



Title	トラクター集材作業に関する研究
Author(s)	小島, 幸治
Citation	北海道大学農学部 演習林研究報告, 22(2), 375-537
Issue Date	1963-10
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/20825">http://hdl.handle.net/2115/20825</a>
Type	bulletin (article)
File Information	22(2)_P375-537.pdf



[Instructions for use](#)

# トラクター集材作業に関する研究

小島幸治\*

Studies on tractor skidding

By

Kohji KOJIMA

## 目次

緒言	377
第1篇 各種性能のトラクターによる集材作業の研究	381
第1章 履帯式中型トラクターによる集材作業の研究	381
第1節 地曳集材作業	381
(1) 供試トラクター及び主要機械類	381
(2) 集材作業試験	381
(3) 考察	383
第2節 パン集材作業	383
(1) 供試トラクター及び主要機械類	383
(2) 集材作業試験	383
(3) 考察	384
第3節 アーチ集材作業	384
(1) 供試トラクター及び主要機械類	384
(2) 集材作業試験	385
(3) 考察	385
第2章 履帯式小型トラクターによる集材作業の研究	386
(1) 供試トラクター及び主要機械類	386
(2) 集材作業試験	387
(3) 考察	389
第3章 車輪式ハンドトラクターによる集材作業の研究	390
(1) 供試ハンドトラクター及びトレーラー	391
(2) 集材作業試験	391
(3) 考察	393

\* 小島幸治 北海道大学農学部林産学科助教授 林学博士  
K. KOJIMA: Assistant Professor, Doctor of Forestry, Institute of Forest Products, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

第4章 履帯式超小型トラクターによる集材作業の研究 .....	395
(1) 供試トラクター .....	395
(2) 集材作業試験 .....	395
(3) 考 察 .....	397
第5章 結 語 .....	400
第2篇 ウインチつきトラクターによる集材作業の功程に関する研究 .....	401
第1章 序 論 .....	401
第2章 作業内容分類方式の探求 .....	403
第1節 支管内地区における地曳集材作業の場合 .....	403
第2節 苫小牧演習林におけるアーチ集材作業と地曳集材作業の場合 .....	406
第3章 作業功程算出方法に関する既往の研究結果 .....	412
第1節 文 献 .....	412
第2節 功程算出方法の概要 .....	412
(1) MATTHEWS の算出方法 .....	412
(2) BROWN の算出方法 .....	413
(3) MÉGILLE の算出方法 .....	414
(4) 藤林・大河原・鈴木の算出方法 .....	415
(5) 白金の算出方法 .....	415
(6) 大沢・小島の算出方法 .....	416
(7) 川口・植野の算出方法 .....	416
(8) 佐々木・神崎・村上・山根の算出方法 .....	417
(9) 米田の算出方法 .....	418
(10) 小山の算出方法 .....	419
(11) 森岡の算出方法 .....	419
第3節 論 評 .....	420
第4章 作業功程と作業客体の条件との関係の探求 .....	422
第1節 作業功程に影響を及ぼす作業客体因子 .....	422
第2節 重回帰方程式の型に関する検討 .....	423
第3節 取り上げなかった作業客体因子に対する考え方 .....	424
第5章 石当り集材時間を従属変数とする重回帰方程式の型の探求 .....	425
第1節 集材距離と丸太石廻りを独立変数とした場合 .....	425
第2節 丸太石廻りの代りに石当り丸太本数を用いた場合 .....	431
第3節 曲面回帰を用いた場合 .....	437
第4節 $\hat{T}_v = a + b_1 \frac{1}{V} + b_2 \frac{N}{V} + b_3 \frac{D}{V}$ の型の場合 .....	445
第5節 変数 $\frac{1}{V}$ を削除した場合 .....	457
第6節 各回帰方程式の適合度の検討 .....	463
第6章 重回帰方程式による林分作業功程の推定 .....	464
第1節 全般的検討 .....	464
第2節 平均集材石数に関する検討 .....	466
第3節 平均集材距離に関する検討 .....	470
第4節 推定の正確度の検討 .....	471
第5節 推定の手順 .....	473

第6節 工期の等しくなる集材距離の推定 .....	474
第7章 結 語 .....	475
摘 要 .....	476
引用並びに参考文献 .....	480
Summary .....	485
附表第1 時間分析表 .....	490
附表第2 集材内容明細表 .....	508
写 真 説 明 .....	536
写 真	

## 緒 言

集材という言葉は広狭種々の意味において使われるが、本論文においては、「伐木地点から第1次の貯木場(土場)までの木材運搬」という意味において使うことにする。トラクター(英語: Tractor, 独語: Traktor, Schlepper, 仏語: Tracteur, 伊語: Trattore, 露語: Трактоп)が世界で最初に集材作業に用いられた年代と場所は明らかではないが、トラクターの発達過程から考えれば、場所は恐らくアメリカ合衆国であろうと思われる。

BROWN<sup>2)</sup>(152-157)はこの事に関して次のように述べている。「(アメリカにおける)最初の实用トラクターは1880年代に作られた。それらは直径8フィートの大きな駆動用後車輪をそなえ、蒸気機関を原動機としていた。これらの最初のトラクターは初めは農業に用いられたが、後には重い糧食を鉱山へ運搬する仕事や建設の仕事に使われた。それらのトラクターを丸太伐出し作業に最初に適用した例の一つは、1893年にカリフォルニア州において見出された。

最初のトラクターは極めて厄介なものであり、比較的凹凸のない道路上においてしか使用され得なかった。車輪式の構造は重心位置が高く、大きな荷物を牽引するには牽引力が不足であった。当時の運搬距離は1/2~3マイルであった。

履带式トラクターの最初の型の一つは1904年に作られ、原動機として40馬力の蒸気機関をそなえていた。このトラクターは前述した車輪式の60馬力トラクターよりも35%多く牽引した。この成績は履带式牽引車の価値を明らかに示した。

1905年には厄介な蒸気動力の代りにガソリン機関が用いられた。このトラクターの前面についていた車輪は操向のためのものであった。この装置があるためにトラクターは長さが極めて長く、方向転換をさせにくかったので、トラクターによる丸太の集材又は運材は依然として運搬道路に局限され、丸太の集合地点(仮土場)まで丸太を引出すためには牡牛が必要であった。

第1次世界大戦の直前に、トラクターを用いて散在している林分および孤立している樹木を伐出することによって、経費のかかる森林鉄道支線の建設を減らすことができる、

という事が明らかになった。

第1次世界大戦の際に多くの人々が、丸太伐出作業に関するトラクターの可能性を知った。そしてトラクターが前車輪なしで向きを変えることができるようになった時、木材産業は遂に、運材は勿論の事集材をも木寄せをも行なうことのできる機械を持つことになったのである。

1925年に、単胴および複胴のウインチがトラクターに取付けられた。1931年に、森林内における使用を考慮して作られた最初の実用的ディーゼルトラクターが発表された。

現在世界の至る所において、莫大な数のトラクターが丸太伐出作業に用いられている。」

ロッキングアーチ (Logging arch) (以下において単にアーチと呼ぶことがある) がアメリカ合衆国において発明され、発達したものであることは多くの人の認める所である。

この事に関して BROWN<sup>9)</sup>(156) は次のように述べている。「西部海岸の或る著名な木材会社、トラクターの後部にウインチを取付け、アーチ即ち車輛の骨格の頂部に、ワイヤーロープのフェアリード (Fair-lead) (案内装置) を置く、という考案を発表した。そこで、フェアリードを通して走るウインチのワイヤーロープを用いて、丸太を車輛の下の地点まで引寄せ、次に運搬のためにその一端をつり上げるということが可能になった。フェアリード集材は1923年までに、木寄せの費用を最大75%も減らす程の明確な成功を収めた。」

筆者がアメリカ合衆国の林業雑誌 The Timberman の古い号を1925年までさかのぼって調査した結果では、同誌の1927年8月号に、最初のロッキングアーチに関する紹介記事が見出された<sup>115)</sup>。この記事の中に、このアーチはポートランド市の Willamette Iron & Steel Works によって設計・製作されたもので、直径8フィートの鉄車輪を備えていた、と述べてある。

イギリスにおける最初のトラクター集材に関しては、筆者は未だ信頼し得る資料を手していない。なおイギリスにおける初期のロッキングアーチの一つが、雑誌 Wood の1953年5月号に紹介されている<sup>116)</sup>。説明によればこのアーチの原型は、Forestry commission の意向に基づいて、J. C. Oliver 社が1949年に試作したものである。また、別の試作アーチが、Wood の1955年6月号に紹介されている<sup>117)</sup>。従って、イギリスにおいてはアーチ集材作業は現在発達の緒について間もない段階にあると考えられる。

1925年に出版された BARSCH の著書<sup>1a)</sup>(36-39) によれば、ドイツにおいては遅くも1921年の末に、内燃機関つきの履帯式トラクターが集材作業に用いられたことが明らかである。また同書の中には、トラクターに取付けられたウインチによって丸太を引出す作業方法に関する記述も見出される。それ故、ドイツにおいては恐らく1920年頃からトラクター集材が行なわれたと考えられる。

またドイツにおけるロッキングアーチの試作は1949年以前から行なわれたが<sup>17a)</sup>、そ

の使用成績に関する記事がドイツの主要な林業関係出版物に掲載された事はなかったようである。これは恐らく、ドイツにおいてアーチ集材作業が殆んど行なわれていないからであろうと思われる。

本邦においてトラクターを使って行なわれた木材搬出作業の最初の例は、大正12年(1923)2月、北海道陸別において米国 Holt 社製のトラクターを用いて行なわれた櫛運材作業である。それ以来今日に到るまでに、トラクターによる櫛運材作業の多くの実例が見られた<sup>55a)</sup>。本邦において集材作業にトラクターが始めて用いられたのは、恐らく第2次世界大戦終了後であろうと思われる。筆者の調査した範囲内では、昭和23年(1948)の夏に熊本営林局高岡営林署管内において、加藤製作所製 P 型トラクターを用いて行なわれた地曳集材作業<sup>59)</sup>が、本邦における最初のトラクター集材作業である。

また昭和22年(1947)に日本開発機製造株式会社は、4種類の履带式ロッキングアーチを製作した。これが本邦において最初に作られたアーチであると思われる。その仕様は次の通りである。

名 称	FK 2	FK 4	FK 7	FK 9
適するトラクター	3 ton 車	5 ton 車	7.5 ton 車	10 ton 車
全 幅 (mm)	1800	2000	2200	2400
全 高 (mm)	2000	2200	2400	2600
全 長 (mm)	2600	2900	3200	3400
履 板 幅 (mm)	260	330	400	470
積 材 重 量 (kg)	2000	4000	7000	9000
自 量 (kg)	1500	2000	2500	3000

筆者は昭和22年(1947)11月、足寄営林区署及び陸別営林区署の駅土場において FK 4 型アーチを調査する機会を得た。当時両営林区署においてはアーチの使用法が知られておらず、またアーチ集材に必要なウインチつきトラクターも無かった。陸別においてはアーチの使用法を説明することを依頼されたが、ウインチつきのトラクターがなかったので止むを得ずウインチのついていないキャタピラー 30 型 (Caterpillar 30) トラクターを用いて、ウインチがついているものと仮定して原理の説明を行なった。当時は写真用品の入手が極めて困難であったので、残念ながら記録写真を撮ることが出来なかった。

この調査に関して筆者が両営林区署に提出した報告書は下記の通りである。

#### FK 4 型ロッキングアーチ使用に関する参考資料。

##### I. 必要なる資材

1. 車体後端に単胴巻上機を装備せる、牽引馬力約 40 馬力の無限軌道型トラクター(重量約 5 噸)。

現在の燃料事情から考えて、ディーゼル機関(軽油を燃料とする)装備のものが有利と思われる。

単胴巻上機は、ラチェット型フリーホイリングブレーキ (Ratchet type free wheeling brake) を備え、逆運転可能な型を理想とするが、普通型のものでも充分役に立つ。

2. 上等鋼製のワイヤーロープ。19本線6つ撚中心麻入り、直径3/4吋、長さ50~100m、先端にシャックル、又は三角形のリングを有するもの。

## II. 改良すべき点

1. フェアリード装置 (Fair-lead unit) (アーチ上端のローラー及び枠) において、主ローラー (水平に位置せる方) とその上方の鋼鉄板との間隔を現在のものよりも大きくし、シャックル、リング、その他ワイヤーロープの附属金具が充分通過し得る程度にする。或いは上部鋼鉄板の左右両縁のみを残して、中央を切取ってもよい。

2. 主ローラーと其の両側にある鋼鉄板との間隙をできる限り小さくし、ワイヤーロープが挟まらないようにする。

3. チョーカー (Choker) (丸太の先端に装着し、巻上機のワイヤーロープに連結する短いワイヤーロープ) は単独のものとし、且つ両端に鈎を有し、長さ約3mとする。(当時のチョーカーは末端が眼鏡継ぎになっていて、その根元において3~5本ずつ組になって一つのリングに繋がれていて、1本宛分離することができないようになっていた。)

4. アーチとトラクターの牽引桿との連結を完全にする。

## III. 作業上注意すべき点

巻上機で丸太を引寄せせる場合には、トラクターとアーチの向きを一致させる。これはワイヤーロープが巻胴に正しく巻き取られる為に必要なことである。

その後此のアーチは依然として使用される事なく放置され、数年後には遂にスクラップとして処分された。

下って昭和30年(1955)10月に日特金属工業株式会社(当時日本特殊鋼株式会社重車輻部門)は、筆者の原案にもとづきNTK-4L型ロッキングアーチを製作した。これは同年10月30日から筆者等によって作業に使用された<sup>17)</sup>。また同年11月中旬に岩手富士産業株式会社は、CT-25型トラクターとLS-3型ロッキングサルキー[車輪式の軽アーチは、サルキー (Sulky) と呼ばれる]を完成し<sup>18)</sup>、同年12月7日に両者の組合せによる最初の集材作業を行なった<sup>20)</sup>。

以上が本邦におけるアーチ集材作業の始まりであると思われる。

トラクターは現在本邦の各地において集材作業に盛んに使用されており、北海道においては約250台のトラクターが集材作業に活躍している。中でも帯広営林局管内の国有

林では、トラクターの使用に都合のよい地形に恵まれている関係もあって、北海道全体における集運材用トラクターの約 1/4 に当る 64 台のトラクターが、集運材作業、主として集材作業に用いられており、同営林局の、トラクターによる昭和 36 年度の年間予定集運材量は、全予定素材生産量 376,300 m<sup>3</sup> の約 2/3 に当る 250,000 m<sup>3</sup> に及んでいる。

筆者は昭和 30 年 (1955) 以来各種性能のトラクターを用いて集材作業の試験を行ない、本邦特に北海道においてトラクター集材作業を実行する場合に、どの程度の重量のトラクターがどの程度の集材能力を発揮し得るかに関して検討を行ない、またトラクター集材作業の功程を表現するための新しい方法を案出した。以下にそれらを論述し、大方の御批判を仰ぐ次第である。

本論文を発表するにあたり、研究に必要な機材の調達並びに試験作業の実施に対して、当時演習林長として筆者に格別なる便宜を与えられ、また研究の取りまとめに際して適切な助言を賜った北海道大学名誉教授 大沢正之博士に、謹んで感謝の意を表する。

また本論文の起草に際して懇切な指導を与えられ、原稿の校閲を賜った北海道大学教授 矢沢亀吉博士に深謝の意を表する。

更に、試験作業の実施に対して全面的に協力された北海道大学演習林長 宮脇恒教授、北海道大学雨竜演習林派出所長 笹尾修道助教授、天塩第一演習林派出所長 猪口正巳助教授、苫小牧演習林派出所長 谷口三佐男講師にも感謝の意を表する。

## 第 1 篇 各種性能のトラクターによる集材作業の研究

### 第 1 章 履帯式中型トラクターによる集材作業の研究

昭和 30 年 (1955) に、履帯式中型トラクターを用いて 3 種類の作業方法によって集材作業を試み、作業成績を測定し、また各作業方法の特徴を比較した。

#### 第 1 節 地曳集材作業

##### (1) 供試トラクター及び主要機械類

供試トラクターは、日本特殊鋼株式会社製の NTK-4 W 型履帯式トラクターで、その仕様は第 1 表に示されている。この他にチョーカー 17 本が用いられた。

##### (2) 集材作業試験

実施の時期：昭和 30 年 (1955) 8 月 10 日、11 日。

実施の場所：北海道大学苫小牧演習林、熊の沢事業区第 17 林班にある天然生林の風害地で、地面の傾斜は平坦に属し、土壌は腐植に富む適潤な火山灰土で、透水性が良好であった。地表には造材された風倒木の伐根や枝条が多数存在し、また捨てられた形質不良の風害木が密に交錯していた。



第1表 供試トラクターの仕様

トラクターの呼称		NTK-4 W	トラクターの呼称	NTK-4 W		
要 目	運転整備重量*	5500 kg	機 関	呼 称	KE 21-32 型建設用	
	全 長	4200 mm		型 式	水冷4気筒ディーゼル機関	
	全 幅	1980 mm		総排気量	5.812 ℓ	
	全 高	1650 mm		定格出力	53 IP (1500 rpm)	
	履 板 幅	381 mm		実用最大出力	62 IP (1500 rpm)	
	履帯中心間隔	1520 mm		燃料消費率	200 g/IP/hr	
	接 地 長	1700 mm		始 動 方 式	切替ガソリン始動	
	接 地 圧	0.42 kg/cm <sup>2</sup>		車 体	主クラッチ	乾式単板ベルクランク手動式
	最低地上高	270 mm			操向クラッチ	乾式多板手動式
	燃料タンク容量	90 ℓ			ブレーキ	乾式バンドブレーキ足動式
		足廻り装置	半硬式板バネ懸架式			
性 能	牽引馬力	46 IP		下部転輪片側4個		
	最大牽引力	4950 kg		上部転輪片側1個		
	登坂能力	約35度		履板片側33枚		
	最小回転半径	約2100 mm				
最大 走行 速度	前進第1速	2.70 km/hr	ト ー イ ン グ ウ イ ン チ	型 式	単胴正逆転式	
	第2速	3.70 km/hr		ドラム径	200 mm	
	第3速	5.89 km/hr		ドラム幅	300 mm	
	第4速	8.58 km/hr		実用最大牽引力	約6000 kg	
	後進第1速	3.13 km/hr		巻取速度	0.5 m/s	
	第2速	6.20 km/hr		ワイヤーロープ径	18 mm	

\* ラジエーターガードおよびトーイングウインチを含む

作業方法： 作業は次の如き順序で行なわれた。

即ち、1名の作業員がトラクターの通路を伐開し、トラクターは丸太のすぐそばまで行く。一方別の2名の作業員はあらかじめ丸太附近の障害物を除去し、続いて丸太の一端にチョーカーをとりつけておく。トラクターが到着したならばこの2人はチョーカーの端をウインチのフックに連結する。トラクターが丸太のすぐそばまで行き難い場合には、ウインチのワイヤーロープをのぼして丸太をウインチでトラクターのそばまで引寄せせる。

適当な分量の丸太がトラクターに連結されたならば、トラクターはこれを牽引して土場へ向う。土場では別の2名の作業員が、運ばれて来た丸太を樹種・材種に応じてそれぞれの場所でチョーカーから外し、続いて土場の整頓に従事する。トラクターは空いたチョーカーを積んで次に集材すべき丸太に向って進む。

このような動作が繰り返されて作業が進行した。

作業成績： 作業条件及び成績は第2表に示されている。

第2表 NTK-4W型トラクターによる地曳集材作業の作業条件及び成績

集材時間合計*	510分	集材回数合計	24
丸太の樹種	エゾマツ, ナラ, カツラ	平均集材距離	約100m
丸太の長さ	6~12尺	1回の集材における丸太の本数	2~10
丸太の末口直径	3.0~17.5寸	集材1回当たりの丸太本数	4.71
丸太1本の材積	0.1~3.68石	1回の集材における丸太の材積	1.63~10.67石
丸太本数合計	113	集材1回当たりの丸太材積	4.73石
丸太材積合計	113.4石	集材1回当たりの所要時間	21.25分
丸太1本当たりの材積	1.00石	丸太1石当たりの集材時間	4.50分
		1日(集材8時間)当たりの集材材積	106.67石

\* 1台のトラクターの集材時間であって、全作業員の延べ時間ではない

### (3) 考察

1回の集材における丸太材積の中の最大値は、10.67石(エゾマツ)であったが、ある回において材積合計7.30石のエゾマツ12尺丸太3本(末口直径それぞれ1尺6寸, 1尺4寸, 1尺2寸5分)と、材積合計3.60石のエゾマツ12尺丸太3本(末口直径はどれも1尺)を同時に牽引した場合には、曲進を始めた際に片側の履帯が滑って曲進不能に陥った。

そこで後者の3本の丸太を分離したら支障なく曲進することができた。この外にも同様の現象が数回起った。これらの事実から、供試トラクターによる供試地域での地曳集材作業において、確実に一度に集材し得る丸太材積の限度は、エゾマツ丸太の場合には7~8石であると考えられた。この試験の実施中にトラクターの最大牽引力の必要な場合が度々あったから、供試トラクターの能力はこの作業に適當であったといえることができる。

## 第2節 パン集材作業

### (1) 供試トラクター及び主要機械類

トラクター1台、スキッピングパン(Skidding pan)1台、チェーン17本が用いられた。

これらのうちパン以外は前節に述べた地曳集材作業の場合と同じものであった。

パンはNTK-4S型と呼ばれるもので、厚さ6mm、長さ1.7m、幅1.7mの正方形の鋼板が主体となっており、前端はスキーのように上に弯曲し、前端中央に長さ2.3mのチェーンが取り付けられていて、これによってトラクターの牽引棒に連結される。総重量は197kgである。

### (2) 集材作業試験

実施の時期：昭和30年(1955)10月30日。

実施の場所：北海道大学苫小牧演習林、熊の沢事業区第22林班にある天然生林の風害地で、集材路は土場から130mの地点までは約5度、その先、土場から約180mの地点

までは20~25度の順勾配を有し、更にその先は殆んど平坦であった。土壌と地表の状態は地曳集材作業の場合と同様であった。

作業方法：トラクターにパンが常に連結されていて、丸太がその前端をパンの上に載せられて牽引されたこと以外は、地曳集材作業の場合と殆んど同じであった。

### (3) 考 察

1回目の集材作業において、トラクターが空のパンを牽引して土場から約200m離れた伐採地点まで行く途中で約20度の斜面を登った。その場合に履帯の滑りが著しく、操縦がやや困難であった。それ故供試トラクターとパンによる供試地域での登坂の限界は、20度前後であると考えられる。

伐採地点に到着した後、エゾマツ丸太6本(材積6.59石)と、アサダ丸太2本(材積1.62石)、材積合計8.21石をパンに載せて牽引した。障害物の間を縫って進まなければならなかったが、最初の曲り角でパンの前端が内側の伐根に突き当って牽引不能に陥った。丸太を載せたままではパンを移動させることができなかったので、まず丸太をトラクターから分離してパンから下し、人力によってパンの前端を伐根の上に持ち上げ、トラクターで牽引して伐根を乗り越えさせた。続いて丸太をウインチで引寄せ、再びパンに載せて牽引したが、次の曲り角で同様な事故が起った。この2回の事故のために約20分の時間を費し、1回の集材全体には85分を要した。従って丸太1石当りの集材時間は10.4分となった。なお丸太1本当りの材積は1.03石であった。ここにおいて次のことが考えられた。即ち、パンは伐根などパンの前端の高さ(地上約30cm)よりも背の高い障害物に前進を阻止され易く、トラクターによって後退させることが全くできない、という性質を有しているから、供試作業地の如く地表に突出物の多い場所においては、この種の事故は極めてしばしば起る可能性があるということが考えられた。一方同じ場所でこの試験より前に行なわれアーチ集材作業の予備試験においては、9回集材した間にこのような事故は一度も起らず、集材1回当りの時間は41.1分、丸太1石当りの集材時間は6.06分、丸太1本当りの材積は1.05石であって、上記のパン集材作業よりも遙かに高い功程を示していた。それ故、パン集材は風害地における集材作業には適当でないと判断して、パン集材作業の試験を打ち切り、アーチ集材作業の試験に移った。

## 第3節 アーチ集材作業

### (1) 供試トラクター及び主要機械類

トラクター1台、ロッキングアーチ1台、チョーカー17本が用いられた。これらのうちアーチ以外は第1節に述べた地曳集材作業の場合と同じものであった。アーチは筆者の原案にもとづき日本特殊鋼株式会社が製作したNTK-4L型ロッキングアーチで、その仕様は第3表に示されている。

第3表 供試ロッキングアーチの仕様

ロッキングアーチの呼称	NTK-4 L	
重 量	1000 kg	
全 長	3095 mm	
全 幅	2290 mm	
全 高	1910 mm	
車 輪 中 心 間 隔	2000 mm	
タイヤの呼称	11-20 14 PR	
車 輪 の 直 径	約1100 mm	
許 容 荷 重	6000 kg	

(2) 集材作業試験

実施の時期： 昭和 30 年 (1955) 10 月 30 日 ~ 11 月 6 日。

実施の場所： 前節に述べたパン集材作業の場合に同じ。

作業方法： 作業は次の如き順序で行なわれた。即ち、1名の作業員がトラクターの通路を伐開し、トラクターはアーチを牽引して丸太のそばまで行く。一方他の2名の作業員はあらかじめ丸太附近の障害物を除去し、続いて木直

しを行ない、丸太の一端にチョーカーをとりつけておく。トラクターが到着したならばこの2人はウインチのワイヤーロープを引出し、その先端のフックにチョーカーの一端を連結する。次にトラクターはウインチでワイヤーロープを巻取り、丸太の前端がフェアリードの下に吊上げられたならばウインチのブレーキを作用させ、続いて土場に向う。それ以後は地曳集材作業の場合と同様である。

作業成績： 作業条件および成績は第4表に示されている。

第4表 NTK-4 W 型トラクターによるアーチ集材作業の作業条件及び成績

集材時間合計*	2041.54分	平均集材距離	112 m
丸太の主要樹種	エゾマツ, ナラ, アサダ, ハリギリ	平均往復速度	2.79 km/hr
丸太の長さ	6~13尺	1回の集材における丸太の本数	2~14
丸太の末口直径	3.0~30.0寸	集材1回当りの丸太本数	5.71
丸太1本の材積	0.07~7.02石	1回の集材における丸太の材積	1.21~12.42石
丸太本数合計	434	集材1回当りの丸太材積	6.31石
丸太材積合計	479.92石	1回の集材に要した時間	6.72~59.42分
丸太1本当りの材積	1.11石	集材1回当りの所要時間	26.86分
集材回数合計	76	丸太1石当りの集材時間	4.25分
1回の集材における集材距離	26~296 m	1日(集材8時間)当りの集材材積	112.94石

\* 1台のトラクターの集材時間であって、全作業員の延べ時間ではない

(3) 考 察

作業状況より判断すれば、アーチはパンに較べて地表の障害物に前進を阻止されることが少なく、空車の場合にはトラクターに連結されたまま後退させることが極めて容易であり、丸太運搬中においても0.5~1.0mの後退は可能であって、運動性はパンに較べて著しくすぐれていた。然しながらトラクターの登坂限界は、パン牽引の場合には約20度、アーチ牽引の場合には前進で約18度、後進で約20度(以上何れも非積載の場合)であって、

アーチは急斜面の前進登坂の場合にはパンよりも不利であった。この主な原因は、アーチの自重がパンのそれに較べて著しく大きいことであると考えられる。

集材路の中の20~25度の急斜面をアーチを牽引して登る場合には、傾斜に対し斜に後進して斜面の途中まで登り、次にスイッチバックを行なって前進で斜面の上まで登った。地形の関係上どうしても斜面を登り得ない場合には、斜面の麓にトラクターを停止させ、ウインチのワイヤーロープを長く延ばして斜面より上にある丸太を引寄せた。ワイヤーロープを引出しながらフックをかついで登坂するのは作業員にとって辛い仕事であったので、この作業方式の場合には通常の作業方式の場合に較べて作業の進み方が緩慢であった。またこの場合には、丸太を引寄せの際にトラクターの運転手とチョーカー係との距離が他の場合におけるよりも遠かったので、意志の疎通が不充分であり、また引寄せの距離が長かったので、丸太が伐根などの障害物に衝突する機会が多かった。これらのことも、作業の進行を滞らせる大きな原因となった。それ故、急斜面のない作業地を選んで作業を行なうか、アーチの自重を軽減するか、あるいはトラクターの登坂能力を増大させるかすることによって、履帯式中型トラクターによるアーチ集材作業の工期は、第4表に示されているよりもかなり高くなる可能性を有していると考えられる。また、供試トラクターの単独の場合の登坂限界は前進で約23度、後進で約30度であった。

従ってこのトラクターを用いて集材する場合には、20~30度の斜面においてはアーチ集材を行なうよりも地曳集材を行なう方が工期の上がることもあり得ると考えられる。

## 第2章 履帯式小型トラクターによる集材作業の研究

昭和32年と33年(1957, 1958)に、履帯式小型トラクターに軽量ロッキングアーチ、あるいは大型バチ樞を牽引させて夏山集材作業を試みた。その目的は、小型トラクターによる集材作業の成績の実例を得ること、および2種類の作業方法の、供試条件の下における工期の面における特徴を比較することであった。

### (1) 供試トラクター及び主要機械類

トラクターは、株式会社加藤製作所製のSG型履帯式トラクターで、その主要仕様は次の通りである。

全長：3400 mm，全幅：1550 mm，全高：1400 mm，最低地上高：315 mm，履帯中心間隔：1200 mm，履板幅：350 mm，運転整備重量：2800 kg，最大走行速度：前進 第1速 2.04 km/hr，第2速 3.57 km/hr，第3速 6.41 km/hr，第4速 11.00 km/hr，後進 2.02 km/hr，エンジン：4気筒4サイクル水冷ガソリンエンジン，総排気量 1900 cc，連続定格出力 35 HP/2400 rpm，クラッチ：乾式単板クラッチ，最大牽引力：2000 kg，履帯：2連プッシュチェーンを主体とする高張力鋼板製，車体懸架装置：板バネによる軟式懸

架装置、操向装置：クラッチ及びブレーキ式、ウインチ：単胴式、最大牽引力 2200 kg、巻取速度 30 m/min、ワイヤーロープ 直径 12 mm、長さ 40 m.

ロッキングアーチは札幌重機株式会社製で、その主要仕様は次の通りである。

重量 340 kg、全長 2850 mm、全幅 1700 mm、全高 1910 mm、車輪中心間隔 1500 mm、タイヤの呼称 7.5—20 6 PR、車輪の直径 約 900 mm、許容荷重 3000 kg.

バチ櫓は天塩郡中川村字佐久の山崎鉄工場製で、馬搬用バチ櫓とほぼ同じ形であり、寸法がそれよりも大きくなっている。重量は 138 kg である。

なおアーチ集材作業においてもバチ櫓集材作業においても、岩手富士産業株式会社製のチョーカー 10 本が用いられた。

## (2) 集材作業試験

実施の時期： アーチ集材作業は昭和 32 年 (1957) 10 月に 3 日間、昭和 33 年 (1958) 8 月末から 9 月にかけて 3 日間行なわれ、バチ櫓集材作業は昭和 32 年 10 月に 4 日間、昭和 33 年 9 月に 2 日間行なわれた。

実施の場所： 作業は北海道大学天塩第一演習林、佐久事業区第 25 林班において行なわれ、昭和 32 年 (1957) にはアーチ集材作業とバチ櫓集材作業はそれぞれ隣接した 2 つの地域の片方において、昭和 33 年 (1958) にはこれら両種の作業は同一地域内において行なわれた。

供試林の状況： 供試林は針広混交天然生林で、林木の大半がトドマツであり、その他の主なものは、ナラ、シナノキ、ハリギリなどで、伐採前の林木蓄積は約 200 m<sup>3</sup>/ha と推定された。林床植物はほとんどササであり、高さ 1.5 m 内外のものが密生していた。

集材路幹線 3 本の平均勾配は、それぞれ 12.8 度、11.6 度、および 8.7 度であった。この数値だけから判断すれば供試作業地は林業上の緩斜地 (5~20 度) であることになるが、地面の傾斜は大部分が 10~20 度であり、集材路の中には 20 度以上の勾配をもった部分も存在していて、作業地全体の地形を総合的に表現すれば、やや急斜地であるといつてさしつかえないと考えられる。

作業員及び作業方法： 作業員は運転手を含めて 5 名であった。運転手以外の 4 名は人力集材作業の熟練者で、そのうち 1 名は主として集材路の伐開に従事し、他の 3 名は木直し、チョーカー取付け、トラクターのウインチ作業の補助、丸太積込みに従事した。土場における丸太の巻立て作業も、この 3 人の中の誰かが必要に応じて行なった。

トラクターの集材路は、ササを幅約 3 m の帯状に刈払い、倒木などの障害物を除去することによって出来上がったが、そのままでは路面に強い横断勾配や縦断勾配のある部分は、土地の切取あるいは盛土を行なって、トラクターの走行に都合が良いように路面を改修した。

木寄せ作業はトラクターのウインチを使って行なわれ、馬、単独のウインチなど人力以外の補助の作業手段は用いられなかった。土場は集材路の下側の急斜面に設けられたいわゆる「落し土場」であったので、丸太の巻立てには平坦地の土場の場合程人手を要しなかった。

第5表 カトウ SG 型トラクターによる集材作業の作業条件及び成績

	アーチ集材作業	バチ樫集材作業
作業地の傾斜 (度)	大部分10~20	大部分10~20
丸太の主要樹種	トドマツ (大部分), ナラ, シナノキ	トドマツ (大部分), ナラ, ハリギリ
丸太の長さ (尺)	6~24	6~15
丸太の末口直径 (寸)	3.5~18.0	2.5~15.0
丸太1本の材積 (石)	0.08~3.76	0.08~2.52
丸太本数合計	336	202
丸太材積合計 (石)	323.02	199.03
丸太1本当りの材積 (石)	0.961	0.985
集材時間合計 <sup>1)</sup> (分)	1873.83	1574.93
集材回数合計	40	20
1回の集材における集材距離 (m)	12~335	61~442
集材距離合計 (m)	6736	6137
平均集材距離 (m)	168	307
1回の集材における集材路の最急勾配 (度) <sup>2)</sup>	トトラクター 0~36 ウインチ 8~23	15~24
往復時間合計 (分)	411.92	452.32
1回の集材における往復速度 (km/hr)	0.536~2.70	1.16~2.89
平均往復速度 (km/hr)	1.96	1.63
1回の集材における丸太の本数	3~14	5~13
集材1回当りの丸太本数	8.40	10.10
1回の集材における丸太の材積 (石)	2.87~14.46	6.07~14.32
集材1回当りの丸太材積 (石)	8.08	9.95
燃料消費量合計 (ℓ)	126.0	64.6
集材1時間当りの燃費量 (ℓ)	4.03	2.46
作業員の数 <sup>3)</sup> (名)	5	5
運搬作業量合計 (石-m)	56168.11	63219.64
往復係数 (分/石-m)	1回の集材 0.00454~0.0476 加重平均 0.00733	0.00435~0.0159 0.00715
荷集め・荷おろし時間合計 (分)	1461.91	1122.61
荷集め・荷おろし係数 (分/石)	1回の集材 1.30~9.88 加重平均 4.53	2.93~10.7 5.64

1) 1台のトラクターの集材時間であって、全作業員の延べ時間ではない

2) 斜距離2mを単位として測定した。逆勾配なし

3) 運転手を含む。土場巻立作業も行なった

作業は、上山(じょうざん)(土場から伐倒地点までの空車走行)、荷集め(ウインチによる丸太の引寄せ、及び荷作り)、下山(げざん)(荷集め地点から土場までの丸太牽引走行)、荷おろし、という4種の作業の、この記載順序での循環を基本として進められた。

測定方法：測定者は3名で、そのうち1名はトラクターの働きに着目して時間分析を行ない、他の2名は、丸太の樹種および寸法の記録、集材距離の測定、集材路の測量に従事した。

時間分析の対象は、トラクターが前述の循環作業を繰返すに要した時間である。

時間分析は1/100分目盛りのストップウォッチを用いて行ない、時間誤差が1日に3%以内の場合の測定値を、時間誤差が無いものとみなして以後の計算に採用した。

作業成績：集材作業の作業条件および成績は第5表に示されている。

表中において、トラクターが上山し、荷集めを行ない、下山し、荷おろしを完了するまでの1循環の作業を1回の集材と呼び、また上山と下山を一括して往復と呼んでいる。

さらに、集材材積と集材距離との相乗積を運搬作業量と呼び、往復の時間をこの運搬作業量で除した商を往復係数と呼んでいる。

また荷集めと荷おろしの時間の和を集材材積で除した商を荷集め・荷おろし係数と呼んでいる。

### (3) 考 察

トラクターが発進又は停止する際に加速又は減速の行なわれる時間は、1往復の全時間にくらべて僅少であるから、平均往復速度及び往復係数は集材距離の長短によってほとんど影響を受けないものと考えられる。

平均往復速度の計算において、上山の距離として下山の距離と全く同じ値を用いた。こうすれば、上山の際急斜面の登坂を避けるために下山の道と異なった道を迂回した場合にも、集材路の勾配が往復速度に及ぼす影響を相当によく表現し得ると考えたからである。

第5表における平均往復速度は、米国におけるトラクター集材作業での代表的な値<sup>51)(74, 94, 96, 359)</sup>、即ち3.7~4.6 km/hrに較べて著しく小さく、筆者が苫小牧地区で行なったトラクター集材作業における実測値<sup>68)</sup>、即ち2.79~3.47 km/hrに較べても相当に小さい。また供試トラクターの第1速の最大速度2.04 km/hrにも達しない。この主な原因は、上山の際履帯の滑りのためにトラクターがしばしば登坂困難に陥り、時には下山の路と異なった迂回路を通らなければ上山できなかったことであると考えられる。供試作業地は天塩地方の林地の中では比較的傾斜の緩やかな方であると認められるが、試験の結果から判断すれば、供試集材路の中には勾配に関してトラクター集材作業の可能な限界附近の部分が相当に多く存在していたと考えられる。

アーチ集材作業とバチ樞集材作業において、丸太1本当りの材積は作業功程は明らか



な影響を与える程異なっていないと考えられる。また集材路の勾配の程度も著しい差があるとは認められない。それ故両作業方法の工期をそのまま比較しても大きな過誤を犯すことはないであろう。

第5表の往復係数および荷集め・荷おろし係数の加重平均値が、作業全体の成績を表表すると考え、供試条件の下において、アーチ集材作業とパチ樫集材作業の丸太1石当りの集材所要時間が相等しくなる集材距離を計算してみる。

求める集材距離を  $x(m)$  とすれば、

$$4.53 + 0.00733x = 5.64 + 0.00715x$$

$$0.00018x = 1.11$$

$$x = 6167$$

往復係数の点ではパチ樫集材作業の方がアーチ集材作業よりも小さいが、荷集め・荷おろし係数の点ではアーチ集材作業の方が小さいから、計算上は集材距離が 6167 m より短い場合にはアーチ集材作業の方が、それよりも長い場合にはパチ樫集材作業の方が、工期上有利であることになる。然しながら実際の集材作業において、集材距離が 1 km 以上である場合は殆んど無い。また荷集め・荷おろし係数の差が明瞭であるのにひきかえ、往復係数の差は極く僅かであるから、本研究の作業以外においては、往復係数の差がほとんど無いか或いは大小の関係が逆であることもあり得ると考えられる。それ故供試条件の下においては、集材距離の長短に拘らずアーチ集材作業の方がパチ樫集材作業よりも工期上有利であると云ってよいであろう。

巻末の写真1は、本章において述べた集材作業の状況を示している。

### 第3章 車輪式ハンドトラクターによる集材作業の研究

近年国有林の直営木材生産事業においては、集材作業の機械化が著しく進み、傾斜の急峻な場所においては集材機が、傾斜のゆるやかな場所においてはトラクターが広く用いられるようになった。しかしながら民営の木材生産事業においては、緩斜地におけるトラクターの普及の程度が国有林の直営事業におけるものに比べて著しく遅れている。この原因はいろいろあるであろうが、現在国有林の直営事業に使用されていて集材用として定評のあるトラクターは、民営事業経営者の大部分をしめる小資本経営者にとっては、価格が高すぎて購入が困難であり、一方そのような小資本経営者にとっても購入可能な低価格トラクターの集材用機械としての性能については、判断の資料がほとんど無いということも大きな原因であると考えられる。そうであるとすれば、現在国有林の直営事業において使用されているトラクターよりも価格の低廉な小型トラクターの、集材用機械としての性能についての研究を行なうことは、民営の木材生産事業における集材作業にトラクターが普

及ずるのを推進することになるであろう。

この種の研究の一環として筆者は、本邦において市販されているハンドトラクターを用いて集材作業を行なうことが可能であるか否か、可能であるとすればどの程度の成績をあげることができるか、ということに関して検討した。

#### (1) 供試ハンドトラクター及びトレーラー

供試ハンドトラクターの車体としては、農用小型トラクターの国営検査に合格したハンドトラクターの中から、性能、構造、価格などを考慮した結果、高知県の鈴江農機製作所で製作したスズエ H 型ハンドトラクターを採用した。搭載エンジンには、ヤンマーディーゼル株式会社製の A 3 型空冷 4 サイクル 3 馬力ディーゼルエンジンを採用した。

軽量な 2 輪トラクターになるべく大きな牽引力を発揮させるとともに、丸太の牽引抵抗をなるべく少なくするために、トラクターの付属装置として、荷台が車軸よりも前方にある単軸トレーラーを使用し、大径材の積込みを容易にするために簡単な手動ウィンチと滑車及び支柱をそれにとりつけた。トレーラーのフレームの主要構成材料は 2 インチ鋼管で、車軸とブレーキにはジープのものを改造して使用した。このトレーラーは筆者が札幌市の北札ゴム車輛製作所に依頼して作ったものである。

ハンドトラクターに牽引用鉄車輪および専用重錘全部をとりつけた場合、ハンドトラクターの運転整備重量は 241.2 kg である。これに更に付属器具(ワイヤーロープ緊張器 1 台、チェーンつき打込み鉤 4 組、積込用誘導板 1 枚)をとりつけたトレーラーを連結した場合、この車輛全体(以後ハンドトラクター集材車と呼ぶことにする)の主要仕様は次の通りである。

全長：3460 mm、全幅：1050 mm、全高：1680 mm、運転整備重量：448.7 kg、最大走行速度：前進 第 1 速 1.5 km/hr、第 2 速 2.5 km/hr、第 3 速 4.1 km/hr、第 4 速 6.9 km/hr、後進 1.5 km/hr。

#### (2) 集材作業試験

実施の時期：昭和 34 年(1959) 8 月 3 日、4 日、11~14 日。

実施の場所：北海道大学雨竜演習林、茂知事業区第 15 林班の一部。

供試林の状況：供試林はトドマツを主とする針広混交天然生林で、ナラ、カバ類、シナノキ等がわずかに混っていた。

林床植物の主要なものはササで、高さ 1.5 m 内外のものが密生していた。

地面の傾斜は大部分が林業上の緩斜(5~20 度)に属し、供試林地は雨竜地方の林地の中では比較的傾斜のゆるやかな方である。土壌は適潤な壤土であった。

伐採作業種は風害木の整理と混合した択伐であった。

作業員及び作業方法：作業員は 5 名であった。そのうちの 1 名はハンドトラクター

の運転を主な任務とし、必要に応じて丸太の積みおろしにも従事した。もう1名は集材路を  
開き、障害物の除去に従事し、残りの3名は木直し、積み込み、集材車に対する随行、荷  
ろしなどに従事した。全員が人力集材作業の経験者で、中程度の技能を有していた。

幅員約1mの既設の歩道が集材地域内を通っており、これを集材車の登坂路として用  
いた場合が多かった。この歩道の最急勾配は15度であった。新しく作られた集材路は、

第6表 スズエH型ハンドトラクターによる集材作業の作業条件及び成績

作業地の傾斜	大部分5~20度
丸太の主要樹種	トドマツ(大部分), カバ類
丸太の長さ	9~12尺
丸太の末口直径	3.0~23.5寸
丸太1本の材積	0.11~6.63石
丸太本数合計	70
丸太材積合計	141.02石
丸太1本当りの材積	2.01石
集材時間合計 <sup>1)</sup>	1197分
集材1時間当りの集材材積	7.07石
集材回数合計	52
1回の集材における集材距離	10~177m
集材距離合計	5666m
平均集材距離	109m
1回の集材における集材路の最急勾配 <sup>2)</sup>	4~23度
往復時間合計	591.5分
1回の集材における往復速度	0.109~1.90km/hr
平均往復速度	1.15km/hr
1回の集材における丸太の本数	1~3
集材1回当りの丸太本数	1.35
1回の集材における丸太の材積	1.07~6.63石
集材1回当りの丸太材積	2.71石
燃料消費量合計	8.29ℓ
集材1時間当りの燃費量	0.416ℓ
作業員の数 <sup>3)</sup>	5名
運搬作業量合計	15395.59石-m
往復係数	{ 1回の集材 0.0174~0.585分/石-m 加重平均 0.0384分/石-m
積み込み・荷おろし時間合計	605.5分
積みおろし係数	{ 1回の集材 1.81~14.6分/石 加重平均 4.29分/石

1) 1台のハンドトラクターの集材時間であって、全作業員の延べ時間ではない

2) 斜距離2mを単位として測定した。逆勾配なし

3) 運転手を含む。土場巻立作業も行なった

鎌でササなどの林床植物を幅約1.5mの帯状に刈りはらって、倒木、末木、枝条、刈り倒された林床植物などの障害物を集材路予定地の側方へ寄せることによってでき上った。ハンドトラクターとトレーラーの車輪に空気入りゴムタイヤを用いなかったのは、鋭く尖ったササの刈り株によってそれが破損するおそれがあったからである。

土場は2カ所に設けられ、いずれも集材路の下側の緩斜地に位置していた。集材路の勾配は、斜距離10mを単位として測った場合2~15度であった。

作業は、上山(土場から伐倒地点までの空車走行)、丸太積込み、下山(積込み地点から土場までの積載走行)、荷おろしという4種類の作業の、この記載順序での循環を基本として進められた。

測定方法：第2章の場合と同じ。

作業成績：集材作業の作業条件および成績は第6表に示されている。

表中において、ハンドトラクター集材車が上山し、丸太積込みを行ない、下山し、荷おろしを完了するまでの1循環の作業を1回の集材と呼び、上山と下山を一括して往復と呼んでいる。さらに、集材材積と集材距離との相乗積を運搬作業量と呼び、往復の時間をこの運搬作業量で除した商を往復係数と呼んでいる。また丸太積込みと荷おろしの時間の和を集材材積で除した商を積みおろし係数と呼んでいる。ササを刈りはらって大きな地物を除去した林地において、供試ハンドトラクター集材車が自力で登坂し得た斜面の最急勾配は、場所によって10~15度であり、駆動輪の滑りのためにこれ以上の急斜面を登ることはできなかった。

これより勾配の緩やかな斜面の登坂においても集材車の駆動輪は相当に滑りを生じた。

集材路の勾配が自力登坂限界以上である場合には、集材車は迂回して緩勾配の既設歩道を通して上山した。また積載した丸太の重量が大きい場合には、下山の際集材路の勾配の緩やかな箇所において、集材車の駆動輪がはなはだしく滑りを生じた。実例をあげれば、トドマツの、材長12尺、末口直径1尺7寸5分以上の丸太を1本積載した場合には、水平な歩道上において、駆動輪の滑りのために集材車は自力による前進がほとんど不可能であり、作業員3名が後押しをし、1名が重錘としてハンドトラクターの前部に乗ったら、駆動輪は甚しく滑りを生じたが、集材車は辛うじて前進することができた。なお、トドマツの、材長12尺、末口直径1尺5寸以下の丸太を1本積載した場合には、水平な林地における自力走行が大体可能であった。

### (3) 考 察

平均往復速度の計算においては、第2章において述べたと同じ理由から、上山の距離として下山の距離と全く同じ値を用いた。

作業中ハンドトラクターは主として第2速で、時々第3速で前進した。エンジンの回転速度を最大定格回転速度まで上げなかった場合もあるが、平均してその80%以下で往復したことはない。この条件のもとでは、若し駆動輪の滑りが全くなく、また上山の場合に迂回して下山の道と異なった道を通るということをしないものと仮定すれば、ハンドトラクター集材車は計算上少なくとも2.0 km/hrの速度で往復することになるが、主として前述の駆動輪の滑りと上山の際の迂回とのために、平均上山速度は1.06 km/hr、平均下山速度は1.25 km/hr、平均往復速度は1.15 km/hrであった。

上山の際の迂回は、勾配の急な集材路において集材車の駆動輪の滑りがはなはだしかったために行なわれたものであるから、結局、往復速度が仮定にもとづく計算値よりもいちぢるしく低かったことの原因は、ハンドトラクター集材車の駆動輪の滑り率が極めて大きかったことであるといえることができるであろう。

供試機よりも駆動部の滑り率の小さいハンドトラクター集材車を構成する方法として、

- (1) 重量の小さいトレーラーを用いること。
- (2) 直径の大きい車輪のついたトレーラーを用いること。
- (3) 駆動式の走行装置を備えたトレーラーを用いること。
- (4) 直径の大きい車輪のついたハンドトラクターを用いること。
- (5) 履帯式の走行装置を備えたハンドトラクターを用いること。
- (6) 重量の大きいハンドトラクターを用いること。

などがある。

供試ハンドトラクターはほぼ十分な強度を有し、ほとんど故障を生じなかった。農業用としては優秀なものと思われるが、集材用トラクターとしては若干の難点を有することが判明した。その中で特に重要な点は、操向用サイドクラッチの性能である。このサイドクラッチは、作用が急激であり、また微小な角の操向が不可能であり、さらに、駆動軸に大きなトルクが作用している場合特に後進の場合には、サイドクラッチを切るのに非常に大きな力が必要であった。即ち、大力の運転手が全力を出して両手でサイドクラッチレバーを握らなければ、サイドクラッチを切ることができなかつた。このために運転手はしばしば操向に手間どり、時には操向が運転手の意図するとおりに行なわれないうために、ハンドトラクターを転倒させたこともある。また運転手は運転によってはなはだしく疲労した。これは供試機のサイドクラッチが人力作動式の「確実クラッチ」であるために生じた現象であって、操向装置が適当な様式のもの、たとえば摩擦クラッチであればこのことは起らないと考えられる。

巻末の写真2は、本章において述べた集材作業の状況を示している。

#### 第4章 履带式超小型トラクターによる集材作業の研究

低価格トラクターの集材用機械としての性能に関する研究の一環として、履带式超小型トラクターを使って集材作業を行ない、その成績を検討した。

##### (1) 供試トラクター

供試トラクターは、イギリスの Ransomes Sims & Jefferies, Limited 社製の Ransomes MG 6 型履带式トラクターで、その主要仕様は次の通りである。

全長：2045 mm，全幅：965 mm，全高：1029 mm，最低地上高：343 mm (但し牽引桿を除く)，履帯中心間隔：800 mm，履板幅：155 mm，運転整備重量：742 kg，最大走行速度 前進 第1速 2.5 km/hr，第2速 4.5 km/hr，第3速 6.5 km/hr，後進の場合も前進の場合と同じ，エンジン：単気筒4サイクル強制空冷ガソリンエンジン，排気量 600 cc，連結定格出力 8/HP 2200 rpm，クラッチ：遠心クラッチ，最大牽引力：約800 kg (出発時，クラッチの滑りによる限界)，履帯：ゴムジョイント型，操向装置：単一差動歯車式。

##### (2) 集材作業試験

実施の時期：昭和35年(1960)8月5日～11日。

実施の場所：北海道大学雨竜演習林，茂知事業区第7林班の一部。

供試林の状況：供試林は老齢の針広混交天然生林であった。針葉樹の主な樹種はアカエゾマツとトドマツで、この2つの樹種が針葉樹の蓄積の大部分を占めていた。また広葉樹の主なものはシナノキ，カバ類，およびヤチダモであった。

林床植物の主なものはササで、根元直径5～10 mm，幹長1.0～1.5 m 程度のものが相当に密生していた。

地面の傾斜は、斜距離10 mを単位として測定した場合に、最大値が16度であって、7度内外の箇所が大半を占めていた。土壌は埴質壤土でやや湿っていた。

伐採作業種は択伐で、集材地域の面積は約1.3 haであった。

作業員及び作業の分担：作業員数は6名であった。そのうちの1名はトラクターの運転を専門に行ない、もう1名は集材路の伐開およびトラクターの走行に対する障害物の除去を受持ち、別の2名は丸太の木直しおよびトラクターへの連結に従事し、残りの2名は土場で荷おろしおよび丸太の整頓にあたった。運転手はブルドーザー運転の熟練者であったが、トラクター集材作業を行なった経験はなかった。

その他の作業員は全員が北大演習林製材工場の職員で、トラクター集材作業の経験が僅かにあり、人力集材作業に関して中程度の技能を持っていた。

作業方法：集材路は、トラクターが丸太を牽引して土場に向う際になるべく均一な順勾配の路面を通るように計画され、集材路予定地内に生えているササなどの林床植物を鎌

第7表 Ransomes MG 6型トラクターによる集材作業の作業条件及び成績

作業地の傾斜	大部分7度内外
丸太の主要樹種	トドマツ, アカエゾマツ
丸太の長さ	8~18尺
丸太の末口直径	3.0~30.0寸
丸太1本の材積	0.11~10.94石
丸太本数合計	199
丸太材積合計	299.1石
丸太1本当りの材積	1.50石
1回の集材に要した時間 <sup>1)</sup>	1.45~36.88分
集材時間合計	1140.68分
丸太1石当りの集材時間	3.81分
集材1時間当りの集材材積	15.73石
集材回数合計	130
集材1回当りの所要時間	8.77分
1回の集材における集材距離	5~158m
集材距離合計	7719.2m
平均集材距離	59.4m
1回の集材における集材路の最急勾配 <sup>2)</sup>	順勾配: 3~16度, 逆勾配: 0~4度
往復時間合計	604.14分
1回の集材における往復速度	0.237~3.63km/hr
平均往復速度	1.53km/hr
1回の集材における丸太の本数	1~4
集材1回当りの丸太本数	1.53
1回の集材における丸太の材積	0.14~10.94石
集材1回当りの丸太材積	2.30石
燃料消費量合計	44.5ℓ
積材1時間当りの燃料消費量	2.34ℓ
作業員の数 <sup>3)</sup>	6名
運搬作業量合計	17874.273石-m
往復係数 { 1回の集材	0.0107~0.3019分/石-m
{ 加重平均	0.0338分/石-m
1回の集材における荷かけ・荷はずし時間	0.98~26.28分
荷かけ・荷はずし時間合計	536.54分
荷かけ・荷はずし係数 { 1回の集材	0.23~9.50分/石
{ 加重平均	1.79分/石

1) 1台のトラクターの集材時間であって、全作業員の延べ時間ではない

2) 斜距離10mを単位として測定した

3) 運転手および土場巻立て係を含む

で幅約1mの帯状に刈りはらって、予定地内に存在する倒木、末木、枝条などの障害物をとびやち、木廻し、鉋、鋸などを用いて除去し、そのままでは路面の横断勾配が強過ぎる場合には、鍬で路面を修正する、という方法によって作られた。

トラクターが丸太を牽引する場合には原則として地曳により、必要に応じて馬匹集材用の鉄玉纜を使用した。この玉纜は、厚さ約3mm、長さおよび幅ともに約60cmの鉄板で作られたものである。

作業の手順をトラクターの働きに着目して述べれば、次の通りである。

トラクターが、これから集材する予定になっている丸太に向かって土場から集材路上を走行する(この作業を上山と呼ぶことにする)。一方において作業員は前もってその丸太の木直しを行ない、丸太の一端に「ちんちよう」と呼ばれているチェーン付きの打込み鉤を打込んでおく。トラクターは、丸太のそばに到着して方向転換を完了すると、「ちんちよう」のチェーンがトラクターの牽引桿に連結されるのを待つ(これらの作業を荷かけと呼ぶことにする)。

続いてトラクターは丸太を牽引して土場に向う(この作業を下山と呼ぶことにする)。

土場に到着したならばトラクターは、作業員が丸太に打込まれている「ちんちよう」を抜きとってそれをトラクターに積込むのを待つ。それが終わるとトラクターは方向転換をして土場の外縁まで移動し、次の上山に移る(これらの作業を荷はずしと呼ぶことにする)。

以上の4種類の作業、即ち上山、荷かけ、下山および荷はずしの、この記載順序での循環を基本として作業が進められた。

測定方法： 第2章の場合に同じ。

作業成績： 集材作業の作業条件および成績は、第7表に示されている。

表中において、トラクターが上山し、荷かけを行ない、下山し、荷はずしを完了するまでの1循環の作業を1回の集材と呼び、上山と下山を一括して往復と呼んでいる。さらに、集材材積と集材距離との相乗積を運搬作業量と呼び、往復の時間を運搬作業量で除した商を往復係数と呼んでいる。また荷かけと荷はずしの時間の和を集材材積で除した商を荷かけ・荷はずし係数と呼んでいる。

### (3) 考 察

林床植物を刈りはらい、トラクターの走行に対する障害物を除去した林地において、供試トラクターは単独走行の場合、25度の斜面を登降することができた。この際履帯の滑りは殆んど無く、エンジンの運転状態も良好であった。従来のトラクター集材作業の実績から判断すれば、集材用トラクターの登坂能力はこの程度で充分であると考えられる。

供試トラクターの重量が740kgであったので、作業開始以前には、1本の材積が4石



程度以上の丸太の牽引は全く不可能ではないかと懸念されたが、色々な特殊な方法も用いて、兎も角も集材予定林分中にあった丸太全部を集材することができた。大材を牽引する場合に用いた特殊な方法は次の通りである。

- (1) 丸太の地面に接する部分の樹皮を剥ぐ。
- (2) トラクターの前部に重錘として1~4名の作業員が乗る。
- (3) 丸太の後端を1~2名の作業員が木廻しで押す。
- (4) 丸太の前端に単式の滑車を取りつけ、長いワイヤーロープの一端をトラクターの進行方向にある立木、伐根などに固定し、そのロープを、丸太に取りつけてある滑車を通して折り返してトラクターの牽引桿に連結し、トラクターを走行させて丸太を移動する。

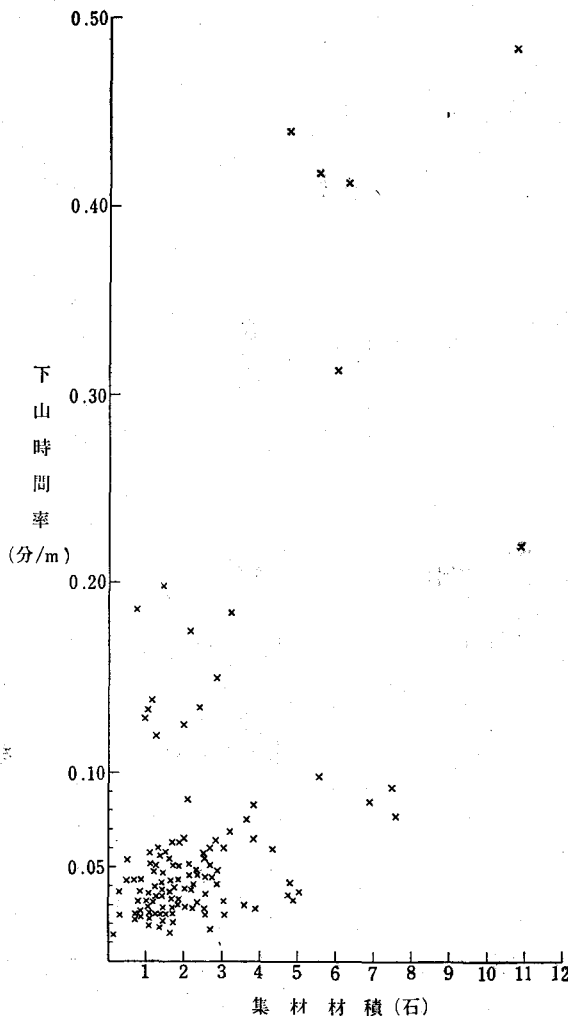


図1 各回の集材作業における下山時間率と集材材積との関係

この方法は馬匹集材作業において「ブロック曳き」と呼ばれている方法の応用である。

以上の方法は必要に応じて、単独にあるいは幾つかが同時に用いられた。

集材された丸太の中で最も材積の大きいものは、材長15尺、末口直径2尺7寸、材積10.94石のアカエゾマツの丸太であった。これは4度の順勾配を有する集材路において、「ブロック曳き」によって集材された。今後本邦の天然生林において生産される長さ4~5mの針葉樹丸太の中では、この程度の丸太は最も大きい部類に入ると考えられる。集材された丸太の材積の点だけから判断すれば、供試トラクター程度の履带式超小型トラクターを用いて相当の大材を集材し得ることになる。

一方において、各回の集材における単位材積当り下山時間(これを下山時間率と呼ぶことにす

る)と集材材積との関係は、図1に示されている通りである。これをみると、1回に集材される丸太の材積が4.5石以上であった場合の下山時間率の中には、材積がそれ以下であった場合のものに較べてとび抜けて大きな値を示しているものがかなりあることが明らかである。この大きな値の生じた主な原因は、丸太の牽引抵抗に対してトラクターの履帯の粘着力が不充分であるために、下山の途中でしばしば履帯が空転してトラクターが牽引不能に陥り、そのたびごとに作業員の手助けを受けて辛うじて下山を完了したこと、および「ブロック曳き」によって丸太を移動したことである。これらのことが起った場合には通常の下山の場合に較べて作業員の労力が著しく余分に必要であって、作業員は甚だしく疲労した。それ故供試トラクターによって一度に無理なく集材できる丸太の材積は、トドマツ、アカエゾマツあるいはこれらと比重の類似した樹種の丸太においては、4.5石程度以下であると考えられる。

供試トラクターで大材を直接に牽引した場合には、上述の如くしばしば履帯の空転が起ったが、「ブロック曳き」を行なった場合には、この作業における材積最大の丸太即ち材積10.94石のアカエゾマツの丸太を運搬しても、履帯の滑りは殆んど起らなかった。この場合に丸太に作用する牽引力は、トラクターの牽引桿における牽引力の約2倍である。これらの事柄から判断すれば、この試験の対象になった作業と同様な作業条件の下で、同じ作業方法でトラクター集材作業を無理なく行なうためには、供試トラクターの約2倍以上の牽引力を有するトラクターを使えば充分であると思われる。同じ型式の走行装置を有するトラクターについては、その最大牽引力は重量にほぼ比例するから、履帯式トラクターを使うとすれば、運転整備重量が供試トラクターの約2倍即ち1500kg程度以上のものを使えば充分であると思われる。然しながら適当な被牽引運搬車、例えば小型ロッキングアーチを使用したり、あるいは2台以上のトラクターを同一集材地域に配置し、必要に応じてそれらの協同作業、例えば重連牽引作業、牽引および後押し作業などを行なわせたりするならば、必ずしも供試トラクターよりも重量の大きなトラクターを用いなくても、無理なく集材作業を行なうことができると考えられる。

作業中に供試トラクターの故障は全然起らなかった。このトラクターは長期の集材作業にも恐らく充分耐え得るであろうと思われる。

供試トラクターの車体の幅と長さは、本邦において現在集材作業にひろく使われているトラクターのその約 $2/3 \sim 1/2$ である。それ故このトラクターは、普通のトラクターならば入り得ない狭い沢に入り込んで丸太を引出すことが可能であった。なお、このトラクターを使えば、一般のトラクター集材作業の場合に較べて集材路の幅が狭くて済むから、単位集材材積当りの集材路作設費が少なくなると考えられる。

供試トラクターにはウインチがついていなかった。適当なウインチを取りつけること

ができれば、トラクターの価格が少し高くはなるが、集材用機械としての能力は相当に向上するという事は、一般の集材用トラクターの実績から容易に推察される。

要するに供試トラクターの集材用機械としての性能は、針葉樹丸太で1本の材積が4.5石程度より少ないものを集材する場合には、技術上充分であると考えられる。

巻末の写真3は、本章において述べた集材作業の状況を示している。

## 第5章 結 語

前章までにおいて筆者は、明らかに重量の異なった4種類のトラクターを使用して集材作業を行なった場合の成績を示した。本章においてはこれにもとづいて、集材用トラクターの重量と丸太牽引能力との関係について、2, 3の考察を試みることにする。

今第4表と、第5表のアーチ集材作業の欄とを比較してみると、次のことが明らかになる。

1回の集材における丸太の材積は、第4表では1.21~12.42石(平均6.31石)、第5表では2.87~14.46石(平均8.08石)である。1回の集材において中型トラクターの方が小型トラクターよりも少ししか丸太を運搬し得なかった原因は、第4表によって示されている集材作業が風害林において行なわれたために、丸太引き寄せに対する障害物が極めて多かったことであると考えられる。一方集材中のトラクターの往復速度は、第4表のものの方が第5表のものよりも大きい。しかしながら前述した如く、小型トラクターの試験における集材路の中には、トラクター集材作業にとっては勾配の急過ぎる部分がかなり多く存在していたという点を考慮するならば、中型トラクターと小型トラクターは、第4表の作業条件の下においては往復速度の点で大差はないとみてよいであろう。それ故第4表の作業条件の下では、中型トラクターと普通型アーチの組合せの場合と、小型トラクターと軽量型アーチの組合せの場合の往復係数の間には、大きな差はないと考えられる。また丸太1本当りの材積については、小型トラクターの試験の場合の方が僅かながら小さい。これが大きくなれば一般に荷集め・荷おろし係数は小さくなる。従って第4表の作業条件の下においては、中型トラクターの代りに小型トラクターを用いたとしても、功程はさほど低くはなかったであろうと考えられる<sup>69)</sup>。

供試ハンドトラクター集材車は、駆動輪の滑り率が大きいため登坂力と往復速度が低く、また操向装置の機構が集材作業には不適當であるために操縦にほねが折れるので、そのままでは実用に供し得るとは云われぬ。

駆動部の滑り率が供試機よりも小さいハンドトラクター集材車を構成すること、ならびに、操作に要する力が小さくてしかも作用が鋭敏でありまたトラクターの直進を維持する性質の強い操向装置、を備えたハンドトラクターを使用することは、集材用機械としての

ハンドトラクターの価値を効果的に発揮させるための二大要件であり、これが実行されるならば、供試機と同程度の重量を有するハンドトラクターを用いて行なわれる集材作業の工期は第6表におけるものよりも相当に高いであろうと考えられる。供試機が水平な林地において自力で運搬し得た丸太の中で最も材積の大きいものは、トドマツの、材長12尺、末口直径1尺5寸、材積2.7石のものであったから、前述の要件が実行された場合には、トドマツの12尺丸太では、1本の材積が少なくとも3石程度のものを無理なく集材し得ると思われる。

履带式超小型トラクターで供試機と同程度の重量を有するものの牽引力は、1本の材積が4.5石程度より少ない針葉樹丸太を集材する場合には充分であろうと考えられる。また1本の材積が10石内外の針葉樹丸太を集材する場合に、履带式超小型トラクターに較べて格段に能率的に使用されるトラクターの中では、重量1500kg内外のウインチつきの履带式トラクターは、最も重量の小さい部類に属するものであろうと考えられる。

## 第2篇 ウインチつきトラクターによる集材作業の工期に関する研究

### 第1章 序 論

緒言において述べたような過程を経て本邦に導入されたトラクター地曳集材とアーチ集材は、その後本邦の各地特に北海道においてぞくぞくと実行され、現在はそれぞれ重要な集材作業方法の一つとなっている。これにともなって、これらの方法の本邦における実行成績に関する多数の文献が発表されており、現在までに筆者が確認し得たものだけでも54篇の多きに及んでいる\*。

ここにおいて論述の便宜上、トラクター集材作業について、トラクター、アーチ、チョーカーなどの機械器具、トラクターの運転手、チョーカー係、伐開係、荷外し係などの作業員、並びに作業手順を、**作業主体**と呼び、作業の行なわれる森林並びに集材される丸太を、**作業客体**と呼ぶことにする。さて、或る林分においてトラクター集材作業を行なう事が既に決定されており、一方技術上は幾つかのトラクター集材作業の方法が採用可能である事が判明しているという場合は屢々ある。その場合に作業方法を選定するための方法は色々考えられるが、各種条件の作業主体を採用した場合の丸太の生産単価を比較するのは最も有力な部類に属する一つの方法である。

経済上の観点から林業用トラクターの所有形態について考察すれば、林業経営の主体がみずからトラクターを所有するという形態よりも、トラクター賃貸業者がそれを所有し

\* 後出の文献目録においてこれらの文献の番号の前に\*印を附してある。これらの中にはその題名中に「集材」と書いてないものもあるが、内容は筆者の定義による「集材」を含んでいるのである。

完全に整備したトラクターを、林業経営の主体が、作業中無故障の保証をさせて、時間制によって運転手つきで賃借するという形態の方が、一般により経済的である。この所有形態は、建設機械に関しては早くから採用されてきたものであり、集運材用トラクターに関しても早晩この形態が主要なものとなるであろうと思われる。この所有形態においては、丸太生産費中のトラクター関係の費用は、殆んど全部が作業時間に正比例するものであるから、作業工期、即ち単位時間当りの作業出来高、又はその逆数、即ち単位作業出来高当りの作業時間によって、トラクター集材作業の成績を表現することは、丸太生産単価の計算に対して極めて価値のある資料を提供することになる。また経営主体がトラクターを所有する場合にも、トラクターの機械費(単位作業時間当りの経費)と云う概念を導入するならば、トラクター集材作業の成績を作業の出来高と所要時間との関係によって表現することは、前述の場合におけると同様な価値を有すると考えられる。

さて或る2組の作業主体条件を取上げ、それらの作業工期上の有利不利を比較検討する場合には、作業客体の条件は同一である必要がある。然し乍ら試験作業を行なった結果にもとづいてこの検討を行なう場合には、2種類の作業における作業客体の条件を全く同一にすることは實際上不可能であるから、なるべく類似した客体条件を選んで作業を行ない、実測を行なって得られた数値から何等かの方法によって、客体条件が同一である場合の数値を誘導しなければならない。そのためには、作業工期と作業客体条件との関係が定量的に明らかにされていなければならない。

前述の54篇の文献のうちで、その著者が作業工期と作業客体条件との関係を定量的に表現している文献は5篇に過ぎない\*。大部分のものにおいては、特定の客体条件の下において得られた実績がそのまま記載されているだけである。従ってその工期数値の応用性は極めて小さい。後者に属する文献が大部分を占めている事主な原因は、トラクター集材作業の工期を作業客体の条件と定量的に関連させて表現する方法が、本邦においても諸外国においてもまだ確立されていないと云う事であろうと考えられる。

このような工期表現方法で、しかも大きな適応性を持つものを確立することは極めて困難であり、極端な云い方をすれば、不可能に近い。然し乍ら實際上その必要性の大なることは明らかであるから、内外の研究者がその実現に向って努力を重ねている。筆者もトラクター集材作業の一研究者として、及ばず乍ら微力を尽してその探求を続けて来た。今般漸く、従来の方法に較べて対象の実態に僅か乍ら近づいており、また実行に要する手数も実用上差支ない程度であると思われる工期表現方法を案出するに至ったので、その過程を以下に論述する。

\* 7), 25), 58), 68), 86)

## 第2章 作業内容分類方式の探求

### 第1節 支寒内地区における地曳集材作業の場合

昭和29年(1954)の秋に筆者は、支笏湖畔の支寒内(ししゃもない)地区にある天然生林の風害地において、トラクターによる地曳集材作業の時間研究を試みた。研究の対象となった作業の概要は次の通りである。

実施期間：昭和29年(1954)10月30日～11月5日。

実施場所：札幌営林局苫小牧営林署支笏経営区第38林班の一部で、面積7.5ha、風害以前の主要樹種はトドマツ、エゾマツ、ダケカンバ、ミズナラ、イタヤ、センノキ、シナノキ等で、その他のものを合せると樹種は30余に及んでいた。このうちトドマツは、蓄積において過半を占めていた。

土壌は樽前山の噴火による堆積土壌で、透水性が大きく、伐採作業種は風害木の整理を主とする皆伐であった。

地表は全体として支笏湖畔に向ってなだらかに傾斜し、諸所に小起伏が散在していた。また風害木の伐根、造材された樹幹の枝条、及び遺棄された風害木が地表一面に存在し、作業員の動作、トラクターの走行及び丸太引寄せを著しく妨害した。意識的に開設された道路は殆んど無かったが、トラクターが頻繁に通過した跡が自然に道路となっていた。この道路における最急斜面の傾斜は15度、その長さは約7mであり、道路の諸所に平坦な部分があった。

丸太：時間分析の際に集材された丸太は、エゾマツとトドマツの全幹材で、後に土場で玉切りされた場合の末口直径は2寸以上1尺2寸以下であり、一部のものは玉切られずに穂付き丸太として巻立てられた。供試林地においては、筆者の研究が行なわれる前に既に通り集材が行なわれており、研究実施の時には、前回より残された比較的小径の丸太が点々と散在していた。

使用されたトラクター：日本特殊鋼株式会社製のNTK-4W型トラクター2台で、主要仕様は次の通りである。

走行装置は履带式、運転整備重量(ウインチを含まず)：4600kg、全長：3100mm、全幅：1980mm、履帯中心間隔：1520mm、履板幅：330mm、全高：1570mm、最大機関出力：46HP、最大牽引出力：39HP、最大牽引力：4050kg、登坂能力：30度まで、最小回転半径：2.0m、最大走行速度：前進第1速 2.70km/hr、第2速 3.70km/hr、第3速 4.71km/hr、第4速 5.89km/hr、第5速 8.58km/hr、後進 3.13km/hr。

2台のうち1台は、車体後部に最大牽引力6000kgの逆転可能なウインチを装備していた。

ウインチのワイヤーロープの長さは30 m、直径は18 mm であって、その先端に鋼鉄製のフックが取付けられていた。

作業員： トラクター2台の作業に関与した作業員の数は、運転手と土場巻立て係を含めて6名であった。1名の運転手と1名の荷集め係が1つの組を作り、1台のトラクターを用いて作業を行った。各組の作業用器具は、とびぐち1挺、及びワイヤーロープ2本(各々長さ5 m、直径12 mm で、一端にリングを有し、他端は眼鏡継ぎになっている)であった。

土場巻立て係(玉切り係を兼務)は、2名で、協力して2台のトラクターの集材した丸太を玉切ったり巻立てたりした。

作業の様式： 2台のウインチつきトラクターがそれぞれ単独に作業を行なうのが研究対象地域における本来の作業様式であったが、時間分析の行なわれ時には、1台のトラクターのウインチが取り外されていたために、2台のトラクターは協同作業を行なった。即ちウインチつきのトラクターが伐採地点附近において丸太をウインチで寄せ集め、ウインチのついていないトラクターがそれを湖畔の土場まで牽引した。

作業手順： 10月30日と31日の2日に亘り、ウインチつきトラクターによる地曳集材作業の内容を観察した結果、研究対象地域におけるウインチつきトラクターの集材作業は通常次の如き手順で行なわれるという事を知った。

即ち、車庫から土場に到着したトラクターは、集材されるべき丸太のある所に向って山を上る。目的とする丸太の附近に到達すると、トラクターは向きを変えてウインチを丸太の方に向けて停止する。場合により、丸太引寄せに一層好都合な位置を占めるように更に移動する。続いて荷集め係は、ワイヤーロープの先端のフックを手を持ってロープを引摺りながら丸太に向って進む。この時トラクターの運転手はウインチを逆転させ、荷集め係の進み方に応じてワイヤーロープを送り出す。

荷集め係は丸太に到達したならば運転手に合図をしてウインチの逆転を止めさせ、ウインチのワイヤーロープの先端を輪状にして丸太の一端に巻きつけ、ワイヤーロープが引張られればその輪が締まるようにする。

次に運転手に合図をしてウインチでワイヤーロープを巻取らせる。場合によってはワイヤーロープを近くの伐根に掛けてこれを滑車の代りにしたり、ワイヤーロープを装着し直したりして、丸太の引寄せられる方向を調節する。また或る場合には、丸太をトラクターのそばまで引寄せ、続いてウインチのブレーキを作用させてドラムの回転を制止し、そのままトラクターを前進させて丸太を曳行する事があり、あるいはトラクターから多少離れた地点まで丸太を引寄せてから、上述の如くブレーキを作用させて丸太を曳行することもある。この場合には、ワイヤーロープは丸太から取外された後ウインチのドラムに巻取

られることもある。丸太が目的の位置まで移動されたならば、荷集め係はワイヤーロープを丸太から取外し、次の丸太に対して以上述べたと同様な作業を行なう。これを繰返して、寄集められた丸太の材積が予定の量になったならば、荷集め係は前述した長さ5mのワイヤーロープを輪にしてそれらの丸太の一端を結束し、そのワイヤーロープの一端をトラク

第8表 ウインチつきトラクターによる地曳集材作業の作業内容の分類(昭和29年)

大項目	小項目	内 容 (トラクターを主体として表現した)
往復	上山	無牽引で土場より木元まで走行する。
	下山	丸太を牽引して木元より土場まで走行する。
荷集め	換向・移動	丸太を引寄せるに好都合な位置に到達するために、木元において換向または前進あるいは後進する。
	ロープ送出し	ワイヤーロープ係がウインチのワイヤーロープを引出すに応じて、トラクターの運手がウインチのドラムを逆運させてワイヤーロープを送り出す。
	ロープ装着	ワイヤーロープの先端が丸太にとりつけられるのを待つ。
	丸太引寄せ	丸太にとりつけられたワイヤーロープをウインチで巻取り、丸太をトラクターの方へ引寄せる。
	ロープ掛直し	丸太引寄せの途中で、ロープ係がワイヤーロープのとりつけ位置を変更したりワイヤーロープを伐根等に掛けたり外したりするのを待つ。
	丸太曳行	ウインチにブレーキを掛けたまま前進することによって、既にウインチで引寄せた丸太をウインチに連結したまま曳行する。
	ロープ外し	引寄せられた丸太からワイヤーロープがとり外されるのを待つ。
	ロープ巻取り	送り出されたままになっているウインチのワイヤーロープを、トラクターの移動に際してウインチのドラムに巻取る。
荷掛	下山に際して、牽引されるべき丸太がトラクターに連結されるのを待つ。	
荷外し	下山後土場において、丸太がワイヤーロープから解放されるのを待つ。	
不可避損失	障害物除去	作業の障害物を除去する。または、作業員がそれを除去するのを待つ。
	相談・計画	作業実施方法につき作業員が相談しあるいは計画をたてるのを待つ。
	その他	上記以外の止むを得ざる損失動作をする。 実例：凹地に陥入して脱出する。作業員の道具拾いを待つ。土場において他のトラクターを待つ。運材トラックを待避する。ウインチのワイヤーロープを巻直す。ウインチのドラム上でワイヤーロープが互にくいこむのを作業員が直すのを待つ。作業員の用達しを待つ。消音器の着脱されるのを待つ。
運転準備	機関起動準備	燃料、潤滑油、冷却水が補給されるのを待つ。
	機関起動	機関の起動操作が始まってから機関が正常な運転状態に至るまで待つ。
可避損失		作業員の責任に帰し得るような損失動作をする。 実例：ワイヤーロープがウインチにはさまったのを直す。丸太から滑って外れたワイヤーロープが掛直されるのを待つ。ワイヤーロープがウインチのドラムから抜けたのを直す。作業員が集材すべき丸太を探すのを待つ。



ターの牽引桿に連結する。次に運転手に合図をしてトラクターを前進させる。トラクターは丸太を地曳しながら土場に向って山を下る。荷集め係はトラクターの後に従い、丸太が工合よく牽引されるようにトビグチを使って丸太の位置を調整する。トラクターが土場に到着した時に荷おろし場が他のトラクターで塞がっていたならば、下山して来たトラクターは一時停車して荷おろし場が空くのを待つ。やがてトラクターが荷おろし場に入って停止すると、荷集め係はワイヤーロープを丸太から外し、続いてトラクターに乗り、運転手に合図をして次に集材されるべき丸太に向ってトラクターを上山させる。

以上のような手順が繰り返されて集材作業が行なわれるのであるが、その間にトラクターは、伐根や枝条などの障害物を除去する作業に使用されたり、あるいは荷集め係がそれらのものを除去するのを待つ事があり、また作業員が仕事に関して相談したり、計画をたてたりする間、作業を一時休止する事があり、その他にも止むを得ず作業を一時休止することがある。

ここにおいて筆者は時間測定の準備として、主としてトラクターの働きに着目して、作業の内容を分類した。その結果は第8表に示されている。

表中の「大項目」、「小項目」は林業の時間研究の分野においては、夫々単位作業、要素作業とも呼ばれる。

本節の目的は、ウインチつきトラクターによる集材作業の内容分類方式のうち、筆者の用いた最初の方式を示すことにあるので、時間測定の結果についてはここではその記述を省略する。巻末の写真4は、研究の対象となった作業の状況を示している。

## 第2節 苫小牧演習林におけるアーチ集材作業と地曳集材作業の場合

更に筆者は、昭和31年(1956)の秋に北海道大学苫小牧演習林内にある天然生林の風害地において、ウインチつきトラクターによるアーチ集材作業と地曳集材作業の時間研究を行なった。研究の対象となった作業のうち以後の論述に関係のある部分の概要は、次の通りである。

作業の行なわれた時：アーチ集材作業は昭和31年(1956)9月28日から10月5日正午までの間に、地曳集材作業は同年10月5日正午から10月10日までの間に行なわれた。

作業の行なわれた森林：林地は、北海道胆振国勇払郡苫小牧市字高丘、北海道大学苫小牧演習林山之神事業区第24林班の一部で、面積約4.4ha、林齢の判定は困難であったが、壮齡林に属すると云って大過ないと思われる。風害以前のha当り蓄積は約160m<sup>3</sup>、主重樹種はエゾマツ、シナノキ、ナラ及びアサダで、これらの4樹種だけで全蓄積の大部分を占めていた。これらの樹種の混交割合を推察する一助として、集材された丸太の総材積に対する各樹種の材積の百分率を示せば、エゾマツ約41%、シナノキ約29%、ナラ約14%、アサダ約7%、合計91%であった。土壌は樽前山の噴火抛出物から成る特殊の地質

を有し、地表には 10 cm 内外の厚さにやや湿った腐植が堆積し、その下に火山礫が層状に存在し、透水性が大きかった。

地面の最大傾斜角は約 7 度であったが、傾斜地は極く一部に限られ、全体としてみれば地面はきわめて平坦であった。供試林地はほぼ正方形をなしており、これを 1 辺に平行な線で大体同じ面積になるように 2 分し、一方においてアーチ集材作業、他方において地曳集材作業を行なった。

伐採作業種は、風害木の整理を主とする択伐であり、供試林地の地表には造材された風害木の伐根や枝条が多数存在し、また形質不良のために捨てられた風害木が密に交錯していた。

トラクター及び主要機械類： 地曳集材作業には、日本特殊鋼株式会社製の NTK-4W 型履帯式トラクター [トローイングウインチ (Towing winch) 付き] 1 台、岩手富士産業株式会社製チェーン 17 本が用いられ、アーチ集材作業にはこの他に、日本特殊鋼株式会社製の NTK-4L 型ロッキングアーチが用いられた。供試トラクターの仕様は前出の第 1 表、供試アーチの仕様は前出の第 3 表に示されている。

作業員及び作業手順： アーチ集材作業においては、作業員の数は運転手と土場巻立て係を含めて 6 名であった。運転手以外の者はトラクター集材作業に従事した経験を持っていなかった。然し人力集材作業には、熟練していた。

作業は次の如き手順で行なわれた。即ちまず全員で土場を作り、次に 1 名の労務者がトラクターの通路を伐開し、トラクターはアーチを牽引しその通路を辿って丸太のそばまで行く。一方他の 2 名の労務者はあらかじめ丸太附近の障害物を除去し、続いて木直しを行ない、1 本の丸太又は数本並べて一纏めにした丸太の一端にチェーンを取付けておく。トラクターが丸太のそばに到着してアーチ及びウインチを丸太の方に向け終ったならば、この 2 人はウインチのワイヤーロープを引出し、その先端のフックにチェーンの自由端の環を引掛ける。次に運転手はウインチでワイヤーロープを巻取り、丸太がアーチに向って引寄せられ、その先端がアーチのフェアリードの下に到達したならば引寄せるのを止める。

必要に応じて丸太の引寄せ作業を数回行ない、一度に牽引するのに適当な量の丸太が引寄せられたならば、労務者にそれらのチェーンの自由端の環を全部ウインチのワイヤーロープ先端のフックに引掛けさせ、ワイヤーロープを巻取る。丸太の前端がフェアリードの下に吊り上げられたならば、巻取るのを止めてウインチのドラムにブレーキをかけ、トラクターを前進させて土場に向う。

トラクターが土場に到着したならば、運転手は運ばれて来た丸太の樹種材種に応じて、それらが荷おろしされるのに適当な場所でトラクターを停止させ、ウインチのブレーキを解放してワイヤーロープを自由にする。土場には別に 2 名の労務者が居て、丸太からチ

ーカーを外し、かつ土場の整理に従事する。

空いたチョーカーがアーチ又はトラクターに積込まれると、運転手はウインチのワイ

第9表 ウインチつきトラクターによるアーチ集材作業及び  
地曳集材作業の作業内容の分類 (昭和31年)

単 位 作 業	要 素 作 業	内 容 (トラクターを主体として表現した)
往 復	上 山	土場から集材の対象となる丸太の附近まで走行する。
	下 山	集材の対象となる丸太を牽引して土場まで走行する。
荷	チョーカー積込み	後進する際に邪魔にならないように、労務者がチョーカーをアーチ又はトラクターに積込むのを待つ。
	チョーカーおろし	上記のようにされたチョーカーが、アーチ又はトラクターからおろされるのを待つ。
	換向及び移動	集材の対象となる丸太をウインチで引寄せするのに、又はその丸太をトラクターに連結するのに好都合な位置に到達するために、上山終了地点において向きをかえたり前進あるいは後進を行ったりする。
	ロープ送出し	労務者が集材される丸太に向かってウインチのワイヤーロープを引出すに及び、ウインチを逆転させてワイヤーロープを送り出す。
集	ロープ取付け	上記のようにして丸太の近くまで引出されたワイヤーロープの先端のフックが、丸太の頭部に取付けられたチョーカーに連結されるのを待つ。
	丸太引寄せ	丸太に取付けられたワイヤーロープをウインチで巻取ることにより、丸太をアーチ又はトラクターのそばまで引寄せる。
	ロープ掛直し	丸太引寄せの途中において障害物のために引寄せが困難になった場合、労務者がチョーカーの丸太への装着位置を変えたり、伐根や立木を滑車の代りにして引寄せ方向を変更したりするのを待つ。
	丸太曳行	丸太引寄せ作業の途中において引寄せ位置を変えるために、既に引寄せられた丸太を引きずって移動する。
	ロープ外し	ウインチのワイヤーロープのフックが、引寄せられた丸太のチョーカーから取外されるのを待つ。
め	ロープ巻取り	ウインチのワイヤーロープを完全に巻取らなくても或る丸太が所期の位置に引寄せられ、トラクターは更に換向及び移動を行なう必要がある場合に、チョーカーから外されたワイヤーロープをトラクターの邪魔にならないようにウインチに巻取る。
	荷掛け及び吊り上げ	1回の下山に充分な量の丸太がアーチ又はトラクターのそばまで引寄せられた場合に、地曳集材作業においては全部のチョーカーがウインチのワイヤーロープ先端のフックに掛けられるのを待つ。アーチ集材作業においては、その上更にウインチでワイヤーロープを巻取って、丸太の前端をアーチのフェアリードの下に吊り上げ、ウインチにブレーキをかける。
荷	おろし	下山後土場において、牽引されて来た丸太の置かれるべき場所に停車し、ウインチのブレーキをゆるめ、丸太がワイヤーロープのフックから解放されるのを待つ。必要に応じて少しずつ移動して数箇所においてこれを繰返し、それが完了したならば、次の上山の準備行動として土場の外縁まで走行する。

単 位 作 業	要素作業	内 容 (トラクターを主体として表現した)
不 可 避 損 失	障害物除去	作業に対する障害物を除去する。又は労務者がそれを除去するのを待つ。
	チョーカー取付け待ち	予期し得なかった必要が生じて労務者が丸太にチョーカーを取付けるのを待つ。
	協議及び計画	作業実行方法について作業員が相談しあるいは計画をたてるのを待つ。
	その他	上記以外の止むを得ざる損失動作をする。
可 避 損 失	チョーカー取付け待ち	当然完了しているべきであるにも拘らず労務者の失策のためにまだ行なわれていなかったチョーカー取付け作業が行なわれるのを待つ。
	その他	上記以外の、作業員の責任に帰する損失動作をする。
除 外		上山、荷集め、下山及び荷おろしの繰返し及びそれに伴う損失動作以外の動作をする。例えば、宿舎から土場まで走行する、土場が作られるのを待つ、異なった土場に移動する、大故障のために休業する、極めて稀にしか生じない悪条件のために手間取る等の動作をする。

ヤーロープを巻込み、続いてトラクターを前進させ、次に集材する予定の丸太に向かって進む。

以上のような手順が繰返されて作業が進行した。地曳集材作業においては、作業員の各個人並びにその編成はアーチ集材作業の場合と全く同じであった。また作業の手順は、トラクターがアーチを牽引していない事による必然的相違以外は、前述のアーチ集材作業の場合と同じであった。即ち、集材される丸太がウインチによってトラクターのすぐそばまで引寄せられたならば、運転手は引寄せるのを止める。必要に応じて引寄せ作業を数回行ない、一度に牽引するのに適当な量の丸太が引寄せられたならば、労務者にそれらのチョーカーの自由端の環を全部ウインチのワイヤーロープ先端のフックに引掛けさせ、ワイヤーロープを巻取る。丸太の前端がトラクターの後方約1~2mに達したならば巻取るのを止め、ウインチのドラムにブレーキをかけ、トラクターを前進させて土場に向う。以後の作業手順については、アーチ集材作業の場合の説明文章がそのまま適用され得る。

アーチ集材作業の場合にも、地曳集材作業の場合にも、土場は平坦地に設けられた所謂「平(ひら)土場」であり、丸太を巻立てるためには少なくとも2名の労務者が必要であった。

作業は作業員の合議によって進められた。1回の集材石数に関しては、「1日の工期が最大になるように留意してこれを決定する」と云う方針を筆者が作業員に与えた。然しながら具体的な数字を示すことはしなかったため、作業員は状況に応じて適宜1回の集材石数を決定した。

測定方法及び測定結果は次の通りである。

測定者は筆者を含めて3名であって、筆者はトラクターの働きに着目して時間分析を行なった。その際に用いた作業内容分類の方式は、第9表に示されている。この分類方式

は第8表を基本とし、細部に若手の修正を加えて決定したものである。

1/100分目盛りのストップウォッチを用い、反復法(1要素作業終了毎に針を0にもどす方法)によって時間分析を行なった結果は附表第1に示されている。

他の2名の測定者は、集材距離の測定、集材路の最急勾配の測定、集材された丸太の樹種及び寸法の記録に従事した。この場合実際に土場に集められた丸太のうち、作業開始前から既に土場用地内に存在していて全くトラクターの力によらず、主として人力によって土場に整頓された丸太は、測定の対象から除外された。また集材路の傾斜は、斜距離2mを単位として測定された。これらの測定結果は、附表第2に示されている。巻末の写真5、及び6は、研究対象となった作業の状況を示している。

附表第1について、毎日の測定時間誤差(普通の時計による継続測定値に対する、ストップウォッチによる反復測定値の積算値の過不足)が3%以内であることが確認された。

第10表 ウインチつき NTK-4 W 型トラクターによる集材作業の作業条件及び成績 (昭和31年)

	アーチ集材作業	地曳集材作業
丸太の主要樹種	エゾマツ、シナノキ、ナラ、アサダ	同 左
丸太の長さ (尺)	6~12	6~12
丸太の末口直径 (寸)	3.0~25.0	3.0~20.5
丸太1本の材積 (石)	0.07~6.63	0.05~5.04
丸太本数合計	483	558
丸太材積合計 (石)	522.20	584.35
丸太1本当りの材積 (石)	1.08	1.05
1回の集材に要した時間 <sup>1)</sup> (分)	0.60~37.23	2.01~24.58
集材時間合計 (分)	1249.02	1496.75
集材回数合計	128	167
集材1回当りの所要時間 (分)	9.76	8.96
1回の集材における集材距離 <sup>2)</sup> (m)	6~184	8~290
集材距離合計 (m)	8072	18640
平均集材距離 (m)	63.1	112
1回の集材における集材路の最急勾配 <sup>3)</sup> (度)	1.0~5.0	1.0~7.0
丸太1石当りの集材時間 (分)	2.39	2.56
作業員の数 <sup>4)</sup> (名)	6	6
1回の集材における丸太の本数	1~11	1~9
集材1回当りの丸太本数	3.77	3.34
1回の集材における丸太の材積 (石)	0.73~9.69	0.45~7.45
集材1回当りの丸太材積 (石)	4.08	3.50

- 1) 1台のトラクターについての値であって、作業員6名の延べ時間ではない
- 2) ウインチによる引寄せ距離(最大30m)を含む
- 3) 斜距離2mを単位として測定した
- 4) 運転手および土場巻立て係を含む

それ故以後の論述においては、附表第1の測定値を、誤差を含まないものと見なして取扱うことにする。上述の測定結果にもとづいて、作業条件及び作業成績を総括的に表わせば第10表の通りである。

附表第1を観察すると、要素作業の欄に数字の記入されていない場合が相当にある。

この原因は、その要素作業が実際に出現しなかったか、あるいは、出現したけれどもその持続時間が10/100分程度以下であったために、観測者にとってはそれを計測することが困難であり、その所要時間がその作業の直前、又は直後の作業の所要時間と併合されてしまったかの何れかである。

所で作業内容の分類の方式は、考え方によって幾種類でも定める事ができる。林業では工場作業のような単純な繰返し作業は少なく、1動作を繰返すのに長時間を要する上に、たとえ繰返しても同一条件で繰返すことは殆んどない。厳密に云えば繰返し作業は起り得ないのである。然しながら実際の問題としては、あまりにも微視的に分類するならば、前記の如き原因から、数値を記録することが困難となり、また類似の作業を同一の分類方式に従って測定する事が困難になる。それ故時間研究を目的とする場合にはある程度巨視的な取扱いをする必要がある。一方あまりに巨視的な分類方式を用いると、観測者の心理上、可避損失時間及び除外すべき時間を看過する恐れがある。このように考えたので筆者は、野外における観測の場合には第9表に示されている分類方式を採用し、資料整理の際に、巨視的な分類方式によって再分類を行なった。

ウインチつきトラクターによる集材作業の典型的な進み方をトラクターに着目して巨視的に観察すれば、

- (1) トラクターが、土場から次に集材しようとする丸太の存在する地点附近まで走行する
- (2) その丸太をトラクターがウインチで引寄せる
- (3) トラクターが丸太を牽引して土場まで走行する
- (4) トラクターが土場で丸太を解牧する

という4種類の作業のこの順序での繰返しであると考えることができる。即ち、ウインチつきトラクターによる集材作業は、第9表における上山、荷集め、下山及び荷おろしの循環作業であると考えることができる。筆者はこの作業の循環の1単位を1回の集材と呼び、1回の集材に消費される時間を集材サイクルタイム(Cycle time)と呼ぶことにする。なお1回の集材の中で二つ以上の地点から丸太を集材する場合、例えば下山の途中で追加の丸太を荷掛けする場合などにおいては、トラクターの走行速度は集材される丸太の石数によっては殆んど変らないと見なして、大きい方の集材距離をその回の集材距離の近似値として用いている。

### 第3章 作業工期算出方法に関する既往の研究結果

#### 第1節 文 献

ウインチつきトラクターによるアーチ集材作業又は地曳集材作業の工期を、作業客体条件と定量的に関連させて表現する方法(方程式又は手順)を示した文献で、筆者が現在までに調査し得たものは、次の通りである(配列は年代順)。

- ① MATTHEWS, D. M. (1942): Cost Control in the Logging Industry, 1st ed. p. 77~110.
- ② BROWN, N. C. (1949): Logging, 1st ed. p. 175~185.
- ③ MÉGILLE, X. de (FAO) (1956): Tractors for Logging, 1st ed. p. 51~59.
- ④ 藤林 誠・大河原昭二・鈴木正之(1957): 風倒木処理に関するトラクター運材作業について. 演習林(東京大学), No. 12: p. 95~119.
- ⑤ 白金 巖(1958): CT 25型トラクターを使用して. 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局), No. 4, p. 1~7.
- ⑥ 大沢正之・小島幸治(1958): 苫小牧地方の風害天然林におけるトラクター集材の試験(続報). 日林講, 68回: p. 333~335.
- ⑦ 川口 晃・植野和一(1958): トラクターによる木寄集材作業について. 直営生産事業研究発表集(東京営林局), No. 6: p. 21~38.
- ⑧ 佐々木功・村上正康・神崎康一・山根啓義(1959): トラクター集・運材作業について 第1報. 京都大学農学部演習林報告, No. 28: p. 55~63.
- ⑨ 米田幸武(1959): トラクタ集運材作業の標準化のために(1), (2). 林業機械化情報, No. 68: p. 39~50, No. 69: p. 33~39.
- ⑩ 小山 梯(1959): トラクター集材の工期理論. 林業機械化ガイドブック, 第1版, p. 30~35.
- ⑪ 森岡 昇(1960): 北海道におけるトラクタ集運材のコスト及び工期の検討. 日林講, 70回: p. 387~389.

#### 第2節 工期算出方法の概要

これらの11篇の文献によって示されている工期算出方法の概要は次の通りである。

(1) MATTHEWS の算出方法: 全幹集材作業を対象としている。

1. トラクターの集材サイクルタイムを、固定時間(Fixed time)と変動時間(Variable time)に大別する。

2. 固定時間は荷集め地点における引寄せと荷掛けの時間、土場における荷おろしの時間、及び損失時間(集材1回につき一定)の和である。変動時間はトラクターが所定の距離(例えば100 ft)を往復するに要する時間である。

3. 集材作業の工期を次の式によって求める。

$$\text{丸太の単位材積当りの集材サイクルタイム} = \frac{\text{トラクターが1度に牽引し得る最大丸太重量} + \text{集材1回当りの損失時間}}{\text{丸太1本当りの重量} \times \text{集材1回当りの集材材積}^*} + \frac{\text{単位集材距離当り往復時間} \times \text{集材距離}}{\text{集材1回当りの集材材積}^* \times \text{単位材積当りの変動時間}}$$

\* 立木の胸高直径と路面の傾斜によって異なる。従来の実績にもとづいて作られた表から求める。

(2) BROWN の算出方法：アーチによる全幹集材作業を対象としている。

1. 仮定事項

1) 丸太はすべて元口をアーチの下につり上げられて運ばれる。

2) 丸太の全重量の 55% がアーチに、45% が地面にかかる。

3) 路面の小起伏の影響の故に、路面の勾配は平均勾配に 3% を加えたものに相当する。

4) 上山、下山の速度は、荷の大きさに無関係に一定である。上山の際にはトラクターの第 4 速、下山の際には第 2 速が用いられる。

5) 就業 1 時間のうち、50 分が有効な作業時間である。

2. トラクターが一度に牽引し得る最大丸太重量を、次の式にもとづいて求める。

$$\text{トラクターの最大牽引力} = \left[ (TW + SW + X)(\text{勾配} \% ) \times 20 \right] + \left[ (SR \times 0.45 X) + (RR \times 0.55 X) \right] + \left[ (RR \times SW) \right]$$

ただし、

$TW$  はトラクターの重量 (ton)

$SW$  はアーチ (サルキー) の重量 (ton)

$X$  は牽引可能な最大丸太重量 (ton)

20 は勾配 1%、重量 1 ton 当りの勾配抵抗 (lb)

$SR$  は丸太の摺動抵抗 (lb/ton)

$RR$  はアーチの転動抵抗 (lb/ton)

この式から  $X$  を求める。

3. トラクターが一度に牽引し得る最大丸太本数 ( $L_m$ ) を、次の式によって求める。

$$L_m = \frac{X}{\text{丸太 1 本当りの重量 (ton)}} \quad (\text{端数は切り捨てる})$$

4.  $L_m$  を丸太 1 本当りの材積に乗じて 1 回の集材における最大集材材積 ( $V_m$ ) を求める。

5. トラクターの集材サイクルタイム ( $T_s$ , min) を次の式によって求める。



$$T_t = \frac{\text{集材距離 (ft)}}{\text{上山速度 (ft/min)}} + \frac{\text{集材距離 (ft)}}{\text{下山速度 (ft/min)}} \\ + \left[ \text{丸太 1 本当りの荷集め時間 (min)} + \text{丸太 1 本当りの荷おろし時間 (min)} \right] (L_m) \\ + \text{集材 1 回当りの折返し時間 (min)}$$

6. 就業 1 時間当りの集材回数 ( $N_h$ ) を次の式によって求める。

$$N_h = \frac{50}{T_t}$$

7. 就業 1 時間当りの集材材積 ( $V_h$ ) を次の式によって求める。

$$V_h = (V_m)(N_h)$$

- (3) MÉGILLE の算出方法： 全幹集材作業を対象にしている。

1. 作業地の標高，気温，及びトラクターの損耗程度に応じて，トラクターの標記牽引出力を修正する。

2. 修正された牽引出力にもとづいて計算したトラクターの最大駆動力と，路面に対するトラクターの粘着力とを比較し，変速歯車位置を考慮して，トラクターの利用可能な最大牽引力を算定する。

3. トラクターが一度に牽引得る最大丸太重量 ( $W$  ton) を次の式によって求める。但し水平路面における値。

$$\text{地曳集材作業の場合： } W = \frac{\text{トラクターの最大牽引力 (kg)}}{\text{丸太 1 ton 当りの牽引抵抗 (kg)*}}$$

アーチ集材作業の場合： 丸太の重量はアーチと地面に半分ずつ配分されると仮定する。

$$W = \frac{\text{トラクターの最大牽引力 (kg)} - \text{アーチの荷重 1 ton 当りの転動抵抗 (kg)} \times \text{アーチの重量 (ton)}}{\frac{\text{アーチの荷重 1 ton 当りの転動抵抗 (kg)} + \text{丸太 1 ton 当りの摺動抵抗 (kg)*}}{2}}$$

\* 立木の胸高直径によって異なる。従来の実績にもとづいて作られた表から求める。

4. 路面の傾斜の影響を考慮して  $W$  の修正値を求める。  
5. トラクターが一度に牽引し得る最大丸太材積 ( $V_m$  m<sup>3</sup>) を次の式によって求める。

$$V_m = \frac{W}{\text{丸太の比重}}$$

6. トラクターが一度に牽引し得る最大丸太本数 ( $L_m$ ) を次の式によって求める。

$$L_m = \frac{V_m}{\text{丸太 1 本当りの材積 (m}^3\text{)}}$$

7. トラクターの集材サイクルタイム ( $T_t$  min) を次の式によって求める。

上山、下山の速度は積み荷に拘らずそれぞれ一定であると仮定する。

$$T_t = \left[ \frac{60 \times \text{集材距離 (km)}}{\text{上山速度 (km/hr)}} + \frac{60 \times \text{集材距離 (km)}}{\text{下山速度 (km/hr)}} \right] (1+0.15^*)$$

+ {丸太1本当りの荷集め時間 (min) ×  $L_m$ }\*\* + 集材1回当りの折返し時間 (min) + 丸太1本当りの荷おろし時間 (min) ×  $L_m$

\* 林内作業の困難性に起因する修正係数。

\*\* { } 内は原書の実例においては書かれていないが、他の部分の記述から判断して筆者が書き加えた。

8. 路面の条件、労務者の技倆、及び機具の管理・保守の状態にもとづき、就業1時間当りの損失時間\* (min)を60分から差し引いて、有効作業時間 ( $E$  min)を求める。

$$E = 60 - \text{損失時間}$$

\* 従来の実績にもとづいて作られた表から求める。

9. 1日の集材回数 ( $N_t$ )を次の式によって求める。

$$N_t = \frac{E \times \text{1日の就業時間数}}{T_t}$$

10. 1日の集材材積 ( $V_t$  m<sup>3</sup>)を次の式によって求める。

$$V_t = V_m \times N_t$$

11. トラクターが常に計算上の最大集材材積の丸太を牽引し得るとは限らないから、1年間を通じた平均の1日当り功程は、以上の計算によって求めた  $V_t$  の1/2~1/3と考える事が望ましい。

(4) 藤林・大河原・鈴木の算出方法

1. トラクターの集材サイクルタイムを、集材、運材及び荷卸の時間に分類する。

(筆者の分類に従えば、それぞれ荷集め、往復及び荷おろしの時間になる)

2. 集材及び荷卸の時間に関しては、集材1回当りの値の平均値を求め、運材の時間に関しては、1回の集材における値の、集材距離に対する回帰を求める。

3. 集材1回当りの、集材、運材及び荷卸の時間を右の表のようにあらわし、集材1回当りの集材材積を  $V_t$  (石)であらわし、実働1時間当りの功程 ( $V_h$  石)を次の式によって求める。

$$V_h = \frac{V_t \times 60}{BX + A + C + D}$$

作 業	所要時間(分)
集 材	A
運 材	BX+C
荷 卸	D
計	BX+A+C+D

(5) 白金の算出方法： 地曳集材作業を対象にしている。

X は集材距離 (m)  
B は回帰係数  
C は回帰常数

1. トラクターの集材サイクルタイムを、回送、積込、運行及び荷卸の時間に分類する。

(筆者の分類に従えば、それぞれ上山、荷集め、下山及び荷おろしの時間になる)

2. 回送及び運行の時間に関しては、観測値の総和から集材距離 100 m 当りの平均値を求め、積込及び荷卸の時間に関しては、観測値の総和から丸太 1 石当りの平均値を求める。

3. トラクターの集材サイクルタイム ( $T_i$  分) を次の式によって求める。

$$T_i = \left[ 100 \text{ m 当りの回送時間 (分)} + 100 \text{ m 当りの運行時間 (分)} \right] \times \frac{\text{集材距離 (m)}}{100} \\ + \left[ 1 \text{ 石当り積込時間 (分)} + 1 \text{ 石当り荷卸時間 (分)} \right] \\ \times \text{集材 1 回当りの集材材積 (石)}$$

4. 1 日当りの集材材積 ( $V_i$  石) を次の式によって求める。

$$V_i = \frac{\text{1 日の実働時間 (分)}}{T_i} \times \text{集材 1 回当りの集材材積 (石)}$$

(6) 大沢・小島の算出方法

1. トラクターの集材サイクルタイムを、往復及び、荷集め・荷おろしの時間に大別する。

2. 集材材積 (石) と集材距離 (m) の相乗積を運搬作業量 (石-m) と名づける。

3. 往復の時間 (分) を運搬作業量で除した商を、往復指数 (分/石-m) と名づける。

4. 荷集め・荷おろしの時間 (分) を集材材積 (石) で除した商を荷集め・荷おろし指数 (分/石) と名づける。

5. 或る集材距離の場合の丸太 1 石当りの集材サイクルタイム ( $T_v$  分) を次の式によって求める。

$$T_v = \text{往復指数の総和平均値} \times \text{集材距離} + \text{荷集め・荷おろし指数の総和平均値}$$

(7) 川口・植野の算出方法

1. トラクターの集材サイクルタイム ( $T_i$  分) の、集材距離 (m) と 1 回の集材における集材材積 (石) に対する関係を、重回帰方程式によつて表わす。

2. 1 日当りの集材回数 ( $N$ ) を次の式によって求める。

$$N = \frac{\text{1 日の実働時間 (分)}}{T_i}$$

3. 1 日当りの集材材積 ( $V_i$  石) を次の式によって求める。

$$V_i = \text{集材 1 回当りの丸太の材積 (石)} \times N$$

(8) 佐々木・神崎・村上・山根の算出方法：アーチ集材作業を対象にしている。

1. トラクターの集材サイクルタイムを、次のように分類する。

1. a) チョーカー取付けに要する時間 ( $t_{1a}$ )
1. b) 丸太の木口揃えに要する時間 ( $t_{1b}$ )
1. c) ウインチによる丸太の吊込みに要する時間 ( $t_{1c}$ )
1. d) 丸太牽引(下山)に要する時間 ( $t_{1d}$ )
1. e) 荷外しに要する時間 ( $t_{1e}$ )
1. f) 土場での方向変換に要する時間 ( $t_{1f}$ )
2. a) 空牽引(上山)に要する時間 ( $t_{2a}$ )
2. b) 伐採地での方向変換に要する時間 ( $t_{2b}$ )
2. c) ウインチのワイヤーロープの引出しに要する時間 ( $t_{2c}$ )

2. トラクターの集材サイクルタイム ( $T_A$  分) を次の式によって求める。

$$T_A = (t_{1a} + t_{1b} + t_{1c} + t_{1d} + t_{1e} + t_{1f}) + (t_{2a} + t_{2b} + t_{2c})$$

$$= (0.7n + xn + l_c/V_o + l_d/0.6 V_{T0} + 0.2n + 3.0) + (l_d/0.8 V'_{T0} + 3.0 + l_c/20)$$

ただし、0.7 は丸太1本当りのチョーカー取付け時間(分)

$n$  は1回の集材における集材丸太の本数

$x$  は丸太1本当りの木口揃え時間(分)

$l_c$  はウインチによる丸太吊込みの距離(m)

$V_o$  は平均丸太吊込み速度(m/分)

$l_d$  は下山距離(斜距離)(m)

0.6 は平均下山速度を求める係数

$V_{T0}$  は最大限界下山速度(m/分)

0.2 は丸太1本当りの荷外し時間(分)

3.0 は土場又は伐採地における平均方向変換時間(分)

0.8 は平均上山速度を求める係数

$V'_{T0}$  は最大限界上山速度(m/分)

20 は荷掛夫の平均歩行速度(m/分)

3. トラクターが一度に牽引し得る丸太の重量 ( $W$  kg) を次の2つの式によって求める。

$$W \leq \frac{T_w}{f_i \cos \alpha \pm \sin \alpha}$$

$$W \leq \frac{75 \times 60 \eta N / V_{T0} - W_S (f_S \cos \theta^* \mp \sin \theta) - W_T (f_T \cos \theta^* \mp \sin \theta)}{\{\mu k + (1 - k) f_S\} \cos \theta \mp \sin \theta}$$

ただし、 $T_w$  はウインチの引張力(kg)

$f_i$  はウインチによる吊込みの場合の、丸太と地面との摺動抵抗係数

$\alpha$  は吊込みの際の地面の傾斜角 (度)

75×60 は、トラクターのエンジンの出力 (PS) と速度 (m/分) から牽引力 (kg) を求める場合の係数

$\eta$  はトラクターの動力伝達機構の機械効率

$N$  はエンジンの出力 (PS)

$V_{T0}$  は最大限界下山速度 (m/分)

$W_S$  はアーチの重量 (kg)

$f_S$  はアーチの走行抵抗係数

$\theta$  は下山路面の勾配 (度)

$W_T$  はトラクターの重量 (kg)

$f_T$  はトラクターの走行抵抗係数

$\mu$  はアーチによる吊上げ牽引の場合の丸太と路面との摺動抵抗係数

$k$  は丸太の全重量に対する、サルキーに配分される丸太重量の割合

( $\mp$ ) の複号のうち, (+) は登坂の場合, (-) は降坂の場合に対応する

\*  $\cos \theta$  は原著においては書かれていないが原著の他の部分の記述から判断して筆者が書き加えた。

4. (筆者の補足説明:  $T_A$  と  $W$  とを用いれば, 単位時間当りの集材丸太重量を容易に計算することができる。

(9) 米田の算出方法

1. ウインチで木寄せを行なう場合のトラクターの集材サイクルタイム ( $t$  分) を次の式によって求める。

$$t = \frac{2X}{V} + \frac{2W_{std} \cdot x}{w \cdot v} + I$$

ただし,  $X$  は集運材(下山)距離 (m)

$V$  は往復の平均速度 (m/min)

$W_{std}$  は1回の集材における標準牽引量 (kg)

$x$  は木寄せ距離 (m)

$w$  はウインチで1回に引寄せられる丸太の重量 (kg)

$v$  はウインチの捲取, 捲戻の平均速度 (m/min)

$I$  は1サイクル当り待時間(分) [荷を結束してトラクターにとり付ける時間, 荷おろし時間, 交叉のための時間など]

2. 1日の集材回数 ( $N$ ) を次の式によって求める。

$$N = \frac{\text{1日の実働時間(分)}}{t}$$

3. 1日の標準集材重量 ( $S$  kg) を次の式によって求める。

$$S = N \cdot W_{std}$$

(10) 小山の算出方法

1. トラクターの集材サイクルタイム ( $T_0$  分) を次の式によって求める。

$$T_0 = ml_1 \left( \frac{1}{v} + \frac{1}{v_1} \right) + \frac{l_2}{0.75} \left( \frac{1}{V_0} + \frac{1}{v_0} \right) + \frac{0.3 l_2}{0.75 V_0} + (2m+1)$$

ただし,  $m$  はウインチのワイヤーロープ延伸回数

$l_1$  はウインチのワイヤーロープ延伸距離 (m)

$v$  はウインチのワイヤーロープ延伸速度 (m/min)

$v_1$  はウインチの丸太引寄せ速度 (m/min)

$l_2$  はトラクターの走行距離 (片道) (m)

0.75 は平均速度を求める係数

$V_0$  は上山走行常用最大速度 (m/min)

$v_0$  は下山走行常用最大速度 (m/min)

0.3 は方向転換時の走行距離および準備走行距離を求める係数

2 はウインチのワイヤーロープ延伸準備および作業員到着までの時間と, ウインチによる丸太引寄せのための荷かけ時間との和 (分)

1 は土場における荷のとりはずしの時間 (分)

2. 1日の集材回数 ( $N_H$ ) を次の式によって求める。

$$N_H = \frac{60 \cdot H \cdot \eta_0}{T_0}$$

ただし, 60 は1時間を分で表わした値

$H$  は1日の稼働時間数

$\eta_0$  は稼働率

3. 1日の集材材積 ( $W_H$  石) を次の式によって求める。

$$W_H = N_H \times W_i$$

ただし,  $W_i$  は1回の集材における集材材積 (石)

(11) 森岡の算出方法

1. トラクターの集材サイクルタイムを集材時間と運材時間とに分類する。

(筆者の分類に従えばそれぞれ, 荷集めの時間及び往復と荷おろしの時間になる)

2. 1回の集材時間 ( $t$  分) のウインチによる丸太引寄せ距離に対する回帰を求める。

3. 1回の運材時間 ( $t'$  分) の, 下山距離に対する回帰を求める。

4. トラクター集材作業の1日 (8時間) の集材材積 ( $Q$  m<sup>3</sup>) を次の式によって求める。

$$Q = \frac{480 \rho \cdot q}{t+t'}$$

ただし, 480 は8時間を分単位で表わした値

$\rho$  は実働率

$q$  は1回の集材における集材材積 ( $m^3$ )

### 第3節 論 評

以上において述べられた功程算出方法について総括的に論評すれば次の通りである：即ち前出の文献 ①, ②, ③, ⑤, ⑥, ⑧, ⑨, ⑩ によって示されている方法は、ウィンチつきトラクターによる地曳又はアーチ集材作業を、前述した如き巨視的な立場から循環作業と考え、集材サイクルタイムを、推理にもとづく仮定に従って、幾つかの因子に分析する。そして各種の時間因子の値を実測値または既存の資料によって定め、それらを総合し、更にその結果と、トラクターが1回の集材において牽引する丸太の材積との関係によって功程を算出する方法である。

この種の方法を誘導する場合に、集材サイクルタイム及びトラクターの牽引し得る丸太の材積に関して考えられる条件因子を全部取り上げるならば、原理上は極めて精密で且つ適応性の大きい方法を誘導することができるはずである。実際にはあまり複雑な方法はその誘導も使用も困難であるから、いずれの方法においても仮定を設けて数式の簡単化を図り、また実測すべき因子を特に重要なもののみ限定してその数をなるべく少なくしている。仮に、考えられる因子全部を取り上げたとしても、なお気付かれないが故に、取り上げられない因子があるであろう。いずれにしても、取り上げられない因子の影響はこの種の方法に従う場合には、全く無視されるわけである。

またこの種の方法においては、取り上げられる因子の数を極力少なくしても、全部を実測によって求めるのは一般に容易な事ではない。文献 ①, ②, ③ 及び ⑩ においてはその対策の1つとして、既存の資料にもとづく値を紹介しているが、MATTHEWS D, M.<sup>②74, 75</sup>, BROWN, N.C.<sup>②176</sup> 及び小山<sup>②34</sup>、が述べているように、これらの数値はあくまでも1つの目安として用いられるべきものである。また因子の数をあまり少なくすると、方法を適用する場合の手数は省けるが、算出結果の正確度があまりにも低くなる恐れがある。

文献 ④, ⑦, 及び ⑪ の中で述べられている方法は、トラクターの集材サイクルタイムを算出するのに回帰方程式即ち一種の実験式を用いるという点において、上述の八つの方法と根本的に異なっている。

今、事物の**全体**とそれを構成する**因子**という概念を用いてこれを説明すれば次のようになる。即ち、先に述べられた諸方法が、集材サイクルタイム又は単位材積当り集材サイクルタイムの個々の**因子**の値を、作業条件に応じて推定し、それらを総合して**全体**を算出するという考え方から対し、文献 ④, ⑦, 及び ⑪ における方法は、各種の作業条件の下における**全体**の実測値を求め、これを基本として、実測の範囲内の作業条件の変動と、**全体**の値の変動との関係を、確率論にもとづいて推定するという考え方から

ている。

前者の考え方によれば、先にも述べた様に取り上げられていない因子の影響は全く無視されるわけであるが、後者の考え方によれば、変数として個別的に認定されていない雑多な因子の影響は、ある程度まで方程式の中に包含されるのである。

所で、先に述べた昭和 31 年 (1956) に行なわれた時間研究の際に、筆者は下記の事を経験した。

即ち、トラクター集材作業において木寄せが別途に予め完了している場合には、荷集めと下山との区別が判然とするが、トラクターの作業の 1 サイクルの中にトラクターによる木寄せが含まれる場合には、荷集めと下山とを区別し難い場合が屢々生ずる、という事を経験した。

このような場合には当然、荷集めの時間と下山の時間の判別が不可能になる。

回帰方程式によって集材サイクルタイムを表現する場合には、1 サイクル全体の所要時間を測定すればよいから、上述の如き不都合は生じない。

また、文献 ①～③、⑤～⑦ の中で述べられている方法においては、下山距離と集材距離とを区別しない事が多い。

即ち、各回の集材作業における全集材距離からウインチによる丸太引寄せ距離を差引いたもの(下山距離)の 2 倍と往復時間とからトラクターの往復速度を計算すべき所を、そうしないで、全集材距離をそのまま下山距離とみなして計算する場合が多い<sup>(185)</sup>。こうすると平均往復速度が過大に算出され、従って功程も過大に算出される。文献 ④、⑦、及び ⑩ における方法を用いる場合には下山距離の測定は不要であるから、このような不都合を生ずることがない。

さて、功程の算出に回帰方程式を用いる場合に、独立変数の箇数が多ければ多い程、作業条件に対する適応性が大きいわけであるが、一方において、回帰方程式の計算は変数の数が多くなるに従って、手数を要する程度を急激に増すので、この方法を用いる場合には実用上独立変数の数を精々 3～4 ケ程度以下に留めなければならない。また方程式の型は 1 次多項式になし得るものに限られる。このために、回帰方程式による功程算出方法の色々な作業条件に対する適応性は、重回帰方程式を用いてもあまり大きくはなし得ない。

結局、功程算出の方法に対して大きな適応性を望む場合には因子に分析し総合する方法を、高い正確さを望む場合には回帰方程式を用いる方法を採用するのが妥当である。

以上の如く、回帰方程式による功程算出方法は大きな長所を有しているが、回帰方程式の中、特に重回帰方程式による方法を、ウインチつきトラクターによるアーチ集材作業又は地曳集材作業に関して検討している文献は余りにも少ない。

現在までに筆者が確認し得たものは文献 ⑦ のみである。筆者はこの点に着目し、重



回帰方程式による功程算出の方法について、探求を試みた。

#### 第4章 作業功程と作業客体の条件との関係の探求

##### 第1節 作業功程に影響を及ぼす作業客体因子

この事に関し文献を渉猟した結果を以下に要約する。

MATTHEWS<sup>51)</sup>(72-75) は、功程に影響を与える最も重要な物理的因子は、地形、地面の状況、林床植物、丸太の樹種、立木の大きさ、であると述べている。その他文章に明記してはいないが、論述の内容から判断すれば、集材距離、丸太の直径と長さ、樹形、節の数と形、牽引される材の向き(元口が前か末口が前かの区別)、等を重要なものとしている。

BROWN<sup>2)</sup>(176-180) は、樹木の直径、丸太1 ton 当りの牽引抵抗、丸太1本の重量、丸太の長さ、集材距離、地形、土壌の条件、林床植物、作業地の高さ、気候状態、丸太の散在密度が重要であると述べている。

MÉGILLE<sup>52)</sup>(2,56,74,75) は、作業地の地形、気候、土地、丸太の太さ、集材距離が主なものであると述べている。藤林等<sup>7)</sup> は、往復時間は集材距離の影響を受ける、と述べている。また白金<sup>6)</sup> は、作業功程は地形、集材距離、針葉樹広葉樹の別、丸太の石廻り、等に左右されると述べている。大沢・小島<sup>68)</sup> は、作業地の傾斜、集材される丸太1本当りの材積、集材距離を、重要因子として取り上げている。川口・植野<sup>29)</sup> は、作業客体の因子として集材距離だけを取り上げている。

佐々木等<sup>89)</sup> は、丸太1本の重量、丸太の太さ、土質、地被植物、土壌の乾湿、丸太の樹種、丸太の剥皮の有無、丸太のトキノの有無、材の梢端部枝条の有無、搬出距離、丸太の重心位置、丸太の長さ、地面の障害物、地形、土場の広さ等が重要であると述べている。

佐々木等<sup>85)</sup> はまた、時刻、天候、湿度、温度、地形、土質、勾配、丸太1本当りの材積、樹種、伐倒方向、立木密度、集材距離、障害物の有無、土場の広さ等が重要であると述べている。

米田<sup>114)</sup> は、樹種、丸太の径級、剥皮の有無、土質(硬さ、成分、水分)地形、立木の大きさ、搬出路の勾配及び曲線、搬出距離、天候、採材方法を挙げている。

小山<sup>46)</sup> は、搬出路の勾配、集材距離、搬出路の曲線及び土質、路面の良否、などを挙げている。森岡<sup>58)</sup> は、作業条件のうち功程に対して最も支配的と思われる因子は、集材距離(一般に云う集材距離)であると述べている。

以上の様に12篇の文献において、約30に及ぶ作業客体因子が、功程に影響を与えるものとして取り上げられている。考察の仕方を更に詳細にすれば、取り上げるべき因子の数はいくらでも多くなり得る事は容易に理解されるであろう。

作業客体の条件に対する作業功程の回帰を表現する場合に、これらの30に及ぶ作業

客体因子のうちのどれを取上げるかを決定する事は、極めて困難な問題である。1つの目安として、或る因子を前出の12の文献の中の何篇が取り上げているかを調べて、数の多い順序に列挙してみると右の通りである。

作業客体因子の種類	これを取り上げている文献の篇数
集材距離	12
丸太1本の大きさ(太さ又は材積)	8
作業地の地形	7
作業地の気候	5
作業地の土壌	5
丸太の樹種	5
その他	3~1

**第2節 重回帰方程式の型に関する検討**

一般に幾つかの関連した量が存在する

場合に、一つの量を推定するのに他の一つの量を補助に使うより、他の幾つかの量を使って推定する方が結果が精密になるのは当然である。しかし補助に使う量の数をあまり多くとると、理論的には精密になっても実際には計算がめんどろになって実行が困難になる。そこで一般に、推定せんとする量に変動を与える因子として、主要と考えられる三つか四つ以下の因子を取り上げ、残りの数多くの、或いは無限に多くの変動因子からの影響を決定論的に把握することを断念してしまう。そして取り上げられなかった無限に多くの因子からの影響を一括して、それは一つの偶然変量として作用してくるものと考えことにするのである。更にトラクター集材作業の工期に関しては、前出の作業客体因子全部を取り上げてみても、林業のデータの巨視的性質からみれば、それは無意味であると云える。それ故、実際に使用の可能な工期計算式を導くのが目的である場合には、技術上の知識、経験にもとづき、因子の中の主要なものを見出し、それについては厳密に測定及び計算を行なうのが効果的であると考えられる。

また回帰分析を行なう場合に、直線回帰又は平面回帰を想定することについては、次のように考えられる。即ち、或る種の曲線又は曲面は実測された現象に対してよく適合するかも知れないが、着目した現象のあらゆる場合に対して完全に適合する方程式が必ずしも見当るものではない。また現象の変化を生ずる主要原因の中の幾つかの要素を含む方程式は、現象の実態に対してある程度の妥当性を示すが、現象がその方程式の通りに生起するという確かな裏付けが理論的に証明されることは、林業の領域では殆んどないと云ってもいい。即ち、われわれはどのみち近似的な方程式を得ることで満足せざるを得ない。それ故回帰関係を表現するのに、いかなる曲線或いは曲面が適当であるか全く予想し得ない場合には、近似的な曲線又は曲面の一種と考へて、数学上の取扱いの容易な直線又は平面を用いるのは妥当な方法であると考えられる。

筆者はウィンチつきトラクターによるアーチ集材作業と地曳集材作業の工期を、作業客体条件を独立変数とする重回帰方程式を用いて算出する手順を決定するに当って、基本的な方針を次の如く定めた。即ち、「(1) 集材予定林分の一部において試験作業を行ない、

その作業に関して、業務統計の場合と余り変わらない程度の労力と経費で行なわれ得る測定を行ない、その結果にもとづいて、重回帰分析を行なう。(2) 作業実行の際に容易に採用し得る方程式を作る」。

然して重回帰方程式の従属変数としては、1回の集材における丸太1石当りの集材時間(以下略して石当り集材時間と云うことにする)を、独立変数としては、同じく集材距離と、丸太1本当りの材積(以下略して丸太石廻りと云うことにする。この場合「石」を、材積の単位としてではなく、「単位材積」又は「材積」と云う意味の言葉として用いている)とを取り上げた。この2種類の独立変数の値は、作業現場において作業の1サイクル毎に容易に測定することができ、また集材予定林分全体についてもかなり正確に予測することが可能である。

### 第3節 取り上げなかった作業客体因子に対する考え方

筆者が過去7年間に亘ってトラクター集材作業の功程研究に従事した経験と、本論文の第049頁にとりまとめて記載した他の研究者達の発表にもとづいて判断すれば、功程に大きな影響を及ぼす作業客体因子としては、今取り上げた二つの他に、作業地の地形、気候、及び土壌の状態、更に丸太の樹種を挙げることができる。

林分の地形を簡単な方法によって、集材作業功程に関連させて定量的に表現することは、現在においては不可能と云ってよい。それ故、試験作業の行なわれる林分の地形は、集材予定林分の地形をよく代表するものでなければならない。原理的に考えれば、予定林分全域に亘って無作為に多数の小林分を抽出し、その全部において試験作業を行なえば、代表するという条件を満足し得ることになるが、作業の流れと無関係に森林内の任意の林分において試験作業を実施することは、實際上不可能である。それ故、そこを着手点として作業を始め得るような林分の中から、経験にもとづいて、集材予定林分の地形をよく代表すると認定される林分、即ち森林調査における標準地に相当する林分を選んで行なった試験作業の成績を、最もよく地形を考慮した成績と考えざるを得ない。このようにして行なう試験を、標本調査論からは、地域抽出法による標本調査の一種と云うことができる。地形に関して代表地を選び出すことは、集材予定林分が平坦地である場合に最も簡単で且つ判定を誤る危険が少ない。

集材予定林分の気候は、試験作業林分が集材予定林分の一部であり、試験に引続いて本作業が行なわれる場合だけに限定して考え、且つ晴天と雨天のように明らかに差のあるごとがわかる状態については、集材予定林分の気象資料にもとづいて各種の気象状態における試験作業の回数の割合を定めるなど、別途に調整を行なえば、試験作業の場合と本作業の場合の条件に著しい変化はないと考えても差支えないであろう。

集材予定林分の土壌についても、地形の場合と同様に考えることができる。

丸太の樹種間の材積比率については、集材予定林分の毎木調査の結果によって、集材開始以前に予定林分全体についての値を予測し得るから、その予測にもとづいて試験作業林分における測定結果を取捨選択し、本作業の場合における丸太樹種間の材積比率に合致させるように調整することができる。然しながら一層概略的に考えて、試験作業林分における樹種、材種の混交状態が、集材予定林分のそれをはば代表するものと見なすならば、変量間の関係の大体の傾向を知るのが目的である場合には、特に調整しなくても差支えないことになる。

## 第5章 石当り集材時間を従属変数とする重回帰方程式の型の探求

### 第1節 集材距離と丸太石廻りを独立変数とした場合

前述のように考えた結果筆者は、石当り集材時間を、集材距離と丸太石廻りとを独立変数とする重回帰方程式によって推定することを妥当と判断した。以下に本論文の第032頁～第037頁において述べたアーチ集材作業と地曳集材作業に関する資料を用いて、重回帰方程式決定の手順を示すことにする。この2種類のトラクター集材作業について、本論文の第037頁で述べた1回の集材を測定単位として、石当り集材時間の、集材距離と丸太石廻りに対する関係を、重回帰方程式によってあらわすためには、各回の集材について、上記の3種類の変数の値を求め、更にそれらの平方和及び積和を求める必要がある。この目的のために、附表第1と附表第2から1つの計算表を誘導した。

この場合に、集材距離を  $X_1$  (m)、丸太石廻りを  $X_2$  (石)、石当り集材時間を  $Y$  (1/100 分) で表わした。なお以後の論述における集材時間の中には、附表第1における不可避損失時間が含まれており、可避損失時間は含まれていない。

各変数の平方和、積和から、偏差平方和、偏差積和及び相関係数を組織的計算法によって求めた。その過程は第11表のI及びIIに示されている。それに続く計算の過程は次の通りである。

アーチ集材作業の場合

$Y$  の推定値を  $\hat{Y}$ 、 $Y$  の  $X_1$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y1.2}$ 、 $Y$  の  $X_2$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y2.1}$  であらわせれば、次の重回帰方程式が成立つ。

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y1.2} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1^2}}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y2.1} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2^2}}} (X_2 - \bar{x}_2)$$

変数に対して最小自乗の原理を適用すると、次の1対の連立正規方程式が得られる。

$$b'_{Y1.2} + r_{12} b'_{Y2.1} = r_{Y1}$$

$$r_{12} b'_{Y1.2} + b'_{Y2.1} = r_{Y2}$$

第11表のI 偏差平方和、偏差積および相関係数を求める表 (アーチ集材作業)

$N_0=128$		$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
和		$SX_i$	$SX_1= 8072$	$SX_2= 165.39$	$SY= 33234$
平均		$\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$\bar{x}_1= 63.0625$	$\bar{x}_2= 1.2921$	$\bar{y}= 259.6406$
$X_1$	(1) 平方和、積和		$SX_1^2=793322$	$SX_1X_2= 9948.74$	$SX_1Y= 2586387$
	(2) 補正項		$(SX_1)^2/N_0=509040.5000$	$(SX_1)(SX_2)/N_0=10429.9069$	$(SX_1)(SY)/N_0= 2095819.1250$
	(3) 偏差平方和、偏差積和 (1)-(2)		$Sx_1^2=284281.5000$	$Sx_1x_2= -481.1669$	$Sx_1y= 490567.8750$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積		$\sqrt{Sx_1^2}= 533.1806$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2}= 5069.2679$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2}= 966419.1624$
	(5) 相関係数 (3)/(4)			$r_{12}= -0.0949$	$r_{Y1}= 0.5076$
$X_2$	(1) 平方和、積和			$SX_2^2= 304.0957$	$SX_2Y= 36163.35$
	(2) 補正項			$(SX_2)^2/N_0= 213.7020$	$(SX_2)(SY)/N_0= 42941.9630$
	(3) 偏差平方和、偏差積和 (1)-(2)			$Sx_2^2= 90.3937$	$Sx_2y= -6778.6130$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積			$\sqrt{Sx_2^2}= 9.5076$	$\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2}= 17233.0479$
	(5) 相関係数 (3)/(4)				$r_{Y2}= -0.3933$
$Y$	(1) 平方和				$SY^2=11914252$
	(2) 補正項				$(SY)^2/N_0= 8628896.5313$
	(3) 偏差平方和 (1)-(2)				$Sy^2= 3285355.4687$
	(4) $\sqrt{(3)}$				$\sqrt{Sy^2}= 1812.5550$
	(5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$s_y= 160.8382$

 $N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

第 11 表の II 偏差平方和、偏差積および相関係数を求める表 (地曳集材作業)

	$N_0=167$	$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
	和 平均	$SX_i$ $\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$SX_1 = 18640$ $\bar{x}_1 = 111.6168$	$SX_2 = 200.10$ $\bar{x}_2 = 1.1982$	$SY = 47985$ $\bar{y} = 287.3353$
$X_1$	(1) 平方和、積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和、偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)		$SX_1^2 = 2746612$ $(SX_1)^2/N_0 = 2080536.5269$ $Sx_1^2 = 666075.4731$ $\sqrt{Sx_1^2} = 816.1345$	$SX_1X_2 = 21860.03$ $(SX_1)(SX_2)/N_0 = 22334.5150$ $Sx_1x_2 = -474.4850$ $\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sx_2^2} = 6964.4021$ $r_{12} = -0.0681$	$SX_1Y = 6199043$ $(SX_1)(SY)/N_0 = 5355930.5389$ $Sx_1y = 843112.4611$ $\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sy^2} = 1752290.2293$ $r_{Y1} = 0.4811$
$X_2$	(1) 平方和、積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和、偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)			$SX_2^2 = 312.5802$ $(SX_2)^2/N_0 = 239.7605$ $Sx_2^2 = 72.8197$ $\sqrt{Sx_2^2} = 8.5334$	$SX_2Y = 46778.98$ $(SX_2)(SY)/N_0 = 57495.7994$ $Sx_2y = -10716.8194$ $\sqrt{Sx_2^2} \sqrt{Sy^2} = 18321.7269$ $r_{Y2} = -0.5849$
$Y$	(1) 平方和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和 (1)-(2) (4) $\sqrt{(3)}$ (5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$SY^2 = 18397655$ $(SY)^2/N_0 = 13787785.7784$ $Sy^2 = 4609869.2216$ $\sqrt{Sy^2} = 2147.0606$ $s_y = 166.6442$

$N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

この方程式を解くと次の公式が得られる。

$$b'_{Y_1.2} = \frac{r_{Y_1} - r_{Y_2}r_{12}}{1 - r_{12}^2}, \quad b'_{Y_2.1} = \frac{r_{Y_2} - r_{Y_1}r_{12}}{1 - r_{12}^2}$$

第11表のIにもとづいて数字を代入すると、

$$b'_{Y_1.2} = \frac{0.5076 - (-0.3933)(-0.0949)}{1 - (-0.0949)^2} = \frac{0.5076 - 0.0373}{1 - 0.0090} = \frac{0.4703}{0.9910} = 0.4746$$

$$b'_{Y_2.1} = \frac{-0.3933 - (0.5076)(-0.0949)}{1 - (-0.0949)^2} = \frac{-0.3933 + 0.0482}{0.9910} = \frac{-0.3451}{0.9910} = -0.3482$$

重回帰方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= 259.6406 + 0.4746 \frac{1812.5550}{533.1806} (X_1 - 63.0625) - 0.3482 \frac{1812.5550}{9.5076} (X_2 - 1.2921) \\ &= 259.6406 + 1.6134 (X_1 - 63.0625) - 66.3818 (X_2 - 1.2921) \\ &= 259.6406 + 1.6134 X_1 - 101.7450 - 66.3818 X_2 + 85.7719 \\ &= 243.6675 + 1.6134 X_1 - 66.3818 X_2 \dots\dots\dots (1a) \end{aligned}$$

Yと $\hat{Y}$ の間の相関を示す値、即ち重相関係数をRであらわせば、Rを次の公式によってみちびくことができる。

$$R^2 = r_{Y_1} b'_{Y_1.2} + r_{Y_2} b'_{Y_2.1}$$

数字を代入すると、

$$R^2 = (0.5076)(0.4746) + (-0.3933)(-0.3482) = 0.2409 + 0.1369 = 0.3778$$

$$\therefore R = 0.6147$$

推定の標準誤差、即ち回帰からの標準偏差を $s_{Y.12}$ であらわせば、 $s_{Y.12}$ を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{Y.12} = \sqrt{\frac{(1 - R^2) S_y^2}{N_0 - m}}$$

数字を代入すると、

$$\begin{aligned} s_{Y.12} &= \sqrt{\frac{(1 - 0.3778)(3285355.4687)}{128 - 3}} = \sqrt{\frac{(0.6222)(3285355.4687)}{125}} \\ &= \sqrt{\frac{2044148.1726}{125}} = \sqrt{16353.1854} = 127.8796 \end{aligned}$$

重回帰全体としての有意性の検定は、Rの有意性の検定と全く同一である。即ち回帰による平均平方が回帰によっては説明のつかない項の平均平方に比べて、著しく大きいかどうかを、Fをつかって検定するのである。これを行なうために分散分析の形を作れば、次のようになる。

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m-1=2$	$R^2Sy^2=1241207.2961$	$R^2Sy^2/(m-1)=620603.6481$	$m=3$
推定の誤差	$N_0-m=125$	$(1-R^2)Sy^2=2044148.1726$	$(1-R^2)Sy^2/(N_0-m)=16353.1854$	$N_0=128$
全体	$N_0-1=127$	$Sy^2=3285355.4687$		$R^2=0.3778$

$F=620603.6481/16353.1854=37.9500$

$F$  分布表によれば  $F_{125}^2(1\%)=4.78$  であるから、 $R$  は極めて有意である。

従って重回帰は極めて有意である。

二つの  $b'$  の標準誤差は等しく、これを  $s_{b'}$  であらわせば、 $s_{b'}$  を次の公式によって導くことができる。

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}}$$

数字を代入すると、

$$\begin{aligned} s_{b'} &= \sqrt{\frac{1-0.3778}{[1-(-0.0949)^2](128-3)}} = \sqrt{\frac{0.6222}{(1-0.0090)(125)}} = \sqrt{\frac{0.6222}{(0.9910)(125)}} \\ &= \sqrt{\frac{0.6222}{123.8750}} = \sqrt{0.005023} = 0.07087 \end{aligned}$$

$b'$  の有意性を検定するための  $t$  の値を次の公式によって導くことができる。

$$t = b'/s_{b'}$$

数字を代入すると、

$b'_{Y1.2}$  に対しては、

$$t = b'_{Y1.2}/s_{b'} = 0.4746/0.07087 = 6.697$$

$b'_{Y2.1}$  に対しては、

$$t = b'_{Y2.1}/s_{b'} = 0.3482/0.07087 = 4.913$$

$b'$  の符号はここでは問題にならない。

$t$  分布表によれば、自由度 125 に対しては、

$$t(5\%)=1.979, \quad t(1\%)=2.616$$

であるから、二つの  $b'$  は共に極めて有意である。

アーチ集材作業の場合に用いたのと全く同じ方法で、地曳集材作業の場合に関する各種の計算を行なえば次のようになる。

標準偏回帰係数:

$$b'_{Y1.2} = \frac{r_{Y1} - r_{Y2}r_{12}}{1-r_{12}^2} = \frac{0.4811 - (-0.5849)(-0.0681)}{1-(-0.0681)^2} = \frac{0.4811 - 0.0398}{1-0.0046}$$



$$= \frac{0.4413}{0.9954} = 0.4433$$

$$b'_{Y_2,1} = \frac{r_{Y_2} - r_{Y_1}r_{12}}{1 - r_{12}^2} = \frac{-0.5849 - (0.4811)(-0.0681)}{1 - (-0.0681)^2} = \frac{-0.5849 + 0.0328}{1 - 0.0046}$$

$$= \frac{-0.5521}{0.9954} = -0.5547$$

重回帰方程式：

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y_1,2} \frac{\sqrt{Sy^2}}{\sqrt{Sx_1^2}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_2,1} \frac{\sqrt{Sy^2}}{\sqrt{Sx_2^2}} (X_2 - \bar{x}_2)$$

$$= 287.3353 + 0.4433 \frac{2147.0606}{816.1345} (X_1 - 111.6168) - 0.5547 \frac{2147.0606}{8.5334} (X_2 - 1.1982)$$

$$= 287.3353 + 1.16623 (X_1 - 111.6168) - 139.5662 (X_2 - 1.1982)$$

$$= 287.3353 + 1.1662 X_1 - 130.1675 - 139.5662 X_2 + 167.2282$$

$$= 324.3960 + 1.1662 X_1 - 139.5662 X_2 \dots\dots\dots (1b)$$

重相関係数：

$$R^2 = r_{Y_1} b'_{Y_1,2} + r_{Y_2} b'_{Y_2,1} = (0.4811)(0.4433) + (-0.5849)(-0.5547)$$

$$= 0.2133 + 0.3244 = 0.5377$$

$$\therefore R = 0.7333$$

推定の標準誤差，即ち回帰からの標準偏差：

$$s_{Y,12} = \sqrt{\frac{(1-R^2)Sy^2}{N_0 - m}} = \sqrt{\frac{(1-0.5377)(4609869.2216)}{167-3}} = \sqrt{\frac{(0.4623)(4609869.2216)}{164}}$$

$$= \sqrt{\frac{2131142.5411}{164}} = \sqrt{12994.7716} = 113.9946$$

重回帰全体としての有意性の検定：

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m-1=2$	$R^2 Sy^2 = 2478726.6805$	$R^2 Sy^2 / (m-1) = 1239363.3403$	$m=3$
推定の誤差	$N_0 - m = 164$	$(1-R^2) Sy^2 = 2131142.5411$	$(1-R^2) Sy^2 / (N_0 - m) = 12994.7716$	$N_0 = 167$
全体	$N_0 - 1 = 166$	$Sy^2 = 4609869.2216$		$R^2 = 0.5377$

$$F = 1239363.3403 / 12994.7716 = 95.3740$$

F分布表によれば， $F_{164}^2(1\%)$  は 4.75 と 4.71 の間にある。故に重回帰は極めて有意である。

標準偏回帰係数の標準誤差：

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}} = \sqrt{\frac{1-0.5377}{[1-(-0.0681)^2](167-3)}} = \sqrt{\frac{0.4623}{(1-0.0046)(164)}}$$

$$= \sqrt{\frac{0.4623}{(0.9954)(164)}} = \sqrt{\frac{0.4623}{163.2456}} = \sqrt{0.0028} = 0.0529$$

標準偏回帰係数の有意性の検定:

$b'_{Y_1.2}$  に対しては,

$$t = b'_{Y_1.2}/s_{b'} = 0.4433/0.0529 = 8.380$$

$b'_{Y_2.1}$  に対しては,

$$t = b'_{Y_2.1}/s_{b'} = 0.5547/0.0529 = 10.486$$

$b'$  の符号はここでは問題にならない。

$t$  分布表によれば、自由度 164 に対する  $t(1\%)$  は 2.609 と 2.601 の間にある。故に二つの標準偏回帰係数は共に極めて有意である。

(1 a) 式及び (1 b) 式は、前述の 3 変数の関係を最も単純な形で考え、それを平面回帰によって表現した結果である。この二つの式によれば、集材距離と丸太石廻りの実測値の範囲内でも、石当り集材時間の推定値が負の値となることがある。例えば、 $X_1$  に最小実測値を、 $X_2$  に最大実測値を代入すれば、

(1 a) 式の場合は、 $X_1=6$ ,  $X_2=6.63$

$$\begin{aligned} \therefore \hat{Y} &= 243.6675 + (1.6134)(6) - (66.3818)(6.63) \\ &= 243.6675 + 9.6804 - 440.1113 = -186.7634 \end{aligned}$$

(1 b) 式の場合は、 $X_1=8$ ,  $X_2=3.21$

$$\begin{aligned} \therefore \hat{Y} &= 324.3960 + (1.1662)(8) - (139.5662)(3.21) \\ &= 324.3960 + 9.3296 - 448.0075 = -114.2819 \end{aligned}$$

これは明らかに不合理である。そこでこの不合理を除くために筆者は若干の工夫を試みた。

## 第 2 節 丸太石廻りの代りに石当り丸太本数を用いた場合

(1 a) 式及び (1 b) 式においては丸太石廻りの偏回帰係数は負である。このために集材距離を或る一定の値にした場合に、丸太石廻りが極めて大きければ、石当り集材時間の推定値は負になるのである。実際には、集材される丸太の石廻りが如何に大きくても、石当り集材時間が 0 や負になる事はあり得ない。

丸太石廻りに対する石当り集材時間の関係を、直交座標を用い、前者を横軸にとって表わせば、上に凹な漸減曲線をなすと考えられる。この点に着目して筆者は、丸太石廻りの代りに、その逆数(以後石当り丸太本数と呼ぶことにする)を独立変数として用い、(1 a) 式及び (1 b) 式を求めた場合と同じ手順で計算を行なってみた。その過程は次の通りである。

附表第 1 と附表第 2 から、3 種類の変数の値を求め、更にそれらの平方和及び積和を求めた。この場合に、集材距離を  $X_1$  (m)、石当り丸太本数を  $X_2$  (本)、石当り集材時間を

第12表のI 偏差平方和, 偏差積および相関係数を求める表 (アーチ集材作業)

	$N_0=128$	$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
和 平均		$SX_i$ $\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$SX_1 = 8072$ $\bar{x}_1 = 63.0625$	$SX_2 = 137.25$ $\bar{x}_2 = 1.0723$	$SY = 33234$ $\bar{y} = 259.6406$
$X_1$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)		$SX_1^2 = 793322$ $(SX_1)^2/N_0 = 509040.5000$ $Sx_1^2 = 284281.5000$ $\sqrt{Sx_1^2} = 533.1806$	$SX_1X_2 = 9506.62$ $(SX_1)(SX_2)/N_0 = 8655.3281$ $Sx_1x_2 = 851.2919$ $\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2} = 3800.4047$ $r_{12} = 0.2240$	$SX_1Y = 2586387$ $(SX_1)(SY)/N_0 = 2095819.1250$ $Sx_1y = 490567.8750$ $\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2} = 966419.1624$ $r_{Y1} = 0.5076$
$X_2$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)			$SX_2^2 = 197.9737$ $(SX_2)^2/N_0 = 147.1685$ $Sx_2^2 = 50.8052$ $\sqrt{Sx_2^2} = 7.1278$	$SX_2Y = 42584.75$ $(SX_2)(SY)/N_0 = 35635.6758$ $Sx_2y = 6949.0742$ $\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2} = 12919.5295$ $r_{Y2} = 0.5379$
$Y$	(1) 平方和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和 (1)-(2) (4) $\sqrt{(3)}$ (5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$SY^2 = 11914252$ $(SY)^2/N_0 = 8628896.5313$ $Sy^2 = 3285355.4687$ $\sqrt{Sy^2} = 1812.5550$ $s_y = 160.8382$

 $N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

第12表のII- 偏差平方和、偏差積および相関係数を求める表 (地曳集材作業)

	$N_0=167$	$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
和		$SX_i$	$SX_1= 18640$	$SX_2= 187.24$	$SY= 47985$
平均		$\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$\bar{x}_1= 111.6168$	$\bar{x}_2= 1.1212$	$\bar{y}= 287.3353$
$X_1$	(1) 平方和, 積和		$SX_1^2=2746612$	$SX_1X_2=21656.77$	$SX_1Y= 6199043$
	(2) 補正項		$(SX_1)^2/N_0=2080536.5269$	$(SX_1)(SX_2)/N_0=20899.1234$	$(SX_1)(SY)/N_0= 5355930.5389$
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)		$Sx_1^2= 666075.4731$	$Sx_1x_2= 757.6466$	$Sx_1y= 843112.4611$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積		$\sqrt{Sx_1^2}= 816.1345$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2}= 6603.0994$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2}= 1752290.2293$
	(5) 相関係数 (3)/(4)			$r_{12}= 0.1147$	$r_{Y1}= 0.4811$
$X_2$	(1) 平方和, 積和			$SX_2^2= 275.3922$	$SX_2Y= 65876.92$
	(2) 補正項			$(SX_2)^2/N_0= 209.9330$	$(SX_2)(SY)/N_0= 53800.6671$
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)			$Sx_2^2= 65.4592$	$Sx_2y= 12076.2529$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積			$\sqrt{Sx_2^2}= 8.0907$	$\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2}= 17371.2232$
	(5) 相関係数 (3)/(4)				$r_{Y2}= 0.6952$
$Y$	(1) 平方和				$SY^2=18397655$
	(2) 補正項				$(SY)^2/N_0=13787785.7784$
	(3) 偏差平方和 (1)-(2)				$Sy^2= 4609869.2216$
	(4) $\sqrt{(3)}$				$\sqrt{Sy^2}= 2147.0606$
	(5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$s_y= 166.6442$

$N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

Y (1/100 分) で表わした。各変数の偏差平方和, 偏差積和, 及び相関係数を求めた組織的計算は第12表の I 及び II に示されている。それに続く計算の過程は次の通りである。

アーチ集材作業の場合

Y の推定値を  $\hat{Y}$ , Y の  $X_1$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y1.2}$ , Y の  $X_2$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y2.1}$  であらわせば, 次の重回帰方程式が成立つ。

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y1.2} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1^2}}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y2.1} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2^2}}} (X_2 - \bar{x}_2)$$

変数に対して最小自乗の原理を適用すると, 次の1対の連立正規方程式が得られる。

$$b'_{Y1.2} + r_{12} b'_{Y2.1} = r_{Y1}$$

$$r_{12} b'_{Y1.2} + b'_{Y2.1} = r_{Y2}$$

この正規方程式を解くと, 次の公式が得られる。

$$b'_{Y1.2} = \frac{r_{Y1} - r_{Y2} r_{12}}{1 - r_{12}^2}, \quad b'_{Y2.1} = \frac{r_{Y2} - r_{Y1} r_{12}}{1 - r_{12}^2}$$

第12表の I にもとづいて数字を代入すると,

$$b'_{Y1.2} = \frac{0.5076 - (0.5379)(0.2240)}{1 - (0.2240)^2} = \frac{0.5076 - 0.1205}{1 - 0.0502} = \frac{0.3871}{0.9498} = 0.4076$$

$$b'_{Y2.1} = \frac{0.5379 - (0.5076)(0.2240)}{1 - (0.2240)^2} = \frac{0.5379 - 0.1137}{1 - 0.0502} = \frac{0.4242}{0.9498} = 0.4466$$

重回帰方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= 259.6406 + 0.4076 \frac{1812.5550}{533.1806} (X_1 - 63.0625) + 0.4466 \frac{1812.5550}{7.1278} (X_2 - 1.0723) \\ &= 259.6406 + 1.3856 (X_1 - 63.0625) + 113.5676 (X_2 - 1.0723) \\ &= 259.6406 + 1.3856 X_1 - 87.3794 + 113.5676 X_2 - 121.7785 \\ &= 50.4827 + 1.3856 X_1 + 113.5676 X_2 \dots\dots\dots (2 a) \end{aligned}$$

Y と  $\hat{Y}$  の間の相関を示す値, 即ち重相関係数を R であらわせば, R を次の公式によってみちびくことができる。

$$R^2 = r_{Y1} b'_{Y1.2} + r_{Y2} b'_{Y2.1}$$

数字を代入すると,

$$R^2 = (0.5076)(0.4076) + (0.5379)(0.4466) = 0.2069 + 0.2402 = 0.4471$$

$$\therefore R = 0.6687$$

推定の標準誤差, 即ち回帰からの標準偏差を  $s_{Y.12}$  であらわせば,  $s_{Y.12}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{Y.12} = \sqrt{\frac{(1 - R^2) S_y^2}{N_0 - m}}$$

数字を代入すると,

$$s_{Y.12} = \sqrt{\frac{(1-0.4471)(3285355.4687)}{128-3}} = \sqrt{\frac{(0.5529)(3285355.4687)}{125}}$$

$$= \sqrt{\frac{1816473.0386}{125}} = \sqrt{14531.7843} = 120.5479$$

重回帰全体としての有意性の検定は、 $R$  の有意性の検定と全く同一である。即ち回帰による平均平方が、回帰によっては説明のつかない項の平均平方に比べて、著しく大きいかどうかを、 $F$  をつかって検定するのである。

これを行なうために分散分析の形を作れば次のようになる。

変 動 因	自 由 度	平 方 和	平 均 平 方	備 考
回 帰	$m-1=2$	$R^2Sy^2=1468882.4301$	$R^2Sy^2/(m-1)=734441.2151$	$m=3$
推定の誤差	$N_0-m=125$	$(1-R^2)Sy^2=1816473.0386$	$(1-R^2)Sy^2/(N_0-m)=14531.7843$	$N_0=128$
全 体	$N_0-1=127$	$Sy^2=3285355.4687$		$R^2=0.4471$
$F=734441.2151/14531.7843=50.5403$				

$F$  分布表によれば  $F_{125}^2(1\%)=4.78$  であるから、 $R$  はきわめて有意である。

従って重回帰はきわめて有意である。

二つの  $b'$  の標準誤差は等しく、これを  $s_{b'}$  であらわせば、 $s_{b'}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}}$$

数字を代入すると,

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-0.4471}{[1-(0.2240)^2](128-3)}} = \sqrt{\frac{0.5529}{(0.9498)(125)}} = \sqrt{\frac{0.5529}{118.7250}}$$

$$= \sqrt{0.004657} = 0.06824$$

$b'$  の有意性を検定するための  $t$  の値を次の公式によってみちびくことができる。

$$t = b'/s_{b'}$$

数字を代入すると,

$b'_{Y1.2}$  に対しては,

$$t = b'_{Y1.2}/s_{b'} = 0.4076/0.06824 = 5.973$$

$b'_{Y2.1}$  に対しては,

$$t = b'_{Y2.1}/s_{b'} = 0.4466/0.06824 = 6.545$$

$t$  分布表によれば、自由度 125 に対しては  $t(1\%)=2.616$  であるから、二つの  $b'$  は共

にきわめて有意である。

アーチ集材作業の場合に用いたのと全く同じ方法で、地曳集材作業の場合に関する各種の計算を行なえば次のようになる。

標準偏回帰係数：

$$b'_{Y_1.2} = \frac{r_{Y_1} - r_{Y_2}r_{12}}{1 - r_{12}^2} = \frac{0.4811 - (0.6952)(0.1147)}{1 - (0.1147)^2} = \frac{0.4811 - 0.0797}{1 - 0.0132} \\ = \frac{0.4014}{0.9868} = 0.4068$$

$$b'_{Y_2.1} = \frac{r_{Y_2} - r_{Y_1}r_{12}}{1 - r_{12}^2} = \frac{0.6952 - (0.4811)(0.1147)}{1 - (0.1147)^2} = \frac{0.6952 - 0.0552}{1 - 0.0132} \\ = \frac{0.6400}{0.9868} = 0.6486$$

重回帰方程式：

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y_1.2} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1}^2}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_2.1} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2}^2}} (X_2 - \bar{x}_2) \\ = 287.3353 + 0.4068 \frac{2147.0606}{816.1345} (X_1 - 111.6186) + 0.6486 \frac{2147.0606}{8.0907} (X_2 - 1.1212) \\ = 287.3353 + 1.0702 (X_1 - 111.6186) + 172.1215 (X_2 - 1.1212) \\ = 287.3353 + 1.0702 X_1 - 119.4542 + 172.1215 X_2 - 192.9826 \\ = -25.1015 + 1.0702 X_1 + 172.1215 X_2 \dots\dots\dots (2b)$$

重相関係数：

$$R^2 = r_{Y_1} b'_{Y_1.2} + r_{Y_2} b'_{Y_2.1} = (0.4811)(0.4068) + (0.6952)(0.6486) \\ = 0.1966 + 0.4509 = 0.6475$$

$$\therefore R = 0.8047$$

推定の標準誤差、即ち回帰からの標準偏差：

$$s_{Y.12} = \sqrt{\frac{(1 - R^2) S_y^2}{N_0 - m}} = \sqrt{\frac{(1 - 0.6475)(4609869.2216)}{167 - 3}} \\ = \sqrt{\frac{(0.3525)(4609869.2216)}{164}} = \sqrt{\frac{1624978.9006}{164}} = \sqrt{9908.4079} = 99.5410$$

重回帰全体としての有意性の検定：

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回 帰	$m - 1 = 2$	$R^2 S_y^2 = 2984890.3210$	$R^2 S_y^2 / (m - 1) = 1492445.1605$	$m = 3$
推定の誤差	$N_0 - m = 164$	$(1 - R^2) S_y^2 = 1624978.9006$	$(1 - R^2) S_y^2 / (N_0 - m) = 9908.4079$	$N_0 = 167$
全 体	$N_0 - 1 = 166$	$S_y^2 = 4609869.2216$		$R^2 = 0.6475$

$$F = 1492445.1605 / 9908.4079 = 150.6241$$

$F$  分布表によれば、 $F_{164}^2(1\%)$  は 4.75 と 4.71 の間にある。故に重回帰はきわめて有意である。

標準偏回帰係数の標準誤差：

$$\begin{aligned} s_{b'} &= \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}} = \sqrt{\frac{1-0.6475}{[1-(0.1147)]^2(167-3)}} = \sqrt{\frac{0.3525}{(1-0.0132)(164)}} \\ &= \sqrt{\frac{0.3525}{(0.9868)(164)}} = \sqrt{\frac{0.3525}{161.8352}} = \sqrt{0.002178} = 0.04667 \end{aligned}$$

標準偏回帰係数の有意性の検定：

$b'_{Y1.2}$  に対しては、

$$t = b'_{Y1.2}/s_{b'} = 0.4068/0.04667 = 8.717$$

$b'_{Y2.1}$  に対しては、

$$t = b'_{Y2.1}/s_{b'} = 0.6486/0.04667 = 13.898$$

$t$  分布表によれば、自由度 164 に対する  $t(1\%)$  は 2.609 と 2.601 の間にある。

故に二つの標準偏回帰係数は共にきわめて有意である。

(2a) 式においては、回帰常数 (右辺の第 1 項) も二つの偏回帰係数も正であるから、 $X_1$  と  $X_2$  に実測値を代入した場合に、 $\hat{Y}$  が負になることは起り得ない。(2b) 式においては回帰常数が負で二つの偏回帰係数が正であるから、 $X_1$ 、 $X_2$  の値が小さい場合には  $\hat{Y}$  が負になる可能性がある。念の為に  $X_1$  と  $X_2$  に最小実測値を代入してみると、

$$\begin{aligned} X_1 &= 8, \quad X_2 = 0.31 \\ \therefore \hat{Y} &= -25.1015 + (1.0702)(8) + (172.1215)(0.31) \\ &= -25.1015 + 8.5616 + 53.3577 = 36.8176 \end{aligned}$$

また、(2a) 式及び (2b) 式における推定の標準誤差は、それぞれ (1a) 式及び (1b) 式における推定の標準誤差よりも小さくなっている。それ故 (1a) 式及び (1b) 式に較べて (2a) 式及び (2b) 式の方が、実測値に対してよく適合していると云うことができる。

### 第 3 節 曲面回帰を用いた場合

更に筆者は、一層適合性の大きい重回帰方程式を探求する一手段として、(2a) 式及び (2b) 式における三つの変数の関係を、曲面回帰によって表現することを試みた。曲面をあらゆる方程式としては冪函数の方程式を用いることにした。これを選んだ理由は、

(1) 左右両辺の対数をとることによって、式の形を 1 次の多項式に変換することができるから、平面回帰の場合と同じ手順で計算を行ない得る。

(2) 立体直交座標において、従属変数が一つの独立変数の増加に応じて抛物線状に漸増する関係に対しても、双曲線状に漸減する関係に対しても、この方程式をあてはめることができる。



第13表のI 偏差平方和, 偏差積および相関係数を求める表 (アーチ集材作業)

	$N_0=128$	$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
	和 平均	$SX_i$ $\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$SX_1 = 213.1197$ $\bar{x}_1 = 1.6650$	$SX_2 = 250.9818$ $\bar{x}_2 = 1.9608$	$SY = 299.0763$ $\bar{y} = 2.3365$
$X_1$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)		$SX_1^2 = 368.43733352$ $(SX_1)^2/N_0 = 354.84380100$ $Sx_1^2 = 13.59353252$ $\sqrt{Sx_1^2} = 3.68694081$	$SX_1X_2 = 419.27642973$ $(SX_1)(SX_2)/N_0 = 417.88410876$ $Sx_1x_2 = 1.39232097$ $\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sx_2^2} = 10.37041710$ $r_{12} = 0.1343$	$SX_1Y = 503.69389867$ $(SX_1)(SY)/N_0 = 497.96133854$ $Sx_1y = 5.73256013$ $\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sy^2} = 11.12756782$ $r_{Y1} = 0.5152$
$X_2$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)			$SX_2^2 = 500.03546038$ $(SX_2)^2/N_0 = 492.12393696$ $Sx_2^2 = 7.91152342$ $\sqrt{Sx_2^2} = 2.81274304$	$SX_2Y = 591.13364324$ $(SX_2)(SY)/N_0 = 586.42740712$ $Sx_2y = 4.70623612$ $\sqrt{Sx_2^2} \sqrt{Sy^2} = 8.48914871$ $r_{Y2} = 0.5544$
$Y$	(1) 平方和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和 (1)-(2) (4) $\sqrt{(3)}$ (5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$SY^2 = 707.91076892$ $(SY)^2/N_0 = 698.80182204$ $Sy^2 = 9.10894688$ $\sqrt{Sy^2} = 3.01810319$ $s_y = 0.26781335$

 $N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

第13表のII 偏差平方和、偏差積および相関係数を求める表(地曳集材作業)

$N_0=167$	$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
和	$SX_i$	$SX_1=327.3390$	$SX_2=331.5856$	$SY=398.9943$
平均	$\bar{x}_i=SX_i/N_0$	$\bar{x}_1=1.9601$	$\bar{x}_2=1.9855$	$\bar{y}=2.3892$
$X_1$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)	$SX_1^2=657.36564100$ $(SX_1)^2/N_0=641.62168216$ $Sx_1^2=15.74395884$ $\sqrt{Sx_1^2}=3.96786578$	$SX_1X_2=651.53031021$ $(SX_1)(SX_2)/N_0=649.94550131$ $Sx_1x_2=1.58480890$ $\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2}=12.18001942$ $r_{12}=0.1301$	$SX_1Y=787.74136157$ $(SX_1)(SY)/N_0=782.07422256$ $Sx_1y=5.66713901$ $\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2}=12.68501799$ $r_{Y1}=0.4468$
$X_2$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)		$SX_2^2=667.80015048$ $(SX_2)^2/N_0=658.37730615$ $Sx_2^2=9.42284433$ $\sqrt{Sx_2^2}=3.06966518$	$SX_2Y=799.45498843$ $(SX_2)(SY)/N_0=792.22014588$ $Sx_2y=7.23484255$ $\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2}=9.81352702$ $r_{Y2}=0.7372$
$Y$	(1) 平方和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和 (1)-(2) (4) $\sqrt{(3)}$ (5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$			$SY^2=963.49257221$ $(SY)^2/N_0=953.27216427$ $Sy^2=10.22040794$ $\sqrt{Sy^2}=3.19693727$ $s_y=0.24813046$

$N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

という点が目的に対して好都合であると考えたからである。

計算の手順は次の通りである。

変量間に次の方程式が近似的に成立つものと仮定する。

$$T_v = aD^b N_v^c \dots\dots\dots (i)$$

ただし,  $T_v$ : 1回の集材における石当り集材時間 (1/100 分)

$D$ : 1回の集材における集材距離 (m)

$N_v$ : 1回の集材における石当り丸太本数

$a, b, c$ : 常数

(i) 式の両辺の対数をとれば次の式が導かれる。

$$\log T_v = \log a + b \log D + c \log N_v \dots\dots\dots (ii)$$

ここにおいて,

$$\log T_v = Y, \quad \log a = a', \quad \log D = X_1, \quad \log N_v = X_2$$

とすれば, (ii) 式は次のように書きかえられる。

$$Y = a' + bX_1 + cX_2 \dots\dots\dots (iii)$$

$Y$  の  $X_1$  及び  $X_2$  に対する平面回帰を表わす方程式を求めれば, (iii) 式が決定される。

従って (i) 式も決定される。

附表第1と附表第2から, (iii) 式における3種類の変数の値を求め, 更にそれらの平方和及び積和を求めた。ただしこの場合計算の便宜上,  $N_v$  の代りにその100倍の値を用いた。

各変数の偏差平方和, 偏差積和, 及び相関係数を求めた組織的計算は, 第13表のI及びIIに示されている。それに続く計算の過程は次の通りである。

アーチ集材作業の場合

$Y$  の推定値を  $\hat{Y}$ ,  $Y$  の  $X_1$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y1.2}$ ,  $Y$  の  $X_2$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y2.1}$  であらわせれば, 次の重回帰方程式が成立つ。

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y1.2} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1^2}}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y2.1} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2^2}}} (X_2 - \bar{x}_2)$$

変数に対して最小自乗の原理を適用すると, 次の1対の連立方程式が得られる。

$$b'_{Y1.2} + r_{12} b'_{Y2.1} = r_{Y1}$$

$$r_{12} b'_{Y1.2} + b'_{Y2.1} = r_{Y2}$$

この正規方程式を解くと, 次の公式が得られる。

$$b'_{Y1.2} = \frac{r_{Y1} - r_{Y2} r_{12}}{1 - r_{12}^2}, \quad b'_{Y2.1} = \frac{r_{Y2} - r_{Y1} r_{12}}{1 - r_{12}^2}$$

第13表のIにもとづいて数字を代入すると、

$$b'_{Y_1 \cdot 2} = \frac{0.5152 - (0.5544)(0.1343)}{1 - (0.1343)^2} = \frac{0.5152 - 0.0745}{1 - 0.0180} = \frac{0.4407}{0.9820} = 0.4488$$

$$b'_{Y_2 \cdot 1} = \frac{0.5544 - (0.5152)(0.1343)}{1 - (0.1343)^2} = \frac{0.5544 - 0.0692}{1 - 0.0180} = \frac{0.4852}{0.9820} = 0.4941$$

重回帰方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= 2.3365 + 0.4488 \frac{3.01810319}{3.68694081} (X_1 - 1.6650) + 0.4941 \frac{3.01810319}{2.81274304} (X_2 - 1.9608) \\ &= 2.3365 + 0.3674 (X_1 - 1.6650) + 0.5302 (X_2 - 1.9608) \\ &= 2.3365 + 0.3674 X_1 - 0.6117 + 0.5302 X_2 - 1.0396 \\ &= 0.6852 + 0.3674 X_1 + 0.5302 X_2 \end{aligned} \tag{3 a}$$

Y と  $\hat{Y}$  の間の相関を示す値、即ち重相関係数を R であらわせば、R を次の公式によってみちびくことができる。

$$R^2 = r_{Y_1} b'_{Y_1 \cdot 2} + r_{Y_2} b'_{Y_2 \cdot 1}$$

数字を代入すると、

$$R^2 = (0.5152)(0.4488) + (0.5544)(0.4941) = 0.2312 + 0.2739 = 0.5051$$

$$\therefore R = 0.7107$$

推定の標準誤差、即ち回帰からの標準偏差を  $s_{Y \cdot 12}$  であらわせば、 $s_{Y \cdot 12}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{Y \cdot 12} = \sqrt{\frac{(1 - R^2) S_y^2}{N_0 - m}}$$

数字を代入すると、

$$\begin{aligned} s_{Y \cdot 12} &= \sqrt{\frac{(1 - 0.5051)(9.10894688)}{128 - 3}} = \sqrt{\frac{(0.4949)(9.10894688)}{125}} = \sqrt{\frac{4.5080}{125}} \\ &= \sqrt{0.03606} = 0.1899 \end{aligned}$$

重回帰全体としての有意性の検定は、R の有意性の検定と全く同一である。即ち回帰による平均平方が、回帰によっては説明のつかない項の平均平方に比べて、著しく大きいかどうかを、F をつかって検定するのである。これを行なうために分散分析の形を作れば次のようになる。

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m - 1 = 2$	$R^2 S_y^2 = 4.6009$	$R^2 S_y^2 / (m - 1) = 2.30045$	$m = 3$
推定の誤差	$N_0 - m = 125$	$(1 - R^2) S_y^2 = 4.5080$	$(1 - R^2) S_y^2 / (N_0 - m) = 0.03606$	$N_0 = 128$
全体	$N_0 - 1 = 127$	$S_y^2 = 9.1089$		$R^2 = 0.5051$

$$F = 2.30045 / 0.03606 = 63.7951$$

$F$  分布表によれば  $F_{125}^{25}(1\%)=4.78$  であるから、 $R$  はきわめて有意である。従って重回帰はきわめて有意である。

二つの  $b'$  の標準誤差は等しく、これを  $s_{b'}$  であらわせば、 $s_{b'}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}}$$

数字を代入すると、

$$\begin{aligned} s_{b'} &= \sqrt{\frac{1-0.5051}{[1-(0.1343)^2](128-3)}} = \sqrt{\frac{0.4949}{(1-0.0180)(125)}} = \sqrt{\frac{0.4949}{(0.9820)(125)}} \\ &= \sqrt{\frac{0.4949}{122.7500}} = \sqrt{0.004032} = 0.06350 \end{aligned}$$

$b'$  の有意性を検定するための  $t$  の値を次の公式によってみちびくことができる。

$$t = b'/s_{b'}$$

数字を代入すると、

$b'_{Y_{1.2}}$  に対しては、

$$t = b'_{Y_{1.2}}/s_{b'} = 0.4488/0.06350 = 7.068$$

$b'_{Y_{2.1}}$  に対しては、

$$t = b'_{Y_{2.1}}/s_{b'} = 0.4941/0.06350 = 7.781$$

$t$  分布表によれば、自由度 125 に対しては  $t(1\%)=2.616$  であるから、二つの  $b'$  は共にきわめて有意である。

アーチ集材作業の場合に用いたのと全く同じ方法で、地曳集材作業の場合に関する各種の計算を行なえば次のようになる。

標準偏回帰係数：

$$\begin{aligned} b'_{Y_{1.2}} &= \frac{r_{Y_1} - r_{Y_2}r_{12}}{1-r_{12}^2} = \frac{0.4468 - (0.7372)(0.1301)}{1-(0.1301)^2} \\ &= \frac{0.4468 - 0.0959}{1-0.0169} = \frac{0.3509}{0.9831} = 0.3569 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b'_{Y_{2.1}} &= \frac{r_{Y_2} - r_{Y_1}r_{12}}{1-r_{12}^2} = \frac{0.7372 - (0.4468)(0.1301)}{1-(0.1301)^2} \\ &= \frac{0.7323 - 0.0581}{1-0.0169} = \frac{0.6742}{0.9831} = 0.6858 \end{aligned}$$

重回帰方程式：

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y_{1.2}} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_x^2}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_{2.1}} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_x^2}} (X_2 - \bar{x}_2)$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.3892 + 0.3569 \frac{3.19693727}{3.96786578} (X_1 - 1.9601) + 0.6858 \frac{3.19693727}{3.06966518} (X_2 - 1.9855) \\
 &= 2.3892 + 0.2876 (X_1 - 1.9601) + 0.7143 (X_2 - 1.9855) \\
 &= 2.3892 + 0.2876 X_1 - 0.5637 + 0.7143 X_2 - 1.4182 \\
 &= 0.4073 + 0.2876 X_1 + 0.7143 X_2 \dots\dots\dots (3b)
 \end{aligned}$$

重相関係数:

$$R^2 = r_{Y_1} b'_{Y_1.2} + r_{Y_2} b'_{Y_2.1} = (0.4468)(0.3569) + (0.7372)(0.6858) = 0.1595 + 0.5056 = 0.6651$$

$$\therefore R = 0.8155$$

推定の標準誤差, 即ち回帰からの標準偏差:

$$\begin{aligned}
 s_{Y.12} &= \sqrt{\frac{(1-R^2) S_y^2}{N_0 - m}} = \sqrt{\frac{(1-0.6651)(10.22040794)}{167-3}} = \sqrt{\frac{(0.3349)(10.22040794)}{164}} \\
 &= \sqrt{\frac{3.4228}{164}} = \sqrt{0.02087} = 0.1445
 \end{aligned}$$

重回帰全体としての有意性の検定:

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回 帰	$m-1=2$	$R^2 S_y^2 = 6.7976$	$R^2 S_y^2 / (m-1) = 3.3988$	$m=3$
推定の誤差	$N_0 - m = 164$	$(1-R^2) S_y^2 = 3.4228$	$(1-R^2) S_y^2 / (N_0 - m) = 0.02087$	$N_0 = 167$
全 体	$N_0 - 1 = 166$	$S_y^2 = 10.2204$		$R^2 = 0.6651$

$F = 3.3988 / 0.02087 = 162.8558$

F 分布表によれば,  $F_{164}^*(1\%)$  は 4.75 と 4.71 の間にある。

故に重回帰はきわめて有意である。

標準偏回帰係数の標準誤差:

$$\begin{aligned}
 s_{b'} &= \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}} = \sqrt{\frac{1-0.6651}{[1-(0.1301)^2](167-3)}} = \sqrt{\frac{0.3349}{(1-0.0169)(164)}} \\
 &= \sqrt{\frac{0.3349}{(0.9831)(164)}} = \sqrt{\frac{0.3349}{161.2284}} = \sqrt{0.002077} = 0.04557
 \end{aligned}$$

標準偏回帰係数の有意性の検定:

$b'_{Y_1.2}$  に対しては,

$$t = b'_{Y_1.2} / s_{b'} = 0.3569 / 0.04557 = 7.832$$

$b'_{Y_2.1}$  に対しては,

$$t = b'_{Y_2.1} / s_{b'} = 0.6858 / 0.04557 = 15.049$$

t 分布表によれば, 自由度 164 に対する  $t(1\%)$  は, 2.609 と 2.601 の間にある。

故に二つの標準偏回帰係数は共にきわめて有意である。

(3 a) 式と (3 b) 式は対数計算によって導かれたものであり、推定値にかたよりが入ってくる。これを補正するために、重回帰方程式によって推定された  $\hat{T}_v$  の値に乘ぜられるべき修正係数を  $f$  であらわせば、 $f$  は次の式によって求められる<sup>73)</sup>。

$$f = 10^{\frac{n-1}{n} \cdot \frac{\sigma_x^2}{2} \ln 10}$$

ただし  $n$  は観測値の個数、 $\sigma_x^2$  は観測値の対数の回帰からの分散、

$$\ln 10 = \log_e 10 = 2.302585$$

$n$  が大であれば  $\frac{n-1}{n}$  は省いてもよい。

(3 a) 式に関しては、

$$\sigma_x^2 = s_{\hat{Y}.12}^2 = 0.03606$$

$$\therefore f = 10^{\frac{128-1}{128} \cdot \frac{0.03606}{2} \cdot 2.302585}$$

$$\log f = \frac{127}{128} \cdot \frac{0.08303}{2} = \frac{10.5448}{256} = 0.04119$$

$$f = 1.09949$$

(3 b) 式に関しては、

$$\sigma_x^2 = s_{\hat{Y}.12'}^2 = 0.02087$$

$$\therefore f = 10^{\frac{167-1}{167} \cdot \frac{0.02087}{2} \cdot 2.302585}$$

$$\log f = \frac{166}{167} \cdot \frac{0.04805}{2} = \frac{7.9763}{334} = 0.02388$$

$$f = 1.05653$$

前述の推定の標準誤差は対数で示されている。アーチ集材作業に関し、対数の値 1 に対して、この標準誤差 0.1899 を加減しそれぞれの値を真数に直せば、次のようになる。

アーチ集材作業の場合：

対	数	1.1899	1	0.8101
真	数	15.485	10	6.4580

即ち誤差は (+) 側に 54.85%，(-) 側に 35.42% となる。第 12 表の I によれば、アーチ集材作業における  $T_v$  の平均値は、259.6406 である。

故に推定の標準誤差の実際の値は、

$$(+) \text{ 側に } (259.6404)(0.5485) = 142.4128$$

$$(-) \text{ 側に } (259.6404)(0.3542) = 91.9646$$

となる。

推定値に前述の修正係数を乗じた場合には、近似的に (+) 側の値と (-) 側の値の平均値を推定の標準誤差とみなし得る。

平均値は、

$$\frac{142.4128 + 91.9646}{2} = \frac{234.3774}{2} = 117.1887$$

である。

地曳集材作業の場合に関しても同様に計算すれば、次の通りである。

対数の値 1 に対し、対数で示された推定の標準誤差 0.1445 を加減し、それぞれの値を真数に直せば、

対数	1.1445	1	0.8555
真数	13.948	10	7.1696

即ち誤差は (+) 側に 39.48%、(-) 側に 28.304% となる。第 12 表の II によれば、地曳集材作業における  $T_v$  の平均値は 287.3353 である。故に推定の標準誤差の実際の値は、

$$(+) \text{ 側に } (287.3353)(0.3948) = 113.4400$$

$$(-) \text{ 側に } (287.3353)(0.2830) = 81.3159$$

となる。

推定値に前述の修正係数を乗じた場合には、近似的に、(+ ) 側の値と (-) 側の値の平均値を推定の標準誤差とみなし得る。

平均値は、

$$\frac{113.4400 + 81.3159}{2} = \frac{194.7559}{2} = 97.3780$$

である。

#### 第 4 節 $\hat{T}_v = a + b_1 \frac{1}{V} + b_2 \frac{N}{V} + b_3 \frac{D}{V}$ の型の場合

また筆者は更に、集材時間に関して原理的推論を行なった結果にもとづき、3 個の独立変数に対する石当り集材時間の回帰を表現する方程式を求める事を試みた。

原理的推論は次の通りである<sup>37a)</sup>。

即ち、1 回の集材を上山、荷集め、下山及び荷おろし、という 4 種類の作業に分類すれば、荷集めと荷おろしに要する時間の大部分は、近似的に 1 回の集材における集材石数と石当り丸太本数の相乗積に比例し、上山と下山即ち往復に要する時間の大部分は、近似的に集材距離に比例する。また 1 回の集材に要する時間のうち上に述べられた部分の残りの部分は、各回の集材作業においてほぼ一定の値をとる。



以上のように推論した。この関係を1回の集材について構造方程式であらわせば次のようになる。

$$T_t = A + BV \frac{N}{V} + CD + u \dots\dots\dots (iv)$$

ただし、 $T_t$ : 集材作業に要する総時間

$V$ : 集材石数

$N$ : 集材丸太本数

$\frac{N}{V}$ : 石当り丸太本数

$D$ : 集材距離

$A, B, C$ : 常数

$u$ : 攪乱

(iv) 式の右辺の第2項によって荷集めと荷おろしに要する時間の大部分が説明され、第3項によって往復に要する時間の大部分が説明される。また  $A$  によって、 $T_t$  のうち右辺の第2項又は第3項によって説明される以外の時間、即ちトラクタの方向転換や移動のための時間その他、各回の集材作業においてほぼ一定の値をとる時間が示される。

(iv) 式の右辺の第2項を整頓すると次の式が導かれる。

$$T_v = A + BN + CD + u \dots\dots\dots (v)$$

(v) 式の右辺の第2項の形から考えれば、前述の推論の一部を、荷集めと荷おろしに要する時間の大部分は近似的に集材丸太本数に比例する、といいかえることができる。

(v) 式の左右両辺を  $V$  で除すれば次の式が導かれる。

$$T_t = A \frac{1}{V} + B \frac{N}{V} + C \frac{D}{V} + u' \dots\dots\dots (vi)$$

ただし、 $T_v = \frac{T_t}{V}$ : 石当り集材時間

$u'$ : 攪乱

多数の実測値にもとづき、(vi) 式の右辺に含まれている3種類の変数、即ち、 $\frac{1}{V}$ 、 $\frac{N}{V}$  及び  $\frac{D}{V}$  に対する、 $T_v$  の回帰を示す方程式を求めれば、それは次のような形になる。

$$\hat{T}_v = a + b_1 \frac{1}{V} + b_2 \frac{N}{V} + b_3 \frac{D}{V} \dots\dots\dots (vii)$$

ただし、 $\hat{T}_v$ :  $T_v$  の推定値

$a$ : 回帰常数

$b_1, b_2, b_3$ : 偏回帰係数

斯くして附表第1と附表第2から (vii) 式における4種類の変数の値を求め、更にそれ

第14表のI 偏差平方和, 偏差積および相関係数を求める表 (アーチ集材作業)

$N_0=128$ $m=4$		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$
和	$SX_i$	$SX_1 = 42067$	$SX_2 = 13725$	$SX_3 = 21479$	$SY = 33234$
平均	$\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$\bar{x}_1 = 328.6484$	$\bar{x}_2 = 107.2266$	$\bar{x}_3 = 167.8047$	$\bar{y} = 259.6406$
$X_1$	(1) 平方和, 積和	$SX_1^2 = 19576249$	$SX_1X_2 = 5189313$	$SX_1X_3 = 7499008$	$SX_1Y = 11938902$
	(2) 補正項	$(SX_1)^2/N_0 = 13825254$	$(SX_1)(SX_2)/N_0 = 4510670$	$(SX_1)(SX_3)/N_0 = 7059040$	$(SX_1)(SY)/N_0 = 10922302$
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)	$Sx_1^2 = 5750995$	$Sx_1x_2 = 678643$	$Sx_1x_3 = 439968$	$Sx_1y = 1016600$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積	$\sqrt{Sx_1^2} = 2398.123$	$\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sx_2^2} = 1709329$	$\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sx_3^2} = 3625933$	$\sqrt{Sx_1^2} \sqrt{Sy^2} = 4346730$
	(5) 相関係数 (3)/(4)		$r_{12} = 0.397023$	$r_{13} = 0.121339$	$r_{Y1} = 0.233877$
$X_2$	(1) 平方和, 積和	$SX_2^2 = 1979737$	$SX_2X_3 = 2862280$	$SX_2Y = 4258475$	
	(2) 補正項	$(SX_2)^2/N_0 = 1471685$	$(SX_2)(SX_3)/N_0 = 2303119$	$(SX_2)(SY)/N_0 = 3563568$	
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)	$Sx_2^2 = 508052$	$Sx_2x_3 = 559161$	$Sx_2y = 694907$	
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積	$\sqrt{Sx_2^2} = 712.778$	$\sqrt{Sx_2^2} \sqrt{Sx_3^2} = 1077712$	$\sqrt{Sx_2^2} \sqrt{Sy^2} = 1291949$	
	(5) 相関係数 (3)/(4)		$r_{23} = 0.518841$	$r_{Y2} = 0.537875$	
$X_3$	(1) 平方和, 積和	$SX_3^2 = 5890385$	$SX_3Y = 7678779$		
	(2) 補正項	$(SX_3)^2/N_0 = 3604277$	$(SX_3)(SY)/N_0 = 5576821$		
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)	$Sx_3^2 = 2286108$	$Sx_3y = 2101958$		
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積	$\sqrt{Sx_3^2} = 1511.988$	$\sqrt{Sx_3^2} \sqrt{Sy^2} = 2740561$		
	(5) 相関係数 (3)/(4)		$r_{Y3} = 0.766981$		
$Y$	(1) 平方和	$SY^2 = 11914252$			
	(2) 補正項	$(SY)^2/N_0 = 8628897$			
	(3) 偏差平方和(1)-(2)	$Sy^2 = 3285355$			
	(4) $\sqrt{(3)}$	$\sqrt{Sy^2} = 1812.555$			
	(5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$	$s_y = 160.8382$			

$N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

第14表のII 偏差平方和, 偏差積および相関係数を求める表 (地曳集材作業)

$N_0=167$ $m=4$		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y$
和	$SX_i$	$SX_1= 60303$	$SX_2= 18724$	$SX_3= 60315$	$SY= 47985$
平均	$\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$\bar{x}_1= 361.0958$	$\bar{x}_2= 112.1198$	$\bar{x}_3= 361.1677$	$\bar{y}= 287.3353$
$X_1$	(1) 平方和, 積和	$SX_1^2= 30905355$	$SX_1X_2= 7982333$	$SX_1X_3= 23934859$	$SX_1Y= 19815057$
	(2) 補正項	$(SX_1)^2/N_0= 21775161$	$(SX_1)(SX_2)/N_0= 6761158$	$(SX_1)(SX_3)/N_0= 21779494$	$(SX_1)(SY)/N_0= 17327182$
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)	$Sx_1^2= 9130194$	$Sx_1x_2= 1221175$	$Sx_1x_3= 2155365$	$Sx_1y= 2487875$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積	$\sqrt{Sx_1^2}= 3021.621$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2}= 2444700$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_3^2}= 9717337$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2}= 6487605$
	(5) 相関係数 (3)/(4)		$r_{12}= 0.499519$	$r_{13}= 0.221806$	$r_{Y1}= 0.383481$
$X_2$	(1) 平方和, 積和		$SX_2^2= 2753922$	$SX_2X_3= 8219102$	$SX_2Y= 6587692$
	(2) 補正項		$(SX_2)^2/N_0= 2099330$	$(SX_2)(SX_3)/N_0= 6762503$	$(SX_2)(SY)/N_0= 5380067$
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)		$Sx_2^2= 654592$	$Sx_2x_3= 1456599$	$Sx_2y= 1207625$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積		$\sqrt{Sx_2^2}= 809.069$	$\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sx_3^2}= 2601913$	$\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2}= 1737120$
	(5) 相関係数 (3)/(4)			$r_{23}= 0.559818$	$r_{Y2}= 0.695188$
$X_3$	(1) 平方和, 積和			$SX_3^2= 32120079$	$SX_3Y= 22700468$
	(2) 補正項			$(SX_3)^2/N_0= 21777840$	$(SX_3)(SY)/N_0= 17330630$
	(3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2)			$Sx_3^2= 10342239$	$Sx_3y= 5369838$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積			$\sqrt{Sx_3^2}= 3215.935$	$\sqrt{Sx_3^2}\sqrt{Sy^2}= 6904809$
	(5) 相関係数 (3)/(4)				$r_{Y3}= 0.777695$
$Y$	(1) 平方和				$SY^2= 18397655$
	(2) 補正項				$(SY)^2/N_0= 13787786$
	(3) 偏差平方和(1)-(2)				$Sy^2= 4609869$
	(4) $\sqrt{(3)}$				$\sqrt{Sy^2}= 2147.061$
	(5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$s_y= 166.6442$

 $N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

らの平方和及び積和を求めた。

ただしこの場合に計算の便宜上、 $\frac{1}{V}$ 、 $\frac{N}{V}$ 、及び $\frac{D}{V}$ の代りに、それぞれその1000倍、100倍及び10倍の値を用いた。然して $\frac{1}{V}$ の1000倍を $X_1$ で、 $\frac{N}{V}$ の100倍を $X_2$ であらわし、 $D$ の単位に(m)を用い、 $\frac{D}{V}$ の10倍を $X_3$ で表わし、 $T_0$ の単位に(1/100分)を用い、 $T_0$ を $Y$ で表わした。

各変数 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 及び $Y$ について、偏差平方和、偏差積和及び相関係数を求めた組織的計算は第14表のI及びIIに示されている。それに続く計算の過程は次の通りである。

アーチ集材作業の場合

四つの変数 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $Y$ に対して重回帰法を適用すれば、次の重回帰方程式が成立つ。

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y1.23} \frac{\sqrt{Sy^2}}{\sqrt{Sx_1^2}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y2.13} \frac{\sqrt{Sy^2}}{\sqrt{Sx_2^2}} (X_2 - \bar{x}_2) + b'_{Y3.12} \frac{\sqrt{Sy^2}}{\sqrt{Sx_3^2}} (X_3 - \bar{x}_3)$$

ただし、 $\hat{Y}$ は $Y$ の推定値

$b'_{Y1.23}$ は $Y$ の $X_1$ に対する標準偏回帰係数

$b'_{Y2.13}$ は $Y$ の $X_2$  //

$b'_{Y3.12}$ は $Y$ の $X_3$  //

また $Y$ と $X_1$ との間の相関係数を $r_{Y1}$

$Y$ と $X_2$  //  $r_{Y2}$

$Y$ と $X_3$  //  $r_{Y3}$

$X_1$ と $X_2$  //  $r_{12}$

$X_1$ と $X_3$  //  $r_{13}$

$X_2$ と $X_3$  //  $r_{23}$

とし、変数に対して最小自乗の原理を適用すれば、これらの相関係数と前述の標準偏回帰係数との間には次の連立正規方程式が成たつ。

$$\begin{cases} b'_{Y1.23} \cdot 1 + b'_{Y2.13} r_{12} + b'_{Y3.12} r_{13} = r_{Y1} \\ b'_{Y1.23} r_{12} + b'_{Y2.13} \cdot 1 + b'_{Y3.12} r_{23} = r_{Y2} \\ b'_{Y1.23} r_{13} + b'_{Y2.13} r_{23} + b'_{Y3.12} \cdot 1 = r_{Y3} \end{cases}$$

以上の連立正規方程式の中の相関係数は既に求められているから、それらを正規方程式に代入して正規方程式を解けば、夫々の標準偏回帰係数が得られる。しかしてここでは便利な方法として、ガウス乗数を用いる組織的解法によって連立正規方程式を解くことにする。計算は第14表のIaおよびIbに示すように行なわれる。

第14表のIaの(13)の計算

$$5.559965 C'_{11} + C'_{21} = 6.129046 \quad C'_{11} = 1.201104$$

第14表の Ia 相関法におけるガウス乗数の組織的計算 (アーチ集材作業)

行	指 示	C の 係 数			解 の 番 号		
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	= 1	2	3
(1)	第14表の I からうつす	1	$r_{12}=0.397023$	$r_{13}=0.121339$	1	0	0
(2)		$r_{12}=0.397023$	1	$r_{23}=0.518841$	0	1	0
(3)		$r_{13}=0.121339$	$r_{23}=0.518841$	1	0	0	1
(4)	(1)/ $r_{13}=(1)/0.121339$	8.241373	3.272015	1	$1/r_{13}=8.241373$	0	0
(5)	(2)/ $r_{23}=(2)/0.518841$	0.765211	1.927373	1	0	$1/r_{23}=1.927373$	0
(6)	(3)/1	0.121339	0.518841	1	0	0	1
(7)	(4)-(5)	7.476162	1.344642	0	$1/r_{13}=8.241373$	$-1/r_{23}=-1.927373$	0
(8)	(5)-(6)	0.643872	1.408532	0	0	$1/r_{23}=1.927373$	-1
(9)	(7)/1.344642	5.559965	1	0	6.129046	-1.433373	0
(10)	(8)/1.408532	0.457123	1	0	0	1.368356	-0.709959
(11)	(9)-(10)	5.102842	0	0	6.129046	-2.801729	0.709959
(12)	(11)/5.102842	C <sub>1</sub>			C <sub>11}= 1.201104</sub>	C <sub>12}= -0.549053</sub>	C <sub>13}= 0.139130</sub>
(13)	C <sub>1</sub> を(9)に代入		C <sub>2</sub>		C <sub>21}= -0.549050</sub>	C <sub>22}= 1.619342</sub>	C <sub>23}= -0.773558</sub>
(14)	C <sub>1</sub> 及びC <sub>2</sub> を(4)~(6)に代入			C <sub>3</sub>	C <sub>31}= 0.139127</sub>	C <sub>32}= -0.773562</sub>	C <sub>33}= 1.384472</sub>

第14表の Ib 相関法における標準偏回帰係数の計算 (アーチ集材作業)

乗 数	解 の 番 号						X <sub>2</sub> とYとの 相 関 係 数
	1		2		3		
C <sub>1</sub>	C <sub>11}= 1.201104</sub>	C <sub>11</sub> r <sub>Y1</sub> = 0.280911	C <sub>12}= -0.549053</sub>	C <sub>12</sub> r <sub>Y1</sub> = -0.128411	C <sub>13}= 0.139130</sub>	C <sub>13</sub> r <sub>Y1</sub> = 0.032539	r <sub>Y1</sub> =0.233877
C <sub>2</sub>	C <sub>21}= -0.549050</sub>	C <sub>21</sub> r <sub>Y2</sub> = -0.295320	C <sub>22}= 1.619342</sub>	C <sub>22</sub> r <sub>Y2</sub> = 0.871004	C <sub>23}= -0.773558</sub>	C <sub>23</sub> r <sub>Y2</sub> = -0.416078	r <sub>Y2</sub> =0.537875
C <sub>3</sub>	C <sub>31}= 0.139127</sub>	C <sub>31</sub> r <sub>Y3</sub> = 0.106708	C <sub>32}= -0.773562</sub>	C <sub>32</sub> r <sub>Y3</sub> = -0.593307	C <sub>33}= 1.384472</sub>	C <sub>33</sub> r <sub>Y3</sub> = 1.061864	r <sub>Y3</sub> =0.766981
標準偏回 帰 係 数		上の計 b <sub>Y1,23}</sub> = 0.092299		上の計 b <sub>Y2,13}</sub> = 0.149286		上の計 b <sub>Y3,12}</sub> = 0.678325	

$$6.678096 + C'_{21} = 6.129046$$

$$C'_{21} = 6.129046 - 6.678096 = -0.549050$$

$$5.559965 C'_{12} + C'_{22} = -1.433373 \quad C'_{12} = -0.549053$$

$$-3.052715 + C'_{22} = -1.433373$$

$$C'_{22} = -1.433373 + 3.052715 = 1.619342$$

$$5.559965 C'_{13} + C'_{23} = 0 \quad C'_{13} = 0.139130$$

$$0.773558 + C'_{23} = 0$$

$$C'_{23} = -0.773558$$

第14表のIaの(14)の計算

$$8.241373 C'_{11} + 3.272015 C'_{21} + C'_{31} = 8.241373 \quad C'_{11} = 1.201104, C'_{21} = -0.549050$$

$$9.898746 - 1.796500 + C'_{31} = 8.241373$$

$$C'_{31} = 8.241373 - 9.898746 + 1.796500 = 0.139127$$

$$0.765211 C'_{12} + 1.927373 C'_{22} + C'_{32} = 1.927373 \quad C'_{12} = -0.549053, C'_{22} = 1.619342$$

$$-0.420141 + 3.121076 + C'_{32} = 1.927373$$

$$C'_{32} = 1.927373 + 0.420141 - 3.121076 = -0.773562$$

$$0.121339 C'_{13} + 0.518841 C'_{23} + C'_{33} = 1 \quad C'_{13} = 0.139130, C'_{23} = 0.773558$$

$$0.016882 - 0.401354 + C'_{33} = 1$$

$$C'_{33} = 1 - 0.016882 + 0.401354 = 1.384472$$

検算

$$\begin{aligned} C'_{11} \cdot 1 + C'_{21} r_{12} + C'_{31} r_{13} &= 1.201104 + (-0.549050)(0.397023) + (0.139127)(0.121339) \\ &= 1.201104 - 0.217985 + 0.016882 = 1.000001 \doteq 1.0000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C'_{12} r_{12} + C'_{22} \cdot 1 + C'_{32} r_{23} &= (-0.549053)(0.397023) + 1.619342 + (-0.773562)(0.518841) \\ &= -0.217987 + 1.619342 - 0.401356 = 0.999999 \doteq 1.0000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C'_{13} r_{13} + C'_{23} r_{23} + C'_{33} \cdot 1 &= (0.139130)(0.121339) + (-0.773558)(0.518841) + 1.384472 \\ &= 0.016882 - 0.401354 + 1.384472 = \doteq 1.000000 \end{aligned}$$

標準偏回帰係数の計算の検算

$$\begin{aligned} &= b'_{Y_1 \cdot 23} \cdot 1 + b'_{Y_2 \cdot 13} r_{12} + b'_{Y_3 \cdot 12} r_{13} \\ &= 0.092299 + (0.149286)(0.397023) + (0.678325)(0.121339) \\ &= 0.092299 + 0.059270 + 0.082307 = 0.233876 \doteq r_{Y_1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= b'_{Y_1 \cdot 23} r_{12} + b'_{Y_2 \cdot 13} \cdot 1 + b'_{Y_3 \cdot 12} r_{23} \\ &= (0.092299)(0.397023) + 0.149286 + (0.678325)(0.518841) \\ &= 0.036645 + 0.149286 + 0.351943 = 0.537874 \doteq r_{Y_2} \end{aligned}$$

$$= b'_{Y_1 \cdot 23} r_{13} + b'_{Y_2 \cdot 13} r_{23} + b'_{Y_3 \cdot 12} \cdot 1$$

$$= (0.092299)(0.121339) + (0.149286)(0.518841) + 0.678325 \\ = 0.011199 + 0.077456 + 0.678325 = 0.766980 \doteq r_{Y_3}$$

重回帰方程式は次のようになる。

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y_1 \cdot 23} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1^2}}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_2 \cdot 13} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2^2}}} (X_2 - \bar{x}_2) + b'_{Y_3 \cdot 12} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_3^2}}} (X_3 - \bar{x}_3) \\ = 259.6406 + 0.092299 \frac{1812.555}{2398.123} (X_1 - 328.6484) + 0.149286 \frac{1812.555}{712.778} (X_2 \\ - 107.2266) + 0.678325 \frac{1812.555}{1511.988} (X_3 - 167.8047) \\ = 259.6406 + 0.06976 (X_1 - 328.6484) + 0.3796 (X_2 - 107.2266) \\ + 0.8132 (X_3 - 167.8047) = 259.6406 + 0.06976 X_1 - 22.9265 + 0.3796 X_2 - 40.7032 \\ + 0.8132 X_3 - 136.4588 = 59.5521 + 0.06976 X_1 + 0.3796 X_2 + 0.8132 X_3 \dots (4a)$$

$Y$  と  $\hat{Y}$  の間の相関を示す値、即ち重相関係数を  $R$  であらわせば、 $R$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$R^2 = b'_{Y_1 \cdot 23} r_{Y_1} + b'_{Y_2 \cdot 13} r_{Y_2} + b'_{Y_3 \cdot 12} r_{Y_3}$$

数字を代入すると、

$$R^2 = (0.092299)(0.233877) + (0.149286)(0.537875) + (0.678325)(0.766981) \\ = 0.021587 + 0.080297 + 0.520262 = 0.622146$$

$$\therefore R = 0.7888$$

推定の標準誤差、即ち回帰からの標準偏差を  $s_{Y \cdot 123}$  であらわせば、 $s_{Y \cdot 123}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{Y \cdot 123} = \sqrt{\frac{(1-R^2) S_y^2}{(N_0 - m)}}$$

数字を代入すると、

$$s_{Y \cdot 123} = \sqrt{\frac{(1-0.622146)(3285355)}{128-4}} = \sqrt{\frac{3285355-2043970}{124}} = \sqrt{\frac{1241385}{124}} \\ = \sqrt{10011.1694} = 100.0558$$

重回帰全体としての有意性の検定は、 $R$  の有意性の検定と全く同一である。即ち、回帰による平均平方が、回帰によっては説明のつかない項の平均平方に比べて著しく大きいかどうかを、 $F$  をつかって検定するのである。

これを行なうために分散分析の形を作れば次のようになる。

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m-1=3$	$R^2 S_y^2 = 2043970$	$R^2 S_y^2 / (m-1) = 681323.3333$	$m=4$
推定の誤差	$N_0 - m = 124$	$(1-R^2) S_y^2 = 1241385$	$(1-R^2) S_y^2 / (N_0 - m) = 10011.1694$	$N_0 = 128$
全体	$N_0 - 1 = 127$	$S_y^2 = 3285355$		$R^2 = 0.622146$

$F = 681323.3333 / 10011.1694 = 68.0563$

$F$  分布表によれば  $F_{124}^3(1\%)$  は 3.98 と 3.94 の間にあるから、 $R$  はきわめて有意である。従って重回帰はきわめて有意である。

標準偏回帰係数  $b'$  の有意性を検定するための  $t$  の値を、次の公式によってみちびくことができる。

$$t = \frac{b'}{\sqrt{vC'}}$$

ただし、

$$v = \frac{1-R^2}{N_0 - m}$$

ここで  $b'$  の分散は  $vC'$  である。

数字を代入すると、

$$v = \frac{1-0.622146}{128-4} = \frac{0.377854}{124} = 0.003047$$

$b'_{Y_1-23}$  に対しては、

$$t = \frac{b'_{Y_1-23}}{\sqrt{vC'_{11}}} = \frac{0.092299}{\sqrt{(0.003047)(1.201104)}} = \frac{0.092299}{\sqrt{0.003660}} = \frac{0.092299}{0.060498} = 1.5257$$

$b'_{Y_2-13}$  に対しては、

$$t = \frac{b'_{Y_2-13}}{\sqrt{vC'_{22}}} = \frac{0.149286}{\sqrt{(0.003047)(1.619342)}} = \frac{0.149286}{\sqrt{0.004934}} = \frac{0.149286}{0.070242} = 2.1253$$

$b'_{Y_3-12}$  に対しては、

$$t = \frac{b'_{Y_3-12}}{\sqrt{vC'_{33}}} = \frac{0.678325}{\sqrt{(0.003047)(1.384472)}} = \frac{0.678325}{\sqrt{0.004218}} = \frac{0.678325}{0.064946} = 10.4444$$

$t$  分布表によれば、自由度 124 に対する  $t(1\%)$  は 2.626 と 2.616 の間に、同じく  $t(5\%)$  は 1.984 と 1.979 の間にある。

故に  $b'_{Y_1-23}$  は有意でなく、 $b'_{Y_2-13}$  は有意であり、 $b'_{Y_3-12}$  はきわめて有意である。

なお、 $t(10\%)$  は 1.658 と 1.645 の間に、 $t(20\%)$  は 1.289 と 1.282 の間にある。

アーチ集材作業の場合に用いたのと全く同じ方法で、地曳集材作業の場合に関する各種の計算を行なえば次のようになる。



第14表の II a 相関法におけるガウス乗数の組織的計算 (地曳集材作業)

行	指 示	C の 係 数			解 の 番 号		
		$C_1$	$C_2$	$C_3$	= 1	2	3
(1)	第14表の II からうつす	1	$r_{12}=0.499519$	$r_{13}=0.221806$	1	0	0
(2)		$r_{12}=0.499519$	1	$r_{23}=0.559818$	0	1	0
(3)		$r_{13}=0.221806$	$r_{23}=0.559818$	1	0	0	1
(4)	(1)/ $r_{13}=(1)/0.221806$	4.508444	2.252054	1	$1/r_{13}= 4.508444$	0	0
(5)	(2)/ $r_{23}=(2)/0.559818$	0.892288	1.786295	1	0	$1/r_{23}= 1.786295$	0
(6)	(3)/1	0.221806	0.559818	1	0	0	1
(7)	(4)-(5)	3.616156	0.465759	0	$1/r_{13}= 4.508444$	$-1/r_{23}= -1.786295$	0
(8)	(5)-(6)	0.670482	1.226477	0	0	$1/r_{23}= 1.786295$	-1
(9)	(7)/0.465759	7.764007	1	0	9.679779	-3.835235	0
(10)	(8)/1.226477	0.546673	1	0	0	1.456444	-0.815343
(11)	(9)-(10)	7.217334	0	0	9.679779	-5.291679	0.815343
(12)	(11)/7.217334	$C_1$			$C_{11}= 1.341185$	$C_{12}= -0.733190$	$C_{13}= 0.112970$
(13)	$C_1$ を(9)に代入		$C_2$		$C_{21}= -0.733191$	$C_{22}= 1.857257$	$C_{23}= -0.877100$
(14)	$C_1$ 及び $C_2$ を(4)~(6)に代入			$C_3$	$C_{31}= 0.112973$	$C_{32}= -0.877097$	$C_{33}= 1.465959$

第14表の II b 相関法における標準偏回帰係数の計算 (地曳集材作業)

乗 数	解 の 番 号						$X_4$ と $Y$ との 相 関 係 数
	1	2	3	1	2	3	
$C_1$	$C_{11}= 1.341185$	$C_{11}r_{Y_1}= 0.514319$	$C_{12}= -0.733190$	$C_{12}r_{Y_1}= -0.281164$	$C_{13}= 0.112970$	$C_{13}r_{Y_1}= 0.043322$	$r_{Y_1}=0.383481$
$C_2$	$C_{21}= -0.733191$	$C_{21}r_{Y_2}= -0.509706$	$C_{22}= 1.857257$	$C_{22}r_{Y_2}= 1.291143$	$C_{23}= -0.877100$	$C_{23}r_{Y_2}= -0.609749$	$r_{Y_2}=0.695188$
$C_3$	$C_{31}= 0.112973$	$C_{31}r_{Y_3}= 0.087859$	$C_{32}= -0.877097$	$C_{32}r_{Y_3}= -0.682114$	$C_{33}= 1.465959$	$C_{33}r_{Y_3}= 1.140059$	$r_{Y_3}=0.777695$
標準偏回 帰 係 数		上の計 $b'_{Y_1, 23}=0.092472$		上の計 $b'_{Y_2, 13}=0.327865$		上の計 $b'_{Y_3, 12}=0.573642$	

標準偏回帰係数:

計算は第14表のII a およびII b に示されている。

第14表のII a の(13)の計算

$$7.764007 C'_{11} + C'_{21} = 9.679779 \quad C'_{11} = 1.341185$$

$$10.412970 + C'_{21} = 9.679779$$

$$C'_{21} = 9.679779 - 10.412970 = -0.733191$$

$$7.764007 C'_{12} + C'_{22} = -3.835235 \quad C'_{12} = -0.733190$$

$$-5.692492 + C'_{22} = -3.835235$$

$$C'_{22} = -3.835235 + 5.692492 = 1.857257$$

$$7.764007 C'_{13} + C'_{23} = 0 \quad C'_{13} = 0.112970$$

$$0.877100 + C'_{23} = 0$$

$$C'_{23} = -0.877100$$

第14表のII a の(14)の計算

$$4.508444 C'_{11} + 2.252054 C'_{21} + C'_{31} = 4.508444 \quad C'_{11} = 1.341185, C'_{21} = -0.733191$$

$$6.046657 - 1.651186 + C'_{31} = 4.508444$$

$$C'_{31} = 4.508444 - 6.046657 + 1.651186 = 0.112973$$

$$0.892288 C'_{12} + 1.786295 C'_{22} + C'_{32} = 1.786295 \quad C'_{12} = -0.733190, C'_{22} = 1.857257$$

$$-0.654217 + 3.317609 + C'_{32} = 1.786295$$

$$C'_{32} = 1.786295 + 0.654217 - 3.317609 = -0.877097$$

$$0.221806 C'_{13} + 0.559818 C'_{23} + C'_{33} = 1 \quad C'_{13} = 0.112970, C'_{23} = -0.877100$$

$$0.025057 - 0.491016 + C'_{33} = 1$$

$$C'_{33} = 1 - 0.025057 + 0.491016 = 1.465959$$

検算

$$\begin{aligned} C'_{11} \cdot 1 + C'_{21} r_{12} + C'_{31} r_{13} &= 1.341185 + (-0.733191)(0.499519) + (0.112973)(0.221806) \\ &= 1.341185 - 0.366243 + 0.025058 = 1.000000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C'_{12} r_{12} + C'_{22} \cdot 1 + C'_{32} r_{23} &= (-0.733190)(0.499519) + 1.857257 + (-0.877097)(0.559818) \\ &= -0.366242 + 1.857257 - 0.491015 = 1.000000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C'_{13} r_{13} + C'_{23} r_{23} + C'_{33} \cdot 1 &= (0.112970)(0.221806) + (-0.877100)(0.559818) + 1.465959 \\ &= 0.025057 - 0.491016 + 1.465959 = 1.000000 \end{aligned}$$

標準偏回帰係数の計算の検算

$$\begin{aligned}
 &= b'_{Y_1 \cdot 23} \cdot 1 + b'_{Y_2 \cdot 13} r_{12} + b'_{Y_3 \cdot 12} r_{13} \\
 &= 0.092472 + (0.327865)(0.499519) + (0.573642)(0.221806) \\
 &= 0.092472 + 0.163775 + 0.127237 = 0.383484 \doteq r_{Y_1} \\
 &= b'_{Y_1 \cdot 23} r_{12} + b'_{Y_2 \cdot 13} \cdot 1 + b'_{Y_3 \cdot 12} r_{23} \\
 &= (0.092472)(0.499519) + 0.327865 + (0.573642)(0.559818) \\
 &= 0.046192 + 0.327865 + 0.321135 = 0.695192 \doteq r_{Y_2} \\
 &= b'_{Y_1 \cdot 23} r_{13} + b'_{Y_2 \cdot 13} r_{23} + b'_{Y_3 \cdot 12} \cdot 1 \\
 &= (0.092472)(0.221806) + (0.327865)(0.559818) + 0.573642 \\
 &= 0.020511 + 0.183545 + 0.573642 = 0.777698 \doteq r_{Y_3}
 \end{aligned}$$

重回帰方程式：

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} &= \bar{y} + b'_{Y_1 \cdot 23} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1^2}}}(X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_2 \cdot 13} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2^2}}}(X_2 - \bar{x}_2) + b'_{Y_3 \cdot 12} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_3^2}}}(X_3 - \bar{x}_3) \\
 &= 287.3353 + 0.092472 \frac{2147.061}{3021.621}(X_1 - 361.0958) + 0.327865 \frac{2147.061}{809.069}(X_2 \\
 &\quad - 112.1198) + 0.573642 \frac{2147.061}{3215.935}(X_3 - 361.1677) \\
 &= 287.3353 + 0.06571(X_1 - 361.0958) + 0.8701(X_2 - 112.1198) + 0.3830(X_3 \\
 &\quad - 361.1677) = 287.3353 + 0.06571 X_1 - 23.7276 + 0.8701 X_2 - 97.5554 + 0.3830 X_3 \\
 &\quad - 138.3272 = 27.7251 + 0.06571 X_1 + 0.8701 X_2 + 0.3830 X_3 \dots \dots \dots (4b)
 \end{aligned}$$

重相関係数：

$$\begin{aligned}
 R^2 &= b'_{Y_1 \cdot 23} r_{Y_1} + b'_{Y_2 \cdot 13} r_{Y_2} + b'_{Y_3 \cdot 12} r_{Y_3} \\
 &= (0.092472)(0.383481) + (0.327865)(0.695188) + (0.573642)(0.777695) \\
 &= 0.035461 + 0.227928 + 0.446119 = 0.709508 \\
 \therefore R &= 0.8423
 \end{aligned}$$

推定の標準誤差，即ち回帰からの標準偏差：

$$\begin{aligned}
 s_{Y \cdot 123} &= \sqrt{\frac{(1-R^2) S_y^2}{(N_0 - m)}} = \sqrt{\frac{(1-0.709508)(4609869)}{167-4}} = \sqrt{\frac{4609869-3270739}{163}} \\
 &= \sqrt{\frac{1339130}{163}} = \sqrt{8215.5215} = 90.6395
 \end{aligned}$$

重回帰全体としての有意性の検定：

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m-1 = 3$	$R^2 S_y^2 = 3270739$	$R^2 S_y^2 / (m-1) = 1090246.3333$	$m=4$
推定の誤差	$N_0 - m = 163$	$(1-R^2) S_y^2 = 1339130$	$(1-R^2) S_y^2 / (N_0 - m) = 8215.5215$	$N_0 = 167$
全体	$N_0 - 1 = 166$	$S_y^2 = 4609869$		$R^2 = 0.709508$
$F = 1090246.3333 / 8215.5215 = 132.7057$				

$F$  分布表によれば,  $F_{163}^3(1\%)$  は 3.91 と 3.88 の間にある。従って重回帰はきわめて有意である。

標準偏回帰係数の有意性の検定:

$$v = \frac{1-R^2}{N_0-m} = \frac{1-0.709508}{167-4} = \frac{0.290492}{163} = 0.001782$$

$b'_{Y_1.23}$  に対しては,

$$t = \frac{b'_{Y_1.23}}{\sqrt{vC_{11}^Y}} = \frac{0.092472}{\sqrt{(0.001782)(1.341185)}} = \frac{0.092472}{\sqrt{0.002390}} = \frac{0.092472}{0.048888} = 1.8915$$

$b'_{Y_2.13}$  に対しては,

$$t = \frac{b'_{Y_2.14}}{\sqrt{vC_{22}^Y}} = \frac{0.327865}{\sqrt{(0.001782)(1.857257)}} = \frac{0.327865}{\sqrt{0.003310}} = \frac{0.327865}{0.057533} = 5.6987$$

$b'_{Y_3.12}$  に対しては,

$$t = \frac{b'_{Y_3.12}}{\sqrt{vC_{33}^Y}} = \frac{0.573642}{\sqrt{(0.001782)(1.465959)}} = \frac{0.573642}{\sqrt{0.002612}} = \frac{0.573642}{0.051108} = 11.2241$$

$t$  分布表によれば, 自由度 163 に対する  $t(1\%)$  は 2.609 と 2.601 の間に, 同じく  $t(5\%)$  は 1.976 と 1.972 の間にある。故に  $b'_{Y_1.23}$  は有意でなく,  $b'_{Y_2.13}$  と  $b'_{Y_3.12}$  は共にきわめて有意である。なお,  $t(10\%)$  は 1.658 と 1.645 の間にある。

### 第5節 変数 $\frac{1}{V}$ を削除した場合

ここにおいて筆者は, 前節の (vii) 式から変数  $\frac{1}{V}$  を削除し,  $\frac{N}{V}$  と  $\frac{D}{V}$  に対する,  $T_v$  の回帰を表わす方程式を求めてみた。

附表第1と附表第2から変数の値を求め, 更にそれらの平方和及び積和を求めた。

ただしこの場合に計算の便宜上,  $\frac{N}{V}$  及び  $\frac{D}{V}$  の代りに, それぞれその 100 倍及び 10 倍の値を用いた。然して  $\frac{N}{V}$  の 100 倍を  $X_1$  で表わし,  $D$  の単位に (m) を用い,  $\frac{D}{V}$  の 10 倍を  $X_2$  で表わし,  $T_v$  の単位に (1/100 分) を用い,  $T_v$  を  $Y$  で表わした。

各変数  $X_1$ ,  $X_2$  及び  $Y$  について, 偏差平方和, 偏差積和及び相関係数を求めた組織的計算は, 第 15 表の I 及び II に示されている。

それに続く計算の過程は次の通りである。

アーチ集材作業の場合

$Y$  の推定値を  $\hat{Y}$ ,  $Y$  の  $X_1$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y_1.2}$ ,  $Y$  の  $X_2$  に対する標準偏回帰係数を  $b'_{Y_2.1}$  であらわせば, 次の重回帰方程式が成立つ。

$$\hat{Y} = \bar{y} + b'_{Y_1.2} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1^2}}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_2.1} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2^2}}} (X_2 - \bar{x}_2)$$

第15表のI. 偏差平方和, 偏差積および相関係数を求める表 (アーチ集材作業)

	$N_0=128$	$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
和 平均		$SX_i$ $\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$SX_1 = 13725$ $\bar{x}_1 = 107.2266$	$SX_2 = 21479$ $\bar{x}_2 = 167.8047$	$SY = 33234$ $\bar{y} = 259.6406$
$X_1$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)		$SX_1^2 = 1979737$ $(SX_1)^2/N_0 = 1471685$ $Sx_1^2 = 508052$ $\sqrt{Sx_1^2} = 712.778$	$SX_1X_2 = 2862280$ $(SX_1)(SX_2)/N_0 = 2303119$ $Sx_1x_2 = 559161$ $\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2} = 1077712$ $r_{12} = 0.5188$	$SX_1Y = 4258475$ $(SX_1)(SY)/N_0 = 3563568$ $Sx_1y = 694907$ $\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2} = 1291949$ $r_{Y1} = 0.5379$
$X_2$	(1) 平方和, 積和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和, 偏差積和 (1)-(2) (4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積 (5) 相関係数 (3)/(4)			$SX_2^2 = 5890385$ $(SX_2)^2/N_0 = 3604277$ $Sx_2^2 = 2286108$ $\sqrt{Sx_2^2} = 1511.988$	$SX_2Y = 7678779$ $(SX_2)(SY)/N_0 = 5576821$ $Sx_2y = 2101958$ $\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2} = 2740561$ $r_{Y2} = 0.7670$
$Y$	(1) 平方和 (2) 補正項 (3) 偏差平方和 (1)-(2) (4) $\sqrt{(3)}$ (5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$SY^2 = 11914252$ $(SY)^2/N_0 = 8628897$ $Sy^2 = 3285355$ $\sqrt{Sy^2} = 1812.555$ $s_y = 160.8382$

 $N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

第15表のII 偏差平方和、偏差積および相関係数を求める表(地曳集材作業)

$N_0=167$		$m=3$	$X_1$	$X_2$	$Y$
和		$SX_i$	$SX_1 = 18724$	$SX_2 = 60315$	$SY = 47985$
平均		$\bar{x}_i = SX_i/N_0$	$\bar{x}_1 = 112.1198$	$\bar{x}_2 = 361.1677$	$\bar{y} = 287.3353$
$X_1$	(1) 平方和、積和		$SX_1^2 = 2753922$	$SX_1X_2 = 8219102$	$SX_1Y = 6587692$
	(2) 補正項		$(SX_1)^2/N_0 = 2099330$	$(SX_1)(SX_2)/N_0 = 6762503$	$(SX_1)(SY)/N_0 = 5380067$
	(3) 偏差平方和、偏差積和 (1)-(2)		$Sx_1^2 = 654592$	$Sx_1x_2 = 1456599$	$Sx_1y = 1207625$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積		$\sqrt{Sx_1^2} = 809.069$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sx_2^2} = 2601913$	$\sqrt{Sx_1^2}\sqrt{Sy^2} = 1737120$
	(5) 相関係数 (3)/(4)			$r_{12} = 0.5598$	$r_{Y1} = 0.6952$
$X_2$	(1) 平方和、積和			$SX_2^2 = 32120079$	$SX_2Y = 22700468$
	(2) 補正項			$(SX_2)^2/N_0 = 21777840$	$(SX_2)(SY)/N_0 = 17330630$
	(3) 偏差平方和、偏差積和 (1)-(2)			$Sx_2^2 = 10342239$	$Sx_2y = 5369838$
	(4) 対角線は $\sqrt{(3)}$ , その他はその相乗積			$\sqrt{Sx_2^2} = 3215.935$	$\sqrt{Sx_2^2}\sqrt{Sy^2} = 6904809$
	(5) 相関係数 (3)/(4)				$r_{Y2} = 0.7777$
$Y$	(1) 平方和				$SY^2 = 18397655$
	(2) 補正項				$(SY)^2/N_0 = 13787786$
	(3) 偏差平方和 (1)-(2)				$Sy^2 = 4609869$
	(4) $\sqrt{(3)}$				$\sqrt{Sy^2} = 2147.061$
	(5) $\sqrt{(3)/(N_0-1)}$				$s_y = 166.6442$

$N_0$  は集材回数,  $m$  は変数の数

変数に対して最小自乗の原理を適用すると、次の1対の連立正規方程式が得られる。

$$b'_{Y_1 \cdot 2} + r_{12} b'_{Y_2 \cdot 1} = r_{Y_1}$$

$$r_{12} b'_{Y_1 \cdot 2} + b'_{Y_2 \cdot 1} = r_{Y_2}$$

この正規方程式を解くと、次の公式が得られる。

$$b'_{Y_1 \cdot 2} = \frac{r_{Y_1} - r_{Y_2} r_{12}}{1 - r_{12}^2}, \quad b'_{Y_2 \cdot 1} = \frac{r_{Y_2} - r_{Y_1} r_{12}}{1 - r_{12}^2}$$

第15表のIにもとづいて数字を代入すると、

$$b'_{Y_1 \cdot 2} = \frac{0.5379 - (0.7670)(0.5188)}{1 - (0.5188)^2} = \frac{0.5379 - 0.3979}{1 - 0.2692} = \frac{0.1400}{0.7308} = 0.1916$$

$$b'_{Y_2 \cdot 1} = \frac{0.7670 - (0.5379)(0.5188)}{1 - (0.5188)^2} = \frac{0.7670 - 0.2791}{1 - 0.2692} = \frac{0.4879}{0.7308} = 0.6676$$

重回帰方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= 259.6406 + 0.1916 \frac{1812.555}{712.778} (X_1 - 107.2266) + 0.6676 \frac{1812.555}{1511.988} (X_2 - 167.8047) \\ &= 259.6406 + 0.4872 (X_1 - 107.2266) + 0.8003 (X_2 - 167.8047) \\ &= 259.6406 + 0.4872 X_1 - 52.2408 + 0.8003 X_2 - 134.2941 \\ &= 73.1057 + 0.4872 X_1 + 0.8003 X_2 \dots\dots\dots (5 a) \end{aligned}$$

$Y$  と  $\hat{Y}$  の間の相関を示す値、即ち重相関係数を  $R$  であらわせれば、 $R$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$R^2 = r_{Y_1} b'_{Y_1 \cdot 2} + r_{Y_2} b'_{Y_2 \cdot 1}$$

数字を代入すると、

$$R^2 = (0.5379)(0.1916) + (0.7670)(0.6676) = 0.1031 + 0.5120 = 0.6151$$

$$\therefore R = 0.7843$$

推定の標準誤差、即ち回帰からの標準偏差を、 $s_{Y \cdot 12}$  であらわせれば、 $s_{Y \cdot 12}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{Y \cdot 12} = \sqrt{\frac{(1 - R^2) S_y^2}{N_0 - m}}$$

数字を代入すると、

$$\begin{aligned} s_{Y \cdot 12} &= \sqrt{\frac{(1 - 0.6151)(3285355)}{128 - 3}} = \sqrt{\frac{(0.3849)(3285355)}{125}} = \sqrt{\frac{1264533.1395}{125}} \\ &= \sqrt{10116.2651} = 100.5796 \end{aligned}$$

重回帰全体としての有意性の検定は、 $R$  の有意性の検定と全く同一である。即ち、回帰による平均平方が、回帰によっては説明のつかない項の平均平方に比べて著しく大きい

かどうかを、 $F$ をつかって検定するのである。

これを行なうために分散分析の形をつくれれば次のようになる。

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m-1=2$	$R^2Sy^2=2020821.8605$	$R^2Sy^2/(m-1)=1010410.9303$	$m=3$
推定の誤差	$N_0-m=125$	$(1-R^2)Sy^2=1264533.1395$	$(1-R^2)Sy^2/(N_0-m)=10116.2651$	$N_0=128$
全体	$N_0-1=127$	$Sy^2=3285355$		$R^2=0.6151$

$F=1010410.9303/10116.2651=99.8798$

$F$  分布表によれば、 $F_{125}^{2,3}(1\%)=4.78$  であるから、 $R$  はきわめて有意である。従って重回帰はきわめて有意である。

二つの  $b'$  の標準誤差は等しく、これを  $s_{b'}$  であらわせば、 $s_{b'}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}}$$

数字を代入すると、

$$s_{b'} = \sqrt{\frac{1-0.6158}{[1-(0.5188)^2](128-3)}} = \sqrt{\frac{0.3849}{(0.7308)(125)}} = \sqrt{\frac{0.3849}{91.3500}} \\ = \sqrt{0.004213} = 0.06491$$

$b'$  の有意性を検定するための  $t$  の値を次の公式によってみちびくことができる。

$$t = b'/s_{b'}$$

数字を代入すると、

$b'_{Y1.2}$  に対しては、

$$t = b'_{Y1.2}/s_{b'} = 0.1916/0.06491 = 2.952$$

$b'_{Y2.1}$  に対しては、

$$t = b'_{Y2.1}/s_{b'} = 0.6676/0.06491 = 10.285$$

$t$  分布表によれば、自由度 125 に対しては  $t(1\%)=2.616$  であるから、二つの  $b'$  は共にきわめて有意である。

アーチ集材作業の場合に用いたのと全く同じ方法で、地曳集材作業の場合に関する各種の計算を行なえば、次のようになる。

標準偏回帰係数：

$$b'_{Y1.2} = \frac{r_{Y1} - r_{Y2}r_{12}}{1-r_{12}^2} = \frac{0.6952 - (0.7777)(0.5598)}{1-(0.5598)^2}$$



$$= \frac{0.6952 - 0.4354}{1 - 0.3134} = \frac{0.2598}{0.6866} = 0.3784$$

$$\begin{aligned} b'_{Y_2,1} &= \frac{r_{Y_2} - r_{Y_1}r_{12}}{1 - r_{12}^2} = \frac{0.7777 - (0.6952)(0.5598)}{1 - (0.5598)^2} \\ &= \frac{0.7777 - 0.3892}{1 - 0.3134} = \frac{0.3885}{0.6866} = 0.5658 \end{aligned}$$

重回帰方程式：

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= \bar{y} + b'_{Y_1,2} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_1}^2}} (X_1 - \bar{x}_1) + b'_{Y_2,1} \frac{\sqrt{S_y^2}}{\sqrt{S_{x_2}^2}} (X_2 - \bar{x}_2) \\ &= 287.3353 + 0.3784 \frac{2147.061}{809.069} (X_1 - 112.1198) + 0.5658 \frac{2147.061}{3215.935} (X_2 - 361.1677) \\ &= 287.3353 + 1.0042 (X_1 - 112.1198) + 0.3777 (X_2 - 361.1677) \\ &= 287.3353 + 1.0042 X_1 - 112.5907 + 0.3777 X_2 - 136.4130 \\ &= 38.3316 + 1.0042 X_1 + 0.3777 X_2 \dots\dots\dots (5b) \end{aligned}$$

重相関係数：

$$\begin{aligned} R^2 &= r_{Y_1} b'_{Y_1,2} + r_{Y_2} b'_{Y_2,1} = (0.6952)(0.3784) + (0.7777)(0.5658) = 0.2631 + 0.4400 = 0.7031 \\ \therefore R &= 0.8385 \end{aligned}$$

推定の標準誤差，即ち回帰からの標準偏差：

$$\begin{aligned} s_{Y,12} &= \sqrt{\frac{(1-R^2)S_y^2}{N_0 - m}} = \sqrt{\frac{(1-0.7031)(4609869)}{167-3}} = \sqrt{\frac{(0.2969)(4609869)}{164}} \\ &= \sqrt{\frac{1368670.1061}{164}} = \sqrt{8345.5494} = 91.3540 \end{aligned}$$

重回帰全体としての有意性の検定：

変動因	自由度	平方和	平均平方	備考
回帰	$m-1=2$	$R^2 S_y^2 = 3241198.8939$	$R^2 S_y^2 / (m-1) = 1620599.4470$	$m=3$
推定の誤差	$N_0 - m = 164$	$(1-R^2) S_y^2 = 1368670.1061$	$(1-R^2) S_y^2 / (N_0 - m) = 8345.5494$	$N_0 = 167$
全体	$N_0 - 1 = 166$	$S_y^2 = 4609869$		$R^2 = 0.7031$

$$F = 1620599.4470 / 8345.5494 = 194.1873$$

F分布表によれば， $F_{164}^2(1\%)$  は 4.75 と 4.71 の間にある。故に重回帰はきわめて有意である。

標準偏回帰係数の標準誤差：

$$\begin{aligned} s_{b'} &= \sqrt{\frac{1-R^2}{(1-r_{12}^2)(N_0-3)}} = \sqrt{\frac{1-0.7031}{[1-(0.5598)^2](167-3)}} = \sqrt{\frac{0.2969}{(1-0.3134)(164)}} \\ &= \sqrt{\frac{0.2969}{(0.6866)(164)}} = \sqrt{\frac{0.2969}{112.6024}} = \sqrt{0.002637} = 0.05135 \end{aligned}$$

標準偏回帰係数の有意性の検定:

$b'_{Y1.2}$  に対しては,

$$t = b'_{Y1.2}/s_b = 0.3784/0.05135 = 7.3690$$

$b'_{Y2.1}$  に対しては,

$$t = b'_{Y2.1}/s_b = 0.5658/0.05135 = 11.0185$$

$t$  分布表によれば, 自由度 164 に対する  $t(1\%)$  は 2.609 と 2.601 の間にある。故に二つの標準偏回帰係数は共にきわめて有意である。

第6節 各回帰方程式の適合度の検討

(1 a) 式~(5 b) 式の, 適合度の良否は, 各方程式の推定の標準誤差又は重相関係数 ( $R$ ) によって比較され得る。但し (3 a) 式及び (3 b) 式の  $R$  は対数の影響を受けているから, 他の式の  $R$  と正確に比較することはできないが, 参考にはなると考えられる。第16表は, 各方程式とその推定の標準誤差及び重相関係数 ( $R$ ) の値をとりまとめたものである。但しこの表においては, 方程式の形が今までのものと少し変っている。即ち, 方程式の中の記

第16表 ウインチつきトラクターによる集材作業の工期に関する  
重回帰方程式とその推定の標準誤差及び重相関係数

式の呼称	重回帰方程式	推定の標準誤差 (1/100分)	重相関係数 $R$
1 a	$\hat{T}_v = 243.6675 + 1.6134 D - 66.3818 \frac{V}{N}$	127.8796	0.6147
1 b	$\hat{T}_v = 324.3960 + 1.1662 D - 139.5662 \frac{V}{N}$	113.9946	0.7333
2 a	$\hat{T}_v = 50.4827 + 1.3856 D + 113.5676 \frac{N}{V}$	120.5479	0.6687
2 b	$\hat{T}_v = -25.1015 + 1.0702 D + 172.1215 \frac{N}{V}$	99.5410	0.8047
3 a	$\log \hat{T}_v = 0.6852 + 0.3674 \log D + 0.5302 \log \frac{100N}{V}$	117.1887	0.7107
3 b	$\log \hat{T}_v = 0.4073 + 0.2876 \log D + 0.7143 \log \frac{100N}{V}$	97.3837	0.8155
4 a	$\hat{T}_v = 59.5521 + 69.76 \frac{1}{V} + 37.96 \frac{N}{V} + 81.32 \frac{D}{V}$	100.0558	0.7888
4 b	$\hat{T}_v = 27.7251 + 65.71 \frac{1}{V} + 87.01 \frac{N}{V} + 3.830 \frac{D}{V}$	90.6396	0.8423
5 a	$\hat{T}_v = 73.1057 + 48.72 \frac{N}{V} + 8.003 \frac{D}{V}$	100.5796	0.7843
5 b	$\hat{T}_v = 38.3316 + 100.42 \frac{N}{V} + 3.777 \frac{D}{V}$	91.3540	0.8385

ただし,  $\hat{T}_v$  は1回の集材における石当り集材時間の推定値 (単位: 1/100分)

$D$  は1回の集材における集材距離 (単位: m)

$V$  は1回の集材における集材材積 (単位: 石)

$N$  は1回の集材における丸太の本数

号は全部の方程式を通じて統一されており、また係数はそれに応じて位取りが変更されている。この表によって明らかなように、各式の  $R$  の大きさの順序は、推定の標準誤差の大きさの順序と正確に逆の関係にある。(3 a) 式及び (3 b) 式の適合度は、それぞれ (2 a) 式及び (2 b) 式のそれよりも大きい、(5 a) 式及び (5 b) 式のそれに及ばない。

(3 a) 式及び (3 b) 式の型による功程表現方法は、対数を求めることと、修正係数を求めることの故に、(5 a) 式及び (5 b) 式の型による方法に較べて計算の手数を多く要し、然も適合度が小さいから、独立変数を 2 つ用いて回帰分析を行なう場合には、(5 a) 式及び (5 b) 式の型による方程式の方が有利であろう。

(5 a) 式及び (5 b) 式における推定の標準誤差と (4 a) 式及び (4 b) 式におけるそれを比較してみると、前者はアーチ集材作業に関しても地曳集材作業に関しても、後者より極めて僅かしか大きくない。それ故今まで実例として用いて来たアーチ集材作業と地曳集材作業に関しては、(5 a) 式及び (5 b) 式は、(4 a) 式及び (4 b) 式に較べて殆んど劣らない適合度を有しているといえる。然しながら (4 a) 式及び (4 b) 式における  $\frac{1}{V}$  の標準偏回帰係数は、信頼率をそれぞれ 90% 及び 80% にした場合には有意となるから、他のトラクター集材作業に対して (4 a) 式及び (4 b) 式の型による表現方法を適用する場合には、信頼率を 95% 以上にしても、3 個の標準偏回帰係数全部が有意である可能性が充分にある。従って、(4 a) 式及び (4 b) 式の型による表現方法を捨て去らずに、先ず (4 a) 式及び (4 b) 式の型による表現を試み、必要に応じて変数を削除する、という手順に従うのが安全であると考えられる。

本研究におけるトラクター集材作業に関しては、どの型の回帰方程式を用いて計算しても、地曳集材作業の場合の推定の標準誤差はアーチ集材作業の場合のものよりも小さな値を示している。この原因は、地曳集材作業の方が、障害物によって作業の渋滞を起す程度が少なかったからであろうと考えられる。

## 第 6 章 重回帰方程式による林分作業功程の推定

### 第 1 節 全般的検討

以上において、ウインチつきトラクターによるアーチ集材作業と地曳集材作業について、1 回の集材作業における石当り集材時間の、集材石数、集材丸太本数及び集材距離との関係を示す方程式を決定する方法について検討した。

次に、これらの重回帰方程式を用いて或る林分における作業全体についての平均の石当り集材時間を推定する方法について、(4 a) 式と (4 b) 式を用いる場合を例にとって検討する。

第 16 表の (4 a) 式及び (4 b) 式の独立変数  $\frac{1}{V}$ ,  $\frac{N}{V}$ , 及び  $\frac{D}{V}$  に、或る 1 組の値を代入

して得られる  $\hat{T}_0$  の値は、 $\frac{1}{V}$ 、 $\frac{N}{V}$  及び  $\frac{D}{V}$  の組合せがそれと同じであるすべての回の集材作業における  $T_0$  の、平均値の推定値である。それならば或る林分における集材作業全体についての平均の石当り集材時間を推定する場合に、これらの方程式の独立変数に作業全体についての平均値を、全体の代表値として代入してもさしつかえないであろうか<sup>37a)</sup>。

(4 a) 式と (4 b) 式の一般式である (vii) 式を再掲すれば次の通りである。

$$\hat{T}_0 = a + b_1 \frac{1}{V} + b_2 \frac{N}{V} + b_3 \frac{D}{V}$$

ただし、 $\hat{T}_0$ : 1 回の集材における石当り集材時間の推定値 (1/100 分)

$V$ :            //            集材石数  
 $N$ :            //            集材丸太本数  
 $D$ :            //            集材距離 (m)

$a$ : 回帰常数  
 $b_1, b_2, b_3$ : 偏回帰係数

集材予定林分において行なわれる集材作業の回数を  $n$  とし、各回の集材作業における石当り集材時間を (vii) 式によって推定したとすれば、次の各式が成立つ。

$$\begin{aligned} \hat{T}_{v1} &= a + b_1 \frac{1}{V_1} + b_2 \frac{N_1}{V_1} + b_3 \frac{D_1}{V_1} \\ \hat{T}_{v2} &= a + b_1 \frac{1}{V_2} + b_2 \frac{N_2}{V_2} + b_3 \frac{D_2}{V_2} \\ \hat{T}_{v3} &= a + b_1 \frac{1}{V_3} + b_2 \frac{N_3}{V_3} + b_3 \frac{D_3}{V_3} \\ &\vdots \\ \hat{T}_{vn} &= a + b_1 \frac{1}{V_n} + b_2 \frac{N_n}{V_n} + b_3 \frac{D_n}{V_n} \end{aligned}$$

ただし各変数の添数は集材作業の回次を表わす。

各式において左右両辺にそれぞれの  $V$  を乗ずれば次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{T}_{v1} &= aV_1 + b_1 + b_2N_1 + b_3D_1 \\ \hat{T}_{v2} &= aV_2 + b_1 + b_2N_2 + b_3D_2 \\ \hat{T}_{v3} &= aV_3 + b_1 + b_2N_3 + b_3D_3 \\ &\vdots \\ \hat{T}_{vn} &= aV_n + b_1 + b_2N_n + b_3D_n \end{aligned}$$

ただし  $\hat{T}_i$  は 1 回の集材に要する時間の推定値 (1/100 分)、 $\hat{T}_i$  の添数は集材作業の回次を表わす。

これらの式の左右両辺をそれぞれ全部加算すれば次の式が得られる。

$$\Sigma \hat{T}_i = a \Sigma V + nb_1 + b_2 \Sigma N + b_3 \Sigma D \dots\dots\dots (viii)$$

ただし、 $\Sigma$  は総和記号で、全部の添数に関して有効であるものとする。

(viii)式の左右両辺を  $\Sigma V$  で除すれば次の式が得られる。

$$\frac{\Sigma T_i}{\Sigma V} = a \frac{\Sigma V}{\Sigma V} + b_1 \frac{n}{\Sigma V} + b_2 \frac{\Sigma N}{\Sigma V} + b_3 \frac{\Sigma D}{\Sigma V}$$

従って、

$$\frac{\Sigma T_i}{\Sigma V} = a + b_1 \frac{1}{\bar{V}} + b_2 \frac{\Sigma N}{\Sigma V} + b_3 \frac{\bar{D}}{\bar{V}} \dots \dots \dots (ix)$$

ただし  $\bar{V}$  及び  $\bar{D}$  は、 $\frac{\Sigma V}{n}$  及び  $\frac{\Sigma D}{n}$ 、即ち平均集材石数と平均集材距離を表わす。

$\frac{\Sigma T_i}{\Sigma V}$  は、或る林分における集材作業全体についての平均の石当り集材時間(1/100分)の推定値である。

(ix)式と(4a)並びに(4b)式とを比較すれば、次のことが明らかになる。

即ち、第16表の(4a)式と(4b)式において、 $\frac{1}{V}$ の代りに $\frac{1}{\bar{V}}$ を、 $\frac{N}{V}$ の代りに $\frac{\Sigma N}{\Sigma V}$ を、 $\frac{D}{V}$ の代りに $\frac{\bar{D}}{\bar{V}}$ を用いれば、集材予定材分における集材作業全体についての平均の石当り集材時間(1/100分)を推定することができる。

## 第2節 平均集材石数に関する検討

次に平均集材石数について検討してみる。1回の集材における集材石数が、他の条件の如何に拘わらず作業員の意志によって或る一定の値に決定される場合が考えられる。例えば、試験作業の際の1回の集材における集材石数が多過ぎたということが、トラクターや附属装置の故障、その他の状況から明らかとなり、本作業の際には試験作業の際の平均値よりも小さな或る特定の値を標準にして作業を行なうという場合、あるいは、試験作業の際に作業員が1回の集材における集材石数を最初少なめにし、回を重ねるに従って次第に多くして行って、作業の進行状況から判断して最適な値を見出し、本作業の際には最初からその材積を標準にして作業を行なうという場合などは原理的にこれに属する。これらの場合には、上述の標準石数は平均集材石数の推定値としてかなり正確度が高い、と考えられる。然し乍ら1回の集材における集材石数に標準を設けない場合には、その値は作業主体条件と客体条件との関係によって集材1回毎に大きく変動するのが普通である。

この場合に本作業全体についての平均集材石数の逆数を推定する方法の一つとして、試験作業の場合の各回の集材作業における、石当り丸太本数に対する集材石数の逆数の関係を利用する事が考えられる。この二つの変数に関する回帰方程式を求める計算の過程のうち、相関係数を求める所までは、第14表のI及びIIに既に示されている。それに続く計算の過程は次の通りである。

アーチ集材作業の場合

$X_1$  の推定値を  $\hat{X}_1$  で、 $X_1$  の  $X_2$  に対する回帰係数を  $b$  であらわせれば、回帰方程式を次のように書くことができる。

$$\hat{X}_1 = \bar{x}_1 + b(X_2 - \bar{x}_2)$$

$b$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$b = \frac{Sx_1x_2}{Sx_2^2}$$

第14表のIにもとづいて数字を代入すると、

$$b = \frac{678643}{508052} = 1.3358$$

従って回帰方程式は次のようになる。

$$\begin{aligned} \hat{X}_1 &= 328.6484 + 1.3358(X_2 - 107.2266) = 328.6484 + 1.3358 X_2 - 143.2333 \\ &= 185.4151 + 1.3358 X_2 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{1}{\hat{V}} = 0.1854 + 0.1336 \frac{N}{V} \dots\dots\dots (6 a)$$

ただし  $\hat{V}$  は  $V$  の推定値を表わす。

回帰からの  $X_1$  の偏差を  $d_{x_1, x_2}$  であらわせれば偏差平方和  $Sd_{x_1, x_2}^2$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$Sd_{x_1, x_2}^2 = Sx_1^2 - (Sx_1x_2)^2/Sx_2^2$$

数字を代入すると、

$$Sd_{x_1, x_2}^2 = 5750995 - \frac{(678643)^2}{508052} = 5750995 - 906514 = 4844481$$

推定の標準誤差、即ち回帰からの標準偏差を  $s_{x_1, x_2}$  であらわせれば、 $s_{x_1, x_2}$  を次の公式によってみちびくことができる。

$$s_{x_1, x_2} = \sqrt{\frac{Sd_{x_1, x_2}^2}{N_0 - 2}}$$

数字を代入すると、

$$s_{x_1, x_2} = \sqrt{\frac{4844481}{128 - 2}} = \sqrt{\frac{4844481}{126}} = \sqrt{38448.2619} = 196.0823$$

$b$  の標準誤差を  $s_b$  であらわせれば、 $s_b$  を次の式によってみちびくことができる。

$$s_b = s_{x_1, x_2} / \sqrt{Sx_2^2}$$

数字を代入すると、

$$s_b = 196.0823 / 712.778 = 0.2751$$

$b$  の有意性を検定するための  $t$  の値を、次の公式によってみちびくことができる。

$$t = b/s_b$$

数字を代入すると、

$$t = 1.3358/0.2751 = 4.8557$$

$t$  分布表によれば、自由度 126 に対する  $t$  (1%) は 2.616 と 2.609 の間にある。

故に回帰係数  $b$  はきわめて有意である。

アーチ集材作業の場合に用いたのと全く同じ方法で、第 14 表の II にもとづき地曳集材作業の場合に関する各種の計算を行なえば次のようになる。

回帰係数：

$$b = \frac{Sx_1x_2}{Sx_2^2} = \frac{1221175}{654592} = 1.8656$$

回帰方程式：

$$\begin{aligned} \hat{Y} &= \bar{x}_1 + b(X_2 - \bar{x}_2) = 361.0958 + 1.8656(X_2 - 112.1198) \\ &= 361.0958 + 1.8656X_2 - 209.1707 = 151.9251 + 1.8656X_2 \end{aligned}$$

$$\therefore \frac{1}{\hat{V}} = 0.1519 + 0.1866 \frac{N}{V} \dots \dots \dots (6b)$$

ただし  $\hat{V}$  は  $V$  の推定値を表わす。

回帰からの偏差平方和：

$$\begin{aligned} Sd_{x_1 \cdot x_2}^2 &= Sx_1^2 - (Sx_1x_2)^2/Sx_2^2 = 9130194 - \frac{(1221175)^2}{654592} \\ &= 9130194 - 2278165 = 6852029 \end{aligned}$$

推定の標準誤差即ち回帰からの標準偏差：

$$s_{x_1 \cdot x_2} = \sqrt{\frac{Sd_{x_1 \cdot x_2}^2}{N_0 - 2}} = \sqrt{\frac{6852029}{167 - 2}} = \sqrt{\frac{6852029}{165}} = \sqrt{41527.4485} = 203.7828$$

回帰係数の標準誤差：

$$s_b = s_{x_1 \cdot x_2} / \sqrt{Sx_2^2} = 203.7828 / 809.069 = 0.2519$$

回帰係数の有意性の検定：

$$t = b/s_b = 1.8656/0.2519 = 7.4061$$

$t$  分布表によれば、自由度 165 に対する  $t$  (1%) は 2.609 と 2.601 の間にある。

故に回帰係数はきわめて有意である。

(6a) 式と (6b) 式を用いて、作業全体についての平均集材石数の逆数を推定する方法の原理は次の通りである。

(6 a) 式と (6 b) 式の一般式を次のように書くことができる。

$$\frac{1}{\hat{V}} = a + b \frac{N}{V} \dots\dots\dots (x)$$

ただし、 $\hat{V}$ : 1 回の集材における集材石数の推定値

$N$ : // 集材丸太本数

$V$ : // 集材石数

$\frac{N}{V}$ : // 石当り丸太本数

$a$ : 回帰常数

$b$ : 回帰係数

集材予定林分において行なわれる集材作業の回数を  $n$  とし、各回の集材作業における  $\frac{1}{\hat{V}}$  と  $\frac{N}{V}$  との関係を (x) 式によって表現したとすれば、次の各式が成立つ。

$$\frac{1}{\hat{V}_1} = a + b \frac{N_1}{V_1}$$

$$\frac{1}{\hat{V}_2} = a + b \frac{N_2}{V_2}$$

$$\frac{1}{\hat{V}_3} = a + b \frac{N_3}{V_3}$$

⋮

$$\frac{1}{\hat{V}_n} = a + b \frac{N_n}{V_n}$$

ただし各変数の添数は集材作業の回次を表わす。

ここにおいて  $\hat{V} = V$  とみなし、各式において左右両辺にそれぞれの  $V$  を乗ずれば次のようになる。

$$1 = a\hat{V}_1 + bN_1$$

$$1 = a\hat{V}_2 + bN_2$$

$$1 = a\hat{V}_3 + bN_3$$

⋮

$$1 = a\hat{V}_n + bN_n$$

これらの式の左右両辺をそれぞれ全部加算すれば次の式が得られる。

$$n = a\Sigma\hat{V} + b\Sigma N \dots\dots\dots (xi)$$

ただし  $\Sigma$  は総和記号で、全部の添数に関して有効であるものとする。

(xi) 式の左右両辺を  $\Sigma\hat{V}$  で除すれば次の式が得られる。

$$\frac{n}{\Sigma\hat{V}} = a \frac{\Sigma\hat{V}}{\Sigma\hat{V}} + b \frac{\Sigma N}{\Sigma\hat{V}} \dots\dots\dots (xii)$$



(xii) 式の左辺の分母と分子を共に  $n$  で除し、 $\Sigma \hat{V} = \Sigma V$  とみなして右辺を整頓すれば次の式が得られる。

$$\frac{1}{\hat{V}} = a + b \frac{\Sigma N}{\Sigma V} \dots\dots\dots (xiii)$$

ただし、 $\bar{V}$  は  $\frac{\Sigma V}{n}$ 、即ち平均集材石数を、 $\hat{V}$  は  $\bar{V}$  の推定値を表わす。

(xiii) 式と、(6 a) 並びに (6 b) 式とを比較すれば、次のことが明らかになる。

即ち、(6 a) 式と (6 b) 式において、 $\frac{N}{V}$  の代りに  $\frac{\Sigma N}{\Sigma V}$  を用いれば、集材予定林分における集材作業全体についての平均集材石数の逆数を推定することができる。

### 第3節 平均集材距離に関する検討

次に平均集材距離について検討してみる。或る林分において集材作業を行なう前に、これから行なわれる各回の集材作業における集材距離の平均値を推定する方法に関し、先人の発表した見解は大要次の通りである。

MATTHEWS<sup>51)(81-88)</sup> は、「若し土場が非常に不規則な形の作業地域にあるならば、平均集材距離は、丸太伐出作業終了後作られる作業地域の見取図から決定されるか、或いは平均集材距離の実測によって決定されなければならないだろう。然しながら、大抵の丸太伐出作業の地取りは多少幾何学的な型にはまっており、平均集材距離はしばしば最大距離即ち土場から最も遠い境界線に至る最短距離を用いて容易に計算され得る<sup>51)(81)</sup>。」と述べ、作業地域が扇形、正方形及び長方形である場合の近似的平均集材距離を、丸太が伐採地点と土場とを結ぶ直線を通して運ばれるものとみなして数字的に計算する手順と、代表的な場合についての計算結果一覧表を示している。

また彼<sup>51)(84, 85)</sup> は、「地面の状態が好都合であるときには、荷掛け地点から土場又は道路までの直線距離は集材機械の実際の走行距離と極めて密接に近似するだろう。機械がその走行のために準備された道路、又は以前の走行において自から踏破した道路を辿るならば、走行距離は確定しているであろうが必ずしも荷掛け地点から土場又は道路までの最短直線距離ではないだろう。若し地面の状態の故に集材機械がその荷おろし地点までの最短の道を辿ることができないならば、地図又は見取図から求められた距離にもとづいて所要時間及び経費を見積る場合に、実走行距離が直線距離に較べて何 % 多くなっているか測定して、時間と経費に対して修正が施されるべきである。」という意味の事を述べている。

MÉGILLE<sup>52)(26, 27)</sup> は、「平均運搬距離を伐採地域の形の函数として与える表」として、MATTHEWS の発表した一覧表を全面的に採用している。

本邦のトラクター集材作業における実態を見ると、主として地形と地物の関係上丸太が伐採地点と土場とを結ぶ直線を通して運ばれるということは殆んど起らず、トラクターが道路或いは道路状の特定の場所を通して往復するのが普通である。それ故平均集材距離

の事前推定値としては、「丸太の通過予定線の長さの、それを通して運ばれる丸太の材積を重みとした加重平均値」を用いればよいと考えられる。

#### 第4節 推定の正確度の検討

以上の検討にもとづき、第16表中に示された(4a)式及び(4b)式、並びに(6a)式及び(6b)式を応用して、集材予定林分における集材作業全体についての平均の石当り集材時間を推定することができる。この方法による推定値の正確度を検討する一手段として、第10表によって示されているアーチ集材作業と地曳集材作業に関して、推定値の実測値に対する比率を求めてみる。

以下において用いる記号の意味は次の通りである。

$T_i$ : 1回の集材に要する時間 (1/100 分)

$V$ : 1回の集材における集材石数

$\bar{V}$ :  $V$  の平均値

$N$ : 1回の集材における集材丸太本数

$D$ : 1回の集材における集材距離 (m)

$\bar{D}$ :  $D$  の平均値

$\wedge$ : 推定値を示す

$\Sigma$ : 総和を示す

まず、 $\bar{V}$ 、 $\frac{\Sigma N}{\Sigma V}$ 、及び  $\bar{D}$  の実測値を用いて、 $\frac{\Sigma T_i}{\Sigma V}$  を推定してみる。

アーチ集材作業の場合:

$$\frac{1}{\bar{V}} = \frac{128}{522.20} = 0.2451$$

$$\frac{\Sigma N}{\Sigma V} = \frac{483}{522.20} = 0.9249$$

$$\frac{\bar{D}}{\bar{V}} = \bar{D} \frac{1}{\bar{V}} = (63.1)(0.2451) = 15.4658$$

(4a)式と(ix)式から、

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma T_i}{\Sigma V} &= 59.5521 + (69.76)(0.2451) + (37.96)(0.9249) + (8.132)(15.4658) \\ &= 59.5521 + 17.0982 + 35.1092 + 125.7679 = 237.5274 \end{aligned}$$

$$\text{実測値: } \frac{\Sigma T_i}{\Sigma V} = \frac{124902}{522.20} = 239.1842$$

$$\frac{\text{推定値}}{\text{実測値}} = \frac{237.5274}{239.1842} = 0.9931$$

地曳集材作業の場合:

$$\frac{1}{\bar{V}} = \frac{167}{584.35} = 0.2858$$

$$\frac{\Sigma N}{\Sigma V} = \frac{558}{584.35} = 0.9549$$

$$\frac{\bar{D}}{\bar{V}} = \bar{D} \frac{1}{\bar{V}} = (112)(0.2858) = 32.0096$$

(4 b) 式と (ix) 式から,

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma \hat{T}_i}{\Sigma V} &= 27.7251 + (65.71)(0.2858) + (87.01)(0.9549) + (3.830)(32.0096) \\ &= 27.7251 + 18.7799 + 83.0858 + 122.5968 = 252.1876 \end{aligned}$$

$$\text{実測値} : \frac{\Sigma T_i}{\Sigma V} = \frac{149675}{584.35} = 256.1393$$

$$\frac{\text{推定値}}{\text{実測値}} : \frac{252.1876}{256.1393} = 0.9846$$

次に,  $\bar{V}$  の実測値の代わりにその推定値を用いてみる。

アーチ集材作業の場合:

$$\frac{\Sigma N}{\Sigma V} = 0.9249$$

(6 a) 式と (xiii) 式から,

$$\frac{1}{\hat{V}} = 0.1854 + 0.1336 \frac{\Sigma N}{\Sigma V} = 0.1854 + (0.1336)(0.9249) = 0.1854 + 0.1236 = 0.3090$$

$$\frac{\bar{D}}{\hat{V}} = \bar{D} \frac{1}{\hat{V}} = (63.1)(0.3090) = 19.4979$$

(4 a) 式と (ix) から,

$$\begin{aligned} \frac{\Sigma \hat{T}_i}{\Sigma V} &= 59.5521 + (69.76)(0.3090) + (37.96)(0.9249) + (8.132)(19.4979) \\ &= 59.5521 + 21.5558 + 35.1092 + 158.5569 = 274.7740 \end{aligned}$$

$$\frac{\text{推定値}}{\text{実測値}} : \frac{274.7740}{239.1842} = 1.1488$$

地曳集材作業の場合:

$$\frac{\Sigma N}{\Sigma V} = 0.9549$$

(6 b) 式と (xiii) 式から,

$$\frac{1}{\hat{V}} = 0.1519 + 0.1866 \frac{\Sigma N}{\Sigma V} = 0.1519 + (0.1866)(0.9549) = 0.1519 + 0.1782 = 0.3301$$

$$\frac{\bar{D}}{\hat{V}} = \bar{D} \frac{1}{\hat{V}} = (112)(0.3301) = 36.9712$$

(4 b) 式と (ix) とから、

$$\begin{aligned}\frac{\sum T_i}{\sum V} &= 27.7251 + (65.71)(0.3301) + (87.01)(0.9549) + (3.830)(36.9712) \\ &= 27.7251 + 21.6909 + 83.0858 + 141.5997 = 274.1015\end{aligned}$$

$$\frac{\text{推定値}}{\text{実測値}} : \frac{274.1015}{256.1393} = 1.0701$$

上に述べた四つの  $\frac{\sum T_i}{\sum V}$  の実測値に対する推定値の比率を比較してみると、実測値と推定値との差は主として  $\bar{V}$  の実測値とその推定値との違いによって生じたものであることが明らかである。

従って、 $\frac{1}{\bar{V}}$  と  $\frac{N}{V}$  との相関係数が小さい場合には、 $\frac{\sum T_i}{\sum V}$  の実測値と推定値との差が大となる可能性が大きい。

### 第5節 推定の手順

次に、集材予定林分における集材作業について、集材予定丸太の総本数、総材積及び平均集材距離が与えられた場合に、作業全体についての平均の石当り集材時間を推定する手順を実例によって述べることにする。

集材予定丸太の総本数を 8000 本、総材積を 10000 石とすれば、

$$\frac{\sum N}{\sum V} = \frac{8000}{10000} = 0.8$$

次に  $\frac{1}{\bar{V}}$  を求める。

アーチ集材作業に対しては (6 a) 式と (xiii) 式から、

$$\frac{1}{\bar{V}} = 0.1854 + 0.1336 \frac{\sum N}{\sum V} = 0.1854 + (0.1336)(0.8) = 0.1854 + 0.1096 = 0.2923$$

地曳集材作業に対しては (6 b) 式と (xiii) 式から、

$$\frac{1}{\bar{V}} = 0.1519 + 0.1866 \frac{\sum N}{\sum V} = 0.1519 + (0.1866)(0.8) = 0.1519 + 0.1493 = 0.3012$$

次に  $\frac{\bar{D}}{\bar{V}}$  の推定値を求める。

平均集材距離の推定値を 90 m とすれば、アーチ集材作業に対しては、

$$\frac{\bar{D}}{\bar{V}} = \bar{D} \frac{1}{\bar{V}} = (90)(0.2923) = 26.3070$$

地曳集材作業に対しては、

$$\frac{\bar{D}}{\bar{V}} = (90)(0.3012) = 27.1080$$

以上において算出された値から、 $\frac{\sum T_i}{\sum V}$  の推定値を求める。

アーチ集材作業に対しては、第16表中の(4a)式と(ix)式から、

$$\begin{aligned}\frac{\Sigma \hat{T}_i}{\Sigma V} &= 59.5521 + (69.76)(0.2923) + (37.96)(0.8) + (8.132)(26.3070) \\ &= 59.5521 + 20.3908 + 30.368 + 213.9285 = 324.2394\end{aligned}$$

即ち、石当り集材時間は約3.24分である。

地曳集材作業に対しては、第16表中の(4b)式と(ix)式から、

$$\begin{aligned}\frac{\Sigma \hat{T}_i}{\Sigma V} &= 27.7251 + (65.71)(0.3012) + (87.01)(0.8) + (3.830)(27.1080) \\ &= 27.7251 + 19.7919 + 69.608 + 103.8236 = 220.9486\end{aligned}$$

即ち、石当り集材時間は約2.21分である。

### 第6節 功程の等しくなる集材距離の推定

実用を主とする立場から、既述の重回帰方程式の応用範囲を更に拡張してみる。集材予定林分における集材作業に関して、各回の集材作業における石当り丸太本数及び集材石数が一定であるとみなし得る場合には、試験作業の結果にもとづいて決定された重回帰方程式を用いて、アーチ集材作業と地曳集材作業の各回の集材における石当り集材時間の母平均の等しくなる集材距離を推定することができる。その手順を実例によって示す。

仮定により、各回の集材作業における石当り丸太本数は、作業全体に関する平均の石当り丸太本数に等しい。即ち、

$$\frac{N}{V} = \frac{\Sigma N}{\Sigma V}$$

集材予定丸太の総本数が8000本、その総材積が10000石である場合には、

$$\frac{N}{V} = \frac{\Sigma N}{\Sigma V} = \frac{8000}{10000} = 0.8$$

1回の集材における集材石数は、アーチ集材作業においては8石、地曳集材作業においては5石であるものとし、この2種類の作業方法における石当り集材時間が等しくなる距離を  $X_a$ (m) で表わせば、第16表における(4a)式と(4b)式から次の式が得られる。

アーチ集材作業に関しては、

$$\hat{T}_v = 59.5521 + (69.76)\left(\frac{1}{8}\right) + (37.96)(0.8) + (8.132)\left(\frac{X_a}{8}\right)$$

地曳集材作業に関しては、

$$\hat{T}_v = 27.7251 + (65.71)\left(\frac{1}{5}\right) + (87.01)(0.8) + (3.830)\left(\frac{X_a}{5}\right)$$

両式の右辺を等号で結んで整理すれば、

$$59.5521 + 8.72 + 30.368 + 1.0165 X_a = 27.7251 + 13.142 + 69.608 + 0.766 X_a \cdots \text{(xiv)}$$

$$1.0165 X_a - 0.766 X_d = 27.7251 + 13.142 + 69.608 - 59.5521 - 8.72 - 30.368$$

$$0.2505 X_a = 11.835 \quad X_a = 47.2455$$

(xiv)式における  $X_a$  の係数を比較すると、アーチ集材作業に関するものの方が大きいから、集材距離が約 47 m よりも大きい場合にはアーチ集材作業における石当り集材時間の方が、地曳集材作業におけるものよりも多くなることがわかる。この事は、アーチ集材作業と地曳集材作業の工期上の特性に関して、一般に云われていること、即ち、「集材距離が短い場合には地曳集材の方が有利であり、集材距離が長い場合にはアーチ集材の方が有利である」という命題に反している。この主な原因は、試験作業が風害林において行なわれたことであろうと判断される。何となればトラクターの機動性は、トラクターがアーチを牽引した場合には、アーチを牽引しない場合におけるよりも低下するから、風害林のような、トラクターの走行に対する障害物の極端に多い場所においては、アーチを牽引した場合のトラクターの走行速度は、然らざる場合の走行速度よりも小さくならざるを得ないと考えられるからである。

## 第7章 結 語

本研究におけるトラクター集材作業は、風害天然林内において、且つトラクター集材作業にあまり習熟していない作業員によって行なわれたものであるから、これから得られた資料にもとづいて決定された重回帰方程式の、回帰常数と回帰係数の値は、北海道で行なわれるウインチつきトラクターによる集材作業についての代表的な値とは云えないであろう。然しながら、「作業客体の条件と作業工期との関係を重回帰方程式によって表現し、変数として測定された作業客体条件の、実測値の範囲内における任意の値に対する作業工期を推定する」という原理は、単にウインチつきトラクターによるアーチ集材作業と地曳集材作業の比較に対してのみならず、他の種類のトラクター集材作業の工期推定に対しても適用され得ると思われる。

また作業工期を比較する場合には、各々の工期の得られた林分の地形、気候、土壌の性状、また丸太の樹種、などがほぼ同じでなければならないのは既に述べた通りである。研究の現段階においては、作業担当者の主観によって、それらがほぼ同じであるか否かを判定せざるを得ないが、作業担当者が深い専門的知識と豊かな経験を有しているならば、このようにして行なわれた工期比較でも、事業計画の樹立に対して重要な客観的裏付けとなり得ることは否定されないであろう。

工期比較の資料を得るために試験作業を行なう場合には、独立変数の測定値の分布範囲が、将来本作業において出現を予想される測定値の全領域に亘るように、予め綿密な計画が樹立される必要がある。

本論文において論述した功程表現方法の普遍性を確認するために筆者は今後正常な森林においてウインチつきトラクターによる集材作業の測定を数多く実施し、それぞれの場合の実測値に対する推定値の適合度を検討する予定である。またこれと共に、功程と作業条件との関係を一層よく表現する重回帰方程式を探求するために、変数の種類の変更と各種の曲面回帰分析の適用を検討する所存である。

## 摘 要

トラクター集材作業に関する研究成績を、第1篇各種性能のトラクターによる集材作業の研究、第2篇ウインチつきトラクターによる集材作業の功程に関する研究として、以上において記述した。

これらの中からその要項を摘出して再言すれば次のとおりである。

1. トラクターは第1次世界大戦の頃アメリカ合衆国において、世界で始めて集材作業に用いられた。またロッキングアーチは1927年頃、同じくアメリカ合衆国の西部海岸において始めて用いられた。

本邦においては、トラクターによる地曳集材およびアーチ集材は、第2次世界大戦終了後に始めて実行された。

これらの2種類の作業方法は現在、本邦においても諸外国においてもそれぞれ重要な集材作業方法の1つとなっている。

2. 昭和30年(1955)の夏に筆者は、北海道の天然生林の風害地において、ウインチのついたNTK-4W型トラクター(重量5.5t)を用いて、地曳集材作業、パン集材作業およびアーチ集材作業の試験を行なった(第2表および第4表参照)。

地曳集材作業の試験は平坦地において行なわれ、供試トラクターによる供験地域での作業において、確実に一度に集材し得る丸太材積の限度は、エゾマツ丸太の場合には7~8石であった。作業中にトラクターの最大牽引力の必要な場合がしばしばあったから、供試トラクターの能力は、この作業に適当であったと考えられる。

パン集材作業の試験は傾斜地において行なわれた。パンは伐根など地表の突出物に前進を妨げられやすく、またトラクターによって後退させることができないので、風害地のように地表に突出物の多い場所における集材作業には不適當であると認められた。

アーチ集材作業の試験はパン集材作業の試験と同じ場所で行なわれた。アーチは林内における運動性の点でパンより著しくすぐれていた。しかし自重がパンよりも相当に大きいので、登坂性能の点においてはパンよりもやや劣っていた。

トラクターの登坂能力から考えれば、20~30度の斜面において供試トラクターを用いて集材する場合には、アーチ集材作業よりも地曳集材の方が功程上有利であることがあ

り得ると考えられる。

3. 昭和32年と33年(1957, 1958)の夏に、ウインチのついたカトウ SG 型トラクター(重量2.8t)を用いて、アーチ集材作業およびバチ樞集材作業の試験を行なった(第5表および写真1参照)。

作業地はやや急斜地であり、トラクターの作業中の走行速度は、平坦地でのトラクター集材作業における従来の実績に較べて著しく低かった。この原因は、集材路の中に勾配に関して、トラクター集材作業の可能な限界附近の部分が相当に多く存在していたことであると考えられる。

アーチ集材作業とバチ樞集材作業を比較すると、集材された丸太の石廻りについても集材路の勾配についてもあまり差がなく、工期についてはアーチ集材作業の方がバチ樞集材作業よりもすぐれていた。

また本文の中において述べたように、作業条件および作業成績から考えれば、前項において述べたアーチ集材作業において、NTK-4W型トラクターの代わりにカトウ SG 型トラクターを用いたとしても、工期はさほど低くはなかったであろうと考えられる。

4. 昭和34年(1959)の夏に、ヤンマー A3 型ディーゼルエンジンを搭載したスズエ H 型ハンドトラクター(重量0.24t)とトレーラーを用いて、集材作業の試験を行なった(第6表および写真2参照)。

供試ハンドトラクター集材車(ハンドトラクターに集材用トレーラーを連結したものは、駆動輪の滑り率が大きいために登坂力と走行速度が小さく、また操向装置の機構が集材作業には不相当であるために、そのままでは実用に供し得るとは云われない。

駆動部の滑り率が供試機よりも小さいハンドトラクター集材車を構成し、さらに操作に要する力が小さくてしかも作用が鋭敏でありまたトラクターの直進を維持する性質の強い操向装置を、備えたハンドトラクターを用いるならば、集材用機械としてのハンドトラクターの価値は効果的に発揮されることが考えられる。

5. 昭和35年(1960)の夏に、ランサム MG6 型トラクター(重量0.74t)を用いて地曳集材作業の試験を行なった(第7表および写真3参照)。

供試トラクターの登坂能力は集材作業に対しては充分と認められた。

供試機と同程度の重量を有する履带式超小型トラクターの牽引力は、1本の材積が4.5石程度より少ない針葉樹丸太を集材する場合には充分であろうと考えられる。

また1本の材積が10石内外の針葉樹丸太を集材する場合に、供試機に較べて格段に能率的に使用されるトラクターの中では、重量1.5t内外の、ウインチつきの履带式トラクターが最も重量の小さい部類に属するであろうと考えられる。

6. トラクターによる地曳集材およびアーチ集材の本邦における実行成績に関して、



筆者は現在までに54篇の文献を確認した。

説明の便宜上トラクター集材作業に就いて、機械、器具、作業員および作業手順を作業主体と呼び、森林及び丸太を作業客体と呼ぶことにする。

2組の作業主体の作業工程上の有利不利を、試験作業の結果にもとづいて比較する場合、一般に二つの作業における作業客体の条件は異なっているから、作業工程の実測値から、二つの作業における作業客体の条件が同一である場合の数値を算出する必要がある。

これを行なうためには、作業工程と作業客体の条件との関係が定量的に明らかにされていないなければならない。

前述の54篇の文献中僅か5篇が、この関係を定量的に表現しているに過ぎない。大部分の文献においてこれが行なわれていない主な原因は、この関係の定量的表現方法が確立されていない事であると思われる。

これを確立する事は困難であるが、それを實現することの必要性は明らかである。今回筆者は新しい定量的表現方法を案出した。その要点は以下の各項で述べるが、本法は在来の方法に較べて、関係の実態に僅かながら一層近づくものであり、その実行に要する手数も実用上差支ない程度であると思われる。

7. 昭和29年と31年(1954, 1956)に、北海道苫小牧地方の天然生林の風害地において、ウインチのついたNTK-4W型履帯式トラクターによる地曳集材作業及びアーチ集材作業を観察し、トラクターの働きに着目して作業内容を分類した(第8~10表および写真4~6参照)。その結果に従って、ウインチつきトラクターによる集材作業は、上山(トラクターが土場から丸太に向かって走行する)、荷集め(その丸太をトラクターがウインチで引寄せ)、下山(トラクターが丸太を牽引して土場まで走行する)、及び荷おろし(トラクターが土場で丸太を解放する)という4種類の作業の、この順序での繰返しであるとみなした。

8. 筆者は現在までに、ウインチつきトラクターによるアーチ集材作業又は地曳集材作業の工程を、作業客体条件と定量的に関連させて表現する方法を示している11篇の文献を、検討することができた。これらのうちの8篇によって示されている方法は、作業時間の分析と総合による巨視的理論式を用いる方法であり、残りの3篇によって示されている方法は回帰方程式即ち一種の実験式を用いる方法である。どちらの種類の方法にも長所と短所がある。そして現在までには、後者特に重回帰方程式を用いる方法の検討が極めて僅かしか行なわれていない。筆者はこの方法について研究した。

9. 前記の11篇の文献において、作業工程に影響を及ぼす因子として取り上げられている作業客体は30の多きに及んでいる。筆者はそれらを検討し、試みに重回帰方程式の従属変数として1回の集材における丸太の単位材積当りの集材時間を選び、独立変数として同じく集材距離と丸太1本当りの材積とを取り上げてみた。

独立変数として取り上げなかった作業客体因子の中の主なものは、作業地の地形、気候及び土壌の状態、並びに丸太の樹種である。筆者はこれらのものを、層別因子として扱った。それ故、或る集材作業の工期を試験作業の結果にもとづいて推定するに際しては、試験作業におけるそれらの因子が本作業におけるものと同一の層に属するように、試験作業の条件を限定する必要がある。

10. 第7項において述べたトラクター集材作業のうち昭和31年(1956)に行なわれた2種類のトラクター集材作業について、下記の型の重回帰方程式を求めたが、それらの方程式の適合性は満足すべき程度に達しなかった。

$$\hat{T}_v = a + b_1 D + b_2 \frac{V}{N} \dots\dots\dots (i)$$

ただし、 $T_v$  は1回の集材における単位材積当り集材時間

$\hat{\phantom{x}}$  は推定値を示す記号

$D$  は1回の集材における集材距離

$V$  は1回の集材における集材材積

$N$  は1回の集材における集材丸太本数

$\frac{V}{N}$  は1回の集材における丸太1本当りの材積

$a, b_1$  及び  $b_2$  はパラメーター

そこで筆者は、独立変数の種類を変えたり、曲面回帰を表わす方程式を用いたり、独立変数の個数を二つから三つに増したりして、適合性のより良い重回帰方程式を探求した。

11. 筆者が求めた5種類の型の重回帰方程式の中では、次の型に属するものが適合性の点で最もすぐれていた。

$$\hat{T}_v = a + b_1 \frac{1}{V} + b_2 \frac{N}{V} + b_3 \frac{D}{V} \dots\dots\dots (ii)$$

ただし、 $b_3$  はパラメーター

その他の記号の意味は第10項におけると同じである。

この方程式における  $\hat{T}_v$  と、 $T_v$  との間の相関係数 ( $R$ ) は次の通りであった。

アーチ集材作業の場合

$$R = 0.7888 \quad (\text{きわめて有意})$$

地曳集材作業の場合

$$R = 0.8423 \quad (\text{きわめて有意})$$

12. 重回帰方程式は、独立変数の値の或る一つの組合せに対応する従属変数の値の母平均を推定するためのものであるが、前項の(ii)の型の式を、或る林分における集材作業全体についての平均の単位材積当り集材時間 ( $T_{va}$ ) の推定に適應させることが可能である。

この場合には、 $\frac{1}{V}$  の代りに  $\frac{1}{\bar{V}}$  が、 $\frac{N}{V}$  の代りに  $\frac{\sum N}{\sum V}$  が、 $\frac{D}{V}$  の代りに  $\frac{\bar{D}}{\bar{V}}$  が用いられる。

ただし、 $\bar{V}$  および  $\bar{D}$  はそれぞれ各回の集材作業における  $V$  及び  $D$  の平均値、 $\sum$  は総和記号である。

$T_{vs}$  の推定値の正確度は、主として  $\frac{1}{\bar{V}}$  の推定値の正確度に依存する。

13. ウインチつきトラクターによる集材作業を本格的に実行するに先立ち、2組の作業主体により、集材予定林分において試験的集材作業を行ない、それぞれの作業主体について第11項の(ii)式の常数を決定して重回帰方程式を求めれば、前項に示した手順によって、その2組の作業主体の集材予定林分における作業工程上の有利不利を判定する資料を得ることができる。

14. 集材予定林分における各回の集材作業の、単位材積当り丸太本数及び集材材積が一定であるとみなし得る場合には、前記の重回帰方程式を用いて、アーチ集材作業と地曳集材作業の、1回の集材における単位材積当り集材時間の等しくなる集材距離を推定することができる。

#### 引用並びに参考文献

(\* 印については本論文第027頁の脚註参照の事)

- 1) 旭川営林局：風害木処理を主体とした冬山生産技術に関する打合せ会議資料。1955.
- 1a) BARSCH, O.: Verwendung von Kraftfahrzeugen bei der mechanisierung der Forstwirtschaft. 1te Aufl. 1925.
- 2) BROWN, N. C.: Logging. 1st ed. 1949.
- \*3) 千葉勝郎：全幹材伐木に関する一考察。技術研究(北見営林局) No. 6: p. 24~28. 1959.
- \*4) 越中貞蔵・鈴木 暉：人力木寄作業の機械化転換。日林講. 69回: p. 456~458. 1959.
- 5) FAO 林業委員会(東京大学森林利用学教室訳)：林業用トラクター試験法暫定案(其の一)、(其の二)、(其の三)。林業機械化情報. No. 54: p. 59~70, No. 55: p. 69~82, No. 56: p. 64~70. 1958.
- \*6) 藤林 誠・大河原昭二・鈴木正之：北海道夏山における風倒木のトラクター集運材について。日林講. 67回: p. 311~316. 1957.
- \*7) 藤林 誠・大河原昭二・鈴木正之：風倒木処理に関するトラクター運材作業について。演習林(東京大学) No. 12: p. 95~119. 1957.
- 7a) GLÄSER, H.: Das Rücken des Holzes. 1te Aufl. 1951.
- 8) GUNN, D. C. & GUERNSEY, F. W.: Skidding time Studies in the B. C. Southern Interior. (Reprinted from British Columbia Lumberman. February. 1958).
- 9) 函館営林署事業課：トラクター集材に対する一考察。銀葉 1958年2,3月合併号: p. 82~87.
- \*10) 服部清兵衛：フォードソン・トラクター試用結果報告(第2報)。樹水 Vol. 6 No. 10: p. 38~55. 1956.
- \*11) 服部清兵衛：林内作業における機械化の方向(1)——主として全幹集材について——。樹水 Vol. 8 No. 5: p. 74~77. 1958.
- \*12) 服部清兵衛：造林作業を考慮した素林生産工程一考。日林講. 70回: p. 379~382. 1960.

- \*13) 服部清兵衛：林内作業における(主として敷出作業)小型トラクター導入についての1考察(第1報). 日林講. 66回: p. 151~154. 1956.
- \*14) 服部清兵衛・大崎郁次郎：林内における小型トラクター導入についての1考察(そのII)事業運営と規模. 日林講. 67回: p. 309~311. 1957.
- \*15) 服部清兵衛・大崎郁次郎：林内作業における小型トラクター導入について. 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 3: p. 116~126. 1957.
- 16) HERRICK, D. E. (大河原昭二訳): Tractive effort required to skid hardwood logs. [アメリカにおけるトラクター集材(牽引力について)]. 林業機械化情報 No. 51: p. 61~72. 1957.
- \*17) 岩川 治・佐々木 功・神崎康一：トラクター集材作業における作業方法の相違と各因子の影響について. 日林講. 70回: p. 382~384. 1960.
- \*18) 岩下久芳：装輪式トラクターによる集材作業の経過. 林業機械化情報 No. 78: p. 31~41. 1960.
- 19) 岩手富士産業株式会社技術課：CT-25X型試作小型トラクター. 林業機械化情報 No. 42: p.30~38. 1956.
- \*20) 岩手富士産業株式会社技術課：CT-25型試作小型トラクターの集材実験報告. 林業機械化情報 No. 45: p. 17~24. 1956.
- \*21) 岩谷幸三・斎藤健一郎：上川営林署におけるトラクター集材について. 林業機械化情報 No. 64: p. 80~89. 1959.
- 22) JACKSON, T.: Time studies in "Caterpillar" logging. Timberman Vol. 29 No. 1: p. 176. 1927.
- 23) 鎌田 栄：トラクター集材と畜力集材の比較対照について. 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 1: p. 148~152. 1955.
- 24) 神崎康一：トラクター運材において土場の作業員及びトラクターの手待ちについて(英文). 京都大学農学部演習林報告 No. 29: p. 212~218. 1960.
- \*25) 川口 晃・植野和一：トラクターによる木寄集材作業について. 直営生産事業研究発表集(東京営林局) No. 6: p. 27~38. 1958.
- 26) 木梨謙吉：推計学を基とした測樹学. 第1版 1954.
- 27) 北川 正・二本孝友：牽引車による糶出作業. 山林と技術 Vol. 1 No. 1: p. 42~47. 1949.
- 28) 北見営林局監査課：夏山木直作業工期調査(その一). 北見林友 Vol. 4 No. 3: p. 16~25. 1955.
- 29) 北見営林局監査課：夏山木直作業工期調査(その二). 北見林友 Vol. 4 No. 5: p. 28~39. 1955.
- 30) 北見営林局監査課：林業用小型トラクターによる夏山搬出作業工期調査報告. 北見林友 Vol. 6 No. 7: p. 9~37. 1957.
- \*31) 清里営林署事業課：全幹材作業(枝付き全幹材)の実験とその経過(第1報). 北見林友 Vol. 8 No. 2: p. 52~57. 1959.
- 32) 小林 正：トラクター集運材の工期について. 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 3: p. 36~45. 1957.
- 33) 小林 正：チェーンソー, トラクターの使用をめぐって. 林業機械化情報 No. 59: p. 37~65. 1958.
- \*34) 小泉初雄：トラクター用搬器の考案使用経過. 技術研究(北見営林局) No. 6: p. 92~100. 1959.
- 35) 小島幸治：トラクター集運材作業に関する二, 三の考察. 林業機械化情報 No. 71: p. 32~41. 1959.
- \*36) 小島幸治：天塩地方の天然林におけるトラクター集材の試験. 林学会北海道支部講演集 No. 8: p. 20~22. 1959.
- 37) 小島幸治：ハンドトラクタによる集材作業の試験. 日林講. 70回: p. 384~386. 1960.

- 37a) 小島幸治: トラクター集材作業の工期と作業条件との関係について. 日林誌. Vol. 43 No. 6: p. 203~208. 1961.
- \*38) 小森田正俊: トラクター運材の実績. 林業機械化情報 No. 63: p. 43~49. 1959.
- 39) 近藤正巳: 標準工期表作製のための実験計画 (VI). 日林講. 68回: p. 344~346. 1958.
- 40) 近藤正巳: 標準工期表作製のための実験計画 (VII)——人力木寄について——. 日林講. 69回: p. 503~506. 1959.
- 41) 近藤正巳: 林業技術のための推計学入門. 第1版 1959.
- \*42) 小清水営林署事業課: 全幹材作業. 北見林友 Vol. 8 No. 2: p. 72~92. 1959.
- \*43) 小清水営林署事業課: 全幹材用搬器の試作使用経過の概要. 北見林友 Vol. 8 No. 2: p. 93~95. 1959.
- \*44) 小清水営林署事業課: 全幹材用試作搬器の使用体験記. 北見林友 Vol. 8 No. 2: p. 96~97. 1959.
- \*45) 小清水営林署: 全幹材搬出機の改良について——立地条件と安全の立場から——. 北見林友 Vol. 9 No. 7, 8: p. 10~14. 1960.
- 46) 小山 倂: トラクター集材の工期理論. 林業機械化ガイドブック第1版: p. 30~35. 1959.
- 47) KRUEGER, M. E.: Time study in Caterpillar logging. Timberman Vol. 29 No. 1: p. 44, 46. 1927.
- 48) MACKENZIE, D.: Caterpillar logging in Montana. Timberman Vol. 29 No. 1: p. 46, 1927.
- 49) 松村藤吉: 大型トラクター使用実績. 山林作業の研究(十条製紙株式会社山林部) No. 6: p. 21~35. 1958.
- 50) 松下嘉米男: 統計入門. 第1版 1959.
- 51) MATTHEWS, D. M.: Cost control in the logging industry. 1st ed. 1942.
- 52) MÉGILLE, X. de: Tractors for logging. FAO Forestry development paper No. 1 1st ed. 1956.
- \*53) 光康 博: 林内作業における機械化の方向(第三報)(主として長材搬出について). 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 5: p. 21~22. 1959.
- \*54) 三浦袈裟男: トラクターによる集運材実績. 暖帯林 昭和33年12月号: p. 21~32. 1958.
- 55) 三浦安春: 山元作業におけるフォードソントラクターの使用について. 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 3: p. 46~64. 1957.
- \*56) 宮腰貞夫: ロッキングアーチの改良について. 北見林友 Vol. 9 No. 4, 5: p. 13~17. 1960.
- 57) 宮沢光一: 近代統計概論. 第1版 1956.
- \*58) 森岡 昇: 北海道におけるトラクタ集運材のコストおよび工期の検討. 日林講. 70回: p. 387~389. 1960.
- \*59) 向野節雄: 小型トラクターによる集材作業. 暖帯林 昭和24年7月号: p. 43~46. 1949.
- \*60) 村山一郎: トラクタに運材について. 直営生産事業研究発表論文集(秋田営林局) No. 4 1957.
- 61) NEFF, P.: Caterpillar output Studies. Timberman Vol. 32 No. 1: p. 72~76. 1930.
- 62) 日本建設機械化協会: オペレーターハンドブック シリーズ2 トラクタ. 第1版 1957.
- \*63) 西尾寿夫: 支寒内におけるトラクタ運材について. 直営生産事業研究発表集(札幌営林局) No. 2: p. 44~52. 1957.
- 64) 帯広営林局作業課: トラクター集材について. 樹水 Vol. 7 No. 11: p. 34~37. 1957.
- \*65) 小椋利一: トラクターによる全幹集材と跡地更新について. 長野林友 昭和34年12月号: p. 5~9. 1959.
- 65a) 大沢正之・小島幸治: わが国におけるトラクター地曳集材の成績について. 北大演報 Vol. 17

- No. 1 p. 31~48. 1959.
- \*66) 大沢正之・小島幸治：トラクター地曳集材の作業分析. 林学会北海道支部講演集 No. 4: p. 3~4. 1955.
- \*67) 大沢正之・小島幸治：苫小牧地方の風害天然林におけるトラクター集材の試験. 日林講. 66回: p. 149~151. 1956.
- \*68) 大沢正之・小島幸治：苫小牧地方の風害天然林におけるトラクター集材の試験(続報). 日林講. 68回: p. 333~335. 1958.
- \*69) 太田清盛：人力木寄せおよび中間集材を除いた長材集材について(第一報). 樹水 Vol. 9 No. 9: p. 48~51. 1959.
- \*70) 太田清盛：人力木寄せおよび中間集材を除いた長材集材について(第二報). 樹水 Vol. 9 No. 10: p. 38~41. 1959.
- \*71) 太田清盛：人力木寄せおよび中間集材を除いた長材集材について(第三報). 樹水 Vol. 10 No. 3: p. 32~36. 1960.
- \*72) 太田清盛：人力木寄せ及び中間集材を除いた長材集材について(主として24尺). 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 6: p. 74~79. 1960.
- 73) 大友栄松：材積表調製に関する研究(第1報)(英文). 日林誌 Vol. 38: p. 165~177. 1956.
- 74) 及川三郎：トラクター運材について. 直営生産事業研究調査報告集(青森営林局) 3回: p. 124~131. 1957.
- 75) 大河原昭二・加藤誠平・丸山正和・南方 康・空 次：サルキによるトラクター全幹集材の牽引抵抗. 日林講. 70回: p. 402~404. 1960.
- 76) 小野寺圭喜：集材作業におけるハンドトラクター使用試験. 直営生産事業研究調査報告集(青森営林局). 3回: p. 111~114. 1957.
- 77) 林業試験場経営部：立木材積表調製法解説書 I (立木幹材積表の調製方法). 第1版 1956.
- 78) 林業試験場経営部作業研究室：トラクター雪上運材の作業分析(研究資料). 林業試験場研究報告 No. 65: p. 219~231. 1953.
- 79) PUTKISTO, K.: Tutkimuksia Pyörätraktoreiden Käytöstä Puutavaran Metsäkuljetuksessa Teknillis-Taloudellinen Selvittely. Acta Forestalia Fennica 66: p. 1~300. 1957.
- 80) 林業機械化協会：林業機械シリーズ ⑥ トラクタ. 第1版 1958.
- \*81) 斎藤幸策・山本貞吉：トラクター集材実績報告. 林業機械化情報 No. 64: p. 96~102. 1959.
- 82) 札幌営林局監査課：作業標準功程中間報告 素材生産事業(その一). 1954.
- 83) 佐々木 功・神崎康一・村上正康・山根啓義：トラクター集・運材作業について 第1報. 京大演報. No. 28: p. 55~63. 1959.
- \*84) 佐々木 功・神崎康一・村上正康・山根啓義：トラクタ集・運材作業について(第2報). 日林講. 69回: p. 463~465. 1959.
- \*85) 佐々木 功・神崎康一・山根啓義・野口昌己・村上正康：トラクター集運材作業の調査(上), (中), (下). 長野林友 昭和34年9月号: p. (巻末) 2~16, 10月号: p. (巻末) 2~11, 11月号: p. (巻末) 2~15. 1959.
- \*86) 白金 巖：CT25型トラクターを使用して(特に搬出作業に使用して). 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 4: p. 1~7. 1958.
- 87) 白金 巖：トラクタ集材について. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 5: p. 87~88. 1959.
- \*88) 白金 巖：全幹集材について. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 6: p. 24~27. 1960.

- 89) スネデカー著, 畑村又好・津村善郎・奥野忠一・田中祐輔訳: 統計の方法 上, 下. 第1版 1952.
- 90) 空 次: トラクター集材と実施について. 直営生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 2: p. 75~81. 1955.
- 91) 空 次: 集材用トラクターについて. 林業機械化情報 No. 59: p. 107~117. 1958.
- 92) 空 次・吉田正義: 集材用トラクター及び玉櫃の各種接地抵抗試験. 林業機械化情報 No. 59: p. 66~90. 1958.
- 93) STAHELIN, R. & HALLIN, W.: Importance of large loads in redwood tractor logging. West Coast Lumberman Vol. 64 No. 2: p. 22~23. 1937.
- 94) 杉原彦一・岩川 治: 陸上路線の迂回率について. 日林誌. Vol. 42 No. 7: p. 269~275. 1960.
- \*95) 武居岳夫・小椋利一・山名宣夫: トラクタによる全幹集材と跡地更新について. 日林講. 69回: p. 465~467. 1959.
- \*96) 谷口周一・下田健三: CT 25型トラクターによる集運材について. 直営生産事業研究発表論文集(名古屋営林局) 昭和32年度: p. 19~25. 1958.
- \*97) 土岐豊三: トラクター運材を実行して. 林業機械化情報 No. 9: p. 64~67. 1951.
- \*98) 土岐豊三: トラクタ集材について. 第1回直営生産事業研究調査報告集(青森営林局) 1954.
- 99) 戸村実雄: トラクタを使用して. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 5: p. 74~76. 1959.
- 100) 頭山 伝: 雪上トラクター集運材に必要な基礎調査報告. 林業機械化情報 No. 64: p. 66~79. 1959.
- \*101) 豊田一郎: トラクター集材の実績と性能検討. 林業機械化情報 No. 22: p. 84~87. 1952.
- 102) 辻 隆道: 時間研究のやり方. 第1版 1958.
- \*103) 筒田芳宗: 全幹集材作業の実行結果とその反省. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 6: p. 91~94. 1960.
- 104) 梅田三樹男: 林業の作業研究. 第1版 1953.
- 105) 白井正治: トラクター集材用鉄製玉の一考案. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 6: p. 87~90. 1960.
- \*106) 白井時男: サルキーによるトラクター運材. 北見林友 Vol. 7 No. 10: p. 17~21. 1958.
- \*107) 宇津昭三: 林内作業における機械化の方向(第二報)(主として全幹集材について). 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 5: p. 16~20. 1959.
- \*108) 宇津昭三: 択伐林内における全幹集材の作業方法について. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 6: p. 80~86. 1960.
- 109) 渡辺治人・太田 基・向野節雄: エンドレス式架空線集材に関する研究 第一報 杉丸太の地曳抵抗に関する試験. 日林講. 59回: p. 191~193. 1951.
- \*110) 渡辺宗美: トラクター集材について. 技術研究(東京営林局) No. 3: p. 307~310. 1952.
- \*111) 渡辺利信: トラクタ運材について. 直営生産事業研究発表集(前橋営林局) No. 1 1957.
- 112) 山中 納: トラクター集材の作業仕組について. 製品生産事業研究発表論文集(帯広営林局) No. 6: p. 32~34. 1960.
- 113) 山脇三平: 内外の林業用トラクタ類の現況. 日林誌. Vol. 42 No. 2: p. 78~81. 1960.
- 114) 米田幸武: トラクタ集運材作業の標準化のために(1), (2), (3), (4), (5). 林業機械化情報 No. 68: p. 39~50, No. 69: p. 33~39, No. 70: p. 8~15, No. 71: p. 15~22, No. 72: p. 34~42. 1959.
- 115) (Anonym): High wheel skidding with tractors. Timberman Vol. 28 No. 10: p. 144, 145. 1927.

- 116) ———: *Handling equipment*. Wood Vol. 18 No. 5: p. 200, 201. 1953.  
117) ———: *Adjustable-width timber arch*. Wood Vol. 20 No. 6: p. 260, 261. 1955.

### Summary

1. The first use of tractors for skidding logs was made at about the time of World War I in the United States of America, and the first logging arch was used about 1927 on the west coast of the same country.

In Japan ground skidding and arch skidding of logs by use of tractors were first conducted after the close of World War II.

Each of these two skidding methods has become an important skidding method not only in Japan but also in foreign countries.

2. In summer of 1955, researches were conducted into ground skidding, pan skidding and arch skidding by use of a NTK-4 W crawler tractor with a mounted winch (5.5 ton in weight) in the windfall in the natural forest in Tomakomai district, Hokkaido, Japan.

The tests of ground skidding were made on level ground, and the limit of volume of spruce logs which could be carried surely at one turn under the given conditions was found to be about 2 m<sup>3</sup>.

The maximum drawbar pull of the tractor often had to be employed in the skidding operation, so the capacity of the tractor is considered to be suitable for the operation.

The tests of pan skidding were made on a slope. The skidding pan was considered to be unsuitable for the skidding operations on such a ground with abundant projections on the surface caused by wind damage because the pan was apt to be disturbed in its forward movement by the projections on the surface of the ground such as stumps, and because the pan could not be moved backward by the tractor.

The tests of arch skidding were made on the same place as pan skidding. The logging arch was remarkably superior to the skidding pan in respect to mobility in the forest. But, because the weight of the arch was considerably greater than that of the pan, the arch was somewhat inferior to the pan in climbing performance.

Judging from the performance of the given tractor in climbing, it is expected that when skidding is done on a slope of 20~30 degrees by use of the given tractor, ground skidding is more efficient than arch skidding.

3. In the summers of 1957 and 1958, research was conducted on arch skidding and sled skidding by use of a Kato SG crawler tractor with a mounted winch (2.8 ton in weight) in the natural forest in Hokkaido. [See Photo. 1.]

The topography of the ground was rather steep, and the travelling speed of the tractor in operation was remarkably lower than the values on the level ground in the past. The reason therefor is thought to be that a considerable proportion of the skidding road was near the limit of the allowable inclination for tractor skidding.

Comparing the given arch skidding to the sled skidding, there were nearly no differences in respect of the volume per one log skidded and the inclination of the skidding road, but the former was superior to the latter in regard to efficiency of operation.



Judging from the working conditions and efficiency, it is considered that even if use had been made of a Kato SG tractor instead of the NTK-4 W tractor in the arch skidding mentioned above in section 2, the efficiency of the operation would not have been lowered so much.

4. In the summer of 1955, research was conducted on skidding operation by use of a hand tractor (0.24 ton in weight) with a 3 HP engine and a trailer in the natural forest in Hokkaido. [See Photo. 2.]

The given hand-tractor-skidder (the hand tractor connected with the trailer for hauling logs will be called by this name) is not considered to be for practical use, because performances in climbing and running speed are low by reason of the high slip ratio of the driving wheels; also the mechanism of the steering device is not suitable for skidding operation.

If a hand-tractor-skidder were so built that the slip ratio of the driving part were less than that of the given one, and further, if such a hand tractor were equipped with a steering system which needs only slight force for operation, the action of which is acute, and which is efficient in keeping the running direction of the tractor straight, the value of the hand tractor as a skidding machine would be considerably enhanced.

5. In the summer of 1960, research was conducted on ground skidding by use of a Ransomes MG 6 tractor (0.74 ton in weight) in the natural forest in Hokkaido. [See Photo. 3.]

The performance of the given tractor in climbing was regarded as sufficient for skidding operation. The drawbar pull of tractors which weigh about the same as the given tractor was thought to be sufficient in case where conifer logs are skidded, each of which is less than about 1.2 m<sup>3</sup> in volume.

Further, it is considered that in case of skidding conifer logs, each of which is about 4 m<sup>3</sup> in volume, among the tractors which would be able to be used with a remarkable higher efficiency than the given tractor, a crawler tractor installed with a winch and weighing about 1.5 ton will come under the category of the lightest tractor.

6. Concerning the practical results of ground skidding and arch skidding tests by use of tractors in Japan, 54 essays were found by the author to have been published up to the present.

With reference to tractor skidding, hereinafter, machines, tools, workers, and the processes of operation are referred to as the "subjects of operation", while forests and logs are called the "objects of operation". When the advantage and disadvantage in the production efficiency of 2 sets of the "subjects of operation" are compared on the basis of the results of experimental operations, usually the production efficiency under the same conditions of the "objects of operation" must be calculated from the observed value, because conditions of the "objects of operation" are generally different in 2 kinds of operation. In order to execute the calculation, the relation between the production efficiency and conditions of the "objects of operation" had to be quantitatively clarified.

In above-mentioned 54 pieces of literature, only 5 express this relation quantitatively. A major cause for the fact that this is not done in the greater part of the literature

seems to be that the method of expressing this relation quantitatively has not been established yet. It is difficult to establish the method, but the necessity for realizing it is evident.

Recently a new method of expression had been studied out by the author, which approaches closer to the realities of the relation as compared with existing methods, even though the degree of approach is only slight; it seems to require nothing but an allowable amount of trouble for the practical use.

The processes of the study are given as under.

7. Having observed ground skidding and arch skidding operations by use of NTK-4 W crawler tractors with mounted winches in 1954 and 1956 in the windfall in the natural forest in Tomakomai district, Hokkaido, Japan, the author analyzed the operation paying attention to the work of the tractor. [See Photos. 4~6.]

On the basis of this analysis, the author regarded the skidding operation by use of a tractor with a mounted winch as a repetition of the following 4 operations in order of occurrence: namely "ascent" (tractor running from a landing to logs to be skidded), "loading" (tractor bunching the logs with its winch), "descent" (tractor running to the landing drawing the logs), and "unloading" (tractor releasing the logs at the landing).

8. It was possible for the author at this time to examine 11 studies which show the methods of expressing the production efficiency of arch skidding or ground skidding with tractors with mounted winches in quantitative relation to the conditions of the "objects of operation". The methods which are shown in 8 studies of the eleven are based on macroscopic theoretical formulas made up of analysis and synthesis of work time; the methods in the remaining 3 studies are based on regression formulas, namely a kind of empirical formulas. Both methods have respective merits and demerits. The statistical method, especially the method making use of a multiple regression formula, has been investigated to no more than a slight degree. The author has researched into this method.

9. In the above mentioned eleven studies the number of "objects of operation" which are taken up as factors affecting the production efficiency reaches to 30.

Having examined them, the author tentatively singled out the skidding time per unit volume of logs in one turn of skidding as the dependent variable of the multiple regression formula, and took up the skidding distance and the mean volume of logs alike in one turn of skidding as independent variables. Remarkable factors in the "objects of operation" which were not taken up as independent variables in this case were the configuration, the climate, and the soil conditions alike of the operation area, and also the species of logs. These factors were dealt with as stratified factors. Therefore, in case where the production efficiency of a practical skidding operation is inferred by means of an experimental operation, the conditions of the experimental operation must be limited so that they may belong to the same strata as those of the practical operations.

10. Concerning two kinds of tractor skidding mentioned above in section 7, multiple regression formulas of the following form have been determined, but the fitness of these formulas did not reach a satisfactory degree.

$$\hat{T}_v = a + b_1 D + b_2 \frac{V}{N} \dots\dots\dots (i)$$

where  $T_v$  is the skidding time per unit volume of logs in one turn,  
 $\hat{\phantom{x}}$  is a symbol of a estimate,  
 $D$  is the skidding distance in one turn,  
 $V$  is the volume of logs skidded in one turn,  
 $N$  is the number of logs skidded in one turn,  
 $a$ ,  $b_1$ , and  $b_2$  are parameters.

The author accordingly searched for multiple regression formulas the fitness of which would be better, by changing the kinds of the independent variables, by using equations which express surface regressions, and by increasing the number of the independent variables from two to three.

11. Among the multiple regression formulas of 5 forms which have been determined by the author, those that belong to the following form were most excellent in the fitness.

$$\hat{T}_v = a + b_1 \frac{1}{V} + b_2 \frac{N}{V} + b_3 \frac{D}{V} \dots\dots\dots (ii)$$

where  $b_3$  is the parameter, while the meanings of all other symbols are the same as in section 10.

The correlation coefficients (R) between  $\hat{T}_v$  and  $T_v$  in this formula were as follows:—

in the case of arch skidding,

$$R = 0.7888 \quad (\text{highly significant}),$$

in the case of ground skidding,

$$R = 0.8423 \quad (\text{highly significant}).$$

12. A multiple regression formula is for the estimation of the population's mean of the dependent variable which corresponds to a certain set of independent variables, but it is practicable to adapt the formulas of form (ii) in the foregoing section for the estimation of the skidding time per unit volume of logs concerning whole turns in a certain forest stand ( $T_{vs}$ ). In this case,  $\frac{1}{\bar{V}}$  is used instead of  $\frac{1}{V}$ ,  $\frac{\sum N}{\sum V}$  instead of  $\frac{N}{V}$  and  $\frac{\bar{D}}{\bar{V}}$  instead of  $\frac{D}{V}$ , where  $\bar{V}$  and  $\bar{D}$  are respectively means of  $V$  and  $D$  and  $\sum$  is a symbol of the sum total. The accuracy of the estimate of  $T_{vs}$  depends mainly upon the accuracy of the estimate of  $\frac{1}{\bar{V}}$ .

13. Prior to the practical skidding operation by use of a tractor with a mounted winch, if an experimental skidding operation is conducted by 2 certain sets of the "objects of operation" in the forest stand which is going to be skidded, and multiple regression formulas are determined concerning each set of the "objects of operation" by computing the parameters in formula (ii) in section 11, then the data for judging the

advantage and disadvantage of the 2 sets of the "objects of operation" in production efficiency in the given forest stand can be obtained after the method of calculation presented in section 12.

14. In case it is feasible to regard the number of logs skidded per unit volume and the volume of logs skidded as constant in each turn in the forest stand which is going to be skidded, the skidding distance at which arch skidding is the same as ground skidding in the skidding time per unit volume of logs can be estimated by use of foregoing multiple regression formulas (ii).

附表第1. 時間

9月28日

自 午後2時0分  
至 午後5時45分

3時間45分=225分

I. アーチ集材作業

集材 回数 次	作														小 計	荷 お ろ し			
	往復			荷 集 め															
	上 山	下 山	小 計	チ 積 ヨ リ 込 カ ミ	チ ヨ ロ カ シ	換 向 及 び 移 動	ロ ー プ 送 出 し	ロ ー プ 取 付 け	丸 太 引 寄 せ	ロ ー プ 掛 直 し	丸 太 曳 行	ロ ー プ 外 し	ロ ー プ 巻 取 り	荷 掛 け 上 げ 及 び			吊 掛 け 上 げ	そ の 他	備 考
1	7	8	15			485												485	20
2	5	5	10			110												110	80
3	10	10	20															0	40
4	10	16	26			37												37	0
5	10	15	25			57			55	133								245	30
6	15	25	40			60	20		30									110	25
7	45	45	90			25	32				35							92	80
8	30	25	55							32								32	100
9	25	35	60						70									70	95
10	40	45	85			45	75		68	96	25							319	205
11	50	30	80			30	60		139	131								360	180
12	90	66	156			170	51		95	85			95					496	100
13	0	0	0					160	160	145								465	50
14	50	35	85					30	65		30			120				245	145
15	50	45	59					91	110		35			95				331	160
16	60	76	136		31			60	30	90				86				297	195
17	70	85	155			30	70		50									150	210
18	112	90	202					35	47	30				25				137	220
19	45	35	80		41				40	30								111	160
20	35	35	70		55	15	80	20	50	35				70				325	180
21	0	0	0					52	60	100	30							242	60
計	759	726	1485			1271064	816	169	1102	725	155			491				4649	2335

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)

析 表 (単位: 1/100 分)

燃 料 { 自 至 40 ℓ  
消 費 32 ℓ  
8 ℓ

No. 1

業										就 業 時 間 合 計	除 外	備 考	集 材 時 間
不 可 避 損 失					可 避 損 失								
障 害 物 除 去	取 付 け 待 ち	協 議 及 び 計 画	そ の 他	備 考	小 計	取 付 け 待 ち	そ の 他	備 考	小 計				
		1120			1120				0	1640	2000 1850	土 場 作 り 人 力 卷 き 待 ち	1640
					0				0	200			200
					0	760	土 場 待 ち		760	820	1210	休 憩	60
					0	70	"		70	133			63
					0				0	300			300
					0				0	175			175
					0	27	"		27	289			262
			90	点 検	90	50	"		50	327			277
					0	105	"		105	330			225
					0				0	599			599
	60				60				0	680			680
265		380			645	130	"		130	1527			1397
					0	450	"		450	965			515
	250				250				0	725			725
					0	310	"		310	896			586
					0	275	"		275	953			628
					0	50	エ ン ス ト		50	325			628
					0	790	土 場 待 ち		790	1305			515
145					145				0	704			704
			26		26	140	"		140	517			377
					0	150	"		150	725			575
110					110	540	"		540	952	2500 56	土 場 作 り 作 業 終 了 後	412
520	310	1526	90		2446	3847			3847	14762	7616	22378	10915

附表第1. 時 間 分

9月29日 自午前9時58分  
至午後5時15分

7時間17分=437分

I. アーチ集材作業

集材 回数 次	作														荷 お ろ し			
	往			集												小 計		
	上 山	下 山	小 計	積 込 カ ミ	お ろ カ シ	換 向 及 び 移 動	ロ ー プ 送 出 し	ロ ー プ 取 付 け	丸 太 引 寄 せ	ロ ー プ 掛 直 し	丸 太 曳 行	ロ ー プ 外 し	ロ ー プ 巻 取 り	荷 吊 掛 け 上 及 び げ			そ の 他	備 考
1	27	20	47				20		10								30	95
2	30	40	70				110		33								143	115
3	20	25	45			60		55	20								135	170
4	45	30	75				20		60								80	170
5	50	30	80				70		55	15							140	155
6	55	25	80				22	21	25								68	140
7	65	30	95			20	30	17	30	135							232	130
8	45	28	73				15	20	30								65	250
9	45	25	70			35	30	10	50								125	210
10	50	35	85				30		215				95				340	185
11	40	50	90				36		80								116	155
12	40	35	75			50	45	20	75	30							220	180
13	45	30	75			28	60	25	115	90							318	115
14	85	45	130				85	45	130	260							520	120
15	71	50	121				82	37	90	435							644	150
16	100	35	135			25	115	40	166								346	150
17	50	25	75				50		90	140							280	60
18	52	30	82				60		75				75				210	80
19	55	20	75				40	26	85								151	150
20	106	70	176			130	30	20	80	60							320	150
21	70	46	116				26		60								86	140
22	80	40	120				25	15	30	71							141	230
23	71	50	121				50	15	55								120	200
24	65	63	128				55	15	50	80							200	200
25	65	50	115				55		85								140	235
26	67	55	122			30	105		200								335	250
27	55	42	97				45	41	85								171	135
28	55	31	86				55	20	155								230	140
29	50	24	74				15	25	35								75	90
30	120	80	200				40		55	20							115	150
31	100	70	170				96		115	110							321	160
32	140	145	285				24	20	167	85							296	245
33	140	50	190				40	30	61								131	200
34	85	50	135				30	20	70								120	220
35	75	50	125				95	20	125								240	215
36	100	61	161				167	28	125	170							490	281
37	150	60	210				96	25	122								243	315
38	151	50	201				180		210	70							460	230
39	210	130	340				40		75	36							151	220
40	65	35	100				25		15								40	90
計	2990	1860	4850				378	2214	610	3409	1807			170			8588	6876

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)





附表第1. 時 間 分

9月30日 自 午前7時36分  
至 午後5時22分

I. アーチ集材作業

9時間46分=586分

集材回数	作 業														荷おろし			
	往 復			集 材														
	上 山	下 山	小 計	積込	おろし	換向及び移動	ロープ送出し	ロープ取付け	丸太引寄せ	ロープ掛直し	丸太曳行	ロープ外し	ロープ巻取り	荷吊掛け及び上げ		その他	備 考	小 計
1	45	30	75			40	25		70								135	245
2	60	50	110		60	30	25		50	50							215	280
3	80	70	150		55	30	40	25	50					40			240	221
4	80	60	140			50	50		96	100							296	236
5	40	35	75			65	81		90					30			266	310
6	95	65	160			70	25	15	15					240			365	310
7	70	50	120			80	95	30	108					75			388	160
8	55	50	105			115	45	30	75	245				28			538	237
9	40	45	85			165	35		41	15							256	122
10	65	40	105	215	40		75	40	80					50			500	225
11	60	55	115		50		65	50	65					50			280	180
12	170	110	280	60	90	70	55		110	60				95			540	245
13	125	80	205		42	60	55		150	96				30			433	222
14	130	140	270				192	30	194	80							496	295
15	71	85	156	60		100	50		115	95				135			555	270
16	75	80	155			100	40	15	55	66							276	205
17	121	70	191	111		125	71		170					90			617	340
18	80	70	150			110	130	36	120	30	50			200			626	252
19	90	60	150		20	45	22		40								127	195
20	111	60	171			125	60	30	36		35			45			331	240
21	135	100	235		20	95	75	20	95	405				27			737	185
22	100	130	230			250	41		100								391	250
23	160	106	266			70	45		70	320				20			525	200
24	150	115	265		25	48	65		50					106			294	210
25	120	110	230			95	75	55	90					95			410	292
26	175	130	305			102	42		70	125							339	255
27	150	110	260			135	80		89	45							349	185
28	140	125	265		35	75	100		150	145							505	200
29	160	120	280		41	95	40		60					85			321	325
30	170	170	340		70	110	40		65					35			320	285
31	160	180	340			120	140	55	150	70				165			700	230
32	220	180	400			150	115		80					110			455	185
33	140	140	280			100	160		146	30				98			534	300
34	145	135	280			110	81		70					56			368	195
35	170	160	330		21	80	99		221	50	30			136			606	285
36	160	165	325		30	40	80	10	115	45				65			385	340
37	180	160	340		25	70	55		71	20				130			371	340
38	170	175	345		60	70	22		30					85			267	335
39	165	156	321		60	80	30	20	30	20				35			275	230
計	4633	3972	8605	446	744	3275	2621	461	3482	2112	135			2356			15632	9617

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)







## 附表第I. 時 間 分

10月5日 自 午後1時20分  
至 午後5時06分

3時間46分=226分

## II. 地曳集材作業

集材回数次	作 業															荷おろし		
	往 復			集 材													小計	
	上山	下山	小計	積込 カミ	おろ カシ	換向 及び 移動	ロープ 送出し	ロープ 取付け	丸太 引寄せ	ロープ 掛直し	丸太 曳行	ロープ 外し	ロープ 巻取り	吊掛 上及び 下げ	その他	備考		小計
1	295	280	575		60	265	115		130					75			645	230
2	325	320	645			200	235	15	270	25	40			175			960	205
3	280	375	655		30	191	50	25	65	340	30			130			861	200
4	31	75	106						40								40	55
5	45	45	90			50		15									65	66
6	83	75	158			65	70	25									160	82
7	80	45	125					40									40	50
8	75	75	150					40									40	40
9	86	60	146			50	20	26	40		15						151	73
10	85	55	140			20		20									40	40
11	65	16	81														0	35
12	85	40	125		15	25											40	41
13	55	55	110			25		50									75	80
14	100	100	200			25				85							110	91
15	80	180	260		25	105		25									155	195
16	90	195	285	35	40	115	50		40	270							550	180
17	155	150	305		40	100	92		150	410							792	230
18	100	160	260		40	55	20		45	30							190	150
19	95	115	210		95	70	162	26	575	395	70			195			1588	260
20	95	70	165			45		40			40						125	130
計	2305	2486	4791	35	345	1406	814	387	1315	1555	195			575			6627	2433

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)

析 表 (単位: 1/100 分)

燃 料 { 自 55 ℓ  
 消 費 至 45 ℓ  
 費 10 ℓ

No. 1

不可避損失					業 可避損失				就業時間合計	除 外	備 考	集 材 時 間	
障 害 物 除 去	取 付 け 待 ち	協 議 及 び 計 画	そ の 他	備 考	小 計	取 付 け 待 ち	そ の 他	備 考					小 計
210	320				530	330 270	フックはさまり 土 場 待 ち		600	2580		1980	
		50			50	360	フックはさまり		360	2220		1860	
	370				370	230	土 場 待 ち		230	2316	1560	休憩	2086
					0	2300	土 場 整 理		2300	2501	170	土場変り	201
20					20				0	241		241	
		90			90				0	490		490	
					0				0	215		215	
		40			40				0	270		270	
		60			60				0	430		430	
					0				0	220		220	
65		40			105				0	221		221	
	140				140				0	346		346	
	25				25				0	290		290	
530	50				580	165	はね材と間違い		165	1146		981	
61	31				92				0	702		702	
	45	50			95				0	1110		1110	
110		30			140				0	1467		1467	
	180				180				0	780		780	
	190	210			400				0	2458		2458	
					0	70	土 場 待 ち		70	490	306	作業終了後	420
996	1351	570			2917	3725			3725	20493	2036	22529	16768

## 附表第1. 時 分 間

10月6日 自午前8時0分  
至午後4時10分

## II. 地曳集材作業

8時間10分=490分

集材回数次	作 業													荷おろし				
	往復			集 材														
	上山	下山	小計	積込	おろし	換向及び移動	ロープ送し	ロープ取付け	丸太引寄せ	ロープ掛直し	丸太曳行	ロープ外し	ロープ巻取り	吊掛け及び上げ	その他	備考	小計	
1	110	140	250			65		200									265	35
2	55	91	146		26	25		65									116	55
3	140	225	365			105		60									165	65
4	130	150	280			60		30									90	100
5	165	210	375			210	110	35	140	110				110			715	105
6	100	95	195			42											42	95
7	100	115	215	41		40		40									121	85
8	80	130	210			30		135									165	35
9	96	92	188			30		27			27						84	50
10	115	140	255		20	150		30		250							450	120
11	130	195	325			57	35	20									112	95
12	150	181	331		35			61									96	55
13	155	100	255			80		30		300							410	150
14	105	155	260			210		60		35	105						410	120
15	90	160	250		40	125		31			40						236	100
16	161	190	351		20	60											80	35
17	150	205	355		60	60		131									251	155
18	170	150	320			40	70		50	245	75						480	376
19	145	180	325		25	95	60		130	85							395	90
20	185	215	400	60	30	95		60			80						325	40
21	220	265	485			45	35	140	15	130	30						395	90
22	215	250	465		15	80		25			75		70				265	75
23	225	255	480		20	80	30	20			50		35				235	105
24	205	290	495		15	70	45		57				130				317	90
25	210	240	450		20	40	70		30		10		75				245	66
26	145	295	440		20	130	30		45				60				285	60
27	235	310	545		25	200	77	20	120		100		85				627	80
28	235	350	585		30	255		35			20						340	80
29	250	482	732		20	190	77	10	76		40		210				623	100
30	310	320	630			85		10		75	25						195	75
31	275	355	630		40	200	91		85		30		170				616	115
32	320	435	755		20	60	77	13	85				105				360	30
33	290	475	765			140	20		50	70	20		55				355	230
34	415	525	940			90	45		60				265				460	80
35	350	427	777			110		37			30						177	70
36	352	630	982		20	50	20	30	40				45				205	130
37	395	598	993			107	15				60		180				362	70
計	7179	9621	16800	101	558	3489	872	1355	983	1300	817		1595				11070	3507

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)

析 表 (単位: 1/100 分)

燃 料 { 自 45 ℓ  
 至 25 ℓ  
 消 費 20 ℓ

No. 2

業														
不可避損失					可避損失					就業時間合計	除外	備考	集材時間	
障害物除去	取付け待ち	協議及び計画	その他	備考	小計	取付け待ち	その他	備考	小計					
					0				0	550			550	
					0				0	317			317	
					0				0	595			595	
					0				0	470			470	
					0				150	1345			1195	
					0				0	332			332	
					0				0	421			421	
					0				0	410			410	
					0				0	322			322	
					0				0	825			825	
			30		30				0	562			562	
			75	用 た し	75				0	557			557	
					0				0	815			815	
	170				170				0	960			960	
	90				90				0	676			676	
	30				30				0	496			496	
					0				0	761			761	
	380		50	点 検	430				0	1606	1860	休 憩	1606	
	165	30			195				0	1005			1005	
					0				0	765			765	
					0				0	970			970	
					0				0	805	326	ライト取外し	805	
					0				0	820			820	
	65				65				0	967			967	
	90				90				0	851	10670	昼 休	851	
					0				0	785			785	
	60	41			101				0	1353			1353	
			90		90				0	1095			1095	
	20		36		20				0	1475			1475	
					36				0	936			936	
					0				0	1361			1361	
					0				0	1145	2070	休 憩	1145	
					320				0	1670			1670	
	100				100				0	1580			1580	
					0				0	1024			1024	
			20		20				0	1337			1337	
					0				0	1425	312	作業終了後	1425	
655	876	206	125		1862				150	33389	15238		48627	33239



## 附表第1. 時 間 分

10月7日 自 午前8時20分  
至 午後5時11分

8時間51分=531分

## II. 地曳集材作業

集材 回数 次	作														荷 お ろ し			
	往 復			荷 集 め														
	上 山	下 山	小 計	チ 積 ヨ ー カ カ ミ	チ ヨ ー カ カ ミ	換 向 及 び 移 動	ロ ー プ 送 出 し	ロ ー プ 取 付 け	丸 太 引 寄 せ	ロ ー プ 掛 直 し	丸 太 曳 行	ロ ー プ 外 し	ロ ー プ 巻 取 り	荷 吊 掛 け 上 及 び げ		そ の 他	備 考	小 計
1	100	115	215			30		15									45	45
2	85	80	165		50	25		16									141	160
3	90	144	234		20	58		40									118	56
4	111	98	209		30	170		100									300	49
5	137	90	227			20		15				22					57	120
6	140	142	282		30	30		15									75	58
7	145	155	300			30		51									109	50
8	150	175	325		20	45		56									156	55
9	190	180	370		20	105		35		31							191	105
10	160	235	395		30	60		20		55							165	60
11	200	230	430			40		30		21							91	40
12	225	265	490			60	30	65	30	30							215	400
13	65	60	125		25	30		65									120	75
14	80	55	135			65		15		22							102	80
15	195	190	385		45	25		46									116	50
16	120	175	295		50	65		89		25							229	80
17	120	185	305	20	20	25		28									93	50
18	118	195	313	45	25	35		120		25							250	100
19	140	170	310			90	30	20	28								168	75
20	130	200	330		15	25		102									142	75
21	140	192	332			80		113		25							218	80
22	300	325	625			210		85	50	50							395	120
23	250	360	610		55	25	55	70	20	30							255	260
24	330	420	750			35	30		45	410	60						580	325
25	295	515	810		60	35	25	70	25	30							245	70
26	265	525	790		50	270	65	20	115	66				60			646	60
27	295	425	720		30	51	21	12	25				140				279	150
28	330	400	730		65	30	110	10	110	20	30		50				425	50
29	340	440	780		20	60		45									125	70
30	315	450	765			305	50		210	110	55						730	90
31	340	503	843			45	20	55	61								181	170
32	390	620	1010		30	120	20	10	60	15				55			310	80
33	405	600	1005		30	145	30	30	30					65			330	195
34	425	590	1015		40	151	145		185	55				70			646	160
35	420	650	1070		25	110	40		20					101			296	90
36	470	450	920		28	28	100	70	115					25			366	65
37	450	540	990		30	170	195		300	282				60			1037	140
計	8461	11144	19605	65	843	2903	966	1498	1464	888	694			626			9947	3958

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)



附表第1. 時 間 分

10月8日 自午前8時02分  
至午後4時07分

II. 地曳集材作業

8時間05分=485分

集材回数次	作														荷おろし			
	往復			集														
	上山	下山	小計	積込 カミ	おろ カトシ	換向 及び 移動	ロープ 送出し	ロープ 取付け	丸太 引寄せ	ロープ 掛直し	丸太 曳行	ロープ 外し	ロープ 巻取り	吊掛 上及び 掛け		その他	備考	小計
1	260	375	635			20	15	40						40			115	90
2	246	310	556			190	65	30	65	55	40			80			525	70
3	255	370	625		30	180	31	100	25		70			31			467	95
4	245	250	495		25	26		35									86	50
5	300	430	730		25	91	20	60			70						266	100
6	305	510	815		30	120	30	50	101	150	80			86			617	105
7	286	380	666		50	91		20									161	130
8	280	358	638		20	185	53	77		110	80						525	60
9	255	550	805		15	75	105	205	121	355				60			936	195
10	191	250	441		70	60		95									225	90
11	160	250	410		30	90	70		125					22			337	70
12	186	235	421		40	110		50									200	70
13	200	225	425		40	80	10	73	46	210							459	191
14	240	308	548		25	105		40									170	85
15	267	360	627	10	20	53	20	15	60					55			233	130
16	284	350	634		16	41	75	32	82	120	65	50		150			631	242
17	55	95	150			20		15									35	50
18	196	165	355			20		15									35	45
19	95	200	295		28	20			30								78	80
20	160	235	395		15	20	30		50	135				70			320	120
21	160	237	397		16	46	30		30	85				20			227	48
22	190	216	406		65	110	15		90	45							325	45
23	159	260	419			80		15		100	15						210	65
24	180	282	462		37	85		56			31						209	98
25	180	270	450		13	95		40									148	80
26	185	270	455			70	32		30		55			85			272	150
27	198	265	463		30	30	35		25					95			215	105
28	198	260	458		15	26		28									69	95
29	127	260	387		55	60	61	12	55		60			90			393	110
30	159	370	529	20	60	145		45	210		35		20	130			665	125
31	190	200	390		18	122	45	86	100		45						416	130
32	210	230	440		25	150	17	26	21								239	50
33	80	153	233		30	40		31					40				141	50
34	90	155	245		11	50		35			35						131	90
35	85	180	265		20	40		55									115	70
36	51	95	146		40	35		30									105	45
37	50	90	140		51	45		65		45							206	95
38	75	135	210		25	60	15		25								125	60
39	110	106	216		15	20	40	28	10								113	50
40	61	180	241		15	30		25									70	70
計	7198	10420	17618	30	1020	2936	784	1474	1296	1470	681	50	60	1014			10815	3699

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)



## 附表第1. 時 間 分

10月10日 自 午前8時10分  
至 午後4時27分

## II. 地曳集材作業

8時間17分=497分

集材回数	作														小計	荷おろし		
	往復			集め														
	上山	下山	小計	積込	おろし	換向及び移動	ロープ送出し	ロープ取付け	丸太引寄せ	ロープ掛直し	丸太曳行	ロープ外し	ロープ巻取り	荷吊掛け及び			その他	備考
1	115	96	211		10	30		132		110	15						297	60
2	105	90	195			113		15			87			21			236	88
3	105	150	255		15	20		35									70	45
4	120	145	265			105				105							210	65
5	120	162	282		20	30	55	15	40	170				95			425	60
6	145	98	243			20		16									36	100
7	155	260	415		30	60				35	40						165	50
8	208	235	443			135		70			35						240	70
9	200	240	440		20	65		75			45			40			245	110
10	210	240	450		20	40	27	10	5					20			122	105
11	205	255	460		40	125	35	90	50	48	37						425	85
12	165	205	370		20	113		50			60						243	26
13	190	220	410		20	120	40	34	40	40	31		125				450	36
14	290	280	570		20	80	20	45			10						175	65
15	295	242	537		16	50	30	15	20		50						181	25
16	216	291	507		15	55	15	25	30		45	20		25			230	45
17	208	270	478		16	25	70	40		53							204	50
18	268	315	583		13	160	75	41	116	155	26			40			626	82
19	253	330	583		18	60	20	10	16								124	41
20	250	311	561		15	216	101	30	143	105	76			60			746	120
21	210	319	529		35	115	110	106	113	70	40			110			699	105
22	220	270	490		35	180	60	70	121	45	85			90			686	100
23	135	185	320		45	130	65	65	162					30			497	75
24	235	260	495		20	65	65	21	360					120			651	70
25	135	195	330	15	25	101	28	15	35	78				60			357	35
26	141	165	306		50	125	202	40	173	55				248			893	50
27	215	305	520		50	111		43			38						242	80
28	160	200	360			175		15			63			135			388	52
29	176	280	456		14	82	12	40	25		40			90			303	90
30	170	180	350			70		65	70		60			87			352	150
31	105	132	237		20	45	57	40	97		20						279	55
32	110	75	185			75		20			48			23			166	10
33	20	20	40			20		20									40	86
計	5855	7021	12876	15	602	2916	1087	1287	1277	1324	1056	20		1419			11003	2280

集材時間=(就業時間合計)-(可避損失時間)

析 表 (単位: 1/100 分)

燃 料 { 自至 80 ℓ  
58 ℓ  
消 費 22 ℓ

No. 5

業													
不可避損失					可避損失					就業時間合計	除外	備考	集材時間
障害物除去	取付け待ち	協議及び計画	その他の	小計	取付け待ち	その他の	備考	小計					
				0				0	568	940	作業開始前	568	
				0				0	519			519	
				0				0	370			370	
	100			100				0	640			640	
				0	65		感 ち が い	65	832			767	
	150	30		180				0	559			559	
				0				0	630			630	
140				140	215		丸太ぬけ落ち	215	1108			893	
		55		55	110		道 間 違 い	110	960			850	
				0				0	677			677	
				0				0	970			970	
	50			50				0	689			689	
				40				0	930			930	
				0	30		エ ン ス ト	30	840			810	
				0				0	743	1571	休 憩	743	
				0				0	782			782	
				22				0	754			754	
	20	60		80				0	1371			1371	
	25			25				0	773			773	
76	115			191				0	1618			1618	
				335				0	1668	11270	昼 休	1668	
	170	20		105				0	1381			1381	
				160				0	1052			1052	
	70			70				0	1286			1286	
160				160				0	882			882	
		45		45	90		トラクターが伐根につかえた	90	1384			1294	
110	300			410				0	1252			1252	
				0				0	800			800	
	532	10		542				0	1391			1391	
	360			360	40		ロープ巻き方失敗	40	1252			1212	
		30		250				0	821	220 866	休 憩 アーチをとりに行つた	821	
	50	150		200				0	561			561	
	90			90				0	256	830	作業終了後土場変更	256	
										2860	休		
										240			
728	2482	400		3610	550			550	30319	18797	49116	29769	

附表第2. 集材内容明細表

## I. アーチ集材作業

No. 1

集材月日	集材回数	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)	
9月28日	1	6	1.5	シナノキ	10	15.5	2.40	1	2.40	
	2	6	2.0	"	12	11.5	1.59	1	1.59	
	3	8	4.0	"	12	12.5	1.88	1	1.88	
	4	8	4.0	エゾマツ	12	10.5	1.32	1	1.32	
	5	10	4.0	"	12	11.5	1.59	1	1.59	
	6	16	4.5	"	12	13.5	2.19	1	2.19	
	7	20	4.0	"	12	11.0	1.45			
					"	12	8.0	0.77	2	2.22
	8	12	1.0	アサダ	8	10.0	0.80		1	0.80
	9	15	1.0	シナノキ	10	13.5	1.82			
					"	8	13.0	1.35	2	3.17
	10	26	5.0	アサダ	12	9.0	0.97			
					"	12	8.5	0.87		
					"	8	7.0	0.39	3	2.23
	11	29	5.0	エゾマツ	12	15.5	2.88			
					"	12	15.0	2.70		
					"	12	12.5	1.88	3	7.46
	12	34	5.0	ナラ	8	11.0	0.97			
					"	8	11.0	0.97		
					"	8	9.0	0.65	3	2.59
	13	19	1.0	シナノキ	8	7.5	0.45			
					"	8	8.0	0.51		
					"	8	9.5	0.72	3	1.68
	14	21	1.0	"	6	16.0	1.54			
					"	7	10.5	0.77		
					"	8	9.5	0.72		
					"	8	13.0	1.35	4	4.38
15	23	2.0	セン	12	11.0	1.45				
				"	12	11.0	1.45			
				シナノキ	8	10.0	0.80			
				"	12	11.0	1.45	4	5.15	
16	23	2.0	"	10	25.0	6.25				
				セン	8	11.0	0.97	2	7.22	
17	25	3.0	アサダ	8	6.0	0.29				
				"	8	5.5	0.24			
				ハウノキ	8	7.5	0.45			

I. アーチ集材作業

No. 2

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
9月28日	17	25	3.0	ホウノキ	8	6.5	0.34		
				"	8	7.0	0.39	5	1.71
	18	26	3.0	シナノキ	8	8.0	0.51		
				アサダ	8	6.5	0.34		
				"	8	6.5	0.34		
				シナノキ	8	9.5	0.72	4	1.91
	19	12	1.0	ナラ	6	10.0	0.60		
				エゾマツ	12	6.5	0.51	2	1.11
	20	10	1.0	アサダ	12	8.0	0.77		
				"	8	7.5	0.45		
			ナラ	8	8.5	0.58			
			"	8	9.0	0.65	4	2.45	
	21	10	1.0	イタヤ	8	7.0	0.39		
				"	8	6.0	0.29		
				アサダ	8	6.0	0.29	3	0.97
	小計	359						51	56.02
9月29日	1	15	1.0	シナノキ	9	9.0	0.73	1	0.73
	2	20	1.0	エゾマツ	12	11.5	1.59		
				"	12	9.0	0.97		
				"	12	10.5	1.32	3	3.88
	3	15	1.0	シナノキ	7	14.0	1.37		
				"	12	14.0	2.35		
				エゾマツ	12	14.5	2.52	3	6.24
	4	23	1.0	"	12	8.5	0.87		
				"	12	11.0	1.45		
				"	12	8.5	0.87	3	3.19
	5	25	1.0	"	12	13.5	2.19		
				"	12	11.0	1.45		
				シナノキ	12	19.0	4.33	3	7.97
	6	25	1.0	エゾマツ	8	9.0	0.65		
				"	12	9.0	0.97		
			シナノキ	12	15.5	2.88	3	4.50	
7	22	1.0	"	10	16.0	2.56			
			"	8	9.5	0.72			
			"	7	11.5	0.93	3	4.21	
8	15	1.5	エゾマツ	12	9.5	1.08			
			シナノキ	8	8.5	0.58			
			"	8	9.0	0.65	3	2.31	



## I. アーチ集材作業

No. 3

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
9月29日	9	23	1.5	シナノキ	8	14.0	1.57		
				"	8	7.0	0.39		
				"	6	11.0	0.73	3	2.69
	10	23	1.5	エゾマツ	12	12.0	1.73		
				"	12	10.5	1.32	2	3.05
	11	25	1.5	シナノキ	10	12.5	1.56		
				"	7	10.0	0.70		
				"	8	10.0	0.80		
				"	7	9.0	0.57	4	3.63
	12	26	1.5	エゾマツ	12	13.5	2.19		
				"	12	13.0	2.03	2	4.22
	13	32	1.5	"	10	6.0	0.36		
				"	12	7.5	0.68		
				"	12	9.0	0.97	3	2.01
	14	43	1.5	シナノキ	8	13.5	1.46		
				エゾマツ	12	14.0	2.35		
				"	12	13.0	2.03	3	5.84
	15	43	1.5	シナノキ	8	16.5	2.18		
				"	12	16.0	3.07	2	5.25
	16	45	1.5	エゾマツ	12	16.5	3.27		
				シナノキ	8	7.0	0.39	2	3.66
	17	45	1.5	エゾマツ	12	13.0	2.03	1	2.03
	18	20	1.5	"	12	10.0	1.20		
"				12	13.0	2.03	2	3.23	
19	29	1.5	シナノキ	8	8.5	0.58			
			エゾマツ	12	8.0	0.77			
			"	10	6.0	0.36	3	1.71	
20	30	1.5	シナノキ	8	9.5	0.72			
			"	8	12.0	1.15	2	1.87	
21	35	1.5	イタヤ	8	9.5	0.72			
			"	8	9.0	0.65			
			シナノキ	12	12.5	1.88			
22	35	1.5	エゾマツ	12	9.5	1.08			
			シナノキ	8	12.5	1.25			
			イタヤ	8	8.5	0.58			
23	33	1.5	シナノキ	12	12.0	1.73			
			エゾマツ	12	10.0	1.20	3	3.56	
			シナノキ	10	9.0	0.81	2	2.01	

I. テーチ集材作業

No. 4

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)	
9月29日	24	36	1.5	エゾマツ	12	11.0	1.45	3	2.51	
				イタヤ	8	6.0	0.29			
				エゾマツ	12	8.0	0.77			
	25	36	1.5	"	12	9.5	1.08	2	2.05	
				"	12	9.0	0.97			
	26	36	1.5	1.5	シナノキ	12	9.5	1.08	4	2.09
					エゾマツ	12	5.0	0.30		
					シナノキ	8	8.0	0.51		
	27	23	2.0	2.0	エゾマツ	10	4.5	0.20	3	1.96
					"	8	8.5	0.58		
					"	8	6.0	0.29		
	28	24	2.5	2.5	シナノキ	6	13.5	1.09	2	3.25
					"	10	12.5	1.56		
					"	10	13.0	1.69		
	29	24	2.0	2.0	"	6	14.5	1.26	2	2.85
					"	12	11.5	1.59		
	30	31	2.0	2.0	"	8	9.5	0.72	3	2.75
					"	8	12.0	1.15		
					"	8	10.5	0.88		
	31	55	2.0	2.0	"	12	12.5	1.88	3	4.88
					"	8	13.0	2.03		
					"	8	11.0	0.97		
	32	61	2.0	2.0	アサダ	8	9.5	0.72	4	4.04
					シナノキ	8	7.0	0.39		
					アサダ	8	8.5	0.58		
					シナノキ	12	14.0	2.35		
	33	42	1.0	1.0	"	8	9.0	0.65	3	2.82
					"	8	9.5	0.72		
	34	43	1.0	1.0	エゾマツ	12	11.0	1.45	3	2.80
					シナノキ	8	10.5	0.88		
					エゾマツ	12	10.0	1.20		
	35	48	1.0	1.0	シナノキ	8	9.5	0.72	3	2.99
					エゾマツ	12	12.0	1.73		
					シナノキ	8	8.5	0.58		
	36	52	1.0	1.0	エゾマツ	12	7.5	0.68	3	2.99
					イタヤ	8	6.5	0.34		
"					12	15.0	2.70			
				シナノキ	12	15.0	2.70			

## I. アーチ集材作業

No. 5

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)	
9月29日	37	58	1.0	ナ ラ	12	14.0	2.35	4	8.09	
				シナノキ	8	10.0	0.80			
				イタヤ	8	5.0	0.20			
				シナノキ	12	11.0	1.45			
				"	8	8.5	0.58			
	38	58	1.0	1.0	"	8	7.5	0.45	6	3.61
					イタヤ	8	4.0	0.13		
					"	8	5.0	0.20		
					シナノキ	8	7.0	0.39		
					イタヤ	8	7.0	0.39		
39	65	2.0	2.0	"	8	7.0	0.39	4	1.37	
				シナノキ	8	8.5	0.58			
				エゾマツ	12	13.5	2.19			
40	26	2.0	2.0	"	12	14.5	2.52	3	5.29	
				シナノキ	8	12.5	1.25			
	小計	1360						113	136.72	
9月30日	1	24	3.0	エゾマツ	12	16.0	3.07	3	4.52	
				シナノキ	8	10.0	0.80			
	2	24	3.0	3.0	"	8	9.0	0.65	5	4.79
					エゾマツ	12	14.5	2.52		
					アサダ	8	7.0	0.39		
					"	8	6.0	0.29		
					シナノキ	8	8.0	0.51		
					エゾマツ	12	9.5	1.08		
	3	26	3.0	3.0	"	12	8.0	0.77	4	3.06
					"	12	6.5	0.51		
					シナノキ	8	11.5	1.06		
					"	8	9.5	0.72		
	4	28	3.0	3.0	ナ ラ	8	11.5	1.06	3	3.66
					"	8	12.5	1.25		
					"	8	13.0	1.35		
	5	29	3.0	3.0	エゾマツ	12	15.5	2.88	3	6.20
					シナノキ	8	10.0	0.80		
					エゾマツ	12	14.5	2.52		
6	30	3.0	3.0	"	12	12.5	1.88	4	6.21	
				"	12	9.5	1.08			
				シナノキ	8	14.0	1.57			
				"	8	14.5	1.68			

I. アーチ集材作業

No. 6

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
9月30日	7	35	3.0	エゾマツ	12	10.5	1.32		
				"	12	7.5	0.68		
				"	12	7.5	0.68		
	8	37	3.0	シナノキ	8	8.0	0.51	4	3.19
				アサダ	8	7.0	0.39		
				シナノキ	8	7.0	0.39		
				"	8	8.5	0.58		
				"	8	9.5	0.72		
	9	27	4.0	アサダ	8	8.5	0.58	5	2.66
				"	8	9.0	0.65		
				"	8	9.0	0.65		
	10	38	4.0	"	12	10.0	1.20	3	2.50
				ナラ	8	8.5	0.58		
				"	8	9.0	0.65		
	11	40	4.0	"	8	8.0	0.51	3	1.74
				シナノキ	8	12.5	1.25		
				"	8	12.5	1.25		
	12	46	4.0	"	12	13.5	2.19	3	4.69
				エゾマツ	10	6.5	0.42		
				"	12	5.5	0.36		
シナノキ				12	18.0	3.89			
13	47	4.0	"	12	16.0	3.07	4	7.74	
			"	8	18.5	2.74			
14	55	4.0	エゾマツ	12	9.5	1.08	1	2.74	
			"	12	12.0	1.73			
15	55	2.0	"	12	9.0	0.97	3	3.78	
			"	12	8.5	0.87			
			"	12	7.5	0.68			
			"	12	7.0	0.59			
			"	12	6.5	0.51			
			"	12	7.0	0.59			
			"	10	9.0	0.81			
			"	12	9.0	0.97			
			"	12	8.0	0.77			
			"	12	8.0	0.77			
16	54	2.0	"	12	10.0	1.20	8	5.79	
			"	12	8.5	0.87			
			"	12	11.5	1.59			
			"	12	9.5	1.08			
			"	12	9.5	1.08			

## I. アーチ集材作業

No. 7

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
9月30日	17	53	2.0	エゾマツ	12	13.0	2.03		
				"	12	3.0	0.11		
				ナラ	10	11.0	1.21		
	18	56	2.0	エゾマツ	12	13.0	2.03	4	5.38
				"	12	11.0	1.45		
				"	12	14.5	2.52		
	19	56	2.0	イタヤ	8	3.0	0.07	3	4.04
				エゾマツ	12	13.0	2.03		
				"	12	6.5	0.51		
	20	55	2.0	"	12	7.5	0.68	3	3.22
				"	12	10.0	1.20		
				"	8	5.0	0.20		
	21	55	2.0	"	12	6.5	0.51		
				"	12	10.5	1.32	4	3.23
				"	12	9.0	0.97		
	22	65	2.0	"	12	10.5	1.32		
				"	12	6.0	0.43		
				"	12	9.5	1.08		
	23	75	2.0	"	12	13.0	2.03	5	5.83
				ナラ	12	23.5	6.63	1	6.63
				エゾマツ	12	7.0	0.59		
	24	75	2.0	"	12	13.0	2.03		
				"	12	11.0	1.45		
				"	12	11.5	1.59	4	5.66
	25	75	2.0	"	12	15.0	2.70		
				キハダ	6	5.0	0.15		
				"	8	4.0	0.13		
	26	85	2.0	エゾマツ	12	14.5	2.52		
				"	6	15.5	1.44	5	6.94
				"	12	16.5	3.27		
27	85	2.0	"	12	12.0	1.73			
			"	12	15.0	2.70	3	7.70	
			"	12	12.5	1.88			
28	85	2.0	"	12	13.0	2.03			
			"	12	14.0	2.35	3	6.26	
			"	12	15.5	2.88			
29	85	2.0	"	12	11.0	1.45			
			"	12	14.0	2.35	3	6.68	
			"	12	14.0	2.35			

I. アーチ集材作業

No. 8

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
9月30日	28	90	2.0	エゾマツ	12	19.0	4.33		
				"	12	16.5	3.27	2	7.60
	29	90	2.0	ナラ	8	14.0	1.57		
				キハダ	8	5.0	0.20		
				"	8	5.5	0.24	3	2.01
	30	90	2.0	ナラ	8	16.0	2.05		
				ハウノキ	8	7.0	0.39		
				"	8	8.0	0.51	3	2.95
	31	107	2.0	エゾマツ	12	9.5	1.09		
				"	12	7.5	0.68		
				"	12	11.0	1.45		
				"	12	12.0	1.73	4	4.95
	32	130	2.0	"	12	13.5	2.19		
				"	12	14.0	2.35		
				イタヤ	8	10.0	0.80	3	5.34
	33	132	2.0	"	8	10.0	0.80		
				アサダ	8	4.0	0.13		
				"	8	4.5	0.16		
				"	8	5.5	0.24		
				ナラ	8	13.0	1.35	5	2.68
	34	109	2.0	ハウノキ	8	4.5	0.16		
				"	8	5.5	0.24		
				エゾマツ	12	9.0	0.97		
				"	12	11.5	1.59		
				ハウノキ	8	5.0	0.20		
				"	8	6.0	0.29	6	3.45
	35	115	2.0	エゾマツ	12	11.0	1.45		
				"	12	12.0	1.73		
				"	12	10.5	1.32		
				"	12	13.0	2.03	4	6.53
	36	120	2.0	"	12	9.5	1.08		
				"	12	7.0	0.59		
				ナラ	8	11.5	1.06		
				"	9	13.0	1.52	4	4.25
	37	115	2.0	カツラ	8	7.0	0.39		
				"	8	6.5	0.34		
				"	8	6.0	0.29		
			エゾマツ	12	14.0	2.35			

## I. アーチ集材作業

No. 9

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
9月30日				エゾマツ	12	12.0	1.73		
	38	125	2.0	"	12	11.0	1.45	6	6.55
				"	12	10.5	1.32		
				"	12	12.0	1.73		
				"	6	7.0	0.29		
				"	12	8.0	0.77		
				"	12	13.0	2.03	5	6.14
	39	130	2.0	"	12	8.5	0.87		
				アサダ	8	8.5	0.58		
				"	8	8.0	0.51	3	1.96
	小計	2683						146	183.99
10月4日	1	82	3.0	エゾマツ	12	9.0	0.97		
				"	12	6.0	0.43		
				"	8	5.0	0.20		
				"	12	10.5	1.32		
				イタヤ	8	6.0	0.29		
				"	8	5.0	0.20	6	3.41
	2	94	3.0	エゾマツ	12	12.0	1.73		
				"	8	8.0	0.51		
				"	8	4.0	0.13		
				"	12	10.0	1.20	4	3.57
	3	95	3.0	シナノキ	12	16.0	3.07		
				"	7	15.5	1.68		
				"	8	14.5	1.68	3	6.43
	4	100	3.0	エゾマツ	12	13.5	2.19		
				"	12	6.0	0.43		
				"	12	7.5	0.68		
				"	12	9.0	0.97		
				シナノキ	10	14.0	1.96	5	6.23
	5	100	3.0	ナラ	10	10.0	1.00		
				"	8	9.0	0.65	2	1.65
	6	116	3.0	エゾマツ	12	7.0	0.59		
				"	6	6.0	0.22		
				ハウノキ	8	3.0	0.07		
				シナノキ	8	5.5	0.24		
				"	8	5.0	0.20		
				セシ	8	5.0	0.20		
				"	8	4.0	0.13		

I. アーチ集材作業

No. 10

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月4日	7	123	3.0	セ ン	8	4.0	0.13	11	3.90
				ア サ ダ	8	8.0	0.51		
				"	10	9.0	0.81		
				"	8	10.0	0.81		
				エゾマツ	12	15.0	2.70		
				イ タ ヤ	8	4.0	0.13		
				シナノキ	8	3.5	0.10		
				セ ン	8	3.5	0.10		
				"	8	3.0	0.07		
				"	8	6.0	0.29		
				エゾマツ	12	8.0	0.77		
	8	130	3.0	"	12	13.5	2.19	9	8.70
				"	12	14.0	2.35		
				"	12	16.0	3.07		
				"	12	13.5	2.19		
				"	12	17.0	3.47		
	9	134	3.0	イ タ ヤ	8	7.0	0.39	3	8.73
				"	8	9.0	0.65		
				"	8	8.5	0.58		
				カ ツ ラ	8	3.0	0.07		
				ナ ラ	7	15.5	1.68		
				"	8	13.0	1.35		
				ア サ ダ	8	7.0	0.39		
				ナ ラ	8	8.5	0.58		
				ア サ ダ	8	7.0	0.39		
				イ タ ヤ	6	5.5	0.18		
				エゾマツ	12	9.5	1.08		
	10	137	3.0	"	12	7.0	0.59	9	6.08
				"	12	12.5	1.88		
				"	12	7.0	0.59		
				ナ ラ	7	14.0	1.37		
				エゾマツ	12	9.0	0.97		
	11	150	3.0	ナ ラ	7	14.0	1.37	4	3.73
				エゾマツ	12	9.0	0.97		
				ナ ラ	8	11.5	1.06		
				エゾマツ	12	11.0	1.45		
				ナ ラ	7	14.0	1.37		
	12	158	3.0	ナ ラ	7	14.0	1.37	4	4.85
				ア サ ダ	8	8.0	0.51		
				"	8	7.0	0.39		
	13	150	3.0	エゾマツ	12	6.5	0.51	3	2.27
				"	8	7.0	0.39		
"				12	7.0	0.59			



## I. アーチ集材作業

No. 11

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月4日	14	94	3.0	エゾマツ	12	5.5	0.36	6	3.83
				アサダ	8	6.5	0.34		
				"	8	5.5	0.24		
				ナラ	7	16.0	1.79		
				イタヤ	8	9.6	0.72		
				カバ	7	10.5	0.77		
	15	123	3.0	"	8	7.5	0.45	7	3.69
				ナラ	8	8.5	0.58		
				イタヤ	8	7.5	0.45		
				ハウノキ	8	3.0	0.07		
				イタヤ	8	9.0	0.65		
				"	8	11.0	0.97		
				"	8	10.0	0.80		
				アサダ	8	8.0	0.51		
				"	8	7.5	0.45		
				"	8	6.0	0.29		
				"	8	5.0	0.20		
				"	8	6.0	0.29		
	16	121	3.0	"	8	6.0	0.29	9	4.04
				"	8	6.0	0.29		
				"	8	5.5	0.24		
				ナラ	10	10.0	1.00		
				"	10	9.0	0.81		
				"	10	17.0	2.89		
	17	123	3.0	"	12	16.5	3.27	6	7.97
				エゾマツ	12	6.5	0.51		
				"	12	9.0	0.97		
				"	12	9.5	1.08		
				ナラ	7	11.5	0.93		
				"	12	10.0	1.20		
18	123	3.0	"	8	15.5	1.92	6	6.61	
			"	8	10.0	0.80			
			"	8	14.5	1.68			
			アサダ	8	8.0	0.51			
			"	8	7.5	0.45			
			ナラ	10	12.5	1.56			
19	126	3.0	"	10	13.5	1.82	6	6.82	
			アサダ	8	8.5	0.58			
			イタヤ	8	9.0	0.65			
			"	8	9.0	0.65			

I. アーチ集材作業

No. 12

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月4日				イ タ ヤ	8	8.5	0.58	10	4.94
				"	8	8.0	0.51		
				ア サ ダ	8	8.0	0.51		
				"	8	8.0	0.51		
				"	8	6.0	0.29		
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	5.0	0.20		
				"	8	9.5	0.70		
	小計	2279						111	97.45
10月5日	1	162	3.0	カ バ	12	20.0	4.80	3	9.69
				"	12	13.5	2.19		
				"	12	15.0	2.70		
	2	184	3.0	ア サ ダ	8	7.5	0.45	10	3.79
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	8.0	0.51		
				"	8	6.5	0.34		
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	7.5	0.45		
				"	8	6.0	0.29		
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	5.5	0.24		
				"	8	6.5	0.34		
	3	162	3.0	"	8	9.5	0.72	11	3.55
				"	8	5.0	0.20		
				"	8	5.0	0.20		
				"	8	5.0	0.20		
				イ タ ヤ	8	5.0	0.20		
				ア サ ダ	8	5.0	0.20		
				イ タ ヤ	8	5.0	0.20		
4	167	3.0	ア サ ダ	8	5.0	0.20	11	3.55	
			"	8	5.0	0.20			
			"	8	5.0	0.20			
			カ バ	8	9.0	0.65			
			イ タ ヤ	8	7.0	0.39			
			"	8	7.0	0.39			
			ア サ ダ	8	8.5	0.58			
			"	8	8.5	0.58			
"	12	10.0	1.20						
"	8	5.0	0.20						
"	8	6.5	0.34						

## I. アーチ集材作業

No. 13

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太材 の積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月5日	5	180	3.0	アサダ	8	6.0	0.29	9	4.63
				エゾマツ	8	8.0	0.51		
				〃	10	6.5	0.42		
				アサダ	8	8.0	0.51		
				〃	8	6.5	0.34		
				〃	8	7.5	0.45		
				イタヤ	8	7.5	0.45		
				〃	8	7.0	0.39		
				〃	8	6.5	0.34		
	6	165	3.0	アサダ	8	7.0	0.39	7	2.65
				〃	8	6.0	0.29		
				〃	8	10.5	0.88		
				イタヤ	8	8.5	0.58		
				ナラ	10	13.0	1.69		
				〃	10	12.0	1.44		
	7	153	3.0	イタヤ	8	6.0	0.29	5	4.88
				アサダ	12	10.5	1.32		
				ミ	8	10.0	0.80		
				エゾマツ	12	9.5	1.08		
				〃	12	11.5	1.59		
				イタヤ	8	8.5	0.58		
				〃	8	8.5	0.58		
				〃	8	8.5	0.58		
	8	114	3.0	カツラ	8	9.5	0.72	8	7.25
				ナラ	12	18.5	4.11		
				〃	8	12.5	1.25		
				〃	8	11.0	0.97		
				〃	8	11.0	0.97		
	9	104	3.0	〃	8	8.0	0.51	3	6.33
				〃	8	9.5	0.72		
				〃	8	12.0	1.15		
				アサダ	8	9.5	0.72		
〃				8	10.0	0.80			
ナラ				8	13.0	1.35			
小計	128	8072					62	48.02	
合計	128	8072					483	522.20	

附表第2. 集材内容明細表

II. 地曳集材作業

No. 1

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月5日	1	120	3.0	ナ ラ	8	9.5	0.72	4	3.46
				"	8	10.0	0.80		
				"	8	10.5	0.88		
	"	8	11.5	1.06					
	2	130	3.0	シナノキ	12	16.5	3.27	5	6.13
				イタヤ	8	8.0	0.51		
				"	8	7.0	0.39		
	3	124	3.0	アサダ	10	9.0	0.81	5	6.13
				ナ ラ	8	12.0	1.15		
				アサダ	8	7.0	0.39		
	4	15	6.0	"	8	6.0	0.29	9	3.67
				エゾマツ	12	5.5	0.36		
				イタヤ	8	7.0	0.33		
5	20	6.0	ナ ラ	8	9.0	0.65	3	1.58	
			アサダ	8	8.5	0.58			
			"	8	8.0	0.51			
6	30	6.0	イタヤ	8	4.5	0.16	2	2.77	
			"	8	6.5	0.34			
			エゾマツ	12	8.0	0.77			
7	20	6.0	"	8	7.0	0.39	2	3.46	
			"	10	6.5	0.42			
			"	12	10.5	1.32			
8	34	6.0	シナノキ	12	12.0	1.73	1	0.97	
			"	12	12.0	1.73			
			"	12	11.0	1.45			
9	36	6.0	エゾマツ	12	10.0	1.20	2	2.93	
			"	12	12.0	1.73			
			"	10	7.0	0.49			
10	36	6.0	ナ ラ	8	10.0	0.80	2	1.20	
			"	9	16.5	2.45			
			"	12	8.5	0.87			
11	8	1.0	"	12	8.5	0.87	1	0.87	
			"	12	8.5	0.87			
			"	12	8.5	0.87			
12	8	4.0	シナノキ	8	9.5	0.72	2	1.53	
			"	10	9.0	0.81			
			"	10	9.0	0.81			
13	15	4.0	ナ ラ	7	11.0	0.85	2	1.53	
			"	10	9.5	0.90			

## II. 地曳集材作業

No. 2

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)	
10月5日	14	20	4.0	シナノキ	8	10.5	0.88	3	2.63	
				ナラ	12	11.0	7.45			
	15	54	2.0	"	8	11.0	0.97	2	2.42	
				"	8	7.6	0.45			
	16	54	2.0	イタヤ	8	9.0	0.65			
				"	8	10.0	0.80	3	1.90	
	17	60	2.0	ナラ	8	7.5	0.45			
				シナノキ	12	10.0	1.45			
	18	65	2.0	ナラ	12	10.5	1.32	3	3.22	
				アサダ	8	5.0	0.20			
	19	65	2.0	"	8	5.5	0.24			
				"	8	4.0	0.13			
	20	70	2.0	"	6	3.5	0.07			
				"	6	3.0	0.05			
	小計	984			シナノキ	12	12.0	1.73		
					イタヤ	8	5.0	0.20	7	2.62
	10月6日	1	49	2.0	シナノキ	8	15.0	1.80		
					"	8	8.0	0.51		
	2	49	2.0	"	10	15.0	2.25			
				"	8	9.0	0.65	4	5.21	
3	54	2.0	アサダ	8	6.0	0.29				
			シナノキ	8	9.0	0.65				
4	60	2.5	"	8	12.5	1.25				
			"	12	16.0	3.07				
5	70	5.5	"	10	10.0	1.00	5	6.26		
			"	10	15.0	2.25				
小計	984			ハウノキ	8	4.5	0.16			
				イタヤ	6	5.0	0.15	3	2.56	
10月6日	1	49	2.0	エゾマツ	12	14.5	2.52			
				"	12	18.0	3.89	2	6.41	
2	49	2.0	"	12	16.5	3.27				
			"	6	13.5	1.09	2	4.36		
3	54	2.0	シナノキ	12	16.0	3.07				
			"	12	16.0	3.07	2	6.14		
4	60	2.5	"	8	15.0	1.80				
			"	6	11.5	0.79	2	2.59		
5	70	5.5	"	12	20.5	5.04				

II. 地曳集材作業

No. 3

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 材 (石)	丸太の 本 数	集材材積 (石)
10月6日				イ タ ヤ	8	6.0	0.29		
				ナ ラ	12	12.5	1.88	3	7.21
	6	45	2.0	"	10	9.5	0.90	1	0.90
	7	38	2.5	シ ナ ノ キ	8	12.0	1.15		
				"	8	12.5	1.25	2	2.40
	8	38	2.5	"	12	13.5	2.19		
				"	8	11.5	1.06	2	3.25
	9	38	2.5	"	8	7.5	0.45		
				"	8	12.0	1.15		
				"	12	12.0	1.73	3	3.33
	10	50	2.5	"	10	14.0	1.96		
				エゾマツ	12	8.0	0.77		
				"	12	7.0	0.59		
				シ ナ ノ キ	8	14.5	1.68	4	5.00
	11	80	2.5	"	12	16.0	3.07		
				"	8	15.0	1.80	2	4.87
	12	82	2.5	"	8	14.0	1.57		
				"	10	17.0	2.89	2	4.46
13	85	2.5	イ タ ヤ	8	8.0	0.51			
			"	8	7.0	0.39			
			"	8	6.5	0.34			
			"	8	7.5	0.45			
			シ ナ ノ キ	8	8.5	0.58	5	2.27	
14	90	2.5	"	12	14.5	2.52			
			イ タ ヤ	8	7.0	0.39			
			"	8	7.0	0.39			
			"	8	6.0	0.29			
			サ ク ラ	8	9.5	0.72			
			"	8	8.5	0.58	6	4.89	
15	85	2.5	ナ ラ	8	16.0	2.05			
			"	9	12.0	1.30			
			イ タ ヤ	8	5.0	0.20	3	3.55	
16	90	2.5	ナ ラ	10	17.5	3.06	1	3.06	
17	90	2.5	"	8	12.0	1.15			
			"	7	12.0	1.01			
			"	7	10.0	0.70			
			"	10	8.5	0.72	4	3.58	
18	95	2.5	シ ナ ノ キ	9	15.0	2.03			

## II. 地曳集材作業

No. 4

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)																		
10月6日	19	100	2.5	ナ	10	8.5	0.72	5	3.78																		
				ラ	8	6.5	0.34																				
				"	8	7.5	0.45																				
				アサダ	8	5.5	0.24																				
				エゾマツ	12	10.0	1.20																				
				"	12	9.5	1.08																				
				"	12	7.0	0.59																				
				シナノキ	8	11.5	1.06			4	3.93																
				エゾマツ	12	15.0	2.70																				
				"	12	13.5	2.19																				
				"	12	11.5	1.59					3	6.48														
				シナノキ	10	17.0	2.89																				
				エゾマツ	10	8.0	0.64																				
				"	12	10.5	1.32																				
				シナノキ	12	12.5	1.88							3	4.85												
				エゾマツ	12	12.0	1.73																				
				シナノキ	10	11.5	1.32									3	4.93										
				カツラ	12	12.5	1.88																				
				"	7	11.5	0.93																				
				"	7	10.5	0.77											3	3.58								
				エゾマツ	12	7.0	0.59																				
				"	12	9.0	0.97																				
				"	12	10.5	1.32													3	2.88						
				"	12	10.5	1.32																				
				"	12	13.0	2.03																				
				"	12	15.0	2.70															3	6.05				
				"	12	11.5	1.59																				
				"	12	12.5	1.88																				
				"	12	9.0	0.97																				
				"	6	8.5	0.43																	4	4.87		
				"	12	10.5	1.32																				
				"	12	13.5	2.19																				
				"	12	8.0	0.77																				
				"	12	8.5	0.87																			4	5.15
				"	12	15.0	2.70																				
				"	12	13.5	2.19																				
"	12	10.5	1.32																								
イタヤ	8	6.0	0.29	4	6.50																						

II. 地曳集材作業

No. 5

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月6日	29	145	2.5	エゾマツ	12	14.0	2.35		
				"	12	13.0	2.03		
				"	12	11.5	1.59		
	30	155	2.5	キハダ	8	5.5	0.24	5	6.50
				"	8	6.0	0.29		
				エゾマツ	12	8.0	0.77		
	31	160	2.5	"	12	9.5	1.08	3	3.17
				"	12	10.5	1.32		
				イタヤ	8	6.0	0.29		
	32	165	2.5	"	8	6.5	0.34	8	3.27
				ハンノキ	8	8.0	0.51		
				"	8	6.0	0.29		
	33	170	2.5	イタヤ	8	6.0	0.29	3	4.79
				"	8	6.0	0.29		
				ハウノキ	6	4.0	0.10		
	34	190	2.5	イタヤ	8	10.0	0.80	6	3.37
				エゾマツ	12	12.5	1.88		
				"	12	11.5	1.59		
	35	190	2.5	"	12	10.5	1.32	3	5.23
				カツラ	8	8.0	0.51		
				"	8	9.0	0.65		
	36	195	2.5	キハダ	8	4.5	0.16	3	3.44
				エゾマツ	8	5.5	0.24		
				"	10	6.0	0.36		
	37	200	2.5	"	12	11.0	1.45	4	4.37
				"	12	12.5	1.88		
				"	12	14.0	2.35		
					"	10	10.0	1.00	3
"					8	12.0	1.15		
"					12	10.5	1.32		
				"	12	9.0	0.97	3	
				ナラ	10	13.0	1.69		
				"	8	14.0	1.57		
				ハウノキ	8	7.0	0.39	4	
				エゾマツ	10	8.5	0.72		
				"	12	9.5	1.08		
				"	12	12.0	1.73		
				"	12	14.0	2.35		



## II. 地曳集材作業

No. 6

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月6日				イ タ ヤ	8	5.5	0.24		
				"	8	5.0	0.20		
				"	8	5.0	0.20	6	5.80
	小計	3913						126	161.21
10月7日	1	38	6.0	シ ナ ノ キ	12	15.0	2.70		
				"	10	16.0	2.56	2	5.26
	2	40	6.0	"	10	15.0	2.25		
				"	8	13.0	1.35	2	3.60
	3	42	6.0	"	10	13.0	1.69		
				イ タ ヤ	8	5.5	0.24		
				シ ナ ノ キ	10	12.0	1.44	3	3.37
	4	55	6.0	カ ツ ラ	8	4.0	0.13		
				"	8	3.5	0.10		
				シ ナ ノ キ	8	12.0	1.15		
				"	8	10.0	0.80	4	2.18
	5	60	6.0	ホ ウ ノ キ	8	5.5	0.24		
				"	6	4.5	0.12		
				シ ナ ノ キ	8	13.0	1.35		
				"	8	10.0	0.80	4	2.51
	6	67	6.0	エ ソ マ ツ	12	10.5	1.32		
				"	12	10.0	1.20	2	2.52
	7	81	6.0	"	12	11.0	1.45		
				"	12	12.0	1.73	2	3.18
	8	70	6.0	"	12	10.0	1.20		
				"	12	9.0	0.97		
				"	12	6.0	0.43	3	2.60
	9	102	6.0	ホ ウ ノ キ	8	5.5	0.24		
				"	8	9.0	0.65		
				"	8	9.0	0.65		
				エ ソ マ ツ	10	8.0	0.64	4	2.18
	10	107	6.0	ハ ン ノ キ	8	6.5	0.34		
				エ ソ マ ツ	12	13.0	2.03		
				"	12	11.0	1.45		
				"	12	10.5	1.32	4	5.14
	11	110	6.0	ハ ン ノ キ	8	8.0	0.51		
				カ バ	8	7.5	0.45		
				"	8	8.0	0.51		
				"	8	9.0	0.65	4	2.12

II. 地曳集材作業

No. 7

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)		
10月7日	12	126	6.0	イ タ ヤ	8	8.5	0.58				
				"	8	7.0	0.39				
				エゾマツ	12	13.0	2.03				
	13	34	6.0	"	12	11.0	1.45	6	5.35		
				キハダ	8	8.0	0.51				
				"	8	7.0	0.39				
				セ ン	10	10.0	1.00				
				"	8	10.5	1.06				
				イ タ ヤ	8	6.0	0.29				
	14	40	6.0	"	8	5.0	0.20	4	2.55		
				セ ン	8	9.0	0.65				
				"	8	10.5	0.88				
	15	90	4.0	エゾマツ	12	14.5	2.52	2	4.71		
				"	12	13.5	2.19				
	16	100	4.0	"	8	7.0	0.39				
				"	12	12.0	1.73				
				"	12	12.5	1.88				
				"	12	11.0	1.45				
				イ タ ヤ	8	7.5	0.45			5	5.90
				エゾマツ	12	14.0	2.35				
				17	103	4.0	"			12	15.5
	キハダ	8	7.0				0.39				
	18	110	4.0	"	8	6.0	0.29	4	2.51		
ホウノキ				6	4.0	0.10					
エゾマツ				12	9.5	1.08					
"				12	11.0	1.45					
19	90	4.0	"	12	12.0	1.73	2	2.53			
			"	12	10.5	1.32					
20	90	4.0	"	12	12.0	1.73	2	3.05			
			"	12	10.5	1.32					
			"	12	11.5	1.59					
21	90	4.0	"	12	12.0	1.73	3	4.29			
			"	12	11.5	1.59					
			"	12	9.0	0.97					
22	210	4.0	"	12	18.0	3.89					
			"	12	16.5	3.27					
			イ タ ヤ	8	6.0	0.29			3	7.45	
エゾマツ	10	15.5	2.40								
23	210	4.0	シナノキ	10	8.5	0.72	3	3.61			
			"	10	7.0	0.49					

## II. 地曳集材作業

No. 8

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月7日	24	209	4.0	キハダ	8	7.5	0.45	4	2.62
				イタヤ	8	10.0	0.80		
				キハダ	8	9.0	0.65		
				シナノキ	10	8.5	0.72		
	25	208	4.0	シナノキ	8	10.5	0.88	5	4.50
				"	8	11.0	0.97		
				"	8	10.0	0.80		
				"	8	10.5	0.88		
				"	8	11.0	0.97		
	26	220	4.0	ナラ	8	17.5	2.45	2	4.50
				"	8	16.0	2.05		
	27	210	4.0	エゾマツ	12	7.0	0.59	4	3.84
				イタヤ	8	6.5	0.34		
				"	8	7.0	0.39		
				ナラ	12	14.5	2.52		
				シナノキ	8	5.6	0.24		
	28	230	4.0	"	8	7.0	0.39	7	2.02
				イタヤ	8	6.0	0.29		
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	6.5	0.34		
				"	8	5.5	0.24		
				エゾマツ	8	4.0	0.13		
				ナラ	8	11.0	0.97		
				"	8	9.0	0.65		
	29	230	4.0	エゾマツ	8	4.5	0.16	4	1.98
				"	8	5.0	0.20		
				イタヤ	8	5.5	0.24		
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	7.0	0.39		
	30	250	4.0	"	8	8.5	0.58	6	2.35
				"	8	8.0	0.51		
				シナノキ	8	5.5	0.24		
エゾマツ				12	9.0	0.97			
"				12	10.5	1.32			
イタヤ				8	7.0	0.39			
31	250	4.0	エゾマツ	12	9.0	0.97	3	2.68	
			"	12	10.5	1.32			
32	270	4.0	イタヤ	8	7.0	0.39	3	2.68	
			ナラ	8	9.5	0.72			
				"	8	9.5	0.72		

II. 地曳集材作業

No. 9

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月7日	33	275	4.0	ナラ	10	11.0	1.21	3	2.65
				エゾマツ	12	14.5	2.62		
	34	275	4.0	"	12	16.0	3.07	2	5.59
				"	12	13.0	2.03		
	35	280	4.0	シナノキ	9	14.5	1.89	2	3.92
				ナラ	8	7.5	0.45		
				"	8	8.5	0.58		
				"	8	10.0	0.80		
				"	8	10.0	0.80		
				"	8	9.0	0.65	5	3.28
	36	290	4.0	エゾマツ	12	12.5	1.88		
				"	12	11.0	1.45		
				イタヤ	8	5.5	0.24	3	3.57
				エゾマツ	12	16.5	3.27		
37	290	4.0	"	12	14.5	2.52			
			"	12	10.5	1.32			
			イタヤ	8	5.5	0.24	4	7.35	
			小計	5552				126	134.22
10月8日	1	137	4.0	エゾマツ	12	13.0	2.03		
				"	12	11.0	1.45		
	2	140	4.0	"	12	9.0	0.97	3	4.45
				イタヤ	8	6.0	0.29		
				"	8	7.0	0.39		
				"	8	9.5	0.72		
	3	137	4.0	ハウノキ	8	5.0	0.20		
				イタヤ	8	8.0	0.51		
				"	8	7.0	0.39	6	2.50
				ハウノキ	12	10.0	1.20		
	4	137	4.0	エゾマツ	12	10.0	1.20		
				"	12	8.5	0.87	3	3.27
				イタヤ	8	7.0	0.39		
				シナノキ	8	7.0	0.39		
	5	150	4.0	イタヤ	8	4.0	0.13		
				シナノキ	8	6.5	0.34	4	1.25
				ハウノキ	8	4.5	0.16		
				セ	8	4.5	0.16		
ナラ				8	10.5	0.88			
イタヤ				8	8.5	0.58			

## II. 地曳集材作業

No. 10

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月8日	6	150	4.0	イ タ ヤ	8	8.0	0.51	5	2.29
				ナ ラ	8	10.5	0.88		
				セ ン	8	4.0	0.13		
				ナ ラ	8	9.0	0.65		
				ハンノキ	8	4.5	0.16		
				"	8	8.0	0.51		
	7	145	4.0	ナ ラ	8	9.0	0.65	7	3.56
				エゾマツ	12	10.0	1.20		
				"	12	7.5	0.68		
				イ タ ヤ	8	9.0	0.65		
	8	130	4.0	"	8	10.5	0.88	3	2.58
				"	8	6.0	0.29		
				"	8	7.5	0.45		
	9	130	4.0	シナノキ	9	8.5	0.65	5	2.78
				エゾマツ	12	6.5	0.51		
				"	12	15.5	2.88		
10	120	7.0	"	12	14.0	2.35	2	5.23	
			"	12	11.0	1.45			
11	130	7.0	"	12	13.0	2.03	2	3.48	
			アサダ	10	9.5	0.90			
			"	12	10.5	1.32			
12	140	7.0	"	8	6.5	0.34	3	2.56	
			エゾマツ	12	16.0	3.07			
13	147	7.0	"	12	14.5	2.52	2	5.59	
			アサダ	8	7.5	0.45			
			"	8	7.5	0.45			
			"	12	7.5	0.68			
			"	8	5.5	0.24			
14	155	7.0	"	8	6.0	0.29	6	2.35	
			エゾマツ	12	4.5	0.24			
			シナノキ	8	11.0	0.97			
15	155	7.0	"	7	11.0	0.85	3	2.33	
			アサダ	8	8.0	0.51			
			シナノキ	12	15.5	2.88			
16	165	7.0	"	7	14.0	1.37	3	5.71	
			"	8	13.5	1.46			
				イ タ ヤ	8	8.0	0.51		

II. 地曳集材作業

No. 11

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月8日				イ タ ヤ	8	8.5	0.58		
				ナ ラ	8	10.0	0.80		
				"	8	10.0	0.80		
				"	12	10.5	1.32		
				ア サ ダ	8	6.0	0.29		
				"	8	6.5	0.34		
				"	8	7.0	0.39	8	5.03
	17	30	4.0	シ ナ ノ キ	12	10.0	1.20	1	1.20
	18	60	4.0	ア サ ダ	12	10.5	1.32		
				"	12	10.0	1.20	2	2.52
	19	60	4.0	エ ゾ マ ツ	12	7.5	0.68		
				"	6	6.0	0.22		
				ア サ ダ	7	9.5	0.63	3	1.53
	20	95	4.0	シ ナ ノ キ	12	16.5	3.27		
				"	10	15.5	2.40		
				ア サ ダ	8	5.5	0.24		
				"	8	6.0	0.29	4	6.20
	21	95	4.0	シ ナ ノ キ	9	14.5	1.89		
				"	9	16.0	2.30	2	4.19
	22	95	4.0	"	6	12.5	0.94		
				"	10	14.0	1.96	2	2.90
	23	115	4.0	"	8	17.0	2.31		
				"	12	17.0	3.47	2	5.78
	24	115	4.0	"	9	18.5	3.08		
				"	9	13.5	1.64	2	4.72
	25	115	4.0	ア サ ダ	8	8.5	0.58		
				"	8	8.0	0.51		
				"	8	7.0	0.39		
				シ ナ ノ キ	12	15.0	2.70	4	4.18
26	120	4.0	"	10	13.5	1.82			
			エ ゾ マ ツ	12	8.5	0.87			
			"	8	7.5	0.45	3	3.14	
27	120	4.0	シ ナ ノ キ	12	18.0	3.89			
			エ ゾ マ ツ	12	11.0	1.45			
			"	12	12.0	1.73	3	7.07	
28	120	4.0	シ ナ ノ キ	8	14.5	1.68			
			エ ゾ マ ツ	12	9.0	0.97	2	2.65	
29	123	4.0	シ ナ ノ キ	10	14.5	2.10			

## II. 地曳集材作業

No. 12

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)	
10月8日	30	125	4.0	シナノキ	8	13.0	1.35	3	4.03	
				ナラ	8	8.5	0.58			
				シナノキ	7	13.5	1.28			
				"	10	16.5	2.72			
	31	128	4.0	4.0	ナラ	8	8.0	0.51	4	4.80
					"	8	6.0	0.29		
					エゾマツ	12	4.5	0.24		
					サクラ	8	7.5	0.45		
	32	130	4.0	4.0	"	8	7.0	0.39	4	2.81
					エゾマツ	12	12.0	1.73		
					"	12	10.5	1.32		
					"	10	8.0	0.64		
	33	50	4.0	4.0	シナノキ	10	13.5	1.82	2	1.96
					"	8	7.0	0.39		
					"	7	13.0	1.18		
					"	10	9.0	0.81		
	34	50	4.0	4.0	"	10	15.0	2.25	3	3.40
					"	8	6.5	0.34		
					アサダ	8	6.0	0.29		
					シナノキ	12	10.5	1.32		
	35	54	4.0	4.0	"	12	12.5	1.88	3	3.49
					"	12	11.5	1.59		
					"	10	13.0	1.69		
					"	10	13.0	1.69		
	36	30	5.0	5.0	ナラ	8	11.0	1.97	2	3.28
					"	8	8.0	0.51		
					"	9	8.0	0.58		
					"	10	8.0	0.64		
	37	30	5.0	5.0	"	10	8.0	0.64	4	2.70
					"	12	12.0	1.73		
					"	10	12.0	1.44		
					"	8	10.5	0.88		
	38	40	4.0	4.0	"	10	11.0	1.21	2	3.17
					"	8	10.0	0.80		
					"	8	10.0	0.80		
					"	8	10.0	0.80		
	39	45	4.5	4.5	シナノキ	8	13.0	1.35	3	2.89
					"	12	12.0	2.73		
"					12	12.0	2.73			
"					12	12.0	2.73			
40	48	4.0	4.0	"	2	4.08	2	4.08		
				"	2	4.08				
10月10日	小計	4261						130	141.04	
	1	40	4.0	ナラ	7	12.5	1.07			
					"	8	11.0	0.97		
				シナノキ	6	10.0	0.60	3	2.66	

II. 地曳集材作業

No. 13

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)		
00月10日	2	44	4.0	エゾマツ	12	7.0	0.59	3	1.29		
				"	12	5.5	0.36				
	3	58	4.0	イタヤ	8	6.5	0.34				
				シナノキ	12	14.0	2.35				
	4	63	4.0	"	12	13.5	2.19			2	4.54
				カツラ	8	6.5	0.34				
	5	80	4.0	"	8	6.0	0.29				
				ナラ	10	8.0	0.64			3	1.27
	6	95	4.0	シナノキ	8	10.0	0.80				
				"	10	10.5	1.10				
	7	100	4.0	アサダ	12	10.0	1.20				
				"	8	10.0	0.80			4	3.90
	8	120	4.0	ナラ	8	13.0	1.35				
				"	8	13.0	1.35			2	2.70
	9	128	4.0	シナノキ	12	16.0	3.07				
				"	12	15.0	2.70				
	10	135	4.0	サクラ	8	5.5	0.24				
				"	8	5.0	0.20			4	6.21
	11	120	4.0	エゾマツ	12	9.0	0.97				
				"	12	11.0	1.45				
	12	133	4.0	"	12	12.0	1.73			3	4.15
				"	12	6.5	0.51				
	13	133	4.0	"	12	7.0	0.59				
				イタヤ	8	5.5	0.24				
14	133	4.0	ナラ	8	10.0	0.80	4	2.14			
			エゾマツ	12	9.5	1.08					
15	133	4.0	イタヤ	8	9.5	0.72					
			アサダ	6	5.5	0.18					
16	133	4.0	イタヤ	8	6.0	0.29	4	2.27			
			"	8	9.5	0.72					
17	133	4.0	アサダ	8	8.5	0.58					
			"	8	7.0	0.39					
18	133	4.0	"	8	9.0	0.65	4	2.34			
			ハウノキ	8	6.5	0.34					
19	133	4.0	アサダ	6	6.0	0.22					
			ハウノキ	6	6.0	0.22					
20	133	4.0	アサダ	12	9.0	0.97					
			"	10	10.0	1.00	5	2.75			



## II. 地曳集材作業

No. 14

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月10日	13	151	4.0	ア サ ダ	12	10.0	1.20		
				"	8	10.0	0.80		
				"	8	9.5	0.72	3	2.72
	14	151	4.0	イ タ ヤ	8	9.0	0.65		
				"	8	8.0	0.51	2	1.16
				ナ ラ	8	12.0	1.15		
	15	160	4.0	"	8	10.0	0.80		
				ア サ ダ	8	9.0	0.65	3	2.60
				ナ ラ	8	11.5	1.06		
	16	160	4.0	"	8	11.0	0.97		
				イ タ ヤ	8	7.0	0.39		
				"	8	5.5	0.24	4	2.66
	17	164	4.0	"	8	7.0	0.39		
				"	8	7.0	0.39		
				ア サ ダ	10	11.0	1.21		
	18	170	4.0	"	12	11.5	1.59	4	3.58
				"	8	8.0	0.51		
				"	8	7.0	0.39		
	19	183	4.0	イ タ ヤ	8	5.0	0.20		
				ア サ ダ	8	7.0	0.39	4	1.49
				エゾマツ	12	5.0	0.30		
	20	183	4.0	"	12	7.5	0.68		
				"	12	12.5	1.88	3	2.86
				"	12	14.5	2.52		
21	170	4.0	"	12	9.5	1.08			
			イ タ ヤ	8	7.0	0.39	3	3.99	
			"	10	10.5	1.10			
22	180	4.0	"	8	10.0	0.80			
			"	8	6.0	0.29			
			"	8	6.5	0.34	4	2.53	
23	110	4.0	"	8	9.5	0.72			
			"	8	8.0	0.51			
			"	8	7.5	0.45	3	1.68	
24	115	4.0	ア サ ダ	8	7.0	0.39			
			"	8	7.5	0.45			
			"	8	6.0	0.29			
			セ ン	8	8.0	0.51	4	1.64	
			"	8	9.0	0.65			

II. 地曳集材作業

No. 15

集材月日	集材回次	集材距離 (m)	集材路の 最大傾斜 (度)	丸太の樹種	丸太の 長さ (尺)	丸太の 末口直径 (寸)	丸太の 材積 (石)	丸太の 本数	集材材積 (石)
10月10日	25	124	4.0	セ	8	10.0	0.80	3	2.42
				ン	8	11.0	0.97		
				ナ	8	10.5	0.88		
	26	130	4.0	ラ	8	11.0	0.97	3	2.30
				ン	8	7.5	0.45		
				ア	8	11.0	0.97		
				サ	8	10.0	0.80		
				ダ	8	9.0	0.65		
				ン	8	9.0	0.65		
	27	130	4.0	カ	8	9.0	0.65	5	3.46
				バ	8	7.0	0.39		
				ン	8	12.0	1.15		
	28	132	4.0	ナ	8	12.0	1.15	3	5.11
				ラ	10	12.0	1.44		
				ン	12	14.5	2.52		
				ア	8	10.0	0.80		
				サ	8	9.5	0.72		
				ダ	8	9.5	0.72		
	29	140	4.0	ナ	8	9.5	0.72	4	2.96
				ラ	8	9.5	0.72		
				イ	8	8.0	0.51		
				タ	8	8.0	0.51		
				ヤ	10	10.5	1.10		
				ン	10	9.0	0.81		
	30	137	4.0	ナ	10	10.5	1.10	5	3.86
				ラ	10	9.0	0.81		
				ン	10	8.5	0.72		
				エ	12	9.0	0.97		
				ゾ	10	10.0	1.00		
				マ	8	6.0	0.29		
	31	89	4.0	ツ	8	7.5	0.45	5	3.10
				キ	8	7.5	0.45		
				ホ	8	7.0	0.39		
ウ				12	9.0	0.97			
ノ				10	8.5	0.72			
キ				8	7.5	0.45			
32	25	2.0	イ	12	7.5	0.68	3	2.14	
			タ	8	7.5	0.45			
33	10	2.0	エ	8	6.5	0.34	2	1.02	
			ゾ	8	7.5	0.45			
	小計	3930						112	89.95
合 計	167	18640						558	584.35

## 写 真 説 明

## 写真1. 履帯式小型トラクターによる集材作業の状況

- その 1. 上 山 (アーチ)
- その 2. 荷 集 め (アーチ)
- その 3. 荷 集 め (アーチ)
- その 4. 荷 集 め (バチ縄)
- その 5. 荷 集 め (バチ縄)
- その 6. 下 山 (アーチ)
- その 7. 荷おろし (アーチ)
- その 8. 土場整頓

## 写真2. 車輪式ハンドトラクターによる集材作業の状況

- その 1. トレーラーを連結したハンドトラクター
- その 2. トレーラーおよび附属装置
- その 3. 上山(小半径で曲進するために運転者が座席から下りてハンドルを保持しているところ)
- その 4. 丸太積込み(左端の作業員は手動ウインチを操作しており、丸太の前端は誘導板に載っている)
- その 5. 下 山 (大径材積載)
- その 6. 下 山 (小径材積載)

## 写真3. 履帯式超小型トラクターによる集材作業の状況

- その 1. 上 山
- その 2. 「ちんちょう」の打込み
- その 3. 荷 か け (方向転換をしてから後進して丸太に接近しているところ)
- その 4. 荷 か け (丸太の下に鉄玉縄が見える)
- その 5. 下 山 (小径材牽引)
- その 6. 下 山 (大径材牽引)
- その 7. 荷はずし
- その 8. 荷はずし (土場外縁までの移動)
- その 9. 材長12尺、末口直径3尺のアカエゾマツ丸太を「ブロック曳き」によって移動しているところ
- その 10. 履帯が空転したので、作業員がトラクターの手助けをしているところ
- その 11. トラクターが狭い沢に入り込んで丸太を引出してきたところ

## 写真4. 支案内(ししゃもない)における地曳集材作業の状況

- その 1. 上 山
- その 2. 換 向・移 動
- その 3. ロープ送出し
- その 4. ロープ装着
- その 5. 丸太引寄せ
- その 6. 丸太曳行
- その 7. 下 山
- その 8. 土 場 到 着

**写真5.** 苫小牧演習林におけるアーチ集材作業の状況

- その 1. 上 山
- その 2. 換向・移動
- その 3. ロープ送出し
- その 4. ロープ取付け
- その 5. 丸太引寄せ
- その 6. 丸太曳行
- その 7. 荷掛 け
- その 8. 丸太吊上げ
- その 9. 下 山
- その 10. 荷おろし

**写真6.** 苫小牧演習林における地曳集材作業の状況

- その 1. 上 山
- その 2. 下 山
- その 3. 土場到着

写真 1.

Photo. 1.



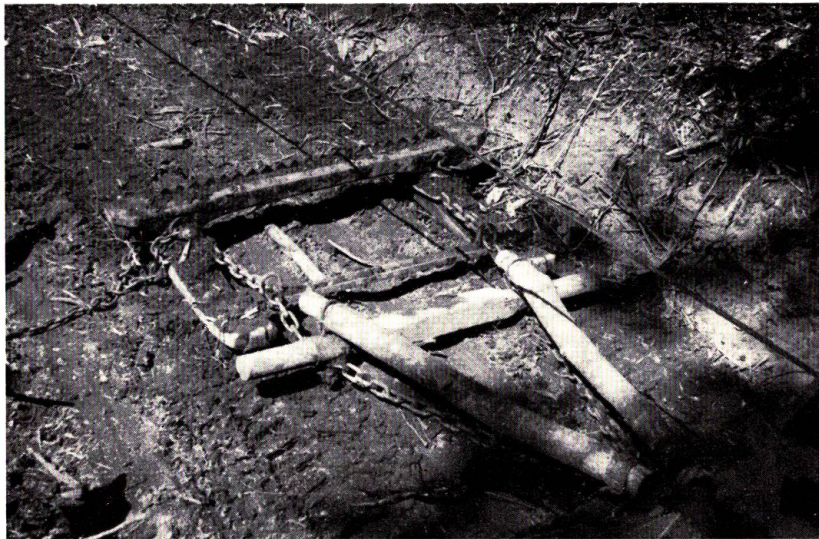
その 1.



その 2.



その 3.



その 4.



その 5.



その 6.



その 7.



その 8.





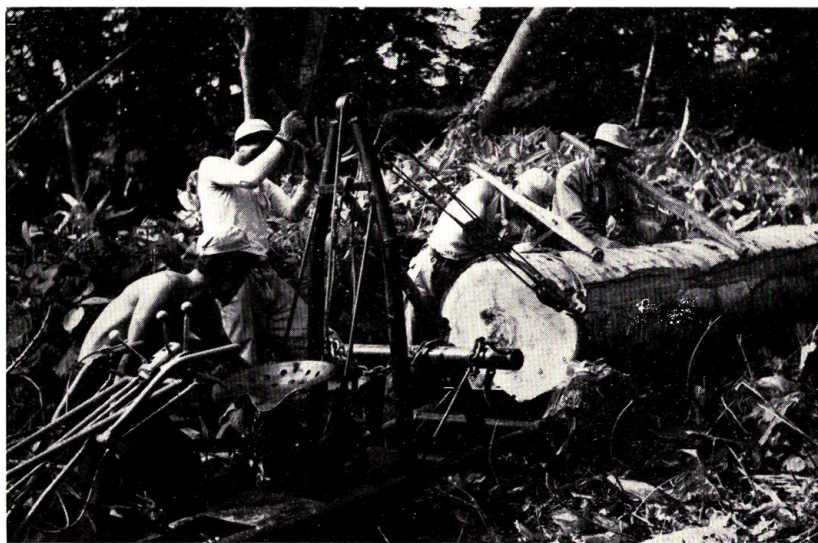
その 1.



その 2.



その 3.



その 4.



その 5.



その 6.



その 1.



その 2.

写真 3.

Photo. 3.



その 3.



その 4.



その 5.



その 6.



その 7.



その 8.



その 9.



その 10.



写真 3.

Photo. 3.



その 11.



その 1.



その 2.



その 3.



その 4.



その 5.



その 6.



その 7.



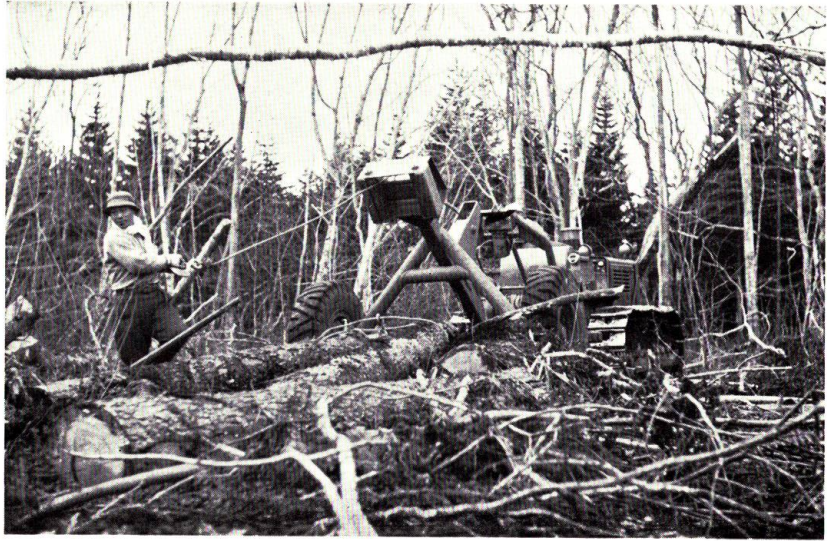
その 8.



その 1.



その 2.



その 3.



その 4.



その 5.



その 6.





その 7.



その 8.



その 9.



その 10.



その 1.



その 2.



その 3.