

# 労働科学的視点を考慮したトラクタ集材路の幾何構造と 路網密度に関する研究

今 富 裕 樹<sup>(1)</sup>

IMATOMI, Yuki: An Ergonomic Study on the Geometrical Design and  
Density of Tractor Skidding-roads

**要 旨**：本研究はトラクタ集材路の幾何構造と路網密度に関してトラクタ自身の走行性能や経済的視点から検討するとともに労働科学的視点からも検討を加え、オペレータの労働負担軽減につながる集材路の幾何構造と路網密度を検討した。その結果、最大縦断勾配はクローラタイプでは10°程度、ホイールタイプでは13°程度が望ましいものと考えられた。曲線半径は30 m以上の単曲線、幅員は3.5 m程度以上あることが好ましいと考えられた。投入費用を最小とする経済的視点からみた集材路網密度は林地傾斜0°で117.8 m/ha、10°で100.1 m/ha、20°で87.9 m/ha、30°で95.4 m/haと推定された。労働科学的視点からみた集材路網密度は林地傾斜0°で60.5 m/ha、10°で73.6 m/ha、20°で125.9 m/ha、30°で180.6 m/ha必要であることが分かった。労働科学的視点から求めた路網密度は作業者サイドからみて最小限必要とされる投入量であり、さらに路網密度を高めることにより労働負担の軽減が期待される。また、急峻な傾斜地では作業者に負荷される筋力負担や生理的負担がより大きくなることから安全サイドに立った視点がより重要視されるべきであるとする。よって、林地傾斜15°以下の緩傾斜地では経済的視点から求めた路網密度を目安として、地形傾斜15°を超えるような林地では労働科学的視点から求めた路網密度を目安として設計されることが望ましいと考えられた。

## 目 次

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| 1 序 論 .....                          | 3  |
| 1.1 伐出技術におけるトラクタ集材の役割 .....          | 3  |
| 1.2 本研究の背景 .....                     | 4  |
| 1.3 本研究の目的と構成 .....                  | 5  |
| 2 生体負担からみたトラクタ集材作業の特徴と評価 .....       | 5  |
| 2.1 トラクタ集材における生体負担の概要 .....          | 5  |
| 2.2 生理的負担の測定法・評価法 .....              | 6  |
| 2.3 作業強度と消費エネルギー量の推定 .....           | 8  |
| 2.3.1 調査方法 .....                     | 8  |
| 2.3.2 調査結果と考察 .....                  | 8  |
| 2.4 まとめ .....                        | 13 |
| 3 集材走行方式の違いによる生理的負担の比較検討 .....       | 13 |
| 3.1 集材地におけるトラクタ走行時のオペレータの生理的負担 ..... | 14 |
| 3.1.1 調査地と実験方法 .....                 | 14 |
| 3.1.2 実験結果と考察 .....                  | 15 |

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 3.2 シミュレート実験によるトラクタ走行時のオペレータの生理的負担 | 20 |
| 3.2.1 実験方法                         | 20 |
| 3.2.2 実験結果と考察                      | 21 |
| 3.3 まとめ                            | 24 |
| 4 集材路の幾何構造に関する検討                   | 24 |
| 4.1 トラクタの走行性能と集材路の幾何構造             | 25 |
| 4.1.1 縦断勾配                         | 25 |
| 4.1.2 曲線半径                         | 27 |
| 4.1.3 幅員                           | 27 |
| 4.2 労働科学的視点からみた集材路の幾何構造            | 30 |
| 4.2.1 縦断勾配と生理的負担                   | 30 |
| (1) 分析方法                           | 30 |
| (2) 結果と考察                          | 30 |
| 4.2.2 曲線半径と生理的負担                   | 33 |
| (1) 実験方法                           | 33 |
| (2) 実験結果と考察                        | 33 |
| 4.2.3 幅員と生理的負担                     | 35 |
| (1) 実験方法                           | 35 |
| (2) 実験結果と考察                        | 36 |
| 4.3 トラクタ集材路の幾何構造実態と適正な幾何構造の検討      | 38 |
| 4.3.1 トラクタ集材路の幾何構造の実態              | 38 |
| (1) 調査地の概要                         | 38 |
| (2) 調査結果                           | 39 |
| 4.3.2 適正な集材路幾何構造の検討                | 41 |
| 4.4 まとめ                            | 43 |
| 5 集材路網密度に関する検討                     | 44 |
| 5.1 経済的視点からみた集材路網密度                | 44 |
| 5.1.1 木寄作業モデル                      | 44 |
| 5.1.2 木寄作業時間                       | 45 |
| 5.1.3 林地傾斜に応じた集材路網密度               | 48 |
| (1) 木寄作業費について                      | 48 |
| (2) 集材路開設費について                     | 48 |
| (3) 費用最小の平均木寄距離と集材路網密度             | 49 |
| 5.2 労働科学的視点からみた集材路網密度              | 50 |
| 5.2.1 筋力限界からみた木寄距離                 | 52 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| (1) 実験方法 .....                        | 52 |
| (2) 結果と考察 .....                       | 52 |
| 5.2.2 生理的負担限界からみた木寄距離 .....           | 54 |
| (1) 実験方法 .....                        | 54 |
| (2) 結果と考察 .....                       | 56 |
| 5.2.3 労働科学的視点からみた集材路間隔及び路網密度の算定 ..... | 59 |
| 5.3 トラクタ集材路網密度の実態と適正な集材路網密度の検討 .....  | 61 |
| 5.3.1 トラクタ集材路網の実態 .....               | 61 |
| (1) 調査方法 .....                        | 61 |
| (2) 調査結果 .....                        | 61 |
| 5.3.2 適正な集材路網密度についての検討 .....          | 63 |
| 5.4 まとめ .....                         | 65 |
| 6 総 括 .....                           | 65 |
| 謝 辞 .....                             | 67 |
| 引 用 文 献 .....                         | 67 |
| Summary .....                         | 70 |

## 1 序 論

### 1.1 伐出技術におけるトラクタ集材の役割

我が国の伐出技術は時代の要請とともに変遷し、林業労働者の労働負担の軽減をはじめとして、労働生産性の向上やコスト低減の役割を果たしてきた。今日までの伐出作業における作業方式は集材機による架空線集材方式とトラクタ集材方式がその中心的な役割を果たしてきている。

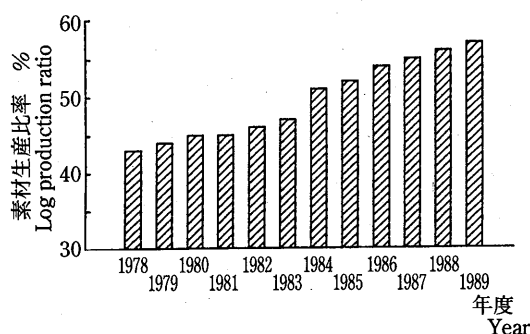


Fig. 1 トラクタ集材による素材生産比率  
Log production ratio with tractor skidding  
資料：林野庁資料より筆者作成  
Data: The author made out this figure by using the data collected by Japanese Forestry Agency

昭和40年代後半から、森林施業は国土保全、自然環境の保全などの社会的要請により皆伐から択伐などの非皆伐施業へ移行され、皆伐施業においても小面積皆伐方式が採用されるようになってきた。その結果、集材作業方式も固定費が少なく、移動性に富む方式が望まれるようになり、ランニングスカイライン式、ダンハム式などの主索を用いない簡易架線方式やトラクタ集材が増加してきた。Fig. 1は国有林野事業におけるトラクタ集材の素材生産比率を示しているが、トラクタ集材による生産比率が年々増加している。

近年、ハーベスタ、プロセッサ、スキッドなどの高性能林業機械の導入活用が積極的に行われて

いるが、これらの機械による伐出作業は緒についたばかりであり、機械化作業システムはいまだ確立されていない状況である。トラクタ集材にあつては国有林、民有林合わせて5000台を超えるトラクタが保有されており（林業機械化協会、1991）、集材技術も確立されている。

このような背景の中でトラクタ集材は今後も集材工程において大きな役割を果たし続けていくものと考えられ、高性能機械化作業システムの中においてもフェラーバンチャやプロセッサなどとの組み合わせ作業により、大いに活用されていくものと考えられる。

## 1.2 本研究の背景

トラクタは通常の車両では走行が困難な軟弱地や障害物の多い場所でも走行することが可能であり、緩傾斜地などのように地形条件が良好な林地でトラクタ集材が行われる場面には、林内を自由に走行しながら材を搬出する作業形態（以下、オフロード走行方式と呼ぶ）が行われる場面もみられる。しかし実際には集材路を走行専用路として材を搬出する作業形態（以下、集材路走行方式と呼ぶ）が多くみられる。

オフロード走行方式は集材路開設費が不要であり、また集材木の本元まで近づくことができるために木寄作業時間を短縮できるといったメリットを持っている。しかし、集材路以外のオフロード走行では、ほんのわずかな障害物乗り越しにおいてもトラクタが過度に傾斜したり、土の水分状態によっては滑りを生じる場合があり、しばしば予測できない危険な場面に遭遇する。従って、トラクタオペレータはオ

フロード走行中、常に不安感や緊張感を強いられることが予想される。林業労働災害の発生数は減少傾向にあるが（今富ほか、1993）、Fig. 2に示したように発生頻度を表す度数率や災害による障害の程度を表す強度率は他産業に比べて依然として高い状態であり、トラクタ集材により発生した労働災害をみても墜落や転落といった重大災害につながる災害が毎年発生している（林野庁厚生課、1987、1988、1989、1990、1991）。従って、集材作業を実行していく上で最も基本的で重要な労働安全の確保のためには、トラクタが集材路を走行しながら材を搬出する作業形態が望ましいものと考えられる。

今日までのトラクタ集材路に関する研究は集材路開設に伴う林地環境への影響の問題が多く（市原、1986、1988；市原ほか、1987；岩崎ほか、1972、1979；猪内ほか、1982、1985）、この種の研究は早くからトラクタ集材が導入されている北米においても以前から進められている

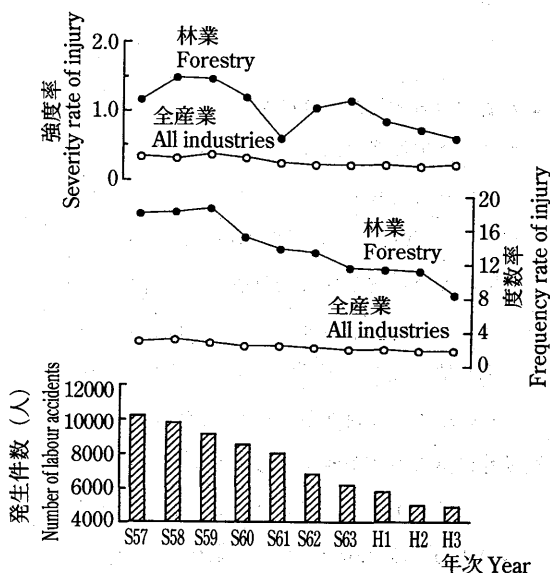


Fig. 2 林業労働災害の状況

Changes of forestry labour accidents

資料：林業・木材製造業労働災害協会

林業労働災害防止年報—平成4年版

Data: Annual report on labour accidents of forestry and lumbering industry in 1992

(KOCHENDERFER, 1970; PACKER and CHRISTENSEN, 1964)。それ以外の研究としては集材路の投入量や配置に関する検討を行った井上 (1987, 1989) や酒井 (1987) の研究がみられる程度である。このようにトラクタ集材路に関する主体的な研究は集材路開設に伴う林地環境への影響について検討されたものであり、トラクタ集材路がオペレータの安全や労働負担の軽減に対して果たしている役割について議論されているものはみられない。トラクタ集材の実行にあたって集材路の大きな役割の一つは材を効率的に搬出することである。しかし、その前提として作業者の安全作業の確保や労働負担の軽減に対する配慮、すなわち労働科学的な視点からの検討も重要であるものと考えられる。

集材路走行方式の搬出形態を考えれば、集材地は作業条件が複雑に絡み合っているために安全走行が確保される集材路線の設計、つまり幾何構造の検討が必要であるものと考えられる。また、集材路上からのウィンチロープによる木寄作業は人力作業要素が多く含まれるために、作業者の筋力限界や生理的負担限界を考慮に入れた作業範囲、つまり集材路間隔や集材路網密度についての検討が必要であるものと考えられる。なお、トラクタ集材路の幾何構造については、集材路が集材期間の一時的な使用という性質から林道のような幾何構造の規定（日本林道協会, 1977）やオペレータサイドに立った幾何構造に関する研究（岩川, 1984; 岩川ほか, 1977, 1979a, 1979b; 山崎, 1985a, 1985b, 1986）は行われていない。集材路上からの木寄作業については作業強度、ウィンチロープ引き出し時の引き出し抵抗や生理的負担など、作業者サイドからの検討が行われている（今富ほか, 1982, 1983; 立川ほか, 1989; 山本ほか, 1972）。

### 1.3 本研究の目的と構成

本研究はトラクタ集材を対象とし、集材路を走行専用路として利用する作業形態がトラクタオペレータの安全性の確保や効率的な材の搬出という観点から望ましいことを基本的な考え方とし、トラクタ集材路の幾何構造と路網密度に関して、トラクタ自身の走行性能や経済的視点から検討するとともに、労働科学的視点からも検討を加えることにより、オペレータの労働負担軽減につながる集材路の幾何構造と路網密度について明らかにすることを目的とするものである。

まず本研究ではトラクタ集材作業に適した生体負担の測定法や評価法を検討し、集材路の幾何構造や路網密度とかわかりが深い土場から先山間の集材路走行と先山での木寄作業について労働科学的に検討した。次に集材路の幾何構造や路網密度を考える前提として、集材路の必要性や有利性の検討という視点から、生理的負担という指標を用いて集材路走行とオフロード走行についての比較検討を行った。集材路の幾何構造に関しては、トラクタの走行性能に応じた幾何構造について検討するとともに、労働科学的視点からも検討を加え、望ましい幾何構造について検討した。集材路の路網密度に関しては、経済的及び労働科学的視点からみた集材路網密度を求め、二つの視点から検討を行った。

## 2 生体負担からみたトラクタ集材作業の特徴と評価

### 2.1 トラクタ集材における生体負担の概要

人間が仕事をする場合、その仕事の性質や単位作業時間当たりの仕事量に応じていろいろな程度の心身活動が要求される。これは仕事の重荷を背負わされるという意味で労働負担と呼ばれているが、一般

の労働条件も含んだ意味に用いられるので仕事の内容や条件が具体的に決まっている場合は作業負担という表現が使われることが多い。また、作業負担に対応して生体の内部に引き起こされる心身反応や影響の大きさなどを含めて生体負担と呼んでいる。橋本は生体負担を仕事をすることにより直接的に生体反応として引き起こされる生理的負担と仕事によって生じる疲労を、仕事の経過につれて違った形で出現することや測定方法または評価方法が異なることから区別して取り扱うことを勧めている（橋本ほか、1973）。なお、作業が及ぼす生体反応の側から従来は肉体的作業と精神的作業の二つに分けられていたが、橋本は生理的負担の評価という立場から作業の分類を筋作業（動的筋作業と静的筋作業）、神経的操作、心的作業に分けている（橋本ほか、1973）。また、従来より神経的操作や心的作業は総称して精神的作業と呼ばれている。

トラクタ集材は先山に散在する材を土場まで搬出してくる一連の作業であり、土場から先山間の運転作業と先山での木寄作業に大別することができよう。また土場と先山間の運転作業については林内を自由に走行しながら材を搬出するオフロード走行方式と集材路を走行専用路として材を搬出する集材路走行方式が考えられる。まず、トラクタ運転がオペレータに及ぼす負担について考えてみる。第1はトラクタ運転が集材路の線形や縦断勾配、林地に散在する根株や地表障害物といった外部環境の変化に対応して情報を入力しながら判断し、トラクタを制御して目的地まで到達させなければならない作業であり、普通の車両による運転と比較してかなり情報や判断が複雑で運転操作が難しい。従って神経的負担が大きい作業と考えられる点である。第2はオフロード走行や急斜面走行においてはトラクタの横転や滑落に対する不安や緊張感が高まり精神的ストレスを受けることである。第3は運転手が長時間狭いキャビン内で作業するために圧迫感を受けることやトラクタ自身の振動や騒音による影響も受けることである。第4は手足の操作により運転が行われるために腰部や脚部の関節を支点とする運動をすることになり、局部的に筋負担がかかる点である。このようにトラクタ運転作業は手足の局部的筋作業を含んでいるものの全体としてはエネルギー消費が少なく、神経系の方に強い緊張が要求される作業と考えられる。

木寄作業は先山においてトラクタ後部に搭載されているウィンチにより行われるが、この木寄作業にはロープ引き出しや林内歩行などの人力作業が伴う。トラクタ集材の木寄作業に関して山本ら（1972）はウィンチロープ引き出しなどの作業が重労働であることを指摘しており、木寄作業は比較的単純な作業ではあるが、動的筋作業負担要素がかなり含まれる作業であるものと考えられる。実際のトラクタ集材では土場から先山間の運転作業と先山での木寄作業をオペレータ1人で行うワンマン作業の場合が多くみられ、このような場合、オペレータは神経的負担や動的筋負担など質的に異なる負担を受けることになる。

## 2.2 生理的負担の測定法・評価法

人間が仕事から受ける生理的負担はその仕事の性質により異なるので、仕事の性質に応じた生理的機能の測定法を選択しなければならない。そこで生理的負担の代表的測定法について示すと Table 1 のとおりである。前述したように、トラクタ集材においては運転作業が神経的操作要素とレバー操作などの筋作業要素を含んでいることや木寄作業では筋作業要素が強いことが考えられることから、神経的操作

Table 1. 生理的負担の代表的測定法  
Methods for measuring physiological load

| 作業の分類<br>Work classifications | 測定法<br>Methods for measurement                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1) 動的筋作業<br>Dynamic work     | エネルギー代謝量 Energy metabolism, (エネルギー代謝率 RMR Relative metabolic rate, 酸素摂取量 Oxygen intake, CO <sub>2</sub> 摂取量 Carbon dioxide intake など), 呼吸数 Respiration rate, 心拍数 Heart rate, 筋電図 Electro-myogram など。                        |
| (2) 静的筋作業<br>Static work      | エネルギー代謝量と心拍数との相関関係またはその時間経過による変化 Correlation between energy metabolism and heart rate, 筋電図 Electro-myogram。                                                                                                                 |
| (3) 神経的作業<br>Skilled work     | 心拍数 Heart rate, 毎回平均呼吸振幅 Average respiration amplitude, 手掌皮膚抵抗値 Palmar skin resistance (または精神電流反射 Psychogalvanic reaction) 血圧 Blood pressure, 眼球運動 Eye movement, 尿 17-ケトステロイド 17-ketosteroid, ノルアドレナリン排泄量 Noradrenaline など。 |
| (4) 心的作業<br>Mental work       | フリッカー値 Flicker value, 脳波 Electroencephalogram など。                                                                                                                                                                           |

や筋作業による負担を的確に評価することができるものがよい。また作業場所は野外で主に傾斜地であることから携帯に便利で測定方法が簡単なものがよい。このような条件を満たすものとして今日、臨床医学や予防医学の分野、体育の分野の研究でよりその有用性が高まっている心拍数の測定がある。筋作業における心拍数の増加は脳の運動中枢の興奮と筋の収縮に伴う筋紡錘の活動が神経系を介して拍動を速めるように作用するためであり、筋内で発生した代謝産物が血液を介して促進神経を刺激するためだとも考えられている。また、神経的作業や心的作業などの精神的作業はこの作業が脳皮質のレベルのものであるために、その下部にある間脳に刺激を与え、この間脳の支配下にある心拍数が変動すると考えられており、情緒的な緊張を示す精神的作業にも心拍数は変動を示すと考えられている（橋本ほか、1973）。

労働科学の分野においては従来より筋作業における生理的負担の有用な指標としてエネルギー代謝率（Relative Metabolic Rate : RMR）が活用されてきている（藤林ほか、1956；人間工学ハンドブック編集委員会、1966；沼尻、1974b；労働科学研究所、1956）。また、RMR は心拍数との間に直線的比例関係が示されることが今日までの研究により認められている（沼尻、1974a；酒井ほか、1967）。さらに心拍数は筋作業の負担のみならず精神的作業における負担の判定にも有効な方法であるという多くの報告がある（橋本ほか、1962；石橋ほか、1968、室谷ほか、1982；吉竹、1968）。

以上のように心拍数は筋作業や精神的作業の生理的負担を測定するための指標として有用なものと考えられる。ところで心拍数は性、年齢、食事の影響、体力差などの影響を受けやすく、さらに個人差もあることが指摘されており（橋本ほか、1973；山地、1986）、心拍数の測定には問題点もあることは否めない。しかし携帯に便利であり、被験者の作業に支障を与えることなく測定できることなどから、現状における野外測定の手段としては最も有効な測定法であると考えられる。そこで本研究では心拍数を中

心としてトラクタオペレータの生理的負担を測定することにした。なお心拍数の測定にあたっては前述した問題点を十分に考慮し、実験ではそれらを極力消去するよう条件整備を工夫して行った。

心拍数を用いて生理的負担を評価する場合、安静時心拍数を基準としてどれだけ増加したかをみる心拍数増加数あるいは安静時心拍数に対する作業時心拍数の増加量の変化率を表す心拍数増加率などが用いられるが、心拍数増加率は比較的個人差が少なくなるといわれていることから（人間工学ハンドブック編集委員会，1966），心拍数増加率を中心として生理的負担を評価することにした。なお、心拍数増加率は次式により求められる。

$$HR = \{(HB_2 - HB_1) / HB_1\} \times 100 \quad (1)$$

HR：心拍数増加率（％）

HB<sub>1</sub>：安静時心拍数（拍/min）

HB<sub>2</sub>：作業時心拍数（拍/min）

## 2.3 作業強度と消費エネルギー量の推定

### 2.3.1 調査方法

調査は前橋宮林局棚倉宮林署管内88林班67年生ヒノキ人工林皆伐地で行った。本調査地では集材路走行を基本として集材が行われ、オペレータの作業は基本的にはトラクタ運転からウィンチロープの引き回し、木寄せまですべてワンマン作業であった。しかし集材木へのスリングワイヤロープ掛けについては作業補助者の補助を受けた。調査地の平均傾斜は約15°、集材距離は約320m、木寄距離は約20mであり、国有林における平均的なトラクタ集材地の作業条件と類似していた（林業機械化協会，1986）。なお、集材路からの木寄せ作業は集材路をはさんで下げ荷と上げ荷が行われた。オペレータはトラクタ運転歴6年、24歳の健康な男性（身長：H=170cm、体重：W=63kg）であった。調査はオペレータの作業についての時間観測を行うとともに、作業中の心拍数を連続的に測定した。心拍数の測定には心拍メモリー装置（竹井機器製）を使用した。測定にあたっては心拍を10秒間隔で測定し、メモリーに記憶させた。さらに作業中の心拍数と酸素摂取量との関係を調べるために、心拍数とともに酸素摂取量計（オキシログ：モーガン社製）を使用して約1時間程度作業中の酸素摂取量を計測した。調査は2日間にわたって行い、分析は17サイクルの調査データをもとにした。集材には7tクラスのクローラタイプトラクタが使用された。

### 2.3.2 調査結果と考察

Table 2は各単位作業の作業時間割合と心拍数増加率を示したものである。作業割合は土場と先山間の空車運転、実車運転の合計が約55%、先山での木寄せ運転まで含めると作業全体の約63%が運転作業で占められている。木寄せに関連する作業は約21%である。木寄せ関連作業の中ではウィンチロープ引き出しが10.8%であり、木寄せ関連作業の約半分を占めている。心拍数増加率は単位作業間において異なった値がみられ、その中でも木寄せに関連する作業は60～70%台の高い値である。特に、ウィンチロープ引き出しやウィンチドラムからロープをたぐりだす心拍数増加率の値が高い。一方、運転作業の心拍数増加率は空車運転14.9%、実車運転18.9%、木寄せ運転26.6%であり、木寄せ運転の値が最も高い。

木寄せ運転は集材木を荷掛け地点からトラクタ後部まで引き寄せる作業であり、オペレータは後方を見

Table 2. 作業時間の割合と心拍数増加率

Rates of working time and rates of increase of heart rate to each working unit in tractor operation

| 単位作業<br>Working units                      | 割合 (%)<br>Rates of working<br>time | 心拍数増加率 (%)<br>Rates of increase of<br>heart rate |
|--------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 空車運転 Unload driving                        | 24.6                               | 14.9                                             |
| 実車運転 Load driving                          | 30.6                               | 18.9                                             |
| 木寄運転 Prehauling driving                    | 7.5                                | 26.6                                             |
| 乗・下車 Getting on-off tractor                | 1.4                                | 40.4                                             |
| 荷卸し Unloading                              | 8.9                                | 47.3                                             |
| スリング準備 Preparing sling ropes               | 0.8                                | 51.8                                             |
| ロープ引出し Pulling out winch rope with walking | 10.8                               | 74.3                                             |
| ロープたぐり Pulling winch rope                  | 3.3                                | 78.5                                             |
| 荷掛け Choker setting                         | 7.0                                | 64.1                                             |
| 空身歩行 Walking                               | 4.5                                | 54.7                                             |
| 手持歩行 Walking with something in one's hand  | 0.6                                | 74.1                                             |

ながら根株、倒木、石などの地表障害物に集材木が掛からないよう注意しながらレバーやペダルの操作をしなければならない。従ってレバーやペダルの操作による局所的な筋負担や地表障害物に対する注意力などが心拍数に影響を及ぼしているものと考えられる。空車運転と実車運転を比較すると実車運転の心拍数増加率がわずかに高い。この理由の一つとして、実車運転は筋作業負担が大きい木寄作業や木寄運転の後に続いて行われる作業であることから、これらの作業が影響を及ぼしているのではないかとされる。空車及び実車運転においては路面勾配の変更点やカーブなどの地点でペダルやレバー操作が行われ、運転作業による神経的な負担とともに局所的な筋負担が心拍数に影響することが考えられる。しかし本調査地のように集材路走行を基本とする走行であればペダルやレバーの操作頻度は比較的少ないものと推察されることから、局所的な筋負担が心拍数に及ぼす影響は小さいものと考えられる。従って、集材路走行方式における運転作業は神経的作業負担要素を多く含むものと考えられる。ここで神経的作業負担が大きいと考えられる作業に関する心拍数増加率の調査例をみると、高速道路における自動車運転の場合、昼間の運転では0～10%、夜間の運転では10～20%程度（大久保，1985）、電車運転では10～17%（人間工学ハンドブック編集委員会，1966）、また林道におけるヘアピンカーブや複合カーブを含む区間の車両運転では4～17%（岩川ほか，1979b）といった報告がある。土場から先山間のトラクタ運転作業の心拍数増加率は先述したように約15～19%であり、これらの値に匹敵している。従って、トラクタ運転の神経的作業負担は比較的大きいものと推察される。なお、集材路以外のオフロード走行をする場合には安全走行に対する十分な注意力や緊張感、滑りや横転に対する不安感などによる神経的な負担と地表障害物などの回避や乗り越しなどに伴う複雑な運転操作による手足の局所的な筋負担をオペレータは受けることになるものと思われる。従って、オフロード走行の心拍数増加率は本調査地のような集材路走行に比べてかなり高くなるものと予想される。

ここで各単位作業の作業強度の評価についてみると、我が国では従来より作業強度の指標として

RMR が活用され、作業強度の分類がなされている（労働科学研究所，1956；辻ほか，1965）。また橋本（人間工学ハンドブック，1966）は，RMR と心拍数増加率との関係を求めており，これをもとにして RMR と心拍数増加率による作業強度分類を示せば Table 3 のとおりである。この分類は筋作業を対象とした分類であり，神経的作業が主体と考えられるトラクタオペレータの運転作業の負担と筋作業の負担とを同一と考えることはできないが，心拍数の増加に伴って心筋にかかる負担は同一なので，このような意味から運転作業についてもこの分類と比較することは意義があるものと考えられる。Table 2 で示された各単位作業の心拍数増加率を Table 3 の分類に照らし合わせれば，空車運転，実車運転などの運転作業の作業強度は中作業に，木寄せ関連作業（手持歩行も含めて）は重作業に，それ以外の作業は中～強作業に分類される。

筋運動で消費されるエネルギーは終局的には酸化によってもたらされるので酸素摂取量によって表すことができる（猪飼，1986）。また，心拍数は酸素摂取量と直線的な比例関係にあることが今までの研究により認められている（BERGGREN, 1950；BOCK. *et al.*, 1928）。そこで，ここでは心拍数の変化より消費エネルギー量を推定しようとするものである。しかし先に述べたように心拍数は精神的影響も受けやすく個人差が大きいことや運動開始直後の心拍数の増加は神経的興奮によるものであり（BOWEN, 1904；KROGH. *et al.*, 1913；太田，1953），こうした神経的要因による心拍数の増加とエネルギー代謝とは関係がないといった指摘もなされている（BOWEN, 1904；CRAIG. *et al.*, 1963）。従って心拍数の取り扱いには慎重な配慮を払わなければならない。しかし野外作業において消費エネルギー量を推定しようとする場合，心拍数は簡易で有用な測定手段と考えられることから心拍数から算出した各単位作業の心拍数増加率により RMR を推定し，これをもとにして消費エネルギー量を算出することにした。ここでは心拍数増加率から RMR を推定するためにオペレータの作業中の心拍数と酸素摂取量を 1 時間程度同時に計測し，それらのデータをもとにして心拍数増加率と RMR との関係式を求めた（Fig. 3）。さらにこの関係式を各単位作業の心拍数増加率に適用して RMR を推定することにした。ここで RMR 並びに消費エネルギー量の算出方法を示せば次のとおりである（人間工学ハンドブック編集委員会，1966）。

$$\text{RMR} = (\text{VO}_{2w} - \text{VO}_{2r}) / \text{VO}_{2b} \quad (2)$$

$\text{VO}_{2w}$ ：作業時酸素摂取量（ $l/\text{min}$ ）

$\text{VO}_{2r}$ ：安静時酸素摂取量（ $l/\text{min}$ ）

$\text{VO}_{2b}$ ：基礎代謝時酸素摂取量（ $l/\text{min}$ ）

Table 3. 作業強度分類  
Classifications of work intensity

| 分 類<br>Classifications   | 主作業 R.M.R.<br>R.M.R. values of main work | 心拍数増加率（%）<br>Rates of increase of heart rate |
|--------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 軽作業 Light activity       | 0～1                                      | ～14.2                                        |
| 中作業 Moderately active    | 1～2                                      | 14.2～28.4                                    |
| 強作業 Very active          | 2～4                                      | 28.4～56.8                                    |
| 重作業 More active          | 4～7                                      | 56.8～99.3                                    |
| 激作業 Exceptionally active | 7～                                       | 99.3～                                        |

$$A = W^{0.444} \times H^{0.663} \times 88.83 \times 10^{-4} \quad (3)$$

A: 体表面積 (m<sup>2</sup>)

W: 体重 (kg)

H: 身長 (cm)

$$B = 0.6 \times A \quad (4)$$

B: 基礎代謝熱量 (kcal)

$$Y = B(RMR + 1.2) \times t \quad (5)$$

Y: 消費エネルギー量 (kcal)

t: 時間 (min)

Table 4 に示した各単位作業ごとの RMR は Table 2 に示された各単位作業の心拍数増加率を Fig. 3 に示された式に代入することにより推定したものである。さらにその推定 RMR 値を(5)式に代入して消費エネルギー量を推定した。ここでは運転作業のみに従事するオペレータの消費エネルギー量も試算してみた。なお、この場合の消費エネルギー量は先山ではすべて荷掛け待ちになるものと仮定している。1 時間当たりのオペレータの消費エネルギー量は 221.47 kcal、木寄作業を行わない場合の消費エネルギー量は 155.97 kcal と推定された。

次に 1 日当たりの消費エネルギー量を試算してみることにする。ここでは次のことを前提条件として 8 時間勤務における消費エネルギー量を試算した。

- (1) 主作業時間（主体作業時間と附体作業時間の合計）を 6 時間とする。
- (2) 準備作業時間（身支度、整備点検、職場歩行、準備体操）を 30 分、平均 RMR を 1.6 とする。
- (3) 余裕時間（職場、作業、疲れ、用達）を 90 分、平均 RMR を 0.32 とする。

前記における準備作業時間、余裕時間並びにそれらの平均 RMR については文献（河野ほか、1985）に示されているトラクタオペレータの事例を参考とした。計算の結果、集材路走行方式におけるオペレータの 8 時間労働の消費エネルギー量は 1 549.6 kcal、運転作業のみに専念する場合は 1 156.6 kcal であることが推定された。Table 5 は 1 日当たり（8 時間勤務）の消費エネルギー量についての労働の等級区分である（辻ほか、1965）。前述した消費エネルギー量の推定値と Table 5 を比較すれば、集材路走行方式のトラクタオペレータの作業は強労働、運転作業のみに専念する場合は中労働に分類されることが分かる。沼尻は 8 時間労働における消費エネルギー量の許容限界は 1 800 kcal と指摘しており（沼尻、1974 b）、これに準拠すれば集材路走行方式におけるオペレータの消費エネルギー量は許容範囲内にあるといえる。

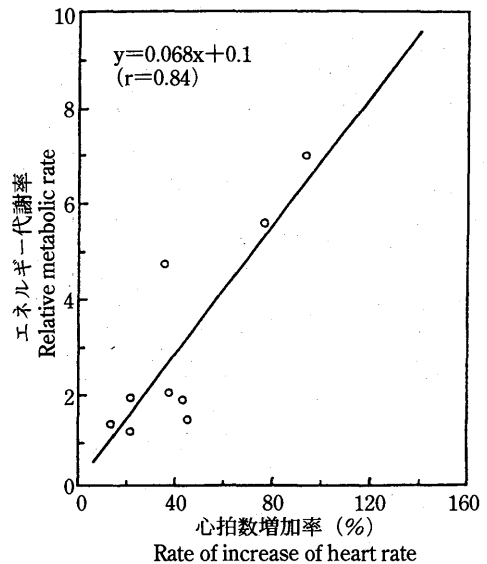


Fig. 3 オペレータの心拍数増加率とエネルギー代謝率

Relationships between rates of increase of heart rate and relative metabolic rates

Table 4. 単位作業の RMR と消費エネルギー量

Values of R.M.R. and energy consumption to each working unit

(運転・木寄作業) Driving and prehauling

| 単位作業<br>Working units                             | 1 時間当たり平均<br>作業時間 (min)<br>Average working<br>time per hour | RMR<br>Relative<br>metabolic<br>rate | 1 分間当たり消費<br>熱量 (kcal/min)<br>Values of work<br>metabolism per<br>miniute | 1 時間当たり消費<br>熱量 (kcal/h)<br>Values of total<br>work metabolism<br>per hour |
|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 空車運転<br>Unload driving                            | 14.7                                                        | 1.11                                 | 2.33                                                                      | 34.25                                                                      |
| 実車運転<br>Load driving                              | 18.4                                                        | 1.39                                 | 2.61                                                                      | 48.02                                                                      |
| 木寄運転<br>Prehauling driving                        | 4.5                                                         | 1.91                                 | 3.14                                                                      | 14.13                                                                      |
| 乗・下車<br>Getting on-off tractor                    | 0.8                                                         | 2.85                                 | 4.08                                                                      | 3.26                                                                       |
| 荷卸し<br>Unloading                                  | 5.3                                                         | 3.32                                 | 4.56                                                                      | 24.17                                                                      |
| スリング準備<br>Preparing sling ropes                   | 0.5                                                         | 3.62                                 | 4.86                                                                      | 2.43                                                                       |
| ロープ引出し<br>Pulling out winch rope<br>with walking  | 6.5                                                         | 5.15                                 | 6.40                                                                      | 41.60                                                                      |
| ロープたぐり<br>Pulling winch rope                      | 2.0                                                         | 5.44                                 | 6.70                                                                      | 13.40                                                                      |
| 荷掛け<br>Choker setting                             | 4.2                                                         | 4.46                                 | 5.71                                                                      | 23.98                                                                      |
| 空身歩行<br>Walking                                   | 2.7                                                         | 3.82                                 | 5.06                                                                      | 13.66                                                                      |
| 手持歩行<br>Walking with some-<br>thing in one's hand | 0.4                                                         | 5.14                                 | 6.39                                                                      | 2.56                                                                       |
| 合計 Total                                          | 60.0                                                        |                                      | 3.69                                                                      | 221.47                                                                     |

(運転作業) Driving

| 単位作業<br>Working units           | 1 時間当たり平均<br>作業時間 (min)<br>Average working<br>time per hour | RMR<br>Relative<br>metabolic<br>rate | 1 分間当たり消費<br>熱量 (kcal/min)<br>Values of work<br>metabolism per<br>miniute | 1 時間当たり消費<br>熱量 (kcal/h)<br>Values of total<br>work metabolism<br>per hour |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 空車運転<br>Unload driving          | 14.7                                                        | 1.11                                 | 2.33                                                                      | 34.25                                                                      |
| 実車運転<br>Load driving            | 18.4                                                        | 1.39                                 | 2.61                                                                      | 48.02                                                                      |
| 木寄運転<br>Prehauling driving      | 4.5                                                         | 1.91                                 | 3.14                                                                      | 14.13                                                                      |
| 乗・下車<br>Getting on-off tractor  | 0.8                                                         | 2.85                                 | 4.08                                                                      | 3.26                                                                       |
| 荷卸し<br>Unloading                | 5.3                                                         | 3.32                                 | 4.56                                                                      | 24.17                                                                      |
| スリング準備<br>Preparing sling ropes | 0.5                                                         | 3.62                                 | 4.86                                                                      | 2.43                                                                       |
| 荷掛け待ち<br>Waiting                | 15.8                                                        | 0.66                                 | 1.88                                                                      | 29.70                                                                      |
| 合計 Total                        | 60.0                                                        |                                      | 2.73                                                                      | 155.97                                                                     |

Table 5. 勤務時間中の消費熱量による労働強度区分  
Classifications of work intensity by values of work metabolism in eight business hours

| 等級<br>Ranks | 分類<br>Classifications | 勤務時間中の<br>平均 R.M.R.<br>Average relative<br>metabolism rates in<br>eight business hours | 想定実働率 (%)<br>Supposed rates of<br>actual working | 勤務時間中の<br>消費熱量 (kcal)<br>Values of work<br>metabolism in eight<br>business hours |
|-------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| A           | 軽<br>Light            | 0.8                                                                                    | 80                                               | 550～ 920<br>(735)                                                                |
| B           | 中<br>Moderate         | 0.8～1.5<br>(1.2)                                                                       | 80～75                                            | 920～1 250<br>(1 085)                                                             |
| C           | 強<br>Heavy            | 1.5～2.6<br>(2.1)                                                                       | 75～65                                            | 1 250～1 750<br>(1 500)                                                           |
| D           | 重<br>Very heavy       | 2.6～3.5<br>(3.1)                                                                       | 65～50                                            | 1 750～2 170<br>(1 960)                                                           |
| E           | 激<br>Extremely heavy  | 3.5～                                                                                   | 50～                                              | 2 170～                                                                           |

注：カッコ内の数字は平均値。

Note: Values in ( ) are the average.

## 2.4 まとめ

労働科学的視点からトラクタ集材の作業環境を把握するために、トラクタ集材作業に適した生体負担の測定法・評価法を検討するとともに、集材路走行方式の作業実態を対象として検討を行った。

その結果、木寄せ関連作業の心拍数増加率は60～70%の値であり、その作業強度は重作業に区分され、動的筋作業負担は強いことが確認された。従って、木寄せ作業範囲の検討など負担軽減のための方策が必要であることが考えられた。しかし、それらの作業割合は全体の約21%程度であることから集材路走行方式における作業全体としての消費エネルギー量は比較的少なく、1日当たり（8時間労働）の消費エネルギー量は許容範囲内にあることが推定された。従って消費エネルギーにより生じる疲労に関する問題はないものと考えられた。一方、神経的負担要素を多く含むものと考えられる土場と先山間の運転作業の心拍数増加率は約15～19%であり、神経的負担の心拍数増加率レベルからみてその負担は比較的大きいものと推察された。なお運転作業時間割合は作業全体の約55%を占めていることから、運転による緊張感や作業ストレスを受ける可能性が高く、それを緩和するための手だてが必要とされることが確認された。

## 3 集材走行方式の違いによる生理的負担の比較検討

集材路走行方式においても集材路線の線形や路面状態を的確に判断しながらトラクタを走行させていかなければならないことから、オペレータには注意力や緊張感などが必要とされることは否めない。しかし集材路を通して横転や横滑りの回避など安全走行が確保されているために、オフロード走行方式と比較して注意力や不安感、緊張感などに起因する神経的負担は少ないものと予想される。土場から先山

間の運転作業は全体の大きな部分を占めており、トラクタ集材にとって非常に重要な位置付けにある。

そこで集材路走行方式とオフロード走行方式の得失について、主としてトラクタ走行時のオペレータの生理的負担の側面から検討を行った。

### 3.1 集材地におけるトラクタ走行時のオペレータの生理的負担

#### 3.1.1 調査地と実験方法

現地調査は前橋宮林局棚倉営林署管内104林班アカマツ81年生林のトラクタ全幹集材地において行った。本調査地の地形図並びに集材路線はFig. 4及び5に示すとおりである。Fig. 5に示されている番号は路線の線形あるいは縦断勾配の変更点である。集材路走行実験では土場から先山への空車走行、先山から土場への実車走行（積載量約1tf）を行った。走行経路は空車走行では1→8→10→20→25、実車走行では25→20→10→6→1であった。走行試験は空車走行と実車走行を交互に行い、空車走行は3回、実車走行は2回の繰り返しを行った。一方、オフロード走行実験はFig. 4に示されたA～Dまでの各林地内において20～40mの走行試験区間を設定し、空車状態で最大傾斜方向に上り、下りの直線走行を行った。測定は上り、下り走行ともに2回の繰り返しを行った。なおオフロード走行実験プロットの林地状態はTable 6のとおりである。走行にあたっては集材路走行、オフロード走行ともに走行速度や運転方法はオペレータに任せ、通常の走行をするように指示した上で実験を行った。またトラクタ走行以外の外乱要因が入らないような配慮や各実験前には3～5分間の十分な休息をとるなど、条件整備を整えた上で実験を行った。

本走行実験におけるオペレータの生理的負担指標として心拍数を測定することにした。その測定には

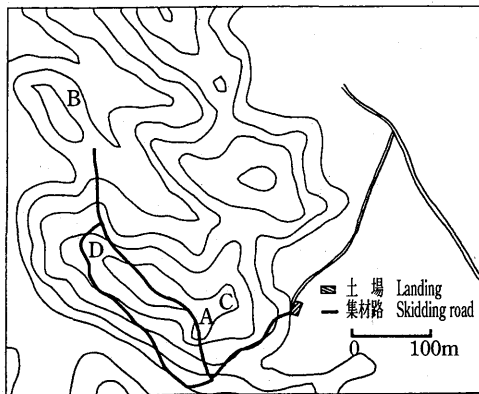


Fig. 4 調査地の地形図

Topographic map of the logging site for this investigation

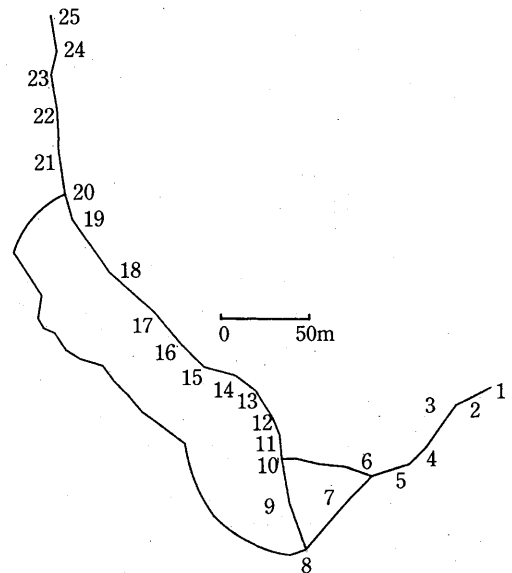


Fig. 5 調査地の集材路線

Skidding roads of the logging site for this investigation

Table 6. オフロード走行試験地の林地状態  
Forest land conditions of off-road driving test plots

| 試験地プロット Test plots                                             | A                                    | B                                    | C                                    | D                                    |
|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 林 況<br>Stand conditions                                        | アカマツ伐採跡地<br>Red pine<br>logging site | アカマツ伐採跡地<br>Red pine<br>logging site | アカマツ伐採跡地<br>Red pine<br>logging site | アカマツ伐採跡地<br>Red pine<br>logging site |
| 傾 斜(deg)<br>Slopes                                             | 2.0                                  | 6.3                                  | 8.0                                  | 15.3                                 |
| 含水比(%)<br>Water content                                        | 155.2                                | 92.4                                 | 155.2                                | 115.2                                |
| 地表の支持力(kgf/cm <sup>2</sup> )<br>Resisting capacity of<br>earth | 2.95                                 | 3.04                                 | 2.95                                 | 2.66                                 |
| 地表障害物<br>Obstacle                                              |                                      |                                      |                                      |                                      |
| 頻 度(個/ha)<br>Frequency                                         | 2 000                                | 1 700                                | 2 000                                | 1 400                                |
| 種 類<br>Kind                                                    | 根株・倒木<br>Stump・Fallen<br>tree        | 根株・倒木<br>Stump・Fallen<br>tree        | 根株・倒木<br>Stump・Fallen<br>tree        | 根株・倒木<br>Stump・Fallen<br>tree        |
| 根株の平均直径(cm/本)<br>Average diameters of<br>stumps                | 18.2                                 | 32.4                                 | 18.2                                 | 27.4                                 |

地表の支持力は表層下 5 cm から 30 cm までの深度別コーン指数の平均値

The values of resisting capacity of earth are the mean of values of cone index measured each depth (5cm to 30cm under surface).

心拍メモリー装置（竹井機器製）を使用し、心拍の R-R 間隔時間（一拍のごとの間隔時間）から心拍数を求めた。オペレータはトラクタ運転歴 22 年、年齢 50 歳の健康な男性であった。本実験には 7tf クラスのクローラトラクタと 6tf クラスのホイールトラクタを使用した。

### 3.1.2 実験結果と考察

集材路走行における路線は土場から先山に向かって 1→11 は上り、11→17 は平坦、17→25 は下りという縦断構造になっている。そこで各機種ごとにこれら走行区間についての心拍数増加率を示したものが Table 7 及び 8 である。クローラタイプの場合、空車走行における全区間の心拍数増加率は 13.5%，最も高い走行区間は 17→25 で、19.9% である。実車走行では全区間の心拍数増加率は 11.1%，最も高い走行区間は 11→1 で、17.3% である。このように、全区間の心拍数増加率は空車、実車走行ともに差がみられない。しかし、積載の有無にかかわらず下り走行区間で心拍数増加率が高い。ホイールタイプの場合、空車走行における全区間の心拍数増加率は 5.6%，最も高い走行区間は 17→25 で、7.1% である。実車走行では全区間の心拍数増加率は 7.9%，最も高い走行区間は 11→1 で、8.4% である。このようにホイールタイプにおける心拍数増加率のレベルはクローラタイプより少し低かったが、積載の有無や走行方向の違いに関する心拍数増加率の傾向はクローラタイプの場合と同じであった。ホイールタイプではクローラタイプに比べて車体が大きかったことや 4 輪駆動であったことなどよりオペレータがより安定感を感じたことが心拍数レベルを下げる結果になったものと思われる。

Table 7. 集材路走行におけるオペレータの心拍数増加率（クローラトラクタの場合）  
Operator's rates of increase of heart rate during on-road driving (In the case of crawler type)

(空車走行)

Unload driving

| 走行区間<br>Driving sections | 縦断勾配(°)<br>Longitudinal<br>grades | 走行速度 (km/h)<br>Speeds | 心拍数増加率 (%)<br>Rates of increase of<br>heart rate |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| 1～11                     | 9.2                               | 3.39                  | 10.7                                             |
| 11～17                    | — 1.0                             | 4.03                  | 9.9                                              |
| 17～25                    | —11.2                             | 4.08                  | 19.9                                             |
| 全 体<br>The whole section |                                   | 3.74                  | 13.5                                             |

(実車走行)

Load driving

| 走行区間<br>Driving sections | 縦断勾配(°)<br>Longitudinal<br>grades | 走行速度 (km/h)<br>Speeds | 心拍数増加率 (%)<br>Rates of increase of<br>heart rate |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| 25～17                    | 11.2                              | 1.69                  | 9.9                                              |
| 17～11                    | 1.0                               | 3.83                  | 7.7                                              |
| 11～ 1                    | —12.6                             | 3.73                  | 17.3                                             |
| 全 体<br>The whole section |                                   | 2.83                  | 11.1                                             |

Table 8. 集材路走行におけるオペレータの心拍数増加率（ホイールトラクタの場合）  
Operator's rates of increase of heart rate during on-road driving (In the case of wheel type)

(空車走行)

Unload driving

| 走行区間<br>Driving sections | 縦断勾配(°)<br>Longitudinal<br>grades | 走行速度 (km/h)<br>Speeds | 心拍数増加率 (%)<br>Rates of increase of<br>heart rate |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| 1～11                     | 9.2                               | 3.13                  | 5.3                                              |
| 11～17                    | — 1.0                             | 4.44                  | 4.2                                              |
| 17～25                    | —11.2                             | 4.94                  | 7.1                                              |
| 全 体<br>The whole section |                                   | 3.90                  | 5.6                                              |

(実車走行)

Load driving

| 走行区間<br>Driving sections | 縦断勾配(°)<br>Longitudinal<br>grades | 走行速度 (km/h)<br>Speeds | 心拍数増加率 (%)<br>Rates of increase of<br>heart rate |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------|
| 25～17                    | 11.2                              | 2.89                  | 5.7                                              |
| 17～11                    | 1.0                               | 3.52                  | 4.6                                              |
| 11～ 1                    | —12.6                             | 4.05                  | 8.4                                              |
| 全 体<br>The whole section |                                   | 3.75                  | 7.9                                              |

オフロード走行における各走行試験プロットの林地状態の概要を説明すると次のようになる。プロット A, C は幅広い尾根筋上にあり、地表障害物のほとんどは根株であった。ha 当たり地表障害物は比較的多いもののその大きさは小さく、根株の高さも低い状態であったことから地表面の走行条件としては良好であるように思われた。プロット B は幅が狭い尾根筋上にあり枝条がかなり散乱していた。地表障害物としては根株のほかに倒木も散乱し、根株は径が大きく、株高も高い状態であった。プロット D は斜面中腹にあり、他のプロットに比較して地表の支持力はわずかに弱いものの地表障害物が少なく、地表面の走行条件としては比較的よいものと思われた。

Table 9 及び 10 は走行方向や走行速度などの走行条件とオペレータの心拍数について両機種ごとに取りまとめたものである。心拍数増加率はクローラタイプの場合、上り走行で 6.9~13.2%, 下り走行で 9.7~17.0% の範囲にあり、各プロットともに下り走行が上り走行に比べてわずかに高い。また、上り走行、下り走行ともに地表面状態が荒れているプロット B での心拍数増加率は他のプロットに比較して高い。比較的地表状態がよいプロット A, C, D を比べてみると林地傾斜の増加に伴って心拍数増加率も上昇する傾向がみられる。一方、ホイールタイプの場合は上り走行で -3.5~15.2%, 下り走行で 2.1~21.8% の範囲にあり、走行方向、林地傾斜、地表面状態と心拍数増加率の関係はクローラの場合と類似した傾向であった。

オフロード走行の走行速度は Table 9 及び 10 に示されているように低速で走行されている。今回のオフロード走行実験では迂回のための走行操作はなく、最大傾斜方向に対して直線走行をしている。林地傾斜が急になるにつれて走行速度は低下する傾向がみらるが、これはオペレータがトラクタの滑りや横転を防止するために意識的に速度を低下させているものと推察される。

以上のようにオフロード走行ではプロット B での心拍数増加率が他のプロットに比較してかなり高く、集材地における林地の地表状態の良否はオペレータの生理的負担に影響を及ぼす重要な要因であるものと考えられた。また、林地傾斜が急になるにつれて心拍数増加率の上昇がみられることから、林地傾斜も生理的負担に影響を及ぼす要因であるものと考えられた。

Table 9. オフロード走行におけるオペレータの心拍数 (クローラタイプ)

Operator's rates of increase of heart rate during on-road driving (In the case of crawler type)

| 試 験<br>プロット<br>Test plots | 走行方向<br>Driving<br>directions | 走行速度<br>(km/h)<br>Speeds | 心 拍 数<br>Heart rate       |                                     |                                 |      |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------|
|                           |                               |                          | 平均値(回/min)<br>Mean values | 増加数(回/min)<br>Number of<br>increase | 増加率 (%)<br>Rates of<br>increase |      |
| A                         | Uphill                        | 上り                       | 3.31                      | 64.4                                | 4.2                             | 6.9  |
|                           | Downhill                      | 下り                       | 3.24                      | 66.1                                | 5.9                             | 9.7  |
| B                         | Uphill                        | 上り                       | 2.99                      | 71.9                                | 8.4                             | 13.2 |
|                           | Downhill                      | 下り                       | 2.38                      | 74.3                                | 10.8                            | 17.0 |
| C                         | Uphill                        | 上り                       | 2.59                      | 66.9                                | 6.7                             | 11.1 |
|                           | Downhill                      | 下り                       | 2.63                      | 66.6                                | 6.4                             | 10.6 |
| D                         | Uphill                        | 上り                       | 1.55                      | 66.6                                | 6.7                             | 11.2 |
|                           | Downhill                      | 下り                       | 2.52                      | 67.8                                | 7.9                             | 13.2 |

Table 10. オフロード走行におけるオペレータの心拍数 (ホイールタイプ)

Operator's rates of increase of heart rate during on-road driving (In the case of wheel type)

| 試 験<br>プロット<br>Test plots | 走行方向<br>Driving<br>directions | 走行速度<br>(km/h)<br>Speeds | 心 拍 数<br>Heart rate       |                                     |                                 |
|---------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
|                           |                               |                          | 平均値(回/min)<br>Mean values | 増加数(回/min)<br>Number of<br>increase | 増加率 (%)<br>Rates of<br>increase |
| A Uphill                  | 上り                            | 3.42                     | 64.6                      | -2.4                                | -3.5                            |
| Downhill                  | 下り                            | 4.57                     | 69.7                      | 2.8                                 | 4.2                             |
| B Uphill                  | 上り                            | 3.06                     | 79.5                      | 10.5                                | 15.2                            |
| Downhill                  | 下り                            | 2.63                     | 84.0                      | 15.0                                | 21.8                            |
| C Uphill                  | 上り                            | 3.06                     | 68.6                      | 1.7                                 | 2.5                             |
| Downhill                  | 下り                            | 3.60                     | 68.3                      | 1.4                                 | 2.1                             |
| D Uphill                  | 上り                            | 2.16                     | 72.1                      | 5.2                                 | 7.7                             |
| Downhill                  | 下り                            | 2.23                     | 72.3                      | 5.4                                 | 8.1                             |

次に、前述した集材路走行並びにオフロード走行試験において得られた空車走行状態におけるオペレータの心拍数をもとに両者の生理的負担について検討する。なお、両走行実験において走行勾配の影響がみられたことから走行勾配を同一条件として両者の比較を行った。

Fig. 6 はクローラタイプの場合の集材路走行とオフロード走行における走行勾配と心拍数増加率を示したものである。図中の実線は先の集材路走行において得られた集材路線の各走行区間の縦断勾配と心拍数増加率との関係を最小 2 乗法により回帰させたものである。また図中のマークはオフロード走行で得られたプロット A～D の心拍数増加率を示したものである。上り走行ではオフロード走行のプロット A, C, D の値は集材路走行の場合とあまり差がないようにみえる。しかし地表面状態が荒れていたプロット B の値は集材路走行に比べて高い値が示されている。一方、下り走行ではプロット A の値は集材路走行の値との間に差はみられない。プロット C, D の値は集材路走行の値より低い、プロット B では集材路走行の値より高い。なお、ホイールタイプの場合においてもクローラタイプと同様の傾向が示された。

以上のように実際の集材地における集材路走行とオフロード走行を比較してみると、プロット A, C, D のように地表状態が良い林地でのオフロード走行の心拍数増加率と集材路走行のそれとの間に差はみられなかった。この原因は主として走行速度の違いによるものと考えられる。Fig. 7 はクローラタイプについて空車走行時の集材路走行とオフロード走行の走行速度を比較したものである。集材路走行速度は縦断勾配や路線線形の変更点間の距離とトラクタの走行時間から求めたものである。一方、オフロード走行速度は前述したように、最大傾斜方向に対して直線の走行区間を設定して走行させていることから、その直線走行区間距離とトラクタの走行時間から求めたものである。この図よりオフロード走行の走行速度レベルは集材路走行に比べて明らかに低いことが分かる。オフロード走行においては走行速度がオペレータの生理的負担に及ぼす影響は後述するシミュレート実験からも明らかにされており、集材地でのオフロード走行は走行速度が低速であったことにより生理的負担が抑えられ、集材路走行との間にあまり差がみられなかったものと考えられる。しかし根株、倒木、枝条などの地表障害物が散

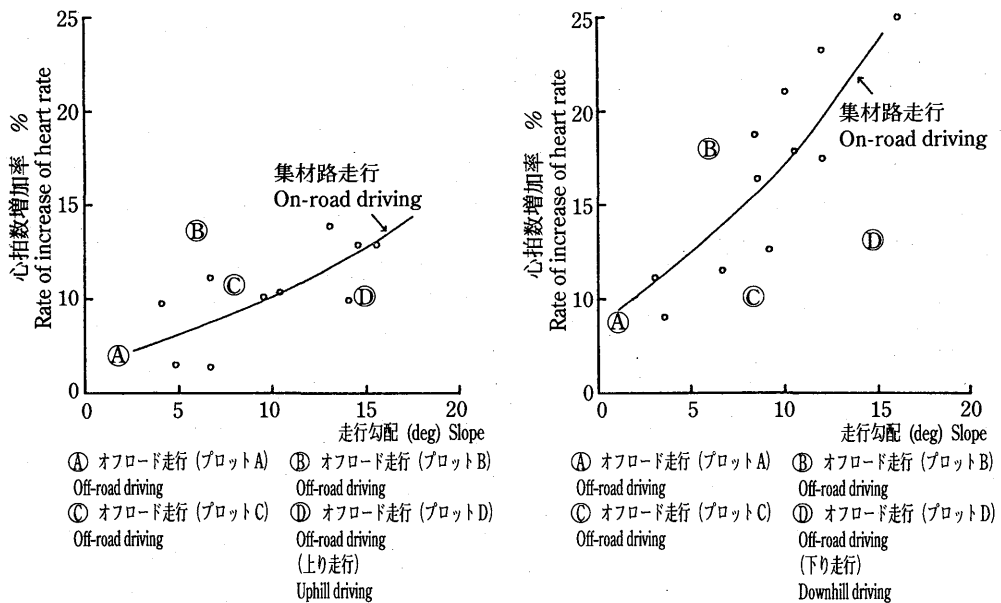


Fig. 6 集材路走行とオフロード走行における心拍数増加率の比較 (クローラ)

Comparison of rates of increase of heart rate during on-road driving and off-road driving (In the case of crawler type tractor)

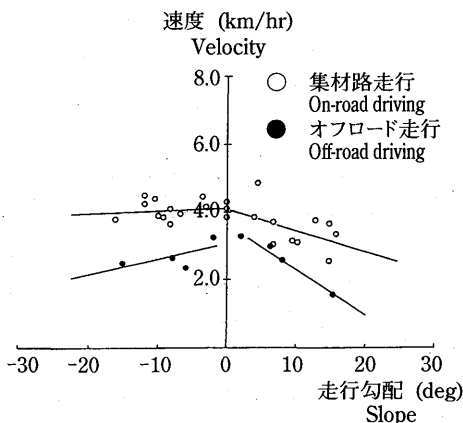


Fig. 7 集材路走行とオフロード走行の走行速度 (クローラ)

Comparison of driving speeds during on-road driving and off-road driving (In the case of crawler type tractor)

乱していたプロット B での値は、上り・下り走行ともに集材路走行の場合に比べて明らかに高く、地表状態が少しでも悪い林地でのオフロード走行は集材路走行に比べてオペレータの生理的負担が大きくなることが確認された。オペレータの生理的負担は林地の地表条件が良好な場合、オフロード走行と集材路走行ではあまり差がみられなかったが、トラクタ集材にとって作業能率の重要な要因である走行速度は集材路走行の方がオフロード走行に比べてかなり速く、集材路走行はオフロード走行と同程度の生理的負担を受けながらも作業能率の面では非常に有利であるものと考えられることができる。

### 3.2 シミュレート実験によるトラクタ走行時のオペレータの生理的負担

#### 3.2.1 実験方法

実際のトラクタ集材地では種々の要因が複雑に絡み合っていることから、生理的負担との関係を明確にすることが難しい。そこで集材路走行とオフロード走行に関して生理的負担とその関連要因との関係を明らかにするために森林総合研究所内実験圃場においてシミュレート実験を行った。シミュレート実験は Fig. 8 に示した走行試験路で行った。オフロード走行のシミュレート実験は直径 12cm、長さ 1m の丸太を 2 本ずつ 5m おきに配置した走行試験路を走行することにした。なお、丸太を乗り越す際には片側（左側）乗り越しとした。オフロード走行路の設定にあたっては、集材路以外の林地では根株や枝条などが散乱していることから、障害物上の走行という視点から丸太を乗り越すことにした。なお障害物としての丸太の大きさは走行にあたってのオペレータの安全などを考慮して決定した。

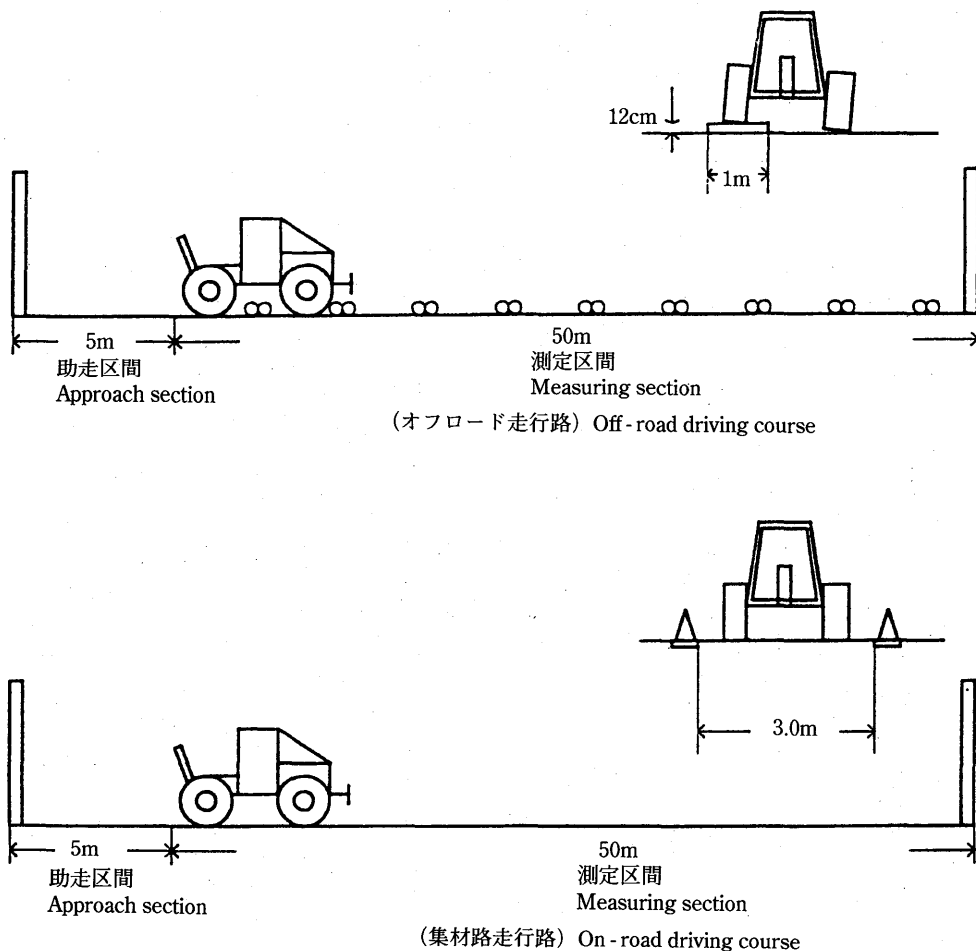


Fig. 8 シミュレート実験走行路  
Driving courses for simulated tests

一方、集材路走行は平坦な路面上においてカラーコーン（プラスチック製の三角錘状の障害物）により幅員を3mに規制した走行試験路を走行することにした。実験条件はTable 11に示したとおりである。実験は各被験者ごとに繰り返しを乱塊法により行った。繰り返し数は3回、各ブロックにおける組み合わせの実験順序はランダム化し、条件整備を整えた上で行った。被験者の生理的負担の指標としての心拍数は、先のトラクタ集材地での走行実験の場合と同様の方法で計測した。被験者はトラクタ運転に慣れている森林総合研究所男性職員2名とした。なお本実験では林業用ホイールタイプトラクタ（2.6tf）を実験に使用した。

### 3.2.2 実験結果と考察

実験条件の各組み合わせにおける心拍数及び走行速度の結果を示したものがTable 12である。走行

Table 11. 集材路走行とオフロード走行のシミュレート実験条件要因  
Factors and levels of examinations for simulated on-road driving and off-road driving

| 要 因<br>Factors             | 水 準<br>Levels                   |                                    |                               |
|----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| B: ブロック<br>Repetations     | B <sub>1</sub> (1回目)<br>First   | B <sub>2</sub> (2回目)<br>Second     | B <sub>3</sub> (3回目)<br>Third |
| P: 走行方式<br>Driving methods | P <sub>1</sub> (集材路)<br>on-road | P <sub>2</sub> (オフロード)<br>off-road |                               |
| S: 走行速度<br>Speeds          | S <sub>1</sub> (2.5 km/h)       | S <sub>2</sub> (4.5 km/h)          | S <sub>3</sub> (7.5 km/h)     |

Table 12. シミュレート実験における心拍数および走行速度の結果  
Heart rates of operators and driving speeds of examinations for simulated on-road driving and off-road driving

| 実験組合せ<br>Combinations |                | 走行速度 (km/h)<br>Speeds |      | 心拍数 (拍/min)<br>Heart rates |                |                |                |                |                |
|-----------------------|----------------|-----------------------|------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                       |                |                       |      | 1 回目<br>First              |                | 2 回目<br>Second |                | 3 回目<br>Third  |                |
|                       |                |                       |      | D <sub>1</sub>             | D <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> |
| P <sub>1</sub>        | S <sub>1</sub> | 2.69                  | 2.63 | 76.8                       | 77.5           | 73.7           | 75.9           | 72.5           | 70.3           |
|                       | S <sub>2</sub> | 4.74                  | 4.40 | 77.6                       | 72.6           | 76.1           | 70.6           | 80.0           | 65.2           |
|                       | S <sub>3</sub> | 7.62                  | 7.95 | 79.3                       | 76.5           | 74.7           | 71.1           | 71.9           | 65.0           |
| P <sub>2</sub>        | S <sub>1</sub> | 2.68                  | 2.61 | 81.5                       | 80.9           | 78.7           | 69.4           | 76.5           | 62.0           |
|                       | S <sub>2</sub> | 4.47                  | 4.46 | 95.5                       | 89.7           | 86.7           | 74.1           | 81.3           | 68.2           |
|                       | S <sub>3</sub> | 7.50                  | 7.30 | 92.2                       | 95.7           | 93.3           | 79.1           | 85.8           | 77.3           |

注：走行速度は3回の繰り返しの平均値

Each value of speeds is the mean value of 3 times repetitions.

D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> は被験者

D<sub>1</sub> and D<sub>2</sub> are subjects for this examination.

P<sub>1</sub> は集材路走行, P<sub>2</sub> はオフロード走行.

P<sub>1</sub> is on-road driving, P<sub>2</sub> is off-road driving.

速度は集材路走行、オフロード走行ともに類似した値が示され、走行速度条件は両方ともに同一であったものとみなすことができる。Table 13 は心拍数をデータとした分散分析結果である。被験者 D<sub>1</sub>では「P: 走行方式」, 「S: 走行速度」の要因が危険率 1% で有意であった。繰り返しのために設定した「B: ブロック」要因, 走行方式と走行速度の交互作用「P×S」が 5% の危険率で有意であった。一方, 被験者 D<sub>2</sub>では「P: 走行方式」, 「B: ブロック」要因, 走行方式と走行速度の交互作用「P×S」が危険率 1% で有意であった。

以上のように両被験者に共通した結果は「P: 走行方式」, 繰り返しのための「B: ブロック」要因, 走行方式と走行速度の交互作用「P×S」が有意な要因であったことである。繰り返しのための「B: ブロック」要因は Table 12 から分かるように, 繰り返し回数が増すごとに心拍数の値が減少していることから, 実験に対する慣れの影響であるものと考えられる。

なお, 走行方式と走行速度の交互作用が有意であったことから, ここでは各水準組み合わせごとに検

Table 13. シミュレート実験の分散分析結果  
Results of analysis of variance of simulated examinations

(被験者 D<sub>1</sub>)

Subject

| 要因<br>Factors | 平方和<br>Sum of squares<br>S | 自由度<br>Freedom<br>f | 分散<br>Variance<br>V | 分散比<br>Rates of variance<br>F |
|---------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| B             | 102.06                     | 2                   | 51.03               | 5.57*                         |
| P             | 439.07                     | 1                   | 439.07              | 47.96**                       |
| S             | 156.25                     | 2                   | 78.13               | 8.53**                        |
| P×S           | 83.75                      | 2                   | 41.88               | 4.57*                         |
| 誤差 e<br>Error | 91.55                      | 10                  | 9.16                |                               |
| 計<br>Total    | 872.68                     | 17                  |                     |                               |

\*\* 1% 水準で有意 1% significant

\* 5% 水準で有意 5% significant

(被験者 D<sub>2</sub>)

Subject

| 要因<br>Factors | 平方和<br>Sum of squares<br>S | 自由度<br>Freedom<br>f | 分散<br>Variance<br>V | 分散比<br>Rates of variance<br>F |
|---------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| B             | 612.34                     | 2                   | 306.17              | 21.01**                       |
| P             | 148.49                     | 1                   | 148.49              | 10.19**                       |
| S             | 79.64                      | 2                   | 39.82               | 2.73                          |
| P×S           | 226.03                     | 2                   | 113.02              | 7.75**                        |
| 誤差 e<br>Error | 145.76                     | 10                  | 14.58               |                               |
| 計<br>Total    | 1 952.80                   | 17                  |                     |                               |

\*\* 1% 水準で有意 1% significant

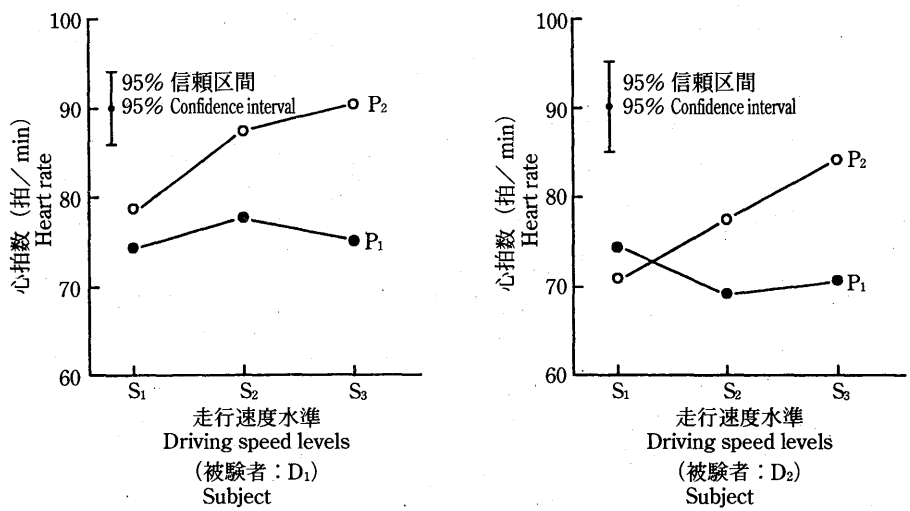


Fig. 9 各水準組み合わせでの母平均の点推定と95%信頼区間  
Relationships between driving speed levels and operators' heart rates during off-road driving and on-road driving

Table 14. 各水準組合せの差の検定  
Difference tests between each combination  
(被験者 D<sub>1</sub>)  
Subject

|                               | P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> | P <sub>1</sub> S <sub>2</sub> | P <sub>1</sub> S <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> S <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| P <sub>1</sub> S <sub>2</sub> |                               |                               |                               |                               |                               |
| P <sub>1</sub> S <sub>3</sub> |                               |                               |                               |                               |                               |
| P <sub>2</sub> S <sub>1</sub> |                               |                               |                               |                               |                               |
| P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> | **                            | *                             | **                            | *                             |                               |
| P <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | **                            | **                            | **                            | **                            |                               |

\*\* 1% 水準で有意    1% significant  
\* 5% 水準で有意    5% significant

(被験者 D<sub>2</sub>)  
Subject

|                               | P <sub>1</sub> S <sub>1</sub> | P <sub>1</sub> S <sub>2</sub> | P <sub>1</sub> S <sub>3</sub> | P <sub>2</sub> S <sub>1</sub> | P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| P <sub>1</sub> S <sub>2</sub> |                               |                               |                               |                               |                               |
| P <sub>1</sub> S <sub>3</sub> |                               |                               |                               |                               |                               |
| P <sub>2</sub> S <sub>1</sub> |                               |                               |                               |                               |                               |
| P <sub>2</sub> S <sub>2</sub> |                               | *                             |                               |                               |                               |
| P <sub>2</sub> S <sub>3</sub> | *                             | **                            | **                            | **                            |                               |

\*\* 1% 水準で有意    1% significant  
\* 5% 水準で有意    5% significant

討することにした。Fig. 9は各水準組み合わせでの母平均の点推定とその95%信頼区間幅を示したものである。集材路走行とオフロード走行を比べてみると、オフロード走行の方が明らかに心拍数レベルが高い。また、両被験者ともにオフロード走行では走行速度の上昇に伴い心拍数レベルも増加している。従って、オフロード走行における走行速度の要因はオペレータの生理的負担に影響を及ぼすものといえる。一方、集材路走行では走行速度の影響はあまりみられない。実際の集材路走行では、走行速度が速くなれば運転操作が難しくなるので、オペレータの生理的負担も大きくなることが予想される。しかし、本実験の集材路走行試験路は直線走行路でかつ路面状態も非常に良く、走行条件としては良好であったことから本実験における集材路走行では走行速度の影響がみられなかったものと考えられる。

ここで各水準組み合わせにおける母平均の差の検定結果を示したものがTable 14である。集材

路走行とオフロード走行を比較してみると、被験者  $D_1$  では  $P_2S_1$  は集材路走行の各組み合わせ  $P_1S_1$ ,  $P_1S_2$ ,  $P_1S_3$  との間に有意差がみられなかった。つまり、低速でのオフロード走行の生理的負担は集材路走行のそれと差があるとはいえないと理解される。しかし、 $P_2S_2$  及び  $P_2S_3$  は集材路走行の各組み合わせ  $P_1S_1$ ,  $P_1S_2$ ,  $P_1S_3$  との間に 95% 以上の信頼確率で有意差がみられた。このことは、走行速度を上げてオフロード走行をする場合の生理的負担は集材路走行のそれと比較すると明らかに違いがあることを意味している。被験者  $D_2$  でも  $P_2S_3$  が集材路走行の  $P_1S_1$ ,  $P_1S_2$ ,  $P_1S_3$  との間に 95% 以上の信頼確率で有意差がみられた。

以上のように、集材路走行とオフロード走行を想定したシミュレート実験の結果、オフロード走行は集材路走行に比べてオペレータへ及ぼす生理的負担が強いことが確認された。さらにオフロード走行では走行速度が非常に低速の状態では集材路走行の場合の生理的負担との差は少ないが、走行速度が増加するにつれて生理的負担も急速に上昇し、集材路走行のそれとの格差が広がることが分かった。従って、オフロード走行における走行速度はオペレータの生理的負担に影響を及ぼす重要な要因であるものと考えられた。

### 3.3 まとめ

集材路走行方式とオフロード走行方式の得失について主として走行時におけるオペレータの生理的負担の側面から明らかにするために、現地調査及びシミュレート実験を通して検討を進めた。トラクタ集材地での走行実験の結果、根株、倒木、枝条などの地表障害物が散乱する林地でのオフロード走行は集材路走行に比べて明らかに生理的負担が大きいことが認められた。しかし地表状態が良好な林地でのオフロード走行の場合には集材路走行との間に違いはみられなかった。その理由としてオフロード走行では走行速度が低速であったことが考えられた。走行速度はトラクタ集材の作業能率に大きく影響する重要な要因であることから、作業能率の側面からみれば集材路走行は有利に働くものと考えられた。

シミュレート実験の結果、ごく低速走行の場合を除いて、走行速度条件が同一であればオフロード走行は集材路走行に比べてオペレータへ及ぼす生理的負担が大きいことが認められ、さらに生理的負担への影響に対して走行速度が重要な要因であることが分かった。

以上のように集材路走行方式はオフロード走行方式と比較してオペレータに与えられる生理的負担はより少ないことが確認され、作業能率の側面からも有利であるものと考えられた。従って、オペレータに対する安全な作業環境の確保や能率向上を図る上で、集材路走行方式はより有利に働く搬出形態であるものと考えられた。

## 4 集材路の幾何構造に関する検討

トラクタ集材路は集材期間中の一時的な使用という性質から、恒久的な使用を目的とする林道のように綿密な設計基準は明確にされていない。しかし縦断勾配や線形といった幾何構造要因は集材功程と密接なかわりがあり、トラクタの走行速度や登坂性能などの走行性能が十分引き出せるように適切な設計をすることが重要である。またトラクタ集材地ではさまざまな作業条件が複雑に絡みあっているので、集材路の設計にあたっては安全走行に対して十分な配慮がなされるべきものとする。そこで本章

では幾何構造として重要と考えられる縦断勾配、曲線半径、幅員の3要因についてトラクタの走行性能及びオペレータサイドから検討を行った。

#### 4.1 トラクタの走行性能と集材路の幾何構造

##### 4.1.1 縦断勾配

トラクタの登坂限界はエンジン出力による駆動力、走行装置と地面との間の粘着力、斜面方向の転倒に対する安全性の要因により制限を受ける。しかしながら走行装置と地面との間の粘着力により制限を受けることが一般的であり、猪内はこのことを理論的研究により裏付けている(猪内, 1980)。そこで、ここでは走行装置と地面との間の粘着力からトラクタの登坂勾配を算定した。なお、けん引時における登坂方法は地引き状態で、材は路面勾配と同じ角度でけん引されるものとして登坂可能な縦断勾配を求めた。

トラクタが登坂走行する際、路面の勾配によって勾配抵抗が発生する。トラクタの登坂を物理的に考えるとけん引力を勾配抵抗に置き換えてやればよい。トラクタのけん引力  $D$  は次式により表すことができる。

$$D = H - R_m \quad (6)$$

$H$ : 粘着力による推進力

$R_m$ : 走行抵抗

いま、路面縦断勾配  $\alpha'$  (deg) に対しトラクタが空車走行できる条件は次のとおりである。

$$H - R_m \geq 0 \quad (7)$$

従って、

$$uW_t \cos \alpha' \geq W_t (fr \cos \alpha' + \sin \alpha') \quad (8)$$

ただし、 $W_t$ : トラクタ重量、 $u$ : 粘着係数、 $fr$ : 走行抵抗係数。

また、(8)式を整理すれば次式のとおりである。

$$u - fr \geq \tan \alpha' \quad (9)$$

ここでトラクタが空車走行で登坂可能な最大縦断勾配を  $\alpha_1$  とすると、 $\alpha_1$  は次式で示される。

$$\alpha_1 = \tan^{-1} (u - fr) \quad (10)$$

また路面縦断勾配  $\alpha'$  に対しトラクタが実車走行できる条件は次のとおりである。

$$uW_t \cos \alpha' \geq W_t (fr \cos \alpha' + \sin \alpha') + W_w (u' \cos \alpha' + \sin \alpha') \quad (11)$$

ただし、 $W_w$ : 材の重量、 $u'$ : 材の摺動抵抗係数。また、(11)式を整理すれば次式となる。

$$\tan \alpha' \leq \{(u - fr)W_t - u'W_w\} / (W_t + W_w) \quad (12)$$

ここでトラクタが実車走行で登坂可能な最大縦断勾配を  $\alpha_2$  とすると、 $\alpha_2$  は次式で示される。

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \{(u - fr)W_t - u'W_w\} / (W_t + W_w) \quad (13)$$

既報の資料 (DE MEGILLE, 1957; 守田, 1979; 猪内, 1980; 梅田ほか, 1975) から判断すれば、トラクタ集材地における普通状態での集材路面と走行装置との間の粘着係数はクローラタイプで 0.6~0.8, ホイールタイプで 0.5~0.6, トラクタの走行抵抗係数はクローラ、ホイールタイプともに 0.1 程度と考えられる。従って、(10)式から集材路の空車走行における登坂可能な最大縦断勾配はクローラタイプで 27~35°, ホイールタイ

ブで  $22 \sim 27^\circ$  と推定される。

現在我が国で使用されている集材用トラクタは 7tf クラスのものが多く、けん引材積は普通  $2 \sim 3\text{m}^3$  である (林業機械化協会, 1986)。材の比重を 1.0 と仮定すればけん引材の重量は  $2 \sim 3\text{tf}$  ということになる。また材の摺動抵抗係数  $u'$  については DE MEGILLE (1957), STEINLIN *et al.* (1953), 猪内 (1980) の報告を参考とし,  $u' = 0.7$  とすれば, 実車走行における登坂可能な最大縦断勾配は (13) 式より, けん引材重量 2tf, 車両重量 7tf の場合, クローラタイプで  $13.1 \sim 21.3^\circ$ , ホイールタイプで  $8.8 \sim 13.1^\circ$ , けん引材重量 3tf の場合, クローラタイプで  $8 \sim 15.6^\circ$ , ホイールタイプで  $4 \sim 8^\circ$  となる。

以上のように集材路の実車走行における登坂可能な最大縦断勾配は空車走行に比べてかなり低下し, さらにホイールタイプはクローラタイプに比べて低い。

降坂勾配の制限条件としてはトラクタ本体やけん引材の滑りに対する条件, トラクタの転倒に対する条件などが考えられるが, 現実的に問題となるものはトラクタ本体やけん引材の滑りに対する条件であるものと考えられる。よって, ここではトラクタの走行装置と地面との粘着力やけん引材の摺動抵抗などの制動力をもとに滑りに対する静的安定条件から制限降坂勾配を算定した。なお, 登坂勾配の算定の場合と同様, けん引時における降坂方法は地引き状態で, 材は斜面傾斜角度と同じ角度でけん引されることを条件とした。

空車状態において傾斜方向に滑らないための条件は次式で表すことができる。

$$uW_t \cos \alpha' \geq W_t \sin \alpha' \quad (14)$$

また, (14) 式は整理すれば次式となる。

$$\tan \alpha' \leq u \quad (15)$$

ここでトラクタが空車走行で降坂可能な最大縦断勾配を  $\alpha_3$  とすると,  $\alpha_3$  は次のとおりである。

$$\alpha_3 = \tan^{-1} u \quad (16)$$

実車状態において傾斜方向に滑べらないための条件は次式で表すことができる。

$$uW_t \cos \alpha' + u' W_w \cos \alpha' \geq W_t \sin \alpha' + W_w \sin \alpha' \quad (17)$$

また, (17) 式は整理すると次式となる。

$$\tan \alpha' \leq (uW_t + u' W_w) / (W_t + W_w) \quad (18)$$

ここでトラクタが実車走行で降坂可能な最大縦断勾配を  $\alpha_4$  とすると,  $\alpha_4$  は次のとおりである。

$$\alpha_4 = \tan^{-1} \{ (uW_t + u' W_w) / (W_t + W_w) \} \quad (19)$$

前述したようにトラクタ集材地における普通状態での集材路面と走行装置との間の粘着係数はクローラタイプで  $0.6 \sim 0.8$ , ホイールタイプで  $0.5 \sim 0.6$  と考えられるので, (16) 式より, 空車状態における降坂可能な最大縦断勾配はクローラタイプで  $31.0 \sim 38.7^\circ$ , ホイールタイプで  $26.6 \sim 31.0^\circ$  と推定される。

一方, 実車状態における降坂可能な最大縦断勾配はけん引材重量 2tf, 車両重量 7tf の場合, クローラタイプで  $31.9 \sim 37.9^\circ$ , ホイールタイプで  $28.6 \sim 31.9^\circ$ , けん引材重量 3tf の場合, クローラタイプで  $32.2 \sim 37.6^\circ$ , ホイールタイプで  $29.2 \sim 32.2^\circ$  と推定される。

以上のように集材路における降坂可能な最大縦断勾配はクローラ, ホイールタイプともに  $30^\circ$  以上の急勾配においても安定する結果となった。しかし, ここでは滑りに対する静的安定条件から降坂限界を

算定したものである。実作業においては事前に予測することが困難な動的安定条件において制約される場合もあり、現実的な降坂可能な最大縦断勾配は前述の数値より小さくなるものと思われる。

#### 4.1.2 曲線半径

集材路の設計にあたって曲線は重要な地位を占めている。道路の目的からすれば平面線形は直線であることが最も合理的である。しかし、集材路は林地に開設されるために曲線の設置は避けられない。林地における地形条件は複雑であるために設計のいかんによっては安全性、集材工期、作設コストなどに大きな影響を及ぼすことになる。

曲線半径は大きい方が走行には都合がよいが、設計にあたっては最小曲線半径を考慮しておく必要がある。屈曲部における曲線半径の基本的な条件は車両自身や搬出材が通過できること、車両が気持ちよく曲線部を通過できること、設計速度どおりに車両が安全に曲線部を走行できることなどが考えられるが、トラクタのような低速車両が走行する集材路においては車両自身や搬出材が通過できる条件を満たす設計をすればよいものと考えられる。この条件を満たす曲線半径は集材路の幅員、搬出材の長さ、車両の構造、安全視距などの条件によって定められるが、搬出材が幅員からは乱さない条件から最小曲線半径を求めると次のようになる。

Fig. 10 からわかるように、曲線半径  $R$ 、幅員  $B$ 、搬出材  $L$  の長さの関係は次のとおりである。

$$(R+B/2)^2 = (L/2)^2 + R^2 \quad (20)$$

従って、最小曲線半径は次式で求められる。

$$R = L^2/4B - B/4 \quad (21)$$

比較的幅員が狭い道において  $B/4$  の値は  $L^2/4B$  に比べて小さく、これを無視しても誤差は安全側にあるので実用式として次式が用いられている（上飯坂ほか、1988）。

$$R = L^2/4B \quad (22)$$

Fig. 11 は (22) 式を用いて幅員の大きさごとに搬出材長と最小曲線半径の関係を示したものである。搬出材長が長くなるにつれて最小曲線半径は急速に大きくなる。一般的な集材路の幅員は 3.0～3.5 m、搬出材長は 20 m 程度と考えられるので、最小曲線半径は 29～33 m と推定される。

#### 4.1.3 幅 員

一般に、集材路の幅員が大きければ集材能力や安全性は大きくなるが、開設コストが高くなる。さらに、地形が急峻な場所ではわずかの幅員の違いが土工量に影響し、最終的には開設コストに影響を及ぼすことになる。幅員は設計車両の最大幅を基本として、これに走行上必要な余裕幅を加えて決められる。この余裕幅を持つ幅員は集材地の地形、集材路の道沿いの状況、路線線形、オペレータの運転技術などに関係するとともに車両の

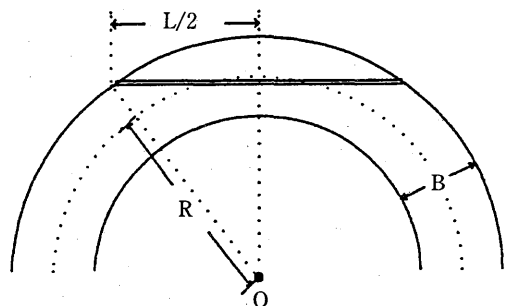


Fig. 10 搬出材長と最小曲線半径

Theoretical minimum radius of curve to pass without sticking end of log out of skidding road

走行速度の影響も受ける。しかしこれらの要因を考慮して合理的に決めることは難しく、経験的に決められることが多い。トラクタ作業基準の中においても集材路の幅員はサルキーなどの作業機の軌間がトラクタの軌間の 1.5 倍以下であることから逆算してトラクタ車両幅の 1.2 倍以上に規定し、曲線部は材長に応じ必要な拡幅を行うことと規定しているにすぎない（林業機械化協会, 1985）。ここで現在集材用として使用されているトラクタの車両幅はクローラタイプの場合 1500～2390 mm, ホイールタイプの場合 1880～2280 mm 程度である（林業機械化協会, 1991）。従って集材路の幅員は 1.8～2.9 m 程度必要となる。

曲線部における幅員は搬出材の長さや材の運動（けん引軌跡の動き方）により幅員の拡幅が必要とされる。トラクタが材をけん引した場合の曲線部の拡幅量は一定の公式によって示すことは難し

い。従って平地において計算上近似的に示し得る量は大体次のようなものである。

- (i) トラクタが半径  $R$  の円上を動き、材端の運動が自由な場合 (Fig. 12)

$$b = R - \sqrt{(R^2 - L^2)} \quad (23)$$

ただし,  $R > L$ ,  $b$ : 拡幅量,  $L$ : 材長

なお,  $R$  が  $L$  より十分に大きい時は (23) 式は近似的に次式で表すことができる。

$$b = L^2/2R \quad (24)$$

- (ii) トラクタが半径  $R$  の円上を動き、材は誘導装置（例えば立木）で誘導される場合 (Fig. 13)

$$b = R - \sqrt{(R^2 - L^2/4)} \quad (25)$$

ただし,  $R > L/2$

なお,  $R$  が  $L/2$  より十分に大きい時は (25) は近似的に次式で表すことができる。

$$b = L^2/8R \quad (26)$$

ここで材長 20 m の場合の曲線部の拡幅量について (i), (ii) を比較したものが Fig. 14 である。図からも分かるように、材端の運動が自由な場合は拡幅量が大きく必要とされる。従って、曲線半径が小さな場所では材の誘導装置を設けることが望ましい。

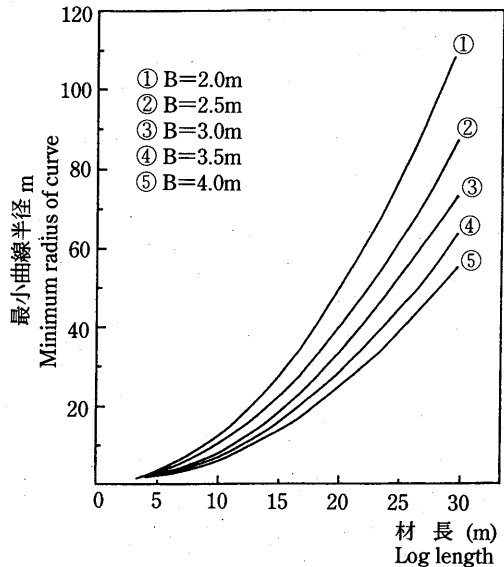


Fig. 11 搬出材長と最小曲線半径との関係  
Minimum radius of curve to lengths of skidding log

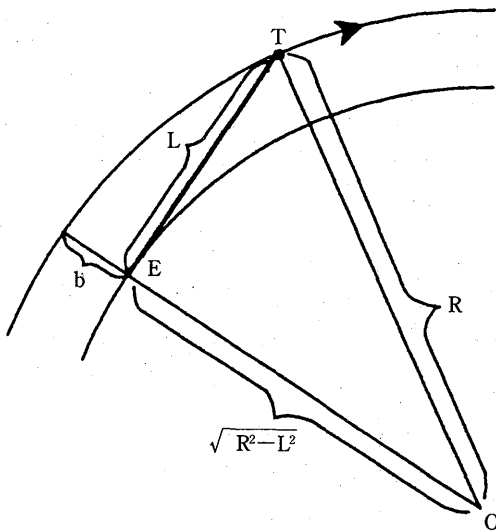


Fig. 12 曲線部の拡幅量（材端の運動が自由な場合）

Theoretical widening at curve without sticking the end of skidding log out of road  
(In the case the motion of the end of skidding log is free)

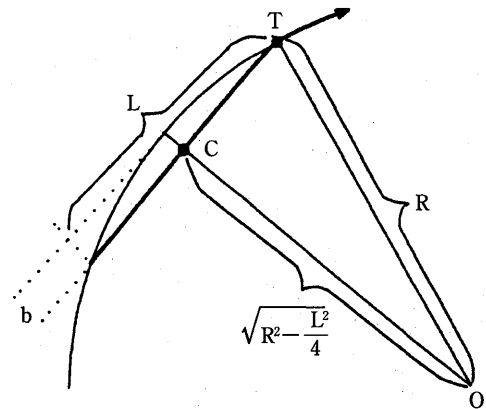


Fig. 13 曲線部の拡幅量（材が誘導装置で誘導される場合）

Theoretical widening at curve without sticking the end of skidding log out of road  
(In the case the motion of skidding log is restricted by something to lead)

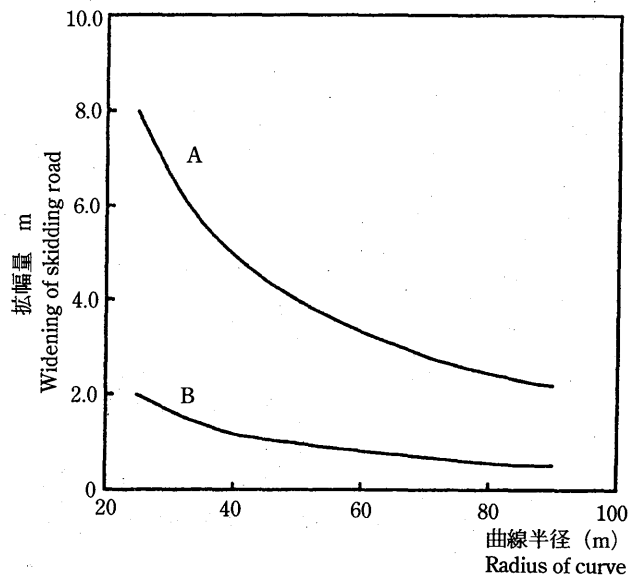


Fig. 14 材端誘導の有無による曲線部拡幅量（材長 20 m の場合）

Widening of skidding road at curve according to motions of skidding log (In the case skidding log length is 20 m)

A: 材端の運動が自由な場合

(In the case the motion of the end of skidding log is free)

B: 材端が誘導装置で誘導される場合

(In the case the motion of skidding log is restricted by something)

## 4.2 労働科学的視点からみた集材路の幾何構造

### 4.2.1 縦断勾配と生理的負担

#### (1) 分析方法

集材路の縦断勾配とトラクタオペレータの生理的負担との関係は、「3.1 集材地におけるトラクタ走行時のオペレータの生理的負担」において示したトラクタ集材伐区での集材路走行実験によって得られた路線の各変更点間の縦断勾配と各変更点間走行中の心拍数データをもとにして分析を行った。集材路走行中トラクタオペレータの生理的負担に影響を及ぼす幾何構造の要因は路線の縦断勾配以外にいくつかの要因が考えられるが、ここでは走行方向やトラクタ機種ごとに路線の縦断勾配とオペレータの生理的負担との関係を分析した。

#### (2) 結果と考察

集材路の縦断勾配とトラクタオペレータの心拍数増加率との関係は Fig. 15, 16 に示したとおりである。Fig. 15 は空車走行, Fig. 16 は実車走行の場合であり、各点は 2~3 回の繰り返し走行により得られた心拍数増加率の平均値である。図中には最小 2 乗法により求めた回帰曲線を示した。これらの曲線回帰式は次のとおりである。

#### (空車走行)

クローラタイプ

$$y = 8.934e^{0.065x} \quad (\text{下り})$$

$$y = 6.504e^{0.045x} \quad (\text{上り})$$

ホイールタイプ

$$y = 3.866e^{0.055x} \quad (\text{下り})$$

$$y = 1.922e^{0.078x} \quad (\text{上り})$$

#### (実車走行)

クローラタイプ

$$y = 5.373e^{0.085x} \quad (\text{下り})$$

$$y = 5.624e^{0.054x} \quad (\text{上り})$$

ホイールタイプ

$$y = 4.573e^{0.055x} \quad (\text{下り})$$

$$y = 6.345e^{0.009x} \quad (\text{上り})$$

ただし、y はオペレータの心拍数増加率 (%), x は路線の縦断勾配 (deg) である。

空車走行の場合をみると、心拍数増加率のレベルはクローラタイプがホイールタイプに比べて高く、また両タイプともに下り走行の方が心拍数増加率は高い。一方、ホイールタイプの場合、縦断勾配に対する心拍数増加率の上昇率は、上り・下り走行ともに類似した傾向であり、心拍数増加率の上昇率はクローラタイプに比べて低い。

実車走行の場合をみると、空車走行と比較してデータにバラツキがみられる。しかし縦断勾配の増加に伴って心拍数増加率も上昇していることが認められる。空車走行の場合と同様に回帰曲線により縦断

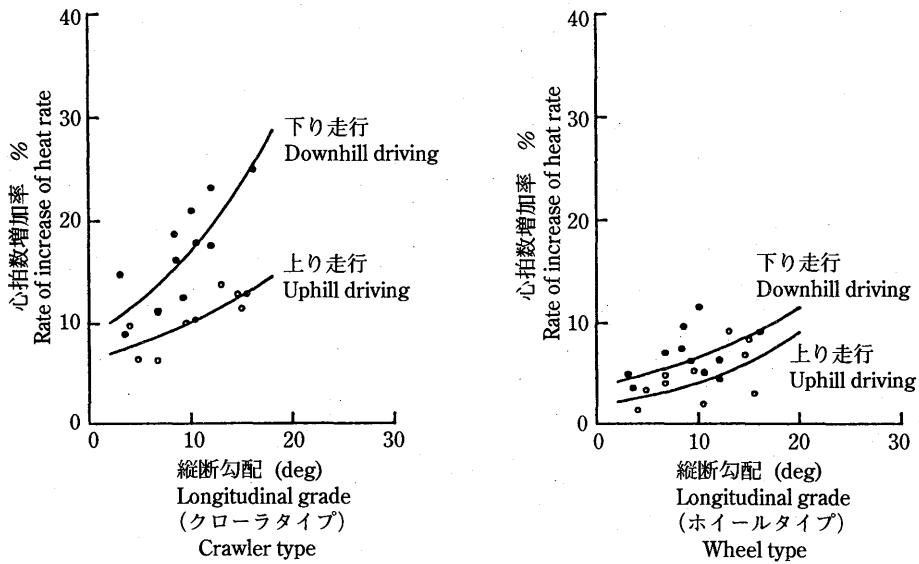


Fig. 15 縦断勾配と心拍数増加率（空車走行）

Relationships between longitudinal grades of skidding road and rates of increase of heart rate

(In the case of driving with unload)

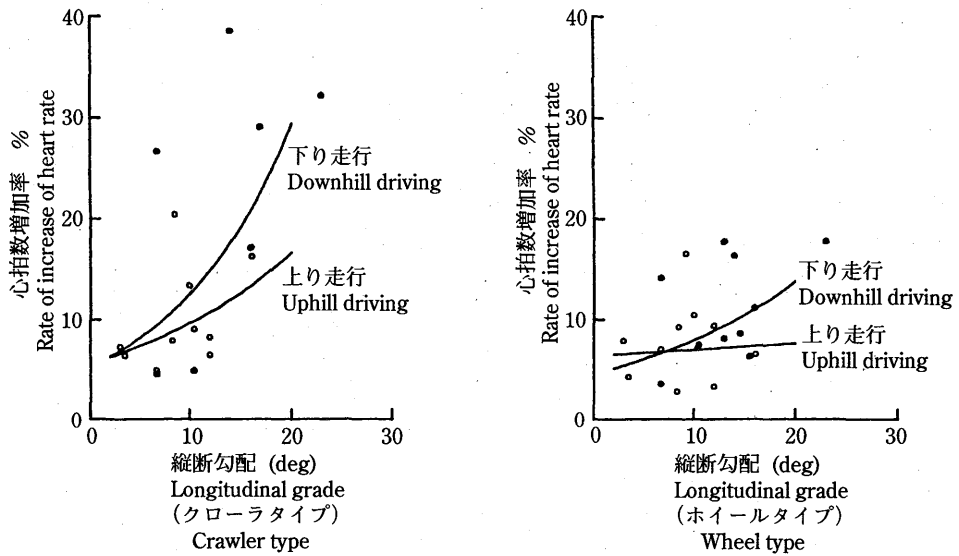


Fig. 16 縦断勾配と心拍数増加率（実車走行）

Relationships between longitudinal grades of skidding road and rates of increase of heart rate

(In the case of driving with load)

勾配と心拍数増加率との関係を見ると、ホイールの上り走行の場合を除いてクローラタイプの場合と類似した関係が認められた。

以上のように集材路走行における路線の縦断勾配とオペレータの心拍数増加率の関係は縦断勾配の増加に伴い心拍数増加率も上昇することが分かった。このように、縦断勾配の増加に伴い心拍数増加率も上昇するので、オペレータサイドからみれば集材路の縦断勾配は緩やかな方が望ましい。また、同じ縦断勾配でも下り走行の心拍数増加率は上り走行のそれに比較して高いことから、循環路線のように上り走行用（空車走行用）と下り走行用（実車走行用）とに路線が別れている場合には、下り走行用の集材路線の縦断勾配は上り走行用に比べて緩やかな方が望ましいものと考えられる。

ここで先のオペレータの心拍数増加率と縦断勾配との回帰式から縦断勾配ごとの心拍数増加率を取りまとめれば Table 15 のとおりである。トラクタ運転は神経的負担の要素が強い作業であることは前述したが、橋本（人間工学ハンドブック、1966）は神経的作業要素が強い労働では心拍数増加率 10% 前後が問題と指摘している。よって、ここでは心拍数増加率をおおむね 10% 程度以下に抑えることを目どとすれば、走行方法や積荷の有無の状態によっても異なるが、路線の縦断勾配はクローラタイプの場合、おおむね 10° 以下、ホイールタイプの場合、おおむね 15~20° 以下がオペレータサイドからみて好ましいものと考えられる。

Table 15. 縦断勾配と心拍数増加率

Estimated rates of increase of heart rate according to longitudinal grades of skidding road

| (クローラタイプ)<br>Crawler type   |                  | 単位 (%)<br>Unit |      |      |      |
|-----------------------------|------------------|----------------|------|------|------|
| 縦断勾配<br>Longitudinal grades |                  | 5°             | 10°  | 15°  | 20°  |
| 空車<br>Unload driving        | 下り走行<br>Downhill | 12.4           | 17.1 | 23.7 | 32.8 |
|                             | 上り走行<br>Uphill   | 8.1            | 10.2 | 12.8 | 16.0 |
| 実車<br>Load driving          | 下り走行<br>Downhill | 8.2            | 12.6 | 19.2 | 29.4 |
|                             | 上り走行<br>Uphill   | 7.4            | 9.7  | 12.6 | 16.6 |
| (ホイールタイプ)<br>Wheel type     |                  | 単位 (%)<br>Unit |      |      |      |
| 縦断勾配<br>Longitudinal grades |                  | 5°             | 10°  | 15°  | 20°  |
| 空車<br>Unload driving        | 下り走行<br>Downhill | 5.1            | 6.7  | 8.8  | 11.6 |
|                             | 上り走行<br>Uphill   | 2.8            | 4.2  | 6.2  | 9.1  |
| 実車<br>Load driving          | 下り走行<br>Downhill | 6.0            | 7.9  | 10.4 | 13.7 |
|                             | 上り走行<br>Uphill   | 6.6            | 6.9  | 7.3  | 7.6  |

Table 16. 曲線半径実験の組み合わせ  
Factors and levels for the examinations on radius of curve

| 要 因<br>Factors             | 水 準<br>Levels                  |                                 |                                |
|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| B: ブロック<br>Repetations     | B <sub>1</sub> (1 回目)<br>First | B <sub>2</sub> (2 回目)<br>Second | B <sub>3</sub> (3 回目)<br>Third |
| C: 曲線半径<br>Radius of curve | C <sub>1</sub> (20 m)          | C <sub>2</sub> (40 m)           | C <sub>3</sub> (60 m)          |
| S: 走行速度<br>Speeds          | S <sub>1</sub> (3.0 km/h)      | S <sub>2</sub> (6.0 km/h)       | S <sub>3</sub> (9.0 km/h)      |

#### 4.2.2 曲線半径と生理的負担

##### (1) 実験方法

本実験では集材路の曲線半径及び走行速度とオペレータの生理的負担との関係を明らかにするために、Table 16 に示した組み合わせ実験を森林総合研究所内の実験圃場において行った。使用したトラクタは総重量 2.6 tf の林業用ホイールタイプであった。トラクタオペレータとしての被験者はトラクタ運転に慣れている当研究所内の 34 歳（被験者 D<sub>1</sub>）及び 36 歳（被験者 D<sub>2</sub>）の健康な男性職員とした。実験は Fig. 17 に示したように曲線長 20 m の測定区間と 5 m の直線助走区間からなる走行試験路を設定し、車体を曲線半径の線に沿わせた状態で左回りに走行させた。今回の実験における曲線は最も単純な構造である単曲線とした。被験者の生理的負担の指標としての心拍数は、心拍数メモリー装置により走行試験路走行中の心拍の R-R 間隔時間の測定値から求めることにした。実験は各被験者ごとに乱塊法により 3 回の繰り返し、各ブロックにおける組み合わせの実験順序はランダムイズし、条件整備を整えた上で行った。

##### (2) 実験結果と考察

Table 17, 18 は心拍数増加率をデータとした分散分析結果を各被験者ごとに示したものである。被験者 D<sub>1</sub> の場合、実験の繰り返しのために設定したブロック要因と走行速度が危険率 1% 水準で各水準間に有意差があった。しかし曲線半径の各水準間には有意差はなかった。被験者 D<sub>2</sub> の場合については走行速度が危険率 1% 水準で各水準間に有意差があった。しかし曲線半径やブロック要因については有意差はなかった。ここで走行速度について各水準における母平均の推定値を示せば Fig. 18 のとおりである。被験者 D<sub>1</sub> では心拍数増加率がマイナスとなっている。安静時心拍数を測定する際には被験者に何もしていない状態にさせておくことになるが、このことが逆に負荷を与える結果となったものと考えられる。し

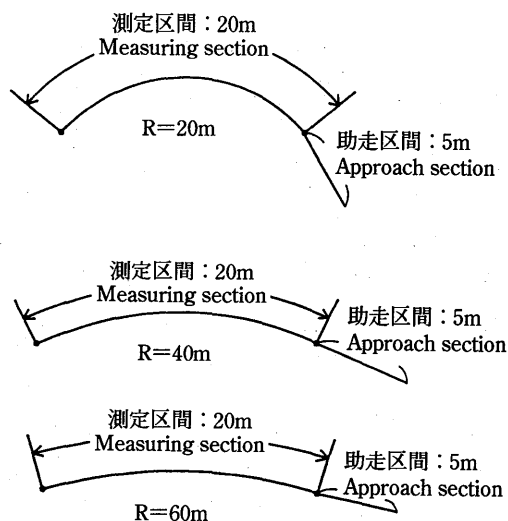


Fig. 17 曲線半径に関する試験走行路  
Driving test courses for the examinations on radius of curve

Table 17. 曲線半径実験の分散分析結果

Results of analysis of variance of the examinations on radius of curve

(被験者 D<sub>1</sub>)

Subject

| 要 因<br>Factors             | 平方和<br>Sum of Squares<br>S | 自由度<br>Freedom<br>f | 分 散<br>Variance<br>V | 分散比<br>Rates of variance<br>F |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| B: ブロック<br>Repetations     | 145.49                     | 2                   | 72.74                | 9.35**                        |
| C: 曲線半径<br>Radius of curve | 18.68                      | 2                   | 9.34                 | 1.20                          |
| S: 走行速度<br>Speeds          | 423.69                     | 2                   | 211.84               | 27.24**                       |
| C×S                        | 60.57                      | 4                   | 15.14                | 1.95                          |
| 誤差 e<br>Error              | 124.45                     | 16                  | 7.78                 |                               |
| 計<br>Total                 | 772.88                     | 26                  |                      |                               |

\*\* 1% 水準で有意

1% significant

Table 18. 曲線半径実験の分散分析結果

Results of analysis of variance of the examinations on radius of curve

(被験者 D<sub>2</sub>)

Subject

| 要 因<br>Factors             | 平方和<br>Sum of Squares<br>S | 自由度<br>Freedom<br>f | 分 散<br>Variance<br>V | 分散比<br>Rates of variance<br>F |
|----------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| B: ブロック<br>Repetations     | 23.03                      | 2                   | 11.51                | 0.44                          |
| C: 曲線半径<br>Radius of curve | 7.88                       | 2                   | 3.94                 | 0.15                          |
| S: 走行速度<br>Speeds          | 450.95                     | 2                   | 225.47               | 8.63**                        |
| C×S                        | 31.13                      | 4                   | 7.78                 | 0.30                          |
| 誤差 e<br>Error              | 418.06                     | 16                  | 26.13                |                               |
| 計<br>Total                 | 931.05                     | 26                  |                      |                               |

\*\* 1% 水準で有意

1% significant

かし両被験者ともにトラクタの走行速度の増加に伴いオペレータの心拍数増加率も上昇していくことが認められる。

以上のようにトラクタが曲線部を通過する場合には走行速度がオペレータの生理的負担に影響を及ぼす要因であることが明らかになった。しかし、曲線半径の大きさはオペレータの生理的負担に影響を及ぼす要因として認められなかった。本実験では線形として最も運転操作が容易な単曲線の場合を取り上

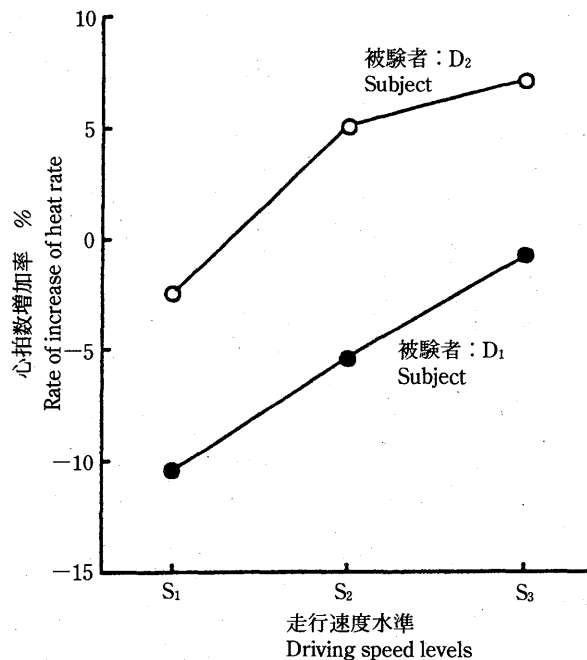


Fig. 18 曲線半径実験における走行速度と心拍数増加率

Relationships between driving speed levels and rates of increase of heart rate in the examinations on the radius of curve

げた。従って、曲線半径の大小によるステアリング操作の難しさに差がなかったことがこのような結果を生んだ原因として考えられる。しかし複合曲線や背向曲線などのように線形が複雑な場合には運転操作の難易度が曲線半径の大小によって異なってくることが予想されるので、このような種類の曲線の場合には曲線半径の大きさは生理的負担の影響要因になるものと思われる。従って、集材路線の曲線としては曲線半径 20 m 程度以上の単曲線を作設し、曲線部はできるだけ走行速度を落として走行すればオペレータにとってより安全な走行が確保されるものと推察される。

#### 4.2.3 幅員と生理的負担

##### (1) 実験方法

集材路の幅員は設計車両の最大幅を基本として、これに走行上必要な余裕幅を加えて決められることから、ここではトラクタ車両に対してどの程度の余裕幅をとればオペレータサイドからみてより安全な集材路となるのか、またどの程度の走行速度で走行すればよいのか、という視点から集材路の幅員について検討した。実験は Table 19 に示した組み合わせ実験を森林総合研究所内のトラクタ走行試験路において行った。実験に使用した走行試験路は Fig. 19 に示されているように直線コースとし、5 m の助走区間と 50 m の測定区間からなっている。幅員は走行方向の左側は L 字溝、右側はカラーコーン（プラスチック製の三角錐状の障害物）を連続的に置くことにより規制した。実験は各被験者ごとに乱塊法により 2 回の繰り返しを行い、各ブロックにおける組み合わせの実験順序はランダム化して行った。なお、

Table 19. 幅員に関する実験の組み合わせ  
Factors and levels for the examinations on width

| 要 因<br>Factors         | 水 準<br>Levels                  |                                 |                           |                        |
|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|
| R: ブロック<br>Repetitions | R <sub>1</sub> (1 回目)<br>First | R <sub>2</sub> (2 回目)<br>Second |                           |                        |
| B: 余裕幅<br>Surpluses    | B <sub>1</sub> (0.5 m)         | B <sub>2</sub> (1.0 m)          | B <sub>3</sub> (1.5 m)    | B <sub>4</sub> (2.0 m) |
| S: 走行速度<br>Speeds      | S <sub>1</sub> (3.0 km/h)      | S <sub>2</sub> (6.0 km/h)       | S <sub>3</sub> (9.0 km/h) |                        |

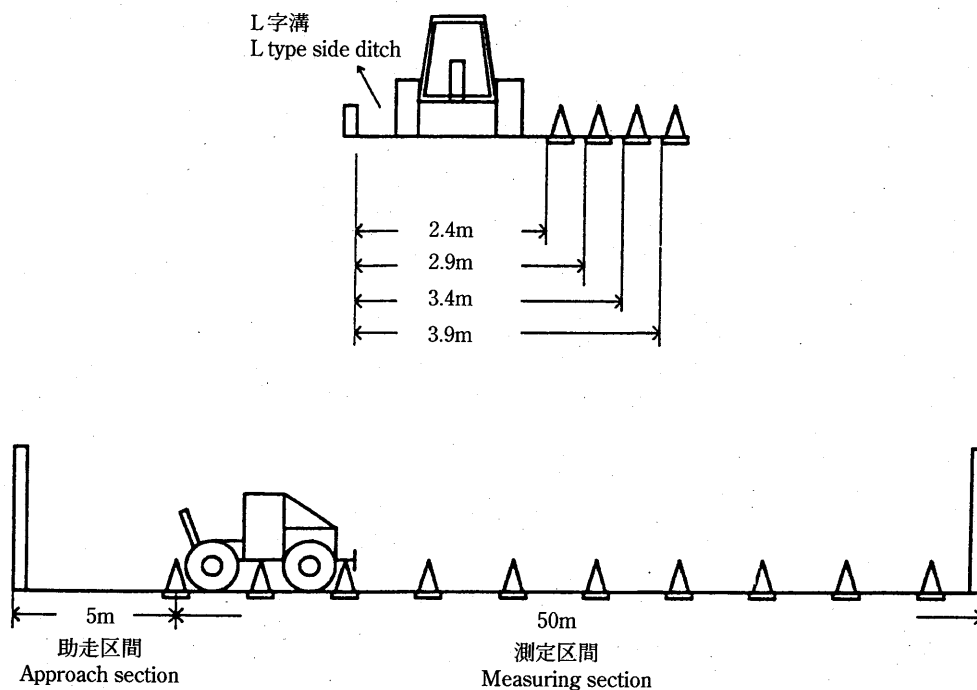


Fig. 19 幅員に関する試験走行路

Driving test course for the examinations on the width

実験に使用したトラクタ機種、被験者、心拍数の測定方法は前述した曲線半径における実験の場合と同様に行った。

## (2) 実験結果と考察

Table 20, 21 は心拍数増加率をデータとした場合の分散分析結果を各被験者ごとに示したものである。これらの表から分かるように、各被験者ともに危険率 5% 以下の確率で余裕幅や走行速度の各要因の水準間には有意差がみられない結果となっている。しかしながら被験者 D<sub>1</sub> における走行速度や被験者 D<sub>2</sub> における余裕幅、走行速度の要因については有意に近い値であった。そこで被験者ごとの余裕幅及び走行速度の各水準における母平均を示すと、Fig. 20, 21 のとおりである。被験者 D<sub>2</sub> の心拍数増加率

Table 20. 幅員実験の分散分析結果

Results of analysis of variance of the examinations on width

(被験者 D<sub>1</sub>)

Subject

| 要 因<br>Factors         | 平方和<br>Sum of Squares<br>S | 自由度<br>Freedom<br>f | 分散<br>Variance<br>V | 分散比<br>Rates of variance<br>F |
|------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------|
| R: ブロック<br>Repetations | 130.67                     | 1                   | 130.67              | 1.72                          |
| B: 余裕幅<br>Surpluses    | 501.44                     | 3                   | 167.15              | 2.20                          |
| S: 走行速度<br>Speeds      | 458.57                     | 2                   | 229.28              | 3.02                          |
| B×S                    | 304.67                     | 6                   | 50.78               | 0.67                          |
| 誤差 e<br>Error          | 835.14                     | 11                  | 75.92               |                               |
| 計<br>Total             | 2 230.50                   | 23                  |                     |                               |

F (3, 11 ; 0.05)=3.587

F (2, 11 ; 0.05)=3.932

Table 21. 幅員実験の分散分析結果

Results of analysis of variance of the examinations on width

(被験者 D<sub>2</sub>)

Subject

| 要 因<br>Factors         | 平方和<br>Sum of Squares<br>S | 自由度<br>Freedom<br>f | 分 散<br>Variance<br>V | 分散比<br>Rates of variance<br>F |
|------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| R: ブロック<br>Repetations | 13.95                      | 1                   | 13.95                | 0.23                          |
| B: 余裕幅<br>Surpluses    | 521.49                     | 3                   | 173.83               | 2.83                          |
| S: 走行速度<br>Speeds      | 431.14                     | 2                   | 215.57               | 3.51                          |
| B×S                    | 311.36                     | 6                   | 51.89                | 0.85                          |
| 誤差 e<br>Error          | 674.85                     | 11                  | 61.35                |                               |
| 計<br>Total             | 1 952.80                   | 23                  |                      |                               |

F (3, 11 ; 0.05)=3.587

F (2, 11 ; 0.05)=3.932

について一部マイナス値がみられた。これは安静状態といった何もしない状態が逆に負荷を及ぼし、安静心拍数が少し高目にでたことによるものと考えられる。

余裕幅についてみると、全体的な傾向として余裕幅が広くなるにつれて心拍数増加率も低下している。また、水準 B<sub>1</sub> の場合は他の水準に比較して心拍数増加率がかなり高く、被験者 D<sub>1</sub> で 12.4%，被験者 D<sub>2</sub> で 9.2% となっている。余裕幅について各水準の母平均の差の検定を行った結果、被験者 D<sub>1</sub> では水準

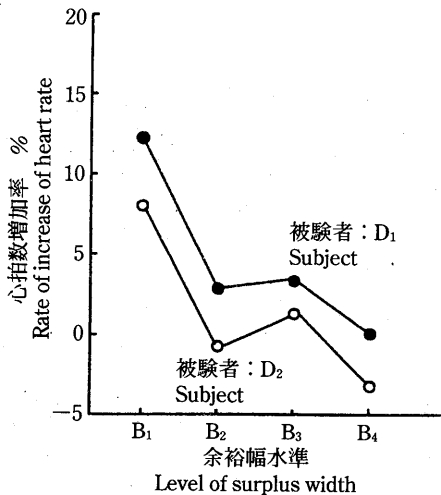


Fig. 20 幅員実験における余裕幅と心拍数増加率

Relationships between levels of surplus width of skidding road and rates of increase of heart rate in the examinations on the width of skidding road

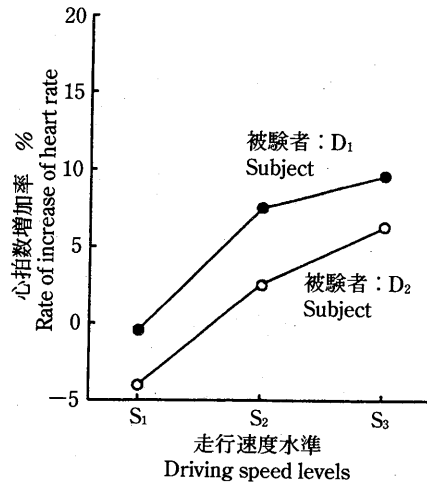


Fig. 21 幅員実験における走行速度と心拍数増加率

Relationships between driving speed levels and rates of increase of heart rate in the examinations on the width of skidding road

B<sub>1</sub>とB<sub>4</sub>との間において、被験者D<sub>2</sub>ではB<sub>1</sub>とB<sub>2</sub>、B<sub>1</sub>とB<sub>4</sub>との間において有意差が認められた。つまり、被験者D<sub>1</sub>では余裕幅を0.5mから2.0mに広げることによって、被験者D<sub>2</sub>では余裕幅を0.5mから1.0mあるいは0.5mから2.0mに広げることによってオペレータの生理的負担が軽減されることを意味している。

走行速度の場合をみると、Fig. 21から分かるように走行速度が速くなるにつれて心拍数増加率も上昇している。走行速度についても各水準の母平均の差の検定を行った結果、両被験者ともに水準S<sub>1</sub>とS<sub>3</sub>との間において有意差があることが認められ、走行速度を9km/hから3km/hに低下させることによってオペレータの生理的負担を軽減できることが分かった。

以上のように集材路の幅員及び走行速度とオペレータの生理的負担との関係については、余裕幅が広い路上を低速で走行することがオペレータの生理的負担を軽減させる上で好ましく、さらに集材路の余裕幅を1m程度以上とることにより生理的負担の軽減が期待されることが認められた。

#### 4.3 トラクタ集材路の幾何構造実態と適正な幾何構造の検討

##### 4.3.1 トラクタ集材路の幾何構造の実態

###### (1) 調査地の概要

トラクタ集材路の幾何構造の実態を把握するために3か所の集材現場において集材路を調査した。調査箇所はTable 22、各調査地の地形図及び集材路の配置はFig. 22のとおりである。調査伐区Aは図からも分かるように、林地傾斜は比較的緩やかなアカマツ皆伐林であり、林地傾斜は約12.4°、集材路は山腹や尾根筋に開設されていた。作業にはクローラタイプ(7tfクラス)とホイールタイプ(6tfクラス)

Table 22. 集材路幾何構造の調査地

Forest land conditions of tractor logging sites investigated geometrical design of skidding road

| 調査伐区<br>Logging sites                             | A                                | B                               | C                                       |
|---------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|
| 林況<br>Stand conditions                            | アカマツ皆伐<br>Red pine clear cutting | スギ間伐<br>Japanese cedar thinning | ヒノキ皆伐<br>Japanese cypress clear cutting |
| 林齢 (y)<br>Ages of stand                           | 81                               | 51                              | 73                                      |
| 立木材積 (m <sup>3</sup> /本)<br>Standing tree volumes | 1.04                             | 0.32                            | 0.43                                    |
| 林地傾斜 (deg)<br>Slopes                              | 12.4                             | 15.5                            | 20.0                                    |

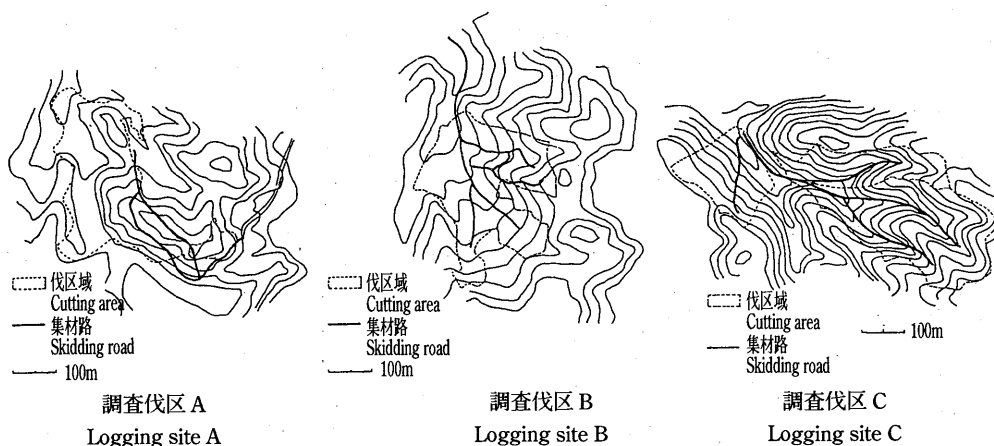


Fig. 22 集材路幾何構造調査地の地形図

Topographic maps of the logging sites for the investigation of geometrical design of skidding road

の2台が使用されていた。調査伐区 B はスギ間伐林であり、林地傾斜は約 15°、集材路は山腹に開設されていた。作業にはクローラタイプ（7tf クラス）が使用されていた。調査伐区 C はヒノキ皆伐林であり、調査伐区 A, B に比べて林地傾斜はやや陰しく約 20°、集材路は谷筋に開設されている箇所が多くみられた。また作業にはホイールタイプ（6tf クラス）が使用されていた。

## (2) 調査結果

Fig. 23 は各調査伐区における縦断勾配の相対頻度について示したものである。調査伐区 A では縦断勾配が 20° を超える箇所も一部みられるが、ほとんどは 18° 以下である。相対頻度は 8~10° の階級で一番高い値が示されているが、10° 以下の各階級（A~D）でもそれぞれ 10% 前後占められている。その結果、10° 以下の比率は 73.4% にも達している。このように調査伐区 A の大部分の集材路は 10° 以下の比

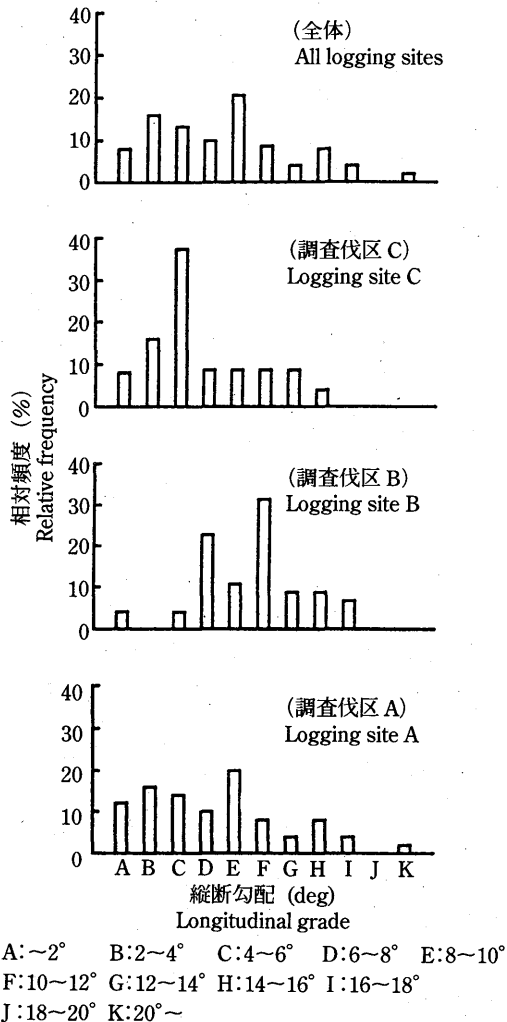


Fig. 23 縦断勾配の相対頻度

Relative frequency of longitudinal grades of  
skidding roads

較的緩やかな縦断勾配となっている。調査伐区 B  
では  $18^\circ$  を超える縦断勾配が存在しない。しかし  
調査伐区 A に比べると縦断勾配の分布は少し急  
な方にシフトしている傾向がうかがえる。相対頻  
度が最も高い階級は  $10\sim 12^\circ$  で約 32%，次に高い  
階級は  $6\sim 8^\circ$  で約 23% となっており，とりわけこ  
の二つの階級の値が高い。 $10^\circ$  以下の箇所は全体  
の 43.1% であるが，12% 以下となるとその比率  
は 74.9% となっている。調査伐区 C では他の二  
つの調査伐区に比べて縦断勾配の分布は緩やかな  
方にシフトしている傾向がみられ， $16^\circ$  以上の縦  
断勾配はみられない。相対頻度が最も高い階級は  
 $4\sim 6^\circ$  の階級であり，37.5% となっている。また  
 $10^\circ$  以下の箇所は全体の 79.1% である。このよ  
うに調査伐区 C は他の二つの調査伐区に比べて地  
形傾斜は急であるが集材路の縦断勾配は緩やかな  
ものとなっている。これは調査伐区内の路線が谷  
筋に多く開設されていることによるものと考えら  
れる。調査伐区 A, B, C を込みにしてみると，縦  
断勾配  $10^\circ$  以下の箇所は全体の 63.2%，12% 以下  
となるとその比率は 80.3% となっている。

以上のようにトラクタ集材地での集材路縦断勾  
配はその大部分が  $12^\circ$  以下の勾配で開設されてお  
り， $20^\circ$  を超えるような縦断勾配はほとんど開設  
されていないことが分かった。

Fig. 24 は各調査伐区における曲線半径の相対  
頻度を示したものである。調査伐区 A では半径  
10 m 未満のものから 40 m 以上のものまで幅広く

分布している。しかし  $15\sim 20$  m や  $10\sim 15$  m の階級で相対頻度が高く，この二つの階級で全体の約半数  
を占めている。調査伐区 B では半径 30 m 以上の曲線もみられるが，大部分は半径 25 m 以下の曲線半径  
である。また，10 m 未満及び  $15\sim 20$  m の階級での相対頻度が高く，他の調査伐区に比べて曲線半径が  
小さい方向に分布する傾向がみられる。調査伐区 B は間伐林であり，これは残存立木に曲線半径が影響  
されたものと思われる。調査伐区 C はカーブ数が少なかったこともあり離散的な分布となっているが，  
半径 40 m を超えるような曲線が多く開設されている。これは集材路線が谷筋に開設されているために，  
カーブも緩やかな構造になったものと思われる。以上のように集材路の曲線半径については集材地の地

形条件や伐採方法の違いによって影響されているものと考えられ、谷筋の路線では半径 40 m 以上の大きな曲線もみられるが、大部分は半径 40 m 未満の曲線であり、半径 20 m 以下の小さな曲線もかなり存在することが分かった。

集材路の幅員については Fig. 25 に示したとおりである。調査伐区 A では 4.5 m を超える幅広い幅員や 2.5 m 未満の狭い幅員もみられるが、ほとんどが 2.5~4.0 m の範囲にある。調査伐区 C ではすべてが 3.0~4.0 m の範囲にある。このように集材現場での集材路の幅員はほぼ 2.5~4.0 m の範囲で開設されており、その中でも 3.0~4.0 m の幅員が一般的であることが分かった。

#### 4.3.2 適正な集材路幾何構造の検討

トラクタの走行性能及び労働科学的視点からみたトラクタ集材路幾何構造をまとめれば Table 23 のとおりである。トラクタ集材地での普通状態における登坂可能な縦断勾配は車両重量 7 tf クラスを想定すると空車走行の場合、クローラタイプで 27~35°, ホイールタイプで 22~27°, 実車走行（積載量 2 tf）

の場合、クローラタイプで 13~21°, ホイールタイプで 9~13° であるものと推定された。一方、降坂可能な縦断勾配は空車走行の場合、クローラタイプで 31~39°, ホイールタイプで 27~31°, 実車走行（積載量 2 tf）の場合、クローラタイプで 32~38°, ホイールタイプで 29~32° であることが推定され、従って集材路の縦断勾配は実車走行での登坂能力に

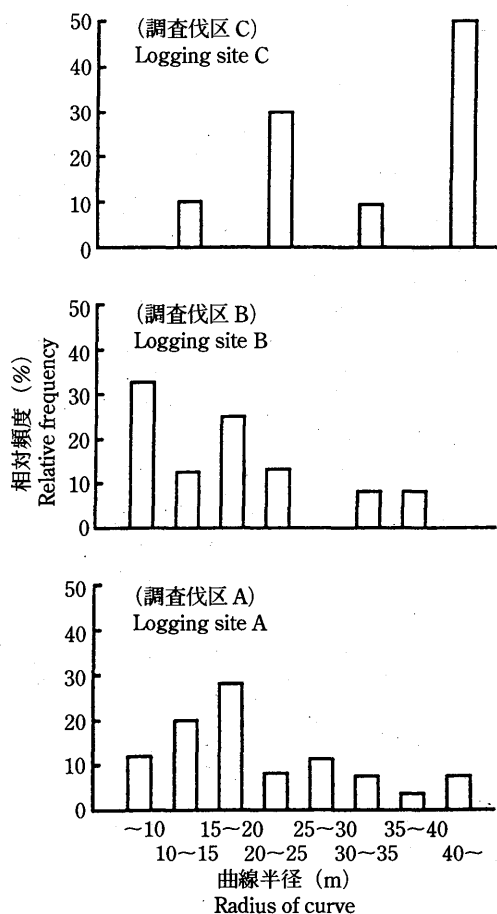


Fig. 24 曲線半径の相対頻度  
Relative frequency of radius of curve of skidding roads

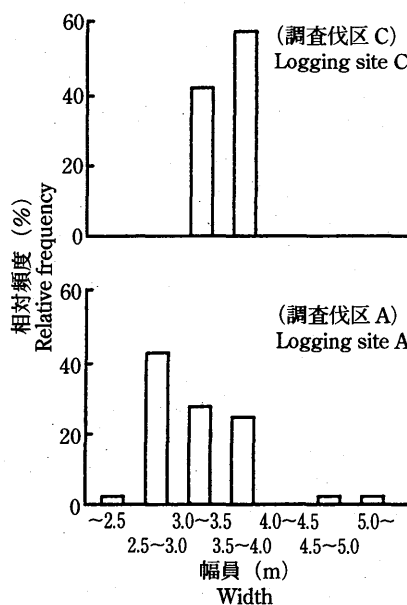


Fig. 25 幅員の相対頻度  
Relative frequency of widths of skidding roads

Table 23. 集材路の幾何構造の検討  
Investigations on geometrical design of skidding road

| 幾何構造<br>Factors of<br>geometrical<br>design | 走行性能<br>Investigation from viewpoint<br>of mobility of tractor                                                                                               | 労働科学的視点<br>Investigation from of<br>ergonomics                                                                                                                                                                                                                                                                  | 望ましい幾何構造<br>Desirable geometrical design<br>derived from viewpoints of<br>mobility and ergonomics                                                                               | 集材路の実態<br>Actual geometrical design                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 縦断勾配<br>Longitudinal<br>grade               | クローラタイプ使用の場合の最大縦断勾配は13~21°, ホイールタイプ使用の場合の最大縦断勾配は9~13°。<br>Maximum longitudinal grade is 13~21° in the case of crawler type, 9~13° in the case of wheel type. | 縦断勾配は緩やかなことが望ましく、クローラタイプ使用の場合は概ね10°以下、ホイールタイプ使用の場合はおおむね15~20°以下が望ましい。<br>Gentle longitudinal grade is desirable for an operator. Maximum longitudinal grades are desirable under 10° in the case of crawler type, under about 15~20° in the case of wheel type.                                                 | クローラタイプ使用の場合の最大縦断勾配はおおむね10°, ホイールタイプ使用の場合の最大縦断勾配はおおむね13°程度が望ましい。<br>Maximum longitudinal grades are about 10° in the case of crawler type, about 13° in the case of wheel type. | 縦断勾配10°以下の箇所は全体の約60%, 12°以下となるとその比率は約80%となっており, 20°を越えるような縦断勾配は少ない。<br>About 60% of investigated all skidding roads is occupied by the roads whose longitudinal grade is under 10°. In the case of under 12°, about 80% is. Skidding roads whose longitudinal grade is over 20° are few. |
| 曲線半径<br>Radius of<br>curve                  | 曲線半径として, 29~33 m 以上の大きさが必要。<br>Minimum radius of curve is 29~33 m.                                                                                           | 半径20 m 以上の場合, 曲線半径の大きさは生理的負担の影響要因と認められない。また曲線部は走行速度を落として走ることがよい。<br>In the case that radius of curve is over 20 m, it is not considered that radius of curve is one of factors which affect operators' physiological load. Slow driving at the curve is effective for decreasing operators' physiological load. | 半径20 m 程度以上, できれば30 m 以上の単曲線が望ましい。<br>It is desirable that minimum radius of curve is over 20~30 m.                                                                             | 全体の約88%は半径40 m 以下の曲線であり, 半径15 m 以下の小さな曲線も約34%存在する。<br>About 88% of all investigated roads is occupied by the roads whose radius of curve is under 40 m. The skidding roads whose radius of curve is under 15 m exist about 34%.                                                          |
| 幅員<br>Width                                 | 1.8~2.9 m 程度必要。<br>Minimum width is 1.8~2.9 m.                                                                                                               | 幅員が広い路上を低速で走行させることが望ましく, 余裕幅を1 m 以上とすることで負担軽減可能。<br>Driving on enough wide road at a slow speed is desirable for an operator. Decreasing physiological load is expected by having over 1 m surplus.                                                                                                             | 幅員としては3.5 m 以上が望ましい。<br>Wider width over 3.5 m is desirable.                                                                                                                    | 幅員のほとんどが2.5~4.0 m の範囲で開設されており, その中でも3.0~4.0 m の幅員は全体の65%を占めている。<br>Most of skidding roads are constructed within 2.5~4.0 m width. Skidding roads which have 3.0~4.0 m width occupy 65% of all investigated roads.                                                                        |

より制限を受けることになり、クローラタイプを使用する場合の最大縦断勾配は $13\sim 21^\circ$ 、ホイールタイプを使用する場合は $9\sim 13^\circ$ と推定される。一方、オペレータサイドからみれば集材路の縦断勾配は緩やかな方が望ましく、クローラタイプでおおむね $10^\circ$ 以下、ホイールタイプでおおむね $15\sim 20^\circ$ 以下が好ましいものと考えられた。

ここでトラクタの走行性能及びオペレータサイドから求めた集材路の最大縦断勾配を比較すると、クローラタイプでは前者が $13\sim 21^\circ$ 、後者がおおむね $10^\circ$ であり、走行性能から求めた縦断勾配の方が高い。ここでは、より安全な立場から主張すればクローラタイプでの縦断勾配限界はおおむね $10^\circ$ 程度が望ましいものと考えられる。一方、ホイールタイプでは前者が $9\sim 13^\circ$ 、後者が $15\sim 20^\circ$ であり、走行性能から求めた縦断勾配の方が低い。縦断勾配は緩やかな方がオペレータの負担軽減にも有利であるので、ホイールタイプでの最大縦断勾配は $13^\circ$ 程度が望ましいものと考えられる。集材路の実態調査でも集材路の縦断勾配は大部分が $12^\circ$ 以下であるので、ここで提案した最大縦断勾配は実用的にも適用できるものと考えられる。

搬出材が集材路の幅員からは乱さないことを条件として最小半径を求めてみた結果、搬出材長が長くなるにつれて最小半径は急速に大きくなり、幅員を $3\sim 3.5\text{ m}$ 、搬出材長を $20\text{ m}$ とすれば最小曲線半径は $29\sim 33\text{ m}$ となることが推定された。曲線半径についてオペレータサイドからみれば、曲線部をトラクタが通過する場合には走行速度がオペレータの生理的負担に影響を及ぼす一方、今回の実験で設定した曲線半径水準の範囲内では曲線半径の影響は認められなかった。従って、集材路線の曲線としては半径 $20\text{ m}$ 程度以上、できれば $30\text{ m}$ 以上の曲線を作設し、曲線部はできるだけ走行速度を落として走行すればオペレータにとってより安全な走行が確保されるものと推察される。

幅員は現存のトラクタ自身の物理的な大きさから判断して、 $1.8\sim 2.9\text{ m}$ 程度必要であることが分かった。さらに、曲線部における幅員は搬出材長や材端の動き方により拡幅量が異なり、曲線半径が小さい地点において材端の運動が自由な場合は拡幅量が大きく必要とされること、曲線半径が小さな地点では立木などによる材の誘導装置を設けることが望ましいことが分かった。また余裕幅が広い路上を低速で走行させることがオペレータの生理的負担を軽減させる上で好ましく、余裕幅を $1\text{ m}$ 程度以上とることにより生理的負担の軽減が期待されることが認められた。集材用として使用されているトラクタのなかで車両幅が最大のものは約 $2400\text{ mm}$ 程度であるのでトラクタ自身の物理的な大きさやオペレータの安全からみて、集材路の幅員は $3.5\text{ m}$ 程度以上あればよいものと考えられる。なお、実際の集材現場での幅員は $3.0\sim 4.0\text{ m}$ であることが一般的であることが調査結果より明らかになり、ここで示した幅員の数値は実用的にも妥当であるものと考えられる（Table 23）。

#### 4.4 まとめ

集材路の土質や土の含水率などの路面状態が通常状態の場合、車両重量 $7\text{ tf}$ 、積載量 $2\text{ tf}$ とすれば、トラクタの走行性能からみた集材路の最大縦断勾配はクローラタイプを使用する場合 $13\sim 21^\circ$ 、ホイールタイプを使用する場合は $9\sim 13^\circ$ と推定された。集材路の縦断勾配の増加に伴いオペレータの生理的負担も上昇することが認められ、オペレータサイドからみれば縦断勾配は緩やかな方が望ましく、クローラタイプでおおむね $10^\circ$ 以下、ホイールタイプでおおむね $15\sim 20^\circ$ 以下の勾配が好ましいものと考えられ

た。トラクタの走行性能及びオペレータの生理的負担を考慮した最大縦断勾配はクローラタイプでおおむね  $10^\circ$ 、ホイールタイプで  $13^\circ$  程度が望ましいものと考えられた。

集材路の最小曲線半径は幅員を  $3.0 \sim 3.5$  m、搬出材長を  $20$  m とすれば  $29 \sim 33$  m 必要であることが分かった。曲線半径についてオペレータサイドからみれば、曲線部をトラクタが通過する場合には走行速度がオペレータの生理的負担に影響を及ぼす一方、今回の実験で設定した曲線半径水準の範囲内では曲線半径の影響は認められなかった。従って、集材路線の曲線としては半径  $20$  m 程度以上、できれば  $30$  m 以上の曲線を作設し、曲線部は低速走行すればオペレータにとってより安全な走行が確保できるものと考えられた。

幅員は現存のトラクタ自身の物理的な大きさから判断して、 $1.8 \sim 2.9$  m 程度必要であることが分かった。さらに集材路の余裕幅が広い路上を低速で走行することがオペレータサイドからみて好ましく、余裕幅を  $1$  m 程度以上とることにより生理的負担の軽減が期待されることが認められ、トラクタ自身の大きさやオペレータの安全からみて幅員は  $3.5$  m 程度以上あればよいものと考えられた。

## 5 集材路網密度に関する検討

### 5.1 経済的視点からみた集材路網密度

我が国における林道をはじめとする路網研究はマチュース理論 (MATTEWS, 1942) を根拠として展開しているものが多くみられる。この理論は集材コストと林道開設コストの和を最小にする林道間隔を求めている考え方である。ここでトラクタ集材路の場合を考えてみると、トラクタ集材路を多く開設し、路網密度を高めれば路網開設コストは増加する。しかしその反面、路上から集材木までの木寄距離が短くなるために木寄コストは減少する。一方、路網密度が低くければ路網開設コストは少なくてすむものの、木寄距離が長くなるために木寄コストは上昇する。従って、トラクタ集材路開設の場合においても林道開設の場合と同様、マチュース理論を適用することができるものと考えられる。そこで、ここでは地形条件に応じた木寄コスト及び集材路開設コストを試算し、投入費用を最小とする最適集材路網密度を推定することにした。

#### 5.1.1 木寄作業モデル

木寄作業は集材路の上方か下方のどちらか片側を木寄せする場合、上方、下方の両側を木寄せする場合が考えられるが、ここでは集材路を挟んで上方、下方から均等距離を木寄せする場合について検討することにする。木寄作業モデルは Fig. 26 に示すような木寄距離を考えるもとする。このモデルより、集材路網密度  $d$  (m/ha) と木寄せ幅  $2a$  の関係式は次式で示される。

$$d = b(1+\eta)10^4/2ab = 2500(1+\eta)/S \quad (27)$$

ただし、 $S = a/2$

平均木寄距離  $S$  (m)、集材路の迂回率  $\eta$

集材路開設費  $A$  (円/m<sup>3</sup>) と木寄せ費  $B$  (円/m<sup>3</sup>) の

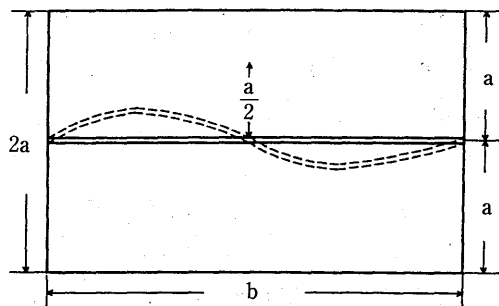


Fig. 26 木寄せ作業モデル

Model of prehauling operation

合計  $K$  (円/ $m^3$ ) は次式により求められる。

$$K = A + B = r d / V + P_c P_t / V_p \quad (28)$$

ただし、集材路開設単価  $r$  (円/ $m$ )、 $ha$  当たり出材量  $V$  ( $m^3/ha$ )、単位時間当たり木寄作業費  $P_c$  (円/ $h$ )、平均木寄サイクルタイム  $P_t$  ( $h/回$ )、1 回当たり木寄材積  $V_p$  ( $m^3/回$ ) である。

木寄作業は、ここでは 1 回のウィンチロープ引き出し及び巻取りによりトラクタの積載量を満たす材を木寄せするものとする。

1 サイクル当たりの平均木寄サイクルタイムは次式で示される。

$$P_t = \sum_{i=1}^5 t_i \quad (29)$$

ロープ延伸時間  $t_1$  ( $h$ )、荷掛け時間  $t_2$  ( $h$ )、荷掛け地点からトラクタまでの歩行時間  $t_3$  ( $h$ )、ロープ巻取時間  $t_4$  ( $h$ )、その他附帯時間  $t_5$  ( $h$ ) である。

なお、木寄サイクルタイムを構成する各作業時間は次式から求められる。

$$t_1 = S(1/V_d + 1/V_u)/2 \quad (30)$$

$$t_3 = S(1/U_d + 1/U_u)/2 \quad (31)$$

上げ荷時ロープ延伸速度  $V_d$  ( $m/h$ )、下げ荷時ロープ延伸速度  $V_u$  ( $m/h$ )、荷掛け地点からトラクタまでの下り歩行速度  $U_d$  ( $m/h$ )、荷掛け地点からトラクタまでの上り歩行速度  $U_u$  ( $m/h$ )。なお、これらの速度は水平距離に対する速度である。

$$t_2 = nt' \quad (32)$$

$$t_4 = S/V_r \quad (33)$$

木寄本数  $n$  (本/回)、1 本当たり荷掛け時間  $t'$  ( $h/回$ )、ロープ巻取速度  $V_r$  ( $m/h$ )

なおロープ巻取速度は沼田ら (1985) の調査結果を参考とし、上げ荷時巻取速度  $V'_u$  ( $m/h$ )、下げ荷時巻取速度  $V'_d$  ( $m/h$ ) とともに等しく、 $V_r = V'_u = V'_d$  とする。従って、平均木寄サイクルタイム  $P_t$  は次のようになる。

$$P_t = S(V' + U' + 2/V_r)/2 + nt' + C \quad (34)$$

ただし、 $1/V_d + 1/V_u = V'$ 、 $1/U_d + 1/U_u = U'$ 、 $t_5 = C$  とする。

従って、

$$K = 2500(1+\eta)r/SV + P_c \{S(V' + U' + 2/V_r)/2 + nt' + c\} / V_p \quad (35)$$

よって  $K$  を最小にする  $S$  は次式で得られる。

$$dK/dS = 0$$

$$S = \sqrt{\{(5000(1+\eta)rV_p)/(P_c(V' + U' + 2/V_r)V)\}} \quad (36)$$

集材路開設経費と木寄費を最小とする集材路網密度は (27) に (36) を代入することにより求められる。

$$d = \sqrt{\{1250 P_c V(1+\eta)(V' + U' + 2/V_r)/V_p r\}} \quad (37)$$

### 5.1.2 木寄作業時間

平均木寄サイクルタイムは前述したように、ロープ延伸時間、荷掛け時間、荷掛け地点からトラクタまでの歩行時間、ロープ巻取時間、その他附帯時間の各作業時間から構成される。木寄作業はこのように人力を主体とした作業であるために、林地傾斜、地表の状態（足場状態）、ウィンチロープ引き出し距

離の増加による引き出し力の上昇などの諸条件により作業能率が変化する。従って、ここでは種々の作業条件におけるウィンチロープ引き出し速度や歩行速度など木寄せ作業能率にかかわる要因について実験的に把握することにした。実験方法は「5.2.2 生理的負担限界からみた木寄せ距離」における木寄せ模擬実験に示したとおりである。本実験は勾配の異なるいくつかの斜面に試験路を設定して行い、速度は各試験路の区間長と所要時間から求めた。Fig. 27 は下げ荷作業におけるロープ引き出し歩行及び空身歩行について斜面勾配ごとに延伸距離と所要時間をプロットし、両者の関係を被験者を込みにして回帰直線により示したものである。ロープ引き出し歩行、空身歩行ともに延伸距離と所要時間にはおおむね直線関係が認められ、ロープ引き出し歩行では勾配が大きくなるにつれ直線の傾きが大きくなっている。上げ荷作業においてもロープ引き出し歩行、空身歩行ともに延伸距離と所要時間には直線関係が認められたが、各勾配における回帰直線の傾きはロープ引き出し歩行、空身歩行の差が少なかった (Fig. 28)。Fig. 27 及び 28 に示されたロープ延伸距離と作業時間、歩行距離と歩行時間の関係式から求められる速度は斜距離に対する速度であるので水平距離に対する速度に直せば次のとおりである。

上げ荷作業時

$$\text{ロープ延伸速度 (降)} \quad V_d = V_{d0} \cos \alpha \quad (38)$$

$$\text{歩行速度 (登)} \quad U_u = U_{u0} \cos \alpha \quad (39)$$

下げ荷作業時

$$\text{ロープ延伸速度 (登)} \quad V_u = V_{u0} \cos \alpha \quad (40)$$

$$\text{歩行速度 (降)} \quad U_d = U_{d0} \cos \alpha \quad (41)$$

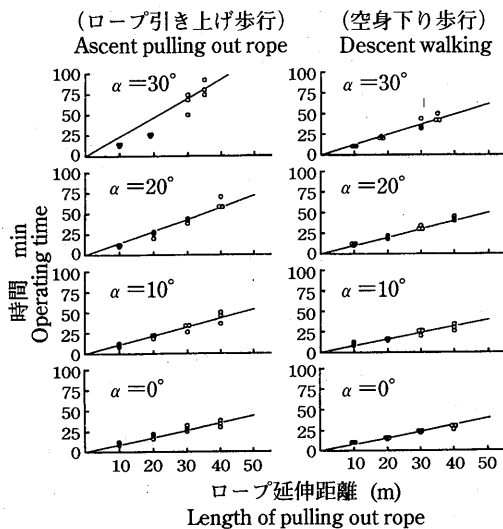


Fig. 27 ロープ引き上げ延伸時間と空身下り歩行時間 (下げ荷作業)

Relationships between length of pulling out rope and operating time in the case of downhill prehauling

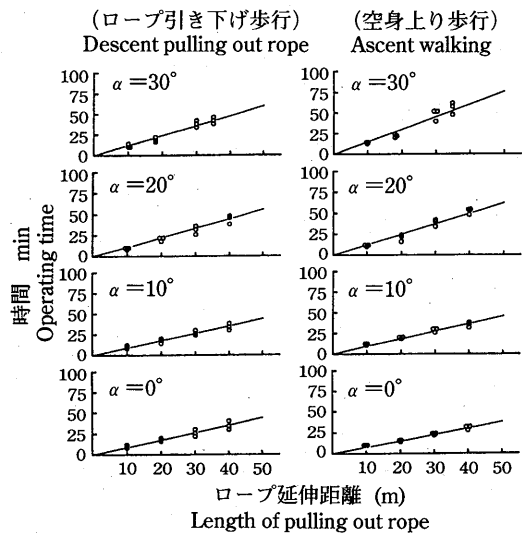


Fig. 28 ロープ引き下げ延伸時間と空身上り歩行時間 (上げ荷作業)

Relationships between length of pulling out rope and operating time in the case of uphill prehauling

ただし、林地傾斜  $\alpha$  (deg), 上げ荷時ロープ延伸速度  $V_{do}$  (m/h), 下げ荷時ロープ延伸速度  $V_{uo}$  (m/h), 荷掛け地点からトラクタまでの下り歩行速度  $U_{do}$  (m/h), 荷掛け地点からトラクタまでの上り歩行速度  $U_{uo}$  (m/h)。

Fig. 29 は Fig. 27 及び 28 の結果をもとにしてロープ延伸速度, ロープ巻取速度, 歩行速度について示したものである。ロープ巻取速度については沼田ら (1985) の調査結果を引用した。Table 24 は Fig. 29 で示された関係を回帰式によりとりまとめたものである。

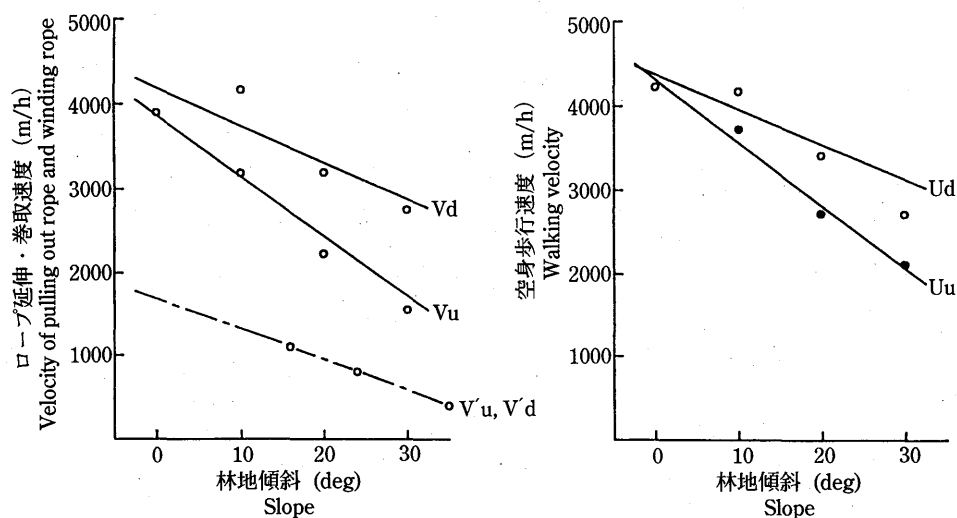


Fig. 29 木寄せ作業を構成する各单位作業の速度

Operating speeds of each working unit composing prehauling operation according to steepness of slope

Table 24. 木寄せ作業における各要素作業速度

Operating speeds of each working unit composing prehauling operation

単位 (m/h)

Unit

| 集材方法<br>Prehauling methods | 要素作業<br>Working units                        | 回帰式<br>Regression lines between<br>slopes and operating speeds |
|----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 下げ荷集材時<br>Downhill         | ロープ伸長 (登): $V_u$<br>Ascent pulling out rope  | $V_u = -89.0\alpha + 4146$                                     |
|                            | ロープ巻取 (降): $V_r$<br>Winding rope             | $V_r = -35.6\alpha + 1683$                                     |
|                            | 空身走行 (降): $U_d$<br>Descent walking           | $U_d = -75.3\alpha + 4873$                                     |
| 上げ荷集材時<br>Uphill           | ロープ伸長 (降): $V_d$<br>Descent pulling out rope | $V_d = -54.7\alpha + 4304$                                     |
|                            | ロープ巻取 (登): $V_r$<br>Winding rope             | $V_r = -35.6\alpha + 1683$                                     |
|                            | 空身走行 (登): $U_u$<br>Ascent walking            | $U_u = -90.9\alpha + 4706$                                     |

## 5.1.3 林地傾斜に応じた集材路網密度

## (1) 木寄作業費について

ここでは、木寄作業はトラクタオペレータがかねるものとして木寄作業費を試算することにする。  
従って、木寄作業費はトラクタの損燃料費と人件費とから構成されることになる。

トラクタの全損料率は次式で求められる。

$$R_A = R_H + R_U \quad (42)$$

$R_A$  は機械運転1時間当たり全損料率,  $R_H$  は時間当たり損料率,  $R_U$  は供用時間当たり損料率である。

$R_H$ ,  $R_U$  は次式のとおりである。

$$R_H = (0.5 D_R + E_{R1} + E_{R2}) / T_H \quad (43)$$

$$R_U = (0.5 D_R + E_{R3} \cdot T_D) / (T_D \cdot D_T) \quad (44)$$

$D_R$  は償却費率,  $D_T$  は年間運転時間 (h/y),  $T_D$  は耐用年数 (y),  $T_H$  は耐用時間 (h),  $E_{R1}$  は定期整備費率,  $E_{R2}$  は現場修理費率,  $E_{R3}$  は年間機械管理費率である。

従って、機械1時間当たり損料  $C_M$  (円/h) は次式より求められる。

$$C_M = P_M \cdot R_A \quad (45)$$

なお,  $P_M$  は機械の購入価格 (円) である。

燃料, 油脂の1時間当たり費用  $C_F$  (円/h) は次式より求められる。

$$C_F = (F_C \cdot F_P + O_P) / T_M \quad (46)$$

$F_C$  機械燃料消費量 (l/d),  $F_P$  機械燃料単価 (円/l),  $O_P$  油脂費用 (円/d),  $T_M$  1日当たり運転時間 (h/d) である。

従って、単位時間当たり木寄作業費  $P_c$  (円/h) は次のとおりである。

$$P_c = C_M + C_F + W / T_w \quad (47)$$

$W$  は1日当たり賃金 (保険料も含む) (円/d),  $T_w$  は1日当たり労働時間 (h/d) である。

## (2) 集材路開設費について

トラクタ集材路の1日当たり開設功程  $L_D$  (m/d) は次式から求められる。

$$L_D = L_H \cdot T_E \quad (48)$$

$L_H$  は単位時間当たり開設功程 (m/h),  $T_E$  は機械実働時間 (h/d) である。

なお,  $T_E$  は次式から求められる。

$$T_E = k \cdot T_M \quad (49)$$

$k$  は機械の実作業時間率である。

従って、トラクタ集材路の  $m$  当たりの開設費  $r$  (円/m) は次のとおりである。

$$r = \{T_M(C_M + C_F) + W\} / L_D \quad (50)$$

トラクタ集材路の開設にあたっては、集材用トラクタの排土板により土工作业が行われることが多い。梅田らはブルドーザによるトラック作業道開設功程に関する調査結果を報告している (梅田ほか, 1982)。このトラック作業道は地山をブルドーザで掘削、整地した程度の道であることからトラクタ集材路開設功程と非常に類似しているものと考えられる。よって、ここでは梅田らによるトラック作業道開

設功程を資料としてトラクタ集材路の開設功程，開設費を試算することにした。Table 25 は (48), (50) 式に Table 26 に示された諸数値を代入することにより得られた集材路の開設功程，開設費を示したものである。1 日当たりの開設功程は林地傾斜の上昇に伴い低下し， $0^\circ$  で 203 m， $10^\circ$  で 107 m， $20^\circ$  で 57 m， $30^\circ$  で 38 m 程度であるものと推定された。林地傾斜が緩い場合の集材路開設は地表障害物の除去や整地程度の施工である。また急傾斜地の場合は地山の切取りや地表の整地などの施工が必要とされる。既報（林業機械化協会，1986）によると，トラクタ集材路の 1 日当たりの開設功程はトラクタ道支線（地表障害物の除去，整理）で 162.9 m，トラクタ道主線（ブル排土板による地表の整地）で 61.1 m，トラクタ幹線作業路（地山の切取，湿地の土工）で 40.8 m であり，今回の開設功程推定値は妥当な数値であるものと考えられる。

### (3) 費用最小の平均木寄距離と集材路網密度

集材路開設費と木寄費との合計を最小とする平均木寄距離算定式 (36) や路網密度算定式 (37) に Table 24 ~ 26 に示された関係式及び諸数値を代入することにより経済的視点からみた最適平均木寄距離，集材路網密度を求めることができる。なお，集材路の迂回率は既報（井上，1993）の調査結果を参考として林地傾斜  $\alpha = 0^\circ$  で  $\eta = 0.1$ ， $\alpha = 10^\circ$  で  $\eta = 0.1$ ， $\alpha = 20^\circ$  で  $\eta = 0.2$ ， $\alpha = 30^\circ$  で  $\eta = 0.4$  とした。Fig. 30 及び 31 は林地傾斜に応じた平均木寄距離ごとの単位材積当たり経費（集材路開設費と木寄費の合計），及び集材路網密度ごとの集材路開設費と木寄費の計算結果を示したものである。平均木寄距離は林地傾斜  $0^\circ$  で 21.2 m， $10^\circ$  で 27.5 m， $20^\circ$  で 34.1 m， $30^\circ$  で 36.7 m になることが推定された。路網密度は林地傾斜  $0^\circ$  で 117.8 m， $10^\circ$  で 100.1 m， $20^\circ$  で 87.9 m， $30^\circ$  で 95.4 m になることが推定された。Fig. 26 から分かるように，平均木寄距離  $S$  の 4 倍は最適集材路間隔を意味するが，経済的視点からみた最適な集材路間隔，集材路網密度の計算結果を示せば Fig. 32 のとおりである。林地傾斜が急になるにつれて集材路間隔は広くなり，路網密度は低くなっている。緩傾斜地では集材路の施工が容易なために開設コストが安価となり経済的にみて集材路が入りやすい状況にある。一方，地形が急峻になるに従い集材路開設のための掘削や押土などの土工作業や土工量が増えることから開設に要するコストは増加し，相対的に急峻地形での集材路網密度は緩傾斜地に比べて低くなっていくものと考えられる。

Table 25. トラクタ集材路の開設功程と開設コスト  
Operational efficiencies and costs on skidding road construction according to steepness of slope

| 林地傾斜<br>Slopes<br>$\alpha$ ( $^\circ$ ) | 開 設 功 程<br>Construction efficiencies                              |                                                               | 開設コスト<br>Construction costs<br>per metre<br>r (円/m) |
|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                         | 単位時間当たり<br>Construction efficiencies<br>per minute<br>$L_H$ (m/h) | 1 日当たり<br>Construction efficiencies<br>per day<br>$L_D$ (m/d) |                                                     |
| 0                                       | 42.3                                                              | 203                                                           | 162                                                 |
| 10                                      | 22.3                                                              | 107                                                           | 307                                                 |
| 20                                      | 11.9                                                              | 57                                                            | 576                                                 |
| 30                                      | 7.9                                                               | 38                                                            | 863                                                 |

Table 26. 集材路開設費, 木寄費算出にあたっての諸数値

Values used for estimation of skidding road construction and prehauling costs

|                 |                                                                |                        |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|------------------------|
| V               | : 出材量 (m <sup>3</sup> /ha)<br>Logging production per hectare   | 350                    |
| V <sub>P</sub>  | : 1 回当たり木寄材積 (m <sup>3</sup> /回)<br>Prehauling volume per turn | 2.0                    |
| n               | : 1 回当たり木寄本数 (本/回)<br>Number of prehauling trees per turn      | 5                      |
| t'              | : 1 回当たり荷掛時間 (h/回)<br>Choking time per turn                    | $2.333 \times 10^{-3}$ |
| C               | : 木寄時附帯時間 (h/回)<br>Incidental work time on prehauling per turn | $3.333 \times 10^{-2}$ |
| L <sub>t</sub>  | : 平均荷卸し時間 (h/回)<br>Unloading time per turn                     | $7.333 \times 10^{-2}$ |
| D <sub>R</sub>  | : 償却費率<br>Rate of depreciation                                 | 0.9                    |
| D <sub>T</sub>  | : 年間運転時間 (h/y)<br>Working hours per year                       | 1 080                  |
| T <sub>D</sub>  | : 耐用年数 (y)<br>Years of endurance                               | 6                      |
| T <sub>H</sub>  | : 耐用時間 (h)<br>Service length                                   | 6 500                  |
| E <sub>R1</sub> | : 定期整備費率<br>Rate of regular maintenance                        | 0.85                   |
| E <sub>R2</sub> | : 現場修理費率<br>Rate of repair                                     | 0.23                   |
| E <sub>R3</sub> | : 年間機械管理費率<br>Rate of annual management expences               | 0.065                  |
| P <sub>M</sub>  | : 機械の購入価格 (円)<br>Machine price                                 | 8 000 000              |
| F <sub>C</sub>  | : 機械燃料消費量 (l/d)<br>Fuel consumption                            | 25                     |
| F <sub>P</sub>  | : 機械燃料単価 (円/l)<br>Fuel price                                   | 85                     |
| O <sub>P</sub>  | : 油脂費用 (円/d)<br>Oil expence                                    | 465                    |
| T <sub>M</sub>  | : 1 日当たり運転時間 (h/d)<br>Machine working time                     | 6                      |
| K               | : 機械の実作業時間率<br>Rate of effective machine working time          | 0.8                    |
| T <sub>w</sub>  | : 1 日当たり労働時間 (h/d)<br>Work time                                | 8                      |
| W               | : 1 日当たり賃金 (円/d)<br>Wage                                       | 12 700                 |

## 5.2 労働科学的視点からみた集材路網密度

集材路走行方式における木寄作業は集材路上に停止させたトラクタのウィンチロープを引き出して材を木寄せすることになる。従って、木寄距離の物理的限界はウィンチドラムのロープ巻込容量に左右される。しかし、このウィンチロープによる木寄作業では人力によりロープを引き出すために引き出し力が必要とされ、さらに林地傾斜面を歩行することからオペレータに大きな生理的負担を与えることになる。特に下げ荷作業の場合は上り斜面に向かってロープを引き上げていくためにオペレータにとって作業強度は大きい (今富ほか, 1982, 1983; 山本ほか, 1972)。よって、人力によるロープ引き出し力や生

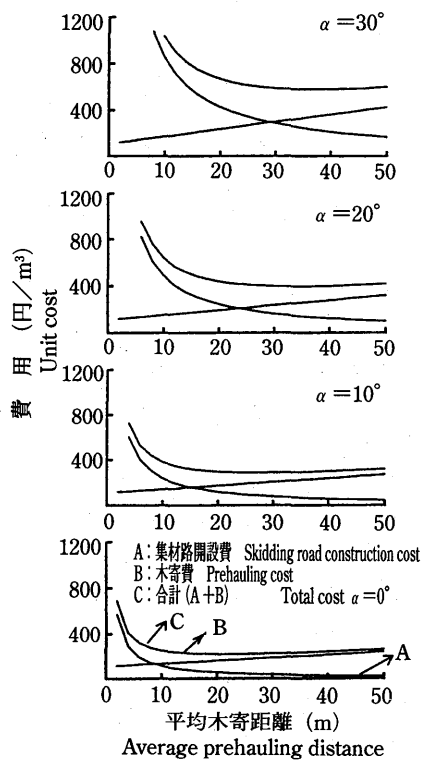


Fig. 30 平均木寄せ距離と単位材積当たり経費  
Unit costs to average prehauling distances

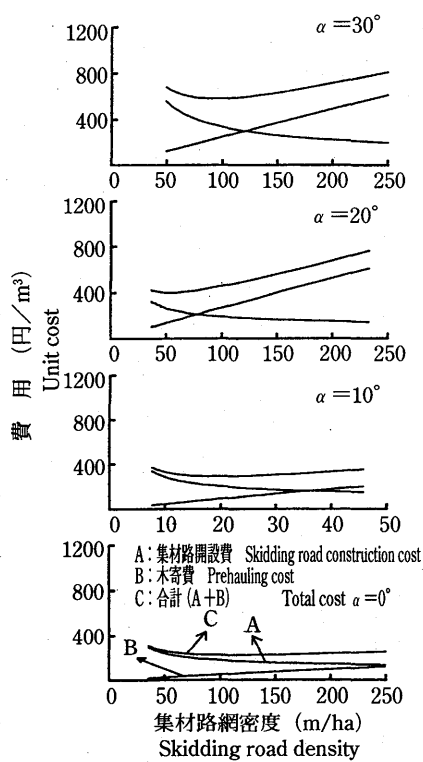


Fig. 31 集材路網密度と単位材積当たり経費  
Unit costs to skidding road densities

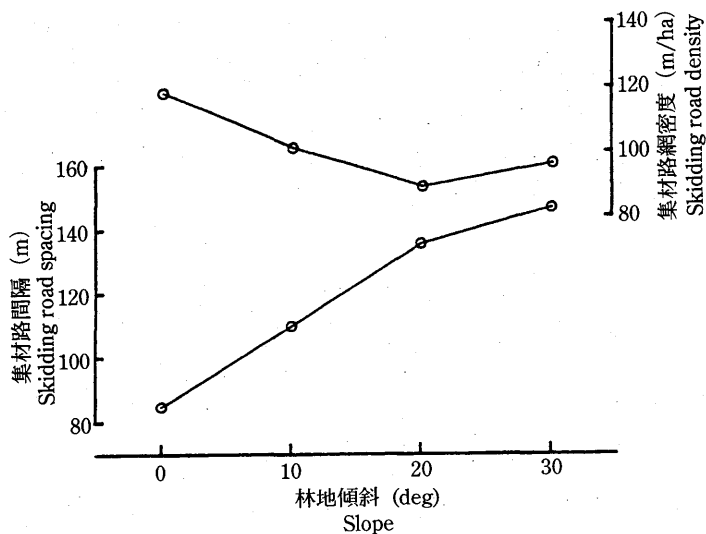


Fig. 32 最適集材路間隔と集材路網密度  
Skidding road spacings and densities from an economic viewpoint

理的負担がオペレータの許容能力を超えた時の引き出し長さが巻込容量より短かければ、木寄距離はオペレータの引き出し許容能力により制限を受けることになる。そこで、ここではウィンチロープ延伸距離が集材路間隔、路網密度の大きな決め手と考えられることから、ウィンチロープ引き出し時の延伸力やオペレータの生理的負担を測定し、労働科学的視点から集材路間隔及び路網密度の算出を行った。

### 5.2.1 筋力限界からみた木寄距離

#### (1) 実験方法

筋力限界から木寄距離を求めるにはウィンチロープ延伸距離に対する延伸力及びオペレータの最大ロープ引き出し力を調べる必要がある。ウィンチロープの最大引き出し力に関して、立川ら（1989）は斜面の勾配条件により最大引き出し力が異なることを見出している。そこで、本研究ではまず、勾配条件と最大引き出し力との関係を求めるために実験を行った。実験は均一な勾配条件が確保されている森林総合研究所のトラクタ登坂試験路において、傾斜面方向に停止させたトラクタの後部に背筋力計の一端をシャックルで固定し、他の一端には長さ40cmのチェーンを取り付け、被験者にはチェーンを傾斜面方向に最大の力で引かせた。実験条件は勾配条件（0°、10°、20°、30°）と引き出し条件（引き上げ、引き下げ）とし、測定は各条件の組み合わせごとに3回繰り返して行った。被験者は森林総合研究所の健康な男子職員5名であり、身体特性はTable 27に示すとおりである。

#### (2) 結果と考察

ウィンチロープ引き出しに必要な延伸力  $f$  はドラム回転抵抗  $f_1$ 、ロープ摺動抵抗  $f_2$ 、勾配抵抗  $f_3$  から構成され、次式により示される。

$$f = f_1 + f_2 + f_3 = f_1 + \omega L (\mu \cos \alpha + \sin \alpha) \quad (51)$$

ただし、 $\omega$  はロープの単位重量 (kgf/m)、 $L$  はロープの延伸距離 (m)、 $\mu$  はロープの摺動抵抗係数、 $\alpha$  は斜面勾配 (deg) である。なお、ロープ延伸距離は斜距離である。Fig. 33 は(51)式をもとにロープ延伸距離とそれに必要な延伸力の計算結果を示したものである。ここではドラム回転抵抗を立川ら（1989）の実験結果を参考として  $f_1 = 5 \text{ kgf}$  とし、通常のトラクタ集材に使用されているロープ直径  $\phi$  が 12 mm の場合について計算した。なお、単位重量  $\omega$  は 0.524 kgf/m とした（全国林業改良普及協会，1990）。ロープの摺動抵抗係数は地表の状態によっても異なるが、通常の林地状態においては 0.5～0.7 程度であることから（沼田ほか，1986；立川ほか，1989）、 $\mu = 0.5, 0.6, 0.7$  として計算した。ロープ引き上げ時

Table 27. 最大引き出し実験の被験者  
Subjects in the examination of maximal physical force of pulling out rope

| 被験者<br>Subjects | 年齢<br>Ages<br>(year) | 身長<br>Heights<br>(cm) | 体重<br>Weights<br>(kgf) | 握力<br>Grip strengths<br>(kgf) | ローレル指数<br>Rohrer's<br>indexes |
|-----------------|----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| S <sub>1</sub>  | 26                   | 170                   | 85                     | 51                            | 173                           |
| S <sub>2</sub>  | 38                   | 177                   | 63                     | 47                            | 114                           |
| S <sub>3</sub>  | 30                   | 170                   | 64                     | 38                            | 130                           |
| S <sub>4</sub>  | 28                   | 166                   | 70                     | 52                            | 153                           |
| S <sub>5</sub>  | 36                   | 179                   | 76                     | 54                            | 133                           |

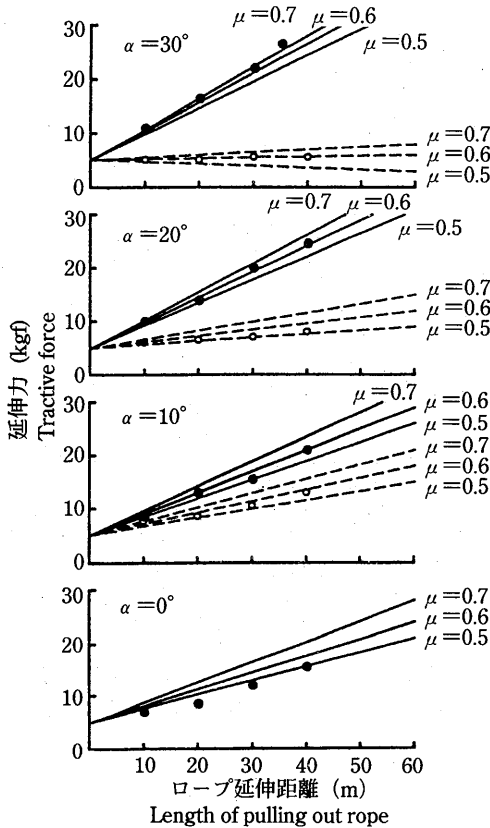


Fig. 33 ロープ延伸距離と延伸力

Tractive forces to lengths of pulling out winch rope

- Theoretical tractive force of ascent pulling out rope
- Theoretical tractive force of descent pulling out rope
- Measurement of tractive force of ascent pulling out rope
- Measurement of tractive force of descent pulling out rope

発揮できる最大のロープ延伸力とみなせるが、ロープ延伸距離に対する延伸力はロープの摺動抵抗係数や直径により左右されるので、各傾斜面での最大ロープ延伸距離はこれら要因条件により異なってくる。各被験者ともに最大引き出し力は勾配が大きくなるにつれて、引き上げ時は減少し、引き下げ時は増加する傾向がみられる。なお、各勾配に応じた最大引き出し力はほぼ類似したある一定の範囲内にあることが認められることから、ここでは各被験者のデータを込みにして勾配と最大引き出し力との関係式を求めた。関係式は以下に示すとおりである。

$$F_{\max} = -0.35\alpha + 59.58 \quad (r=0.741)$$

ここで Table 27 に示した筋力指標としての握力をみると、 $S_3$  は他の被験者に比べて少し低い値が示

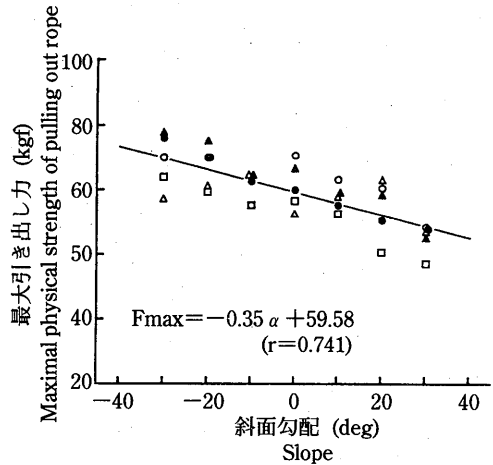


Fig. 34 傾斜と最大引き出し力との関係

Relationships between slopes and maximal physical strength of pulling out rope

- :  $S_1$     △ :  $S_2$     □ :  $S_3$     ● :  $S_4$     ▲ :  $S_5$

(図中の実線)は勾配抵抗がプラス側に働くので延伸距離が長くなるほど、また林地傾斜が急になるほど延伸力は増加する。一方、ロープ引き下げ(図中の破線)は勾配抵抗がマイナス側に働くので延伸距離が同じでも、林地傾斜が急勾配になるほど延伸力は少なくてすむ。図中には後述する木寄作業実験時の実測値も示しているが、実測値におけるロープの摺動抵抗係数  $\mu$  は 0.5~0.6 の範囲にある。

Fig. 34 は各傾斜面における最大引き出し力をプロットしたものであり、各点は3回の繰り返しの平均値である。この最大引き出し力は各傾斜面方向で

されている。しかし文献（池上，1987）によれば各被験者ともに標準あるいは標準に近い値であり，本実験の被験者は一般的な筋力を保持しているものと推察される。よって，(52)式は一般の筋力保持者の最大引き出し力の推定に有効であるものと考えられる。なお，(52)式を(51)式に代入することにより，筋力の限界からみた最大ロープ延伸距離  $L_{\max}$  を求めることができる。

$$L_{\max} = \{(-0.35\alpha + 59.58) - f_1\} / \{\omega(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)\} \quad (53)$$

ここでは  $\phi = 12 \text{ mm}$ ， $\mu = 0.6$  の条件下におけるロープ引き上げ時の  $L_{\max}$  を示せば，斜面勾配  $10^\circ$  で  $127.5 \text{ m}$ ， $20^\circ$  で  $100.2 \text{ m}$ ， $30^\circ$  で  $82.5 \text{ m}$  となり，かなりの長距離引き出しも可能である。しかし長距離のロープ引き出し作業はオペレータに多大の筋負担を及ぼすことになるので，オペレータの筋負担をできるだけ少なくする配慮が必要である。PHEASANT (1986) は引き出し力が最大引き出し力の何％に相当するかという最大筋力比  $(f/F_{\max})$  を指標として作業強度の許容限界を示しており，最大筋力比が 60％を超えるような作業は避けるべきであることを指摘している。オペレータの立場からみれば筋負担は軽い方が望ましいが，ここでは最大筋力比 60％をロープ引き出し力の許容限界として最大木寄距離を検討した。

ところで，集材路上からのウィンチロープによるロープの引き出し及び材の引き寄せは，集材路が等高線方向に入っている場合には斜面の最大傾斜方向に沿って行うことが効率的であるものと考えられる。ここでは Fig. 35 に示すような木寄モデルを考え，集材路を挟んで最大傾斜方向に木寄せ作業を行うものとすれば，斜面の上部及び下部における木寄距離はいずれもロープ延伸距離を水平距離に換算した値とみなすことができる。そこで(53)式から筋力限界，つまり最大筋力比 60％を許容限界とする最大木寄距離  $L'_{\max}$  を求めれば次式のようにになる。

$$L'_{\max} = \cos \alpha \{0.6(-0.35\alpha + 59.58) - f_1\} / \{\omega(\mu \cos \alpha + \sin \alpha)\} \quad (54)$$

## 5.2.2 生理的負担限界からみた木寄距離

### (1) 実験方法

トラクタのウィンチによる木寄せ作業をここではロープ引き出しと林内歩行からなる一連の作業としてとらえ，模擬的な木寄せ作業実験を行うことにより，オペレータの生理的負担を調べることにした。実験は  $\phi = 12 \text{ mm}$  のワイヤロープ 70 m を巻き付けた木製ドラムを使用し，Table 28 に示した実験条件ごとにロープ引き出し作業を行った。ただし斜面勾配  $30^\circ$  の延伸距離については実験場所の制約上，10，18，30 及び 35 m とした。作業としてはロープを最大傾斜方向に直線的に引き出し，その後ロープを放して往路と同じコースを空身でドラムの位置まで歩行して戻ってくることにした。この作業はトラクタオペレータが木寄せも 1 人で行い，かつ 1 回のロープ引き出しによりトラクタ 1 荷分の積載量を木寄せすることを想定している。本実験で使用した木製ドラムには実際のトラクタ

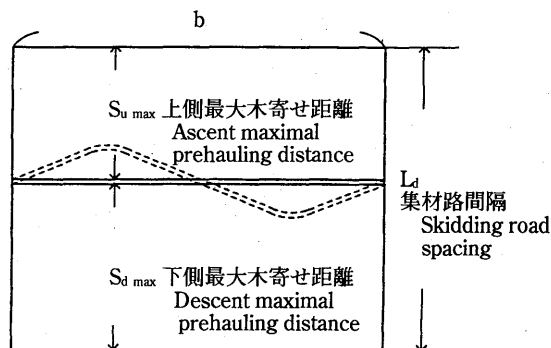


Fig. 35 最大木寄せ距離と木寄せモデル  
Model of skidding road spacing and prehauling operation

作業では存在するドラム回転抵抗がほとんどなかったため、立川ら（1989）の実験結果を参考として、ロープの引き出し先端に5kgfのウェイトを取り付けドラム回転抵抗の代用とした。なお、実際のドラム回転抵抗はほぼ斜面方向に作用し、本実験でのウェイトは鉛直方向に作用するので、力の作用方向の違いにより被験者に与えられる負担は厳密には異なる。しかし本実験でのウェイトは比較的軽量であるので、力の作用方向による負担の違いは少ないものとみなすことにする。実験は森林総合研究所のトラクタ登坂試験路及び筑波共同試験地内の均一斜面で行い、ロープ引き出し及びそれに続く空身歩行については10m間隔ごとに引き出し時間、歩行時間を測定した。なおロープ引き出し速度及び空身歩行速度は特に指示せず、被験者のペースに任せた。

木寄作業は動的筋作業要素を多く含むことから、この種の生理的負担評価に適する心拍数と酸素摂取量を測定することにした。心拍数は作業中及び作業後の回復過程を、酸素摂取量は作業後の回復過程を測定した。心拍数は心拍メモリ装置（竹井機器社製）により10秒間隔で、酸素摂取量は酸素摂取量測定装置（東レエンジニアリング社製エアロビクスセンサ600）により30秒間隔で測定した。なお、実験前に被験者の安静時の心拍数、酸素摂取量を5分間測定し、それらの値を安静値として作業後の回復過程では安静値に戻るまで測定した。被験者は森林総合研究所の健康な男子職員3名とし、Table 29に身体特性、最大酸素摂取量を示した。最大酸素摂取量は心拍数から間接的に推定する自動負荷制御装置付き自転車エルゴメータ（竹井機器社製ヘルスガードアクティブ10）を使用し、測定装置内部にセットされたプログラムによる測定・解析を通して求めた。

Table 28. 木寄せ模擬実験条件  
Factors and levels of simulated prehauling examination

|                                            |                |                |                |    |
|--------------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----|
| 斜面勾配 (deg)<br>Slopes                       | 0              | 10             | 20             | 30 |
| ロープ延伸距離 (m)<br>Length of ropes pulled out  | 10             | 20             | 30             | 40 |
| ロープ延伸方向<br>Directions of pulling out ropes | Up             | Down           |                |    |
| 被験者<br>Subjects                            | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> |    |

注：斜面勾配30°の延伸距離は10m, 18m, 30m, 35m.

Nite: Length of ropes pulled out on 30° slope are 10m, 18m, 30m and 35m.

Table 29. 木寄せ模擬実験の被験者  
Subjects in simulated prehauling examination

| 被験者<br>Subjects | 年齢<br>Ages<br>(歳)<br>(year) | 身長<br>Heights<br>(cm) | 体重<br>Weights<br>(kgf) | 最大酸素摂取量<br>Maximum<br>oxygen uptakes<br>(ml/kgf/min) |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------------------------------------|
| D <sub>1</sub>  | 30                          | 170                   | 64                     | 40.6                                                 |
| D <sub>2</sub>  | 37                          | 177                   | 63                     | 40.0                                                 |
| D <sub>3</sub>  | 24                          | 180                   | 65                     | 48.5                                                 |

Table 30. ロープ引き出し速度と歩行速度

Pulling out rope and walking speeds in simulated prehauling examination

| 木寄せ作業<br>Prehauling<br>operations | 斜面勾配<br>Slopes<br>(deg) | 引き出し方向<br>Pulling<br>out rope<br>directions | 走行方向<br>Walking<br>directions | 速度 Speeds (m/s)      |                |            |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------|------------|
|                                   |                         |                                             |                               | 引き出し時<br>Pulling out | 走行時<br>Walking | 平均<br>Mean |
| 上げ荷作業<br>Uphill<br>prehauling     | 0                       | Level                                       | Level                         | 1.15                 | 1.30           | 1.22       |
|                                   | 10                      | Down                                        | Up                            | 1.14                 | 1.11           | 1.12       |
|                                   | 20                      | Down                                        | Up                            | 0.93                 | 0.80           | 0.86       |
|                                   | 30                      | Down                                        | Up                            | 0.84                 | 0.66           | 0.74       |
| 下げ荷作業<br>Downhill<br>prehauling   | 0                       | Level                                       | Level                         | 1.15                 | 1.30           | 1.22       |
|                                   | 10                      | Up                                          | Down                          | 0.92                 | 1.25           | 1.06       |
|                                   | 20                      | Up                                          | Down                          | 0.70                 | 0.98           | 0.82       |
|                                   | 30                      | Up                                          | Down                          | 0.47                 | 0.81           | 0.59       |

## (2) 結果と考察

各条件におけるロープ引き出し歩行速度及び空身歩行速度を示したものが Table 30 である。表から分かるとおり、ロープ引き上げ歩行及び上り空身歩行では勾配が大きくなるにつれて急速に速度が低下し、斜面勾配 30° のロープ引き上げ速度及び上り空身歩行速度は斜面勾配 0° の場合の約 40% 及び約 50% である。一方、ロープ引き下げ歩行、下り空身歩行でも勾配が急になるにつれて速度は低下していくが、その低下率はロープ引き上げ歩行、上り空身歩行の場合に比べて緩やかである。ここでロープ引き出しからその後の空身歩行まで一連の木寄せ作業速度は表の右欄に示しているとおりであり、下げ荷作業は上げ荷作業に比べて速度が少し遅い傾向が認められる。

Fig. 36 はロープ延伸距離の水平距離換算値、つまり木寄せ距離と作業中の平均心拍数との関係を示したものである。平均心拍数は作業開始（ロープ引き出し歩行開始）から作業終了（空身歩行終了）まで 10 秒間隔で測定した心拍数の平均値である。図中の直線は被験者 3 名を込みにした各勾配ごとの回帰直線を示したものである。下げ荷、上げ荷作業ともに斜面勾配 10° 以下の緩斜面では

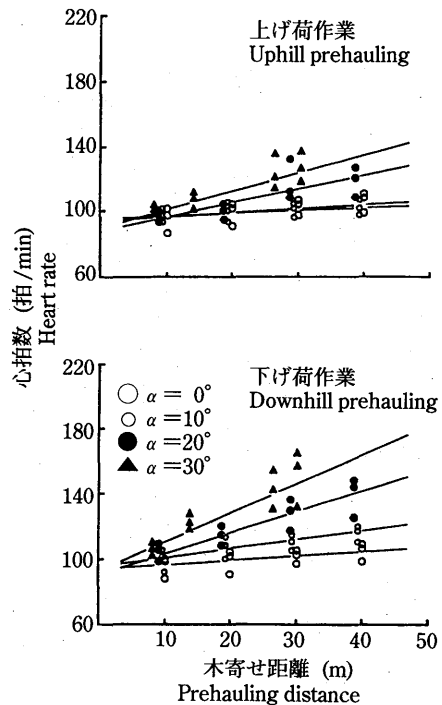


Fig. 36 木寄せ距離と平均心拍数

Relationships between prehauling distances and mean heart rates

| (上げ荷作業)<br>Uphill prehauling |                 | (下げ荷作業)<br>Downhill prehauling |                 |
|------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| $\alpha=0^\circ$             | $Y=0.283X+93.2$ | $\alpha=0^\circ$               | $Y=0.283X+93.2$ |
| $\alpha=10^\circ$            | $Y=0.153X+95.7$ | $\alpha=10^\circ$              | $Y=0.534X+95.0$ |
| $\alpha=20^\circ$            | $Y=0.874X+87.5$ | $\alpha=20^\circ$              | $Y=1.244X+91.6$ |
| $\alpha=30^\circ$            | $Y=1.087X+91.5$ | $\alpha=30^\circ$              | $Y=1.756X+93.2$ |

木寄距離の増加に伴う心拍数の上昇は低い。しかし  $20^\circ$  以上の斜面勾配では、木寄距離が長くなるにつれて心拍数は急速に上昇している。この心拍数の上昇傾向は下げ荷の方が上げ荷に比べて高い。これは急勾配でのロープ引き上げ作業がかなり影響しているものと考えられる。Fig. 37 には下げ荷、上げ荷作業時の心拍数の変化の例を示した。下げ荷では作業開始後かなり急速な心拍数の上昇がみられ、ロープ引き出し終了後、心拍数はピーク値を示し、下り空身歩行に伴い心拍数はやや低下する傾向をみせている。一方、上げ荷では作業開始後の心拍数は比較的緩やかな上昇を示すが、ロープ引き出し終了後の上り空身歩行では心拍数はさらに上昇しロープ引き出し時以上のレベルとなっている。このように下げ荷と上げ荷では心拍数の変動パターンが異なり、ロープ引き上げ歩行や上り空身歩行といったいずれも傾斜面を登っていく作業において心拍数は高い値を示している。なお、木寄作業全体として平均化した心拍数でみると、Fig. 36 のようになる。また、急斜面でのロープ引き上げ歩行や上り空身歩行は Table 30 から分かるように作業速度が遅くなっている。これはロープ引き出し抵抗の増加や急斜面登坂による歩行勾配抵抗の増加によるものと考えられる。

個人が記録する最高の心拍数は最高心拍数と呼ばれており、年齢が高くなるにつれて最高心拍数は低くなる（山地，1986）。また最高心拍数を予測する式として次式がある（山地，1986）。

$$HR_{\max} = 220 - A$$

ただし、 $HR_{\max}$  は最高心拍数（拍/min）、 $A$  は年齢（歳）である。池上は不快感や嘔気などのトラブルの発生が少なく実際に安全な運動の心拍数は最高心拍数の 80% であると指摘し、心拍数からみた運動強度の上限を示している（池上，1987）。トラクタ集材における木寄せのための作業時間割合は比較的少なく、またトラクタが先山と土場を往復する間に荷掛手は適度な休息をとって疲労を回復させることもできよう。しかし短時間の作業であっても一定レベル以上の負荷を心筋にけることは安全上好ましく

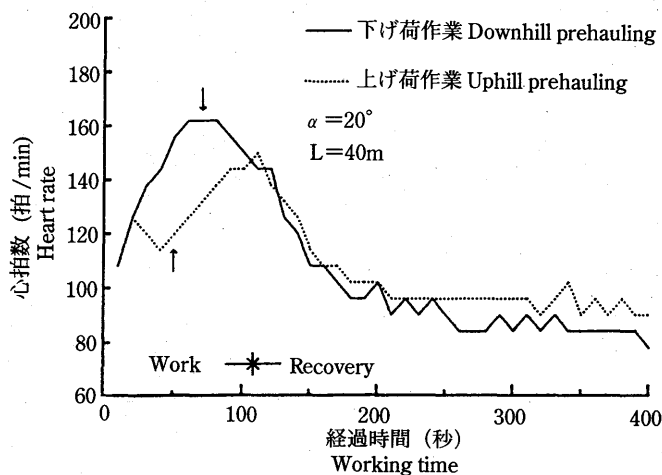


Fig. 37 木寄せ模擬実験時の心拍数の変化

Changes of heart rates in simulated prehauling operation on  $20^\circ$  slope

Note : Mark  $\uparrow$  in figure is the end point of pulling out rope.

ないものとする。そこで本研究では最高心拍数の 80% を心拍数からみた限界とする木寄距離を推定することにした。なお本実験における被験者の平均年齢は約 30 歳であるので  $A=30$  とすれば最高心拍数の 80% は 152 (拍/min) となる。従って、この数値を Fig. 36 に示した木寄距離と平均心拍数との回帰式で推定すると、下げ荷作業では林地傾斜  $20^\circ$  で 48.6 m,  $30^\circ$  で 33.5 m, 上げ荷作業では林地傾斜  $20^\circ$  で 73.8 m,  $30^\circ$  で 55.7 m となる。

ロープ引き出し及び林内歩行からなる一連の木寄作業時間は数十秒から数分程度の短いものであるが、心拍数の結果からも分かるように作業強度がかなり強く、作業中の酸素需要量は供給量を上回る。この場合、作業中に不足した酸素の量は作業後の回復期に補充され、これを酸素負債と呼んでいる (猪飼, 1986)。酸素負債の限度を最大酸素負債と呼んでいるが、最大酸素負債は運動競技者で約 10 l, 一般男子で約 5 l と言われている (石河利, 1982)。このように酸素需要量が供給量を上回る場合には無酸素エネルギーに依存することになり、その結果、筋中には乳酸が発生する。また、最大酸素摂取量の 50~60% を超える強い運動になると無酸素エネルギーが多く利用されるようになる (石河利, 1982)。山地は最大酸素摂取量に対する運動時の酸素摂取量の比率と最高心拍数に対する運動時の心拍数の比率との関係式を求めている (山地, 1986)。これによると最大酸素摂取量の 50~60% は最高心拍数の 65~72% に相当する。従って、先に最高心拍数の 80% を心拍数の上限として木寄距離を求めたが、最高心拍数 80% の作業ではかなり無酸素エネルギーが利用される

ことになり、酸素負債も増加するものと考えられる。運動が激しければ激しいほど酸素負債は増加し、筋中には乳酸が蓄積され最終的には全身の筋肉が動かなくなる。しかし酸素負債が生じてても酸素負債が 3 l に達するまではあまり血液中に乳酸が増えてこないことが知られていることから (石河利, 1983), ここでは酸素負債 3 l を木寄距離の生理的負担限界として最大木寄距離を検討した。

Fig. 38 は上げ荷作業における木寄距離と酸素負債との関係を示したものである。なお、酸素負債はロープ引き出しとそれに続く空身歩行からなる一連の木寄作業終了後、安静状態に回復するまでの回復期に安静時酸素摂取量水準以上で使用された酸素の総量として求めた。酸素負債は木寄距離が長くなるにつれて増加し、さらに斜面勾配が大きい場合には急速に増加している。急傾斜面では個人差などによりわずかながらデータのばらつきもみられるが、3 被験者ともにほぼ類似した値となったので、3 名の被験者のデータを込みにし

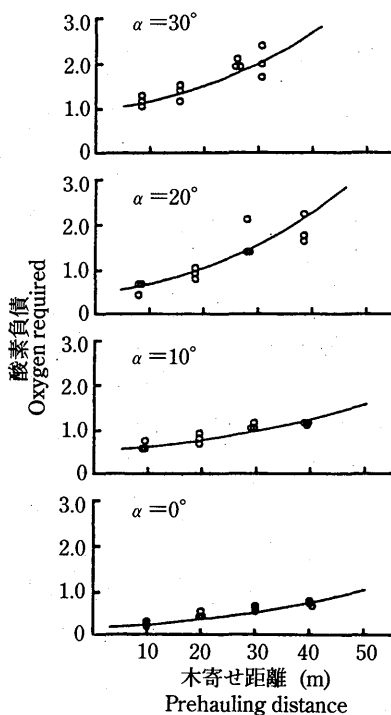


Fig. 38 木寄せ距離と酸素負債 (上げ荷作業)  
Relationships between prehauling distances and oxygen required in uphill prehaulings

て指数回帰曲線として示した。また、下げ荷作業での木寄距離と酸素負債の関係も上げ荷と同様の傾向が示された。ここで各斜面勾配における木寄距離と酸素負債との指数回帰曲線式を示せば Table 31 のとおりである。各被験者の最大酸素摂取量は Table 29 に示されているように 40~48.5 ml/kgf/min であり、全身持久力は既報 (池上, 1987) の資料からみて標準的とみなせ、Table 31 に示された木寄距離と酸素負債との関係式は標準的な体力保持者に適応できるものと考えられる。従って、標準的な体力保持者を対象とする場合、酸素負債を指標とした生理的負担限界による最大木寄距離は Table 31 に示された関係式に  $f(x) = 3$  を代入することにより求められる。ここで斜面勾配 30°での酸素負債の許容限界からみた最大木寄距離を示せば、上げ荷作業で 44.0m、下げ荷作業で 45.1m となり、両者による違いはみられない結果となった。前述した作業中の心拍数では斜面勾配が急な場合、木寄距離が同じでも下げ荷の方が作業中の平均心拍数が高いことが示されたことから、下げ荷では回復過程における酸素摂取量も増加し、酸素負債を指標とした最大木寄距離は下げ荷の方が短くなるものと予想された。急傾斜面での下げ荷作業の作業前半は強い作業負荷のロープ引き上げ歩行であるが、この作業は Table 30 から分かるように作業速度がかなり遅い。このように下げ荷作業ではロープ引き上げ歩行速度を落とすことにより身体への負担を調節しているものと推察され、その結果、上げ荷と下げ荷の酸素負債に差があまり生じなかったものと思われる。なお、下げ荷では Fig. 37 から分かるように、作業前半は強い作業負荷のロープ引き上げ歩行であるために作業開始直後から心拍数が急増し、その影響を受けて軽い作業負荷と考えられる作業後半の空身下り歩行でも心拍数は高い状態となっている。このように下げ荷作業では実際の作業強度に比べて少し高目の心拍数値が出ているものと推察される。

### 5.2.3 労働科学的視点からみた集材路間隔及び路網密度の算定

トラクタのウィンチロープによる最大木寄距離の物理的限界はウィンチドラムの巻き込み容量に左右される。しかしオペレータの筋力限界や生理的負担の限界による木寄距離がロープ巻き込み容量限界による木寄距離よりも短ければ、最大木寄距離はオペレータの筋力や生理的負担の限界により制限される

Table 31. 木寄距離と酸素負債との関係式  
Relationships between prehauling distances and oxygen required

| 木寄せ作業<br>Prehauling<br>operations | 斜面勾配<br>Slopes<br>(deg) | 回帰曲線式<br>Regression curve formulas         |
|-----------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| 上げ荷作業<br>Uphill<br>prehauling     | 0                       | $f(x) = 0.196 e^{0.033x}$ ( $r^2 = 0.86$ ) |
|                                   | 10                      | $f(x) = 0.471 e^{0.025x}$ ( $r^2 = 0.85$ ) |
|                                   | 20                      | $f(x) = 0.442 e^{0.041x}$ ( $r^2 = 0.82$ ) |
|                                   | 30                      | $f(x) = 0.914 e^{0.027x}$ ( $r^2 = 0.79$ ) |
| 下げ荷作業<br>Downhill<br>prehauling   | 0                       | $f(x) = 0.196 e^{0.033x}$ ( $r^2 = 0.86$ ) |
|                                   | 10                      | $f(x) = 0.443 e^{0.023x}$ ( $r^2 = 0.62$ ) |
|                                   | 20                      | $f(x) = 0.576 e^{0.029x}$ ( $r^2 = 0.76$ ) |
|                                   | 30                      | $f(x) = 0.887 e^{0.027x}$ ( $r^2 = 0.62$ ) |

注:  $f(x)$  は酸素負債 (l),  $x$  は木寄距離 (m).

Note:  $f(x)$  is oxygen required (l),  $x$  is prehauling distance (m).

ことになる。従って、ここではこれらを比較することにより、最大木寄距離、集材路間隔、路網密度について検討した。なお、ここでは直径 12 mm のワイヤロープを使用するものとし、ロープの摺動抵抗係数  $\mu$  は模擬的木寄実験において実測したところ、 $\mu=0.5\sim0.6$  の範囲となったので  $\mu=0.55$  として試算した。ウィンチドラムのロープ巻き込み容量に制限される最大木寄距離は巻き込み容量に  $\cos \alpha$  を乗じることにより求められる。また、巻き込み容量はドラムの大きさに左右されるが、集材用として一般に使われているウィンチドラムの巻き込み容量は 12 mm ワイヤロープの場合、100 m 前後であることから(立川ほか, 1989), ここでは巻き込み容量を 100 m とした。筋力限界及び生理的負担限界からみた最大木寄距離は(54)式と Fig. 36 及び Table 31 の関係式により求められる。Table 32 はこれらの結果をまとめたものである。表中の空白はドラムの巻き込み容量を遙かに超える木寄距離のために記入していない。各林地傾斜に応じた斜面上部及び下部の最大木寄距離は巻き込み容量, 筋力, 生理的負担の限界のすべてをクリアする必要があるので表中の右欄の数値 ( $S_{\text{umax}}$ ,  $S_{\text{dmax}}$ ) となる。なお,  $S_{\text{umax}}$  は集材路を挟んで斜面上部の最大木寄距離,  $S_{\text{dmax}}$  は斜面下部の最大木寄距離である (Fig. 35)。

ここでは Fig. 35 に示したような矩形モデルを考え、集材路を挟んで斜面上部と下部の両側集材をするものとすれば、集材路間隔  $L_d$  (m), 路網密度  $d$  (m/ha) は次式で求められる。

$$L_d = S_{\text{umax}} + S_{\text{dmax}} \quad (55)$$

$$d = 10\,000(1+\eta)/L_d \quad (56)$$

ただし,  $\eta$  は集材路の迂回率である。なお集材路の迂回率については井上の報告 (1993) を参考に、林地傾斜  $0^\circ$  で 0,  $10^\circ$  で 0.1,  $20^\circ$  で 0.2,  $30^\circ$  で 0.4 とした。Table 33 は(55)式, (56)式から求められた結果をまとめたものである。

表から分かるように、ウィンチロープ引き出しの延伸力やオペレータの生理的負担など労働科学的視点から求められた集材路間隔は林地傾斜  $0^\circ$  で 165.4 m,  $10^\circ$  で 149.4 m,  $20^\circ$  で 95.3 m,  $30^\circ$  で 77.5 m, 集材

Table 32. 労働科学的視点からみた最大木寄せ距離  
Maximal prehauling distances from the ergonomic viewpoint

| 木寄せ作業<br>Prehauling<br>operations | 斜面勾配<br>Slopes<br>(deg) | 筋力限界<br>Physical<br>strength<br>limits | 心拍数限界<br>Heart rate<br>limits | 酸素負債限界<br>Oxygen<br>required<br>limits | ウィンチドラム容量<br>Winch<br>drum<br>capacities | (単位, m)<br>Unit   |                   |
|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                   |                         |                                        |                               |                                        |                                          | $S_{\text{umax}}$ | $S_{\text{dmax}}$ |
| 上げ荷作業<br>Uphill<br>prehauling     | 0                       | 106.7                                  |                               | 82.7                                   | 100.0                                    | —                 | 82.7              |
|                                   | 10                      |                                        |                               | 74.1                                   | 98.5                                     | —                 | 74.1              |
|                                   | 20                      |                                        | 73.8                          | 46.7                                   | 94.0                                     | —                 | 46.7              |
|                                   | 30                      |                                        | 55.7                          | 44.0                                   | 86.6                                     | —                 | 44.0              |
| 下げ荷作業<br>Downhill<br>prehauling   | 0                       | 106.7                                  |                               | 82.7                                   | 100.0                                    | 82.7              | —                 |
|                                   | 10                      | 75.3                                   | 106.7                         | 83.2                                   | 98.5                                     | 75.3              | —                 |
|                                   | 20                      | 55.4                                   | 48.6                          | 56.9                                   | 94.0                                     | 48.6              | —                 |
|                                   | 30                      | 41.4                                   | 33.5                          | 45.1                                   | 86.6                                     | 33.5              | —                 |

Table 33. 労働科学的視点からみた集材路間隔と路網密度  
Skidding road spacings and densities from the ergonomic viewpoint

| 林地勾配<br>Slopes<br>(deg) | 集材路間隔<br>Skidding road spacings<br>(m) | 集材路網密度<br>Skidding road densities<br>(m/ha) |
|-------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|
| 0                       | 165.4                                  | 60.5                                        |
| 10                      | 149.4                                  | 73.6                                        |
| 20                      | 95.3                                   | 125.9                                       |
| 30                      | 77.5                                   | 180.6                                       |

路網密度は林地傾斜  $0^\circ$  で 60.5 m/ha,  $10^\circ$  で 73.6 m/ha,  $20^\circ$  で 125.9 m/ha,  $30^\circ$  で 180.6 m/ha であることが推定された。

### 5.3 トラクタ集材路網密度の実態と適正な集材路網密度の検討

#### 5.3.1 トラクタ集材路網の実態

##### (1) 調査方法

トラクタ集材現場における集材路網の実態把握をするために、1981 年度及び 1982 年度に国有林野で実行されたトラクタ集材作業に関する調査資料を分析した。この調査資料は、筆者らがトラクタ集材を対象として作成したアンケート調査票を営林署職員が記入することにより得られたものである。調査対象は北海道から九州まで全国一円の 272 営林署で行われたトラクタ集材現場であり、各営林署から一伐区が選ばれた。調査総数は天然林 160 伐区、人工林 112 伐区、合計 272 伐区であった。

##### (2) 調査結果

Table 34 は集材路にかかわる諸要因について伐採方法別にその平均値を示したものである。伐区面積は集材の規模を表す因子でもあるが、皆伐では人工林、天然林ともに一伐区当たり 7~8 ha 程度である。天然林択伐では人工林や天然林の皆伐に比べて伐区面積がかなり広く、一伐区当たり 63.8 ha となっている。林地傾斜については、人工林皆伐は天然林の皆伐や択伐に比べて急である。平均木寄距離は 20 m 前後であるが、その中でも人工林皆伐が最も長い。一伐区当たりの集材路網密度はいずれの伐

Table 34. 集材路にかかわる要因  
Factors concerned with skidding road

| 伐採方法<br>Cutting methods                         | 人工林皆伐<br>Clear cutting in man<br>made forest | 天然林皆伐<br>Clear cutting in<br>natural forest | 天然林択伐<br>Selection cutting in<br>natural forest |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 伐区面積 (ha)<br>Cutting areas                      | 7.0                                          | 7.8                                         | 63.8                                            |
| 材積 (m <sup>3</sup> /本)<br>Standing tree volumes | 0.39                                         | 0.83                                        | 1.62                                            |
| 林地傾斜 (deg)<br>Slopes                            | 20.5                                         | 16.8                                        | 16.8                                            |
| 平均木寄距離 (m)<br>Average prehauling distances      | 24                                           | 22                                          | 19                                              |
| 集材路網密度 (m/ha)<br>Skidding road densities        | 138                                          | 149                                         | 104                                             |

区においても ha 当たり 100 m を超えている。天然林では択伐に比べて皆伐の方が路網密度は高い。

トラクタ集材地の作業条件の中でも林地傾斜は集材路開設に大きな影響を及ぼす要因と考えられるが、ここでトラクタ集材地の林地傾斜の頻度分布を示したものが Fig. 39 である。人工林皆伐では傾斜が  $10^{\circ}$  以上の方へ分布がシフトしており、 $30^{\circ}$  を超えるような集材現場もかなりみられる。天然林皆伐では  $10\sim15^{\circ}$  の階級での頻度が最も高く 40.4%、次に  $15\sim20^{\circ}$  の階級で 31.6% となっており、これら二つの階級が占める比率は全体の 72% である。天然林択伐でも天然林皆伐と同様、大部分の林地は  $10\sim20^{\circ}$  の範囲にある。このように天然林の集材現場は人工林に比べて比較的緩やかな林地であること、また人工林では  $25^{\circ}$  を超えるような林地においてもかなりトラクタ集材が行われていることが分かった。

Fig. 40 は集材路の路網密度について頻度分布を示したものである。人工林皆伐の路網密度は幅広く分布しているが、ha 当たり 80~180 m の範囲に大部分が含まれている。天然林皆伐も幅広く分布しているが、ha 当たり 100~120 m の階級での頻度が最も高く、18.5% を占めている。また ha 当たり 180 m を超える集材現場もかなりみられる。天然林択伐は人工林皆伐や天然林皆伐に比べて路網密度は低い方へシフトしており、ha 当たり 180 m を超える集材現場はみられない。ha 当たり 60~80 m の階級での頻度が最も高く、26.5% となっている。このように、人工林、天然林ともに皆伐では路網密度の分布が幅広いこと、択伐は皆伐に比べて相対的に路網密度が低いことが分かった。

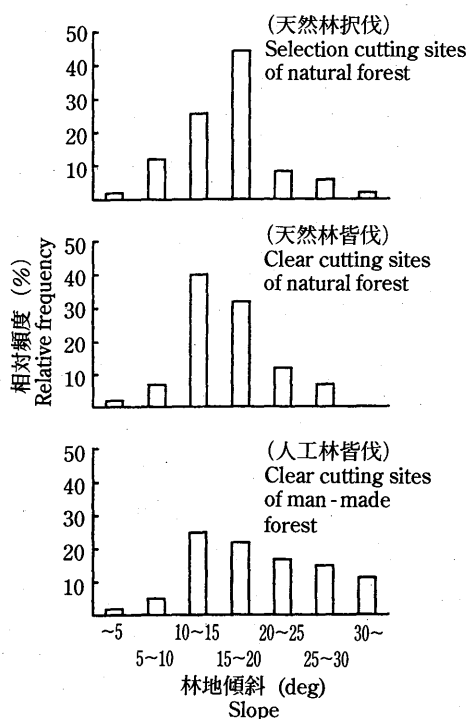


Fig. 39 林地傾斜の頻度分布

Relative frequency of slopes of tractor skidding sites

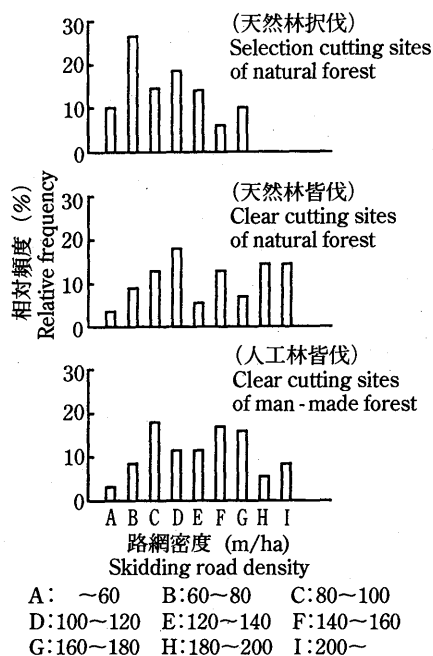


Fig. 40 路網密度の頻度分布

Relative frequency of skidding road densities of tractor skidding sites

Fig. 41 は林地傾斜と路網密度との関係をプロットしたものである。それぞれの伐採方法ともに全体的にバラツキがみられる。しかし人工林皆伐や天然林皆伐においては曲線回帰線にみられるように、林地傾斜が急になるにつれてわずかながら路網密度も増加する傾向が認められる。一方、天然林択伐では林地傾斜に関係なく ha 当たり 100 m 程度で推移している。このように人工林や天然林の皆伐では緩傾斜地での路網密度は急傾斜地のそれに比べてわずかに低くなっている。

### 5.3.2 適正な集材路網密度についての検討

ここでは経済的及び労働科学的視点からみた集材路網密度と実際のトラクタ集材現場における路網密度の実態を比較しながら集材路網密度について検討を加えたい。

Table 35 は経済的及び労働科学的視点からみた集材路網密度を比較したものであるが、労働科学的視点からみた路網密度は緩傾斜地では低く、急傾斜地ではかなり高い値となっている。労働科学的視点から求めた路網密度はオペレータサイドからみて最小限必要とされる投入量であり、さらに路網密度を

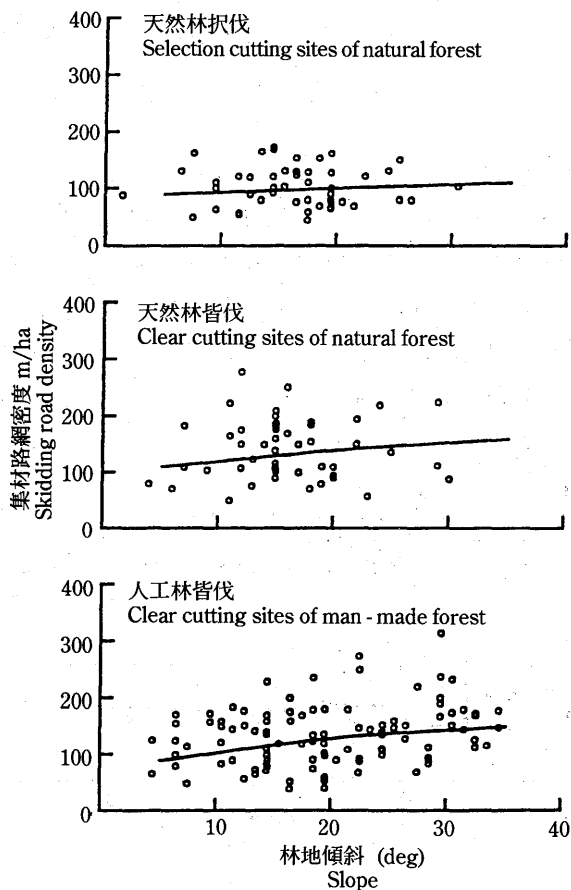


Fig. 41 林地傾斜と路網密度の関係

Relationships between slopes and skidding road densities

Table 35. 集材路網密度の比較

Comparisons of skidding road densities from economic and ergonomic viewpoints

| 林地傾斜<br>Slopes | 経済的視点<br>Densities from<br>economic<br>viewpoint<br>(m/ha) | 労働科学的視点<br>Densities from<br>ergonomic<br>viewpoint<br>(m/ha) |
|----------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| $\alpha$ (deg) |                                                            |                                                               |
| 0              | 117.8                                                      | 60.5                                                          |
| 10             | 100.1                                                      | 73.6                                                          |
| 20             | 87.9                                                       | 125.9                                                         |
| 30             | 95.4                                                       | 180.6                                                         |

高めることにより労働負担の軽減が期待される。

しかし実際の事業実行にあたっては作業経費をできるだけ抑えることが重要な要素でもある。搬出する材の価格が高い場合には作業経費は掛かり増しになるが、路網密度を高めることによりオペレータサイドの労働負担や安全を考慮した集材路網を開設することも可能であろう。しかし搬出する材の価格が安い場合には作業経費を抑えることが重要な要素となろう。

Fig. 42 は集材地の実態調査で得られた林地傾斜と集材路網密度との関係（人工林皆伐の場合）と経済的及び労働科学的視点から求めた集材路網密度について比較したものである。この図から、おおむね林地傾斜が15°以下の緩傾斜地では経済的視点から求めた路網密度が労働科学的視点から求めたそれに比べて高くなっている。つまり経済的視点から求めた路網密度を導入することはオペレータサイドにとっても有利な方向へ働くことになる。従って、おおむね林地傾斜15°以下の緩傾斜地では経済的視点から求めた路網密度を目安に開設されることが適切であるものと考えられる。一方、林地傾斜15°を超えるような林地では労働科学的視点から求めた路網密度は経済的視点から求めたそれに比べて高い値となっている。前述したように、急峻な傾斜地におけるウィンチロープによる木寄作業ではオペレータに負荷される生理的負担はかなり強い。従って、急峻な林地の場合にはオペレータの安全サイドの立場に立った視点がより重要視されるべきものとする。よって、林地傾斜15°を超えるような林地では労働科学的視点から求めた路網密度を目安とした設計が望ましいものとする。なお、Fig. 42 から分かるように、実作業現場の集材路網密度と比較しても、ここで提案した集材路網密度は実用的にも妥当なものであるものと考えられる。

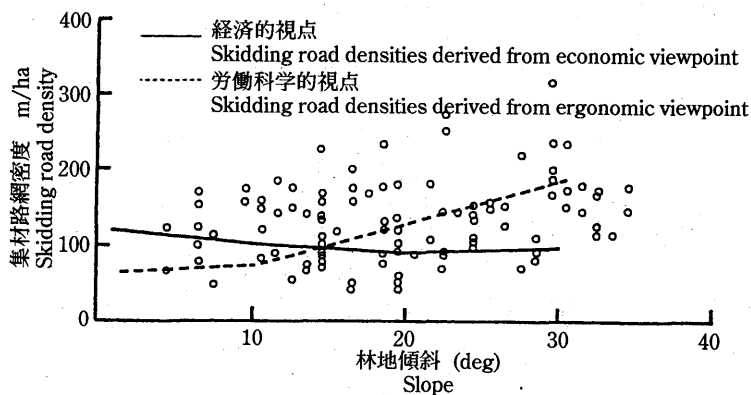


Fig. 42 林地傾斜に応じたトラクタ集材路網密度

Tractor skidding road densities according to steepness of slope

○: Skidding road densities of actual tractor skidding sites

#### 5.4 まとめ

経済的視点からみた集材路網密度は林地傾斜  $0^\circ$  で 117.8 m,  $10^\circ$  で 100.1 m,  $20^\circ$  で 87.9 m,  $30^\circ$  で 95.4 m となることが推定され、林地傾斜が急峻になるに従い開設コストが増加していくことから急傾斜地では緩傾斜地に比べて相対的に路網密度が低くなるものと考えられた。

ウィンチロープ引き出しの延伸力やオペレータの生理的負担など労働科学的側面から集材路間隔、路網密度について検討した結果、集材路間隔は林地傾斜  $0^\circ$  で 165.4 m,  $10^\circ$  で 149.4 m,  $20^\circ$  で 95.3 m,  $30^\circ$  で 77.5 m, 集材路網密度は林地傾斜  $0^\circ$  で 60.5 m/ha,  $10^\circ$  で 73.6 m/ha,  $20^\circ$  で 125.9 m/ha,  $30^\circ$  で 180.6 m/ha であることが推定された。経済的及び労働科学的視点からみた集材路網密度を比較すれば、労働科学的視点から求めた路網密度は緩傾斜地では低く、林地傾斜  $20^\circ$  を超えるような林地ではかなり高くなることが示された。労働科学的視点から求めた路網密度はオペレータサイドからみて最小限必要とされる投入量であり、さらに路網密度を高めることにより労働負担の軽減が期待されることから、おおむね林地傾斜  $15^\circ$  以下の緩傾斜地では経済的視点から求めた路網密度を目安に開設されることが適切であるものと考えられた。しかし  $15^\circ$  を超える傾斜地ではオペレータサイドの労働負担の軽減や安全作業をより重視することが重要と考えられ、この立場に立てば集材路の開設負担は掛かり増しになるがオペレータサイドを考慮した路網密度を開設することが望ましいものと考えられた。

### 6 総 括

本研究はトラクタ集材路を走行専用路として材を搬出する集材路走行方式がオペレータの安全性の確保や効率的な材の搬出という観点から好ましいことを基本的な考え方とし、トラクタ集材路の幾何構造と路網密度に関して、トラクタ自身の走行性能や経済的視点から検討するとともに労働科学的視点からも検討し、オペレータの労働負担軽減につながる集材路の幾何構造と路網密度について明らかにすることを目的として行った。本研究結果について総括すれば次のとおりである。

(1) 集材路走行方式の作業実態を対象として労働科学的検討を行った結果、木寄せ関連作業の作業強度は重作業に区分され、動的筋作業負担は強いことが確認された。従って木寄せ作業範囲の検討など負担軽減の方策が必要であることが考えられた。しかし、それらの作業割合は全体の約 21% 程度であることから集材路走行方式における作業全体としての消費エネルギーは比較的少なく、1 日当たり（8 時間労働）の消費エネルギー量は許容範囲内にあることが推定された。従って消費エネルギーにより生じる疲労に関する問題はないものと考えられた。一方、神経負担要素を多く含むものと考えられる土場と先山間の運転作業は、心拍数増加率レベルからみてその神経負担は比較的大きいものと推察された。なお運転作業時間割合は作業全体の約 55% を占めていることから、運転による緊張感や作業ストレスを受ける可能性が高く、それを緩和するための手だてが必要とされることが確認された。

(2) 地表状態が悪い林地でのオフロード走行は集材路走行に比べて明らかに生理的負担が強いことが認められた。しかし地表状態が良好な林地でのオフロード走行では集材路走行との間に違いはみられなかった。その原因はオフロード走行速度が低速であったことによるものと考えられた。なおシミュレート実験により、走行速度条件が同じ場合、ごく低速走行の場合を除きオフロード走行は集材路走行に比

べてオペレータへ及ぼす生理的負担が大きいことが認められた。走行速度はトラクタ集材の作業能率に影響する重要な要因であるので、集材路走行はオフロード走行に比べて作業能率の面からみて有利に働くものと考えられた。従って、集材路走行方式はオフロード走行方式と比較してオペレータに与えられる走行時の生理的負担はより少なく、作業能率の側面からも有利であるものと考えられ、オペレータに対する安全な作業環境の確保や能率向上を図る上でより有利に働く搬出形態であるものと考えられた。

(3) トラクタの走行性能からみた集材路の縦断勾配は、実車時の登坂走行が制限要因となり、集材路の土質や土の含水率などの路面状態が通常状態の場合、車両重量7tf、積載量2tfとすれば集材路の縦断勾配の限界はクローラタイプを使用する場合 $13\sim 21^\circ$ 、ホイールタイプを使用する場合は $9\sim 13^\circ$ と推定された。集材路の縦断勾配の増加に伴いオペレータの生理的負担も上昇することが認められ、オペレータサイドからみれば縦断勾配は緩やかな方が望ましく、クローラタイプでおおむね $10^\circ$ 以下、ホイールタイプでおおむね $15\sim 20^\circ$ 以下の勾配が好ましいものと考えられた。トラクタの走行性能及びオペレータの生理的負担を考慮した最大縦断勾配はクローラタイプでおおむね $10^\circ$ 、ホイールタイプで $13^\circ$ 程度が望ましいものと考えられた。

(4) 集材路の最小曲線半径は幅員を3.0~3.5m、搬出材長を20mとすれば最小曲線半径は29~33m必要であることが分かった。曲線半径についてオペレータサイドからみれば、曲線部をトラクタが通過する場合には走行速度がオペレータの生理的負担に影響を及ぼす一方、今回の実験で設定した曲線半径水準の範囲内では曲線半径の影響は認められなかった。従って、集材路線の曲線としては半径20m程度以上、できれば30m以上の曲線を作設し、曲線部は低速走行すればオペレータにとってより安全な走行が確保できるものと考えられた。

(5) 幅員は現存のトラクタ自身の物理的な大きさから判断して、1.8~2.9m程度必要であることが分かった。さらに集材路の余裕幅が広い路上を低速で走行することがオペレータサイドからみて好ましく、余裕幅を1m程度以上とることにより生理的負担の軽減が期待されることが認められ、トラクタ自身の大きさやオペレータの安全からみて、幅員は3.5m程度以上あればよいものと考えられた。

(6) 経済的にみて最適な集材路網密度は、林地傾斜 $0^\circ$ で117.8m/ha、 $10^\circ$ で100.1m/ha、 $20^\circ$ で87.9m/ha、 $30^\circ$ で95.4m/haとなることが推定され、林地傾斜が急峻になるに従い集材路開設コストが増加していくことから急斜地では緩斜地に比べて相対的に路網密度が低くなるものと考えられた。

(7) ウィンチロープ引き出しの延伸力や作業者の生理的負担などオペレータサイドから集材路間隔、路網密度について検討した結果、集材路間隔は林地傾斜 $0^\circ$ で165.4m、 $10^\circ$ で149.4m、 $20^\circ$ で95.3m、 $30^\circ$ で77.5m、路網密度は林地傾斜 $0^\circ$ で60.5m/ha、 $10^\circ$ で73.6m/ha、 $20^\circ$ で125.9m/ha、 $30^\circ$ で180.6m/haであることが推定され、林地傾斜が急峻になるにつれてオペレータサイドからみれば集材路網密度を高めていく必要があることが分かった。

(8) 労働科学的視点から求めた路網密度は経済的視点から求めたそれと比較して、緩傾斜地では低く、急傾斜地ではかなり高くなることが分かった。労働科学的視点から求めた路網密度は作業者サイドからみて最小限必要とされる投入量であり、さらに路網密度を高めることにより労働負担の軽減が期待される。従って、おおむね林地傾斜 $15^\circ$ 以下の緩傾斜地では経済的視点から求めた路網密度を目安に開

設されることが適切であるものと考えられた。一方、地形傾斜 $15^{\circ}$ を超えるような林地では労働科学的視点から求めた路網密度を目安とした設計が望ましいと考えられた。

本論文より得られたトラクタ集材路の幾何構造と路網密度は実用的にも適用可能なものと考えられ、効率的なトラクタ集材作業やオペレータの安全作業の確保及び労働負担の軽減に役立つものと考えられる。

## 謝 辞

本研究をとりまとめるにあたり、終始ご指導、ご助言を賜りました東京農工大学農学部教授木平勇吉博士、同助教授峰松浩彦博士に心からの敬意と深甚な謝意を捧げます。

また、長年にわたって懇切なるご指導をいただいた静岡大学農学部名誉教授岩川 治博士に心から敬意と謝意を捧げます。

茨城大学農学部教授林 尚孝博士、宇都宮大学農学部教授笠原義人博士、東京農工大学農学部教授中村浩之博士にはご懇篤なご校閲を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

本研究を遂行するにあたりご協力やご助言をいただいた、農林水産省森林総合研究所生産技術部長奥田吉春氏をはじめ、同生産技術部の皆様に謝意を表します。

## 引 用 文 献

- BERGGREN, G.: Heart rate and body temperature as indices of metabolic rate during work, *Arbeitsphysiol*, **14**, 255-260 (1950)
- BOCK, A.V. *et al*: Studies in muscular activity III, dynamical changes occurring in man at work, *J. physiol*, **66**, 136-161 (1928)
- BOWEN, W.P.: Changes in heart-rate blood pressure and duration of systole resulting from bicycling, *Am.J.Physiol*, **11**, 59-77 (1904)
- CRAIG, F.N. *et al*: Slowing of the heart at beginning exercise, *J.Appl. Physiol*, **18**, 353-356 (1963)
- de MEGILLE, X.: Tractors for logging, FAO, 189pp, (1957)
- 藤林 誠, 辻 隆道, 渡部庄三郎: 林業労働の作業強度に関する研究, *林試研報*, **86**, 91~182 (1956)
- 橋本邦衛, 遠藤敏夫: 生体機能の見方, 人間と技術社, 168pp. (1973)
- , 白井 薫, 深野重次郎: 大型バス運転の生理的負担度に関する研究 (前編), *鉄道労働科学*, **15**, 39~61 (1962)
- 市原恒一: トラクタ作業道路面の緑化と流失土砂 (予報), *日林論*, **97**, 633~636 (1986)
- : トラクタ作業道路面の緑化と流失土砂 (Ⅲ), *日林論*, **99**, 685~686 (1988)
- , 福田章史, 佐々木尚三, 田中利美: トラクタ作業道路面の緑化と流失土砂 (Ⅱ), *日林論*, **98**, 693~696 (1987)
- 猪飼道夫: 運動生理学入門, 杏林書院, 277pp. (1986)
- 池上晴夫: 運動処方, 朝倉書店, 244pp. (1987)
- 今富裕樹, 辻井辰雄: トラクタ集材作業における荷掛手の労働負担, *日林関東支論*, **34**, 273~274 (1982)
- , 辻井辰雄: トラクタ集材作業における荷掛手の労働負担 (Ⅱ), *日林論*, **94**, 653~655 (1983)

- , 奥田吉春, 岩川 治: 林業労働災害と労働安全に関する研究 (I), 日林論, 104, 759~763 (1993)
- 井上源基: 車両系機械と路網, 機械化林業, 476, 3~18 (1993)
- : トラクタ集材路網の配置に関する研究 第1報, 林試研報, 348, 47~108 (1987)
- : トラクタ集材路網の配置に関する研究 第2報, 林試研報, 353, 1~126 (1989)
- 石橋富和, 大谷 璋, 三浦武夫: 精神負担の指標としての心拍数, 産業医学, 10 (7), 277~279 (1968)
- 石河利寛: スポーツと健康, 岩波書店, 210pp. (1982)
- 石河利寛: スポーツとからだ, 岩波書店, 198pp. (1983)
- 岩川 治: 林道の構造評価に関する研究, 昭和 57, 58 年度科学研究費補助金研究成果報告書, 1~26 (1984)
- , 今富裕樹: 運転者の生理的負担からみた林道の幾何構造, 日林中部支講, 27, 207~208 (1979 a)
- , 今富裕樹: 運転者の生理的負担からみた林道の幾何構造 (Ⅲ), 日林論, 90, 509~510 (1979 b)
- , 古谷士郎, 三浦高嗣: 運転者の生理的反応からみた林道の幾何構造, 日林誌, 59 (1), 385~388 (1977)
- 岩崎勇作, 村井 宏, 北田正憲: トラクターによる集運材が林地保全機能に及ぼす影響, 日林東北支誌, 23, 156~159 (1972)
- , 村井 宏, 北田正憲: トラクターによる林地破壊とその回復過程, 日林東北支誌, 30, 62~65 (1979)
- 上飯坂実, 小林洋司, 中尾博美, 山本 誠, 岩川 治, 南方 康, 村山茂明, 堀 高夫: 新林業土木学, 朝倉書店, 196pp. (1988)
- KOCHENDERFER, J.N.: Erosion Control on Logging Roads in the Appalachians: U.S.D.A. Forest Service Research Paper NE-158 (1970) (森林利用研究会資料 No. 83, 1~23, 1973)
- 河野晴哉, 桑原正明, 石井邦彦: 安全な山仕事のために, 全国林業改良普及協会, 207pp. (1985)
- KROGH, A. *et al.*: The regulation of respiration and circulation during the initial stage of muscular work, J.Physiol, 47, 112~136 (1913)
- MATTEWS, D.M.: Cost Controll in the Logging Industry, McGraw-Hill Book Co (1942)
- 守田友義: ブルドーザ, 産業図書, 265pp. (1979)
- 室谷英幸, 池田守利, 深野重次郎, 杉山一郎, 大島昌明, 谷沢平八郎: 心拍数の変動からみた鉄道輸送業務における精神的影響について, 鉄道労働科学, 36, 1~13 (1982)
- 日本林道協会: 林道規定, 日本林業調査会, 187pp. (1977)
- 人間工学ハンドブック編集委員会編: 人間工学ハンドブック, 金原出版, 518pp. (1966)
- 沼尻幸吉: エネルギー代謝と心拍数との相関について, 労働科学, 50 (2), 79~88 (1974a)
- : 活動のエネルギー代謝, 労働科学研究所, 301pp. (1974b)
- 沼田邦彦, 北川善一郎: 伐出作業の作業環境と作業方法に関する研究 第3報, 静大農学部研報, 36, 35~41 (1986)
- , 山下金二: 伐出作業の作業環境と作業方法に関する研究 第1報, 静大農学部研報, 35, 29~36 (1985)
- 大久保堯夫: 運転時間と運転者の心身負担, 人間工学, 21 (1), 29~34 (1985)
- 太田三郎: 運動時に於ける血液循環系変化の機序, 日本生理誌, (15), 93~100 (1953)
- PACKER, P.E and CHRISTENSEN, G.F: Guides for Controlling Sediment from Secondary Logging

- Roads, Intermountain Forest and Range Expt.Sta. and Northern Region, U.S. Forest Service, 1964 (森林利用研究会資料 No. 82, 15~20, 1972)
- PHEASANT, S.: Bodyspace, Taylor & Francis, 275pp. (1986)
- 林業機械化協会: 林業機械便覧, 林業機械化協会, 285pp. (1991)
- : トラクタ集材作業基準・トラクタ集材作業要領解説, 林業機械化協会, 124pp. (1985)
- : トラクタ集材と集材路, 林業機械化協会 232pp. (1986)
- 林野庁厚生課: 昭和 61 年度国有林野事業労働災害統計書, 1~57 (1987)
- : 昭和 62 年度国有林野事業労働災害統計書, 1~57 (1988)
- : 昭和 63 年度国有林野事業労働災害統計書, 1~57 (1989)
- : 平成元年度国有林野事業労働災害統計書, 1~57 (1990)
- : 平成 2 年度国有林野事業労働災害統計書, 1~57 (1991)
- 労働科学研究所: 労働の生理的負担, 労働科学研究所 402pp. (1956)
- 酒井秀夫: 合理的集運材方式に基づく長期林内路網計画に関する研究, 東大演報, 76, 1~85 (1987)
- 酒井 学, 阿見艶子: 心拍数とエネルギー代謝率との関係, 農機誌, 29(1), 39~41 (1967)
- 猪内正雄: 集材用トラクタの性能解析に関する基礎的研究, 岩大演報, 11, 1~139 (1980)
- , 安達喜代美: トラクタ集材が伐採跡地に及ぼす影響 (I), 日林誌, 64(4), 136~142 (1982)
- , 金子智紀, 松下敬行: トラクタ集材が伐採跡地に及ぼす影響 (II), 日林誌, 67(6), 236~239 (1985)
- STEINLIN, H. & ZEHTNER, K.: Reibungswiderstande beim schleifen vom stammem auf horizontalen Versuchsstrecken Austalt fur das forstliche Versuchswesen, 1953 (森林利用研究会資料, No. 1, 1~6, 1955)
- 立川史郎, 大里正一: トラクタ集材における木寄せ作業の作業強度 (I), 岩大演報, 20, 13~22 (1989)
- 辻 隆道, 渡部庄三郎: 林業作業測定を進め方, 地球出版 301pp. (1965)
- 梅田三樹男, 辻 隆道, 井上公基: 標準功程表と立木評価, 日本林業調査会, 140pp. (1982)
- 梅田重夫, 竹田策三, 松居勝広, 田中 孝: 農業動力学, 朝倉書店, 227pp. (1975)
- 山地啓司: 心拍数の科学, 大修館書店, 306pp. (1986)
- 山本俊明, 佐々木功: 森林作業における作業者の労働科学的研究, 京大演報, 43, 246~262 (1972)
- 山崎忠久: 林道の人間工学的研究 (I), 日林誌, 67(1), 33~36 (1985a)
- : 林道の人間工学的研究 (II), 日林論, 96, 647~648 (1985b)
- : 林道の人間工学的研究 (III), 日林誌, 68(5), 210~212 (1986)
- 吉竹 博: 精神作業の負担と心拍数, 労働の科学, 23(12), 62~63 (1968)
- 全国林業改良普及協会: 林業技術ハンドブック, 全国林業改良普及協会, 1022pp. (1990)

## An Ergonomic Study on the Geometrical Design and Density of Tractor Skidding-roads

IMATOMI, Yuki<sup>(1)</sup>

### Summary

This paper discusses geometrical design and density of tractor skidding roads from an ergonomic viewpoint. The author believes that in tractor logging operations, on-road driving is better than off-road driving for both the operator's safety and operational efficiency, and skidding-road design which reduces the mental and physical workloads of a tractor operator should be considered. This paper investigates the geometrical design of skidding roads from the viewpoints of traffic capacity, size of tractor and physiological load of an operator. Skidding-road densities according to steepness of the slope are investigated from the viewpoints of workers' physical abilities and minimizing working costs.

It has been shown that the physiological load of a tractor operator in off-road driving is higher than that in on-road driving by investigations at a tractor skidding site and experiments for simulated driving. When driving speed is slow, there is little difference between the heart rate values of off-road and on-road driving. But as driving speed becomes faster, the heart rate during off-road driving increases much more rapidly than during on-road driving. Driving speed is one of the most significant factors affecting operational efficiency. Consequently, tractor operation using skidding roads is better at reducing the operator's physiological load, keeping safer working conditions and improving productivity.

The results of our investigation of the geometrical design of skidding roads in terms of traffic capacity, tractor size, and ergonomics are as follows. The optimum maximum longitudinal grade of a skidding road is estimated to be about 10° for a crawler-type tractor, and about 13° for a wheel-type tractor. Our investigation showed that the minimum radius curve should be 30m, and that driving speed affects the physiological workload when driving around curves. The width of a skidding road must be at least 1.8-2.9m. It has been shown that skidding-road width and driving speed affect the physiological workload. Therefore, an optimum skidding-road width of about 3.5m and driving at slow speeds help to reduce the operator's physiological load. It has been proven by investigations of skidding roads at actual tractor logging sites that the factors of geometrical design derived from this study can be applied to actual skidding-road construction.

Skidding-road densities minimizing the sum of winching costs and road construction costs are 117.8m/ha for 0° slopes, 100.1m/ha for 10° slopes, 87.9m/ha for 20° slopes, and 95.4m/ha for 30° slopes. The densities according to slope gradient restricted by the physical strength limit, the heart rate limit and the oxygen debt limit in the choking operation, are 60.5m/ha for 0° slopes, 73.6m/ha for 10° slopes, 125.9m/ha for 20° slope, and 180.6m/ha for

30° slopes. It has been shown that the ergonomic densities of skidding roads are smaller on gentle slope sites, and larger on steeper slope sites, than densities derived from the economic viewpoint. Ergonomic densities of skidding roads are necessary, at least for an operator. From the above, we may conclude that the economic densities of skidding roads are suitable for gentle logging sites up to about 15°, and those derived from the ergonomic viewpoint are suitable for steep logging slopes exceeding.