

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

酒井 秀夫

主な記号一覧表  
(掲載順)

ri: 林道の年間費用 (円/年m)  
添字 i は林道の規格  
di: 林道密度 (m/ha)  
F: 林道の費用と集材費の合計  
(円/m<sup>3</sup>)  
Vv: ha 当り年間平均出材量  
(m<sup>3</sup>/年 ha)  
a: 集材距離に対する集材費の比例定数  
b: 集材費の定数項  
Ol: 燃料費に対する油脂費の割合  
g: 勾配および路面に対する燃料消費の修正係数  
ryn: 最低規格の林道の年間維持費  
(円/年m)  
D: 飽和密度 (m/ha)  
N: 1 作業現場の所要人工数合計  
(人時)  
p: 通勤用自動車定員 (人)  
k1: 林道改修前の通勤車両走行経費  
(円/時)  
k2: 林道改修後の通勤車両走行経費  
(円/時)  
t1: 林道改修前の往復通勤時間  
(時/日)  
t2: 林道改修後の往復通勤時間  
(時/日)  
t0: 1 日の基準作業量を達成するための正味作業時間 (時/日)  
w: 作業員賃金 (円/日)  
△w: 1 日当りの作業量増加に対する加給分 (円/日)  
△t0: 作業時間の増加 (時/日)  
V: 1 施業期間 n 年間の木材総生産量  
(m<sup>3</sup>/ha)  
Nw: 上記の労働投入量 (人/ha)  
u: 運材通勤単価 (円/m<sup>3</sup>m)  
ryi: 林道の年間維持費 (円/年m)  
Vr: 林道の年間木材通行量 (m<sup>3</sup>/年)  
Vri: 林道規格 i を採用するのに最低必要な木材通行量 (m<sup>3</sup>/年)  
A1: 上記の所要森林面積 (ha)  
Lh: 計画対象地域の平均運材距離  
(m)  
G: 木材生産費用 (林道維持費 + 運材費 + 集材費) (円/m<sup>3</sup>)  
Vr: 計画対象地域の平均木材通行量  
(m<sup>3</sup>/年)  
L: ある集材方式の最大作業距離 (m)  
f(L): 集材費 (円/m<sup>3</sup>)  
F(L): いくつかの f(L) の中の最小値  
(円/m<sup>3</sup>)  
L: 間伐・主伐を総合した最小集材費 (円/m<sup>3</sup>)

Fi(L): 第 i 回間伐時の F(L). i = n のときは主伐時。択伐作業の場合は, n = 1 とする。  
Vi: 第 i 回間伐時の ha 当り出材材積  
(m<sup>3</sup>/ha)  
Si: 伐区面積 (ha)  
P(L): 労務費単価 (円/m<sup>3</sup>)  
Y: 集材人工数 (人時)  
R: 機械の架設撤去人工数 (人時)  
T: Y と R の合計 (人時)  
w: 賃金 (円/人時)  
m: 集材作業人員 (人)  
Cy(L): 平均サイクルタイム (時/回)  
Vt: 1 回当り平均積載量 (m<sup>3</sup>/回)  
Va: 1 伐区当り総出材量 (m<sup>3</sup>)  
Mp(L): 機械損料 (円/m<sup>3</sup>)  
Fu(L): 燃料油脂費 (円/m<sup>3</sup>)  
K: 集材機作業等における標準器材費  
(円/m<sup>3</sup>)  
Ys: 1 日の工期 (m<sup>3</sup>/日)  
k: 年間標準労働日数/年間標準供用日数  
CRs: 機械の償却費率  
Do: 年標準労働日数 (日)  
LYs: 機械の耐用年数 (年)  
Ms: 機械の定期整備費率  
MTs: 機械の現場修理費率  
MYs: 機械の年間管理費率  
Ps: 機械の価格 (円)  
e: 油脂費その他の燃料費に対する比率  
FVs: 機械の燃料消費量 (ℓ/日)  
FCs: 機械の燃料単価 (円/ℓ)  
RIG: 集材機作業等の標準器材費 (円)  
Vc: 同上平均耐用数量 (m<sup>3</sup>)  
TL: 荷掛時間 (時/回)  
Tu: 荷卸時間 (時/回)  
TLu = TL + Tu  
v<sub>1</sub>, v<sub>2</sub>: 搬器または車両の平均走行速度 (往復) (m/時)  
v<sub>1</sub>', v<sub>2</sub>': 平均横取速度 (往復) (m/時)  
α: 集材方向の伐区長/最大集材距離  
β: 伐区の中央幅/最大集材距離  
γ: 平均集材距離/最大集材距離  
n: 1 伐区当りの架設本数 (本)  
k1: 架設人工数の L に対する比例定数  
(人時/m)  
k2: 撤去人工数の架設人工数に対する比例定数  
k3: 張替人工数 (人時)  
ly: 残存立木の障害に対して横取可能な最大距離 (m)  
A: 残存立木密度 (本/ha)  
a: 立木の平均胸高直径 (m)  
dt: トラクタ作業路密度 (m/ha)  
γt: 作業路迂回率  
S: 平均木寄距離 (m)

G: 作業路作設費および木寄費の合計  
(円/m<sup>3</sup>)  
rt: 作業路の作設単価 (円/m)  
Ct: 木寄の平均サイクルタイム  
(時/回)  
v<sub>1</sub>', v<sub>2</sub>': ウィンチの往復木寄速度  
(m/時)  
TLu: 木寄 1 回当りの荷掛および荷卸  
時間 (時/回)  
Vpt: 木寄 1 回当りの荷掛材積 (m<sup>3</sup>/回)  
Cpt: 木寄 1 時間当りの費用 (円/時)  
θ: 林地傾斜  
φ: トラクタの登坂限界角  
Cp: 集材 1 時間当りの費用 (円/時)  
Mt(L): 1 時間当り機械費・燃料費  
(円/時)  
P: トラクタ積載量を満たすために必要な木寄回数 (回)  
Vp: 平均木寄能率 (m/人時)  
γts: 伐区外の作業路迂回率  
La: 車両の運行と木寄能率がつりあう伐区内の距離 (m)  
Lb: 車両の運行と木寄能率がつりあう作業路上の距離 (m)  
Cts: 伐区に到達するまでの伐区外走行の往復時間 (時/回)  
v<sub>1s</sub>, v<sub>2s</sub>: 伐区外における車両の往復走行速度 (m/時)  
Max: ( ) 内の中から小さくない方を選択する記号  
Va: モノレールの出材量 (m<sup>3</sup>)  
k4: モノレールの路線 1m 当り出材量  
(m<sup>3</sup>/m)  
k5: モノレールの路線 1m 当り架設撤去人工数 (人時/m)  
Yw: モノレールの路線間隔 (m)  
h: 上げ木集材の割合  
(1-h): 下げ木集材の割合  
添字 u, d: それぞれ上げ木集材, 下げ木集材を意味する  
To: 木寄に関わる荷掛, 荷卸等の固定時間 (時/回)  
Vw: 単位面積当りの出材量 (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)  
Y: 伐区幅 (m)  
Tp(n): 路線 1m 当りの木寄・架設撤去人工数 (人時/m)  
Vptd: 平均木寄材積 (下げ木の場合) (m<sup>3</sup>/回)  
Lb: 機関車の運行と積載量を満たすための木寄時間がつりあう運材距離 (m)  
k6: 循環索の架設撤去人工数に関する比例定数  
Ls: 伐区内循環索長 (m)  
k7, k8: 人力木寄に関する定数  
Wr: 循環索 1m 当りワイヤロープおよびブロックの費用 (円/m<sup>3</sup>m)  
Fp: 人力木寄における材のけん引力

(kg)  
k9, k10: Fp に関する係数  
Fm: 人力木寄における限界けん引力  
(kg)  
Ma: 全損料率  
Pr: モノレールのレール価格 (円/m)  
γs: 循環索の屈曲率  
ρ: 燃料消費率 (m/ℓ)  
A: 対象面積 (ha)  
k: 開発伸長効率  
γ: 林道の迂回率  
Vf: 林道 1m 当り年間出材量 (m<sup>3</sup>/年m)  
Li: 林道分岐点によって分割される林道の区間長 (m)  
Σ Li: 当該区間を含めて当該区間より上流の区間長合計 (m)  
Ar: 施業団地面積 (ha)  
La: Li を均等としたときの 1 区間長  
(m)  
N: 施業団内の区間数  
ℓi: 循環路を n 分割したときの各区間長 (m)  
ui: 区間 i の空車時走行費用 (円/m)  
wi: 区間 i の実車時走行費用 (円/m)  
Vrok: 区間 OK の年間通行台数 (台/年)  
Vrom: 区間 OPM の年間通行台数  
(台/年)  
VrkM: 区間 MK の年間通行台数 (台/年)  
v: 走行速度 (m/時)  
f: 15 秒当り燃料消費量 (cc/15 秒)  
Sm: 平均集材距離 (m)  
Se: 最大集材距離 (m)  
g(s): 累加面積比  
F(s): 集材距離が s より近い地域の面積 (ha)  
A: 対象地域面積 (ha)  
L: 平均区間長 (m)  
m: 分岐回数  
N': 2 分岐の個所数  
F(d): 集材費と林道費の合計  
(円/m<sup>3</sup>)  
ds: 作業道 (または作業路) 密度  
(m/ha)  
Vth: 施業団地の間伐材総出材量  
(m<sup>3</sup>/年 ha)  
ry: 林道維持費 (円/年m)  
rs: 作業道 (または作業路) の償却費と維持費合計 (円/年m)  
S: 最大木寄距離 (m)  
Vw: 単位面積当りの年間平均出材量  
(m<sup>3</sup>/年 m<sup>2</sup>)  
F(S): 木寄費と作業路費用合計  
(円/m<sup>3</sup>)  
Rt: 対象林地の間伐対象林の割合  
Ln: 高規格化する以前の飽和密度の全延長 (m)

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

目次

はじめに	1
I. 林内路網計画の既往の研究	
1. 既往の研究	4
2. 考察	6
II. 長期林内路網計画の考え方と林道の費用	
1. 用語の定義	9
2. 林道開設費と飽和密度の考え方	
1) 林道開設費と償却費	11
2) 飽和密度の考え方	14
3. 長期林内路網計画の手順	16
4. 林道費用の算定	
1) 運材費	18
2) 通勤輸送費	23
3) 林道の維持費	28
4) 林道の林業外費用	32
5) 林道の年間費用と規格構造	35
III. 合理的集材方式と林内路網	
1. 集材方式の選択と集材費用の算定	41
2. 対象とする集材方式	45
3. 標準伐区モデル	49
4. 理論方程式	
1) 架空線集材方式	53
(1) 皆伐作業	53
(2) 間・択伐作業	55
2) 車両系集材方式	
(1) 駐車型	59
(2) 林内走行型	

a .	トラクタによる全幹材地曳集材	60
b .	載荷式集材	63
c .	専用作業路を利用した車両集材	67
3 )	モノレール	70
4 )	モノケーブル式	74
5 .	集材費用の算定	76
6 .	飽和密度の算定	
1 )	林内路網密度と集材距離の換算	100
2 )	総合集材費および飽和密度の算定	103
3 )	考察	109
IV .	林道網配置と林道の規格構造	
1 .	年間木材通行量の算定	115
2 .	循環路網の評価	
1 )	循環路の木材通行量	118
2 )	複合循環路	124
3 .	適用	
1 )	資料	127
2 )	結果と考察	135
V .	考察	
1 )	総合集材費Cの正当性	144
2 )	作業道の必要性	146
3 )	集材用車両専用作業路の密度	148
4 )	林道の一部高規格化と飽和密度 の変化	150
5 )	複合路網密度理論との関係	151
6 )	飽和密度の開設進捗と限界林道 密度との関係	152
VI .	結論	154
	摘要	158
	参考文献	164

はじめに

林道は，木材生産はいうまでもなく，森林管理およびレクリエーション等の森林の公益的機能の発揮，あるいは地域産業の振興，住民の福祉にとっても不可欠な施設である。

わが国では，営々として林道網整備が行われてきた結果，全国平均の林内道路密度は，1982年現在，国有林，民有林あわせて10.8m/ha（内公道密度は6.9m/ha）に達している（36）。しかし一方で，林道をとりまく環境も大きく変化し，複雑化してきた。

例えば林内公道についてみれば，林内路網計画に関する研究が集中的に行われた1960年代当時までは，林内公道の具体的な機能評価はなされていなかった。その後，「森林資源に関する基本計画」（昭和55年5月23日閣議決定）による林内道路の整備目標においては，林縁より200m以内の公道は林内路網に含めることとなり，また林内公道は一般にも施業機能を有するものと考えられてきた。しかし，一般交通量の増加に伴い，公道の林業的機能にも疑問が生じ（38），実情として運材機能面のみに限定評価せざるをえない場合も少なくない（38,48）。この傾向は今後一層強まるものと思われる。

また，1973年のオイルショックを契機とする人件費および林道建設資材の高騰により，従来の一般林道にかわって，作業道と称する実質的には低規格の林道の開設が急増した。その結果，路面災害などの問題が顕在化し，多様化した林道の規格構造のありかたも問われるようになっていく。

一方，林業そのものも周知のように，1950年代以降の拡大造林による人工林が間伐ないし主伐期を迎えたことと1965年以降の外材増加による国内林業の圧迫とから，施業の多様化と集約化がせまられている。とくに集材作業においては，間伐材搬出を含む，小面積・非皆伐を対象とする作業システムの必要性から，従来の主として大

面積皆伐作業を対象とする架空線集材方式，トラクタ集材方式に加えて，モノケーブル方式，モノレール，林内作業車等の種々の機械が開発・利用されている。

このような林業および林道を取りまく環境の急速な変化に対応して，あらたな各種集材方式を含む合理的な集運材システムを確立するとともに，施業林道を中心に，その密度，配置のありかたを再検討し，規格構造，機能あるいは公道との関連をも考慮したあらたな林内路網計画を樹立することが，いまだ必要とする目標林内路網密度に程遠い状況にある今日，喫緊の要務となっている。

従来 of 林内路網計画は，林道開設単価と集材機能の両面から，主に量的指標である林道密度を中心になされてきたといえる。その際，林道の規格構造は，密度理論式の構造上の制約から一律に決定せざるをえなかった。しかしある程度林内路網が充実し，整備の段階にはいると，とくに車両燃費および開設単価の上昇している状況下においては，当然のことながら運材機能も無視しえなくなり，規格構造の適正な階層化をはかる必要が生じてくる。このような輸送機能の面から道路規格を検討することは，いわゆる道路経済分析の範ちゅうに属し，林道においても，すでにMatthewsによって，その密度理論式と同時に古くから提示されてはいるが(23)，路線ごとの個別の検討に終始しており，林内路網の全体計画に対して十分な位置づけがなされているとはいいがたい。

本論は以上の観点から，まず従来からの林道の主たる機能である施業機能について，間・択伐作業を含む多様化する施業内容に対処せしめるべく，現実および将来の集材方式に則して，高密な路網を前堤とした集材システムを確立するとともに，さらに林道の輸送機能をも併せて分析・考察することによって，合理的な集運材システムに基づく長期林内路網のありかたを検討しようとするものである。

なお本論においては，わが国の実情に則して研究を行ったが，基本的考え方は，いかなる場合にも対応しうるものである。

本論文をとりまとめるにあたり，終始ご指導，ご助言を賜った東京大学上飯坂実教授ならびに南方康助教授に謹んで感謝の意を表する。また，資料収集に際してご協力賜った東京大学演習林の職員各位，東京大学森林利用学研究室諸氏，関係各位に，深甚の謝意を表する。

## I. 林内路網計画の既往の研究

### 1. 既往の研究

林内路網計画に関する既往の研究は，路網密度に関する研究と路網配置に関する研究とに大別することができる。

路網密度に関する研究のうち，本論と関連のある既往の研究は以下のとおりである。

まず Matthews(24)が，単位材積当り集材費と林道開設費の合計が最小になるように，林道間隔を決定することを試みた。

その後 Huggard, Larsson, Sundberg, 上飯坂, 南方らが，本質的には Matthewsの考え方に基づきながら，この問題を発展させ，理論の精度をあげてきた。

すなわち，Huggard(9)は，Matthewsの林道費用は開設費のみであり，短期作業にしか適用できないものとして，投下資本利子と維持費を考慮した。また，最小原価を直接，林道密度の関数としてあらわした。

Matthewsの理論は矩形モデルを前提としているが，Larsson(21)は，矩形モデルの最外縁および公道上の出材について修正を試みた。

Sundberg(49)は，迂回係数を導入して，精度を一躍向上させた。

上飯坂(11)は，平均蓄積に対して最適林道密度を求め，わが国の基準値を提示した。

平賀(3)は，林道間隔と林地平均幅から分岐回数を求め，これに基づいて運材費を密度算定式に組み込むことを試みた。

南方(25)は，集材費を集材距離の一次式であらわし，開発伸長効率を設けて精度を高めるとともに，施業循環団地の概念を導入して，林道計画を現実的なものとした。同時に，造林・撫育費をも考慮しながら，販売価格を出発点として限界林道密度を与えた。南方(26)はのちに，



その後の社会変化に対応して、労働投入量と林内歩行経費から、基礎路網密度を示した。さらに南方ら(28)は、近年、低規格林道を前提とした小規模集材システムと林道を前提とした大規模集材システムを組合せた複合的路網を提唱した。

このほかにも土場との関連を考えた研究があるが(34, 54), Matthewsの理論は、以上一連の研究をもって一応の完成を見たといえる。

一方、路網配置については、Lünzmann(22), Hafner(2)らによって配置形態が考察された。電算機の発達に伴って、平賀(4,5), 神崎(14)は配置手法に関する研究を行った。酒井(39,40)は集材距離・開設長から最適配置を試みた。小林(17)は費用便益比から開設順位および配置計画の研究を行った。

林道の規格構造に関する研究は、すでにMatthews(24)によって、密度理論とともに検討が行われており、一般道路(55)においても古くから研究が行われている。

米国では、Byrnesら(1)の研究に基づいて、年間輸送量と、林道の維持・償却費および車両走行費用から林道の構造を決定している(53)。

平賀(3)は、運材コストおよび輸送量と、改良工事費から、林道延長に対して改良の良否を検討した。

沢口(47)は、舗装による維持管理費と車両走行費の節減効果、および主作業時間の増大を、交通量に対して試算した。

上飯坂ら(13)は、幾何構造と走行速度に関して基礎的研究を行った。

林内路網計画にとって重要な因子である集材費については、III章であらためてのべることにする。

## 2. 考察

Matthewsをはじめとする一連の密度理論は、単一規格の林道費用に対して密度を決定するものである。林道の通行量に応じて、規格構造に当然、差をもたせなければならぬが、この点に関してはすでにMatthewsやLarssonらも、林道費用が通行量によって変化することを指摘しており、個々の路線に対する規格構造の決定をしている。しかし、規格構造が階層化されれば、単一規格に対して決定された林道密度にもあらたに影響が生じるはずであり、Matthewsらの理論をそのまま林道網の全体計画に適用するのには問題があり、この点に関する研究はいまだ不十分である。また単一規格の場合でも、これに対する適正な規格構造の根拠を明確にする必要がある。

林道の規格構造決定には運材費が関係するが、運材費は集材費や林道建設費に比して微小であり、車両損耗、燃料消費等、運材費に影響をおよぼす因子の計測が困難であることから、その研究が浅く、また実情として、そこまで掘りさげるだけの社会的必要性も希薄であった。しかし、燃料費および人件費が高騰し、路網整備に伴って集約的な小規模分散伐区による木材生産が行われるようになると、運材車両の適正な大きさも含めて、運材システムについて見直しを図る必要性が生じてきている。

本論では、林内路網配置を林道の規格構造との関連で考察することになるが、路線配置そのものの計画手法は、経営目標や地形に応じて柔軟に選択できることを前提とする。したがって、この場合には林道規格の問題は、密度計画と配置計画との接点と位置づけすることができる。

林道の費用としては、開設費が最も大きく、従来、林道密度決定に際して、林道開設の償却費は大きなウェイトを占めていた。しかし、林道がある程度整備された段階にある施業団地の林道の償却状態をみると、償却の完了した林道、償却中の林道、あるいは公道に移管したもの、等様々であり、従来の密度理論式を用いる場合には、

厳密にはこれらの林道を区分しなければならない。また、開設費が大きい場合に、短期に償却しようとするすると、最終目標密度が過少になり、全体の配置計画や規格構造に多大の影響をおよぼすおそれがあり、永続する林業経営において、永久施設としての林道の開設費を林道密度の最終目標決定因子として重きをなすことには問題がある。開設費の償却に関しては、維持費と関連させて次章で詳述することにするが、本論では、木材生産に要する費用を最小ならしめようとする理想的な林内路網整備目標を得るためには、開設費にかかわらず、林道の償却がすべて完了した状態を想定すべきであると考え、林道の償却費は、当面の木材生産費用として計上はしても、林道網計画上は、木材生産にみあった投資限界に基づくところの開設進度を決定するだけのものとし、林道密度の決定には関与しないものとする。この場合、密度決定は、最終的な状態における施業団地全体の林道の維持管理費と集材費・運材費との均衡が問題となる。その際、林道の維持管理費は集材費同様、時価で評価することができ、利率等の考慮は不要となる。

集材費は、南方(25)によって算定精度が高められているが、当時の事情からして前提とする集材方式は集材機またはトラクタによる皆伐作業であった。しかし、人工林率が高まり、林内路網が高密になれば、間・択伐等を含む森林作業が多様化・集約化し、また環境保全の面からも、小面積分散伐区となることは必至である。間伐用の集材機械が種々開発されている現在、将来の施業体系および林内路網体系に応じた伐出システムについて検討しなおす必要がある。

Matthewsをはじめとする一連の林道密度理論の他にも、Pestal(35)に代表されるように、集材方式の最適集材距離から林道密度を決定する方法がある。加藤(15)は、この方法とMatthews理論の融合を試みているが、最適集材距離から密度を決定する場合、南方(25)もすでに指摘しているように、道路費用が考慮されないために、道路の過剰投資になる危険性がある。本論でものちに集材費の

算定で明らかになるが，最適集材距離が存在するのは，集材機作業のように架設撤去に多大の手間を要するものに限られており，高密路網による機動性を前提とした車両集材では，最適集材距離が存在してもその距離は極めて短く，集材費がそのまま集材距離に比例するものとみなすことができる。したがってこの考え方が適用できる条件は，極めて限定されている。

## II. 長期林内路網計画の考え方と林道の費用

### 1. 用語の定義

わが国では，作業道と称する実質的には低規格の林道が近年盛んに開設されている。これは，行政的に各種の補助体系に応じて種々の作業道が指定されたことと，開設費の安い道路に対する需要が林業経営者側に強く存在しているからである。

ここでは，運材トラックが走行可能でほぼ永久的使用に耐える林業用道路は，行政的名称の如何を問わず「林道」とし，「作業道」もここでは一応小型運材トラックが通行可能な程度の規格を有し，短期に償却される一時的な道路施設とする。トラクタや林内作業車，あるいは管理用ジープ等の特定の森林作業用車両のための，一般に急勾配，狭幅員の専用道路は，「作業路」と称して上記「林道」，「作業道」と区別することにする。

林内にはこのような林道，作業道，作業路の他にも公道があるが，前述のように，一般交通量の増加に伴って，林業利用上，多くの制約を受けている(38,48)。林内公道は，現時点では林道に準じた集材機能を有していても，将来の山村交通の増加を考慮した場合，計画上は原則として輸送機能のみ有するものとしておく方が無難である。したがって，とくに林内路網の整備期間を長期におく場合には，公道への出材は一応考えないものとして，林道・作業道の整備を図ることにする。しかしながら，やむをえず将来とも公道に出材しなければならない地域も現実には少なくないので，この場合には，公道の集材機能がある程度割引くことによって施業林道としての役割を評価することにする。この評価手法については，最近の報告があるが(38)，各種集材方式との対応や地域の普遍性を考えた場合，さらに検証の余地があるので，なお今後の研究に待つこととし，本論では対象外とする。

なお公道に直接集材することが不可能な場合に，土場

兼用の引込線道路を短区間だけ分岐させて集材機能をもたせることがある。しかし引込線取付部には多額の費用を要し、林道に直接集材する場合に比べて、作業上多くの制約を受け、連続的な集材機能を有する林道とはその性格も異なるので、このような引込線は林道の範ちゅうにはふくめないものとする。

次に「集材」は、林内の木材集積点から運材トラックの積込地点、すなわち一般には林道までの木材搬出工程とする。伐倒地点から林内集積点までの材の移動工程は「木寄」とする。したがって林内作業車やトラクタによる作業路上の小運搬は、実質的には運材であっても、その費用は集材費に繰入れることにする。モノレールやモノケーブル式による搬出も、単なる運材とみなすことができるが、運材トラックの積込地点までの搬出であれば、ここでは集材となる。架空線集材作業における搬器の横取作業は集材工程に含めるものとし、荷掛にいたるまでの横取以前の集積工程については木寄工程とする。

なお林内走行も可能な高能率な伐木造材用車両を使用することができれば、伐木造材費は路網密度にも関係してくる。しかし、わが国ではこの種機械の実績が少なく、使用条件も極めて限定されているので、多工程処理機械の稼働には、専用作業路を附設するものとし、集運材作業のための林内路網とは別個に対処することにする。また、林内路網を整備することにより、作業現場までの林内歩行を節減することができるが、この費用は基礎的路網密度(26)の算定方法に準じて、付加的に林道に転化することができる(II-4-2)参照)。同じ集材方式でも全幹集材と普通集材とでは、厳密には造材費が異なるが、この差額は、集材時の積載量や荷掛・荷卸時間等の差に基づく集材費用の差として評価するにとどめておくことにする。

したがって伐木集運材作業のうち、林内路網の影響を受けるのは、木寄・集材工程と運材工程となる。そして集材費および集材方式の選択は、林道の規格には左右されないものとする。

## 2. 林道開設費と飽和密度の考え方

### 1) 林道開設費と償却費

林道は時の経過によりその価値を減少しないものではあるが，林道の取得価額として，開設費は一定期限内に減価償却されるものとされている(37)。

林道がある程度整備された段階にある施業団地の林道の償却状態をみると，すでに償却の完了した林道，償却中の林道，あるいは公道に移管したもの，等様々であり，従来の密度理論式を用いて密度計画をあらたにたてなおす場合には，厳密にはこれらの林道を区分して，繁雑な修正を行わなければならない。

たしかに林道開設費は木材生産原価の主要な要素ではあるが，永続する林業経営において，永久施設としての林道の開設費を林道密度の最終目標決定因子として重きをなすことには問題がある。例えば開設費が大きい場合に，短期に償却しようとするすると，最終目標密度が過少になり，全体の配置計画や規格構造に多大の影響をおよぼすおそれがある。

本論では，木材生産に要する費用を最小ならしめようとする理想的な林内路網整備目標を得るためには，林道の償却がすべて完了した状態を想定すべきであると考ええる。そして，林道開設の償却費は，当面の木材生産費用として，あるいは会計法上の措置として計上はするが，目標林道密度の決定には関与しないものとする。この場合，林道密度決定に関与する林道の費用として，毎年の維持管理費だけが計上され，密度決定は，最終的な状態における施業団地全体の林道の維持管理費と集材費・運材費との均衡が問題となる。その際，林道の維持管理費は集材費同様，時価で評価することができ，利率や償却状態等の変動要素を省くことができる。林道開設費と償却費は，当面の木材生産にみあった投資限界に基づくところの開設進度を決定するだけのものとなり，目標密度算定と現実の実施計画とは別個に扱われることになる。

例えば、ある事業者の林道に投資できる予算を開設単価で除したものが、当該年度の林道開設量となり、現実には投資効果の高い路線から順次開設されていくことになる。開設進度に関しては、限界林道密度理論(25)と関連させながら、V-6であらためて考察する。

なお、わが国の民有林林道の現状をみると、林道開設費の事業者負担額はわずかに2.6%であり、国庫補助が50.8%をしめている(表2-1)(36)。林道の耐用年数を国有林野事業特別会計経理規程(37)に定められている、長期的に維持すべき幹線林道の15年にしたかうものとするれば、年間の事業者負担は、開設費に対して $0.026/15 = 0.0017$ (定額法による)の比率となり、後記の維持管理費の1割にしかない。また未舗装(土造)自動車道の法定償却年数40年にしたかうものとするれば(56)、年間の事業者負担は、開設費に対して $0.026/40 = 0.00065$ の比率となり、後記の維持管理費のわずかに4%位にしかない。一般に公共投資のときは減価償却は行わずに、財政支出として国民一般の負担に帰せしめているが(23)、これらの数字は、現実には林道の公共的機能の部分がそれだけ大きいものと解釈することもできる。しかし、いずれにしても、林道の価値が時の経過によって減少しないかぎりにおいては、林道の償却年限がすんだ状態を考えれば、密度決定という整備目標策定にとって林道開設の償却費は関与しないものとすることができる。



表 2-1 林道事業費の負担割合（昭和 57 年度）

区 分		負 担 区 分			
		国 費	都 道 道 府 県 費	市 町 村 費	受 益 者 負 担 金
開 設	広域基幹林道	64.7 %	29.4 %	5.1 %	0.8 %
	普通林道	50.8	28.6	18.0	2.6
	小 計	55.6	28.9	13.6	1.9

（注）広域基幹林道及び普通林道は新設と改築の計である。

## 2) 飽和密度の考え方

いま  $n$  種類の規格の林道において、それぞれの年間費用を  $r_i$  (円/年 m)、密度を  $d_i$  (m/ha) とする。集材費 (円/m<sup>3</sup>) は、従来の理論に従うものとして集材距離に比例し(28)、集材距離は林道密度に反比例するものとする。このとき、施業団地 1 ha について、単位材積当りの林道の費用と集材費の合計  $F$  (円/m<sup>3</sup>) は、

$$F = a / \sum_{i=1}^n d_i + \sum_{i=1}^n r_i \cdot d_i / V_y + b \quad (2-1)$$

ただし、

添字  $i$ : 林道の規格

$V_y$ : 施業団地の ha 当り年間平均出材量 (m<sup>3</sup>/年 ha)

$a$ : 集材距離に対する集材費の比例定数

$b$ : 集材費の定数項

となる。

ここで  $r_1 > r_2 > r_3 > \cdots > r_n$  とすれば、 $F$  は、 $d_1 = d_2 = \cdots = d_{n-1} = 0$  のとき最小値をとる。また、III章で集材費の算定を行うが、その際、複数の集材方式から集材距離に応じて集材方式を選択することによって集材距離の増加に対する集材費の増加を抑えることができるので、また、集材距離にそれほど影響されない集材方式もあるので、その場合には  $a = 0$  とすれば、 $F$  は明らかに  $d_1 = d_2 = \cdots = d_{n-1} = 0$  のとき最小値をとる。

したがって、林道が最低規格のときに同時に林道の費用  $r_i$  も最小であるならば、林道規格をすべて最低規格とした時に、集材費と林道費用の合計が最小となる。

このときの、すべて最低規格による時の林道密度を、本論では「飽和密度」とよぶことにする。ただし最低規格とはいっても、集材機能や運材機能等の林道として最少限必要な機能は備えているものとする。ここで林道の年間費用  $r_i$  は、II-2-1) で述べたように林道の維持補修費となる。

一方、林道を利用する通行車両の経費については、集材費に比して微小であることから、従来ほとんどかえりみられなかったが、II-4-5) で後記するように、運材費を

道路利用費用として維持管理費に転化することにより，林道の規格構造の検討が可能となる。なおこの考え方は，米国の林道(53)やLarsson(21)，上飯坂(12)をはじめ，道路経済分析においてすでに用いられている。

しかるに，林道の費用にあらたに運材費も加えたときに，林道維持費と集材費のみから与えられた飽和密度による最低規格のままでは，木材通行量によっては林道費用が高くなるところが生じ，全路網を最低規格では統一することができなくなる。この場合，飽和密度の林道網に対して，木材通行量に応じて適切な規格の林道に昇格させることによって，運材費も含めた林道費を，もとの林道費よりも部分的に安くしていくことができ，結局全体の費用を最小に保つことができる。

従来林道の規格構造決定は，与えられた道路の木材通行量に対して個別に検討していく方法がとられていたが，ここにおいて林道網計画として総合的に把握することができる。このような考え方は，路網整備計画の一環として，既設路網の見直しにも応用することができる。

なお当初から(2-1)式の $r_i$ に運材費も見込んだ場合， $F$ はすべての規格を維持費と運材費の合計が最小の規格にしたときに最小となる。しかし，林道密度が運材費の分だけ小さく算定されることになり，密度決定に運材費が関与しないという後記(2-11)式にも反することになるので，当初から $F$ に運材費を加えるということとはできない。

### 3. 長期林内路網計画の手順

飽和密度による長期林内路網ならびに合理的な集運材システムの計画手順をまとめると、以下のようになる。

施業団地内における実用上最低規格の林道の年間維持費を  $r_{yn}$  (円/年m) とする。このとき飽和密度  $D$  (m/ha) は、林道費と集材費の和  $F(d)$  (円/m<sup>3</sup>)

$$F(d) = r_{yn} \cdot d / V_y + C(d) \quad (2-2)$$

を最小にする  $d$  として与えられる。

ここで  $C(d)$  は、施業団地内において想定される主伐・間伐の集材方式について、これらを総合した最小総合集材費  $C$  (円/m<sup>3</sup>) であり、次章(3-2)式にしたがって求める。 $C$  は、集材距離の関数であれば、例えば次章(3-113)式を用いて林道密度  $d$  (m/ha) の関数  $C(d)$  (円/m<sup>3</sup>) に変換する。

次に、既設路網を参考にしながら、飽和密度に対する林道網配置を行う。この段階で、林内路網は量的には最適の状態となる。

飽和密度に対する路網配置図において、各路線の木材通行量を求め、この木材通行量に見合う林道規格を決定する。この段階で林道規格ごとの密度がはじめて与えられる。(2-2)式の段階で林道維持費と集材費の合計が最小となるが、ここにおいて林道維持費と運材費とからなる林道費用が最小となり、結局、林道の償却が完了した時点においては、集材費、林道費、運材費の合計が最小となる。なお II-4-5), IV-3-2) で後記するように、施業団地が 200～400ha 程度であれば林道はほとんど最低規格で十分であり、施業団地が大きくなり、木材が集中して林道に流入するようになってはじめて、高規格の幹線林道が必要となる。

なお飽和密度の一部の林道を高規格化することによって全体路網の平均維持費が増加するので (II-4-3) 参照), (2-2) 式の  $r_{yn}$  を割増ししなければならないが、このこと

による飽和密度の減少は無視することができる（V-4）参照）。

また，飽和密度に対する林道規格を検討することによって，既設林道網の現行の規格構造が適切であるかどうかを検討することができる。現行の規格構造が高級である場合には，その維持費や投資限度との関連で，状況に応じて飽和密度を試行をくりかえしながら調整したり，あるいは公道へ移管したりすることが考えられる。

飽和密度によって最低規格の林道が多量に開設されることになるが，以上の林内路網計画手法は，現行路網の評価をも兼ねており，その意味で林内路網整備計画であるといえる。

なお飽和密度で長期林内路網計画を立てる場合には，林道の維持費が重要となるので，災害に強い施工方法や林道配置に対する配慮がより一層重要である。

#### 4. 林道費用の算定

##### 1) 運材費

林道を高規格化すると，通行車両を大型化することができ，走行速度も大きくなるので，運材単価（円/㎡・m<sup>3</sup>）は小さくなる。また路面状態や勾配も改善されるので，長期的にみれば，燃料消費量や車両および部品損耗費の節減効果も大きい。

一般道路の改良計画に関する経済性の研究は，自動車が出現した時点からさかんに行われてきたが（55），車両経費には車両損耗のように直接測定が困難な要素が含まれているために，未だ不確定な部分が少なくない。まして道路勾配が変化に富み，路面状態も良好でない山岳道路においては，さらに問題は未解決である。

ここでは，設計速度，路線勾配，路面の良否によって，表2-2のような4段階の林道規格を想定し，運材費の挙動を考察してみる。表2-2の規格は，現行の林道規程をふまえて，運材利用上の立場から林道規格を典型化させたものである。規格1は，幹線林道を前提としている。なお最低規格の規格4の林道は，支線として量的にも多く開設されることが予想されるので，その維持に十分留意して，緩勾配に設計するものとする（28）。また通行車両は，一応2t車，4t車，6t車，8t車とし，6t車，8t車は規格3，4の林道は走行しないものとする。

林道上の運材単価（円/㎡・m<sup>3</sup>）は，1時間当り運転経費（円/時）を，平均走行速度（m/時）および積載量（m<sup>3</sup>）で除して得られる。なお積載量は，1tにつき1m<sup>3</sup>とし，往路は空荷とする。

1時間当り運転経費は，ここでは建設機械等における算定方法（32）を運材作業の実情に則して多少修正した後，次式から求めることにする。

$$\begin{aligned} & \text{1時間当り運転経費} \\ &= \text{1時間当り損料} + \text{燃料油脂費} + \text{消耗部品費} + \\ & \quad \text{運転労務費} \end{aligned} \quad (2-3)$$

表 2-2 想定する林道規格

規格	設計速度	路面	路線勾配
1	40km/h	良	緩
2	30	良	急
3	20	普通	急
4	10	不良	緩

ただし,

1 時間当り損料 = 基礎価格 × 損料率

燃料油脂費 = 1 時間当り消費率 ( $\ell/\text{ps}\cdot\text{h}$ ) × 機関総  
出力 (ps) × 燃料単価 (円/ $\ell$ ) × (1 +  
 $0\ell$ ) × g

$0\ell$ : 燃料費に対する油脂費の割合

g: 勾配および路面に対する修正係数

消耗部品費 = 部品価格 × 損耗・補修率

運転労務費: 時給 (円/時)

下記の具体的数値を用いて(2-3)式を試算すると, 表 2-3 のようになる。

2 t 車の機械価格を 1260 千円, 損料率を  $435 \times 10^{-6}$ , 出力を 87ps とし, 4 t 車はそれぞれ, 2570 千円,  $385 \times 10^{-6}$ , 159ps, 6 t 車は 3290 千円,  $367 \times 10^{-6}$ , 170ps, 8 t 車は 4900 千円,  $352 \times 10^{-6}$ , 224ps とする(32)。1 時間当り燃料消費率は  $0.036 \ell/\text{ps}\cdot\text{h}$  とし(32),  $0\ell = 0.1$  とする(17)。消耗部品価格は, 2 t 車が 130 千円, 4 t 車が 131 千円, 6 t 車が 209 千円, 8 t 車が 279 千円とし(32), その損耗・補修率は, 2 t 車の場合, 路面が良のとき  $511 \times 10^{-6}$ , 普通のとき  $887 \times 10^{-6}$ , 不良のとき  $2020 \times 10^{-6}$  とし, 4 t 車の場合は, それぞれ  $552 \times 10^{-6}$ ,  $930 \times 10^{-6}$ ,  $2064 \times 10^{-6}$ , 6 t 車の場合, 路面良のとき  $567 \times 10^{-6}$ , 8 t 車の場合, 路面良のとき  $578 \times 10^{-6}$  とする(32)。

ここで g は, 数種の路線における筆者らの燃料消費測定結果(29)から勘案して, 規格 1 のときを 1 としたとき, 規格 2, 3 のとき  $1/0.7$ , 規格 4 のとき  $1/0.8$  とする。

表 2-3 において，同一規格では，通行車両が大きくなるにつれて 1 時間当り費用は高くなるが，積載量がそれを上まわって大きくなるので，運材単価（円/㎡・m<sup>3</sup>）は安くなる。また同一車種についてみれば，林道の規格が高級化することによって走行速度が大きくなるので，1 ㎡当りの運材単価はかなり小さくなる。したがって，林道を高規格化することによって，通行車両も大型化すれば，運材単価を非常に安くすることができる。例えば，規格 4 の林道を規格 1 に昇格することにより，4 t 車の運材単価は規格 4 のときの 23% になり，さらに 4 t 車を 8 t 車に大型化すれば，規格 4 のときに比べて運材単価は 15% にまでなる。

運材費の費用構成要素のうち，運転労務費の割合が最も高いが，燃料油脂費も 1 ないし 2 割を占めており，林道の規格によってその変動が大きいので，高規格化による節減効果が大きい。また消耗部品費の割合は小さいが，規格 4 になると著しく増加することが確認される。

なお (2-3) 式による運転経費の算定方法の他に，走行実績から，償却費，消耗品費等を燃料費に対する比から求める方法がある (17)。この方法によって求めた運材単価を参考までに示すと表 2-4 のようになる。表 2-4 では，2 t 車，6 t 車の運材単価をそれぞれ 4 t 車，8 t 車と同じ数値で試算しているため，積載量が少ない分だけ不利になっているが，規格 4 を除いては大体表 2-3 と一致している。



表 2-3 運材費

車種	林道規格	車両損料 (円/時)	燃料油 脂費 (円/時)	消耗部 品費 (円/時)	運転労 務費 (円/時)	計 (円/時)	運材単価 (円/km)(円/km <sup>3</sup> )	
2 t車	1	548	345	66	1400	2359	59	59
	2	548	492	66	1400	2506	84	84
	3	548	492	115	1400	2555	128	128
	4	548	431	263	1400	2642	264	264
4 t車	1	989	630	72	1400	3091	77	39
	2	989	899	72	1400	3360	112	56
	3	989	899	122	1400	3410	171	85
	4	989	787	270	1400	3446	345	172
6 t車	1	1207	673	119	1400	3399	85	28
	2	1207	962	119	1400	3688	123	41
8 t車	1	1720	887	161	1400	4168	104	26
	2	1720	1267	161	1400	4548	152	38

表2-4 対燃料費比率から求めた運材費

車種	林道規格	燃料費	油脂費	消耗品費	修繕費	償却費	イ	ロ	ハ	運材単価		
							小計	総計	燃費			
								イ×				
								2.25		ロ×ハ×	燃料代	
										(cc/	(円	(円/
										km)	/km)	km <sup>3</sup> )
2 t車	1～2	1	0.1	0.15	0.25	1.0	2.5	5.625	191	107	107	
	2～3	1	0.21	0.2	0.27	1.0	2.68	6.03	220	133	133	
	4	1	0.375	0.3	0.3	1.0	2.975	6.694	297	199	199	
4 t車	1～2	1	0.1	0.15	0.25	1.0	2.5	5.625	191	107	54	
	2～3	1	0.21	0.2	0.27	1.0	2.68	6.03	220	133	66	
	4	1	0.375	0.3	0.3	1.0	2.975	6.694	297	199	99	
6 t車	1～2	1	0.1	0.15	0.25	1.0	2.5	5.625	258	145	48	
	2～3	1	0.21	0.2	0.27	1.0	2.68	6.03	294	177	59	
8 t車	1～2	1	0.1	0.15	0.25	1.0	2.5	5.625	258	145	36	
	2～3	1	0.21	0.2	0.27	1.0	2.68	6.03	294	177	44	

## 2) 通勤輸送費

林道を開設したり，林道規格構造の高級化によって走行速度を増加させることによって，林業作業現場への通勤時間が短縮され，通勤車両の走行経費も節約することができる。通勤時間短縮によって正味作業時間が増加し，作業量によっては通勤回数の節減をもはたすことができ，大いに生産性の向上を図ることができる。ここでは，林業作業現場への通勤輸送費の算定を行うが，その前に，通勤車両の走行経費の節減について，賃金形態や通勤形態の面から考察しておく必要がある。

いま，合計  $N$  人時を要する 1 作業現場に  $p$  人乗自動車で通勤するものとする。林道改修前の通勤車両走行経費を  $k_1$  (円/時)，往復通勤時間を  $t_1$  (時/日) とし，林道改修後はそれぞれ  $k_2, t_2$  とする ( $k_1 > k_2$ ,  $t_1 > t_2$ )。1 日の基準作業量を達成するための正味作業時間を  $t_0$  (時/日) とし，作業員賃金は， $w$  (円/日) の日給に能率給を加給するものとする。

このとき，林道改修前の通勤車両走行費と賃金の合計 (円) は，

$$k_1 \cdot t_1 \cdot N/p + w \cdot N/p \cdot t_0 \quad (2-4)$$

となる。林道改修後は， $t_2 - t_1 = \Delta t_0$  (時間/日) だけ余計に作業できるものとすれば，

$$k_2 \cdot t_2 \cdot N/p + N(w + \Delta w)/p(t_0 + \Delta t_0) \quad (2-5)$$

ただし，

$\Delta w$ : 1 日当りの作業量増加に対する加給分 (円/日) となる。

$\Delta t_0$  だけ作業時間が増加することによって， $w$  を決定するための基準作業量も増加するが，この場合正味の時給は  $w/t_0 = (w + \Delta w)/(t_0 + \Delta t_0)$  として不変であり，これに  $N/p$  をかけた賃金支払合計は，1 作業現場についてみればかわらない。ただし，正味作業時間増加により，作業員側からみれば受け取る賃金は確実に  $\Delta w$  増加する。なお，能率給の趣旨からすれば，基準作業量増加に見合う  $\Delta w$  をみるべきである。

(2-4), (2-5)式を比較すると, 賃金支払額はかわらないが,  $k_1$ から $k_2$ への低減と作業時間増加によって, 走行経費が節減される。このことは1作業現場についてみた場合であるが, 作業現場が年間を通じて順次移動していく一般の場合には, 作業時間増加による通勤回数の節減効果は, 1日当りの生産性向上として走行経費とは別途に評価することができる。したがって, 一般には通勤車両の走行経費である $k_1$ と $k_2$ の差異について考えればよいことになる。

また, 作業現場集合を当該事業所の始業時刻として林道改修後も1日の作業時間が変わらないような場合には, 当該現場の作業日数は変わらず, 走行経費だけが節減される。

いずれにしても, 林道開設または高規格化によって通勤用自動車の走行経費が節減され, 林内路網計画上, 通勤輸送に関しては, 走行経費のみ考えればよいことになる。

通勤用自動車の1時間当り運転費(円/時)の算定は, 運材費の場合と同じく(2-3)式に準ずるものとする。ただし, 自動車通勤に関する労務費は考慮しないことにする。なぜならば, 自動車通勤が不自由しないほど林道網が整備された状態では, (2-5)式にみるように, 作業員自身1日の正味作業量を確保しようとするからであり, 賃金も実際の作業に対する評価として支払われるべきであるからである。また通勤に対して賃金を考慮すると, 林内作業費が通勤時間の大小によって異なってくることになる。

1施業期間 $n$ 年間で,  $V$ ( $m^3/ha$ )生産するのに,  $Nw$ (人/ha)の労働投入量を要するとすると, 片道通勤距離および木材生産量に対する通勤費(円/ $m \cdot m^3$ )は, 平均走行速度( $m/時$ )に対して,

1時間当り運転費  $\times 2 \times Nw / p \cdot V \div$  平均走行速度 (2-6)  
となる。

いま, 表2-2の林道規格に対して, 機械価格1000千円, 出力102ps, 2000ccの6人乗乗用車を想定してみる。

運転1時間当り損料率  $313 \times 10^{-6}$ , 燃料消費率  $0.034 \ell$

/ps.h, 燃料単価 140円 / $l$ ,  $Ol = 0.1$ とし(32),  $g$ は規格 1 を 1 としたとき, 規格 2, 3 が  $1/0.97$ , 規格 4 が  $1/0.88$  とする。消耗部品価格は 40 千円とし, 損耗・消費率を規格 1, 2 が  $511 \times 10^{-6}$ , 規格 3 が  $887 \times 10^{-6}$ , 規格 4 が  $2020 \times 10^{-6}$  とする(32)。なお通勤用車両は, 作業中は作業現場付近に駐車させておくものとする。したがってこの場合の供用 1 日当り損料は, 林道上の運転時間には直接関係なく, 事業体全体の固定費用として木材生産コストに一定額加算することができるので, 運材作業の場合とは異なり, 通勤輸送単価算定に際しては, 上記損料率には含まないものとする。

集約的な施業として天龍地方スギ優良材生産(表 3-7)を例にとれば,  $V = 1665$ であり,  $Nw/p = 150$ とすれば, 通勤輸送費は表 2-5 のようになる。

表 2-5 より, 運材費に対する通勤輸送費の割合は, 運材車両が大型化するほど運材費の節減効果が大きいののでその割合も高くなるが, 2 t 車ないし 8 t 車に対して, 林道規格に関わらず, それぞれ 6 ないし 15% と, 労務費用が含まれないかぎり, 運材費に比べて僅少である。しかしながら, 林道上の木材通行量に比例して育林, 伐出作業用の通勤車両の通行量も発生することになるので, 本論では林業作業用の通勤輸送費も運材費に加えることにする。

なお作業員の通勤輸送費に関連して, 南方(26)は, 作業員が現場に至る歩行経費を基礎的路網密度として道路に転化し, 社会資本として蓄積することを提唱している。この考え方は, 森林・林業の国民生活におよぼすはかりしれない効用を考えると, あるいは, 例えば沖縄の森林のようにこれから広大な面積にわたる育林を考えなければならないとき, 有効な理論であるといえる。また, 林業が産業として十分成立している場合には, 既設林内路網に対して, なおかつ生じる林内歩行を, 基礎的路網密度の算定方法に準じて, 付加的に林道に転化することも考えることができる。林内路網整備によって短距離集材方式による高度機械化作業が達成されれば, 林内歩行

を必要とする労働投入量は著しく減少するので，林内歩行による付加的密度は少なくなる。

南方の理論を延長して，林業の通勤費用に対して社会資本を積極的に導入することを考えれば，II-4-4)でのべるように，林道の公共的機能の面からも林道の費用を評価しなければならない。

表 2-5 通勤輸送費

林道 規格	車両損料 (円/時)	燃料油脂 費(円/時)	消耗部品 費(円/時)	労務費 (円/時)	計 (円/時)	通勤輸送単価 (円/km・m <sup>3</sup> )
1	313	534	21	—	868	4
2	313	551	21	—	885	5
3	313	551	35	—	899	8
4	313	607	81	—	1001	18

### 3) 林道の維持費

AASHOの道路標準積算便覧(55)によれば、道路の維持費用を、定期的表層維持、特別表層維持、路肩および側道維持、路側および排水維持、および構造物維持の一般的維持と、雪氷対策、交通制御等の交通サービス、および洪水、台風、地すべり、地震、事故等による不定期あるいは災害補修に分類している。なお、この維持には建設、改良工事は含まれない。

本論でもこの分類にしたがうことにするが、林道の場合、交通サービスの費用やパトロールのような道路管理費用は一般的維持費用に比して微小であり、道路の一般管理費用とともに、林業経営全体の費用として扱うこともできるので、ここでは省略することにする。

路面の表層や路側、構造物等に関する一般維持費は、主に降水や車両の通行に起因する恒常的支出とみなすことができ、維持費は道路設備に投資価値を増すものではないから、従来の考え方(25)と同様、年間費用と考えることができる。

しかしこれらの具体的金額の算定は、土質、気象、道路構造、交通量、車種構成といった種々の物理的要因に影響されると同時に、重機の種類とその稼働率、あるいは予算の事業化といった管理主体の道路維持に対する取組方にも大きく影響される。さらにまた、道路開設後の路体経年変化、数年おきに行われる砂利補給等の重点補修、あるいは前年度維持補修との相関といった年間変動に加えて、開設時の完成度、施工技術の巧拙等の不確定要素も加わり、現時点では維持費の統一的算定は極めて困難である。

林道維持費に関与する上記の要因は、条件が過酷な山岳に位置する林道の場合、それぞれ重要な研究課題ではあるが、本論では林道利用および降水による表層および路体・法面の損耗に対する維持費が、交通量および幅員に比例するものとし、その際、林道の規格が上級になるほど開設費も高くなるものとする。なお林道計画時にお



いては、あらかじめ交通量を見込んで適正な規格構造を決定しておくものとする。また地形が急峻になるにつれて林道の開設費、維持費もともに増加するものとするれば、これらのことから林道の一般維持費は開設費に比例するものと考えることができる。

したがって林道維持費をあらかじめ積算することが困難な現状では、過去の実績から、開設費用の時価に対する維持費の割合から維持費を決定するのが至当である。

開設費の時価に対する一般維持費の割合は、例えば平賀(3)の全国の国有林林道を対象とした資料によれば1.37%、谷本(51)の林道高野竜神線16kmの3年間の管理実績によれば1.5%程度であり、とくに平賀の資料において普遍性があるものとみなせば、この割合は1.4%程度と見積もることができる。

一方、不定期の災害に対する復旧費用は、私的経済内でまかなう場合はもちろん、国庫等の補助を受ける場合でも、適正な林道投資という点で林道維持費にあらかじめ考慮しておくのが妥当である。

林道の自然災害は、個々の路線や地形、気象に応じて、頻度、規模ともに特定しがたいものであると同時に、全国的にみても災害復旧費の年度間のバラツキが大きい(表2-6)(36)。しかし表2-6によれば、昭和54年度から昭和58年度までの5年間に於いて、災害復旧費は当時の開設単価に対して平均0.3%程度となる。災害復旧費は一般維持費よりは小さいが、災害復旧費を一般維持費に加算すると、開設単価の約1.7%となる。なお、開設単価に対する災害復旧費の割合が0.3%程度であっても、国家全体としてみれば相当な額に達するので、当然のことながら、災害に強く、補修費のかからない林道を設計・計画することが肝要である。

林道網が整備された段階で、仮に平均 $14\text{m}^3/\text{年 ha}$ の木材生産を行う森林において、平均開設単価 $100,000\text{円}/\text{m}$ の林道が $20\text{m}/\text{ha}$ 必要とすると、開設費の時価に対する維持費および災害復旧費の割合を1.7%としても、維持費の負担だけで $2,429\text{円}/\text{m}^3$ にもなり、林内路網密度決定に少な

らぬ影響をおよぼすことが予想される。

表2-6 民有林林道の平均開設単価と災害復旧費

年災別	林道現 況延長	全体復旧事 業費	イ 平均 復旧 費	ロ 林道開 設量	ハ 林道開設事 業費	ニ 林道平 均開設 単価	復旧 費／ 開設 単価
	(km)	(千円)	(円/m)	(km)	(千円)	ロ/ハ (円/m)	イ/ニ (%)
昭和44	38,851						
45	42,129	1,531,431	39				
46	44,856	4,035,249	96				
47	47,338	7,697,950	172				
48	49,341	1,301,249	28	2254	43,867,700	19,462	0.14
49	50,663	6,068,757	123	1954	45,614,336	23,344	0.53
50	50,152	7,793,341	154				
51	51,217	10,170,217	204	1332	55,655,602	41,781	0.49
52	52,536	2,469,804	48	1442	69,654,172	48,310	0.10
53	55,340	3,166,603	60				
54	57,175	8,118,779	147	1953	116,362,432	59,581	0.25
55	59,106	5,781,298	101	1841	118,816,449	64,546	0.16
56	61,255	9,619,334	163	1680	120,594,483	71,782	0.23
57	62,954	23,774,925	388	1611	120,962,350	75,085	0.52
58		15,394,450	245	1656	121,951,224	73,642	0.33
59				1721	119,604,866	69,497	

注) 1. 林野庁：民有林林道事業のあらまし より作成。

2. (平均復旧費) = (全体復旧事業費) ÷ (前年林道現況延長)

#### 4) 林道の林業外利用

林道は木材や林業作業員の輸送以外にも、山村住民の生活、レクリエーション、観光等による林業外利用の交通があり、いわゆる公共的機能をもっている。

林業外利用の交通そのものは、林業にとって費用のかかるものではないので、林業の費用計算からは無視することができよう。しかし、林業外利用の交通量が多くなって、路面損耗、安全施設の設置等、林道の維持管理費がかさんでくれば、この費用を林業経済の範囲内でまかなうことは不合理となってくる。

いま、林道の交通量が幅員、規格構造に比例するものとし、維持管理費も幅員、規格構造に比例するものとするれば、林道の維持管理費は交通量に比例するものとすることができる。また高規格の林道の方が幅員が大きいので、同じ交通量に対しては、高規格の方が負担が軽いものと考えることができる。図2-1は林道の維持管理費について、このような関係を模式的に示したものである。固定費用の部分は、交通量によらない主として降雨による部分とし、規格構造に比例するものとする。

一方、林業が負担している林道としての維持管理費（円/m）（II-2-3参照）には、一般交通量によるものもある程度は含まれている。沢口（47）による全国207路線の調査によれば、一般交通量の林業的利用に対する比率は、林道の規格によらず、昭和54年当時で大体35%位である。ただし、交通量の絶対量そのものは、高規格になるほど大きい。この割合によって、林業的利用と林業外利用の交通量を図2-1に書き加えると、林業外利用の許容台数は、高規格な林道ほど許容しうるワクが大きく、低規格の林道は一般的利用には耐えきれないことがわかる。すなわち、高規格な林道ほど公共性が高く、低規格な林道ほど林業的色彩が濃いことが確認される。

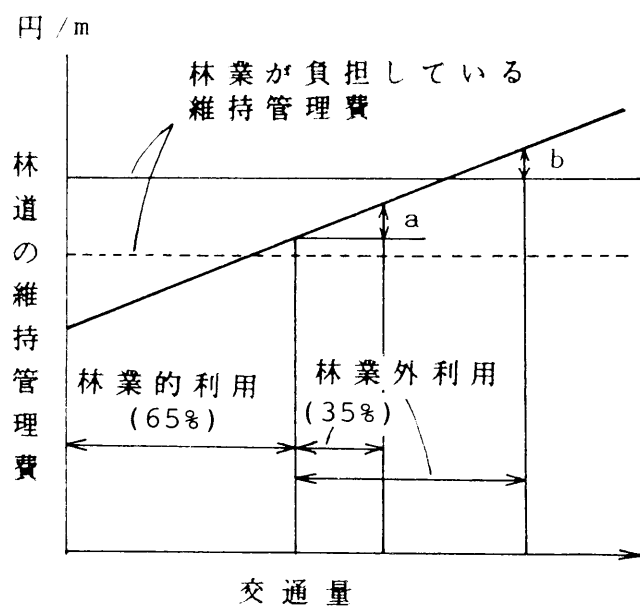
本論では、林内に大きな集落や特別なレクリエーション施設および観光地がないかぎり、図2-1に示す前記35%程度の林業外利用ならば、木材生産によって林道の維持

管理費を十分まかなうことができるものとして扱うことにする。

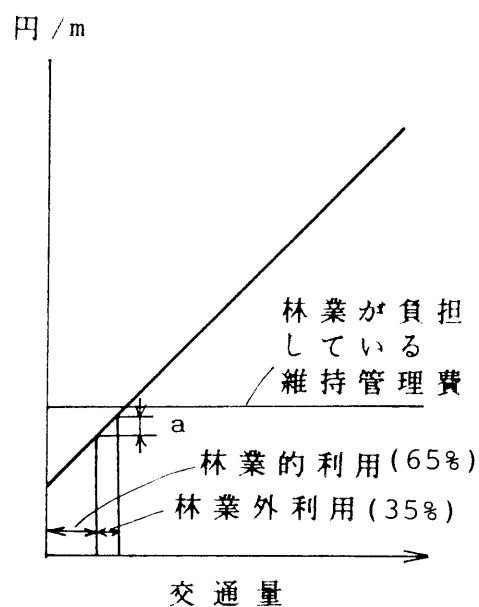
しかし、図2-1のaに示す部分は本来、林業以外の外部経済に対して支払い請求できるものである。さらに一般交通量が増加して林業が負担している林道としての維持管理費をこえた場合には（図中b）、林業サイドの持ち出しとなるので、当然外部に対して支払い請求できるものである。また、林業的利用による林道の維持管理費すら負担することができないほど経営条件が満たされていない場合には（図中破線）、図中aの少なくとも一般交通量によって不足する維持管理費については、外部経済から是非とも導入しなければならない。

このように、林業外利用による交通量の維持管理費と林業的利用による維持管理費の差額分については、外部経済に対して林道の開設費および維持管理費の支払請求の十分な根拠を有し、林道の公共的機能の費用として直接評価することができる。

現状として、幹線となる高規格林道の一般交通量が多くなって、林業のみでは林道の維持費を負担しえなくなったり、また、一般交通量が少なくても、災害の多発によって維持費をまかないきれない場合には、道路改良や公道への移管が行われる。これらの措置は、単に交通量のみではなく、実際には住民要求や行政的なものもあって、不確定要素が多く、この分析は本論の目的とするところではないが、とくに幹線道路となりうる路線については、将来派生する一般交通量を見込んで、公道に移管するかどうかの検討を計画段階でしておくことがのぞましい。



(1) 高規格な林道



(2) 低規格な林道

図 2-1 林業が負担しうる維持管理費の限界の模式図

### 5) 林道の年間費用と規格構造

規格  $i$  の林道の年間維持費を  $ry_i$  (円/年  $m$ ) , 年間木材通行量を  $V_r$  ( $m^3$ /年) とし, II-4-1) で求めた運材費に II-4-2) で求めた通勤輸送費を加えた単価を  $ui$  (円/ $m \cdot m^3$ ) とする。このとき林道の年間費用  $ri$  (円/年  $m$ ) は,

$$ri = ry_i + ui \cdot V_r \quad (2-7)$$

で与えられる。

表 2-2 の林道規格について, 林道の年間費用  $ri$  を試算してみる。林道の年間維持費は, II-4-3) より開設単価の約 1.7% 程度を見込むものとするが, 規格 1, 2, 3, 4 の  $ry_i$  をここではそれぞれ条件の良い a) 1200, 900, 500, 150 と, 条件の悪い b) 2000, 1200, 800, 300 の地域を仮定することにする。

$ui$  は表 2-3 と表 2-5 を合計した数値を使用することにする。通行車両は, 主伐材を搬出するために, 最低規格の林道でも 4 t 車が通行できるものとし, 規格 2 以上の林道で集材・積込を行う場合には, ここでは 8 t 車を使用するものとする。規格 2 以上の林道は, 規格 3, 4 の林道から 4 t 車も流入することになるが, 8 t 車と 4 t 車の構成割合は計画対象地域の形状によって異なるので, 規格 2 以上の林道の  $ui$  は, 対象地域の林道網配置に応じて与えられる車種ごとの木材通行量の過重平均値を使用することにする。ここでは適当な数値を設定した。なお規格 3, 4 から規格 1, 2 の林道に入るときに, 4 t 車から 8 t 車への木材の積換はないものとする。

このとき各林道規格の  $ri$  は図 2-2 のようになる。図 2-2 より, 木材通行量が大きくなると林道費用も大きくなるが, 年間木材通行量に応じて, 年間林道費用を最小にする林道規格が与えられる。すなわち,

$$\begin{aligned} ri_{\min} &= \text{Min}(ri) \\ &= \text{Min}(ry_i + ui \cdot V_r) \end{aligned} \quad (2-8)$$

ただし,

Min: ( ) 内から最小となるものを選択する記号をみたす  $i$  が, 当該  $V_r$  に対する林道規格となる。

図 2-2 の (a) と (b) の直線の傾き，すなわち運材単価と通勤輸送単価の合計は，同一規格では (a) も (b) も同じであるが，林道維持費の条件が悪い (b) では，(a) よりも林道の年間費用が大きくなり，年間木材通行量が約  $46,000\text{m}^3$  以上にならないと規格 1 の林道は望めないことがわかる。なお図 2-2 は，既設林道の改修・整備の検討にも応用することができる。

林道網配置に対する具体的な木材通行量の分析は IV 章で行うが，林道の年間木材通行量は当該林道より上流の全木材生産量に相当する。したがって，規格  $i$  の林道を採用するのに必要な最低木材通行量  $V_{ri}$  に対して，その所要森林面積  $A_i$  (ha) は，

$$A_i = V_{ri} / V_y \quad (2-9)$$

ただし，

$V_y$ : ha 当り年間平均出材量 ( $\text{m}^3/\text{年 ha}$ )

となる。

例えば  $V_y = 14, 20$  としたとき，図 2-2 の  $V_{ri}$  に対して， $A_i$  は表 2-7 のようになる。なお  $u_i$  に通勤輸送単価を含まない場合は，含む場合に比べて，運材単価の高い低規格林道の場合には  $A_i$  はそれほど差異はないが，運材単価の安い高規格林道になると数百 ha のちがいが生じてくる。表 2-7 を表 2-2 の林道規格にあてはめて現行の民有林林道事業国庫補助制度 (36) の採択基準と比較すると，広域基幹林道は規格 2 程度となり，普通林道は規格 4 程度となる。

表 2-7 によれば，計画対象面積が，(a) では約 200～300 ha 以上，(b) では約 300～400 ha 以上になると，林道の規格階層化を考慮しなければならない。計画対象面積がこれよりも小さい場合には，林道規格を最低規格の単一規格とすることができ，従来の Matthews らの密度理論式 (24, 25) に従って  $r_{yn}$  と集材費から最適密度を容易に決定することができる。

計画対象地域の林道規格が最低規格でも十分ということになれば，林道密度は高くなり，均一な配置をすることが可能である。均一配置のとき，計画対象地域の平均運材距離  $L_h$  (m) は，地域の重心までの距離に等しくなり，



密度によらず一定となる。このとき木材生産の費用  $G$  (円 /  $m^3$ ) は,

$$G = \text{林道維持費} + \text{運材費} \cdot \text{通勤輸送費} + \text{集材費} \\ = r_{yn} \cdot d / V_y + u_n \cdot L_h + C \quad (2-10)$$

ただし,

$$C = a/d + b \quad (a, b \text{ は集材方式によって与えられる定数})$$

$d$ : 林道密度 ( $m/ha$ )

となり,  $G$  は,

$$d = \sqrt{a \cdot V_y / r_{yn}} \quad (2-11)$$

のとき, 最小値

$$G_{min} = 2\sqrt{r_{yn} \cdot a / V_y} + u_n \cdot L_h + b \quad (2-12)$$

をとる。(2-11)式の  $d$  は, Matthews(24)の密度理論によって与えられる  $d$  に一致し,  $L_h$  や  $u$  に関与しない。

いま, (a)の地域について,  $V_y = 20$ ,  $L_h = 1000$ ,  $\eta = 0.35$  とし,  $C = L + 1000$  として  $L = 2500(1 + \eta)/d$  の変換を行い, 規格4の  $G$  を試算すると,  $d = 21.2$  のとき  $G$  は最小となる。このときの費用構成は, (2-10)式より林道維持費 159円 /  $m^3$ , 運材・通勤費 190円 /  $m^3$ , 集材費 1159円 /  $m^3$  となり, 低規格の場合には, 図2-2にもその傾向が示されているように, 林道維持費に対して運材費の割合が大きい。

従来  $r_{yn}$  はその規格水準の選択・決定に明確な根拠を与えられていなかったが,  $G_{min}$  一定として(2-12)式の第1項と第2項を試算すると,  $r_{yi}$  を大きくして  $u_i$  を小さくするよりも,  $u_i$  は犠牲にしてもなるべく  $r_{yi}$  を小さくするほうが有利であることがたしかめられる。このことは, 林道維持費が少なくすむ最低規格を選択することにほかならない。

なお, 計画対象地域の平均木材通行量を  $\bar{V}_r$  ( $m^3$ /年) とすれば, 林道密度  $d$  ( $m/ha$ ) のとき,  $1 m^3$  当り林道費は  $(r_{yn} + u_n \cdot \bar{V}_r)d / V_y$  となり, 一方, (2-10)式より, 維持費と運材・通勤費の合計からも  $1 m^3$  当り林道費を  $r_{yn} \cdot d / V_y + u_n \cdot L_h$  とあらわすことができるので,

$$\bar{V}_r / L_h = V_y / d \quad (2-13)$$

なる関係を導くことができる。(2-13)式は今後, 林道密

度，平均木材通行量，平均運材距離の簡易な関係式として有用と思われる。

表 2-7 林道規格採用所要森林面積

ha当り年間平 均出材量 $V_y$	(a)の地域		(b)の地域	
	14 $m^3$ /年 ha	20 $m^3$ /年 ha	14 $m^3$ /年 ha	20 $m^3$ /年 ha
規格 1	1100ha以上	770ha以上	3260ha以上	2290ha以上
規格 2	790～1100	550～770	710～3260	500～2290
規格 3	260～790	180～550	370～710	260～500
規格 4	260ha以下	180ha以下	370ha以下	260ha以下

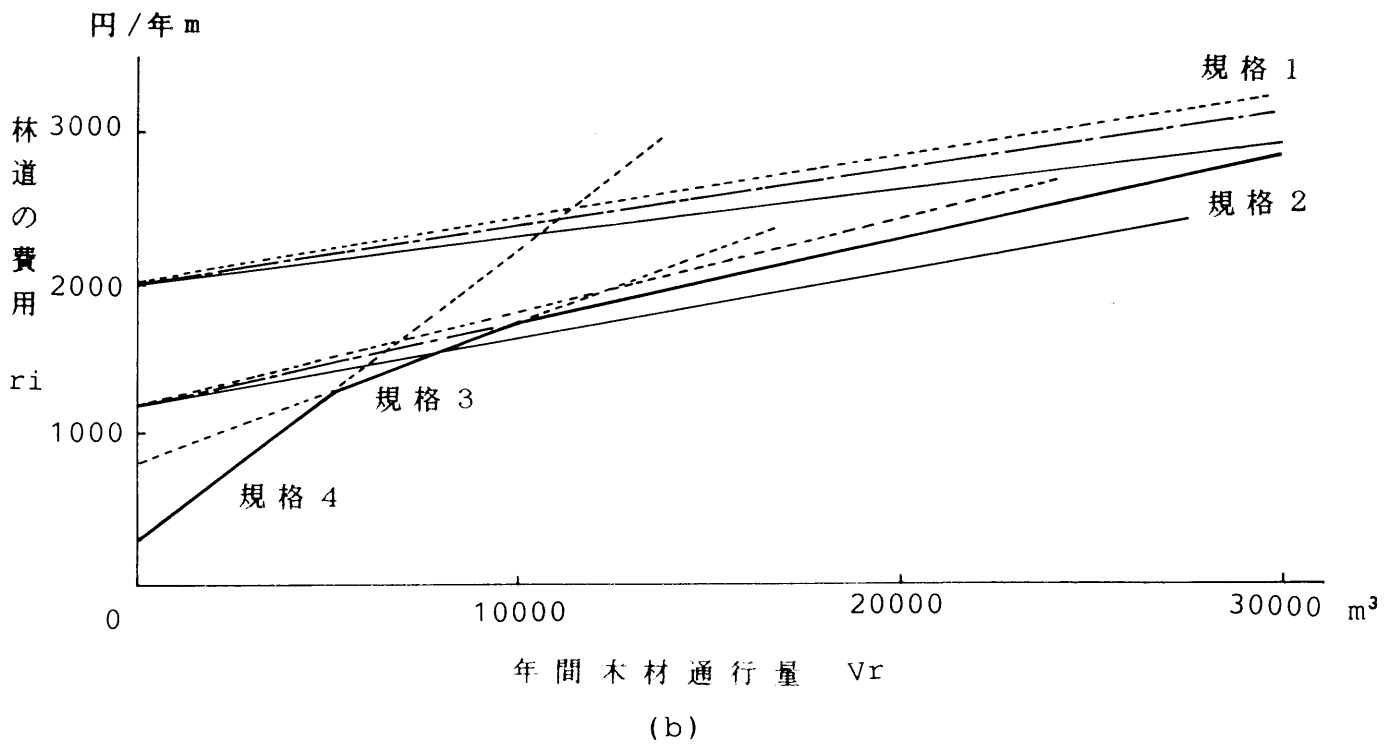
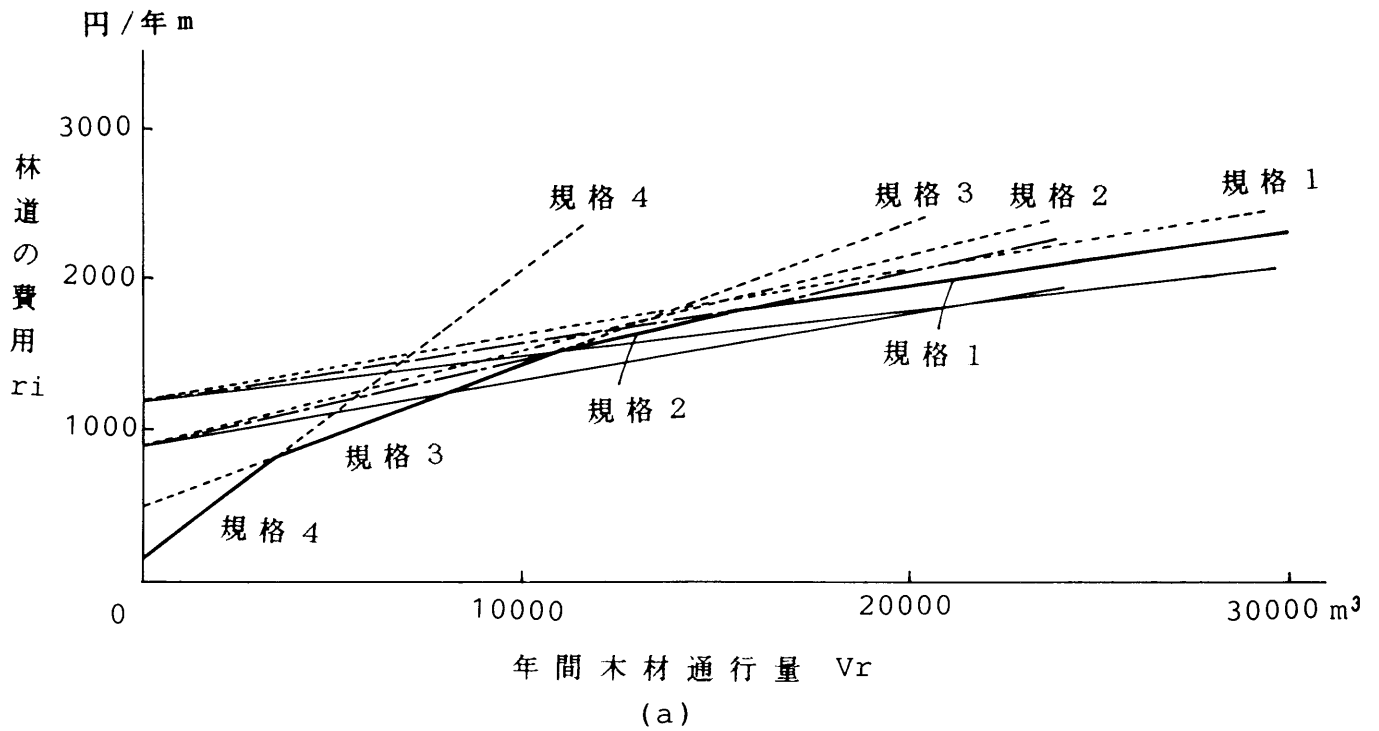


図 2-2 年間木材通行量と林道の費用

----- 4 t 車      ——— 8 t 車      — · — · — 4 t 車と 8 t 車  
 ——— 最小費用

### III. 合理的集材方式と林内路網

#### 1. 集材方式の選択と集材費用の算定

林内路網計画にとって、集材方式の決定と集材費用の算定は重要な作業であるが、従来の林道密度理論では、集材方式が画一的に限定されており、その集材費も集材距離に対する一次式として一律に扱うのみであり、現時点から顧みれば、主伐・間伐等の施業や、集材方式の作業態様に対する具体的な配慮が十分にはなされていなかった。

林内路網が整備された施業団地においては、主伐・間伐作業あるいは択伐作業が集約的に処々で行われ、集材方式も種々の選択が可能である。複数の集材方式が使用可能な条件下においては、集材費を最小ならしめる集材方式を作業規模や間伐作業などの施業に応じて逐次選択していくことによって、集材費の増加を極力おさえることが可能である。

本論では以下の手順にしたがって、集材費を最小にする集材方式の選択とその最小集材費の算定を行うことにする。

いま、ある集材方式の最大作業距離  $L$  (m) に対する集材費を  $f(L)$  (円/m<sup>3</sup>) とする。使用可能な複数の集材方式が存在する場合、それぞれの  $f(L)$  の中から、 $L$  に対して最小となるものを逐次選択することによって、集材費を最小にする集材方式を選択することができる。このときの最小集材費を  $F(L)$  (円/m<sup>3</sup>) とする。すなわち、

$$F(L) = \text{Min } f(L) \quad (3-1)$$

ただし、Min は複数の  $f(L)$  の中から  $L$  に対して最小となるものを選択することを意味する。

なお、主伐・間伐を通じて、同一伐区内の伐採木はすべて同一地点に出材するものとする。

このとき、ある年度における施業団地内の間伐・主伐を総合した最小集材費  $C(L)$  (円/m<sup>3</sup>) は、

$$C(L) = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot V_i \cdot F_i(L)}{\sum_{i=1}^n S_i \cdot V_i} \quad (3-2)$$

ただし,

$F_i(L)$ : 第  $i$  回間伐時の  $F(L)$  (円/m<sup>3</sup>)。  $i = n$  のときは主伐時。択伐作業の場合は,  $n = 1$  とする。

$V_i$ : 第  $i$  回間伐時の ha 当り出材材積 (m<sup>3</sup>/ha)

$S_i$ : 伐区面積 (ha)

で与えられる。

林内路網整備と相まって施業団地が法正状態に達し, 面積平分法による伐採が成立するものとすれば,  $S_i$  がすべて等しくなるので, (3-2)式は,

$$C(L) = \frac{\sum_{i=1}^n V_i \cdot F_i(L)}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (3-3)$$

となる。(3-3)式は, 施業団地内の 1 伐区について, 第 1 回間伐から主伐までを総合した平均集材費でもある。

以下では(3-3)式に基づいて集材方式の選択と集材費用の算定を行うことにし,  $F(L)$  を決定するための  $f(L)$  を次のようにして求めることにする。

まず  $f(L)$  の算定にあたって, 労務費単価  $P(L)$  (円/m<sup>3</sup>) は, 集材人工数  $Y$  (人時) と機械の架設撤去人工数  $R$  (人時) の合計  $T$  (人時) から,

$$P(L) = w \cdot T / V_a \quad (3-4)$$

ただし,

$$T = Y + R \quad (3-5)$$

$$Y = m \cdot C_y(L) \cdot V_a / V_t \quad (3-6)$$

$w$ : 賃金 (円/人時, 保険料も含む)

$m$ : 集材作業人員 (人)

$C_y(L)$ : 集材作業の平均サイクルタイム (時/回)

$V_t$ : 1 回当り平均積載量 (m<sup>3</sup>/回)

$V_a$ : 1 伐区当り総出材量 (m<sup>3</sup>)

となり, (3-6)式が示すように,  $P(L)$  は集材作業の平均サイクルタイム  $C_y(L)$  (時/回) が基本となり,

$$P(L) = w (m \cdot C_y(L) / V_t + R / V_a) \quad (3-7)$$

と表わすこともできる。

また 1 m<sup>3</sup> 当りの機械損料  $M_p(L)$ , 燃料油脂費  $F_u(L)$ , 集材機作業等における標準器材費  $K$  は (27),

$$M_p(L) = P_s (0.5(1+k)CR_s + M_s + MT_s + k \cdot MY_s \cdot LY_s) /$$

$$Y_s \cdot L Y_s \cdot D_o \quad (3-8)$$

$$F_u(L) = F V_s \cdot F C_s \cdot (1+e) / Y_s \quad (3-9)$$

$$K = R I G / V_c \quad (3-10)$$

ただし,

$$Y_s = 6 V t / C_y(L) \quad (3-11)$$

機械作業の1日の功程 ( $m^3$ /日)

年間標準実働日数 =  $k \times$  年間標準供用日数

CRs : 機械の償却費率

D<sub>o</sub> : 年標準実働日数 (日)

L<sub>Ys</sub> : 機械の耐用年数 (年)

M<sub>s</sub> : 機械の定期整備費率

M<sub>Ts</sub> : 機械の現場修理費率

M<sub>Ys</sub> : 機械の年間管理費率

P<sub>s</sub> : 機械の価格 (円)

e : 油脂費その他の燃料費に対する比率

F<sub>Vs</sub> : 機械の燃料消費量 ( $l$ /日)

F<sub>Cs</sub> : 機械の燃料単価 (円/ $l$ )

R<sub>I</sub>G : 集材機作業等の標準器材費 (円)

V<sub>c</sub> : 同上平均耐用数量 ( $m^3$ )

となる。

そして,  $f(L)$ は,

$$f(L) = P(L) + M(L) \quad (3-12)$$

ただし,

$$M(L) = M_p(L) + F_u(L) + K \quad (3-13)$$

となる。

さらに, 本論では  $C_y(L)$ を与えるその他の基本的な諸量を,

$T_L$  : 荷掛時間 (荷掛フックの昇降等も含む)  
(時/回)

$T_U$  : 荷卸時間 (荷掛フックの昇降等も含む)  
(時/回)

$$T_{LU} = T_L + T_U \quad (3-14)$$

$v_1, v_2$  : 搬器または車両の平均走行速度 (往復)  
(m/時)

$v'_1, v'_2$  : 平均横取速度 (往復) (m/時)

と決めておく。

$Cy(L)$ の算定は理論功程式に基づいて行う。理論功程式は実績値に基づくよりも客観的であり，走行速度や積載量等の諸因子に対する考察が容易であるので，集材機械や林業をとりまく環境の変化に柔軟に対処することができる考えるからである。集材距離に対する理論値と実績値の差異は極力小さくしなければならないが，集材方式の選択に重点をおくことによって，どの集材方式も実績値との差異は相対的に相殺されるものとみなすことにする。

従来種々の理論功程式が導びかれているが，ほとんどの場合，材の移動・積卸しと機械の架設撤去工程によってのみ，式が記述されている。一方，とくに林内走行型車両系集材方式やモノレール方式では，作業員配置を考慮しながら，機械の待時間を利用して集材工程の前工程である木寄工程を行うのが効果的である。本論では，集材用機械の性能を高める立場にたって，あらたに木寄工程も含めた理論功程式を求めることにする。



## 2. 対象とする集材方式

わが国では，緩急複雑な地形条件，作業路等も含めた林内路網の多様化，要間伐林分の増加，等の理由により，従来の架空線集材方式，トラクタ集材方式に加えて，現在数多の集材方式が使用されている。しかもこれらの集材方式は，技術革新に伴い，今後もさらに変容していく可能性がある。

林業労働力の高齢・減少化が確実視されている現在，林内路網整備を図りながら，他方では，林業機械の適正な開発を推進していくことが必要である。最終的な林内路網を考える場合には，当然のことながら，予想しうる，しかも実現可能な最良の集材方式を検討の対象としなければならない。

この点に関してすでに南方(27)は，大型機械の導入の可能性について論じているが，ここでは，現在および近い将来にわたって代表的と考えられる集材方式として，表3-1に示す集材方式を対象とする。

表 3-1 対象とする集材方式

集材方式	適用施業	地形条件
架空線集材方式	主伐・間択伐	緩～急
車両系集材方式		
1) 駐車型		
タワー付集材車，トラクタ， 林内作業車等	主伐・間択伐	緩～急
2) 林内走行型		
トラクタ集材	主伐	緩
林内作業車，フォアワータ等による 林内自由走行または 専用作業路走行	間・択伐	緩
モノレール方式	間・択伐	緩～中
モノケーブル方式	間・択伐	緩～中

架空線集材方式は，地形急峻なわが国では，すでに高度な技術体系を有しており，今後とも一つの代表的な集材方式たりうるものと考えられる。またその横取機能により，架線の地上高が高ければ，間・択伐作業も含めて広範囲の集材が可能である。

車両系集材方式には，道路沿にタワー付集材車やトラクタ等の集材用車両を駐車させて，付属のウィンチやクレーンにより林内を直接集材し，そのままトラック運材する駐車型車両集材方式と，専用作業路を走行したり，直接林内走行をして集材する林内走行型車両集材方式とがある。

駐車型集材方式は，機械架設の手間も少なく，機動的な作業を行うことができるので，間・択伐作業にも適している。省力作業が可能であり，傾斜にもそれほど影響されないので，将来，林内路網整備に伴って機械の出力を十分に活用した大型機械化の方向が確立されれば，すでに欧米諸国において見られるように，その機動性を活用して有用な集材方式になることは想像に難くない。なお，この集材方式は，ハイリード式やグランドリード式等の直引式集材の他に，スラックライン式やラニングスカイライン式等の簡易な索張方式を行うこともできる。しかし，概して通常の架空線集材方式に比べて架線地上高が低いので，ここでは横取機能はないものとみなし，その機動性を生かして道路上を順次移動しながら集材作業を行うものとするにすることにする。

林内走行型集材方式は，現時点の作業形態から，

- a. 全幹材地曳集材
- b. 載荷式による林内自由走行集材
- c. 専用作業路を利用した集材

に区分することができる。

a. はここでは緩傾斜地の皆伐作業におけるトラクタ全幹材集材を考える。林内には搬出用に一時使用のトラクタ作業路が作設され，付属ウィンチによって全幹材を作業路まで木寄した後，作業路上を地曳集材するものとする。

b. は林内作業車やフォアワードで林内を自由に走行しながら集材する方法である。回転半径を小さくしなければならぬので玉切り材を載荷するものとし、載荷できる材の大きさも制限されるため、ここでは間・択伐作業を対象とする。林内を直接走行する方法は、林地傾斜や地表条件の制限をうけるが、材のそばまで近づくことができるので、採用可能ならば、省力作業を行うことが可能である。この方式による場合には、林内にはとくに専用作業路は設けないものとする。

c. は集材用車両のための専用作業路上に付属クレーンや可搬式ウィンチ、シュート等によって木寄せられた材を、林道まで車両運搬する方法である。積載方法も地曳式、載荷式、半載荷式、トレーラ式と様々である。この専用作業路は、通常、数伐区にまたがることが多く、比較的長期にわたってくりかえし使用されるので、a. の皆伐作業時における一時的なトラクタ作業路とは性格が異なる。とくに基幹となる専用作業路は、路網整備計画によって一般車両が通行可能な低規格林道に昇格する場合もありうる。

モノレール方式、モノケーブル方式は、機械価格が低廉であることもあって、間伐材搬出用として普及している。架空線集材方式が横取機能を有するのに対して、両者はそれ自体集材機能をもたないため、あらかじめ木寄せ作業を必要とする。モノレールの機関車に木寄用ウィンチを装着したものもあるが、ウィンチ使用時は運行を停止しなければならないので、本来の機関車の機能を発揮するにはもう1台の機関車が必要である。モノレール方式は往復型の運材作業という点で架空線集材方式に類似しているが、架空線集材方式に比べて積載量、走行速度の点で不利ではある。しかし、架設が簡易で、林内に比較的自由に路線設定することができるので、間・択伐作業を対象に短距離集材には適する。モノレール方式、モノケーブル方式は、林内路網が整備された段階で、車両系集材方式に対してどのような展開をするのか検討を要するところであるが、往復型と循環型という特徴的な作

業形態であるので，対象に含めることにする。

なお，本論において理論功程式による検討の結果，林内走行型のb.およびc.の車両集材では，木寄と集材を並行するよりも，あらかじめある程度木寄してから順次積載していく方が，集材用車両に待ちがなく，積込を1人で行うこともできるので，有利である。ただし，モノレール方式のように機関車が無人走行する場合には，機関車の運行と並行しながら木寄した方が有利である。

### 3. 標準伐区モデル

伐区の大きさは，地形，森林所有面積や林相，気象，育林上，あるいは林内路網等の観点から総合的に決定されるものであって，本来は集材方式によって限定されるものではない。しかし，モノレール方式やモノケーブル方式，架空線集材方式のように，機械の架設撤去に手間を要する集材方式の場合には，出材量の多少が集材費に影響をおよぼすことになる。

地形急峻なわが国では，架空線集材方式がこれからも代表的な集材方式とみなしうることから，まず架空線集材方式について集材距離に対する平均的な伐区形状を定めることにする。この手続によって，作業規模を集材距離の関数として集材費に組み込むことができ，他の集材方式もこの伐区形状に準ずるものとすれば，作業規模のちがいによる各集材方式間の集材費の変動を考慮することができる。

いま，伐区の形を統計的見地からほぼ矩形(41)とし，図3-1のような伐区モデルを考えることにする。集材用架空線のスパン長  $L(m)$  に対して，架線方向の伐区長を  $\alpha L$ ，伐区の中央幅を  $\beta L$ ，平均集材距離を  $\gamma L$  とする。

架空線集材方式やモノケーブル方式は，伐区が林道から離れていても作業することができるが，伐区付近の林内路網が整備された状態を想定して，各集材方式は伐区が林道に近接しているものとする。すなわち  $\alpha = 1.0$  とする。そして，他の集材方式との比較を容易にするためにも，スパン長 = 最大集材距離とし， $\gamma = 1 - \alpha / 2 = 0.5$  とする。 $\beta$  は，筆者らによる全国的なアンケート調査結果から， $\beta \doteq \alpha / 2.5$  となるので(41)， $\beta = 0.4$  とする。

このとき伐区面積  $S(ha)$  は，

$$S = 0.4L^2 \times 10^{-4} \quad (3-15)$$

となる。

以上  $\alpha$ ， $\beta$  の係数について，同じアンケート調査結果から，まず最大横取距離  $\beta L / 2 = 0.2L$  について検証すると

(44), 資料の性格上バラツキは大きい, 現実の数値に近いことが確認される (図 3-2)。さらに最大集材距離と伐区面積の関係を調べると (図 3-3),  $\alpha = 1.0$ ,  $\beta = 0.4$  を平均的な値として使用しても妥当であることが確認される。

したがって, 本論では, 以上の伐区形状を標準伐区モデルとして扱うことにする。

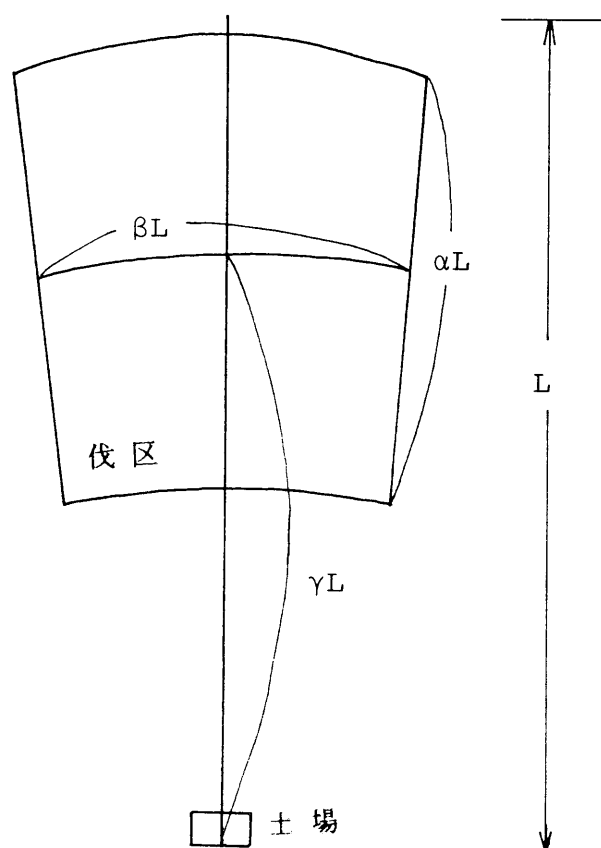


図 3-1 標準伐区モデル

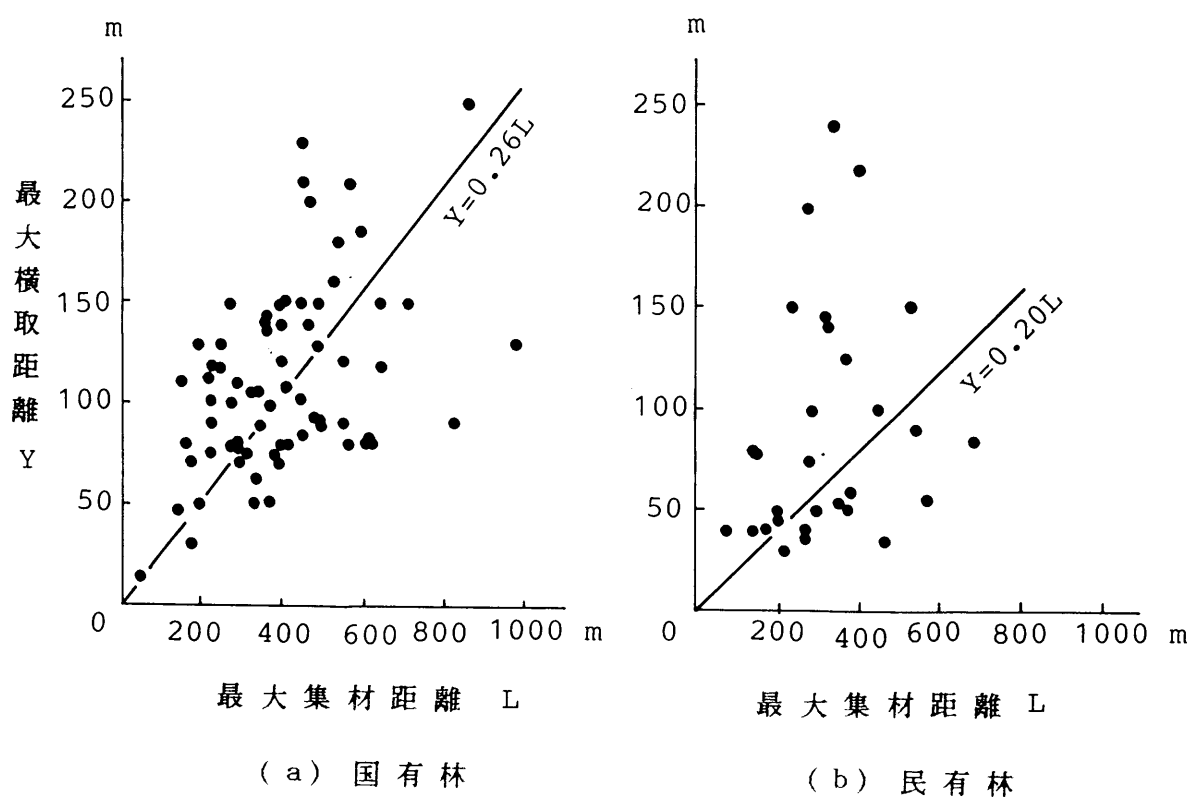


図 3-2 集材距離と横取距離の関係 (皆伐作業)

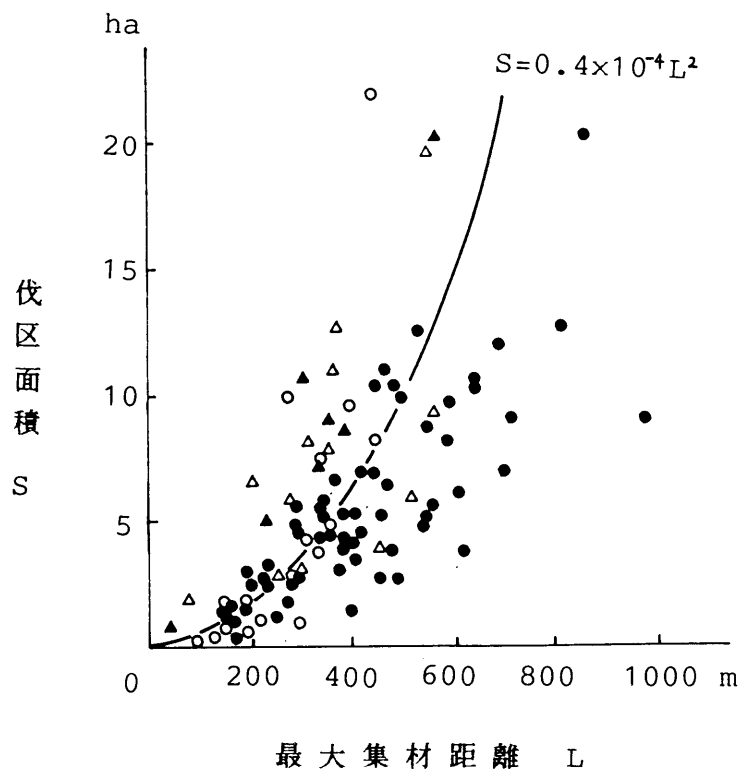


図 3-3 最大集材距離と伐区面積の関係  
(伐区が林道に隣接している場合)

黒：国有林，白：民有林，△：張替を要した伐区



#### 4. 理論功程式

ここでは各集材方式の理論功程式の誘導過程を示す。なお誘導過程そのものは林道網整備計画と合理的集運材方式という本論の主題から離れることになるので、具体的な論旨の展開は次節の集材費用の試算以降となる。

##### 1) 架空線集材方式

小山(19)は集材機の機械性能に基づいて、架空線集材方式の理論功程式を導びいている。この式は、限定された範囲においては高い精度で利用できるが、主索勾配や機械効率などの個々の現場に特有の数値を含むため、路網計画等の一般的な検討にはその適用に工夫を要する。また、出材量や伐区の大きさが考慮されていないため、集材架線の架設撤去や張替をも総合して評価する場合には、あらたな手続が必要である。

一方、例えば森岡(30)に代表されるように、架空線集材の要素作業からサイクルタイムを現象的に記述する方法がある。この方法は全体的な作業条件の変化にも対応しやすく、路網計画上、汎用性がある。

本論では、後者の方法を採用ことにし、架空線集材方式の大きな特長である横取機能と架線の張替についてあらたに考察を加え、路網計画に使用しうる集材費の算定を行うことにする。

##### (1) 皆伐作業

架空線集材作業の作業工程は、搬器の主索上の移動、横取作業、および荷掛・荷卸作業（荷掛および荷卸地点の荷掛フック昇降等も含む）に分けることができる。したがって、図3-1の伐区モデルにおいて、集材作業の平均サイクルタイム  $C_y(L)$ （時/回）は、

$$C_y(L) = \gamma L(1/v_1 + 1/v_2) + T_{LU} + \beta L(1/v_1' + 1/v_2') / 4n \quad (3-16)$$

ただし、

$n$ : 1 伐区当りの架線本数

となる。ただし、架線地上高、索張力による横取能力は十分あるものとする(30)。

一方、集材架線の架設人工数は $L$ に比例し(42,43)、撤去人工数は架設人工数に比例し(42,43)、扇形に架線を張替える場合の張替人工数は一定(43)とする。このとき、集材架線の架設撤去および張替人工数 $R$ (人時)は、

扇形張替の場合、

$$R = k_1(1+k_2)L + k_3 \cdot (n-1) \quad (3-17)$$

ただし、

$k_1$ : 架設人工数の $L$ に対する比例定数(人時/m)

$k_2$ : 撤去人工数の架設人工数に対する比例定数

$k_3$ : 張替人工数(人時)

元柱ごと逐一替えていく、いわゆる魚骨形張替の場合、

$$R = k_1(1+k_2)n \cdot L \quad (3-18)$$

となる。

したがって架空線集材方式の総所要人工数 $T$ (人時)は、(3-5)式において、 $\partial T / \partial n = 0$ より、

扇形張替の場合、

$$n = \frac{\beta L \times 10^{-2}}{2} \sqrt{\frac{m \cdot \alpha L \cdot Vn \cdot (1/\mathcal{V}_1' + 1/\mathcal{V}_2')}{k_3 \cdot Vt}} \quad (3-19)$$

魚骨形張替の場合、

$$n = \frac{\beta L \times 10^{-2}}{2} \sqrt{\frac{m \cdot \alpha \cdot Vn \cdot (1/\mathcal{V}_1' + 1/\mathcal{V}_2')}{k_1(1+k_2)Vt}} \quad (3-20)$$

の架線本数のとき最小となり、最小人工数 $T_{\min}$ (人時)は、

扇形張替の場合、

$$T_{\min} = m \cdot \alpha \beta L^2 Vn \times 10^{-4} \{ \gamma L(1/\mathcal{V}_1 + 1/\mathcal{V}_2) + T_{L0} \} / Vt \\ + [ k_1(1+k_2)L - k_3 + \frac{\beta L \times 10^{-2} \sqrt{k_3 \cdot m \cdot \alpha L \cdot Vn \cdot (1/\mathcal{V}_1' + 1/\mathcal{V}_2') / Vt}}{2} ] \quad (3-21)$$

魚骨形張替の場合、

$$T_{\min} = m \cdot \alpha \beta L^2 Vn \times 10^{-4} \{ \gamma L(1/\mathcal{V}_1 + 1/\mathcal{V}_2) + T_{L0} \} / Vt \\ + [ \frac{\beta L^2 \times 10^{-2} \sqrt{m \cdot \alpha \cdot Vn \cdot k_1(1+k_3)(1/\mathcal{V}_1' + 1/\mathcal{V}_2') / Vt}}{2} ] \quad (3-22)$$

となる。両式の[ ]の部分は、横取作業と張替に関する

る人工数であり，残りの部分が機器の主索上の移動ならびに荷掛・荷卸作業に関する人工数になっている。

## (2) 間・択伐作業

架空線集材作業は，その横取機能を活用して間・択伐作業を行うこともできる。

間・択伐作業における横取作業では，アンケート調査によれば，残存立木による影響が圧倒的に多く（表3-2），最大横取距離も大体20～40mまでであり，皆伐作業の1/3から1/4である（42）。したがって間・択伐作業では，皆伐作業と異なり，横取能率や地形によるよりも，まず残存立木密度から横取距離の限界をあらかじめ規定しておく必要がある。

間・択伐作業において代表的な索張方式である帯広式や岩大式，ダブルエンドレス式のように，荷上索が1本の索張方式の場合，残存立木の障害に対して横取可能な最大距離 $L_y$  (m) は，筆者らの実用式(33)によれば， $P(x) = 0.95$ をみたす $x$  (m) として与えることができる。

ここで $P(x)$ は，

$$P(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \exp(-2.5a \cdot A \cdot x_i)) \quad (3-23)$$

ただし，

$$n = 2\sqrt{3}x / 2.5a + 1$$

$x_i$ ：図3-4参照。

$A$ ：残存立木密度（本/ha）

$a$ ：立木の平均胸高直径(m)

である。

$a$ および $A$ に対する $L_y$ の計算結果を示すと表3-3のようになる。表3-3より，とくに幼齢林では平均胸高直径の影響が少なくなることがわかる。

この $L_y$ に対して集材作業のサイクルタイム（時/回）は，

$$C_y(L) = \gamma L(1/\nu_1 + 1/\nu_2) + T_{LU} + \frac{L_y(1/\nu_1' + 1/\nu_2')}{2} \quad (3-24)$$

となる。

一方，集材架線の架設撤去および張替人工数 $R$ （人時）は，

扇形張替の場合

$$R = kl(1+k2)L + (\beta L/2Ly-1)k3 \quad (3-25)$$

魚骨形張替の場合

$$R = kl(1+k2)\beta L^2/2Ly \quad (3-26)$$

となる。

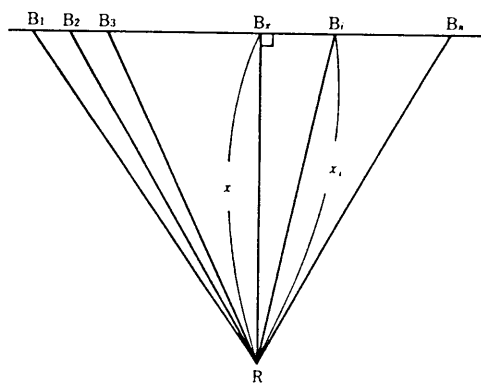


図 3-4 xiの説明

表3-2 横取作業の障害要因のアンケート調査結果

## (a) 皆伐作業

主要因	件数	影響例 (( )は該当件数)
架線地上高が低い	39	先柱付近の能率がおちる(12), 伐根の影響をうける(5), 引込索がはいりにくい(2), 小沢の影響をうける(1)
小沢, 小尾根, 地表の凹凸	31	主索に小尾根が直角にあたる(2), ロージックブロックの引込ができない(2), 材が尾根にあたる(2)
伐根, 根株	26	材がひっかかる, 引込索がはいらない(2)
伐区位置, 斜面の方向	23	谷が深い(7), 引込索がはいらない(2), 逆勾配引上となる(3), 先柱がとれない(2), 尾根筋になる(1)
横取距離自体が長い	12	能率がおちる(張替えたのは5件)
残存立木	11	引込索がはいらない(6), 引戻索が立木に接触する(2), あばれ木がある(1), 人力木寄が多くなる(1)
地表植生, 雑木, 枝条	9	引込索がはいりにくい(3), 合図に手間どる(1), 荷掛に手間どる(1)
岩石, 除地	7	材がひっかかる, 引込索がはいらない
急斜面	7	危険(3), 材がつきささる(2), 沢に材が集積して引出が困難(2)
保護樹帯	6	
気象	3	材の凍結(3)
その他	10	スタンプの位置(2), 大径木のため玉材がぬけやすい(1), 盤台が近いのため盤台搬入が困難(1), 軽石地のため作業索損耗が激しい(1), 中間支柱の近く(1), 二段集材のため横取を長くできない(1), 集材機からの見通し(1), ロージックブロックの人力引戻(1), 地表を荒さない(1)
影響なし	46	理由: 主索が高い(5), 横取距離が短い(2), 地形が良い(2), 引込索の多用(1)
無回答	58	

## (b) 間・択伐作業

残存立木	23	引込索や荷上索がはいらない(6), 後継樹の保護(4) 優良木に傷つけない(2), スタンプ替(1)
沢, 尾根	3	引戻索が引きこみにくい(1)
架線地上高が低い	2	
地表植生	1	
横取距離自体が長い	1	能率がおちる
転石	1	危険
気象	1	降雪のため張替できない
器具	1	荷上索のドラムくいこみ
影響なし	3	理由: 地形が良い(2)
無回答	6	

(1977年9月調査)

注) 集計に際しては同一伐区の重複を認めた。

表 3-3 間・択伐作業における横取最大距離  $L_y(m)$ 

		残存立木密度 A (本/ha)													
		8000	6000	5000	4000	3000	2000	1000	800	600	500	400	300	200	
平均 胸高 直径  a (cm)	5	68	85	*											
	6	52	65	86	*	*									
	8	33	42	56	80	*	*								
	10	23	29	39	57	95	*	*							
	12		21	29	43	72	*	*	*						
	14			22	33	57	*	*	*	*					
	16				26	45	*	*	*	*	*				
	18				21	37	93	*	*	*	*	*	*		
	20				17	31	79	*	*	*	*	*	*		
	22					26	67	91	*	*	*	*	*		
	24					22	58	79	*	*	*	*	*		
	26					18	51	69	*	*	*	*	*	*	
	28					16	44	61	90	*	*	*	*	*	
	30					13	39	54	79	*	*	*	*	*	
	32					12	35	48	71	91	*	*	*	*	
	34					10	31	43	64	82	*	*	*	*	
	36					9	27	38	58	75	*	*	*	*	
	38									52	68	93	*	*	
	40									47	62	85	*	*	
	42									44	57	78	*	*	
	44										52	72	*	*	
	46										48	66	98	*	
	48										44	61	91	*	
	50											57	85	*	

注) \*は 100m以上。

## 2) 車両系集材方式

### (1) 駐車型

伐区形状は架空線集材方式と同様図3-1の伐区モデルに従うものとする。集材方向は車両を中心に扇形になるが、車両は迅速に道路上を移動することができ、間・択伐作業においても自動開閉ブロック等の使用により自由に林内木寄が行えるので、伐区幅による集材上の制約はとくに考えないことにする。

集材工程は、荷掛フックの引込み・巻上げと荷掛・荷卸作業からなるので、最大集材距離  $L$  (m) に対して、平均サイクルタイム  $Cy(L)$  (時/回) は、

$$Cy(L) = L(1/v_1 + 1/v_2)/2 + T_{L0} \quad (3-27)$$

ただし、

$v_1, v_2$  : 材の引寄および空フックの引込速度 (m/時) となる。

本方式は、集材用車両のウィンチ容量の制約もあって一般に集材距離が短かく、索張方式も簡易なので、集材架線の架設撤去人工数は小さく、 $L$ によらず一定とすることができる。車両駐車および集材架線の架設撤去に要する1回当りの人工数を  $R$  (人時) とする。

## (2) 林内走行型

## a. トラクタによる全幹材地曳集材

トラクタ集材の理論功程式は，小山(19)は架空線集材と同様にトラクタの性能から，また小島(18)は作業因子の重回帰分析から，それぞれ導いている。重回帰式による場合，適用範囲が既往の作業条件に限られ，機械性能の向上や作業条件の新しい変化には対応しにくいという欠点がある。本論では，架空線集材方式の場合と同様に，要素作業のサイクルタイムから，トラクタ集材の理論功程式を導くことにする。

まずウィンチ木寄時間からトラクタ専用集材作業路の最適密度を求める。

トラクタ専用作業路密度  $dt$  (m/ha) と作業路迂回率  $\eta t$ ，平均木寄距離  $\bar{S}$  (m) の間には，

$$dt = 2500(1 + \eta t) / \bar{S} \quad (3-28)$$

が成り立つものとする。なお(3-28)の妥当性についてはIII-6-1)で検証する。

このとき，作業路作設費および木寄費の合計  $G$  (円/m<sup>3</sup>) は，

$$G = rt \cdot dt / Vn + Cpt \cdot Ct / Vpt \quad (3-29)$$

ただし，

$rt$ : 作業路の作設単価 (円/m)

$Vn$ : ha当り出材量 (m<sup>3</sup>/ha)

$$Ct = \bar{S}(1/\nu_1' + 1/\nu_2') + T_{Lu}' \quad (3-30)$$

木寄の平均サイクルタイム (時/回)

$\nu_1'$ ,  $\nu_2'$ : ウィンチの往復木寄速度 (m/時)

$T_{Lu}'$ : 木寄1回当りの荷掛および荷卸時間 (時/回)

$Vpt$ : 木寄1回当りの荷掛材積 (m<sup>3</sup>/回)

$Cpt$ : 木寄1時間当りの費用 (円/時)。(3-38)式

参照。

となり， $G$ は，

$$dt = 50 \sqrt{Cpt \cdot Vn(1 + \eta t)(1/\nu_1' + 1/\nu_2')} / rt \cdot Vpt \quad (3-31)$$

のとき，最小値

$$G_{min} = 100 \sqrt{rt \cdot Cpt(1 + \eta t)(1/\nu_1' + 1/\nu_2')} / Vn \cdot Vpt + Cpt \cdot T_{Lu}' / Vpt \quad (3-32)$$



をとる。

一方，作業路上の平均運材距離は，水平集材距離  $L(m)$  に対して，トラクタの登坂限界角に基づく林地傾斜による集材距離の延長を考慮しなければならないので，

$$L(1+\eta t) \tan \theta / 2 \sin \phi \quad (3-33)$$

ただし，

$\theta$  : 林地傾斜

$\phi$  : トラクタの登坂限界角

$\theta \geq \phi$ 。  $\theta \leq \phi$  の場合は  $\tan \theta = \sin \phi$  とする。

となる (図 3-5)。

作業人員を  $m$  人とし， $(m-1)$  人で木寄ならびに集運材作業を行い，土場作業を 1 人で行うものとする。このときトラクタ集材の集材費  $f(L)$  (円/ $m^3$ ) は，作業路上の運材費用と  $G_{min}$  の合計に，木寄作業時の土場作業の 1 人分労務費用を加えたものとして与えられる。すなわち，

$$f(L) = C_p \cdot C_y(L) / V_t + G_{min} + w \cdot C_t / V_{pt} \quad (3-34)$$

ただし，

$$C_y(L) = L(1+\eta t) \tan \theta (1/v_1 + 1/v_2) / 2 \sin \phi + T_{LU} \quad (3-35)$$

作業路上運材の平均サイクルタイム (時/回)

$v_1, v_2$  : 作業路上の往復走行速度 (m/時)

$V_t$  : トラクタ積載量 ( $m^3$ /回)

$T_{LU}$  : トラクタへの材の装着および荷卸時間 (時/回)。土場での巻立作業時間があれば，これに含める。

$$C_p = m \cdot w + M_t(L) \quad (3-36)$$

集材 1 時間当りの費用 (円/時)。

$$M_t(L) = \frac{P_s (0.5(1+k)CR_s + Ms + MT_s + k \cdot MY_s \cdot LY_s)}{6LY_s \cdot Do} + FVs \cdot FC_s \cdot (1+e) / 6 \quad (3-37)$$

1 時間当り機械費・燃料費 (円/時)。(3-8),

(3-9) 式参照。

$$C_{pt} = (m-1)w + M_t(L) \quad (= C_p - w) \quad (3-38)$$

$$C_t = 50 \sqrt{r t \cdot V_{pt} (1+\eta t) (1/v'_1 + 1/v'_2)} / C_{pt} \cdot V_n + T'_{LU} \quad (3-39)$$

(3-30)式参照。

となる。

また，1日の功程  $Y_s$  ( $m^3/日$ ) は，

$$Y_s = 6Vt / (Cy(L) + p \cdot Ct) \quad (3-40)$$

ただし，

$p$ ：トラクタ積載量を満たすために必要な木寄回数  
(回)。

となる。

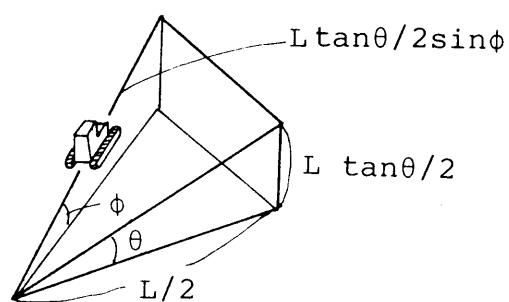


図 3-5 林地傾斜による作業路の迂回

## b. 載荷式集材

## i) 木寄と集材を併行して行う場合

この作業方式では車両が林内に到着するまでの時間を利用して木寄が行われる。集材用車両が林内を自由に走行することができるので、積載量を満たすための木寄範囲も、木寄能率に応じて適当に決定することができる。材が間伐された玉切材であり、木寄範囲を大きくする必要もないので、木寄は1人でも行えるものとし、このときの平均木寄能率を  $V_p$  ( $m^3$ /人時) とする。

本方式においては専用作業路は作設しないので、林内走行はなるべく傾斜方向とし、横転の危険性から林地傾斜を  $\theta \leq \phi$  に限定する。木寄された材を積載量を満たすために順次移動することによる集材距離の増加は迂回率  $\eta t$  に含めて考慮することにする。

伐区形状は図3-1によるものとし、伐区内の平均集材距離を  $\alpha L(1+\eta t)/2$ 、伐区外の集材距離を  $(1-\alpha)(1+\eta t)s$   $L$  とする。ただし、 $\eta ts$  は伐区外における迂回率である。

いま作業人員は最少の2人とし、1人が車両を運転し、この間に1人が木寄をするものとする。積込作業は2人で行い、積載量を満たすのに木寄が間に合わない場合には、運転手も木寄作業を手伝うものとする。

このとき、車両の運行と木寄能率がつりあう伐区内の距離  $L'_B$  (m) は、

$$Vt/V_p = Cts + L'_B(1+\eta t)(1/v_1 + 1/v_2) + T_0 \quad (3-41)$$

ただし、

$$Cts = (1-\alpha)L(1+\eta ts)(1/v_{1s} + 1/v_{2s}) \quad (3-42)$$

伐区に到達するまでの伐区外走行の往復時間  
(時/回)

$v_{1s}$ ,  $v_{2s}$ : 伐区外における車両の往復走行速度  
(m/時)

より、

$$L'_B = (Vt/V_p - T_0 - Cts) v_1 v_2 / (v_1 + v_2)(1+\eta t) \quad (3-43)$$

となる (図3-6)。

図3-6において、 $\alpha L \leq L'_B$  のときは、車両の運行サイク

ルタイム  $C_v(L)$  (時/回) に対して, 残余の木寄材積  $(Vt - C_v(L) \cdot V_p)$  ( $m^3$ ) を 2 人で木寄することになるので, 木寄も含めた全体のサイクルタイム  $C_y(L)$  (時/回) は,

$$C_y(L) = C_v(L) + (Vt - C_v(L) \cdot V_p) / 2V_p + T_L \quad (3-44)$$

ただし,

$T_L$ : 積載時間 (2 人作業) (時/回)

となる。伐区内の平均集材距離  $\alpha L(1+\eta t)/2$  に対して (3-44) 式は,

$$C_y(L) = C_v(L)/2 + Vt / 2V_p + T_L \quad (3-45)$$

ただし,

$$C_v(L) = \alpha L(1+\eta t)(1/v_1 + 1/v_2)/2 + C_{ts} + T_U \quad (3-46)$$

となる。

具体的数値によって図 3-6 の  $L_B (= L'_B + (1-\alpha)L)$  を試算してみると,  $V_p$  が大きくないかぎり  $L_B$  は数百 m 以上であり,  $V_p$  には枝条整理なども含まれるので実際にはそれほど大きくすることができず,  $V_p = 6$ ,  $\alpha = 1$  の条件の良いときでも  $L_B = 400m$  であるので, 林内路網が整備されていれば, まず  $L'_B \geq \alpha L$  が成り立つものと考えてよい。

仮に  $L'_B \leq \alpha L$  のときは, (3-45) 式と伐区内の区間  $[L_B, \alpha L]$  のサイクルタイム  $C_2(L)$

$$C_2(L) = (\alpha L + L'_B)(1+\eta t)(1/v_1 + 1/v_2)/2 + C_{ts} + T_L + T_U \quad (3-47)$$

とをそれぞれの出材量の比  $L'_B/\alpha L$ ,  $(\alpha L - L'_B)/\alpha L$  に対して合成して, 全体の平均サイクルタイムは,

$$C_y(L) = \alpha L(1+\eta t)(1/v_1 + 1/v_2)/2 + C_{ts} + T_L + T_U + (Vt/V_p - C_{ts} - T_U)^2 v_1 v_2 / 4 \alpha L(1+\eta t)(v_1 + v_2) \quad (3-48)$$

となる。

(3-45), (3-48) 式の  $C_y(L)$  に対して, 本方式の労務費単価  $P(L)$  (円/ $m^3$ ) は (3-7) 式で与えられ, とくに (3-45) 式については,

$$P(L) = w\{1/V_p + (\alpha L(1+\eta t)(1/v_1 + 1/v_2)/2 + 2T_L + C_{ts} + T_U)/Vt\} \quad (3-49)$$

となる。

なお車両の運行と木寄能率が, 車両が伐区に到達する

以前につりあうのは ( $L_B \leq (1-\alpha)L$ ) ,

$$L_B = (Vt/Vp - T_U) v_{1s} v_{2s} / (1 + \eta ts) (v_{1s} + v_{2s}) \quad (3-50)$$

が成り立つときになるが，試算すると  $L_B \geq 4500m$  以上となるので，ここでは考えないことにする。

さらに木寄手を2人に増やし，集材車両への積込作業を運転手も含めて2人で行い，他の1人は木寄をそのまま続行する場合には，(3-41)，(3-44)式を

$$(Vt - T_L \cdot Vp) / 2Vp = L'_B (1 + \eta t) (1/v_1 + 1/v_2) + Cts + T_U \quad (3-51)$$

$$Cy(L) = Cv(L) + (Vt - T_L \cdot Vp - 2Cv(L) \cdot Vp) / 3Vp + T_L \quad (3-52)$$

とすればよい。この場合，(3-7)式で与えられる労務費単価  $P(L)$  (円/ $m^3$ ) は，木寄手1人の場合と同じく(3-49)式となる。しかし，(3-51)式の  $L'_B$  は(3-43)式の  $L_B$  よりも小さくなるので，木寄手1人のときよりも木寄手に待ちが生じる距離が短くなり，それだけ不利になる。なおこのときの  $L_B$  をこえる区間のサイクルタイム  $C2(L)$ ，および(3-52)式と  $C2(L)$  とを合成した全体の平均サイクルタイム  $Cy(L)$  は，(3-47)，(3-48)式と同様にして，

$$C2(L) = (\alpha L + L_B) (1 + \eta t) (1/v_1 + 1/v_2) / 2 + Cts + T_L + T_U \quad (3-53)$$

$$Cy(L) = \alpha L (1 + \eta t) (1/v_1 + 1/v_2) / 2 + Cts + T_L + T_U + \\ (Vt / 2Vp - Cts - T_U - T_L / 2)^2 v_1 v_2 / 3 \alpha L (1 + \eta t) (v_1 + v_2) \quad (3-54)$$

となる。

ii) あらかじめ木寄された桧を順次積載していく場合

木寄作業とは別個に車両集材を行うものとし，林内にあらかじめある程度十分な桧が形成されたのちに，1人で集材車両を運転しながらこれを集材していくものとする。その他の条件はi)と同じとする。

このとき車両集材に関する平均サイクルタイム  $Cy(L)$  (時/回) は，

$$Cy(L) = \alpha L (1 + \eta t) (1/v_1 + 1/v_2) / 2 + Cts + 2T_L + T_U \quad (3-55)$$

となる。しかるにこの費用  $w \cdot C_y(L)/V_t$  (円/ $m^3$ ) に  $1m^3$  当り木寄費  $w/V_p$  (円/ $m^3$ ) を加えた労務費単価  $P(L)$  (円/ $m^3$ ) は, (3-49)式と同一になる。

一方, (3-8), (3-9), (3-11)式で与えられる機械費, 燃料費は  $C_y(L)$  の関数であり, これらを (3-45), (3-55)式について試算すると, (3-45)式の  $V_p$  が 3 以下程度であれば, ii)の方がわずかに有利となる。またこの場合に, 積込作業に付属クレーンを高能率に使用することにより, (3-55)式の積込時間  $2T_L$  をさらに小さくできる可能性もあり, 併行作業でないので安全面からものぞましく, 機動的な 1 人作業も可能であり,  $L'_B \leq \alpha L$  となっても車両には待ち時間が発生しない。したがって以下では, あらかじめ木寄しておく ii) の作業形態を考えることにする。

なお, 林内走行する本方式において, 林内の走行路確保に費用をかけた場合には, これも見込まなければならない。

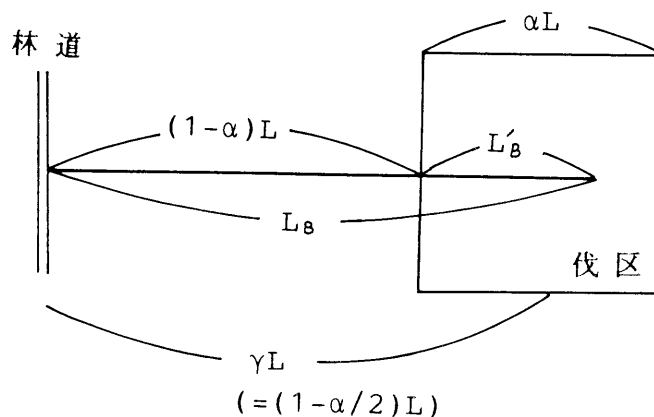


図 3-6  $L_B$  および  $L'_B$

### c. 専用作業路を利用した車両集材

専用作業路上にウィンチやクレーン，シュート等によって木寄された材を，林道まで車両運搬するこの作業形態は，後記のモノレール集材に類似している。しかし，専用作業路の費用は，1伐区の作業量のみからは求めることができず，他の伐区の出材量や作業期間から算定しなければならないので，その点モノレール集材とは異なる。またこの専用作業路は，トラクタ集材にみられるような一時使用の作業路とも異なる。専用作業路の所要密度については，路網計画対象地域に応じて飽和密度とは別途考慮するものとする（V-3）参照）。

#### i) 木寄と集材を並行して行う場合

前節bと異なり，林内から作業路まである程度の距離を木寄しなければならないので，木寄手を2人とし，運転手は1人とする。車両到着後，運転手と木寄手1人の2人で積込するものとし，他の1人は木寄を続行するものとする。なお運転手が木寄を手伝うと，積載量を満たすだけ木寄した後に2人で積込むときに，木寄手1人があまるので，運転手は木寄を手伝わないものとする。

木寄作業と車両の運行がつりあう作業路上の距離  $L_B(m)$ （図3-6）は，（3-41）式と同様にして，

$$(Vt - T_L \cdot V_P) / 2V_P = L_B(1 + \eta t_s)(1/\nu_{1s} + 1/\nu_{2s}) + T_U \quad (3-56)$$

で与えられる。

$L \leq L_B$  のときは，車両が伐区と荷卸場を往復する間に（ $= C_v(L)$ （時/回）とする）， $2C_v(L) \cdot V_P (m^3)$  木寄されるので，サイクルタイム  $C_y(L)$ （時/回）は，

$$C_y(L) = C_v(L) + \text{Max}((Vt - 2C_v(L) \cdot V_P) / V_P, T_L) \quad (3-57)$$

ただし，

Max: ( ) 内の中から小さくない方を選択する記号。

$$C_v(L) = L(1 + \eta t_s)(1/\nu_{1s} + 1/\nu_{2s}) + T_U \quad (3-58)$$

となる。しかるに（3-57）式（ ）内の初項は， $L = L_B$  のときに最小値  $T_L$  となるので，（3-57）式は，

$$C_y(L) = Vt/V_p - C_v(L) \quad (3-59)$$

となり，平均集材距離  $\gamma L(m)$  に対しては，

$$C_y(L) = Vt/V_p - \gamma L(1 + \eta ts)(1/\mathcal{V}_{1s} + 1/\mathcal{V}_{2s}) - T_u \quad (3-60)$$

となる。

本方式は  $V_p = 3$  程度になると， $L_B \leq L$  となる可能性がある。この場合，伐区内の区間  $[L_B, L]$  のサイクルタイム  $C2(L)$  は，

$$C2(L) = (L + L_B)(1 + \eta ts)(1/\mathcal{V}_{1s} + 1/\mathcal{V}_{2s})/2 + T_L + T_u \quad (3-61)$$

となり，区間  $[(1-\alpha)L, L_B]$  の平均サイクルタイム

$$C_y(L) = Vt/V_p - T_u - (L_B + (1-\alpha)L)(1 + \eta ts)(1/\mathcal{V}_{1s} + 1/\mathcal{V}_{2s})/2 \quad (3-62)$$

と，それぞれの出材量の比  $(L - L_B)/\alpha L$ ， $(L_B - (1-\alpha)L)/\alpha L$  に対して (3-48) 式と同様にして合成すると，全体の平均サイクルタイムは，

$$C_y(L) = \{ (Vt/2V_p - T_L/2 - T_u)^2 \mathcal{V}_{1s} \mathcal{V}_{2s} / L(1 + \eta ts)(\mathcal{V}_{1s} + \mathcal{V}_{2s}) + (2 - 2\alpha + \alpha^2)L(1 + \eta ts)(1/\mathcal{V}_{1s} + 1/\mathcal{V}_{2s}) / 2 + (\alpha - 1)Vt/V_p + T_L + (2 - \alpha)T_u \} / \alpha \quad (3-63)$$

となる。

なお  $L_B \leq (1-\alpha)L$  の場合については，

$$C_y(L) = \gamma L(1 + \eta ts)(1/\mathcal{V}_{1s} + 1/\mathcal{V}_{2s}) + T_L + T_u \quad (3-64)$$

となるが，伐区が林道から非常に遠くなるので，考えないことにする。

木寄に木寄用ウィンチ等の機械を使用する場合には，機械費として集材車両の他にこの費用も加えなければならない。

$L > L_B$  となる場合には，作業路上の走行距離が非常に長くなるので，路網計画上，作業路が作業道あるいは林道に昇格し，駐車型集材方式になる可能性が大きい。

ii) あらかじめ木寄してから集材する場合

あらかじめ作業路上に木寄しておいてから 1 人でこれ



を集材していくものとする。この場合，サイクルタイム  
 $Cy(L)$ （時／回）は，（3-55）式同様，

$$Cy(L) = \gamma L(1 + \eta ts)(1/\hat{v}_{1s} + 1/\hat{v}_{2s}) + 2T_L + T_U \quad (3-65)$$

となり，労務費単価  $P(L)$ （円／ $m^3$ ）は，（3-49）式と同一になる。

### 3) モノレール

モノレール作業の理論功程式は，すでに筆者ら(45)によって示されており，その考え方は以下のとおりであるが，広範な間伐作業団地を想定して，ここではあらたに路線間隔の決定に関して補足することにする。

モノレールの伐区外走行は不利であるので(45)，伐区は林道に接しているものとし，出材量  $V_a(m^3)$  および路線の架設撤去人工数  $R$  人時は路線長  $L(m)$  に比例するものとする。すなわち，

$$V_a = k_4 \cdot L \quad (3-66)$$

$$R = k_5 \cdot L \quad (3-67)$$

ただし，

$k_4, k_5$  : 定数

したがって，このときの架設撤去に関わる労務費単価は， $k_5 \cdot w / k_4$  (円/ $m^3$ ) となる。

モノレールの路線選定については，電算機を用いて木寄作業と集材作業の作業能率を最大にする路線選定があるが(31)，ここでは路線間隔の目安を次のようにして導くことにする。

モノレールの路線に対して集材区域の幅，すなわち路線間隔を  $Y_w(m)$  とし，このうち上げ木集材の割合を  $h$ ，下げ木集材の割合を  $(1-h)$  とする。 $h$  は上げ木集材と下げ木集材の作業能率がつりあうときの条件式，

$$\begin{aligned} & m_u \cdot h \cdot Y_w \cdot V_w \{ h \cdot Y_w (1/\mathcal{V}_{1u} + 1/\mathcal{V}_{2u}) / 2 + T_{ou} \} / V_{ptu} \\ & = m_d \cdot (1-h) \cdot Y_w \cdot V_w \{ (1-h) Y_w (1/\mathcal{V}_{1d} + 1/\mathcal{V}_{2d}) / 2 + T_{od} \} / V_{ptd} \end{aligned} \quad (3-68)$$

ただし，

添字  $u, d$  : それぞれ上げ木集材，下げ木集材を意味する。

$m$  : 木寄人員 (人)

$V_{pt}$  :  $m$  人に対して，1 回当りの木寄材積 ( $m^3$ /回)

$\mathcal{V}_1, \mathcal{V}_2$  : 木寄時の材の往復移動速度 ( $m$ /時)

$T_o$  : 木寄に関わる荷掛，荷卸等の固定時間 (時/回)

$V_w$  : 単位面積当りの出材量 ( $m^3/m^2$ )

$$V_w \cdot Y_w = k_4 \quad (3-69)$$

を満たす  $h$  として求めることができる。このときの  $h$  に対して平均木寄能率  $V_p$  ( $m^3$ /人時) は, (3-69) 式を (3-68) 式の左辺または右辺で除すことによって,

$$V_p = V_{ptu} / \mu \cdot h \{ h \cdot Y_w (1/\mathcal{V}_{1u} + 1/\mathcal{V}_{2u}) / 2 + T_{ou} \} \quad (3-70)$$

または,

$$V_p = V_{ptd} / \mu d \cdot (1-h) \{ (1-h) Y_w (1/\mathcal{V}_{1d} + 1/\mathcal{V}_{2d}) / 2 + T_{od} \} \quad (3-71)$$

となる。一方, 伐区幅  $Y$  ( $m$ ) の林地に  $n$  本の路線を平行に架設するものとすれば, 路線  $1$   $m$  当りの木寄・架設撤去人工数  $T_p(n)$  (人時) は,

$$T_p(n) = \mu \cdot h \cdot Y \cdot V_w \{ h \cdot Y (1/\mathcal{V}_{1u} + 1/\mathcal{V}_{2u}) / 2n + T_{ou} \} / V_{ptu} + \mu d \cdot (1-h) Y \cdot V_w \{ (1-h) Y (1/\mathcal{V}_{1d} + 1/\mathcal{V}_{2d}) / 2n + T_{od} \} / V_{ptd} + k_5 \cdot n \quad (3-72)$$

となり,  $T_p(n)$  は,

$$Y/n = \sqrt{2 \cdot k_5 / V_w \{ \mu \cdot h^2 (1/\mathcal{V}_{1u} + 1/\mathcal{V}_{2u}) / V_{ptu} + \mu d \cdot (1-h)^2 (1/\mathcal{V}_{1d} + 1/\mathcal{V}_{2d}) / V_{ptd} \}} \quad (3-73)$$

のとき最小値をとり, 右辺がこのときの路線間隔 ( $= Y_w$ ) となる。

モノレール作業の木寄方法を例えば人力木寄による下げ木集材のみとして,  $\mu = 2$ ,  $h = 0$ ,  $T_{od} = 0$  とすれば, このときの路線間隔および木寄能率は, (3-69), (3-71), (3-73) 式より,

$$Y/n = \sqrt{k_5 \cdot V_{ptd} \cdot \mathcal{V}_{1d} \cdot \mathcal{V}_{2d} / V_w (\mathcal{V}_{1d} + \mathcal{V}_{2d})} \quad (3-74)$$

$$V_p = \sqrt{V_{ptd} \cdot V_w / k_5 \cdot (1/\mathcal{V}_{1d} + 1/\mathcal{V}_{2d})} \quad (3-75)$$

となる。

一方,  $V_p$  は平均木寄材積  $V_{ptd}$  に対する平均木寄距離  $Y_w/2$  から,

$$V_p = V_{ptd} \cdot V_w \cdot \mathcal{V}_{1d} \cdot \mathcal{V}_{2d} / k_4 \cdot (\mathcal{V}_{1d} + \mathcal{V}_{2d}) \quad (3-76)$$

ともあらわすことができる。 $V_p$  は, 本来は木寄距離である  $Y_w$  によるものであるが, ここにおいて林地の状況に応じて与えられる  $V_w$  や  $\mathcal{V}_{1d}$ ,  $\mathcal{V}_{2d}$  (46) などの定数とみなすことができる。実際には木寄作業にウィンチによる上げ木

集材を併用したり，地形に応じた路線配置をしたりすることもあるので，ここでは $V_P$ は当該林地の平均値を用いることにする。

なお， $k_4$ は出材量に対する架設費用を与えるものであるが，(3-69)，(3-74)，(3-76)式から， $Y_w$ を $V_P$ であらわすことにより，

$$k_4 = k_5 \cdot V_P \quad (3-77)$$

なる関係をうる。(3-77)式から，路線間隔を決定する場合の木寄費用 $w/V_P$  (円/ $m^3$ )は $k_5 \cdot w/k_4$ となり，前記の架設撤去費に等しいことがわかる。すなわち路線間隔を架設撤去費と木寄費が等しくなるような木寄能率を与えるように決定していることになる。

さて，機関車の運行と積載量を満たすための木寄時間がつりあう運材距離 $L_B$  (m)は，運行時間 = 木寄時間の関係より，

$$L_B = V_1 V_2 (V_t / 2 V_P - T_U) / (V_1 + V_2) \quad (3-78)$$

ただし，

$V_1, V_2$  : 機関車の往復運行速度 (m/時)

$T_U$  : 荷卸時間 (時/回)

$V_t$  : 積載量 ( $m^3$ /回)

となる。このときの作業人員は，代表的な作業形態である木寄兼積込2人，荷卸1人の3人1組とする。なお林業用モノレールは，一般にレール上を自動走行するので運転要員は不要であり，機関車の運行時間を利用して木寄しておく方が有利である。

$L \leq L_B$ のときは，機関車に待ちが生じ，作業能率は木寄と積込能率に依存することになるので，このときのサイクルタイム $C_y(L)$  (時/回)は，

$$C_y(L) = V_t / 2 V_P + T_L \quad (3-79)$$

ただし，

$T_L$  : 荷積時間 (時/回)

となる。

$L \geq L_B$ になると， $L_B$ をこえる区間のサイクルタイム $C_2(L)$  (時/回)は，機関車の運行に依存することになり，

$$C_2(L) = (L + L_B) (1/V_1 + 1/V_2) / 2 + T_L + T_U \quad (3-80)$$

となる。したがって、 $L \geq L_B$ のときの平均サイクルタイム  $Cy(L)$ は(3-79), (3-80)式を合成して(45),

$$Cy(L) = L(1/v_1 + 1/v_2) / 2 + T_L + T_U + \frac{v_1 v_2 (v_t / 2 v_p - T_U)^2}{2L(v_1 + v_2)} \quad (3-81)$$

となる。

労務費  $P(L)$  (円 /  $m^3$ ) は, (3-79), (3-81)式の  $Cy(L)$ に  
対して, (3-77)式に等しい架設撤去費用を加えて, (3-7  
)式より, 作業人員が3人のとき,

$$P(L) = w(3Cy(L) / v_t + 1 / v_p) \quad (3-82)$$

となる。

## 4) モノケーブル式

モノケーブル式の循環索は，伐区周囲の谷沿に集積された椋に沿って架設される場合が多く，実際には地形の影響を大きく受ける。しかし理論功程式を導くにあたっては，循環索を林内に自由に張りめぐらせることができるという本方式の特長を生かして，林内木寄距離の短縮を考慮した路線配置を行うものとする。

伐区形状は図3-1に従うものとし，林道から伐区最遠まで  $L$  (m) とする。循環索の架設撤去人工数  $R$  (人時) は，循環索長に比例するものとするれば，

$$R = k_6 \cdot \{ 2(1-\alpha)L + L_s \} \quad (3-83)$$

ただし，

$k_6$  : 比例定数

$L_s$  : 伐区内循環索長 (m)

となる。

ここでは林内木寄は人力によるものとする。木寄能率  $V_p$  ( $m^3$ /人時) は，作業距離に反比例するが(46)，人力木寄の通常の作業限界である20m程度に限れば直線状に下降するので，1次式に回帰することができる(図3-14)。

すなわち，

$$V_p = -k_7 \cdot \alpha \beta L^2 / 2L_s + k_8 \quad (3-84)$$

ただし，

$k_7, k_8$  : 定数

$\alpha \beta L^2 / 2L_s$  : 平均木寄距離 (m)

$$L_s > k_7 \cdot \alpha \beta L^2 / 2k_8 \quad (\because V_p > 0) \quad (3-85)$$

一方，サイクルタイム  $C_y(L)$  (時/回) は，索が循環しているのので，結局荷掛時間  $T_L$  (時/回) に依存し，

$$C_y(L) = T_L \quad (3-86)$$

となる。

したがって，(3-83)，(3-84)，(3-86)式より，モノケーブル式の労務費単価  $P(L)$  (円/ $m^3$ ) は，

$$P(L) = w [ k_6 \cdot \{ 2(1-\alpha)L + L_s \} / \alpha \beta L^2 \cdot V_i \times 10^{-4} + 1 / (-k_7 \cdot \alpha \beta L^2 / 2L_s + k_8) + m \cdot T_L / V_t ] \quad (3-87)$$

となり， $\partial P(L) / \partial L_s = 0$ および(3-85)式より， $P(L)$ は，

$$L_s = \alpha \beta L^2 (k_7 + 10^{-2} \sqrt{2k_7 \cdot V_i / k_6}) / 2k_8 \quad (3-88)$$

のとき，最小値

$$\begin{aligned} P_{\min}(L) = w [ & k_6 \cdot 2(1-\alpha) / \alpha \beta L V_i \times 10^{-4} + \\ & \sqrt{2k_6 \cdot k_7 / V_i} / k_8 \times 10^{-2} + 1/k_8 \\ & + k_6 \cdot k_7 / 2V_i \cdot k_8 \times 10^{-4} + m \cdot T_L / V_t ] \quad (3-89) \end{aligned}$$

をとる。

モノケーブル式では，標準器材費 RIG (円) として，

$$RIG = W_r \cdot L_s \quad (3-90)$$

ただし，

$W_r$ : 循環索 1m 当りワイヤロープおよびブロックの費用 (1m 当り購入価格 ÷ 耐用数量) (円 / m<sup>3</sup> m)

を見込むものとする。

## 5. 集材費用の試算

前節で導いた理論功程式から，具体的数値を用いて各集材方式の集材費用を算定することにする。使用した数値は一括して表3-4に示す。

### (1) 架空線集材方式による皆伐作業

50馬力程度の中型集材機を想定する。皆伐作業の場合，索張方式による作業能率のちがいは少ないものと思われるが，ここでは一般に普及しているダブルエンドレス式を想定する。

機器走行速度は，ダブルエンドレス式の作業現場でスピードガンを用いて簡易実測した $v_1 = 240 \times 60 \text{m/時}$ ， $v_2 = 180 \times 60 \text{m/時}$ を使用する（表3-5）。この値は種々の資料から判断して平均的な数値といえる。なお測定値はいずれも下げ木集材によるが，路網密度が $14 \text{m/ha}$ 以上になると500m間隔の片側集材が可能となるので，ここでは下げ木集材の値を参考にする。 $T_L$ ， $T_U$ は主索高や荷掛材積に応じてバラツキが大きく，とくに $L$ が小さいときにはサイクルタイムにおよぼす影響が大きい，一応 $T_{LU} = 240/3600 \text{時/回}$ を想定する。

まず架線本数 $n$ について試算してみる。架設撤去人工数に関わる係数は，筆者らの調査結果から(43)， $k_1 = 0.1 \times 6$ ， $k_2 = 0.25$ ， $k_3 = 12.5 \times 6$ とする。横取速度 $v'_1$ ， $v'_2$ は，主索が沢筋のときは，横取方向が架線の左右いずれも下りになるが，主索が斜面中腹上に位置すると横取方向が上りと下りの両方向になるので， $v_1$ ， $v_2$ に比して作業条件が複雑である。 $1/v'_1 + 1/v'_2$ を小山(19)，森岡(30)の資料から評価すると，それぞれ $0.1667/60 \text{時/m}$ ， $0.0188/60 \text{時/m}$ となり，差異が大きいので，ここではその中間値となる，筆者が静岡県下民有林における表3-5と同一現場の先山集材架線で観測した上下両方向平均 $0.0685/60 \text{時/m}$ を使用することにする。なお，このときの索張方式はエンドレスタイラー式であったが，荷掛フックの引込等はダブル



ルエンドレス式にも転用しうるものとする。 $m$ ,  $V_n$ ,  $V_t$ は筆者らによる全国のアナケート調査結果(42)から, 平均的な数値とみなしうる $m=3$ (人),  $V_n=350$ ( $m^3/ha$ )(人工林),  $V_t=0.65$ ( $m^3/回$ )とする。

以上の諸数値を(3-19), (3-20)式の[ ]内の横取と張替に関する人工数に代入して, 扇形張替と魚骨形張替を比較すると, 図3-7のようになる。扇形張替も魚骨形張替も総人工数 $T$ (人時)を最小にしようとするため,  $L$ が300m以下では差異がないが, 300m以上になると扇形張替の方が若干有利となるので, 以下では扇形張替について考えることにする。

横取能率低下によって集材架線の張替を要するときの架線本数, すなわち $n \geq 2$ となることを調べると表3-6のようになり, 扇形張替の場合 $L \geq 353m$ となる。このときの集材距離を路網密度に換算すると(III-6-1)参照), 林内路網密度が約20m/ha以上に整備された状態では横取能率低下による集材架線の張替は考えなくてもよいことになる。また上記路網密度に達していなくても, 横取作業の範囲は架空索の高さによるものであり, その限界はサイクルタイムの影響によるよりも索張力によるところが大きいとする森岡(30)の知見や, 皆伐作業において横取能率低下による張替が行われているのは非常に少なく, 集材架線の張替は伐区内の地形によるところが大きいう筆者のアナケート調査結果(表3-2)から, 横取能率低下による張替は考えないことにする。また図3-3からも, 集材架線の張替は集材距離に対して伐区面積が過大の現場に多く, 図3-1の伐区モデルにしたがう限りにおいては,  $n=1$ とみなすことができる。なお伐区面積が大きくなると, それだけ伐区内地形が複雑になる傾向がある(図3-8)(41)。

したがって本論では, 一応 $n=1$ とすることにする。このとき架空線集材方式の総所要人工数 $T$ (人時)はあらたに, (3-5), (3-6), (3-16)式から,

$$T = k_1 \cdot (1 + k_2) L + m \cdot V_a \cdot C_y(L) / V_t \quad (3-91)$$

ただし,

$$Cy(L) = L(1/v_1 + 1/v_2)/2 + T_{L0} + 0.4L(1/v'_1 + 1/v'_2)/4 \quad (3-92)$$

$$Va = 0.4L^2 \cdot v_n \times 10^{-4} \quad (3-93)$$

1 伐区当り総出材量 ( $m^3$ )

と簡略にすることができる。なお(3-91)式は、(3-19)式において  $n=1$  として  $k_3$  を求め、これを(3-21)式に代入しても得ることができる。

このとき(3-92)式によるサイクルタイムから1日当り出材量を求めると、図3-9のようになる ( $v_t = 0.65$ )。この結果は、標準工期表(52)と比較することにより、妥当であることが確認される。この1日当り出材量に対して、集材費用  $f(L)$  (円/ $m^3$ ) は、(3-7)、(3-12)、(3-13)、(3-92)式より、

$$f(L) = 1.527L + 75000/L + 689 \quad (3-94)$$

となる (図3-10)。

## (2) 架空線集材方式による間・択伐作業

表3-4の諸数値を(3-25)、(3-26)式に代入して試算してみると、明らかに扇形張替の方が有利であり、とくに  $L$  が  $200 \sim 300m$  以上になるとこの傾向が一層強くなるので (図3-11)、架空線集材方式による間・択伐作業においては、扇形張替についてのみ考えることにする。このとき(3-24)、(3-25)式から、総所要人工数  $T$  (人時) は、

$$T = k_1 \cdot (1 + k_2)L + (\beta L / 2Ly - 1)k_3 + m \cdot \alpha \beta L^2 \cdot v_i \cdot Cy(L) \times 10^{-4} / v_t \quad (3-95)$$

となる。

間伐作業の1例として地形急峻な天竜地方スギ優良材生産における間伐について(48)(表3-7)試算してみる。まず表3-3から最大横取距離  $Ly$  を求め、 $v_i$  以外は前記皆伐時と同一数値を用いると、 $i$  回目間伐時の1日当り出材量は図3-9のようになり、このときの集材費  $f_i(L)$  (円/ $m^3$ ) は、(3-4)、(3-8)～(3-13)式から、図3-10のようになる。

間伐作業では、各回間伐の  $Ly$  がそれほどちがわないので、1日当り出材量は大体同じである。なお皆伐作業のときは、集材架線の張替は行わないものとしているので、

集材距離が長くなると横取距離が長くなるため、 $L_y$ に応じて架線の張替をしている間伐作業の場合よりも1日当り出材量はかえっておちることになる。

間・択伐作業の集材費の理論式は、集材距離  $L$  が大きくなるにつれてサイクルタイムが長くなる一方で、出材量も  $L$  に比例するので、 $L$  が大きくなると  $1\text{ m}^3$  当り架設撤去費が安くなり、結局は集材費が安くなる構造になっている。なお、(3-95)式において、扇形に張替えるときの張替人工数  $k_3$  の符号が負であり、これを出材量  $\alpha \beta L^2 \cdot V_i \times 10^{-4}$  で除しているので、 $L$  が約  $150\text{ m}$  以下では、集材費の曲線が現実の感覚からずれているかもしれない。しかし、 $L$  が大きいところでは妥当な数値であり、飽和密度算定にあたっては  $L$  が大きいときが問題となるので、実用上はさしつかえない。皆伐作業は間伐作業よりも出材量が多いので、集材費用は皆伐作業の方が安い。

図3-10では皆伐作業も間・択伐作業も、横取距離と出材量以外の作業因子を同一にしているので、集材距離が大きくなると架設撤去費に対する出材量の影響がほとんどなくなり、集材費は大体  $2000\text{ 円/m}^3$  に収束している。

表 3-4 集材費用の算定に使用した数値

	架空線 集材	駐車型 大型車	小型車	トラク タ集材	林内走行	モノレール	モノケーブル
Ps (千円)	2,500	6,000	2,500	6,000	2,500	700	1,300
CRs	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	*	0.9
Do	270	270	270	270	270	*	270
LYs	5	5	3	6	3	*	5
Ms	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	*	0.75
MTs	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	*	0.21
MYs	0.065	0.065	0.065	0.065	0.065	*	0.065
FVs	12	12	8	21	8	*	6
FCs	100	100	140	100	140	140	100
e	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
RIG (千円)	1,000					*	
Vc	6,000					*	
k	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	*	0.9
Vt	0.65	0.65	0.3	5.1	3.0	0.45	0.02 0.05
$v_1, v_2$ (m/時)	240x60 180x60	48x60 21x60	12x60 30x60	60x60 60x60	載荷式 4000 4000 作業路 7000 9000	80x60 80x60	
$v'_1, v'_2$ (m/時)	60/0.0685			12x60 12x60			
$T_L$ (秒)	} 240	} 85	} 45	} 600	1200	} 225	35(Vt =0.02) 35x1.5 (0.05)
$T_U$ (秒)					800		
R(時)		0.5	0.25				
m(人)	3	3	3	3	*	3	3
w	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400
その他 $T'_{LU}$ (秒)				45			
$V_{pt}$				1.7			
rt				1,000			
$W_r/V_c$							0.08

注) \*: 本文参照。

表 3-5 主索上機器走行速度

(km/時)				
索張方式	岩大式	ダブルエンドレス式		
場所	東京大学千葉演習林		静岡県下民有林	
	(1981 1月)	(1980 12月)	(1982 9月)	
支間傾斜角	不明	13度	10度	約30度
空 回転計		17.4 (4)	17.8* (16)	
上 レーダー	9.1	16.7 (4)	17.3* (16)	
り 実測				13.8 (32)
実 回転計		11.5 (4)	12.1 (15)	
下 レーダー	4.6	11.1 (4)	11.9 (15)	
り 実測				13.4 (32)
平均積載量		0.75m <sup>3</sup>	0.69m <sup>3</sup>	0.67m <sup>3</sup>
水平換算 (レーダー値)				
空 搬器上り	9.1	16.3	17.0	11.3
実 搬器下り	4.6	10.8	11.7	11.0

注) 1. 実測速度は区間通過時間から求めた。

2. \*は5%で有意

3. ( )はサンプル数。

表 3-6 集材距離に対する架線本数

張替本数 n	1本以上	2本以上	3本以上	4本以上	5本以上
扇形張替	353m以下	353m以上	463m以上	561m以上	651m以上
魚骨形張替	664m以下	664m以上	996m以上	1327m以上	1660m以上

表3-7 天竜地方スギ優良材生産技術指針 (地位1等地 haあたり)

林令	下刈 ツル切り	枝打	除伐 間伐	施肥	残存本数	林分生長量			備考	最大横取 距離 Ly
						樹高	胸直	材積		
1	下刈1回			N(40kg)P・K	本 4,000	m	cm	m³		m
2	下刈2回			N(48)P・K						
3	下刈2回			N(60)P・K						
4	下刈1回									
5	下刈1回	1.5mまで 3,900本	除伐 100本		3,900	5.0	6.0		除伐は自然枯損 を含む	89
7	ツル切り1回								下刈を含む	
8		3.0mまで 3,800本	除伐 100本		3,800	7.0	8.0			60
11		4.5mまで 3,300本	除伐 200本	N(100)P・K	3,600	9.0	10.0		13年以降残存 木のみ枝打	45
13			除伐 300本		3,300	9.8	11.0			43
14		6.0mまで 1,600本		N(100)P・K		10.5	12.0		30年以降残存 木のみ枝打	
15~16			間伐 500本		2,800	11.3	13.0	32 224	間伐材材積 残立木材積	41
17		7.5mまで 1,600本		N(100)		12.0	14.0			
19~21			間伐 500本		2,300	14.0	16.0	58 336	間伐材材積 残立木材積	37
22	掃除伐1回			N(150)P・K						
25~26			間伐 400本		1,900	16.0	20.0	80 479	間伐材材積 残立木材積	33
27				N(100)					(以下同じ)	
29~30			間伐 300本		1,600	18.0	23.0	92 589	7.5mまで3.5 寸角生産可能	33
31	掃除伐1回			N(150)						
33				N(150)						
35			間伐 300本		1,300	20.5	26.0	126 683		35
40	掃除伐1回		間伐 200本		1,100	22.0	29.0	110 759		36
45			間伐 150本		950	23.4	31.0	99 785		39
50			間伐 150本		800	24.6	34.0	123 819		43
55			間伐 100本		700	25.6	35.5	92 808		48
60			主伐 700本			26.4	36.0	853	3,070石	
間伐計			2,600本					812	2,923石	

(注) 1. 施肥は1~3年までは上方半円ばらまきとし、他は林内ばらまきとする。

2. 間伐木の材積(上段)は、残存木の80%として算出した。

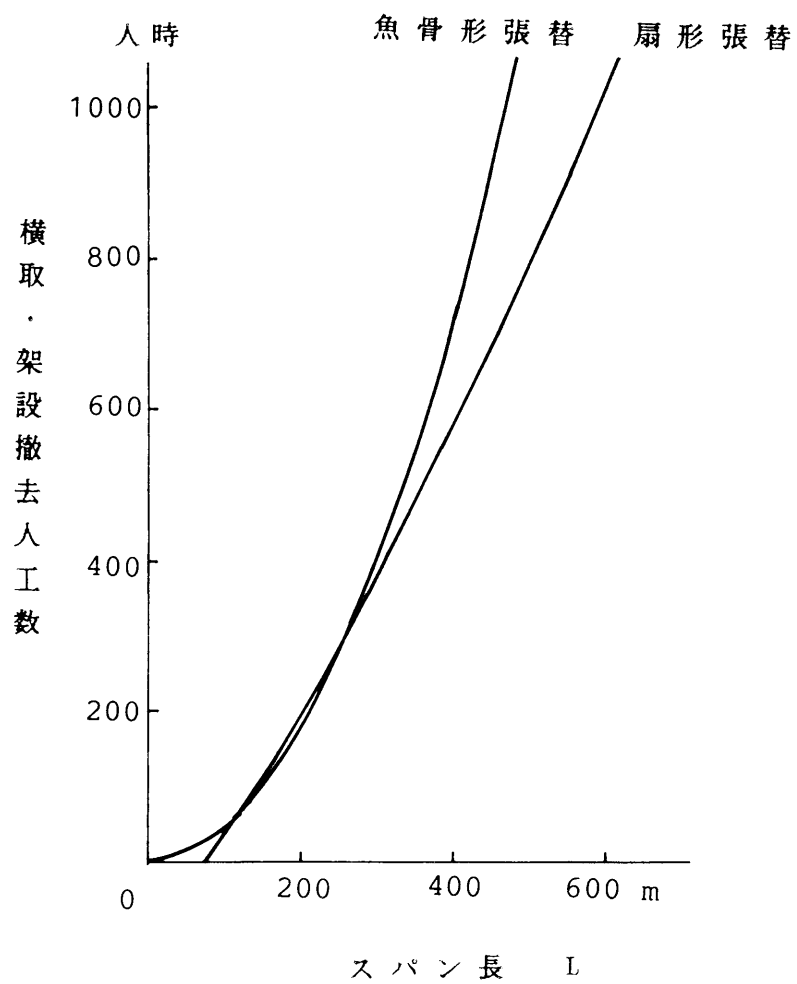


図 3-7 標準伐区モデルの横取・架設撤去人工数

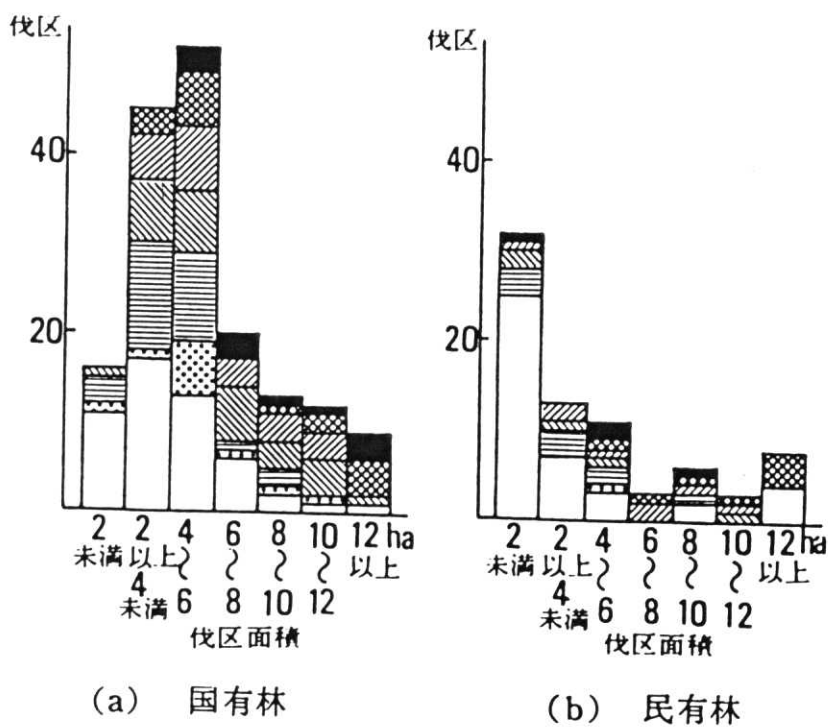


図3-8 伐区面積（皆伐）と伐区内地形

注) 伐区内地形

主に平らな直斜面	1
谷0尾根1	山
谷1尾根0	腹
谷1尾根1~2	に
谷2尾根1~2	位
谷2尾根3以上	置
2山腹に伐区がまたがる	



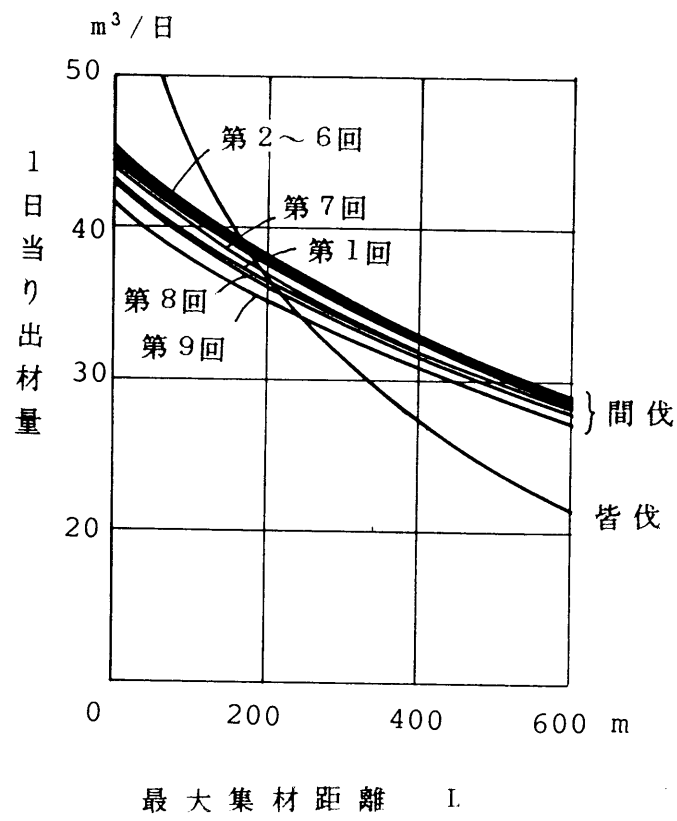


図 3-9 架空線集材方式の 1 日 当 り 出 材 量

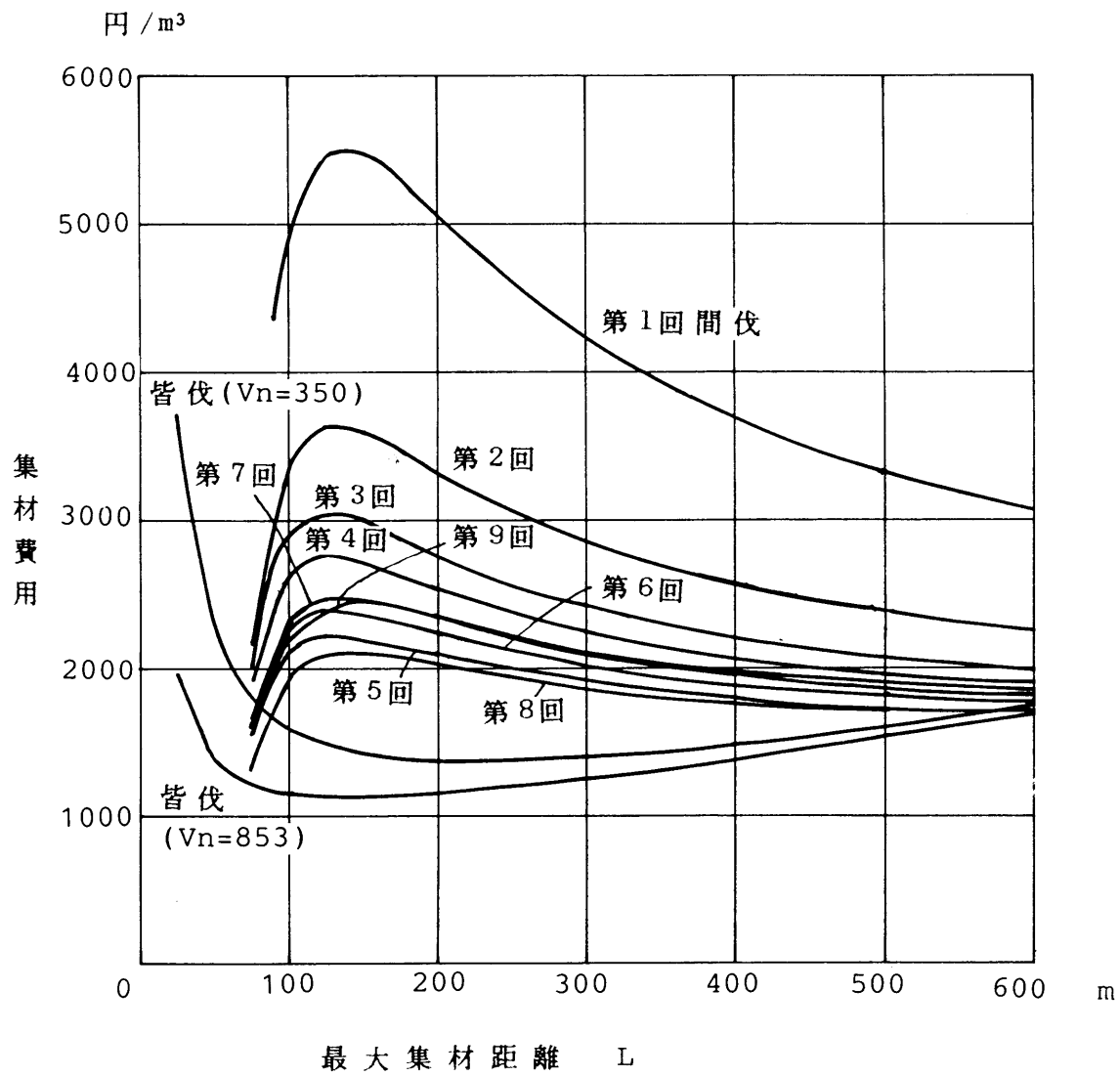


図 3-10 架空線集材方式の集材費用

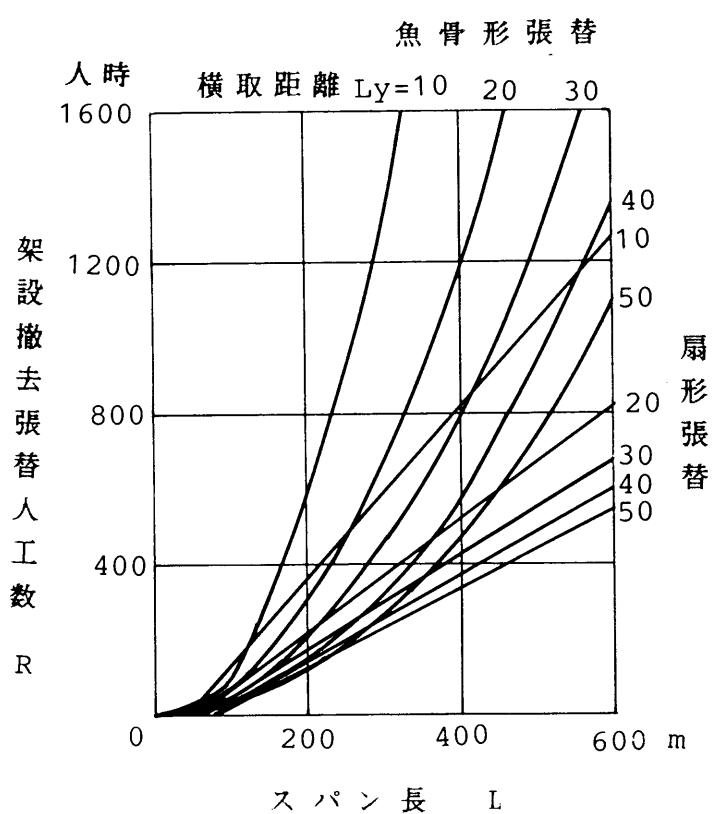


図 3-11 間・択伐作業における集材架線の  
架設撤去張替人工数

### (3) 駐車型車両集材

$P_s = 6,000,000$  円のタワー付き大型集材車と  $P_s = 2,500,000$  円のクレーン付き小型集材車を想定する。駐車型車両集材は伐区幅，すなわち横取距離に対する集材上の制約が少なく，短距離集材に適しているので，とくに皆伐と間・択伐の違いは考えないが，車両の大きさから一応前者を皆伐用，後者を間・択伐用とする。

諸数値は，前者は宮崎県下民有林，後者は群馬県下民有林における作業現場から収集した(1982)。この作業方式はわが国においては実績が少ないが，(3-27)式のサイクルタイムによる1日当り出材量は図3-12のようになる。なお，大型集材車の1荷当り集材量は荷掛能率を考慮して架空線集材と同一にした。このときの集材費用は，

#### i) タワー付き大型集材車

$$f(L) = 3.55L + 52500000/V_i \cdot L^2 + 292 \quad (3-96)$$

#### ii) クレーン付き小型集材車

$$f(L) = 17.65L + 26250000/V_i \cdot L^2 + 227 \quad (3-97)$$

となり，図3-13のようになる。

図3-12，13より，駐車型車両集材はLの影響を大きく受けるが，他の集材方式に比べて，Lが約120m以下ならば非常に高能率であることがたしかめられる。また，Rが小さいために，Lが50～100m以上になると集材費はha当り出材量の影響をほとんど受けなくなる。タワー付き集材車は小型集材車両の付属クレーンよりも  $V_t$ ， $V_1$ ， $V_2$  が有利であるため，Lが大きくなると両者の集材費の差が開いてくる。

### (4) トラクタによる全幹材集材

資料は，秋田営林局管内および北海道民有林から収集した(1984,1985)。トラクタ集材は，集材距離が長くなると，1回当り積載量を多くして作業能率を維持する傾向があるが，土場での待ち時間も長くなるので，路網が高密になることを前提として長距離集材は考えないことにする。

$\eta t = 0.4$ ,  $V_{pt} = 1.7$ ,  $V_n = 350$ ,  $r_t = 1000$ ,  $\tan \theta / \sin \phi = 1.3$ とすると,  $dt = 95.5$ となり,

$$f(L) = 0.591L + 868 \quad (3-98)$$

となる (図 3-13)。このときの平均木寄距離は約 37m で, (3-40) 式による 1 日当り出材量は図 3-12 のようになり, 標準功程表 (52) にも大体一致する。図 3-13 より, トラクタ集材は地引き方式によって積載量が多いので, 集材費が安く, しかも集材距離の影響が少ないことが確かめられる。

#### (5) 載荷式車両集材

載荷式車両集材では, 前記の理由により, あらかじめ林内木寄してから積載していく場合について試算することにする。ただし, 1 日当り出材量は木寄人員数によって異なってくるので, 1 日当り出材量については, 木寄と集材を並行して行う場合と労務費が同じであることから, (3-45) 式を用いることにする。

集材用車両は駐車型車両集材の場合と同一のクレーン付き小型集材車を想定する。伐区外走行は, 専用集材路を走行するものとして  $v_{1s} = 7000$ ,  $v_{2s} = 9000$  m/時とすれば,  $(1-\alpha)(1+\eta t_s)L$  を走行する費用は 100m につき 31 円 /  $m^3$  にしかないもので, 一般には  $C_{ts}$  を無視することができる。

いま  $\alpha = 1$  とすると, 1 日当り出材量は図 3-12 のようになり, 小型運材車の標準功程 (52) にだいたい一致する。また, 集材費は図 3-13 のようになり, 残材整理や林内椚積をも含めた平均木寄能率を標準的な  $V_p = 2m^3$  / 人時としたときの集材費は,

$$f(L) = 0.309L + 771 \quad (3-99)$$

となる。

本方式の 1 日当り出材量は後記のモノレール方式にほぼ等しいが (図 3-15), モノレール方式はレールの架設撤去を必要とし, 荷卸場にも作業員を固定しなければならないので, 集材費は本方式の方が安くなる (図 3-13, 16)。

## (6) 専用作業路を利用した車両集材

載荷式車両集材の場合と同一の集材車両を使用するものとする。

木寄と集材を並行して行う場合，(3-60)，(3-63)式のサイクルタイムに対する集材費は図3-13のようになる。 $L \leq L_B$ では， $L$ が大きくなるにつれて運転手が木寄を手伝う時間が短くなるので，集材費がわずかに通減している。

一方，あらかじめある程度木寄してから順次積載していく場合の集材費は図3-13のようになり，集材用車両に待ちがなく，積込を1人で行うものとしているので，この方が木寄と集材を並行する場合よりも有利である。したがって，今後専用作業路を利用した車両集材ではあらかじめ木寄してから集材する方式を考えることにする。

このときの1日当り出材量は，木寄人員数にもよるが，集材用車両の運行にあわせて事前に適当に木寄するものとするれば，だいたいの1日当り出材量は，(3-65)式より図3-12のようになる。(3-99)式と同様に， $V_p = 2$ のときの集材費は，

$$f(L) = 0.157L + 1485 \quad (3-100)$$

となる。上式は平均サイクルタイムを基にしているので，実際の走行距離に対する費用の増加，すなわち専用作業路の走行に関する費用は，係数0.157を2倍することにより，載荷式集材の専用作業路走行の場合と同じく100mにつき約31円/m<sup>3</sup>となり，ほとんどが木寄と積込，荷卸に関する費用であることがわかる。

載荷式車両集材の集材費と比較すると，本方式は専用作業路まである程度木寄しなければならないので，これに専用作業路の開設費および維持管理費も含めると，明らかに載荷式の方が有利である。

しかしながら，わが国のようにそれほど緩斜地でない林地で林内走行型車両集材を行う場合には，専用作業路を開設する場合が少なくない。専用作業路の作設量については，(V-3)であらためて考察することにする。

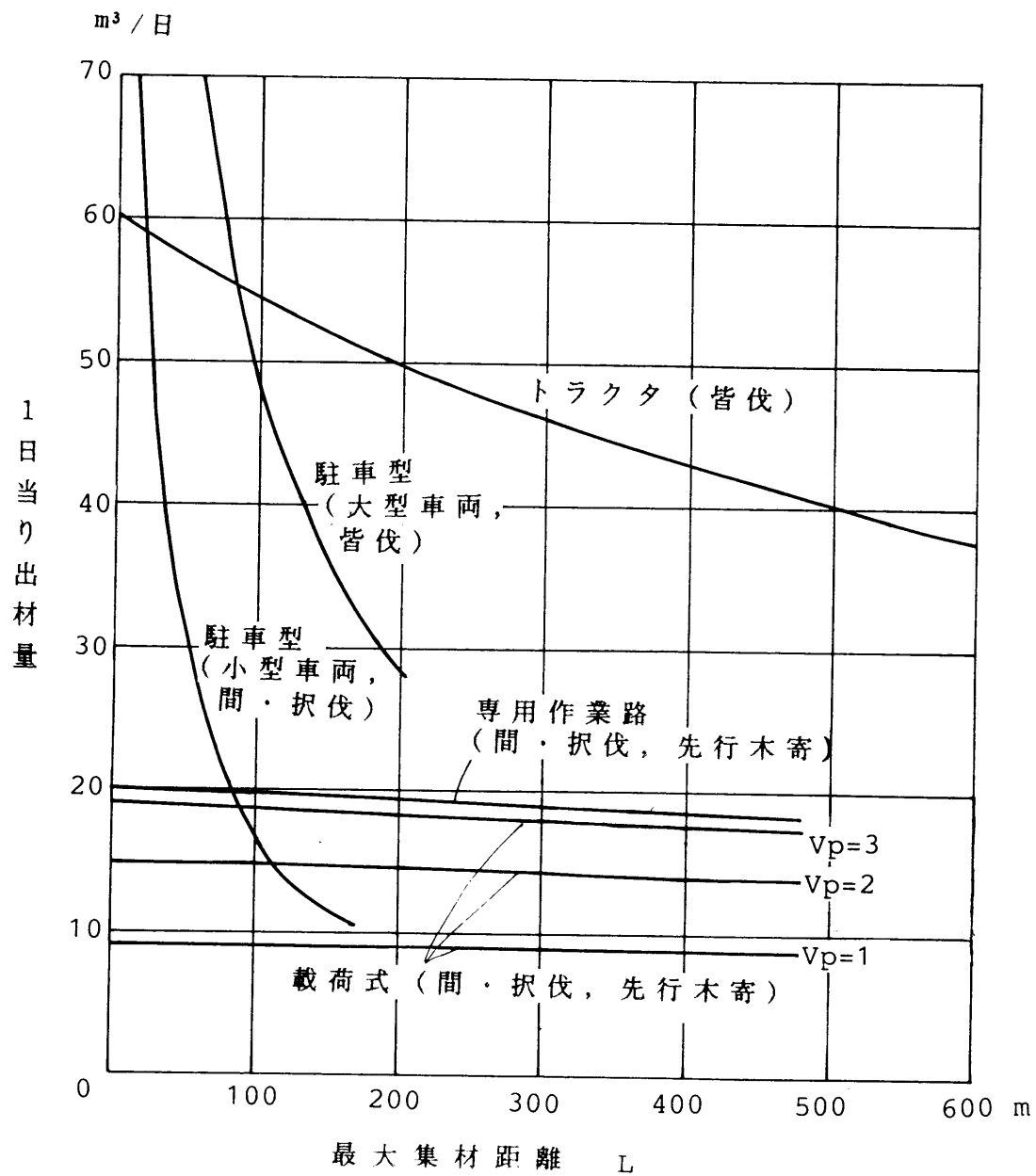


図 3-12 車両系集材方式の 1 日当り出材量

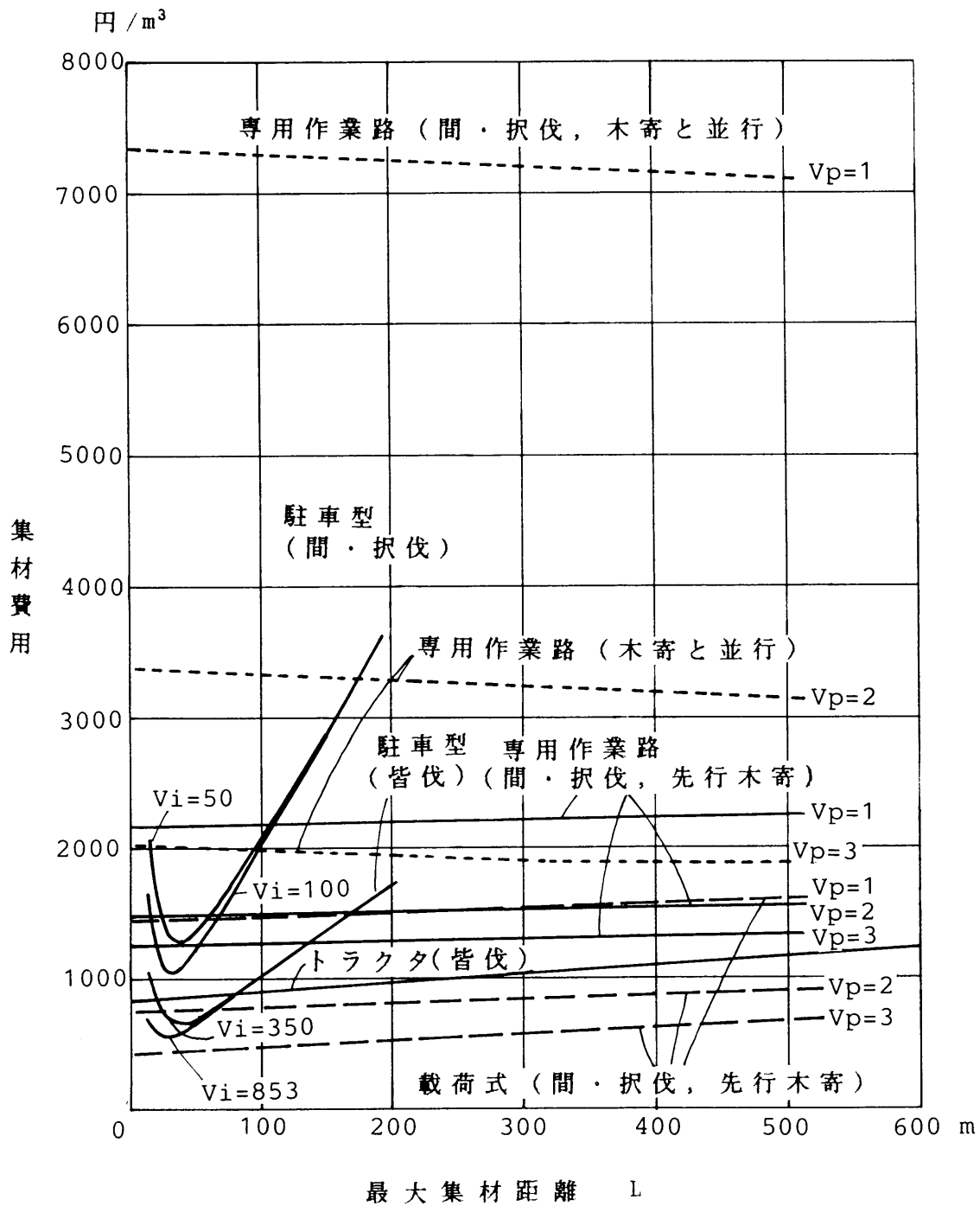


図 3-13 車両系集材方式の集材費用



## (7)モノレール

(3-63)式の林内木寄の作業能率 $V_p$ は，林地の状況によって与えられるが， $\mathcal{V}_d$ は林地傾斜と，林地と材との動摩擦係数，および木寄材積 $V_{ptd}$ によって求められる材のけん引力 $F_p$  (kg) との間に，

$$F_p = k_9 - k_{10} \cdot \mathcal{V}_d \quad (3-101)$$

ただし，

$$k_9 = 42.42$$

$$k_{10} = 1.47$$

の関係を想定することができ(46)，人力木寄における限界けん引力 $F_m$  (kg) は14～16kg程度である。

したがって林地傾斜が小さいときは， $V_p$ は(3-69)式に規定される $V_w$ にしたがって(3-76)式によって与えられるが，林地傾斜 $\theta$ が大きくなると， $F_p$ が $F_m$  (kg) よりも小さくなるので，木寄能率は $F_p$ の影響を受けなくなり，向上する。これらの計算例を示すと図3-14のようになる(46)。図3-14では，人力木寄以外にも，木寄用ウィンチによる木寄能率も示す。図3-14よりモノレールの路線間隔 $Y_w$ に対する木寄能率を知ることができるが，ここでは木寄能率 $V_p$ が1, 2, 3, 4 $m^3$ /人時の作業現場を想定することにする。

モノレール作業の諸数値は，筆者らが東京大学千葉および秩父演習林で作業試験を行ったときの数値を使用することにする。このときの1日当り出材量は(3-79), (3-81)式のサイクルタイムに対して図3-15のようになり，他の事例(52)にも一致する。

モノレールの機械損料は実績が少ないが，次式によるものとする。

$$1m^3 \text{ 当り機械損料} = P_s \cdot M_a \cdot C_t / V_t \quad (3-102)$$

ただし，

$M_a$ ：全損料率。ハンドトラクタと同程度の $389 \times 10^{-6}$ とする(52)。

燃料消費量を $\rho$  ( $m/l$ ) (45)とすれば，(3-9)式の $F_u(L)$ は，

$$F_u(L) = 2L \cdot F_{Cs} \cdot (1+e) / \rho \cdot V_t \quad (3-103)$$

ただし，

$e$ ：燃料費に対する油脂・その他消耗品費の割合。  
0.2とする。

$$\rho = 1500$$

となる。

(3-10)式に相当するレール費は，

$$1\text{m}^3\text{当りレール費} = L \cdot Pr / Vc (= K) \quad (3-104)$$

ただし，

$Pr$ ：レール価格。3000円/mとする。

$Vc$ ：耐用数量。18,000 $\text{m}^3$ とする。

とする。

このとき，(3-82)式の労務費を加えてモノレール方式の集材費は， $V_p$ に応じて図3-16のようになる。機関車の運行と木寄作業を組合せることが重要なモノレール作業では，1日当り出材量，集材費とも木寄能率が高い方がよい結果となっている。(3-99)式と同様に， $V_p = 2$ のときは，

$$f(L) = 0.664L + 2439 \quad (L \leq 217 \text{のとき}) \quad (3-105)$$

$$f(L) = 2.734L + 97798/L + 1539 \quad (L \geq 217 \text{のとき}) \quad (3-106)$$

となる。

#### (8)モノケーブル方式

モノケーブル方式の算定のための数値は，林内木寄の人力木寄は図3-14によるものとし，モノケーブル方式については三重県下民有林の筆者らの調査(1977,1983)に基づいた。モノケーブル方式の1日当り出材量は，(3-86)式より荷掛時間 $T_L$ (時/回)に対して図3-15のようになり，他の事例(52)にもだいたい一致する。このときの集材費用は，(3-89)式より，たとえば $T_L = 35/3600$ ， $V_t = 0.02$ ， $V_i = 50$ のとき，

$$f(L) = 3286 + 0.00105L^2 \quad (3-107)$$

また， $T_L = 35 \times 1.5/3600$ ， $V_t = 0.05$ ， $V_i = 100$ のとき，

$$f(L) = 1951 + 0.00115L^2 \quad (3-108)$$

ただし，

$$k6 = 0.09$$

$$k7 = 23/20$$

$$k8 = 23$$

となり（図3-16）， $L$ に対して緩慢な増加を示す。機械費・燃料費は130～220円/ $m^3$ くらいで，労務費が大半をしめており，労務費のうち，荷掛作業に関する部分と木寄作業・架設撤去作業に関する部分の比は2：1くらいである。

モノケーブル方式の集材費は $L$ に対して変化が少ないので，モノレール方式と比較して， $L$ が大きくなると有利となる。

なおモノケーブル方式では，III-4-4)に示した架線配置の他にも，伐区周囲の小谷沿に循環索を架設する方法もあるが，この場合，

$$Ls = 2(\alpha + \beta)(1 + \eta s)L \quad (3-109)$$

ただし，

$\eta s$ ：循環索の屈曲率

となり， $L \leq 250 \sim 350$ では，(3-88)式による $Ls$ と大差がない（図3-17）。

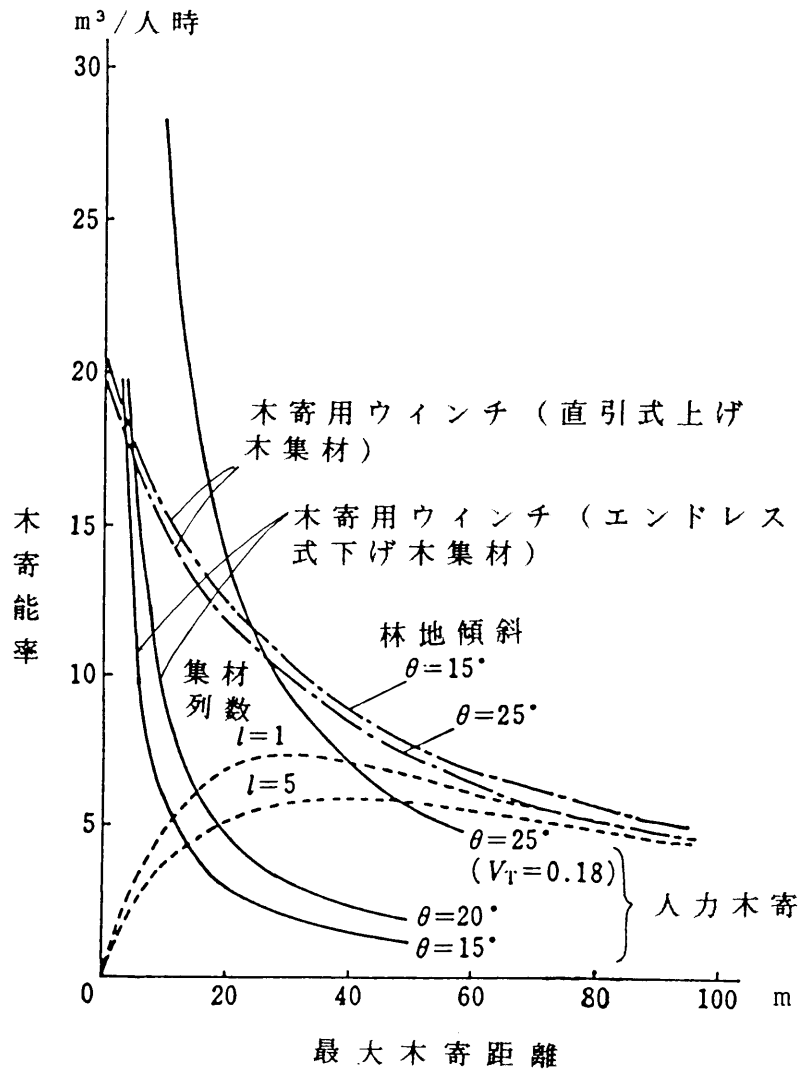


図 3-14 各木寄方式の作業能率

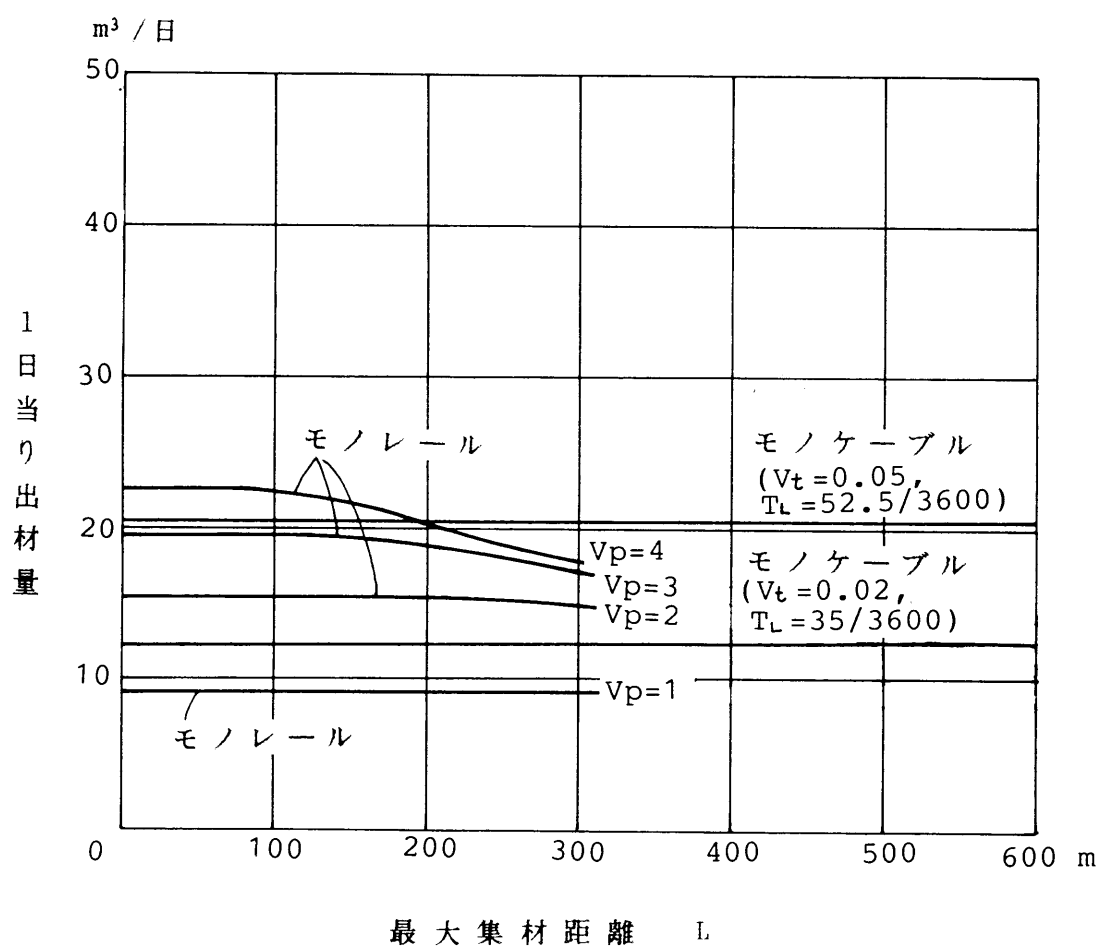


図 3-15 モノレール，モノケーブル方式の1日当り出材量

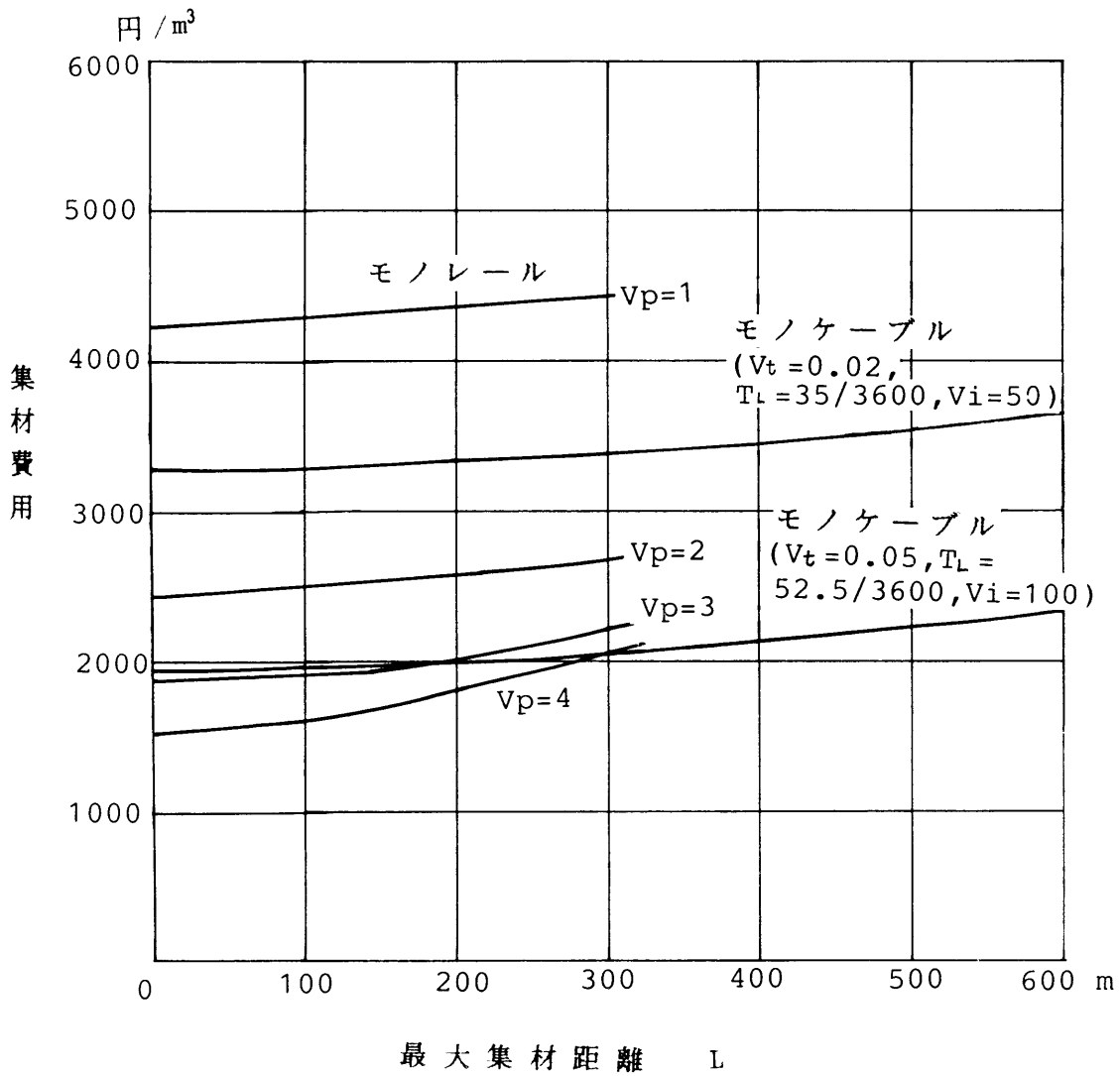


図 3-16 モノレール，モノケーブル方式の集材費用

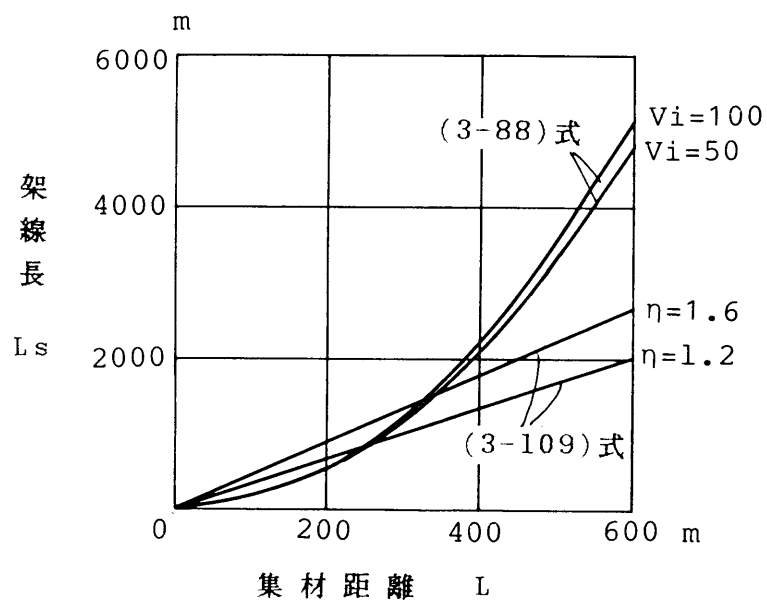


図 3-17 (3-88)式 と (3-109)式 の  $L_s$  の 比較

## 6. 飽和密度の算定

## 1) 林内路網密度と集材距離の換算

III-4の理論方程式による集材費用を林内路網密度に対する集材費用として得るためには、集材距離と路網密度の換算を正確に行う必要がある。

従来の換算方法として、まず平賀(3)は小川(6,7)の林地モデル(図3-18)を利用して、林道密度 $d$ (m/ha)と平均集材距離 $S_m$ (m)の関係について、次式を導びいた。

$$S_m = A(\sqrt{d^2 + 10^4/A} - d) / 2 \quad (3-110)$$

ただし、

$A$ : 対象面積 (ha)

同じく南方(25)は小川の林地モデルに開発伸長効率 $k$ の概念を導入して次式を導びき、 $S_m$ の精度をあげている。

$$S_m = 2k \cdot A (\sqrt{d^2 + 10^4 \pi / 4k^2 A} - d) / \pi \quad (3-111)$$

(3-110)式では林道を直線としているため、IV-3で後記するように実際の平均集材距離に比べて $S_m$ が過小になる傾向がある(表4-2)。一方、(3-111)式は精度は高いが、開発伸長効率を求めるのに、溪床勾配や山腹褶曲率を測定しなければならず、多大の労力を必要とする。

そこで開発伸長効率にかわるものとして、現在は迂回率の概念が一般には普及しているので、(3-110)式に迂回率 $\eta$ を導入することにする。このとき(3-110)式は、

$$S_m = A(\sqrt{d^2 + (1+\eta)^2 10^4/A} - d) / 2(1+\eta) \quad (3-112)$$

となる(図3-19)。IV-3で後記するように $\eta = 0.3 \sim 0.4$ としたとき、実際に測定した平均集材距離に対する(3-112)式の適合性は高い(表4-2)。

さて(3-112)式は $d$ について解くと、

$$d = 2500(1+\eta)/S_m - S_m(1+\eta)/A \quad (3-113)$$

となる。(3-113)式は $S_m$ が160~200m以下、かつ $A$ が少なくとも $S_m$ (ha)以上であれば、第2項は無視することができる。このとき(3-112)式は従来よく用いられている矩形モデルの簡易な換算式、

$$S_m = 2500(1+\eta)/d \quad (3-114)$$



と同等になり，路網が高密度で対象面積が大きければ，(3-114)式でも実用上は十分である。たしかに図3-19において(3-112)式と(3-114)式を比較するとほとんど同じである。したがって本論では，集材距離と路網密度の換算に(3-114)式を用いることにする。

なお(3-114)式は，褶曲が多いために実際の $\eta$ が大きかったり，効率の悪い路網配置であると，適合性は悪くなる。この場合(3-114)式を適合せしめる $\eta$ をあらたに対象林地の総合迂回率として定義することもできる。また，(3-114)式より目的とする林道密度 $d$ からあらかじめ $S_m$ が与えられるので，施業団地の外周から $S_m$ に相当する分だけ内部に路網配置することができれば，平均集材距離に対して効率のよい配置が可能となる。

高密度路網によって対象林地の伐区が林道に接する状態となり，図3-1の伐区モデルがなりたつものとし， $\alpha = 1$ ， $\beta = 0.4$ とすれば，林道密度 $d$ に対する伐区面積 $S$  (ha) は，(3-15)，(3-114)式より，

$$S = 2500(1 + \eta)^2 / d^2 \quad (3-115)$$

となり，20～30m/haの飽和密度に対して1～2haの小面積伐区作業が可能となることがたしかめられる。

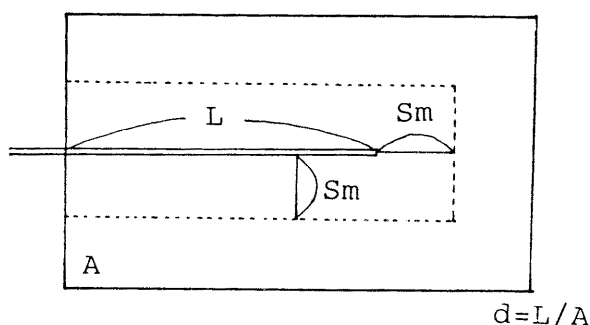


図3-18 林地モデル

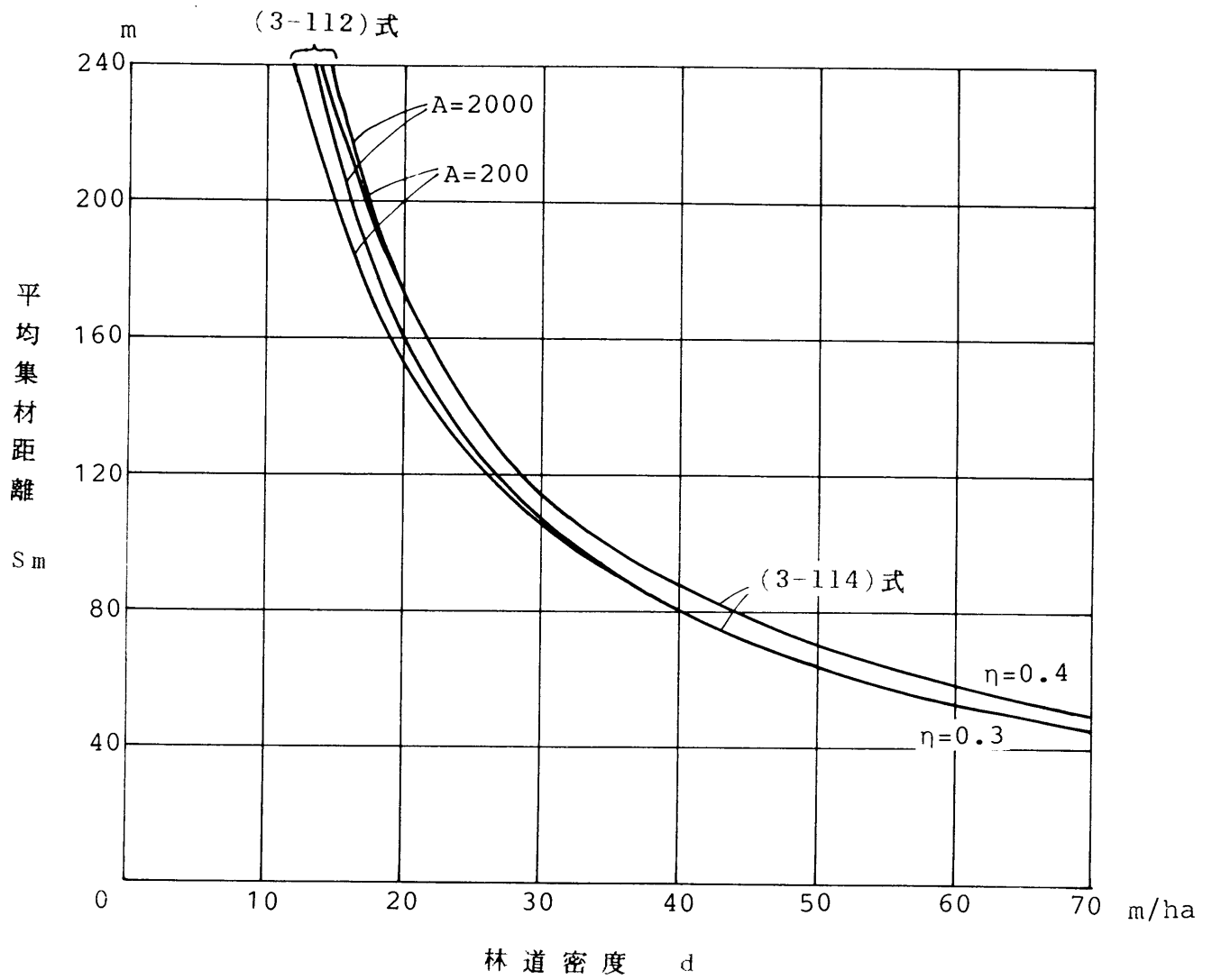


図 3-19 林道密度と集材距離の関係

## 2) 総合集材費および飽和密度の算定

計画対象地域の地形条件として，森林利用学的地形分類(14)に従って，急峻，急，緩，平坦の4地形を想定し，III-5で得られた各集材方式の集材費に対して，(3-3)式から総合集材費 $C$  (円/ $m^3$ )を算定し，これに林道維持費を加えて飽和密度を求めると，図3-20が得られる。なお施業は表3-7をモデルとした。集材費用は人件費によって多少変動するが，各集材方式とも相対的なものとみなすことにする。

### i) 急峻地形における間伐，皆伐作業 (図3-20(a))

集材方式は間伐，皆伐作業いずれも架空線集材方式とする。間伐作業の集材費は図3-10から出材量に応じて合成した結果，

$$f(L) = 0.634L + 445000/L - 29100000/L^2 + 860 \quad (3-116)$$

となり，(3-3)式による間伐，皆伐作業の総合集材費は，

$$C(L) = 1.092L + 233000/L - 14200000/L^2 + 772 \quad (3-117)$$

となる。総合集材費は最大集材距離 $L = 478m$ のとき最小となる。施業団地の $ha$ 当り年間平均出材量 $1665/60m^3/年ha$  (表3-7)に対して最低規格の林道維持費 $r_{yn}$ を仮に300円/年 $m$ とし，急峻ないし急地形の林道迂回率 $\gamma$ を0.4とすれば，林道費 $R(L)$  (円/ $m^3$ )は，(3-114)式から林道密度を $L$ に換算することによって，

$$R(L) = 300 \times 5000 \times 1.4 \times (60/1665)/L \quad (3-118)$$

となる。これを(3-117)式の総合集材費に加えると， $L = 478$ のとき費用最小(1877円/ $m^3$ )となり，このときの林道密度がすなわち飽和密度 $D$  ( $m/ha$ )となる。(3-114)式によれば， $D = 14.6$ であり，林道間隔は956 $m$ となる。

### ii) 急地形における間伐，皆伐作業 (図3-20(b))

集材方式は間伐，皆伐作業とも架空線集材方式を中心に，このほか間伐作業は小型集材車両による駐車型車両集材方式，モノレール，モノケーブル式が一応使用可能なものとし，皆伐作業は大型集材車両による駐車型車両集材方式も想定する。

厳密には各回間伐の集材費を算定しなければならないが、一応図3-10,13,16等の試算結果で代表させることにする。

間伐，皆伐作業について，各集材方式の集材費 $f(L)$ から(3-1)式にしたがって $L$ に対する最適な集材方式とこのときの最小集材費 $F(L)$ を求め，間伐，皆伐作業の総合集材費を求めると以下ようになる。

$$C(L) = \begin{cases} 12.226L + 160000/L^2 + 261 & (L \leq 97) \\ 3.617L + 31500/L^2 + 0.00056L^2 + 1101 & (97 \leq L \leq 118) \\ 0.782L + 0.00056L^2 + 15800/L + 1304 & (118 \leq L \leq 360) \\ 1.091L + 233000/L - 14200000/L^2 + 772 & (360 \leq L) \end{cases} \quad (3-119)$$

(3-119)式の $L$ に基づいて，間伐作業の場合は，駐車型車両集材方式，モノケーブル方式，架空線集材方式，皆伐作業の場合は，駐車型車両集材方式，架空線集材方式と，集材方式を選択していくことになり，他の地形条件に比べて集材方式の選択が多様である。

最低規格林道の年間維持費 $r_{yn}$ を仮に250円/mとすれば， $L=270$ すなわち $D=25.9\text{m/ha}$ のとき，林道維持費も含めた集材費用は最小値1847円/ $\text{m}^3$ となる。ただし図3-20(b)より， $L$ が200m以上になると総合集材費は $L$ に対してほとんど変化しなくなるので，林道費用に対して $D$ の許容範囲は広いことがわかる。

この地形条件において，林道を高密に入れることによって，駐車型車両集材のみによる集材作業が可能となるのは，すなわち $L \leq 97$ において費用最小が実現するのは，年間林道維持費が約200円/年m以下のときからであり，このときの飽和密度および林道維持費も含めた最小集材費は，104m/ha ( $L=67$ )，1866円/ $\text{m}^3$ である。さらに年間林道維持費が150円/年mになると，飽和密度および林道維持費も含めた最小集材費は119m/ha ( $L=59$ )，1669円/ $\text{m}^3$ となり，今までの中で一番安い費用となる。このように林

道費用が安ければ飽和密度は飛躍的に増大し，高度な機械化作業が可能となる。ただし，この場合にはLに対する集材費の傾きが大きくなり，飽和密度も高くなるので，なるべく正確な林道費用に基づいて飽和密度の精度をあげなければならない。

iii) 緩地形における間伐，皆伐作業（図3-20(c)）

緩傾斜になると，小型トラクタや林内作業車等の集材車両による専用作業路を利用した集材方式も有効になると思われるので，間伐作業は，小型集材車両による駐車型車両集材方式，モノレール，モノケーブル式の他に，専用作業路を利用した小型車両集材も想定することにする。皆伐作業は大型集材車両による駐車型集材方式とトラクタ全幹集材とする。

このときの総合集材費  $C(L)$  は，

$$C(L) = \begin{cases} 12.226L + 160000/L^2 + 261 & (L \leq 69) \\ 3.694L + 31500/L^2 + 874 & (69 \leq L \leq 88) \\ 0.379L + 1169 & (88 \leq L) \end{cases} \quad (3-120)$$

となり，間伐作業では駐車型車両集材方式と専用作業路を利用した車両集材方式が，皆伐作業では駐車型車両集材方式とトラクタ全幹集材が中心となる。

緩地形ないし平坦地形では林道迂回率  $\gamma$  を0.3とし，最低規格林道の年間維持費  $r_{yn}$  を200円/年  $m$ ，150円/年  $m$  とし，(3-118)式の林道費  $R(L)$  を上記  $C(L)$  に加えると，飽和密度  $D$  および林道維持費も含めた最小集材費はそれぞれ  $18.5m/ha$  ( $L=352$ )， $1435円/m^3$ ， $21.4m/ha$  ( $L=304$ )， $1400円/m^3$  となる。ただしこの場合も急地形の場合と同じく， $D$  の許容範囲は広い。

ii) の急地形よりも林地傾斜は緩くなるが，トラクタ集材が集材距離にそれほど影響されないのので，無理に林道を開設する必要もなく，飽和密度はかえって急地形よりも少なくなる。ただし，飽和密度による林道の他に，トラクタ集材作業路，および間伐作業のための車両集材用専用作業路が必要となる。車両集材のための専用作業路

密度についてはあらためて V-3) で求めることにするが，  
間伐対象林の状況に応じて 10～20m/ha 程度である。

iv) 平坦地形における間伐，皆伐作業（図 3-20(d)）

林内を集材用車両が走行することができるものとして，  
間伐作業は小型集材車両による載荷式集材方式を，皆伐  
作業はトラクタ全幹集材を想定する。

このときの総合集材費  $C$ （円/m<sup>3</sup>）は，

$$C(L) = 0.453L + 821 \quad (3-121)$$

となる。なお皆伐作業よりも間伐作業の方が集材費が安  
くなっているが，これは載荷式集材による間伐作業では  
大がかりな木寄作業やトラクタ集材のような林内作業路  
が不要であり，高能率な省力作業が行えるからである。

最低規格林道の年間費用  $r_{yn}$  を 150 円/年 m とすれば，飽  
和密度  $D$  および林道維持費も含めた最小集材費は 23.3m/  
ha ( $L = 278$ )，1073 円/m<sup>3</sup> となる。この場合も  $L$  に対して  
集材費がほとんど変化しないので， $D$  の許容範囲は広い。  
地形条件がよいにもかかわらず飽和密度はそれほど高く  
ないが，林内走行によって高能率な作業が行えるため，  
林道維持費も含めた集材費は他の地形条件の約 6 割くらい  
と安い。

v) 択伐作業（図 3-20(e)）

上記 4 地形において択伐作業を想定すると，林道維持  
費も含めた集材費用は図 3-20(e) のようになる。なお，集  
材方式は間伐作業と同一のものとし，架空線集材方式に  
よる択伐作業では図 3-10 の第 9 回間伐で代用した。このと  
きの総合集材費  $C$ （円/m<sup>3</sup>），飽和密度  $D$ （m/ha）および  
林道維持費も含めた最小集材費は以下のとおりである。

i) 急峻地形

$$C(L) = 0.634L + 404000/L - 28500000/L^2 + 903 \quad (3-122)$$

$$r_{yn} = 300 \text{ 円/年 m のとき, } D = 8.7 \text{ m/ha } (L = 803),$$

$$1965 \text{ 円/m}^3$$

ii) 急地形

$$\begin{cases} 17.651L + 263000/L^2 + 227 & (L \leq 97) \end{cases}$$

$$C(L) = \begin{cases} 0.00115L^2 + 1951 & (97 \leq L \leq 327) \\ 0.634L + 404000/L - 28500000/L^2 + 903 & (327 \leq L) \end{cases}$$

(3-123)

ryn = 250 のとき,  $D = 8.9$  ( $L = 789$ ), 1950円/m<sup>3</sup>

ryn = 150 のとき,  $D = 9.2$  ( $L = 761$ ), 1917円/m<sup>3</sup>

iii) 緩地形

$$C(L) = \begin{cases} 17.651L + 263000/L^2 + 227 & (L \leq 69) \\ 0.157L + 1485 & (69 \leq L) \end{cases} \quad (3-124)$$

ryn = 200 のとき,  $D = 11.9$  ( $L = 545$ ), 1657円/m<sup>3</sup>

iv) 平坦地形

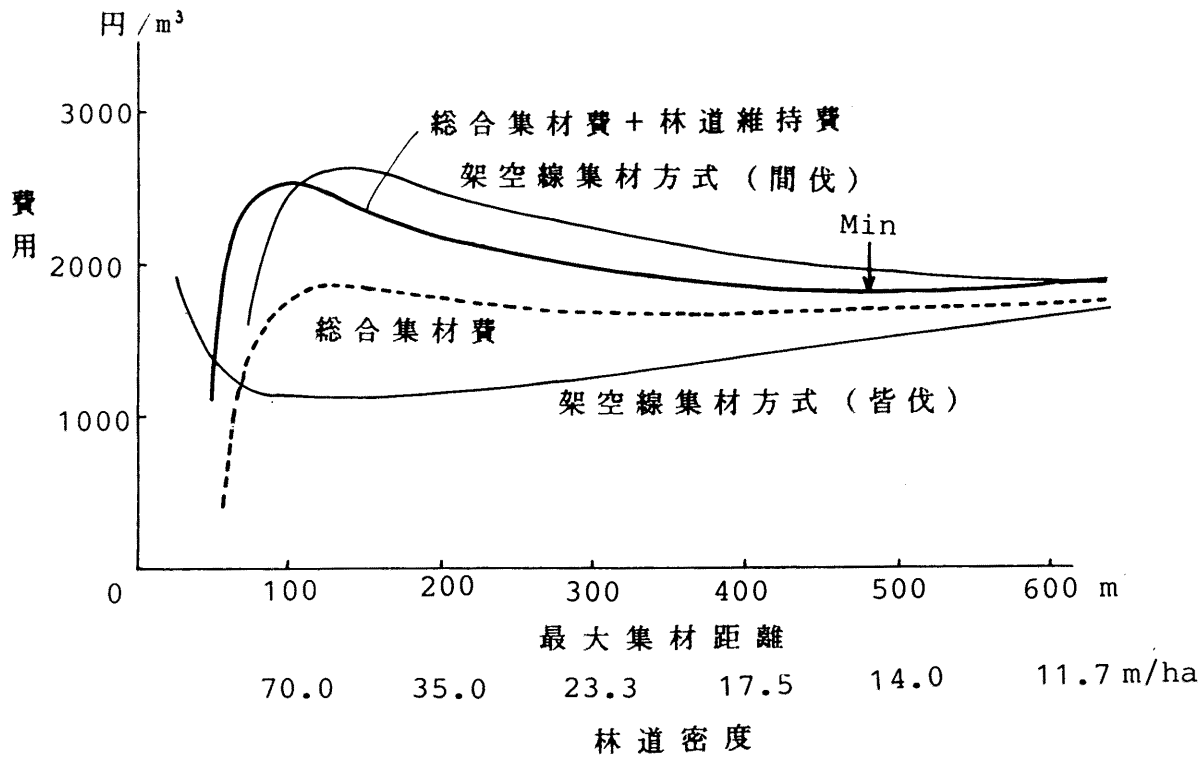
$$C(L) = 0.309L + 771 \quad (3-125)$$

ryn = 150 のとき,  $D = 19.3$  ( $L = 336$ ), 979円/m<sup>3</sup>

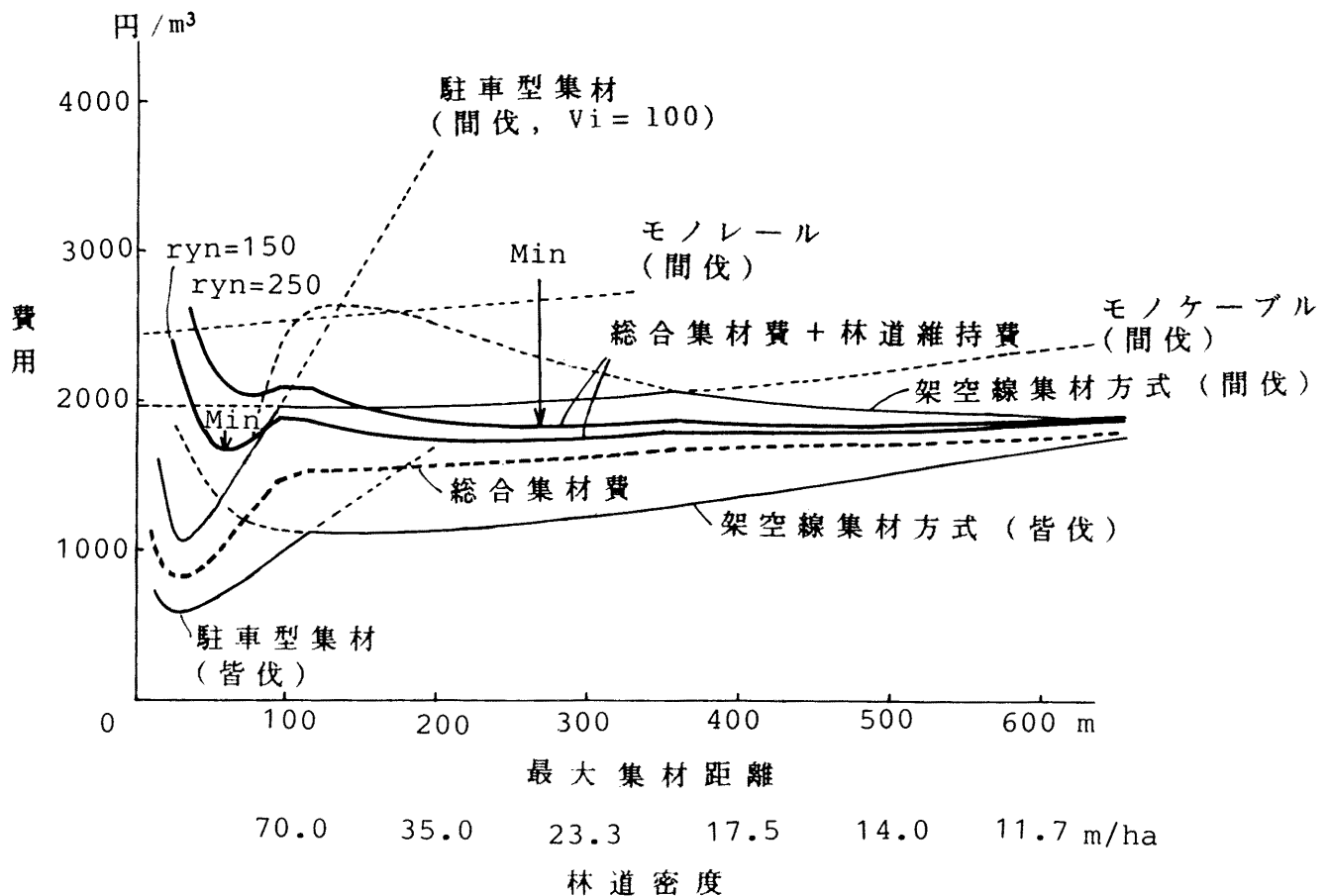
図 3-20 より, 皆伐作業も択伐作業も地形が急になるにつれて総合集材費が高くなっているが, 択伐作業は皆伐作業よりも集材費が高い。しかし択伐作業の集材費は傾きが小さいので, 飽和密度の計算値は皆伐作業よりも小さい。そのかわり, 飽和密度の許容範囲が非常に広いので, 実際には林地の状況に応じて柔軟に対処することができる。

また, とくに緩地形では, 飽和密度の他に車両集材のための専用作業路が高密にはいることになり, 作業路を主体とした林内路網が形成される。この場合, 林道は運材機能としての役割が高くなる。択伐作業の作業路密度は間伐作業に準じて求めることができる (V-3) 参照)。いま, (間伐回数) / (伐期齢) = 1 / (回帰年) と置換えることによって iii) の緩地形における間伐作業の作業路密度を援用することにすれば, 車両集材のための専用作業路密度は 10 ~ 20m/ha 程度となる。

急地形では, 飽和密度を 130m/ha 以上にして駐車型車両集材主体の集材方式ができないこともないが, 林道費用が非常に安くないと, 林道の過剰投資となるおそれがある。

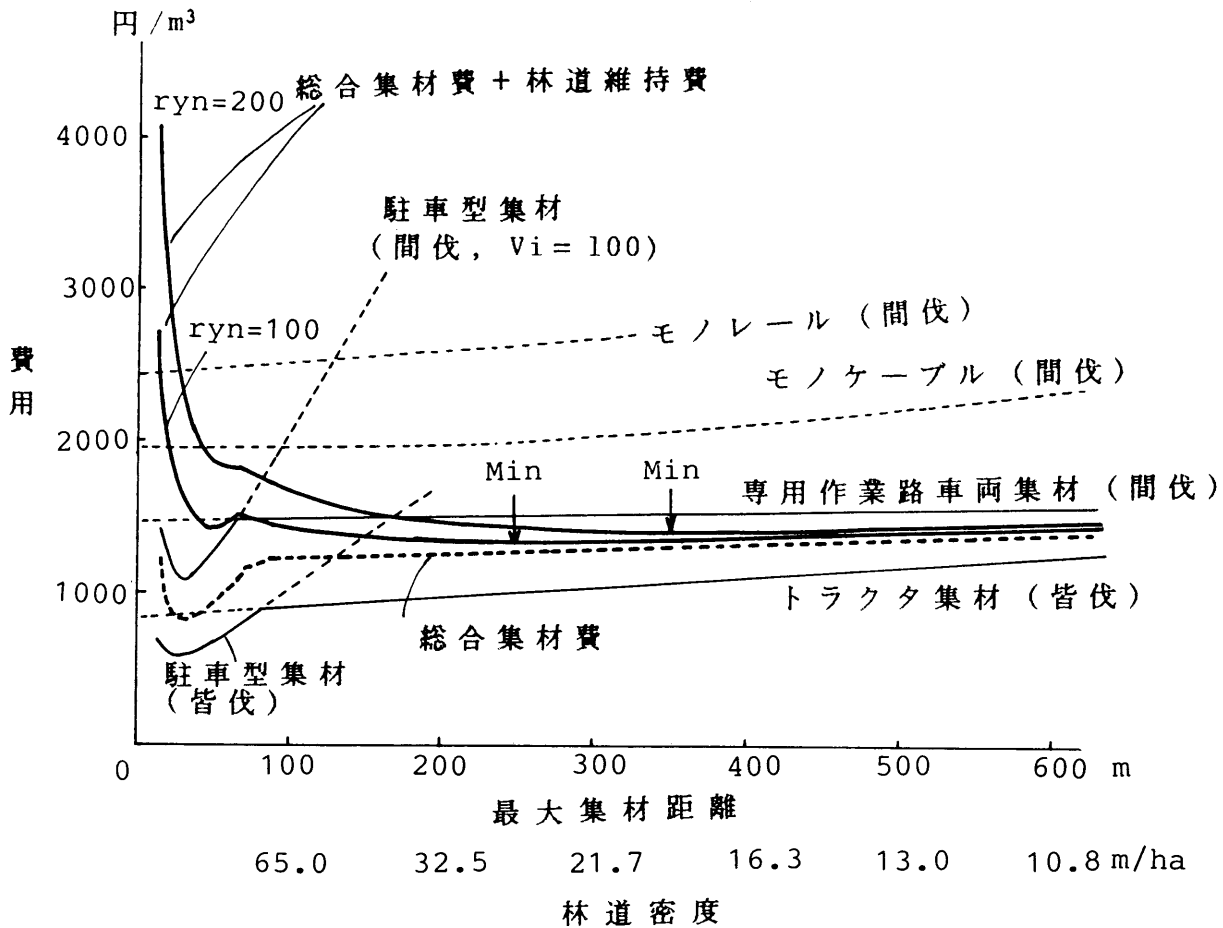


(a) 急峻地形における間伐，皆伐作業

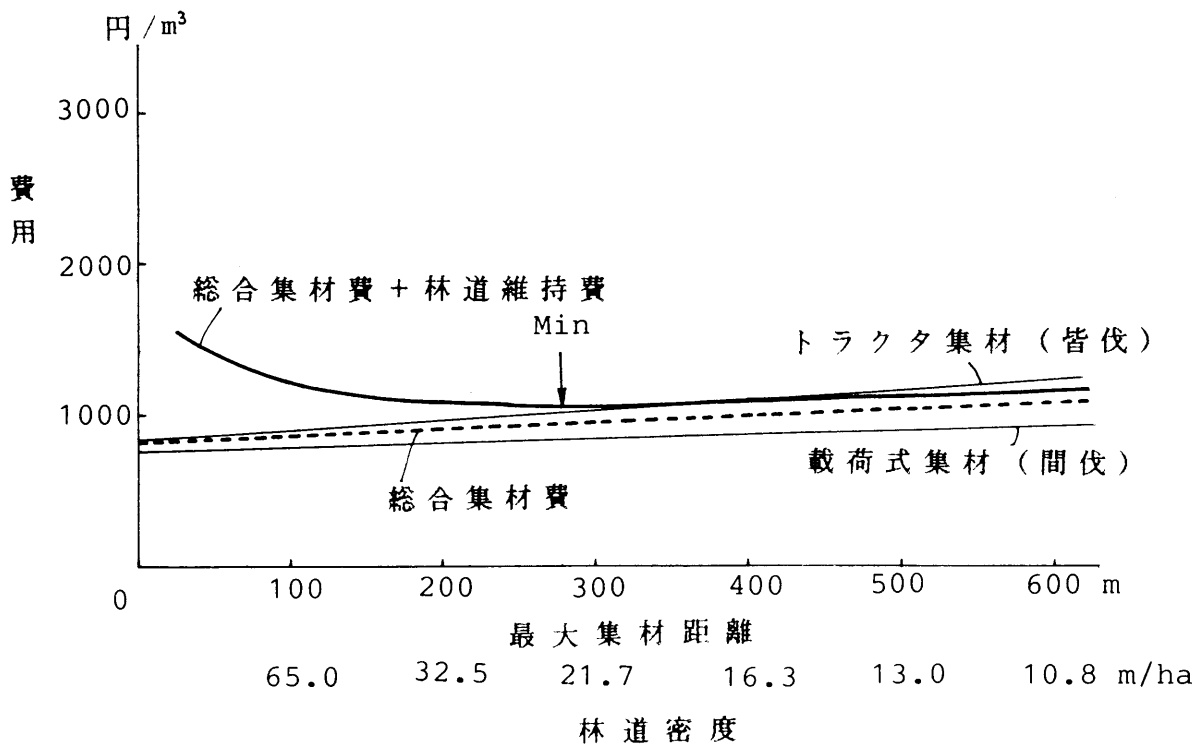


(b) 急地形における間伐，皆伐作業

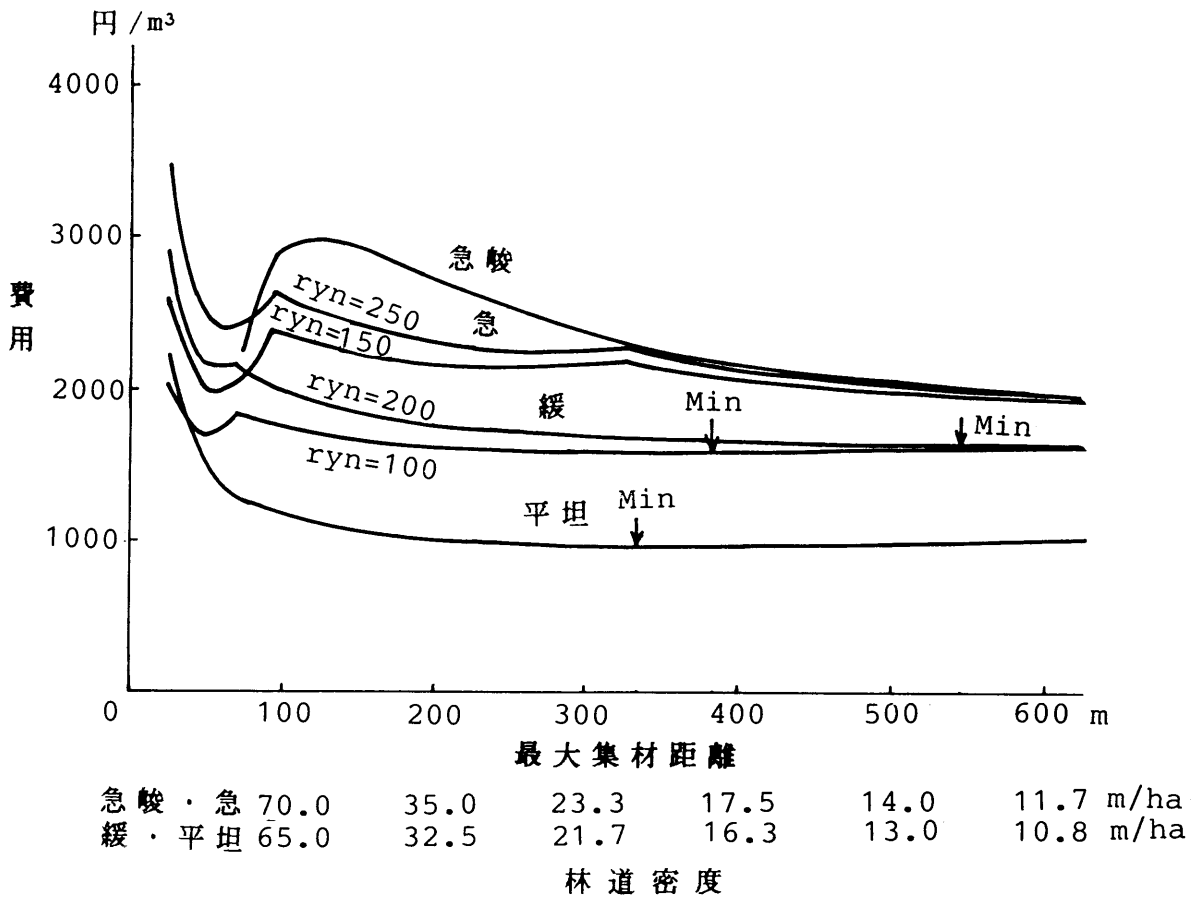




(c) 緩地形における間伐, 皆伐作業



(d) 平坦地形における間伐, 皆伐作業



(e) 択伐作業 (総合集材費 + 林道維持費)

### 3) 考察

試算の結果得られた飽和密度および集材方式を、従来の成果(14)と比較すると表3-8のようになる。急地形では架空線集材方式を中心に駐車型車両集材方式、モノケーブル方式等の多様な集材方式が使用されるので、架空線集材方式を前提とする従来の林道密度よりも高くなる。林道維持費が安ければ、飽和密度による駐車型車両集材を導入することも可能であり、その場合には前節の結果によれば飽和密度は100~120m/haとなる。平坦地では、車両系集材方式が集材距離にそれほど影響されないもので、トラック集材を前提とした従来の林道密度よりも少なめになっている。しかしいずれの地形においても、飽和密度は、概して従来の常識的な線にのっているものとみなすことができる。飽和密度による林道とはいっても集材機能や運材機能といった林道としての最低の機能は満たしているものであり、表2-7の結果より、普通林道の採択基準が本論の規格4程度であるので、表3-8の従来の林道密度が過剰規格でない普通林道に基づいていることを考えると、飽和密度の数値そのものに関しては従来の成果に合致しているものと考えることができる。

駐車型車両集材方式を除いて、ほとんどの集材方式は集材距離Lに対する集材費の増加は緩慢であり、間伐作業も皆伐作業も、集材距離に応じて集材費最小となる集材方式を選択していくので、間伐作業と皆伐作業の総合集材費は、いずれの地形の場合にもLがだいたい100m以上、密度にして65~70m/ha以下になると、集材距離に対してほとんど変化しなくなる。したがって、高密な林道を必要とする駐車型車両集材方式を中心に計画する場合を除いては、飽和密度Dの許容範囲が広い。

この点に関しては、集材費が集材距離に比例し、これに応じた最適の密度を正確に求めなければならないという従来の考え方を大きく変えるものであり、今後、算定された路網密度にとらわれることなく、林地の状況に応じて幅の広い林道網計画を行うことができることを意味

するものである。なお、このことは集材距離に応じて複数の集材方式を組み合わせる場合に適合することであって、集材方式が単一で、集材距離に対して集材費用がかかる場合には路網密度の許容範囲は狭くなり、それだけ密度算定の精度を要求される。いうまでもなく、集材距離に応じて集材方式を選択した方が集材費を安くすることができ、皆伐作業を主体とした路網よりも間伐作業も含めた総合集材費に基づく方が、合理的かつ高密に路網密度を高めることができる。なお、総合集材費の正当性については、V-1)で証明する。

なお、林道開設の償却費（円/年  $m$  または 円/ $m^3$ ）は、償却年数15年として(37)、林道維持管理費が開設費の1.7%とすれば、林道維持費の  $1/0.017 \cdot 15 = 3.9$  倍となる。したがって、これに維持費を加えると、林道の費用は(3-118)式に1例を示す  $R(L)$  の4.9倍となり、これによって算定される林道密度が飽和密度よりも小さくなることが予想される。実際、林道の費用に償却費を加えて、総合集材費に対して費用最小となる密度を試算してみると、もともと飽和密度が低い急峻地形では、 $5m/ha$  程度の減少ですむが、他の地形条件では密度が半分以下となってしまい、いくら飽和密度が林道費用に対して許容範囲が広いといっても、従来の成果よりも林道密度がかなり低くなってしまう。とくに急地形においては、駐車型車両集材を主体とした集材方式がほとんど困難となり、高度な機械化作業も望めなくなる。総合集材費が従来の皆伐作業を前提とした単一集材方式による集材費よりも安く、しかも集材距離に対してほとんど変化しないので、償却費を控除することによって、結果的には従来の林道密度と整合性を保っている。

本論のように集材方式を選択することによって、集材費用に対する集材距離の影響を小さくしていくと、あるいは集材距離にそれほど影響されない高能率な集材方式が開発されると、たとえば緩地形や平坦地でみられたように路網密度がそれほど高くなる。そうになると集材距離が長くなり、作業現場までの到達時間が長くなるお

それがある。幸いに飽和密度自体が高いので，最長300m程度ですむが，今後林業労働力の高齢化，減少化ともなれば，駐車型車両集材の導入の可能性を詳細に検討したり，飽和密度の許容範囲を拡張したりすることで対処することができる。

本章で得られた飽和密度による林道の規格については次章で検討することにする。

表 3-8 従来 の 林道 密度 と 飽和 密度 の 比較

地 形	従 来 の 林 道 密 度		飽 和 密 度			
	集 材 方 式	密 度 (m/ha)	集 材 方 式		密 度 (m/ha)	
			皆 伐 作 業	間 ・ 択 伐 作 業	皆 伐	択 伐
急 峻	長 距 離 架 線 集 材	5 ～ 15	架 空 線 集 材		15 前 後	10 前 後
急	中 距 離 架 線	10 ～ 20	駐 車 型 (大 型), 架 空 線 集 材	駐 車 型 (小 型), モ ノ ケ ー ブ ル, 架 空 線 集 材	25 前 後	10 前 後
			駐 車 型 車 両 集 材 *		ま た は 100 ～ 120	130 前 後
緩	ト ラ ク タ 集 材	20 ～ 30	駐 車 型 (大 型), ト ラ ク タ 集 材	駐 車 型 (小 型), モ ノ ケ ー ブ ル, 専 用 作 業 路 走 行 型	15 ～ 30 **	10 ～ 30 **
平 坦	ト ラ ッ ク 集 材	30 ～ 50	ト ラ ク タ 集 材	載 荷 式 車 両 集 材	15 ～ 30	15 ～ 30

注) \*: 林道維持費が安ければ実行可能。

\*\* : このほかに専用作業路が10～20m/ha必要。

#### IV. 林道網配置と林道の規格構造

##### 1. 年間木材通行量の算定

道路網の配置や通行量を分析する手法としてネットワーク理論があり，最短経路や最小費用経路の問題に應用されている(10)。林道網計画の分野でも，山元土場の合理的連結に関する研究がある(15)。

しかし，林道，とくに集材作業を主目的とする施業林道の場合は，木材通行量は道路沿に発生し，出発地（ソース）と目的地（シンク）を単に連結するだけの一般交通とは本質的に異なる。この点に関しては，河川等の水の流れにも類似している。

ここでは山岳林の林道網配置に関して，次の仮定を設けることによって，林道の年間木材通行量を算定することにする。

##### 〔仮定〕

1) 計画対象となる施業団地の出入口は1つとし，この出入口に向かって木材が林道上を集荷されてくるものとする。公道への集材は一応考えないものとし，施業団地内を公道が縦貫する場合は，この公道によって施業団地を分割してそれぞれ別個に考えるものとする。この場合，林道から公道への連絡部があらたな計画対象地域の出入口となる。公道が突込み型の場合や，林道から公道への連絡部が複数ある場合には，施業団地を適宜分割するものとする。

2) 林道網は均等配置され，木材出材量も林道に対して均等に配分されるものとする。

3) 路網配置形態は樹枝形とする。林内路網が高密になると，輸送効率の面から循環路網が形成されるが，循環路網は次節でのべる手法にしたがってこれを分断することによって，木材通行量分析の概念上は樹枝形とみなすことができる。

4) 路線の分岐点によって路線区間を区切ることによ

る。この区間内の上流と下流では厳密には木材通行量が異なるが、区間の林道規格は出口側となる下流に統一するものとし、ある区間の年間木材通行量は、上流の全区間の年間出材量に当該区間の年間出材量を加えたものとする。なお区間が極端に長い場合には、適宜区間を分割してそれぞれの規格を考えるものとする。

いま、施業団地の1ha当り年間平均出材量を $V_y$  ( $\text{m}^3/\text{ha年}$ )、飽和林道密度を $D$  ( $\text{m/ha}$ ) とすると、林道1m当り年間出材量 $V_f$  ( $\text{m}^3/\text{m年}$ ) は、仮定2)より、

$$V_f = V_y / D \quad (4-1)$$

で与えられる。

各区間の区間長を $L_i$  (m) とすると、ある区間の年間木材通行量 $V_r$  ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) は、

$$V_r = V_f \cdot \sum L_i \quad (4-2)$$

ただし、

$\sum L_i$ : 当該区間を含めて当該区間より上流の区間長合計

となる。

この $V_r$ を(2-8)式に適用することによって、各区間 $L_i$ の林道規格が与えられる。

ここで、最下流すなわち施業団地の出口における年間木材通行量 $V_r$ は、仮定1)より、

$$V_r = V_f \cdot A_r \cdot D \quad (4-3)$$

ただし、

$A_r$ : 施業団地面積 (ha)

$A_r \cdot D = \sum L_i$  (全林道延長合計, m)

であり、(4-1)式より $V_r$ は施業団地の年間出材量 $V_y \cdot A_r$  ( $\text{m}^3/\text{年}$ ) に等しい。

したがって、 $A_r$ または $V_y$ が大きいほど、当然のことながら下流に高規格の林道が必要となり、 $\sum L_i$ が小さい上流の段階では、木材通行量が少ないために、低規格の林道で十分である。

(4-2)式の $\sum L_i$ は、施業団地の形状や林道網配置によって異なる。例えば図4-1に示すように、(a)の場合に



は、奥の方から順次緩やかに高規格化されてくるが、(b)の場合になると木材通行量が集中するため、いきなり高規格の林道が必要となることになる。

なお区間長  $L_i$  を均等とし、このときの区間長を  $L_a$  とすれば、施業団地内の区間数  $N$  は、

$$N = V_r / V_f \cdot L_a \quad (4-4)$$

で与えられる。このとき林道の分岐点数は、すべて1分岐のとき、 $(N-1)/2$  となり、2分岐が  $N'$  個あれば、 $(N-1-N')/2$  となる。3分岐の場合は、1箇所につき  $N' = 2$  とする。また最上流となる末端区間数は、それぞれ  $(N+1)/2$ 、 $(N+N'+1)/2$  となる。循環路網の場合も、次節で述べる方法にしたがって分断すれば、分岐点数の数え方は樹枝形路網の場合と同様である。

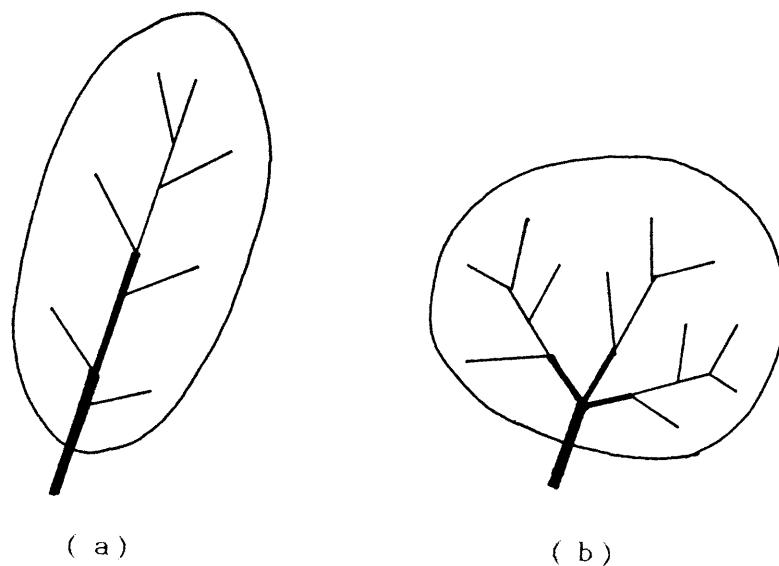


図 4-1  $\Sigma L_i$  の型

## 2. 循環路網の評価

### 1) 循環路の木材通行量

林内路網が高密になると循環路が形成され，さらには循環路が複数結合して，複合循環路網が形成される。

循環路網があれば，施業団地内の離れた2地点間を移動するのに無駄な戻りや迂回をしなくてすむことになり，とくに運材作業においては，往路をもどるよりも循環路を1周して施業団地の出口方向に向かった方が有利な場合がある。また，木材生産のみならず，森林管理上も極めて機能的である。

ここでは循環路の木材通行量を，樹枝状路網に準じて算定するための方法を求めることにする。

まず循環路を，勾配，路面の状況等に応じて，均質な $n$ 区間に分割し，各区間長を $l_i$  (m) とし，反時計回りに添字を $1, 2, 3, \dots, n$ とする (図4-2)。

施業団地の出入口に近い方の分岐点から運材トラックがこの循環路に出入りするが，その際右回りと左回りの2方向がある。この両方向において，各区間の空車時走行費用 (円/m) をそれぞれ $u'_1, u'_2, \dots, u'_n$ および $u''_n, u''_{n-1}, \dots, u''_1$ とする。ここで $'$ は反時計回りを， $''$ は時計回りを意味する。

このとき，次式がなりたつ $l_k$ をみつけることにより，空車で木材積荷点に到着するのに，両方向の走行費用がつりあう地点 $K$ が求まる (図4-2)。

$$\begin{aligned} u'_1 \cdot l_1 + u'_2 \cdot l_2 + \dots + u'_k \cdot l_k \\ = u''_n \cdot l_n + u''_{n-1} \cdot l_{n-1} + \dots + u''_{k+1} \cdot l_{k+1} \end{aligned} \quad (4-5)$$

同様にして， $l_i$ における実車時の走行費用 (円/m) を両方向それぞれ $w'_1, w'_2, \dots, w'_n$ および $w''_n, w''_{n-1}, \dots, w''_1$ とし，次式がなりたつ $l_m$ をみつけることにより，実車運材時において両方向の走行費用がつりあう地点 $M$ が求まる (図4-2)。

$$\begin{aligned} w'_1 \cdot l_1 + w'_2 \cdot l_2 + \dots + w'_m \cdot l_m \\ = w''_n \cdot l_n + w''_{n-1} \cdot l_{n-1} + \dots + w''_{m+1} \cdot l_{m+1} \end{aligned} \quad (4-6)$$

$\sum_{i=1}^k l_i$ と $\sum_{i=1}^m l_i$ の大小によって、運材トラックの走行経路は図4-3のようになる。

図4-3(a)において、OPMにはOPMのための空車・実車の通行と、MKのための空車の通行があり、OKにはOKのための空車・実車の通行と、MKのための実車の通行がある。MKには、MKのための一方通行があるだけで、Mでは空車のみ、Kでは実車のみ通行があるだけである。図4-3(b)も同様にして考えることができ、出材地点によって、往路を戻った方が有利な区間と、往路を戻らずにそのまま1周して出口に向かった方が有利な区間とが存在する。

図4-3(a)において、O点におけるOKおよびOPMに対する年間通行台数 $V_{rok}$ 、 $V_{rom}$ (台/年)(空車も含む)は、平均積載量 $T$ t車使用の場合、(4-2)式より、

$$V_{rok} = 2Vf \cdot \sum_{i=1}^k l_i / T + Vf \cdot \sum_{i=k+1}^m l_i / T \quad (4-7)$$

$$V_{rom} = 2Vf \cdot \sum_{i=m+1}^n l_i / T + Vf \cdot \sum_{i=k+1}^m l_i / T \quad (4-8)$$

となる。またMKの年間通行台数 $V_{rmk}$ (台/年)は、

$$V_{rmk} = Vf \cdot \sum_{i=k+1}^m l_i / T \quad (4-9)$$

で与えられる。図4-3(b)については、OM、OPKおよびMKに対する年間通行台数 $V_{rom}$ 、 $V_{rok}$ 、 $V_{rmk}$ (台/年)は、同様にして上式の $m$ と $k$ を入換えればよい。

木材通行量による循環路の分断を考える場合、図4-3から、OKおよびOMは両端に分かれることになるので、MK内で循環路の分断が行われることになる。そこで次にMKの分断を行うが、その前に走行費用 $u$ 、 $w$ (円/km)について考察してみる。

走行費用 $u$ 、 $w$ は、例えば筆者らの林道における燃料消費実験によれば(29)、表4-1で与えられる。

実験は4t車によるので、1時間当り運転経費・車両損料費は表2-3から3070円とし、

$$u, w = 3070/v + f \cdot 3600 \cdot 140/v \cdot 15 \cdot 1000 \quad (4-10)$$

ただし、

$v$ : 走行速度 (m/時)

$f$ : 15秒当り燃料消費量 (cc/15秒)

燃量代: 140円/ℓ

から  $u$ ,  $w$  を求めた。

表 4-1 から次のことがいえる。

1) 路面勾配が大きくなるにつれて，上り下りとも  $u$ ,  $w$  が大きくなる。

2) 同程度の路面勾配では，舗装道路の方が  $u$ ,  $w$  が小さい。

3) 実車上りは，実車下りに比べて走行費用が 2 倍になり，当然のことながら上りのときは実車よりも空車の方が有利である。したがって実車で循環路をまわろうとする場合には，上り区間が大きな障害になる。

4) 空車上り／実車下りの比は，未舗装道路で 0.89～1.07，舗装道路で 0.83～1.31 で大体 1 に近い。これは運転経費や車両損料の割合が大きいためである。ただし，燃料代のみについてみると，勾配が 13% ぐらいになると，50～70 円/km の差がでている。

したがって，3) の結果から，ここでは循環路の通行は原則として空車上りと実車下りとし，実車上りは考えないことにする。この場合，循環路は谷沿の幹線道路から派生していくことになる。そして 4) の結果より，空車上りと実車下りの走行費用は，林道網計画の精度の観点からもほぼ同一とし，

$$u_i = w_i \quad (4-11)$$

とする。

さて，KM において，両端点 K, M の通行台数は同じであり，実車下りも空車上りも走行費用が同じとすれば，KM を等分してそれぞれ OK, OPM に帰属させることができる。すなわち，循環路の分断は，KM の中点とすればよいことになる。

なお，図 4-3 において MK で循環路を分断したのち，OP の通行量には，P 点より上流の通行量も加算しなければならない。また OP が公道であっても，循環路の分断は林道の場合と全く同様にして行うことができる。

森林管理用車両の走行費用は，運材作業のように運行経路を特定できるものではなく，施業団地全域に対する一般管理費とするのが妥当であるので，循環路の分断に

際しては考慮しないことにする。また，森林作業のための通勤輸送費は，運材費の1割前後であり， $u$ ， $w$ に加算することができるが（II-4-2参照），ここでは林道網計画の精度上，加算しても（4-11）式が成り立つものとする。

表 4-1 林道走行費用  $u$ ,  $w$  (円/km) の実験結果

		未舗装 1)			舗装 2)		
勾配 (%)		2.5	10.5	13.2	1.8	11.7	12.2
空車上り $u$	燃料消費						
	$f$ (cc/15秒)	29.89	66.78	47.08	28.03	66.87	63.03
	走行速度						
	$v$ (km/時)	26.2	28.0	14.4	41.6	27.6	21.7
	走行費用						
	$u$ (円/km)	156	190	323	96	193	239
実車下り $w$	燃料消費						
	$f$ (cc/15秒)	8.5	1.11	7.0	28.7	1.45	0.66
	走行速度						
	$v$ (km/時)	23.0	14.3	10.4	35.0	21.2	16.0
	走行費用						
	$w$ (円/km)	146	217	318	115	147	193
実車上り $w$	燃料消費						
	$f$ (cc/15秒)	38.04	110.6	70.56	34.45	111.8	105.1
	走行速度						
	$v$ (km/時)	17.4	15.9	9.5	42.1	17.4	14.6
	走行費用						
	$w$ (円/km)	250	427	573	100	392	452

注 1) 東京大学秩父演習林入川林道

2) 秩父郡大滝村水資源開発公団管理道路

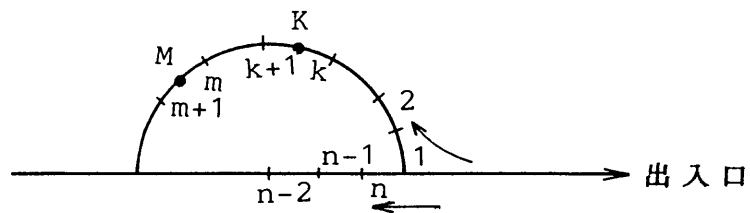
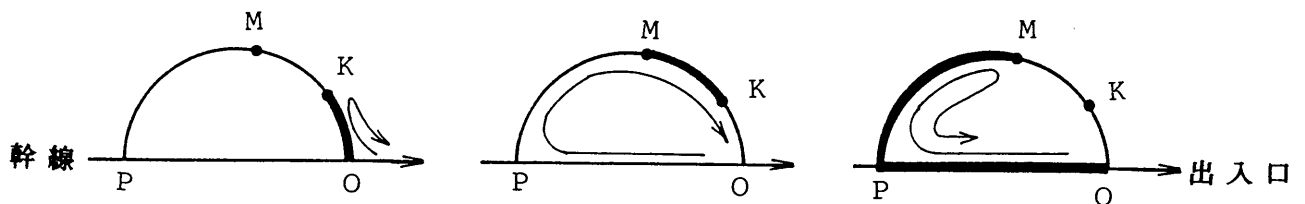
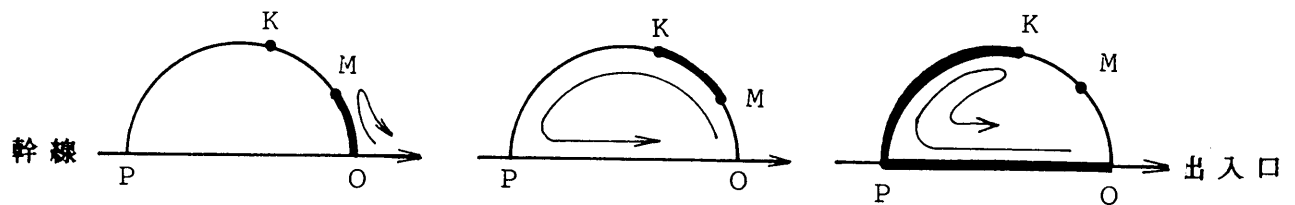


図 4-2 循環路において走行費用がつりあう地点



$$(a) \sum_{i=1}^k L_i < \sum_{i=1}^m L_i$$



$$(b) \sum_{i=1}^k L_i > \sum_{i=1}^m L_i$$

図 4-3 運材トラックの走行経路

—— 出材地点

## 2) 複合循環路網

前節では循環路の分断方法を求めたが，実際には循環路がいくつか結合した複合循環路網が形成されることが多い。

本論では，以下にのべる手順にしたがって複合循環路網の分解を行い，複合循環路網を樹枝状路網としてとらえることにより，複合循環路網の木材通行量分析を行うことにする。

手順1：ある循環路に接続・流入する経路は，当該循環路の分断にとっては，無視することができる（図4-4）。

手順2：複合循環路網は幹線道路から派生しているものとし，この幹線の施業団地出入口側に最も近い，最小の循環路から，前節の方法にしたがって循環路を順次分断していく（図4-5）。なぜならば，出入口側に最も近い最小の循環路に対して，手順1により，周囲の循環路は流入する経路とみなすことができるからである。なお幹線道路が循環路であるときは，あらかじめこの幹線道路の循環路を分断しておく。

なお，最初に出入口側から遠い循環路で分断すると，例えば図4-6のような不都合が生じる。すなわち循環路1に対して，イとロの2経路があり，イとロとでは分断点が変わることになる。そして，仮にロの経路を前提として分断点を図中A点に設けても，次に循環路2に対してB点で分断されると，再び循環路1についてイの経路で検討しなおさなければならず，結局最初に循環路1を検討したことが無駄となる。

また，最初に大きい循環路3について分断すると，例えばB点で分断されたときに，次に循環路1についてA点で分断されると，A点は循環路3に対する分断点にもなるので，最初の分断点B点が無意味になる。また，循環路3について最初にA点で分断されることは，最初に循環路1を分断するときを生じる前記の不都合と同じになる。なお外側の大きな循環路の分断については，次の手順3を必要とする。



手順3： 外側の大きな循環路の分断点が，それ以前に行われた手順2による小さな循環路の分断点よりも，出入口側に対して内側に生じることが原則としてないものとする。

例えば図4-7において，循環路1でA点で分断され，外側の循環路2ではB点で分断されると，図中太線区間の出材はP点を経由することになり，循環路1の分断点による時の車両の流れと矛盾することになる。なお循環路2がC点で分断されるならば，このような不都合は生じない。通常的路網配置でこのような不都合が生じるのはまれであると思われるが，ショートパスとなるべき $\overline{QR}$ の迂回率が極端に大きかったり， $\overline{PCR}$ と $\overline{QAR}$ が接近している場合には起こりうる。いずれにしてもこのような路網配置は効率的な配置ではなく，手順3の適用箇所を調べることによって，このように複合循環路網の評価・検討を行うこともできる。

以上の手続によって分解された複合循環路網は，樹枝状路網の場合に準じて，通行量分析を行うことができる。

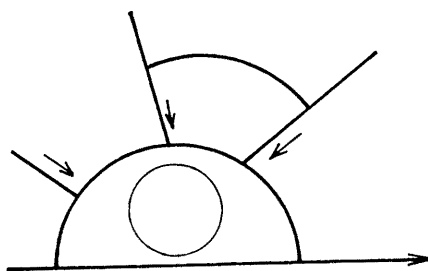


図4-4 手順1の例

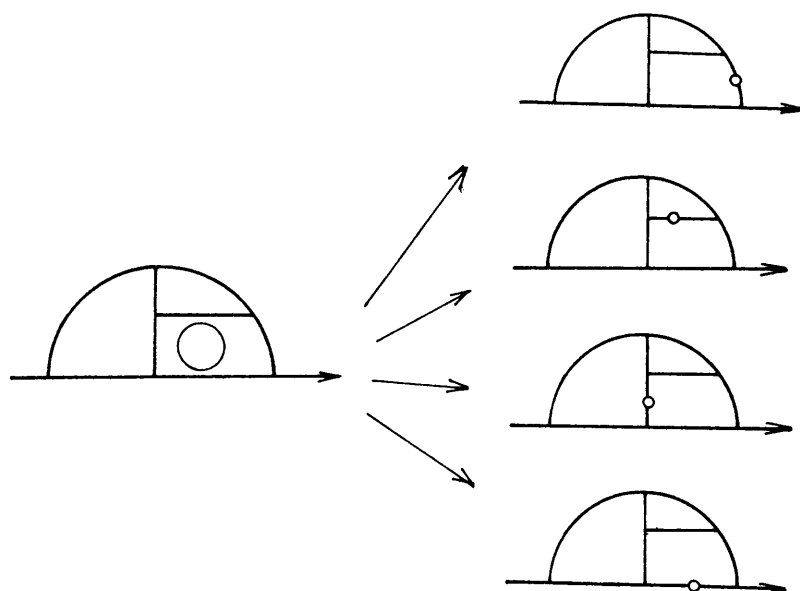


図 4-5 手順 2 の例

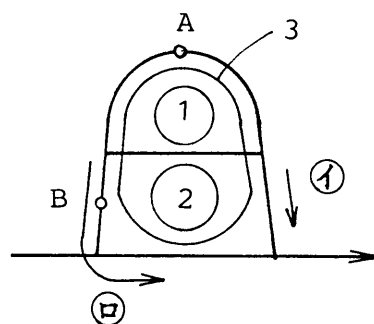


図 4-6 手順 2 に対する不都合例

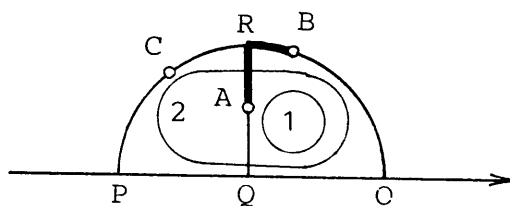


図 4-7 手順 3 の説明

### 3. 適用

#### 1) 資料

わが国において林内路網が比較的発達している施業団地を選び、(4-2)式およびIV-2の循環路網の分断法則を適用して、循環路網の年間木材通行量と林道規格を検討することにする。

ここでは対象地として、浜松営林署大代国有林、岐阜県I社社有林、愛知県K社社有林、東京大学北海道演習林を選定することにする。各資料の対象面積はそれぞれ803ha, 940ha, 211ha, 約5000haである。規模としては、施業団地の各層を代表するものと考えられる。

各資料の路網配置を図4-8に示す。

K社社有林は対象面積が他に比べて小さく、小谷沿の樹枝状路網であるが、その他は循環路網が形成されている。とくにI社社有林は、山腹斜面に低規格の林道を平行に配置することによって、幹線林道を取り巻く形で複合循環路網を形成している。

東京大学北海道演習林は、緩傾斜で面積が大きいため、施業団地内への出入口が多数あり、幹線となる道路も一意的に定めることがむずかしい。施業団地への出入口が複数あり、均質な路網配置が施された平坦ないし緩斜地林では、木材通行量も概ね一様であると考えることができ、木材通行量分析は山岳林林道に比べて重要な作業ではなくなり、むしろ均等配置を念頭に、幾何学的にも納得のいく配置を行うことの方が重要である。また本論の木材通行量分析の考え方は山岳林を前提としているため、このようなケースはIV-1の仮定1)に反し、(4-2)式の適用は困難である。したがって北海道演習林は木材通行量分析の対象からは一応はずすことにする。なお図4-8(d)には作業道が記されていないが、平坦ないし緩斜地林であれば、作業道は林道網の網目内に自由に配置することができる。

分析に際しては、木材通行量分析を主目的とするため、

資料の現行路網の配置，密度が林道費用，集材費用に応じて適切であり，高密度であることからIII-6の飽和密度の許容範囲内に含まれているものと仮定することにする。

大代国有林，K社社有林，I社社有林の林道密度と平均集材距離は，表4-2のようになる。表4-2より，林道密度と集材距離の換算式として， $\eta = 0.3 \sim 0.4$ として，(3-112)式の精度が高いことが確認される。

ここで平均集材距離  $S_m$  (m) は，堀ら(8)の式を用いて，

$$S_m = S_e - \int_0^{S_e} g(s) ds \quad (4-12)$$

ただし，

$S_e$ ：最大集材距離 (m)

$$g(s) = F(s)/A \quad (4-13)$$

$g(s)$ ：累加面積比

$F(s)$ ：集材距離が  $s$  より近い地域の面積

$A$ ：対象地域面積

より求めた。

資料の  $g(s)$  は図4-9のようになり，対象面積が大きく，山腹に林道を平行に入れているI社社有林が，曲線の立ち上がりが大きく，高密かつ効率的に林道を入れていることがわかる。

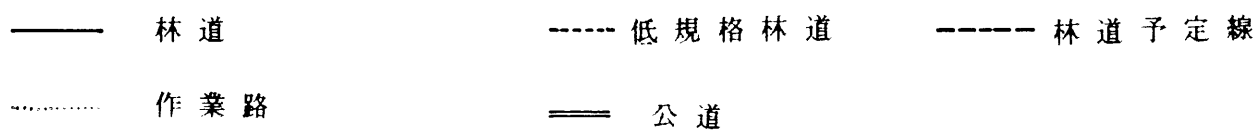
表 4-2 資料の林道密度と集材距離

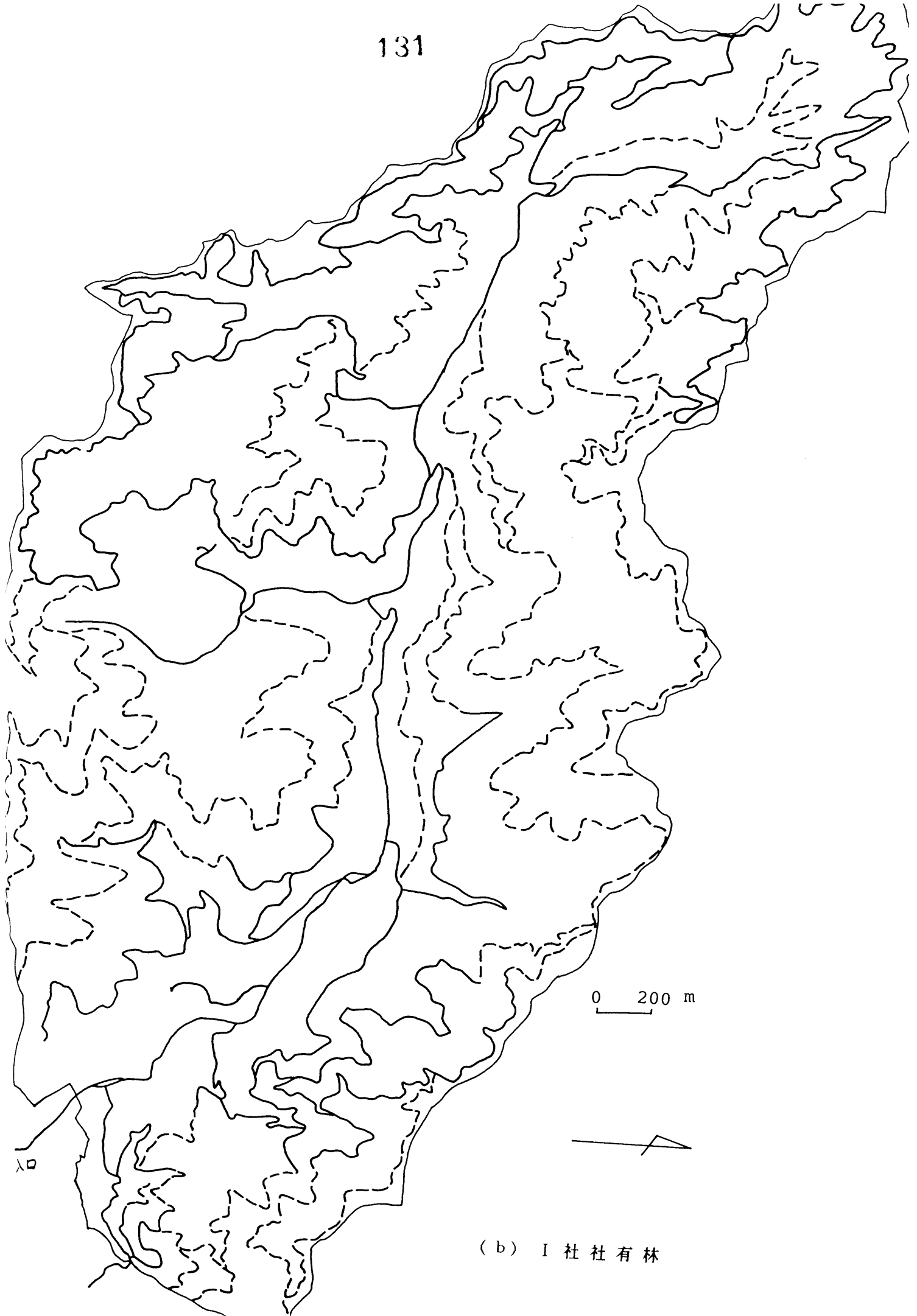
	大代国有林	K社社有林	I社社有林
対象面積 A (ha)	802.5	210.9	939.7
林道密度 d (m/ha)	57.5	23.8	91.6
平均集材距離 Sm (m)			
実測	85.7	146.5	34.5
(3-110)式	43.4	102.9	27.3
(3-112)式 $\eta = 0.3$	56.4	132.0	35.4
$\eta = 0.4$	60.8	141.5	38.2
$\eta = 0.8$	88.4	—	—
(3-115)式による			
推定伐区面積 S (ha)	0.6	3.2	0.2



(a) 大代国有林

図 4-8 資料の路網配置



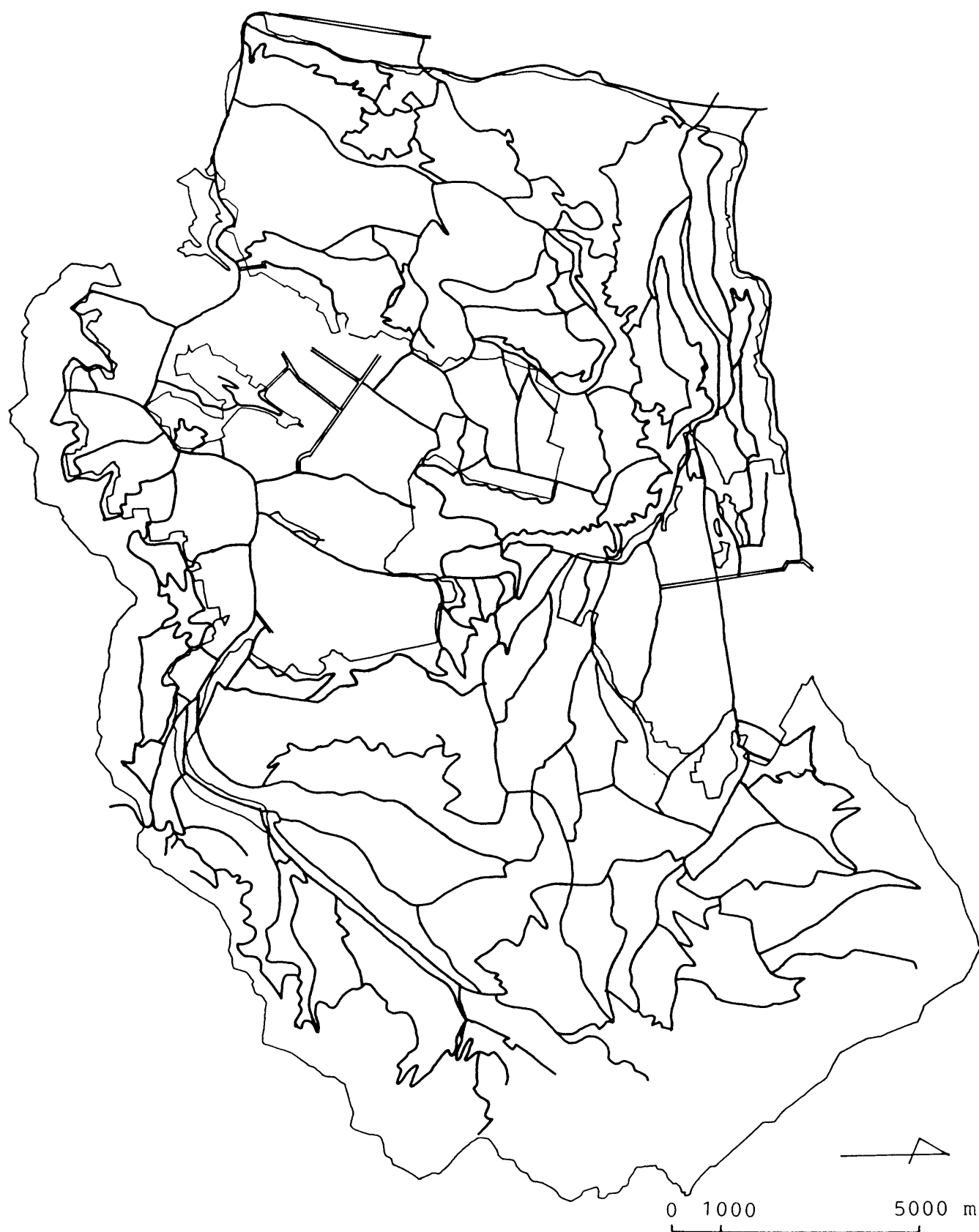


(b) I 社 社 有 林



(c) K 社社有林





(d) 東京大学北海道演習林

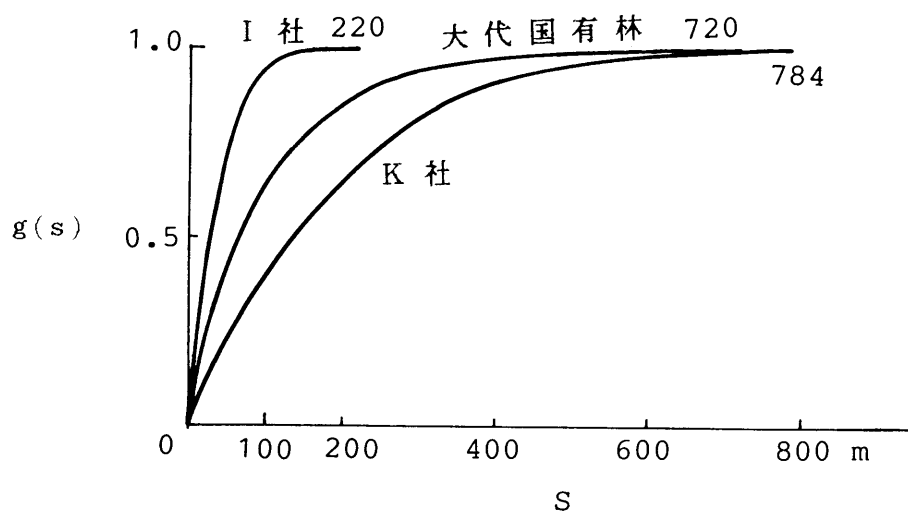


図 4-9 資料の  $g(s)$

## 2) 結果と考察

資料の路網に IV-1, 2 の木材通行量の算定手法を適用した結果, 図 4-10 の模式図が得られ, 複合循環路網も木材通行量の観点から樹枝状路網としてとらえることができる。

なお循環路網の分断手法を適用する場合, 厳密には通行区間ごとの  $u$ ,  $w$  を求めなければならないが, 林道規格構造の階層がラフであることから, 右回り, 左回りとも走行費用は同一として循環路を等分しても, 計画精度内に十分おさまるものとみなすことにする。

図中の数字は路線の分岐点および循環路の分断点によって分割される区間長を示し, ( ) 内は当該区間およびその上流の路線延長合計 ( $= \sum L_i$ ) を示す。したがって (4-2) 式より, この  $\sum L_i$  から当該区間の年間木材通行量  $V_r$  ( $\text{m}^3/\text{年 m}$ ) を容易に求めることができる。なお施業団地出入口の  $\sum L_i$  が施業団地の全路線延長合計に等しいことを確かめることによって,  $\sum L_i$  の検算をすることができる。

いま  $\text{ha}$  当り年間平均出材量  $V_y = 14, 20 \text{ m}^3/\text{年 ha}$  とすると, 資料の林道密度に対して林道  $1 \text{ m}$  当りの出材量  $V_f$  ( $\text{m}^3/\text{年 m}$ ) は表 4-3 のようになる。このときの年間木材通行量  $V_r$  に対する道路費用を仮に図 2-2(a) のモデルケースにしたがうとすれば, (4-2) 式より, 表 2-2 の林道規格をみたすのに必要な  $\sum L_i$  が与えられる (表 4-3)。図 4-10 には, この  $\sum L_i$  によって求められた規格 ( $V_y = 20$  とする) が記してある。

K 社社有林は対象面積が小さいため, 対象林地入口を除いてほとんど規格 4 であるが, 大代国有林では, 対象面積が大きいため, 規格 3 以上が全林道延長の 14% を占める。I 社社有林は対象面積が大代国有林と同じくらいであるが, 中央を貫ぬく幹線に両側から木材が流れこむため, 幹線は奥地から順次規格 3 ないし 1 となり, 幹線周囲の山腹林道は規格 4 で十分であることが確かめられる。

以上のように, 対象面積が大きいと, 出口に向かって  $\sum L_i$  が大きくなり, 出材量が集中するため, 幹線となる

路線ではそれだけ高規格を必要とする可能性が高くなる。

なお、仮に林道密度が半分になり、 $V_f$ 、 $V_r$ が2倍になっても、出口付近の $\Sigma L_i$ が半分になるので、幹線の規格はかわらない。ただし支線の規格は $V_f$ 、 $V_r$ が2倍になることにより高規格になることがあり、この場合全体としては規格が向上する。同様に林道密度が高くなると $V_f$ 、 $V_r$ は小さくなるが、 $\Sigma L_i$ が大きくなるので、出口付近の幹線の規格はかわらない。幹線林道の規格は、施業団地の全出材量によって与えられるものであり、施業団地出口付近においては、林道密度には影響されない。

木材通行量ないしは林道規格を林道密度および路網配置と関連づけてあらわすことができれば、路網計画上のぞましいが、 $V_r$ を与えるところの $\Sigma L_i$ が施業団地の形状によってさまざまであるので、厳密には個々の場合について検討しなければならない。しかし林道の規格階層自体がラフであるから、今後経験則によって規格のある程度の判断を得ることは可能である。

資料の路網配置において、幹線林道とみなしうる木材が順次流れこんでくる最長路線について、その木材通行量の成長過程をみると図4-11のようになる。図4-11は幹線林道への木材流入の集中度も意味している。

K社社有林は、施業団地形状が図4-1の典型的な(b)タイプであるため、出口付近で木材通行量が集中し、曲線の立ちあがりが大きく、出口付近に規格3の林道を必要とする。これに対してI社社有林は、図4-1の(a)タイプであるため、曲線の立ちあがり小さい。林道密度が高いため $V_f$ が小さいので、奥地の通行量が少ないが、幹線林道の両側から木材が効率よく流入してくるため、途中から立ちあがりが大きくなっている。大代国有林は、奥地は(a)タイプであるので、立ちあがり小さいが、出入口付近で3本の林道が合流するので、規格3からそのまま規格1に昇格している(図4-10(a))。I社と大代国有林の最終的な曲線の開きは、約100haの施業団地面積のちがいによるものである。

図4-11からも、対象林地の奥地からかなり出入口付近

まで規格4で十分であることが確かめられる。したがって飽和密度に基づく支線部分は、まずそのまま最低規格としてよいことが確認できる。

林道密度が高くなって分岐回数がふえると、施業団地出口までの運材距離はそれほど変化しないが、集材距離は短くなる。平均区間長 $\bar{\ell}$ 、区間数 $N$ のとき、林道密度 $d$ および平均集材距離 $S_m$  (m) は、

$$d = N \cdot \bar{\ell} / A$$

$$= (2m+1+N') \bar{\ell} / A \quad (4-14)$$

$$S_m = 2500(1+\eta)A / (2m+1+N') \bar{\ell} \quad (4-15)$$

ただし、

$m$ : 分岐回数

$N'$ : 2分岐の個所数

とあらわすことができる。このときha当り分岐回数は、

$$m/A = (d/\bar{\ell} - 1/A - N'/A) / 2 \quad (4-16)$$

となる。

資料の循環路網分断後の区間長およびIV-1の方法より求めた分岐回数は、表4-4、図4-12のようになる。

(4-14)式より、 $m$ は $A$ 、 $d$ に比例するが、表4-4にこの傾向があらわれており、I社では $m$ が大きい。(4-14)式は与えられた $d$ に対して施業団地の形状に応じて $m$ と $\bar{\ell}$ の組合せの中で路網配置を考える目安とすることもできる。(4-16)式は表4-4において容易に確かめることができる。

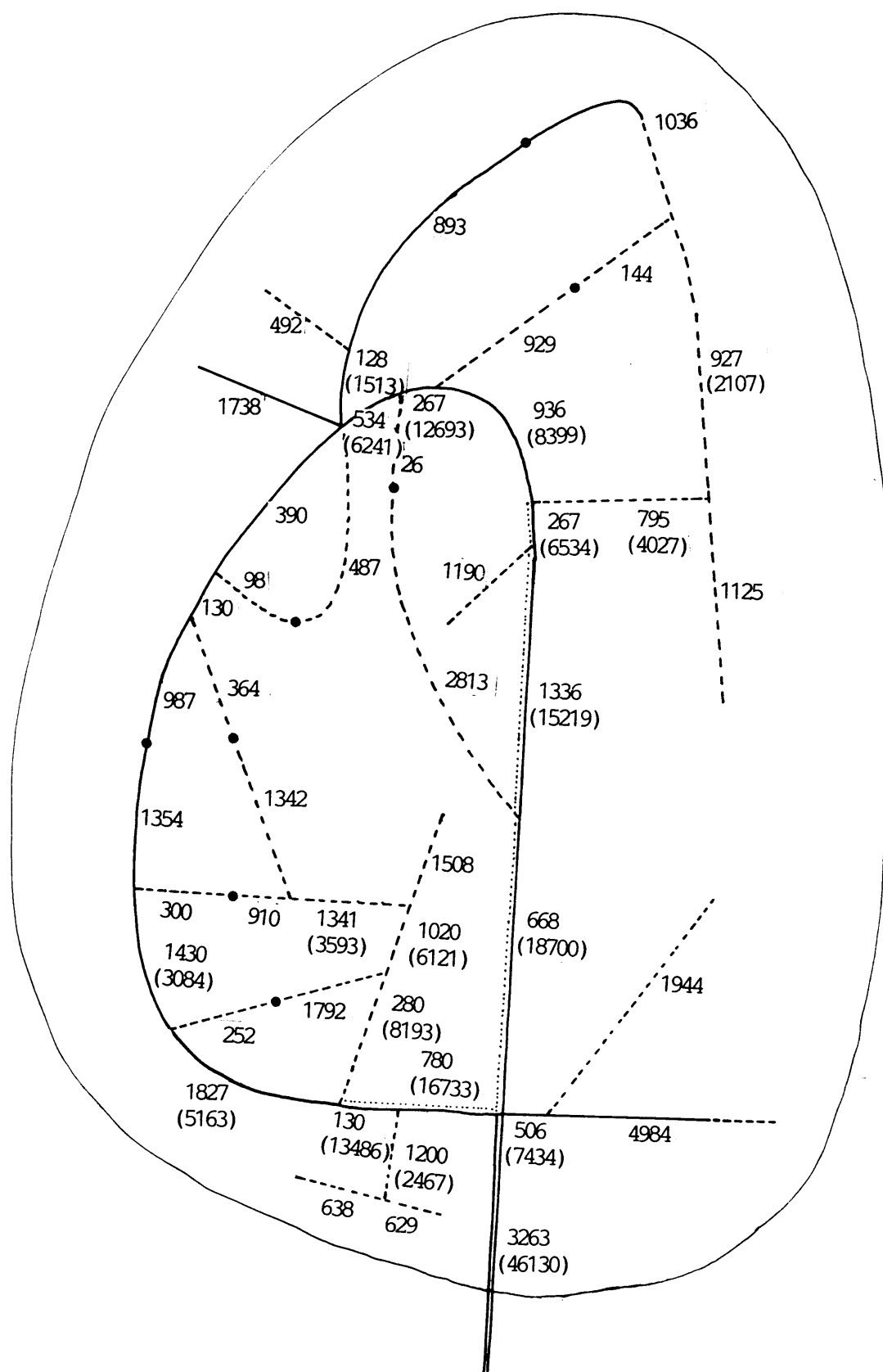
図4-12は分布の型にそれぞれ特徴がある。しかしある循環路内を1本の支線で短絡すると、支線両端の区間の区間長は双方とも半減するので、図4-12は流動的に推移する可能性がある。例えば大代国有林は1000m以上の区間が分割されて、I社の型に近づきうる。

表4-3 資料のVfと林道規格ごとの $\Sigma Li$ 

		大代 国有林		K社 社有林		I社 社有林	
ha当り 年間出材量							
Vy ( m <sup>3</sup> /年 ha)		14	20	14	20	14	20
林道密度 d ( m/ha)		57.5		23.8		91.6	
林道 lm当り 平均出							
材量 Vf ( m <sup>3</sup> /m)		0.243	0.348	0.588	0.840	0.153	0.218
林道規格		以上		以上		以上	
Σ Li ( m)	1	63,370	44,250	26,190	18,330	100,650	70,640
	2	45,270	31,610	18,710	13,100	71,900	50,460
	3	14,850	10,370	6,140	4,300	23,580	16,550
		以下		以下		以下	
	4	14,850	10,370	6,140	4,300	23,580	16,550

表4-4 資料の平均区間長と分岐回数

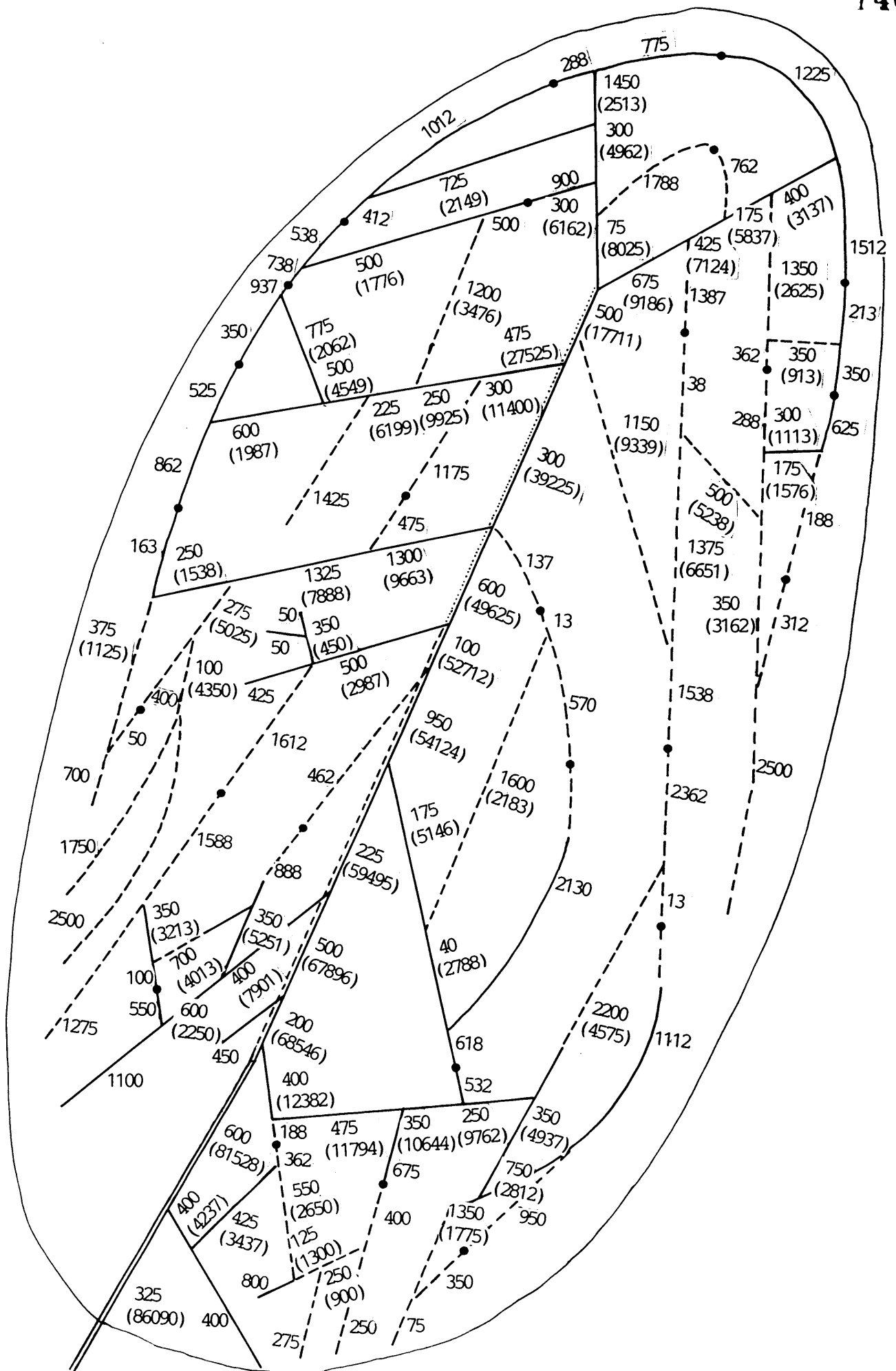
	大代国有林	K社社有林	I社社有林
対象面積A (ha)	802.5	210.9	939.7
林道密度d (m/ha)	57.5	23.8	91.6
平均集材距離Sm (m)	85.7	146.5	34.5
平均区間長 $\bar{l}$ (m)	1003	295	647
分岐回数m	21	8	65
ha当り分岐回数m/A	0.026	0.038	0.069



(a) 大代国有林

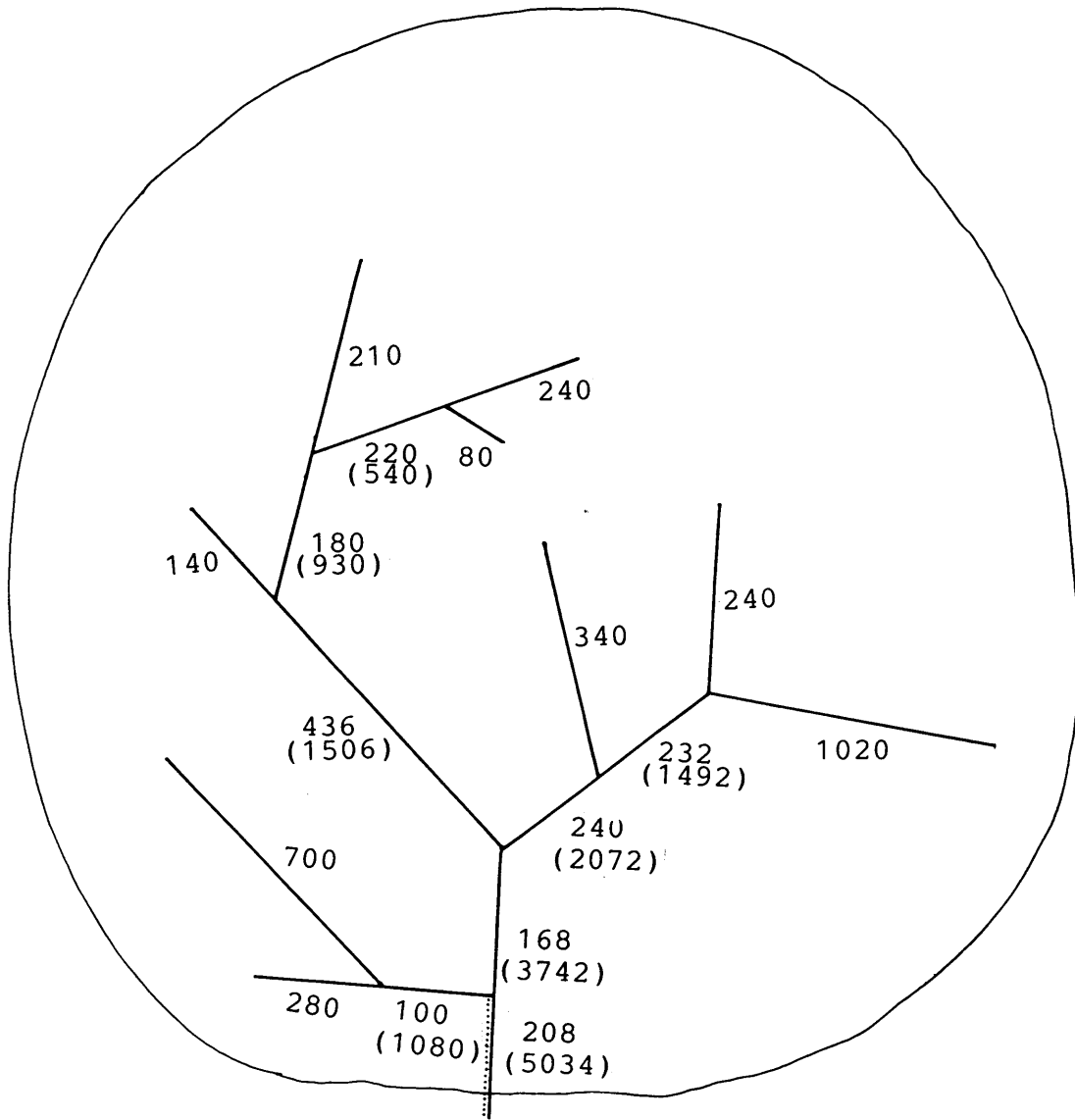
図 4-10 資料の路網模式図

- 林道 (規格 4) ——— 低規格林道 ——— 林道予定線  
 • 循環路の分断点      ..... 規格 3      - · - 規格 2      == 規格 1



(b) I 社社有林





(c) K 社 社 有 林

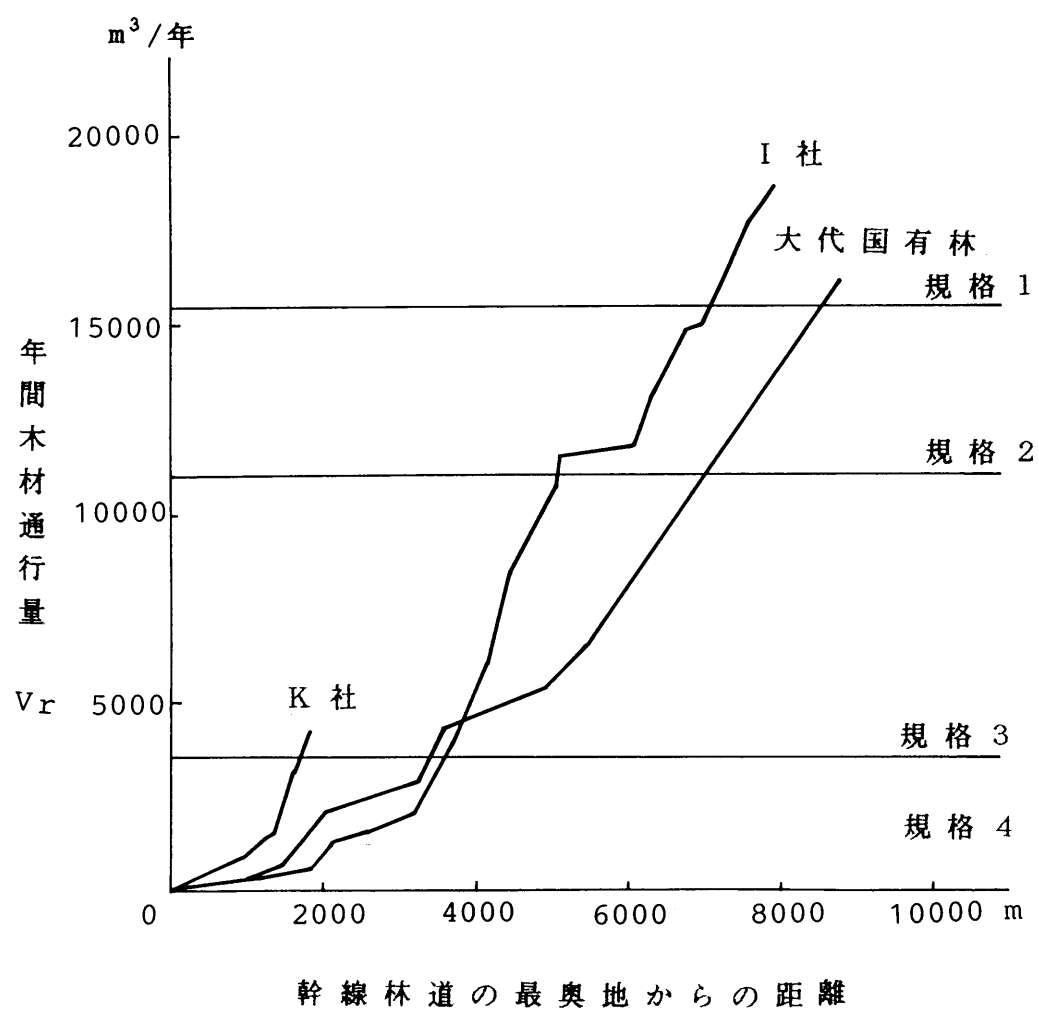


図 4-11 幹線林道の木材通行量の成長過程

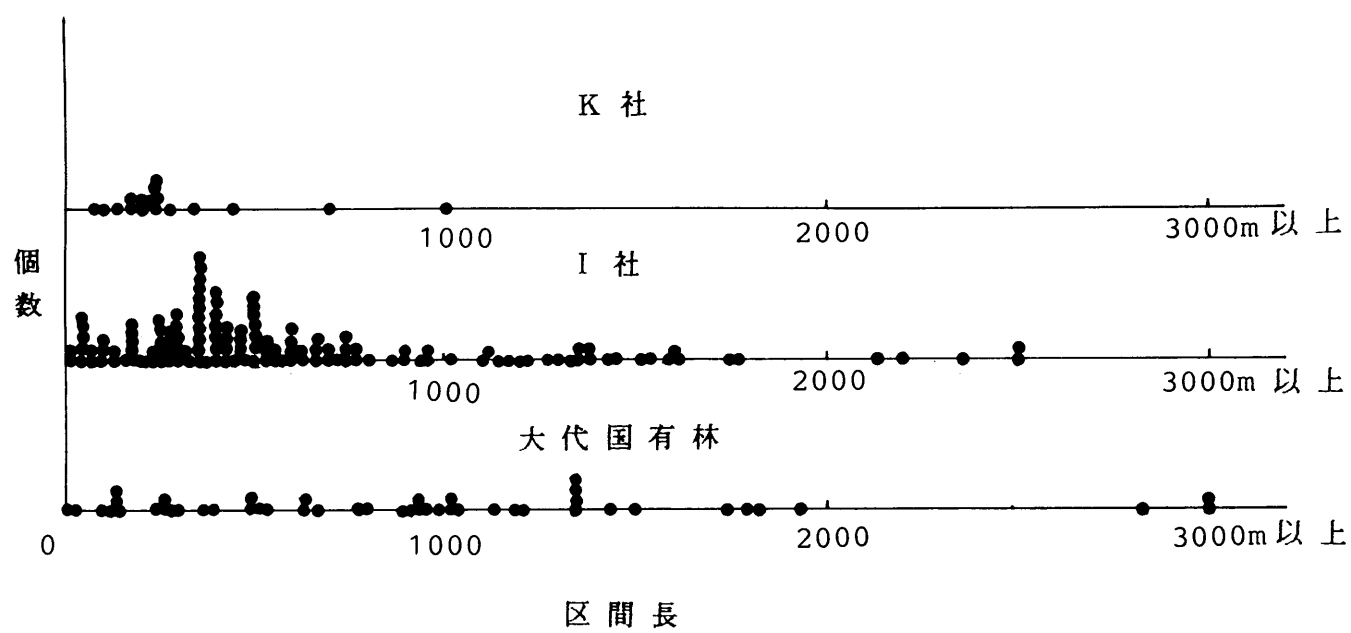


図 4-12 資料の区間長ヒストグラム

## V. 考察

## 1) 総合集材費Cの正当性

本論では飽和密度を求めるときに、主伐と間伐を総合した集材費Cを用いたが、一方では一般に集材費が高くつく間伐作業を前提として低規格林道を配置する方法も考えられる。

ある集材方式の集材費の費用構造を  $a/d + b$  (円/  $m^3$ ) とすると、集材費と林道費の和  $F(d)$

$$F(d) = a/d + b + r \cdot d/Vy \quad (5-1)$$

ただし、

$d$ : 林道密度 (m/ha)

$r$ : 林道費用 (円/m年)

$Vy$ : ha当り年間平均出材量 ( $m^3$ /ha年)

は、

$$dm = \sqrt{a \cdot Vy / r} \quad (5-2)$$

のとき最小値

$$\text{Min}F = 2\sqrt{a \cdot r / Vy} + b \quad (5-3)$$

をとる。

$a$ ,  $b$ ,  $dm$ ,  $F$ は、主伐よりも間伐材集材を主体に林道を入れた場合  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $dm_1$ ,  $F_1$ , 主伐と間伐材集材の両方を総合して林道を入れた場合  $a_2$ ,  $b_2$ ,  $dm_2$ ,  $F_2$ とする。 $r$ ,  $Vy$ は同一とする。III-5の結果より、通常  $b_1 > b_2$ であり、 $a_1$ と  $a_2$ の大小によって次の場合が考えられる。

i)  $a_1 > a_2$ のとき

明らかに  $dm_1 > dm_2$ ,  $\text{Min}F_1 > \text{Min}F_2$ となるので、間伐主体に低規格林道を入れると、林道の過剰投資となり、主伐、間伐を総合して入れる飽和密度よりも  $F(d)$ が大きくなる。

ii)  $a_1 < a_2$ のとき

$dm_2 > dm_1$ となり、間伐主体で林道を入れる方が、主伐と間伐を総合した飽和密度よりも林道開設量は少なくなるが、(5-3)式の  $\text{Min}F$ は第1項よりも第2項の方がはるかにオーダーが高いため、 $b_1 > b_2$ とすれば、 $\text{Min}F_1 > \text{Min}F_2$

となる可能性が非常に大きい。

すなわち， $b_1 > b_2$ であるかぎり，i)，ii)いずれの場合も，間伐を前提に路網配置することは，全体の費用としてみればコスト高になることが示され，(3-2)式の総合集材費Cの正当性が証明される。

## 2) 作業道の必要性

前節のi)  $a_1 > a_2$  のとき，すなわち間伐材搬出の集材費が集材距離に大きく影響される場合，このときの道路の最低規格を作業道レベルにまでおとして，林道費用  $r$  をさらに小さくすることを考えるならば，間伐を主体とした林内道路の密度  $dm_1$  と主伐と間伐の両方を総合した飽和密度  $dm_2$  との密度差を，間伐材集材を補完するものとして，作業道として開設する可能性がある。しかしこのような作業道はまず不要であることが次のようにして証明することができる。なおここでいう作業道とは，II-1で定義したように，短期に償却される一時的な道路施設であり，一応小型運材トラックが通行可能な程度の規格を有するものとし，トラクタや林内作業車等の特定の森林作業用車両のための専用作業路とは異なる。

いま主伐材はすべて林道に出材するものとし，間伐材は林道および作業道に出材するものとする。飽和密度（既知とする）を  $D$  (m/ha)，作業道密度を  $ds$  (m/ha) とし，集材費を(5-1)式と同様とすれば，このときの主伐材の平均集材費は  $a/D + b$  (円/m<sup>3</sup>)，間伐材の平均集材費は  $a_1/(D+ds) + b_1$  (円/m<sup>3</sup>) とあらわすことができるので，作業道費および林道費と集材費の合計  $F$  (円/m<sup>3</sup>) は，

$$F = (ry \cdot D + rs \cdot ds) / (V_n + V_{th}) + \{ (a/D + b) V_n + (a_1/(D+ds) + b_1) V_{th} \} / (V_n + V_{th}) \quad (5-4)$$

ただし，

$V_n$ ：施業団地の主伐材出材量 (m<sup>3</sup>/年 ha)

$V_{th}$ ：施業団地の間伐材総出材量 (m<sup>3</sup>/年 ha)

$ry$ ：林道維持費 (円/年 m)

$rs$ ：作業道の償却費と維持費を加えた費用  
(円/年 m)

となる。

$\partial F / \partial ds = 0$  より，

$$ds = \sqrt{a_1 \cdot V_{th} / rs} - D \quad (5-5)$$

のとき  $F$  は最小となる。 $ds > 0$  ならば，この  $ds$  に対して，間伐材集材を補完するものとして，作業道を開設するこ

とができる。

しかるに集材距離に応じて集材費最小となるように間伐材集材方式を選択していくとなると， $a_1$ が小さくなるので，まず $ds < 0$ となる。たとえば図3-20において，かならずしも $a_1 > a_2$ ではないが，だいたい $a_1 = 0.3 \times 7000$ くらいであるので， $V_{th} = 14$ ， $r_s = 200$ としても，(5-5)式の第1項は $12.1\text{m/ha}$ となり，飽和密度 $D$ よりも小さい。また皆伐作業を大型車両による駐車型車両集材方式と架空線集材方式とし，間伐作業を小型車両による駐車型車両集材方式のみとして $a_1 = 17.65 \times 7000$ と $a_1$ を大きくしても，(5-5)式の第1項は $65.8\text{m/ha}$ になるが，総合集材費 $C(L)$  (円/ $\text{m}^3$ )が

$$C(L) = \begin{cases} 12.226L + 160000/L^2 + 261 & (L \leq 118) \\ 9.390L + 15800/L + 128000/L^2 + 464 & (118 \leq L) \end{cases} \quad (5-6)$$

となり，林道の費用を $250\text{円/m}$ とすれば，飽和密度 $D$ 自身も $94.6\text{m/ha}$ と(5-5)式第1項の $65.8\text{m/ha}$ よりも大きくなる。したがって，いかに $r_s$ が小さく， $a_1$ ， $V_t$ が極めて大きい，たとえば集材距離に対する作業条件が厳しいながらも大量の間伐材を生産しなければならないような場合でも，作業道を必要とする場合にはいらない。

以上のことは，運材作業も可能なほどの一時的な道路施設は成立しがたいことを意味し，作業道と称しながら実際は永久施設であるというわが国の実情を裏付けるものである。

なお主伐材も作業道に出材するものとすれば，(5-4)式は，

$$F = (r_y \cdot D + r_s \cdot ds) / (V_n + V_{th}) + a_2 / (D + ds) + b_2 \quad (5-7)$$

となり，

$$D + ds = \sqrt{a_2(V_n + V_{th}) / r_s} \quad (5-8)$$

のとき $F$ は最小となる。しかるにこのときの $D + ds$ は最低規格の林道費用を $r_s$ としたときのあらたな飽和密度とみなすことができる。

### 3) 集材用車両専用作業路の密度

III-4-2)の専用作業路を利用して車両集材するときの専用作業路は、個々の路線の使用頻度や経済性をも考慮しなければならないが、ここではその所要作業路密度について考察してみる。

主伐材は飽和密度による林道に出材し、林道沿の間伐材は、小型集材車両による駐車型車両集材方式によって林道上に出材するものとし、林道から離れた林地では駐車型車両集材ができなくなるので、この場合に専用作業路を利用して車両集材するものとする。なお駐車型車両集材も専用作業路を利用する集材方式も同一の小型集材車両を利用するものとし、作業路には運材トラックが入れないものとする。

まず作業路までの木寄費用と作業路の償却費と維持管理費とから作業路の適正間隔を求める。林道に対する図3-1の標準伐区モデルは、作業路に対しても成り立つものとし、伐区と作業路は接するものとする。

計画対象林地はすべてが間伐対象林ではないが、まずすべてを間伐対象林と仮定する。最大木寄距離を $S$  (m)とし、単位面積当りの年間平均出材量を $Vw$  ( $m^3$ /年 $m^2$ )とする。間伐対象林では1年以内に間伐されるものとするれば、 $Vw$ は間伐1回当りの単位面積当り平均出材量で代用することができる。作業路の償却費と維持管理費の合計を $rs$  (円/年 $m$ )、作業路の迂回率を $\eta t$ とし、駐車型車両集材方式による林道沿の出材量を一応無視すれば、作業路の費用は $rs(1+\eta t)/Vw \cdot S$  (円/ $m^3$ )となる。

作業路までの木寄方式には種々考えられるが、本論では専用作業路を利用する集材用車両が駐車型車両集材の場合と同一車両を想定しているので、ここでは集材用車両の付属クレーンやウィンチを使用して木寄するものとする。このとき木寄費用として(3-97)式を代用することができる。これに作業路の費用を加えると、

$$F(S) = 17.65S + 227 + 26250000/Vi \cdot S^2 + rs(1+\eta t)/Vw \cdot S \quad (5-9)$$



ただし,

$$V_i = V_w \times 10^4 \quad (5-10)$$

ha当り出材量 ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )

となり,  $F(S)$ を最小にする  $S$  ( $= S_{\min}$ とする) の2倍が作業路間隔になる。対象林地の間伐対象林の割合  $R_t$ を (間伐回数) / (伐期齢) とすれば, 上記作業路間隔をこの割合で除したものが, 対象林地の実際の間隔となる。

以上の作業路間隔に対して, 飽和密度  $D$  ( $\text{m}/\text{ha}$ ) のとき, 作業路1路線の延長は  $5000(1+\eta)(1+\eta t)/D$  ( $\text{m}$ ) となるので, したがって作業路密度  $d_s$  ( $\text{m}/\text{ha}$ ) は,

$$\begin{aligned} d_s &= \{2 \times 5000(1+\eta)(1+\eta t)/D\} \times \\ &\quad \{D/(1+\eta)2S_{\min}\} \times R_t \\ &= 5000R_t(1+\eta t)/S_{\min} \end{aligned} \quad (5-11)$$

となる。

いま  $V_w = 0.01$ ,  $\eta t = 0.3$ とし,  $R_t = 9/60$ とすれば,  $r_s = 200, 500, 1000, 2000$ に対して, (5-9)~(5-11)式より作業路密度の目安は, 緩地形における飽和密度, 約  $20\text{m}/\text{ha}$ に加えて, それぞれ  $21.2, 15.2, 11.1, 8.0\text{m}/\text{ha}$ となり, このときの作業路の費用は,  $565, 1016, 1477, 2131\text{円}/\text{m}^3$ と  $r_s$ の増加に伴い大きくなる。なお, 若齢林分が多くを占める場合には, 間伐対象林の割合  $R_t$ が大きくなるので, それだけ作業路密度も高くなる。

択伐作業の場合も,  $R_t$ を  $1/(\text{回帰年})$ とすれば, 上式をそのまま使用することができる。回帰年が短くなれば作業路の利用回数がふえ, 作業路の償却期間が長くなるので,  $r_s$ が小さくなり, それだけ作業路が高密になる。択伐作業では, 専用作業路によって皆伐作業に比べて本来高くない飽和密度を補うことができ (III-6-2)参照), 専用作業路の機能は大きい。

#### 4) 林道の一部高規格化と飽和密度の変化

飽和密度によって与えられた路網配置の一部の規格構造を木材通行量にしたがって高規格化すると，その分の林道維持費が上がり，飽和密度算定のための最低規格の林道費用が割増しされることになる。

高規格化する以前の飽和密度の全延長  $L_n$  (m) および林道維持費  $r_{yn}$  (円/m) に対して，林道維持費の平均単価は，

$$\{r_{yn}(L_n - L_{n-1} - \dots - L_1) + r_{y_{n-1}} \cdot L_{n-1} + \dots + r_{y_1} \cdot L_1\} / L_n \quad (5-12)$$

ただし，

$r_{y_{n-1}}, \dots, r_{y_1}$  : 高規格化した各規格の林道維持費 (円/年m)

$L_{n-1}, \dots, L_1$  : 各規格の全路線延長 (m)

に増加する。

図4-10に示された対象面積803haの大代国有林の林道規格について，(5-12)式を試算すると， $r_{yn} = 150$ 円/mに対して，高規格化後の林道平均維持費は248円/mとなり，(5-2)式より飽和密度は $\sqrt{150/248} = 0.78$ 倍に減少するが，飽和密度は許容範囲が広いので，図3-20から確認できるように，この程度の高規格化ならば，駐車型車両集材方式の採用を検討する場合を除いては，飽和密度への影響はまず許容範囲内におさまるものとみなすことができる。

### 5) 複合路網密度理論との関係

規格の異なる林道の組合せ理論として、南方ら(28)の複合路網密度理論がある。

本論では林道を運材用トラックが走行可能な規格構造を備えた林業用道路とし、ある程度の高密度路網を前提としているため、林道規格に対する集材方式の違いはないものとしているが、複合路網密度理論では、地形級に応じて林道規格と集材方式との代表的な組合せがあらかじめ設定されている。

この組合せは現実の作業仕組からみて、本論とはまた別の立場から肯定しうるものであるが、複合路網密度の本来の意図は、集材方式に対応した林道構造の高規格化と低規格化の分極化にあるものであり、集材方式が大型機械による高規格林道と小規模作業に限定されるところの低規格林道との組合せ理論として、複合路網密度を位置づけることができる。

## 6) 飽和密度の開設進度と限界林道密度との関係

南方(25)は、木材販売価格から、企業の利潤、一般管理費、その他生産費を差し引いた費用を「限界生産費」とし、林道密度に対して下に凸の「主要生産費曲線」（この最小値が「必要最小密度」を与える）が限界生産費に等しくなるときの密度を「限界林道密度」とし、現在の企業余力から、木材販売価格を出発点として林道の拡充限度としての限界林道密度を提示した。

総合集材費による飽和密度は、必要最小密度であると同時に、すべての林道が償却完了したときの林道維持管理費に基づく最低規格林道による最大限密度であり、しかも飽和密度の木材生産費は密度に対してほとんど変化しないので、その意味では限界密度でもある。そして飽和密度は許容範囲が広いので、実際の運用上は南方の限界林道密度と必要最小密度の差をカバーするものと考えることができる。

飽和密度による場合、低規格な林道の開設量が多くなるが、飽和密度を自力開設する場合の林道開設進度（m/年ha）は、

$$\text{（材価）} \times \text{（材価のうち当年度林道開設に充当できる割合）} \times \text{（ha当り年間木材生産量）} \div \text{（事業者の負担に帰する平均開設単価）}$$

となる。上式において、「材価のうち林道開設に充当できる割合」は開設進度に直接影響するものであり、その具体的数値は、森林の内容や材価、森林作業費、一般管理費、既設林道の維持補修費、あるいは前年度までの林道開設の償却費等といった林業経営内容によって大きく変動する。この値の決定は限界林道密度の考え方と同じであり、限界林道密度理論が将来計画立案時点の限界生産費に基づくのに対して、上式の開設進度は経営状態の変化に応じて調節することができる。したがって、飽和

密度の開設計進度は経営の時間軸に沿って限界林道密度を表現したものといえる。このように、飽和密度はその実現において限界林道密度と接点を有するものであり、両者とも将来の経営目標に対してたてられる林道網の全体計画としての立場は同じである。

いま例えば材価を  $30,000 \text{円}/\text{m}^3$ 、ha当り年間木材生産量を  $14 \text{m}^3/\text{年 ha}$ 、事業者の負担に帰する平均開設単価を  $10,000 \text{円}/\text{m}$  とすれば、開設計進度は、材価のうち林道開設に充当できる割合が  $0.01$  のとき  $0.42 \text{m}/\text{年 ha}$ 、 $0.02$  のとき  $0.84 \text{m}/\text{年 ha}$  となり、目標密度を仮に  $21 \text{m}/\text{ha}$  とし、材価の上昇と開設単価の上昇が比例するものとすれば、飽和密度の実現時間はそれぞれ  $50$  年、 $25$  年となる。逆に目標達成のための開設計進度から材価のうち林道開設に充当すべき割合を定めることもできる。

## VI. 結 論

林道開設費は木材生産原価の主要な要素ではあるが、理想的な林内路網整備目標を得るためには、林道の償却がすべて完了した状態を想定すべきであり、林道の開設費を林道密度の最終目標決定因子として重きをなすことには問題がある。すなわち、林道の償却費は、木材生産費用として計上はしても、林道密度の決定には関与しないものとする。この場合、密度決定は、最終的な状態における施業団地全体の林道の維持管理費と集材費との均衡が問題となり、林道開設費と償却費は、当面の木材生産にみあった投資限界に基づくところの開設進度を決定するだけのものとなる。林道の規格構造が最低限の規格のときに集材費と維持管理費の合計が最小となるので、このときの林道密度を本論では飽和密度とよぶことにした。以上の考え方に基つくと、林道の費用は集材費同様、時価で評価することができ、利率や償却状態等の変動要素を省くことができるので、従来に比べて林道網計画が非常に容易となる。林道の年間維持管理費は、具体的には開設単価時価の1.4%程度であり、これに災害復旧費を見込むと1.7%となる。一方、林道の各規格ごとの運材費（円/m<sup>3</sup>・m）は林道の木材通行量（m<sup>3</sup>）に比例して林道維持管理費（円/m）に加算することができ、これにより年間木材通行量に応じて林道の規格構造を決定することができると同時に運材費も含めた費用を最小にすることができる。なお、木材生産に必要な育林作業や伐出作業のための通勤輸送費（円/m<sup>3</sup>・m）は運材費の1割程度であり、これを運材費に加算すれば、とくに高規格な林道を計画する場合において、計画精度が向上する。また、一部の林道を高規格化することによる全体の維持管理費用増加が飽和密度に及ぼす影響は、まず無視することができる。

集材費の算定については、集材方式は使用しうる複数の集材方式を想定し、集材距離に応じて集材方式を逐一選択していくことによって、集材費を最小にすることが

できる。さらに主伐の集材費用と間伐の集材費用を出材量に応じて合成した集材費を本論では総合集材費とした。総合集材費に基づく方が、皆伐を主体とした路網よりも合理的かつ高密度に路網密度を高めることができる。また、間伐主体で林道を入れると全体としてみればコスト高となり、総合集材費が正当であることが証明できる。各集材方式について理論功程式を求め、集材費を検討した結果、架空線集材方式は急地形における代表的な集材方式であることにはかわりはないが、駐車型車両集材は短距離ならば最も高い生産性をあげることができる。トラクタ全幹集材のように一般に車両系集材方式は積載量が多いので、集材費は集材距離にそれほど影響されない。このことは、路網密度と大いに関係をもってくる。

各種地形条件を想定し、飽和密度を求めると、急峻地形における皆伐、間伐作業では架空線集材方式を前提として15m/ha前後となるが、急地形では架空線集材方式の他に、駐車型車両集材方式やモノケーブル式も使用可能となり、飽和密度は25m/ha前後となる。年間林道維持費が約200円/年m以下であれば、駐車型車両集材のみによる集材作業が可能となり、年間林道維持費が150円/年mのときの飽和密度は119m/haとなり、林道維持費も含めた最小集材費は今までの中で一番安くなる。このように林道費用が安ければ飽和密度は飛躍的に増大し、高度な機械化作業が可能となる。緩地形になると、専用作業路を利用した車両集材とトラクタ全幹集材が中心となり、飽和密度は15～30m/haとなる。トラクタ集材が集材距離にそれほど影響されないので、無理に林道を開設する必要もなく、林道密度はかえって急地形よりも少なくなる。ただし、間伐作業のための専用作業路が必要となり、その所要密度は、集材車両の木寄費および作業路の維持管理費・償却費、間伐林分の割合に応じて、飽和密度とは別途に算定することができ、10～20m/haである。平坦地形では、間伐作業は小型集材車両による載荷式集材方式を、皆伐作業はトラクタ全幹集材を想定すると、地形条件がよいにもかかわらず飽和密度は15～30m/ha前後とそれほ

ど高くないが，林内走行によって高能率な省力作業が行えるので，林道維持費も含めた集材費は他の地形条件の約6割くらいと安くなる。択伐作業は皆伐作業よりも飽和密度が若干低くなる計算結果がえられたが，飽和密度の許容範囲が非常に広いので，林地の状況に応じて柔軟な計画をたてることができる。また，とくに緩地形では集材車両の専用作業路が高密に入ることになるので，この場合の択伐作業における林道は運材機能としての役割が大きくなる。

以上のように，飽和密度による最低規格の林道とはいっても集材機能や運材機能といった林道としての最低の機能は満たしているものであり，飽和密度の数値そのものは，概して従来の常識的な線にのっているものとみなすことができる。

間伐作業と皆伐作業の総合集材費は，集材距離に応じて集材費最小となる集材方式を選択していくので，当然，集材距離に対する集材費の増加は緩慢となる。いずれの地形の場合にも $L$ がだいたい100m以上，密度にして65～70m/ha以下になると，集材距離に対してほとんど変化しなくなる。したがって，集材距離に対する集材費の立ちあがり大きい駐車型車両集材作業を計画する場合を除いては，飽和密度の許容範囲が広い。この点に関しては，集材費が集材距離に比例し，これに応じた最適の密度を正確に求めなければならないという従来の考え方を変えるものであり，今後，算定された路網密度にとらわれることなく，林地の状況に応じて幅の広い林道網計画を行うことができることを意味するものである。なお，このことは集材距離に応じて複数の集材方式を組み合わせる場合に適合することであって，集材方式が単一で，集材距離に対して集材費用がかかる場合には路網密度の許容範囲は狭くなり，それだけ密度算定の精度を要求される。

なお本論では，林道維持管理費の積算が困難な現状から，維持管理費を前記のように開設単価の1.7%程度としたが，駐車型車両集材を前提とした飽和密度の算定や，林道の規格構造決定，あるいは林業外利用による林道の



通行に対する維持費の負担額算定にとって、維持管理費は重要な因子となるので、今後、林道規格、交通量、地形、気象条件等と関連させながら、資材費、重機の費用、労務費等の費目ごとに、維持管理費の具体的金額について資料を収集、分析する必要がある。

飽和密度によって林内路網が高密になると循環路網が形成されるが、循環路については右回り、左回りの運材費用の大小からこれを分断することができ、循環路網を概念的に樹枝状路網としてとらえることによって、循環路網の場合も容易に年間木材通行量を算定し、林道の規格構造を定めることができる。

林道の規格構造は、年間木材生産量と林道費用にもよるが、計画対象面積が200～400ha以下ならば、単一規格とすることができる。しかし、それ以上の面積になると、規格構造の階層化を考えなければならなくなる。支線となるほとんどの路線は飽和密度のままの最低規格で十分であるが、対象面積が大きくなり、木材通行量が集中するにつれて、幹線となる林道が順次高規格化されるようになる。

なお本論では、「作業道」は一応小型運材トラックが通行可能な程度の規格を有し、短期に償却される一時的な道路施設として林道と区別しているが、飽和密度によって、間伐、主伐作業を総合した林内路網を考える場合には、このような「作業道」はまず不要である。

## 摘 要

本論では、木材生産費用を最小ならしめようとする理想的な林内路網整備目標を得るためには、林道の償却がすべて完了した状態を想定すべきであると考え、林道開設費は木材生産原価の主要な要素ではあるが、永続する林業経営において、永久施設としての林道の開設費を林道密度の最終目標決定因子として重きをなすことには問題があるとし、林道の償却費は木材生産費用として計上はしても、林道密度の決定には関与しないものとした。この場合、林道の費用として、維持管理費だけが年々計上され、密度決定は、最終的な状態における施業団地全体の林道の維持管理費と集材費・運材費との均衡が問題となる。林道の規格構造が最低限の規格のときに集材費と維持管理費の合計が最小となることが証明できるので、このときの林道密度を「飽和密度」とよぶことにする。一方、林道の各規格ごとの運材費は、林道の年間木材通行量に比例して維持管理費に加算することができ、これにより年間木材通行量に応じて林道の規格構造を決定することができると同時に運材費も含めた木材生産費用を最小にすることができる。なお、一部の林道を高規格化することによる全体の維持管理費用増加が飽和密度に及ぼす影響は、試算の結果まず無視することができる。何よりも木材通行量をもとに一部の路線を高規格化することは運材費の節減につながることであり、飽和密度による林道費、集材費の最小化とあわせて、対象林地の木材生産費を最小ならしめるものである。以上の考え方に基づくと、林道の費用は集材費や運材費同様、時価で評価することができ、従来のような利率や償却状態等の考慮は不要となり、林道網計画が非常に容易となる。林道開設費と償却費は、当面の木材生産にみあった投資限界に基づくとところの開設進度を決定するだけのものとなる。具体的には林道の年間維持管理費は、開設単価時価の1.4%程度であり、これに災害復旧費を見込むと1.7%とな

る。なお、木材生産に必要な育林作業や伐出作業のための通勤輸送費は運材費の1割程度であり、これを運材費に加算すれば、とくに高規格な林道を計画する場合において、計画精度を向上させることができる。年間木材生産量と林道費用にもよるが、計画対象面積が200~400ha以下ならば、その木材通行量から林道の規格構造を最低規格の単一規格とすることができる。しかし、それ以上の面積になると、木材通行量に応じて規格構造の階層化を考えなければならなくなる。

一方、林内路網整備計画を樹立する前に、想定される集材方式の集材費用を算定する必要がある。従来、路網計画の集材費は、主に架空線集材方式とトラクタ集材による皆伐作業を前提としていたが、主伐、間伐作業の集材方式はそれぞれ使用しうる複数の集材方式を想定し、集材距離に応じて集材費が最小となるように、集材方式を逐一選択していくものとする。本論では主伐の集材費用と間伐の集材費用を出材量に応じて合成することによって、当該伐区の間伐から主伐までを総合した「総合集材費」を用いた。いうまでもなく、集材距離に応じて集材方式を選択した方が集材費を安くすることができ、皆伐を主体とした路網よりも間伐作業も含めた総合集材費に基づく方が、合理的かつ高密度に路網密度を高めることができる。また、間伐主体で林道を入れると全体としてみればコスト高となり、総合集材費が正当であることが証明できる。集材費用は理論功程式により算定した。架空線集材方式のように架設撤去を要する集材方式の集材費は、作業規模に影響されるので、今後とも代表的な集材方式とみなしうる架空線集材方式についてまず標準伐区を定めておき、他の集材方式もこれに準ずることにより、集材方式間の作業規模や架設撤去費に基づく集材費の変動を考慮することができる。標準伐区形状として、アンケート調査の結果、集材距離方向の奥行1に対して伐区幅0.4が妥当であることが、確かめられた。理論功程式を求めるに際しては、あらたに木寄作業や待ち時間を考慮した。したがって、従来よりも正確かつ合理的なサイ

クルタイムを得ることができ、各集材方式の特徴を再検討することにもできる。理論功程式によれば、架空線集材方式による間・択伐作業は、横取作業において残存立木の影響を大きくうけるが、架線の張り替えを適切にすることによって、皆伐作業に劣らない1日当り出材量をあげることができる。ただし、架空線集材方式では架線の架設撤去作業を要するため、集材費が全出材量に大きく影響されるので、間・択伐作業は皆伐作業よりも不利となる。駐車型車両集材は短距離ならば最も高い生産性をあげることができる。トラクタ全幹集材のように一般に車両系集材方式は積載量が多いので距離にはそれほど影響されない。車両集材方式のこれらの特長は、路網密度と大いに関係をもってくる。また、林内走行による車両集材方式ではあらかじめ木寄しておく方が車両の待ち時間を少なくすることができ、その際高能率な積込作業ができればなお望ましい。

森林利用学的地形分類に従って、急峻、急、緩、平坦の4地形を想定し、各集材方式の集材費から総合集材費を算定し、これに林道維持費を加えて飽和密度を求めた。急峻地形では間伐、皆伐作業いずれも架空線集材方式とすると、飽和密度は15m/ha前後となる。急地形では間伐、皆伐作業とも架空線集材方式を中心に、このほか間伐作業は小型集材車両による駐車型車両集材方式、モノケーブル式が、皆伐作業は大型集材車両による駐車型車両集材方式が、それぞれ使用可能となり、他の地形条件に比べて集材方式の選択が多様であり、飽和密度は25m/ha前後となる。この地形条件において、年間林道維持費が約200円/年m以下になると、林道を高密に入れることによって駐車型車両集材のみによる集材作業が可能となり、年間林道維持費が150円/年mのときの飽和密度は119m/haであり、林道維持費も含めた最小集材費も今までの中で一番安くなる。このように林道費用が安ければ飽和密度によって林内路網が飛躍的に増大し、高度な機械化作業が可能となる。緩地形になると、間伐作業に集材車両の専用作業路も有効に利用できるようになり、集材方式は専

用作業路を利用した車両集材とトラクタ全幹集材が中心となり，飽和密度は $15 \sim 30 \text{ m/ha}$ となる。トラクタ集材が集材距離にそれほど影響されないのので，無理に林道を開設する必要もなく，林道密度はかえって急地形よりも少なくなる。ただし，間伐作業のための専用作業路が必要となり，この所要密度については，間伐作業の木寄費用および作業路の維持管理費・償却費，間伐林分の割合から，飽和密度とは別途に算定することができ， $10 \sim 20 \text{ m/ha}$ である。平坦地形では，集材方式は，間伐作業は小型集材車両による載荷式集材方式，皆伐作業はトラクタ全幹集材となり，飽和密度は $15 \sim 30 \text{ m/ha}$ となる。地形条件がよいにもかかわらず飽和密度はそれほど高くないが，林内走行によって高能率な省力作業が行えるので，林道維持費も含めた集材費は他の地形条件の約6割くらいと最も安くなる。択伐作業は皆伐作業よりも飽和密度が若干低くなるが，飽和密度の許容範囲が非常に広いので，林地の状況に応じて柔軟な計画をたてることができる。また，とくに緩地形では集材車両の専用作業路が高密に入ることになるので，この場合の択伐作業における林道は運材機能としての役割が大きくなる。

飽和密度によれば，林道維持費によっては，駐車型車両集材を前提とすることも可能であり，その場合には飽和密度は $100 \sim 120 \text{ m/ha}$ と，飛躍的に増大することが明らかになったが，以上のように，飽和密度による林道とはいっても集材機能や運材機能といった林道としての最低の機能は満たしているものであり，従来の林道密度が過剰規格でない普通林道に基づいていることを考えると，飽和密度の数値そのものは，概して従来の常識的な線にのっているものとみなすことができる。

間伐作業も皆伐作業も，集材距離に応じて集材費最小となる集材方式を選択していくので，当然，集材距離に対する集材費の増加は緩慢となり，まして間伐作業と皆伐作業の総合集材費は，いずれの地形の場合にも最大集材距離がだいたい $100 \text{ m}$ 以上，密度にして $65 \sim 70 \text{ m/ha}$ 以下になると，集材距離に対してほとんど変化しなくなる。

したがって、高密な林道を必要とする駐車型車両集材作業を中心に計画する場合を除いては、飽和密度の許容範囲が広い。この点に関しては、集材費が集材距離に比例し、これに応じた最適の密度を正確に求めなければならないという従来の考え方を変えるものであり、今後、算定された路網密度にとらわれることなく、林地や経営状況に応じて幅の広い林道網計画を行うことが許されることを意味するものである。なお、このことは集材距離に応じて複数の集材方式を組み合わせる場合に適合することであって、集材方式が単一で、集材距離に対して集材費がかかると場合には路網密度の許容範囲は狭くなるので、それだけ密度算定の精度を要求される。

総合集材費による場合には、集材距離に対する集材費の変化がほとんどないので、密度算定時に林道開設の償却費を加えると、林道密度が半減してしまう。とくに急地形においては、駐車型車両集材を主体とした集材方式がほとんど困難となり、高度な機械化作業が望めなくなる。総合集材費が従来の皆伐作業を前提とした単一集材方式による集材費よりも安く、しかも集材距離に対してほとんど変化しないので、償却費を控除することによって、結果的には、飽和密度は従来の林道密度と整合性を保っている。

林内路網が高密になると一般に循環路網が形成されるが、循環路については右回り、左回りの運材費用の大小から、循環路を木材通行上、樹枝状路網として概念的に分断することができる。さらに循環路網が重なりあった複合循環路網についても施業団地入口から順次分断していく本論の分断方法にしたがって、循環路網を樹枝状路網として分解することができ、木材通行量の分析を容易ならしめる。事例分析した結果、支線となるほとんどの路線は飽和密度のままの最低規格で十分であり、計画対象面積が大きくなるにしたがって、木材通行量が集中する幹線林道が順次高規格化されるようになる。

なおわが国では、行政的に各種の補助体系に応じて種々の作業道が指定されたことと、開設費の安い道路に対

する需要が林業経営者側に強く存在していることから作業道と称する実質的には低規格の林道が近年盛んに開設されている。本論では、運材トラックが走行可能な永久的な林業用道路は、名称の如何を問わず「林道」とし、「作業道」は一応小型運材トラックが通行可能な程度の規格を有し、短期に償却される一時的な道路施設として両者を区別しているが、間伐、主伐作業を総合した林内路網を考える場合、総合集材費の正当性とあわせて、このような「作業道」はまず不要であることが証明される。なお、トラクタや林内作業車等の特定車両の専用道路は「作業路」として、前記のように飽和密度とは別途にその密度を算定することができ、このように林内路網の性格づけも明確になった。

## 参考文献

- 1) Byrnes, Nelson and Googins: Logging road handbook. No. 183. In Roads Handbook (USDA Forest Service), 1959
- 2) Hafner, F.: Zur forstlichen Wegenetzlegung in steilem Gebirgsgelände. Allgemeine Forstzeitung 75 Jahrgang, folge 3/4, 1964 (東大森林利用学教室訳: 森林利用研究会資料59, 1964)
- 3) 平賀昌彦: 林道の経済効果及び適正密度について, 帯広営林局, 1965
- 4) -----: 電算手法による作業道網計画法, 81回日林講, 1971
- 5) -----: J. B.法による林道通過点決定手法について, 83回日林講, 1973
- 6) 北海道開発庁: 奥地総合開発調査報告書, 1961
- 7) -----: 北海道の林道現況と問題点, 1963
- 8) 堀高夫・北川勝弘・長谷川好正: 林内到達距離の分布に関する研究, 日林誌53(11), 1971
- 9) Huggard, E. R.: Foresters' Engineering Handbook, W. Heffer & Sons Ltd., Cambridge, 1959
- 10) 伊理正夫・古林隆: ネットワーク理論, 日科技連, 東京, 1976
- 11) 上飯坂実: 林道の最適密度に関する研究(I)標準モデルについて, 日林誌45(9), 1963(英文)
- 12) -----: -----(II)開発路網密度について, 日林誌48, 1966(英文)
- 13) -----・南方康・伊藤幸也: 林道の構造に関する研究, 日林誌50(9), 1968
- 14) -----: 森林利用学序説, 地球社, 東京, 1971
- 15) 神崎康一: グラフ理論による林道網設計法, 日林誌48, 1966
- 16) 加藤誠平: 林道網に関する研究—林道密度について, 東大演報63, 1967



- 17) 建設産業調査会：道路ハンドブック，建設産業調査会，東京，1980
- 18) 小林洋司：山岳林における林道網計画法に関する研究，宇大 学術報告特輯38，1984
- 19) 小島幸治：トラクタ集材作業の工期と作業条件との関係について，日林誌43(6)，1961
- 20) 小山悌：林業機械の作業工期に関する理論的研究，1960
- 21) Larsson, G.: Studies on Forest Road Planning, Transac. of R.I.T., 1959
- 22) Lünzmann, K.: Der Erschliessungskoeffizient, eine Kennzahl zur Beurteilung von Waldwegenezen und seine Anwendung bei Neuplanungen. Forstwissenschaftliches Centralblatt 87, 1968 (藤原登抄訳：機械化林業205, 1970)
- 23) 前田清：公共投資論，東洋経済新報社，東京，1961
- 24) Matthews, D. M.: Cost Controll in the Logging Industry, McGraw-Hill Book Co., New York, 1942
- 25) 南方康：林道網計画に関する研究，東大演報64，1968
- 26) -----：林内における基礎路網密度，日林誌59(8) 1977
- 27) -----：林業における作業機械化の可能性，森林文化研究4(1)，1983
- 28) -----・酒井秀夫・伊藤幸也：複合路網による林道網整備，東大演報74，1985
- 29) -----・仁多見俊夫・酒井秀夫・伊藤幸也：林道路面状態と自動車の燃料消費率（日林誌投稿中）
- 30) 森岡昇：架空線集材の集材区域と作業能率に関する研究，名大演報
- 31) 村山茂明・小林洋司・松尾毅：林業用ハンギングモノレールの路線選定について，宇大演報18，1982
- 32) 日本林道協会：林道必携設計編，日本林道協会，東京，1982
- 33) 大川畑修・酒井秀夫：帯広式集材方式における横取

- 距離の決定法と架線の最適架設位置, 日林誌58(5), 1976
- 34) Peters, P. A.: Spacing of roads and landings to minimize timber harvest cost, For. Sci. 24(2), 1978
- 35) Pestal, E.: Kardinal Punkt 500! Ruckugsmethode entscheiden Wegnetzdicke, Holz-Kurier, 1963 (加藤誠平訳: 森林利用研究会資料58, 1964)
- 36) 林野庁: 民有林林道事業のあらまし, 1973~1984
- 37) 林野庁監修: 林業土木法規集一林道編, 林土連研究社, 東京, 1977
- 38) 林政総合調査研究所: 林道の整備効果の評価に関する調査報告書, 1984
- 39) 酒井徹朗: 林道の配置計画について(I)端点除去法, 京大演報54, 1982
- 40) -----: -----(II)集材距離・開設長による最適配置, 京大演報55, 1983
- 41) 酒井秀夫・上飯坂実: 伐区の形の集材機作業に及ぼす影響, 90日林論集, 1979
- 42) -----: 集材機作業条件の統計的考察(I)(II), 日林誌62(7,9), 1980(英文)
- 43) -----: 架空線集材作業の架設撤去費に関する事例研究, 92日林論集, 1981
- 44) -----・上飯坂実: 架空線集材作業と林道との関係, 日林誌63(11), 1981
- 45) -----・伊藤幸也・南方康・上飯坂実: 急峻地における懸垂式モノレール運材作業, 東大演報73, 1984
- 46) -----・上飯坂実: 間伐材木寄作業に関する研究, 日林誌67(3), 1985
- 47) 沢口勇雄: 林道の機能に応じた規格・構造のあり方について, 林野庁長期委託研修報告書, 1979
- 48) 森林利用研究会: 林内自動車道における機能の実態, 森林利用研究会資料104, 1982
- 49) Sundberg, U.: A study of timber transportation,

SDA, 1960

- 50) 天竜市育林研究会：もうかる林業への道—天竜地方における優良材生産技術指針，1979
- 51) 谷本昭功：林道開設費と維持管理，6回治山林道研究論集，1971
- 52) 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，東京，1982
- 53) USDA Forest Service: Roads Handbook, Washington, 1959
- 54) Wallace, O. P.: Ratios for determining the economic road and landing or skidding spacing. J. of For. 55, 1957
- 55) Winfrey, R. (日本道路協会監訳)：道路経済学，日本道路協会，東京，1979
- 56) 米山欽一・坂元左：減価償却の税務と耐用年数のすべて（4訂版），税務経理協会，東京，1985