

# 集 運 材 作 業 技 術 の 最 適 化

## I 試験担当者

機械化部作業科作業第2研究室長	渡 部 庄三郎
	辻 井 春 堆
	奥 田 吉 春
作業第1研究室長	辻 隆 道
	石 井 邦 彦
機械科機械第1研究室	柴 田 順 一
元林道研究室	平 賀 昌 彦
作業科長	上 田 実

## II 試験目的

立木を伐採し、市場まで搬出する生産過程は林業システムにおいて重要な位置を占める。この伐木集材系の最適化は以前から渴望されていながら林地林木の複雑性、多種類の機械力の導入、地域の慣習ならびに経営規模の変化等により、類型化は非常に困難視されてきた。しかしながら合理的な企業経営の立場から各作業工程ごとの作業手順書や生産工程の合理的な最適化の必要性が強く要望された。

よって、電子計算機の利用を前提として、伐木集材系の最適化をはかる手法を開発することが目的である。

## III 試験の経過とえられた成果

本試験は昭和42年度に集材機作業の最適化として開始し、昭和45年度より集材作業技術の最適化と改題してさらに継続、終了年度を昭和47年度とした。この間「昭和44年度特別会計林業試験成績報告書、集材機作業の最適化」として、集材機集材、トラクタ集材、トラック運材についての作業量の特性、機械の特性についての定式化ならびに電算機利用のフローチャートについて報告した。

今回は上記作業の最適化を行なうにあたっての目的関数式を簡単に述べ、それ以後行なった作業道計画の最適化ならびに、これら開発された最適化手法が実際現地に適用できるか否か、集材機集材をとり上げて検討した結果について報告する。

## 1. 集材機集材、トラクタ集材、トラック運材の目的関数式

はじめに最適化問題の定式化を一般式で示すと次のとおりである。

$$I = f(x, q) \quad \dots \quad ①$$

ここで

$I$  : 最適化すべき変数(コストまたは収益など)。

$x$  : 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)。

しかし  $x$  に関しては次のような制限条件があるものとする。

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

$q'$  は  $x$  に寄与する環境条件。また  $x, q, q'$  は 1 変数であるとは限らず多数となる場合が多いから

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

また

$$r_i(x, q') = (x_1, x_2, \dots, x_n, q'_1, q'_2, \dots, q'_{\ell})$$

最適化とは②式を満足し、①式の  $I$  を最小(または最大)にする( $x_1, x_2, \dots, x_n$ )を求ることである。

本研究での  $I$  は総コストを最小とする目的関数で、 $x$  は作業人員、集材機の大きさなど、 $q$  は地形、立木の状態、作業者の特性などとした。

### 1-1 集材機集材

集材機集材についての目的関数は次のものである。

$$f(K, D, S, PS, M)$$

$K$  : 工程(普通伐採・普通集材法、全木伐倒・全木集材法)

$D$  : ワイヤロープの主索径

$S$  : 架線方式(タイラー方式、フォーリングブロック方式)

$PS$  : 集材機の大きさ

$M$  : 作業組人員

そして、各変数の最適なものに○印を付すと

$$f^*(K^*, D^*, S^*, PS^*, M^*) = \min_{K} \min_{D} \min_{S} \min_{PS} \min_{M} \{ f(K, D, S, PS, M) \}$$

を求めるとした。これを解くため、最適変数は次のようにして決定した。

まず  $K$  について、普通集材方法を  $H$ 、全木集材方法を  $Z$  で表わせば、

$$f_1 H(D_H, S_H, PS_H, M_H) \text{ と}$$

$$f_1 Z(D_Z, S_Z, PS_Z, M_Z) \text{ とする。}$$

そして、 $f_1 H$  と  $f_1 Z$  の小さい方の変数をとっておき、例えば  $f_1 Z$  が選定されれば、次に  $D$  について

$$f_2 R(K_{Di}, S_{Di}, PS_{Di}, M_{Di}) \text{ を求める。}$$

ここで  $D_i$  はワイヤロープ径であり、目的関数最小のときの主索径となる。

そのときの条件下で集材機の大きさ、作業組人員を最小とするものを選ぶ。これら変数のとる数を、 $K$ : 2通り、 $D$ : 20, 22, 24, 28, 30 mm の 5通り、 $S$ : 2通り、 $PS$ : 55, 70, 90, 125 PS の 4通り、 $M$ : 普通集材方法の荷担人員 1, 2 人の 2通り、全木集材方法の盤台造材人員 1 ~ 4 人の 4通りとすれば、その全組合せ 320通りについての組合せ計算を行なうことになる。

### 1-2 トラクタ集材

トラクタ集材についての目的関数は次のものである。

$$f(O, PN, Q, M)$$

ここで

$O$  : 集材方法(サルキーの有、無)

$PN$  : トラクタ台数(1 ~ 3 台等)

$Q$  : トラクタ型式

$M$  : 作業組人員(2 ~ 5 人等)



表-1 集材費用開数の定数項

定数項 集材方法 i \	(a)	b	c	d	e	(r)	修正 a
集材方法 ① 集材機	1.1	945	26700	-08597	-500	0.3	143
〃 ② トラクタ	1.0	1040	5197	-04989	-500	0.3	10
〃 ③ モリクレーン	20.2	195.9	0	0	0	0.15	2323

p q \	立木 $m^3$ 積り ( $m^3$ / 本 )			
	0.0 ~ 0.24	0.25 ~ 0.54	0.55 ~ 0.84	0.85 ~ 1.15
ba 当たり ドット数 (個/ha)	0.5 ~ 2.4	1.82	1.11	0.80
	3.5 ~ 6.4	1.54	1.00	0.74
	6.5 ~ 9.4	1.33	0.91	0.69
	9.5 ~ 12.4	1.18	0.83	0.65

表-2 集材費用開数以外にかかる生産費の定数項

定数項 集材方法 i \	A	B
集材方法 ① 集材機	140	1041
〃 ② トラクタ	96	1041
〃 ③ モリクレーン	0	1041

## ○ 変数の説明

## (1) 集材費用項目について

集材費用に含まれる項目は次のものである。

$$C_{ei} = C_{MANi} + C_{BUKi} + C_{UNi} + C_{K1i} + C_{KAN} \dots \dots \dots$$

$$\dots \dots \dots (i = 1, 2, 3)$$

ここで

表-3 集材費用積算基礎

i = 1 (集材機集材), i = 2 (トラクタ集材), i = 3 (トラッククレーン集材)

								摘要
作業量	i = 1	組入員(人/台組)	4					
		賃金(円/人日)	2800					
		スパン(m)	1000	900	800	700	600	500
		集材距離(m)	650	585	520	455	390	325
		作業量(m³/台日)	20	21	23	26	28	31
作業量	i = 2	組入員(人/台組)	3					
		賃金(円/人日)	2800					
		トラクタ道(m)	200	400	600	800	1000	1200
		集材面積規模(HA)	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.6
		作業量(m³/台日)	3.4	2.9	2.5	2.2	1.9	1.7
物件費	i = 3	組入員(人/台組)	3					
		賃金(円/人日)	2800					
		木寄距離(m)	10	20	25	30	40	50
		作業量(m³/台日)	6.71	4.69	4.00	3.48	3.31	2.75
	i = 1	スパン(m)	1000	900	800	700	600	500
役務費		付属器具損料(円/m³)	166.39	154.67	145.70	131.91	121.67	103.10
		消耗品費(円/日)	308					
役務費	i = 2	付属器具損料(円/m³)	275.0					
		消耗品費(円/日)	976					
運送経費	i = 1	1日当たり修理費率	0.0534(%)					
		"修理費	5.35(円/日)					
	i = 2	1日当たり修理費	27.67(円/日)					
機械償却	i = 3	1日当たり修理費	25.15(円/日)					
		種類	軽油	オイル	グリース	ギヤー油		
		単価(円)	85	160	160	200		
機械償却	i = 1	1日使用量	24ℓ	0.65ℓ	0.05kg	0.05kg		
	i = 2	"	23ℓ	1.0ℓ	0.1kg	0.05kg		
	i = 3	年間使用量	2700ℓ	236ℓ				
		購入価格		年間機械償却率		1日当たり償却費		
	i = 1	集材機	1,002千円	2.65%		1,587円/日		
	i = 2	トラクタ	3,906	2.29%		5,612		
	i = 3	(モリクレーン)				4,551		

$C_C$  : 単位当たり集材費 (円/ $m^3$ )  
 $C_{MAN}$  : ノルマ賃料 (円/ $m^3$ )  
 $C_{BUK}$  : 物件・役務費 (円/ $m^3$ )  
 $C_{UN}$  : ノルマ機械運転経費 (円/ $m^3$ )  
 $C_{KAN}$  : ノルマ間接費 (手当および事務所運営費等),  $C_{KAN} = (1 + R)$   
 $(C_{MAN} + C_{BUK} + C_{UN} + C_{KI})$  とし,  $R: 0.8$  を採用した。

その他積算基礎については表-3に示した。

## (2) 地形指数gについて

地形条件表示のためにドット板の適用をはかった。ドット板は1点当たり面積0.04  $H_A$ , 1  $H_A$  当たりの点数25点のものを採用した。縮尺5千分の1の事業区基本図上にドット板を当て、等高線がドットの点に接触した点の数をもって地形指数の尺度とした。

いま5千分の1の基本図において9  $H_A$  の正方区間をとり、そのときのドット数と、一方キルビメータによってセンターの長さを割った読値との相関図を画けば図-1のとくなる。ある単位内のセンターの長さ、すなわち摺曲の大きさをドット数によってある程度表現できることがわかる。

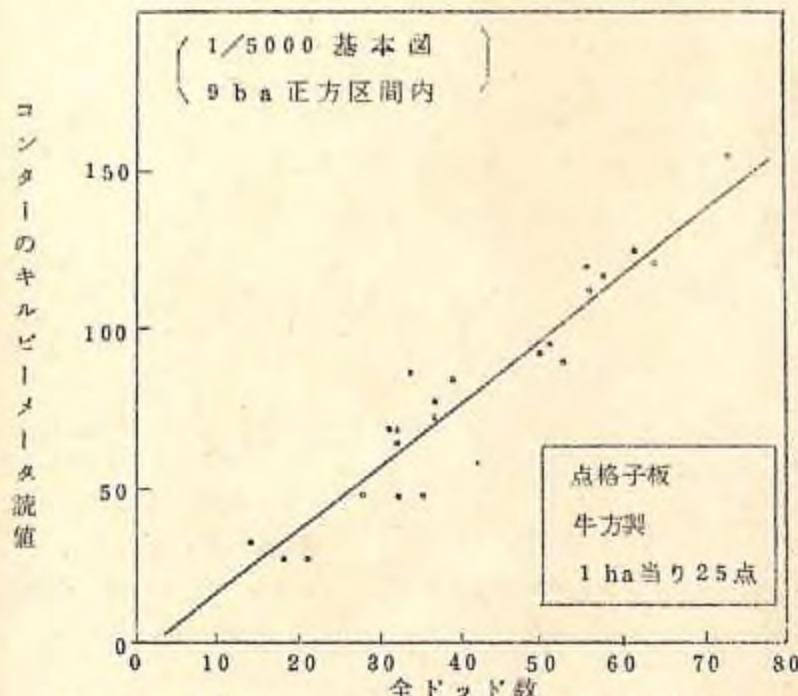


図-1 5千分の1の基本図における9  $H_A$  正方区間内のドット数と、キルビメータによる等高線長さの読値

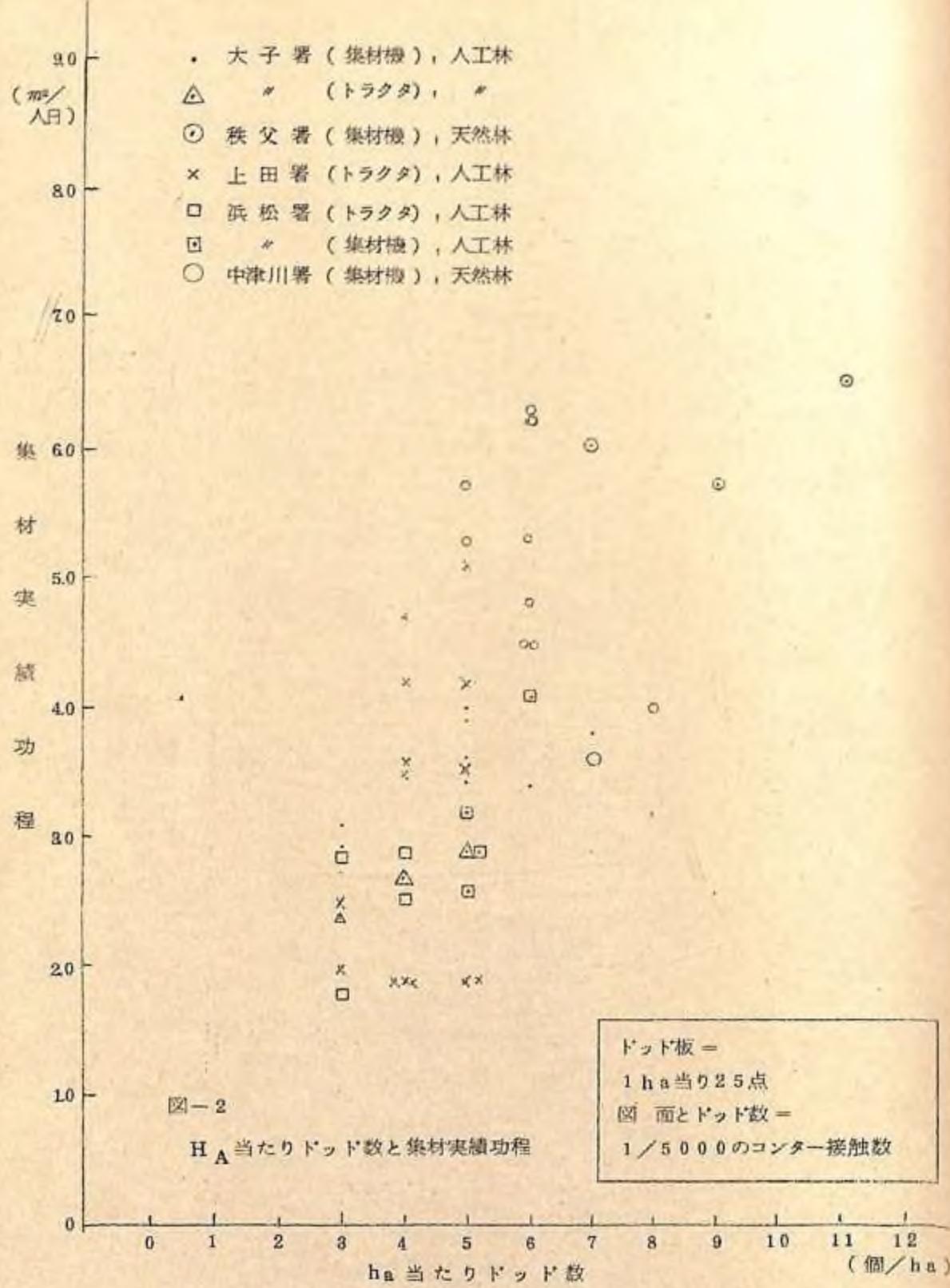
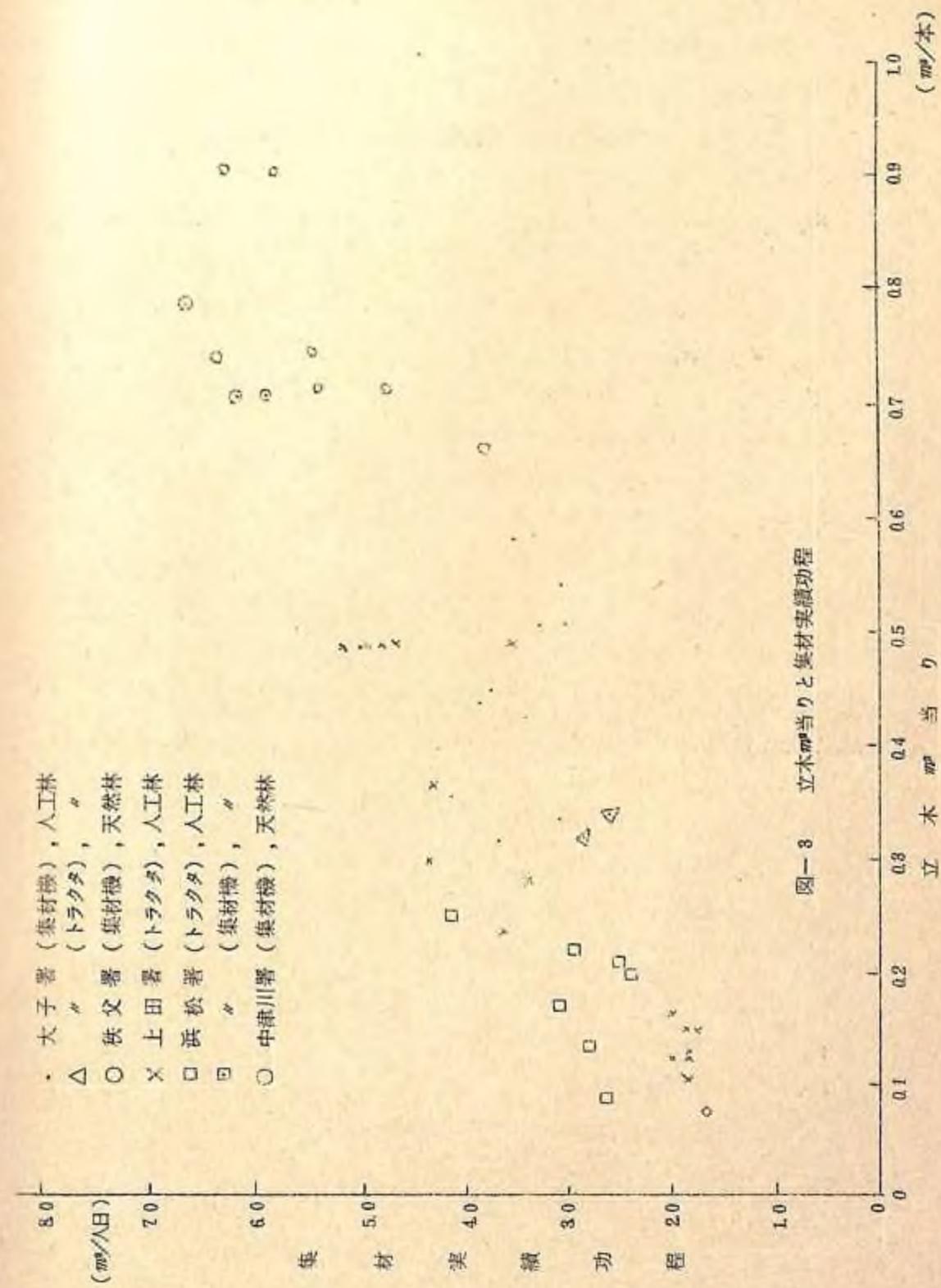


図-2

H\_A 当たりドット数と集材実績功程

図-3 立木m<sup>3</sup>当たりと集材実績功程

以上の構想により現地調査を行なった結果は図-2である。図-2は正の相関を示したが、本来は作業量は負の相関を示すと思われる。相関が正となつた原因は地形の難易の条件と同様、立木の条件が作業量に大きく関与していることである(図-3)。したがつて、ドット数と立木 $m^3$ あたりで表現した(5)式から求められた値を地形指数とした。

$$g = \frac{1}{13481 + 4.8225p + 0.1178q} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

ただし  $g$ : 地形指数,  $p$ : 立木 $m^3$ あたり(本),  $q$ : 1ha 当たりドット数

### 2-3 作業道最適作設地点の選定

林道を作設しようとする対象林分全体に対して、それを十分種々大きさで格子線を引くこととする。格子線の間隔は林道開設後採用を予定しているクレーン集材の最適作業距離の2倍とする。たとえば最適作業距離80(m)のクレーン集材の場合は60(m)間隔で格子線が切られることになる。

格子線間隔(以下マトリクス間隔という)をB(m)とすれば、1区画の面積は  $10^{-4} B^2 (H_A)$ となる。

対象林分全体にわたり、材積についてのマトリクス、地形指数についてのマトリクス[上記2.2で説明した  $g(p, q)$  の値]および距離マトリクスを作成する。

そして、このマトリクスの1単位面積相当の仕事量と林道開設の効果を判断する。まづ記号を次のように定めておく。

$T_{RC}$  : 選点前までの林道作設費用合計 (円)

$Y_1$  : 選点前の長距離集材総費用 (円)

$Y_2$  : 選点前の短距離集材総費用 (円)

$R_C$  : 1メッシュの長さの林道作設費用 (円)

$Y_1'$  : 選点後の長距離集材総費用 (円)

$Y_2'$  : 選点後の短距離集材総費用 (円)

$CTC$  : 選点前の総コスト (円)

$T_C$  : 新しい作業道を作設した場合の総コスト

ここで  $CTC = Y_1 + Y_2 + T_{RC}$

$$T_C = Y_1' + Y_2' + T_{RC} + R_C$$

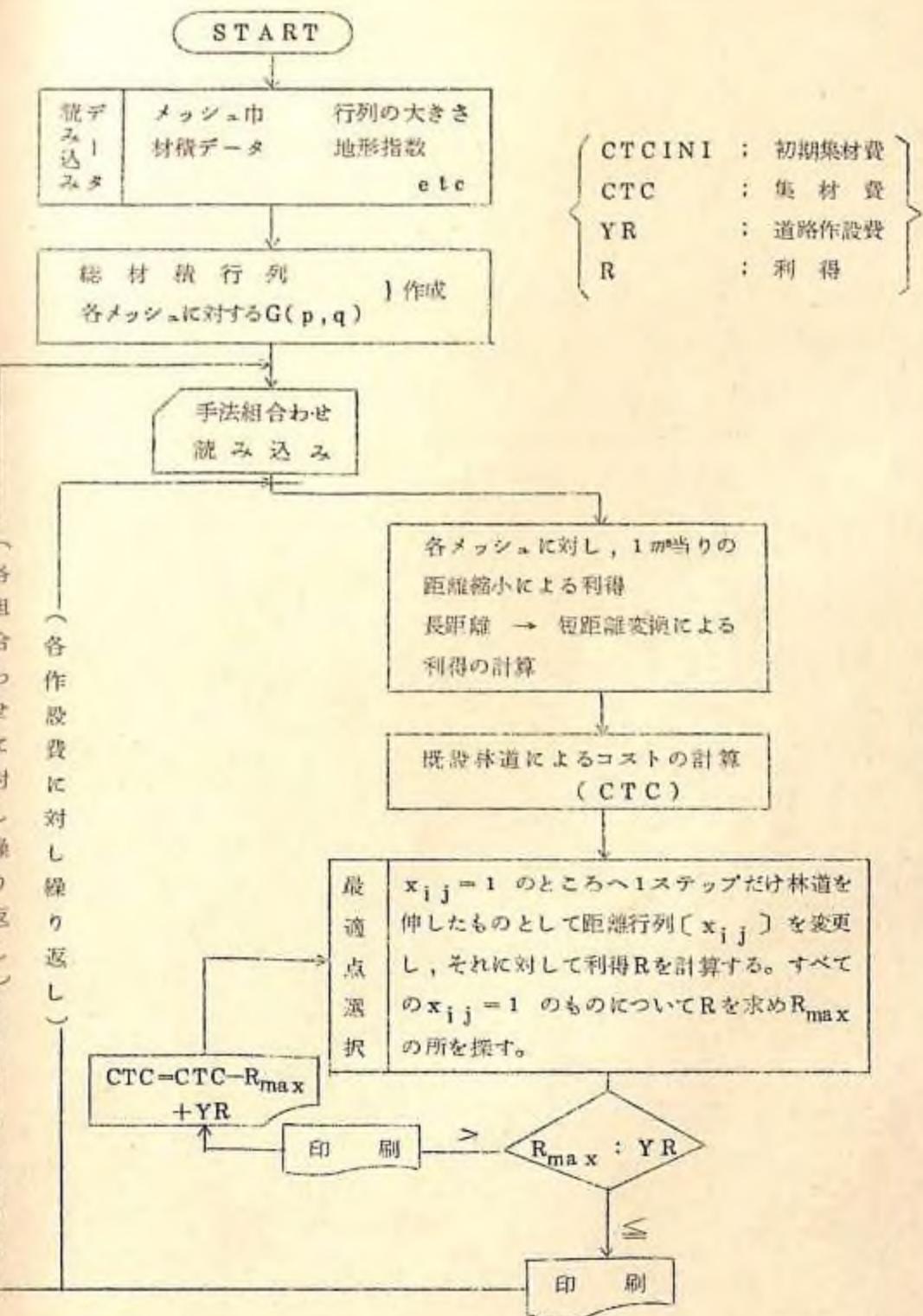


図-4 作業道網計画法フローチャート

よって

$$CTC - TC \geq 0 \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ならば、新作業道の開設効果があり、

ならば、開設効果なし、または不利と判定して、(7)式の1つ手前で作業道新設を終る。

電算機で行なうためのフローチャートは図-4のとおりである。

## 2-4 計算結果

計算のための準備が図-5および表-4である。そして計算結果の一部は表-5である。

大子事業区基本図

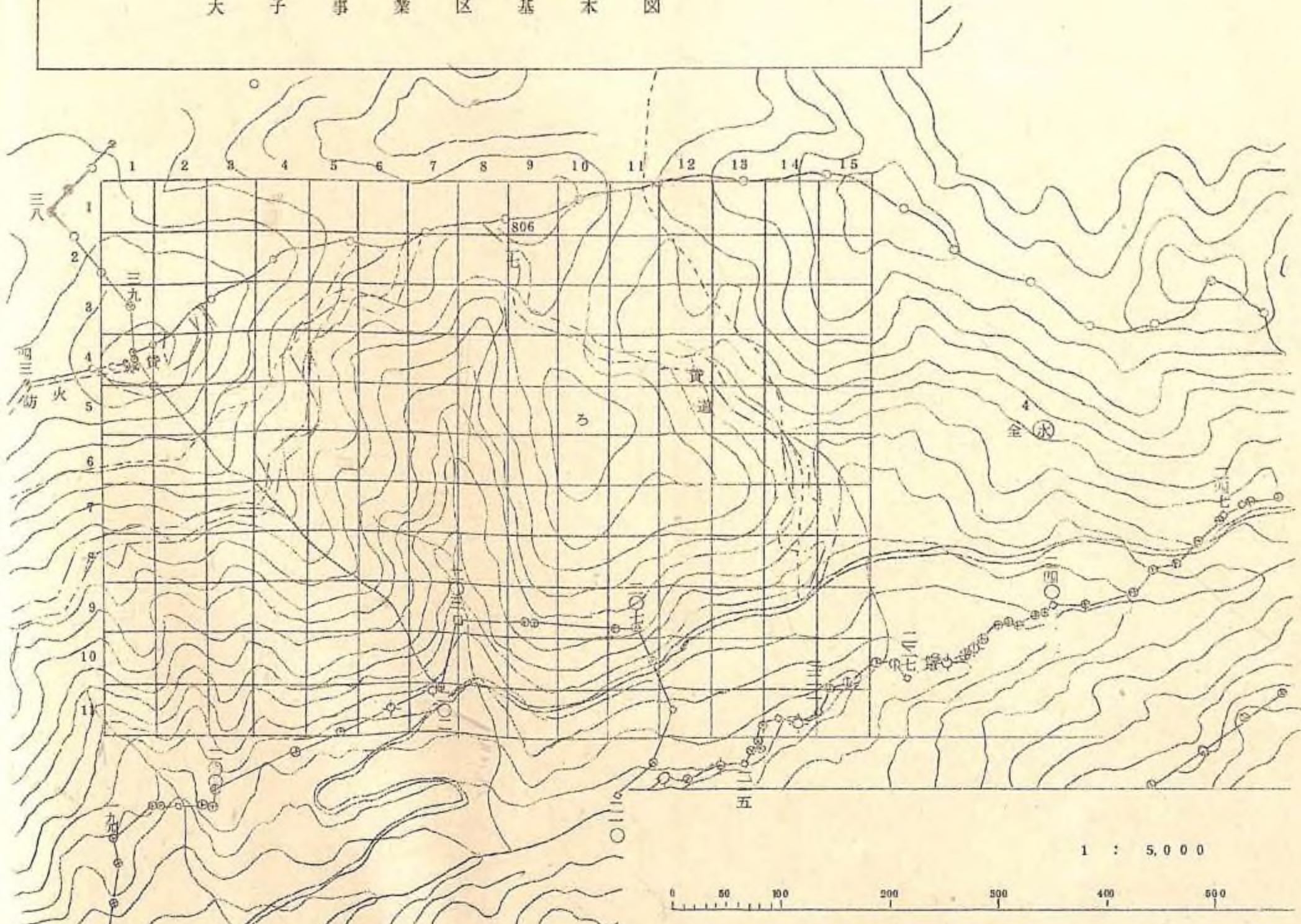


図-5 現地計算例のための基本図

表-4-1 計算準備表 (材積マトリックス)

歩留り 0.72 採用, (m<sup>3</sup>/ha), [3ヶタまでの整数]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0	0	0	0	210	210	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	210	210	210	210	210	199	0	0	0	0	0	0
3	0	210	210	420	420	420	420	420	199	0	0	0	0	0	0
4	210	210	420	420	420	420	420	420	399	199	199	199	0	0	0
5	0	210	420	420	420	420	420	420	420	399	399	399	199	0	0
6	0	0	210	420	420	420	420	420	420	399	399	399	399	199	0
7	0	0	0	210	420	420	420	420	420	399	399	399	399	199	0
8	0	0	0	0	210	210	420	420	420	420	399	399	399	199	199
9	0	0	0	0	0	210	420	210	210	199	199	199	199	199	0
10	0	0	0	0	0	0	210	0	0	0	199	199	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-4-2 つづき (地形マトリックス)

[地形指数 p, 2.00 &gt; p &gt; 0.0 ]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
3	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	4.8	2.8	2.8	2.8	2.8	4.8	4.8	2.8
4	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8
5	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8	4.8
6	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	2.8	4.8	4.8	4.8
7	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	2.8	2.8	4.8	2.8
8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8
9	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8
10	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	2.8
11	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	2.8	2.8	2.8	2.8



表-5-2 計算結果

〔トラクタ - クレーン集材〕

作設費 500円/m

版1 SAKUSETSU HI = 500

INITIAL CTC=	116197220
OPTIMAL CTC=	101686770
RITOKU=	14510450
INITIAL COST/M**3=	23172
OPTIMAL COST/M**3=	20278

OPTIMAL RINDO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-5-3 計算結果

〔集材機 - クレーン集材〕

作設費 1000円/m

版3 SAKUSETSU HI = 1000

INITIAL CTC=	115605760
OPTIMAL CTC=	105159590
RITOKU=	10446170
INITIAL COST/M**3=	23054
OPTIMAL COST/M**3=	20971

OPTIMAL RINDO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-5-4 計算結果

〔トラクタ - クレーン集材〕

作設費 1000円/m

SAKUSETSU HI=	1000
INITIAL CTC=	116197220
OPTIMAL CTC=	109155770
RITOKU=	7041450
INITIAL COST/M**3=	23172
OPTIMAL COST/M**3=	21768
OPTIMAL RINDO	

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
2	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
3	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
5	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
6	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
7	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
9	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	0	0	0	0	0	0

## 3 集材機集材についての現地適用性の検討

最適化プログラムの構成は、実は未解明の部分や空白の部分もかなり残された状態で作成された。問題点をせりりして、できるものから空白部分をつぶしてゆくという立案にたったのである。しかしながら、その前に開発したプログラムはどの程度現地に適用できるか試してみる必要がある。試すには最適化作成の資料を得たその現地でまづ試し、補足調査をして問題点のつかめるものは修正してゆくのが早道である。現地適用試験はとりあえず次の2つの目的をもって行なった。

- 1) プログラムの簡易化をはかって使いやすいものにする。
- 2) 計算値の精度について検討し、精度の確認および保持について行なう。

## 3-1 プログラムの簡易化について

## 3-1-1 電算機入力データの簡易化について

入力データ中とくに資材のデータと、人間の作業量に関するデータの作成ならびに入力法が大変厄介になっている。

前者の資材のデータについては毎木調査から作成することになっているが、最近の傾向としては毎木調査は実施していないので、航測図の利用などはかる方法を検討中である。

後者の人間の作業量に関するデータ作成法について述べる。表-6上段のものは盤台造材作業量決定に用いた推定式の精度をみたものである。精度の指標は次のものとした。

いま  $Y$  : 観測値

$\hat{Y}$  :  $Y$  の推定値

$\bar{Y}$  : 観測値の平均値

$n$  : Sample 数

とすると、推定の誤差は

$$S_Y = \left\{ \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 / (n-1) \right\}^{1/2}$$

$$S_{\hat{Y}} = \left\{ \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 / (n-1) \right\}^{1/2}$$

精度の指標としては

$$f_S = \{ S_S / \bar{Y} \}$$

表-6 船台造材作業量決定精度

要素作業	平均値 $\bar{Y}$	分散		誤差精度		要素生産率 $P$	平均作業時間 $t$	摘要 取上げた変数
		$S_s$	$S_Y$	$f_S$	$f_Y$			
削始動・停止	87.64	4.27	41.3	0.49	0.47	1.00	87.6	$n_t$ 摘伐玉数
玉切歩行	10.5	6.1		0.58				
玉切付帯	24.73	2.60	2.35	1.05	0.95	0.82	20.8	H 樹高
サルカ切り	21.80	1.71	1.64	0.78	0.75	0.40	8.7	D 樹高直徑
化粧がけ	54.60	5.47	4.80	1.00	0.88	1.00	54.6	
障害除去	35.0	2.30	2.11	0.66	0.60	0.32	11.2	
端切り	/	/	/	/	/	/		
枝先切り	5.68	7.42		1.28		0.26	14.8	
枝払い	5.70	7.31	6.93	1.27	1.21	0.60	34.2	
枝払付帯	26.951	23.34	17.97	0.87	0.67	1.00	26.95	D
枝払手直し	5.46	5.03		1.33		1.00	54.6	
玉扱	3.05	2.03		0.67		0.14	4.1	
玉切	32.81	3.67	1.77	1.12	0.54	1.00	32.8	d 未口徑
玉切歯取	11.3	1.11		0.98		0.20	2.8	
木堀り	14.0	1.84		0.96		0.20	2.8	
木堀り△	32.28	3.05	2.75	0.82	0.74	0.79	2.95	D
木材手作業△印込み	161.06	11.91	9.82	0.74	0.61	1.00	159.1	D, H
木材手作業○印込み	481.60	31.71	20.19	0.66	0.42	1.00	497.4	D, H
全 体	646.79	39.42	23.82	0.61	0.36	1.00	646.8	D, H

(注) 標測平均値  $\bar{Y} = \sum Y / n$   $Y$  : 標測値 ,  $n$  : サンプル数  
 $S_s = \{ (\sum (Y - \bar{Y})^2 / (n-1))^{1/2}$  ,  $S_Y = \{ (\sum (Y - \bar{Y})^2 / (n-1))^{1/2}$  ,  $\bar{Y}$  :  $Y$  の推定値  
 $f_S = S_s / \bar{Y}$  ,  $f_Y = S_Y / \bar{Y}$  △印は最適化計算に用いたもの

$$f_Y = [ S_Y / \bar{Y} ]$$

表-6の  $f_S$ ,  $f_Y$  は非常に大きい値をとっている。

林業作業での作業時間の推定はかなり難しいので、今回は要素作業ごとに分類化し、各要素作業は独立に  $Y = f(X, P)$  として推定精度を上げることとした。しかし、要素作業は開数形をもつものと、そうでないものとある。開数形をもった作業でも、玉切作業以外は推定精度を上げられなかった。すなわち要素作業ごとに分類化しても、環境条件との対応関係は現わしえなかつたと見るべきだろう。

表の△印は主に集材手の行なう作業、○印は主に造材手の行なう作業である。集材手の行なう作業、造材手の行なう作業を込みにして  $Y_{SHU}$ ,  $Y_{ZO}$  とすると、

$$Y_{SHU} = f(D, H) , Y_{ZO} = f(D, H)$$

となり、このときの  $f_Y(SHU) = 0.61$ ,  $f_Y(ZO) = 0.42$  となり、各要素作業の  $f_Y(i)$  より小さくなってくる。さらに全体Tの  $f_Y(T)$  は0.36とさらに小さい値をとる。

一般的に分類化したときの級内分散を  $S_b^2(i)$ 、級間分散を  $S_T^2$  として簡単に表わすとすると、分散の成分は

$$S_T^2 = \sum_{i=1}^k S_b^2 + S_w^2 \quad (k: 総数)$$

となるが、表は木に関する作業扱い、玉に関する作業扱いとしているため、もう一度上式に準じた吟味をしなおす必要があるけれども、表から判断する限り分類化することの意味は薄いと見て、あらためては行わなかった。

要素作業単位に分類化したとき、発生率の少ない作業を適切に表現できないと、良い推定精度は確保できない。

実際に現場でも要素作業単位での定式化は困難であるから、要素作業単位での定式化方法が確立するまでは、ある程度まとめた形で進めおくべきかと思われる。かくすると電算機のこの面の入力データは少し簡素になる。

### 3-1-2 プログラム自体の簡易化

これは計算演算における変数の組合せの問題と、計算結果の打出しの問題である。計算結果の打出しは考えられるところのすべての答を打出していっているので、ぼう大な量となる。そして最適変数の選定は人間の眼で追うことになっている。これらは今回改良した。

### 3-2 集材サイクル時間の妥当性

#### 3-2-1 機械運転時間

$$T_{TKI} = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + T_6 + T_7 \quad \dots \quad (8)$$

$$T_{HKI} = T_8 + T_4 + T_9 + T_7 \quad \dots \quad (9)$$

ただし  $T_{TKI}$  : タイラー方式集材機運転時間 (sec),  $T_{HKI}$  : ホーリングブロック方式運転時間 (sec),  $T_1$  : LB巻上げ時間,  $T_2$  : 空搬器返送時間,  $T_3$  : 引込み時間,  $T_4$  : 引出し時間,  $T_5$  : LB吊上げ時間,  $T_6$  : 実搬器走行時間,  $T_7$  : LB卸し時間,  $T_8$  : 空搬器走行・引込み時間,  $T_9$  : 実搬器走行 (LB吊上げ含む) 時間。

式(8), (9)の右辺の  $T_i$  は機械性能面からの特性として時間を求めている。今回その各項につき現地データとの検討を行なったところ妥当なものであった。

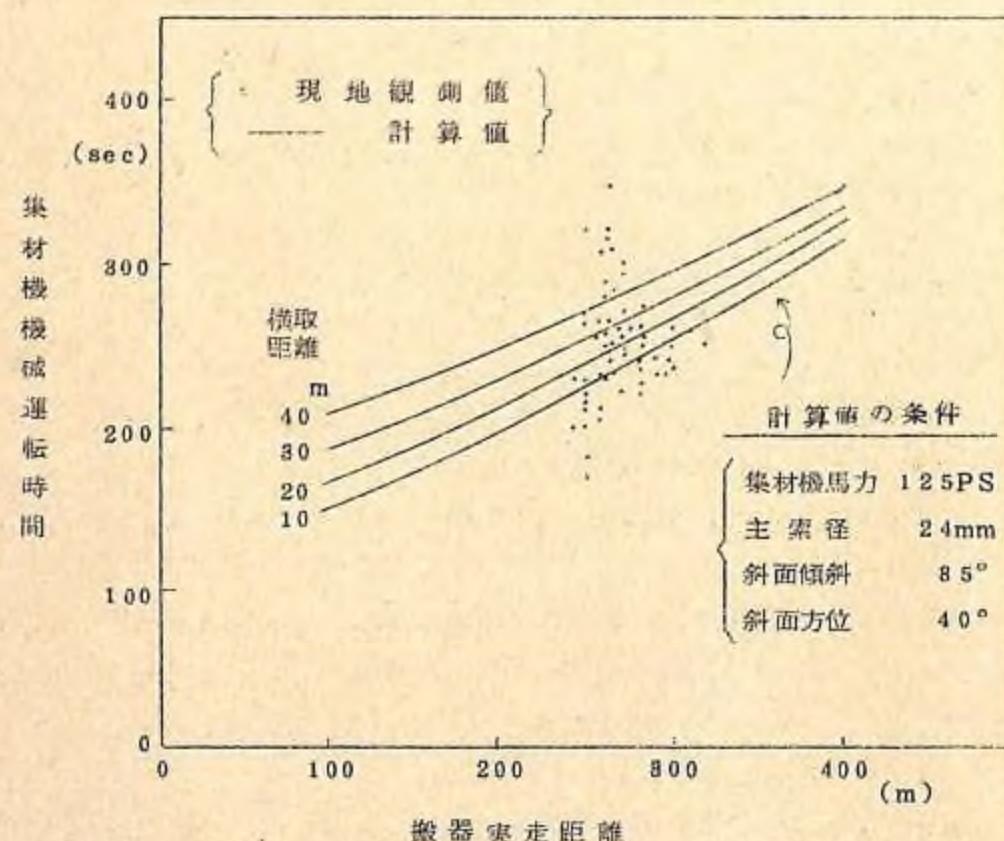


図-6 集材機機械運転時間の計算値と観測値

機械運転時間  $T_{HKI}$  と、観測運転時間と表わすと図-6 のようになる。計算値は集材面の方位、斜面傾斜、横取り距離、SKLの高さなどにより値はすべて変化することになっている。観測値はそれら条件の平均をとっている。したがって観測値はそのためバラツキがみられるが、計算値は観測値の近傍にある。

タイラー方式の運転時間はフォーリングブロック方式の場合と大差ないので省略した。

#### 3-2-2 盤台サイクル時間

盤台造材総時間は集材サイクルを決定する重要な条件である。盤台造材作業は集材手作業と造材手作業とに区分して、計算値と観測値と表わせば図-7, 8 になる。図のものは本プログラム作成の基となった資料 (1次とする) である。これによって今回現地調査 (2次とする) を行なった対比が図-9, 10 である。

本来計算値と観測値とが一致すれば点は  $\rho = 1.0$  の線上に並ぶことになる。点が  $\rho = 1.0$  の線から離れるほど推定精度は悪いことになる。このあてはまりの精度は次のとくである。

項目	作業群	1次調査		2次調査	
		集材手作業	造材手作業	集材手作業	造材手作業
累積偏差 $\left\{ \frac{\Sigma Y - \hat{\Sigma Y}}{\hat{\Sigma Y}} \right\} \times 100$		9.1	-6.3	-4.9	10.3
重相関係数 $\rho_Y \cdot \hat{\rho}_Y$		0.873	0.797	0.912	0.827
誤差率 $\hat{s}_f = \{s \cdot t_{0.05}/\bar{Y}\} \times 100$		2.91	6.75	1.79	5.21

(注)  $\hat{s}^2 = \sum (Y - \hat{Y})^2 / N$

<1次調査>

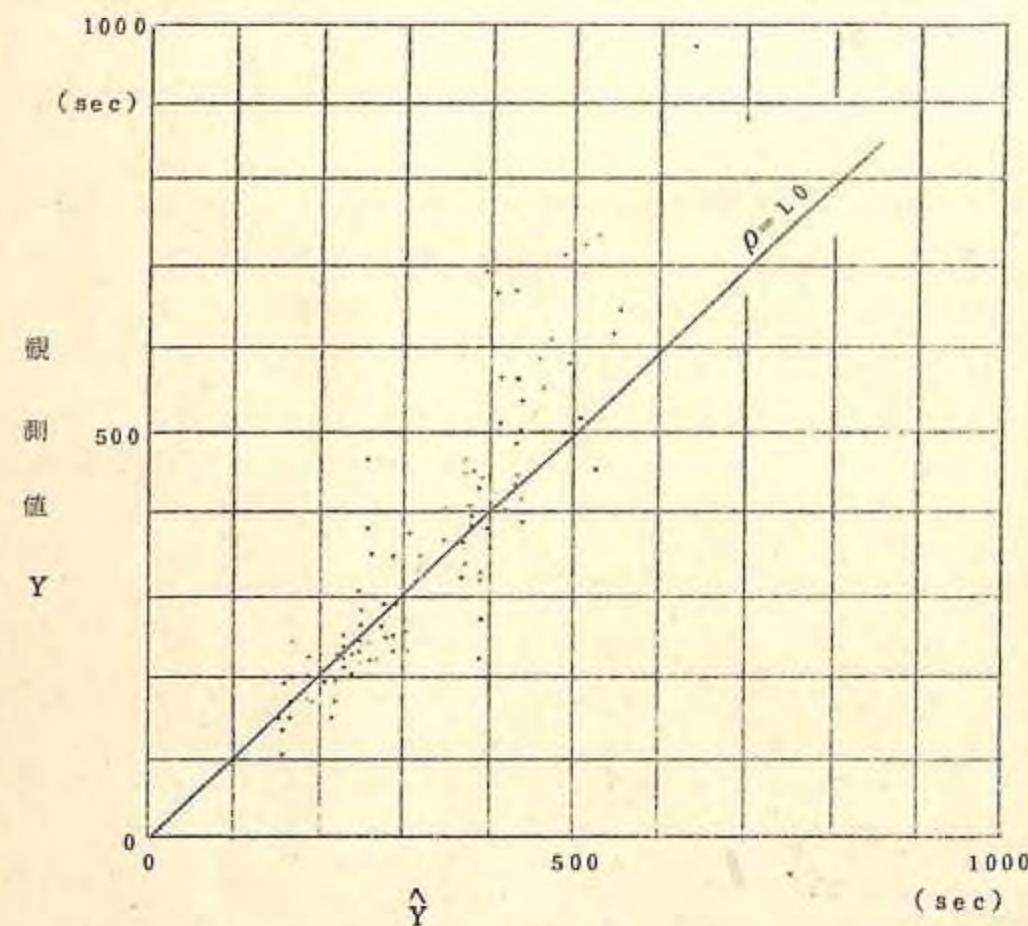


図-7 集材手作業の  $\hat{Y}$  と  $Y$   
(1次調査)

<1次調査>

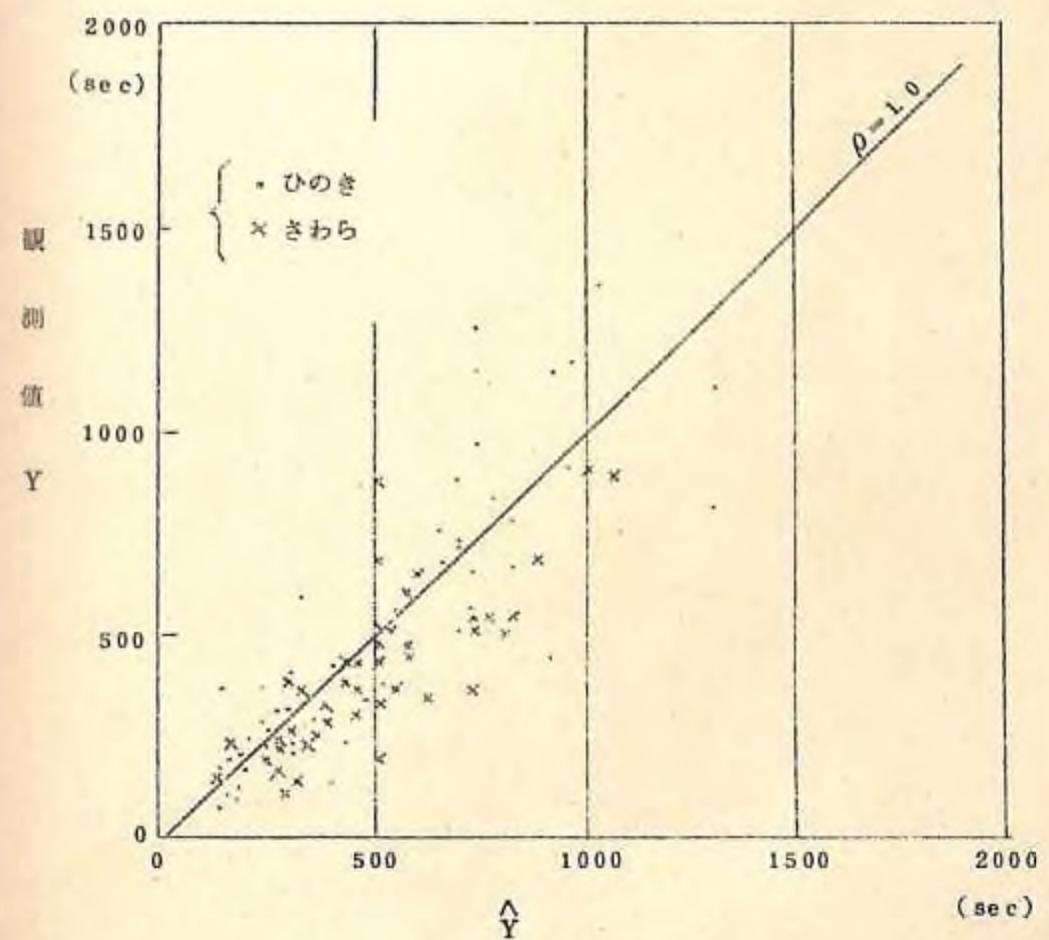


図-8 造材手作業の  $\hat{Y}$  と  $Y$   
(1次調査)

<2次調査>

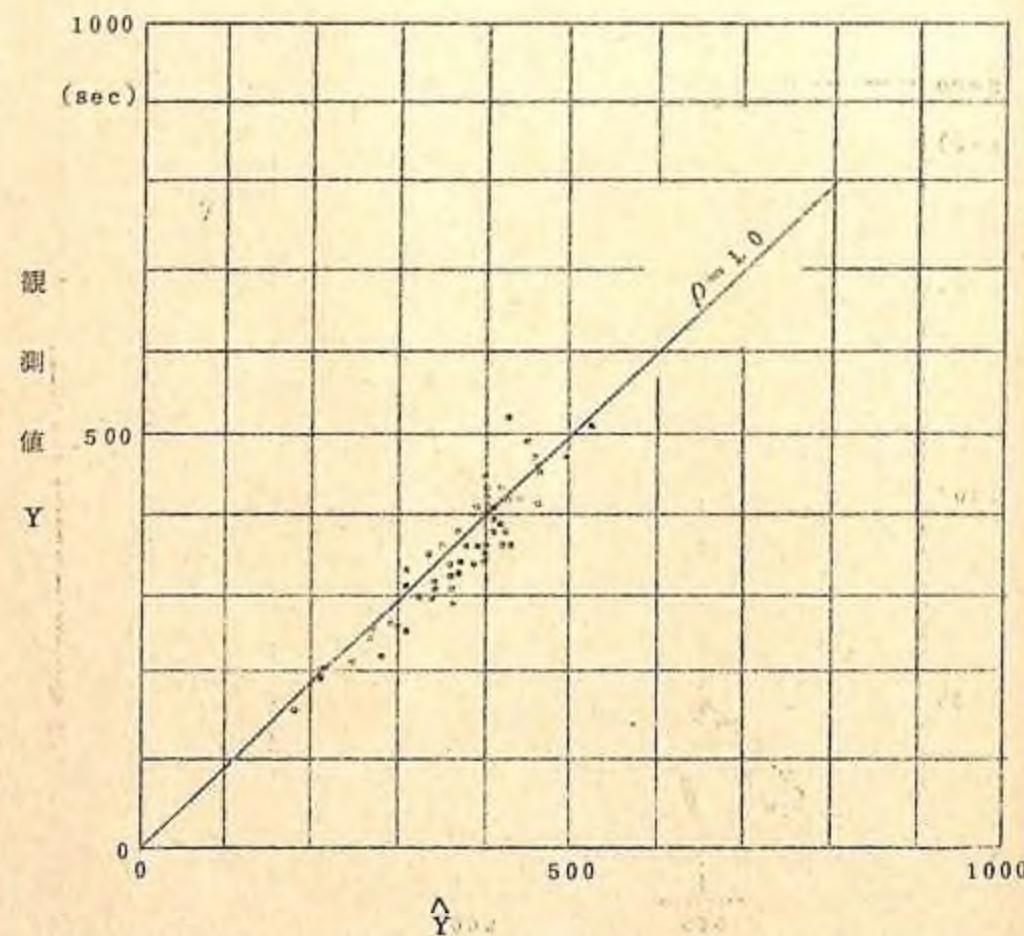


図-9 集材手作業の  $Y$  と  $\hat{Y}$   
(2次調査)

<2次調査>

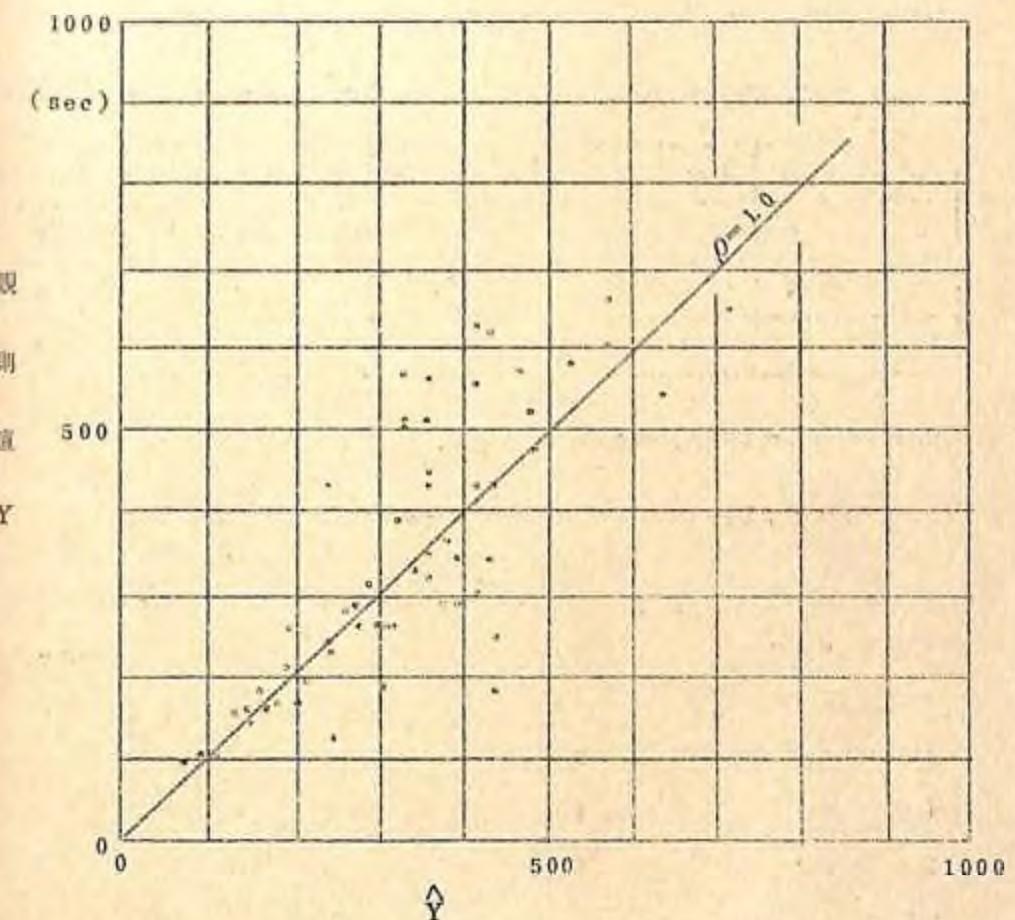


図-10 造材手作業の  $Y$  と  $\hat{Y}$   
(2次調査)

信頼度 95% のあてはまりの精度は集材手作業が 1.8% または 2.9%，造材手作業 5.2% または 6.8% である。造材手作業の精度が大変悪い。造材手作業の精度の悪い原因を調べてみると一つは全木集材中における材の折損の大きいことである。折損の状態は次のようであった。

#### 全木集材折損率調査

(場所: 上松署, 野尻署, 天然林)

集材樹種	集材全本数	完全木	折損木	折損率
ヒノキ	123 本	54 本	80 本	0.56
その他	85	14	21	0.75
計	158	68	101	0.57

折損中先折れしたものだけ拾えば次のとおり。

#### 胸高直径階折損率 (先折れのものだけ)

胸高直径	集材本数	先折れ本数	先折れしたものの比率
10 ~ 20cm	10 本	2	0.20
20 ~ 30	88	16	0.42
30 ~ 40	49	22	0.45
40 ~ 50	40	28	0.70
50 ~ 60	8	2	0.67
60 ~ 70	1	1	1.00

折損とは 1m 以上折れたことをさす。また伐倒中に折れたであろうものも含む。全木集材の全折損率 5.7%，そのうち先折れしたものだけ拾ってみると胸高直径の大きくなるほど先折れ率が高い。これだけ折損の高いことは盤台造材時間の推定を相当狂わせることになり、今後この面の検討が必要である。

ちなみに折損のために生じた採材長と、その材積とを推定すれば、全折損木の採材できたであろう長さ(用材長)に対して、折れた用材長は 2.9.1% に相当し、材積では 1.77% にあたる。

#### 3-3 架線設計における主索の張力安全率について

最適化計算の架線設計過程では主索の張力安全率を 2.7 のもとで行なったが、これを現場の実情と照合すべく、青森、秋田、旭川、熊本 4 局に依頼して現場調査をして頂いた。その結果は、

- 1) 主索の張力安全率が規定の 2.7 を下回るものは 7 架線中の 1 架線(熊本局)で、10 敷個の測定例のうちただ 1 回(安全率 2.50)のみである。他はすべて安全率 3 前後を保っている。
- 2) 設計上の吊荷重量と実際の吊荷重量の差が著しいものがあった。
- 3) いろいろな重量の吊荷が主索に負荷されると、主索張力はそれにともなって変化する。この変化の程度を引張弾性係数(E)で示すことができる。各々の測定値から架線ごとに E の概略を求める 6.500 ~ 1.000 程度である。この値は十分妥当といえる。最適化計算では実情に合わせるために安全率を 2.7 より小さくすべきではないかという議論があった。しかし今回の調査結果からみるかぎりそれは否定された。

#### IV まとめ、ならびに今後の残された問題点

テクノロジーアセスメントの時代といわれる昨今において、林業の技術開発においても同一であろう。われわれは新しい一つの分析手法としてシステム工学の考え方を林業作業にも適応できるものとして、伐木集材運搬について検討した結果、集材機を中心とした伐木集材(a)，トラクタを中心とした伐木集材(b)，およびこれらと一体として実行されるトラック運搬の配車計画(c)，作業道網延長計画法(d)について、最適化計画の手法の開発を行ない、それぞれのコスト最低の最適化プログラムができた。

このことによりシステム工学の手法が大いに活用できる確信を得た。

ここに開発されたプログラムは、複雑な環境条件(自然的、人為的)の林業の現地に実際適用できるか否か検討してみる必要がある。そのためここ一、二年は上記(a)のシステムを取り上げ行なってきた。その結果部分的に改良を要する点もあって、全般を見わたし逐次修正を行なってきた。その検討の中にあって盤台造材の作業量の予測精度が悪いことがわかった(普通集材作業においては山地造材作業になるかも知れない)。よってこの部門は精度の良い予測方法を解明する必要がある。それともう一つは電算機に入力するためのデータの収集、作成の簡易化が考えられ、航空写真的利用を早急に検討してみる必要がある。

開発されたいままでの手法を今後一般的なものとしていくためには、基礎データ不足として

仮定した部分の解明ならび人為的条件については新しい分野での解析手法の応用など取入れていく必要があろう。

最後に新しい分野の技術開発手法の応用は林業にもかなり利用できる面があることを確認した。

#### ( 参考文献 )

- 1) 林野庁業務課 : 集材機を中心とする運搬系のシステムに関する研究報告書,  
昭和43年
- 2) 渡辺 茂 : トラクタを中心とした運搬系のシステムに関する研究報告書,  
昭和44年
- 3) 林野庁報告書 : トラックを中心とした運搬系システムの最適化に関する研究,  
昭和45年
- 4) 林野庁報告書 : 作業道を中心とした集材システムの最適化に関する研究,  
昭和46年
- 5) 渡辺茂ほか7名 : 伐木・造材・集材システムの最適化に関する研究(第1報),  
林試研報, 1971.