots\dots\dots (6.4.17)$$

$$SNIZ_5 = 7.9 \quad \dots\dots\dots (6.4.18)$$

6.4.6. 退避歩行

退避歩行は歩行距離と、歩行速度がわかれば求めることができる。歩行距離は引き戻し索の張り直し方

によって異なる。また、歩行速度は斜面の状態によって決定される。この 2 変数の算定方法は後報で述べる。

6.4.7. 荷掛けなおし

この単位しごとの発生は横取り距離、荷掛け本数、荷掛け手の技能によって異なることが予測される。普通集材の場合について、調査データから求めた発生率を表 75 に示すが、いずれの調査地も低い値となった。しかし一度、荷掛けなおしが生ずれば、そのために要する作業量はかなり大きい。今回の調査では荷掛けなおしの発生した資料が少ないため、基準時間、発生率ともに作業条件との関数関係を調べる事ができなかった。したがって、ここでは調査データの平均値を採用した。すなわち、

$$T_{NIH7}=114 \quad \dots\dots\dots(6.4.19)$$

$$E_{NIH7}=0.06 \quad \dots\dots\dots(6.4.20)$$

$$S_{NIH7}=6.7 \quad \dots\dots\dots(6.4.21)$$

全木集材の場合は荷掛け本数が少ないため、この単位作業の発生率は小さいことが予想される。調査の結果、荷掛けなおしは 1 回のみであった。したがって、発生率は近似値に 0 とみなすことができる。すなわち、

$$S_{NI27}=0$$

6.4.8. 障害排除

この単位しごとの発生率および平均時間の調査データを表 76 に示すが、両調査地とも発生率はかなり低い。発生した例が少ないため、作業量と作業条件の関数関係を明らかにすることができない。そこで、ここでは観測値の平均を採用した。すなわち、

$$T_{NIH8}=54 \quad \dots\dots\dots(6.4.23)$$

$$E_{NIH8}=0.08 \quad \dots\dots\dots(6.4.24)$$

$$S_{NIH8}=4.2 \quad \dots\dots\dots(6.4.25)$$

全木集材の場合は障害排除は 1 回発生したのみで、およそこれを無視した。すなわち、作業量は、

$$S_{NI28}=0$$

6.4.9. 電話移動

6.4.10. 作業移動

電話移動と作業移動は集材サイクルごとに必ず発生するものではなく、移動のおこる回数および移動距

表 75. 普通集材における荷掛けなおし発生状況

場 所	資 料 数	発 生 数	発 生 率	平 均 時 間
三 殿	49	5	0.102	105.8
上 松	93	3	0.032	126.7
平 均	142	8	0.056	113.6

表 76. 普通集材における障害排除発生状況

場 所	資 料 数	発 生 数	発 生 率	平 均 時 間
三 殿	49	5	10.2	57.8
上 松	93	6	6.5	51.0
平 均	142	11	7.7	54.1

表 77. 荷卸作業の要素作業分解表

纏まり	単位	要素作業	コード No.	要素作業定義
準備後始末	通 勤	通 勤 (往)	5000	集合場所から盤合機械器具置場、荷卸地点までに到着するまでの通勤時間（休憩小屋がある場合は休憩小屋とする）
		(復)	5001	盤合機械器具置場、荷卸地点から解散場所に着くまでの通勤時間
	休 憩	通 勤 途 中 休 み	5002	通勤途中に行なった休み時間
		計	5003	
		休 息	5004	盤合機械器具置場、荷卸地点に到着してから朝の作業にとりかかるまでに行なった休み時間（作業終了後も同じ）
	身 仕 度	火 た き	5005	火をたくための薪採取や火をたきつける時間
		計	5006	
		身 仕 度	5007	作業に必要な道具器械の着脱、服装なおしの時間
	道具準備	計	5008	
		道 具 手 入 れ	5009	手鋸、なた、とび、つるなどの目立て、刃とき、柄なおしなどの手入れ時間（歩行、道具取替えを含む道具別に観測する）
	器具準備	計	5010	
		スリング、ロープ類 手入れ	5011	スリングを作ったり、修理したりする時間（歩行、道具取替えを含む）
		点 検 取 替 え	5012	スリングを点検したり、取り替えたりする時間
	機械準備	計	5013	
		準 備 後 始 末	5014	作業用具の出し入れや、卸し場の整理を行なう時間
		集材機の整備点検	5015	集材機を点検し、整備する時間
		ワイヤ "	5016	LFL、HBL、SKLを点検、整備する時間
		滑 車 "	5017	LB、CR、GBなどのブロック類を点検、整備する時間
		器具工具 "	5018	集材機に必要な器具工具の点検、整備する時間
		調 整	5019	集材機のエンジン、ブレーキなどを調整する時間
		給 油	5020	集材機に燃料を補給する時間（燃料を倉庫から出し運搬する時間も含む）
		注 油	5021	集材機のオイル、グリス等を交換、補給する時間
		給 水	5022	集材機の冷却水を入れ換え、あるいは補給する時間
		そ の 他	5023	
		計	5024	
	体 操	体 操	5025	朝や作業中に行なう体操の時間
		計	5026	
移 動	移 動	職 場 移 動	5027	朝夕の荷卸し地点の休憩場所と作業場所間、作業場所と昼食休み場所間の往復時間
		作 業 移 動	5028	退避場所または信号場所からローディングブロックのところまで荷掛けのための歩行時間
		道 具 と り ま と め	5029	移動にともなって発生する道具とりまとめの時間
荷おろし	荷おろし合図	計	5030	
		段 取 り	5031	合図を行なうために、足場を確認したり合図用具を扱っている時間
		合 図	5032	荷卸しの合図を行なっている時間

表 77. (つづき)

纏まり	単 位	要 素 作 業	コード No.	要 素 作 業 定 義
荷おろし	荷はずし	歩 行	5033	要素作業から要素作業に移るための歩行時間
		計	5034	
		段 取 り	5035	荷はずしのために足場を確認したり、体の向きを変えたりする荷はずしに入るまでの時間
		L B ひ き よ せ	5036	卸されたL BからスリングをはずすためにL Bを引き寄せる時間 (LB=loading bloch)
		荷 は ず し	5037	L Bからスリングをはずし、荷をほどく時間
		障 害 除 去	5038	荷はずし作業の障害となる、枝葉などの障害物を取り除き片付ける時間
		歩 行	5039	(5033) と同じ定義
		計	5040	
		段 取 り	5041	盤台上の安全を確認し、合図にはいるまでの時間
		合 図	5042	L Bを荷掛け地点に返すための合図時間
	引戻し合図	確 認	5043	合図を行なった後L Bが荷掛け地点に安全に返送されていくのを見送る時間
		計	5044	
		段 取 り	5045	卸しなおしのための作業に入るまでの時間
		合 図	5046	おろしなおしのための合図時間
		掛 け な お し	5047	卸しなおしするために荷しぼりしL Bに掛けなおす時間
		荷 は ず し	5048	おろしなおしのために荷はずしする時間
		歩 行	5049	(5033) と同じ定義
		L B ひ き よ せ	5050	卸しなおしのためにL Bを引きよせる時間
		計	5088	
		ス リ ン グ か け	5051	荷掛けに使うスリングをL Bにかける時間
	スリング扱い	ス リ ン グ 扱 い	5052	スリングのからまり、曲りなどをなおす時間
		ス リ ン グ 取 替 え	5053	古くなったり、切断したスリングを取り替える時間
		器 材 お く り	5054	荷掛け側に必要な器材を送るために荷おろし手が行なう作業時間
		計	5089	
		歩 行	5055	(5033) と同じ定義
	自動脱荷	自 動 脱 荷	5056	自動脱荷フックを使った時に脱荷待ち確認をしている時間
		や り な お し (脱 荷 合 図)	5057	自動脱荷をやりなおさせるために合図を送ったり待っている時間
		荷 は ず し	5058	(5048) と同じ定義
		走 行 合 図	5059	(5041) (5042) (5043)を加えた作業時間と同じ
		段 取 り	5082	(5035) と同じ定義
		計	5090	
	盤台整理	材 整 理	5060	普通集材の時におろされた材を集材を使って整理するための段取り時間
		合 図	5061	" 合図時間
		ス リ ン グ か け	5062	" スリング掛け時間
		ス リ ン グ は ず し	5063	" スリングはずし "
		歩 行	5064	" 歩行 "
		計	5065	

纏まり	単位	要素作業	コード No.	要素作業定義
共通	材扱い	段取り	5083	盤台上におろされたり、玉切された丸太を動かすために検討、準備している時間
		合材扱	5084	材扱いのために合図する時間
		歩行	5085	盤台上の丸太を一定の場所に移動させる時間
		計	5086	(5033) と同じ定義
	枝手直し	段取り	5066	枝手直しをするために道具を取り出したり足場を決めたりする時間
		合枝手直し	5067	枝手直しするために行なう合図時間
		歩行	5068	盤台上の丸太に枝が残っているときに、なたなどで切り直す時間（特に普通集材のときに起こる）
		計	5069	(5033) と同じ定義
	障害除去	段取り	5070	
		合	5071	障害除去するときにかかる段取り時間
		枝条片付け	5072	障害除去に必要な合図時間
		スリング掛けはずし	5073	盤台上に落ちかかっている枝条を片づける時間
		歩行	5074	障害物を集材機で除去するときスリングに掛ける時間
		計	5075	(5033) と同じ定義
	退避	退避	5076	荷卸し、空搬器走行などによる運転中の退避
		歩行	5077	(5033) と同じ定義
	待機	材待ち	5080	
		スタンプ替待ち	5081	搬出された材の処理が終わってから、次の搬出材の作業をはじめるまでの待ち時間
	職場	打ち合せ	5501	荷掛け側でスタンプを位置替えるのを待っている時間
		手待ち（積込み）	5502	他の作業者と作業を進めるために生じた当該作業固有の打ち合せ時間
		“（LB静止）”	5503	トラックに積み込むために生じた手待ち時間
		集材機燃料待ち	5504	荷おろし時にLBの振れが静止するのを待つ時間
余裕		判断勘考	5505	集材機が燃料補給するために生じた手待ち時間
		集材機運転待ち	5506	作業をすすめていくのに必要な判断勘考の時間
		計	5507	集材機運転のために生じた手待ち時間
	疲れ	坐	5508	勤務時間内の所定の休憩時間
		立	5509	作業中に作業員が適宜に休む時間
		息	5510	“ 息抜きした時間
		計	5511	
	用達	用達	5512	生理現象による余裕時間
		汗ふ	5513	汗拭き時間（汗拭きのため一連の動作を含む）（歩行を含む）
		水	5514	湯または水を飲む時間（ “ ” ）
		服装なおし	5515	作業中の服装みだれなおし時間（ “ ” ）
	作業	計	5516	
		盤台整備	5517	荷卸し盤台を整備する時間
		道具修理	5518	作業に必要な道具を修理する時間
		スリング作り直し	5519	作業中におけるスリング作りや直しの時間

表 77. (つづき)

纏まり	単位	要素作業	コード No.	要素作業定義
除 外 食 事		L B フック点検修理	5520	L B フックを点検修理する時間
		機 械 調 整	5521	集材機の調整を手伝いに行く時間
		給 油	5522	" 給油 "
		注 油	5523	" 注油 "
		給 水	5524	" 給水 "
		滑 車 類 点 検	5525	作業中に滑車類を点検したり直したりする時間
		ワ イ ヤ 類 "	5526	" ワイヤ類 "
		通 信 器 "	5527	" 通信器 "
		計	5528	
		食 事	5529	弁当を出して食事をし、弁当を片付けるまでの時間
	除 外	食 事 休 み	5530	食事前後の休み時間
		計	5531	
		調査打ち合せ手待	5532	調査を進めるために生じた打ち合せ手待ち時間
		そ の 他	5533	規定単位作業外の不時に起こる作業時間
		計	5534	
		通 勤 (往)	5535	(538～541) と同じ定義
		" (復)	5536	"
		途 中 休 み	5537	"
		そ の 他	5538	"
		計	5539	"
	規定外通勤	通 勤 (往)	5535	(538～541) と同じ定義
		" (復)	5536	"
		途 中 休 み	5537	"
		そ の 他	5538	"
		計	5539	"

離は、集材地域の地形と材の分布に依存する。また歩行速度については退避歩行と一括して考えるべきである。そこで、この作業量については別に論ずることとする (8.2.6 参照)。

6.4.11. 引き込み合図

6.4.12. 引き出し合図

この単位しごとは、いずれも集材機の運転時間中に行なわれるためには、作業量を求めることが必要であるが、この最適化では省略した。

6.4.13. ガイドブロック移動 (8.2.6 参照)

この単位しごとの発生回数は集材地域の地形と材の分布によって異なる。また、移動のための歩行は移動距離と歩行速度によって決定される。そこで、この単位しごとも (6.4.9)、(6.4.10) と同様に別に扱うことにする。

6.5. 荷 卸 し

集材機における荷卸作業は表 77 に示した要素作業により時間観測を行ない、表 78 に示したように作業の性質、発生の仕方により、要素作業をいくつか統合した単位しごとにより分析を行なった。荷卸作業は全木集材と普通集材により若干作業内容を異にするが、これを作業量算定の定式化を通して明らかにしていく。

6.5.1. 荷はずし

荷はずしの作業量は荷掛けと同様にスリング 1 本に対応させる考え方と、サイクル 1 回に対応させる考え方がある。しかし、荷掛けの場合は普通集材と全木集材ともにサイクルあたりの作業量の定式化がまさ

表 78. 荷卸作業量算定のための作業分解表

No.	単位仕事	作業内容
1	荷はずし	運ばれてきた材をLBおよびスリングからはずす作業である。このための歩行、段取を含む。
2	引戻し合図	荷はずしが終了してからLBを荷掛地点にもどしてもよいことを運転手に合図する作業。
3	スリング取替え	荷はずしした後にスリングをLBにかけることと、新しいスリングをLBにつけてやる2つの作業からなる。
4	おろし直し	おろし場所や方向が適当でなかった場合に、荷をふたたびLBにかけ直し、適当な位置に移動させる作業。これには合図、歩行が含まれる。
5	退避歩行	荷はずしが終了した後にLBの巻き上げによって危険のおよばない場所まで退避する作業。
6	材位置直し	架線直下作業をさけるために搬出されてきた材を移動させる作業。これは全木集材にだけ起こる作業。
7	荷おろし合図	盤台上に材が到着してから材が着地するまでの運転手を誘導する合図。
8	盤台整理	盤台上に散乱した材や木木枝条、その他を整理する作業。
9	材扱い	盤台上で玉切りされた丸太を指定されたところにかたづける作業。

注) 6, 9は全木集材の場合だけ。

表 79. 普通集材における荷はずし作業時間の回帰分析 (1)

調査地	因子	因子平均値	相 関	回 帰 係 数	備 考
三 殿	ns		0.18	5.989	$SY=9132$
	$\sum lz$		0.08	-0.007	$SS=8730$
	$\sum ds$		0.07	0.288	$N=50$
	$\sum ds^2$		-0.02	-0.004	$\hat{Y}=30.6$
	定 数			14.968	
上 松	ns		0.39	6.708	$SY=20440$
	$\sum lz$		0.20	0.005	$SS=16060$
	$\sum ds$		0.19	0.050	$N=93$
	$\sum ds^2$		0.00	0.001	$\hat{Y}=32.9$
	定 数			10.819	

表 80. 普通集材における荷はずし作業時間の回帰分析 (2)

調査地	因子	相 関	回帰係数	定 数	備 考
三 殿	ns	0.18	8.222	14.978	$SY=9132, SS=8830, N=50$
上 松	ns	0.39	8.241	11.870	$SY=20440, SS=17370, N=93$
平 均	ns	0.34	7.246	15.254	$SS=177000, SS=26450, N=43$

っていたため、荷はずしも集材サイクルに対応した作業量を求める。普通集材の荷はずし作業量に影響を及ぼす作業条件は $ns, \sum dz, \sum dz^2$ が候補として考えられる。以上の条件に関して作業量を回帰分析すれば、表 79 の結果が得られた。 ns の回帰係数は両調査地ともに正となったが、他の条件因子に回帰係数の符号が一致しない。そこで、条件因子を ns のみにかぎって回帰分析を行なった（表 80）結果、両調査地間の差はないものと考えられる。そこで、両データを一括して回帰式を作成した（表 80 下段）。なお、荷はずし作業量（時間と一致する）と ns の関係を図 60 に示すが、同じスリング数でもかなりばらついていることがわかる。しかし、荷はずし時間がスリング数と直線関係にあることは理論的にも妥当と考えら

れるため回帰式を採用する。すなわち、荷はずし作業量は、

$$SNOH_1 = 7.2ns + 15.3 \dots\dots\dots (6.5.1)$$

全木集材の場合も普通集材と同様に解析した結果、荷掛けされた材の大きさには無関係であった。なお図 61 に ΣD との関係を示すが、やはり一定な特性をみいだすことができない。そこで使用スリング数との関係を調べた。表 81 にスリング数別の平均荷はずし時間を示す。スリングが 1 本増加すると 7 秒作業時間が増加するが、この結果は普通集材の場合とほぼ一致した。全木集材にはスリングの数が 3 本以上となることが少ないため、この結果をそのまま定式化して、

$$SNOZ_1 = 7.0ns + 40.4 \dots\dots\dots (6.5.2)$$

6.5.2. 引戻し合図

この単位しごとの作業量は、搬器返送開始の合図を送りはじめてから集材機が動き出すまでの時間と一致する。したがって、作業量は作業条件とは関係なく定めることができる。そこで普通集材、全木集材ともに引戻し合図の作業量は一括して調査データの平均とした。すなわち、

$$SNDH_2 = 2.4 \dots\dots\dots (6.5.3)$$

$$SNDZ_2 = 2.4 \dots\dots\dots (6.5.4)$$

6.5.3. スリング取替え

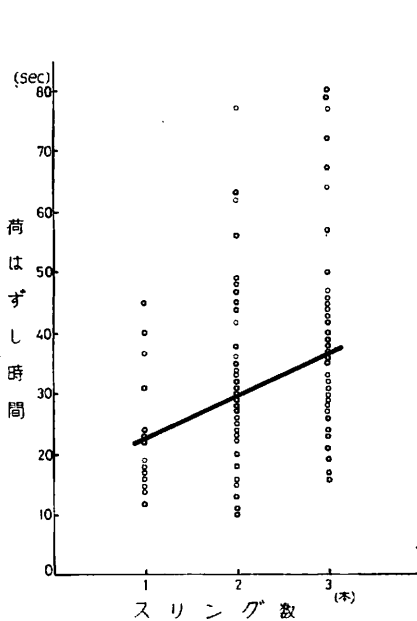


図 60. 普通集材における荷はずし時間とスリング数の関係

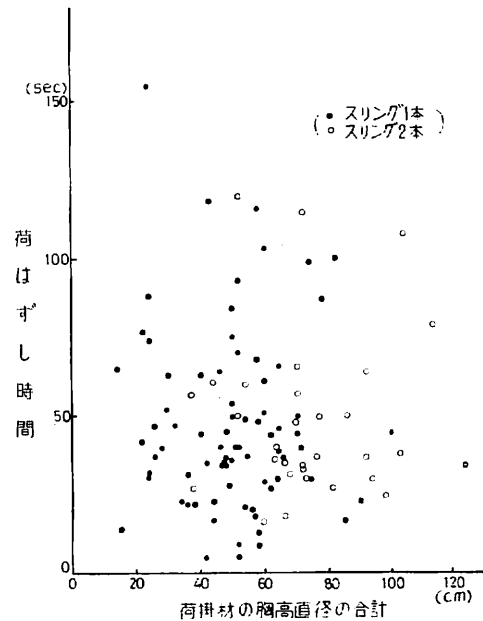


図 61. 全木集材におけるスリング本数別荷はずし時間と胸高直径の合計の関係

表 81. 普通集材における荷外し時間とスリング本数

ス リ ン グ 数	荷 は ず し 時 間
1	47.4
2	54.4

この単位しごとは各種の目的で行なわれるが、表 82 に普通集材におけるスリングを扱う作業のデータを示す。いずれの内容の作業も発生率が小さいため、基準時間および発生率は一定としても集材作業全体の作業量に及ぼす影響は少ない。そこで、普通集材におけるスリング取替えのデータから平均値を求めた。すなわち、基準時間と発生率はそれぞれ、

$$T_{NDH_3}=57 \quad \dots\dots\dots(6.5.5)$$

$$E_{NDH_3}=0.01 \quad \dots\dots\dots(6.5.6)$$

したがって作業量は、

$$S_{NDH_3}=0.6 \quad \dots\dots\dots(6.5.7)$$

全木集材では使用スリングが1本ないし2本であるため、表 82 のような作業はほとんど発生しないと考えられる。今回の調査でも一度も発生しなかった。したがって、作業量は、

$$S_{NDZ_3}=0 \quad \dots\dots\dots(6.5.8)$$

6.5.4. 卸し直し

卸し直しの発生率と基準時間は索張り方式、荷掛材の状態および運転手の技能によって異なると考えられる。普通集材の場合の作業時間のデータは表 83 となった。

作業時間とスリング数の関係を図 62 に、荷掛材の数との関係を図 63 に、また末口径の合計との関係を図 64 に示すが、これからは何の結論も引き出すことができ

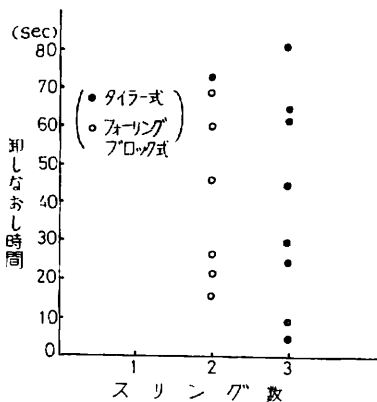


図 62. 普通集材における卸し直し時間とスリング数の関係

表 82. 普通集材におけるスリング取替えの発生内容

発生内容	回数	時間
予備スリング送り	1	30
山へ荷送り	1	56
スリングからまり直し	1	11
台付ロープ送り	2	148.68
スリングかけ	1	10

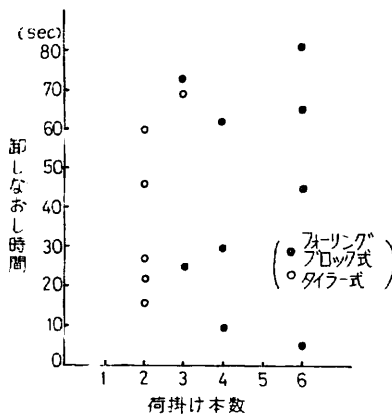


図 63. 普通集材における卸し直し時間と荷掛け本数の関係

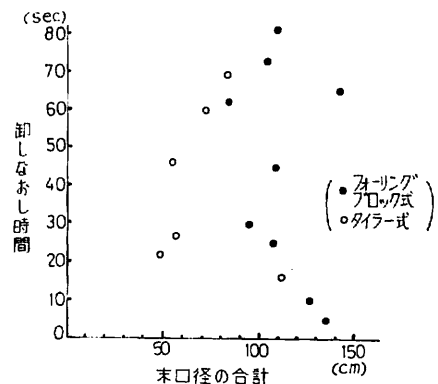


図 64. 普通集材における卸し直し時間と荷掛け材の末口径の合計との関係

表 83. 普通集材における卸しなおし時間の調査データ

索 張 り	調 査 地	No.	時 間	スリ 本 数	荷掛本数	末口径合計	備 考
タイラー式	三 殿	1	22	2	2	48	
		2	27	2	2	56	
		3	60	2	2	71	
		4	16	2	2	111	
		5	69	2	3	83	
		6	46	2	2	55	
ホーリング ブロック式	上 松	1	73	2	3	104	
		2	62	3	4	84	
		3	10	3	4	125	
		4	5	3	6	134	
		5	25	3	3	107	
		6	45	3	6	108	
		7	30	3	4	95	
		8	81	3	6	109	
		9	65	3	6	141	
平 均		15	42				N=143 発生率=10.5%

ない。発生率についてもどの作業条件とも一定の関係はみいだせなかった。全木集材の場合も同様に、どの条件とも関数関係はみいだせなかった。そこで、卸し直しはランダムに起こるものとみなして、基準時間および発生率はともにデータの平均値をとることにした。すなわち、

$$T_{NDH_4} = 42 \quad \dots\dots\dots (6.5.9)$$

$$E_{NDH_4} = 0.11 \quad \dots\dots\dots (6.5.10)$$

$$T_{NDZ_4} = 134 \quad \dots\dots\dots (6.5.11)$$

$$E_{NDZ_4} = 0.10 \quad \dots\dots\dots (6.5.12)$$

したがって、作業量はそれぞれ

$$S_{NDH_4} = 4.6 \quad \dots\dots\dots (6.5.13)$$

$$S_{NDZ_4} = 13.4 \quad \dots\dots\dots (6.5.14)$$

6.5.5. 退避歩行

退避歩行は普通集材の場合はサイクル時間に直接関係するが、全木集材ではすぐつぎの作業に移るため、サイクル時間とは関係しない。普通集材ではヤガラ状の材の上を歩行して、5~10m の距離を歩いて退避する。この時間は作業条件とは無関係とみなすことができる。そこで、ここでは標準的な作業量として歩行 1 m あたり 1.6 秒を要し⁸⁾、10m 退避するものとして、作業量は

$$S_{NDH_5} = 16 \quad \dots\dots\dots (6.5.15)$$

6.5.6. 材位置直し

全木集材の場合に発生するが、今回の調査では坂下で行なわれたのみであった。これは吊荷が盤台近くへきても作業をつづけていたために、この作業を必要としたものと考えられる。三殿では完全に退避を行なったために、一度も材位置直しの必要がなかった。この最適化では安全性を重視して、退避を行なう前提のもとで計算を行なうため、この単位作業は無視する。

すなわち作業量は、

$$S_{NDZ_6} = 0 \quad \dots\dots\dots (6.5.16)$$

6.5.7. 荷卸し合図

この合図も荷掛けの (6.5.11)、(6.5.12) の単位作業と同様に集材機の運転中に行なわれるため、サイ

クル時間には加わらない。したがって、ここでは作業量は最適化計算には必要でない。

6.5.8. 盤台整理

この単位しごとは末木枝条整理が中心となる。したがって、作業量は搬出される木に関係することが予想される。1本の木の枝の量は胸高直径が大きいほど多くなることも予想される。そこで、木の胸高直径と作業量の関係を調べた結果、盤台の作り方によって異なるが、いずれも胸高直径の合計と比例させることができた。すなわち作業量は、調査データに基づいて比例定数を求めれば次式となる。

$$S_{\text{voz}_1} = \begin{cases} 5.6 \sum D & \text{落し盤台} \\ 10.4 \sum D & \text{はい積盤台} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (6.5.17)$$

6.5.9. 材扱い

この単位しごとは盤台作業に含まれるが、これを造材作業に入れるか、集材作業に入れるかは明確でない。しかし、材扱いは造材の終わった材を移動させるため、集材に含めた。この作業量に関係すると考えられる条件は、末口径： d , d^2 , 材長： l , 材積： V_t , である。そこで、これらを条件因子として材扱い作業量を回帰分析すれば表84となる。この結果、いずれの条件因子とも有意な関係が得られなかった。そこで、両調査地ともに相関が最も高い d について回帰分析を行なった（表85）。この場合は、いずれの調査地ともに d の回帰係数は有意となった。作業量と末口径の関係を図65、図66に示すが、かなりばらついていながらもほぼ直線回帰が妥当ことがわかる。両調査地の差はあまりないが、盤台の形式が異なるため、表85の結果をこのまま採用した。すなわち作業量は、

表 84. 材扱い時間の回帰分析 (1)

場 所	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t 検 定	備 考
三 穀	d	0.42	0.154	0.18	SY=281600 SS=83140
	d^2	0.43	0.023	1.82	
	l	0.07	0.037	1.16	
	V_t	0.33	-0.351	-1.98	
	定 数		8.402	0.57	
坂 下	d	0.41	0.048	-0.04	SY=154700 SS=51650
	d^2	0.39	0.033	1.65	
	l	0.17	1.089	1.72	
	V_t	0.35	-0.642	-1.85	
	定 数		-12.881	-0.61	

表 85. 材扱い時間の回帰分析 (2)

場 所	因 子	相 関 係 数	回 帰 係 数	t	備 考
坂 下	d	0.41	0.817	5.00**	SY=1112×10 ³ SS=9266×10 ³ N=127 $\bar{Y}$ =38.82
	定 数		1.318		
上 松	d	0.45	0.912	4.89**	SY=9263×10 ³ SS=7350×10 ³ N=94 $\bar{Y}$ =35.20
	定 数		5.82		
平 均	d	0.43	0.860	7.02**	SY=2046×10 ³ SS=1663×10 ³ N=221 $\bar{Y}$ =37.28
	場 所 係 数	-0.06	-4.34	-1.15	
	定 数			2.60	

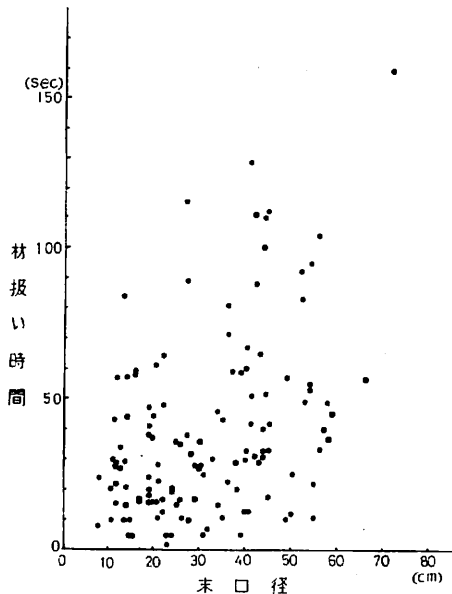


図 65. 材扱い時間と材の末口径との関係
(調査地三殿)

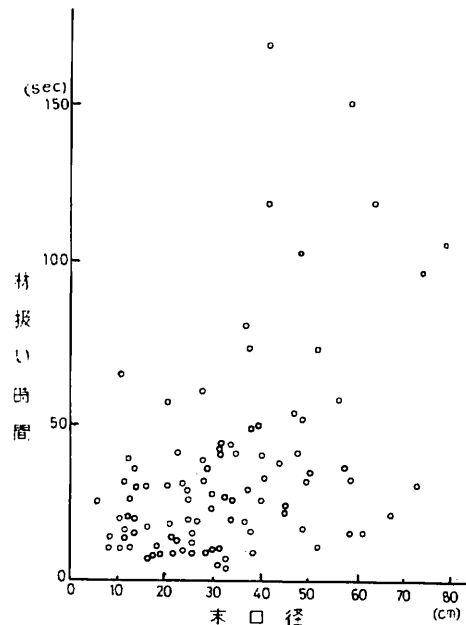


図 66. 材扱い時間と材の末口径との関係
(調査地坂下)

$$S_{NDZ_8} = \begin{cases} 0.817d + 13.2 \\ 0.912d + 5.8 \end{cases} \dots\dots\dots (6.5.18)$$

6.6. 要 約

作業時間を求めるための作業量を算出した。この手法としては、作業時間と条件との関係を回帰分析により求めることを中心にし、ある作業がどのようなときにどれほど発生するかを作業の特性、作業基準、安全基準を考慮して発生率として求めた。

得られた結果から全木集材作業と、普通集材作業では作業量そのものにも差のあることが判明したが、今回の最適化計算に使用する作業量算定式を全木、普通を対比して、伐倒、造材、荷掛け、荷卸しを表 86, 87, 88, 89 に示す。

なお、作業量算定は次式により行なう。

$$S_{Kl} = T_{Kl} \times E_{Kl}$$

7. 集材機を中心とした機械システムの特性

7.1. 概 説

本章では、集材機を用いた集材作業において、集材機の性能によって決定される作業時間を求めるために、集材機および集材架線の機械的特性を明らかにする。その内容はつぎの事項について理論的あるいは実験的に検討した。

1. 集材架線の設計
2. 集材機の性能
3. 作業索の張力

表 86. 伐倒作業量算定式一覧表

作業名	全木伐倒		普通伐倒	
	作業量	発生率	作業量	発生率
伐倒方向検討	$T_{NZ1}=0.419D+9.0$	$\begin{cases} 0.0115D+0.094 \\ (D \leq 78) \\ 1.00 (D \geq 79) \end{cases}$	$T_{NH1}=0.491D+9.1$	$\begin{cases} 0.0075D+0.445 \\ (D \leq 74) \\ 1.00 (D \geq 75) \end{cases}$
障害除去	$T_{NZ2}=100$	0.78	$T_{NH2}=107$	0.86
受口・追口切付帯	$T_{NZ3}=0.0183D^2-0.685D+19.22$	1.00	$T_{NH3}=0.0031D^2+0.632D+1.513$	1.00
根張切り	$T_{NZ4}=24$	0.025	$T_{NH4}=42$	0.140
矢打ち	$T_{NZ5}=39$	$0.0042D+0.035$	$T_{NH5}=58$	$0.0082D+0.167$
受口・追口切り	ヒノキ $T_{NZ6H}=0.0986D^2-2.7637D+56.31$	1.00	$T_{NH6H}=T_{NZ6H}$	1.00
	サワラ $T_{NZ6S}=0.0434D^2-0.4729D+18.30$	1.00	$T_{NH6S}=T_{NZ6S}$	1.00
合 図	$T_{NZ7}=7.0$	1.00	$T_{NH7}=7.0$	1.00
退 避	$T_{NZ8}=8.0$	1.00	$T_{NH8}=14.0$	1.00
道具とりまとめ	$T_{NZ9}=90$	0.05	$T_{NH9}=47$	0.11
作業移動	$T_{NZ10}=L_N \cdot V_W$		$T_{NH10}=L_N \cdot V_W$ 左同	
傾 斜				
植 生				
疎 中 密				
~25°	3.6sec	4.2sec	5.4sec	
26°~35°	4.2	5.4	6.6	
36°~	5.4	6.6	7.8	

[備考] D : 胸高直径(cm) L_N : 作業移動距離(m) V_W : 歩行速度(sec/m) $T_{NZ1} \cdots n$: 全木伐倒の各作業時間(sec) $T_{NH1} \cdots n$: 普通伐倒の各作業時間(sec)
作業員の算定 $S_{NZi}=T_{NZi} \times E_{NZi}$, $S_{NHj}=T_{NHj} \times E_{NHj}$ 以上の表において作業員の算定は同様に行う。

表 87. 造材作業量算定式一覽表

作業名	普通造材		盤台造材	
	作業量	発生率	作業量	発生率
測尺	$T_{BZK_1}=38.0nt+0.67\theta+1.67$	1.00	$T_{BZK_1}=20.3nt+23.02$	1.00
始動・停止	$T_{SZK_2}=3.5\times 10.8=37.8$	1.00	$T_{BZK_2}=2.4\times 10.5=25.2$	1.00
玉切歩行	$T_{SZK_3}=1.3H+0.43\theta-11.75$	0.65	$T_{BZK_3}=0.71H-3.658$	0.82
玉切付帯	$T_{SZK_4}=25.0$	$0.000079D^2+0.0026D$	$T_{BZK_4}=21.8$	$0.00015D^2+0.0004D$
サル力切り	$T_{SZK_5}=0.021D^2-0.32D+0.633\theta+10.22$	1.00	$T_{BZK_5}=0.0067D^2+0.947D-0.58$	1.00
化粧がけ	$T_{SZK_6}=35.0$	$\begin{cases} 0 & (D<30) \\ 0.35 & (D\geq 30) \end{cases}$	$T_{BZK_6}=44.0$	$\begin{cases} 0 & (D<20) \\ 0.32 & (D\geq 20) \end{cases}$
障害除去	$T_{SZK_7}=38.0$	0.21	$T_{BZK_7}=0$	0
捨切り	$T_{SZK_8}=0$	0	$T_{BZK_8}=56.8$	0.26
枝先切り	$T_{SZK_9}=38.0$	$\begin{cases} 0 & (D\leq 20) \\ 0.02D+0.016 & (20<D\leq 70) \\ 1.00 & (D>70) \end{cases}$	$T_{BZK_9}=57.0$	$\begin{cases} 0.0123D+0.016 & (D\leq 80) \\ 1.00 & (D>80) \end{cases}$
枝払い	$T_{SZK_{10}}=12.71D+5.60\theta-316$ ($23\leq D<75$ $5\leq\theta$ に適用)	1.00	$T_{BZK_{10}}=7.72D-67.8$	1.00
枝払い付帯	$T_{SZK_{11}}=1.595D-1.28$	1.00	$T_{BZK_{11}}=1.881D-13.12$	1.00
枝払い手直し	$T_{SZK_{12}}=0$	0	$T_{BZK_{12}}=29.0$	0.14
玉切り	ヒノキ $T_{SZT_{1H}}=0.037d^2-1.012d+4.89A_{SI}+10.5$	1.00	ヒノキ $T_{BZT_{1H}}=0.037d^2-1.012d+15.3$	1.00
玉切段取	$T_{SZT_2}=6.6$	0.65	サワラ $T_{BZT_{1S}}=0.0335d^2-0.744d+13.17$	1.00
木回し	$T_{SZT_3}=25.0$	0.33	$T_{BZT_2}=11.3$	0.02
材扱い	—— (不要)		$T_{BZT_3}=14.0$	0.20
			$T_{BZT_4}=0.817d+13.18$	1.00

nt =採材玉数, H =樹高, θ =斜面傾斜, D =胸高直径

表 88. 荷 掛 ・ 荷 卸 作 業 量 算 定 式 一 覧 表

区 分	作 業 名	全 本 集 材		普 通 集 材	
		作 業 量	発 生 率	作 業 量	発 生 率
サイクル時間に算定する作業	荷 掛 け	$T_{NIZC1}=86.96ns+10.35$	1.00	$T_{N1HC1}=7.60nz+32.43ns-6.52$	1.00
	ス リ ン グ 仕 分	$T_{NIZC2}=0$	0	$T_{N1HC2}=5.5ns+0.40+4.0$	$ns0$ 発生率 2 0.38 3 0.40
	荷掛段取・材集め	$T_{NIZC3}=100$ 0.12採用←	傾斜 ~15° 16°~ 31° 45° 43°~ % 8 13 16 20	$T_{N1HC3}=54$	0.38
	障害物除去(荷掛中)	$T_{NIZC4}=82$ 0.08採用←	傾斜 ~15° 16°~ 31° 45° 45°~ % 6 8 11 15	$T_{N1HC4}=100$	$0.125nz+0.125$
	合 図 (荷掛終了)	$T_{NIZC5}=8$	1.00	$T_{N1HC5}=8$	1.00
	退 避 歩 行	$T_{NIZC6}=l_T \times V_W$	1.00	$T_{N1HC6}=l_T \times V_W$	1.00
	荷 掛 直 し	$T_{NIZC7}=0$	0	$T_{N1HC7}=114$	0.06
	障害排除(運転中)	$T_{NIZC8}=0$	0	$T_{N1HC8}=54$	0.08
算定不要作業	電 話 移 動	斜面傾斜 急 中 緩 移動速度 sec/m 12.0 10.9 一	傾斜 急 中 GB移動 2.00 1.00 1回あたり	全木集材に同じ。	
	作 業 移 動	$S_{NIZN2}=l_N/V_W$			
	引 込 み 合 図	S_{NIZN3} =運転時間に含まれる			
	引 出 し 合 図	S_{NIZN4} =同上			
	ガイドブロック移動	$S_{NIZN5}=1.500+l_N/V_W$			

ns =スリング本数(使用), l_T =退避距離, V_W =歩行速度(sec/m), l_N =荷掛点までの歩行距離, l_G =ガイドブロック移動距離, nz =荷掛本数, $ns0$ =固定スリング数

表 89. 荷卸作業量算定式一覧表

区分	作業名	全 木 集 材		普 通 集 材	
		作業量	発生率	作業量	発生率
サイクル時間	荷はずし	$T_{HZC_1} = 7.0n_s + 40.4$	1.00	$T_{HHC_1} = 7.7n_s + 15.3$	1.00
	引戻し合図	$T_{HZC_2} = 2.4$	1.00	$T_{HHC_2} = 2.4$	1.00
	スリング取替え	$T_{HZC_3} = 0$	0	$T_{HHC_3} = 57.0$	0.01
	卸し直し	$T_{HZC_4} = 134.0$	(2本掛以上) 0.10	$T_{HHC_4} = 42.0$	0.11
	退避歩行	$T_{HZC_5} = 0$	0	$T_{HHC_5} = 16.0$	1.00
非サイクル時間	材位置直し	—			
	荷卸し合図	$SHZN_1 = \text{荷おろし運転時間}$		$SHHN_1 = \text{荷おろし運転時間}$	
	盤台整理	$SHZN_2 = 5.6 \times (\sum D)$ (落し盤台) $SHZN_2 = 10.4 \times (\sum D)$ (はい積盤台)		—	
	作業移動	—		—	
	待機	—		—	

4. 集材機の運転速度と運転時間

おのおのの検討にあたっては一般的な理論式を導入して、これを実験値で確かめることとした。実験値としては過去に行なわれた多くの実験とその解析を参考とすると同時に、次節に示すような集材作業地において特別に実験と実態の調査を行なった。理論式が複雑となって実用的でない場合、あるいは理論的に解析が困難な部分については、妥当と考えられる実験値、実測値を採用することとした。

集材機の性能としては、最も重要であると考えられるエンジンの性能からきまるドラム性能と、ブレーキ装置の性能の2点から考察する。

つぎに集材架線の設計および集材機の性能から、集材作業中のワイヤロープに生じる張力の計算式を誘導し、さらに集材機の運転速度を求めて、集材機の運転所要時間を求める方式を示す。

7.2. 実験の概要

実験を行なった集材現場の概要を示すとつぎのとおり。

索張り方式	タイラー式	ホーリングブロック式
集材方式	全木集材	全木集材
スパン	770m	530m
高低差	320m	120m
傾斜角	23°	13°
使用ワイヤロープ径		
主 索	サンロープ, 6×7B種, 26mm	同左
リフティングライン	6×19A種 14mm	同左
ホールバックライン	6×19A種 12mm	同左
集材距離	230~300m	170~230m
最大横取幅	100m	75m

測定日数	4日	3日
測定した集材サイクル数	74回	70回
場 所	長野営林局三殿営林署 与川製品事業所	長野営林局坂下営林署 神坂製品事業所

測定項目および測定方法

主 索 張 力 断面積 133cm²、ストローク 30mm の油圧筒を下方支点に取りつけて、自記圧力計によって終日連続して記録する。

作業索張力 向柱のガイドブロックの台付けロープにロードセル（電気抵抗線歪計）を取りつけて張力を測定し、作業索の屈折角から索張力に換算した。張力変化は、ペン書きオシログラフに記録した。

作業索速度 発電器をつけた滑車に作業索を通過させて、記録回転計に記録して速度を測定した。

集材荷掛位置と搬器の停止位置 2 台のトランシットを用いて、荷掛地点にあるローディングブロックの位置と、そのときの搬器の停っている位置を三角測量の要領で各サイクルごとに測定した。

実験から得られた結果は、本章の概説で述べたように、主として理論式の確認のために用いたが、おののについては以下の節で引用する。

7.3. 集材架線の設計

林業用集材架線の設計計算式として現在用いられているものに2種類がある。いずれも線形がきわめて扁平な懸架索であり、索曲線に沿う等分布荷重と水平線に沿う等分布荷重の差異が微小である、という仮定から誘導、展開されたものである。展開された式の細部については、形の異なる点もあるが結果は大差ないと考えられる。

最適化の計算式には、現場における実験例²¹⁾²²⁾²³⁾も多い、文献 20) および 23) からつぎの式を用いた。

$$\text{主索重量} \quad W_{SK} = l \times q_{SK} \quad \dots\dots\dots (7.1)$$

$$\text{リフティングライン重量} \quad W_{LF} = l \times q_{LF} \quad \dots\dots\dots (7.2)$$

$$\text{ホールバックライン重量} \quad W_{HB} = l \times q_{HB} \quad \dots\dots\dots (7.3)$$

$$\text{ローディングブロック重量} \quad W_{LN} = W_{LF} \quad \dots\dots\dots (7.4)$$

$$\text{搬器重量} \quad W_{CR} = 100 \times q_{SK} \quad \dots\dots\dots (7.5)$$

$$\text{主索の許容荷重} \quad Q = \frac{1}{2} (T_R / S \times 8 \times s / L \times \cos \theta - W_{SK}) \quad \dots\dots\dots (7.6)$$

$$\text{許容吊荷重量} \quad \hat{Q} = Q - \{ W_{CR} + W_{LN} + (W_{HB} + W_{LF}) / 2 \} \quad \dots\dots\dots (7.7)$$

ここに、 l 、 θ ：スパン長さと傾斜角

q_{SK} 、 q_{LF} 、 q_{HB} ：主索、リフティングライン、ホールバックラインの単位重量

T_R ：主索の切断荷重

S ：主索の張力安全率

s/L ：中央垂下比

中央垂下比 s/L は、 Q の式からもわかるように、この値を大きくとれば総荷重は大きくなり、許容吊

荷重量は大きくなる。したがって、中央垂下比はある程度までは大きくするほど有利となる。しかし、荷をつけたときに地面に接触するとか、作業索の正常な働きができないなどの作業上の不つづが生じることもある。そこで、最適化の計算では現場データと同様に、その集材地に応じて適当と考えられる s/l をデータとして与えられるものとする。

同様に主索の安全率についても、安全率 S は小さくするほど許容吊荷重量が大きくなる。作業基準に定められた安全率は 2.7 であり、これは上方支点に生じる最大張力に対する安全率である。主索の許容荷重を求める式 (7.6) は、計算式の簡略化のために上下両支点における平均張力を基礎とした。式 (7.6) において安全率を 2.7 とすることは、最大張力に対する安全率は 2.7 を割ることになる。したがって、若干の余裕を見込んで最適化の計算では式 (7.6) における安全率を 3.0 とした。これは作業基準に定められた最大張力に対する安全率 2.7 よりも少し安全側であるが、多くの場合大差ないとみなすことができる。

作業索の直径の選択は、作業基準に定められた安全率（ホールバックラインは 4.0、リフティングラインは 6.0）で試算すると、主索径 24mm に対して、リフティングラインの径 9~10mm、ホールバックラインの径 7~8mm 程度となる。しかし、今回の実験の張力測定結果および過去の測定例からみると、集材作業中の張力変化は予測しがたいほど変化が大きくはげしい。このことを考慮すると、作業索の径は計算による値よりも少し大きくすべきであると考えられる。現在一般的に選ばれる基準、すなわち“リフティングラインの径は主索の径の 1/2、ホールバックラインの径はその 1 段階小さな径”によって索の径を考えることは、経験的に得られた結果として実際的であるし、理論的にも妥当と考えられる。したがって、この基準によって作業索の径を決定する。

リフティングラインのローディングブロックへの掛け数は、タイラー式では 2 本掛け、ホーリングブロック式では 3 本掛けとする。

搬器重量およびローディングブロック重量を計算する式 (7.4), (7.5) は新たに導入したものであるから、この根拠について述べる。

1. 搬器は、それにかかる重量を支えるものであるから、吊荷重量が大となれば搬器重量も大きくなることが考えられる。吊荷重量は主索の大きさによって決まるものであるとすれば、主索の大きさ（切断荷重、単位重量など）と搬器重量の関係があると予想できる。実際に使用されている搬器重量についてこの関係をみると、つぎの式がほぼ成立することがわかった²⁰⁾。

$$W_{UR} = 100 \times q_{SK}$$

2. ローディングブロック（重錘を含む）重量

ローディングブロックはタイラー式索張りの場合、図 68 のように搬器を通ったリフティングラインで吊られた状態にある。このローディングブロックは荷掛地点あるいは盤台上で必要に応じて、リフティ

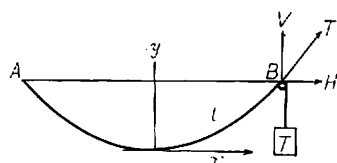


図 67. 索張力 T の最小値

ングラインをゆるめることによって降下させねばならない。降下するためには最小どれだけの重量がローディングブロックおよび重錘として必要であるかを計算してみると、つぎのようになる。

図 67 に示すように、点 A で固定された単位重量 q の索が点 B で抵抗のない滑車を通して、重量 T の重錘をつるして平衡を保っている状態を考えて、この T の最小値を求める。

点 B における索の張力 T , 水平分力を H , 鉛直分力を V とする。

索の描く線形の最下点から図のように x, y 軸をとれば,

$$y = m \cosh \frac{x}{m} - m \quad \dots\dots\dots (7.9)$$

$$m = \frac{H}{q} \quad \dots\dots\dots (7.10)$$

が成立する。

また、原点から B 点までの索長 l , V , T は,

$$l = m \sinh \frac{x}{m} \quad \dots\dots\dots (7.11)$$

$$V = q \cdot l \quad \dots\dots\dots (7.12)$$

$$T = H \cosh \frac{x}{m} = qy = \sqrt{V^2 + H^2} \quad \dots\dots\dots (7.13)$$

T の最小値を求めるために、 T を m について微分すると、

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dm} \left(m \cosh \frac{x}{m} \right) &= \cosh \frac{x}{m} - \frac{x}{m} \sinh \frac{x}{m} \\ &= 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{m} \right)^2 + \frac{1}{24} \left(\frac{x}{m} \right)^4 - \frac{x}{m} \left\{ \frac{x}{m} + \frac{1}{6} \left(\frac{x}{m} \right)^3 \right\} \quad \dots\dots\dots (7.14) \end{aligned}$$

$\frac{dT}{dm} = 0$ を解いて、

$$\frac{x}{m} = 1.21 \quad \therefore m = \frac{x}{1.21} \quad \dots\dots\dots (7.15)$$

となる。したがって、 T を最小とする場合の索の長さ l_0 は

$$\begin{aligned} l_0 &= m \sinh \frac{x}{m} = m \left\{ \frac{x}{m} + \frac{1}{6} \left(\frac{x}{m} \right)^3 \right\} \\ &= x(1 + 0.24) = 1.24x \quad \dots\dots\dots (7.16) \end{aligned}$$

そして、このときの張力 T (すなわち重錘の重量) は、

$$\begin{aligned} T &= H \cosh \frac{x}{m} \\ &= m \cdot q \cosh \frac{x}{m} \\ &= m \cdot q \left\{ 1 + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{m} \right)^2 + \frac{1}{24} \left(\frac{x}{m} \right)^4 \right\} \\ &= 1.50 \times q \cdot x \quad \dots\dots\dots (7.17) \end{aligned}$$

となる。

集材機のローディングブロックの実際は図 68 のようになるから、その自重 (W) で降下するためには、

$$1.5q \cdot x \times 2 = 3q \cdot x$$

の重量が最小値となる。

リフティングラインの重量は索の垂下を考えずに $4xq$ とすれば、ローディングブロックの重量は、リフティングラインの $\frac{3}{4} = 0.75$ だけ必要となる。

実際の集材機においては、ローディングブロックがスムーズ

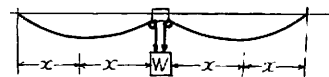


図 68. 集材機の重錘の重さ

に降下する必要があるの、そのためにはリフティングラインの重量 W_{LF} に等しいローディングブロック重量 W_{LB} を必要とすると推定される。すなわち、式 (7.4) が成立する。

7.4. 集材機の性能

集材機の性能として、巻取りドラムのロープ引張力とロープ速度、制動装置のブレーキ容量から荷重と制限速度について考察する。

7.4.1. ロープ引張力、ロープ速度とエンジン出力

集材機ドラムのロープ引張力 P_m 、ロープ速度 V_m は一般につきの式で表わされる。

$$P_m = \frac{T_m \times \eta}{r \times R} \dots\dots\dots (7.18)$$

$$V_m = \frac{F_m \times \eta}{P_m} \dots\dots\dots (7.19)$$

ここに、 T_m : エンジン回転数 m におけるトルク

F_m : エンジン回転数 m における馬力

R : ドラム平均半径

r : エンジンからドラムに達するまでの総減速比

η : 機械効率トランスミッションの効率 η_1 、正逆転機の効率 η_2 、ドラムピニオンギア
ーの効率 η_3 、巻取りドラムの効率 η_4 を総合したもの。

$$\eta = \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

減速比、機械効率を森藤式 MS-70-2M・MA 型集材機について例示するとつぎのとおり。

1. 機械効率の計算

歯車 1 回噛み合うときのベアリング転承効率 0.98

歯車 1 回噛み合うときの歯車効率 0.95

(ボックス内の歯車) 0.98

巻取ドラム効率 (ワイヤロープを巻き取るときの抵抗) 0.98

これらの値を用いると η は

$$\eta = \underbrace{0.98 \times 0.96 \times 0.98 \times 0.96}_{\eta_1} \times \underbrace{0.98 \times 0.96 \times 0.98 \times 0.95}_{\eta_2} \times \underbrace{0.98 \times 0.95 \times 0.98 \times 0.95}_{\eta_3} \times \underbrace{0.98}_{\eta_4}$$

$$= 0.707$$

ただし、第 4 速の場合は $\eta_1 = 0.98$ $\eta = 0.783$ となる。

2. 総減速比 r

第 1 速 1 : 60.398

第 2 速 1 : 30.199

第 3 速 1 : 16.511

第 4 速 1 : 8.555

3. ドラム平均半径

$$R = 0.2262m$$

以上のように η 、 r 、 R とエンジンの性能曲線がわかれば、これらをもとに集材機の性能曲線をロープ巻取り速度とそのときの引張力の関係として表わすことができる。前出の集材機について計算された性能曲

線を図 69 に示す。

集材機の動力源であるガソリンエンジンあるいはディーゼルエンジンの出力は、一般に回転数の増加とともに大きくなり、トルクはある回転数で最大となり、それ以上の回転数では低下する。しかし、最適化の計算にあたっては、エンジンの回転数、その時のトルク、変速段数、ドラム半径などを各時点において設定して集材機の性能を計算することは困難である。そこで、集材機の性能曲線をより単純な形にして集材機の性能を表現する必要がある。集材機運転中のロープ張力と巻取り速度は、エンジンの回転数と変速機の変速段数の適当な組合せを選択しているものとすれば、連続的にスムーズに変化すると考えてよい。図69について、性能曲線の図上に性能を代表すると思われる点を結ぶと、図中の点線で示した曲線が得られた。この曲線は双曲線として近似できる。すなわち、

$$(\text{ロープ引張力}) \times (\text{ロープ速度}) = \text{一定}$$

の関係がみいだされたことになる。エンジンの出力、トルクの変化、変速段数による機械効率の差などを考慮すれば、上記の関係は必ずしも正確ではないが、一応妥当なものともみなすことができる。そこで、最適化の計算では集材機の運転中の出力は一定であるものとする。その値は、トルク最大となる回転数における出力の60～65%であった（ただし、ディーゼルエンジンの場合）。

7.4.2. ブレーキ性能

集材機をブレーキについてみると、集材作業中は巻き取り側のドラム張力とブレーキ側のドラムの張力

表 90. 集材機の実効馬力

公称最大出力	トルク最大時の出力 (各種損失馬力5% を差し引いた値)	集材機の機械効率	実効出力
125 ps	82 ps	0.7	57 ps
90	56	0.7	43
75	47	0.7	33
55	33	0.7	23

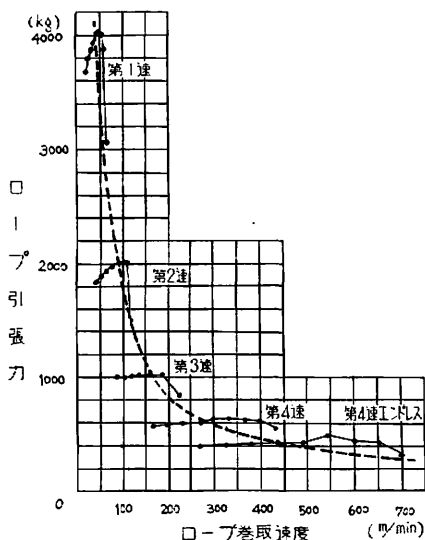


図 69. 集材機性能曲線 (MS-70-M の例)

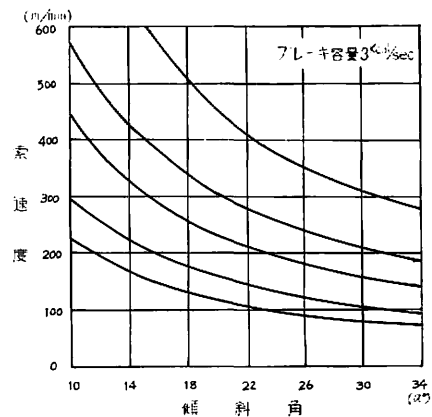


図 70. ブレーキ性能曲線

が引き合って荷重をつり上げる。またタイラー式では、自重によって降下しようとする機器をホールバックラインによって制動せねばならない。これらの場合に、ブレーキはドラムの機構上エンジンブレーキの状態では使用できず、すべてがブレーキ装置のみで負担する。したがって、集材機のブレーキの性能はエンジンの性能とともに重要なものである。

集材機のブレーキ性能に関する資料、あるいは実際の作業中の集材機のブレーキに関するデータはほとんどない。実験によるブレーキ容量は 7~10 Kcal/sec といわれているが、安全率をとって実用的には 3 Kcal/sec として図 70 のような制限速度曲線が得られている。

この制限速度曲線によれば、傾斜角 22° の場合には 1 ton の荷重（搬器その他付属する荷重も含む）をつければ、制限速度は 200m/min となる。

作業索の速度の実測例では 350~400m/min はめずらしいことではない。この実験値との差は実際の使用状態の差異によるものと考えられる。実際の使用状態は 10~20 分の 1 サイクル時間中に数十秒間程度の使用であるから、このような状態で使用するときにはそのブレーキ容量は実験によるデータよりも大きく、また容量限度いっぱいまで使用しているものと推定される。

最適化の計算では、上述のような点から一応の値として 7 Kcal/sec をとることとした。

7.5 作業索の張力

集材機による作業時間の算定を行なうために、作業索にかかる張力 (U) を求め、この張力 (U) と集材機の馬力 (F) から索の速度 (V) を計算する。さらにこの速度 (V) と作業索の巻取り必要長さ (L) から作業時間 (T) を求める。すなわち、

$$V = \frac{F}{U} \dots\dots\dots (7.20)$$

$$T = \frac{L}{V} \dots\dots\dots (7.21)$$

となる。

この節では、集材作業中の作業索の張力を、つぎのような段階に分けて計算する。

1. タイラー式の場合

- 空ローディングブロック巻上げ
- 空搬器走行
- 空ローディングブロック引込み
- 実ローディングブロック引出し
- 実ローディングブロック吊上げ
- 実搬器走行
- 実ローディングブロックおろし

2. ホーリングブロック式の場合

- 空搬器走行と空ローディングブロック引込み
- 実ローディングブロック引出し
- 実ローディングブロック吊上げと実搬器走行

張力を計算する場合の摩擦抵抗は次式によった。

$$R = e^{\mu \Sigma \beta} \dots\dots\dots (7.22)$$

ここに, μ : 抵抗係数

θ : 接触角

抵抗係数 μ は文献 (21), (22) を参考にして, $\mu=0.04$ とし, 接触角合計 $\Sigma\theta$ はリフティングライン, ホールバックラインとともに $480^\circ (=3\pi \text{ ラジアン})$ であると仮定した。したがって,

$$R = e^{0.64 \times 3\pi} \approx 1.4$$

となる。以下の計算式ではこの値を用いる。

7.5.1. タイラー式の作業索張力

1. 空ロローディングブロック巻上げ

ローディングブロックはリフティングライン2本掛けであるから、リフティングライン張力 (U_{T1}) は、

$$U_{T1} = \frac{1}{2} \left(W_{LB} + \frac{W_{HB}}{2} \right) \times R \dots\dots\dots (7.23)$$

 W_{LB} : ローディングブロック重量 W_{HB} : ホールバックライン重量

2. 空搬器走行

空搬器にかかる総重量を支間傾斜角に等しい斜面を引き上げるものとする。ホールバックライン張力 (U_{T2}) は,

$$U_{T2} = \{ (W_{CR} + W_{LR} + 0.5 \times (W_{LF} + W_{LB})) \times \sin \theta + R_S \} \times R \quad \dots\dots (7.24)$$

$$R_s(\text{しごきの抵抗})^{21)} = 0.05 \times \{W_{LB} + 0.5 \times (W_{LF} + W_{HR})\} \quad \cdots \cdots (7.24')$$

 W_{CR} : 搬器重量 W_{LF} : リフティングライン重量

3. 空ロローディングブロック引込み

空ローディングブロック引込みの方向が、主索と 45° の角度をなすものとし、この引込み方向の鉛直面内で図 71 のような面を考える。ローディングブロックが荷掛け位置に達したとき、図のようにホールバックラインとリフティングラインが直線としておのおの張力を U_{T3HR} , U_{T3LF} とすれば、

$$\left. \begin{aligned} U' r_{3HB} \cdot \sin \alpha + U' r_{3LF} \cdot \sin \beta &= W_{LB} \\ U' r_{3HB} \cdot \cos \alpha &= U' r_{3LF} \cdot \cos \beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7.25)$$

$$U'_{T_{3HR}} \cdot \cos \alpha = U'_{T_{3LF}} \cdot \cos \beta$$

$$\therefore U'_{T3LF} = \frac{W_{LR} \cdot \cos \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}, \quad U'_{T3HR} = \frac{W_{LR} \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} \quad \dots\dots\dots (7.26)$$

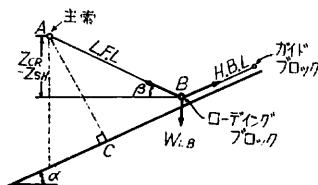


図 71. ローディングブロックの
引込みと引き出し

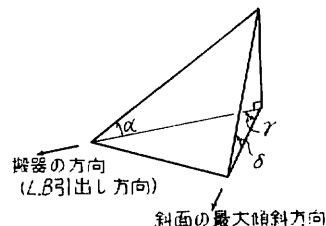


図 72. α, δ, γ の関係

α ローディングブロック引込み方向での斜面の傾斜角

β 搬器と荷掛け位置を結ぶ線の傾斜角

α は図 72 に示すように、ローディングブロック引込み方向と斜面の最大傾斜角がなす角を γ 、最大傾斜角 δ とすれば、つぎようになる。

$$\alpha = \tan^{-1}(\cos \gamma \cdot \tan \delta) \quad \dots\dots\dots(7.27)_1$$

β は主索に空搬器が負荷した場合の高さ (Z_{CR}) を、荷重点の軌跡の式から求め、ローディングブロック引込み位置が (Z_{SH}) で与えられれば、

$$\beta = \tan^{-1}\{(Z_{CR} - Z_{SH})/\sqrt{2} \times Y_{SH}\} \quad \dots\dots\dots(7.27)_2$$

Y_{SH} : ローディングブロック引込み位置の主索からの水平距離

$$Z_{CR} = x \tan \theta - S_K$$

$$S_K = 4 \cdot S_n / L \cdot \left(X - \frac{X^2}{L} \right) \sqrt{\frac{1 + 3(n + n^2)}{1 + 12(n + n^2) \left(\frac{X}{L} + \frac{X^2}{L} \right)}} \quad \dots\dots\dots(7.28)$$

ここに、

Z_{CR} : 下方支点からの搬器の位置

X : 下方支点から搬器までの水平距離

L : 上下両支点間の水平距離

n : 荷重比

S_i/L : 荷重比 m を負荷した場合の中央垂下比、設計荷重に対する垂下比 (S/L) からの換算は次式による。

$$\frac{1}{S_i/L} = \frac{1}{2M_i} \left\{ \frac{M}{S/L} - C \cdot Z \cdot (S/L)^2 + \sqrt{\left\{ \frac{M}{S/L} - C \cdot Z \cdot (S/L)^2 + \right\} + 4CM_i \cdot Z_i \cdot S_i/L} \right\} \quad \dots\dots\dots(7.29)$$

$$M = 1 + 2n$$

$$M_i = 1 + 2n_i$$

$$Z = \frac{1 + 3n + 3n^2}{(1 + 2n)^2}$$

$$Z_i = \frac{1 + 3n_i + 3n_i^2}{(1 + 2n_i)^2}$$

$$C = \frac{64 \times E \cdot A \cdot \cos^2 \theta}{3 \times W_{SK}}$$

E, A : ワイヤロープの引張弾性係数と、有効断面積

式 (7.29) は、つぎの式から導いたものである。

$$l = d \sec \theta \left\{ 1 + \frac{8}{3} \cos^4 \theta \cdot \frac{1 + 3n + 3n^2}{(1 + 2n)^2} \cdot CS/L^2 \right\}$$

$$Tm = \frac{1 + 2n}{8 \cdot S/L} \cdot W_{SK} \cdot \sec \theta$$

$$\frac{l - l_i}{l_i} = \frac{T_m - T_{mi}}{E \cdot A}$$

求めた張力 U' からドラムのところの張力とするために、その間の摩擦抵抗を考えて

$$U_{T3HN} = U'_{T3HN} \times R \quad \dots\dots\dots(7.30)_1$$

$$U_{T3LF} = \frac{1}{2} \times U'_{T3LF} / R \quad \dots\dots\dots (7.30)_2$$

となる。

4. 実ローディングブロック引出し

前述3の引込みの場合と同様な型で考える。リフティングラインを巻くことにより吊荷 (W_{LOG}) を斜面に沿って引きおろすのであるから、3の場合とは、搬器に W_{LOG} が負荷したものとすること、吊荷と斜面の間に摩擦係数 μS を考えること、滑車の摩擦がリフティング側に働くことが異なる。

図73について

$$\text{斜面に直角な力 } (W_{LOG} + W_{LB}) \cos \alpha - U'_{T4LF} \times \sin(\alpha + \beta') \quad \dots\dots\dots (7.31)$$

$$\text{摩擦抵抗 } R = \{W_{LOG} + W_{LB}\} \cos \alpha - U'_{T4LF} \times \sin(\alpha + \beta) \times \mu S \quad \dots\dots\dots (7.32)$$

斜面に平行に下方に働く力 H

$$H = U'_{T4LF} \times \cos(\alpha + \beta') + (W_{LOG} + W_{LB}) \times \sin \alpha$$

ゆえに $H=R$ として、 U'_{T4LF} を求めると

$$U'_{T4LF} = \frac{(W_{LOG} + W_{LB}) (\mu S - \cos \alpha - \sin \alpha)}{\cos(\alpha + \beta') + \mu S \cdot \sin(\alpha + \beta')} \quad \dots\dots\dots (7.33)$$

$$U_{T4LF} = \frac{1}{2} \times U'_{T4LF} \times R \quad \dots\dots\dots (7.34)$$

$$\text{ここに, } B' = \tan^{-1} \{ (Z_{CR2} - Z_{SH}) / (\sqrt{2} \times Y_{SH}) \} \quad \dots\dots\dots (7.35)$$

μS : 斜面と吊荷の曳き抵抗係数、実験より2とする。

5. 実ローディングブロックの吊上げ

$$U'_{T5LF} = \frac{1}{2} \times (W_{LOG} + W_{LB} + \frac{1}{2} W_{HB}) \times R \quad \dots\dots\dots (7.36)$$

6. 実搬器走行

吊荷をつけた機器が、支間傾斜角 θ に等しい傾きを持った斜面をころがりおろるものとして、ホールバックラインによってこれを支えるとする。

$$U_{T6HB} = \{ (W_{LOG} + W_{LB} + 0.5 \times (W_{LF} + W_{LB})) \times \sin \theta - R_S \} \times R \quad \dots\dots\dots (7.37)$$

$$R_S (\text{しごきの抵抗})^{21)} = 0.05 \times \{ W_{LOG} + W_{LB} + 0.5 (W_{LF} + W_{LB}) \} \quad \dots\dots\dots (7.38)$$

7. 実ローディングブロックおろし

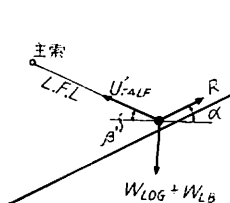


図 73. ローディングブロック引出し時の力のつりあい

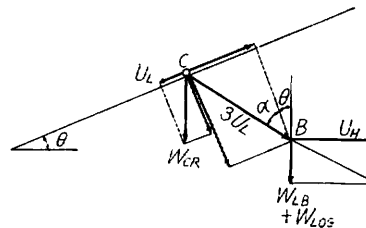


図 74. ホーリングブロック式における索張力のつりあい

リフティングラインをゆるめるから、滑車による摩擦抵抗 R の分だけドラム張力は小さくなる。

$$U_{TFL} = 0.5 \times \{W_{LHG} + W_{LH} + 0.5 \times (W_{LF} + W_{HB})\} / R \dots (7.39)$$

7.5.2. ホーリングブロック式の作業索張力

図 74 のように、主索の文間傾斜角 (θ) に等しい斜面上で、搬器重量 W_C 、ローディングブロック重量 W_{LB} 、リフティングライン張力 U_L 、ホールバックライン張力 U_H が釣合いを保っているとする。リフティングラインはローディングブロック 3 本掛けであるから図中の $\overline{CL}$ は $3U_L$ となり、ホールバックラインは水平に働くものと仮定する。釣合いの条件を考えれば、

C 点についての力の合力は、搬器がとまっていることから、主索と直角方向でなければならない。

$$U_L + W_C \sin \theta = 3U_L \cdot \sin \alpha \dots (7.40)$$

B 点について、ホールバックラインの方向を水平と仮定したから明らかに、

$$3U_L = W_{LB} \sec(\alpha + \theta) \dots (7.41)$$

式 (7.40)、(7.41) から α と θ の関係を導く。

$$\alpha = \alpha_0 + \Delta\alpha \dots (7.42)$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{3} \dots (7.43)$$

$\Delta\alpha$ は微小

式 (7.41) より

$$\begin{aligned} W / 3U_L &= \cos(\alpha_0 + \theta + \Delta\alpha) \\ &= \cos \alpha_0 - (\theta + \Delta\alpha) \sin \alpha_0 \dots (7.44) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore U_L &= \frac{W}{3} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_0 - (\theta + \Delta\alpha) \sin \alpha_0} \\ &= \frac{W}{3} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_0 - \{1 - (\theta + \Delta\alpha) \sin \alpha_0\}} \\ &= \frac{W}{3 \cos \alpha_0} \{1 + (\theta + \Delta\alpha) \tan \alpha_0\} \dots (7.45) \end{aligned}$$

ここで、 θ は大きな値ではないので $\sin \theta = \theta$ とすると式 (7.40) より、

$$\begin{aligned} U_L + W_C \cdot \theta &= 3U_L \times \sin(\alpha_0 + \Delta\alpha) \\ &= 3U_L \times (\sin \alpha_0 + \Delta\alpha \cos \alpha_0) \\ &= 3U_L \times \left(\frac{1}{3} + \Delta\alpha \cos \alpha_0 \right) \dots (7.46) \end{aligned}$$

$$\therefore W_C \cdot \theta = 3U_L \times \Delta\alpha \times \cos \alpha_0 \dots (7.47)$$

これに式 (7.45) を代入して、

$$\begin{aligned} W_C \cdot \theta &= 3U_L \cdot \Delta\alpha \cdot \cos \alpha_0 \\ &= 3\Delta\alpha \cdot \cos \alpha_0 \cdot \frac{W_{LB}}{3 \cos \alpha_0} \{1 + (\theta + \Delta\alpha) \tan \alpha_0\} \\ &= \Delta\alpha \cdot W_{LB} \{1 + (\theta + \Delta\alpha) \cdot \tan \alpha_0\} \dots (7.48) \end{aligned}$$

$(\theta + \Delta\alpha) \times \tan \alpha_0$ は微小であるから 0 とみなせば、

$$W_C \cdot \theta = W_{LB} \cdot \Delta\alpha \quad \therefore \Delta\alpha = \frac{W_C}{W_{LB}} \theta \dots (7.49)$$

式 (7.49) から $\Delta\alpha$ は搬器の重量 (W_C) とローディングブロックの重量 (W_{LB}) の比によって決まる

ことがわかる。

$$\text{空搬器の場合は} \quad \Delta\alpha = \frac{W_C}{W_{LB}} \cdot \theta \quad \dots\dots\dots(7.50)$$

実搬器の場合は、ローディングブロックの重量に吊荷重量が加わるから、 W_{LB} のかわりに $W_{LB} + W_{LOQ}$ となり、

$$\Delta\alpha = \frac{W_C}{W_{LB} + W_{LOQ}} \cdot \theta \quad \dots\dots\dots(7.51)$$

となる。

1. 空搬器走行

リフティングライン張力 U_{H1L} は、式 (7.41) (7.50) より、

$$U_{H1L} = \frac{W_{LB}}{3} \sec \left\{ \alpha_0 + \theta \left(1 + \frac{W_C}{W_{LB}} \right) \right\} / R \quad \dots\dots\dots(7.52)$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{3}$$

ホールバックライン張力 U_{H1H} は

$$U_{H1H} = (W_{LB} \sin \theta + U_{H1L}) \cdot R \quad \dots\dots\dots(7.53)$$

2. 実搬器走行

リフティングライン張力 U_{H3L} は、式 (7.41) (7.51) より、

$$U_{H3L} = \frac{W_{LB} + W_{LOQ}}{3} \sec \left\{ \alpha_0 + \theta \left(1 + \frac{W_C}{W_{LB} + W_{LOQ}} \right) \right\} \times R \quad \dots\dots\dots(7.54)$$

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{3}$$

ホールバックライン張力 U_{H3H} は

$$U_{H3H} = \{ (W_{LB} + W_{LOQ}) \cdot \sin \theta + U_{H3L} \} / R \quad \dots\dots\dots(7.55)$$

3. 実ローディングブロック引出し

タイラー式の場合と同様に行なうが、引込み角度が主索に対して 30° なるものとする。

$$U'_{H2LF} = \frac{(W_{LOQ} + W_{LB})(\mu_S \cdot \cos \alpha_1 - \sin \alpha_1)}{\cos(\alpha_1 + \beta'_1) + \mu_S \cdot \sin(\alpha_1 + \beta'_1)} \quad \dots\dots\dots(7.56)$$

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(\cos \gamma \cdot \tan \delta) \quad \dots\dots\dots(7.57)$$

$$\beta'_1 = \tan^{-1}\{(Z_{CR} - Z_{SH}) / (2 \times Y_{SH})\} \quad \dots\dots\dots(7.57)$$

$$U_{H2LF} = \frac{1}{3} \times U'_{H2LF} \times R \quad \dots\dots\dots(7.58)$$

7.6. 集材機運転速度と運転時間

前節 7.5 で求めた作業索の張力から運転速度と時間を計算する。

集材機は集材作業中を通して一定の出力 (P) で運転されるものとする。

いま集材機から作業索へ伝達される力を P とし、作業索の張力を U とすれば、作業索の速度 (V_m) は次式で表わされる。

$$V_m = \frac{P}{U} \quad \dots\dots\dots(7.59)$$

つぎに、集材機のブレーキ容量を Q とすれば、ブレーキをかけながら引き出される作業索の制限速度 (V_b) は

$$V_b = Q/U \dots\dots\dots(7.60)$$

となる。

また、集材機運転手の能力と安全性によって決まる制限速度を $V_g(t)$ とする。 $V_g(t)$ は単位作業中も一定ではなく、時間とともに連続的に変化して無理のない円滑な運転を可能にしている。

このようにして決定される速度 W_m , V_b , $V_g(t)$ の中から最も小さな速度に制限されて実際の作業索の速度 $V(t)$ が選ばれる。すなわち、

$$V(t) = \min\{V_m, V_b, V_g(t)\} \dots\dots\dots(7.61)$$

ただし、 $\min\{V_m, V_b, V_g(t)\}$ は V_m , V_b , $V_g(t)$ の中で最小のものを意味する。

まとも作業のなかで動く作業索の長さを S とすれば、その作業時間 T はつぎの式で表わされる。

$$\int_0^T V(t) dt = S \dots\dots\dots(7.62)$$

もし $V(t)$ が時間に関する簡単な関数であれば、式 (7.62) は簡単に解くことができる。以下各作業ごとに作業時間を求める。

7.6.1. タイラー式

1. 空ローディングブロック巻上げ

空ローディングブロック巻上げは、盤台上にある空のローディングブロックを吊り上げはじめて実搬器走行にはいる前までとする。この作業はさらに分解すれば荷上げ索の空巻きとローディングブロックの吊り上げに分けることができる。空巻きしなければならない作業索の長さは、集材地の地形、主索のスパン、運転の良否などによって異なる。もし地形がスパンの大小にかかわらず相似形であれば、空巻きの長さは、スパンにほぼ比例する。またローディングブロックを吊り上げる高さはやはり地形と、主索の盤台上の高さに関係するが、ほぼ盤台上の主索の高さの半分まで吊り上げるものとする。すなわち、 a を定数とすればこのまとも作業で動かす荷上げ索の長さは

$$S = a \cdot L + \frac{1}{2} H_{SK} \times 2 \dots\dots\dots(7.63)$$

ここで、 L : スパン

H_{SK} : 盤台からの主索の高さ

係数 a を定めるために調査結果を参考にすると図 75 となる。これより平均的な S を定めて a を推定すると a は約 0.2 となる。すなわち、

$$S = 0.2L + H_{SK}$$

つぎに $V_g(t)$ を決めるために標準的な荷上げ索速度を図 76 の A に示す。この速度はほぼ集材機出力の限界に近い。すなわち、この場合の適当な運転速度であると考えられる。したがって $V_g(t)$ として図 76 の B のように決定することが適当である。

$$V_g(t) = \begin{cases} t & \dots\dots 0 < t \leq 2 \\ 2 + (t-2)/8 & \dots\dots 2 < t \leq 10 \\ 3 & \dots\dots 10 < t \end{cases} \dots\dots\dots(7.64)$$

いっばんに $L > 100\text{m}$ であるから、 $S > 22$ であり、普通に用いられる集材機では $V_g \leq V_m$ である。このような場合の空ローディングブロック吊上げ作業のまとも作業時間 $T_{t1}(\text{sec})$ は、

$$T_{t1} = (S - 22)/3 + 10 \dots\dots\dots(7.65)$$

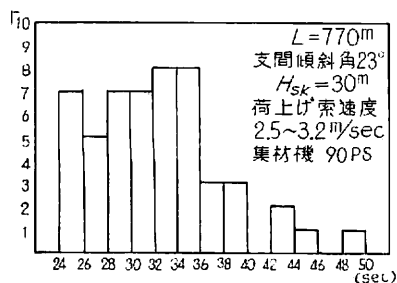


図 75. ローディングブロック巻上げ時間
頻度分布（空巻き時間を含む）
（全木集材，タイラー式，三殿宮
林署管内）

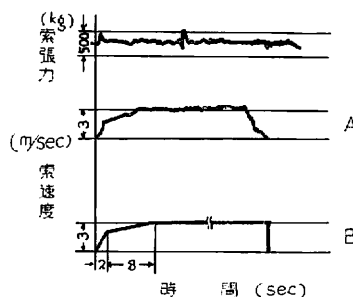


図 76. 空ローディングブロック巻上げ速
度（タイラー式）
スパン 770m，支間傾斜角 23°，
集材機 90PS

2. 空搬器走行

空搬器走行はローディングブロック吊上げが終わってから，引戻し索を巻いて空搬器を主索に沿って動かし，引込みにはいるために荷上げ索をゆるめる前までとする。搬器の動きだけに着目するとつぎの引込み作業と判然とした区別はないが，このように定義すれば明確になる。空搬器走行によって搬器の動く距離はやはりスパン，中央垂下比，傾斜，地形などによって異なる。文献 11)で規定している引込み方向を採用すれば，引込み方向は主索と 45° をなす。そこで，このまとまり作業で巻くべき引戻し索の長さ S は，

$$S = X_{SH} - Y_{SH} - X_{BAN} \quad \dots\dots\dots (7.66)$$

ここで， X_{SH} ， Y_{SH} ：荷掛けする地点の X 座標と Y 座標

X_{BAN} ：盤台の X 座標

ただし，座標は主索の方向を X 軸とし，それと直角に Y 軸をとる。

つぎに $V_0(t)$ を決定するために空搬器走行とローディングブロック引込みの速度を図 77 の A に示す。

空搬器走行は走行距離が長く，運転が容易であるため，集材機の出力の限界の速度を出している。

文献 11)は，集材機的能力によって速度の差を出している。これによれば集材機が 125PS の場合で 7.7 m/sec となっているので，実験の結果と考え合わせて，集材機的能力が十分であるならば最高速度の制限

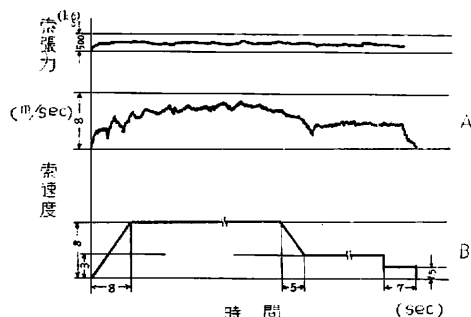


図 77. 空搬器走行とローディングブロック引込み（タイラー式）
スパン 770m，支間傾斜角 23°，
集材機 90PS

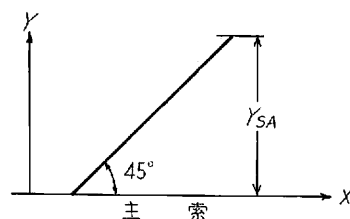


図 78. ローディングブロック
引込み方向

を 8m/sec と定めた。図の A の実測データは引戻し索の速度が引込み速度まで落ちないうちに引込みには
 いているが、これは搬器走行とローディングブロック引込みが重なり合うことを意味している。しか
 し、タイラー式の場合は図の B のように速度変化のモデルを考えても、サイクル時間の計算に大きな影響
 を及ぼさない。 $V_g(t)$ を式で示せば、

$$V_g(t) = \begin{cases} t & \dots\dots 0 < t \leq 8 \\ 8 & \dots\dots 8 < t \leq T_{t2} - 5 \\ 3 + (T_{t2} - t) & \dots\dots T_{t2} - 5 < t \leq T_{t2} \end{cases} \dots\dots (7.67)$$

ここで、 T_{t2} : 空搬器走行時間

いっぽうに走行距離は 48m 以上であるから、その時のまとまり作業時間は

$$T_{t2} = \begin{cases} (S - 48)/8 + 12 & \dots\dots V_m \geq 8 \\ \{S - V_m^2/2 - 5(V_m + 3)/2\}/V_m + V_m + 5 & \dots\dots V_m < 8 \end{cases} \dots\dots (7.68)$$

3. 空ローディングブロック引込み

ローディングブロック引込み距離は、主索と引込み滑車と集材地点の幾何学的関係によって異なるが、
 ここでは図 78 のように簡単に主索と 45° の方向に引込むと見なしたから、引込みの距離は、

$$S = \sqrt{2} Y_{SH}$$

引込み速度は図 77 の A の実測データから、はじめ 3m/sec で引込みローディングブロックが荷掛け地
 点に着く前の一定時間は速度を落とすものとする。速度を落として引込む時間は条件によって異なり、ス
 ムーズに行なわれる場合と何回もやり直す場合もあるが、標準的なものとしローディングブロックが到着
 する 7 秒前から速度を 1.5m/sec に落とすものとする。

$$\text{すなわち、} V_g(t) = \begin{cases} 3 & \dots\dots 0 < t \leq T_{t3} - 7 \\ 1.5 & \dots\dots T_{t3} - 7 < t \end{cases} \dots\dots (7.69)$$

ここで、 T_{t3} : 空ローディングブロック引込み時間

このまとまり作業における引戻し索の平均張力は、横取り距離が長くなればかなり大きな値になること
 が考えられるので、必ずしも $V_m > 3$ は成立しない。したがって、まとまり作業時間は、

$$T_{t3} = \begin{cases} (S - 10)/3 + 7 & \dots\dots V_m \geq V_g \\ (S - 10)/V_m + 7 & \dots\dots V_m < V_g \end{cases} \dots\dots (7.70)$$

4. 実ローディングブロック引出し

この作業は荷をかけたローディングブロックを地面をひきずって主索の近くへ寄せる作業で、荷が空中
 に吊り上がるまでを意味する。荷が吊り上がる地点は地形、運搬の方法によって異なる。荷上げ索にかか
 る張力を過大とせず、しかも作業をなめらかに運ぶ標準的な形として図 71 のように、主索から荷掛けす
 る斜面の下した垂線の位置まで引出しを行なうものとする。この間に巻かなければならない荷上げ索の長
 さは

$$S = 2 \times (AB - AC) \dots\dots (7.71)$$

図より AB, AC はそれぞれ

$$\left. \begin{aligned} AB &= \sqrt{2 \cdot Y_{SH}^2 + (Z_{CR} - Z_{SH})^2} \\ AC &= (\sqrt{2} \cdot Y_{SH} \cdot \tan \alpha + Z_{CR} - Z_{SH}) \times \cos \alpha \end{aligned} \right\} \dots\dots (7.72)$$

ここで、 Z_{CR} : 引出し時の搬器の Z 座標

つぎに $V_g(t)$ を決めるために標準的な荷上げ索の速度変化のデータを図 79 の A に示す。他のまともり作業と同様に B に示す速度を $V_g(t)$ と定める。すなわち、

$$V_g(t) = \begin{cases} t & \dots\dots 0 < t \leq 2 \\ 2 & \dots\dots 2 < t \end{cases} \dots\dots (7.73)$$

したがって、このまともり作業時間は

$$T_{t1} = \begin{cases} 2 + (S-1)/2 & \dots\dots V_m \geq 2 \\ V_m + (S - V_m^2/2)/V_m & \dots\dots V_m < 2 \end{cases} \dots\dots (7.74)$$

5. 実ローディングブロック吊上げ

実ローディングブロック吊上げは、引出しが終わってから吊荷が宙吊りのまま主索の下へ引き寄せられて、荷上げ索の巻取りが終わるまでを意味する。この作業中にローディングブロックが動く距離は図 71 の AC より少し短い、近似的に AC に等しいとすれば、巻き取らねばならない荷上げ索の長さは、

$$\begin{aligned} S &= 2 \times AC \\ &= 2 \times \sqrt{2Y_{SH}^2 + (Z_{CR} - Z_{SH})^2} \dots\dots (7.75) \end{aligned}$$

$V_g(t)$ は図 79 の A を参考にして B のように定める。すなわち、

$$V_g(t) = \begin{cases} 2 & \dots\dots 0 \leq t \leq T_{t5} - t \\ T_{t5} - t & \dots\dots T_{t5} - t < t \end{cases} \dots\dots (7.76)$$

したがってまともり作業時間は

$$T_{t5} = \begin{cases} 2 + (S-1)/2 & \dots\dots V_m \geq 2 \\ V_m + (S - V_m^2/2)/V_m & \dots\dots V_m < 2 \end{cases} \dots\dots (7.77)$$

6. 実搬器走行

実搬器走行は荷上げ索を固定したまま、引戻し索をゆるめて搬器を盤台上まで主索に沿って走らせる作業を意味する。この間の搬器が走行する距離は、

$$S = X_{SH} - \sqrt{2} Y_{SH} - X_{BAN} \dots\dots (7.78)$$

タイラー式では自重で降下するから、走行速度は集材機のエンジン出力とは関係しない。しかし、引戻し索のブレーキが必要であるから、ブレーキ容量から決定される制限速度がある。また、自重走行は速度変化が連続的であるため、 $V_g(t)$ に関しては最高速度を終点付近について規定すれば十分である。走行開始後の方程式を求めるために、まず主索の荷重点の軌跡を計算する。タイラー式が採用される地形では走

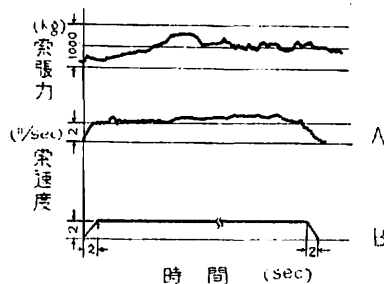


図 79. 実ローディングブロック引出しと吊上げ（タイラー式）
スパン 770m, 支間傾斜角 23° ,
集材機 90PS

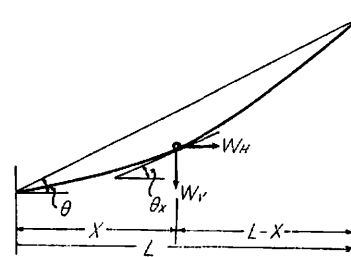


図 80. 搬器の軌跡

行速度を求めるのに主索ののびは無視できるものとして、軌跡は次式で表わされる。

$$Z = 4s \left(X - \frac{X^2}{L} \right) \sqrt{\frac{1 + (n + n^2)}{1 + 12(n + n^2)(X/L + X^2/L)}} \quad \dots\dots\dots(7.79)$$

ここで、 s ：主索の中央垂下量、 n ：荷重比、 L ：スパン

したがって、荷重が (X, O, Z) にある場合の荷重点の進行方向が水平となす角を図 80 のように θ_x とすれば、

$$\begin{aligned} \tan \theta_x &= \tan \theta - \frac{ds}{dX} \\ &= \tan \theta - 4 \frac{s}{L} \cdot (1 - 2k) \{1 + 6(n + n^2)(k + k^2)\} \\ &\quad \times (1 + 3n + 3n^2)^{\frac{1}{2}} \{1 + 12(n + n^2)(k - k^2)\}^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots(7.80) \end{aligned}$$

つぎに搬器に働く鉛直方向の力は、

$$W_V = W_{LOG} + W_{LB} + W_{LFF}/2 + 0.6 \times q_{HB} \times (L - X) \quad \dots\dots\dots(7.81)$$

ここで、 W_{LOG} ：吊荷重量、 W_{LB} ：ローディングブロック重量

W_{LFF} ：荷上げ索重量、 q_{HB} ：引戻し索単位重量

水平方向の力は引戻し索による力だけである。これを引戻し索の重量の 0.4 倍と考えると、

$$W_H = 0.4 \times q_{HB} \times (L - X) \quad \dots\dots\dots(7.82)$$

搬器とともに動く重量は、

$$W_M = 2.0 \times L \times \sec \theta \times q_{HB} + W_{CR} + W_{LOG} + W_{LB} \quad \dots\dots\dots(7.83)$$

ここに、 W_{CR} ：搬器重量

したがって、搬器の進行方向に働く加速度 (P) は、

$$P = \frac{9.8}{W_M} \{ (W_V - \mu \sigma \times W_H) \times \sin \theta_x - (\mu \sigma \times W_V + W_H) \times \cos \theta_x - R_S \} \quad \dots\dots\dots(7.84)$$

ここで、 $\mu \sigma$ ：搬器の抵抗係数 ($= 0.03$)

R_S ：荷上げ索がローディングブロックを通過するときのしごきの抵抗 ($= 0.05(W_V - W_{CR})$)

そこで運動方程式は、

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = P \cos \theta_x \quad \dots\dots\dots(7.85)$$

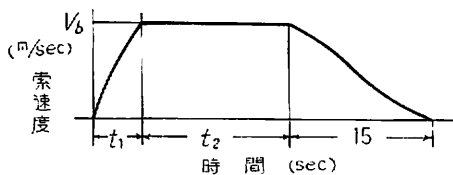


図 81. 実搬器走行の速度 (タイラー式)

式 7.85 は非線形微分方程式であるため、これを解くには計算機で数値解法すればよい。

つまり、実搬器走行の初期は式 7.85 によって特性が決定され、搬器の速度が制限速度 8m/sec に達するがブレーキ容量から決まる制限速度 V_b に達すれば、その速度を保持する。また盤台の上方 60m に

達すればブレーキをかけ始めて 15 秒間に盤台上に達するものとする。いま制限速度が V_b の場合の速度変化の例を図 81 に示す。実搬器走行時間は、

$$T_{t6} = t_1 + t_2 + 15 \quad \dots\dots\dots(7.86)$$

ここで、 t_1 ：式 7.85 によって

(a) 速度が V_b に達する

(b) 速度が 8m/sec に達する

(c) (S-60) を走行する

時間のうちいずれか小さい時間

t_2 : 制限速度で走行する時間 (c) の場合は 0)

7. 実ローディングブロック卸し

この作業は、盤台上に荷をつける搬器が到着してから、荷を盤台へ卸し荷はずしできる状態になるまでとする。この作業には吊荷の大きなゆれを止め、材の方向を定め、盤台上の位置を選ぶことが含まれるので、作業時間のばらつきが大きい。とくに全木集材の場合は吊荷を卸す位置と方向が強く規制されるため、普通集材の場合より作業時間として多くを要すると考えられる。さらにこの作業の大半は位置と方向を定めることであって、集材機のブレーキをゆるめて荷をおろす場合の索速度は十分に大きく、時間は短い。したがって、荷卸し作業に対する地形、スパンの影響は考慮しなくともよい。実験の調査データから作業時間の頻度分布を図 82, 83 に示す。これらの図から荷卸し時間の標準的な値として、つぎのように定める。すなわち、

$$T_{17} = \begin{cases} 20 & \cdots \cdots \text{普通集材の場合} \\ 30 & \cdots \cdots \text{全木（全幹）集材の場合} \end{cases} \quad (7.87)$$

7.6.2. ホーリングブロック式

1. 空搬器走行とローディングブロック引込み

このまとめり作業は図 84 に示すように、盤台上の点 (A) にあるローディングブロックを、荷掛する地点 (B) まで移動させることを意味する。この間に搬器も動くが、その動きにかかわらず引戻し索の巻取り長さは AB を結ぶ長さとなる。すなわち、

$$S = \sqrt{(X_{SH} - X_{BAN})^2 + Y_{SH}^2} \quad (7.88)$$

この作業中は集材機にかかる負荷が小さいので、集材機的能力いっぱいの速度で行なわれることが多い。 $V_0(t)$ を容易に決定できない。

しかし、定常走行の制限速度は、タイラー式よりもやや速度が落ちるとして 7m/sec を限界として、 $V_0(t)$ の前半を図 85 のように定める。また、ローディングブロックが着地点に近づくときタイラー式の場

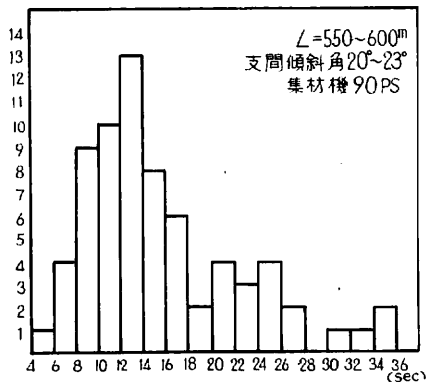


図 82. 荷卸し時間の頻度分布
(普通集材・タイラー式)

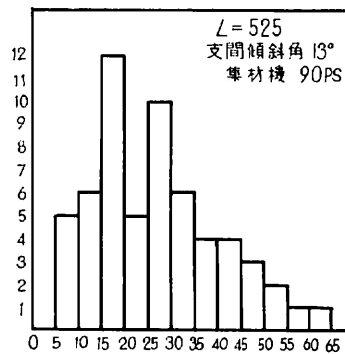


図 83. 荷卸し時間の頻度分布
(全木集材・タイラー式)

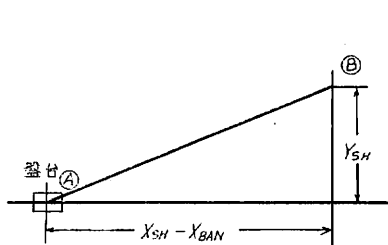


図 84. ローディングブロック引込み位置

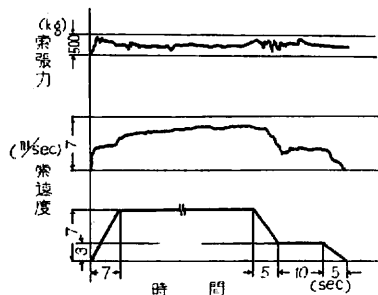


図 85. 空搬器走行とLB引込み（ホーリングブロック式）スパン 530m, 支間傾斜角 13°, 集材機 90 PS

合と同様に、安全に確実に操作するために速度を落さなければならない。無理のない運転から図 85 のように速度を落としてこのまもり作業を終了するものとする。すなわち、

$$V_y(t) = \begin{cases} t & \dots\dots 0 \leq t \leq 7 \\ 7 & \dots\dots 7 \leq t < T_{H1} - 20 \\ T_{H1} - t - 13 & \dots\dots T_{H1} - 20 \leq t < T_{H1} - 15 \\ 2 & \dots\dots T_{H1} - 15 \leq t < T_{H1} - 5 \\ 0.4(T_{H1} - t) & \dots\dots T_{H1} - 5 \leq t < T_{H1} \end{cases} \quad (7.89)$$

ここで、 T_{H1} ：空搬器走行時間とローディングブロック引込み時間

いっぽんに、この作業中における引込み索張力は小さく、最高速度が 2m/sec より小さいことはない。

したがって、この作業時間は

$$T_{H1} = \begin{cases} (S - 72) / 7 + 27 & \dots\dots V_m \geq 7 \\ \{S - V_m^2 / 2 - 5(V_m + 2) / 2 - 25\} / V_m + V_m + 20 & \dots\dots V_m < 7 \end{cases} \quad (7.90)$$

2. 実ローディングブロック引出し

このまもり作業はタイラー式の場合と同様に、荷を掛けたローディングブロックを地面に沿って引き出し、荷が空中に吊り上げられるまでとし、引出す位置はタイラー式の場合と同様に、主索から荷掛けする斜面に下した垂線の位置までとする（図 71 参照）。

空搬器走行が終了したときのローディングブロックと搬器の位置は、図 86 に示すように主索と 30° の方

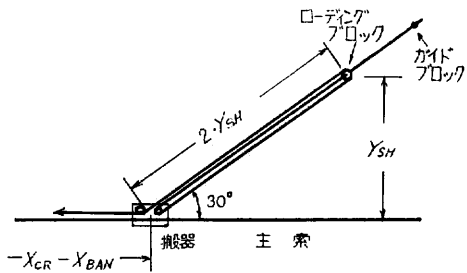


図 86. 搬器とローディングブロックの位置

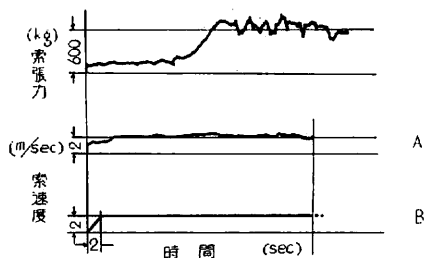


図 87. 実ローディングブロック引出し（ホーリングブロック式）スパン 530m, 支間傾斜角 13°, 集材機 90 SP

向をなすものとする¹¹⁾。したがって、引出しのために巻き取らねばならない引寄索の長さは、ローディングブロックへ3本掛けとして、

$$S=3(AB-AC) \quad \dots\dots\dots(7.91)$$

$$AB=\sqrt{4Y_{SH}^2+(Z_{CR}-Z_{SH})^2}$$

$$AC=(2Y_{SH}\tan\alpha+Z_{CR}-Z_{SH})\cos\alpha$$

$V_y(t)$ についてはタイラー式の場合と同様に考えて、標準的運転速度を図87とする。すなわち、

$$V_y(t)=\begin{cases} t & \dots\dots 0\leq t\leq 2 \\ 2 & \dots\dots 2<t \end{cases} \quad \dots\dots\dots(7.92)$$

したがって、このまとまり作業時間は、

$$T_{H2}=\begin{cases} 2+(S+1)/2 & \dots\dots V_m\geq 2 \\ V_m+(S-V_m^2/2)/V_m & \dots\dots V_m<2 \end{cases} \quad \dots\dots\dots(7.93)$$

3. 実ローディングブロック吊上げと実搬器走行

このまとまり作業は、実ローディングブロック引出しが終わったときから引寄索を巻きながら引戻索をゆるめて、盤台上に吊荷が達するまでとする。ホーリングブロック式ではタイラー式と異なり、吊荷が地面から離れたときから実ローディングブロック吊上げと、実搬器走行との区別は明りょうでない。このまとまり作業で巻き取るべき引寄索の長さは図86からわかるように、

$$S=X_{CR}-X_{HAN}+3\times 2Y_{SH}-S' \quad \dots\dots\dots(7.94)$$

ここで、 S' ：実ローディングブロック引出しに要した巻き取り長さ

$V_y(t)$ については集材機の性能が十分であれば、図88に示すような速度変化を標準とし、その最高速度を7m/secとする。すなわち、

$$V_y(t)=\begin{cases} 2 & \dots\dots 0\leq t\leq 5 \\ 2+(t-5) & \dots\dots 5\leq t\leq 10 \\ 7 & \dots\dots 10\leq t\leq T_{H3}-5 \\ \frac{7}{5}(T_{H3}-t) & \dots\dots T_{H3}-5\leq t\leq T_{H3} \end{cases} \quad \dots\dots\dots(7.95)$$

ここで、 T_{H3} ：実ローディングブロック吊上げと実搬器走行時間

この作業中は集材機エンジンとブレーキがともに働いており、エンジン性能から決められる速度と、ブ

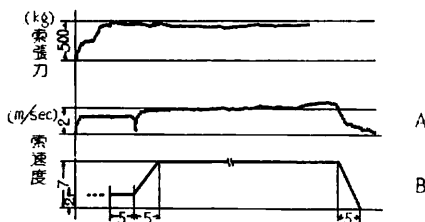


図 88. 実ローディングブロック吊上げと実搬器走行（ホーリングブロック式）
スパン 650m, 支間傾斜角 2°, 集材機 90 PS

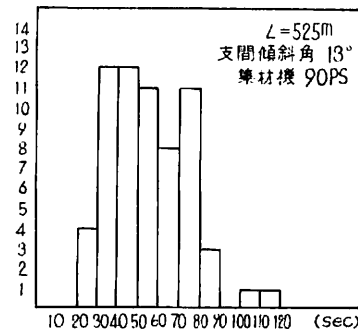


図 89. 荷卸し時間の頻度分布（全木集材・ホーリングブロック式）

レーキから決められる速度があって、それぞれを V_m , V_b とすれば、運転可能な速度はそのいずれか小さい方である。すなわち運転速度を V_{mb} とすると、

$$V_{mb} = \min\{V_m, V_b\} \quad \dots\dots\dots (7.96)$$

この作業時間は、

$$T_{H_4} = \begin{cases} (S-50)/7+15 & \dots\dots V_{mb} \geq 7 \\ (S-10-5(1+V_{mb}))/V_{mb}+15 & \dots\dots V_{mb} < 7 \end{cases} \quad \dots\dots\dots (7.97)$$

4. 実ローディングブロック卸し

このまとり作業は、盤台上に到達した吊り荷を盤台上におろして、荷はずしができる状態となるまでとする。内容はタイラー式の場合について述べたとおりであるが、ホーリングブロック式では、タイラー式と比較して、吊荷の位置と方向を定める運転操作がやや困難であって、それだけ時間も多く要すると考えられる。実験調査した全木集材のローディングブロック卸し作業時間の頻度分布を図 89 に示す。これによれば平均 50～60 秒を要しているが、この調査地の地形条件の悪さを考慮して、タイラー式の場合の時間との関係からつぎのように定める。

$$T_{H_4} = \begin{cases} 30 & \dots\dots \text{普通集材の場合} \\ 40 & \dots\dots \text{全木（全幹）集材の場合} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (7.98)$$

7.7. 要 約

集材機および集材架線の特性を検討して、つぎのような結果を得た。

1. 集材架線の許容荷重は式 (7.6) で与えられる。
2. 搬器、ローディングブロック重量は式 (7.4), (7.5) で与えられる。
3. 集材機ドラムの性能として、ロープ引張力と速度の関係が示され、エンジンの実効馬力は最大出力の 60～65% であり、集材機の機械効率率は約 0.7 である。式 (7.18), (7.19)
4. 集材機ブレーキ容量が明らかになれば、ブレーキ制限曲線が得られる。

以上の機械的性質をもとにして、集材機作業の時間を計算するために式 (7.20), (7.21) をもとに索張力および作業時間を求める式を立てた。

1. 集材機作業中の作業索張力は、7.5 で述べた作業区分にしたがって、それぞれについて式 (7.23) ～(7.58) を導いた。
2. 集材機作業の時間を求めるために式 (7.59)～(7.98) を立てた。このとき、作業の安全性、確実性から作業索と搬器の動く速度に制限を設けた。
3. ホーリングブロック式の作業索張力解析のために、新たに式を誘導して用いた。
4. タイラー式の実搬器が降下する場合の加速度の式から、所要時間と速度を求めたが、この計算式 (7.67) ～ (7.70) はタイラー式とホーリングブロック式のいずれが適当かを判断する根拠とした。

8. 最適化プログラムの作成

8.1. 概 説

これまで、本研究の対象となるシステムを最適化する場合の目的関数について述べたが、ここでは、目的関数を最小とする最適化を行なう。最適化は具体的には目的関数を最小とするように、次のことを決定することである。

1. 工程（普通集材方式か全木集材方式かの選択）
2. 架線方式（タイラー式かホーリング式かの選択）
3. 架空線の直径
4. 集材機の馬力
5. 作業人員（普通集材方式では荷掛け人員，全木集材方式では盤台作業人員）

ここで与えられる現象データは次のものである。

1. 荷卸し点，架線の位置
2. 作業地の斜面の数（5.2参照）
3. 各斜面ごとにその位置，面積，傾斜方位と傾斜
4. 各斜面ごとに立木1本ごとの樹種，胸高直径，樹高
5. 樹種ごとにその木の材積計算式，比重，細り曲線の式

最適化は，実際には，最適化プログラムに現場のデータをつけて，一度計算機にかけると，決定すべき変数の値，その他すべての情報が得られなければならない。この条件を満足する計算機プログラムの開発を行なうためには，これまで述べた事項だけでは不十分である。そこで本章では，はじめにプログラムの作成の準備を行なう。次にプログラムの大要を述べ，さらにくわしい説明を行なう。

8.2. 最適化プログラム作成の準備

最適化プログラムの定式化を行なうためには，目的関数を与えられるデータと，前節にあげた決定すべき変数によって計算できる形になっていなければならない。すなわち，目的関数 I は次の形であることが要求される。

$$I = f(X, q) \quad \dots\dots\dots(8.1)$$

ここで， X は $x_1, x_2, \dots, x_n$ のベクトル表示であり， x_i は与えられるデータである。

式 (2.1) を作るため，4章から7章まで次の過程をくり返してきた。

$$\begin{aligned} I &= f_1(Y, q) \\ Y_1 &= g_1(Y_2, q) \\ &\vdots \\ Y_{m-1} &= g_{m-1}(Y_m, q) \quad \dots\dots\dots(8.2) \end{aligned}$$

ここで， Y_i は $y_{i1}, y'_{i2}, \dots, y_{ini}$ のベクトル表示で， y_{ij} は媒介変数である。

$$\text{このくり返しによって最後に } Y_m = X \quad \dots\dots\dots(8.3)$$

となれば，式 (8.1) が構成できたことになる。

これまで行なってきたシステムの解析では式 (8.3) には至らない。そこでまず式 (8.2) で抜けている部分を補い，式 (8.3) までつなぐためには次の項目について定式化する必要がある。

1. 立木1本あたりの採材玉数および末口径
2. 普通集材する玉数および全木集材する木の本数（半幹後）
3. 1回ごとの集材サイクル時間
4. 使用スリング数およびサイクル1回ごとの荷掛けスリング数
5. 集材機の総仕事量
6. 集材作業におけるガイドブロック位置替えおよび電話線移動
7. 荷掛け作業における退避距離

8. 全木伐倒および伐木造材における作業移動距離

9. 歩行速度

以上いずれも定式化が困難で、しかも、ばらつきの多い確率過程となるものが多いが、以下本節で順次あつかうことにする。

8.2.1. 立木 1 本あたりの採材玉数および末口径

6 章では立木 1 本あたりの伐倒、造材の作業量の算出法をのべたが、そこでは作業量と樹種、胸高直径、樹高、玉数、末口径などとの関係を示した。このうち玉数と末口径はデータとして与えられないので、次に示すように計算によって求める必要がある。

(i) 玉 数

樹種が決まれば、その木の胸高直径あるいは樹高と玉数の関係を求めることができる。長野局選定方針書⁹⁾では胸高直径と採材玉数の関係を与えているが、これと今回の上松における調査を比較すれば図 90 となる。両者が一致しないことは明らかである。一致しない原因は図 91 に示すように選定方針書で決定した樹高一胸高直径の関係と、調査木とが異なっているためである。そこで、選定方針書において玉数と樹高の関係に写して比較すれば、図 92 のようにうまく一致する。したがって、玉数は樹高から求めるのがよいことがわかる。選定方針書および調査資料ともに玉数： m と樹高： H の関係は

$$m = \frac{H}{l} \dots\dots\dots (8.4)$$

ここで、 l : 材長

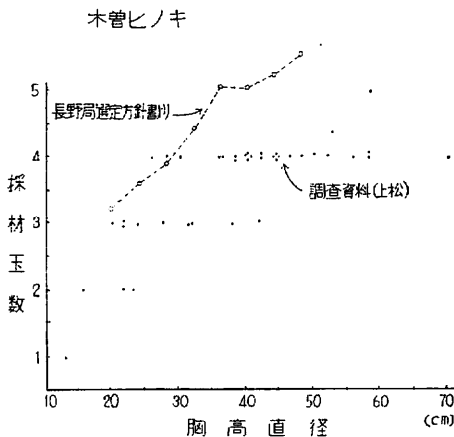


図 90. 胸高直径と採材玉数の関係

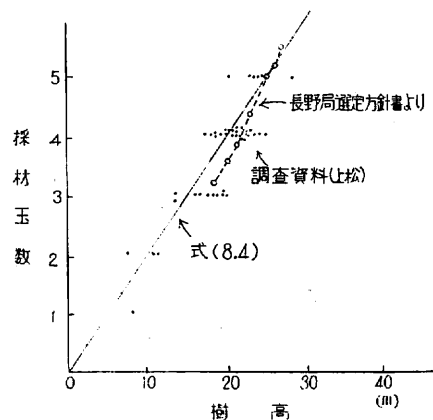


図 92. 樹高と採材玉数の関係

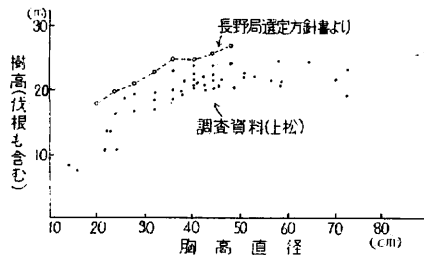


図 91. 胸高直径と樹高の関係

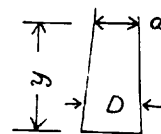


図 93.

なお、材長は樹種によって異なるが、樹種ごとにデータとして与えることができる。

(ii) 末口径

玉切作業を行なう場合、樹種ごとに玉切り位置を知ることができるが、その末口径も求める必要がある。そのためには、樹幹の形があらかじめわかっているなければならない。樹幹の形についてはこれまで研究がなされているが、選定方針書では一定の細り率を与えている。すなわち、10m 先へいくごとに 8cm 細くなるとしている。

しかし実際は、胸高直径が大きいほど細り率も大きくなり、この値を使うことはできない。

そこで筆者は、次の樹幹曲線を提案して用いることにする。

$$d = D - kh^2(1 + C_2D) \dots\dots\dots(8.5)$$

式(8.5)を求めるには次のようにすればよい。ヒノキの例であるが、図93に示すように、胸高直径 D の木の玉切りの位置を伐根高から h とし、その末口径を d とする。

$P = d/D$ とし、胸高直径ごとに P と h の関係を示せば図94になる。図から各曲線の代表となる曲線を求めれば図95のようになる。 $Q = 1 - P$ とすれば Q は h と D の値によって決まる。図95から Q は h の値にかかわらず、同じ h においては一定の比になるものとしてよい。そこである代表の h を選んでその Q を求める。図では $h=5$ とすれば、 $Q(h, D)$ の値は、

$$D=20 \quad Q=0.17$$

$$D=40 \quad Q=0.12$$

$$D=60 \quad Q=0.09$$

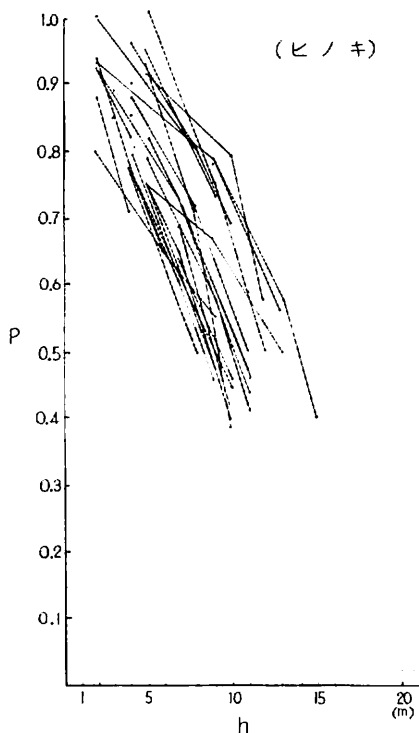


図 94. A $D \leq 29\text{cm}$ の P と h の関係

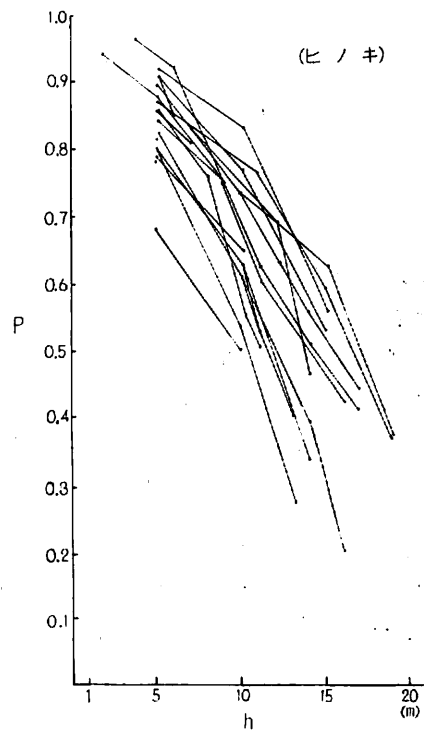


図 94. B $30 \leq D \leq 49\text{cm}$ の P と h の関係

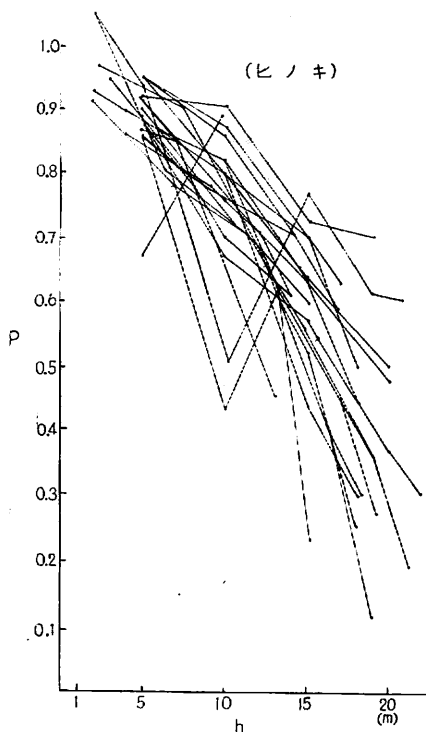


図 94. C $D \geq 50$ cm の P と h の関係

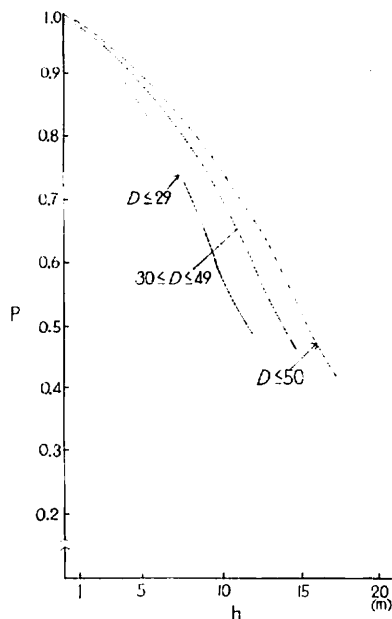


図 95. 樹幹曲線

基準になる D をとり、 D の比を R として

$$R = b_0 + b_1/D = C_1 \left(\frac{1}{D} + C_2 \right) \quad \dots\dots\dots (8.6)$$

として求める。この場合は、 $D=20$ として

$$R \approx \frac{1}{0.07} \left(\frac{1}{d} + 0.02 \right)$$

次に、代表的な D について P と h の関係を求める。

図から、 $Q = k_1 h^x \dots\dots\dots (8.7)$

とすればよいことがわかる。

そこで、 $\log Q = x \log h + \log k_1 \dots\dots\dots (8.8)$

において X を求める。この場合は $X=1.4$ となる。したがって、 $Q(D, h)$ は次の形で表わされる。

$$Q(D, h) = k h^x \left(\frac{1}{d} + C_2 \right) \quad \dots\dots\dots (8.9)$$

この場合は、 k は代表点からすぐ決定できる。また、 $h=0.22$ 、式 (8.9) を d に戻せば、 $Q = \frac{D-d}{D}$ より式 (8.5) が得られる。この場合は、 $d = D - 0.22h^{1.4}(1 + 0.02d)$

式 (8.5) はヒノキの場合であるが、他の針葉樹についても同様に成立すると考える。また、個々の木によってかなりばらつきがあるが、平均値としてはよい推定となろう。なお、より正確な樹幹曲線が得られればそれを用いてもよいが、ここでは式 (8.5) を用いることにする。

8.2.2. 普通集材する玉数および全木集材する木の本数

与えられるデータから立木本数がわかり、1木あたりの採材玉数も求まるが、集材するときの吊り荷の重量制限によって全木集材は半幹とし、普通集材でも規定の1玉でも大きすぎるときは、1段小さい玉にすることが必要になる。また、そうした場合には集材する木、玉の数が異なってくる。ここではその算法を示す。

いま、吊り荷の重量制限が W_G とし、玉あるいは木（今後、木は省略）、重量分布を次のようにする。

重量 W_i の玉が N_i 個 ($i=1, 2, \dots$)、するとほとんどの場合は、 $W_i \leq W_G$ であるが、もし $W_i > W_G$ の玉があったとする。すなわち、 $W_i > W_G$ の成立する $N_i > 0$ の i が存在することである。この場合にはその玉は W_G ごとに分割していく。

すなわち、

$$W_j = K W_G + W_Y \dots\dots\dots (8.10)$$

ここで、 K は整数、 $W_Y > W_G$

そこで、 W_j の玉 N_j 個は W_G の玉 KN_j 個と W_Y の玉 N_j 個になる。この操作を、 $W_j > W_G$ のすべての W_j について行なえば、制限荷重以下の重量分布と合計玉数をうることができる。

8.2.3. 1回ごとの集材サイクル時間

集材作業時間を求めるためには、本来1サイクルごとの時間を求める必要があるが、計算に時間がかかるため、次のような近似を行なう。

1. 荷掛時間、集材機運行時間は斜面が同じならば一定値をとる。
2. 1つの斜面で集材するサイクル数は、その斜面にある立木の重量の合計に比例する。

すなわち、斜面 1, 2, ..., n にそれぞれ立木重量の合計 $W_1, W_2, \dots, W_n$ が対応していれば 5.4 で求めた全サイクル数 N を用いて、各斜面で行なわれる集材サイクル数 N_i は、

$$N_i = \frac{W_i}{W_1 + W_2 + \dots + W_n} N (i=1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (8.11)$$

また、1つの斜面に対する集材機運行時間は、斜面の代表点としてその中心を選び、そこから集材するものとする。

また、荷卸時間も斜面ごとにその平均値を用いる。盤台作業は、全サイクルを通じて一定の作業量があるものとして行なう。このことは、盤台作業は1サイクルごとに必ず終了しなくてもよいことを意味する。

8.2.4. 使用スリング数およびサイクル1回ごとの荷掛け

スリング数

集材システムの最適化を行なうことは、使用スリング数を決定することも含んでいる。また使用スリングを毎サイクル必ず使うとは限らず、各サイクルごとに荷掛けスリング数を求める必要がある。

サイクルごとの荷掛本数については 5.4 で求めたが、その材を何本のスリングに掛けるかを知るため、今回の調査から2本以上の材について荷掛けスリング数を調べてみれば、表91になる。

いずれも残りは1本のスリングに1本掛けである。

表からわかるように、荷掛本数に対するスリング数は地域によってかなり差がある。しかし、その共通点を見いだせば、次のようになる。

1. 普通集材で使用スリング数を n 本とすれば、 $n+1$ 本以上の材を荷掛けする割合は 0.4 以下。
2. 全木集材で使用スリング数を n 本とすれば、 $n+1$ 本以上の材を荷掛けする割合は 0.2 以下。

表 91-a 普通荷掛け (三殿)

荷掛け スリング数	荷掛け本数 2	3	4
1	0.02	0.02	0
2	0.48	0.30	0.02

表 91-b 全木荷掛け (三殿)

荷掛け スリング数	荷掛け本数 2	3	4
1	0.1	0.03	0
2	0.05	0.03	0.03

表 91-c 普通荷掛け (上松)

荷掛け スリング数	荷掛け本数 2	3	4	5
1	0.02	0	0.01	0
2	0.06	0.06	0.03	0
3	0	0.23	0.25	0.10

表 91-d 全木荷掛け (坂下)

荷掛け スリング数	荷掛け本数 2	3	4
1	0	0	0.02
2	0.51	0.06	0

これを用いて、一般に使用スリング数を次のように決める。

1. 普通集材で荷掛けする材の数が $(n+1)$ 本以上である確率が 0.5 以下ならば、使用スリング数は n 本とする。
2. 全木集材で荷掛けする木の数が $(n+1)$ 本以上である確率が 0.2 以下ならば、使用スリング数は n 本とする。

普通と全木とで異なるのは、普通集材は 1 サイクル荷掛けする材の数は全木より多く、せまい範囲から集めるため、1 本のスリングに 2 本以上掛ける場合が多いためである。

8.2.5. 集材機の総しごと量

4.5.3 で機械運転経費の算出を述べたが、そこで全集材作業を行なうのに要する集材機の総しごと量： $W_{SH}(PS-h)$ を求めることが必要であった。それは次のように仮定して行なうことにする。

1. しごと量は集材機運転の各部分で、集材機が索を巻き取るときの張力と巻き取った距離を乗じて、その合計として厳密に算出する。
2. 全サイクルを斜面ごとに分割し、1 つの斜面では 1 サイクルあたり同じしごと量であるものとする。

$$\text{すなわち、} \quad W_{SH} = \sum_i (n_i \times W_{SHci}) \quad \cdots \cdots (8.12)$$

ここで、 n_i ：斜面 i における集材サイクル数

W_{SHci} ：斜面 i における 1 サイクルあたりしごと量。

$$\text{また、} \quad W_{SHci} = \sum_j (U_j \times L_j) / 75 \quad \cdots \cdots (8.13)$$

ここで、 $\sum_j$ は L B 巻上げから材着地までの 1 サイクルのすべての集材機運転工程について行なう。

U_j ： j 工程の索の張力 (Kg)

L_j ： j 工程の索の巻取りの長さ (m)

8.2.6. 集材作業におけるガイドブロック位置替えおよび電話移動

普通集材、全木集材ともに数サイクルの集材ごとにガイドブロックの位置を替える作業を行なう。この作業は発生回数は少ないが、作業時間が比較的大きいため無視することができない。また、電話線移動も集材に必要な作業である。この 2 つは、サイクル時間を組み立てる場合に取扱いが複雑になるため、サイクル時間とは別に考え、次のように仮定する。

ガイドブロック位置替えはサイクル時間には含まれない (式 (5.4) (5.12) 参照)。

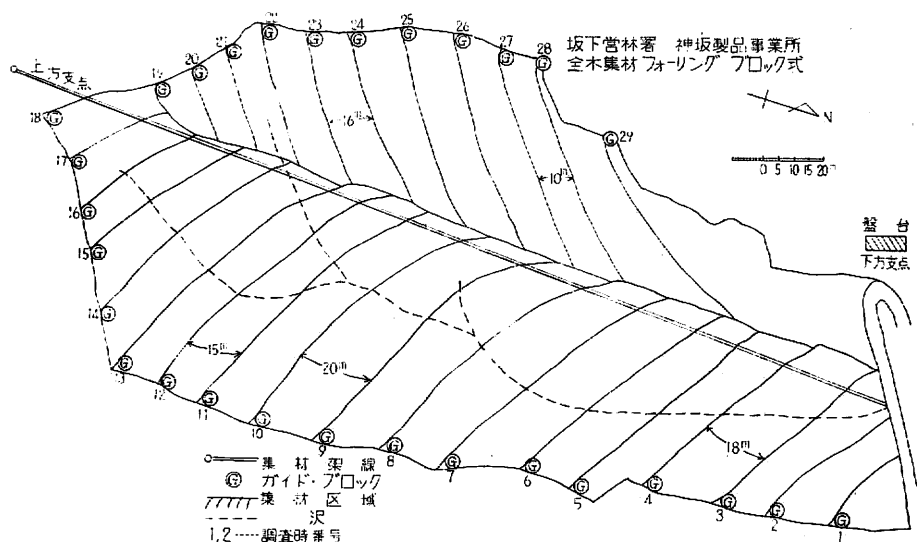


図 96. ガイドブロックの位置と集材範囲

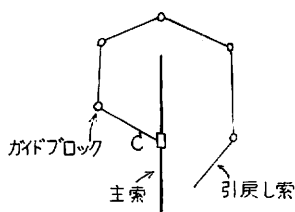


図 97. A

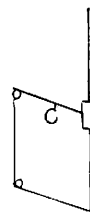


図 97. B

しかし、全集材作業量算出には、その集材地全体に要したガイドブロック位置替えの作業量を含む。また電話移動も同様に考える。

次に、集材地に必要な作業量を求めるために、1つのガイドブロックによって集材可能な範囲を求めた。図96に坂下の事業地の例を示すが、これからわかるように1つのガイドブロックに、主索にはほぼ45°をなす帯状の範囲が対応している。主索と平行な方向にその幅を求めれば、ほぼ 20m となる。そこで位置替えは、このように主索に沿って 20m ごとに行なうものとする。電話移動もそのときに行なうと仮定する。

8.2.7. 荷掛作業における退避距離

普通、全木ともに荷掛作業において、集材機が作業索を動かしている間は、集材手は索の下および危険な内角にはいってはならないことが規定されている。しかし、その基準は具体的にはっきりしたものはなく、作業方法も地方によって異なるのが現状である。また、同じ位置を集材するのに、図97. Aと図97. Bといずれの状態で行なうかによって集材手の退避距離も異なる。

ここでは、退避の考え方を次のように決める。

1. 集材機が作業索を動かしている場合は必ず引き戻し索を引き回している滑車の外側へ退避する。
2. 退避距離は分割した斜面ごとに一定とし、それは斜面の中心からガイドブロックの位置までとする。

8.2.8. 全木伐倒および伐木造材における作業移動距離

全木伐倒作業では立木 1 本伐倒するごとに、伐木造材では造材が終わるごとに次の立木まで作業移動する。作業移動距離は、人工林でははっきりわかるが天然林の場合は 1 本ごとに異なる。しかし、全作業が終了するまでに行なった作業移動の合計は推定することができる。

長野の工程選定方針書では作業地に立木が一様に基盤の目のように並んでいるものとしている。一定の面積内に立木がこのように規則正しく並んでいる場合と、でたらめに生えている場合とどちらが合計の作業移動距離が長いかは一概に決まらない。またその差はわずかである。

そこで、ここでは方針書の案にしたがうことにする。すなわち、全面積 A_t に立木 n 本あれば、1 本あたりの作業移動距離は、

$$L_{sag} = \sqrt{A_t/n} \dots\dots\dots (8.14)$$

8.2.9. 歩行速度

これまでに、歩行がおもな作業となるものの作業時間を算出する場合に、歩行速度を用いてきた。そこで、ここでは歩行速度の決定について述べる。

歩行速度は、厳格には歩行地全部の状態、すなわち標高、地質、天候、植生、傾斜などと歩行者の状態すなわち装備、体重、体力、技術などによって決定される。このうち適当に因子を選び歩行速度を理論的に導く試みもなされているが⁹⁾、実際とよく合うとは限らず、今回の調査とも一致しなかった。

また、長野の方針書でも歩行速度が表で与えられている。そこで、この表と調査のデータとを比較してみることにする。

歩行は大きく分ければ、チェーンソー持歩行と空身歩行にすることができる。ここでは伐木造材作業の作業移動は前者になり、荷掛作業の退避、ガイドブロック位置替えの歩行は後者とする。また前者の条件因子は斜面傾斜と植生量に無関係であるが、これはデータが木の周囲だけの植生量であったためと思われる。しかし、概して方針書とよく一致している。したがって、ここでは方針書の値を採用することに決める。

8.3. 最適化プログラムのブロック図

最適化を行なうプログラムは全体として複雑になるため、プログラムをブロックに分けて考えることに

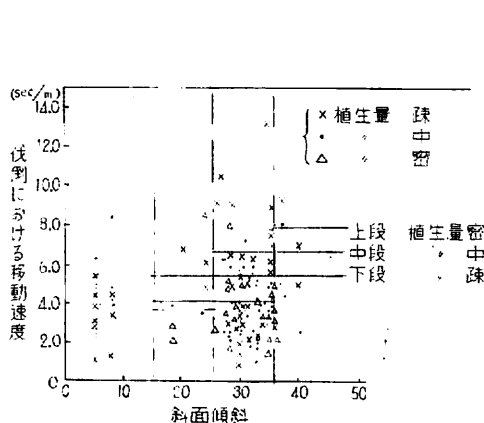


図 98. チェンソー持歩行速度

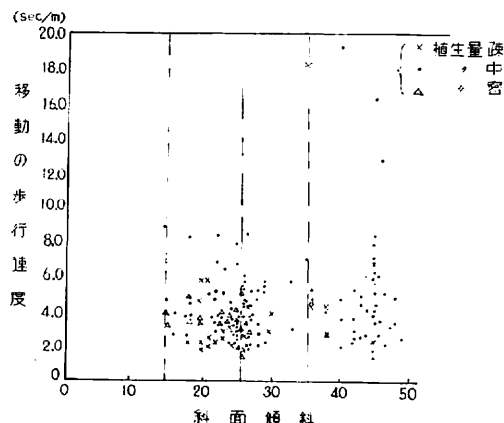


図 99. 全木荷掛作業における退避移動、作業移動速度

する。計算過程を大きなブロックに分ければ図100のようになる。

図において読み込みのブロックが多いが、各現場ごとに与えなければならないデータは、ブロック①、③だけでよい。

計算は図100の破線で示したブロックに大別され、そのブロックのなかで実線のブロックに分ける。以下各ブロックごとに計算内容を述べる。

8.4. 読み込みと予備計算

8.4.1. 現場データの読み込み

現場データ1は次のデータである。

1. 主索の上方支点、下方支点および盤台の位置
2. 主索の垂下比
3. 分割した斜面の数
4. 各斜面ごとにその位置、面積、傾斜と方向、植生量および主索との距離の最大の値
5. 主索を中心として作業地が片面のみか両面にあるかを示す斜面の数
6. 片面ずつ盤台に至近な斜面と至遠な斜面の番号

8.4.2. 樹種別常数の読み込み

樹種別に次の常数を読み込む。ただし、常数は地方によって異なる場合がある。

1. 樹種計算式の係数

ただし、計算式は次のものを用いた。

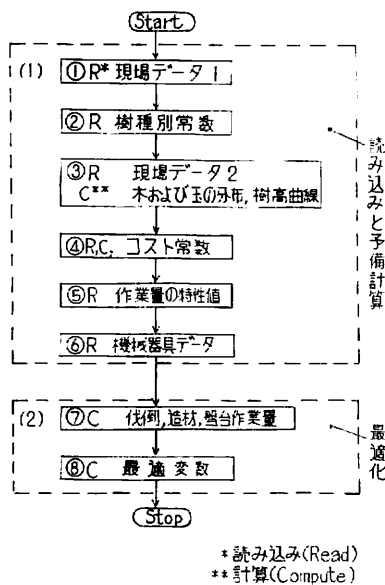


図100. 最適化プログラムのブロック図

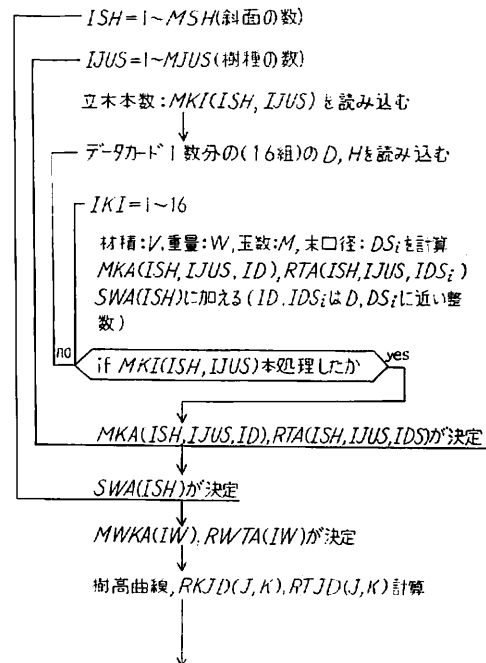


図101. 現場データ2の読み込みと予備計算のフローチャート

$$\log V = C_{rCi} + C_{rDi} \log D + C_{rHi} \log H \dots\dots\dots (8.15)$$

(i は樹種別を示す。)

ここで、 $V(m^3)$: 材量、 $D(cm)$: 胸高直径、 $H(m)$: 樹高

2. 末口径計算式の係数 (8.2.1 の (ii) 参照)

3. 比重 (生木とする)

4. 材長 (玉切をする代表的材長)

8.4.3. 現場データ 2 の読み込みと予備計算

ここで、現場データ 2 とは、各斜面ごと、樹種ごとの立木数および 1 木ごとの胸高直径と樹高である。

また、計算して求めるものは、

1. 斜面別(I)、樹種別(J)、胸高直径別(K)立木本数 : $MKA(I, J, K)$

2. 斜面別(I)、樹種別(J)、末口径別(K)玉数 : $RTA(I, J, K)$

3. 樹種別(J)、胸高直径別(K)立木本数 : $RKJD(J, K)$

4. 樹種別(J)、末口径別(K)玉数 : $RTJA(J, K)$

5. 斜面別(I)重量 : $SWA(I)$

6. 木の重量別(IW)本数 : $MWKA(IW)$

7. 玉の重量別(IW)本数 : $RWTA(IW)$

8. 総材積 : $SVKI$

9. 総重量 : SW

10. 樹種別樹高曲線

ただし、樹高曲線は次の式で表わされる (2.2.3 の (ii) を参照)。

$$H = 1.2 + \frac{D^2}{(C_{HGi} + C_{HDi} \times D)^2} \dots\dots\dots (8.16)$$

i は樹種を示す。

以上の読み込みと計算を同時に行なっているが、そのフローチャートを概略示すと図 101 になる。

8.4.4. コスト常数の読み込み

ここでは目的関数として考えるコストから機械器具関係を除いた次のコスト常数を読み込み、あるいは計算する。

1. 造材手、集材手、集材機運転手の 1 日あたりの賃金および間接費 (読み込む)

2. 副作業コスト (計算する)

3. 盤台作設費 (計算する)

4. 全木集材による利益 (計算する)

8.4.5. 作業量の実性値の読み込み

本システムで行なう作業量に関する実性値を読み込むが、それは 6 章で述べた作業量の算出に用いた式の係数に相当する。このデータは現場ごとに変更する必要があるため、6 章の式の係数をそのまま用いず次のように変更している。

a) 発生率 E の作業のある係数が B ならば、発生率 1 で係数 $E \times B$ と同じものとみなす。

b) 玉の数の係数が B とすれば、その樹種の材長 l を用いて、新しく B/l が樹高の係数となったも

のと考える。

このようにして、作業量と条件の式の係数を読み込むが、発生率が条件によって異なるものは計算によって作業量を求めることにして、読み込みは行なわない。

読み込みの手順は次のようになる。

- | | | |
|----------------|---|-------|
| 1. 普通伐倒作業量の特性値 | | |
| 2. 全木伐倒作業量の " | } | 樹種ごとに |
| 3. 造材作業量の特性値 | | |
| 4. 盤台造材作業量の特性値 | } | 共通 |
| 5. 普通荷掛 " " | | |
| 6. 普通荷卸 " " | | |
| 7. 全木荷掛 " " | | |
| 8. 全木荷卸 " " | | |

8.4.6. 機械に関するデータの読み込み

集材機のデータとして4機種について次のものを読み込む。

1. 集材機のエンジンの公称最大出力
2. 集材機のエンジンの実効出力
3. 集材機の価格（ガイドブロック以外の付属器具を含める）
4. ガイドブロック類の価格

使用するワイヤロープはスカイライン、リフティングライン、ホールバックラインを1組として、それぞれ次のデータを読み込む。

1. スカイラインの直径、切断荷重、単位重量、単位価格
2. リフティングラインの直径、切断荷重、単位重量、単位価格
3. ホールバックラインの直径、切断荷重、単位重量、単位価格

8.5. 最適な変数の計算方式

最適な変数を決定する計算の基礎的な方針を示せば次のようになる。

1. 普通集材方式の中で最適な変数を、 D_H ：主索径、 S_H ：架線方式（タイラーあるいはホーリング）、 PS_H ：集材機馬力、 M_H ：荷掛け人員、全木集材方式の中で最適な変数を同様に、 D_Z 、 K_Z 、 PS_Z 、 M_{Z1} ：盤台人員、 M_{Z2} ：盤台集材人員とし、そのときの目的関数をそれぞれ、 $f_{1H}(D_H, S_H, PS_H, M_H)$ 、 $f_{1Z}(D_Z, S_Z, PS_Z, M_{Z1}, M_{Z2})$ とする。

最適変数は $f_{1H} \cdots f_{1Z}$ の小さい方の変数である。

2. 工程（普通か全木）と D が決まったときの最適な変数を K_D 、 PS_D 、 $M_D(M_{D1}, M_{D2})$ とすれば、 $D_1, D_2, \dots, D_5$ について D_i に対する目的関数 $f_{2i}(D_i, K_{Di}, PS_{Di}, M_{Di})$ を最小にする D は工程が与えられた場合の最適な主索径である。

3. このようにすべての場合を考えることになるが、これを式で表わそう。

工程を K とし、以下記号は前述に順ずれば、目的関数を、

$$f(K, D, S, PS, M)$$

ここで、 M は全木集材方式ならば M_1 と M_2 にわかれると表わせる。最適なものに°を付ければ、

$$f^*(K^*, D^*, S^*, PS^*, M^*) = \underset{K}{\text{Min}} \underset{D}{\text{Min}} \underset{S}{\text{Min}} \underset{PS}{\text{Min}} \underset{M}{\text{Min}} \{f(K, D, S, PS, M)\} \dots\dots(8.17)$$

式 (8.17) を実行することはむだであると考えられる。たとえば、変数のとる値の数を次のようにする。

K : 2 とおり, D : 5 とおり, S : 2 とおり, PS : 4 とおり, M : 普通 2 とおり, 全木 6 とおり。

式 (8.17) を求めるためには $8 \times 4 \times 2 \times 5 = 320$ とおりの目的関数を求めなければならない。1 つの目的関数の計算に大型計算機で 1 分要するとしても実用的でない。そこで次のことを仮定する。

(a) 全木集材方式で盤台作業人員について図 19 の性質を示す。すなわち、3 人の場合が 4 人の場合より良ければ 5 人は最も悪い。

(b) 集材機の馬力についても同様である。

(c) 主索径についても同様である。

以上の仮定はここで証明はしないが、ほぼ妥当と考えられる。このようにすれば、計算回数はほぼ半分になる。さらに次の計算を行なう。

(d) 架線方式は現場データと主索径から計算によって決定する。

すなわち、7 章で述べたように作業時間が同じならば、タイラー式架線の方が有利である。またタイラー式の限界を決め、それを満足すれば、タイラー式に決定してもかまわないことが次のようにしてわかる。

タイラー式の限界として「機器の 2 倍の吊り荷で盤台に至近な斜面から降ろした場合、盤台に到達しその時の速度が 1m/sec 以上であること」を定める。もしこれを満足すれば、タイラー式に決定してもほとんどの場合集材器走行時には制限速度に達することが計算によって確かめられた。

この方法で最適化を行なえば、計算回数はほぼ 90 回ですむ。また 90 回のループは 4 ~ 5 のループに分かれるが、ループ外で計算するものをなるべく多くしてループ内でくり返し行なう計算時間を短縮すれば、最もくり返しの多い (90 回) 作業人員別計算は 1 秒とかからず、計算時間は実用的なものになる。

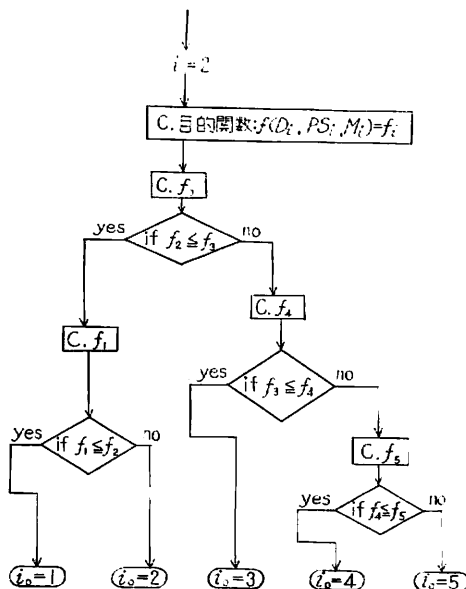


図 102. 主索径についての最適化フローチャート

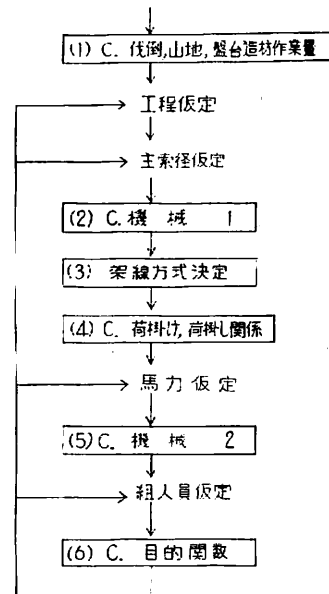


図 103. 最適計算のブロック図

ここに主索径について式（8.17）の最小化の例を示す。

工程が決定されていて、主索径 D_i が決まった場合の目的関数を最小とする集材機の馬力、組人員を PS_i , M_i とする。 $i=1, 2, 3, 4, 5$ の中から最適な i^* を決めるフローチャートは図 102 となる。

8.6. 最適数計算のブロック図

最適変数計算のブロック図を図 103 に示す。

次に図 102 の計算の詳細を説明する。

8.7. 伐倒、山地、盤台造材の作業量の計算

ここで、最適化する変数に関係なく一定値をとる伐倒、山地造材、盤台造材の作業量を計算する。また伐倒と山地造材は作業時間と作業コストまで計算できるので、これをすましておく。

山地での作業は斜面ごとに作業量を出して合計する。またいずれも樹種別、胸高直径別の木の本数、末口別の玉の数を利用し、その本数だけはみな一様と考え、先に求めた樹高曲線を用いて樹高を求めてそれで代表する。8.4.3 の予備計算のフローチャートを図 104 に示す。

8.8. 機械計算 1

地形条件のデーターと使用するワイヤロープのデーターから次の各値を計算する（7.3.1 参照）。

1. スカイライン重量
2. リフティングライン重量
3. ホールバックライン重量
4. ローディングブロック重量
5. キャレージ重量
6. 許容総荷重
7. 許容吊荷重量

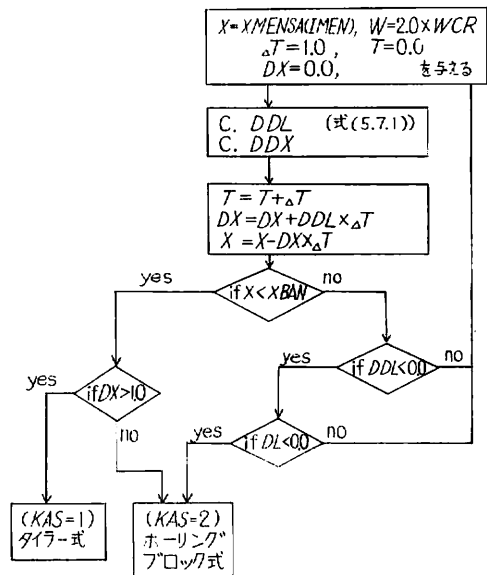
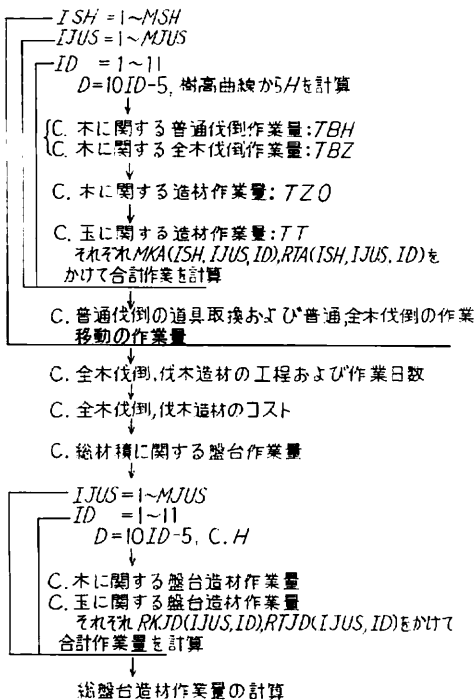


図 104. 伐倒、山地、盤台造材作業量の計算フローチャート

図 105. 索張り方式の決定フローチャート

8.9. 索張り方式の決定

タイラー式とホーリングブロック式のいずれを採用するかは、8.5 の 3(d) に述べた考え方による。そのフローチャートを示すと次のとおり（図 105）。

ここで、 X ：搬器の下方支点からの位置、ここでは盤台にいちばん近い斜面の X 座標から走行を始め
るものと仮定した。

W ：運ぶ材の重量、ここでは材の重量の最小限として搬器重量の 2 倍、 $2 \times WCR$ とした。

ΔT ：時間の変化（秒）

T ：走行を始めてからの時間

DX ：速度

DDX ：水平方向加速度

DDL ：主索に沿った方向での加速度

結果はタイラー式の場合 $KAS=1$ ，ホーリングブロック式の場合 $KAS=2$ となる。

8.10. 荷掛け、荷卸し関係の計算

この計算にはいるときは工程、主索径、架線方式が与えられている。そこで、次の各値を計算する。

1. 1 サイクルにつける玉（木）の本数
2. 全サイクル数
3. 使用スリング数
4. 普通荷卸作業量： S_{ORH}
5. 普通荷掛作業量： S_{NIHK} , S_{NIHC} （斜面ごと）
6. 全木荷卸作業量： S_{ORZ}
7. 全木荷掛作業量： S_{NIZ} （斜面ごと）

以上の計算は、全木・普通集材方式別に行なっている。

8.11. 機械計算 2

工程、主索径、架線方式、集材斜面が与えられて、次の各値を計算する。

1. 集材機運転中の作業索張力と速度（7.5, 7.6 参照）。
2. 集材機運転時間（7.6 参照）
3. 集材機コスト（ワイヤロープ以外の付属器具を含む）（4.5.1 参照）。

ただし、計算の過程では集材機の運転を次のように分けて考えた。

(a) タイラー式の場合

1. 空ローディングブロック巻上げ
2. 空搬器走行
3. 空ローディングブロック引込み
4. 実ローディングブロック地引き
5. 実ローディングブロック吊上げ
6. 実搬器走行
7. 実ローディングブロックおろし

(b) ホーリングブロック式の場合

1. 空搬器走行およびローディングブロック引込み
2. 実ローディングブロック地引き
3. 実搬器走行
4. 実ローディングブロックおろし

8.12. 目的関数の計算

ここでは、すべての変数が決まったときの目的関数を求める計算を行なう。

工程によって別なプログラムであるが、内容は本質的には同じであるから全木荷掛方式について説明する。なお、この計算にはいったときには変数のほか、全木伐倒コスト、ロープ、燃料コスト、副作業コスト、全木集材による利益コストは計算済みであるため、ここでは残りの集材作業における作業者と物件のコストを計算すればよい。また、物件費についても、1日あたりのコスト： $CBUK$ も計算済みである。したがって、この計算は次の順に行なえばよい。

1. 盤台造材手数： nz 、盤台集材手数： ns からサイクル時間を組み立てる。
2. 全サイクル時間を計算
3. 作業日数を計算
4. 総コストを計算

8.13 要 約

システムの特長についてこれまで解析してきたが、最適化プログラム作成にはまだ不十分な点があるため、その点を8.2で次のように明らかにした。

1. 立木1本の採材玉数は式(8.4)となる。
2. 材の末口径は式(8.5)で表わされる。
3. 集材玉数あるいは本数は吊荷の制限荷重から決定される。
4. 集材サイクル時間は分割した斜面内では一定とし、サイクル数は斜面内の総重量に比例する。
5. 使用スリング数は、1サイクルに $(n+1)$ 本以上荷掛する。確率が P 以下ならば n 本とする。

ここで、 $P = \begin{cases} 0.5 & \text{普通集材} \\ 0.2 & \text{全木集材} \end{cases}$

6. 集材機の燃料消費料を算出するのに用いる集材機の総しごとは、斜面ごとに索の張力と速度の積で求めることができる。
7. ガイドブロック位置替えおよび電話移動は、集材サイクル時間と無関係に一定時間を全サイクルに加える。その時間は図96を参照して決定した。
8. 伐倒作業における作業移動は、全体としてしごと量を計算して加える。それは立木の分布によって大差ないため、一様分布として計算する。
9. 歩行速度は先山、後山別に考え、実測値とよく合う長野の方針書の値を使用した。

次に最適化プログラムをブロックに分割し、各ブロックではなにを行なっているかをフローチャートで示した。最適化を行なう場合、決定すべき変数のすべての場合について目的関数を計算するのは実用的でない。そこで、8.5の3の(a)～(d)の前提を置いて計算を簡単にした。

9. 最適化の実施

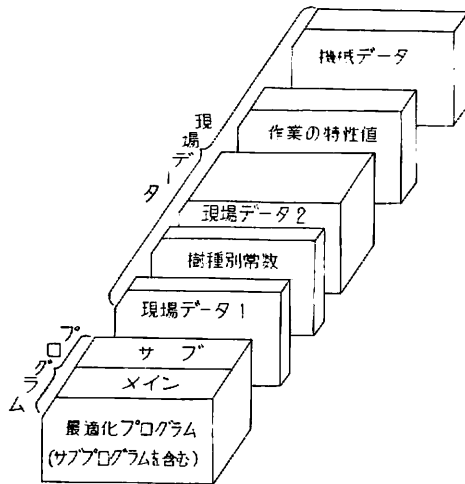


図 106. 最適化計算に必要なカードデッキ

9.1. 概 説

これまでシステムの最適化の基礎、最適化のために必要なシステムの解析および最適化プログラムについて述べてきたが、現場に適用して最適化を実施する場合には、これまでのことをすべて知っている必要はなく、ただここで示すデータさえ得られれば既存のプログラムによって処理できる。そこで、ここでは実施に際して必要なことがらを説明する。

9.2. デック最適化計算に必要なプログラムおよびカードデッキ

本システムの最適化を行なうためには、図106のカードデッキが必要である。

9.3. 現場データ 1

現 場 デ ー タ 1

番 号	種 類	備 考, 参 照 節 参 考 式 ()	フォーマット*
1	事業地の名称, 年月日などの題名		16A5 (2行)
2	集材する樹種の数		1 5
3	集材する樹種の名前		7A10
4	主索の上方、下方支点盤台の位置	(X, Y, Z) で単位は m	3F10.2
5	中央垂下比 (d/L)	7.3.1	F10.2
6	斜面の数	5.2.1	1 5
7	斜面ごとに 斜面の位置 (X, Y, Z) 傾斜およびその方位 面積, 主索との至近距離 植生量	5.2.1	3F10.2 2 1 5 2F10.2 1 5
8	主索を中心とした面の数	8.4.1	1 5
9	片面ずつ盤台に至近な斜面と至遠な斜面の番号	8.4.1	2 1 5

9.4. 樹種別常数

樹 種 別 常 数

番 号	種 類	備 考, 参 照 節 参 考 式 ()	フォーマット*
1	材積計算式の係数	(8.15)	3F10.5
2	末口径計算式の係数	(8.5)	3F10.5
3	比 重		F10.5
4	玉切材長 (m)	8.2.1	F10.5

* 森口繁一：FORTRAN IV 入門，東京大学出版会，参照。

9.5. 現場データ 2

現 場 デ ー タ 2

番 号	種 類	備 考, 参 照 節 参 考 式 ()	フ ェ ー マ ッ ト *
1	斜面 1, 樹種 1 の立木本数		15
2	毎木胸高直径(cm), 樹高(m)		16 (13, 12)
3	斜面 1, 樹種 2 の立木本数		15
4	毎木胸高直径と樹高		16 (13, 12)

以上を斜面ごとに書き入れる。

9.6. コスト常数

本プログラムは、盤台作設コスト、全木集材方式による利益をプログラム内で決めているため読み込まず、コストとしては次のものを読む。

番 号	種 類	備 考, 参 照 節 参 考 式 ()	フ ェ ー マ ッ ト
1	集材機, 運転手, 造材手, 集材手の直接 コストと間接コスト (円/口)	直接コストは 1 日あ たり賃金 間接コストは 4.6	615

9.7. 作業量の特性

9.7.1. 樹種ごとに必要なデータ

番 号	種 類	備 考, 参 照 節 参 照 式 ()	フ ェ ー マ ッ ト
1	$CBZ_1, CBZ_2, \dots, CBZ_9$	全木伐倒 (6.1)	8F 10.5
2	$\left. \begin{matrix} aBZ_1, bBZ_1, aBZ_2, bBZ_2, \\ aBZ_3, bBZ_3, aBZ_4, bBZ_4 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} \\ (6.10) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
3	$CBH_1, CBH_2, \dots, CBH_9$	普通伐倒 (6.11)	8F 10.5
4	$\left. \begin{matrix} aBH_1, bBH_1, aBH_2, bBH_2, \\ aBH_3, bBH_3, aBH_4, bBH_4 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} \\ (6.20) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
5	$CZH_1, CZH_2, \dots, CZH_{12}$	普通造材	8F 10.5
6	$aZH_1, aZH_2, \dots, aZH_6$	(6.21)	8F 10.5
7	$bZH_1, bZH_2, bZH_3, bZH_4$	$\left. \begin{matrix} \\ (6.35) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
8	$CZH_{13}, CZH_{14}, CZH_{15}$		8F 10.5
9	aZH_7, bZH_5		8F 10.5
10	CZB_1 : 盤台整理	(6.69)	8F 10.5
11	$CBZ_4, CBZ_5, \dots, CBZ_{15}$	盤台作業	8F 10.5
12	$aBZ_1, aBZ_2, aBZ_3, aBZ_4$	$\left. \begin{matrix} (木に関する) \\ (6.72) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
13	bBZ_1	$\left. \begin{matrix} \\ (6.82) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
14	$CZB_{16}, CZB_{17}, CZB_{18}, CZB_{19}$	$\left. \begin{matrix} (玉に関する) \\ (6.83) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
15	aBZ_5, aBZ_6	$\left. \begin{matrix} \\ (6.86) \end{matrix} \right\}$	8F 10.5
16	bBZ_5, bBZ_6		8F 10.5

9.7.2. 樹種に関せず、1つのデータでよいもの

番 号	種 類	備 考、参 照 節 参 照 式 ()	フ ェ ー マ ッ ト
1	CNIH ₁ , CNIH ₂ , …… , CNIH ₅	普通荷掛け (6.48)	8F 10.5
2	ANIH ₁ , ANIH ₁	} (6.55)	8F 10.5
3	CHH ₁ , CHH ₂ , …… , CHH ₅	普通荷卸し (6.69)	8F 10.5
4	AHH ₁	} (6.73)	8F 10.5
5	ANIZ ₁ , ANIZ ₂ , …… , ANIZ ₆	全木荷掛け (6.36)	8F 10.5
6	ANIZ ₁	} (6.43)	8F 10.5
7	CHZ ₁ , CHZ ₂ , …… , CHZ ₆	全木荷卸し (6.60)	8F 10.5
8	AHZ ₁	} (6.68)	8F 10.5
9	ガイドブロック位置替え		8F 10.5

9.8. 集材機関係のデータ

9.8.1. 集材機のデータ

番 号	種 類	備 考、参 照 節 参 照 式 ()	フ ェ ー マ ッ ト
1	集材機の数		8I 10
2	エンジン最大馬力, 実効馬力 集材機価格, ガイドブロック価格	7.4	2I 10 2F 10.2

9.8.2. ワイヤロープのデータ

番 号	種 類	備 考、参 照 節 参 照 式 ()	フ ェ ー マ ッ ト
1	主索の数		8I 10
2	主索の 直径, 切断荷量, 単位重量, 単位価格	7.3	8F 10.5
3	リフティングラインの 直径, 切断荷量, 単位重量, 単位価格	7.3 } 7.5	8F 10.5
4	ホールバックラインの 直径, 切断荷量, 単位重量, 単位価格	7.3 } 7.5	8F 10.5

10. 最適化の計算例

10.1. 対象となる事業地

最適化の計算プログラムの妥当性を調べるために、実際の事業地を対象としてそのシステムの最適化を行なった。事業地は長野県上松市小川入国有林 139 い林班とした。本事業地はこの研究を行なうために、普通集材ホーリングブロック式の調査を行なった場所である。

データは収穫調査の野帳に基づいてつぎのようにして作成した。集材区域を事業図によって決定し、その区域を図 107 に示すように、10の斜面に分割して各斜面ごとに地形データを事業図から読み取った。つぎに収穫調査地の全面積の比を求め、調査地の樹種別、径級別立木本数にその比をかけて、各斜面ごとの

樹種別、径級別立木本数を求めた。なお、収穫調査地の面積は 30.64 ha²であるが、最適化の対象となる事業地の面積は 10.48 ha²で全体の3分の1に相当する。また、樹高はその地域の樹高曲線の値を採用した。

10.2. 予備計算

ここで行なった計算は、まず与えられたデータから最適化に必要な値を計算し、つぎに、その値をデータとして、最適化の計算を行なった。第一次計算によって求めたデータはつぎのものである。

1. 重量別立木本数
2. 重量別玉数
3. 斜面別・樹種別・径級別立木本数
4. 斜面別・樹種別、末口径別玉数
5. 樹種別・径級別立木本数
6. 樹種別・末口径別玉数
7. 樹種別・径級別樹高
8. 斜面ごと立木本数
9. 斜面ごと立木重量
10. 総立木重量と総立木材積

なお、本予備計算のプログラム（付表・1）・データ（付表・2）・印刷出力（付表・3）および上述のカード出力（付表・4）を別紙に示す。

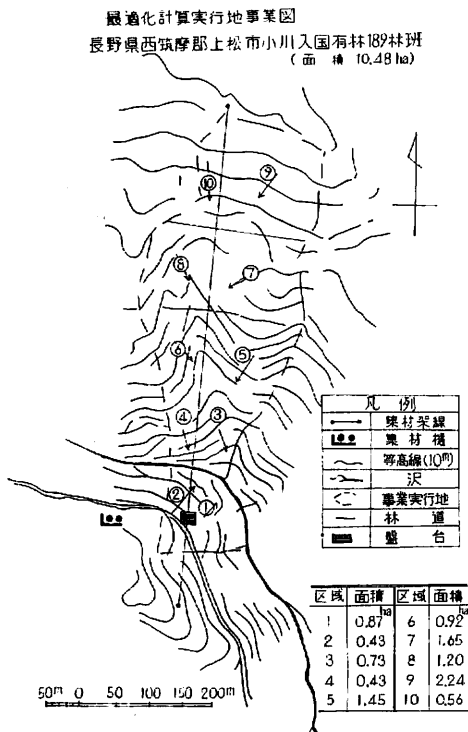


図 107. データを得た事業図

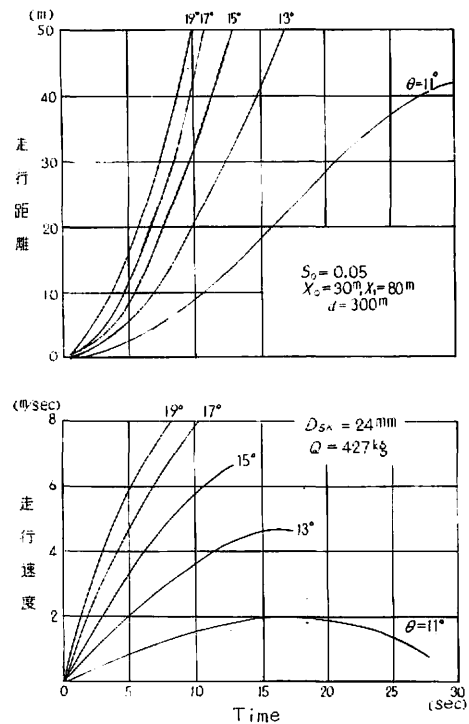


図 108. 搬器の自重走行特性（傾斜の影響）

10.3. 最適化の基礎的考察

最適化の計算時間を短くするために、あらかじめ決定できる最適化変数を考察する。

10.3.1. 索張り方式

索張り方式は、タイラー式とホーリングブロック式を考えるが、その決定はタイラー式が可能ならばタイラー式とすることにする。

この決定をあらかじめ行なうために、タイラー式のおもな特性である実搬器の自動走行について解析する。いっぽんに、主索が張られた場合の搬器の走行速度は、吊荷重量と走行の出発点の位置によって決まる。吊荷が重く、出発点が盤台から、遠くなるほど走行速度は高い。そこで、集材しなければならない斜面のうちでも盤台に近い地点を出発点として、最小の吊荷で走行可能であるとすればタイラー式で可能であるといえる。図 108 から図 111 までは盤台の位置が主索の下方支点から 30m、走行の出発点が同じく 80m の場合で、吊荷が搬器の 2 倍であるタイラー式架線の搬器の自動走行特性を示した。図からわかるように、搬器が盤台に着いたときの走行速度が 1m/sec 以下であれば走行時間は著しく大きいのか、その地点へ到着しないかのいずれかで、タイラー式は不可能と断定してもよい。

この基準にしたがってタイラー式索張りの可能な場合を求めれば図 112 となる。この計算例の事業地は明らかにタイラー式は不可能であるため、索張り方式はホーリングブロック式と決定することができる。

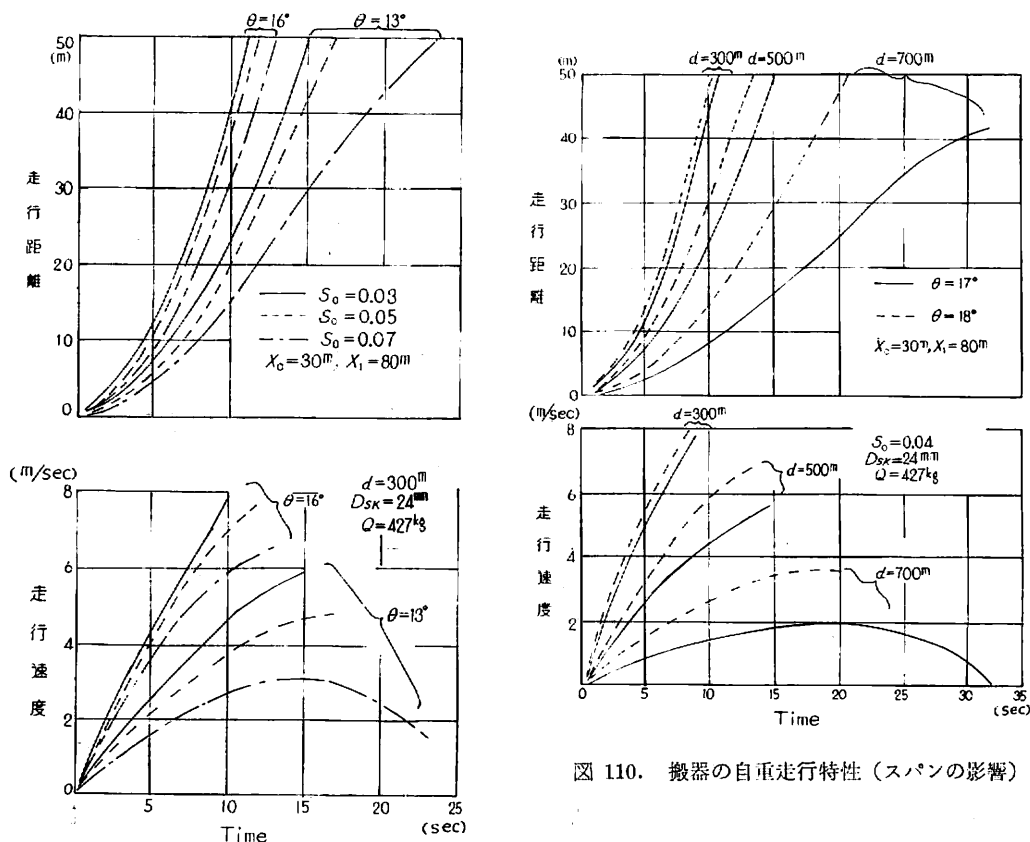


図 110. 搬器の自重走行特性 (スパンの影響)

図 109. 搬器の自重走行特性 (垂下比の影響)

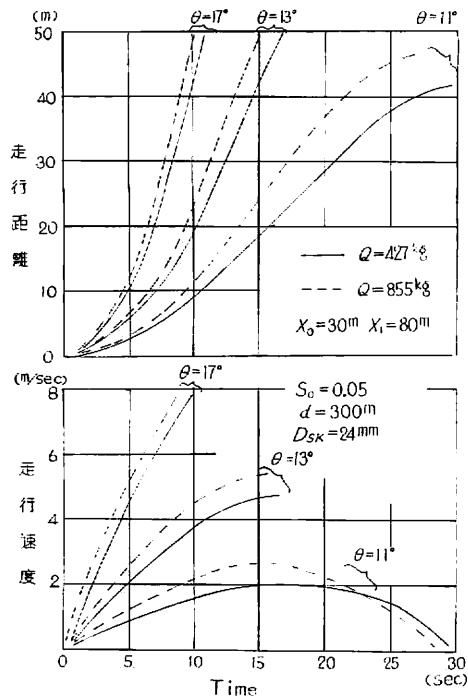


図 111. 機器の自重走行特性（吊荷の影響）

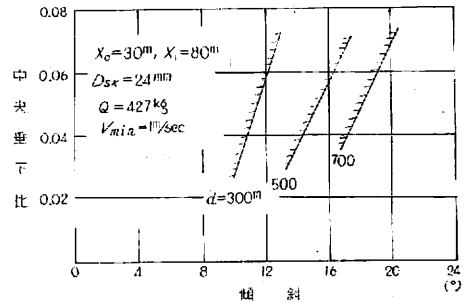


図 112. タイラー式索張りの範囲（線の右下側）

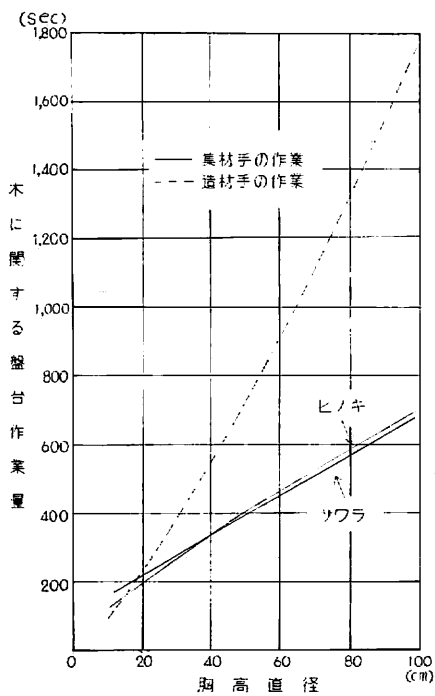


図 113. 回帰式による木に関する盤台作業量

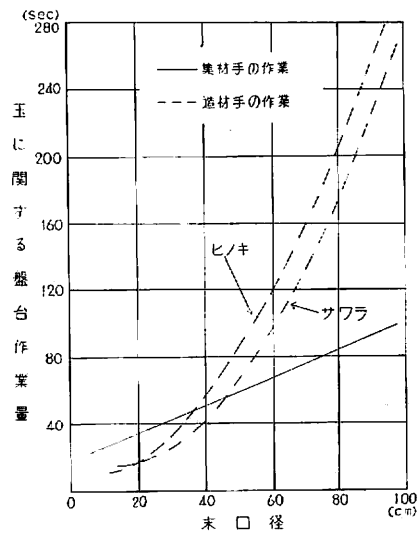


図 114. 回帰式による玉に関する盤台作業量

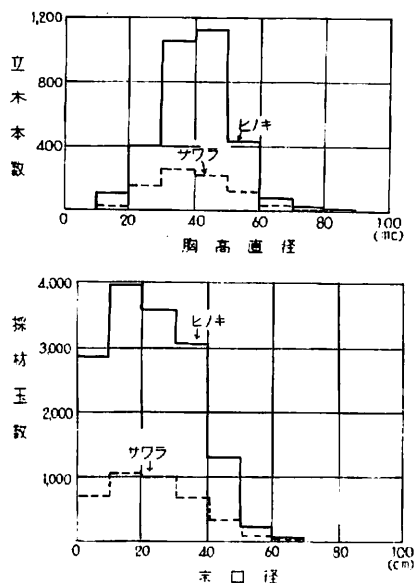


図 115. 立木本数と採材玉数の分布

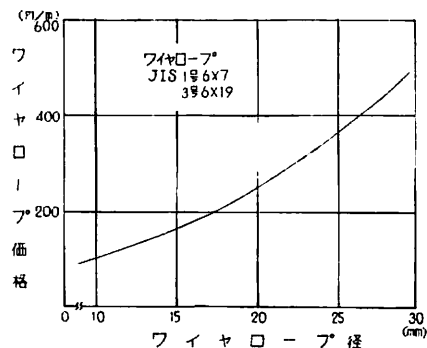
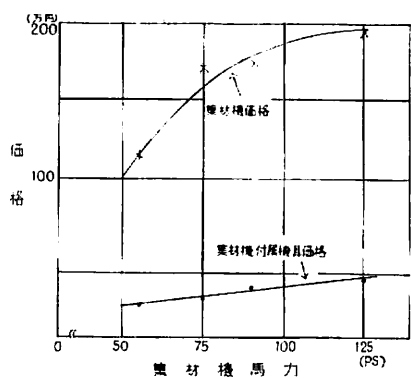


図 116. 集材機関係各種の価格

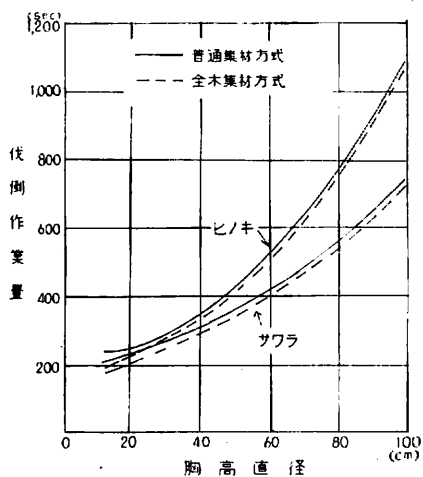


図 117. 回帰式による伐倒作業量

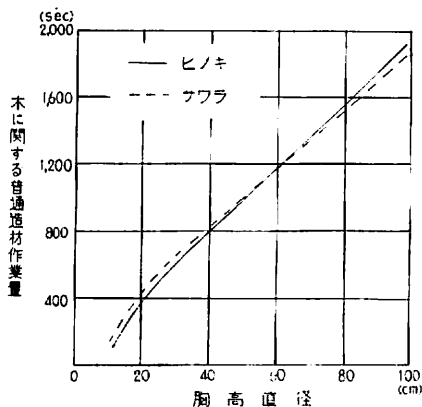


図 118. 回帰式による普通造材作業量
(木に関する作業, 急斜面)

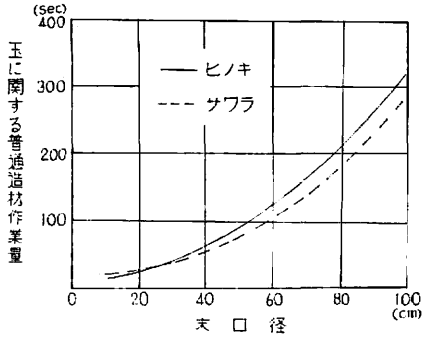


図 119. 回帰式による普通造材作業量（玉に関する作業）

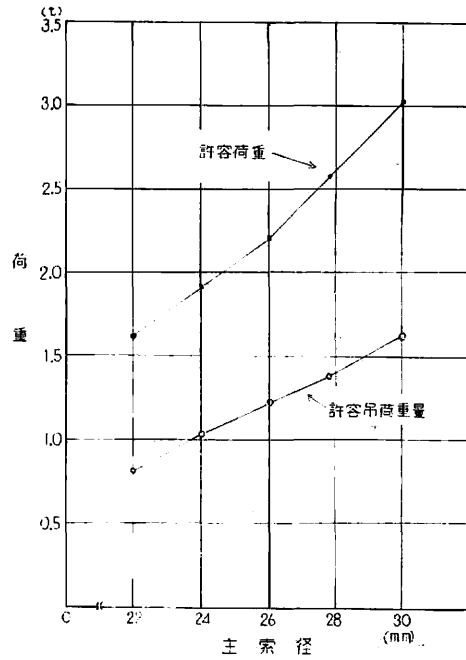


図 120. 許容荷重，許容吊荷重量と主索径

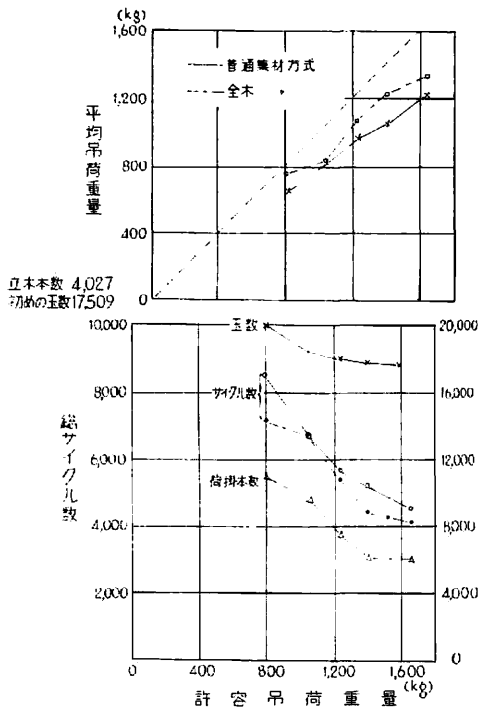


図 121. 許容吊荷重量と荷掛作業のパラメータ

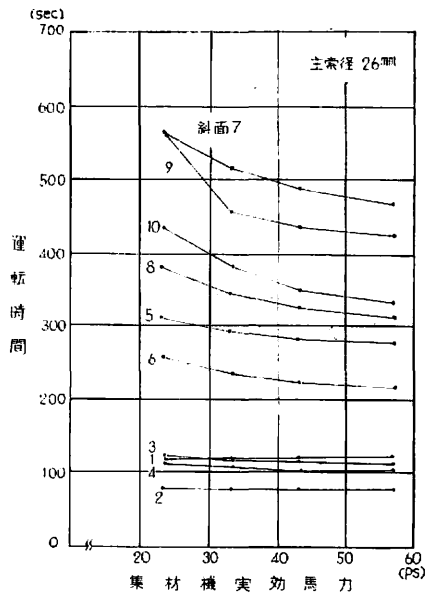


図 122. 集材機の運転時間と集材機の実効馬力

10.3.2. 盤合作業人員

全木集材方式の盤合作業人員は、3 人、4 人、5 人の場合について考えるが、いずれの場合も集材手が 1 人必要であるかを調べる。

もし集材手の行なう作業時間が造材手の時間より大きければ、集材手は必ず 1 人必要である。盤合作業量をおのおの木に関する作業と玉に関する作業について、回帰式によって計算すれば図 113 および図 114 となる。集材手の作業時間が造材手より必ず大きくなるのは、集材手の作業量が造材手の作業量の半分以下である場合である。これは木に関しては、胸高直径 60cm 以下、玉に関しては末口径 70cm 以下である。いっぽう集材地域の立木本数と採材玉数の分布は図 115 に示すようになり、明らかに総作業量についても集材手の作業量は造材手の半分以下になる。すなわち、この事業地では全木集材を行なう場合は、必ず盤台に集材手 1 人必要である。

10.4. 最適化の計算

ここで行なった最適化では、決定すべき変数をいろいろ変えて、各変数の値ごとに目的関数の関係を調べるために、すべての場合について、くわしい結果をだした。またそうすることによって、本計算プログラムの妥当性を確かめることができる。データは事業地のデータと予備計算の結果を用いた。

10.5. 計算結果

本プログラム（付表・5）をユニバックの UⅢで計算した結果を述べる。まず予備計算と同じように集材地の地形条件、主索の条件など（付表・6）を読んで印刷する。

つぎに、予備計算の結果および回帰係数を読んで伐倒、普通造材、全木盤合作業の作業量を計算する。以上の結果を別紙の計算結果 I（付表 7）に示す。なお前述のように、全木盤合作業では集材手の作業量が、造材手の半分以下であることがわかる。また以上の結果を図 113、114、117、118、119 に示す。

10.5.1. 主索によって決まる集材システムの変数

主索の直径が決まれば、その許容荷重、許容吊荷重量が計算される（図 120）。この計算では作業に用いる機械、器具は現在使われている仕様のものを採用したため、主索とそれにともなう作業索は、等間隔に選ばなかった。つぎに、許容荷重が選定されれば、それに合わせて、全木集材方式の場合には半幹にし、普通集材方式の場合は玉をさらに切るため、荷掛けする材の総本数がわかる。したがって、1 本掛け、2 本掛け、……の確率が計算され使用スリング数、平均吊荷重量、総サイクル数を求めることができる（図 121 および表 92）。

10.5.2. 馬力によって決まる集材システムの変数

主索と馬力が決定されれば、各斜面ごとの集材機の運転時間を計算することができる。

本事業地の 10 個の斜面について、1 サイクルあたり集材機を運転している時間の合計は図 122 のようになる。集材機の馬力が大きくなっても制限速度が決まっているために、運転時間は必ず短くなるとは限らないことがわかる。

10.5.3. 目的関数およびシステムの変数の特性

主索径と集材機馬力が決まれば、普通集材方式と全木集材方式別に、作業人員を変えて目的関数を比較することができる。また作業人員が決まれば、本システムのすべての変数が計算される。そこで、作業方式別にその特性を考察する。

10.5.3.1. 普通集材方式

表 92. 主索径によって決まる集材システムの変数

主 索 径 (mm)	許 容 荷 重 (kg)	許 容 吊 荷 量 (kg)	本 数 (本)	サイクル数 (回)	平均本数 (本)	平均重量 (kg)	スリング の 数 (本)
(普通集材の場合)							
22	1,627	816	19,864	8,490	2.34	647	2
24	1,921	1,050	18,498	6,728	2.75	816	3
26	2,271	1,239	18,024	5,674	3.18	967	3
28	2,580	1,395	17,674	5,218	3.39	1,052	3
30	3,023	1,645	17,651	4,491	3.98	1,222	4
(全木集材の場合)							
22			11,051	7,186	1.54	763	2
24			9,658	6,751	1.43	813	2
26	同	上	7,620	5,367	1.42	1,079	2
28			6,106	4,410	1.38	1,225	2
30			6,039	4,123	1.46	1,331	2

表 93. 普通集材方式の全システムの変数

主索径 (mm)	集材機 馬 力 (PS)	荷掛手 人 数 (人)	集材日数 (日)	集 材 費 用				集 材 費 (万円)	総 費 用 (万円)
				ワイヤ ロープ (万円)	燃 料 (万円)	物 件 費 (万円)	人 件 費 (万円)		
22	55	1	241	79.2	2.8	66.2	212.0	379.3	453.9
		2	215	"	"	59.1	251.4	411.4	482.2
	75	1	234	"	20.8	88.1	205.7	393.8	464.5
		2	208	"	"	78.3	242.9	421.2	491.9
	90	1	230	"	18.8	94.5	202.2	394.7	465.4
		2	204	"	"	83.7	238.4	423.5	490.8
	125	1	229	"	20.0	107.2	201.0	415.9	486.7
		2	203	"	"	95.0	236.7	439.4	510.1
24	55	1	210	73.8	20.1	57.6	184.4	335.9	405.7
		2	183	"	"	50.3	214.1	358.2	428.9
	75	1	202	"	19.1	76.0	177.4	346.3	417.0
		2	175	"	"	66.0	204.7	363.5	434.2
	90	1	198	"	17.6	81.4	174.2	346.9	417.6
		2	172	"	"	70.4	200.4	362.2	432.9
	125	1	196	"	18.4	91.9	172.2	356.3	427.0
		2	170	"	"	79.4	197.8	369.3	440.1
26	55	1	187	76.2	20.1	51.3	164.1	311.7	382.4
		2	163	"	"	44.6	190.0	330.9	401.7
	75	1	177	"	19.1	66.6	155.4	317.3	388.0
		2	153	"	"	57.5	178.4	331.2	402.0
	90	1	173	"	17.6	71.1	152.2	317.1	387.8
		2	149	"	"	61.2	174.1	329.1	399.9
	125	1	171	"	18.4	80.1	150.2	325.0	395.7
		2	147	"	"	68.8	171.5	335.0	405.7
28	55	1	179	82.8	20.9	49.1	157.1	309.8	380.6
		2	156	"	"	42.8	182.1	328.6	399.3
	75	1	167	"	19.8	62.7	146.3	311.6	382.4
		2	143	"	"	54.1	147.7	324.5	395.2
	90	1	163	"	18.3	66.7	142.8	310.5	381.3
		2	140	"	"	57.3	163.1	321.4	392.2
	125	1	160	"	19.1	75.7	140.7	317.7	388.5
		2	138	"	"	64.3	160.3	326.6	397.4
30	55	1	174	85.6	21.2	47.8	153.0	307.7	378.4
		2	150	"	"	41.1	174.9	322.8	393.6
	75	1	159	"	20.2	59.6	139.1	304.5	375.2
		2	134	"	"	50.4	156.4	312.6	383.3
	90	1	153	"	18.6	62.7	134.3	301.2	371.9
		2	129	"	"	52.7	150.0	306.8	377.6
	125	1	151	"	19.5	70.5	132.2	307.8	378.5
		2	120	"	"	59.1	147.2	311.9	382.0

表 94. 全木集材方式の全システムの変数

主索径 (mm)	集材機 馬力 (PS)	盤台造材 手人数 (人)	集材日数 (日)	集 材 費 用				集 材 費 (万円)	総 費 用 (万円)
				ワイヤ ロープ (万円)	燃 料 (万円)	物 件 費 (万円)	人 件 費 (万円)		
22	55	3	221	67.0	18.5	60.5	352.2	498.2	539.5
		4	"	"	"	"	431.4	577.5	618.8
		5	"	"	"	"	510.6	656.7	698.0
	75	3	214	"	17.6	80.7	342.4	507.7	548.9
		4	"	"	"	"	419.4	584.7	626.0
		5	"	"	"	"	496.4	661.8	703.0
	90	3	211	"	16.2	86.6	337.1	506.9	548.1
		4	"	"	"	"	413.0	582.8	624.0
		5	"	"	"	"	488.8	658.6	699.9
	125	3	210	"	17.0	98.4	335.2	517.5	558.8
		4	"	"	"	"	410.6	592.9	634.2
		5	"	"	"	"	668.3	668.3	709.6
24	55	3	209	74.0	20.1	57.4	334.0	485.6	526.9
		4	"	"	"	"	560.8	560.8	602.0
		5	"	"	"	"	484.3	635.9	677.2
	75	3	201	"	19.2	75.7	321.1	490.0	531.3
		4	"	"	"	"	393.4	562.3	603.5
		5	"	"	"	"	465.7	634.5	675.8
	90	3	198	"	18.9	81.0	315.3	488.0	530.6
		4	"	"	"	"	386.3	558.9	601.5
		5	"	"	"	"	457.2	629.9	672.5
	125	3	195	"	17.2	91.5	311.7	494.3	535.2
		4	"	"	"	"	381.8	564.4	600.2
		5	"	"	"	"	451.9	634.6	671.1
26	55	3	173	72.1	19.0	47.4	275.8	414.3	455.6
		4	172	"	"	47.2	336.4	474.7	516.2
		5	"	"	"	"	398.2	536.5	538.0
	75	3	164	"	18.1	61.5	261.1	412.8	454.1
		4	163	"	"	61.2	318.1	469.2	510.7
		5	"	"	"	"	376.5	527.8	569.1
	90	3	160	"	16.6	66.0	255.7	410.1	449.4
		4	159	"	"	65.3	311.3	465.3	504.6
		5	"	"	"	"	368.5	522.5	561.8
	125	3	158	17.4	17.4	74.1	252.4	416.0	457.3
		4	157	"	"	73.5	307.1	470.2	511.5
		5	"	"	"	"	363.5	526.6	567.9
28	55	3	150	70.0	17.6	41.2	240.1	368.9	410.2
		4	146	"	"	40.2	285.0	412.7	453.9
		5	"	"	"	"	337.3	465.0	506.2
	75	3	140	"	16.8	52.7	223.7	363.2	404.5
		4	135	"	"	50.9	264.7	402.4	443.7
		5	"	"	"	"	313.3	450.9	492.3
	90	3	136	"	15.4	56.1	218.4	360.0	401.2
		4	132	"	"	54.1	258.1	397.7	438.9
		5	"	"	"	"	305.4	445.0	486.2
	125	3	135	"	16.2	63.2	215.3	364.7	406.0
		4	130	"	"	60.9	254.3	401.3	442.6
		5	"	"	"	"	300.8	447.9	489.2
30	55	3	152	78.6	19.5	41.6	242.1	381.8	423.1
		4	146	"	"	40.2	286.5	424.7	466.0
		5	"	"	"	40.1	388.7	476.9	518.2
	75	3	138	"	18.5	51.7	219.3	367.6	408.9
		4	132	"	"	49.7	258.3	404.6	445.9
		5	"	"	"	49.6	305.0	451.2	492.5
	90	3	133	"	11.1	54.3	211.4	360.8	399.6
		4	127	"	"	52.1	248.5	395.8	412.1
		5	"	"	"	52.0	293.3	440.4	456.7
	125	3	131	"	17.8	61.1	208.1	365.6	406.9
		4	125	"	"	58.5	244.3	399.2	440.5
		5	"	"	"	58.3	288.2	443.0	484.2

この方式の全システムのおもな変数を表93に、また各最適化変数の影響を図123から図129に示す。以上からつぎのようなことがわかる。

1. 主索径は太い方が総コストが低くなるが、低減の割合は太くなるにしたがって小さくなる。ここでは安全率3を厳守したために、索が太くなったものと考えられる。事実主索径 30mm でも許容吊荷重量 1,600kg であり、実際これはより小さな索で吊っている重量であると考えられる。
2. 集材機馬力を変化させても主索径がある程度以上では、ほとんど総コストに影響を及ぼさない。

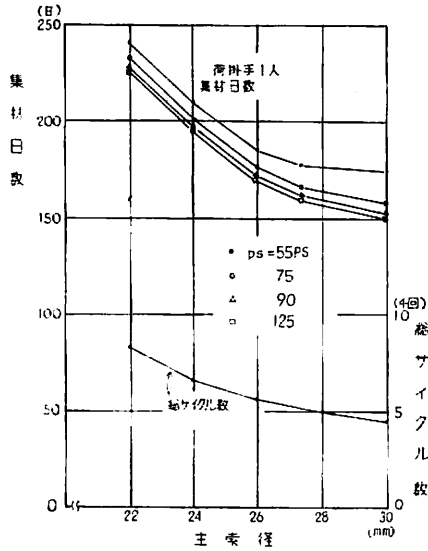


図 123. 普通集材方式総サイクル数、集材日数と主索径

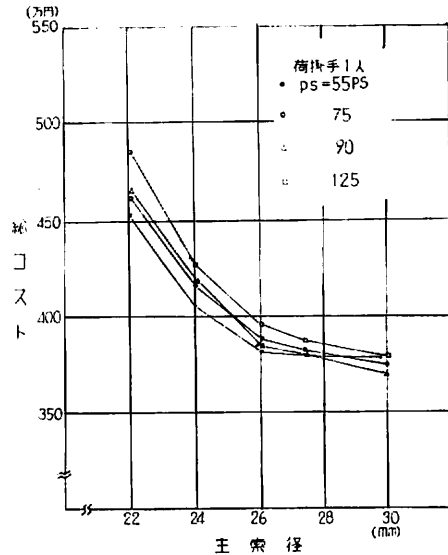


図 125. 普通集材方式各種コストと主索径

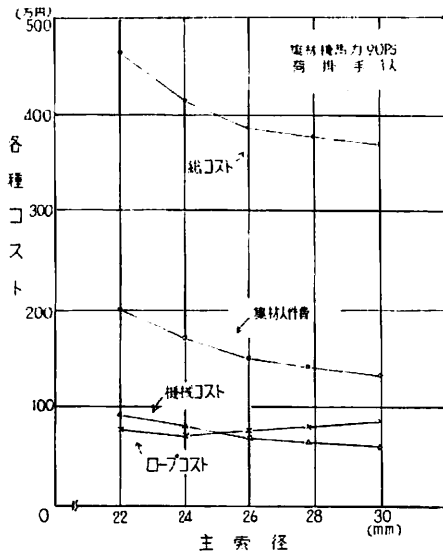


図 124. 普通集材方式、総コストと主索径

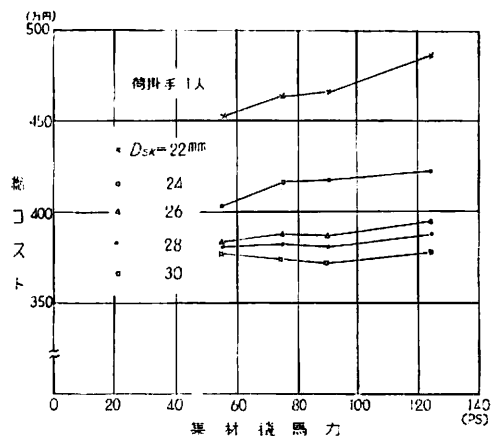


図 126. 普通集材方式、総コストと集材機馬力

かし馬力が大きい方が集材日数は短くなる。

3. 主索径が小さいと、荷掛手を 1 人から 2 人に増すと総コストは増加するが、主索径が大きい場合は、総コストが増加するが増加量は小さい。

しかし、荷掛手 2 人の方が集材日数は約 1 割減少する。

10.5.3.2. 全木集材方式

普通集材方式と同様な計算結果を表 94 および図 129～134 に示す。

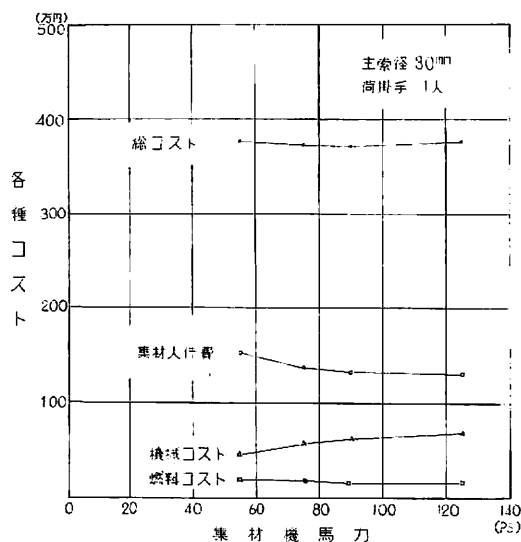


図 127. 普通集材方式、各種コストと集材機馬力

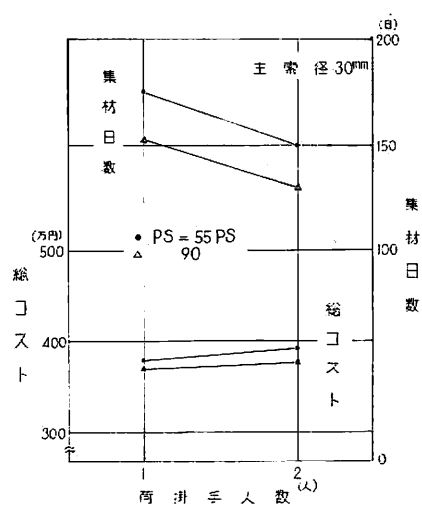


図 129. 普通集材方式、総コスト、集材日数と荷掛手人数

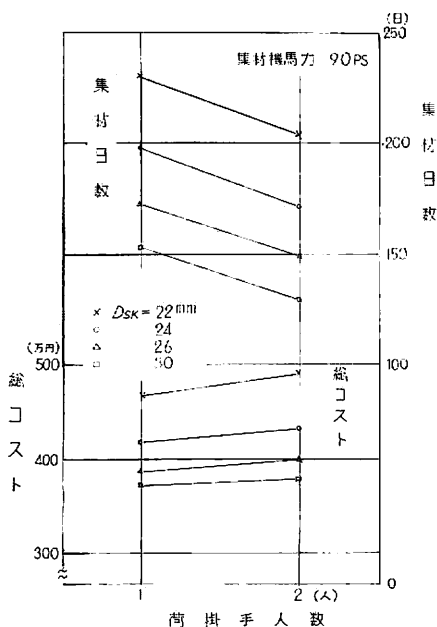


図 128. 普通集材方式、総コスト、集材日数と荷掛手人数

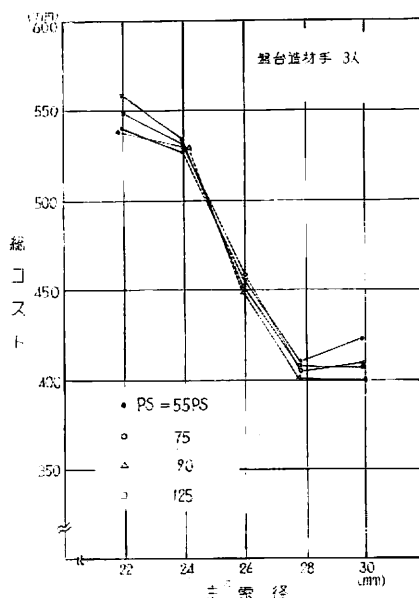


図 130. 全木集材方式、総コストと主索径

以上からつぎのようなことがわかる。

1. 主索径と集材機馬力に対する総コストの特性は普通集材方式とほぼ同じであるが、ただ主索径はだいたい 28mm が最適である点が異なる。
2. 盤台作業人員が増えれば総コストは増加するが、集材日数は3人から4人に増えても0.5割程度減少するだけである。これは集材サイクル時間が、集材機の運転時間によって制限されるためである。

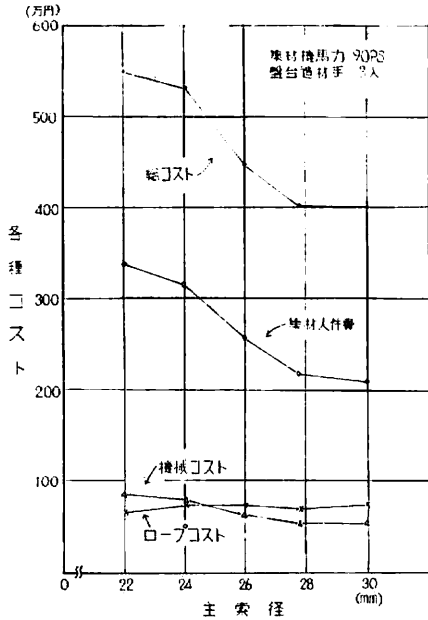


図 131. 全木集材方式、各種コストと主索径

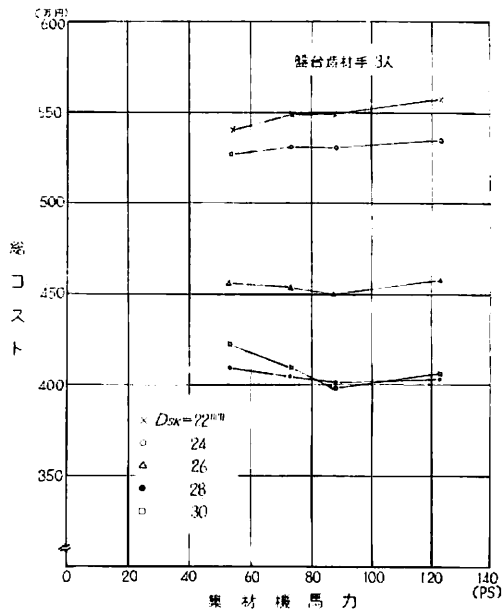


図 132. 全木集材方式、総コストと集材機馬力

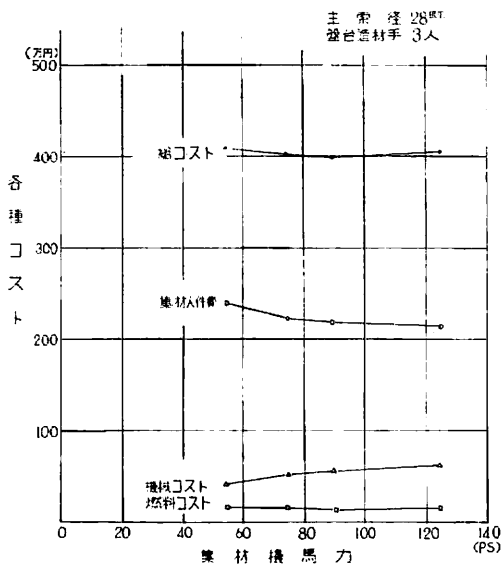


図 133. 全木集材方式、各種コストと集材機馬力

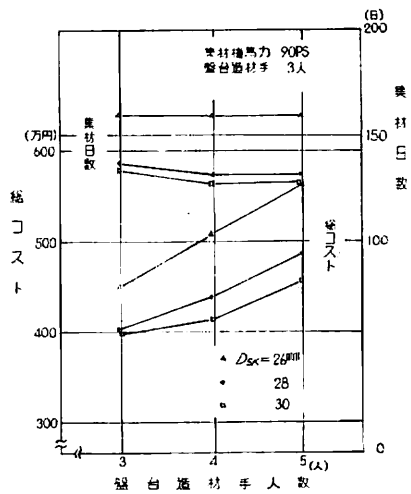


図 134. 全木集材方式、総コスト、集材日数と盤台造材手人数

10.5.4. 最適なシステム

本計算によれば、この事業地の最適なシステムは、普通集材方式、ホーリングブロック式索張り、主索径 30 mm、集材機公称馬力 90 PS、荷掛手 1 人である。この場合の、計算の印刷出力を付表 8 に示す。なお集材機の公称馬力は 75 PS でも、また荷掛手は 2 人でも最適なシステムと大差はない。

もし集材口数を短縮する必要があるれば、荷掛手を 2 人とすればよい。

本方式は昭和 42 年に実際行なわれた作業方式と主索径を除いては一致する。主索径については前に述べたように、安全率を守ったために 30 mm が最適となった。すなわち、この最適化プログラムは現場にあてはまり、妥当なものであることがわかる。なお正味計算時間は、ユニバックの U 皿で約 10 分であるが、実用化の場合には本計算のようにすべての場合を実行する必要はないので、2 分以内で計算可能である。

11. 結 論

集材機を中心とする運搬系システムを最適化することを目標として研究を行なった。

このシステムは、立木を伐倒することからはじまり、最後は造材された材が林道まで運搬されるまでを考慮する必要がある。

研究にさきだって、2 章で従来の研究の検討を行なった。そこでは、システムの特性のはあくが中心であるが、最適化のためには不十分な点が多く、改良の余地が見いだされた。

3 章では最適化の手法の中で本システムの最適化に適用できるものを検討した。簡単に最適化できる L P は不可能で、D P もその適用は限られた部分だけであり、それは一般的最適化プログラムを数種の例について実施した後に使用する可否かを定めることになる。

また、最も有力な最大傾斜法を、1 変数のみに適用することが可能であることが推定された。

4 章からは具体的に本研究対象システムの研究にはいり、そこでは目的関数を原則的には総コストとすることに決めた。総コストとして考慮すべきものを列挙して、おのおのどのようにして計算されるかを具体的に示した。

5 章では作業時間の算出について述べた。とくに集材作業では組作業となり、そのため作業の方式を決定し、実地に則したサイクル時間の組立を行なった。作業日数は、1 日の正味労働時間と余裕、休息を考慮して計算した。また考えた作業は、調査および作業基準に基づいて無理のないよう見積もった。また集材全サイクル数を求めるため、1 サイクルの荷掛本数を確率的に計算する方法を示した。

6 章では作業量の見積りを行なった。まず、各作業をまとまり作業に分解して、おのおののまとまり作業はどの因子によって作業量が決まるかを検討して、具体的に因子を求めた。つぎに、作業量と因子との関数関係を理論的、あるいは回帰分析によって計算した。現在、本システムのなかで行なわれる作業については、ほとんどすべてについて作業量として推定することができた。

7 章では集材における機械器具関係の特性を求めた。まず架線の設計の考え方を示し、つぎに架線設計が決まったときのシステムの特性についてくわしく検討した。そこではおもに集材機の運転時間の算出を行ない、そのために集材サイクルを数個の相に分割し、各相において集材機の馬力、ブレーキ能力、架線の負荷、運転技術の制約、作業基準を考慮した。

8 章では最適化の計算機プログラムを作った。まず準備として 7 章までの解析で不十分な点を明らかにした。最適化の計算方式は工程、主索径、集材機の馬力、作業人員について各種の場合を計算して最小コ

ストを見いだす。タイラー式、ホーリング式の決定は、主索径が決まったところで、事業地の幾何学的データを用いて決定できることが確かめられた。

つぎにプログラムの具体的なフローチャートを示した。実際のプログラムを FORTRAN 語によって組んだ。

9章は最適化の実施に必要なデータの書き方を述べた。各現場でつけなければならないデータは現場の地形、毎木調査データだけでよい。しかし、9章では本プログラムに用いるすべてのデータの内容を示して、地方によって変えなければならない場合にも使用できるようにした。

以上、本システムの最適化の手順が求められたが、厳密には盤台作設置、トラック積みなどとの関係を考えたさらに大きなシステムとして、最適化を行なうことがつぎのステップとして望まれる。

また、本プログラムを数種の例について実施して、さらに洗練された実用的なものにすることが必要である。

おわりに、調査研究にご援助、ご協力下さった林野庁業務課長 辻 良四郎氏、技術班 堀 健治氏、蔵持武夫氏、岡本敬三氏、安藤宇一氏および長野営林局、三殿・坂下・上松営林署の関係各位、ならびに調査研究の一部を担当していただいた長野営林局長期委託研究生 高橋 勲氏、林野庁業務課 後藤武夫氏、林野庁監査課 森下四郎氏の各位に謝意を表します。

なお、本研究に用いた計算機は東京大学大型計算センターの HITAC5020, IBM の 7090, 日科技連の TOSBAC3400, 林業試験場の NEAC1240 である。お世話下さった方々に感謝致します。

文 献

- 1) 林野庁監査課：製品生産事業生産プロセス実態調査報告書、(昭 38. 1963)
- 2) 産業能率短期大学：全幹集材の工程編成と工程管理について、(昭 38. 1963)
- 3) 神崎康一：伐木作業場としての森林の層別法について、日林誌、45, 7, (1963)
- 4) 森岡 昇：丸太の大きさと搬出コストの関係、機械化林業、118
- 5) 森岡 昇：材の大きさと搬出コストの関係、日林誌、45, 8, (1963)
- 6) 産業能率短期大学：集材機による全幹集材作業に関する委託研究調査報告書、林野庁監査課、(1967)
- 7) 米田幸武・中村英石・辻 隆道・渡部庄三郎・石井邦彦：チェーンソー伐木造材作業の標準資料法による標準時間-1、林試研報 149, (1963)
- 8) 林野庁監査課：集材機作業標準時間（サイクル時間）等のとりまとめの要領、作業能率、40, 2
- 9) 長野営林局作業課：製品事業作業工程選定方針（案）、41~286, (昭 41. 1966)
- 10) 長野営林局作業課：チェーンソー作業の要素作業別基礎時間表、(昭 42. 1967)
- 11) 長野営林局作業課：集材機作業標準時間（サイクル時間）計算表及び要素作業別標準運転速度査定表、技術シリーズ、41, 2, (昭 42. 1967)
- 12) 近藤次郎：技術者研究者のための応用数学、上、丸善、(昭 40)
森口繁一：線形計画入門、JUSE 出版、(1957) など
- 13) DRAPER, N., SMITH, H.: Applied Regression Analysis, John Wiley & Sons Inc., (1966)
- 14) GASS, S. I.: Linear Programming, Mc Graw-Hill Co., (1964)
- 15) GOMORY, R. E.: Outline of Algorithm for Integer Solution to Linear Programs. Bulletin of the American Mathematical Society, 64, (1958)
- 16) GOMORY, R. E.: An Integer Programming Algorithm. I. B. M. Research Center, Research Report pc-189, (1966)

- 17) ベルコン, R., ドイレファス, S.: 応用ダイナミック・プログラミング, 小田中繁男・有水 強共訳, 日科技連, (1962)
川畑正夫: 文科系の人にもわかる電子計算機のための数学, 日本経営出版会, (1967)
- 18) HADLEY, G.: Nonlinear and Dynamic Programming. Addison-Wesley Publishing Co. Inc., (1964)
- 19) 高橋 勲: 伐木集材作業の基礎化, 林野庁研修報告書, (1967)
- 20) 上田 実: 集材機架空索の設計—疲労と消耗対策, 農林出版, (1967)
- 21) 本多三雄ほか: 集材機作業索に関する研究 (第 1 報タイラー式), 林試研報, 92, (1956)
- 22) 上田 実ほか: 集材機作業索に関する研究 (第 2 報ホーリングブロック式), 林試研報, 93, (1957)
- 23) 上田 実ほか: 架空索の主索に関する研究 (第 II 報) 峰越しの場合の集材機主索張力について, 林試研報, 174, (1965)
- 24) 加藤誠平: 林業用索道設計法, 金原出版, (1962)
- 25) 小山 梯: 動力鋸による伐木造材の理論工程,

A Study of the Optimization of the Felling, Bucking and Logging System (1)

Shigeo WATANABE, Akira SHIRAI, Takamichi TSUJI, Masaaki KUWABARA,

JUN-ichi SHIBATA, Minoru UEDA, Shôzaburô WATANABE and Kunihiro ISHII:

Summary

This study aims at optimizing the logging system using a yarder as the central device. In this system, it is necessary to take the process from felling to transporting bucked logs to road side into consideration.

In Chapter 2, past researches of logging prior to this investigation were discussed. While making clear the special qualities of logging system, it was found that there had been many inadequacies and things needing improvement.

In Chapter 3, the optimization techniques to be used in this system were discussed. The LP method, in which form the system should be arranged to decide the optimum value easily, is impossible to use, and DP method is able to be partially introduced; use of this method may be decided after the general program of optimization is carried into effect in some examples. It was estimated, however, that the method of Steepest Descent which is most available in optimization is able to be applied to decide optimum of one variable in turn.

In Chapter 4, the system to be investigated was discussed definitely, where we decided the Pay-Off function to be Total-Cost in principle.

The items that go to make up the Total-Cost were enumerated, and how the methods are calculated were stated definitely.

In Chapter 5, the estimation of operational time was discussed. The work system of yarding which was practiced in groups generally was decided as it was, and the construction of work cycle time was made. The work days are counted with regard to the actual work hours, allowance hour and rest hour of a day. The work method adopted in this study was decided reasonably by the investigation data and the standard of safety. The method of stochastic estimation of loading logs number of a yarding cycle which was used in calculation of total cycle number of yarding was clarified.

In Chapter 6, the calculation of labour-quantity was made. The work of each process was divided into several unit works, and the factors by which the labour-quantity of each unit work was calculated were discussed and decided definitely.

The functional relations between the labour-quantity and factors were identified by theoretical methods and by the regression analysis method. All works used in the system of this study were identified as their labour-quantity.

In Chapter 7, the special qualities of machines and appliances used in yarding were described.

The points of calculation of cableway were stated first, and after the design of cableway was determined, the special qualities of the system were discussed fully. In this discussion, the driving time of yarder was calculated mainly, and for this calculation the cycle of yarding was divided into several phases, and after that, engine capacity, brake capacity, cable load, restrictions of driving skill and the standard of safety were considered in every phase.

In Chapter 8, the programming of decision of optimum system was completed. The details were stated first, which were insufficiently described in previous chapters.

The calculation method of optimization is finding out the minimum cost in various values calculated by assorted variables ; yarding process, skyline diameter, engine capacity of yarder, and number of workmen. It was affirmed that the decision of cableway system...Tyler system or Falling-block system...was made on the geometrical data of working place after selection of cableway diameter.

The flow chart of program was stated definitely. The program is written in FORTRAN language.

In Chapter 9, the way of checking the data necessary for actual optimum calculation was described. The data to be checked at the working places are those of topography and all trees. In this chapter the details of all data used in this program were shown in tables, and so they can be used in every district when changes become necessary.

As described, the optimization technique was discussed in logging system, but one more step is desirable so that the optimization can be introduced into a larger system ; in this system the cost of landing (stage for bucking and loading to truck) transporting by truck etc. should be considered.

It is also necessary to make this program practical of use by carrying it into effect in several examples.

付表 1. 予備計算プログラム

STEST HARP

```

C      OPTIMIZATION OF FOREST SYSTEM
      DIMENSION IHOSHA(10), NSHOK(10), CSDA(5), CSHA(5), NBASA(10), WSA(5)
      2, PSNA(5), PSA(5), CYDA(5), CGBA(5), DSKA(5), SSKA(5), QSKA(5), CSA(5)
      3, DLFA(5), SLFA(5), QLFA(5), CLFA(5), DHBA(5), SHBA(5), QHBA(5), CHBA(5)
      4, CHC(5), CHD(5), NJUS(5), CVCA(5), CVDA(5), CVHA(5), CSCA(5), YGSHA(10)
      5, B(30), BE(20), BNHA(9), BNOHA(2), BNZA(9), BNOZA(2), BNKA(10)
      COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
      1, XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5, 11), MKA
      1(10, 5, 11)
      2, RTA(10, 5, 11), RKJD(5, 11), RTJD(5, 11), SWA(10), FKA(7), SW, AT
      READ(5, 1011) (NBASA(I), I=1, 32)
1011  F0RMAT(16A5)
      WRITE(6, 2011) (NBASA(I), I=1, 32)
2011  F0RMAT(1H1, 10X, 16A5//10X, 16A5)
      READ(5, 1013) KAS
      READ(5, 1013) MJUS
      MJUSH=MJUS
      READ(5, 1021) (CVCA(I), CVDA(I), CVHA(I), I=1, MJUS)
1021  F0RMAT(3F10.5)
      READ(5, 1021) (CSCA(I), CSDA(I), CSHA(I), I=1, MJUS)
      READ(5, 1023) (WSA(I), I=1, MJUS)
1023  F0RMAT(F10.5)
      READ(5, 1023) (TLA(I), I=1, MJUS)
      READ(5, 1015) XUE, YUE, ZUE, XSITA, YSITA, ZSITA, XBAN, YBAN, ZBAN
1015  F0RMAT(3F10.2)
      READ(5, 1015) SBL
      READ(5, 1013) MSH
2017  F0RMAT(1H0, 10X, 8HSHAMEN=, 15)
      S=0.0
      DO 11 ISH=1, MSH
      READ(5, 1017) XSHA(ISH), YSHA(ISH), ZSHA(ISH), KESHA(ISH), IHOSHA(ISH)
      1, ASHA(ISH), YGSHA(ISH), NSHOK(ISH)
1017  F0RMAT(3F10.2, 2I5, 2F10.2, 15)
      S=S+ASHA(ISH)
      11  CONTINUE
      AT=S
      READ(5, 1013) MEN
      DO 5 I=1, MEN
      READ(5, 1013) K, L
      XMENSA(I)=XSHA(K)
      XMENGA(I)=XSHA(L)
      5  CONTINUE
      SPAN=XUE-XSITA
      TRSK=(ZUE-ZSITA)/SPAN
      RKS=ATAN(TRSK)
      SRSK=SIN(RSK)
      CRSK=COS(RSK)
      SERSK=1.0/CRSK
      SKL=SPAN*SERSK
      CALL RYUBOK(CHD, CHC, CSCA, CSDA, CSHA, CVCA, CVDA, CVHA, MKSA
      1, WSA, SVKI)
      STOP
      END

```

§SRYUBK HARP DECK

```

SUBROUTINE RYUBOK (CHD, CHC, CSCA, CSDA, CSHA, CVCA, CVDA, CVHA
1, MKSA, WSA, SVKI)
  DIMENSION CHC(5), CHD(5), CVCA(5), CVDA(5), CVHA(5), CSCA(5), MKSA(10)
  1, IDA(16), IHA(16), MWKA(25), CSDA(5), CSHA(5), MKI(10, 5), RTAD(22)

```

```

2, MKAD(15), RWTA(22), SXA(5), SYA(5), SSXA(5), SSYA(5), SXYA(5)
3, IDR(50), IHR(50), INR(50), WSA(5)
COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5, 11),
1MKA(10, 5, 11)
2, RTA(10, 5, 11), RKJD(5, 11), RTJD(5, 11), SWA(10), FKA(7), SW, AT
C      YOMIKOMI 3, KEISAN 1
1013   FORMAT(16I5)
      SW=0.0
      SVKI=0
21     CONTINUE
      DO 27 IW=1, 25
27     MWKA(IW)=0.0
      DO 29 IW=1, 21
29     RWTA(IW)=0.0
      DO 30 I=1, MJUSH
      SXA(I)=0.0
      SYA(I)=0.0
      SSXA(I)=0.0
      SSYA(I)=0.0
      SXYA(I)=0.0
30     CONTINUE
      READ(5, 1013) MD
      DO 51 ISH=1, MSH
      READ(5, 1013) JSHA
      SWAI=0.0
      MKS=0
      DO 15 IJUS=1, MJUSH
      WRITE(6, 2041) ISH, IJUS, (ID, ID=1, 11)
2041   FORMAT(1H0, 5X, 6HSHAMEN, 15, 5X, 5HJUSHU, 15//5X, 11H10)
      DO 23 ID=1, 11
      RTAD(ID)=0.0
23     MKAD (ID)=0
      WS=WSA(IJUS)
      CSC=CSCA(IJUS)
      CSD=CSDA(IJUS)
      CSH=CSHA(IJUS)
      TL=TLA(IJUS)
      READ(5, 1013) JUSH, MKI(ISH, IJUS)
      MK=MKI(ISH, IJUS)
      IF(MK) 15, 15, 17
17     CONTINUE
      MKS=MKS+MK
      READ(5, 1033) (IDR(J), IHR(J), INR(J), J=1, MD)
1033   FORMAT(8(I3, I3, I4))
      DO 31 IRD=1, MD
      ND=INR(IRD)
      D=IDR(IRD)
      H=IHR(IRD)
      DN=ND
      ID=IFIX(D+0.1)/10+1
      IF(ND. LE. 0) GO TO 31
34     MKAD (ID)=MKAD (ID)+ND
      VK=FVK(CVCA(IJUS), CVDA(IJUS), CVHA(IJUS), D, H)
      WK=VK*1000.0*WS
      SVKI=SVKI+VK*DN
      SWAI=SWAI+WK*DN
      KW=WK
      IW=KW/200+1
      IF(IW-25) 37, 37, 38
38     IW=25
    
```

```

37    MWKA(IW)=MWKA(IW)+ND
C
    TAMA
    RTM=H/TL
    MTA=RTM
    IF(MTA, LE, 0) GO TO 42
    DO 41 ITA=1, MTA
    HX=TL*FLOAT(ITA)
    DS=FDS(CSC, CSD, CSH, D, HX)
    WT=DS**2*TL*WS*0.1
    LT=WT
    IW=LT/100+1
    IF(IW-21) 43, 43, 45
45    IW=21
43    RWTA(IW)=RWTA(IW)+DN
    ID=IFIX(DS)/10+1
    RTAD(ID)=RTAD(ID)+DN
41    CONTINUE
42    CONTINUE
    ETA=RTM-FLOAT(MTA)
    IF(ETA-0.1) 47, 47, 49
49    HX=TL*RTM
    DS=FDS(CSC, CSD, CSH, D, HX)
    IF (DS-5.0) 47, 47, 40
40    WT=DS**2*TL*ETA*WS*0.1
    LT=WT
    IW=LT/100+1
    RWTA(IW)=RWTA(IW)+ETA*DN
    ID=IFIX(DS)/10+1
    RTAD(ID)=RTAD(ID)+DN
47    CONTINUE
    Y=D/SQRT(H-1.2)
    X=D
    SXA(IJUS)=SXA(IJUS)+X*DN
    SSXA(IJUS)=SSXA(IJUS)+X**2*DN
    SYA(IJUS)=SYA(IJUS)+Y*DN
    SSYA(IJUS)=SSYA(IJUS)+Y**2*DN
    SXYA(IJUS)=SXYA(IJUS)+X*Y*DN
31    CONTINUE
    DO 32 ID=1, 11
    MKA(ISH, IJUS, ID)=MKAD(ID)
    RTA(ISH, IJUS, ID)=RTAD(ID)
32    CONTINUE
    WRITE(6, 2043) (MKAD(ID), ID=1, 11), (RTAD(ID), ID=1, 11)
2043    FORMAT(1H , 5X, 11I10/5X, 11F10.1)
15    CONTINUE
    SWA(ISH)=SWAI
    SW=SW+SWAI
    MKSA(ISH)=MKS
    WRITE(6, 2021) (IJUS, MKI(ISH, IJUS), IJUS=1, MJUSH)
2021    FORMAT(1H0, 15X, 8HJUSHU NO, I5, 5X, 7HHONSU =, I5)
    WRITE(6, 2023) SWAI
2023    FORMAT(1H0, 15X, 19HSHAMEN NO SOJURYO =, F10.1)
51    CONTINUE
    DO 61 I=1, MJUSH
    NS=0
    DO 63 ISH=1, MSH
63    NS=NS+MKI(ISH, I)
    RNS=NS
    BNS=1.0/RNS
    XB=SXA(I)*BNS
    YB=SYA(I)*BNS
    XX=SSXA(I)-XB**2*RNS

```

```

XY=XYA(I)-XB*YB*RNS
CHD(I)=XY/XX
CHC(I)=YB-XY/XX*XB
2030  FORMAT(1H0,10X,15HJUSHUBETSU DATA /15X,22HJUSHU HONSHU D(HE-
1KIN),30H H(HEKIN) JUKO KYOKUSEN KESU)
WRITE(6,2030)
2031  FORMAT(1H0,13X,2I7,4F10.3)
H=1.2+(D/(CHD(I)*D+CHC(I)))*2
D=XB
WRITE(6,2031) I,NS,D,H,CHD(I),CHC(I)
2033  FORMAT(1H0,15X,14HHEIKINTEKINAKI//20X,20H      D      H)
WRITE(6,2033)
DO 65 ID=1,11
D=ID*10-5
H=1.2+(D/(CHD(I)*D+CHC(I)))*2
HA(I,ID)=H
2035  FORMAT(1H ,20X,2F10.1)
WRITE(6,2035) D,H
65  CONTINUE
61  CONTINUE
DO 71 IJUS=1,MJUSH
DO 71 ID=1,11
IK=0.0
ST=0.0
DO 73 ISH=1,MSH
IK=IK+MKA(ISH,IJUS,ID)
73  ST=ST+RTA(ISH,IJUS,ID)
RKJD(IJUS,ID)=IK
RTJD(IJUS,ID)=ST
71  CONTINUE
WRITE(7,3001) (MWKA(I),I=1,22)
WRITE(7,3002) (RWTA(I),I=1,21)
WRITE(7,3001) (((MKA(I,J,K),K=1,11),J=1,MJUSH),I=1,MSH)
WRITE(7,3002) (((RTA(I,J,K),K=1,11),J=1,MJUSH),I=1,MSH)
WRITE(7,3002) ((RKJD(J,K),K=1,11),J=1,MJUSH)
WRITE(7,3002) ((RTJD(J,K),K=1,11),J=1,MJUSH)
WRITE(7,3004) ((HA(J,K),K=1,11),J=1,MJUSH)
WRITE(7,3001) (MKSA(I),I=1,MSH)
WRITE(7,3005) (SWA(I),I=1,MSH)
WRITE(7,3007) SW,SVKI
3001  FORMAT(11I7)
3002  FORMAT(11F7.0)
3004  FORMAT(11F7.1)
3005  FORMAT(10F8.0)
3007  FORMAT(2F20.0)
RETURN
END

$SFDS HARP DECK
P=CSH*ALOG(HX)
FUNCTION FDS(CSC,CSD,CSH,D,HX)
DS=(CSC+CSD*D)*EXP(P)
FDS=D-DS
RETURN
END

$SFVK HARP DECK
FUNCTION FVK(CVC,CVD,CVH,D,H)
ALV=2.303*CVC-CVD*ALOG(D)+CVH*ALOG(H)
V=EXP(ALV)
FVK=V
RETURN
END

```

S DATA

SAITEKIIKA KESAN JIGYOCHI

NAGANO-KEN AGEMATSU 189 RINPAN

[illegible]

3 1	230								
10 6	1 12 7	1 14 8	1 16 10	2 18 12	4 20 14	5 22 16	4 24 17	5	
26 18	8 28 18	7 30 19	11 32 20	13 34 21	14 36 22	17 38 22	19 40 23	21	
42 23	18 44 25	15 46 24	14 48 24	11 50 24	10 52 24	8 54 24	7 56 25	4	
58 25	3 60 25	2 62 25	1 64 25	1 66 25	1 68 25	1 70 25	0 72 25	0	
74 25	0 76 26	1 78 27	0 80 25	0					
2 4	53								
10 6	0 12 7	0 14 8	0 16 10	1 18 12	1 20 14	2 22 16	1 24 17	2	
26 18	2 28 18	3 30 19	3 32 20	2 34 21	3 36 22	3 38 22	3 40 23	3	
42 23	4 44 24	3 46 24	3 48 24	2 50 24	3 52 24	2 54 24	1 56 25	1	
58 25	2 60 60	1 62 25	1 64 25	1 66 25	0 68 25	0 70 25	0 72 25	0	
74 25	0 76 26	0 78 26	0 80 25	0					
4 4	138								
10 6	1 12 7	0 14 8	1 16 10	1 18 12	1 20 14	3 22 16	3 24 17	3	
26 18	4 28 18	5 30 19	7 32 20	8 34 21	9 36 22	11 38 22	12 40 23	13	
42 23	11 44 24	9 46 24	9 48 24	7 50 24	6 52 24	5 54 24	3 56 25	2	
58 25	2 60 25	1 62 25	0 64 25	1 66 25	0 68 25	0 70 25	0 72 25	0	
74 25	0 76 26	0 78 27	0 80 25	0					
2 1	35								
10 6	0 12 7	0 14 8	0 16 10	0 18 12	1 20 14	2 22 16	1 24 17	1	
26 18	2 28 18	1 30 19	2 32 20	3 34 21	2 36 22	3 38 22	3 40 23	2	
42 23	2 44 24	2 46 24	1 48 24	1 50 24	2 52 24	1 54 24	1 56 25	1	
58 25	1 60 25	0 62 25	0 64 25	0 66 25	0 68 25	0 70 25	0 72 25	0	
74 25	0 76 26	0 78 26	0 80 25	0					
5 1	450								
10 6	2 12 7	1 14 8	3 16 10	4 18 12	6 20 14	9 22 16	8 24 17	10	
26 18	13 28 18	16 30 19	22 32 20	26 34 21	27 36 22	34 38 22	37 40 23	42	
42 23	36 44 24	29 46 24	27 48 24	21 50 24	20 52 24	15 54 24	11 56 25	7	
58 25	7 60 25	4 62 25	2 64 25	3 66 25	2 68 25	1 70 25	1 72 25	1	
74 25	1 76 26	1 78 27	0 80 25	1					
2 1	123								
10 6	0 12 7	0 14 8	1 16 10	1 18 12	3 20 14	4 22 16	4 24 17	4	
26 18	5 28 18	5 30 19	7 32 20	7 34 21	6 36 22	8 38 22	9 40 23	11	
42 23	8 44 24	6 46 24	5 48 24	5 50 24	5 52 24	3 54 24	3 56 25	2	
58 25	3 60 25	1 62 25	1 64 25	1 66 25	2 68 25	0 70 25	1 72 25	1	
74 25	1 76 26	0 78 26	0 80 25	1					
6 1	286								
10 6	1 12 7	1 14 8	1 16 10	3 18 12	4 20 14	6 22 16	5 24 17	6	
26 18	9 28 18	10 30 19	13 32 20	16 34 21	17 36 22	22 38 22	24 40 23	27	
42 23	23 44 24	19 46 24	17 48 24	14 50 24	12 52 24	10 54 24	7 56 25	5	
58 25	5 60 25	3 62 25	1 64 25	1 66 25	1 68 25	1 70 25	1 72 25	1	
74 25	0 76 26	0 78 27	0 80 25	0					
2 1	69								
10 6	0 12 7	0 14 8	0 16 10	1 18 12	1 20 14	2 22 16	2 24 17	2	
26 18	3 28 18	3 30 19	4 32 20	4 34 21	4 36 22	5 38 22	5 40 23	5	
42 23	5 44 24	4 46 24	3 48 24	3 50 24	3 52 24	2 54 24	2 56 25	1	
58 25	2 60 25	1 62 25	1 64 25	1 66 25	0 68 25	0 70 25	0 72 25	0	
74 25	0 76 26	0 78 26	0 80 25	0					
7 1	506								
10 6	2 12 7	1 14 8	3 16 10	5 18 12	7 20 14	10 22 16	9 24 17	11	
26 18	15 28 18	18 30 19	25 32 20	29 34 21	30 36 22	39 38 22	42 40 23	48	
42 23	41 44 24	33 46 24	31 48 24	24 50 24	22 52 24	17 54 24	12 56 25	8	
58 25	7 60 25	5 62 25	2 64 25	3 66 25	2 68 25	1 70 25	1 72 25	1	
74 25	1 76 26	1 78 27	0 80 25	0					
2 1	133								
10 6	0 12 7	0 14 8	1 16 10	1 18 12	3 20 14	4 22 16	4 24 17	4	
26 18	5 28 18	5 30 19	8 32 20	8 34 21	7 36 22	10 38 22	10 40 23	9	
42 23	9 44 24	7 46 24	5 48 24	5 50 24	5 52 24	4 54 24	3 56 25	2	
58 25	3 60 25	2 62 25	1 64 25	1 66 25	1 68 25	1 70 25	1 72 25	1	

74 25	1 76 26	1 78 26	1 80 25	0					
8									
1	370								
10 6	2 12 7	1 14 8	2 16 10	3 18 12	5 20 14	7 22 16	6 24 17	8	
26 18	11 28 18	13 30 19	18 32 20	21 34 21	22 36 22	28 38 22	31 40 23	35	
42 23	30 44 24	24 46 24	23 48 24	18 50 24	16 52 24	12 54 24	9 56 25	6	
58 25	5 60 25	3 62 25	2 64 25	2 66 25	2 68 25	1 70 25	1 72 25	1	
74 25	1 76 26	1 78 27	0 80 25	0					
2	93								
10 6	0 12 7	0 14 8	0 16 10	1 18 12	2 20 14	3 22 16	3 24 17	3	
26 18	3 28 18	4 30 19	5 32 20	6 34 21	5 36 22	7 38 22	7 40 23	6	
42 23	6 44 24	5 46 24	4 48 24	4 50 24	4 52 24	3 54 24	2 56 25	2	
58 25	2 60 25	1 62 25	1 64 25	1 66 25	1 68 25	0 70 25	1 72 25	0	
74 25	0 76 26	0 78 26	1 80 25	0					
9									
1	693								
10 6	3 12 7	2 14 8	4 16 10	7 18 12	10 20 14	14 22 16	12 24 17	15	
26 18	21 28 18	24 30 19	34 32 20	40 34 21	41 36 22	52 38 22	58 40 23	65	
42 23	56 44 24	46 46 24	42 48 24	33 50 24	30 52 24	23 54 24	17 56 25	11	
58 25	10 60 25	6 62 25	3 64 25	4 66 25	3 68 25	2 70 25	1 72 25	1	
74 25	1 76 26	1 78 27	1 80 25	0					
2	175								
10 6	0 12 7	0 14 8	2 16 10	2 18 12	3 20 14	6 22 16	5 24 17	6	
26 18	7 28 18	7 30 19	10 32 20	11 34 21	9 36 22	12 38 22	12 40 23	12	
42 23	4 44 24	2 46 24	2 48 24	2 50 24	1 52 24	1 54 24	1 56 25	1	
58 25	4 60 25	2 62 25	2 64 25	2 66 25	1 68 25	1 70 25	1 72 25	1	
74 25	1 76 26	1 78 26	0 80 25	1					
10									
1	151								
10 6	1 12 7	0 14 8	1 16 10	1 18 12	2 20 14	3 22 16	3 24 17	4	
26 18	4 28 18	7 30 19	9 32 20	9 34 21	9 36 22	11 38 22	13 40 23	13	
42 23	12 44 24	9 46 24	9 48 24	7 50 24	8 52 24	5 54 24	3 56 25	2	
58 25	2 60 25	2 62 25	1 64 25	1 66 25	0 68 25	0 70 25	0 72 25	0	
74 25	0 76 26	0 78 27	0 80 25	0					
2	42								
10 6	0 12 7	0 14 8	0 16 10	1 18 12	1 20 14	2 22 16	2 24 17	2	
26 18	2 28 18	2 30 19	3 32 20	2 34 21	2 36 22	3 38 22	3 40 23	2	
42 23	2 44 24	2 46 24	1 48 24	1 50 24	1 52 24	1 54 24	1 56 25	1	
58 25	1 60 25	1 62 25	0 64 25	0 66 25	0 68 25	1 70 25	1 72 25	1	
74 25	0 76 26	0 78 26	0 80 25	0					

付表 3. 予備計算印刷出力

SAITEKIKI KESAN JIGYOCHI

NAGANO-KEN AGEMATSU 189 RINPAN

JUSHU 2 SHURUI

No. 1 HINOKI

No. 2 SAWARA

SUIKAHI=0.050

SHAMEN=10

No. 1

ZAHYO (X, Y, Z)	10.00		35.00	50.00
KESHA 219 (DO)		HOI	60 (DO)	
MENSEKI	0.87 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	90.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 2

ZAHYO (X, Y, Z)	20.00		15.00	30.00
KESHA 219 (DO)		HOI	150 (DO)	
MENSEKI	0.43 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	35.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 3

ZAHYO (X, Y, Z)	125.00		30.00	20.00
KESHA 330 (DO)		HOI	155 (DO)	
MENSEKI	0.73 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 4

ZAHYO (X, Y, Z)	125.00		20.00	0.00
KESHA 40 (DO)		HOI	30 (DO)	
MENSEKI	0.43 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	50.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 5

ZAHYO (X, Y, Z)	240.00		65.00	50.00
KESHA 30 (DO)		HOI	25 (DO)	
MENSEKI	1.45 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 6

ZAHYO (X, Y, Z)	240.00		40.00	50.00
KESHA 40 (DO)		HOI	50 (DO)	
MENSEKI	0.92 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 7

ZAHYO (X, Y, Z)	370.00		65.00	100.00
KESHA 20 (DO)		HOI	60 (DO)	
MENSEKI	1.65 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 8

ZAHYO (X, Y, Z)	370.00		40.00	90.00
KEISHA 30 (DO)		HOI	40 (DO)	
MENSEKI	1.20 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 9

ZAHYO (X, Y, Z)	520.00		75.00	120.00
KEISHA 17 (DO)		HOI	30 (DO)	
MENSEKI	2.24 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

No. 10	ZAHYO (X, Y, Z)				500.00	HOI			20.00	110.00		
	KEISHA				17 (DO)				10 (DO)			
	MENSEKI				0.56 (HA)							
	SAIDAI YOKODORI				75.00 (M)							
	SHOKUSEI=2											
MEN	1			1	9							
MEN	2			2	10							
SHAMEN 1	JUSHU 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	10	33	86	94	37	8	3	0	0	0	
	239.0	329.0	299.0	256.0	113.0	21.0	6.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
SHAMEN 1	JUSHU 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	2	13	19	17	10	3	0	0	0	0	
	54.0	86.0	76.0	52.0	26.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	JUSHU NO 1 HONSU=271											
	JUSHU NO 2 HONSU=205											
	SHAMEN NO SOJURYO=463177.8											
SHAMEN 2	JUSHU 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	5	15	48	49	18	4	0	0	0	0	
	124.0	170.0	156.0	133.0	55.0	9.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SHAMEN 2	JUSHU 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	1	5	13	8	6	0	0	0	0	0	
	30.0	43.0	42.0	28.0	12.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	JUSHU NO 1 HONSU=139											
	JUSHU NO 2 HONSU=106											
	SHAMEN NO SOJURYO=228563.9											
SHAMEN 3	JUSHU 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	9	29	74	79	32	6	1	0	0	0	
	205.0	282.0	254.0	216.0	94.0	15.0	3.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
SHAMEN 3	JUSHU 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	2	10	15	15	8	3	0	0	0	0	
	44.0	71.0	61.0	45.0	22.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	JUSHU NO 1 HONSU=230											
	JUSHU NO 2 HONSU=164											
	SHAMEN NO SOJURYO=383822.2											
SHAMEN 4	JUSHU 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	4	18	47	49	18	2	0	0	0	0	
	127.0	171.0	154.0	131.0	53.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SHAMEN 4	JUSHU 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	1	6	13	8	6	0	0	0	0	0	
	31.0	45.0	43.0	28.0	12.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	JUSHU NO 1 HONSU=138											
	JUSHU NO 2 HONSU=106											
	SHAMEN NO SOJURYO=222427.2											
SHAMEN 5	JUSHU 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	16	56	146	155	60	12	4	1	0	0	
	400.0	548.0	498.0	425.0	181.0	33.0	9.0	2.0	0.0	0.0	0.0	
SHAMEN 5	JUSHU 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	4	22	36	35	16	4	3	0	0	0	
	103.0	154.0	145.0	104.0	44.0	14.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
	JUSHU NO 1 HONSU=450											
	JUSHU NO 2 HONSU=356											
	SHAMEN NO SOJURYO=783066.9											
SHAMEN 6	JUSHU 1											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	10	36	92	100	39	7	2	0	0	0	
	254.0	351.0	316.0	272.0	116.0	20.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
SHAMEN 6	JUSHU 2											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	0	2	12	22	20	10	3	0	0	0	0	

	59.0	91.0	83.0	50.0	27.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	JUSHU NO 1	HONSU=286									
	JUSHU NO 2	HONSU=2130									
	SHAMEN NO	SOJURYO=482529.1									
SHAMEN 7	JUSHU 1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	18	63	165	177	66	13	4	0	0	0
	452.0	620.0	561.0	480.0	201.0	34.0	8.0	1.0	0.0	0.0	0.0
SHAMEN 7	JUSHU 2										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	5	22	41	35	17	6	3	0	0	0
	110.0	165.0	158.0	109.0	49.0	16.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	JUSHU NO 1	HONSU=506									
	JUSHU NO 2	HONSU=393									
	SHAMEN NO	SOJURYO=865816.8									
SHAMEN 8	JUSHU 1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	13	45	120	130	48	10	4	0	0	0
	329.0	450.0	411.0	352.0	149.0	26.0	8.0	1.0	0.0	0.0	0.0
SHAMEN 8	JUSHU 2										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	3	17	31	25	13	4	1	0	0	0
	81.0	123.0	115.0	78.0	36.0	11.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	JUSHU NO 1	HONSU=370									
	JUSHU NO 2	HONSU=288									
	SHAMEN NO	SOJURYO=635618.3									
SHAMEN 9	JUSHU 1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	26	86	225	242	91	18	5	0	0	0
	619.0	847.0	768.0	654.0	277.0	47.0	11.0	2.0	0.0	0.0	0.0
SHAMEN 9	JUSHU 2										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	7	31	54	47	24	8	3	0	0	0
	148.0	225.0	210.0	147.0	66.0	22.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	JUSHU NO 1	HONSU=693									
	JUSHU NO 2	HONSU=530									
	SHAMEN NO	SOJURYO=1179603.0									
SHAMEN 10	JUSHU 1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	5	21	51	50	20	4	0	0	0	0
	137.0	187.0	170.0	139.0	58.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SHAMEN 10	JUSHU 2										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	0	2	10	14	8	6	1	0	0	0	0
	38.0	57.0	48.0	29.0	13.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	JUSHU NO 1	HONSU=151									
	JUSHU NO 2	HONSU=129									
	SHAMEN NO	SOJURYO=244689.6									
JUSHUBETU DATA											
	JUSHU	HONSU	D(HEKIN)	H(HEKIN)		JUKO	KYOKUSEN		KESU		
	1	3234	39.158	28.535			0.164		2.163		
	HEIKINTEKINAKI										
	D	H		D		H					
	5.0	4.0		65.0		26.8					
	15.0	11.7		75.0		28.0					
	25.0	17.1		85.0		29.0					
	35.0	20.8		95.0		29.8					
	45.0	23.4		105.0		30.5					
	55.0	25.3									
JUSHUBETU DATA											
	JUSHU	HONSU	D(HEKIN)	H(HEKIN)		JUKO	KYOKUSEN		KESU		
	2	4407	7.100	22.703			0.215		0.037		
	HEIKINTEKINAKI										
	D	H		D		H					
	5.0	21.4		65.0		22.7					
	15.0	22.3		75.0		22.7					
	25.0	22.5		85.0		22.7					
	35.0	22.6		95.0		22.7					
	45.0	22.6		105.0		22.7					
	55.0	22.6									

付表 4. 予備計算カード出力

172	245	327	397	294	572	412	303	244	229	358
129	79	35	62	55	38	19	20	17	8	9
4816.	2702.	2569.	1922.	1552.	1029.	897.	573.	367.	453.	182.
110.	91.	77.	41.	24.	27.	21.	13.	8.	19.	
0	10	33	86	94	37	8	3	0	0	0
0	2	13	19	17	10	3	4	0	0	0
0	5	15	48	49	18	4	0	0	0	0
0	1	5	13	8	6	0	0	0	0	0
0	9	29	74	79	32	6	1	0	0	0
0	2	10	15	15	8	3	0	0	0	0
0	4	18	47	49	18	2	0	0	0	0
0	1	6	13	8	6	0	0	0	0	0
0	16	56	146	155	60	12	4	1	0	0
0	4	22	36	35	16	4	3	0	0	0
0	10	36	92	100	39	7	2	0	0	0
0	2	12	22	20	10	3	0	0	0	0
0	18	63	165	177	66	13	4	0	0	0
0	5	22	41	35	17	6	3	0	0	0
0	13	45	120	130	48	10	4	0	0	0
0	3	17	31	25	13	4	1	0	0	0
0	26	86	225	242	91	18	5	0	0	0
0	7	31	54	47	24	8	3	0	0	0
0	2	10	14	8	6	1	0	0	0	0
239.	329.	299.	256.	113.	21.	6.	1.	0.	0.	0.
54.	86.	76.	52.	26.	8.	0.	0.	0.	0.	0.
124.	170.	156.	133.	55.	9.	1.	0.	0.	0.	0.
30.	43.	42.	28.	12.	2.	0.	0.	0.	0.	0.
205.	282.	254.	216.	94.	15.	3.	1.	0.	0.	0.
44.	71.	61.	45.	22.	7.	0.	0.	0.	0.	0.
127.	171.	154.	131.	53.	7.	0.	0.	0.	0.	0.
31.	45.	43.	28.	12.	2.	0.	0.	0.	0.	0.
400.	548.	498.	425.	181.	33.	9.	2.	0.	0.	0.
103.	154.	145.	104.	44.	14.	5.	0.	0.	0.	0.
254.	351.	316.	272.	116.	20.	4.	0.	0.	0.	0.
59.	91.	83.	60.	27.	8.	0.	0.	0.	0.	0.
452.	620.	561.	480.	201.	34.	8.	1.	0.	0.	0.
110.	165.	158.	109.	49.	16.	6.	0.	0.	0.	0.
329.	450.	411.	352.	149.	26.	8.	1.	0.	0.	0.
81.	123.	115.	78.	36.	11.	2.	0.	0.	0.	0.
619.	847.	768.	654.	277.	47.	11.	2.	0.	0.	0.
148.	225.	210.	147.	66.	22.	6.	0.	0.	0.	0.
137.	187.	170.	139.	58.	9.	0.	0.	0.	0.	0.
38.	57.	48.	29.	13.	3.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	116.	402.	1054.	1125.	429.	84.	23.	1.	0.	0.
0.	29.	148.	258.	218.	116.	32.	10.	0.	0.	0.
2886.	3955.	3587.	3058.	1297.	221.	50.	8.	0.	0.	0.
698.	1060.	981.	680.	307.	93.	19.	0.	..	0.	0.
4.1	11.9	17.3	20.8	23.4	25.2	26.7	27.8	28.7	29.5	30.1
21.3	22.3	22.5	22.6	22.6	22.6	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
333	172	283	183	573	355	639	463	868	193	
463178.	228564.	383822.	222427.	783067.	482529.	865817.	635618.	1179603.	244690.	
5489316.	5568.									
56.31	-2.763	0.0986								

付表 5. 最適化計算プログラム

```

$MAIN HARP DECK
    DIMENSION IHOSHA(10), NSHOK(10), CSDA(5), CSHA(5), NBASA(32), WSA(5)
    2, PSNA(5), PSA(5), CYDA(5), CGBA(5), DSKA(5), SSKA(5), QSKA(5), CSKA(5)
    3, DLFA(5), SLFA(5), QLFA(5), CLFA(5), DHBA(5), SHBA(5), QHBA(5), CHBA(5)
    4, CHC(5), CHD(5), NJUS(5), CVCA(5), CVDA(5), CVHA(5), CSCA(5), YGSHA(10)
    5, B(30), BE(20), BNHA(9), BNOHA(2), BNZA(9), BNOZA(2), BNKA(10)
    6, RCYSHA(10), TCRA(10), MKSA(10), MWKA(20), RWTA(20), SNKZA(10)
    COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
    1 XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5, 11), MKA
    2 (10, 5, 11), RTA(10, 5, 11), RKJD(5, 11), RTJD(5, 11), SWA(10), FKA(7), SW, AT
    3, IKOT, IPS, IDSK
    DO 999 I=1, 7
    FKA(I)=FKAI(I)
    999 CONTINUE
C    YOMIKOMI 1
    READ(5, 1011) (NBASA(I), I=1, 32)
    1011 FORMAT(16A5)
    WRITE(6, 2011) (NBASA(I), I=1, 32)
    READ(5, 1013) KAS
    READ(5, 1013) MJUS
    2011 FORMAT(1H1, 10X, 16A5//10X, 16A5)
    MJUSH=MJUS
    READ(5, 1014) (NJUS(I), I=1, MJUS)
    1014 FORMAT(7A10)
    2041 FORMAT(1H0, 10X, 10HSUIKAHI -, F10.3)
    WRITE(6, 2013) MJUSH
    WRITE(6, 2015) (I, NJUS(I), I=1, MJUS)
    2013 FORMAT(1H0, 10X, 5HJUSHU, 5X, I5, 5X, 6HSHURUI)
    2015 FORMAT(1H , 10X, 2HNO, 5X, A8)
C    JUSHU NO JOSU
    READ(5, 1023) (TLA(I), I=1, MJUS)
    1023 FORMAT(F10.5)
C    YOMIKOMI 2
    1015 FORMAT(3F10.2)
    READ(5, 1015) XUE, YUE, ZUE, XSITA, YSITA, ZSITA, XBAN, YBAN, ZBAN
    READ(5, 1015) SBL
    WRITE(6, 2041) SBL
    READ(5, 1013) MSH
    WRITE(6, 2017) MSH
    2017 FORMAT(1H0, 5X, 14HSHAMEN NO KAZU, I10)
    S=0.0
    DO 11 ISH=1, MSH
    READ(5, 1017) XSHA(ISH), YSHA(ISH), ZSHA(ISH), KESHA(ISH), IHOSHA(ISH)
    1, ASHA(ISH), YGSHA(ISH), NSHOK(ISH)
    WRITE(6, 2019) ISH, XSHA(ISH), YSHA(ISH), ZSHA(ISH), KESHA(ISH)
    1017 FORMAT(3F10.2, 2I5, 2F10.2, I5)
    2019 FORMAT(1H0, 10X, 2HNOI5/15X, 13HZAHYO (X, Y, Z), 3F10.2/15X, 5HKESHA, I5
    1, 13H (DO) HOI, I5, 6H (DO)/15X, 7HMENSEKI, F10.2, 6H (HA)/15X
    2, 15HSAIDAI YOKODORI, F10.2, 5H (M)/15X, 10HSHOKUSEI =I5)
    S=S+ASHA(ISH)
    11 CONTINUE
    DO 600 ISH=1, MSH
    X=XSHA(ISH)-XBAN
    XP=YSHA(ISH)*1.73
    IF(X. LT. XP) XSHA(ISH)=XP+XBAN
    600 CONTINUE
    AT=S
    READ(5, 1013) MEN
    DO 5 I=1, MEN
    READ(5, 1013) K, L
    WRITE(6, 2021) I, K, L
    2021 FORMAT(1H0, 10X, 3HMEN, I5, 5X, 2I10)
    XMENSA(I)=XSHA(K)
    XMENGA(I)=XSHA(L)
    5 CONTINUE

```

```

SPAN=XUE-XSITA
TRSK=(ZUE-ZSITA)/SPAN
RSK=ATAN(TRSK)
SRSK=SIN(RSK)
CRSK=COS(RSK)
SERSK=1.0/CRSK
SKL=SPAN*SERSK
1013 FORMAT(16I5)
      READ(5,3001) (MWKA(I), I=1,22)
      READ(5,3002) (RWTA(I), I=1,21)
      READ(5,3001) (((MKA(I, J, K), K=1,11), J=1, MJUSH), I=1, MSH)
      READ(5,3002) (((RTA(I, J, K), K=1,11), J=1, MJUSH), I=1, MSH)
      READ(5,3002) ((RKJD(J, K), K=1,11), J=1, MJUSH)
      READ(5,3002) ((RTJD(J, K), K=1,11), J=1, MJUSH)
      READ(5,3002) ((HA(J, K), K=1,11), J=1, MJUSH)
      READ(5,3001) (MKSA(I), I=1, MSH)
      READ(5,3005) (SWA(I), I=1, MSH)
      READ(5,3007) SW, SVKI
      CALL BATZOF(NSHOK, SBZT, SBHT, SZT, SXB, SYB, MKSA)
3001 FORMAR(11I7)
3002 FORMAT(11F7.0)
3005 FORMAT(10F8.0)
3007 FORMAT(2F20.0)
C      READ SAGYO JIKAN
      READ(5,1013) IHB, IHS
      HBAZ=IHB
      HSHU=IHS
C      READ CHINGIN
      READ(5,1013) IDLD, IDFD, ICLD, ICFD, ISLD, ISFD
      CDD=IDLD+IDFD
      CCD=ICLD+ICLD
      CSD=ISLD+ISFD
C      KASEN TEK KYO
      TAYKOT=15.4+0.035*SPAN
      HAUKOT=16.1+0.037*SPAN
      IF(KAS-1) 14,14,16
14      CONTINUE
      CKAS=CSD*TAYKOT
      GO TO 18
16      CONTINUE
      CKAS=CSD*HAUKOT
18      CONTINUE
C      ZORIN COST
      CZOR=15000.0*AT
C      SUEKI SIJO SHOBUN
      CZSH=120.0*SVKI*0.05
C      BANDAI SASETU
      CBAS=100000.0
C      ZENBOKU SOCOST(RIEKI)
      CZER=CZOR+CZSH+CBAS
      RLS=0.0
      DO 77 IMEN=1, MEN
77      RLS=RLS+XMENGA(IMEN)-XMENSA(IMEN)
      IKE=0
      DO 81 ISH=1, MSH
      RES=KESHA(ISH)
      BNKA(ISH)=2.0*VHO(RES)*20.0
      IKE=IKE+KESHA(ISH)
81      CONTINUE
      REM=IKE
      RES=REM/FLOAT(MSH)
C      SYUZA I KI DATE YOMICOMI
      READ(5,1013) MPS
      DO 200 I=1, MPS
      READ(5,102) IA, IB, C, D
102      FORMAT(2I10, 2F10.2)
      PSNA(I)=IA

```



```

PSA(1)=IB
CYDA(1)=C
CGBA(1)=D
200 CONTINUE
READ(5,1013) MDSK
DO 201 I=1, MDSK
103 READ(5,103) A1, A2, A3, A4, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4
FORMAT(4F10.5)
DSKA(1)=A1
SSKA(1)=A2*1000.0
QSKA(1)=A3
CSKA(1)=A4
DLFA(1)=B1
SLFA(1)=B2*1000.0
QLFA(1)=B3
CLFA(1)=B4
DHBA(1)=C1
SHBA(1)=C2*1000.0
QHBA(1)=C3
CHBA(1)=C4
201 CONTINUE
DBZO=(SBHT+SZT)/(60.0*HBAZ)
DBAZ=SBZT/(60.0*HBAZ)
CBAZ=CCD*DBAZ
CBZO=CCD*DBZO
WRITE(6,221) DBAZ, CBAZ, DBZO, CBZO
221 FORMAT(1H0, 10X, 5HGOKEI//20X, 20H KOTEI COST //
110X, 10H HUTU, 2F10.2// 10H ZENBOKU, 2F10.2//
210X 10H ZOZA1, 2F10.2)
WRITE(6,2053) CKAS, CZOR, CBAS, CZER
2053 FORMAT(1H0, 5X, 4HCOST/10X, 5HKASEN, F10.0/10X, 5HZORIN, F10.0
1/10X, 6HBAZAI, F10.0/10X, 7HZENBOKU, F10.0)
HCOST=CKAS+CBZO+CZOR+CZSH+CZER
ZCOST=CKAS+CBAZ
C READ KAIKI KEISU
101 FORMAT(8F10.5)
C HUTU NIKAKE
READ(5,101) (B(I), I=1, 11)
READ(5,101) (BE(I), I=1, 7)
BNHA(1)=B(1)+B(3)*BE(2)+B(4)*BE(3)+B(6)*BE(4)+B(7)*BE(5)
BNHA(2)=B(8)
BNHA(3)=B(10)+B(4)*BE(7)
BNHA(6)=B(2)
BNHA(7)=B(9)
BNHA(8)=B(11)
BNHA(9)=B(5)
BNHA(4)=BE(1)
BNHA(5)=BE(6)
READ(5,101) (B(I), I=1, 6)
READ(5,101) (BE(I), I=1, 2)
BNOHA(1)=B(1)+B(2)+B(3)*BE(1)+B(4)*BE(2)+B(5)
BNOHA(2)=B(6)
C ZENBOKU NIKAKE
READ(5,101) (B(I), I=1, 8)
READ(5,101) (BE(I), I=1, 5)
BNZA(1)=B(1)+B(3)*BE(2)+B(4)*BE(3)+B(6)*BE(4)+B(7)*BE(5)
1+B(2)*BE(1)
BNZA(9)=B(5)
BNZA(2)=B(8)
READ(5,101) (B(I), I=1, 6)
READ(5,101) (BE(I), I=1, 2)
BNOZA(1)=B(1)+B(2)+B(3)*BE(1)+B(4)*BE(2)
BNOZA(2)=B(6)
READ(5,101) BSTAMP
STAMP=RLS*(0.05*BSTAMP+VHO(RES))
WRITE(6,2101) STAMP
2101 FORMAT(1H0, 10X, 7HSTAMP =, F10.1)
C OPTIMIZATION
DO 401 IKOT=1, 2
DO 403 IDSK=1, MDSK
  
```

```

WRITE(6, 2401) IKOT, IDSK
2401 FORMAT(1H0, 5HKOTEI, I5, 5X, 5HDSK = I5/)
DSK=DSKA(IDSK)
SSK=SSKA(IDSK)
QSK=QSKA(IDSK)
CSK=CSKA(IDSK)
DLF=DLFA(IDSK)
SLF=SLFA(IDSK)
QLF=QLFA(IDSK)
CLF=CLFA(IDSK)
DHB=DHBA(IDSK)
SHB=SHBA(IDSK)
QHB=QHBA(IDSK)
CHB=CHBA(IDSK)
WSK=SKL*QSK
WLF=SKL*QLF
WHB=SKL*QHB/2.0
WLB=WLF
WCR=100.0*QSK
WASK=0.5*(2.66*SSK*SBL*CRSK-WSK)
WETC=WCR+WLB+0.5*(WLF+WHB)
WALOG=WASK-WETC
WRITE(6, 5000) WASK, WCR, WETC, WALOG
5000 FORMAT(1H , 5X, 12HKAKUSHU NO W, 3X, 4HWASK, 6X, 3HWCR, 7X, 4HWE-
+ TC, 6X, 5HWALOG/17X, 4F10.3)
IF(WALOG.LT. 200.0) GO TO 403
STL=2.1*10.0**4/200.0
Q=WETC+WALOG*0.9
A=DSK**2*1.1/3.0
QA=(Q/(2.0*A))**1.72
FNSK=(2.26*10.0**5/QA)*16.0/DSK
CFN=CSK*(SPAN+100.0)/FNSK
TL1=0.7*(WLB+0.5*WHB)*3.0/DLF**2
TL2=0.7*(WLB+0.5*WHB+0.9*WALOG)*3.0/DLE**2
TH1=1.4*WETC*SRSK*3.0/DHB**2
TH2=(WETC+0.9*WALOG)*SRSK*3.0/DHB**2
IF(KAS-1) 113, 113, 111
111 WLF=0.5*WLF
WLB=0.5*WLB
TL=(WLB+0.5*WHB)*1.0/COS(0.34+2.0*RSK)/3.0*1.4
TL1=TL*3.0/DLF**2
TH=((WLB+0.5*WHB)*SRSK+TL)*1.4
TH1=TH*3.0/DHB**2
TLD=1.4*(WLB+WHB*0.5+0.9*WALOG)/COS(0.34+RSK)/3.0
TL2=TLD*3.0/DLF**2
THD=((WLB+0.5+0.9*WALOG)*SRSK+TL/1.4)/1.4
TH2=THD*3.0/DHB**2
113 CONTINUE
CFL1=1.04*10.0**13.0/(TL1+STL)**3.68/DLF
CFL2=1.04*10.0**13.0/(TL2+STL)**3.68/DLF
CFL=4.0*(1.0/CFL1+1.0/CFL2)*CLF*1.5*SPAN
CFH1=1.04*10.0**13.0/(TH1+STL)**3.6/DHB
CFH2=1.04*10.0**13.0/(TH2+STL)**3.6/DHB
CFH=4.0*(1.0/CFH1+1.0/CFH2)*CHB*3.0*SPAN
CFWR1=CFN+CFL+CFH
WRITE(6, 1004) STL, FNSK, CFN, CFL1, CFL2, CFL, CFH1, CFH2, CFH
1004 FORMAT(1H , 9HWIRE ROPE, 3(/10X, 3E12.5))
IF(IKOT-1) 405, 405, 407
405 CONTINUE
CALL HUTUNI(RCYC, RCYSHA, BNOHA, BNHA, BNKA, STAMP, WALOG,
1 RWTA, SSNIO, SNKC, SNKJ)
GO TO 409
407 CONTINUE
CALL ZENNIK(RCYC, RCYSHA, BNOZA, BNZA, BNKA, SNOZ, SNKZA, WALOG,
1 MWKA)
409 CONTINUE
CFWR=CFWR1*RCYC
WRITE(6, 1002) CFWR1, RCYC, CFWR
1002 FORMAT(10X, 17HWIRE ROPE NO COST, 3F10.3)
DO 411 IPS=1, MPS
WRITE(6, 5011) IPS

```

```

5011  FORMAT(1H0, 10X, 5HIPS =, I5)
      PSN=PSNA(IPS)
      PS=PSA(IPS)
      CYD=CYPD(IPS)
      CGB=CGBA(IPS)
      CYDD=CYD*0.00199
      CGBD=CGB/400.0
      CMD=CYDD+CGBD
      CALL CKIK2 (PSN, PS, CYD, CGB, IHOSHA, RCYSHA, XBAN, ZBAN, XSITA,
+              RSK, TRSK, SRSH, QHB, DSK, WCR, WLB, WHB, WETC, WAL-
+              OG, WLF, CFUE, TCRA)
      CKI=CFWR+CFUE
      IF(IKOT-1) 415, 415, 417
415   CONTINUE
      SCOST=HCOST
      RHN=MHN
      STCR=0.0
      DO 1 ISH=1, MSH
1STCR=STCR+TCRA(ISH)*RCYSHA(ISH)
      SNKH=STCR+SNKC+SSNIO+STAMP
2233  FORMAT(1H0, 9X, 5HDSK =F9.1, 10X, 4HPS =, F9.1)
      WRITE(6, 2233) DSK, PS
      DO 421 MHN=1, 2
      WRITE(6, 5013) MHN
5013  FORMAT(1H , 7X, 5HMHN =I5)
      TSHH=SNKH+SNKJ/RHN
      DSHH=TSHH/(60.0*HSHU)
      CSHH=(CSD*(1.0+RHN)+CDD)*DSHH
      CBUK=CMD*DSHH
      COST=CKI+CBUK+CSHH
      SCOST=SCOST+COST
      WRITE(6, 2103) CBUK, CKI
2103  FORMAT(1H0, 15X, 9HBUKKENHI, F10.1, 5X, 14HROPE, NENRY/ HI, F10.0)
      WRITE(6, 5015) DSHH, CSHH, COST, SCOST
421   CONTINUE
      GO TO 419
417   CONTINUE
      WRITE(6, 2233) DSK, PS
      SCOST=ZCOST
      DO 431 MBJ=3, 5
      MBS=1
      WRITE(6, 5021) MBJ, MBS
5021  FORMAT(1H0, 5X, 5HMBJ =, I5, 5X, 5HMBS =I5)
      CXB=AXB/RCYC
      CYB=SYB/RCYC
      CALL COSTZ(SSHUZ, MBJ, MBS, TCRA, SNKZA, SNOZ, CXB, CYB, RCYSHA)
      RBS=MBS
      RBC=MBJ-MBS
      TSHZ=SSHUZ+STAMP
      DSHZ=TSHZ/(60.0*HSHU)
      CBUK=CMD*DSHZ
      CSHZ=(CSD*(1.0+RBS)+CCD*RBC+CDD)*DSHZ
      COST=CKI+CBUK+CSHZ
      SCOST=SCOST+COST
      WRITE(6, 2103) CBUK, CKI
      WRITE(6, 5015) DSHZ, CSHZ, COST, SCOST
5015  FORMAT(1H0, 10X, 6HDSHU =F10.3, 5X, 6HCSHU =F10.1, 5X, 6HCOST =F10.1,
1 10X, 8HSOCOST =, F20.1)
431   CONTINUE
419   CONTINUE
411   CONTINUE
403   CONTINUE
401   CONTINUE
      STOP
      END

```

\$BTZOZ HARP DECK

```

      SUBROUTINE BATZOZ(NSHOK, SBZT, SBHT, SZT, SXB, SYB, MKSA)
      DIMENSIONNSHOK(10), B(30), BE(20), BHCJ(5), BHDJ(5), BHSJ(5), BTCJ(5)
1, BTDJ(5), BTSJ(5), XTCJ(5), BZCJ(5), BZDJ(5), BZSJ(5), MKSA(10)

```

```

2, XTDJ(5), XTSJ(5)
COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1 XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUS, TLA(5), HA(5,11), MKA
2 (10,5,11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7), SW, AT

C HUTU BATTO
READ(5,1003) (BHCJ(1), BHDJ(1), BHSJ(1), I=1, MJUS)
READ(5,1001) (B(1), I=1, 12)
READ(5,1001) (BE(1), I=1, 10)
BHC=B(1)*BE(1)+B(3)*BE(3)+B(5)*BE(5)+B(6)*BE(6)+B(7)*BE(7)+B(8)*BE
1... (8)
BHCA1=B(2)
BHCA2=B(4)
BHDA1=B(10)
BHDA2=B(11)
BHED1=BE(2)
BHED2=BE(4)
BHEC1=BE(9)
BHEC2=BE(10)
BHD=B(9)
BHS=B(12)

C ZENBOKU BATTO
1001 FORMAT(8F10.4)
1003 FORMAT(3F10.4)
READ(5,1003) (BZCJ(1), BZDJ(1), BZSJ(1), I=1, MJUS)
READ(5,1001) (B(1), I=1, 12)
READ(5,1001) (BE(1), I=1, 10)
BZC=B(1)*BE(1)+B(3)*BE(3)+B(5)*BE(5)+B(6)*BE(6)+B(7)*BE(7)
BZCA1=B(2)
BZCA2=B(4)
BZDA1=B(10)
BZDA2=B(11)
BZED1=BE(2)
BZED2=BE(4)
BZEC1=BE(9)
BZEC2=BE(10)
BZD=B(9)
BZS=B(12)
SIDO=0.0
DO 1 ISH=1, MSH
A=ASHA(ISH)
RESH=KESHA(ISH)
SIDO=SIDO+VHC(RESH, NSHOK(ISH))*SQRT(A*FLOAT(MKSA(ISH)))
1 CONTINUE
SDOG=B(8)*AT*100.0
SBZT=SIDO
SBHT=SIDO+SDOG
WRITE(6,301)
301 FORMAT(1H0, 5X, 20H BATTO SAGYORYO / HON)
DO 3 ID=1, 11
D=10*ID-5
WRITE(6,303) D
SBHD=BHC+D*BHD+D**2*BHS+(BHCA1+D*BHDA1)*EX1(D*BHED1+BHEC1)
1 + (BHCA2+D*BHDA2)*EX1(D*BHED2+BHEC2)
1 SBZD=BZC+D*BZD+D**2*BZS+(BZCA1+D*BZDA1)*EX1(D*BZED1+BZEC1)
1 + (BZCA2+D*BZDA2)*EX1(D*BZED2+BZEC2)
DO 5 JUS=1, MJUS
SBHJ=SBHD+BHCJ(JUS)+D*BHDJ(JUS)+D**2*BHSJ(JUS)
SBZJ=SBZD+BZCJ(JUS)+D*BZDJ(JUS)+D**2*BZSJ(JUS)
SBHT=SBHT+RKJD(JUS, ID)*SBHJ
SBZT=SBZT+RKJD(JUS, ID)*SBZJ
WRITE(6,305) JUS, SBHJ, SBZJ
5 CONTINUE
3 CONTINUE
303 FORMAT(1H0, 10X, 15H KYOKO CHOKKEI , F10.0//15X, 5H JUSHU,
1 5X, 20H HUTU ZENBOKU/)
305 FORMAT(1H , 15X, 15, 5X, 2F10.1)
WRITE(6,307) SBHT, SBZT
307 FORMAT(1H0, 5X, 25H GOKEI HUTU ZENBOKU/10X, 2F10.1)

C ZOZAI KI

```

```

READ(5, 1001) (B(I), I=1, 22)
READ(5, 1001) (BE(I), I=1, 14)
ZC=B(1)+B(2)*BE(1)+B(3)*BE(2)+B(5)*BE(3)+B(7)*BE(5)+B(8)*BE(6)+B
1 (10)*BE(8)+B(11)*BE(9)+B(12)*BE(10)
ZN=B(21)
ZH=B(22)
ZKE=B(17)+B(18)*BE(2)+B(19)*BE(3)+B(20)*BE(8)
ZS=B(16)*BE(3)
ZD=B(13)*BE(3)+B(14)*BE(8)+B(15)*BE(9)
ZCA1=B(4)
ZCA2=B(6)*0.35
ZCA3=B(9)
ZED1=BE(11)*0.01
ZED2=BE(12)
ZEB3=BE(13)
ZES1=BE(14)*0.01
ZEC2=BE(4)
ZEC3=BE(7)
ZEH=BE(2)
WRITE(6, 311)
SZT=0.0
DO 11 ID=1, 11
D=10*ID-5
WRITE(6, 313) D
SZD=ZC+D*ZD+D**2*ZS+ZCA1*EX1(ZED1*D+ZES1*D**2)+ZCA2*EX1(ZED2*D
1 +ZE(2)+ZCA3*EX1(ZED3*D+ZEC3)
DO 13 ISH=1, MSH
RESH=KESHA(ISH)
SZS=SZD+RESH*ZKE
IF(D, LE, 23.0) SZS=SZS-RESH*ZKE-12.71*D+315.9
DO 15 JUS=1, MJUS
H=HA(JUS, ID)
SZK=SZS+ZN*H/TLA(JUS)+ZH*H*ZEH
SZT=SZT+FLOAT(MKA(ISH, JUS, ID))*SZK
IF(ISH, NE, 1) GO TO 15
WRITE(6, 315) JUS, SZK
15 CONTINUE
13 CONTINUE
11 CONTINUE
C
ZOZAI TAMA
READ(5, 1003) (BTCJ(I), BTDJ(I), BTSJ(I), I=1, MJUS)
READ(5, 1001) (B(I), I=1, 2)
READ(5, 1001) (BE(I), I=1, 2)
BTC=B(1)*BE(1)+B(2)*BE(2)
WRITE(6, 317)
DO 21 ID=1, 11
D=10*ID-5
WRITE(6, 313) D
DO 23 JUS=1, MJUS
STM=BTC+BTCJ(JUS)+D*BTDJ(JUS)+D**2*BTSJ(JUS)
SZT=SZT+STM*RTJD(JUS, ID)
WRITE(6, 315) JUS, STM
23 CONTINUE
21 CONTINUE
WRITE(6, 319) SZT
311 FORMAT(1H0, 5X, 14HZOZAI SAGYORYO/10X, 11HKI NO SAGYO)
313 FORMAT(1H0, 10X, 3HD =, F5.0)
315 FORMAT(1H, 15X, 5HJUS =12, F10.1)
317 FORMAT(1H0, 10X, 13HTAMA NO SAGYO)
WRITE(6, 319) SZT
319 FORMAT(1H0, 5X, 5HGOKEI, F10.1)
C
BANDAI KI
READ(5, 1001) (B(I), I=1, 19)
READ(5, 1001) (BE(I), I=1, 14)
XKC=B(2)*BE(1)+B(3)*BE(2)+B(5)*BE(3)+B(8)*BE(6)+B(10)*BE(8)+B(11)*
1 BE(9)+B(12)*BE(10)
XKH=B(18)*BE(2)
XKS=B(16)*BE(3)
XKD=B(13)*BE(3)+B(14)*BE(8)+B(15)*BE(9)
YKC=B(1)+B(7)*BE(5)

```

```

YKN=B(17)
YKD=B(19)
XKCA1=B(4)
XKCA2=B(6)
XKCA3=B(9)
XED1=BE(11)*0.01
XED2=BE(12)
XED3=BE(13)
XES1=BE(4)
XEC2=BE(14)*0.01
XEC3=BE(7)
WRITE(6,321)
WRITE(6,323)
SXB=0.0
SYB=0.0
DO 41 ID=1,11
D=10*ID-5
WRITE(6,313) D
SYD=YKC+D*YKD
SXD=XKC+D*XKD+D**2*XKS+XKCA1*EXI(D*XED1+D**2*XES1)
1      +0.40*XKCA2*EXI(D*XED2+XEC2)
2      +XKCA3*EXI(D*XED3+XEC3)
DO 43 JUS=1, MJUS
H=HA(JUS, ID)
SXX=SXD+XKH*H
SYK=SYD+YKN*H/TLA(JUS)
SXB=SXB+SXX*RKJD(JUS, ID)
SYB=SYB+SYK*RKJD(IUS, ID)
WRITE(6,325) JUS, SXX, SYK
43 CONTINUE
41 CONTINUE

C
BANDAI TAMA
WRITE(6,327)
READ(5,1003) (XTCJ(I), XTDJ(I), XTSJ(I), I=1, MJUS)
READ(5,1001) (B(I), I=1, 4)
READ(5,1001) (BE(I), I=1, 3)
XTC=B(1)*BE(1)
YTC=B(2)*BE(2)+B(3)*BE(3)
YTD=B(4)*BE(3)
WRITE(6,323)
DO 53 ID=1,11
D=10*ID-5
WRITE(6,313) D
SYT=YTC+D*YTD
DO 52 JUS=1, MJUS
SXT=XTCJ(JUS)+D*XTDJ(JUS)+D**2*XTSJ(JUS)+XTC
SXB=SXB+SXT*RTJD(JUS, ID)
SYB=SYB+SYT*RTJD(JUS, ID)
WRITE(6,325) JUS, SXT, SYT
52 CONTINUE
53 CONTINUE
WRITE(6,329) SXB, SYB
321 FORMAT(1H0, 5X, 16HBANDAI SAGYO RYO//10X, 11HKI NO SAGYO)
323 FORMAT(1H0, 15X, 25HJUSHU      SAW      NOT )
325 FORMAT(1H , 15X, I5, 2F10.1)
327 FORMAT(1H0, 10X, 13HTAMA NO SAGYO)
329 FORMAT(1H0, 5X, 5HGOKEL, 10X, 2F20.1)
RETURN
END

$SKAI HARP DECK
FUNCTION FKAI(M)
N=1
DO 1 J=1, M
N=N*J
1 CONTINUE
FKAI=N
RETURN
END

```

\$EXIST HARP DECK

```

FUNCTION EXI(X)
IF(X. LT. 0.0) X=0.0
IF(X. GT. 1.0) X=1.0
EXI=X
RETURN
END
    
```

\$SVHC HARP DECK

```

FUNCTION VHC(T, I)
IF(T-25.0) 1, 1, 2
2 IF(T-35.0) 3, 3, 4
1 J=1
GO TO 5
3 J=2
GO TO 5
4 J=3
5 K=I+J-2
VHC=3.6*1.23**K
RETURN
END
    
```

\$SVHO HARP DECK

```

FUNCTION VHO(T)
IF(T-15.0) 1, 1, 2
1 V=3.5
GO TO 9
2 IF(T-25.0) 3, 3, 4
3 V=4.0
GO TO 9
4 IF(T-35.0) 5, 5, 6
5 V=5.5
GO TO 9
6 V=7.0
9 VHO=V*0.6
RETURN
END
    
```

\$SCOZ HARP DECK

```

SUBROUTINE COSTZ(SSHUZ, MBJ, MBS, TCRA, SNKZA, SNOZ, SXB, SYB,
+ RCYSHA)
DIMENSION TCRA(10), RCYSHA(10), SNKZA(10)
COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1 XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5, 11), MKA
2 (10, 5, 11), RTA(10, 5, 11), RKJD(5, 11), RTJD(5, 11), SWA(10), FKA(7), SW
RBJ=MBJ
RBS=MBS
RBC=RBJ-RBS
S=0.0
WRITE(6, 201)
201 FORMAT(1H0, 15X, 45H ISH      TN      TBZC      TBANC      TCY )
DO 1 ISH=1, MSH
TN=TCRA(ISH)+SNKZA(ISH)+SNOZ
IF(MBS) 3, 3, 4
4 TBZC=SXB/RBC
IF(TBZC-SYB) 3, 7, 7
3 TBZC=(SXB+SYB)/RBJ
7 CONTINUE
TBANC=TBZC+100.0
IF(TBANC-TN) 11, 11, 12
11 TCY=TBANC
GO TO 13
12 TCY=TN
13 CONTINUE
S=S+RCYSHA(ISH)*TCY
WRITE(6, 203) ISH, TN, TBZC, TBANC, TCY
203 FORMAT(1H , 15X, 15, 4F10.1)
1 CONTINUE
SSHUZ=S
WRITE(6, 205) SSHUZ
    
```

```
205  FORMAT(1H0, 10X, 7HSSHUZ =, F15.1)
      RETURN
      END
```

\$SPRN HARP DECK

```
      FUNCTION PRN(M, EM)
      N=M-1
      S=1.0
      EK=1.0
      IF(N.EQ. 0.0) GO TO 3
      DO 1 IM=1, N
      EK=EK*EM/FLOAT(IM)
1      S=S+EK
3      CONTINUE
      PRN=1.0-EXP(-EXP(-EM)*S)
      RETURN
      END
```

\$SUB1 HARP DECK

```
      SUBROUTINE PROB1(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
      DIMENSION RW(25), KLA(7), KLD(7)
      COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1  XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11), MKA
2  (10,5,11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7), SW, AT
      P=0.0
      FK=FKA(M)
      DO 8 I=1, J
8      KLA(I)=KLD(I)
      IM=IWG
      DO 21 IW=IWS, IM
      IF(IW-IWS) 4,4,5
4      L=J
      KLA(L)=KLA(L)+1
      GO TO 6
5      L=J+1
      KLA(J)=KLD(J)
      KLA(L)=1
6      CONTINUE
      PRN1=FK
      DO 31 J=1, L
      KL=KLA(J)
31      PRN1=PRN1/FKA(KL)
      P=P+PRN1*RW(IW)
21      CONTINUE
1      CONTINUE
      RETURN
      END
```

\$SUB2 HARP DECK

```
      SUBROUTINE PROB2(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
      DIMENSION RW(25), KLA(7), FKA(7), KLD(7)
      P=0.0
      N=2
      IM=IWG/N
      IF(IM-IWS) 1,12,12
12      CONTINUE
      DO 21 IW=IWS, IM
      IF(M-2) 7,5,7
7      CONTINUE
      DO 8 I=1, J
8      KLA(I)=KLD(I)
      IF(IW-IWS) 4,4,5
4      L=J
      KLA(L)=KLA(L)+1
      GO TO 6
5      L=J+1
      KLA(L)=1
6      CONTINUE
      IWSD=IW
      IWGD=IWG-IW
```



```

CALL PROB1(KW, IWS, IWG, RW, M, L, KLA, PRN1)
P=P+PRN1*RW(IW)
21 CONTINUE
1 CONTINUE
RETURN
END

$SUB3 HARP DECK
SUBROUTINE PROB3(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
DIMENSION RW(25), KLA(7), FKA(7), KLD(7)
P=0.0
N=3
IM=IWG/N
IF(IM-IWS) 1, 12, 12
12 DO 21 IW=IWS, IM
IF(M-3) 7, 5, 7
7 CONTINUE
DO 8 I=1, J
8 KLA(I)=KLD(I)
IF(IW-IWS) 4, 4, 5
4 L=J
KLA(L)=KLA(L)+1
GO TO 6
5 L=J+1
KLA(L)=1
6 CONTINUE
IWS=IW
IWG=IWG-IW
CALL PROB2(KW, IWS, IWG, RW, M, L, KLA, PRN1)
P=P+PRN1*RW(IW)
21 CONTINUE
1 CONTINUE
RETURN
END

$SUB4 HARP DECK
SUBROUTINE PROB4(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
DIMENSION RW(25), KLA(7), FKA(7), KLD(7)
P=0.0
N=4
IM=IWG/N
IF(IM-IWS) 1, 12, 12
12 DO 21 IW=IWS, IM
IF(M-4) 7, 5, 7
7 CONTINUE
DO 8 I=1, J
8 KLA(I)=KLD(I)
IF(IW-IWS) 4, 4, 5
4 L=J
KLA(L)=KLA(L)+1
GO TO 6
5 L=J+1
KLA(L)=1
6 CONTINUE
IWS=IW
IWG=IWG-IW
CALL PROB3(KW, IWS, IWG, RW, M, L, KLA, PRN1)
P=P+PRN1*RW(IW)
21 CONTINUE
1 CONTINUE
RETURN
END

$SUB5 HARP DECK
SUBROUTINE PROB5(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
DIMENSION RW(25), LA(7), FKA(7), KLD(7)
P=0.0
N=5
IM=IWG/N
IF(IM-IWS) 1, 12, 12

```

```

12 DO 21 IW=IWS, IM
   IF(M-5) 7, 5, 7
7   CONTINUE
   DO 8 I=1, J
8   KLA(I)=KLD(I)
   IF(IW-IWS) 4, 4, 5
4   L=J
   KLA(L)=KLA(L)+1
   GO TO 6
5   L=J+1
   KLA(L)=1
6   CONTINUE
   IWSD=IW
   IWGD=IWG-IW
   CALL PROB4(KW, IWSD, IWGD, RW, M, L, KLA, PRN1)
   P=P+PRN1*RW(IW)
21 CONTINUE
1  CONTINUE
   RETURN
   END

```

\$SUB6 HARP DECK

```

SUBROUTINE PROB6(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
DIMENSION RW(25), KLA(7), FKA(7), KLD(7)
P=0.0
N=6
IM=IWG/N
IF(IM-IWS) 1, 12, 12
12 DO 21 IW=IWS, IM
   IF(M-6) 7, 5, 7
7   CONTINUE
   DO 8 I=1, J
8   KLA(I)=KLD(I)
   IF(IW-IWS) 4, 4, 5
4   L=J
   KLA(L)=KLA(L)+1
   GO TO 6
5   L=J+1
   KLA(L)=1
6   CONTINUE
   IWSD=IW
   IWGD=IWG-IW
   CALL PROB5(KW, IWSD, IWGD, RW, M, L, KLA, PRN1)
   P=P+PRN1*RW(IW)
21 CONTINUE
1  CONTINUE
   RETURN
   END

```

\$SUB7 HARP DECK

```

SUBROUTINE PROB7(KW, IWS, IWG, RW, M, J, KLD, P)
DIMENSION RM(25), KLA(7), FKA(7), KLD(7)
P=0.0
N=7
IM=IWG/N
IF(IM-IWS) 1, 12, 12
12 DO 21 IW=IWS, IM
   IF(M-7) 7, 5, 7
7   CONTINUE
   DO 8 I=1, J
8   KLA(I)=KLD(I)
   IF(IW-IWS) 4, 4, 5
4   L=J
   KLA(L)=KLA(L)+1
5   L=J+1
   KLA(L)=1
6   CONTINUE
   IWSD=IW
   IWGD=IWG-IW
   CALL PROB6(KW, IWSD, IWGD, RW, M, L, KLA, PRN1)

```

```

21      P=P+PRN1*RW(IW)
1      CONTINUE
      CONTINUE
      RETURN
      END

```

SHUNI HARP DECK

```

      SUBROUTINE HUTUNI(RCYC, RCYSHA, BNOHA, BNHA, BNKA, STAMP,
1      WALOG, RWTA(21), PN(7), RW(25), PA(7), MWKA(25), KLA(7),
1      RCYSHA(10), BNOHA(2), BNHA(9), BNKA(10), RWTD(21)
      COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1      XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11),
2      MKA(10,5,11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7),
3      SW, AT
      WRITE(6,207)
      WGLOG=WALOG
      P=30.0/AT
      IGL=WGLOG
      KW=100
      IWG=IGL/100+1
      IF(IWG-21) 1,1,2
2      IWG=21
1      CONTINUE
      N=0
      DO 3 I=1,21
      N=N+IFIX(RWTA(I))
      RWTD(I)=RWTA(I)
3      CONTINUE
      DO 11 IW=3,21
      W=100*IW-50
      IF(W-WGLOG) 13,13,15
15      CONTINUE
      MT=W/WGLOG
      RT=MT
      RWTD(IWG)=RWTD(IWG)+RT*RWTD(IW)
      DW=W-WGLOG*RT
      IDW=IFIX(DW)/100+1
      RWTD(IDW)=RWTD(IDW)+RWTD(IW)
13      CONTINUE
11      CONTINUE
      WRITE(6,221) (I, RWTD(I), I=1, IWG)
221     FORMAT(1H , I20, F10.1)
      RD=0
      DO 21 IW=1, IWG
      RD=RD+RWTD(IW)
      ND=RD
      BND=1.0/RD
      DO 23 IW=1, IWG
23      RW(IW)=RWTD(IW)*BND
      WRITE(6,201) N, ND
207     FORMAT(1H0, 10X, 20HHUTU SHUZAI NO BAAI )
201     FORMAT(1H0, 10X, 15HSAISHO TAMASU =, I5, 18H      NIKAKE TAMASU =, I5)
      RD=P*RD
      KW=100
      DO 25 NI=1, 7
      PA(NI)=0.0
25      CONTINUE
      CALL PROB2(KW, 1, IWG, RW, 2.0, KLA, PA(2))
      IF(PA(2).LE.0.01) GO TO 35
      CALL PROB3(KW, 1, IWG, RW, 3.0, KLA, PA(3))
      IF(PA(3).LE.0.01) GO TO 35
      CALL PROB4(KW, 1, IWG, RW, 4.0, KLA, PA(4))
      IF(PA(4).LE.0.01) GO TO 35
      CALL PROB5(KW, 1, IWG, RW, 5.0, KLA, PA(5))
      IF(PA(5).LE.0.01) GO TO 35
      CALL PROB6(KW, 1, IWG, RW, 6.0, KLA, PA(6))
      IF(PA(6).LE.0.01) GO TO 35
      CALL PROB7(KW, 1, IWG, RW, 7.0, KLA, PA(7))
35      CONTINUE
      EM=RD

```

```

DO 31 NI=2, 7
PN(NI)=PA(NI)*PRN(NI-1, EM)
IF(PN(NI)) 32, 31, 31
32 PN(NI)=0.0
31 CONTINUE
C SLING KETTEI
NI=0
53 NI=NI+1
NIK=NI+1
IF(PN(NIK)-0.5) 52, 53, 53
52 LSL=NI
PN(1)=1.0
DO 41 NI=1, 6
NI=NI+1
41 PN(NI)=PN(NI)-PN(NI)
S=0.0
NIL=3
DO 58 IN=4, 7
IF(PN(IN)-0.05) 58, 59, 59
59 NIL=NI
58 CONTINUE
S=0.0
DO 55 NI=1, NIL
35 S=S+PN(NI)
SB=1.0/S
DO 57 NI=1, NTL
57 PN(NI)=PN(NI)*SB
S=0.0
DO 61 NI=1, NIL
RN=NI
61 S=S+RN*PN(NI)
RCYC=FLOAT(ND)/S
MCYC=RCYC
WRITE(6, 204)
WRITE(6, 203) (NI, PN(NI), NI=1, NIL)
WRITE(6, 209) MCYC
P1=RCYC/SW
DO 45 ISH=1, MSH
45 RCYSHA(ISH)=SWA(ISH)*P1
WRITE(6, 233) (ISH, ISH=1, MSH), (RCYSHA(ISH), ISH=1, MSH)
233 FORMAT(1H0, 10X, 8HCYCLE SU/5X, 6HSHAMEN, 10I10/10X, 10F10.0)
BZ=0.0
BS=0.0
DO 71 NI=1, LSL
BZ=BS+PN(NI)*FLOAT(NI)
BS=BS+PN(NI)*FLOAT(NI)
71 CONTINUE
NIS=LSL+1
IF(NIS.GT. NIL) GO TO 65
DO 63 NI=NIS, NIL
BZ=BS+PN(NI)*FLOAT(NI)
BS=BS+PN(NI)*FLOAT(LSL)
63 CONTINUE
65 CONTINUE
C NIOROSI SAGYORYO
SNOH=BNONA(1)+BS*BNONA(2)
SSNIO=RCYC*SNOH
WRITE(6, 231) SNOH, SSNIO
231 FORMAT(1H0, 10X, 6HSNOH =, F10.1, 5X, 7HSSNIO =, F15.1)
C NIKAKE SAGYORYO
WRITE(6, 213)
213 FORMAT(1H0, 5X, 6HSHAMEN, 5X, 5HKESHA, 5X, 15HSNKHJ SNKHC/)
SNKHW=BNHA(1)+BS*BNHA(2)+BZ*BNHA(3)
1 +BNHA(6)*(BNHA(4)+FLOAT(LSL)*BNHA(5))
SNKC=0.0
SNKJ=0.0
DO 75 ISH=1, MSH
SNKHS=BNHA(8)*(BNHA(4)+FLOAT(LSL)*BNHA(5))
SNKHJ=SNKHW+SNKHS

```

```

SNKHC=BNHA(9)+BNKA(ISH)
RESH=KESHA(ISH)
WRITE(6,211) ISH, RESH, SNKHJ, SNKHC
211  FORMAT(1H , 5X, I6, 3F10.1)
      SNKJ=SNKJ+RCYSHA(ISH)*SNKHJ
      SNKC=SNKC+RCYSHA(ISH)*SNKHC
75   CONTINUE
      SNKJ=SNKJ+STAMP
      WRITE(6,235) SNKJ, SNKC
235  FORMAT(1H0, 15X, 6HSNKJ =, F15.1, 5X, 6HSNKC =F15.1)
204  FORMAT(1H0, 15X, 20HN TAMAGAKE NO WARIAI)
203  FORMAT(1H , 15X, I5, 5H TAMA, F10.3)
209  FORMAT(1H0, 10X, 10HCYCLE SU =I10)
      RETURN
      END

```

\$ZENI HARP DECK

```

SUBROUTINE ZENNIK(RCYC, RCYSHA, BNOZA, BNZA, BNKA, SNOZ, SNKZA,
1  WALOG, MWKA)
  DIMENSION RWTA(21), PN(7), RW(25), PA(7), MWKA(25), KLA(7),
1  RCYSHA(10), BNOZA(2), BNZA(9), BNKA(10), SNKZA(10), MWKD(25)
  COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1  XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11),
2  MKA(10,5,11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7),
3  SW, AT
  WGLOG=WALOG
  KW=200
  P=0.0001*50.0/AT
  N=0
  DO 3 I=1,22
    N=N+MWKA(I)
    MWKD(I)=MWKD(I)
3  CONTINUE
  IGL=WGLOG
  IWG=IGL/200+1
  DO 11 IW=3,22
    W=200*IW-100
    IF(W-WGLOG) 13,13,15
15  MK=W/WGLOG
    MWKD(IWG)=MWKD(IWG)+MK*MWKD(IW)
    DW=W-WGLOG*FLOAT(MK)
    IDW=IFIX(DW)/200+1
    MWKD(IDW)=MWKD(IDW)+MWKD(IW)
13  CONTINUE
11  CONTINUE
    WRITE(6,221) (I, MWKD(I), I=1, IWG)
221  FORMAT(1H , 2I20)
    ND=0
    DO 21 IW=1, IWG
      ND=ND+MWKD(IW)
      BND=1.0/FLOAT(ND)
      DO 23 IW=1, IWG
        RW(IW)=FLOAT(MWKD(IW))*BND
        WRITE(6,207)
        WRITE(6,201) N, ND
201  FORMAT(1H0, 10X, 12HBATTO BOKU =I5, 12H HANKANGO, I5)
207  FORMAT(1H0, 10X, 22HZENBOKU SHUZAI NO BAAI)
      RD=P*FLOAT(ND)
      EM=RD
      CALL PROB2(KW, 1, IWG, RW, 2, 0, KLA, R2)
      PN(2)=R2*(1.0-EXP(-EM))
      CALL PROB3(KW, 1, IWG, RW, 3, 0, KLA, R4)
      PN(3)=R3*(1.0-EXP(-EM))*(1.0+EM)
      CALL PROB4(KW, 1, IWG, RW, 4, 0, KLA, R4)
      PN(4)=R4*EM**3*EXP(-EM)/6.0
C    SLING KETTEI
      NI=0
53  NI=NI+1
      NIK=NI+1

```

```

IF(PN(NIK)-0.25) 52, 53, 53
52 LSL=NI
   PN(1)=1.0
   DO 41 NH=1, 3
   NI=NH+1
41  PN(NH)=PN(NH)-PN(N1)
   NIL=2
   DO 53 IN=3, 4
   IF(PN(IN)-0.05)58, 59, 59
59  NIL=NI
58  CONTINUE
   S=0.0
   DO 55 NI=1, NIL
55  S=S+PN(NI)
   SB=1.0/S
   DO 57 NI=1, NIL
57  PN(NI)=PN(NI)*SB
   WRITE(34, 204)
204 FORMAT(1H0, 15X, 20HN HONGAKE NO WARIAI )
   WRITE(34, 203) (NH, PN(NH), NH=1, NIL)
203 FORMAT(1H , 15X, 15, 4H HON, F10.3)
   S=0.0
   DO 61 IN=1, NIL
   RN=IN
61  S=S+RN*PN(IN)
   RCYC=FLOAT(ND)/S
   MCYC=RCYC+0.5
   WRITE(34, 209) MCYC
209 FORMAT(1H0, 10X, 10HCYCLE SU =I10)
   P1=RCYC/SW
   DO 45 ISH=1, MSH
45  RCYSHA(ISH)=SWA(ISH)*P1
   WRITE(6, 233) (ISH, ISH=1, MSH), (RCYSHA(ISH), ISH=1, MSH)
233 FORMAT(1H0, 10X, 8HCYCLE SU/5X, 6HSHAMEN, 10I10/10X, 10F10.0)
   BS=0.0
   DO 71 NI=1, LSL
   BS=BS+PN(NI)*FLOAT(NI)
71  CONTINUE
   NIS=LSL+1
   IF(NIS.GT. NIL) GO TO 65
   DO 63 NI=NIS, NIL
   BS=BS+PN(NI)*FLOAT(LSL)
63  CONTINUE
65  CONTINUE

C   NIOROSI SAGYORYO
   SNOZ=BNOZA(1)+BS*BNOZA(2)
   WRITE(6, 231) SNOZ
231 FORMAT(1H0, 10X, 6HSNOZ =F10.1)

C   NIKAKE SAGYORYO
   SNKZW=BNZA(1)+BS*BNZA(2)
   WRITE(34, 213)
213 FORMAT(1H0, 5X, 6HSHAMEN, 5X, 5HKESHA, 5X, 15HSNKZ /)
   DO 75 ISH=1, MSH
   SNKZ=SNKZW+BNKA(ISH)
   SNKZA(ISH)=SNKZ
   RESH=KESHA(ISH)
   WRITE(6, 211) ISH, RESH, SNKZ
211 FORMAT(1H , 5X, 16, 3F10.1)
75  CONTINUE
   RETURN
   END

$SKIK2 HARP DECK
SUBROUTINE CKIK2(PSN, PS, CYD, CGB, IHOSHA, RCYSHA, XBAN, ZBAN,
+      XSITA, RSK, TRSK, SRSH, QHB, DSK, WCR, WLB, WHB, WETC,
+      WALOG, WLF, CFUE, TCRA)
  DIMENSION TCRA(10), IHOSHA(10), RCYSHA(10)
  COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1  XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5, 11),
2  MKA(10, 5, 11), RTA(10, 5, 11), RKJD (5, 11), RTJD (5, 11), SWA(10), FKA(7),

```

```

3  SW, AT, IKOT, IPS, IDSK
   WSK=SPAN/COS(RSK)*0.00371*DSK**2
   WRITE(6, 6789) WCR
6789  FORMAT(1H , 10X, 5HWCR =, F10.1)
      IF(KAS-1) 10, 10, 11
10    VLLBU=3.0
      VLLFU=3.0
      VHCRU=8.0
      VHLBU=3.0
      VLLBD=2.0
      VLLBL=2.0
      ULLFU1=0.5*(WLB+WHB*0.5)
      ULLFU=ULLFU1*1.4
      VM=PS*75.0/ULLFU
      X=XBAN-XSITA
      RCL=WETC/WSK
      C=64.0*12000.0*200.0*CRSK**5/(3.0*WSK)
      EN=(WETC+WALOG)/WSK
      CALL SUIKA(C, EN, RCL, SBL, SLD)
      ZCR=KISEKI(X, RLOG, SLD, TRSK)
      HSK=ZCR-ZBAN
      PLF=0.2*SPAN+0.5*HSK
      IF(VM-VLLFU) 500, 500, 501
500    V=VM
      GO TO 502
501    V=VLLU
502    CONTINUE
      TLLFU=(PLF-4.0*V**2-14.0)/V+8.0*V-14.0
      TLNID=30.0
      IF(IKOT-1) 86, 86, 85
85    TLNID=20.0
86    CONTINUE
      WRITE(6, 2468)
2468  FORMAT(1H , 10X, 20HSYUZAII UNTEN JIKAN/20X, 8HKARAHANK3X, 8HHI
+      KIYOSE4X, 9HJITUHANKI3X, 7HNIOROSI5X, 20HTOTAL TIME FUEL COST
+      /23X, 4(1HU5X, 1HT5X,))
      GO TO 12
11    VHCRU=7.0
      VLLBD=2.0
      VLCD=7.0
      WLF=0.5*WLF
      WLB=WLF
      WETC=WLB+WLF*0.5+WHB*0.5
      AA=1.0/COS(0.34+RSK*(1.0+WCR/WLB))
      W=WLB+WHB/2.0
      UL=W*AA/3.0
      UH=W*SRSK+UL
      ULCRU=UL/1.4
      UHBUP=UH*1.4
      TLNID=40.0
      IF(IKOT-1) 40, 40, 41
41    TLNID=30.0
40    CONTINUE
      WRITE(6, 1357)
1357  FORMAT(1H , 10X, 20HSYUZAII UNTEN JIKAN//20X, 80HLF UP CRUP LB HI
+      KIKOMI YOKODORI LB LIFT CR DW OROSI TOTAL TIME FUEL
+      COST /23X,
+      1HT5X, 1HT5X, 3(1HU5X 1HT5X,) 1HT5X, 1HT)
12    CONTINUE
      CFUE=0.0
      DO 100 ISH=1, MSH
      XSH=XSHA(ISH)
      YSH=YSHA(ISH)
      ZSH=ZSHA(ISH)
      RSH=FLOAT(KESHA(ISH))*3.14/180.0
      RCYSH=RCYSHA(ISH)
      HOSH=FLOAT(IHOSHA(ISH))*3.14/180.0
      SRSH=SIN(RSH)
      CRSH=COS(RSH)
      TRSH=SRSH/CRSH
    
```

```

SHOSH=SIN(HOSH)
CHOSH=COS(HOSH)
THOSH=SHOSH/CHOSH
IF(KAS-1) 300,300,301
300 CALL TYLER(TLLFU, TLNID, VLLBU, VHCRU, VHLBU, VLLBD, VLLBL,
+      WLF, WHB, WETC, WSK, DSK, WALOG, XSH, YSH, HOSH, TRSH, ZSH,
+      PS, PSN, TRSK, CRSK, SRSK, XBAN, XSITA, QHB, WCR, WLB, CFUEA,
+      TCRAA, RCYSH)
GO TO 302
301 CALL HAULIN(UHBUP, TLNID, VHCRU, VLLBD, VLCD, PS, PSN, SPAN, RSK,
+      TRSK, SRSK, CRSK, XBAN, XSITA, WETC, WALOG, WSK, WCR, WLB,
+      WHB, WLF, QHB, DSK, XSH, YSH, HOSH, TRSH, ZSH, CFUEA, TCRAA,
+      RCYSH)
302 CONTINUE
TCRA(ISH)=TCRAA
CFUE=CFUE+CFUEA
100 CONTINUE
WLF=WLF*2.0
RETURN
END

```

\$SIIAUL IIRP DECK

```

SUBROUTINE HAULIN(UHBUP, TLNID, VHCRU, VLLBD, VLCD, PS, PSN, SP
+      AN, RSK, TRSK, SRSK, CRSK, XBAN, XSITA, WETC, WALOG, WSK,
+      WCR, WLB, WHB, WLF, QHB, DSK, XSH, YSH, HOSH, TRSH, ZSH, CF
+      UEA, TCRAA, RCYSH)
COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1 XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11),
2 MKA(10,5,11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7),
3 SW, AT
VM=(PS*75.0)/UHBUP
PHB=SQRT((XSH-XBAN)**2.0+YSH**2)
SG1=PHB*UHBUP
IF(PHB-60.0) 400,400,401
400 THCRU=25.0
GO TO 413
401 IF(VM-VHCRU) 410,410,411
410 V=VM
GO TO 412
411 V=VHCRU
412 CONTINUE
THCRU=(PHB-V**2*4.0/7.0+2.0)/V+1.7*V-2.0
413 CONTINUE
RSA=ABS(HOSH-0.52)
RS=ATAN(COS(RSA)*TRSH)
SRS=SIN(RS)
CRS=COS(RS)
TRS=SRS/CRS
X=XSH-1.73*YSH-XSITA
EN=(WETC+WALOG)/WSK
ENP=(WETC+0.9*WALOG)/WSK
SL=SBL
C=64.0*12000.0*DSK**2*1.1/3.0*CRSK**5/(3.0*WSK)
CALL SUIKA(C, EN, ENP, SL, SLD)
RLOG=ENP
ZCR=KISEKI(X, RLOG, SLD, TRSK)
RL=ATAN((ZCR-ZSH)/(2.0*YSH))
CRL=COS(RL)
SRL=SIN(RL)
TRL=SRL/CRL
BD=2.0*YSH/CRS-((ZCR-ZSH)+YSH*2.0*TRS)*SRS
CD=(2.0*YSH*TRS+(ZCR-ZSH))*CRS
BC=SQRT(BD**2.0+CD**2.0)
PLF=3.0*(BC-CD)
U1=1.0/COS(RS+RL)
U2=1.0/(1.0+2.0*TAN(RS+RL))
U3=(0.9*WALOG+WLB)*(2.0*CRS-SRS)
ULLBD=U1*U2*U3/3.0*1.4
SG2=PLF*ULLBD
VM=75.0*PS/ULLBD
IF(VM-VLLBD) 420,420,421

```



```

420 V=VM
GO TO 422
421 V=VLLBD
422 CONTINUE
TLLBD=PLF/V+V
AA=1.0/COS(0.34+RSK*(1.0+WCR/(WLB+WALOG*0.9)))
W=WLB+WHB/2.0+0.9*WALOG
UL=W*AA/3.0
UH=W*SRSK+UL
ULCRD=UL*1.4
UHCRD=UH/1.4
PLF=PHB-YSH
VM1=75.0*PS/ULCRD
VM2=7.0*427.0/UHCRD
SG3=PLF*ULCRD
IF(PLF-50.0) 430, 430, 431
430 TLCRD=30.0
431 IF(VM1-VM2) 435, 435, 436
435 V1=VM1
GO TO 437
436 V1=VM2
437 IF(V1-VLCRD) 440, 440, 441
440 V=V1
GO TO 442
441 V=VLCRD
442 TLCRD=(PLF-50.0)/V+15.0
TIME=TIME+THCRU+TLLBD+TLCRD+TLNID
TCRAA=TIME
SGT=SG1+SG2+SG3
CFUE1=SGT/75.0*0.25*35.0*PSN/PS/3600.0
CFUEA=CFUE1*RCYSH
WRITE(6,2001) UHBUP, THCRU, ULLBD, TLLBD, ULCRD, TLCRD, TLNID, TI
1 ME, CFUEA, CFUE1
2001 FORMAT(1H , 20X, 6F6.0, 6X, F6.0, F10.0, 2F10.5)
RETURN
END

```

SSTAYL HARP DECK

```

SUBROUTINE TYLER(TLLFU, TLNID, VLLBU, VHCRU, VHLBU, VLLBD, VLL
+ BL, WLF, WHB, WETC, WSK, DSK, WALOG, XSH, YSH, HOSH,
+ TRSH, ZSH, PS, PSN, TRSK, CRSK, SRSK, XBAN, XSITA, QHB, WCR,
+ WLB, CFUEA, TCRAA, RCYSH)
COMMON MSH, ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1 XMENSA(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11),
2 MKA(10,5,11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7),
3 SW
UHCRU1=(0.9*WALOG+WCR+WLB+0.5*(WLF+WHB))*SRSK+0.05*(WLB+
+ 0.5*(WLF+WHB))
UHCRU=UHCRU1*1.4
VM=PS*75.0/UHCRU
PHB=XSH-YSH-XBAN
IF(PHB-48.0) 508, 508, 509
508 THCRU=12.0
GO TO 513
509 IF(VM-VHCRU) 510, 510, 511
510 V=VM
GO TO 512
511 V=VHCRU
512 CONTINUE
THCRU=(PHB-V**2+4.5)/V+2.0*V-3.0
513 CONTINUE
RSA=ABS(HOSH-0.78)
TRS=COS(RSA)*TRSH
RS=ATAN(TRS)
SRS=SIN(RS)
CRS=COS(RS)
X=XSH-YSH-XSITA
EN=(WETC+WALOG)/WSK
ENP=WETC/WSK
SL=SBL
C=64.0*12000.0*DSK**2*1.1/3.0*CRSK**5/(3.0*WSK)

```

```

CALL SUIKA(C, EN, ENP, SL, SLD)
ZCR=KISEKI(X, ENP, SLD, TRSK)
RL=ATAN((ZCR-ZSH)/(1.41*YSH))
CRL=COS(RL)
SRL=SIN(RL)
TRL=SRL/CRL
ULLBU1=0.5*WLB/(TRS*CRL+SRS)
ULLBU=ULLBU1*0.71
UHLBU1=ULLBU1*CRL/CRS
UHLBU=UHLBU1*1.40
VM=PS*75.0/UHLBU
PHB=1.41*YSH
IF(PHB-10.0) 518, 518, 519
518 THLBU=7.0
GO TO 523
519 IF(VM-VHLBU) 520, 520, 521
520 V=VM
GO TO 522
521 V=VHLBU
522 CONTINUE
THLBU=(PHB-10.0)/V+7.0
523 CONTINUE
EN=(WETC+WALOG)/WSK
ENP=(WETC+0.9*WALOG)/WSK
SL=SBL
CALL SUIKA(C, E, ENP, SL, SLD)
RLOG=ENP
ZCR=KISEKI(X, RLOG, SLD, TRSK)
RL=ATAN((ZCR-ZSH)/(1.41*YSH))
RLS=RL+RS
ULLBD1=2.0*WALOG*(CRS-SRS)
ULLBD2=COS(RLS)*(1.0+2.0*SIN(RLS))
ULLBD3=ULLBD1/ULLBD2
ULLBD=ULLBD3*1.4
VM=PS*75.0/ULLBD
BD=1.41*YSH/CRS-((ZCR-ZSH)+1.41*YSH*TRS)*SRS
CD=(1.41*YSH*TRS+(ZCR-ZSH))*CRS
BC=SQRT(BD*2.0+CD**2.0)
PLF=BC-CD
IF(VM-VLLBD) 530, 530, 531
530 V=VM
GO TO 532
531 V=VLLBD
532 CONTINUE
TLLBD=2.0*PLF/V+V
ULLBL1=0.5*(WLB+WALOG*0.9)
ULLBL=ULLBL1*1.4
VM=75.0*PS/ULLBL
PLF=CD
IF(VM-VLLBL) 540, 540, 541
540 V=VM
GO TO 542
541 V=VLLBL
542 CONTINUE
TLLBL=2.0*PLF/V+V
X=XSH-YSH
W=0.9*WALOG
DELT=1.0
XE=XBAN
TI=0.0
DX=0.0
DL=0.0
CALL TAYAC(TRSK, QHB, DSK, WSK, WLF, WHB, WLB, WCR, WALOG, DD
+ L, AL, W, X)
90 CONTINUE
TI=TI+DELT
DX1=DX+DDX*DELT
IF(DX1-8.0) 73, 73, 74
74 DX1=8.0
73 CONTINUE

```

```

X=X-0.5*(DX+DX1)*DELT
XE=XBAN-60.0
IF(X-XE) 77,77,78
78 CONTINUE
DX=DX1
CALL TAYAC(TRSK, QHB, DSK, WSK, WLF, WHB, WLB, WCR, WALOG, DD
    L, AL, W, X)
A=COS(AL)
L=DX/CA
DX=DDL*CA
O TO 90
77 CONTINUE
THCRD=TI+15.0
ME=TLLFU+THCRU+THLBU+TLLBD+THBCRD+TLNID+TLLBL
RAA=TIME
M=(TLLFU+THCRU)*ULLBU+THLBU*UHLBU+TLLBD+TLLBL*ULLBL
UE1=0.25*TIM/3600.0*0.25*35.0
UEA=CFUE1*RCYSH*0.0001
MTE(32,2100) TLLFU, THCRU, UHLBU, THLBU, ULLBD, TLLBD, ULLBL, T
1 .BL, THBCRD, TLNID, TIME, CFUEA
1. UE1
2100 FMAT(1H , 20X, 10F6.0, F10.0, 2F10.5)
RJRN
EI
    
```

```

$SUIKA HARECK
SUBROUTINE SUIKA(C, EN, ENP, SL, SLD)
DIMENSION H(3), RRT(3)
EM0=EN+1.0
EM2=0*ENP+1.0
Z=-3.0*EN*(1.0+EN)/(1.0+2.0*EN)**2
ZD=+3.0*ENP*(1.0+ENP)/(1.0+2.0*ENP)**2
CB=(C*ZD)
H(1)=0
H(2)=*(EM/SL-C*Z*SL**2)
H(3)=CB*EMD
CALL LGQ(H, 3, NR, NC, RRT, CRT, RCONV, CCONV)
SLD=T(NR)
RETURN
END
    
```

```

$SKISE HARP DE
FUNCTION KISEKI(X, RLOG, SLD, TRSK)
COMMON /ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1 XME(2), XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11),
2 MKA(11), RTA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7), SW
XL=XN
SRLOG=LOG**2.0
SRLOG=LOG+SRLOG
KISEKI=RSK-4.0*SLD*X*(1.0-XL)*SQRT((1.0+3.0*SRLOG)/(1.0+12.0*
1 SRLOG-XL**2))
RETURN
END
    
```

```

$TAYAC HARP DEC
SUBROUTINE TAYAC(TRSK, QHB, DSK, WSK, WLF, WHB, WLB, WCR, WAL
+ O, L, AL, W, X)
DIMENSION H(3), RRT(3)
COMMON /ASHA(10), KESHA(10), XSHA(10), YSHA(10), ZSHA(10), MEN,
1 XMENS, XMENGA(2), SPAN, SBL, KAS, MJUSH, TLA(5), HA(5,11), MK
2 A(10,5), TA(10,5,11), RKJD(5,11), RTJD(5,11), SWA(10), FKA(7), SW
WV=W+1.5+QHB*(SPAN-X)*0.5
WH=0.4*(SPAN-X)
RS=0.05*(WCR)
WENET=2*AN*QHB+WCR+0.9*WALOG+WLB
RK=X/SPA
RN=WV/W
SL=SBL
WHB=0.25*QHB
EN=(WALOG+R+0.5*(WLF+WHB))/WSK
ENP=WV/W
CRSK=SQRT(1.0+TRSK**2))
    
```

```

C=64.0*12000.0*1.1/3.0*DSK**2*CRSK**5/(3.0*WSK)
CALL SUIKA(C, EN, ENP, SL, SLD)
R1=ENP*(1.0+ENP)
R2=1.0+2.0*ENP
R3=0.25
Q3=RK*(1.0-RK)
R5=0.03339*R2**2/10.0**4*SPAN/CRSK**5
R4=(1.0+12.0*R1*Q3)/Q3**2
S1=(1.0+12.0*R1*Q3)/SLD**2/R3**2
BR4=1.0/R4
S2=R2*R3/SLD
H(1)=0.0
H(2)=(R5*S2-S1)*BR4
H(3)=-R5*R2*Q3*BR4
CALL ALGQ(H, 3, NR, NC, RRT, CRT, RCONV, CCONV)
SLDD=RRT(NR)
AD=(2.0*RK-1.0)*(2.0+12.0*R1*Q3)/Q3**3
CD=R5*R2*(1.0-2.0*RK)
SD=-(SLDD**3*AD+CD)/(3.0*SLDD**2*R4+H(2)/BR4)
TAND=TRSK-SD
AL=ATAN(TAND)
P=9.8/WENET*((WV-0.03*WH)*SIN(AL)-(WV*0.03+WH)*S(AL)-RS)
DDL=P
RETURN
END

```

\$ALGQ HARP DECK

```

SUBROUTINE ALGQ(H, NN, NR, NC, RRT, CRT, RCONV, CCONV)
C FIND ALL THE ROOTS OF THE ALGEBRAIC EQUATION
C  $X^{**N} + H(1)*X^{**N-1} + H(2)*X^{**N-2} + \dots + H(N) = 0$  BUTCHCOCK-BAI
C RSTOW METHOD.
C REAL ROOTS WILL BE GIVEN IN THE ARRAY(RRT) / COMPLEX ONES
C IN(CRT).
C (RCONV) AND (CCONV) GIVE ROUGH ACCURACY.
C (NN) SHOULD NOT EXCEED 100.
COMPLEX CRT
LOGICAL REV, OVFL
INTEGER ONE, PHASE, N, NN, NR, NC, N1, N2, IR, IC, ER, K, MAX
DOUBLE PRECISION BB, ZBB, CC, ZCC, A, ZAA, DD,
1 PP, QQ, PSS, QSS, PTT, QTT, ANII, WW, PPA, RR, DR
DIMENSION H(NN), RRT(NN), CRT(NN), RCONV(NN), CCONV(NN),
1 A(100), B(100), BB(100), C(100), CC(100),
2 ZAA(3), ZBB(3), ZCC(3), ZB(3), ZC(3)
ONE=1
FONE=1.0
ZAA(1)=0.0
ZAA(2)=FONE
ZBB(1)=0.0
ZCC(1)=0.0
EQUIVALENCE (B(1), BB(1), ZB(3), ZBB(3)), (C(1), ZC(3), ZCC(3)),
1 (P, PP), (Q, QQ), (PS, PSS), (QS, QSS), (PT, PTT),
2 (QT, QTT), (PA, PPA), (QA, QQA), (D, DD), (AN, ANII),
3 (W, WW), (R, RR), (A(1), ZAA(3))
C ALL THE VARIABLES APPEARING IN THIS PROGRAM AND NOT DECLARED
C IN THE ABOVE TYPE STATEMENTS ARE GLOBAL AND SUBJECT TO
C IMPLICIT TYPE ASSIGNMENT.
IF ACCUMULATOR OVERFLOW 9,9
9 CONTINUE
N=NN
IR=0
IC=0
IF(N-101) 10, 2000, 2000
10 IF(N) 2000, 2000, 20
20 DELTA=1.0E-12
DO 30 K=1, N
30 A(K)=H(K)
C ZERO TEST

```

```

40  IF(A(N)) 100, 50, 100
50  IR=IR+ONE
    RRT(IR)=0.0
    RCONV(IR)=1.0E-7
    N=N-ONE
    IF(N) 40, 1000, 40
C   PREPARATION IS OVER.
100  N1=N-ONE
    N2=N1-ONE
    IF(N2) 110, 120, 130
C   ONE
110  IR=IR+ONE
    RRT(IR)=-A(1)
    RCONV(IR)=AMAX1(DELTA, 1.0E-7)
    GO TO 1000
C   TWO
120  PP=A(1)
    QQ=A(2)
    GO TO 620
C   THREE OR MORE
130  ANI= FONE/A(N)
    OVFL=. FALSE.
    REV=. FALSE.
    DELTAS=1.0E-6
    MAX=N/2+10
    ZB(1)=0.0
    ZC(1)=0.0
    ZB(2)=FONE
    ZC(2)=FONE
    ASSIGN 300 TO PHASE
    W=A(N-2)
    IF(ABS(W*ANI)-0.2) 240, 230, 230
    P=A(N-1)/W
    Q=A(N)/W
    IF(ABS(P).LT. 1.0E-5) P=0.01
    GO TO 250
240  P=0.5
    Q=-FONE
250  PT=-P
    QT=Q
    GO TO 280
200  REV=. NOT. REV
270  PP=PSS
    QQ=QSS
280  ITER=MAX
    GO TO PHASE,(300, 500)
C   SINGLE PRECISION
300  ITER=ITER-ONE
    IF(ITER) 305, 320, 320
305  IF(WK-0.1) 310, 3000, 3000
310  IF(REV) DELTAS=DELTAS*10.0
    PS=PT
    QS=QT
    PT=P
    QT=Q
    GO TO 200
320  CONTINUE
330  DO 340 K=1, N
    B(K)=A(K)-B(K-1)*P-B(K-2)*Q
340  C(K)=B(K)-C(K-1)*P-C(K-2)*Q
    W=B(N1)-C(N1)
    D=C(N-2)**2+W*C(N-3)
    IF(D) 360, 342, 360
342  IF ACCUMULATOR OVERFLOW 345, 350
345  CONTINUE
    IF(OVFL) GO TO 4000
    OVFL=. NOT. OVFL
    PT=PT*0.125
    QT=QT*0.125

```

```

350  P=P*0.125
      Q=Q*0.125
      WK=0.0
      GO TO 310
360  PA=(B(N-1)*C(N-2)-B(N)*C(N-3))/D
      QA=(C(N-2)*B(N)+W*B(N-1))/D
      IF ACCUMULATOR OVERFLOW 345,370
370  P=P+PA
      Q=Q+QA
      W=ABS(P)+ABS(Q)
      WK=(ABS(PA)+ABS(QA))/W
      IF(WK-DELTA) 380,300,300
380  ASSIGN 500 TO PHASE
      ZBB(2)=FONE
      ZCC(2)=FONE
      REV=. FALSE.
      OVFL=. FALSE.
490  ITER=MAX

C    DOUBLE PRECISION
500  ITER=ITER-ONE
      IF(ITER) 510,520,520
510  IF(REV). DELTA=DELTA*10.0
      PSS=PTT
      QSS=QTT
      PTT=PP
      QTT=QQ
      GO TO 200
520  CONTINUE
530  DO 540 K=1, N
      BB(K)=A(K)-BB(K-1)*PP-BB(K-2)*QQ
540  CC(K)=BB(K)-CC(K-1)*PP-CC(K-2)*QQ
      WW=BB(N1)-CC(N1)
      DD=CC(N-2)**2+WW*CC(N-3)
      IF(D) 560,542,560
542  IF ACCUMULATOR OVERFLOW 545,550
545  IF(OVFL) GO TO 4000
      PT=PT*0.125
      QT=QT*0.125
      OVFL=. NOT. OVFL
550  P=P*0.125
      Q=Q*0.125
      GO TO 490
560  PPA=(BB(N-1)*CC(N-2)-BB(N)*CC(N-3))/DD
      QQA=(CC(N-2)*BB(N)+WW*BB(N-1))/DD
      IF ACCUMULATOR OVERFLOW 545,565
565  CONTINUE
      PP=PP+PPA
      QQ=QQ+QQA
      IF(DABS(BB(N-1)*ANI)-DELTA) 570,500,500
570  IF(ABS((QQ-QQA)*BB(N-2)*ANII-FONE)-DELTA) 580,500,500
580  W=ABS(P)+ABS(Q)
      IF((ABS(PA)+ABS(QA))/W-DELTA) 600,500,500
600  CONTINUE
620  R=(-P)*0.5
      EPS=AMAX1(DELTA, 1.0E-7)
630  D=PP*PP*0.25-QQ
      IF(D) 650,640,640
640  IR=IR+2
      RRT(IR)=R+SIGN(SQRT(D), R)
      RRT(IR-1)=Q/RRT(IR)
      RCONV(ID)=EPS
      RCONV(IR-1)=EPS
      GO TO 660
650  W=SQRT(-D)
      IC=IC+2
      CRT(IC-1)=CMPLX(R, W)
      CRT(IC)=CMPLX(R, -W)
      CCONV(IC-1)=EPS
      CCONV(IC)=EPS

```

```

660  N=N2
      IF(N) 670,1000,670
670  DO 680 K=1, N
      A(K)=A(K)-A(K-1)*PP-A(K-2)*QQ
680  CONTINUE
      GO TO 100
1000  NR=IR
      NC=IC
      RETURN
2000  WRITE(6,9000) N
      GO TO 1000
9000  FORMAT(16H0(SUBR. ALGQ) N=I8,64H.  N SHOULD BE A POSITIVE INTEGER
1    LESS THAN 101. NO CALCULATION.//)
4000  WRITE(6,4100) IR, IC
      GO TO 1000
4100  FORMAT(120H0THE ABOVE OVERFLOWS OCCURRED IN SUBR ALGO.  SINCE
1    THE ORDER OF THE POLYNOMIAL IS TOO LARGE OR THE COEFFICIENTS
2    ARE FAR 54H FROM UNITY, IT IS IMPOSSIBLE TO CONTINUE CALCULA-
3    TION./55H RETURNED WITH NO FURTHER CALCULATION(AT THE STA-
4    GE WHEN I4, 15H REAL ROOTS AND I4, 33H COMPLEX ONES HAVE BEEN
5    OBTAINED)/)
3000  W=B(N-1)
      IF(W) 3010,310,3010
3010  R=-B(N)/W-P+PA
      IF(ABS((R+P)*R/Q+FONE)-0.1) 3020,310,310
3020  CONTINUE
3040  ITER=MAX
      ZBB(2)=FONE
      ZCC(2)=FONE
C    NEWTON
3050  ITER=ITER-ONE
      IF(ITER) 3055,3060,3060
3055  ZB(1)=0.0
      ZC(1)=0.0
      ZB(2)=FONE
      ZC(2)=FONE
      GO TO 310
3060  CONTINUE
3070  DO 3080 K=1, N
      BB(K)=BB(K-1)*RR+A(K)
3080  CC(K)=CC(K-1)*RR+BB(K)
      WW=CC(N-1)
      IF(W) 3100,3090,3100
3090  R=R-FONE
      GO TO 3050
3100  DR=BB(N)/WW
      RR=RR-DR
      IF(ABS(BB(N)*ANI)-DELTA) 3150,3050,3050
3150  IF(ABS(DR/R)-DELTA) 3200,3050,3050
3200  CONTINUE
      IR=IR+ONE
      RRT(IR)=RR
      RCONV(IR)=AMAX1(DELTA, 1.0E-7)
      N=N1
      DO 3210 K=1, N
      A(K)=A(K-1)*RR+A(K)
3210  CONTINUE
      GO TO 100
      END

```

付表 6. 最適化計算用データ

§ DATA										
SAITEKIKI KESAN JIGYOCHI										
NAGANO-KEN AGEMATSU 189 RINPAN										
2										
2										
HINOKI SAWARA										
3.0										
4.8										
735.0	0.0		140.0							
0.0	0.0		0.0							
125.0	0.0		-30.0							
0.06										
10										
10.0	35.0		-50.0	40		-60	0.87	90.0	2	
20.0	15.0		-30.0	40		-30	0.43	35.0	2	
125.0	30.0		-20.0	35		-25	0.73	100.0	2	
125.0	20.0		0.0	40		30	0.43	50.0	2	
240.0	65.0		50.0	30		25	1.45	140.0	2	
240.0	40.0		50.0	40		50	0.92	100.0	2	
370.0	65.0		100.0	20		60	1.65	140.0	2	
370.0	40.0		90.0	30		40	1.20	100.0	2	
520.0	75.0		120.0	17		30	2.24	140.0	2	
500.0	20.0		110.0	17		10	0.56	75.0	2	
2										
1 9										
2 10										
172	245	327	397	294	572	412	303	244	229	358
129	79	35	62	55	38	19	20	17	8	9
4816.	2706.	2569.	1922.	1552.	1029.	897.	573.	367.	453.	182.
110.	91.	77.	41.	24.	27.	21.	13.	8.	19.	
0	10	33	86	94	37	8	3	0	0	0
0	2	13	19	17	10	3	0	0	0	0
0	5	15	48	49	18	4	0	0	0	0
0	1	5	13	8	6	0	0	0	0	0
0	9	29	74	79	32	6	1	0	0	0
0	2	10	15	15	8	3	0	0	0	0
0	4	18	47	49	18	2	0	0	0	0
0	1	6	13	8	6	0	0	0	0	0
0	16	56	146	155	60	12	4	1	0	0
0	4	22	36	35	16	4	3	0	0	0
0	10	36	92	100	39	7	2	0	0	0
0	2	12	22	20	10	3	0	0	0	0
0	18	63	165	177	66	13	4	0	0	0
0	5	22	41	35	17	6	3	0	0	0
0	13	45	120	130	48	10	4	0	0	0
0	3	17	31	25	13	4	1	0	0	0
0	26	86	225	242	91	18	5	0	0	0
0	7	31	54	47	24	8	3	0	0	0
0	5	21	51	50	20	4	0	0	0	0
0	2	10	14	8	6	1	0	0	0	0
239.	329.	299.	256.	113.	21.	6.	1.	0.	0.	0.
54.	86.	76.	52.	26.	8.	0.	0.	0.	0.	0.
124.	170.	156.	133.	55.	9.	1.	0.	0.	0.	0.
30.	43.	42.	28.	12.	2.	0.	0.	0.	0.	0.
205.	282.	254.	216.	94.	15.	3.	1.	0.	0.	0.
44.	71.	61.	45.	22.	7.	0.	0.	0.	0.	0.
127.	171.	154.	131.	53.	7.	0.	0.	0.	0.	0.
31.	45.	43.	28.	12.	2.	0.	0.	0.	0.	0.
400.	548.	498.	425.	181.	33.	9.	2.	0.	0.	0.
103.	154.	145.	104.	44.	14.	5.	0.	0.	0.	0.
254.	351.	316.	272.	116.	20.	4.	0.	0.	0.	0.
59.	91.	83.	60.	27.	8.	0.	0.	0.	0.	0.
452.	620.	561.	480.	201.	34.	8.	1.	0.	0.	0.
110.	165.	158.	109.	49.	16.	6.	0.	0.	0.	0.
329.	450.	411.	352.	149.	26.	8.	1.	0.	0.	0.
81.	123.	115.	78.	36.	11.	2.	0.	0.	0.	0.
619.	847.	768.	654.	277.	47.	11.	2.	0.	0.	0.

148.	225.	210.	147.	66.	22.	6.	0.	0.	0.
137.	187.	170.	139.	58.	9.	0.	0.	0.	0.
38.	57.	48.	29.	13.	3.	0.	0.	0.	0.
0.	116.	402.	1054.	1125.	429.	84.	23.	1.	0.
0.	29.	148.	258.	218.	116.	32.	10.	0.	0.
2886.	3955.	3587.	3058.	1297.	22.	50.	8.	0.	0.
698.	1060.	981.	680.	307.	93.	19.	0.	0.	0.
4.1	11.9	17.3	20.8	23.4	25.2	26.7	27.8	28.7	29.5
21.3	22.3	22.5	22.6	22.6	22.6	22.7	22.7	22.7	22.7
333	172	283	183	573	355	639	463	868	193
463178.	228564.	383822.	222427.	783067.	482529.	865817.	635618.	1179603.	244690.
5489316.	5568.								
56.31	-2.763	0.0986							
18.3	-0.4729	0.0434							
1.51	9.1	7.0	58.0	14.0	107.0	42.0	47.0		
0.632	0.491	0.0	0.0031						
1.0	0.445	1.0	0.167	1.0	0.86	0.14	0.0		
0.0075	0.0082								
56.31	-2.763	0.0986							
18.3	-0.4729	0.0434							
19.22	9.0	7.0	59.0	8.0	96.0	24.0	90.0		
-0.685	0.419	0.0	0.0183						
1.0	0.094	1.0	0.035	1.0	0.78	0.025	0.05		
0.0115	0.0042								
1.67	37.8	-11.75	25.0	10.218	35.0	38.0	0.0		
38.0	-315.9	-1.28	0.0	-0.32	12.71	1.59	0.021		
0.67	0.43	0.633	5.6	38.0	0.013				
1.0	0.65	1.0	-1.0	0.2	0.0	-0.4	1.0		
1.0	0.0	0.26	0.05	0.02	0.0079				
1.28	-0.072	0.0312							
13.17	-0.744	0.0335							
6.6	25.0								
0.65	0.33								
23.02	25.2	-3.658	38.9	-0.58	44.0	0.0	56.8		
57.0	-67.75	-13.12	29.0	0.945	7.724	1.881	0.067		
20.26	0.071	5.6							
1.0	0.82	1.0	-1.0	0.0	0.26	0.016	1.0		
1.0	0.14	0.04	0.07	0.0123	0.0155				
1.28	-0.072	0.0312							
13.17	-0.744	0.0335							
11.3	14.0	13.18	0.817						
0.2	0.2	1.0							
360	360								
1700	1300	1800	1300	1600	1300				
3									
125	75	219.0	15.0						
70	50	180.0	12.0						
55	25	134.6	9.0						
3									
20.0	24.0	1.55	230.0						
10.0	5.0	0.36	70.0						
8.0	3.6	0.22	60.0						
24.0	35.0	2.20	330.0						
12.0	7.9	0.52	100.0						
10.0	5.5	0.36	70.0						
28.0	46.8	2.91	440.0						
14.0	11.8	0.71	120.0						
12.0	7.9	0.52	100.0						
-6.52	4.0	54.0	100.0	8.0	114.0	54.0	32.43		
5.5	7.6	0.4							
0.16	0.38	0.125	0.06	0.08	0.11	0.125			
15.3	2.4	57.0	42.0	16.0	7.2				
0.01	0.11								
10.35	0.0	100.0	82.0	8.0	0.0	0.0	86.96		
0.0	0.12	0.08	0.0	0.0					
40.4	2.4	0.0	154.0	0.0	7.0				
0.0	0.1								
1500.0									

付表 7. 最適化計算結果 I

SAITEKIKA KESAN JIGYOCHI

NAGANO-KEN AGEMATSU 189 RINPAN

JUSHU 2 SHURUI

No. 1 HINOKI

No. 2 SAWARA

SUIKAHI=0.060

SHAMEN No. KAZU=10

No. 1

ZAHYO (X, Y, Z)	135.00	35.00	-50.00
KESHA	40 (DO)	HOI-60 (DO)	
MENSEKI	0.87 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	90.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 2

ZAHYO (X, Y, Z)	145.00	15.00	-30.00
KESHA	40 (DO)	HOI-30 (DO)	
MENSEKI	0.43 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	35.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 3

ZAHYO (X, Y, Z)	250.00	30.00	-20.00
KESHA	35 (DO)	HOI-25 (DO)	
MENSEKI	0.73 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 4

ZAHYO (X, Y, Z)	250.00	20.00	0.00
KESHA	40 (DO)	HOI 30 (DO)	
MENSEKI	0.43 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	50.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 5

ZAHYO (X, Y, Z)	365.00	65.00	50.00
KESHA	30 (DO)	HOI 25 (DO)	
MENSEKI	1.45 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 6

ZAHYO (X, Y, Z)	365.00	40.00	50.00
KESHA	40 (DO)	HOI 50 (DO)	
MENSEKI	0.92 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 7

ZAHYO (X, Y, Z)	495.00	65.00	100.00
KESHA	20 (DO)	HOI 60 (DO)	
MENSEKI	1.65 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 8

ZAHYO (X, Y, Z)	495.00	40.00	90.00
KESHA	30 (DO)	HOI 40 (DO)	
MENSEKI	1.20 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 9

ZAHYO (X, Y, Z)	645.00	75.00	120.00
KESHA	17 (DO)	HOI 30 (DO)	
MENSEKI	2.24 (HA)		
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)		
SHOKUSEI=2			

No. 10				
ZAHYO (X, Y, Z)	625.00	40.00	110.00	
KESHA	30 (DO)	HOI 10 (DO)		
MENSEKI	0.56 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	75.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 1				
ZAHYO (X, Y, Z)	185.55	35.00	-50.00	
KESHA	40 (DO)	HOI-60 (DO)		
MENSEKI	0.87 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	90.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 2				
ZAHYO (X, Y, Z)	150.95	15.00	-30.00	
KESHA	40 (DO)	HOI-30 (DO)		
MENSEKI	0.43 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	35.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 3				
ZAHYO (X, Y, Z)	250.00	30.00	-20.00	
KESHA	35 (DO)	HOI-25 (DO)		
MENSEKI	0.73 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 4				
ZAHYO (X, Y, Z)	250.00	20.00	0.00	
KESHA	40 (DO)	HOI 30 (DO)		
MENSEKI	0.43 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	50.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 5				
ZAHYO (X, Y, Z)	365.00	65.00	50.00	
KESHA	30 (DO)	HOI 25 (DO)		
MENSEKI	1.45 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 6				
ZAHYO (X, Y, Z)	365.00	40.00	50.00	
KESHA	40 (DO)	HOI 50 (DO)		
MENSEKI	0.92 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 7				
ZAHYO (X, Y, Z)	495.00	65.00	100.00	
KESHA	20 (DO)	HOI 60 (DO)		
MENSEKI	1.65 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 8				
ZAHYO (X, Y, Z)	495.00	40.00	90.00	
KESHA	30 (DO)	HOI 40 (DO)		
MEHSEKI	1.20 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	100.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 9				
ZAHYO (X, Y, Z)	645.00	75.00	120.00	
KESHA	17 (DO)	HOI 30 (DO)		
MENSEKI	2.24 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	140.00 (M)			
SHOKUSEI=2				
No. 10				
ZAHYO (X, Y, Z)	625.00	40.00	110.00	
KESHA	30 (DO)	HOI 10 (DO)		
MENSEKI	0.56 (HA)			
SAIDAI YOKODORI	75.00 (M)			
SHOKUSEI=2				

MEN 1	1	9				D = 45.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
-------	---	---	--	--	--	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2	25.6	122.8	D=25.		
D=15.			1	21.2	36.4
1	162.6	155.6	2	17.8	36.4
2	163.2	195.7	D=35.		
D=25.			1	39.2	44.6
1	302.2	231.9	2	30.4	44.6
2	302.5	255.9	D=45.		
D=35.			1	63.5	52.7
1	455.2	304.1	2	49.8	52.7
2	455.3	316.1	D=55.		
D=45.			1	94.0	60.9
1	621.4	368.2	2	75.8	60.9
2	621.4	372.1	D=65.		
D=55.			1	130.7	69.1
1	801.0	432.3	2	108.6	69.1
2	800.9	428.1	D=75.		
D=65.			1	173.6	77.3
1	994.1	496.4	2	148.1	77.3
2	993.8	484.1	D=85.		
D=75.			1	222.8	85.4
1	1200.4	556.5	2	194.2	85.4
2	1200.1	540.1	D=95.		
D=85.			1	278.3	93.6
1	1416.7	616.5	2	247.1	93.6
2	1416.3	596.1	D=105.		
D=95.			1	340.0	101.8
1	1642.9	676.6	2	306.6	101.8
2	1642.4	652.1	GOKEI	3766911.5	2878359.1
D=105.			KOTEI		COST
1	1882.4	736.6	HUTU	136.46	491269.47
2	1881.9	708.1	ZENBOKU	79.78	287222.58
TAMA NO SAGYO			COST (YEN)		
JUSHU	SAW	NOT	KASEN	125556.	
D=5.			ZORIN	157200.	
1	4.0	20.1	BANDAI	100000.	
2	12.5	20.1	ZENBOKU	90608.	
D=15.			STAMP=73093.1		
1	9.5	28.2			
2	11.8	28.2			

付表 8. 最適化計算結果 II

SYUZAIIKI NO 3

YUZAIIKI BARIKI 90. PS (43.0PS)

SYUZAIIKI NO UNTEN JIKAN

	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	16.177			
HIKIYOSE	621.752	59.657			
JITUHANKI	972.049	15.000			
NIOROSI		30.000			
		120.834	OIL COST,	7.98	3022.8
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	25.000			
HIKIYOSE	602.389	8.963			
JITUHANKI	972.049	15.000			
NIOROSI		30.000			
		78.963	OIL COST,	1.90	355.9
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	24.550			
HIKIYOSE	461.110	35.368			
JITUHANKI	972.049	29.633			
NIOROSI		30.000			
		119.551	OIL COST,	9.51	2986.8
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	24.270			
HIKIYOSE	278.244	22.318			
JITUHANKI	972.049	32.057			
NIOROSI		30.000			
		108.645	OIL COST,	8.55	1556.1
	CHORYOKN	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	41.707			
HIKIYOSE	494.008	167.885			
JITUHANKI	972.049	55.282			
NIOROSI		30.000			
		294.874	OIL COST,	25.13	16101.8
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	40.944			
HIKIYOSE	364.768	103.611			
JITUHANKI	972.049	61.209			
NIOROSI		30.000			
		235.765	OIL COST,	19.99	7861.1
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	59.852			
HIKIYOSE	1488.325	269.438			
JITUHANKI	972.049	93.567			
NIOROSI		30.000			
		452.858	OIL COST,	76.81	54420.8
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	59.351			
HIKIYOSE	787.886	155.816			
JITUHANKI	972.049	100.045			
NIOROSI		30.000			
		345.212	OIL COST,	40.25	20935.7
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	81.240			
HIKIYOSE	1095.230	268.652			
JITUHANKI	972.049	135.679			
NIOROSI		30.000			
		515.571	OIL COST,	72.31	69802.5
	CHORYOKU	JIKAN			
KARAHANKI	290.994	77.842			
HIKIYOSE	665.979	133.637			
JITUHANKI	972.049	139.060			
NIOROSI		30.000			
		380.539	OIL COST,	44.68	8945.3

ISH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
TCRA	120.83	78.96	119.55	108.65	294.87	235.76	452.86	345.21	515.57	380.54
KIKAI (DAY)	4110.30		NENRYO	185988.8						
SYUSAKU NO KEI	30.00									
SYUZAIIKI NO 3										
SYUZAIIKI BARIKI	90. PS (43.0PS)									
MHN=1										
BUKKEN HI	627126.3		ROPE, NENRYO HI	1041895.1						
DSHU=	152.574	CSHU=	1342654.2	COST=	3011675.6	SOCOST=	3719108.6			
MHN=2										
BUKKEN HI	526791.3		ROPE, NENRYO HI	2189091.6						
DSHU=	128.164	CSHU=	1499515.5	COST=	3068201.9	SOCOST=	3775634.8			
SYUSAKU NO KEI	30.00							1,057,864.9		
SYUZAIIKI NO 2								-(1064270.8)		
SYUZAIIKI BARIKI	75. PS (33.0PS)									
MHN=1										
BUKKEN HI	596176.7		ROPE, NENRYO HI	10578649						
DSHU=	158.070	CSHU=	1391015.8	COST=	3045057.4	SOCOST=	3752490.4			
MHN=2										
BUKKEN HI	504109.0		ROPE, NENRYO HI	2122135.7						
DSHU=	133.659	CSHU=	1563814.4	COST=	3125788.9	SOCOST=	3833221.9			
SYUZAIIKI NO 4										
SYUZAIIKI BARIKI	125. PS (57.0PS)									
SYUZAIIKI NO UNTEN JIKAN										
CHORYOKU				JIKAN						
KARAHANKI	290.994			16.177						
HIKIYOSE	621.752			59.657						
JITUHANKI	972.049			15.000						
NIOROSI				30.000						
				120.834						
CHORYOKU JIKAN						OIL COST,	30082.9306	1140.1940		
								0.31672		