

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 辰雄
	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。この伐木集運材系の最適化は以前から渴望されていたが林地林木の複雑性、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、伐木集運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年度より集運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、トラクタ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。

$$I = f(x, q) \quad \text{①}$$

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。

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

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

$$r_i(x, q') = (x_1, x_2, \dots, x_n, q'_1, q'_2, \dots, q'_l)$$

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) を求めることである。

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 o 印を付すと

$$f^o(K^o, D^o, S^o, PS^o, M^o) = \min_K \min_D \min_S \min_{PS} \min_M \{ f(K, D, S, PS, M) \}$$

を求めることとした。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, 30mmの5通り, S : 2通り, PS : 55, 70, 90, 125の4通り, M : 普通集材法の荷掛人員1, 2人の2通り, 全木集材法の盤台造材人員1~4人の4通りとすれば, その全組合せ820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)

最適化の手法は前項と同様なので省略する。

1-3 トラック運材

トラック運材についての最適化は前2者と異なり、集材土場の1日の出材量に合せて、トラック1日の運材量を等しくする配車輸送の問題とした。すなわち

$$V = \min_A \min_E \min_{TN} \min_M \{ f(A, E, TN, M) \}$$

ここで

V : 集材土場の1日の出材量

A : トラック積込法(クレーン積込, 人力積込)

E : トラックの大きさ(4, 6, 8t車等)

2 作業道を中心とした集材システムの最適化

2-1 基本的考え方

本項は昭和45年度より行なったものである。基本的な考え方は次の通りである。

従来の作業道の密度理論に加えて、その作業道はどの地点を通過するのがもっとも効果的であるかという二つの要素の最適解を求めることである。作業道を延長するにあたっての集材法は、作業道からの短距離範囲内は短距離集材法(トラクタクレーン集材法)、他の部分は長距離集材法(集材機集材またはトラクタ集材)を採用した組合せとする。

そして、考える地域内全部の材を集材するための総コストと、作業道作設による集材総コストの減少が、作業道作設によって起こる費用の増加とが丁度バランスするところまで作業道を延ばしてゆくというものである。

2-2 集材費用関数

集材方法としては、短距離集材法と長距離集材法の組み合わせで行なうことを前述した。この集材における費用は集材距離に比例するという原則、あるいは経験があるとされている。実践的立場からこの関係を明確にしたものが意外にないので、本研究では標準功程を基礎とした諸資料の集積ならび現場調査から集材費用関数を次式のように組立てた。

$$C_{vi} = f(x, v_h, r, g) \\ = \{ [a_i(1+r_i) \cdot g(p, q)x + b_i] + (c_i \cdot v_h^{di} + e_i) \} \\ [i = 1(\text{集材機集材}), 2(\text{トラクタ集材}), 3(\text{トラクタクレーン集材})] \\ \dots\dots\dots ③$$

ここで

C_v : 単位材積当たり集材費用(円/ m^3)

x : 集材距離(m)

v_h : H_A 当たり素材材積(m^3/H_A)

r : 迂回率

g : 地形指数

p : 立木 m^3 廻り($m^3/\text{本}$)

q : H_A 当たりドット数

また、③式に見込んだ費用以外に生産に関わる伐倒、巻立、トラック運材および共通の経費がある。これを式の形にまとめると④式となる。

$$F_{vi} = (A_i + B) \cdot V + Z \quad [i = 1(\text{集材機集材}), 2(\text{トラクタ集材}), \\ 3(\text{トラクタクレーン集材})] \dots\dots\dots ④$$

ここに

F_v : 集材費用関数以外にかかる一定の作業費合計

A : 単位材積当たりに換算した準備作業費(盤台作設、土場作設等)(円/ m^3)、実際ここに含まれたものは盤台作設費および土場作設費だけである。集材機集材での架線・撤去費、またはトラクタ集材でのトラクタ道の作設費および道修理費は③式に入ってしまったので、④式のA項からは除いた。

B : 集材に関する以外の作業でシステムとして考慮される作業費の単位当たり費用(伐倒、巻立およびトラック運材等)(円/ m^3)。

V : 集材総材積(m^3)

Z : 材積に関係しない分担的なもの。

まづ、③式についての定数項は表-1のとおりである。そして④式についての定数項は表-2のとおりである。

表-1 集材費用関数の定数項

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	1.43
" ②トラクタ	1.0	1040	5197	-04989	-500	☆	1.0
" ③モリクレーン	20.2	195.9	0	0	0	0.15	2323

p		立木 m^3 廻り (m^3 / 本)			
q		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	0.63
	2.5~6.4	1.54	1.00	0.74	0.59
	6.5~24	1.23	0.91	0.69	0.56
	25~124	1.18	0.83	0.65	0.53

表-2 集材費用関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。

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

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

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)

作業量	i = 1	組 人 員 (人/台組)	4							摘 要
		賃 金 (円/人日)	2800							
		ス パ ン (m)	1000	900	800	700	600	500	400	
		集 材 距 離 (m)	650	585	520	455	390	325	260	
		作 業 量 (m^3 /台日)	20	21	23	26	28	31	33	
	i = 2	組 人 員 (人/台組)	3							
		賃 金 (円/人日)	2800							
		ト ラ ク タ 道 (m)	200	400	600	800	1000	1200	1400	
		集材面積規模 (H_A)	1.4	2.9	4.3	5.7	7.1	8.6	10.0	
		作 業 量 (m^3 /台日)	3.4	2.9	2.5	2.2	1.9	1.7	1.6	
	i = 3	組 人 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 (m^3 /台日)		6.71	4.69	4.00	3.48	3.31	2.75			
物件費	i = 1	ス パ ン (m)	1000	900	800	700	600	500	400	
		付属器具損料 (円/ m^3)	166.39	154.67	145.70	131.91	121.67	103.10	93.16	
		消 耗 品 費 (円/日)	308							
	i = 2	付属器具損料 (円/ m^3)	2750							
消 耗 品 費 (円/日)		976								
役務費	i = 1	1 日 当 り 修 理 費 率	0.0534 (%)							
		〃 修 理 費	535 (円/日)							
	i = 2	1 日 当 り 修 理 費	2767 (円/日)							
	i = 3	1 日 当 り 修 理 費	2515 (円/日)							
運転経費		種 類	軽 油	オ イ ル	グ リ ス	ギ ャ - 油				
		単 価 (円)	35	160	160	200				
	i = 1	1 日 使 用 量	24 ℓ	0.65 ℓ	0.05 Kg	0.05 Kg				
	i = 2	〃	23 ℓ	1.0 ℓ	0.1 Kg	0.05 Kg				
	i = 3	年 間 使 用 量	2700 ℓ	236 ℓ						
機械償却			購 入 価 格		年間機械償却率		1日当り償却費			
	i = 1	集 材 機	1002 千円		2065 %		1,587円/日			
	i = 2	ト ラ ク タ	3906		2299		5,612			
	i = 3	(モ リ ク レ ー ン)					4,551			

0.6 m^3 /木

サルキー，耐用数量
12,000 m^3

i = 3は実績値使用

0.6 m³/本

サルキー, 耐用数量
12,000 m³

i=3は実績値使用

C_C : 単位当たり集材費 (円/㎡)

C_{MAN} : 労賃 (円/㎡)

C_{BUK} : 物件・役務費 (円/㎡)

C_{UN} : 機械運転経費 (円/㎡)

C_{KAN} : 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応用をはかった。ドット板は1点当たり面積0.4 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コンターの長さを測った読値との相関図を画けば図-1のごとくなる。ある単位内のコンターの長さ、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。

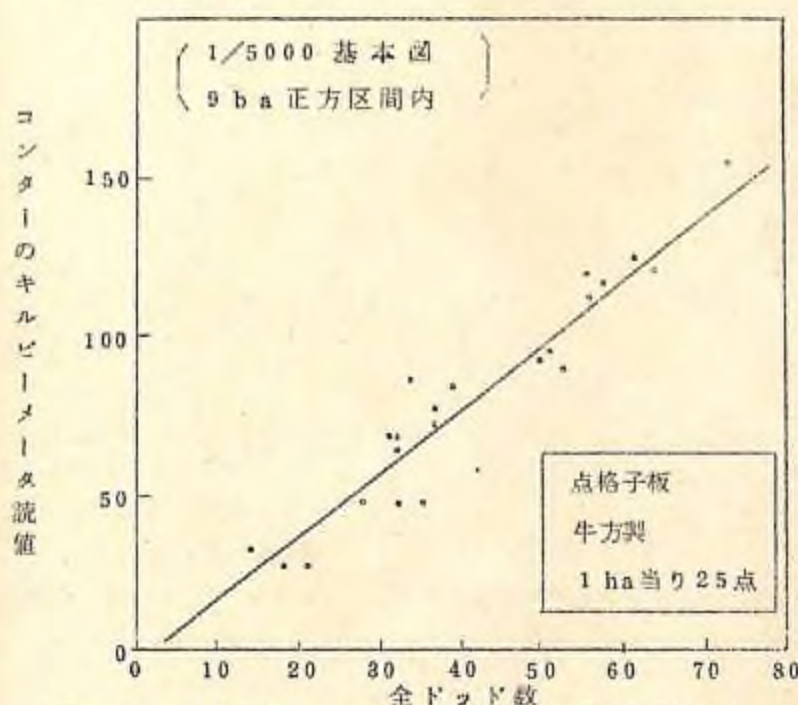


図-1 5千分の1の基本図における9 H_A 正方区間内のドット数と、キルビメータによる等高線長さの読値

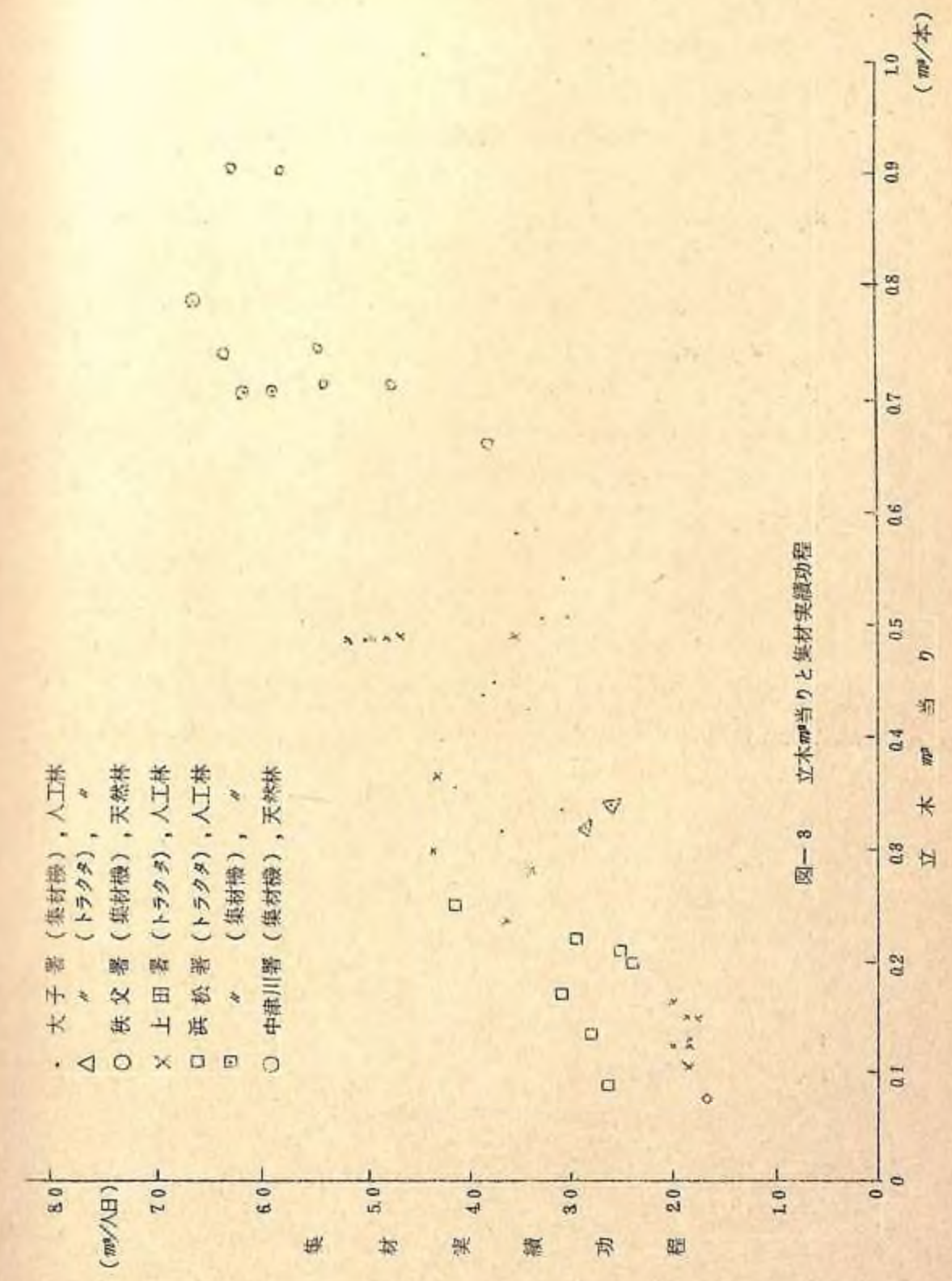
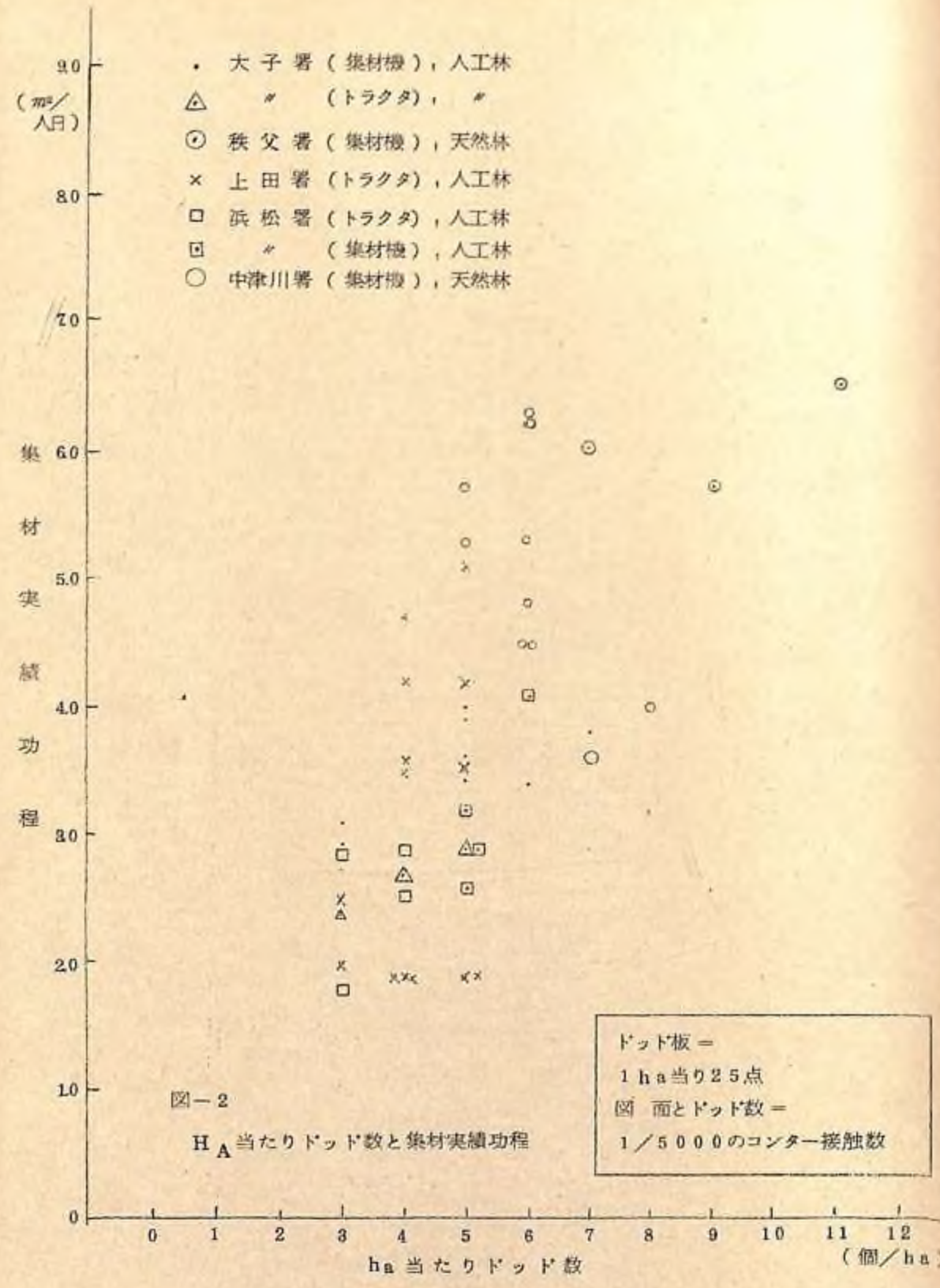


図-3 立木 m³ 当りと集材実績功程

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。相関が正となっ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)。したがって、ドット数と立木 m 廻りで表現した⑤式から求められた値を地形指数とした。

$$g = \frac{1}{1.3481 + 4.8225p + 0.1173q} \quad \text{⑤}$$

ただし g : 地形指数, p : 立木 m 廻り (m /本), q : 1 ha 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、それを十分覆う大きさで格子線を引くことにする。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30(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。

TRC	: 選点前までの林道作設費合計	(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)
RC	: 1メッシュの長さの林道作設費	(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)
TC	: 新しい作業道を作設した場合の総コスト	

ここで $CTC = Y_1 + Y_2 + TRC$

$TC = Y_1' + Y_2' + TRC + RC$

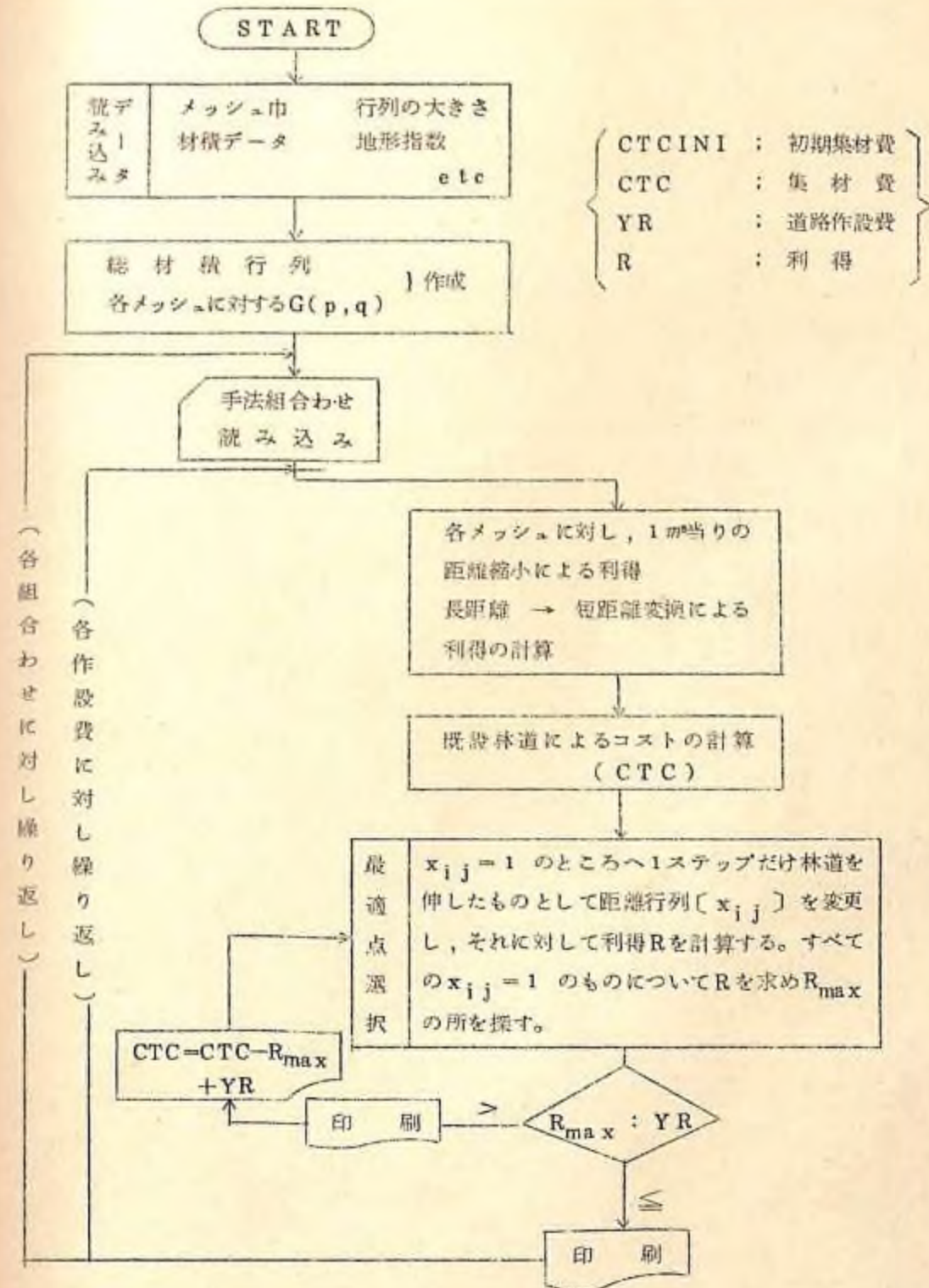


図-4 作業道網計画法フローチャート

よって

$$CTC - TC > 0 \dots\dots\dots (6)$$

ならば、新作業道の開設効果があり、

$$CTC - TC \leq 0 \dots\dots\dots (7)$$

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

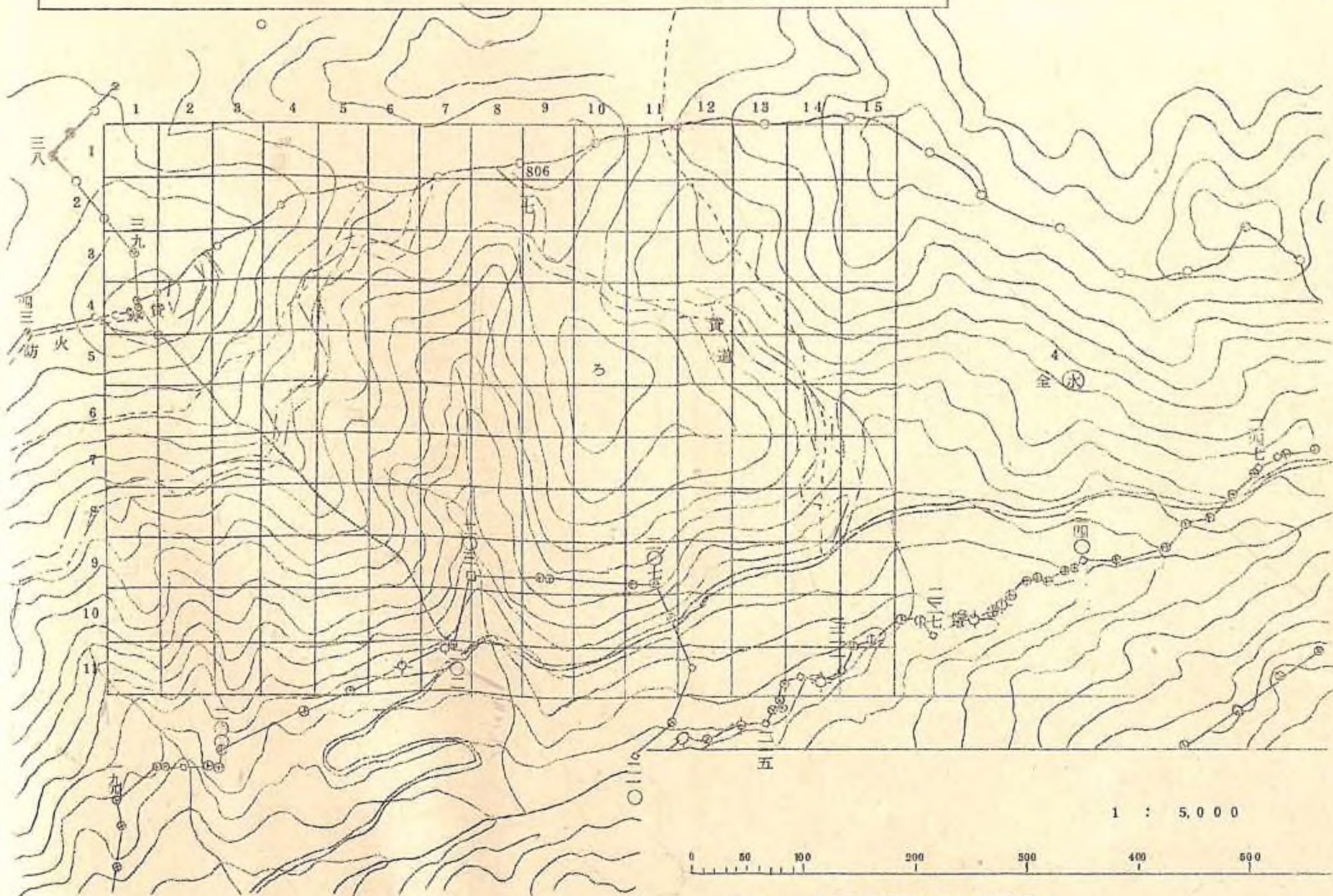


図-5 現地計算例のための基本図

表-4-1 計算準備表 (材積マトリックス)

歩留り0.72採用, (m^3/ha), (3ケタまでの整数)

	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	210	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 , $200 > p > 0$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
2	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
3	28	28	48	48	48	28	28	48	28	28	28	28	48	48	28
4	28	28	48	48	48	48	48	48	28	28	28	28	48	48	48
5	28	28	48	48	48	48	48	48	48	28	28	48	48	48	48
6	28	28	48	48	48	48	48	48	48	28	28	28	48	48	48
7	48	48	48	48	48	48	48	48	48	28	28	28	28	48	28
8	48	48	48	48	48	48	48	48	48	28	48	48	48	48	28
9	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	28	28
10	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	28	28	28
11	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	28	28	28	28

表-4-3 つづき (立木 m^3 廻りマトリックス)(V, m^2 /本), [1000 > V > 00]

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	0	0	0	0	0	0.30	0.30	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0	0	0	0	0	0
3	0	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0	0	0	0	0	0
4	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0	0	0
5	0	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0	0
6	0	0	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0
7	0	0	0	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.35	0
8	0	0	0	0	0.30	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30	0.35	0.35	0.35	0.35
9	0	0	0	0	0	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0
10	0	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0.35	0.35	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表-5-1 計算結果

〔集材機 - クレーン〕

作設費 500円/m

No.1 SAKUSETSU HI= 500

INITIAL CTC= 115605760 (既設道のときの総集材費)

OPTIMAL CTC= 99502330 (最適作業道開設後の総集材費)

RITOKU= 16103480 (利益)

INITIAL COST/M*3= 2305.4 (既設道のときの m^2 当り集材費)OPTIMAL COST/M*3= 1984.3 (開設後の m^2 当り集材費)

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」は既設作業道。空白部は作設箇所を示す。

表-5-2 計算結果

〔トラクタ - クレーン集材〕

作設費 500円/m

No.1 SAKUSETSU HI= 500

INITIAL CTC= 116197220

OPTIMAL CTC= 101686770

RITOKU= 1451045.0

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	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

表-5-3 計算結果

〔集材機 - クレーン集材〕

作設費 1000円/m

No.3 SAKUSETSU HI= 1000

INITIAL CTC= 115605760

OPTIMAL CTC= 105159590

RITOKU= 1044617.0

INITIAL COST/M**3= 2305.4

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	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

表-5-4 計算結果

〔トラクタ — クレーン集材〕

作設費 1000円/m

No.3 SAKUSETSU HI= 1000

INITIAL CTC= 116197220

OPTIMAL CTC= 109155770

RITOKU= 704145.0

INITIAL COST/M**3= 28172

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	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****

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の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

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

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

精度の指標としては

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

表-6 盤台造材作業量推定精度

要素作業	平均値 \bar{Y}	分散		誤差精度		要素発生率 p	平均作業時間 t	摘	要
		S_s	S_y	f_s	f_y				
△ 測尺	8764	427	413	0.49	0.47☆	1.00	876	n_t	採伐玉数
○ 始動・停止	105	61		0.58☆					
○ 玉切歩行	2473	260	235	1.05	0.95☆	0.82	208	H	樹高
○ 玉切付帯	2180	171	164	0.78☆	0.75	0.40	87		
○ サルカ切り	5460	547	480	1.00	0.88☆	1.00	546	D	胸高直径
○ 化粧かけ	350	230	211	0.66	0.60	0.32	112		
○ 障害除去									
○ 捨切り	568	742		1.28☆		0.26	148		
○ 技先切り	570	731	693	1.27☆	1.21	0.60	342		
○ 技払い	26951	2334	1797	0.87	0.67☆	1.00	2695	D	
○ 技払付帯	546			1.33☆		1.00	546		
○ 技払手直し	305	203		0.67☆		0.14	41		
○ 玉切	3281	367	177	1.12	0.54☆	1.00	328	d	末口径
○ 玉切段取	113	111		0.98☆		0.20	28		
△ 木廻し	140	134		0.96☆		0.20	28		
△ 材扱い	3728	305	275	0.82	0.74☆	0.79	295	D	
△ 印込み	16106	1131	982	0.74	0.61	1.00	1591	D, H	
○ 印込み	48160	3171	2019	0.66	0.42	1.00	4974	D, H	
△ 全体	64679	3942	2332	0.61	0.36	1.00	6468	D, H	

(注) 観測平均値 $\bar{Y} = \sum Y / n$ Y : 観測値, n : サンプル数
 $S_s = \{ \sum (Y - \bar{Y})^2 / (n - 1) \}^{1/2}$, $S_y = \{ \sum (Y - \hat{Y})^2 / (n - 1) \}^{1/2}$, \hat{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、要素作業は関数形をもつものと、そうでないものとある。関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得なかっ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区別して Y_{SHU} , Y_{ZO} とすると、

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

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 $f_{Y(i)}$ より小さくなっていく。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

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

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いと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るもので、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

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

$$T_{HKI} = T_3 + T_4 + T_6 + T_7 \quad \text{⑨}$$

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。

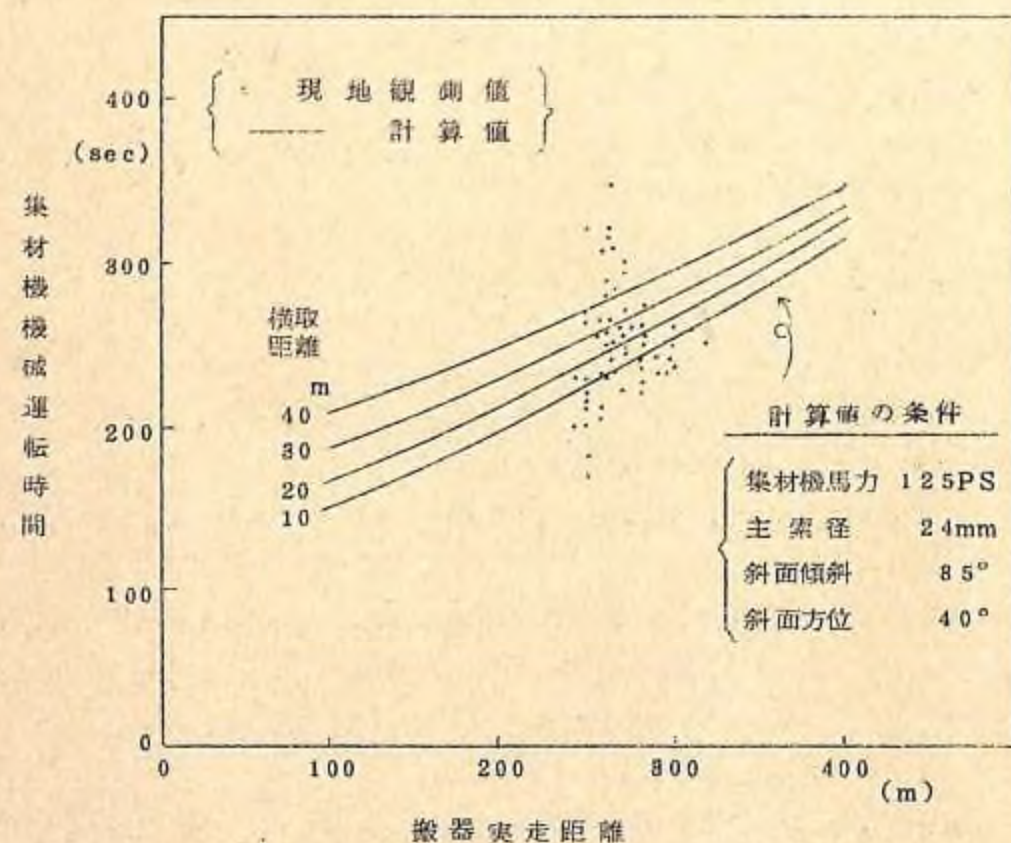


図-6 集材機械運転時間の計算値と観測値

機械運転総時間 T_{HKI} と、観測運転時間値と表わすと図-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。このあたはまりの精度は次のごとくである。

項目	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 $\left\{ \frac{\sum Y - \sum \hat{Y}}{\sum \hat{Y}} \right\} \times 100$	9.1	-6.3	-4.9	10.3
重相関係数 $\rho_{Y, \hat{Y}}$	0.873	0.797	0.912	0.827
誤差率 $\star f = \{s \cdot t_{0.05} / \sqrt{Y}\} \times 100$	29.1	67.5	17.9	52.1

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

<1次調査>

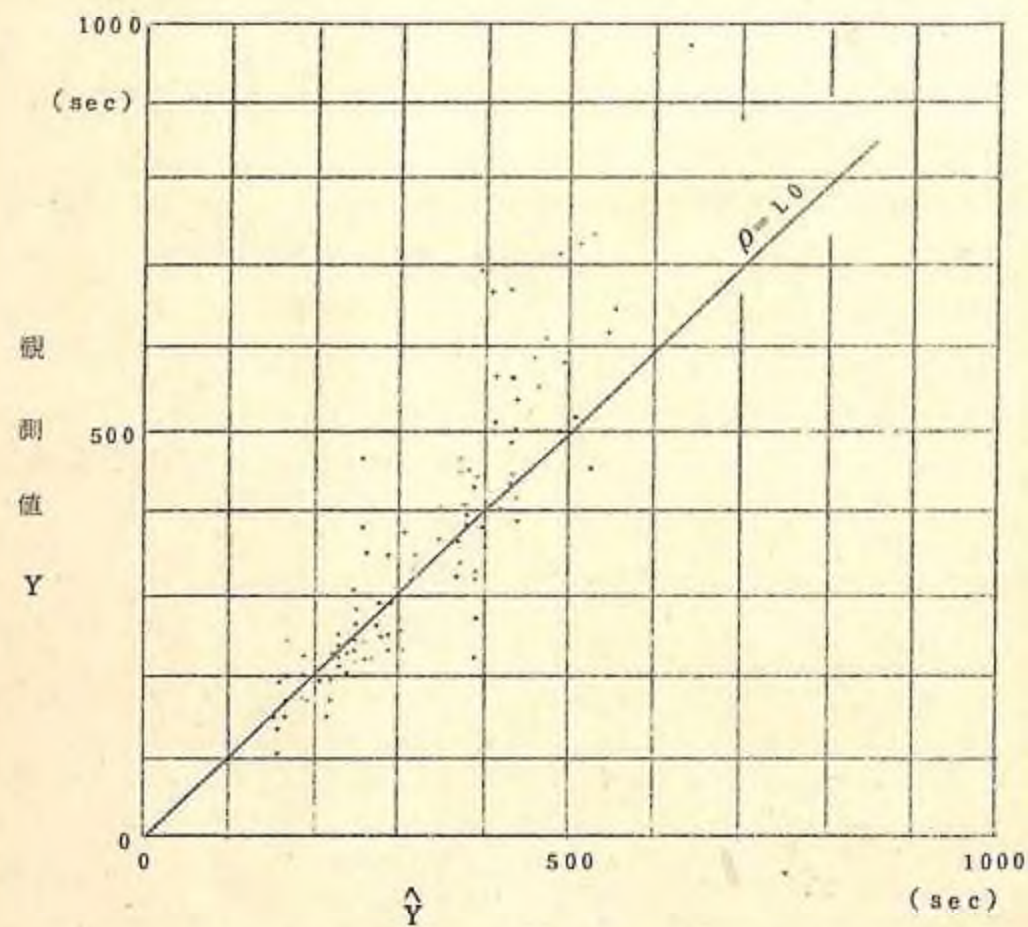


図-7 集材手作業の \hat{Y} と Y
(1次調査)

<1次調査>

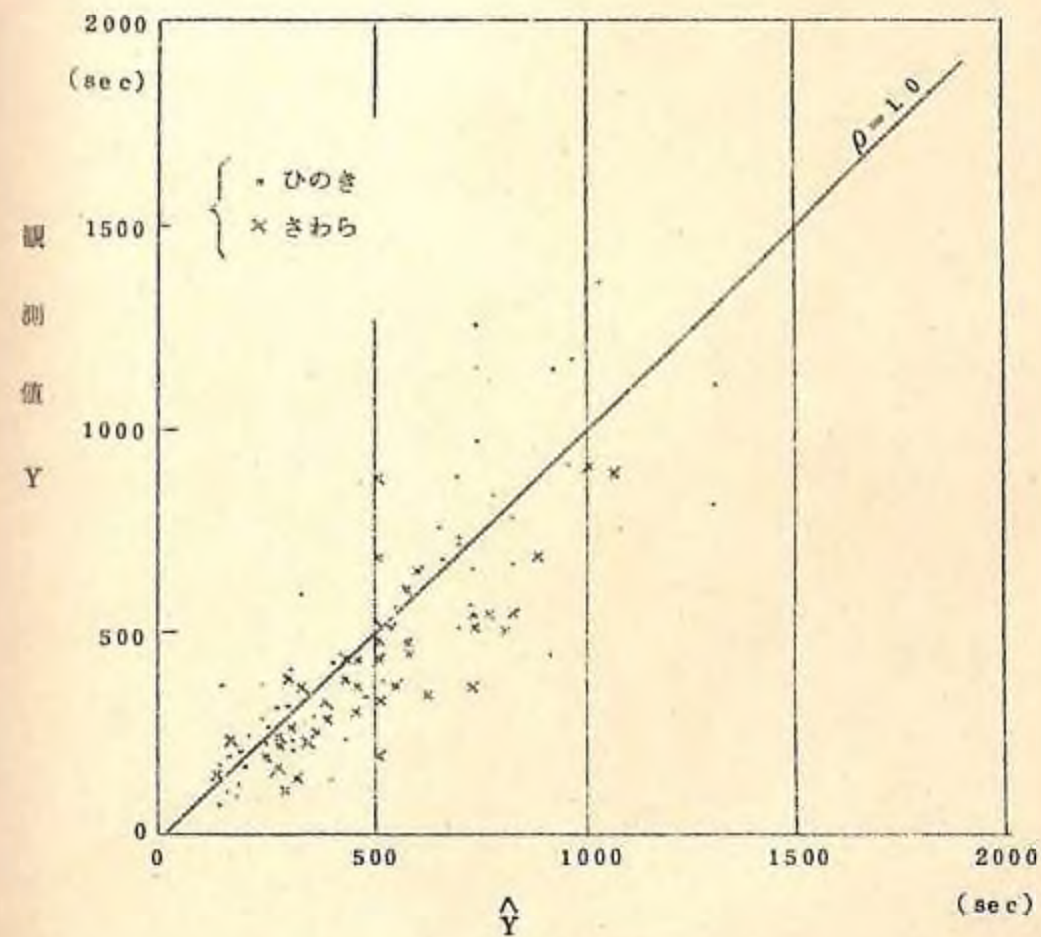


図-8 造材手作業の \hat{Y} と Y
(1次調査)

< 2 次 調 査 >

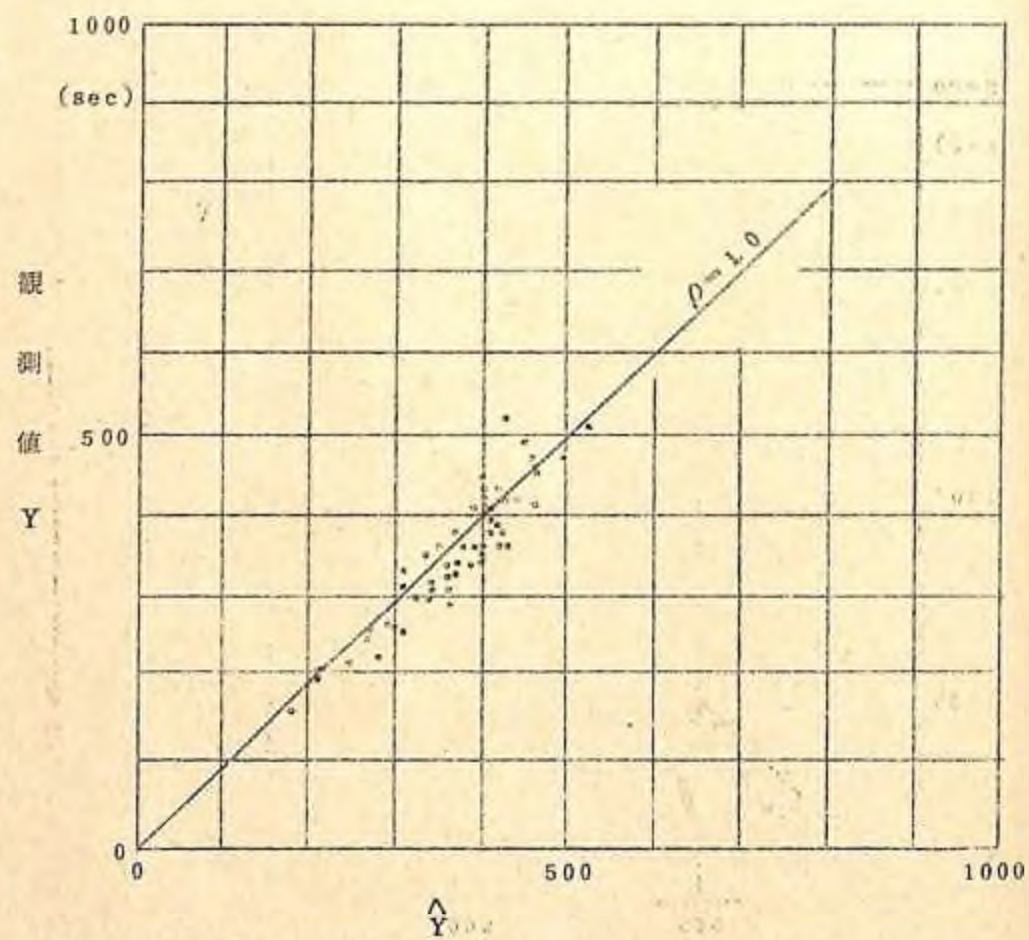


図-9 集材手作業の Y と \hat{Y}
(2 次 調 査)

< 2 次 調 査 >

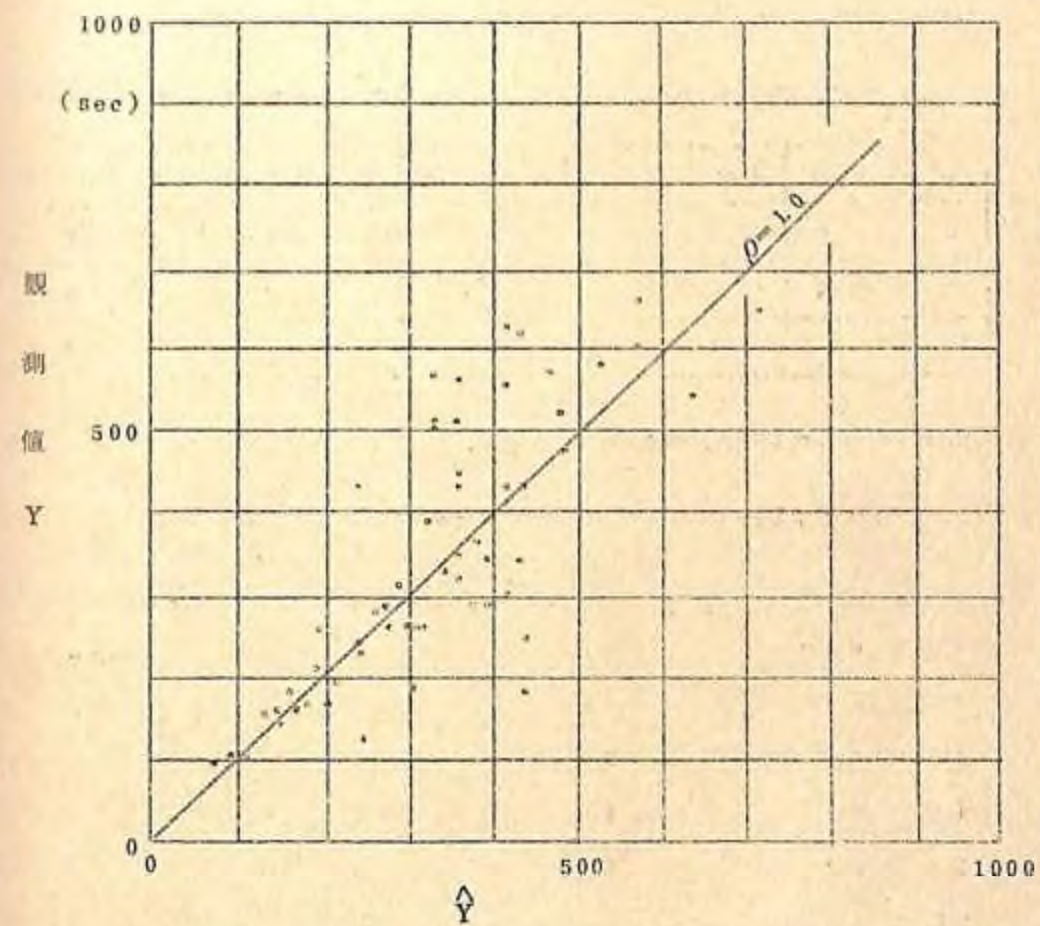


図-10 造材手作業の Y と \hat{Y}
(2 次 調 査)

信頼度 95% のあてはまりの精度は集材手作業が 18% または 29%, 造材手作業 52% または 68% 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。

全木集材折損率調べ

(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N	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 57%, 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 29.1% に相当し、材積では 17.7% にあたる。

8-3 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 数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 の概略を求めると 6500 ~ 10000 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ればそれは否定された。

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が林業作業にも適用できるものとして、伐木集運材作業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材の配車計画(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)のシステムを取上げ行ってきた。その結果部分的に改良を要する点もあって、全般を見わたして逐次修正を行ってきた。その検討の中にあつ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、航空写真の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る。

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.