

## 小規模林業地域における林内路網計画について

小林 洋 司\*・仁多見俊夫\*

### Forest-Road Network Planning in Small Scale Forestry

Hiroshi KOBAYASHI\* and Toshio NITAMI\*

#### I. は じ め に

最近の森林、林業を巡る厳しい状況下で、その活性化を図るために高能率な林業体制を確立することが緊急の課題となっている。この背景を考えると、近年の外材との厳しい価格競争の中で国産丸太の生産コストが上昇傾向を示し、さらに厳しい状況を作りだしている。北米においては2次林が育成され、機械化が促進され、わが国における素材生産コストと比較すると3分の1もしくはそれ以下となり、わが国との価格差は大きくなっている<sup>4)</sup>。

このような背景からわが国の農山村での林業労働の確保、森林組合、素材生産組合等の林業生産体制の確立と同時に林道などの森林基盤を整備し、高能率な素材生産システムの開発を図り国産材の価格競争力を増強させなければならない。このことがわが国の農山村を守り、ひいては森林を整備する上できわめて重要な課題となっている。また林業労働災害の現状も、他の産業に比して極めて悪い状況であり、この面での改善も要望されているところである。

本報告は、登米町を事例に、チェーンソーによる伐倒、搬出は小型運材車などを主体とした、少人数の作業員による小規模な生産体制を持つ森林組合等の搬出を前提に考え、路網計画について考察するものである。なお本研究は文部省科学研究費、総合研究(A) 01304019 (代表 上飯坂實) による。

#### II. 林内路網計画の概要

一般に林道網計画を立案する場合には、目標林道密度を決定し、最終的には路線位置を決定することである。この場合、15年以上の長期計画の場合には、計画区域は広範囲に渡り、5年以下の短期計画の場合には小区域になる。前者は森林施業計画の目標に沿った合理的な計画であり、後者は伐出計画での作業道等の詳細な計画となる。林道密度計画における適正密度算出式については、既にわが国で研究され現在用いられている<sup>3)</sup>。ここで小規模林地での作業道を主体とした路網計画法を構築するに当たり、上記林道計画法を概括してみる。

林道密度算出式は、Matthews, D. M. 方式に基づいた損益分岐点理論によって林道開設費と集材費からなる生産原価関数を最小とする適正林道密度を求めている。ここでの林道とは施業林道であり、一次的な作業道は含まれず、また計画区域も法正林施業のできる1,000 ha以上の林地を対象としている。しかし最近では、林道開設費の高騰等の原因から林道と構造的にも機能的にもほとんどことならない作業道の開設が多くなっている。こういった背景から現在では、林道と作

\* 東京大学農学部林学科

Department of Forestry, Faculty of Agriculture, The University of Tokyo.

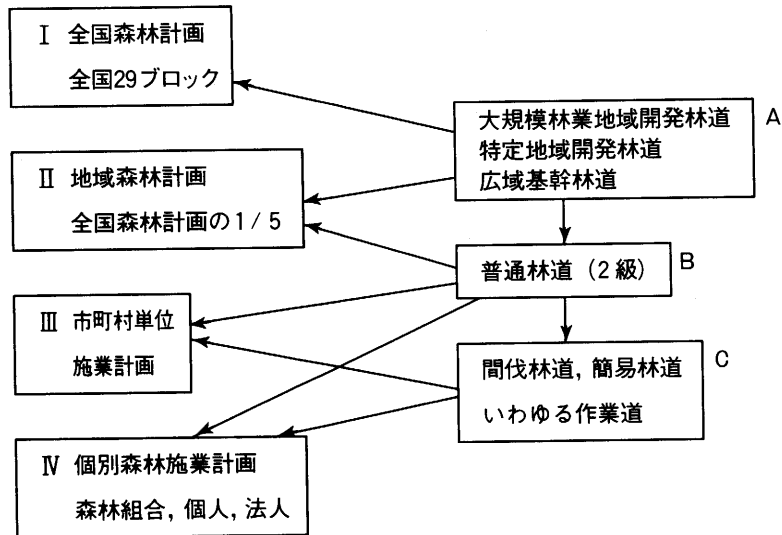


図-1 計画区域の面積と林道の種類

Fig. 1. Relationships between planning areas and forest-road types.

業道を合わせた複合路網理論による計画が一般的になっている<sup>3)</sup>。林内の林道配置法も上記の考え方にそって電算機によって数値地形モデルを用いて施業計画因子も考慮した考え方によって確立されている<sup>2)</sup>。本論では小規模林地についての作業道の配置法を検討する。

ここで計画対象地域の面積と林道の種類との関係を現行の森林計画制度の扱う計画区域との関係から示すと図-1 のようになる<sup>7)</sup>。計画区域 (I), (II) は、数か町村から数県にまたがる場合であり、本論の対象とするのは、(IV) の具体的な路網を形成する計画区域である。具体的対象面積としては、作業道を対象とした数十 ha~150 ha の小地域である。

### III. 林内路網評価と必要林内路網密度

#### 1. 林内の到達性

以上林道計画における林道密度計画、林道配置計画法について概括したが、林道密度計画では矩形モデルによって、林道位置が最も理想とする位置の場合の適正密度を求めている。しかし現実の路網の配置は必ずしもこの理想的な形にはなっていない。むしろ地形、既設の道路位置、施業方法、集材方法の違いによって影響され、歪みを持っているのが普通の状態である。特に本論で扱う小規模林地における計画においては考慮しなければならない。

ここでの小規模林地における林内路網評価法を検討してみる。この矩形モデルからの隔たりの度合をもって林道配置の良否の判定が可能である。この既設の林道の配置に対する評価手法としてこの他に各種の研究があり<sup>1,5)</sup>、Backmund は、開発率という考え方を示した<sup>6)</sup>。開発率 ( $E$ ) とは、開発された部分の全森林面積または施業面積に対するパーセントで表し、この開発帯の幅を道路密度から求めた理想的な最大集材距離とした。これに対して、この開発部分として Sacks は現実の集材によって届く距離として求め、ドイツのある地方では傾斜 25% 以下の地域では両側 300 m の帯状の地域から求めている。ここで筆者は、この開発率という用語について、造林等の

目的により林地への到達もあり得るので、筆者としては計算上ある距離以内に到達可能地域の全森林面積に対する割合という意味から以降「到達率」という用語を用い、以下の通り定義する。

$$Ec = Am/A \quad (1)$$

$$Am = \int f(x)dx \quad (2)$$

ただし、 $Ec$ : 到達率,  $Am$ : 到達可能区域の面積,  $Am$  は上記の定義にしたがって計算によって求めることができる。

上記に関するそのほかの因子を求めると、林道密度 ( $D$ ) を既知とし、平均集材距離 ( $a$ ), 最大集材距離 ( $2a$ ) は次式のようになる。

$$a = \frac{10^4(1+\eta)}{4D} \quad (3)$$

$$2a = \frac{10^4(1+\eta)}{2D} \quad (4)$$

ここで、平均集材距離を計画地域における任意の点からの道路までの最近接距離 ( $REi$ ) の平均値とすれば、これが平均実集材距離 ( $REt$ ) である。

$$REt = \sum REi / N \quad (5)$$

この値は (3) 式より求めた矩形モデルによる理論的平均集材距離 ( $a$ ) より、現実の林道の路線位置、境界の形状が不定形であるといった理由から大きい。この隔たりをこの ( $a$ ) と  $REt$  との比 ( $Kn$ ) を総合修正係数とした。

$$Kn = REt/a \quad (6)$$

この値の意味するところは、理想的な矩形モデルによる理論による平均集材距離から、地形、事物によって実際の林道位置がどのくらい偏っているかという総合指数である。従来の迂回率もこれに含まれる値である。

この  $Kn$  は、Lunzmann の開発係数に相当し、Backmund による開発率  $E$  は実際の開発路網では常に 100 より小さい<sup>8)</sup>。それ故に実際の路網の理想モデルからの隔たりを表す尺度となりうる。総合修正係数の大きさやそれに影響する因子については、特に、V. Segebaden (1964, 1969), Backmund (1966), Samset (1975), Abegg (1978) が関連の研究報告を出している<sup>6)</sup>。V. Segebaden はスウェーデンにおいて一様に開発された地域においては  $Kn$  は 1.24~1.35 の間を示し、道路が不規則な林地では 1.24 から 1.5 という値を示した。Backmund は  $E=50\sim80\%$ ,  $Kn=1.3\sim1.6$  の値を示した。Samset はノルウェーの全森林地域に対して  $Kn=2.96\sim3.30$  の値を示した。FAO では 1.6~3.6 を示している。

わが国の各地のモデル地域から総合修正係数を測定した結果を、表-1 に示した。林内路網密度と合わせて示したが規則的な関係は見いだせなかった。総合修正係数の値は 1.15~1.59 平均 1.41 であった。これまでの研究によって総合修正係数 ( $Kn$ ) に影響を及ぼす因子として次のようなことが認められる<sup>6)</sup>。

地形の複雑さによって大きくなる。

道路密度が大きくなると少し大きくなる。

開設区域の大きさとともに大きくなり、地域の周囲の長さとの連結点の数が多くなると大きくなる。

表-1 モデル地域と総合修正係数

Table 1. Relationships between planning areas and coefficient of the forest-road network

測定区域			林内路網密度	総合修正係数 (Kn)
1	諸	塚山	41.58 m/ha	1.23
2	美	幌	25.37	1.16
3	下	仁田	19.15	1.59
4	川	上	7.51	1.56
5	室	根	10.94	1.63
6	鹿	沼	10.71	1.59
7	巖	木	17.98	1.43
8	七	山	24.69	1.50
9	富	士A	24.67	1.20
		B	14.25	1.21

注) 総合修正係数 (測定例)

1.16~1.59

平均 1.41

開設区域の形が悪くなる（長くなる）と大きくなる。

以上のようにこの係数は、当該計画区域における既設路網の配置の評価を示すと同時に、逆に理論的に求めた目標林道密度の総合修正係数として用いることもできる。

## 2. 林内路網の評価法

以上の考察から実際の路網に対しての評価法をまとめると、

1) 対象計画森林に対して道路密度 ( $D$ ) を求め、単位面積当りの道路延長により比較する。算出法は道路延長 ( $l$ ) と全森林面積 ( $S$ ) を測定し、求める。

$$D=l/S \quad (7)$$

2) 林道路密度 ( $D$ ) から (4) 式により理論的最大集材距離 ( $2a$ ) を求める。これにより到達できる区域の面積 ( $Am$ ) をコンピュータによって算出する。全森林面積 ( $S$ ) とにより Backmund の到達率 ( $E$ ) を算出する。

$$E=Am/S \quad (8)$$

3) 平均実集材距離 ( $REt$ ) をコンピュータによって測定、算出する。

4) 道路密度より理論的平均集材距離 ( $a$ ) を (3) 式により算出。 $REt$  との比により総合修正係数 ( $Kn$ ) を算出する。

以上の開発率 ( $E$ )、総合修正係数 ( $Kn$ ) の値によって当該計画区域の林道配置の良否の評価が可能となる。

## 3. 必要林内路網密度

以上のように理論的に算出された路網密度も現実には路網の配置の偏りにより集材距離は理論値から離れたものである。特に集材作業と密接に関連のある作業道、集材路についてはなおさらである。

現実には当該計画地域で採用される適正な集材方法によって最大集材距離が決定される。した

がって現実に集材作業を行うためにはその最大集材距離になるまで路網を作設し、密度を上げていかななくてはならない。このように集材路あるいは作業道を必要なだけ作設するという考え方が成り立つであろう。特に小規模の林業区域ではなおさらである。このとき路網密度 ( $Dm$ )、このときの集材方法による最大集材距離を  $Lm$  としたとき次式のようなになる。

$$Dm = \frac{5000}{Lm} \cdot Kn \quad (9)$$

ただし、 $Kn$ : 総合修正係数、 $Lm$ : 最大集材距離

この値を必要林内路網密度と称した。現実の小規模の林業区域における路網密度の算出に用いることができよう。そしてこの密度まで道路を配置すればこの計画区域においては、ほぼ目的の集材方法に合った集材距離を満足しているといえる。

#### IV. 登米町における計算例

##### 1. 概要と林内路網状況

宮城県登米町は、総面積 4,632 ha, 山林 2,951 ha, 土地面積の 63.7% である。スギを中心とした人工林で人工林率 71% であるが間伐を必要とする 7 令級以下の幼令林が 85% と高い率を占め、伐期に達した林分は 5% に過ぎない。森林施業の状況は、最近 3 か年の主伐面積が年間平均 9 ha, 材積 1,062 m<sup>3</sup> となっている。また間伐実施面積は年間 70 ha, 材積 2,933 m<sup>3</sup> である。保育の状況は下刈 179 ha, 除伐 6 ha が実施されている。

登米町の交通状況は、本町の北上川沿いに国道 342 号線が中央を縦断している。県道は北上川沿いに涌谷登米線、東和登米線があり、また横断道路としては、志津川登米線と築館登米線があり広域生活圏道路として基本的な役割を果たしている。林内の路網の整備状況は、民有林内に作業道合わせて 79,355 m の道路が開設され、密度は 26.9 m/ha となっている。内容は表-3 の通りである。搬出については、小型運材車による搬出が中心となっている。

##### 2. 複合路網密度による林道密度計算

登米町においての路網計画に当り目標とする林道の延長を求めなければならない。本町においては集材方式としては小型運材車によるものとし、集材法は林道あるいは作業道よりの小型運材車によって集材する。この場合集材路が必要な場合は適宜作設する。集材路については小型バックホウによって作設される。この場合の路網形態は、一般公道と林道、作業道、集材路の組合せによる複合路網形態と言える。そこでさきに示した複合路網密度算出式によって目標路網密度を算出する。ここでの算出根拠として考え方は、林道と中距離架線集材、作業道と林内走行車を考える。このときの集材費用算出のための一次回帰係数は、林道に対して中距離架線集材、低規格林道と小型運材車、地形区分は急 (III)、森林機能コードは木材生産機能 II (素材生産量 300 m<sup>3</sup>/ha, 労働投入量 450 人/ha)、そのほかの因子は下記の通りである。

林道および作業道の迂回率、 $\eta=0.4$ ,  $\eta'=0.5$ , 林道開設費、 $r=4,500$  円/m, 集材単価 9 円/m<sup>3</sup>, 歩行に関する係数  $K=2$ ,  $w=2$  km/hr である<sup>6)</sup>。

これらの値によって計算した結果は表-2 のようになった。

以上の結果を見ると、林道開設についてはほぼ計算値に達している。今後の計画としては開設単価 10,000 円/m 程度の作業道を 42.6 m/ha まで作設すればよいことになる。一時的使用のた

表-2 林道密度計算結果（登米町）

Table 2. Results of the calculation of the forest road density in Toyoma-chou

種 類	開 設 単 価	現在の道路密度	計 算 結 果
A 公道+林道	45,000円/m	13.3 m/ha	Da=13.7 m/ha
B A+作業道	10,000	26.9	Dc=19.8, Db=52.5
C B+集材路	250		Dc'=42.6, Db'=331.8
D B+集材路	500		Dc''=42.6, Db''=234.6

表-3 路網整備計画（登米町）

Table 3. Forest-road network planning in Toyoma-chou

区 分	現 状	1998 年	2000 年
A 公道+林道	6.6 m/ha	7.1 m/ha	7.8 m/ha
B A+作業道	26.9	54.1	64.9

めの小型運材車のための作設費 250 円/m 程度の集材路については経済的にはさらに 200~300 m/ha 可能である。しかし現実には、集材に際して適宜作設することになる。

参考のために登米町の森林整備計画における路網の整備目標をあげると表-3 のようになり表-2 に示した複合路網による計画より幾分か低い値となっている。

### 3. 登米町に於ける必要林内路網密度計算

以上理論的な林道密度計算を行ったが、小型運材車の実際の集材法は、ウインチとグラップルによる方法であり、ウインチによる木寄せの場合は最大集材距離 50 m ぐらいのところまで可能であり、また最近開発されたタワーを備えた場合は最大 150 m まで可能である。この条件によって、式 (9) によって集材路の必要路網密度は算出できる。但し (9) 式の  $Kn$  の値は 1.5 を用いた。ここで最大集材距離を 50 m, 100 m として求めると、 $Dm$  は 150 m/ha, 75 m/ha となる。

以上の結果からみても先に求めた複合路網密度の値とほぼ同程度の結果であることが分かる。タワーを装備した場合、必要路網は半減する。登米町における集材路作設単価が、250 円程度であったが、地形がより急峻の場合にはさらに高価になる場合も考えられ、タワー付き集材による効果が大きくなる。

また、林道密度を作業道と合わせて 50 m/ha とした場合には上記の考え方でいくと、最大集材距離は 150 m となり、実際の集材作業に当たってはさらに集材路を作るか、タワーヤードを導入するなどの何等かの方策を必要とする。

### 4. 路網配置計画について

先にも述べたように林道網計画に当たっては、公道と林道計画する段階、林道から作業道までの計画をする段階、さらにはいわゆる集材路に当たる段階と 3 つのレベルに分けて行うのがよい。このそれぞれの計画区域の面積としては第一のレベルは約 1,000~10,000 ha, 第二は約 100~1,000 ha, 第三のレベルは 100 ha 以下という規模で行うのがよいであろう。

しかし先の林道密度計算の結果と実際の路網密度とを比較した場合、登米町の計画地域では、

表-4 路網配置計画区域の林内路網密度(登米町)

Table 4. Forest-road densities in the planning areas (Toyoma-chou)

計画区域	面積	公道+林道	作業道	計画量	路網密度(既設)	計画を含む
I	693.3 ha	16652 m	6950 m	8700 m	34.0 m/ha	46.5 m/h
		24.03 m/ha	10.0 m/ha	12.5 m/ha		
II	564.4	5962	5280	8750	19.9	35.4
		10.56	9.36	15.50		
III	400.4	9694	7300	3000	42.4	49.9
		24.2	18.2	7.5		
IV	829.2	16146	18570	3000	41.9	45.5
		19.5	22.4	3.6		
合計	2487.3	48454	38100	23450	34.8	44.2
		19.5	15.3	9.4		

今後は作業道によって路網を作設すればよいということである。

## 5. 作業道配置について

登米町における路網計画は作業道を主体にした計画でよい。従ってここでは第2の段階として計画区域を分割した。第一のレベル 2,000 ha とし、全体を4ブロックに分割した。面積、路網密度計算結果は表-4の通りである。ここでは先の複合路網の計算の算出結果から、各計画区域の目標計画量の作業道を配置すればよい。計画面積が約 400 ha から 800 ha であり、本論の小規模計画区域として幾分大きい。路網配置結果については省略した。

## 6. 集材路の配置結果

そこで小規模計画区域として、上記第2計画区域を取り上げ、この区域内に図-2に示す2計画区域を試験地とした。試験地は南側に県道、両サイドに作業道、中央に九蔵沢林道が既設道路として配置されている。なお波線は尾根を表している。西側をA試験地、東側をB試験地とした。先に示した路網配置の理論を用い、電算機によって配置した結果が図-2に示す路網図である。実線が配置された集材路である。路網位置は変えていないが路線の走りかたは幾分修正してある。目標路網密度は 100 m/ha であったが結果として表-5に示す 80.6 m/ha, 106.21 m/ha になった。

さらにこの値を用いて、理論的平均集材距離、最大集材距離を求めた値が表-5の(5),(6)である。(7),(8)は、総合修正係数を 1.5 とし実際の平均集材距離( $x'$ ), 実際の最大集材距離( $l'$ )を推定したものである。(9)は電算機によって最近接距離により求めた平均実集材距離( $x''$ )である。総合修正係数を 1.5 の値としてみた(7)の平均集材距離( $x'$ )に近い値を示した。これは修正係数を 1.5 とすれば理論的に平均実集材距離を推定できることを示している。(10)の総合修正係数( $Kn'$ )は逆にコンピュータの計算結果から求めた値である。

以上の結果から判断すれば、この計画量まで路網を作設すれば最大集材距離は、100 m 以内にはいりタワー付集材車であれば全域は集材可能である。

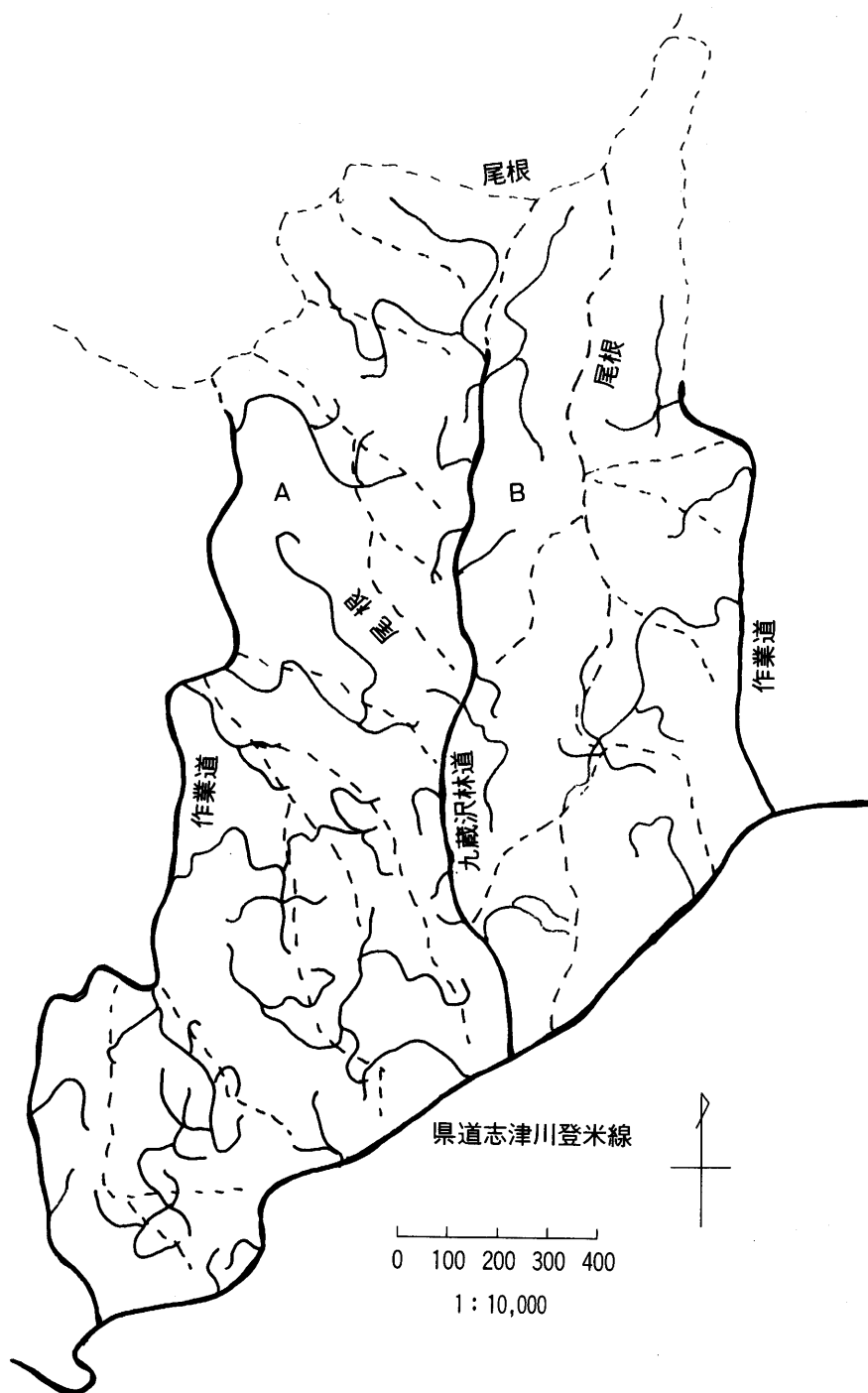


図-2 小規模林業地域の路網配置結果

Fig. 2. Forest-road network of planning in small scale forestry.



表-5 小規模林業地域の林内路網の諸計算結果

Table 5. Result of the planning area in small-scale forestry

計 画 区 域	A 九 蔵 沢 西 側	B 九 蔵 沢 東 側
(1) 面 積	124.46 ha	82.66 ha
(2) 既 設 路 線	4853 m (39.0 m/ha)	3164 m (38.3 m/ha)
(3) 計 画 路 線	8366 (67.2)	3499 (42.3)
(4) 合 計	13219 m (106.21 m/ha)	6663 m (80.6 m/ha)
(5) 算出平均集材距離 (x)	23.5 m	31.02 m
(6) 最 大 集 材 距 離 (l)	47.08	62.03
(7) $Kn=1.5$ (x')	35.31	46.52 m
(8) (l')	70.61 m	93.05
コンピュータによる計算値		
(9) 平均実集材距離 (x'')	31.50 m	43.69 m
(10) 修 正 係 数 $Kn'$	1.34	1.41

## V. お わ り に

登米町における森林は高い人工林率と幼令林の多い特色を持ち、今後間伐等、保育を必要とする林分が多い。路網の整備状況は比較的高いが、本町での搬出手段は小型運材車であり実際に搬出を実行するためにはさらに作業道と一時的な作業路を必要とする。今後の本町に於ける林業の発展のためには、森林組合を中心として路網の整備とタワー付集材車の普及によって高能率な林業の生産体制を確立することであろう。

以上小規模の林地における路網計画は具体的な集材方法、搬出方法に基づいた最大集材距離、総合修正係数によって求めた目標林内路網密度と路線配置が必要となる。おわりに、本調査に協力頂いた登米町、登米町森林組合、株式会社及川自動車に謝意を表する。

## 要 旨

本論文は、小規模林地に於ける林内路網計画法について論述したものである。通常の路網計画はその規模は市町村の区域内を扱う場合がほとんどであり、大規模な林道を扱う場合は更にそのいくつかの区域を合わせた区域を扱うこともある。しかしある程度の路網が建設され、林業も比較的盛んな場合には、林道の適正路網密度を達成し、次の段階としての作業道等の整備が盛んになる。この場合はより具体的な搬出法と結び付いた路網計画となる。同時に計画区域はより狭い小規模の区域を扱うこととなる。ここで扱った問題はこの 50~150 ha 程度の区域をいう。特にこの場合の理論は林業経営といった大きな観点よりより具体的な集材等の搬出費が問題となる。そして具体的に適正な搬出手段に対する適正集材距離を求めることによって、適正路網密度を求めていくことで、この適正密度式を求めた。更にこの適正路網密度式による値と複合路網によって求めた値とを比較し複合路網の理論についても小規模林地での有効性を検証した。おわりに適用地域として小型運材車の搬出法を使用している登米町に適用し、理論を実証した。

キーワード： 林内路網計画、林道密度、林道配置、小規模林業地域、必要林内路網密度

## 引用文献

- 1) 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.
- 2) 小林洋司：山岳林における林道網計画法に関する研究，宇大学報 38, 1983.
- 3) 南方 康・酒井秀夫・伊藤幸也：複合的路網の整備目標，東大演報 74, 1985.
- 4) ———：機械化・路網・生産システム，林業調査会，pp. 265, 東京，1991.
- 5) 大川畑修：山岳地域における路網計画，フォレストコンサル 43, 1989.
- 6) DIETZ, P., KNIGGE, W. and LOEFFLER, H.: Walderschliessung, 1984.
- 7) 林政総合研究所：林道の整備促進に関する調査報告書，1987.

(1990年10月29日受理)

## Summary

In this paper we discuss forest road network planning in small-scale forestry. In general, we plan forest-road networks in large scale forestry like that for entire city, town, or village forest, and also for larger scale forests like those of two- or three- city forests. However nowadays, in places where forest-road density is great, we must plan the forest-road network in forests of smaller scale in more detail than in the former. In such case, the plan of the forest-road network becomes more related the methods of yarding or skidding than to the methods designated in the management plan for the whole forest. The planning area become smaller, and in this paper, we deal this type of area. We use a formula for the optimum density using maximum yarding distances and called it the required forest-road density. We compared this density with the synthesis road network planning method. We applied these methods to the small area of the town forest of Toyoma in Miyagi Prefecture.

**Key words:** Planning of the forest-road network, Planning of the forest-road density, Planning of the road-route location, Required forest-road density