

林道の配置計画について (IV)

——林道の開設順について——

酒 井 徹 朗

Studies on planning method of forest roads network (IV)

——Order of forest road construction——

Tetsuro SAKAI

要 旨

市町村や流域といった広域の林道計画路線を対象とした合理的な開設順決定法について検討した。個々の路線をいくつかの開設単位である区間に分割し、その区間がある時期に開設されることにより生じる効果を評価基準とし、その総計を最大化する開設順を求める。整数計画法として定式化されるこの問題を、悉皆列挙法により加速列挙して解く方法について考察した。また林道の開設目的の多様化に応じて、多基準による開設順の評価方法についても検討した。それは各評価基準に最低水準を設定し、それ以上となる開設順を選抜し、そのなかからよりベターな開設順を選択しようとするものである。その選択のひとつの基準として、各目標の理想水準との隔たりを提示した。これは重みづけされた目的関数による目標計画法とみなせる。その結果、これらの手法は合理的な林道開設順決定に利用できることがわかった。

は じ め に

森林施業計画と林道開設計画は相互に影響を及ぼし合う車の両輪である。特に収穫計画においては林道開設の有無が伐出の可否や搬出方法を左右する。そのため林道整備においては施業計画や林分の状況に応じた合理的な開設順を求める必要がある。従来この点についての研究は少なく、南雲¹⁾が収穫予定法のなかで0-1計画法により林道の開設順を決定する方法について、また北川²⁾が対象地域の森林諸作業に必要な労働力と一定の到達距離内の林地面積率により林道開設必要度を算出し開設順位づけの基礎量とする方法について報告している。

そもそも林道開設順の決定方法は個別の施業団地内の林道網の場合と、市町村や流域単位といった広域における場合とでは本質的に異なる。前者は森林施業をより効率的に行うための林道開設順を求めるものであり、後者は森林施業の効率化のみでなく、むしろ林道開設に伴う諸効果、すなわちさまざまな開発効果を総合的に判断すべきである。そのような観点から、前者の施業団地を対象とし、林地到達距離を主要な評価因子とした D. P. (Dynamic Programing) の手法による開設順決定法については別途報告³⁾する。それは、施業単位である個々の林分ごとの施業計画に基づいた森林作業量、その林分とその施業時まで開設された林道網との到達距離、その位置関係から決定される集材の可否、材積等をもとに作業費用や便益等の評価基準で開設順を決定する

ものである。この場合、林分と林道開設の基本単位となる区間との関係は、林分が特定の一区間だけと対応し評価されるのではなく、複数の区間と対応するとした。いかえると、林道開設区間の利用区域は相互に重複している。これは現実の林分と林道との状態を反映させるため、森林施業の効率化を計るうえで重要である。この方法では各期の路網の開設状態を仮定し、開設順の最適化を行うため、施業計画に基づいたきめ細い現実的な評価ができるが、反面路線数が多くなると計算量が増大し処理が困難になる。路網の連結状態にもよるが3～40区間であれば充分処理でき、個々の施業団地を対象とした林道開設順が決定できる。

さてそこで、ここでは後者の市町村や流域といった広域を対象とした開設順決定の方法について考察してみる。先の個々の施業団地を対象とした開設順決定法では、その評価値は開設区間とその利用可能林分との位置関係から算出され、開設区間相互の利用区域は重複することを前提としていた。しかし多くの路線を扱う場合、その処理は複雑多岐にわたり困難さが増す。また広域を対象としてみれば個々の路線の利用区域は独立しているとみなせる。そこである路線がある時期に開設されることによって生じる効果を利用区域は重複しないものとして算出し、評価基準として用いる。これは路線の開設時が決定すれば、その路線の利用区域内の資源状態や施業計画更らには地域社会での道路としての位置付け等より一意的に算出される評価値である。この開設順位決定のための評価値は一般には費用や便益である。しかし、時には間伐可能面積であったり、市場や地域間の交通量であったりする。最適な開設順はこれらの評価値総計を最大とする開設時期の組合せである。そこでここではまず、単一評価基準による開設を整数線形計画として定式化し、そのより効率的な解法について検討する。その後、多基準による開設順決定法について、目標計画法を参考にしながら検討し、それらの計算例を示す。

計算方法の考え方

問題を定式化するため、各路線は開設の単位となるいくつかの区間に分割され、それらは連続して開設されるとする。つまり、各路線の開設開始時期が決定されると、それ以降のその路線の各期間の開設量は決まる。いま開設対象路線総数を I 、開設期間を J 、路線 i の総延長を R_{i0} 、 N_i 期間で開設が終了するものとして、開設開始時を1とした時の j 期の開設長さなわち路線 i を N_i 区間に分割した場合の j 番目の区間長を R_{ij} 、路線 i を k 期に開設開始した場合の評価値を D_{ik} とする。また計画期間内に路線 i の開設に着手しない場合の評価値を D_{i0} とする。路線の開設順は各路線の評価値合計が最大となる開設時期 k_i を決定する問題に帰着する。これを式で表わすと次のようになる。

$$\text{目的関数： } D = \sum_{i=1}^I D_{ik} \quad \max \quad (1)$$

$$\text{制約条件： } \sum_{i=1}^I R_{im} \leq RX_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I R_{im} \geq RN_j \quad (3)$$

ただし RX_j : j 期の最大開設量

RN_j : j 期の最小開設量

$k = K_i, m = j - k + 1, \quad 0 < m < J + 1$

また、各路線間に開設の優先順がある場合、つまり林道開設が既設（開設済）の林道を起点とし行なわれるとした場合の分岐路線、あるいは政策上の優先順等についても考慮する必要がある。

いま路線 i の開設に先立ち路線 j の開設終了が前提となる場合、各々の開設開始時期 K_i, K_j の関係は次のようになる。

$$K_i > K_j + N_j - 1 \quad (4)$$

(1) 式を(2)~(4)式の制約条件下で最大とする最適解は整数線形計画として定式化でき、すべての解を列挙することで求まる。すなわち悉皆列挙法では、各路線の開設開始時 K_i の組合せ ($K_1, K_2, \dots, K_i, \dots, K_J$) について $(0, \dots, 0)$ から (J, \dots, J) の $(J+1)^J$ ケの場合すべてについて検討する。しかし、全ての解を列挙していたのでは計算量も膨大となり、実際上不可能である。そこで木平⁴⁾ の 0-1 計画法の解法と同様に、実現不可能解を省略し加速列挙する必要がある。ここでは次の 4 条件で実現不可能解を省略する。なお列挙は開設開始時期の組合せ $(0, \dots, 0)$ から (J, \dots, J) の順で行なう。

1) 優先順の制約：(4) 式を用いて路線相互間の開設優先順の条件を検討する。もし路線 i で開設終了が前提となる路線 j が未完成の場合、 $K_j = 0$ であれば $K_i = 0$ とし $i-1$ 番目の路線の開設時期をひとつ進める。つまり $K_{i-1} = K_{i-1} + 1$ とし $(\dots, K_j, \dots, K_{i-1}, K_i \dots)$ から $(\dots, K_j, \dots, K_{i-1} + 1, 0, \dots, 0)$ まで省略する。また $K_j \neq 0$ ならば $K_i = K_j + N_j - 1$ とし $(\dots, K_j, \dots, K_i \dots)$ から $(\dots, K_j, \dots, K_j + N_j - 1, 0, \dots, 0)$ まで省略し加速列挙する。この条件を使用するため、路線は優先順の高い順に並べておく必要がある。なお $K_{i-1} > J$ であれば $K_{i-1} = 0$ として $K_{i-2} = K_{i-2} + 1$ とし、添字が 1 未満であれば列挙は終了する（以下同様）。

2) 最大開設量の制約： j 期における最大開設量条件を(5)式を用いて検討する。

$$TX_j + R_{im} \leq RX_j \quad (j = K_i, \dots, K_i + N_i - 1) \quad (5)$$

ただし $m = j - K_i + 1$

TX_i : j 期の 1 番目から i 番目までの路線の開設量

もし路線 i で満足しない場合、 $K_i = K_i + 1$ とし、 (\dots, K_i, \dots) から $(\dots, K_i + 1, 0, \dots, 0)$ まで省略する。

3) 最小開設量の制約： j 期における最小開設量条件を(6)式を用いて検討する。

$$TX_j + RL_i \geq RN_j \quad (6)$$

ただし RL_i は $i+1$ 番目以降の最大可能開設量

もし路線 i で満足しない場合、 $K_i > j$ であれば $K_i = 0, K_{i-1} = K_{i-1} + 1$ とし、 (\dots, K_i, \dots) から $(\dots, K_{i-1} + 1, 0, \dots, 0)$ まで省略する。また $j > K_i + N_i - 1$ であれば $K_i = j - N_i + 1$ とし、 (\dots, K_i, \dots) から $(\dots, j - N_i + 1, 0, \dots, 0)$ まで省略する。

4) 目的関数最大の条件：路線 i において目的関数最大の条件を(7)式を用いて検討する。

$$D_{ik} + TD_{in} \geq D_{\max} \quad (7)$$

ただし D_{\max} : その時点まで最適解

TD_{in} : 路線 i までに開設されない路線数が n の場合の $i+1$ 番目以降の最大可能評価値

もし路線 i で満足しない場合、 $K_i = K_i + 1$ とし、 (\dots, K_i, \dots) から $(\dots, K_i + 1, 0, \dots, 0)$ まで省略する。これはすべての路線が必ずしも計画期間内に開設が開始されるとは限らないという前提のもとで最適解を求めようとするためである。例えば 10 の路線を 10 期間にわたり計画する場合、各路線 3 期にわたり 1000 m ずつ計 3000 m 開設するとし、各期の最大、最小開設量を各々 2000 m, 1000 m とすれば、最大 8 本の路線しか開設に着手できない。つまり 2 本以上の路線は開設から除外されるという前提で最適解を求める必要がある。 i 番目以降の最大可能評価値はそれ以前に開設が見送られた路線数により変化するわけである。特に開設されない場合の評価値 D_{i0} は一

般に小さいため、それを考慮しないと最大可能評価値は大きくなり、目的関数最大の条件で加速列挙する能率が悪くなる。

計 算 例

以上の列挙法による路線開設順探索法の有用性を検討するため、表1、3に示すような条件での開設順を求めた。表1は南雲⁵⁾が東千葉演習林を対象に開設順を求めたもので、0-1線形計画法のプログラムにより解いている。計算を単純化するため、同一路線は連続して開設している。ここではそれと同様に5路線10期間の開設順を求める場合(ケースA)と、既設部から開設され、同一路線の区間は必ずしも連続して開設するとは限らないとした場合、つまり各区間を独立した路線とみなし10路線10期間の場合(ケースB)の2とおりについて計算した。表1の評価値は後者の場合である。その結果は表2のとおりで、両者を比較すると63年度と64年度の開設順が入れ替り、評価値はケースAより285増加した。計算時間は双方とも2秒(cpu, M-400)で単純に比較できないが、南雲の例の600秒以上(cpu, H-200)より大幅に減少し、加速列挙されていることがわかる。また、この手法を一般的に利用できるように、現在普及している8ビットのパソコンで処理するBasicプログラム(F-Basic)を作成した(付表1)。これを用いると、ケースAの場合は約3分で処理でき、ケースBの場合は114分かかった。これは路線数の差によるものと考えられる。付表1のデータ文はケースAのもので、その処理結果もあわせて示してある。少々処理時間はかかるが8路線5期程度であれば、各路線が独立して優先順による省略がなくとも1時間程度までの処理時間でパソコンでも充分処理できることがわかった。市町村、旧村(大字)単位での開設順決定に利用できると思われる。

表3はある町の林業振興計画書⁶⁾を基に施業団地毎に林道・作業道をまとめてひとつの路線とみなした場合の開設順決定の例である。施業団地内での路線開設は林道・作業道の順で各計画線

表1 目的関数(D_{ik})の値(南雲の例)
Table 1 Evaluation value (D_{ik})

road No.	'56	'57	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	先行路線 priority road
No. 1	-522.	-52.	419.	908.	-2649.	-2142.	-1603.	-1069.	-534.	0.	0
No. 2	4362.	5118.	5930.	6743.	7555.	8367.	3647.	-1100.	-663.	0.	1
No. 3	-387.	75.	887.	1699.	1998.	-876.	-172.	640.	-812.	0.	2
No. 4	11504.	12039.	12563.	13172.	5696.	3684.	3629.	-698.	-478.	0.	1
No. 5	-322.	126.	735.	1298.	1907.	-380.	229.	450.	1059.	0.	4
No. 6	1269.	1796.	2323.	2850.	3377.	3905.	3979.	4506.	5034.	0.	0
No. 7	-4744.	-4217.	-3690.	-3163.	-2636.	-2108.	-1581.	-1054.	-527.	0.	6
No. 8	-4580.	-4053.	-3525.	-3061.	-2534.	-2108.	-1581.	-1054.	-527.	0.	7
No. 9	-2334.	-1906.	-2217.	-1939.	-1827.	-1550.	-1283.	-855.	-428.	0.	0
No. 10	-749.	-322.	106.	430.	858.	1285.	-1023.	-780.	-390.	0.	9

表2 計算結果
Table 2 Result of calculation

Case	'56	'57	'58	'59	'60	'61	'62	'63	'64	'65	total value
A	9	10	1	4	5	2	3	6	7	8	25,016
B	9	10	1	4	5	2	6	3	7	8	25,301

表3 目的関数（主伐経費の軽減）と区間長
Table 3 Evaluation value of skidding cost reduction and
number of road construction units

団地 i name	評価値 (D_{ik}) evaluation value						区 間 数 N_i	区 間 長 (R_{ij}) length of road (m)				
	K = 1	2	3	4	5	0		j = 1	2	3	4	5
No. 1	1286.	858.	515.	257.	86.	0.	4	600.	1200.	250.	300.	
No. 2	156.	121.	86.	52.	17.	0.	1	700.				
No. 3	285.	222.	158.	95.	32.	0.	1	900.				
No. 4	497.	355.	213.	107.	36.	0.	3	800.	1000.	1400.		
No. 5	266.	207.	148.	89.	30.	0.	1	400.				
No. 6	564.	403.	242.	121.	40.	0.	3	1000.	1000.	1000.		
No. 7	144.	112.	80.	48.	16.	0.	1	470.				
No. 8	431.	308.	185.	92.	31.	0.	3	800.	700.	300.		
No. 9	318.	227.	136.	68.	23.	0.	3	600.	800.	800.		
No. 10	121.	94.	67.	40.	13.	0.	1	1000.				
No. 11	1411.	941.	564.	282.	94.	0.	5	1400.	600.	1500.	1500.	1500.

表4 計算結果
Table 4 Result of calculation

開設量の制約 (m) construction subject		期間別開設量 length of construction (m)					評価値	計算時間
min	max	K = 1	2	3	4	5	evaluation	CPU, time
1,500	6,000	5,970	6,000	5,850	3,200	1,500	5,220	0.5(SEC)
2,500	6,000	5,900	5,800	5,720	2,600	2,500	5,181	1
3,500	6,000	5,800	4,570	4,650	3,600	3,900	4,964	1
1,500	5,000	4,800	4,770	4,650	5,000	3,300	4,854	2
2,500	5,000	4,800	4,770	4,650	5,000	3,300	4,854	2
3,500	5,000	4,970	5,000	4,850	4,200	3,500	4,844	2
4,000	4,500	4,470	4,400	4,450	4,100	4,300	4,632	4

単位で開設するものと仮定し、1500 m 以上の延長の計画線については1期間の開設長が1500 m 以下になるように分割した。施業団地1を例にとると林道1路線(600 m)と作業道3路線(1200, 250, 300 m)が計画されており、4期で開設されることを意味する。評価値は路線開設前後の林地到達距離と主伐計画面積により計算される集材費の軽減分とした。各期の最小開設長、最大開設長を変化させ開設順を求めた結果を表4に示す。開設量の制約を厳しくするに従い、評価値が減少し、計算時間が増加することがわかる。これは開設量の制約強化によりそれを満足する開設順の評価値計が小さくなるため、目的関数最大の条件で列挙が省略されにくくなったためと思われる。木平²⁷⁾のFOAでも同様な傾向があり、より効率的に目的関数最大の条件で省略できるような工夫が更に必要である。この手法で処理できる路線数は制約条件によって左右されるが最大15路線5期程度(cpu 1秒~150秒, M-400)が限度と考える。

多基準による評価

以上の開設順決定に用いた評価基準は、各路線ごとの開設時期により一意的に決まるただひと

つの基準であった。それは費用、便益や伐採可能面積等であった。しかし、現実の開設順決定に際しては、単一の評価基準だけでは決定しきれない面が多くある。それは林道開設目的が多様化し、単に森林施業の効率化ばかりでなく地域の生活向上・森林の管理・保健休養的利用と多岐にわたるからである。この傾向は森林利用の多様化とともに今後更に強まるものと考えられる。そのため幾くつかの評価基準、なかには相反するものも含むこともあるが、その各々をある程度満足させる、調和のとれた開設順決定法が望まれる。この種の問題の解法には目標計画法 (Goal Programming, GP) と呼ばれる手法⁹⁾がある。これは各目標 (評価基準) に対する評価値をそれぞれ求め、その単純計あるいは重みづけされた総計を目的関数とする線形計画の手法である。この手法を用いて開設順を決定する場合、多くの目標計画法を用いた事例がそうであるように、目的関数の各目標に対する重みづけが問題⁹⁾となる。そこでここでは単純に、 l 個の各目標に最低水準を設定し、それを満足するすべての開設順を選抜し、そのなかからよりベターなものを比較検討し選択することとする。比較検討は計画当事者の意思が中心となるものの、ひとつの比較の基準として次のようなものを提示する。それは各目標単一の最大値を理想水準とし、最低水準を 0 理想水準を 100 とみなした l 次元空間での、理想水準との単純距離 (以下乖離と呼ぶ) である。これは条件つきで重みづけされた目的関数をもつ目標計画とみなすこともできる。

この手法は先に述べた計画方法の目的関数最大化の条件 (7) 式を、多目標に対する最低水準の制約として (8) 式のように変更させ容易に選抜できる。

$$H_{lik} + TH_{lin} \geq H_{l \min} \quad (8)$$

ただし $H_{l \min}$: l 番目の目標の最低水準

H_{lik} : i 路線開設開始 K の l 番目の目標の評価値

TH_{lin} : TD_{in} と同様

多基準による計算例

前述の林振計画を用いて多基準による開設順を求める手法の有用性を検討してみた。ここでは 3 つの基準により各期開設量を 2500~5000 m とて評価する。第 1 目標は表 3 に示した集材費の

表 5 目的関数 (間伐面積) の値
Table 5 Evaluation value of thinning

団地 i name	評価値 (H_{2ik}) evaluation value (ha)					
	K=1 1	2	3	4	5	0
NO. 1	56.	51.	47.	44.	42.	41.
NO. 2	105.	103.	101.	99.	97.	96.
NO. 3	235.	227.	220.	213.	205.	201.
NO. 4	93.	81.	68.	59.	53.	49.
NO. 5	133.	126.	119.	112.	105.	102.
NO. 6	41.	36.	31.	27.	24.	23.
NO. 7	76.	74.	72.	70.	68.	67.
NO. 8	119.	110.	101.	94.	90.	88.
NO. 9	50.	43.	37.	32.	28.	27.
NO. 10	75.	72.	70.	68.	66.	65.
NO. 11	100.	85.	73.	65.	59.	56.

表 6 目的関数 (歩行経費軽減) の値
Table 6 Evaluation value of tending cost

団地 i name	評価値 (H_{3ik}) evaluation value					
	K=1 1	2	3	4	5	0
NO. 1	3424.	2283.	1370.	685.	228.	0.
NO. 2	365.	284.	203.	122.	41.	0.
NO. 3	853.	664.	474.	284.	95.	0.
NO. 4	2562.	1830.	1098.	549.	183.	0.
NO. 5	518.	403.	288.	173.	58.	0.
NO. 6	1055.	754.	452.	226.	75.	0.
NO. 7	459.	357.	255.	153.	51.	0.
NO. 8	572.	409.	245.	123.	41.	0.
NO. 9	1277.	912.	547.	274.	91.	0.
NO. 10	357.	278.	198.	119.	40.	0.
NO. 11	1962.	1308.	785.	392.	131.	0.

軽減であり、第2目標は林地到達距離が200m以内となる間伐林分面積で表5に、第3目標は造林・保育のための費用の軽減（歩行時間相当）で表6に示すとおりである。本来ならば第2、3目標に施業効率以外の効果を用いるべきであったが資料不足のためできなかった。各目標単一基準の最適開設順は表7の下段に示すとおりである。各目標の最低水準を各目標単一基準の場合の最大値の95%とし、それを満足する開設順を求めた。その結果、表7上段に列挙するよう24とおりの開設順を得た。このなかには、各目標単一基準で最大化する開設順は含まれなかった。個々の目標最大化により、それ以外の目標が無視されたためである。理想水準との乖離で判断すると、No.5が最も理想水準に近く、No.3, 13, 19の順となる。最低水準の設定により乖離は変化するが、ここではNo.5の開設順がよりベターと考えられる。この24とおりの開設順をみると、団地1, 3, 4, 5, 8, 10, 11ではどの開設順でも開設時はほぼ一定している。その反面団地2, 9では一定していない。これは開設量の制約とその団地の各評価の変化に起因していると思われる。

表7 目標計画法の結果
Table 7 Result of goal programming

解 NO.	評価値 evaluation value			乖離 distance	開設開始時間 start time of construction 団地番号 No.										
	1-Goal	2-Goal	3-Goal		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4778.	1035.	11505.	106.0	1	1	1	1	2	2	1	2	4	5	1
2	4767.	1028.	11439.	124.1	1	1	1	2	1	1	2	4	2	5	1
3	4816.	1043.	11535.	76.8	1	1	1	2	2	3	2	1	1	5	1
4	4752.	1039.	11331.	139.1	1	1	1	2	2	3	4	1	1	5	1
5	4844.	1044.	11563.	63.8	1	1	2	2	1	3	1	1	1	5	1
6	4777.	1044.	11495.	103.9	1	1	2	2	1	4	1	1	1	3	1
7	4759.	1044.	11377.	128.3	1	2	1	1	1	3	2	1	4	4	1
8	4765.	1049.	11687.	95.9	1	2	1	1	1	4	3	1	2	4	1
9	4764.	1028.	11460.	124.2	1	2	1	2	1	1	1	4	2	5	1
10	4781.	1043.	11306.	122.8	1	2	1	2	1	3	1	1	2	5	1
11	4776.	1044.	11365.	118.6	1	2	1	2	1	3	4	1	1	5	1
12	4762.	1049.	11708.	97.2	1	3	1	1	1	4	2	1	2	4	1
13	4824.	1043.	11438.	86.5	1	4	1	1	1	2	2	1	4	5	1
14	4792.	1041.	11336.	114.0	1	4	1	1	1	2	3	1	4	5	1
15	4797.	1038.	11425.	101.8	1	4	1	1	2	2	1	1	4	5	1
16	4754.	1029.	11561.	122.2	1	4	1	2	1	1	2	4	1	5	1
17	4771.	1044.	11407.	117.1	1	4	1	2	1	3	2	1	1	5	1
18	4776.	1040.	11317.	125.2	1	5	1	1	1	2	2	1	4	0	1
19	4816.	1043.	11436.	89.6	1	5	1	1	1	2	2	1	4	4	1
20	4789.	1041.	11357.	112.9	1	5	1	1	1	2	2	1	4	5	1
21	4784.	1041.	11334.	118.4	1	5	1	1	1	2	3	1	4	4	1
22	4789.	1038.	11423.	106.4	1	5	1	1	2	2	1	1	4	4	1
23	4762.	1036.	11344.	132.3	1	5	1	1	2	2	1	1	4	5	1
24	4838.	1042.	11365.	93.8	1	5	1	2	1	2	1	1	2	5	1
理想 max	4,854	1,051	11,979												
最低 min	4,750	1,000	11,303												
単一基準 1-Goal	4,854	1,042	11,222	—	1	1	1	2	1	2	2	1	3	5	1
単一基準 2-Goal	4,077	1,051	9,737	—	4	2	1	1	1	2	4	1	1	4	1
単一基準 3-Goal	4,708	1,031	11,979	—	1	4	1	1	2	2	1	4	1	5	1

この多基準による開設順決定プログラムは5基準20路線10期間の大ききで作成されているが、実際上処理可能な計算時間(cpu)5分以内の能力は先の単一基準の場合と同じ5基準15路線5程度と考える。基準の増加は処理上、路線や期間の増加に比べ、問題とはならない。

おわりに

森林の施業・管理・利用や山村の生活にとって林道・作業道は必要不可欠のものである。そのため、各地域に数多くの林道や作業道の計画があり、その開設が切望されている。しかし、開設量や能力には限界があり、開設にはどうしても順位付けが必要であるが、客観的・合理的な順位決定をしているとはいい難い。そこで本論では林道開設に伴うさまざまな開発効果の評価基準として、合理的な開設順を決定する手法について述べた。市町村あるいは大字といった行政区画単位毎に考えれば、比較的普及しているパソコンを用い、この手法で容易に開設順が求まる。また多基準への展開も容易なので、地域にあった評価基準を附加し、多目標に対処した開設順も決定できる。

おわりに、本研究をすすめるにあたり、施業団地の資料調整に協力いただいた本学の大学院生助永隆雄君、および御指導をいただいた佐々木功先生にお礼を申し上げます。なお、計算処理には京大大型計算機センター及びパソコンとして林業工学研究室のFM-7を用いた。

引用文献

- 1) 南雲秀次郎, 北岡篤: 線型モデルによる収穫予定法の研究(II) 東京大学千葉演習林における林道開設順序の決定, 日林誌, 65(5): p. 172~178, 1983
- 2) 北川勝弘, 森岡昇: 森林作業面からみた林道開設必要度の評価, 日林論, 94: p. 699~702, 1983
- 3) 酒井徹朗: 林道開設順の決定について, 投稿中
- 4) 木平勇吉: 収穫予定のための0-1線型計画の解法(I) 加速列挙法の開発, 日林誌, 63(10): p. 345~353, 1981
- 5) 1)と同じ
- 6) 青垣町: 青垣町林業振興地域計画書: 1982
- 7) 木平勇吉: 収穫予定のための0-1線型計画の解法(II) 適用と処理能力, 日林誌, 63(11): p. 392~399, 1981
- 8) 黒川泰亨: 林業経営計画に対する目標計画法の利用について, 日林誌, 63(4): p. 144~149, 1981
- 9) 伏見多美雄, 山口俊和: 複数の目標をバランスよく達成するための数値計画的方法, 経営科学, 19(2): p. 88~112, 1975

Résumé

In this report, we wish to report on scheduling methods of a forest road construction, using integer programming and goal programming. These methods are applied to wide area, for example city, town, village, and a river basin. Each planning road is divided into some construction units, and each of them has independently an utilization area. The effect of a construction is calculated using the existing conditions of utilization area and forest working plan at the time. The order is determined as to maximize a total effect, using a complete enumeration for solving by integer programming. But it is very difficult to solve, unless an accelerated enumeration, because of the tremendous combination. So we attempt to omit some enumerations for an acceleration, which don't satisfy any restrictions. These restrictions are a priority of constructed order (equation 4), maximum and minimum length of constructed

road in each time (equation 5, 6), and maximization of effect (equation 7). As the result, we make a program (appendix 1) for personal computer, which is practical for a determination of a constructed order.

We attempt to convert this method from a mono-criteria as integer programming to multiple-criteria, because there are many use in a forest and a forest road. Some enumerations which satisfy a minimum level of each criteria are selected on a new method. A planner can select one of them in his opinion. Then, as a helpful criteria, a standard distance from an ideal level is calculated. That can be regarded as an objective function of goal programming. Table 7 shows the result of a new method, using Table 3, 5 and 6 as multiple-criteria. These methods is useful to plan an order of a forest road construction.

附表1 プログラムリスト及び計算結果
Appendix 1. List of Basic program and result of run.

```

10 REM L.P. NO KEISAN
20 DIM AA(15,11),NI(15),RT(10),RL(10)
30 DIM HA(15,15),NP(15),TMP(10),RR(15,5)
40 DIM LP(15),NR(15),BX(10),BN(10)
50 REM ---- DATA READ ----
60 TIME$="00:00:00"
70 GOSUB 1410
80 REM ---- SYOKIKA ----
90 NCNT=0
100 HMAX=-1E+06
110 FOR I=1 TO IN
120 NP(I)=1
130 IF I>NI THEN 150
140 NP(I)=0
150 NEXT I
160 NZ=NZ+1
170 REM ---- START 1 ----
180 IP=1
190 NI=1
200 HH=0
210 FOR J=1 TO JN
220 RT(J)=0
230 NEXT J
240 REM ---- START 2 KEISAN ----
250 IH=0
260 IF NP(IP)<=0 THEN 620
270 IF LP(IP)<=0 THEN 330
280 L=LP(IP)
290 IF NP(L)>0 THEN 310
300 GOTO 340
310 IF NP(L)+NI(L)-NP(IP)<=0 THEN 330
320 NP(IP)=NP(L)+NI(L)
330 IF NP(IP)<=JN THEN 180
340 NP(IP)=0
350 IP=IP+1
360 IF IP<=0 THEN 1350
370 NP(IP)=NP(IP)+1
380 GOTO 330
390 NE=NP(IP)+NI(IP)-1
400 NS=NP(IP)
410 FOR J=1 TO JN
420 JP=J
430 IF J<NS THEN 470
440 IF J<=NE THEN 500
450 JJP=J+NS-NE
460 GOTO 400
470 JJP=JN+1
480 IF RT(J)+RL(IP)<BN(J) THEN 1000
490 GOTO 540
500 NI=J+NS+1
510 RT(J)=RT(J)+RR(IP,NI)
520 JJP=J+1
530 IF RT(J)>BX(J) THEN 1000
540 NEXT J
550 HH=HH+AA(IP,NP(IP))
560 IH=I
570 IF IP>=IN THEN 790
580 IF HMAX<=HH+HA(IP,NZ) THEN 760
590 JJP=NP(IP)+1
600 GOTO :000
610 REM *** NP(IP)=0 ***
620 NS=11
630 NE=20
640 FOR J=1 TO JN
650 JP=J
660 JJP=J-NI(IP)+1
670 IF JJP>0 THEN 690
680 JJP=1
690 IF RT(J)+RL(IP)<BN(J) THEN 1000
700 NEXT J
710 HH=HH+AA(IP,11)
720 IH=2
730 NZ=NZ+1
740 GOTO 570
750 REM ** IF NO KOUSIN **
760 IP=IP+1
770 IF IP<=IN THEN 250
780 REM ---- HYOUKACHI NO HIKAKU ----
790 NCNT=NCNT+1
800 IF HMAX>HH THEN 890
810 HMAX=HH
820 GOSUB 1720
830 FOR I=1 TO IN
840 NP(I)=NP(I)
850 NEXT I
860 FOR J=1 TO JN
870 TMP(J)=RT(J)
880 NEXT J
890 IP=IN
900 JP=JN
910 IF IH<=0 THEN 930
920 IH=3
930 NS=NP(IN)
940 NE=NP(IN)+NI(IN)-1
950 JJP=NP(IN)+1
960 IF NS<=0 THEN 1040
970 NS=11
980 NE=25
990 GOTO 1040
1000 IF IP>= IN THEN 1040
1010 FOR I=1 TO IN
1020 NP(I)=0
1030 NEXT I
1040 FOR J=1 TO JP
1050 IF J<NS THEN 1090
1060 IF J>=NE THEN 1090
1070 NI=J+NS+1
1080 RT(J)=RT(J)-RR(IP,NI)
1090 NEXT J
1100 IF IH=0 THEN 1140
1110 HH=HH-AA(IP,NS)
1120 IF IH<=2 THEN 1140
1130 NZ=NZ-1
1140 IF JJP<NP(IP) THEN 1200
1150 IF JJP>NP(IP) THEN 1180
1160 PRINT "JJP=NP(IP);JJP;IP"
1170 GOTO 1200
1180 NP(IP)=JJP
1190 IF NP(IP)<=JN THEN 250
1200 NP(IP)=0
1210 IP=IP-1
1220 IF IP<=0 THEN 1360
1230 JP=JN
1240 IH=4
1250 IF NP(IP)>0 THEN 1270
1260 NI=NZ-1
1270 JJP=NP(IP)+1
1280 NS=NP(IP)
1290 NE=NP(IP)+NI(IP)-1
1300 IF NP(IP)>0 THEN 1040
1310 NS=11
1320 NE=21
1330 GOTO 1040
1340 REM LP CHECK
1350 PRINT "LP DATA MIYORI END"
1360 REM ---- END OF RUN ----
1370 LPRINT "HMAX";HMAX,"NP";NP(1);NP(2);
NP(3);NP(4);NP(5);NP(6);NP(7);NP(8);NP(9);NP(10)
1380 LPRINT "TMP";TMP(1);TMP(2);TMP(3);TMP(4);TMP(5)
1390 LPRINT "TIME";TIME$;TIME$
1400 END
1410 REM ** DATA INPUT **
1420 READ IN,JN,NZ
1430 DATA 5,10,1
1440 READ NI(1),NI(2),NI(3),NI(4),NI(5)
1450 DATA 1,2,2,3,2
1460 READ LP(1),LP(2),LP(3),LP(4),LP(5)
1470 DATA 0,1,1,0,0
1480 READ BX(1),BX(2),BX(3),BX(4),BX(5),
BX(6),BX(7),BX(8),BX(9),BX(10)
1490 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
1500 READ BN(1),BN(2),BN(3),BN(4),BN(5),
BN(6),BN(7),BN(8),BN(9),BN(10)
1510 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
1520 READ RR(1,1),RR(2,1),RR(3,1),RR(4,1),RR(5,1),
RR(1,2),RR(2,2),RR(3,2),RR(4,2),RR(5,2)
1530 DATA 1,1,1,1,1,1,1,1,1,1
1540 READ RL(1),RL(2),RL(3),RL(4),RL(5)
1550 DATA 4,3,2,1,0
1560 FOR I=1 TO IN
1570 READ AA(I,1),AA(I,2),AA(I,3),AA(I,4),
AA(I,5),AA(I,6),AA(I,7),AA(I,8),AA(I,9),
AA(I,10),AA(I,11)
1580 NEXT I
1590 DATA -522,-52,419,900,-2649,-2142,-
1603,-1069,-534,0,-100000
1600 DATA 4437,6005,7629,6741,6679,8195,
3007,-1912,-663,-10000,-100000
1610 DATA 11630,12774,13061,15079,5316,3
913,4079,361,-470,-10000,-1000000
1620 DATA -6473,-4955,-2374,-1094,-312,1
270,3452,3379,-10000,-10000,-1000000
1630 DATA -2656,-1000,-1707,-1001,-542,-
2572,-2063,-1245,-420,-10000,-100000
1640 FOR I=1 TO IN-1
1650 READ HA(I,1)
1660 NEXT I
1670 DATA 27257
1680 DATA 10516
1690 DATA 3437
1700 DATA -542
1710 RETURN
1720 LPRINT "HYOUKA";HH;NCNT;"TIME";TIME$;
$;
1730 LPRINT "NP";NP(1);NP(2);NP(3);NP(4);
NP(5)
1740 RETURN
HYOUKA 21404 1 TIME00:00:09NP 1 2 4 6 9
HYOUKA 21960 2 TIME00:00:13NP 1 2 4 8 6
HYOUKA 22399 3 TIME00:00:34NP 1 4 2 8 6
HYOUKA 23345 4 TIME00:00:57NP 1 6 2 0 4
HYOUKA 24921 5 TIME00:01:06NP 1 6 4 0 2
HYOUKA 25016 6 TIME00:02:09NP 3 6 4 0 1
HMAX 25016 NP 3 6 4 0 1 0 0 0 0 0
TMP 1 1 1 1 1
TIME 00:02:44

```