

非皆伐施業の集材作業システムに関する実証的研究

飛 岡 次 郎

Demonstrative Study on the Yarding and Skidding Systems
in Forest Management by the Non-clear Cutting Method

Jirō TOBIOKA

目 次

第1章 緒 論	2
1・1 本研究の目的	2
1・2 林業生産技術再編成の意義	2
1・3 集材作業システム評価の基本的な考え方	6
1・4 本研究の範囲と内容	8
第2章 非皆伐施業における集材作業システムの現状と課題	9
2・1 序 説	9
2・2 調査方法	11
2・3 調査結果と考察	15
2・3・1 非皆伐施業のタイプと集材作業システムの類型	15
2・3・2 集材作業システム決定の実態	16
2・3・3 集材作業の安全性と容易性	21
2・3・4 集材作業の労働生産性	21
2・3・5 集材作業の影響	25
2・4 摘 要	26
第3章 本研究における集材作業システムの解析方法	27
3・1 数量化の方法による集材作業システム解析の意義	27
3・2 本研究に適用する数量化の理論	30
第4章 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの要因分析	35
4・1 要因分析の考え方	35
4・2 労働生産性と作業条件の調査結果	35
4・3 要因分析の手順と解析結果	35
4・3・1 外的基準と要因項目・カテゴリーの分類	37
4・3・2 反応パターン表とクロス集計表の作成	38
4・3・3 連立方程式と解の算定	38
4・3・4 労働生産性予測モデルの設計	41
4・3・5 労働生産性の調査値と推定値の対応	45
第5章 モノケーブル式集材作業システムの要因分析	45
5・1 要因分析の考え方	45
5・2 労働生産性と作業条件の調査結果	45
5・3 要因分析の手順と解析結果	45
5・3・1 外的基準と要因項目・カテゴリーの分類	45

5・3・2	反応パターン表とクロス集計表の作成	47
5・3・3	連立方程式と解の算定	47
5・3・4	労働生産性予測モデルの設計	53
5・3・5	労働生産性の調査値と推定値の対応	53
第6章	トラクタ集材作業システムの要因分析	55
6・1	要因分析の考え方	55
6・2	労働生産性と作業条件の調査結果	55
6・3	要因分析の手順と解析結果	55
6・3・1	外的基準と要因項目・カテゴリーの分類	55
6・3・2	反応パターン表とクロス集計表の作成	55
6・3・3	連立方程式と解の算定	57
6・3・4	労働生産性予測モデルの設計	63
6・3・5	労働生産性の調査値と推定値の対応	65
第7章	考察と結論	65
7・1	考 察	65
7・1・1	作業研究手法に対する理論づけについて	65
7・1・2	集材作業システムの最適化について	70
7・2	結 論	72
総 括		73
謝 辞		75
引用文献		75
Summary		77

第1章 緒 論

1・1 本研究の目的

本研究は、非皆伐施業における集材作業システムの現状分析を行い、現段階で最も合理的と考えられる集材作業システムを見いだし、これらを対象に数量化の理論を応用して要因分析を行うことにより、つぎの研究目的を達成しようとするものである。すなわち、集材作業システムを最適化するための新しい作業研究手法に対する理論づけを実証的に試みるとともに、労働生産性の予測モデルによる合理的な集材作業計画の策定手法を提案し、さらに総合的な森林施業技術の体系化に資することを目的とした。

1・2 林業生産技術再編成の意義

林業機械化の目的は、林業労働の強度を軽減し、作業の安全性と均一性をたかめ、計画的かつ能率的な事業の推進を確保することにある。したがって、林業経営における各種作業機械化の意義は、経営の合理化と労働安全衛生の向上をはかるための最も有効な手段であると考えられ、ある経営意志（経営方針）に基づく森林施業のための合目的に組織化された作業技術体系としての作業仕組のなかで、人間と機械と作業対象が最適な状態に組み合わせられることにより、機械作業の効果が最大限にあげられるものである。わが国の林業労働力は、一部の専業労働者をのぞき大部分が農業との兼業による労働力に依存しているが、高度経済成長の過程で若年層を主体とした農山村人口の都市への流出に伴って、国有林、民有林をとわず労働力不足が深刻化していること、

林業就業者の高齢化が進行していることなどから林業機械化の必要性は一段と高まっているといえる。

わが国の林業機械化において、常に先駆的立場にあったのは国有林であった。そこで国有林における林業機械化の沿革を概観すると、その推進方策のまとまったものとして、昭和28年に国有林野事業機械化推進要綱が定められ各種の施策がとられてきたが、昭和33年から生産力増強計画が実施されることとなり、各作業の機械化が急速にすすめられるとともに、主要機械の効率基準、各種作業基準、機械管理関係法令等を制定して機械作業進展のための基盤が整備された結果、各分野で大きい成果をあげてきた。特に、国有林野事業の基幹部門である製品生産事業の伐木集材工程においては、先駆的に合目的な機械を導入し、機械を主軸とした作業方法や作業仕組により安全作業を推進し、労働生産性の向上、素材生産コストの低減、労働強度の軽減等事業の合理化と近代化に著しい効果をあげてきた。このことを著者が調査した事例によって若干説明してみたい。すなわち、北見営林局（現北見営林支局）管内の製品生産事業における昭和32年度から36年度までの5年間の機械化率と素材1 m^3 当たりの生産原価の推移状況をみると、伐木造材工程では機械化率を18%から100%に引きあげた結果、36年度の1 m^3 当たり伐木造材コストを32年度の90%に低減させることができ、集材工程でも機械化率を10%から28%に向上させた結果、36年度の1 m^3 当たり集材コストを32年度の82%に低減させることができた¹⁾。また、名古屋営林局管内神岡営林署金木戸製品事業所においては、昭和35年度から45年度までの11年間に伐木造材（人力・チェーンソー混合）・人力木寄・集材機集材（3～4段）の工程編成を、全幹伐倒（チェーンソー）・全幹集材（1～3段）・全幹造材（チェーンソー）を主とした工程編成に単純化し、作業仕組を改善した結果、同事業所における45年度の労働生産性（ $\text{m}^3/\text{人工}$ ）を35年度の282%にまで向上させることができた²⁾³⁾。

このような林業機械化の効果は、製品生産事業のみならず育林事業においても主として小型可搬式機械の導入により、事業の計画的な推進および労働生産性の向上に寄与してきた。以上のように製品生産、育林両事業を中心とした林業生産技術のなかで、林業機械のはたしてきた役割はたかく評価することができる。そして、このような国有林における林業機械化の成果が、民有林における機械化推進の大きな原動力になったことも事実である。

高度経済成長期であった昭和30年代から40年代当初においては、森林、特に国有林に対する社会的要請は、木材生産が主体であった。したがって、国有林としては上述のような林業生産技術の開発と体系化を行い、木材生産にウェイトをおいた森林施業により、このような社会的要請にできるかぎりこたえてきたのである。

ところで、このように成果をあげつつ発展してきた機械を主軸とする林業生産技術は、森林のもつ経済的機能、特に木材の持続的かつ計画的な供給機能を充実するために質的、量的に森林生産力を向上させる必要のある林地（国有林においては主に第2種林地）を主たる対象とし、大面積皆伐・人工植栽（新植）を基本とした森林施業法に基づくものである。当時の技術開発の重点

は、当然のことながら皆伐作業方式に指向され、林業生産技術が体系化されてきたものと考えることができる。

しかしながら近年、経済社会の発展、都市化の進展等によって大都市ならびにその近郊の生活環境が急速に悪化しつつあることから、人間生活と自然との調和を求める要請が強く提起されており、この一環として自然環境の保全・形成、森林レクリエーションのための場の提供等森林のもつ公益的諸機能を維持増進すべきであるとする要請が急激な高まりをみせている⁴⁾。さらに最近においては、産業の発展、生活水準の向上等に伴って水需要が増大する傾向にあり、今後水不足が一層懸念されることなどから、森林のもつ多様な公益的機能の発揮に対する要請が一段と高まっている⁵⁾。林業経営においては従来からも国土の保全、水資源のかん養、保健休養等森林のもつ公益的機能の維持増進につとめてきたのであるが、さらにこのような社会的要請に積極的に対応していくことが必要となってきたのである。すなわち、人間がより豊かな生活をしていくために、より豊かな緑を求めるようになってきたものであり、このことは森林の機能についても、より総合的な価値観に基づく評価がなされるようになってきたものと考えられる。

上述のような林業経営をとりまく外部的要請とは別な観点から、わが国の今後における森林施業のあり方を考察した重要な提案⁶⁾がある。すなわち、皆伐人工造林作業は単位面積当たりの伐出材積の多量、高馬力・高性能の機械の利用による速度化、労働生産性の飛躍的な向上、作業の単純化、労働強度の軽減、作業の計画性など種々なる利点が挙げられるが、反面、大面積の皆伐による林地生産力の大幅な低下、植栽後の保育作業における労働量の増大、大面積による造林の不確実性など不利な点も可成り多い。そこでこれらの様々な問題点をかかえ、しかも公益的機能の高揚のために推進すべき方向として、非皆伐施業を指向したこの提案は、まさに現実の林業経営の立場にたって、従来の林業生産技術を公正かつ的確に評価し、今後推進すべき森林施業（林業経営）の基本方向を示唆した点に極めて重要な意義があるものと考えられる。

このような森林および林業経営をとりまく内外の社会経済情勢の変化、森林に対する価値観の転換などに対応して、国有林では「国有林野における新たな森林施業」⁷⁾により、社会的要請にこたえる適正な森林施業の実施につとめているが、その内容を「森林資源に関する基本計画の施業方法別面積（国有林）」にみると、表-1 に示すように禁伐等を除く施業対象面積 576万 ha の

表-1 国有林における施業方法別面積

施 業 方 法	皆伐人工林施業	皆伐天然更新施業	漸伐施業	択伐施業	施業対象面積
面 積 (万ha)	277	24	12	263	576
構成比率 (%)	48	4	2	46	100

うち、天然林施業対象地の合計面積は施業対象面積の52%を占めている。このように天然林施業は重要な位置を占めるが、その技術に関しては、今後解明すべき部分も多く、技術開発に努力がはらわれている。特に、北海道における森林施業は、気象条件が厳しいために天然林施業が主体

をなしており、昭和53年度においてはその更新面積 71,575 ha の77%が天然下種更新である。また、国有林の人工林では間伐期に達している林分が多く、III から VI 齢級の面積は、昭和52年4月時点でスギ林の42%、ヒノキ林の32%、カラマツ林の58%を占めており、適切な間伐を推進するために間伐方法の検討が行われている⁸⁾⁹⁾。

間伐に関しては、間伐方法や伐出技術の確立など早急に解決されなければならない問題が多く、国有林のみならず民有林を含めたわが国林業の当面する最も重要な課題の一つである。この間伐問題については、その重要性がはやくから認識され、林業経営の実務家、林業技術者、機械製作者、各分野の研究者とともども広い視野から展開することによって相互啓発、相互理解を深め、問題解決への協同路線を開くため、シンポジウムが企画された¹⁰⁾のをはじめ、多くの努力が重ねられている。

以上、主として国有林における林業機械化の沿革と林業生産技術のなかにはたしてきた機械の役割、最近の森林に対する社会的要請の変化、およびこのような社会的要請に対応し、林業経営の健全化をはかるための森林施業の指向すべき方向などについて述べたが、要するに今後の森林施業は、公益的機能の計量的把握という問題はあるとしても、その森林のおかれた自然的条件に最も適した方法を採用することを基本として、森林に対する価値観の変化、林業生産技術の進展等社会的、経済的条件に対応して森林のもつ多面的な機能を総合的かつ高度に発揮させるように行われなければならないであろう。そのための森林施業法としては、上述した天然林の択伐、多段林型の林分構造をめざした人工林の間伐および択伐を主体とした非皆伐施業を着実に推進させることが現段階における最も基本的な課題であると考えるのである。このために、新しい森林施業をささえる林業生産技術も、木材生産を主体とした技術から総合的な森林施業技術へと展開されることが是非とも必要となってきたのである。そこで、当面緊急に検討されなければならない重要な課題の一つとして、森林施業の主要な部門を占める伐出工程、とりわけ集材工程にどのような作業技術を投入していくかという問題がある。すなわち、非皆伐施業を伐出作業的側面からみると、作業の行われる場の条件が従来の大面積から小面積へ、皆伐から非皆伐へ、集中伐区から分散伐区へと移行することとなり、そこに採用される集材作業技術は、伐出コスト、更新・保育の成否両面に決定的な影響を与えるのである。したがって、集材工程の作業仕組についても従来の林業生産技術を全般的に再評価するとともに、新たな技術開発を推進し、合理的・最適な技術体系を確立していくことが不可欠の要件であると考えられる。この場合、個々の林分ごとに具体的にどのような伐出方法と更新・保育方法を採用するかということは、当該林分を将来どのような機能と構造をもつ森林に誘導するかという林業経営上の目標に基づき、各種のパターンが実際の森林においてはあらわれることになるだろうが、いずれにしても両者は同時的、一体的に検討して決定されるべき問題であると考えられるものである。

本研究は、以上のような現状認識と今後の展望に基づき、前節で述べた目的を達成するため実施することとした。

1・3 集材作業システム評価の基本的な考え方

集材作業システム評価の基本的な考え方を述べるまえに、本研究において用いる重要な用語の定義を明らかにしておきたい。

まず、非皆伐施業とは、原則として択伐、漸伐、あるいは保残木作業等皆伐以外の伐採方法によって主伐し、林地を裸地化することなく人工植栽、天然下種更新Ⅰ類（更新にあたり稚幼樹の有無、更新の難易、および投資効果を考えて、地ごしらえ、地表かきおこし、適当な除草剤の活用、部分的なまき付け、あるいは補助的植栽等によって有用樹種の更新を行うもの）、または天然下種更新Ⅱ類（立木の主伐前後に人工を加えず有用樹種の更新を行うもの）等の方法によって更新を行う施業法、および間伐施業法のための森林施業技術の体系をいう。

つぎに、集材作業システムとは、集材機能を協同して遂行するように設計された相互作用を有する集材作業要素（作業条件因子、集材装置（原動力としてのエネルギーを含む）、作業方法、集材対象、作業班）を合目的に組織化した総合的な作業技術の体系をいう。

さらに、集材作業の労働生産性とは、集材作業量を当該作業の所要延人員で除して求めた作業者1人1日（1人8時間）の労働（1人工という）当たりの作業量をいうこととし、集材作業システムの技術的合理性を評価する指標¹¹⁾とするものである。

なお、わが国における集材作業の方式は、集材機集材とトラクタ集材に大別することができる。集材機集材は一定の固定的施設を敷設し、比較的急傾斜地において長大支間の架線により全幹材、全木材、普通材を集材するものから、簡易な架線により普通材を集材するものまで多種多様のものが開発され、作業方式が体系化されている。この作業方式を機械的観点からみると、集材機はいずれもエンジンとドラムから構成され、これとワイヤロープの働きにより作業が行われる点がどの作業においても共通している。一方、トラクタ集材は、昭和29年の15号台風により発生した大量の被害木処理を契機として、北海道を中心とした緩傾斜地においてクローラタイプのトラクタによる作業が急速に発達し、その後、昭和41年頃よりホイールタイプのトラクタが導入され、さらに機動性の高いものとなってきた。

皆伐施業の集材作業については、集材機、トラクタいずれの作業方式においても、後述するような数多くの貴重な研究が行われ、この研究成果によってわが国独自の高度な集材作業技術の体系が確立されてきたのであり、これらの業績はいずれも高く評価されるものである。ところで、今後推進されなければならない非皆伐施業の集材作業技術については、今後の研究課題に属するものが多く、新しい技術開発にまつところも大きいのであるが、同時に、すでに開発され体系化されている多くの集材作業技術を、非皆伐施業の諸条件に適応させつつ一定の基準により再評価することにより、非皆伐施業の集材作業技術体系として最適化していくことが当面の緊要課題であると考えているのである。

このような考え方から、非皆伐施業における集材作業システムの評価基準を、この施業の特質にてらして考察することとしたい。

非皆伐施業においては、林地を全面的に裸出することがないので、林内は日射、気温、湿度、土壌の物理・化学的性質などが好条件に保たれ、そこに生立する林木も稚樹から幼壮齡樹にいたるまで多種多様のものが混在し、択伐林型や二段（多段）林型を呈するなど林分構成が生態的にも自然であり、地上および地下部の空間利用も効果的であるため、林木が協調して生育し、病虫害や気象害にも強い健全な林分構造を保持することができる。したがって、水源かん養、土砂の流出防止等による国土の保全や自然環境の保全・形成が促進され、野生鳥獣などの保護および保健休養等の公益的機能が向上するとともに、地力の維持増進がはかられるため、計画的にこのような林分構造の森林を造成し、合目的な保育手段を講ずるならば、高い森林生産力（生産量の増大）と実際に伐採収穫を必要とする優良材、大径材などの高価値材の保続的な生産が可能となるので、経済的機能も高度に発揮させることができると考えられる。また、皆伐をしないから伐採跡地更新のための地ごしらえ、下刈、つる切、除伐、間伐等の作業種目も減少し、これらの作業に要する多量の労務を低減させるとともに、年間をつうじて労務量を平準化させることができるので、森林内容をより充実させる作業に有効に活用することができ、作業者の労働条件も向上させることができるのである。

しかしながら、現実の森林においては、このような非皆伐施業の特質も、森林施業に対する発想（経営方針）の転換とその森林のおかれた諸条件に適合した施業体系、ならびにこれを経済的に可能ならしめる作業技術が確立されなければ実現させることはできない。なかんずく集材工程に採用される作業方式が素材生産の能率と更新・保育の安定性を左右し、その結果として非皆伐施業の事業的成否に決定的な影響を与えることになるのである。非皆伐施業が事業（林業経営）として実施されているものであるかぎり、上述のような事業的観点からその成果を的確に把握し、評価すべきことは論をまたないところである。

一方、集材作業コストは、表-2に示すように、その大部分が主副作業の人件費で占められて

表-2 集材機作業のコスト分析

区 分	主作業	副作業	計	構成比 (%)
人 件 費 (円/m ³)	2,405	1,021	3,426	84
労 賃 (円/m ³)	1,581	688	2,269	56
諸 手 当 (円/m ³)	824	333	1,157	28
物 件 費 (円/m ³)	543	—	543	13
器 具 機 材 費 (円/m ³)	453	—	453	11
維 持 修 繕 費 (円/m ³)	50	—	50	1
燃 料 油 脂 費 (円/m ³)	40	—	40	1
集材機減価償却費 (円/m ³)	122	—	122	3
計 (円/m ³)	3,070	1,021	4,091	100
構 成 比 (%)	75	25	100	—

* 本表は、昭和49年度に名古屋営林局管内11営林署において直営で実施された集材機作業の実行結果を実行総括表から分析したものである。

おり、物件費や集材機などの減価償却費のウェイトは小さい。したがって、集材作業の経済性を評価する場合には、集材作業コスト、とりわけ人件費を最小にする作業システムを見いだすことが前提となるが、同時に当該作業システムは十分な技術的合理性によって裏付けられたものでなければならず、この技術的合理性をあらわす指標としての労働生産性を比較検討することが極めて重要な意義をもつのである。集材作業における労働生産性は、当該作業システムの技術的合理性をあらわす指標であると同時に、上述の理由から当該作業システムの経済性を評価するための尺度としても極めて有効なものであるといえるのである¹²⁾¹³⁾。このことは、トラクタ作業についても同様のことがいえるものと考えられる。

以上の考察から、非皆伐施業における集材作業システムはつぎの基準により評価されるべきものと考えられる。

1. 集材作業を安全かつ容易に行うことができるかどうか。
2. 集材作業の労働生産性（経済性・技術的合理性）が高いかどうか。
3. 集材作業の支障木、損傷木、残存林木・林地への影響等が森林環境の保全性に対してどのように作用するか。

最適集材作業システムは、これら三つの基準をともに満足させるものでなければならない。しかし、これら評価基準のウェイトをどのように配分するかは、森林施業（林業経営）の目的と当該林分の構造に即して総合的に決定されるべきものであろう。ここで特に留意すべきことは、非皆伐施業においては高価値材の生産により収入の増大をはかることは当然としても、集材作業の労働生産性を第二義的に考えてよいということでは決していない。むしろ、森林環境の保全というより技術的困難性を伴う施業要件が加わったため、非皆伐作業では皆伐作業に比べて伐出作業費の著しい増大をきたす¹⁴⁾ 場合が当面は一般的であろうから、このような技術的困難性を克服して作業の安全・容易性と労働生産性を向上させるための努力が求められているわけで、これらが大幅に低下することは事業経営上、許されないものと考えるべきである。本研究においては、このような視点から集材作業システムの評価を行うこととしている。

1・4 本研究の範囲と内容

わが国における集材作業の方式は、前述のように集材機集材とトラクタ集材に大別することができる。皆伐施業の集材作業にあっては、両方式ともはやくから架空索理論やトラクタの動力および作業性能などの研究を基礎にして、作業方法や作業能率に関する研究¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁸⁾¹⁹⁾、地形分類と集運材作業方式に関する研究²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾ など数多くの貴重な研究が行われ、わが国独自の高度な集材作業技術の体系が確立されてきた。また、欧米諸国においても地形・地表の計測、集運材距離を基にした作業方式の研究²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾ などがかかなり行われている。しかし、非皆伐施業の集材作業システムに関する研究、とりわけ緊要と考えられる集材対象林分の自然的作業条件、地利的作業条件、および集材作業方式の三者を組み合わせた集材作業システムの体系化に関する研究成果は、著者の見聞するかぎりではいまだ見当たらないようである。

それ故、著者は非皆伐施業における総合的な森林施業技術確立の一環として集材作業システムの体系化と最適化の問題を位置づけ、この研究を推進することにより、すこしでもわが国林業の発展に貢献することができればと念願するものである。

このため、第2章では今後人工林施業が主体となる名古屋営林局管内の国有林、および天然林施業が主体となる北海道、帯広、旭川各営林（支）局管内の国有林を調査の対象に選定し、非皆伐施業における集材作業システムの現状と技術的課題を明らかにし、現段階において施業方法との関連で最も合理的と考えられる集材作業システムを見いだすための考察を行うこととした。

つぎに、第3章では数量化の方法により集材作業システムを解析することの意義と本研究に適用する数量化の理論を説明した。第4・5・6各章では現状分析の結果から明らかにされた合理的集材作業システムによる集材作業の能率とこれに関与する諸要因との相互関係を、労働生産性を外的基準にし数量化の理論を応用して要因分析を行うことにより、集材作業システムを最適化するための新しい作業研究手法に対する理論づけと合理的な集材作業計画の立案を目的とした労働生産性の予測モデルを設計し、その適合性を検討することとした。

さらに、第7章では以上の検討結果に対する考察を行い、本論文の結論を集約することとした。

第2章 非皆伐施業における集材作業システムの現状と課題

2・1 序 説

わが国の森林に対する最近の社会的要請に対応していくため、国有林においては新しい森林施業の前提となる合理的な土地利用区分や森林施業の技術的基準を確立するための検討が行われ、実際の森林施業においてもその成果が次第にあげられてきている²⁸⁾²⁹⁾³⁰⁾³¹⁾が、このような状況のなかで森林施業技術上、特筆すべきことは、前述のような要請にこたえる有効な方法の一つとして、非皆伐施業が事業的に推進されつつあるという事実である。非皆伐施業は林分構造の現況などからこれを急速に拡大することが困難であるとしても、極めて好ましい森林施業技術であるという認識は深められるべきであろう。国有林における森林施業のこのような傾向は今後も一層推進されるものと予測できるし、民有林においても、社会情勢の変化によっては普及の進度は高まると予想する見方³²⁾が一般的であると考えられる。

非皆伐施業の事業的成否に最も大きい影響を与える集材工程の作業技術については、集材対象林分の自然的、地利的作業条件と集材作業方式との最適な組み合わせである最適集材作業システムを体系化することにより、当該事業地でそれぞれ最も有効なシステムを選択導入し、合理的な伐出事業の計画策定と実行管理ができるような技術体制を確立することが必要である。しかし、わが国における非皆伐施業の集材技術水準はいまだそこまで進展していない現状にあると考えられる。

そこで著者は、急峻地の多いわが国の森林における非皆伐施業の推進上、大いに威力を発揮すると考えられる集材機を主軸とした集材作業システムの最適化をはかるために、その第一段階と

して、名古屋営林局管内の国有林において昭和47年度から50年度までの4年間に非皆伐施業の集材機作業を製品生産事業として直営で実施し、それぞれの事業現場で当該集材機作業技術が事業的に定着化していると判断できる集材機作業システム56件を調査の対象に選定し、それらの作業条件、作業方式、労働生産性、作業の安全・容易性、および当該林分に与える集材作業の影響等に関する実態調査を行い、この段階において施業方法との関連で最も合理的と考えられる集材機作業システムを見いだすべく検討を行った。なお、この実態調査においては、調査対象とした集材機作業システム56件のうち、天然林施業にかかるものは15件、人工林施業にかかるものは41件で、人工林を対象にしたものが圧倒的に多かった。

検討の内容を要約するとつぎのとおりである³³⁾。

1. 非皆伐施業の方法は、主・間伐、林種により数種に分類できる。すなわち、それぞれ将来誘導すべき目標林分構造を設定して施業が行われており、天然林においては、択伐、保残木、小面積皆伐を組み合わせた伐採方法により主伐を行い、天然下種更新Ⅰ類、同Ⅱ類を組み合わせた更新方法によるもの、および保残木伐採により主伐を行い、天然下種更新Ⅰ類により更新を行うものに類別でき、トウヒ、ブナ等を主とする活力のある天然林、価値の高い木曽ヒノキ複層天然林をめざしている。また、人工林においては、択伐による主伐を行い、樹下植栽により更新を行うもの、および間伐として単木伐採を行うものに類別でき、人工林ヒノキの価値の高い柱材・大径材生産林を目標にしている。

2. 非皆伐施業の集材機作業システムは、作業を安全かつ容易に行うことができ、労働生産性が高く、森林環境の保全によい影響を与えるものでなければならない。

3. 集材機作業の安全性と容易性を高めることは、労働災害の防止、労働強度の軽減等のほか、労働生産性を向上させるための重要な前提条件でもある。

4. 天然林の主伐林分においては、エンドレスタイラー式3胴型索張り法を用いた集材機作業方式が、人工林の間伐林分においては、ホイスチングキャレージ式複エンドレス型索張り法を用いた集材機作業方式が、いずれも労働生産性では最もすぐれているので、森林環境の保全性、人力木寄作業の改善に留意すれば有利である。

5. 人工林の主伐、間伐林分をつうじて、モノケーブル式調整型索張り法を用いた集材機作業方式は、森林環境の保全性が非常にすぐれ、地形的な適応範囲も極めて広いので、今後、集材技術の向上とあいまって、有利な方式として期待できるものである。

ところで、わが国における集材作業は、集材機集材とトラクタ集材に大別できるが、国有林における集材用機械とトラクタ集材比率の推移³⁴⁾は、表-3に示すとおりである。この表によれば、集材機台数が年々減少しているのとは対比的に、トラクタ台数はほぼ年々増加している。また、トラクタ集材比率は、昭和49年度までは増加傾向をたどってきたが、それ以降はほぼ横ばいの状態で推移している。しかし、集材比率は40%近くに達している状況にある。トラクタ集材がこのように増加したのは、地形的に作業が可能な林地では、トラクタの特性である機動性と大きいけ

表-3 国有林における集材用機械とトラクタ集材比率の推移

年 度	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
集 材 機 (台)	2,128	2,034	1,987	1,869	1,765	1,640	1,544	1,421	1,391	1,364
クローラタイプトラクタ (台)	365	375	391	454	518	559	573	567	574	567
ホイールタイプトラクタ (台)	22	22	41	61	71	81	87	100	113	117
ト ラ ク タ 計 (台)	387	397	432	515	589	640	660	667	687	684
ト ラ ク タ 集 材 比 率 (%)	18	20	21	27	31	34	36	39	39	39
同 指 数	100	111	117	150	172	189	200	217	217	217

* 台数は各年度末におけるものである。

** トラクタ集材比率とは、全集材量に対するトラクタ集材量の比率であり、直営請負込みであらわされている。

ん引力が集材作業を容易にし、作業能率を向上させ、さらに労働災害を減少させたことによるものと考えられる。特に全幹材の集材方式が採用されたことにより、作業工程を単純化して、作業の安全性と労働生産性の向上をはかることができたといえる。このようなトラクタ集材作業の現況を考慮するならば、前述の新しい森林施業における北海道国有林を中心とした択伐施業対象地では、副作業が少なく、機動性と安全性をいかしたトラクタ集材作業の重要性は今後ともさらに増大していくものと考えられる。

以上のような集材作業に対する第一段階としての基礎的な検討結果とトラクタ集材に対する考え方を基にして、集材作業システムを最適化していくためには、まず、採用すべき集材作業システムの決定を支配する林分の自然的、地利的諸因子について検討し、前章で述べた集材作業システム評価の考え方に基づいた的確な現状分析を行うことが必要である。このため、次節で定める方法により調査を実施することとした。

2・2 調査方法

本調査は、非皆伐施業の集材作業システムに関する現状分析および最適化のための資料収集を目的として実施するものである。

調査対象地域は、集材機集材作業システムについては比較的急傾斜地が多く、今後、人工林施業が主体となる名古屋営林局管内の国有林を、トラクタ集材作業システムについては比較的緩傾斜地が多く、天然林施業が主体となる北海道、帯広、旭川各営林（支）局管内の国有林を選定することとした。

調査対象とする集材作業システムは、上記各営林（支）局管内の製品事業所において昭和50年度から53年度までの4年間（名古屋営林局管内の集材作業システムについては、48年度から53年度までの6年間を対象としたものがある。）に直営で作業が実施されたもののうちから、集材作業基準⁽³⁵⁾⁽³⁶⁾⁽³⁷⁾に基づく標準的作業技術が事業的に定着化しているものを対象とした。

調査項目は、つぎのとおりとし、1集材線または1集材区域ごとに当該製品事業所関係の森林調査簿、収穫調査復命書、製品生産事業実行簿、作業条件記録表、集材作業地域図（縮尺5,000分

の1・等高線記入のもの), および各種事業資料から所要事項の調査数値, 実績数値などを別に作成した調査表により調査するとともに, 名古屋営林局管内においては現地調査を併用した。

A. 集材機集材作業システム調査項目

(1) 調査場所(作業実施場所)

(2) 作業実施年度および時期

(3) 作業方法に関する事項

① 将来の目標林分構造 ② 主間伐区分 ③ 伐採方法 ④ 更新・保育方法

(4) 集材対象林分のタイプに関する事項

⑤ 伐採前林分の林齢 ⑥ 同主要樹種名 ⑦ 同 ha 当たり本数 ⑧ 同 ha 当たり材積 ⑨ 同平均胸高直径 ⑩ 同平均樹高 ⑪ 伐採木の樹種名 ⑫ 同 ha 当たり本数 ⑬ 同 ha 当たり材積 ⑭ 同平均胸高直径 ⑮ 同平均樹高 ⑯ 伐採率(本数) ⑰ 同(材積) ⑱ 伐採木の選木方法 ⑲ 地表の傾斜 ⑳ 起伏量 ㉑ 谷密度 ㉒ 地形指数

(5) 集材方法と作業条件に関する事項

㉓ 索張り方式 ㉔ 集材木の形態 ㉕ 1 集材線当たりの集材面積 ㉖ 支間斜距離 ㉗ 支間傾斜角 ㉘ 林道(土場)までの実集材斜距離 ㉙ 横取斜距離 ㉚ 横取地点までの人力木寄斜距離 ㉛ 集材機の機種・型式 ㉜ 同エンジンの名称・定格出力 ㉝ ワイヤロープの構成記号・径・種類(主索, 作業索) ㉞ キャレッジの種類・型式 ㉟ 荷のつり方 ㊱ 1 荷の制限荷重 ㊲ 土場の大きさ ㊳ 作業班の構成 ㊴ 集材木1本当たりの平均材積 ㊵ 1 回(1 荷)当たりの集材本数・材積 ㊶ 1 日当たりの集材回数(荷数) ㊷ 1 日当たりの集材工期 ㊸ 1 日当たりの集材機稼働時間

(6) 労働生産性に関する事項

㊹ 集材機集材材積 ㊺ 人力木寄のみの集材材積 ㊻ 全集材材積 ㊼ 横取地点までの人力木寄材積 ㊽ 全人力木寄材積 ㊾ 集材機集材延人員 ㊿ 人力木寄延人員 ㋀ 集材線架設・撤収延人員 ㋁ 全所要延人員 ㋂ 集材機集材作業の労働生産性 ㋃ 人力木寄作業の労働生産性 ㋄ 架設・撤収作業の労働生産性 ㋅ 集材作業全体の労働生産性(人力木寄作業を含めない場合, 人力木寄作業を含めた場合)

(7) 参考事項

㋆ 集材作業の安全性 ㋇ 集材作業の容易性 ㋈ 集材作業の影響 ㋉ 他林分への応用の範囲と方法 ㋊ 集材機の購入年月日・昭和53年度末までの修繕費 ㋋ その他特記事項

なお, 集材機集材作業における索張り法の方式名は農林水産省林業試験場機械化部により提案された名称³⁸⁾³⁹⁾を使用することとした。これは各事業現場においても, この名称がかなり一般化しており, 今後は同一索張り法であればその名称も統一して使用されるべきものであると考えたからである。

B. トラクタ集材作業システム調査項目

(1) から (4) までの調査事項については集材機集材作業システムの場合と同一項目とし、(5) から (7) までの調査事項については、つぎのとおりとした。

(5) 集材方法と作業条件に関する事項

㉔ 集材方式 ㉕ 集材木の形態 ㉖ 1 集材区域の面積 ㉗ 林道（土場）までの実集材斜距離
㉘ 地表植生の状況 ㉙ 地表面の土性 ㉚ トラクタの機種・型式・総重量 ㉛ 同エンジンの名称・定格出力 ㉜ 同ウインチの巻込容量・引張力／速度 ㉝ 作業班の構成 ㉞ 集材木 1 本当たりの平均材積 ㉟ 1 回（1 荷）当たりの集材本数・材積 ㊱ 1 日当たりの集材回数 ㊲ 1 日当たりの集材工期 ㊳ 1 日当たりのトラクタ稼働時間

(6) 労働生産性に関する事項

㊴ 集材材積 ㊵ トラクタ運転延人員 ㊶ 荷かけ・荷おろし巻立延人員 ㊷ 集材作業所要延人員 ㊸ 集材作業の労働生産性

(7) 参考事項

㊹ 集材作業の安全性 ㊺ 集材作業の容易性 ㊻ 集材作業の影響 ㊼ トラクタ集材路の作設方法・延長・作設所要延人員 ㊽ 他林分への応用の範囲と方法 ㊾ トラクタの購入年月日・昭和53年度末までの修繕費 ㊿ その他特記事項

以上の調査項目のうち、実集材斜距離、横取斜距離、人力木寄斜距離については、それぞれの集材材積と距離との相乗積から算出した平均距離と最短および最長距離を調査することとした。

本調査においては、地形の良否を客観的かつ定量的に把握する尺度として、地形指数を用いることとしたが、地形指数の計測にあたっては、縮尺5,000分の1の集材作業地域図（等高線記入のもの）によりこれを行うことができるよう、前掲20）から23）の文献を参考にして、つぎのような地形指数計測要領を作成し、この要領により実施することとした。

C. 地形指数の計測要領

(1) 地表傾斜 I_i (%)

半径 50 m および 25 m の同心基円よりなる定規を使用し、これら二つの円周がそれぞれ集材作業地域図の等高線と交わる交点の数 N_1 および N_2 をかぞえる。この場合、基円が集材対象区域からはみだすものについては、はみだす部分が基円の2分の1以内のものは計測の対象とし、2分の1以上のものは計測の対象としない。

I_i は次式により算出する。

$$I_i = \frac{10}{3} (N_1 + N_2) \quad (1)$$

交点識別上の留意事項

① 円周に対する等高線の入りこみ（等高線に対する基円の入りこみ）が、その位置の等高線間隔の4分の1以下の小入りこみは、これを入りこみとみなさず1個の交点としてかぞえる。

② 逆に入りこみが大きく、その位置の等高線間隔の4分の3以上のときは、その入りこみの

頂点を1個の交点としてかぞえる。

③ 基円に対して等高線が同心円状に走る部分があるような地形の場合には、不正確な結果を与えるので、中心点の位置をずらせて交点の数をかぞえる。

(2) 起伏量 R (m)

集材対象区域内の最高点と最低点との間の高度差をもって、起伏量とする。

(3) 谷密度 V (個/ha)

集材対象区域内のすべての谷の数をかぞえ、これを集材対象区域面積 (ha 単位) で除した値をもって、谷密度とする。

谷としては、本流、支流のほか山腹面に認められるすべての刻み目を、その長さの長短にかかわらず、1個の谷としてかぞえる。ただし、対象区域を貫通する谷は0.5個としてかぞえる。

(4) 起伏量・谷密度の指数 I_r (%)

R と V を用いて次式により算出する。

$$I_r = R(0.1 + V) \quad (2)$$

(5) 地形指数 I (%)

I_i と I_r を用いて次式により算出する。

$$I = \frac{3I_i + I_r}{4} \quad (3)$$

表-4 非皆伐施業のタイプと

調査対象 営 林 局	非 皆 伐 施 業 の タ イ プ						集 材 機	
	林種	林齢* (年)	主間伐 区 分	伐採一更新方法の基本	材積伐採率* (%)	将来の目標林	集 材 機	
							ドラム数	エンジンの 定格出力* (ps)
名古屋	人工林	56 34~85	間 伐 (一部) 主 伐	単木点状伐採 (一部) 択伐一天然下種更新Ⅰ類	23 13~56	人工林ヒノキの 柱材・大径材 生産林	3	$\frac{12}{12 \sim 15}$
							3	$\frac{77}{10 \sim 130}$
							3	$\frac{12}{12}$
							3	$\frac{13}{12 \sim 13.5}$

* 上段は平均値を、下段は最小値と最大値をあらわす。

** 1 集材線当たりの作業班の構成をあらわす。

2・3 調査結果と考察

2・3・1 非皆伐施業のタイプと集材作業システムの類型

調査対象とした事業地における非皆伐施業のタイプとそこに採用された集材作業システムの類型を調査資料から要約すると、表-4, 5 のようにあらわすことができる。この表における集材作業システムの類型は、それぞれの特性を最もよくあらわす要素、すなわち集材機集材作業システムにあっては索張り法により、トラクタ集材作業システムにあっては集材木の形態により分類することとした。また、調査対象となった集材作業システムの件数は表-6 に示すとおりである。

これらの表から明らかなように、名古屋営林局管内の人工林においては、将来、価値の高い高伐期ヒノキ林の造成を目標にして、間伐が積極的に推進されているが、集材作業はすべて集材機により行われており、索張り法もホイスティングキャレージ式複エンドレス型、およびモノケーブル式調整型が圧倒的に多く、集材木の形態も普通材が大部分を占めている。また、北海道の3営林(支)局管内の天然林においては、択伐を主にした主伐が行われ、更新方法も天然下種更新Ⅰ類と同Ⅱ類を組み合わせ、活力のある針広混交の複層天然林の造成をめざした施業が実施されており、集材作業はトラクタによる全幹材のサルキー集材、または直曳集材が一般的である。

それではこのような非皆伐施業のタイプと集材作業システムの組み合わせのパターンは、どのような考え方、または要因によって形成され、支配されているのであろうか。この点をさらに掘り下げて検討してみることが必要である。

集材機集材作業システムの類型

集 材 機 集 材 作 業 シ ス テ ム の 類 型								
集 材 装 置			索 張 り 法	集材木の形態	作業班の構成**			表示 記号
ワ イ ヤ ロ ー プ					運 転 (名)	荷かけ (名)	荷おろし 巻立 (名)	
主 索	作 業 索							
$\left\{ \begin{array}{l} 6 \times 7A \cdot B \text{ 種 } 14 \sim 18 \\ \text{(一部)} \\ 6 \times 19A \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} 12 \\ 10 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{LFL}6 \times 19A \text{ 種 } 8 \sim 10 \\ \text{走行用・荷上用} \\ \text{ELL}6 \times 19A \quad 6 \sim 10 \end{array} \right.$	ホイスティングキャレット ジ式複エンドレス型	$\left\{ \begin{array}{l} \text{普通材} \\ \text{(一部)} \\ \text{全幹材} \end{array} \right.$	1	1~2	1~3	I
6×19A	10	—	モノケーブル式調整型	普通材	1	2	1	II
$\left\{ \begin{array}{l} 6 \times 7B \\ 6 \times 19A \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} 14 \\ 14 \end{array} \right\}$	6×19A 8~10	ランニングスカイライン 式エンドレス・フック 型（帯広型）	普通材	1	1	2	III
$\left\{ \begin{array}{l} 6 \times 7A \\ 6 \times 19A \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} 14 \\ 12 \end{array} \right\}$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{HAL}6 \times 19A \quad 8 \sim 10 \\ \text{HBL}6 \times 19A \quad 6 \sim 10 \end{array} \right.$	フォーリングブロック 式	普通材	1	1~2	1~2	IV

表-5 非皆伐施業のタイプと

調査対象 営林(支) 局	非 皆 伐 施 業 の タ イ プ						ト ラ ク	
	林種	林齢 (年)	主間伐 区 分	伐採－更新 方法の基本	材積伐 採率* (%)	将来の目標 林	ト ラ ク	
							機 種	総 重 量* (kg)
北海道 帯 広 旭 川	天然林	15～ 430	主伐	$\left\{ \begin{array}{l} \text{択伐－天然下種} \\ \text{更新Ⅰ類・Ⅱ類} \\ \text{の組み合わせ} \\ \text{(一部)} \\ \text{漸伐－天然下種} \\ \text{更新Ⅰ類} \end{array} \right\}$	$\frac{27}{11\sim71}$	トドマツ・エゾマツ・ミズナラ・センノキ・シナノキ等を主とする活力のある針広混交複層天然林	$\left\{ \begin{array}{l} \text{クローラタイプ} \\ \text{ホイールタイプ} \end{array} \right\}$	$\frac{9,097}{6,650\sim13,215}$ $\frac{5,957}{5,900\sim6,180}$

* 上段は平均値を、下段は最小値と最大値をあらわす。

** 1 集材区域当たりの作業班の構成をあらわす。

表-6 調査対象となった集材作業システムの件数

集材作業システム	I	II	III	IV	V	VI
件 数	49	46	3	3	42	3

2・3・2 集材作業システム決定の実態

集材作業システムの決定に影響、またはこれを支配する因子が何であるかを集材作業の特性と実態に即して考察してみると、そこには非常に多くの因子が極めて複雑に関与しあっていることがわかる。そこで、これらを整理して大別すると、つぎのように分類することができる。

① 集材対象林分の性格をあらわす自然的作業条件因子

地形の良否（地形指数により表示）、伐採前林分の ha 当たり本数・材積、伐採後林分の ha 当たり本数・材積、1 集材線または 1 集材区域当たり集材面積、同集材材積、集材木 1 本当たり平均材積、地表面の植生、土性などの状況

② 集材対象林分の地利的作業条件因子

木寄・横取距離を含めた集材距離（林道（土場）までの集材距離）、トラクタ集材路の ha 当たり延長（集材路密度）

③ 経営的、技術的条件因子

経営または事業の方針と規模、作業者の集材技術水準、集材装置の機種・型式・性能および規模等

③の条件因子については、国有林の場合、経営または事業の方針が製品事業所（事業地）ごとに大きくかわることはないと考えられるし、作業者の集材技術水準も集材用機械導入の沿革、集材作業の歴史、作業者に対する技能研修の実態等から、事業地と作業者が異なってもおおむね同

トラクタ集材作業システムの類型

タ 集 材 作 業 シ ス テ ム の 類 型								
集 材 装 置			集 材 法	集材木の形態	作業班の構成**			表示 記号
タ	トラクタのウインチ				運 転 (名)	荷かけ (名)	荷おろし 巻立 (名)	
エンジンの 定格出力* (ps)	巻 込 容 量* (m/mm)	引張力* / 速度 (kg) (m/分)						
$\frac{75}{55 \sim 110}$	$\frac{82}{40 \sim 146} / 12 \sim 20$	$\frac{7,028}{4,700 \sim 10,340} / 29 \sim 70$	} {サルキー 集材 直曳集材	} {全幹材 普通材	1~3	1~3	1~4	V
$\frac{73}{73}$	$\frac{88}{60 \sim 90} / 14 \sim 16$	$\frac{7,036}{6,500 \sim 9,000} / 30 \sim 300$			3~4	3~4	4~5	VI

一水準にあるものとする。また、集材装置の性能なども現に採用されている機種、型式の装置で所要の目的や機能を達成しようという前提にたつて、以下、集材作業システムと集材対象林分の自然的、地利的作業条件因子との関連について検討を行うこととする。

表-7, 8 は、集材機およびトラクタを使用した各集材作業システムごとに、上述の自然的、地利的作業条件因子を、調査資料から平均値、最小値および最大値、標準偏差によってあらわし、どのシステムがどのような条件のもとで現に採用されているかを比較検討できるようにしたものである。なお、システム III, IV および VI については、調査対象件数がそれぞれ3件ずつしかなく、標準偏差を算出してもあまり意味がないので、これを省略することとした。

まず、集材機を使用した集材作業システムについて考察する。表-7によれば、集材対象林分の地形と木寄・横取距離を含めた林道（土場）までの集材距離がそこに採用される集材作業システムの決定に大きく関与し、集材作業の規模にも影響を与える因子であるということがわかる。

システム I と II は、人工林の間伐林分において、現在、最も多く採用されているが、これらは地形的な適応範囲が広く、集材距離もかなり大きくできるシステムであるので、このような作業特性をいかしうる作業条件のもとで採用されているものとみることができる。しかし、地形指数の計測値をみると、これら両システムの間にはかなり大きなちがいがあらわれている。すなわち、システム I はその平均値が69で、システム II に比べ20も小さい。また、システム I は最小値と最大値の幅が92で、システム II の162に対して57%であり、標準偏差も II に比べ12小さい値となっている。これらのことは、システム I が II よりも地形条件の比較的よい林分に対して多く適用されている実態を示したものである。換言すれば、システム II は I よりもさらに地形条件のわるい林分においても十分適用することができ、適応範囲が非常に広いシステムであるということが実証されたものと考えられる。

システム III と IV は、資料数が多くないので断定的なことはいえないが、システム I, II に

表-7 集材機集材作業システムと

集材作業システム	区 分	自 然 的 作 業				
		地 形 指 数 (%)	伐採前林分の ha 当たり		伐採後林分の ha 当たり	
			本数(本/ha)	材積(m ³ /ha)	本数(本/ha)	材積(m ³ /ha)
I	平 均 値	69	1,629	309	1,114	237
	最小値～	32～	940～	228～	564～	162～
	最大値	124	2,424	470	2,012	356
	標準偏差	20	377	68	333	54
II	平 均 値	89	1,327	335	947	261
	最小値～	36～	660～	170～	308～	130～
	最大値	198	2,374	525	1,595	420
	標準偏差	32	370	86	291	71
III	平 均 値	50	1,967	315	1,405	221
	最小値～	42～	1,930～	300～	1,078～	151～
	最大値	67	2,040	344	1,568	256
	標準偏差					
IV	平 均 値	61	1,677	396	1,167	315
	最小値～	42～	1,550～	300～	967～	256～
	最大値	88	1,930	444	1,568	344
	標準偏差					

* 平均値と標準偏差は、調査値の平均値より算出した。

表-8 トラクタ集材作業システムと

集材作業システム	区 分	自 然 的 作 業				
		地 形 指 数 (%)	伐採前林分の ha 当たり		伐採後林分の ha 当たり	
			本数(本/ha)	材積(m ³ /ha)	本数(本/ha)	材積(m ³ /ha)
V	平 均 値	58	728	264	669	192
	最小値～	17～	180～	165～	158～	50～
	最大値	110	2,280	459	2,242	324
	標準偏差	21	410	64	413	57
VI	平 均 値	44	450	229	431	181
	最小値～	32～	400～	184～	392～	164～
	最大値	56	500	272	475	211
	標準偏差					

* () 書は1土場当たりの集材面積をあらわす。

** 平均値と標準偏差は、調査値の平均値より算出した。

比べて地形条件がよく、しかも集材対象林分としては比較的小規模な林分で、簡易な作業方式をいかし、または考案して実施されたものであると考えられる。

つぎに、トラクタを使用した集材作業システムについて考察する。トラクタ集材作業も多くの作業条件因子の影響をうけるが、トラクタの構造と作業特性から考察すると、地形の影響は最も

自然的, 地利的作業条件因子

条 件 因 子			地 利 的 作 業 条 件 因 子		
1 集材線当たり 集材面積 (ha)	1 集材線当たり 集材材積 (m³)	集材木 1 本当たり 平均材積 (m³/本)	人力木寄斜距離* (m)	横取斜距離* (m)	林道(土場)までの 実集材斜距離* (m)
3.21	167.608	0.053	—	33	154
0.36~ 8.30	19.000~ 788.777	0.024~ 0.293	—	0~ 230	5~ 592
1.81	143.519	0.041	—	13	67
2.78	142.644	0.063	24	2	165
0.63~ 7.80	32.192~ 358.500	0.020~ 0.227	2~ 180	0~ 6	5~ 650
1.56	77.055	0.036	12	1	80
2.47	124.548	0.040	—	20	97
1.00~ 5.30	46.364~ 234.647	0.031~ 0.057	—	0~ 50	5~ 300
1.47	80.816	0.030	30	23	63
0.77~ 2.40	56.500~ 103.722	0.030~ 0.031	5~ 110	0~ 60	5~ 140

自然的, 地利的作業条件因子

条 件 因 子				地利的作業条件因子	
1 集材区域当たり 集材面積* (ha)	1 集材区域当たり 集材材積 (m³)	集材木 1 本当たり 平均材積 (m³/本)	地 表 面 の 植生と土性	ha 当たりトラク タ集材路延長 (m/ha)	林道(土場)ま での実集材斜 距離** (m)
(10.70) 14.59	979.152	1.334	クマイザサ ミヤコザサ	107	300
(1.20~ 25.00) 47.06	122.616~ 2,984.000	0.560~ 2.850	・ 砂 壤 土 埴 壤 土 等	32~ 197	10~ 1,450
(6.08) 9.47	654.650	0.470		35	149
(35.36) 202.45	7,209.000	0.394	雑 草	119	735
(28.27~ 141.35~ 39.29) 269.55	2,265.000~ 12,755.000	0.383~ 0.400	・ 埴 壤 土	89~ 152	200~ 1,600

大きいものと考えられる。表-8に示された諸数値は、天然林の択伐林分における集材作業であるため、極めて多様なものになっているが、集材対象林分の地形指数については、集材機作業に比べて全般的にかなり小さい値を示しており、このことから地形の影響の大きさが客観的にあらわされているものと考えられる。また、トラクタ集材は、先行的な集材路の作設により、トラク

タの動力性能、作業性能、および機動性をいかした作業を行うことができ、集材木1本当たりの平均材積も大きいので、1集材区域当たりの面積、材積、および集材距離が著しく大きくなっており、集材機を使用した集材作業に比べて非常に異なったパターンを呈している。

このような考察に基づき、現段階における非皆伐施業のタイプとそこに採用されている集材作業システムの現状は、つぎのように集約することができる。

名古屋営林局管内国有林の人工林間伐林分における集材作業システムは、集材機を使用した4システムに分類することができ、ほとんど普通材を対象とした作業が行われている。これら4システムのうちでは、ホイストリングキャレッジ式複エンドレス型（システム I）およびモノケーブル式調整型（システム II）索張り法を用いたシステムが最も多い。システム I は地形指数が49から89の林分で、システム II は地形指数が57から121の林分で、それぞれの大部分が採用されており、いずれも間伐林分の集材機作業としてはかなり長距離の集材を行っている。また、ランニングスカイライン式エンドレス・フック型（帯広型）（システム III）およびフォーリングブロック式（システム IV）索張り法を用いたシステムも一部の林分で採用されているが、前二者に比べて比較的小規模で、地形条件のよい林分に限られている。

北海道・帯広・旭川各営林（支）局管内国有林の天然林主伐（択伐）林分における集材作業システムは、トラクタを使用した2システムに分類することができる。集材法はサルキー集材と直曳集材が採用され、全幹材（システム V）、普通材（システム VI）を対象としているが、先行的な集材路の作設により、トラクタの動力性能、作業性能、および機動性をいかし、多様な林分構成に対応した集材作業が行われており、集材距離、集材規模などが集材機作業に比べて著しく大きくなっている。しかし、地形指数については全般的にかなり小さい値を示している。システム V は地形指数が37から79の林分で最も多く採用されているが、システム VI は V に比べると、比較的地形条件のよい林分で採用されている。

伐採前林分および伐採後林分の本数、材積は、調査結果をみるかぎりでは集材作業システムの決定に対して特定の影響を与えているとは考えられず、1集材線または1集材区域当たりの面積および材積、集材木1本当たりの平均材積については、むしろ各システムの作業特性を反映した結果としてとらえるのが妥当であると考えられる。つまり、地形と集材距離（作業計画時の路網を前提として考える場合）は、人為的にコントロールしえない作業条件因子であり、これ以外の因子はコントロールしうるものとみることができ、集材作業システムの決定には前者の影響が非常に大きいものと考えられる。

現地調査および以上の検討結果から、集材機およびトラクタいずれを使用した集材作業システムにおいても、結局、地形と集材距離が集材作業システムの決定に最も顕著な影響を与える因子と考えられ、現段階では、これらの因子に対して適合または機能しうると思われるシステムがそれぞれの事業現場で適宜導入され、事業化されている実態にあると考えられる。

2・3・3 集材作業の安全性と容易性

集材機作業の安全性については、その索張り法が架空線式の場合には集材機作業基準および集材機作業要領により、モノケーブル式の場合にはモノケーブル式集材作業要領により設計、架設、集材、撤収等の一連の作業が定められた基準どおり行われているかどうか、特に設計荷重、主索・作業索の最大張力や安全係数の算定および検定が所定の方法により行われ、必要な条件を満たしているか、使用ワイヤロープの廃棄基準が遵守されているかなどについて、アンケートおよび現地調査を行った。その結果は良好な状態で作業が行われているものがほとんどであり、作業基準等を遵守することにより適正かつ安全な作業が確保されることが判り、また作業の容易性については、集材対象林分の作業条件、集材機の運転、荷かけ、荷おろし、横取規正、スタンプがえ、集材線の架設・撤収の難易等と作業者の技能、熟練の程度により判断すべきであることが明らかになった。また、序説において述べた「集材機作業の安全性と容易性をたかめることは、労働災害の防止、労働強度の軽減などのほか、労働生産性を向上させるための重要な前提条件でもある。」ことをあらためて確認することができた。

トラクタ作業の安全性と容易性についてのアンケート調査は、今回はじめて実施したが、トラクタ集運材作業基準やトラクタ取扱整備要領に基づき作業を行うことにより、安全な作業を確保できることが確認された。また、作業の容易性については、一部の急傾斜地における引上げ集材と小半径の曲線部が多い集材路では作業が困難になるが、大部分の林分では特に問題となるような点は、この調査の範囲内では認められなかった。

2・3・4 集材作業の労働生産性

ここでは、上述のような作業条件下において実施された各システムによる集材作業の労働生産性を、それぞれのシステムの作業特性をもとに考察し、現段階において施業方法との関連で最も合理的と考えられる集材作業システムを見いだすための検討を行うこととする。

各システムごとに集材作業の労働生産性の平均値、最小値および最大値、標準偏差をとりまとめた結果は、表-9, 10に示すとおりである。この表においても調査資料数の関係でシステム III, IV, VI の標準偏差は省略することとした。

この表から明らかなように、労働生産性の算出結果は各システム間にかなり大きい差が生じている。これは、それぞれのシステムに採用されている索張り法と集材法の作業特性、および集材対象木の形態と大きさのちがいなどに起因しているものと考えられる。

システム I は、ホイストリングキャレージ式複エンドレス型索張り法を採用したものであるが、この索張り法は、① 集材機の運転操作が極めて容易であり、低出力でかなり長距離の集材ができる、② 荷つり索を任意の荷かけ地点まで容易に引きこみ、横取作業を行うことができるので、人力木寄作業を排除できる、③ 引戻索がないので架設支障木や残存木の損傷を少なくすることができる、という利点がある反面、① 集材機の第1, 第2 エンドレスドラムは同径で、正逆回転が自由にできるものでなければならない、② 荷つり索が搬器内のドラムに乱巻されると損傷が

表-9 集材機集材作業の労働生産性

集材作業システム	区 分	労働生産性			
		集材線架設・撤収を含む集材機作業 (m ³ /人工)	平均値の指数	人力木寄を含む集材作業全体 (m ³ /人工)	平均値の指数
I	平均値	2.180		2.180	
	最小値～最大値	0.957～3.839	100	0.957～3.839	100
	標準偏差	0.846		0.846	
II	平均値	2.195		1.629	
	最小値～最大値	1.159～4.350	101	0.737～3.563	75
	標準偏差	0.784		0.538	
III	平均値	1.628		1.628	
	最小値～最大値	0.648～2.551	75	0.648～2.551	75
	標準偏差				
IV	平均値	2.005		1.391	
	最小値～最大値	1.687～2.470	92	0.825～2.470	64
	標準偏差				

表-10 トラクタ集材作業の労働生産性

集材作業システム	区 分	労働生産性			
		トラクタ集材作業 (m ³ /人工)	平均値の指数	集材路作設を含む集材作業全体 (m ³ /人工)	平均値の指数
V	平均値	9.986		8.659	
	最小値～最大値	4.810～15.556	100	3.483～14.409	100
	標準偏差	2.938		2.609	
VI	平均値	5.605		4.104	
	最小値～最大値	5.185～5.823	56	3.960～4.282	47
	標準偏差				

非常にはげしい、という欠点もある。人力木寄作業を排除できる点は、システム II, IV と比較すれば明らかなように、労働生産性に対して極めて有利に作用している。このシステムによる集材作業は現在、ほとんど普通材を対象としているが、労働生産性を向上させるために、今後は全幹材を対象とする集材方法についても積極的な検討が必要であろう。著者が三重大学農学部附属演習林15林班は小班のスギ人工林間伐林分（林齢29年，ha 当たり1,865本・283 m³，平均林地傾斜角37度，第2回目の間伐）において行った本索張り法による集材作業の実験（支間斜距離 392 m，支間傾斜角19度，主索 16 mm，作業索（LFL，ELL）8 mm，集材機3胴・エンジンの定格出力 48 ps）結果から，全幹材の等高線方向への集材（荷かけ手の移動による疲労が最も少なく，集材木の円滑な横取作業を行うため，等高線方向へ集材した。）が可能であることが明らかになったが，間伐木の伐採時における伐倒方向の規制，残存木の損傷防止方法など，なお検討を要する問題もある。これらは今後における技術開発の課題としたい。

システム II は，モノケーブル式調整型索張り法を採用したものであるが，この索張り法には

つぎのような特性がある。すなわち、① 地形が複雑な林分の集材にも広く適応でき、下げ荷、上げ荷いずれも可能である、② 集材線の架設・撤収が容易である、③ 集材距離による作業能率の差がほとんどない、④ 集材線の架設支障木および集材作業による残存木の損傷がないなど森林環境の保全性が極めてすぐれている、という利点がある反面、① 重荷重には適しないので、全幹材集材のような能率は期待できない、② モノケーブル直下まで人力木寄作業を必要とする、③ 荷かけ作業がモノケーブルの内角内で行われる場合がある、という欠点もある。モノケーブル直下まで人力木寄作業を必要とする点は、表-9の数値から明らかなように、労働生産性を著しく低下させる要因である。この点はシステム IV のフォーリングブロック式索張り法による場合についても同様なことがいえる。この人力木寄作業は、労働強度が大きく、労働災害の発生する危険性も大きいので、集材線の架設位置の改善およびウインチ等小型機械類を使用した動力木寄技術の開発により横取方法を改善し、人力木寄作業を排除していくことが是非とも必要である。また、現在の作業方法では荷おろし手が必ず1名配置されているが、荷かけ用具を自動的に着脱できる装置などに改良し、荷おろし手を配置しなくても作業ができるようにすることにより、さらに労働生産性を向上させることが可能であろう。さらに、本システムでは荷かけ、荷おろし作業のため、その都度コントロール索の操作によりモノケーブルをゆるめているが、この操作はモノケーブルの脱索の危険があるので、荷かけ地点の上方および荷おろし地点の下方に並滑車を設置し、モノケーブルを荷かけ、荷おろし作業が容易にできる位置に調整することにより、緊張・緩和の操作を行わずに安全な作業ができるようにすべきである。このほか、本システムに関しては、人工林でも大径木の多い間伐林分や天然林の択伐林分にも十分適応できるような重荷重用架線の開発、モノケーブルを荷かけ、荷おろし作業中停止しないで連続運転できるような器具類の開発などをすすめることが必要であろう。

システム III は、ランニングスカイライン式エンドレス・フック型（帯広型）索張り法を採用したものであるが、この索張り法は、木寄作業を行いながら短支間を半地曳きで集材するのに適した方式であり、架設・撤収が簡単で、ワイヤロープの細いわりに大径材が集材できる利点がある。その反面、ワイヤロープの消耗が激しく、並滑車や集材機のエンドレスドラムに無理な力がかかること、短支間に限られるというような欠点もある。今回の調査結果については資料数が少ないので、断定的なことはいえないが、上述のような作業特性に適合した使い方をすべきであろう。

システム IV は、フォーリングブロック式索張り法を採用したものであるが、この索張り法は、高速で搬器を走行させることができないこと、集材機の運転操作技術に高度の熟練を要するという特性をもっており、間伐林分では横取作業が困難であるので、人力木寄作業が必要となり、これらの点が労働生産性にも大きく影響しているものと考えられる。

システム V は、トラクタにより全幹材をサルキー集材または直曳集材したものであるが、この集材方法は1集材区域に1台から3台のトラクタを入れて、トラクタ集材路から（地形が緩傾

斜の場合は、トラクタが木元まで入ることもある。) スリングワイヤをかけた全幹材をトラクタのウインチワイヤで引きよせ、集材木の大きさにより2本から6本程度まとまると、トラクタにより土場まで集材するものである。この方式においては、先行的に ha 当たり平均 107 m におよぶ集材路を作設し、前述のようなトラクタの作業特性を発揮させた作業を行うことにより、集材機集材作業に比べて集材距離が著しく長いにもかかわらず、労働生産性が非常に大きい値になっている。

システム VI は、1 集材区域にトラクタを3台から4台入れ、1 台のトラクタで普通材を8本から9本程度まとめ、サルキーを使用して集材したものであるが、システム V に比べて、集材木1本当たりの材積が小さく、平均集材距離が約2.5倍もあるので、労働生産性は大幅に小さい値になっている。

今回の調査によって、トラクタ作業の行われる場の地形条件がかなり変化してきていることがわかった。すなわち、前掲の文献(20), (22), (23) によれば、伐出作業方式がトラクタ型の場合、地形指数の値は20-39とされているが、本調査の結果では地形指数が37から79の林分において大部分の作業が行われている実態が明らかになった。これはトラクタ自体の集材作業性能が向上したこと、集材路網密度が高められ、トラクタの作業特性を十分発揮しうような基盤の整備ができたこと、トラクタ集材の作業比率が増加したことに伴い、作業者の集材技術水準が向上したことなどによるものと考えられる。

システム V および VI については、1 集材区域当たりの面積、材積、集材距離にかなり大きな差があり、作業班の構成も集材機作業に比べて多様化しているが、1 回当たりの集材材積、集材距離、1 集材サイクルの所要時間、土場作業の能率、および各作業の手待ち時間などを考慮して集材作業にむり、むら、むだがなく、集材木が円滑に流れるような班構成を行うことが労働災害の防止と労働生産性の向上につながるものと考えられる。

今後、北海道の国有林においては択伐林分や間伐林分が増大していくものと考えられるが、トラクタによる集材作業の今後指向すべき方向は、労働生産性の向上、労働強度の軽減、安全作業の確保、多様化する森林施業への適応、林地保全等の諸要件をできる限り満足させるような作業技術体系を確立していくことであろう。この場合、トラクタのもつ汎用性をさらにいかして、事業現場の作業条件に適合するような多工程処理能力を有する新しいトラクタと、そのための作業仕組の開発導入をはかることも重要な課題と考えられる。

以上において各システムによる集材作業の労働生産性について、それぞれのシステムの作業特性をもとに考察したが、さらに、各システムおよびそれらによる集材作業の労働生産性に直接影響を与えている要因としての作業条件因子の特性についても、ここで検討しておきたい。

前述のように、集材作業の労働生産性には多くの自然的、地利的作業条件因子などが複雑に関与している。これらの諸因子は、その性質によりつぎの三つのグループに分類することができる。すなわち、第1は地形の良否、作業時期、作業班の構成、集材木の形態、作業の場としての地表

や足場の良否、集材装置の機種・性能などのように質的な要素をもつもの、第2は集材面積、集材材積などのように量的な要素をもつもの、第3は集材作業がある一定の広がりをもつ林分を対象として行われるため、立木密度、集材木1本当たりの材積の大きさ、木寄・集材距離、横取距離などのように同一集材区域内においてもこれらの作業条件が部分的に、あるいは集材の都度かなり変動するもの、つまり、集材1回ごとにはその作業条件を量的に計測しうるが、1集材区域の作業条件としてみる場合には、ある一定の幅をもってこれを把握するのが最も妥当であるものの三つのグループである。特に、第3のグループに属する因子の労働生産性に与える影響のしかたは、その量的な作業条件に対応した連続的な線型としてではなく、作業条件のある幅のなかで労働生産性に一定の影響を与えるという性質をもつものが多いことが、前記演習林における著者の実験などによって確認されており、これらは質・量両方の要素を兼ね備える因子としてとらえるのが合理的であると考えられる。例えば、集材作業の能率を大きく左右する横取・荷かけ・荷おろし作業における集材木の大きさ（直径）と作業工期、木寄作業における木寄距離と作業工期の関係などは特にこのような傾向が大きいと考えられる。なお、このような場合においても、作業条件の幅の区分（ランクわけ）を行うための基準として数量が必要となることは当然のことである。これらのことは、集材作業システムの解析方法を検討するうえで本質的に重要な事項であるので、第3章においてさらに詳しく考察することとしたい。

2・3・5 集材作業の影響

集材作業が当該林分の森林環境に与えた影響または作用として、伐倒した集材作業の支障木、集材作業による損傷木、林地保全・更新・保育等への影響の状況を各システムについて調査し、とりまとめたが、その結果は表-11に示すとおりである。

表-11 集材作業の影響

集材作業システム	集材作業の支障木* (本/ha)	集材作業による損傷木* (本/ha)	林地保全・更新・ 保育等への影響
I	$\frac{6.2}{0.0 \sim 18.0}$	$\frac{0.1}{0.0 \sim 2.3}$	悪影響なし
II	$\frac{0.3}{0.0 \sim 3.8}$	$\frac{1.0}{0.0 \sim 5.4}$	悪影響なし
III	$\frac{5.8}{0.0 \sim 12.7}$	$\frac{0.0}{0.0}$	悪影響なし
IV	$\frac{3.5}{2.4 \sim 5.4}$	$\frac{0.0}{0.0}$	悪影響なし
V	$\frac{10.2}{0.7 \sim 71.4}$	$\frac{1.5}{0.0 \sim 5.3}$	一部の急傾斜地で集材路の切取捨土が林地保全上、若干影響を与えているが、大部分の集材林分では支障となる影響はほとんど出ていない。
VI	$\frac{1.4}{0.7 \sim 2.0}$		悪影響なし

* 上段は平均値を、下段は最小値と最大値をあらわす。

システム I, III, IV のように架空線式の索張り法を採用するものにおいては、支障木が若干生じる。また、システム II のように半地曳式の索張り法により支障木をさけて自由に集材線を架設することができるものは、ほとんど支障木を生じないので、森林環境の保全性において最もすぐれているが、人力木寄距離が長くなり木寄作業による損傷木もいくらか出ている。したがって、森林環境の保全という面からも、集材線架設位置の改善、動力木寄技術の開発などが重要な課題といえる。しかし、いずれのシステムも林地保全・更新・保育等に対する悪影響は全くみられない。これは集材機作業の共通的な特質であり、また利点でもある。

システム V, VI の場合には、かなり支障木が生じている。このシステムは、ほとんどが天然林の択伐林分において採用されているので、伐出にあたっては後継稚幼樹の保育・保護に最大限の配慮をはらうことが肝要である。特に、伐採方法には留意しこれら後継稚幼樹の配置と集材方向を考慮した伐倒方向の規制を行うとともに、ウィンチによる引出し方向の規制も必要であると考えられる。また、一部の急傾斜地で集材路の切取捨土が林地保全上、好ましくない影響を与えているところがあるが、保全対策についての技術的検討が必要であろう。

2・4 摘 要

以上の調査結果と考察に基づいて、非皆伐施業における集材作業システムの現状と課題を集約すると、つぎのとおりである。

1. 調査対象とした名古屋、北海道、帯広、旭川各営林（支）局管内の国有林において行われている非皆伐施業のタイプは2種類に大別することができる。すなわち、名古屋営林局管内の人工林では間伐施業が、北海道、帯広、旭川各営林（支）局管内の天然林では択伐施業が、ほとんどの非皆伐施業対象林分において行われている。それぞれの非皆伐施業において採用されている集材作業システムは、人工林の間伐林分では集材機を使用した4システム（システム I, II, III, IV）に、天然林の択伐林分ではトラクタを使用した2システム（システム V, VI）に類別することができる。システム I, II, III, IV に使用されている索張り法は、それぞれホイスチングキャレッジ式複エンドレス型、モノケーブル式調整型、ランニングスカイライン式エンドレス・フック型（帯広型）、フォーリングブロック式で大部分が普通材を対象としたものである。また、システム V, VI に使用されている集材法は、サルキー集材または直曳集材で全幹材（システム V）と普通材（システム VI）を対象としたものである。

システム I, II, V は多くの林分で採用されているが、システム III, IV, VI は一部の林分でしか採用されていない。

2. 上述のような非皆伐施業のタイプと集材作業システムの組み合わせのパターンがどのような考え方、または要因によって形成されているのかを考察した。その結果、集材作業システムの決定に最も顕著な影響を与える因子は、自然的作業条件因子としての地形と地利的作業条件因子としての集材距離であると考えられ、事業現場においては、現段階ではこれら2因子に対して適合または機能しうと思われるシステムが適宜導入され、事業化されている実態にあると考えら

れる。

3. 集材機作業基準およびトラクタ集運材作業基準等を遵守することにより、適正かつ安全な集材作業が確保できる。また、集材作業の安全性と容易性を高めることは、労働災害の防止、労働強度の軽減等のほか、集材作業の労働生産性を向上させるための重要な前提条件でもあることが確認された。

4. 人工林の間伐林分においては、システム I が労働生産性において最もすぐれているので、集材支障木の発生防止に留意すれば有利である。また、システム II は森林環境の保全性が非常にすぐれ、地形的な適応範囲も極めて広いので、人力木寄作業を動力木寄作業などに改善すれば有効である。さらに、システム III は小規模な集材作業に期待できるものである。

5. 天然林の択伐林分においては、先行的に集材路を作設し、トラクタの動力性能、作業性能、および機動性をいかして施業方法に対応した多様な集材作業が行われている。システム V による集材作業は、システム VI および集材機作業システムによる集材作業に比べて非常に高い労働生産性を期待することができ、応用範囲も広いが、森林環境の保全性に十分配慮した作業を行うことが必要である。

6. 非皆伐施業における集材作業システムの現状分析を行い、各集材作業システムごとに今後検討を要すると考えられる技術的課題を個別的に明らかにしたが、各システムに共通する当面の最重要課題は、これら集材作業方式と自然的、地利的作業条件を組み合わせた集材作業システムを最適化することである。合理的な集材作業計画の立案と実行管理のためには、最適集材作業システムを体系化することが必要不可欠の要件である。このため、前章で考察した集材作業システムの評価基準により、施業方法との関連で最も合理的と評価され、しかも事業現場に最も普及している集材作業システムとして、システム I, II, V を取りあげ、これら3システムによる集材作業の労働生産性とこれに関与する諸要因との相互関係を解析し、各種の作業条件に対応した労働生産性の予測を行うことにより、最適集材作業システムの体系化をはかることが必要である。

第3章 本研究における集材作業システムの解析方法

3・1 数量化の方法による集材作業システム解析の意義

非皆伐施業における集材作業システムの現状を分析した結果、現段階ではホイスティングキャレレッジ式複エンドレス型索張り法を使用した集材作業システム（以下、ホイスティングキャレレッジ式集材作業システムという。）、モノケーブル式調整型索張り法を使用した集材作業システム（以下、モノケーブル式集材作業システムという。）、および全幹材を対象にしサルキーまたは直曳集材法によるトラクタ集材作業システム（以下、トラクタ集材作業システムという。）が最も合理的であり、労働生産性を指標としたこれら集材作業システムの体系化と最適化に関する検討を行うことが、当面の最重要課題であることを明らかにした。

そこで、このような集材作業システムの体系化と最適化をはかるためには、各システムごとに、

集材作業の労働生産性とこれに関与する作業条件因子との相互関係を解明し、各種の作業条件に対応した労働生産性を予測できるモデルを設計することが必要不可欠であると考えられる。

上述の3集材作業システムによる集材作業の労働生産性に関与する作業条件因子は、第2章で考察したように、これらを3グループに大別することができる。すなわち、質的な要素をもつもの、量的な要素をもつもの、および両方の要素を兼ね備えたものの三つである。そして、実際の集材作業区域内においては、これら作業条件因子の数も多く、関与のしかたも極めて複雑であるが、このような多くの作業条件因子が複雑かつ総合的に関与しあった集材作業の成果として、前述のように定義した客観的、具体的な指標としての労働生産性がもたらされるのである。したがって、集材作業の労働生産性と各種の作業条件因子との相互関係が、あらかじめ多次元のかつ数値的に解明または評価されており、集材対象林分の関係作業条件因子を調査することにより、当該集材作業の労働生産性の推定または予測を行うことができるならば、合理的な集材作業計画の立案や最適集材作業システムの体系化をはかることができ、実用的にも極めて好都合である。すなわち、現場の作業条件だけを調査すれば、その条件に最も適した、つまりコスト最低の集材方法とその際のコストが電子計算機によって直ちに計算される⁴⁰⁾ような作業研究の手法と技術体制を確立することができないものであろうかと考えるのである。

ところで、このような集材作業の作業条件因子から労働生産性を多次元的に推定する試みは、国有林においてもかなり以前から研究がすすめられてきた。その代表的なものとしては、重回帰分析の方法を応用して集材線の架設撤収、集材、木寄などのまとまり作業ごとに標準工期表を作成し、これを組み合わせて当該作業条件に対応した集材作業全体の標準工期を推定する方法をあげることができる。しかし、この方法によって推定された標準工期は、その適合性などから、必ずしも全面的に事業実行の段階で実用に供されてきたとはいいがたいように思われる。これはなぜであろうか。その理由としては、つぎのようなことが考えられる。すなわち、前述のように、本来、集材作業の労働生産性には量的な要素をもつ作業条件因子のみならず、質的な要素をもつ因子もまた大きい影響を与えているにもかかわらず、量的な因子のみによる重回帰式からその推定値を求めようとしたところに最大の問題があったものと考えられる。また、分析の対象として取りあげられた因子の労働生産性に与える影響のしかたが、ある幅をもつものを含む場合には、当然その適合性が低下することになる。したがって、集材作業における労働生産性の推定という目的のためには、統計理論の見地から、前述のような特性の異なる3グループの諸因子をできうるかぎり網羅することにより解析結果の精度を向上させるとともに、さらに実地応用の見地から、作業現場においてこれを実際に適用する場合には、個々のまとまり作業単位ではなく、集材作業全体を対象として、できうるかぎり簡便に適用しうる解析結果の得られる解析方法を見いだすことが不可欠の要件であると考えられる。

このような考え方に対する一つの解決策として、多変量解析の手法のなかで数量化の方法⁴¹⁾⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾⁴⁵⁾を取りあげることができる。以下、本節においては数量化の方法を集材作業システ

ムの解析に応用する場合の基本的な考え方を考察し、次節において本研究に応用する数量化の理論を説明することとしたい。

数量化とは、ある現象をあらゆる面から数量的に取り扱おうとする統計数理の方法である。これには、測定してデータを得るということにはじまり、それらのデータを数量的に解析し、あるいは質的解析を数量的にまとめあげることまでも含んでいる。このような統計的手法で取り扱われるものの標識は、必ず現象を測定することによって与えられるが、この標識には数量であらわされるもの（量的なもの）と数量であらわされないもの（質的なもの、分類であらわされるもの）とがある。これらは、測定の目的や測定方法の性格からそれぞれ特色をもつものであるが、これらの標識をともにある要因項目におけるカテゴリーへの反応としてとらえ、この反応に対してそれぞれのカテゴリーに目的に応じて妥当な数量を付与し、その数量を基にして各種の解析をしようとするのが数量化の基本的な考え方である。現象をこのような形にひとたび分解し、これを再構成することによって現象の構造を解明し深く考察することが可能となるのである。

そこで、数量化を行う場合、特に留意すべき事項について若干考察してみたい。

まず、統計的手法で取り扱われるものの標識は与えるべきものであるが、それは目的に対して妥当であるか否か、有効であるか否かということと相対的な関係になくはならない。どのような現象でも実体的には無限の標識でなければ表現しきれないであろうが、これをいくつかの標識によって表現してとらえようとするのであるから、よく考えなければならないことである。本研究における集材作業システムの解析にあたり、要因項目と要因カテゴリーの分類のしかた、これらへの反応のまとめかたなどは目的に対して操作的（測定したものに基づいて、明確に定義できるもののみを取り扱うことをいう。）であり、数量を与えて解析した結果が目的に対して科学的で、十分な妥当性をもって役立つような機能的なものでなくてはならないのである。それ故、集材作業システムのどの面に着目して、有用な要因項目を選定し、そのカテゴリーを構成するかが重要な意味をもつのである。

つぎに、測定量をそのまま標識としてよいか否かの検討も肝要なことである。すなわち、測定量 X そのものを統計の操作によって、妥当な意味をもつ量 Y に変換 ($Y=f(X)$) しておくことが必要である。そこで、どのような f の形を求めるべきかが問題となるが、これについて展開された手法が数量化の方法である。数量化の方法とその理論はいくつかの場合に対して論じられているが、本研究における解析には、前述のような集材作業システムと集材作業の特性を検討した結果、外的基準（外的基準によって決定され表現される変数で、単に外的基準という。つまり、要因外の条件によって定められるものが与えられ、要因と対応づけて統計的な解析を考えるべきもので、要因に対して外的と称する。）があり、それが数量で与えられている場合の数量化の方法を応用することとした。この方法では、外的基準としての集材作業の労働生産性を最もよく表現するように、作業条件因子としての各要因項目のカテゴリーに最も妥当な数量を与えて、外的基準を予測することが数量化の核心となるのである。

以上のような考察に基づき、この数量化の方法を応用して要因分析を行うことにより、従来明らかにされていなかった集材作業の労働生産性とこれに関与する多くの作業条件因子との複雑な相互関係が最も実体に即して、質的・量的・多次元的に、理論的に解明され、各種の作業条件に対応した労働生産性の予測モデルを設計し、集材作業システムの最適化をはかりうることが著者の既往の研究で明らかになった⁴⁶⁾⁴⁷⁾⁴⁸⁾⁴⁹⁾⁵⁰⁾⁵¹⁾。また、解析結果の精度についても、例えばホイスティングキャレッジ式集材作業システムを例にとれば、従来から行われてきた重回帰分析の方法による場合と本研究に応用した数量化の方法による場合とを比較検討した結果、数量化の方法による場合のほうがすぐれていることが確認された（表-12 参照）。このような意味で、この数量化の方法は極めて有効な解析手法であると考えるのである。本研究における要因分析にこの数量化の方法を採用した理由も、まさにこの点にあるわけである。

表-12 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける労働生産性の推定精度の比較

要因項目	労働生産性の推定精度（重相関係数）	
	重回帰分析の場合	数量化の場合
2	0.427	0.645
4	0.523	0.756
6	0.526	0.765
8	0.533	0.767

なお、このような多変数の解析を行う場合に考慮しなければならない問題として、変数間の線型重合の問題がある。本研究の要因分析では、間伐および択伐林分における要因を対象とするので、変数間の線型重合はおこらないものと考えられるが、実際の調査結果から外的基準と要因項目を決定する段階で、この問題がおこらないことを確認したうえ、これらを決定することとした。

3・2 本研究に応用する数量化の理論

ここでは、外的基準があり、それが数量で与えられている場合の数量化の理論を説明することとする。

現象がある変数 Y で記述され、 Y は数値（変数）をとるものとする。このとき Y のおこりかたを予測するために、 M 個の要因項目について測定を行い、それらの測定結果に基づいて Y の値を予測する場合を考えるのである。この場合の各要因項目における測定結果は、定質的なもの、すなわちいくつかの要因カテゴリーへの分類として得られたり、一見、通常の数値（変数）で得られたようにみえても、そのまま取り扱うことが適当でなく、要因カテゴリーへの分類としてとらえなおす必要があるようなものである。

いま、要因項目と要因カテゴリーの構成、および測定結果の反応パターンをあらわすと、表-13に示すとおりである。本表中の✓印は、測定結果が反応するところを示すものとする。このことは、 i というサンプルが外的基準として数量 Y_i をもち、各要因項目 X_j の測定結果がそのカ

表-13 要因項目と要因カテゴリーの構成および反応パターン

番号	要因項目 カテゴリー	X_1	X_2	・ ・ ・	X_M
	外的基準	$C_{11}, C_{12}, \dots, C_{1r_1}$	$C_{21}, C_{22}, \dots, C_{2r_2}$	・ ・ ・	$C_{M1}, C_{M2}, \dots, C_{Mr_M}$
1	Y_1	✓	✓		✓
2	Y_2	✓		✓	✓
⋮	⋮				
i	Y_i		✓	・ ・ ・	✓
⋮	⋮				
n	Y_n			✓	✓
合 計	$\sum_{i=1}^n Y_i$	$n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1r_1}$	$n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2r_2}$	・ ・ ・	$n_{M1}, n_{M2}, \dots, n_{Mr_M}$
与えるべき数量		$t_{11}, t_{12}, \dots, t_{1r_1}$	$t_{21}, t_{22}, \dots, t_{2r_2}$	・ ・ ・	$t_{M1}, t_{M2}, \dots, t_{Mr_M}$

テゴリー $C_{j1}, C_{j2}, \dots, C_{jr_j}$ ($j=1, 2, \dots, M$) のうちのいずれか一つのカテゴリーにはいるという意味である。この数量化の方法では、各要因項目 X_j の各カテゴリーに目的に対して最も妥当な一つずつの数量、つまりこの反応パターンから外的基準 Y を最も能率よく予測するための数量を与えることを考えるのである。この場合、数量の与えかたには一つの規準が必要であり、この規準がなければ Y の予測に役立たない。この規準とは、一般的には Y の予測においておこる誤差をできるだけ小さくするという形で表現されるが、ここでは X_1, X_2, \dots, X_M を (4) 式の形に総合して、推定値 \hat{Y} で Y を予測する場合の誤差をできるだけ小さくすることにする。

$$\hat{Y} = X_1 + X_2 + \dots + X_M \quad (4)$$

このことは、最小自乗法の考え方、 Y と \hat{Y} の誤差の自乗の平均値を最小にすること、すなわち (5) 式のような規準を考えることである。

$$E\{(Y - \hat{Y})^2\} = \text{最小} \quad (5)$$

この規準によって、各カテゴリー C_{jk} に数量 t_{jk} の最もよい値の組 $\{t_{jk}\}$ をきめれば、(4) 式から \hat{Y} を数値として得ることができ、これによって Y を予測することができる。

ところで、(5)式は Y と \hat{Y} の相関係数 ρ を最大にすることと同値である。そこで、 \hat{Y} の第1次近似の意味でつぎの量を定義する。すなわち各サンプル i に α_i という数量を与える。この α_i は、各要因項目のカテゴリーに与えるべき数量 t_{jk} の和をとることにする。つまり、 t_{ji} が i というサンプルにおいて j 番目の要因項目でチェックされたカテゴリーに与えるべき数量をあらわすとすれば、 α_i は (6) 式のようにおくことができる。

$$\alpha_i = t_{1i} + t_{2i} + \dots + t_{Mi} \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

この α_i と Y_i の相関係数 ρ を考えると、 ρ は (7) 式で与えられるが、最も妥当な数量を与えるという目的のためには、この ρ を最大にするように t_{jk} をつくることがのぞましいわけである。

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\alpha_i - \bar{\alpha})}{\sigma_Y \sigma_\alpha} \quad (7)$$

$$\text{ここに} \quad \sigma_Y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad \bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2 \quad \bar{\alpha} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i$$

相関係数は原点のとり方に依存しないから、 $\bar{Y}=0, \bar{\alpha}=0$ としても一般性を失わない。したがって、(7) 式は (8) 式のように変形できる。

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \alpha_i}{\sigma_Y \sigma_\alpha} \quad (8)$$

$$\text{ここに} \quad \sigma_Y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2$$

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i^2$$

そこで、 ρ が最大になるように l 項目の m カテゴリーに数量 t_{lm} を与えることにする。このために、つぎの (9) 式をつくり、 $\bar{Y}=\bar{\alpha}$ とすべきと考える。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t_{lm}} = 0 \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots, M \\ m=1, 2, \dots, r_l \end{array} \right) \quad (9)$$

ここで (9) 式を計算するまえに、まず $\delta_i(j, k)$ をつぎのように定義する。

$$\left. \begin{array}{l} \delta_i(j, k)=1: i \text{ というサンプルが } j \text{ 項目 } k \text{ カテゴリーでチェックされるとき} \\ \delta_i(j, k)=0: i \text{ というサンプルが } j \text{ 項目 } k \text{ カテゴリーでチェックされないとき} \end{array} \right\} \quad (10)$$

このようにすると、つぎの関係が成立する。

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^{r_j} \delta_i(j, k) &= 1 & \left(\begin{array}{l} j=1, 2, \dots, M \\ i=1, 2, \dots, n \end{array} \right) \\ \delta_i(j, k) \delta_i(j, k') &= 0 & (k \neq k') \\ \delta_i(j, k) \delta_i(j, k') &= 1 & (k = k') \end{aligned}$$

これは、各サンプルが各項目でどれか一つのカテゴリーにしかチェックされないことをあらわしている。また、 j 項目 k カテゴリーにチェックされたものの数を表-13に示すように n_{jk} とし、サンプルの大きさを n とすると、

$$n = \sum_{k=1}^{r_j} n_{jk} \quad (j=1, 2, \dots, M)$$

$\delta_i(j, k), n_{jk}, n$ の間には、つぎの関係が成立する。

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \delta_i(j, k) &= n_{jk} & \left(\begin{array}{l} j=1, 2, \dots, M \\ k=1, 2, \dots, r_j \end{array} \right) \\ \sum_{k=1}^{r_j} \sum_{i=1}^n \delta_i(j, k) &= n & (j=1, 2, \dots, M) \end{aligned}$$

つぎに、 $f_{lm}(j, k)$ を (11) 式のように定義する。

$$\sum_{i=1}^n \delta_i(l, m) \delta_i(j, k) = f_{lm}(j, k) \quad (11)$$

これは、 l 項目 m カテゴリーにチェックされたもののうちで、 j 項目 k カテゴリーにチェックされたものの数である。これに対しては、つぎの関係が成立する。

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^{r_l} f_{lm}(j, k) &= n_{jk} & \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots, M \\ j=1, 2, \dots, M \end{array} \right) \\ \sum_{m=1}^{r_l} \sum_{k=1}^{r_j} f_{lm}(j, k) &= n & \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots, M \\ j=1, 2, \dots, M \end{array} \right) \\ f_{lm}(j, k) &= 0 & (l=j \quad m \neq k) \end{aligned}$$

さて、 ρ は (8) 式であらわされるから、(9) 式を計算すると、

$$\frac{1}{n} \frac{\partial}{\partial t_{lm}} \sum_{i=1}^n Y_i \alpha_i - \sigma_Y \rho \frac{\partial \sigma_\alpha}{\partial t_{lm}} = 0 \quad (12)$$

(12) 式を上述の定義にしたがいさらに計算すると、

$$\sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(l, m) = \frac{\sigma_Y \rho}{\sigma_\alpha} \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{r_j} t_{jk} f_{lm}(j, k) \quad (13)$$

(13) 式の $\frac{\sigma_Y \rho}{\sigma_\alpha}$ は、所与の条件からこれを 1 と考えてよいから、

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{r_j} t_{jk} f_{lm}(j, k) = \sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(l, m) \quad \left(\begin{array}{l} l=1, 2, \dots, M \\ m=1, 2, \dots, r_l \end{array} \right) \quad (14)$$

(14) 式は、 t_{jk} を未知数とする連立方程式であるから、これを解いた解が各カテゴリーに与えるべき数量 t_{jk} の最もよい値の組 $\{t_{jk}^*\}$ となる。したがって、この $\{t_{jk}^*\}$ から、 i というサンプルが j 要因項目 k 要因カテゴリーでチェックされた場合における外的基準の推定値 \hat{Y}_i は (15) 式により求めることができる。

$$Y_i = \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{r_j} \delta_i(j, k) t_{jk}^* \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (15)$$

このようにして求められた推定値 \hat{Y}_i の測定値 Y_i に対する適合性を、つぎの (16)、(17)、(18) 式により検討することとした。

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i) \quad (16)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (17)$$

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \hat{Y}_i - \bar{Y} \bar{\hat{Y}}}{\sigma_Y \sigma_{\hat{Y}}} \quad (18)$$

測定値と推定値の差の平均値 \bar{x} および標準偏差 σ 、相関係数 ρ は、それぞれ与えるべき数量の妥当性をあらわすもので、 \bar{x} が 0 に近いほど、 σ が小さいほど、 ρ が 1 に近いほど推定の精度がよいことを意味するものである。

つぎに、多変量解析の意味を一般化して考えるために、各カテゴリーに与えられた数量 $\{t_{jk}\}$ から、外的基準の測定値と各要因項目相互間の内部相関係数を計算し、(19) 式により重相関係数を、(20) 式により偏相関係数を、(21) 式により第 s 要因群の偏相関係数を求めることとした。

$$\rho_{Y:1,2,\dots,M} = \sqrt{1 - \frac{R}{R_{YY}}} \quad (19)$$

$$\rho_{Y,j:1,2,\dots,M} = \frac{-R_{Yj}}{\sqrt{R_{YY}R_{jj}}} \quad (20)$$

ここに R : 内部相関行列

R_{ij} : R の i 行 j 列の要素の余因子

$$\rho_s = \sqrt{1 - \frac{1 - \rho_{Y^2:1,2,\dots,s}^2}{1 - \rho_{Y^2:1,2,\dots,s-1}^2}} \quad (s=2, 3, \dots, M) \quad (21)$$

重相関係数は、推定の精度をあらわし、偏相関係数は、他の要因項目の影響を固定、あるいは除去した場合の外的基準とある特定要因項目との相関係数であり、外的基準と特定項目との関係の強さを示す尺度となるものである。また、第 s 要因群の偏相関係数は、第 s 要因群まで要因項目を逐次取りあげた場合の各項目による効率の変化をあらわす偏相関係数であり、要因項目を逐次追加することにより重相関係数がどの程度増加するかを示す尺度となるものである。

さらに、上述の重相関係数と偏相関係数の有意性をつぎのような考え方により検定⁵²⁾することとした。

$$t_0 = \rho_{Y:1,2,\dots,M} \sqrt{\frac{n-K}{1 - \rho_{Y^2:1,2,\dots,M}^2}} \quad (22)$$

$$t_0 = |\rho_{Y,j:1,2,\dots,M}| \sqrt{\frac{n-K}{1 - \rho_{Y^2,j:1,2,\dots,M}^2}} \quad (23)$$

ここに n : サンプル数

K : 変数の数 (外的基準と要因項目を含めた数)

これらの式により求めた t_0 の値を t 分布表における有意水準 $\alpha=0.01$ または 0.05 、自由度 $n-K$ の値 t_α と比較して、 $t_0 \geq t_{0.01}$ または $t_0 \geq t_{0.05}$ ならば、外的基準と要因項目との重相関係数および偏相関係数は、それぞれ 1% または 5% 水準で有意であることが示される。

以上の検討を行うことによって、外的基準の推定精度および外的基準に対する要因項目と要因群の影響のしかたを明らかにすることができる。また、各要因カテゴリーに与えられた数量 $\{t_{jk}\}$ を用いて (24) 式により各要因項目の平均値を、(25) 式により各要因カテゴリーの偏差を求め、同一要因項目内における各要因カテゴリーの影響のしかたについて検討することとした。

$$\bar{t}_j = \frac{\sum_{k=1}^{r_j} n_{jk} t_{jk}}{\sum_{k=1}^{r_j} n_{jk}} \quad (j=1, 2, \dots, M) \quad (24)$$

$$d_{jk} = t_{jk} - \bar{t}_j \quad \left(\begin{matrix} j=1, 2, \dots, M \\ k=1, 2, \dots, r_j \end{matrix} \right) \quad (25)$$

偏差は、同一要因項目内における各要因カテゴリーのきき方をあらわすものであるとともに、外的基準に対する当該要因項目の寄与のしかたを示すものである。

第4章 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの要因分析

4・1 要因分析の考え方

本要因分析は、前章で説明した数量化の理論による多変量解析の手法、すなわち外的基準があり、それが数量で与えられている場合の数量化の方法を応用して、ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける集材作業の労働生産性とこれに関与する諸要因との相互関係を解析し、集材作業システムを最適化するための作業研究手法に対する理論づけと合理的な集材作業計画の立案を目的とした労働生産性の予測モデルを設計するために行うものである。

そこで、第2章で行った考察を基に上記の解析目的をより効果的なものとするため、本集材作業システムの特徴をさらに集材作業の実体に即して検討した結果、外的基準としての集材作業の労働生産性に関与する諸要因項目、すなわち各種の作業条件因子として、①集材作業地域の地形指数、②集材対象林分の立木密度（ha 当たり立木本数）、③1集材線当たりの集材面積、④1集材線当たりの集材材積、⑤集材木1本当たりの平均材積、⑥支間斜距離、⑦平均実集材斜距離（主索上）、⑧平均横取斜距離（片側）の8項目を取りあげ、次節に示すこれらの調査結果を用いて解析を行うこととした。

4・2 労働生産性と作業条件の調査結果

調査対象として選定した49集材線におけるホイスティングキャレッジ式集材作業の労働生産性と前節で述べた8要因項目によりあらわされる作業条件の調査結果を取りまとめると、表-14に示すとおりである。

4・3 要因分析の手順と解析結果

表-14に示された調査結果に対して、つぎのような手順で要因分析を行うこととした。

まず、外的基準としての労働生産性を算定するための1集材作業単位の範囲と算定基礎を明らかにし、要因項目・カテゴリーの分類を行うための基準をきめることとした。

つぎに、この分類基準により調査結果から反応パターン表を作成し、これを(10)式により定義される解析データとした。そして、この解析データから(11)式により定義され、(9)式または(12)式によりあらわされる条件を満足させる連立方程式(14)式をつくるため、各要因項目・カテゴリー間のクロス集計を行い、クロス集計表を作成することとした。このクロス集計表の各数値は、連立方程式(14)式の係数行列をあらわすものである。さらに、この係数行列からつくられる連立方程式を解くにあたっては、このクロス集計表の性質として各要因項目・カテゴリー間には前章で説明したように、つぎのような関係がある。

表-14 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける労働生産性と作業条件

調査対象集材線番号 No.	調査場所 (事業区・林小班)	労働生産性 (m³/人工)	作 業 条 件							
			地形指数 (%)	立木密度 (本/ha)	集材面積 (ha)	集材材積 (m³)	集材木1本当たり平均材積 (m³/本)	支間斜距離 (m)	平均実集材斜距離 (m)	平均横取斜距離 (m)
1	新城・83は	2.698	42	1,568	3.30	145.687	0.032	440	200	20
2	〃・〃	1.062	42	1,568	1.00	45.674	0.031	225	150	5
3	〃・66ぬ	2.240	58	1,280	1.20	135.493	0.125	255	100	20
4	〃・〃	4.508	58	1,280	2.50	295.260	0.124	400	125	20
5	〃・70ほ	1.363	67	1,078	1.00	95.120	0.057	230	110	20
6	〃・68い	2.263	67	803	4.80	610.958	0.293	456	140	25
7	〃・25い	2.449	52	1,836	6.10	275.254	0.055	550	140	37
8	〃・〃	1.921	53	1,826	4.00	142.645	0.055	350	180	30
9	〃・〃	2.187	38	2,012	3.00	174.665	0.060	350	190	40
10	〃・116ろ	1.619	124	1,449	3.10	150.547	0.035	370	125	70
11	〃・130い	1.287	123	1,091	2.60	87.986	0.031	520	200	40
12	〃・〃	1.634	60	947	4.10	214.716	0.027	600	180	50
13	〃・〃	2.146	56	1,093	5.80	249.251	0.025	550	260	40
14	〃・〃	1.500	67	1,171	6.90	126.173	0.028	550	300	60
15	〃・21い	1.027	32	1,543	2.10	46.913	0.025	325	140	27
16	〃・131い	1.730	96	1,362	8.30	463.948	0.040	650	275	30
17	〃・54い	1.591	90	1,146	4.10	182.152	0.061	470	130	30
18	〃・〃	1.426	114	1,146	4.20	209.501	0.061	500	150	30
19	〃・26い	1.612	36	1,129	7.40	176.156	0.051	425	280	18
20	〃・54ろ	1.665	76	816	3.90	94.884	0.060	275	65	35
21	〃・〃	2.253	78	816	4.40	131.819	0.060	325	160	40
22	〃・〃	1.444	92	816	4.10	179.735	0.050	330	100	40
23	〃・30い	2.914	71	1,113	1.93	118.000	0.040	310	121	28
24	〃・〃	3.055	71	1,110	2.75	152.000	0.040	285	134	35
25	〃・〃	2.986	71	1,050	2.06	109.000	0.040	375	252	40
26	〃・〃	2.917	71	1,050	2.10	70.000	0.040	300	165	35
27	〃・〃	2.384	71	1,050	1.61	59.000	0.040	270	59	29
28	〃・〃	2.308	71	1,050	1.57	60.000	0.040	225	100	28
29	〃・〃	2.563	71	564	1.01	41.000	0.035	255	93	11
30	〃・〃	2.150	71	564	0.76	43.000	0.040	180	68	30
31	〃・〃	2.410	71	564	1.61	97.000	0.034	275	73	26
32	〃・〃	1.652	71	564	0.36	19.000	0.034	115	49	15
33	〃・130い	0.957	68	791	2.41	90.414	0.030	505	103	49
34	〃・〃	0.979	65	791	3.81	149.999	0.026	546	260	38
35	〃・151い	1.801	36	1,352	2.50	70.235	0.041	223	121	42
36	〃・〃	1.391	47	1,352	2.88	105.686	0.041	592	273	31
37	〃・〃	3.621	81	1,352	5.66	193.739	0.041	628	253	33
38	〃・152い	2.707	55	991	2.13	84.584	0.044	500	150	43
39	〃・〃	3.408	55	991	2.76	114.604	0.044	385	130	42
40	〃・69ろ	3.044	49	714	2.80	318.507	0.090	310	140	20
41	〃・〃	3.222	49	714	3.38	318.932	0.090	358	200	20
42	〃・28い	3.839	69	775	6.66	788.777	0.055	643	300	60
43	〃・〃	3.764	69	775	3.30	258.791	0.060	325	130	70
44	〃・131い	1.212	79	1,387	1.00	69.335	0.024	280	130	30
45	〃・〃	1.380	79	1,387	1.27	54.732	0.059	220	100	20
46	〃・52いろ	2.243	89	1,190	4.81	183.886	0.045	492	150	30
47	〃・〃	3.392	89	1,190	2.90	301.250	0.053	430	110	40
48	〃・〃	1.361	89	1,190	2.29	46.943	0.051	290	100	25
49	〃・〃	1.535	89	1,190	2.93	59.856	0.051	210	60	30
		2.180	69	1,114	3.21	167.608	0.053	381	154	33
		0.957～	32～	564～	0.36～	19.000～	0.024～	115～	49～	5～
		3.839	124	2,012	8.30	788.777	0.293	650	300	70

* 最下欄の上段は平均値を, 下段は最小値と最大値をあらわす。

$$\sum_{i=1}^n \delta_i(j, k) = n_{jk} \quad \left(\begin{matrix} j=1, 2, \dots, M \\ k=1, 2, \dots, r_j \end{matrix} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{r_j} \sum_{i=1}^n \delta_i(j, k) = n \quad (j=1, 2, \dots, M)$$

$$\sum_{m=1}^{r_l} f_{lm}(j, k) = n_{jk} \quad \left(\begin{matrix} l=1, 2, \dots, M \\ j=1, 2, \dots, M \end{matrix} \right)$$

したがって、 $f_{lm}(j, k)$ の係数行列式が 0 となるために解を一意的にきめることができない。そこで、第 1 項目以外の各項目のいずれか一つのカテゴリーをおとして、すなわちこのカテゴリーに与えるべき数量（解）を 0 とし解くことが必要である。そのために $t_{j1}=0$ ($j=2, 3, \dots, M$) とし求めるべき連立方程式をつくることとした。したがって、 M 個の要因項目を含む連立方程式の解を求めるにあたっては、 $\sum_{j=1}^M r_j - (M-1)$ 元からなる連立方程式を解くことでその条件が満足されることになる。このことは、各カテゴリー間に相対的、合理的なウエイトを与えるという数量化の立場から、なんら一般性を失うものではないのである。

このようにして算定された連立方程式の解が各カテゴリー C_{jk} に与えるべき数量 t_{jk} の最もよい値の組 $\{t_{jk}^*\}$ であり、この数値を用いて労働生産性の予測モデルを設計し、各種の作業条件に対応した労働生産性の予測を行うとともに、重相関係数、偏相関係数、要因群偏相関係数、偏差などを計算し、本法による労働生産性の推定精度、労働生産性に対する作業条件因子の影響のしかた、および本集材作業システムの最適化についての検討を行うこととした。この場合、上述のような連立方程式をつくり、その解 $\{t_{jk}^*\}$ を求める手順としては、まず最初に要因項目として取りあげたすべての項目を含む連立方程式から解を算定し、その解によって各要因項目ごとの偏相関係数を求め、偏相関係数の小さい項目から順次 1 項目ずつ淘汰していった各段階ごとに連立方程式をつくり、それぞれの解を算定することとした。

なお、以上に述べた要因分析の手順は、本章、第 5 章、および第 6 章において統一的に適用することとした。これは、それぞれ全く性格の異なる 3 集材作業システムに対して統一的に適用することにより、この数量化の方法を応用して解析することの妥当性を実証的に検討し、新しい作業研究手法の理論づけを試みたいと考えたからである。

4・3・1 外的基準と要因項目・カテゴリーの分類

本要因分析における外的基準としての労働生産性は、調査対象とした 1 集材線ごとの集材機集材作業（横取作業を含む。）および集材線架設・撤収作業からなる 1 集材作業単位における 1 人工当たりの集材作業量であらわしたものである。この労働生産性に関与する要因項目として前述の 8 項目を取りあげ、これらの要因項目を解析目的に対する妥当性と実用的見地から、さらにそれぞれ 3 要因カテゴリーに区分することとした。要因カテゴリーの区分方法は、各項目ごとの調査値が正規分布をすると仮定した場合に、同一項目内における各カテゴリーの反応数が等分される点を調査値の平均値と標準偏差を基準にして決定することとした。したがって、本要因分析に

表-15 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける
要因項目と要因カテゴリーの分類

要 因 項 目	要因項目 コード	要因カテゴリー	要因カテゴリー コード
地 形 指 数	X_1	～ 60%	1
		61 ～ 77	2
		78 ～	3
立 木 密 度	X_2	～ 971 本/ha	1
		972 ～ 1,256	2
		1,257 ～	3
集 材 面 積	X_3	～ 2.43 ha	1
		2.44 ～ 3.98	2
		3.99 ～	3
集 材 材 積	X_4	～ 105.895 m ³	1
		105.896 ～ 229.320	2
		229.321 ～	3
集材木 1 本当たり平均 材積	X_5	～ 0.036 m ³ /本	1
		0.037 ～ 0.054	2
		0.055 ～	3
支 間 斜 距 離	X_6	～ 323 m	1
		324 ～ 438	2
		439 ～	3
平均実集材斜距離	X_7	～ 125 m	1
		126 ～ 182	2
		183 ～	3
平均横取斜距離	X_8	～ 27 m	1
		28 ～ 38	2
		39 ～	3

における要因項目・カテゴリーの分類基準は、表-15に示すように8項目・24カテゴリーとなる。

4・3・2 反応パターン表とクロス集計表の作成

上述の分類基準により、表-14に示す調査結果から反応パターン表を作成し、これを解析データとした。表-16はこの反応パターンを示したものである。

つぎに、この反応パターン表から(14)式によりあらわされる連立方程式をつくるため、各要因項目・カテゴリー間のクロス集計を行い、クロス集計表を作成した。その結果は、表-17に示すとおりであり、これが求める連立方程式の係数行列をあらわすものである。

4・3・3 連立方程式と解の算定

解析手順で説明した考え方により、表-17に示す係数行列から求めるべき連立方程式をつくった。この連立方程式は、前述のように8要因項目を含むものから1要因項目のみを含むものまで

表-16 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける反応パターン

調査対象 集材線番号 No.	労働生産性 Y	X ₁			X ₂			X ₃			X ₄			X ₅			X ₆			X ₇			X ₈		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	2.69800	✓					✓		✓			✓		✓				✓				✓			
2	1.06200	✓					✓	✓			✓	✓		✓			✓				✓		✓		
3	2.24000	✓					✓	✓			✓			✓			✓				✓		✓		
4	4.50800	✓					✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		
5	1.36300		✓			✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
6	2.26300		✓		✓					✓			✓				✓				✓		✓		
7	2.44900	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
8	1.92100	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
9	2.18700	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
10	1.61900			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
11	1.28700			✓		✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
12	1.63400	✓			✓					✓			✓				✓				✓		✓		
13	2.14600	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
14	1.50000		✓				✓			✓			✓				✓				✓		✓		
15	1.02700	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
16	1.73000			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
17	1.59100			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
18	1.42600			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
19	1.61200	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
20	1.66500		✓		✓				✓		✓			✓			✓				✓		✓		
21	2.25300			✓	✓				✓		✓			✓			✓				✓		✓		
22	1.44400			✓	✓				✓		✓			✓			✓				✓		✓		
23	2.91400		✓			✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
24	3.05500		✓			✓			✓		✓			✓			✓				✓		✓		
25	2.98600		✓			✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
26	2.91700		✓			✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
27	2.38400		✓			✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
28	2.30800		✓			✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
29	2.56300		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
30	2.15000		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
31	2.41000		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
32	1.65200		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
33	0.95700		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
34	0.97900		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
35	1.80100	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
36	1.39100	✓					✓			✓			✓				✓				✓		✓		
37	3.62100			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
38	2.70700	✓				✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
39	3.40800	✓				✓		✓			✓			✓			✓				✓		✓		
40	3.04400	✓			✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
41	3.22200	✓			✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
42	3.83900		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
43	3.76400		✓		✓			✓			✓			✓			✓				✓		✓		
44	1.21200			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
45	1.38000			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
46	2.24300			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
47	3.39200			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
48	1.36100			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
49	1.53500			✓			✓			✓			✓				✓				✓		✓		
合 計	106.82000	17	18	14	15	19	15	18	16	15	20	19	10	14	19	16	19	13	17	19	17	13	15	18	16

表-17 ホイスティングキャレッジ集材作業システムにおけるクロス集計

		X_1			X_2			X_3			X_4			X_5			X_6			X_7			X_8			t_{jk}	$\sum_{i=1}^{49} Y_i \delta_i(l, m)$
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
X_1	1	17	0	0	3	4	10	4	8	5	5	7	5	5	5	7	4	7	6	3	8	6	8	3	6	t_{11}	39.05700
	2	0	18	0	10	8	0	11	4	3	10	5	3	6	7	5	11	2	5	10	4	4	5	8	5	t_{12}	41.66900
	3	0	0	14	2	7	5	3	4	7	5	7	2	3	7	4	4	4	6	6	5	3	2	7	5	t_{13}	26.09400
X_2	1	3	10	2	15	0	0	5	5	5	6	4	5	6	2	7	6	4	5	7	5	3	6	3	6	t_{21}	33.83900
	2	4	8	7	0	19	0	8	5	6	8	9	2	3	13	3	8	4	7	7	7	5	3	9	7	t_{22}	42.13500
	3	10	0	5	0	0	15	5	6	4	6	6	3	5	4	6	5	5	5	5	5	5	6	6	3	t_{23}	30.84600
X_3	1	4	11	3	5	8	5	18	0	0	15	3	0	7	8	3	14	2	2	12	5	1	9	6	3	t_{31}	35.59300
	2	8	4	4	5	5	6	0	16	0	5	6	5	4	6	6	5	7	4	6	4	6	4	5	7	t_{32}	39.55500
	3	5	3	7	5	6	4	0	0	15	0	10	5	3	5	7	0	4	11	1	8	6	2	7	6	t_{33}	31.67200
X_4	1	5	10	5	6	8	6	15	5	0	20	0	0	8	9	3	15	1	4	13	5	2	8	8	4	t_{41}	35.13200
	2	7	5	7	4	9	6	3	6	10	0	19	0	5	8	6	3	8	8	4	8	7	3	8	8	t_{42}	41.33100
	3	5	3	2	5	2	3	0	5	5	0	0	10	1	2	7	1	4	5	2	4	4	4	2	4	t_{43}	30.35700
X_5	1	5	6	3	6	3	5	7	4	3	8	5	1	14	0	0	5	2	7	5	4	5	6	2	6	t_{51}	22.74600
	2	5	7	7	2	13	4	8	6	5	9	8	2	0	19	0	9	5	5	9	5	5	2	11	6	t_{52}	44.95900
	3	7	5	4	7	3	6	3	6	7	3	6	7	0	0	16	5	6	5	5	8	3	7	5	4	t_{53}	39.11500
X_6	1	4	11	4	6	8	5	14	5	0	15	3	1	5	9	5	19	0	0	14	5	0	9	9	1	t_{61}	39.01600
	2	7	2	4	4	4	5	2	7	4	1	8	4	2	5	6	0	13	0	4	5	4	4	1	8	t_{62}	33.34300
	3	6	5	6	5	7	5	2	4	11	4	8	5	7	5	5	0	0	17	1	7	9	2	8	7	t_{63}	34.46100
X_7	1	3	10	6	7	7	5	12	6	1	13	4	2	5	9	5	14	4	1	19	0	0	8	6	5	t_{71}	39.64600
	2	8	4	5	5	7	5	5	4	8	5	8	4	4	5	8	5	5	7	0	17	0	4	8	5	t_{72}	37.97600
	3	6	4	3	3	5	5	1	6	6	2	7	4	5	5	3	0	4	9	0	0	13	3	4	6	t_{73}	29.19800
X_8	1	8	5	2	6	3	6	9	4	2	8	3	4	6	2	7	9	4	2	8	4	3	15	0	0	t_{81}	32.40500
	2	3	8	7	3	9	6	6	5	7	8	8	2	2	11	5	9	1	8	6	8	4	0	18	0	t_{82}	37.49100
	3	6	5	5	6	7	3	3	7	6	4	8	4	6	6	4	1	8	7	5	5	6	0	0	16	t_{83}	36.92400

8段階・8組の式がつくられ、それぞれの解を算定したが、ここでは8要因項目を含む段階の連立方程式、すなわち17元からなり(26)式によってあらわされる1組の式だけを示し、他の式は省略することとした。

$$\begin{aligned}
 & 17t_{11} + 4t_{22} + 10t_{23} + 8t_{32} + 5t_{33} + 7t_{42} + 5t_{43} \\
 & + 5t_{52} + 7t_{53} + 7t_{62} + 6t_{63} + 8t_{72} + 6t_{73} + 3t_{82} + 6t_{83} = 39.05700 \\
 & 18t_{12} + 8t_{22} + 4t_{32} + 3t_{33} + 5t_{42} + 3t_{43} \\
 & + 7t_{52} + 5t_{53} + 2t_{62} + 5t_{63} + 4t_{72} + 4t_{73} + 8t_{82} + 5t_{83} = 41.66900 \\
 & 14t_{13} + 7t_{22} + 5t_{23} + 4t_{32} + 7t_{33} + 7t_{42} + 2t_{43} \\
 & + 7t_{52} + 4t_{53} + 4t_{62} + 6t_{63} + 5t_{72} + 3t_{73} + 7t_{82} + 5t_{83} = 26.09400 \\
 & 4t_{11} + 8t_{12} + 7t_{13} + 19t_{22} + 5t_{32} + 6t_{33} + 9t_{42} + 2t_{43} \\
 & + 13t_{52} + 3t_{53} + 4t_{62} + 7t_{63} + 7t_{72} + 5t_{73} + 9t_{82} + 7t_{83} = 42.13500
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
10t_{11} &+ 5t_{13} + 15t_{23} + 6t_{32} + 4t_{33} + 6t_{42} + 3t_{43} \\
&+ 4t_{52} + 6t_{53} + 5t_{62} + 5t_{63} + 5t_{72} + 5t_{73} + 6t_{82} + 3t_{83} = 30.84600 \\
8t_{11} + 4t_{12} + 4t_{13} + 5t_{22} + 6t_{23} + 16t_{32} &+ 6t_{42} + 5t_{43} \\
&+ 6t_{52} + 6t_{53} + 7t_{62} + 4t_{63} + 4t_{72} + 6t_{73} + 5t_{82} + 7t_{83} = 39.55500 \\
5t_{11} + 3t_{12} + 7t_{13} + 6t_{22} + 4t_{23} &+ 15t_{33} + 10t_{42} + 5t_{43} \\
&+ 5t_{52} + 7t_{53} + 4t_{62} + 11t_{63} + 8t_{72} + 6t_{73} + 7t_{82} + 6t_{83} = 31.67200 \\
7t_{11} + 5t_{12} + 7t_{13} + 9t_{22} + 6t_{23} + 6t_{32} + 10t_{33} + 19t_{42} \\
&+ 8t_{52} + 6t_{53} + 8t_{62} + 8t_{63} + 8t_{72} + 7t_{73} + 8t_{82} + 8t_{83} = 41.33100 \\
5t_{11} + 3t_{12} + 2t_{13} + 2t_{22} + 3t_{23} + 5t_{32} + 5t_{33} &+ 10t_{43} \\
&+ 2t_{52} + 7t_{53} + 4t_{62} + 5t_{63} + 4t_{72} + 4t_{73} + 2t_{82} + 4t_{83} = 30.35700 \\
5t_{11} + 7t_{12} + 7t_{13} + 13t_{22} + 4t_{23} + 6t_{32} + 5t_{33} + 8t_{42} + 2t_{43} \\
&+ 19t_{52} + 5t_{62} + 5t_{63} + 5t_{72} + 5t_{73} + 11t_{82} + 6t_{83} = 44.95900 \\
7t_{11} + 5t_{12} + 4t_{13} + 3t_{22} + 6t_{23} + 6t_{32} + 7t_{33} + 6t_{42} + 7t_{43} \\
&+ 16t_{53} + 6t_{62} + 5t_{63} + 8t_{72} + 3t_{73} + 5t_{82} + 4t_{83} = 39.11500 \\
7t_{11} + 2t_{12} + 4t_{13} + 4t_{22} + 5t_{23} + 7t_{32} + 4t_{33} + 8t_{42} + 4t_{43} \\
&+ 5t_{52} + 6t_{53} + 13t_{62} + 5t_{72} + 4t_{73} + t_{82} + 8t_{83} = 33.34300 \\
6t_{11} + 5t_{12} + 6t_{13} + 7t_{22} + 5t_{23} + 4t_{32} + 11t_{33} + 8t_{42} + 5t_{43} \\
&+ 5t_{52} + 5t_{53} + 17t_{63} + 7t_{72} + 9t_{73} + 8t_{82} + 7t_{83} = 34.46100 \\
8t_{11} + 4t_{12} + 5t_{13} + 7t_{22} + 5t_{23} + 4t_{32} + 8t_{33} + 8t_{42} + 4t_{43} \\
&+ 5t_{52} + 8t_{53} + 5t_{62} + 7t_{63} + 17t_{72} + 8t_{82} + 5t_{83} = 37.97600 \\
6t_{11} + 4t_{12} + 3t_{13} + 5t_{22} + 5t_{23} + 6t_{32} + 6t_{33} + 7t_{42} + 4t_{43} \\
&+ 5t_{52} + 3t_{53} + 4t_{62} + 9t_{63} + 13t_{73} + 4t_{82} + 6t_{83} = 29.19800 \\
3t_{11} + 8t_{12} + 7t_{13} + 9t_{22} + 6t_{23} + 5t_{32} + 7t_{33} + 8t_{42} + 2t_{43} \\
&+ 11t_{52} + 5t_{53} + t_{62} + 8t_{63} + 8t_{72} + 4t_{73} + 18t_{82} = 37.49100 \\
6t_{11} + 5t_{12} + 5t_{13} + 7t_{22} + 3t_{23} + 7t_{32} + 6t_{33} + 8t_{42} + 4t_{43} \\
&+ 6t_{52} + 4t_{53} + 8t_{62} + 7t_{63} + 5t_{72} + 6t_{73} + 16t_{83} = 36.92400
\end{aligned}
\tag{26}$$

これら8組の連立方程式から算定された解が、表-18の「与えるべき数量」欄に示された数値である。

4・3・4 労働生産性予測モデルの設計

表-18は、上述の各連立方程式から算定された解 $\{t_k\}$ により設計されたホイースティングキャレッジ式集材作業システムにおける労働生産性の予測モデルである。上述のように、 $\{t_k\}$ が本表の「与えるべき数量」欄に示された数値であり、これが本集材作業システムにおける各種の作業条件に対応した労働生産性を表現するために各要因項目のカテゴリーに与えられた数値である。

(15) 式により説明したように、この数値を各集材線がそれぞれ反応した各要因項目のカテゴリーに荷重して加えあわせたものが、当該集材線における労働生産性の推定値になるのである。

つぎに、 $\{t_k\}$ を用いて重相関係数、偏相関係数、要因群偏相関係数、および偏差をそれぞれ

表-18 ホイスチングキャレッジ式集材作業

要因項目 X_j	要因カテゴリー C_{jk}	外的基準 $\sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(j, k)$	反応数 n_{jk}	与 え		
				X_1	$X_1 \sim X_2$	$X_1 \sim X_3$
集材材積 X_1	～105.895 m ³	35.13200	20	1.75660	1.39971	1.46246
	105.896～229.320	41.33100	19	2.17532	1.77917	2.35152
	229.321～	30.35700	10	3.03570	2.65251	3.23908
集材木 1本当たり 平均材積 X_2	～0.036 m ³ /本	22.74600	14		0.00000	0.00000
	0.037～0.054	44.95900	19		0.67491	0.67916
	0.055～	39.11500	16		0.35458	0.38940
集材面積 X_3	～2.43 ha	35.59300	18			0.00000
	2.44～3.98	39.55500	16			－0.27957
	3.99～	31.67200	15			－0.94401
地形指数 X_4	～60 %	39.05700	17			
	61～77	41.66900	18			
	78～	26.09400	14			
平均横取 斜距離 X_5	～27 m	32.40500	15			
	28～38	37.49100	18			
	39～	36.92400	16			
平均実集材 斜距離 X_6	～125 m	39.64600	19			
	126～182	37.97600	17			
	183～	29.19800	13			
立木密度 X_7	～971 本/ha	33.83900	15			
	972～1,256	42.13500	19			
	1,257～	30.84600	15			
支間斜距離 X_8	～323 m	39.01600	19			
	324～438	33.34300	13			
	439～	34.46100	17			
重相関係数		$\rho_{Y:1,2,\dots,M}$		0.558**	0.645**	0.733**
要因群偏相関係数		ρ_s			0.390	0.456

** または * 印は、1%または5%水準で有意であることを示す。

計算し、その結果を表-18のなかに示したが、これらの数値によって各種の考察を行うことができるのである。これらの数値を算定した際、計算の過程として、外的基準の調査値と各要因項目相互間の内部相関係数を計算したが、8項目を含む段階の算定結果を示せば、表-19のとおりである。

表-18により示される労働生産性の予測モデルにおいては、要因項目および要因項目コードを偏相関係数の大きい項目順に配列しなおし、偏相関係数の小さい項目から逐次1項目ずつおとしといった場合の労働生産性の推定精度と要因群の影響のしかたを、各段階ごとに比較検討できる

システムにおける労働生産性の予測モデル

る　　べ　　き　　数　　量					$X_1 \sim X_8$		
$X_1 \sim X_4$	$X_1 \sim X_5$	$X_1 \sim X_6$	$X_1 \sim X_7$	$X_1 \sim X_8$	偏相関係数 $\rho_{Y, j:1, 2, \cdots, M}$	平　均　値 \bar{t}_j	偏　差 d_{jk}
1. 36678	1. 34094	1. 27147	1. 16736	1. 17627	0. 656**	1. 81310	-0. 63683
2. 20999	2. 15225	2. 07073	1. 95787	1. 97494			0. 16184
3. 03647	2. 95416	2. 87363	2. 75827	2. 77927			0. 96617
0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 478**	0. 45840	-0. 45840
0. 71863	0. 77155	0. 79777	0. 83644	0. 83044			0. 37204
0. 40188	0. 45027	0. 42150	0. 42237	0. 41770			-0. 04070
0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 345*	-0. 21728	0. 21728
-0. 14547	-0. 14338	-0. 09670	-0. 06850	-0. 06438			0. 15290
-0. 73435	-0. 70815	-0. 69944	-0. 65655	-0. 64111			-0. 42383
0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 306*	0. 09853	-0. 09853
0. 19928	0. 22502	0. 28665	0. 38327	0. 37746			0. 27893
-0. 22845	-0. 21312	-0. 17502	-0. 14124	-0. 14045			-0. 23898
	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 178	-0. 05342	0. 05342
	-0. 09642	-0. 16346	-0. 20661	-0. 20366			-0. 15024
	0. 08052	0. 04869	0. 04954	0. 06552			0. 11894
		0. 00000	0. 00000	0. 00000	0. 167	0. 07617	-0. 07617
		0. 17486	0. 20176	0. 21146			0. 13529
		-0. 00545	-0. 00957	0. 01058			-0. 06559
			0. 00000	0. 00000	0. 089	0. 03427	-0. 03427
			-0. 00682	-0. 00757			-0. 04184
			0. 12088	0. 12154			0. 08727
				0. 00000	0. 031	-0. 02977	0. 02977
				-0. 04491			-0. 01514
				-0. 05147			-0. 02170
0. 756**	0. 760**	0. 765**	0. 767**	0. 767**			
0. 272	0. 119	0. 134	0. 086	0. 000			

表-19 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける内部相関行列

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Y	1.00000	0.54419	0.33612	0.03056	0.16900	0.10075	0.04960	-0.09589	-0.09226
X_1	0.54419	1.00000	0.03519	-0.51320	-0.15159	0.15842	0.15620	0.01097	-0.54828
X_2	0.33612	0.03519	1.00000	-0.02951	-0.07742	-0.33422	-0.04225	-0.15876	0.12272
X_3	0.03056	-0.51320	-0.02951	1.00000	0.29312	0.07944	-0.27262	0.04698	0.58958
X_4	0.16900	-0.15159	-0.07742	0.29312	1.00000	-0.06267	-0.17455	-0.42601	0.31686
X_5	0.10075	0.15842	-0.33422	0.07944	-0.06267	1.00000	-0.14147	-0.07342	-0.23392
X_6	0.04960	0.15620	-0.04225	-0.27262	-0.17455	-0.14147	1.00000	-0.01631	-0.16797
X_7	-0.09589	0.01097	-0.15876	0.04698	-0.42601	-0.07342	-0.01631	1.00000	-0.06623
X_8	-0.09226	-0.54828	0.12272	0.58958	0.31686	-0.23392	-0.16797	-0.06623	1.00000

表-20 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおける
労働生産性の調査値と推定値の対応

調査対象集材線 番号 No.	Y	\hat{Y}	$Y - \hat{Y}$
1	2.69800	1.99121	0.70679
2	1.06200	1.50927	-0.44727
3	2.24000	2.51418	0.73073
4	4.50800	3.20922	1.29878
5	1.36300	1.96386	-0.60086
6	2.26300	3.09331	-0.83031
7	2.44900	2.63373	-0.18473
8	1.92100	1.83596	0.08504
9	2.18700	2.48099	-0.29399
10	1.61900	1.91226	-0.29326
11	1.28700	0.98850	0.29850
12	1.63400	1.55934	0.07466
13	2.14600	2.15522	-0.00922
14	1.50000	1.72835	-0.22835
15	1.02700	1.46436	-0.43736
16	1.73000	2.70514	-0.97514
17	1.59100	1.55984	0.03116
18	1.42600	1.55984	-0.13384
19	1.61200	2.12237	-0.51037
20	1.66500	1.70339	-0.03839
21	2.25300	1.84315	0.40985
22	1.44400	2.04443	-0.60043
23	2.91400	2.97161	-0.05761
24	3.05500	3.11869	-0.06369
25	2.98600	3.20646	-0.22046
26	2.91700	2.38440	0.53260
27	2.38400	2.17294	0.21106
28	2.30800	2.17294	0.13506
29	2.56300	1.55373	1.00927
30	2.15000	2.18051	-0.03051
31	2.41000	1.55373	0.85627
32	1.65200	1.55373	0.09827
33	0.95700	1.56778	-0.61078
34	0.97900	2.04347	-1.06447
35	1.80100	2.12939	-0.32839
36	1.39100	1.81932	-0.42832
37	3.62100	1.90081	1.72019
38	2.70700	2.22465	0.48235
39	3.40800	2.96550	0.44250
40	3.04400	3.34405	-0.30005
41	3.22200	3.09826	0.12374
42	3.83900	2.95795	0.88105
43	3.76400	3.74212	0.02188
44	1.21200	1.16516	0.04684
45	1.38000	1.57506	-0.19506
46	2.24300	1.97258	0.27042
47	3.39200	3.41792	-0.02592
48	1.36100	1.85869	-0.49769
49	1.53500	1.59065	-0.05565
	$Y - \hat{Y}$ の平均値 =0.02051		
	$Y - \hat{Y}$ の標準偏差 =0.55068		
	相関係数 =0.767		

ようにした。

4・3・5 労働生産性の調査値と推定値の対応

労働生産性の調査値 Y_i と予測モデルから求めた推定値 \hat{Y}_i の対応関係を、8 要因項目を含む段階の検討結果について示せば、表—20のとおりである。本表には \hat{Y}_i の Y_i に対する適合性を検討するため、 $Y_i - \hat{Y}_i$ の平均値と標準偏差、 Y_i と \hat{Y}_i の相関係数が計算されているが、この相関係数は、表—18の重相関係数と同値になるべきものであり、要因項目を逐次1項目ずつおとしていった各段階においても同様のことがいえるのである。

第5章 モノケーブル式集材作業システムの要因分析

5・1 要因分析の考え方

本要因分析は、外的基準があり、それが数量で与えられている場合の数量化の方法を応用して、モノケーブル式集材作業システムにおける集材作業の労働生産性とこれに関与する諸要因との相互関係を解析し、集材作業システムを最適化するための作業研究手法に対する理論づけと合理的な集材作業計画の立案を目的とした労働生産性の予測モデルを設計するために行うものである。

そこで、第2章で行った考察を基に上記の解析目的をより効果的なものとするため、本集材作業システムの特徴をさらに集材作業の実体に即して検討した結果、外的基準としての集材作業の労働生産性に関与する諸要因項目、すなわち各種の作業条件因子として、①集材作業地域の地形指数、②集材対象林分の立木密度 (ha 当たり立木本数)、③1集材線当たりの集材面積、④1集材線当たりの集材材積、⑤集材木1本当たりの平均材積、⑥運搬索の長さ、⑦平均実集材斜距離、⑧平均人力木寄斜距離の8項目を取りあげ、次節に示すこれらの調査結果を用いて解析を行うこととした。

5・2 労働生産性と作業条件の調査結果

調査対象として選定した46集材線における集材作業の労働生産性と前節で述べた8項目によりあらわされる作業条件の調査結果を取りまとめると、表—21に示すとおりである。

5・3 要因分析の手順と解析結果

表—21に示された調査結果に対して、第4章4・3で述べた手順で要因分析を行うこととした。以下、その手順にしたがって解析結果を説明する。

5・3・1 外的基準と要因項目・カテゴリーの分類

本要因分析における外的基準としての労働生産性は、調査対象とした1集材線ごとの集材機集材作業、集材線架設・撤収作業、および人力木寄作業からなる1集材作業単位における1人工当たりの集材作業量であらわしたものである。この労働生産性に関与する要因項目として前述の8項目を取りあげ、これらの要因項目を解析目的に対する妥当性と実見的見地から、さらにそれぞれ3要因カテゴリーに区分することとした。カテゴリーの区分方法は、第4章4・3・1で説明したのと同じ考え方により行うこととした。したがって、本要因分析における要因項目・カテゴ

表-21 モノケーブル式集材作業システムにおける労働生産性と作業条件

調査対象集材線番号 No.	調査場所 (事業区・林小班)	労働生産性 (m³/人工)	作 業 条 件							
			地形 指数 (%)	立木 密度 (本/ha)	集材 面積 (ha)	集材 材積 (m³)	集材木1 本当たり 平均材積 (m³/本)	運搬索 の長さ (m)	平均実 集材斜 距離 (m)	平均人 力木寄 斜距離 (m)
1	新 城・21い	1.460	41	1,458	1.30	82.136	0.020	900	300	10
2	“・54ろ	2.120	63	816	3.90	205.403	0.060	1,500	250	18
3	“・“	3.563	61	816	2.80	103.318	0.060	500	130	7
4	付 知・50ろ	1.849	59	892	2.44	115.000	0.055	360	110	30
5	“・60い	2.067	198	1,277	4.63	307.000	0.098	460	160	25
6	“・170い	1.614	112	1,484	3.68	81.500	0.054	560	140	25
7	“・50ろ	2.086	112	757	1.53	75.500	0.060	440	110	30
8	“・50いろ	1.708	128	1,517	1.96	83.000	0.058	360	80	20
9	小 坂・38い	1.313	93	787	3.23	294.000	0.056	540	150	10
10	“・38ろ	1.775	50	561	2.20	213.000	0.085	600	100	15
11	“・“	2.317	53	529	4.52	303.500	0.130	1,600	200	25
12	“・39ろ	1.630	95	455	2.32	196.000	0.095	1,500	200	10
13	“・“	2.090	90	474	4.66	358.500	0.114	1,300	350	30
14	“・41い	0.737	125	853	6.82	140.000	0.042	1,100	300	80
15	“・40ろ	1.409	105	308	4.18	193.000	0.062	700	200	48
16	付 知・42いろ	1.337	135	1,045	2.86	115.000	0.050	500	150	20
17	久々野・269い	1.662	50	858	0.81	84.743	0.043	320	80	30
18	“・“	1.671	50	858	1.05	109.483	0.043	320	80	30
19	“・“	1.755	50	858	0.87	91.283	0.043	300	75	30
20	付 知・42い	1.761	66	740	2.19	155.000	0.055	490	180	20
21	“・“	1.471	172	740	1.25	75.000	0.060	275	80	25
22	“・“	1.311	120	740	2.75	97.000	0.060	585	200	20
23	“・“	1.417	100	740	4.81	146.000	0.060	980	310	15
24	“・21いろ	1.620	36	1,028	2.61	61.830	0.055	375	75	30
25	“・21い	1.681	62	980	2.94	116.000	0.055	400	80	30
26	“・“	2.852	95	980	2.69	174.000	0.055	500	180	30
27	“・“	2.040	115	980	5.50	257.000	0.053	650	280	25
28	“・42いろ	1.702	93	1,045	2.69	177.000	0.050	835	280	18
29	“・42い	1.905	103	740	3.50	221.000	0.060	730	280	25
30	久々野・269い	1.059	110	1,174	1.27	68.335	0.040	397	170	20
31	“・“	1.203	110	1,174	3.00	161.749	0.040	653	140	25
32	“・“	1.093	80	977	0.91	84.677	0.042	200	50	30
33	“・“	0.969	80	977	0.70	64.918	0.042	200	50	25
34	“・“	1.127	80	977	1.42	132.659	0.042	300	75	30
35	“・“	1.133	85	1,254	1.81	91.208	0.042	620	160	15
36	“・“	0.982	85	1,254	2.86	144.860	0.042	707	180	30
37	“・“	0.795	85	1,254	0.63	32.192	0.042	500	130	10
38	付 知・60い	1.754	106	1,030	2.69	107.000	0.060	450	250	30
39	“・61ろ	2.724	107	807	3.67	237.000	0.065	500	200	20
40	久々野・81ろは	1.183	75	1,595	1.78	49.689	0.042	540	135	13
41	“・“	1.159	75	1,595	4.37	121.654	0.042	603	151	13
42	小 坂・38い	1.112	88	948	7.80	218.000	0.227	700	320	20
43	“・30に	1.417	71	798	2.78	89.500	0.178	500	150	15
44	付 知・50い	2.220	82	805	2.75	202.000	0.050	540	150	20
45	“・“	1.604	56	805	1.25	85.000	0.050	220	80	20
46	“・“	1.481	90	805	1.38	40.000	0.045	205	105	15
		1.629	89	947	2.78	142.644	0.063	598	165	24
		0.737~ 3.563	36~ 198	308~ 1,595	0.63~ 7.80	32.192~ 358.500	0.020~ 0.227	200~ 1,600	50~ 350	7~ 80

* 最下欄の上段は平均値を、下段は最小値と最大値をあらわす。

リー分類基準は、表-22に示すように8項目・24カテゴリーとなる。

表-22 モノケーブル式集材作業システムにおける要因項目と要因カテゴリーの分類

要 因 項 目	要因項目 コード	要因カテゴリー	要因カテゴリー コード
地 形 指 数	X_1	～ 75%	1
		76 ～ 102	2
		103 ～	3
立 木 密 度	X_2	～ 822本/ha	1
		823 ～ 1,071	2
		1,072 ～	3
集 材 面 積	X_3	～ 2.11ha	1
		2.12 ～ 3.44	2
		3.45 ～	3
集 材 材 積	X_4	～ 99.511m ³	1
		99.512 ～ 165.776	2
		165.777 ～	3
集材木1本当たり平均 材積	X_5	～ 0.048m ³ /本	1
		0.049 ～ 0.077	2
		0.078 ～	3
運 搬 索 の 長 さ	X_6	～ 454m	1
		455 ～ 641	2
		642 ～	3
平 均 実 集 材 斜 距 離	X_7	～ 131m	1
		132 ～ 198	2
		199 ～	3
平 均 人 力 木 寄 斜 距 離	X_8	～ 19m	1
		20 ～ 28	2
		29 ～	3

5・3・2 反応パターン表とクロス集計表の作成

上述の分類基準により、表-21に示す調査結果から反応パターン表を作成し、これを解析データとした。表-23はこの反応パターンを示したものである。

つぎに、この反応パターン表から(14)式によりあらわされる連立方程式をつくるため、各要因項目・カテゴリー間のクロス集計を行い、クロス集計表を作成した。その結果は、表-24に示すとおりであり、これが求める連立方程式の係数行列をあらわすものである。

5・3・3 連立方程式と解の算定

表-24に示す係数行列から求めるべき連立方程式をつくった。この連立方程式は8要因項目を含むものから1要因項目のみを含むものまで8段階・8組の式がつくられ、それぞれの解を算定したが、ここでは8要因項目を含む段階の連立方程式、すなわち17元からなり(27)式によってあらわされる1組の式だけを示し、他の式は省略することとした。

表-23 モノケーブル式集材作業システムにおける反応パターン

調査対象 集材線番号 No.	労働生産性 Y	X ₁			X ₂			X ₃			X ₄			X ₅			X ₆			X ₇			X ₈		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1.46000	✓					✓	✓			✓			✓					✓			✓			
2	2.12000	✓			✓					✓			✓	✓					✓			✓			
3	3.56300	✓			✓					✓			✓	✓					✓			✓			
4	1.84900	✓				✓				✓			✓	✓			✓		✓						✓
5	2.06700			✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓			✓	
6	1.61400			✓			✓			✓			✓	✓				✓			✓			✓	
7	2.08600			✓	✓			✓			✓			✓			✓			✓			✓		
8	1.70800			✓			✓	✓			✓			✓			✓			✓			✓		
9	1.31300		✓		✓					✓			✓	✓				✓		✓			✓		
10	1.77500	✓			✓					✓			✓		✓			✓		✓			✓		
11	2.31700	✓			✓					✓			✓		✓			✓		✓			✓		
12	1.63000		✓		✓					✓			✓		✓			✓		✓			✓		
13	2.09000		✓		✓					✓			✓		✓			✓		✓			✓		
14	0.73700			✓		✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
15	1.40900			✓	✓					✓			✓	✓				✓		✓			✓		
16	1.33700			✓		✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
17	1.66200	✓				✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
18	1.67100	✓				✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
19	1.75500	✓				✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
20	1.76100	✓			✓					✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
21	1.47100			✓	✓			✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
22	1.31100			✓	✓					✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
23	1.41700		✓		✓					✓			✓	✓				✓		✓			✓		
24	1.62000	✓				✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
25	1.68100	✓				✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
26	2.85200		✓			✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
27	2.04000			✓		✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
28	1.70200		✓			✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
29	1.90500			✓	✓					✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
30	1.05900			✓			✓	✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
31	1.20300			✓			✓			✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
32	1.09300		✓			✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
33	0.96900		✓			✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
34	1.12700		✓			✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
35	1.13300		✓			✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
36	0.98200		✓			✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
37	0.79500		✓			✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
38	1.75400			✓		✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
39	2.72400			✓	✓					✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
40	1.18300	✓				✓		✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
41	1.15900	✓				✓				✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
42	1.11200		✓			✓				✓			✓		✓			✓		✓			✓		✓
43	1.41700	✓			✓					✓			✓		✓			✓		✓			✓		✓
44	2.22000		✓		✓					✓			✓	✓			✓		✓			✓			✓
45	1.60400	✓			✓			✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
46	1.48100		✓		✓			✓			✓			✓			✓		✓			✓			✓
合 計	74.93800	16	15	15	19	16	11	16	17	13	18	13	15	16	23	7	16	16	14	17	14	15	14	17	15

表-24 モノケーブル式集材作業システムにおけるクロス集計

		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	t_{jk}	$\sum_{i=1}^{46} Y_i \delta_i(l, m)$
		1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3	1 2 3		
X_1	1	16 0 0	7 6 3	7 6 3	7 6 3	6 7 3	7 6 3	9 4 3	7 3 6	t_{11}	28.59700
	2	0 15 0	6 6 3	6 6 3	5 3 7	7 5 3	4 5 6	5 5 5	7 3 5	t_{12}	21.91600
	3	0 0 15	6 4 5	4 4 7	6 4 5	3 11 1	5 5 5	3 5 7	0 11 4	t_{13}	24.42500
X_2	1	7 6 6	19 0 0	4 8 7	6 3 10	1 13 5	4 8 7	6 4 9	8 8 3	t_{21}	35.61400
	2	6 6 4	0 16 0	6 7 3	5 7 4	7 8 1	10 2 4	9 2 5	1 4 11	t_{22}	24.96100
	3	3 3 5	0 0 11	6 2 3	7 3 1	8 2 1	2 6 3	2 8 1	5 5 1	t_{23}	14.36300
X_3	1	6 6 4	4 6 6	16 0 0	14 2 0	12 4 0	12 3 1	12 3 1	5 5 6	t_{31}	22.25700
	2	7 6 4	8 7 2	0 17 0	3 8 6	2 12 3	4 9 4	5 8 4	6 5 6	t_{32}	29.97000
	3	3 3 7	7 3 3	0 0 13	1 3 9	2 7 4	0 4 9	0 3 10	3 7 3	t_{33}	22.71100
X_4	1	7 5 6	6 5 7	14 3 1	18 0 0	10 7 1	11 6 1	11 5 2	6 7 5	t_{41}	25.42100
	2	6 3 4	3 7 3	2 8 3	0 13 0	6 7 0	5 4 4	5 5 3	3 3 7	t_{42}	20.24100
	3	3 7 5	10 4 1	0 6 9	0 0 15	0 9 6	0 6 9	1 4 10	5 7 3	t_{43}	29.27600
X_5	1	6 7 3	1 7 8	12 2 2	10 6 0	16 0 0	8 4 4	8 6 2	6 3 7	t_{51}	19.46900
	2	7 5 11	13 8 2	4 12 7	7 7 9	0 23 0	8 9 6	8 6 9	5 11 7	t_{52}	43.06100
	3	3 3 1	5 1 1	0 3 4	1 0 6	0 0 7	0 3 4	1 2 4	3 3 1	t_{53}	12.40800
X_6	1	7 4 5	4 10 2	12 4 0	11 5 0	8 8 0	16 0 0	14 1 1	1 5 10	t_{61}	24.59000
	2	6 5 5	8 2 6	3 9 4	6 4 6	4 9 3	0 16 0	3 11 2	8 7 1	t_{62}	28.22400
	3	3 6 5	7 4 3	1 4 9	1 4 9	4 6 4	0 0 14	0 2 12	5 5 4	t_{63}	22.12400
X_7	1	9 5 3	6 9 2	12 5 0	11 5 1	8 8 1	14 3 0	17 0 0	4 4 9	t_{71}	27.91000
	2	4 5 5	4 2 8	3 8 3	5 5 4	6 6 2	1 11 2	0 14 0	5 7 2	t_{72}	21.30000
	3	3 5 7	9 5 1	1 4 10	2 3 10	2 9 4	1 2 12	0 0 15	5 6 4	t_{73}	25.72800
X_8	1	7 7 0	8 1 5	5 6 3	6 3 5	6 5 3	1 8 5	4 5 5	14 0 0	t_{81}	22.14800
	2	3 3 11	8 4 5	5 5 7	7 3 7	3 11 3	5 7 5	4 7 6	0 17 0	t_{82}	28.42200
	3	6 5 4	3 11 1	6 6 3	5 7 3	7 7 1	10 1 4	9 2 4	0 0 15	t_{83}	24.36800

表-25 モノケーブル式集材作業

要因項目 X_j	要因カテゴリー C_{jk}	外的基準 $\sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(j, k)$	反応数 n_{jk}	与 え		
				X_1	$X_1 \sim X_2$	$X_1 \sim X_3$
集材材積 X_1	~99.511 m ³	25.42100	18	1.41227	1.18610	1.43378
	99.512~165.776	20.24100	13	1.55700	1.26798	1.48634
	165.777~	29.27600	15	1.95173	1.50414	1.88369
集材木 1本当たり 平均材積 X_2	~0.048 m ³ /本	19.46900	16		0.00000	0.00000
	0.049~0.077	43.06100	23		0.53674	0.49694
	0.078~	12.40800	7		0.31386	0.17091
地形指数 X_3	~75 %	28.59700	16			0.00000
	76~102	21.91600	15			-0.39302
	103~	24.42500	15			-0.34526
運搬索の 長さ X_4	~454 m	24.59000	16			
	455~641	28.22400	16			
	642~	22.12400	14			
平均人力木 寄斜距離 X_5	~19 m	22.14800	14			
	20~28	28.42200	17			
	29~	24.36800	15			
平均実集材 斜距離 X_6	~131 m	27.91000	17			
	132~198	21.30000	14			
	199~	25.72800	15			
立木密度 X_7	~822 本/ha	35.61400	19			
	823~1,071	24.96100	16			
	1,072~	14.36300	11			
集材面積 X_8	~2.11 ha	22.25700	16			
	2.12~3.44	29.97000	17			
	3.45~	22.71100	13			
重相関係数 $\rho_{Y:1,2,\dots,M}$				0.431**	0.599**	0.675**
要因群偏相関係数 ρ_s					0.461	0.389

** または * 印は、1%または5%水準で有意であることを示す。

システムにおける労働生産性の予測モデル

る　　べ　　き　　数　　量					$X_1 \sim X_8$		
$X_1 \sim X_4$	$X_1 \sim X_5$	$X_1 \sim X_6$	$X_1 \sim X_7$	$X_1 \sim X_8$	偏相関係数 $\rho_{Y, j: 1, 2, \cdots, M}$	平　均　値 \bar{t}_j	偏　差 d_{jk}
1.46658	1.40922	1.39841	1.43894	1.38458	0.487**	1.68387	-0.29929
1.60060	1.50632	1.51447	1.61395	1.63953			-0.04434
2.09035	2.00294	1.99348	2.08664	2.08144			0.39757
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.445**	0.26936	-0.26936
0.43464	0.44599	0.41491	0.39087	0.47970			0.21034
0.15175	0.16609	0.13370	0.08347	0.19389			-0.07547
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.381*	-0.21770	0.21770
-0.37408	-0.37480	-0.35215	-0.33611	-0.35802			-0.14032
-0.30526	-0.30121	-0.25731	-0.30955	-0.30960			-0.09190
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.304	0.07670	-0.07670
-0.03065	0.03023	0.24034	0.18988	0.27503			0.19833
-0.28588	-0.23750	-0.05406	-0.16017	-0.06229			-0.13899
	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.230	0.13552	-0.13552
	0.00160	0.04917	0.11576	0.12367			-0.01185
	0.09862	0.12484	0.24399	0.27545			0.13993
		0.00000	0.00000	0.00000	0.217	-0.11191	0.11191
		-0.29125	-0.31258	-0.27206			-0.16015
		-0.19204	-0.12870	-0.08926			0.02265
			0.00000	0.00000	0.204	-0.06369	0.06369
			-0.21568	-0.19468			-0.13099
			0.01823	0.01685			0.08054
				0.00000	0.174	-0.14307	0.14307
				-0.19852			-0.05545
				-0.24666			-0.10359
0.701**	0.705**	0.719**	0.733**	0.738**			
0.256	0.105	0.199	0.205	0.126			

$$\begin{aligned}
16t_{11} &+ 6t_{22} + 3t_{23} + 7t_{32} + 3t_{33} + 6t_{42} + 3t_{43} \\
&+ 7t_{52} + 3t_{53} + 6t_{62} + 3t_{63} + 4t_{72} + 3t_{73} + 3t_{82} + 6t_{83} = 28.59700 \\
15t_{12} &+ 6t_{22} + 3t_{23} + 6t_{32} + 3t_{33} + 3t_{42} + 7t_{43} \\
&+ 5t_{52} + 3t_{53} + 5t_{62} + 6t_{63} + 5t_{72} + 5t_{73} + 3t_{82} + 5t_{83} = 21.91600 \\
15t_{13} &+ 4t_{22} + 5t_{23} + 4t_{32} + 7t_{33} + 4t_{42} + 5t_{43} \\
&+ 11t_{52} + t_{53} + 5t_{62} + 5t_{63} + 5t_{72} + 7t_{73} + 11t_{82} + 4t_{83} = 24.42500 \\
6t_{11} + 6t_{12} + 4t_{13} + 16t_{22} &+ 7t_{32} + 3t_{33} + 7t_{42} + 4t_{43} \\
&+ 8t_{52} + t_{53} + 2t_{62} + 4t_{63} + 2t_{72} + 5t_{73} + 4t_{82} + 11t_{83} = 24.96100 \\
3t_{11} + 3t_{12} + 5t_{13} &+ 11t_{23} + 2t_{32} + 3t_{33} + 3t_{42} + t_{43} \\
&+ 2t_{52} + t_{53} + 6t_{62} + 3t_{63} + 8t_{72} + t_{73} + 5t_{82} + t_{83} = 14.36300 \\
7t_{11} + 6t_{12} + 4t_{13} + 7t_{22} + 2t_{23} + 17t_{32} &+ 8t_{42} + 6t_{43} \\
&+ 12t_{52} + 3t_{53} + 9t_{62} + 4t_{63} + 8t_{72} + 4t_{73} + 5t_{82} + 6t_{83} = 29.97000 \\
3t_{11} + 3t_{12} + 7t_{13} + 3t_{22} &+ 3t_{23} + 13t_{33} + 3t_{42} + 9t_{43} \\
&+ 7t_{52} + 4t_{53} + 4t_{62} + 9t_{63} + 3t_{72} + 10t_{73} + 7t_{82} + 3t_{83} = 22.71100 \\
6t_{11} + 3t_{12} + 4t_{13} + 7t_{22} + 3t_{23} + 8t_{32} + 3t_{33} + 13t_{42} \\
&+ 7t_{52} + 4t_{62} + 4t_{63} + 5t_{72} + 3t_{73} + 3t_{82} + 7t_{83} = 20.24100 \\
3t_{11} + 7t_{12} + 5t_{13} + 4t_{22} + t_{23} + 6t_{32} + 9t_{33} &+ 15t_{43} \\
&+ 9t_{52} + 6t_{53} + 6t_{62} + 9t_{63} + 4t_{72} + 10t_{73} + 7t_{82} + 3t_{83} = 29.27600 \\
7t_{11} + 5t_{12} + 11t_{13} + 8t_{22} + 2t_{23} + 12t_{32} + 7t_{33} + 7t_{42} + 9t_{43} \\
&+ 23t_{52} + 9t_{62} + 6t_{63} + 6t_{72} + 9t_{73} + 11t_{82} + 7t_{83} = 43.06100 \\
3t_{11} + 3t_{12} + t_{13} + t_{22} + t_{23} + 3t_{32} + 4t_{33} &+ 6t_{43} \\
&+ 7t_{53} + 3t_{62} + 4t_{63} + 2t_{72} + 4t_{73} + 3t_{82} + t_{83} = 12.40800 \\
6t_{11} + 5t_{12} + 5t_{13} + 2t_{22} + 6t_{23} + 9t_{32} + 4t_{33} + 4t_{42} + 6t_{43} \\
&+ 9t_{52} + 3t_{53} + 16t_{62} + 11t_{72} + 2t_{73} + 7t_{82} + t_{83} = 28.22400 \\
3t_{11} + 6t_{12} + 5t_{13} + 4t_{22} + 3t_{23} + 4t_{32} + 9t_{33} + 4t_{42} + 9t_{43} \\
&+ 6t_{52} + 4t_{53} + 14t_{63} + 2t_{72} + 12t_{73} + 5t_{82} + 4t_{83} = 22.12400 \\
4t_{11} + 5t_{12} + 5t_{13} + 2t_{22} + 8t_{23} + 8t_{32} + 3t_{33} + 5t_{42} + 4t_{43} \\
&+ 6t_{52} + 2t_{53} + 11t_{62} + 2t_{63} + 14t_{72} + 7t_{82} + 2t_{83} = 21.30000 \\
3t_{11} + 5t_{12} + 7t_{13} + 5t_{22} + t_{23} + 4t_{32} + 10t_{33} + 3t_{42} + 10t_{43} \\
&+ 9t_{52} + 4t_{53} + 2t_{62} + 12t_{63} + 15t_{73} + 6t_{82} + 4t_{83} = 25.72800 \\
3t_{11} + 3t_{12} + 11t_{13} + 4t_{22} + 5t_{23} + 5t_{32} + 7t_{33} + 3t_{42} + 7t_{43} \\
&+ 11t_{52} + 3t_{53} + 7t_{62} + 5t_{63} + 7t_{72} + 6t_{73} + 17t_{82} = 28.42200 \\
6t_{11} + 5t_{12} + 4t_{13} + 11t_{22} + t_{23} + 6t_{32} + 3t_{33} + 7t_{42} + 3t_{43} \\
&+ 7t_{52} + t_{53} + t_{62} + 4t_{63} + 2t_{72} + 4t_{73} + 15t_{83} = 24.36800
\end{aligned}
\tag{27}$$

これら8組の連立方程式から算定された解が、表-25の「与えるべき数量」欄に示された数値である。

5・3・4 労働生産性予測モデルの設計

表—25は、上述の各連立方程式から算定された解 $\{t_k^*\}$ により設計されたモノケーブル式集材作業システムにおける労働生産性の予測モデルである。上述のように、 $\{t_k^*\}$ が本表の「与えるべき数量」欄に示された数値であり、これが本集材作業システムにおける各種の作業条件に対応した労働生産性を表現するために各要因項目のカテゴリーに与えられた数値である。(15)式により説明したように、この数値を各集材線がそれぞれ反応した各要因項目のカテゴリーに荷重して加えあわせたものが、当該集材線における労働生産性の推定値になるのである。

つぎに、 $\{t_k^*\}$ を用いて重相関係数、偏相関係数、要因群偏相関係数、および偏差をそれぞれ計算し、その結果を表—25のなかに示した。その際、計算の過程として、外的基準の調査値と各要因項目相互間の内部相関係数を計算したが、8項目を含む段階の算定結果を示せば、表—26のとおりである。

表—26 モノケーブル式集材作業システムにおける内部相関行列

	Y	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
Y	1.00000	0.42884	0.52929	0.22843	0.17497	0.02634	0.10617	0.06549	-0.31566
X_1	0.42884	1.00000	0.32417	-0.19204	-0.03979	-0.06726	-0.16701	0.00896	-0.69389
X_2	0.52929	0.32417	1.00000	-0.03908	0.11409	0.02138	0.03836	0.02450	-0.47058
X_3	0.22843	-0.19204	-0.03908	1.00000	0.07408	-0.03846	0.17010	-0.03211	0.04988
X_4	0.17497	-0.03979	0.11409	0.07408	1.00000	-0.36603	-0.49631	0.29429	-0.09774
X_5	0.02634	-0.06726	0.02138	-0.03846	-0.36603	1.00000	0.26075	-0.56658	0.04418
X_6	0.10617	-0.16701	0.03836	0.17010	-0.49631	0.26075	1.00000	-0.34987	0.34254
X_7	0.06549	0.00896	0.02450	-0.03211	0.29429	-0.56658	-0.34987	1.00000	-0.05061
X_8	-0.31566	-0.69389	-0.47058	0.04988	-0.09774	0.04418	0.34254	-0.05061	1.00000

表—25により示される労働生産性の予測モデルにおいては、要因項目および要因項目コードを偏相関係数の大きい項目順に配列しなおし、労働生産性の推定精度と要因群の影響のしかたを各段階ごとに比較検討できるようにした。

5・3・5 労働生産性の調査値と推定値の対応

労働生産性の調査値 Y_i と予測モデルから求めた推定値 \hat{Y}_i の対応関係を、8要因項目を含む段階の検討結果について示せば、表—27のとおりである。本表には \hat{Y}_i の Y_i に対する適合性を検討するため、 $Y_i - \hat{Y}_i$ の平均値と標準偏差、 Y_i と \hat{Y}_i の相関係数が計算されているが、この相関係数は、表—25の重相関係数と同値になるべきものであり、要因項目を逐次1項目ずつおとしていった各段階においても同様のことがいえるのである。

表-27 モノケーブル式集材作業システムにおける労働生産性の調査値と推定値の対応

調査対象集材線 番号 No.	Y	\hat{Y}	$Y - \hat{Y}$
1	1.46000	1.24988	0.21012
2	2.12000	2.16293	-0.04293
3	3.56300	2.19574	1.36726
4	1.84900	2.00148	-0.15248
5	2.06700	1.86256	0.20444
6	1.61400	1.45151	0.16249
7	2.08600	1.83013	0.25587
8	1.70800	1.69520	0.01280
9	1.31300	2.00757	-0.69457
10	1.77500	2.35184	-0.57684
11	2.31700	2.00079	0.31621
12	1.63000	1.56724	0.06276
13	2.09000	1.79455	0.29545
14	0.73700	1.01249	-0.27549
15	1.40900	2.12878	-0.71978
16	1.33700	1.54307	-0.20607
17	1.66200	1.46535	0.19665
18	1.67100	1.72030	-0.04930
19	1.75500	1.46535	0.28965
20	1.76100	2.04735	-0.28635
21	1.47100	1.67835	-0.20735
22	1.31100	1.66560	-0.35460
23	1.41700	1.36300	0.05400
24	1.62000	1.74653	-0.12653
25	1.68100	2.00148	-0.32048
26	2.85200	2.08834	0.76366
27	2.04000	1.78232	0.25768
28	1.70200	1.65837	0.04363
29	1.90500	1.97700	-0.07200
30	1.05900	0.94344	0.11556
31	1.20300	0.93758	0.26542
32	1.09300	1.10733	-0.01433
33	0.96900	0.95555	0.01345
34	1.12700	1.36228	-0.23528
35	1.13300	1.04638	0.08662
36	0.98200	1.04094	-0.05894
37	0.79500	1.31844	-0.52344
38	1.75400	1.60262	0.15138
39	2.72400	2.31432	0.40968
40	1.18300	1.40440	-0.22140
41	1.15900	1.41269	-0.25369
42	1.11200	1.44809	-0.33609
43	1.41700	1.38292	0.03408
44	2.22000	2.13124	0.08876
45	1.60400	1.98795	-0.38395
46	1.48100	1.02656	0.45444
	$Y - \hat{Y}$ の平均値 = 0.000004		
	$Y - \hat{Y}$ の標準偏差 = 0.36338		
	相関係数 = 0.738		

第6章 トラクタ集材作業システムの要因分析

6・1 要因分析の考え方

本要因分析は、外的基準があり、それが数量で与えられている場合の数量化の方法を応用して、トラクタ集材作業システムにおける集材作業の労働生産性とこれに関与する諸要因との相互関係を解析し、集材作業システムを最適化するための作業研究手法に対する理論づけと合理的な集材作業計画の立案を目的とした労働生産性の予測モデルを設計するために行うものである。

そこで、第2章で行った考察を基に上記の解析目的をより効果的なものとするため、本集材作業システムの特性をさらに集材作業の実体に即して検討した結果、外的基準としての集材作業の労働生産性に関与する諸要因項目、すなわち各種の作業条件因子として、① 集材作業地域の地形指数、② 集材対象林分の立木密度 (ha 当たり立木本数)、③ 1 集材区域当たりの集材面積、④ 1 集材区域当たりの集材材積、⑤ 集材木1本当たりの平均材積、⑥ 平均実集材斜距離、⑦ トラクタ集材路密度 (ha 当たり延長)、⑧ 作業時期 (夏山、冬山)、⑨ トラクタの機種、⑩ 作業班の構成 (1 集材区域内で同時に稼働したトラクタの台数) の10項目を取りあげ、次節に示すこれらの調査結果を用いて解析を行うこととした。

6・2 労働生産性と作業条件の調査結果

調査対象として選定した42集材区域におけるトラクタ集材作業の労働生産性と前節で述べた10要因項目によりあらわされる作業条件の調査結果を取りまとめると、表-28に示すとおりである。

6・3 要因分析の手順と解析結果

表-28に示された調査結果に対して、第4章4・3で述べた手順で要因分析を行うこととした。以下、その手順にしたがって解析結果を説明する。

6・3・1 外的基準と要因項目・カテゴリーの分類

本要因分析における外的基準としての労働生産性は、調査対象とした1集材区域ごとのトラクタ集材作業およびトラクタ集材路作設作業からなる1集材作業単位における1人工当たりの集材作業量であらわしたものである。この労働生産性に関与する要因項目として前述の10項目を取りあげ、これらの要因項目を解析目的に対する妥当性と実用的見地から、さらにそれぞれ2～3の要因カテゴリーに区分することとした。カテゴリーの区分方法は、① 集材作業地域の地形指数から⑦ トラクタ集材路密度までの7項目については第4章4・3・1で説明したのと同じ考え方により行うこととし、⑧ 作業時期から⑩ 作業班の構成までの3項目については作業実態により行うこととした。したがって、本要因分析における要因項目・カテゴリーの分類基準は、表-29に示すように10項目・29カテゴリーとなる。

6・3・2 反応パターン表とクロス集計表の作成

上述の分類基準により、表-28に示す調査結果から反応パターン表を作成し、これを解析データとした。表-30はこの反応パターンを示したものである。

表-28 トラクタ集材作業システムにおける労働生産性と作業条件

調査対象 集材区域 番号 No.	調査場所 (事業区・ 林小班)	労働 生産性 (m³/ 人工)	作 業 条 件							作業班 (台/ 区域)		
			地形 指数 (%)	立木 密度 (本/ ha)	集材 面積 (ha)	集材 材積 (m³)	集材木1 本当たり 平均材積 (m³/本)	平均実 集材斜 距離 (m)	トラク タ集材 路密度 (m/ha)		作業 時期	トラクタ 機 種
1	足 寄・107い	6.144	54	1,663	24.07	1,069.000	1.186	591	130	夏山	クローラタイプ	2
2	〃 ・108い	8.751	53	2,054	38.62	2,984.000	1.668	454	161	冬山	込 タイプ	2
3	〃 ・97に	7.444	60	2,242	13.69	923.000	1.789	238	143	〃	〃	2
4	弟子屈・165い	14.409	32	569	11.06	1,419.250	2.028	170	50	夏山	ホイールタイプ	1
5	〃 ・233ほ	8.474	31	1,153	7.50	580.450	1.447	240	100	〃	〃	2
6	〃 ・234わ	8.747	17	943	8.50	787.240	1.211	280	100	冬山	〃	2
7	新 得・80い 81は	11.250	29	407	19.00	1,777.484	1.767	360	155	〃	クローラタイプ	1
8	〃 ・150は	6.755	38	750	25.00	1,661.653	1.375	530	130	夏山	〃	2
9	阿 寒・63は	4.156	76	641	9.43	187.000	1.100	503	115	〃	ホイールタイプ	2
10	〃 ・63ほ	4.476	59	641	13.69	376.000	1.119	486	120	冬山	〃	2
11	〃 ・46ろ	3.483	69	742	14.31	202.000	1.069	328	115	夏山	〃	2
12	〃 ・46い	4.614	49	742	15.87	526.000	1.069	406	120	冬山	〃	2
13	〃 ・48ろ	4.842	56	637	13.50	2,242.000	0.990	586	115	夏山	〃	2
14	〃 ・48は	6.393	56	637	9.37	569.000	0.990	411	120	冬山	〃	2
15	〃 ・50と	6.013	58	596	19.06	1,383.000	1.145	505	101	夏山	〃	2
16	〃 ・50へ	7.287	70	596	15.75	736.000	1.145	545	121	冬山	〃	2
17	恵 庭・385は	12.183	26	626	16.18	584.799	1.065	195	69	夏山	〃	1
18	鶴 川・138い	8.151	58	529	6.31	684.681	1.611	175	197	〃	〃	1
19	〃 ・ 〃	12.111	57	454	10.67	1,535.106	1.323	232	127	〃	〃	1
20	〃 ・80い	8.878	64	547	10.63	856.746	0.941	232	109	〃	〃	1
21	〃 ・ 〃	9.967	45	512	16.31	1,754.215	1.112	300	121	〃	〃	1
22	浦 河・194い	8.957	82	158	10.00	571.014	1.100	150	32	〃	クローラタイプ	1
23	〃 ・196へ	7.431	72	598	2.10	122.616	1.200	130	119	冬山	〃	1
24	新 冠・137い	8.980	76	293	13.27	341.250	1.189	350	111	夏山	〃	1
25	〃 ・ 〃	13.611	93	272	8.50	490.000	1.201	100	88	〃	〃	1
26	〃 ・136い	11.650	110	365	12.11	600.000	2.069	200	45	〃	〃	1
27	〃 ・ 〃	12.913	96	837	35.80	1,640.000	1.404	210	50	〃	〃	1
28	〃 ・ 〃	10.198	97	348	9.77	902.500	1.766	310	107	〃	〃	1
29	厚 賀・101い	8.571	40	519	19.93	1,028.571	0.634	214	42	冬山	〃	1
30	振 内・22い	9.576	69	602	4.00	536.250	0.560	240	80	〃	〃	2
31	〃 ・ 〃	11.558	60	386	7.75	1,271.429	1.097	120	98	〃	〃	3
32	〃 ・ 〃	10.326	36	530	1.20	475.000	0.733	25	83	〃	〃	2
33	〃 ・ 〃	10.952	28	530	3.39	460.000	0.733	50	91	〃	〃	3
34	日 高・74い	8.363	32	370	12.53	543.588	1.376	100	114	夏山	〃	2
35	〃 ・73い	10.539	43	700	23.12	1,222.506	1.749	150	79	〃	〃	2
36	〃 ・74い	9.663	66	530	28.90	1,836.004	2.627	300	153	〃	〃	2
37	〃 ・80い	9.196	53	471	47.06	2,616.165	2.850	460	80	〃	〃	2
38	上芦別・167は	8.472	60	774	17.00	1,364.000	1.290	300	118	〃	〃	1
39	〃 ・24は	5.165	71	677	12.88	625.000	1.471	345	97	冬山	〃	1
40	〃 ・214い	8.043	52	476	5.95	370.000	1.737	450	118	夏山	〃	1
41	〃 ・26へ	5.820	60	641	13.31	774.000	0.808	400	98	冬山	〃	1
42	芦 別・408に	9.161	81	339	5.75	495.859	1.295	225	183	夏山	〃	1
		8.659	58	669	14.59	979.152	1.334	300	107			
		3.483~	17~	158~	1.20~	122.616~	0.560~	25~	32~			
		14.409	110	2,242	47.06	2,984.000	2.850	591	197			

* 最下欄の上段は平均値を、下段は最小値と最大値をあらわす。

表-29 トラクタ集材作業システムにおける要因項目と要因カテゴリーの分類

要 因 項 目	要因項目 コード	要因カテゴリー	要因カテゴリー コード
地 形 指 数	X_1	～ 49%	1
		50 ～ 66	2
		67 ～	3
立 木 密 度	X_2	～ 492本/ha	1
		493 ～ 845	2
		846 ～	3
集 材 面 積	X_3	～ 10.52ha	1
		10.53 ～ 18.65	2
		18.66 ～	3
集 材 材 積	X_4	～ 697.652 m ³	1
		697.653 ～ 1,260.651	2
		1,260.652 ～	3
集材木1本当たり平均 材積	X_5	～ 1.132 m ³ /本	1
		1.133 ～ 1.535	2
		1.536 ～	3
平 均 実 集 材 斜 距 離	X_6	～ 236m	1
		237 ～ 363	2
		364 ～	3
トラクタ集材路密度	X_7	～ 92m/ha	1
		93 ～ 121	2
		122 ～	3
作 業 時 期	X_8	夏 山	1
		冬 山	2
ト ラ ク タ 機 種	X_9	クローラタイプ	1
		ホイールタイプ	2
		込 タイプ	3
作 業 班	X_{10}	トラクタ1台セット	1
		トラクタ2台セット	2
		トラクタ3台セット	3

つぎに、この反応パターン表から (14) 式によりあらわされる連立方程式をつくるため、各要因項目・カテゴリー間のクロス集計を行い、クロス集計表を作成した。その結果は、表-31 に示すとおりであり、これが求める連立方程式の係数行列をあらわすものである。

6・3・3 連立方程式と解の算定

表-31 に示す係数行列から求めるべき連立方程式をつくった。この連立方程式は10要因項目を含むものから1要因項目のみを含むものまで10段階・10組の式がつけられ、それぞれの解を算定したが、ここでは10要因項目を含む段階の連立方程式、すなわち20元からなり (28) 式によって

表-30 トラクタ集材作業システムにおける反応パターン

調査対象 集材区域 番号 No.	労働生産性 Y	X ₁			X ₂			X ₃			X ₄			X ₅			X ₆			X ₇			X ₈			X ₉			X ₁₀		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	6.14400	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓						✓			
2	8.75100	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
3	7.44400	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
4	14.40900	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
5	8.47400	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
6	8.74700	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
7	11.25000	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
8	6.75500	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
9	4.15600		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
10	4.47600		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
11	3.48300			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
12	4.61400	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
13	4.84200		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
14	6.39300		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
15	6.01300		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
16	7.28700			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
17	12.18300	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
18	8.15100		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
19	12.11100		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
20	8.87800		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
21	9.96700	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
22	8.95700			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
23	7.43100			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
24	8.98000			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
25	13.61100			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
26	11.65000			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
27	12.91300			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
28	10.19800			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
29	8.57100	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
30	9.57600			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
31	11.55800		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
32	10.32600	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
33	10.95200	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
34	8.36300	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
35	10.53900	✓				✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
36	9.66300		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
37	9.19600		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
38	8.47200		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
39	5.16500			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
40	8.04300		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
41	5.82000		✓			✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
42	9.16100			✓		✓			✓		✓			✓				✓		✓		✓					✓			✓	
合計	363.67300	13	16	13	12	25	5	15	17	10	20	9	13	16	15	11	17	12	13	12	21	9	26	16	24	16	2	20	20	2	

表-31 トラクタ集材作業システムにおけるクロス集計

		X_1			X_2			X_3			X_4			X_5			X_6			X_7			X_8		X_9			X_{10}			t_{jk}	$\sum_{i=1}^{48} Y_i \delta_i(l, m)$
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1	2	1	2	3	1	2	3			
X_1	1	13	0	0	2	9	2	4	5	4	6	3	4	6	4	3	7	4	2	6	5	2	7	6	7	6	0	5	7	1	t_{11}	125.15000
	2	0	16	0	4	9	3	4	7	5	4	4	8	6	4	6	4	3	9	1	9	6	10	6	7	7	2	6	9	1	t_{12}	125.95500
	3	0	0	13	6	7	0	7	5	1	10	2	1	4	7	2	6	5	2	5	7	1	9	4	10	3	0	9	4	0	t_{13}	112.56800
X_2	1	2	4	6	12	0	0	6	4	2	7	1	4	2	5	5	7	3	2	4	5	3	10	2	11	1	0	9	2	1	t_{21}	123.07800
	2	9	9	7	0	25	0	7	12	6	12	5	8	14	7	4	10	6	9	8	14	3	14	11	12	13	0	11	13	1	t_{22}	201.03500
	3	2	3	0	0	0	5	2	1	2	1	3	1	0	3	2	0	3	2	0	2	3	2	3	1	2	2	0	5	0	t_{23}	39.56000
X_3	1	4	4	7	6	7	2	15	0	0	12	2	1	7	5	3	8	4	3	5	8	2	8	7	10	5	0	7	6	2	t_{31}	135.73400
	2	5	7	5	4	12	1	0	17	0	8	4	5	8	6	3	6	6	5	3	12	2	11	6	6	10	1	10	7	0	t_{32}	138.14400
	3	4	5	1	2	6	2	0	0	10	0	3	7	1	4	5	3	2	5	4	1	5	7	3	8	1	1	3	7	0	t_{33}	89.79500
X_4	1	6	4	10	7	12	1	12	8	0	20	0	0	10	7	3	10	5	5	7	11	2	12	8	12	8	0	10	9	1	t_{41}	164.14500
	2	3	4	2	1	5	3	2	4	3	0	9	0	3	3	3	3	3	3	2	5	2	4	5	5	3	1	4	5	0	t_{42}	73.62800
	3	4	8	1	4	8	1	1	5	7	0	0	13	3	5	5	4	4	5	3	5	5	10	3	7	5	1	6	6	1	t_{43}	125.90000
X_5	1	6	6	4	2	14	0	7	8	1	10	3	3	16	0	0	7	3	6	6	10	0	7	9	7	9	0	6	8	2	t_{51}	124.75200
	2	4	4	7	5	7	3	5	6	4	7	3	5	0	15	0	6	5	4	2	9	4	11	4	10	5	0	8	7	0	t_{52}	129.62700
	3	3	6	2	5	4	2	3	3	5	3	3	5	0	0	11	4	4	3	4	2	5	8	3	7	2	2	6	5	0	t_{53}	109.29400
X_6	1	7	4	6	7	10	0	8	6	3	10	3	4	7	6	4	17	0	0	10	4	3	12	5	12	5	0	12	3	2	t_{61}	179.76400
	2	4	3	5	3	6	3	4	6	2	5	3	4	3	5	4	0	12	0	1	8	3	7	5	7	4	1	6	6	0	t_{62}	101.41900
	3	2	9	2	2	9	2	3	5	5	5	3	5	6	4	3	0	0	13	1	9	3	7	6	5	7	1	2	11	0	t_{63}	82.49000
X_7	1	6	1	5	4	8	0	5	3	4	7	2	3	6	2	4	10	1	1	12	0	0	8	4	10	2	0	7	4	1	t_{71}	132.88300
	2	5	9	7	5	14	2	8	12	1	11	5	5	10	9	2	4	8	9	0	21	0	12	9	9	12	0	9	11	1	t_{72}	151.36000
	3	2	6	1	3	3	3	2	2	5	2	2	5	0	4	5	3	3	3	0	0	9	6	3	5	2	2	4	5	0	t_{73}	79.43000
X_8	1	7	10	9	10	14	2	8	11	7	12	4	10	7	11	8	12	7	7	8	12	6	26	0	15	11	0	15	11	0	t_{81}	235.31200
	2	6	6	4	2	11	3	7	6	3	8	5	3	9	4	3	5	5	6	4	9	3	0	16	9	5	2	5	9	2	t_{82}	128.36100
X_9	1	7	7	10	11	12	1	10	6	8	12	5	7	7	10	7	12	7	5	10	9	5	15	9	24	0	0	14	8	2	t_{91}	223.29400
	2	6	7	3	1	13	2	5	10	1	8	3	5	9	5	2	5	4	7	2	12	2	11	5	0	16	0	6	10	0	t_{92}	124.18400
	3	0	2	0	0	0	2	0	1	1	0	1	1	0	0	2	0	1	1	0	0	2	0	2	0	0	2	0	0	2	t_{93}	16.19500
X_{10}	1	5	6	9	9	11	0	7	10	3	10	4	6	6	8	6	12	6	2	7	9	4	15	5	14	6	0	20	0	0	t_{101}	195.92100
	2	7	9	4	2	13	5	6	7	7	9	5	6	8	7	5	3	6	11	4	11	5	11	9	8	10	2	0	20	0	t_{102}	145.24200
	3	1	1	0	1	1	0	2	0	0	1	0	1	2	0	0	2	0	0	1	1	0	0	2	2	0	0	0	0	2	t_{103}	22.51000

表-32 トラクタ集材作業システムに

要因項目 X_j	要因カテゴリー C_{jk}	外的基準 $\sum_{i=1}^n Y_i \delta_i(j, k)$	反応数 n_{jk}	与える			
				X_1	$X_1 \sim X_2$	$X_1 \sim X_3$	$X_1 \sim X_4$
トラクタ 集材路密 度 X_1	～ 92 m/ha	132.88300	12	11.07358	10.61223	9.92097	10.24845
	93～121	151.36000	21	7.20762	6.74183	6.06168	8.10814
	122～	79.43000	9	8.82556	7.84965	6.47567	7.99102
集材材積 X_2	～697.652 m ³	164.14500	20		0.00000	0.00000	0.00000
	697.653～1,260.651	73.62800	9		0.33279	0.14527	0.39029
	1,260.652～	125.90000	13		1.62353	1.39119	1.90005
集材木1 本当たり 平均材積 X_3	～1.132 m ³ /本	124.75200	16			0.00000	0.00000
	1.133～1.535	129.62700	15			1.46237	0.95854
	1.536～	109.29400	11			1.61061	1.58785
平均実集 材斜距離 X_4	～236 m	179.76400	17				0.00000
	237～363	101.41900	12				-1.46522
	364～	82.49000	13				-3.38257
立木密度 X_5	～492 本/ha	123.07800	12				
	493～845	201.03500	25				
	846～	39.56000	5				
集材面積 X_6	～10.52 ha	135.73400	15				
	10.53～18.65	138.14400	17				
	18.66～	89.79500	10				
作業班 X_7	トラクタ1台セット	195.92100	20				
	トラクタ2台セット	145.24200	20				
	トラクタ3台セット	22.51000	2				
地形指数 X_8	～49 %	125.15000	13				
	50～66	125.95500	16				
	67～	112.56800	13				
トラクタ 機種 X_9	クローラタイプ	223.29400	24				
	ホイールタイプ	124.18400	16				
	込タイプ	16.19500	2				
作業時期 X_{10}	夏山	235.31200	26				
	冬山	128.36100	16				
重相関係数 $\rho_{r:1,2,\dots,M}$				0.633**	0.685**	0.731**	0.863**
要因群偏相関係数 ρ_s					0.338	0.350	0.672

** または * 印は、1 % または 5 % 水準で有意であることを示す。

おける労働生産性の予測モデル

ベ き 数 量						$X_1 \sim X_{10}$				
$X_1 \sim X_5$	$X_1 \sim X_6$	$X_1 \sim X_7$	$X_1 \sim X_8$	$X_1 \sim X_9$	$X_1 \sim X_{10}$	偏相関係数 $\rho_{Y, j: 1, 2, \dots, M}$	平 均 値 \bar{t}_j	偏 差 d_{jk}		
11.31787 9.07541 8.86503	11.42777 8.46365 8.85673	11.41626 8.37848 8.77738	12.07465 9.00484 9.52978	12.02434 8.65889 9.24447	11.92297 8.55396 9.13685	0.772**	9.64144	2.28153 −1.08748 −0.50459		
0.00000 0.54809 2.10137	0.00000 1.19785 2.91001	0.00000 1.02200 2.66916	0.00000 1.06256 2.59527	0.00000 1.10805 2.29288	0.00000 1.07122 2.33152			0.606**	0.95121	−0.95121 0.12001 1.38031
0.00000 0.51732 0.95681	0.00000 0.91672 1.23839	0.00000 0.95490 1.27052	0.00000 1.12855 1.34185	0.00000 1.38260 1.35185	0.00000 1.39548 1.40637					0.493**
0.00000 −1.37007 −3.18971	0.00000 −1.09335 −2.55755	0.00000 −0.84135 −2.06583	0.00000 −0.64425 −1.69308	0.00000 −0.31395 −1.57078	0.00000 −0.36892 −1.64290	0.458**	−0.61392			
0.00000 −1.32922 −0.38149	0.00000 −1.05163 −0.51226	0.00000 −0.85519 −0.02387	0.00000 −0.98817 −0.42111	0.00000 −1.24450 −1.14613	0.00000 −1.29302 −1.10522			0.416*	−0.90123	
	0.00000 −0.67609 −2.01770	0.00000 −0.60137 −1.75778	0.00000 −0.72202 −2.02782	0.00000 −0.84335 −1.67195	0.00000 −0.80753 −1.62768					0.391*
		0.00000 −0.75558 0.45065	0.00000 −0.90593 0.27162	0.00000 −1.04025 0.70637	0.00000 −1.03138 0.57697	0.385*	−0.46366			
			0.00000 −0.71983 −0.99128	0.00000 −0.63434 −1.00641	0.00000 −0.58629 −0.95166			0.328	−0.51792	
				0.00000 0.75151 0.82147	0.00000 0.79123 0.58586					0.287
					0.00000 0.21347	0.093	0.08132			
0.887**	0.906**	0.913**	0.923**	0.927**	0.927**					
0.406	0.400	0.267	0.332	0.224	0.000					

あらわされる1組の式だけを示し、他の式は省略することとした。

$$\begin{aligned}
 &13t_{11} + 9t_{22} + 2t_{23} + 5t_{32} + 4t_{33} + 3t_{42} + 4t_{43} + 4t_{52} + 3t_{53} \\
 &+ 4t_{62} + 2t_{63} + 5t_{72} + 2t_{73} + 6t_{82} + 6t_{92} + 7t_{102} + t_{103} = 125.15000 \\
 &16t_{12} + 9t_{22} + 3t_{23} + 7t_{32} + 5t_{33} + 4t_{42} + 8t_{43} + 4t_{52} + 6t_{53} \\
 &+ 3t_{62} + 9t_{63} + 9t_{72} + 6t_{73} + 6t_{82} + 7t_{92} + 2t_{93} + 9t_{102} + t_{103} = 125.95500 \\
 &13t_{13} + 7t_{22} + 5t_{32} + t_{33} + 2t_{42} + t_{43} + 7t_{52} + 2t_{53} \\
 &+ 5t_{62} + 2t_{63} + 7t_{72} + t_{73} + 4t_{82} + 3t_{92} + 4t_{102} = 112.56800 \\
 &9t_{11} + 9t_{12} + 7t_{13} + 25t_{22} + 12t_{32} + 6t_{33} + 5t_{42} + 8t_{43} + 7t_{52} + 4t_{53} \\
 &+ 6t_{62} + 9t_{63} + 14t_{72} + 3t_{73} + 11t_{82} + 13t_{92} + 13t_{102} + t_{103} = 201.03500 \\
 &2t_{11} + 3t_{12} + 5t_{23} + t_{32} + 2t_{33} + 3t_{42} + t_{43} + 3t_{52} + 2t_{53} \\
 &+ 3t_{62} + 2t_{63} + 2t_{72} + 3t_{73} + 3t_{82} + 2t_{92} + 2t_{93} + 5t_{102} = 39.56000 \\
 &5t_{11} + 7t_{12} + 5t_{13} + 12t_{22} + t_{23} + 17t_{32} + 4t_{42} + 5t_{43} + 6t_{52} + 3t_{53} \\
 &+ 6t_{62} + 5t_{63} + 12t_{72} + 2t_{73} + 6t_{82} + 10t_{92} + t_{93} + 7t_{102} = 138.14400 \\
 &4t_{11} + 5t_{12} + t_{13} + 6t_{22} + 2t_{23} + 10t_{33} + 3t_{42} + 7t_{43} + 4t_{52} + 5t_{53} \\
 &+ 2t_{62} + 5t_{63} + t_{72} + 5t_{73} + 3t_{82} + t_{92} + t_{93} + 7t_{102} = 89.79500 \\
 &3t_{11} + 4t_{12} + 2t_{13} + 5t_{22} + 3t_{23} + 4t_{32} + 3t_{33} + 9t_{42} + 3t_{52} + 3t_{53} \\
 &+ 3t_{62} + 3t_{63} + 5t_{72} + 2t_{73} + 5t_{82} + 3t_{92} + t_{93} + 5t_{102} = 73.62800 \\
 &4t_{11} + 8t_{12} + t_{13} + 8t_{22} + t_{23} + 5t_{32} + 7t_{33} + 13t_{43} + 5t_{52} + 5t_{53} \\
 &+ 4t_{62} + 5t_{63} + 5t_{72} + 5t_{73} + 3t_{82} + 5t_{92} + t_{93} + 6t_{102} + t_{103} = 125.90000 \\
 &4t_{11} + 4t_{12} + 7t_{13} + 7t_{22} + 3t_{23} + 6t_{32} + 4t_{33} + 3t_{42} + 5t_{43} + 15t_{52} \\
 &+ 5t_{62} + 4t_{63} + 9t_{72} + 4t_{73} + 4t_{82} + 5t_{92} + 7t_{102} = 129.62700 \\
 &3t_{11} + 6t_{12} + 2t_{13} + 4t_{22} + 2t_{23} + 3t_{32} + 5t_{33} + 3t_{42} + 5t_{43} + 11t_{53} \\
 &+ 4t_{62} + 3t_{63} + 2t_{72} + 5t_{73} + 3t_{82} + 2t_{92} + 2t_{93} + 5t_{102} = 109.29400 \\
 &4t_{11} + 3t_{12} + 5t_{13} + 6t_{22} + 3t_{23} + 6t_{32} + 2t_{33} + 3t_{42} + 4t_{43} + 5t_{52} + 4t_{53} \\
 &+ 12t_{62} + 8t_{72} + 3t_{73} + 5t_{82} + 4t_{92} + t_{93} + 6t_{102} = 101.41900
 \end{aligned} \tag{28}$$

表-33 トラクタ集材作業システム

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Y	1.00000	0.61544	0.23885	0.26034	0.65120
X ₁	0.61544	1.00000	-0.07444	-0.09300	0.41013
X ₂	0.23885	-0.07444	1.00000	0.24369	-0.15120
X ₃	0.26034	-0.09300	0.24369	1.00000	0.07927
X ₄	0.65120	0.41013	-0.15120	0.07927	1.00000
X ₅	0.38361	0.06031	-0.04792	0.31572	0.21194
X ₆	0.03084	-0.08288	-0.61220	-0.26512	0.24895
X ₇	0.52354	0.18279	-0.00354	-0.02837	0.54595
X ₈	0.17801	0.13121	0.18576	-0.12404	0.07552
X ₉	-0.28667	-0.34534	0.03712	-0.23740	-0.26066
X ₁₀	-0.19126	-0.07289	-0.13899	-0.29320	-0.13065

$$\begin{aligned}
& 2t_{11} + 9t_{12} + 2t_{13} + 9t_{22} + 2t_{23} + 5t_{32} + 5t_{33} + 3t_{42} + 5t_{43} + 4t_{52} + 3t_{53} \\
& \quad + 13t_{63} + 9t_{72} + 3t_{73} + 6t_{82} + 7t_{92} + t_{93} + 11t_{102} = 82.49000 \\
& 5t_{11} + 9t_{12} + 7t_{13} + 14t_{22} + 2t_{23} + 12t_{32} + t_{33} + 5t_{42} + 5t_{43} + 9t_{52} + 2t_{53} \\
& \quad + 8t_{62} + 9t_{63} + 21t_{72} + 9t_{82} + 12t_{92} + 11t_{102} + t_{103} = 151.36000 \\
& 2t_{11} + 6t_{12} + t_{13} + 3t_{22} + 3t_{23} + 2t_{32} + 5t_{33} + 2t_{42} + 5t_{43} + 4t_{52} + 5t_{53} \\
& \quad + 3t_{62} + 3t_{63} + 9t_{73} + 3t_{82} + 2t_{92} + 2t_{93} + 5t_{102} = 79.43000 \\
& 6t_{11} + 6t_{12} + 4t_{13} + 11t_{22} + 3t_{23} + 6t_{32} + 3t_{33} + 5t_{42} + 3t_{43} + 4t_{52} + 3t_{53} \\
& \quad + 5t_{62} + 6t_{63} + 9t_{72} + 3t_{73} + 16t_{82} + 5t_{92} + 2t_{93} + 9t_{102} + 2t_{103} = 128.36100 \\
& 6t_{11} + 7t_{12} + 3t_{13} + 13t_{22} + 2t_{23} + 10t_{32} + t_{33} + 3t_{42} + 5t_{43} + 5t_{52} + 2t_{53} \\
& \quad + 4t_{62} + 7t_{63} + 12t_{72} + 2t_{73} + 5t_{82} + 16t_{92} + 10t_{102} = 124.18400 \\
& \quad 2t_{12} + 2t_{23} + t_{32} + t_{33} + t_{42} + t_{43} + 2t_{53} \\
& \quad + t_{62} + t_{63} + 2t_{73} + 2t_{82} + 2t_{93} + 2t_{102} = 16.19500 \\
& 7t_{11} + 9t_{12} + 4t_{13} + 13t_{22} + 5t_{23} + 7t_{32} + 7t_{33} + 5t_{42} + 6t_{43} + 7t_{52} + 5t_{53} \\
& \quad + 6t_{62} + 11t_{63} + 11t_{72} + 5t_{73} + 9t_{82} + 10t_{92} + 2t_{93} + 20t_{102} = 145.24200 \\
& t_{11} + t_{12} + t_{22} + t_{43} \\
& \quad + t_{72} + 2t_{82} + 2t_{103} = 22.51000
\end{aligned}$$

これら10組の連立方程式から算定された解が、表-32の「与えるべき数量」欄に示された数値である。

6・3・4 労働生産性予測モデルの設計

表-32は、上述の各連立方程式から算定された解 $\{t_k^*\}$ により設計されたトラクタ集材作業システムにおける労働生産性の予測モデルである。上述のように、 $\{t_k^*\}$ が本表の「与えるべき数量」欄に示された数値であり、これが本集材作業システムにおける各種の作業条件に対応した労働生産性を表現するために各要因項目のカテゴリーに与えられた数値である。(15)式により説明したように、この数値を各集材区域がそれぞれ反応した各要因項目のカテゴリーに荷重して加

における内部相関行列

X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
0.38361	0.03084	0.52354	0.17801	-0.28667	-0.19126
0.06031	-0.08288	0.18279	0.13121	-0.34534	-0.07289
-0.04792	-0.61220	-0.00354	0.18576	0.03712	-0.13899
0.31572	-0.26512	-0.02837	-0.12404	-0.23740	-0.29320
0.21194	0.24895	0.54595	0.07552	-0.26066	-0.13065
1.00000	0.17469	0.35520	-0.24426	-0.42120	-0.26690
0.17469	1.00000	0.25416	-0.20945	0.07801	0.13459
0.35520	0.25416	1.00000	-0.11986	-0.33177	-0.06279
-0.24426	-0.20945	-0.11986	1.00000	0.15965	0.12470
-0.42120	0.07801	-0.33177	0.15965	1.00000	-0.01808
-0.26690	0.13459	-0.06279	0.12470	-0.01808	1.00000

表-34 トラクタ集材作業システムにおける労働生産性の調査値と推定値の対応

調査対象集材区 域番号 No.	Y	\hat{Y}	$Y - \hat{Y}$
1	6.14400	5.61008	0.53392
2	8.75100	7.68060	1.07040
3	7.44400	8.51443	-1.07043
4	14.40900	14.35154	0.05746
5	8.47400	8.23515	0.23885
6	8.74700	9.51984	-0.77284
7	11.25000	11.09161	0.15839
8	6.75500	7.26887	-0.51387
9	4.15600	4.42623	-0.27023
10	4.47600	4.19754	0.27846
11	3.48300	4.89268	-1.40968
12	4.61400	4.78383	-0.16983
13	4.84200	6.31559	-1.47359
14	6.39300	5.00507	1.38793
15	6.01300	6.89092	-0.87792
16	7.28700	6.29887	0.98813
17	12.18300	10.61365	1.56935
18	8.15100	9.45514	-1.30414
19	12.11100	12.26126	-0.15026
20	8.87800	7.72957	1.14843
21	9.96700	9.20724	0.75976
22	8.95700	10.97131	-2.01431
23	7.43100	7.91823	-0.48723
24	8.98000	7.82133	1.15867
25	13.61100	12.36679	1.24421
26	11.65000	11.57015	0.07985
27	12.91300	11.77761	1.13539
28	10.19800	9.71097	0.48703
29	8.57100	10.28696	-1.71596
30	9.57600	8.49146	1.08454
31	11.55800	11.08963	0.46837
32	10.32600	9.81204	0.51396
33	10.95200	11.42039	-0.46839
34	8.36300	8.11053	0.25247
35	10.53900	10.44848	0.09052
36	9.66300	7.96745	1.69555
37	9.19600	10.77261	-1.57661
38	8.47200	9.22520	-0.75320
39	5.16500	6.74178	-1.57678
40	8.04300	7.73114	0.31186
41	5.82000	5.50891	0.31109
42	9.16100	9.58067	-0.41967
	$Y - \hat{Y}$ の平均値 = -0.00001		
	$Y - \hat{Y}$ の標準偏差 = 0.97609		
	相関係数 = 0.927		

えあわせたものが、当該集材区域における労働生産性の推定値になるのである。

つぎに、 $\{x_k\}$ を用いて重相関係数、偏相関係数、要因群偏相関係数、および偏差をそれぞれ計算し、その結果を表-32のなかに示した。その際、計算の過程として、外的基準の調査値と各要因項目相互間の内部相関係数を計算したが、10項目を含む段階の算定結果を示せば、表-33のとおりである。

表-32により示される労働生産性の予測モデルにおいては、要因項目および要因項目コードを偏相関係数の大きい項目順に配列しなおし、労働生産性の推定精度と要因群の影響のしかたを各段階ごとに比較検討できるようにした。

6・3・5 労働生産性の調査値と推定値の対応

労働生産性の調査値 Y_i と予測モデルから求めた推定値 \hat{Y}_i の対応関係を、10要因項目を含む段階の検討結果について示せば、表-34のとおりである。本表には \hat{Y}_i の Y_i に対する適合性を検討するため、 $Y_i - \hat{Y}_i$ の平均値と標準偏差、 Y_i と \hat{Y}_i の相関係数が計算されているが、この相関係数は、表-32の重相関係数と同値になるべきものであり、要因項目を逐次1項目ずつおとしていった各段階においても同様のことがいえるのである。

第7章 考 察 と 結 論

7・1 考 察

非皆伐施業における集材作業システムとして、作業特性の全く異なるホイスティングキャレッジ式、モノケーブル式、およびトラクタ各集材作業システムを取りあげて要因分析を行った結果、各種の作業条件に対応した労働生産性の予測モデルを設計することができた。本節では、上述の3集材作業システムにおける労働生産性の予測モデル（以下、各予測モデルという。）を用いた作業研究手法に対する理論づけと、各予測モデルを実際に適用して集材作業システムを最適化するための手法について考察することとする。

7・1・1 作業研究手法に対する理論づけについて

非皆伐施業における上述の3集材作業システムのうち、いずれを実際の集材対象林分に採用するか決定は、各予測モデルにより当該集材対象林分の作業条件に対応した集材作業の労働生産性を推定し、これを最大にするシステムを選定することにより行うこととする。したがって、考察をすすめるにあたっては、つぎのような視点からこれを行うこととした。すなわち、前述のような解析方法とその結果の妥当性を評価する尺度として、本要因分析全体の精度をあらわす重相関係数、外的基準と各要因項目との相互関係をあらわす偏相関係数および要因群偏相関係数、各要因カテゴリーの寄与のしかたをあらわす偏差をとりあげ、それぞれの算定値に基づき、労働生産性の推定精度、労働生産性に対する作業条件因子の影響のしかた、および労働生産性を最大にする作業条件などについて考察し、この数量化の方法を応用した作業研究手法に対する理論的なよりどころを与えることを試みた。

1. 労働生産性の推定精度

各予測モデルに示す重相関係数は、本要因分析全体の精度、すなわち労働生産性の推定精度を総合的にあらわす尺度であり、各予測モデルのすべての段階においてこの値は1%水準で有意であることが検定結果から明らかになった。このことは、各予測モデルに示すような要因項目の組み合わせが、労働生産性に対して総合的に相関連して影響を与えており、各段階における労働生産性の推定精度は、それぞれの重相関係数の値によって評価されることができるということを意味するものである。

これら重相関係数の値は、ホイスティングキャレージ式およびモノケーブル式集材作業システムにおける8要因項目を含む段階では、それぞれ0.767および0.738、トラクタ集材作業システムにおける10要因項目を含む段階では0.927であり、労働生産性の調査値と推定値の差の平均値および標準偏差は、それぞれ0.02051、0.000004、-0.00001および0.55068、0.36338、0.97609である。これらの各数値は、それぞれの作業特性が全く異なり、労働生産性に対して作業条件因子が極めて複雑に関与している各集材作業システムの要因分析結果としては、ともに精度のたかい結果をあらわすものと判断することができる。これらのことは、この数量化の方法を応用して上述のような解析を行い、各予測モデルによる労働生産性の推定を行うことの妥当性が、いずれの集材作業システムにおいても実証されたものと考えられる。

2. 労働生産性に対する作業条件因子の影響

各予測モデルに示す偏相関係数は、労働生産性に対して影響を与えている要因項目について、他の項目の影響を固定あるいは除去した場合の当該項目と労働生産性との相関係数であり、当該項目がどの程度の関係の強さを示すかをあらわす尺度となるものである。

各予測モデルにおいては、要因項目を偏相関係数の値が大きいものから順に配列し、労働生産性と作業条件因子との関係の強さの順位と程度を具体的にわかるようにした。例えば、8項目を含む段階のホイスティングキャレージ式集材作業システムにおいては集材材積、集材木1本当たりの平均材積、集材面積、地形指数などが、モノケーブル式集材作業システムにおいては集材材積、集材木1本当たりの平均材積、地形指数などが、10項目を含む段階のトラクタ集材作業システムにおいてはトラクタ集材路密度、集材材積、集材木1本当たりの平均材積、平均実集材斜距離、立木密度などが、それぞれの項目順位で労働生産性に強く関係していることがわかる。これらのことは、いずれの集材作業システムにおいても、その作業特性が労働生産性と作業条件因子との関係において数値的に解明されたものということができる。なお、トラクタ集材作業システムにおいて、地形（指数）がこの予測モデルに示したような要因項目の組み合わせのなかでは、あまり大きく関与していないのは、調査対象としたトラクタ集材作業の場がこの作業の適地、または比較的容易に作業を行うことができる区域が多かったことによるものと考えられる。このことは、第2章における他の集材作業システムとの比較検討結果からも明らかである。

つぎに、各予測モデルにおける要因項目を偏相関係数の大きいものから1項目ずつ逐次取り入

れていった各段階ごとの重相関係数と要因群偏相関係数の関係を図示すると、図-1, 2, 3, のようにあらわすことができる。これらの図から、ホイスチングキャレージ式集材作業システムにおいては集材材積、集材木1本当たりの平均材積、集材面積、地形指数などが、モノケーブル式集材作業システムにおいては集材材積、集材木1本当たりの平均材積、地形指数、運搬索の長さなどが、トラクタ集材作業システムにおいてはトラクタ集材路密度、平均実集材斜距離、立木密度などが、それぞれの重相関係数の値を大きくするのに、大きく寄与していることがうかがえる。このことは、要因群偏相関係数の値により、要因項目を1項目ずつ逐次追加または除去していった場合の各項目による効率の変化を知ることができるということであり、実際の集材作業計画の立案にあたり、計画策定上求められる精度によって、どの要因項目まで取りあげて作業条件の調査をすればよいかについての判断基準を与えるものであると考えられる。

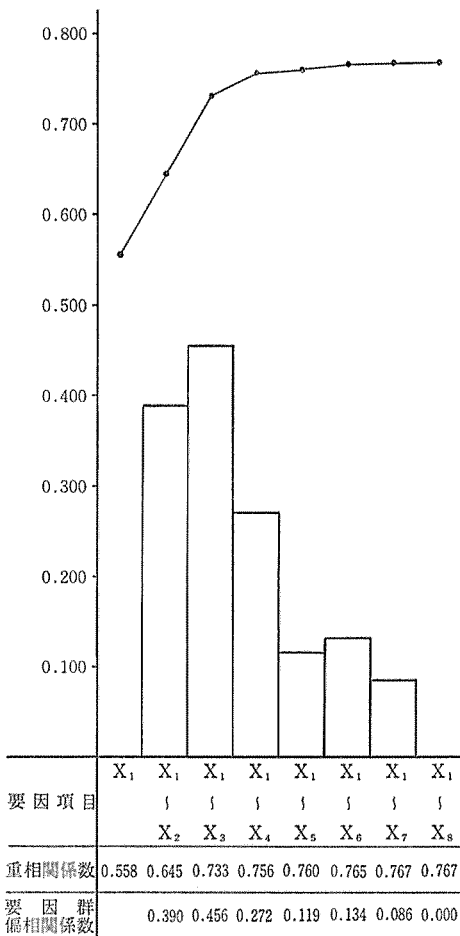


図-1 ホイスチングキャレージ式集材作業システムにおける重相関係数と要因群偏相関係数の関係

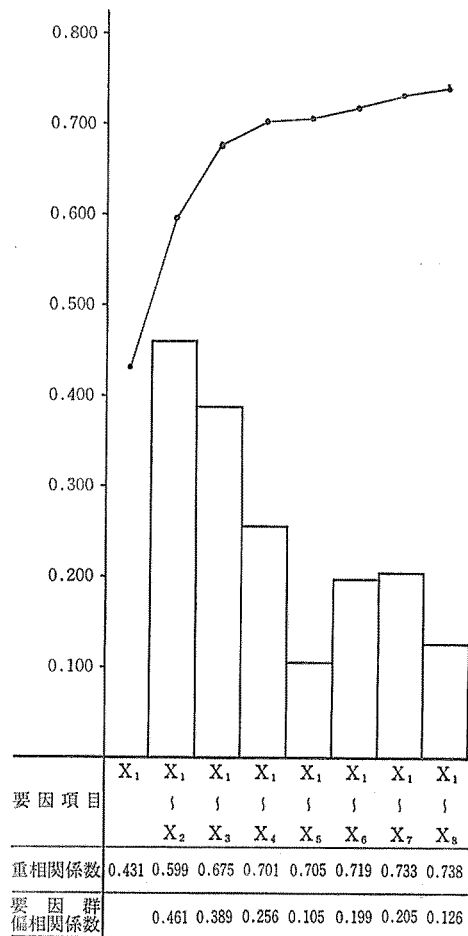


図-2 モノケーブル式集材作業システムにおける重相関係数と要因群偏相関係数の関係

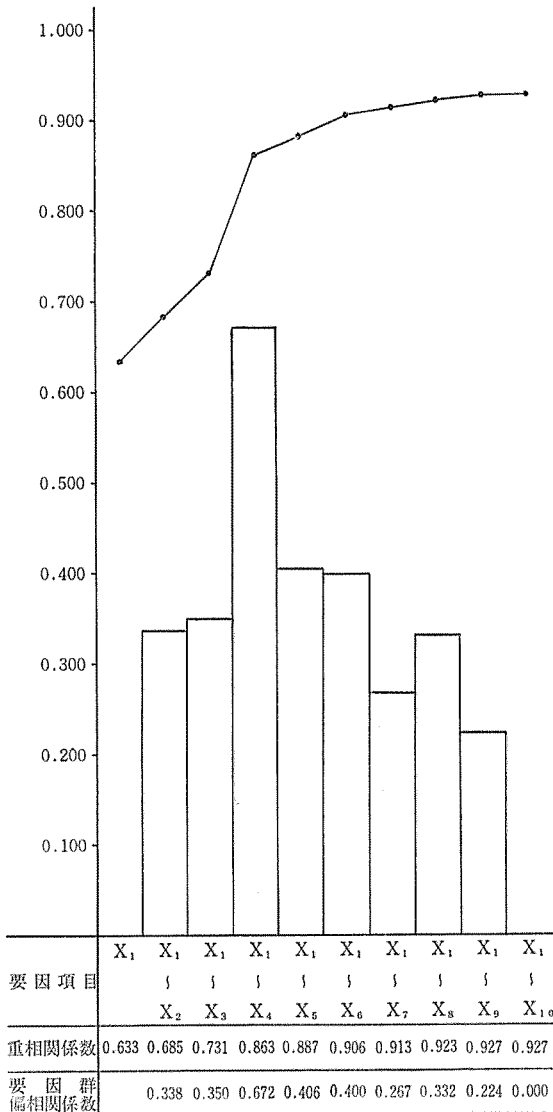


図-3 トラクタ集材作業システムにおける重相関係数と要因群偏相関係数の関係

と解釈することができる。例えば、ホイスティングキャレッジ式集材作業システムにおいて、偏相関係数の大きい上位4項目について、それぞれ平均値からの偏差を図示すると、図-4, 5, 6, 7のようになる。図-4の集材材積では、229.321 m³ 以上のカテゴリーが最も大きい値になっている。このことは、集材材積が229.321 m³ 以上のカテゴリーで労働生産性が最も大きい値になることを示唆するものである。図-5の集材木1本当たりの平均材積では、0.037~0.054 m³/本のカテゴリーで、図-6の集材面積では、2.43 ha 以下のカテゴリーで、図-7の地形指数では、61~77%のカテゴリーで、それぞれ同様の見方をすることができる。すなわち、同一項目内で偏差の値を

3. 労働生産性を最大にする作業条件
労働生産性に対してどの要因項目が、どのような順位で、どの程度の関係の強さを示しているかということについては以上の考察によって明らかにすることができたが、労働生産性を最大にする作業条件を見いだすためには、それぞれの要因項目のなかで、どの要因カテゴリーが労働生産性にどのように寄与しているかを知ることが必要である。そこで、ホイスティングキャレッジ式およびモノケーブル式集材作業システムにおいては8項目を含む段階について、トラクタ集材作業システムにおいては10項目を含む段階について、それぞれ前述の方法により各カテゴリーの偏差を求め、この偏差の値により各カテゴリーの寄与のしかたについての検討を行った。これは、連立方程式から解を求めた場合、第1項目以外の項目については $t_{j1}=0$ としたために、このカテゴリーの寄与のしかたを検討することができないからである。

本要因分析における要因カテゴリーの偏差は、平均値を基準にしてこの値がプラスの場合には労働生産性の向上に、マイナスの場合には低下に当該カテゴリーが寄与していることをあらわすものであ

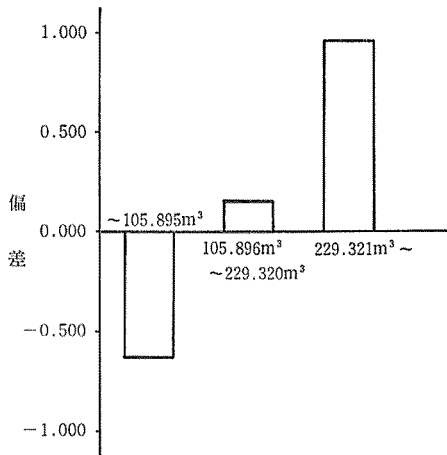


図-4 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの集材材積におけるカテゴリーの偏差（偏相関係数 0.656）

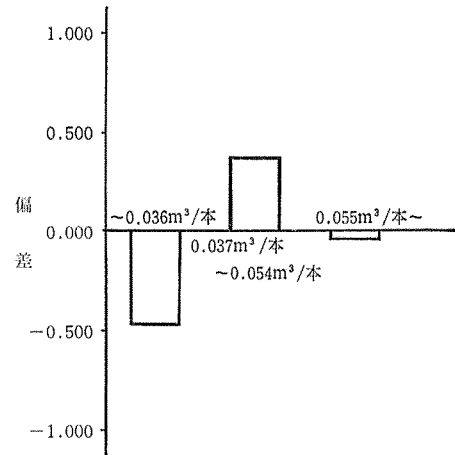


図-5 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの集材木1本当たり平均材積におけるカテゴリーの偏差 (偏相関係数 0.478)

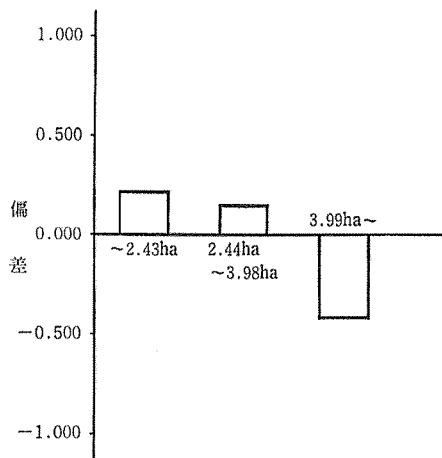


図-6 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの集材面積におけるカテゴリーの偏差（偏相関係数 0.345）

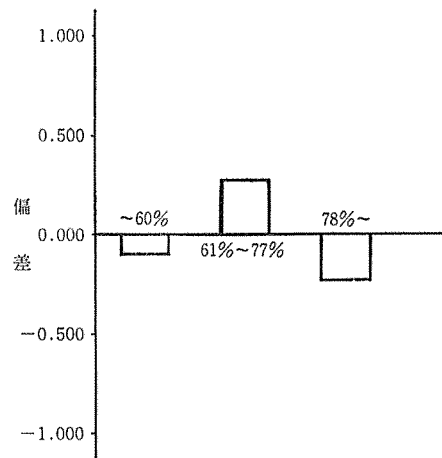


図-7 ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの地形指数におけるカテゴリーの偏差 (偏相関係数 0.306)

最大にするカテゴリーに与えられた数値（最大数値）を8項目について組み合わせ、(15)式により労働生産性の推定値を求めると、これが8項目によりあらわされる作業条件に対応した労働生産性の最大推定値になるのである。このことは、集材作業の労働生産性を最大にするには、各要因項目ごとに、どの要因カテゴリーを選べばよいか、換言すれば、労働生産性を最大にするには、どのような作業条件にすべきであるかということに対する解答を示すものである。そして、これは要因項目を1項目ずつ逐次おとしていった各段階においても全く同じことがいえるのである。このようなことは、モノケープル式およびトラクタ集材作業システムにおける労働生産性の

予測モデルについても同様に検証することができた。以上のことは、集材作業システムを最適化するための理論的なよりどころを与えるものであると考えられる。

7・1・2 集材作業システムの最適化について

ここでは、各予測モデルを実際に適用して合理的な集材作業計画を立案することにより、集材作業システムを最適化するための手法について考察する。そのためには、本論文で検討しようとする最適集材作業システムの定義をまず明らかにしておくことが必要である。すなわち、本論文における最適集材作業システムとは、所定の集材機能を充足できる同水準の技術を有する作業者と集材装置の使用を前提とするならば、前述のような自然的、地利的作業条件と集材作業方式を最適な状態に組み合わせ、集材作業の労働生産性を最大にするような作業システムをいうこととする。

このような考え方により、上述の3集材作業システムについて、各予測モデルから集材作業の労働生産性を最大にするような作業計画を立案し、集材作業システムを最適化するためには、集材作業の場をどのような作業条件にすべきであるか、すなわち各要因項目ごとに、どのような要因カテゴリーを選び、それらをどのように組み合わせて合理的な作業計画を立案すべきであるかについて考察する。

1. ホイスティングキャレッジ式集材作業システムの場合

本集材作業システムにおいては、表-18に示す予測モデルから、8要因項目を含む段階での最適作業条件因子の組み合わせとして、集材材積：229.321 m³以上、集材木1本当たりの平均材積：0.037～0.054 m³/本、集材面積：2.43 ha以下、地形指数：61～77%，平均横取斜距離：39 m以上、平均実集材斜距離：126～182 m、立木密度：1,257 本/ha以上、支間斜距離：323 m以下とした場合に労働生産性が最大となり、その推定値は4.386 m³/人工である。これは、調査値の平均値である2.180 m³/人工に対して101%もたかい結果を期待しうるものである。この場合の要因カテゴリーは、各要因項目のうちで最大数値をとったものであり、労働生産性の推定値はそれらの数値の和として求めたものである。

そこで、このような最適作業条件と、その場合の労働生産性の推定値を、調査対象とした49集材線のうち、労働生産性が最も小さい値を示している集材線番号 No. 33と比較とてみると、No. 33の場合には作業条件因子が、集材材積：90.414 m³、集材木1本当たりの平均材積：0.030 m³/本、集材面積：2.41 ha、地形指数：68%，平均横取斜距離：49 m、平均実集材斜距離：103 m、立木密度：791 本/ha、支間斜距離：505 mであり、その労働生産性は0.957 m³/人工である。この例では、8要因項目のうち最適作業条件となっているのは集材面積、地形指数、平均横取斜距離の3項目だけである。したがって、理論的には他の5項目を最適作業条件にすれば、上記のような最大の労働生産性を期待しうることになるのであるが、実際の作業対象林分においては、その作業条件因子が当該林分の現況から、例えばこの例における立木密度のように最適化が困難なものや、地形（指数）のように人為的に管理しがたいものもある。しかし、この例の場合、集材作業シ

テムを最適化するために、仮に、集材区域の設定方法を改め、支間斜距離を 323 m 以下、平均実集材斜距離を 126~182 m とするよう集材線の架設位置および集材方法を改善して作業効率を向上させるならば、それだけでも予測モデルから計算される労働生産性の推定値は 1.831 m³/人工となり、調査値に対して91%もたかい結果を期待しうることになるのである。同様に他の調査対象集材線についても、このような考え方と手法でそれぞれの集材対象林分の実状に応じた最適化についての検討を行うことができる。したがって、集材作業システムを最適化するためには、作業条件を上記のような最適作業条件因子の組み合わせにするか、または、集材対象林分の実状に応じてできうるかぎりこのような作業条件に近づけるような作業計画を立案することが必要である。

このような最適化についての検討は、要因項目を1項目ずつ逐次おとしていった各段階においても全く同様に行うことができる。

2. モノケーブル式集材作業システムの場合

本集材作業システムにおいては、表-25 に示す予測モデルから、8 要因項目を含む段階での最適作業条件因子の組み合わせとして、集材材積：165.777 m³ 以上、集材木1本当たりの平均材積：0.049~0.077 m³/本、地形指数：75%以下、運搬索の長さ：455~641 m、平均人力木寄斜距離：29 m 以上、平均実集材斜距離：131 m 以下、立木密度：1,072 本/ha 以上、集材面積：2.11 ha 以下とした場合に労働生産性が最大となり、その推定値は 3.128 m³/人工 である。この場合にも労働生産性の推定値は、調査値の平均値 1.629 m³/人工 に対して92%もたかい結果を期待しうることになる。また、本集材作業システムにおいても、ホイスチングキャレージ式集材作業システムの場合と同様の考え方と手法により、最適化についての検討を行うことができる。

ところで、ホイスチングキャレージ式およびモノケーブル式集材作業システムは、前述のようにともに人工林の間伐林分において採用されているので、これら両システムのうち集材対象林分の作業条件によって、いずれを採用するのが有利であるかが問題となるが、両システムの予測モデルにおける要因項目の種類や要因カテゴリーの区分範囲が異なるので、当該林分の作業条件に応じたそれぞれの労働生産性の推定値を求め、これを比較して推定値の大きいシステムに決定すべきである。この場合、人為的に管理しがたい作業条件因子である地形の影響についてはこれを単独に考察すると、この要因項目におけるカテゴリーの区分範囲のちがひ、レンジ（最大数値と最小数値の差）の値がホイスチングキャレージ式集材作業システムでは0.51791で、モノケーブル式集材作業システムでは0.35802であること、および要因カテゴリーの偏差の値から総合的に判断すると、この要因項目の労働生産性に対する相対的な影響の大きさはモノケーブル式集材作業システムの方が小さく、地形条件に対する適応範囲はこのシステムの方が広いといえる。したがって、地形指数が78以上の林分ではモノケーブル式集材作業システムを採用するのが有利であると考えられる。

3. トラクタ集材作業システムの場合

本集材作業システムにおいては、表-32 に示す予測モデルから10要因項目を含む段階での最適作業条件因子の組み合わせとして、トラクタ集材路密度：92 m/ha 以下（92～32 m/ha）、集材材積：1,260.652 m³ 以上、集材木1本当たりの平均材積：1.536 m³/本 以上、平均実集材斜距離：236 m 以下、立木密度：492 本/ha 以下、集材面積：10.52 ha 以下、作業班：トラクタ3台セット、地形指数：49%以下、トラクタの機種：ホイールタイプ、作業時期：冬山とした場合に労働生産性が最大となり、その推定値は17.243 m³/人工である。この場合にも労働生産性の推定値は、調査値の平均値 8.659 m³/人工に対して99% もたかい結果を期待しうることになる。また、本集材作業システムにおいても、前述した2システムの場合と同様に最適化についての検討を行うことができるが、本集材作業システムの場合には、さらにつぎの2点についても検討しておくことが有効であると考えられる。

第1は、集材作業の労働生産性に最も大きい影響を与えているトラクタ集材路密度の要因カテゴリーが、最小のカテゴリーで労働生産性を最大にするように寄与しており、これより大きくても労働生産性の向上に役だっていない点である。これは、ha 当たりの集材路延長が93 m 以上になると、作設に要する人工数が増加すること、実集材斜距離が長くなることから、無計画に集材路を延長してもかえって労働生産性を低くすることになるということを示すものである。それ故、トラクタ集材作業を能率的に行うためには、集材路作設の巧拙が重要な意味をもつことになる。集材路線の形状は環状路線、U 形路線、および L 形路線の3態に分類することができる⁵³⁾が、調査対象となった集材区域においては、ほとんど U 形および L 形路線であった。トラクタは大きい荷をけん引した場合には転向能力がかなり制約されるし、空荷の場合でも作業機をけん引すると後進が困難になることが多いので、集材路の途中で他のトラクタと出会うと待時間をつくり能率をおとすことになる。また、林地傾斜が比較的急な場合には、伐倒木をさけながらトラクタが登坂することは極めて困難である。したがって、トラクタ集材路線は、登行路と集材路を別にした環状形にするのが最も安全かつ能率的であると考えられる。

第2は、人為的に管理しがたい作業条件因子である地形の影響に関する点である。この作業条件因子についてこれを単独に考察すると、すでに第2章において集材機集材作業との比較検討を行い、トラクタ集材作業は地形指数の小さい林分において採用されるのが有利であることを明らかにしたが、本要因分析の結果によっても、地形指数が49以下の林分において採用されるのが最も有利であることが実証された。

7・2 結 論

非皆伐施業における集材作業システムの現状分析を行い、現段階で最も合理的と考えられる集材作業システムとして、作業特性の全く異なるホイスティングキャレッジ式、モノケーブル式、およびトラクタ各集材作業システムを取りあげ、これらに対して外的基準があり、それが数量で与えられている場合の数量化の方法を応用して要因分析を行った。その結果、これら各システムにおける集材作業の労働生産性と、これに極めて複雑に関与している多くの諸要因との相互関係が

解析され、各種の作業条件に対応した労働生産性の予測モデルを設計することができた。そして、これら各予測モデルを適用して、上述の3集材作業システムのうちいずれを実際の集材対象林分に採用するか決定は、各予測モデルにより当該集材対象林分の作業条件に対応した集材作業の労働生産性を推定し、これを最大にするシステムを選定することにより行うこととした。このような考え方から各予測モデルを用いた新しい作業研究手法に対する理論づけと、各予測モデルを実際に適用して合理的な集材作業計画を立案し、集材作業システムを最適化するための手法について考察した。

考察の結果を集約すると、つぎのとおりである。

1. 重相関係数により労働生産性の推定精度を、偏相関係数および要因群偏相関係数により労働生産性に対する各作業条件因子の影響のしかたを、要因カテゴリーの偏差により労働生産性に対する同一作業条件因子内のカテゴリーの寄与のしかたを、それぞれ具体的かつ数値的に評価することができることを実証し、この数量化の方法を集材作業システム最適化のための作業研究に応用することの妥当性を検証するとともに、作業研究手法に対する理論づけを行うことができた。
2. 要因分析の結果から設計された労働生産性の予測モデルにより、集材作業計画区域内の関係作業条件因子を調査すれば、各種の作業条件に対応した当該集材作業の労働生産性が目的に応じた精度で予測できるので、合理的な集材作業計画を立案し、集材作業システムを最適化することができるようになった。
3. いずれの集材作業システムにおいても、最適作業条件は、各作業条件因子ごとに要因カテゴリーの偏差が最大、すなわち与えるべき数量が最大数値をとる要因カテゴリーの組み合わせによりあらわすことができる。したがって、集材作業システムを最適化するためには、作業条件を最適作業条件因子の組み合わせにするか、または、集材対象林分の実状に応じてできうるかぎりこのような作業条件に近づけるような作業計画を立案することが必要である。
4. 人為的に管理しがたい作業条件因子である地形が、集材作業の労働生産性に与える影響について、これを単独に考察すると、人工林の間伐林分において採用されているモノケーブル式集材作業システムは、地形に対する適応範囲が広く、地形指数が78以上の林分ではホイスチングキャレッジ式集材作業システムよりも有利であると考えられる。天然林の択伐林分において採用されているトラクタ集材作業システムは、地形指数が49以下の林分で最も有利に集材作業を行うことができる。

総 括

非皆伐施業は、今後の林業経営において推進すべき最も重要な森林施業技術の一つである。本研究は、非皆伐施業における集材作業システムの現状分析を行い、現段階で最も合理的と考えられる集材作業システムを見だし、これらを対象に数量化の理論を応用して要因分析を行うことにより、つぎの研究目的を達成しようとするものである。すなわち、集材作業システムを最適化

するための新しい作業研究手法に対する理論づけを実証的に試みるとともに、労働生産性の予測モデルによる合理的な集材作業計画の策定手法を提案し、さらに総合的な森林施業技術の体系化に資することを目的とした。

本論文は、7章から構成されているが、その内容を要約するとつぎのとおりである。

まず、第1章では、本研究の目的を明らかにし、林業生産技術を再編成することの意義と非皆伐施業における集材作業システムを評価する場合の基本的な考え方について考察した。第2章では、今後、人工林施業が主体となる名古屋営林局管内の国有林、および天然林施業が主体となる北海道、帯広、旭川各営林（支）局管内の国有林を調査の対象に選定し、非皆伐施業における集材作業システムの現状と技術的課題を明らかにし、現段階において施業方法との関連で最も合理的と考えられる集材作業システムを見いだすための検討を行った。その結果、前章で考察した集材作業システムの評価基準により、最も合理的と評価され、しかも事業現場に最も普及している集材作業システムとして、ホイスタングキャレッジ式、モノケーブル式、および全幹材を対象としたトラクタ各集材作業システムを取りあげ、これら3システムによる集材作業の労働生産性とこれに関与する諸要因との相互関係を解析し、各種の作業条件に対応した労働生産性を予測する技術体制を確立することにより、最適集材作業システムを体系化することが必要であることを提案した。

つぎに、第3章では、本研究に応用すべき集材作業システム解析の理論と手法について検討した。特に、集材作業システムにおける作業条件因子は、質的な要素をもつもの、量的な要素をもつもの、および両方の要素を兼ね備えるものに類別することが妥当であるので、労働生産性の推定という目的のためには、統計理論および実地応用の見地から、重回帰分析など従来から用いられてきた解析方法よりも、外的基準があり、それが数量で与えられている場合の数量化の方法による要因分析のほうがすぐれていることを明らかにし、本研究に応用する数量化の理論と手法を説明した。

このような考え方に基づき、第4・5・6章では、現状分析の結果から明らかにされた上記の3集材作業システムによる集材作業の労働生産性とこれに関与する作業条件因子との相互関係を、前述の数量化の方法を応用して要因分析を行った。そして、これらの分析結果を用いて、集材作業システムを最適化するための新しい作業研究手法に対する理論づけと合理的な集材作業計画の立案を目的とした労働生産性の予測モデルを設計し、その適合性を検討した。各集材作業システムにおける労働生産性の予測モデルは、それぞれ表-18, 25, 32に示されている。

さらに、第7章では、以上の検討結果に対する総括的考察を行い、本論文の結論を集約した。結論はつぎのとおりである。

1. 上記の3集材作業システムのうち、いずれを実際の集材対象林分に採用するかは決定は、各集材作業システムにおける労働生産性の予測モデルにより当該集材対象林分の作業条件に対応した集材作業の労働生産性を推定し、これを最大にするシステムを選定することにより行うこと

とした。

2. 重相関係数により労働生産性の推定精度を、偏相関係数および要因群偏相関係数により労働生産性に対する各作業条件因子の影響のしかたを、要因カテゴリーの偏差により労働生産性に対する同一作業条件因子内のカテゴリーの寄与のしかたを、それぞれ具体的かつ数値的に評価できることを実証し、この数量化の方法を集材作業システム最適化のための作業研究に応用することの妥当性を検証するとともに、新しい作業研究手法に対する理論づけを行った。

3. 要因分析の結果から設計された労働生産性の予測モデルにより、集材作業計画区域内の関係作業条件因子を調査すれば、各種の作業条件に対応した当該集材作業の労働生産性を目的に応じた精度で予測し、合理的な集材作業計画の立案と集材作業システムの最適化を行うための新しい手法を提案した。

4. いずれの集材作業システムにおいても、最適作業条件は、各作業条件因子ごとに要因カテゴリーの偏差の値が最大、すなわち与えるべき数量が最大数値をとる要因カテゴリーの組み合わせによりあらわすことができるので、集材作業システムを最適化するためには、作業条件を最適作業条件因子の組み合わせにするか、または、集材対象林分の実状に応じて、できうるかぎりこのような作業条件に近づけるような作業計画を立案することが必要であることを明らかにした。

5. 人為的に管理しがたい作業条件因子である地形が、集材作業の労働生産性に与える影響について、これを地形指数によって評価し、最も有利に集材作業を行うことができるシステムを選定する基準を示した。

謝 辞

本論文は、著者が昭和54年度文部省内地研究員として、京都大学教授佐々木功博士（農学部林業工学講座）のご指導をうけて取りまとめたものであります。長期間にわたるご懇篤なご指導とご校閲を賜りました佐々木功博士に心からの敬意と深甚な謝意を表します。また、ご懇篤なご校閲を賜りました京都大学教授岸根卓郎博士および同大学教授川那辺三郎博士に心からの謝意を表します。さらに、本研究の遂行にあたり、ご激励と多大の便宜を賜りました三重大大学教授渋谷欣治博士に、京都大学に出張中たいへんお世話になりました同大学林業工学講座および関係の皆様、膨大な調査資料の収集と現地調査にご協力をいただきました名古屋、北海道、帯広、旭川各営林（支）局および関係営林署の職員各位に、それぞれ厚くお礼を申し上げます。

なお、本研究の一部は、昭和52・53・54年度文部省科学研究費補助金（一般研究 C）の交付をうけて実施したものであります。ここに記し、併せて謝意を表する次第であります。

引 用 文 献

- 1) 飛岡次郎・加藤宏明・奥田吉春：製品生産事業の機械化と生産コストについて、日本林学会北海道支部講演集 第11号, 39-42, 1962

- 2) 飛岡次郎：製品生産事業の作業仕組と労働生産性. 第85回日本林学会大会講演集, 314-316, 1974
- 3) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究（第1報）作業仕組と労働生産性について. 三重大学農学部学術報告 第48号, 275-290, 1975
- 4) 日本国政府：昭和46年度林業の動向に関する年次報告. 7-8, 19-25, 1972
- 5) 日本国政府：昭和53年度林業の動向に関する年次報告. 16-18, 117-123, 1979
- 6) 佐々木功：わが国林業機械の今後の課題. 機械化林業 第306号, 3-10, 1979
- 7) 林野庁：国有林における新たな森林施業. 1973
- 8) スリーエム研究会：続・林業技術の現状と展望. 94-97, 158-160, スリーエム研究会, 1979
- 9) 林野庁：第31次昭和54年国有林野事業統計書. 106-107, 1979
- 10) 佐々木功：間伐をめぐる諸問題. 日本林学会誌 第53巻5月号, 156-159, 1971
- 11) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究（第1報）作業仕組と労働生産性について. (前掲)
- 12) 飛岡次郎：非皆伐施業における集材機作業方式について. 第87回日本林学会大会発表論文集, 385-386, 1976
- 13) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究（第2報）非皆伐施業における集材機作業システムの基礎的考察. 三重大学農学部学術報告 第53号, 171-182, 1976
- 14) 坂口勝美監修：これからの森林施業 森林の公益的機能と木材生産の調和を求めて一. 146, 全国林業改良普及協会, 1975
- 15) 梅田三樹男：林業の作業研究. 134 pp. 朝倉書店, 1953
- 16) 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. 京都大学農学部演習林報告 第28号, 55-63, 1959
- 17) 小山 節：チェーンソーによる伐木造材作業並びに集材機作業の功程に関する研究. 141 pp. 1963
- 18) 森岡 昇：架空線集材の集材区域と集材能率に関する研究. 名古屋大学農学部演習林報告 第5号, 1-87, 1970
- 19) 佐々木功・沼田邦彦・泉谷洋光・川俣信一郎：ホイールタイプトラクタによる集材作業について. 京都大学農学部演習林報告 第43号, 263-282, 1972
- 20) 堀 高夫：路網計画のための図上地形判定について. 日本林学会誌 第47巻4月号, 168-170, 1965
- 21) 堀 高夫・菊地政泰：集運材地域の平均傾斜判定法. 日本林学会誌 第47巻10月号, 337-341, 1965
- 22) 林業土木コンサルタンツ林道計画委員会：合理的林道網計画資料. 92 pp. 1966
- 23) 上飯坂実：新訂増補森林利用学序説. 53-65, 地球社, 1975
- 24) 上飯坂実：新訂増補森林利用学序説. (前掲). 65-73
- 25) STUDIER, D. D. and BINKLEY, V. W.: CABLE LOGGING SYSTEMS. 205 pp. Division of Timber Management, Forest Service, U. S. Department of Agriculture, Portland, Oregon, 1975
- 26) CONWAY, S.: Logging Practices (Principles of Timber Harvesting Systems). 142-153, 212-228, Miller Freeman Publications, Inc., 1976
- 27) OMNES, H.: Planning mountain logging operation in Northern Europe. XVI IUFRO World Congress, DIVISION III, 61-73, 1976
- 28) スリーエム研究会：新しい森林施業の考え方と進め方. 231 pp. スリーエム研究会, 1973
- 29) 角館盛雄・飛岡次郎ほか：森林のはたらきと国有林 一管内国有林野の土地利用区分一. 121 pp. 名古屋営林局, 1972
- 30) 林業機械化協会：集材方法の事例集 一これからの森林施業のために一. 249 pp. 林業機械化協会, 1974
- 31) スリーエム研究会：続・林業技術の現状と展望. 459 pp. (前掲)
- 32) 久田喜二：非皆伐施業における社会的・経営的側面からの考察. 林業経済 No. 323, 1-11, 1975
- 33) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究（第2報）非皆伐施業における集材機作業システムの基礎的考察. (前掲)
- 34) スリーエム研究会：続・林業技術の現状と展望. (前掲). 326-327, 353
- 35) 林野庁：集材機作業基準・集材機作業要領. 1968
- 36) 名古屋営林局：モノケーブル集材作業要領. 1975

- 37) 林野庁：トラクタ集運材作業基準・トラクタ取扱整備要領，1962
- 38) 上田 実・柴田順一ほか：集材機索張り法，140 pp. 林野庁業務課，1974
- 39) 林業機械化協会：図説集材機索張り法，212 pp. 林業機械化協会，1976
- 40) 梅田三樹男：伐出作業，21-22，農林出版，1975
- 41) 林知己夫・樋口伊佐夫・駒沢 勉：情報処理と統計数理，223-238，産業図書，1974
- 42) 林知己夫・村山孝喜：市場調査の計画と実際，295-309，日刊工業新聞社，1975
- 43) 西沢正久・真下育久・川端幸蔵：数量化による地位指数の推定法，林業試験場研究報告 第176号，18-25，1965
- 44) 植松俊夫：数量化理論 (1)，オペレーションズ・リサーチ 第17巻5月号，54-58，1972
- 45) 植松俊夫：数量化理論 (2)，オペレーションズ・リサーチ 第17巻6月号，44-49，1972
- 46) 飛岡次郎：非皆伐施業の集材作業システムに関する研究 (I) —モノケーブル集材の労働生産性と作業条件—，第89回日本林学会大会発表論文集，451-454，1978
- 47) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究 (第3報) 数量化の方法によるモノケーブル集材作業システムの解析，三重大学農学部学術報告 第57号，37-58，1978
- 48) 飛岡次郎：非皆伐施業の集材作業システムに関する研究 (II) —木寄作業の労働生産性と作業条件—，第27回日本林学会中部支部大会講演集，203-205，1979
- 49) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究 (第4報) 数量化の方法による木寄作業システムの解析，三重大学農学部学術報告 第58号，67-74，1979
- 50) 飛岡次郎：非皆伐施業の集材作業システムに関する研究 (III) —ホイストリングキャレッジ集材の労働生産性と作業条件—，第90回日本林学会大会発表論文集，539-541，1979
- 51) 飛岡次郎：伐木集材工程の作業仕組に関する研究 (第5報) 数量化の方法によるホイストリングキャレッジ集材作業システムの解析，三重大学農学部学術報告 第59号，75-86，1979
- 52) 岸根卓郎：理論応用統計学，394-395，養賢堂，1975
- 53) 林業機械化協会：林業用トラクタとその作業，53-57，林業機械化協会，1974

Summary

Forest management by the non-clear cutting method is one of the most important techniques of forest management in the future. The purposes of this study are to theorize demonstratively concerning new techniques of work study to make the yarding and skidding systems more and more suitable, to propose a new technical method for the rational planning of the yarding and skidding operations by the predictable model of labour productivity, and to systematize the synthetical techniques of forest management by the non-clear cutting method.

For these purposes, analyses of actual conditions on the yarding and skidding systems were done and the rational systems at present were investigated. Next, a method of multivariate analysis called factor analysis by the quantification method was practically applied to these rational systems.

This thesis is composed of seven chapters, and the contents of each chapter may be summarized as follows:

In chapter I, the purposes of this study were made clear, significance of the reorganization of productive techniques in forestry was considered, and the fundamental standards to evaluate the yarding and skidding systems in forest management by the non-clear cutting method were discussed.

In chapter II, analyses of actual conditions on the yarding and skidding systems in this forest management were done. Then the subjects for a future study were clarified, and the rational systems at present were investigated. This was done by using data of the

yarding and skidding operations which were recently carried out in the national forests within the province of Nagoya (planted forests), and Hokkaido Regional Forest Offices, Obihiro and Asahigawa Branch Regional Forest Offices (natural forests). After the investigation of these working systems, it became clear that the rational systems in this forest management at present are the hoisting carriage system double endless type, the mono-cable system control type, and the tractor skidding system for the tree length log. This is because these are evaluated as rational systems by the above-mentioned standards, and pervade most widely at the work site. Then, it was proposed that the relationship between labour productivity and the conditional factors of operation in these three systems should be analyzed, and the technical structure to estimate labour productivity by the predictable model corresponding to the various conditions of operation should be established. It is necessary to make these three systems most suitable to the yarding and skidding operations.

In chapter III, the analysis method of the yarding and skidding systems in this study was investigated. Especially it was proper to consider that the conditional factors of operation in the yarding and skidding systems are properly classified into the qualitative factors, the quantitative factors and the factors with both properties. Therefore, for the purpose of estimation of labour productivity, from the points of view of statistical theory and practical application, it was proved that factor analysis by the quantification method (in which the outside criterion is given in terms of quantity) is superior to methods such as multiple regression analysis which have been used. Then, the theory and the techniques of factor analysis by the quantification method to be applied in this study were explained.

In chapters IV, V and VI, in order to analyze the relationship between labour productivity and the conditional factors of operation in the above-mentioned three systems, factor analysis by the quantification method (in which the outside criterion is given in terms of quantity) was practically applied. Next, the predictable models of labour productivity for the theorization to the new techniques of work study to make these three systems most suitable, and the rational planning of these operations were designed by the results of analyses. Also the suitability of application of this theory and its techniques was investigated. The predictable models of labour productivity in these three systems are shown in tables 18, 25 and 32.

In chapter VII, general considerations based on the results of each investigation of this study were compiled.

The conclusions of this thesis may be summarized as follows:

1. The decision concerning the system to be adopted out of these three systems in the actual stand should be made by choosing the system which maximizes the labour productivity estimated by the each predictable model corresponding to the conditions of operation.

2. It was numerically demonstrated that (1) the precision of estimation of labour productivity is denoted by the values of the multiple correlation coefficient, (2) the effects of the conditional factors of operation on labour productivity are evaluated by the values of the partial correlation coefficient and the partial correlation coefficient of factors, and (3) the effects of the categories in the identical factor on labour productivity are evaluated by the values of the deviation. Next, it was proved that the applications of this factor analysis by the quantification method for the work study to make these three systems most suitable are proper. Through the above-mentioned studies, theorization of new techniques of this work study could be demonstratively made.

3. In the case of planning the yarding and skidding operations, if the conditional factors of operation in the planned area are investigated, labour productivity corresponding to the various conditions of operation can be estimated with precision of the purpose by the predictable model of labour productivity. Therefore, it is possible to make the rational plan and the working system most suitable to the yarding and skidding operations. In this thesis, these new techniques were proposed.

4. In order to make the rational plan and the working system most suitable to the yarding and skidding operations, it appears best to make a plan which is combined with the most suitable category of each factor, or as nearly as possible to this, according to the actual conditions of the area. In every working system, the most suitable condition of operation can be denoted by the combination of the category which is given in terms of the maximum quantity or the value of maximum deviation in each factor.

5. The effect of the terrain which can not be artificially controlled as a conditional factor of operation on labour productivity was evaluated by means of the terrain index, and the standard for choosing the most useful working system was indicated.