

電 算 機 に よ る 林 道 路 線 選 定 の 一 方 法

小 林 洋 司⁽¹⁾Hiroshi KOBAYASHI : A Method of Forest Road Route
Location with an Electronic Computer

要 旨：一連の林道設計の仕事の中で一番はじめに行われ、かつ重要なのが林道路線選定である。本報告はこの林道路線選定のうち与えられた2点間において、より合理的な比較路線を電算機により選定する方法を究明したもので、「林道設計の自動化に関する研究」の一部として行った^{(9) (10) (11) (12)}。数値地形モデル (D. T. M.) は空中写真から自動的に作られたものと地形図から作ったものを用いた。これらはさらに林道における路線選定の観点から数値化し、分析評価される。標高は20mのグレード値として表現し、地形傾斜は最急地形勾配値とその方向を表わし、路線に大きな影響を及ぼす谷と尾根は移動平均法により地形を平滑化し、微分法の考え方をもとに判別した。土工量はスムーズモデル (S. M.) を想定計画高として、原地形面との差から切取、盛土量を推定した。各要因の総合評価は、いろいろな値をデータとして与えられるウェイト付け法により行った。グリッドの総合評価値をネットワークにおけるノード値とし、アーク値をその平均とし、最短経路探索手法であるダイクストラ法により路線経路を求める方法を適用し、電算プログラム化し、林道路線選定を行った。適用例として既設林道、予定路線の入った地域を数例とりあげ、地形、地形図の縮尺、グリッド間隔、ウェイト値等の違いによる路線選定結果を検討した。現実の路線と比較したところ、この方法は実際の林道路線選定に当たり、比較路線をとるのにも、効果的であることがわかった。

目 次

1. は じ め に.....	138
2. 林道の路線選定.....	138
2.1 林道の路線選定について	138
2.2 林道の路線選定に影響を及ぼす因子	139
2.3 電算機による林道の路線選定の検討	139
3. 電算機による林道の路線選定.....	140
3.1 全 体 の 流 れ	140
3.2 グリッドとネットワーク	140
3.3 数値地形モデル (D. T. M.) について.....	141
4. 林道の路線選定に影響を及ぼす各要因の数値化と評価.....	141
4.1 標高と林道路線	141
4.2 地形傾斜と林道路線	142
4.3 尾根と沢、谷の判別法	142
4.4 林道路線選定と土工量の推定	143
4.5 総合評価について	143
5. 林道の路線選定とネットワーク手法.....	144
5.1 ダイクストラ法による林道路線選定	144
5.2 第2路線ほかの比較路線の選定	145
6. 林道の路線選定の電算プログラム.....	145

6.1 全体プログラムの流れ	145
6.2 要因別プログラムの流れ	146
6.3 プログラムの構造と使用語数	146
6.4 補助記憶装置	149
7. 電算機による林道の路線選定結果	150
7.1 北 見 の 例	150
7.2 桧 山 の 例	169
7.3 内野林道の例	172
7.4 大金田林道の例	175
7.5 縦断勾配に重点をおいた林道路線選定	178
8. お わ り に	178
文 献	180
Summary	181

1. は じ め に

近年、林道に対する社会的要請から従来の費用便益の面からのみの作設はできず、景観や環境への影響に対する配慮のウェイトが大きくなってきている。一方、自然保護、環境保全といった社会的要請からくる非皆伐等の分散伐採方式は林道作設の必要性を大きくしている。また山村地域における交通路としての要求も大きく、林道技術に求められる内容もますます多様化している。このようなことから林道開設にあたっての全体路線計画をたてるにあたっては上述のことを十分に考慮した事前調査すなわち林道における環境アセスメントの技術が要請されている。これはとりもなおさず林道の予定路線全体の事前における路線選定の重要性を示すことである。従来とかく指摘されがちな林道による自然破壊、環境破壊の多くは急斜面、地質の不安定さ、河川との関連等に起因している。これは林道を作ることと地形その他との関係を究明することにより解決が可能となる。こういった多種の要因を分析、考慮して、最適とするルートを選定するためには従来の勘にたよった技術では不可能で電算機を前提にした手法の開発が必要であり、研究を試みたものである。

なお、本研究に使用した電算機は当場の OKITAC-4500 である。また本研究を進める上で貴重な設計資料を提供して下さった民有林、国有林の林道担当者、空中写真についての資料提供を受けた当场航測研究室、ご協力いただいた電算機室、林道研究室の方々、ご指導を賜った福田光正林道研究室長、山脇三平機械化部長に対し、併せて謝意を表わすものである。

2. 林道の路線選定

2.1 林道の路線選定について

林道設計における諸作業の中で路線選定の重要性はいまさら指摘するまでもないが、それは Fig. 1 に示す一つの体系づけられた林道設計の中で、他の設計諸作業と有機的関連性をもっている。いいかえれば路線選定だけのことを考えて選定はできないし、特に実施設計については路線選定によりなれば決定づけられると言っても過言ではない。この意味で路線選定の段階は非常に重要である。さらに近頃の林道は従来よりとられている森林鉄道式の川沿い林道より山腹あるいは尾根のなだらかな地形を通る中腹林道に変ってきているので、この場合の路線選定法も検討した。

従来の林道の路線選定における過程と方法をあげると、次のとおりである²⁰⁾²¹⁾。

1) 当該林道が施業および経営計画からくる路網の全体計画の中で幹線か支線かといった位置づけをはっきりさせる。

2) 次の段階で具体的に林道の起点と終点を決め、空中写真を参考にし、て5,000分の1の地形図上で路線選定を行う。

3) 具体的方法は起点と終点の高低差から(1)式によって、決められた平均計画勾配に対する次のコンター(等高線)までの地形図上での距離(l)を求め、次々にコンパスによってコンターを切っていく。この場合のルートは必ずしも路線と一致せずいわゆるゼロ線としての路線の施工基準線(F.L.)となる高さを示すもので、これを現地の路線踏査に用いる。

$$l = \frac{\text{高低差 (1コンターに対する)}}{\text{平均計画勾配 (3\sim 7\%)}} \dots\dots\dots (1)$$

4) 同様に全く別の見地から橋梁、排水工等の構造物を考慮した路線を考へ2～3本の比較路線を作る。

5) 図上選定が終わったら実際に現地へ行きハンドレベル、高度計等により予定の路線を当たり、実際に地上に路線を設定して林道路線の可能性について検討する。

6) このような過程をへて、最終的に路線を決定し、路線選定を終える。

概略、以上のようなものであるが、最近における社会的要望である環境保全、公益的機能に対しては特に路線選定時に従来以上の配慮をしなければならない。しかし、それらは林道開設にともなう因果関係や他の要因との関係に不明な点もあり、今後さらに究明されなければならない問題である。

2.2 林道の路線選定に影響を及ぼす因子

林道の路線が最終的に決まるまでには、さまざまな要因によって影響される¹⁶⁾²²⁾。TURNERは道路の路線選定要因を次のように分類している²³⁾。第一のグループは地形、土質および地質、土地利用、人口分布といった要因で、代替路線に関係なく調査できるため「路線非従属要因」と名付けられ、比較路線選定のために使用される。第二のグループは路線が設定された段階で決まる要因で、利用者費用、維持管理費、構造物費用、景観、現存の部落や施設の破壊といったもので「路線従属要因」と呼ばれる。

林道の場合、建設費に関係する要因に対して路線が影響を受けやすいこと、また多くは山岳地にあるため、第一のグループ、特に地形を中心にした要因に影響されやすい。これら要因を分析し、考慮して、最適な路線を決定するためには膨大なデータの処理と計算を必要とし、電算機を用いなければならない。ここでは主として地形を中心に電算機によって定量化あるいは数値評価し、これをもとに路線選定を行った。

2.3 電算機による林道の路線選定の検討

従来の路線選定についてはこれまで論じてきたとおりで、これら技術に対して否定するものではないが、林道技術者に対して、一つの検討資料—比較路線として電算機による林道の路線選定法の開発を試み

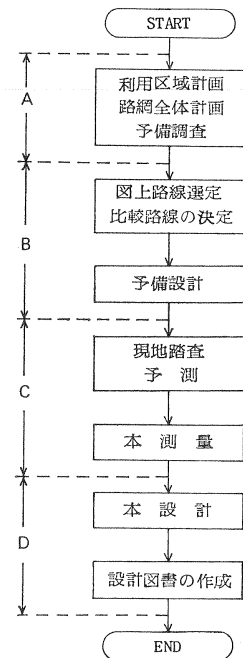


Fig. 1 林道設計の諸作業
Procedures for forest
road design.

た。従来よりこのような試みは二、三おこなわれているが⁶⁾⁷⁾、ここでは電算機によって路線を完全に自動的に選定するというより、各要因に対する評価ウェイトをデータとし、これに対する比較路線を選定する方法である。すなわち従来の方法より合理的客観的に各因子を評価し、路線としての前後関係、全体径路を評価し、比較路線を選定することで、計画勾配と地形勾配との関係、河川をわたる位置、傾斜地、崩壊地を避けるといった因子を数値的に評価して何本かの比較路線を選定することである。

3. 電算機による林道の路線選定

3.1 全体の流れ

電算化を試みたのは Fig. 1 林道設計の諸作業のうち B の部分、すなわち現地踏査を行う前の段階で、従来より林道技術者が行っていた図上の路線選定に当たる部分である。林道技術者に対して具体的な数値として総合評価値をもった比較路線を与え、路線選定の精度向上をめざしたものである。全体の流れは Fig. 2 に示すように 4 つに大別される。すなわち、第 1 は主にデータの準備段階として、起終点の決定と数値地形モデルの作成であり、第 2 段階は要因別データの数値化と評価で、標高のランク、最急勾配の大きさと方向の計算、山と谷、土工量を推定し、さらに要因別に評価することである。第 3 段階は要因別にウェイトを与え、総合評価値を決定し、この値によりネットワーク手法のダイクストラ法により比較路線を決定する。第 4 の最終段階は比較路線を評価、検討し、最終的にルートを決する。この中で第 2、

第 3 段階と XY プロットによる作図が電算機により行われる。この一連の数値地形モデルの作成から最終ルート決定までの過程はメッシュをかけた地域のグリッドを中心に扱われる⁴⁾⁵⁾¹⁴⁾。したがってこのグリッドごとに要因別に評価され、さらにウェイト付けにより総合評価し、ネットワーク手法を用い、このモデル上で一種の林道のシミュレーションがなされ、比較路線が決定される。比較路線は指定された本数だけ評価の優位な順に総合評価値としての径路値とルートが示され、XY プロットによる作図も可能である。

3.2 グリッドとネットワーク

従来の地形図は電算機で扱うには不適當なため、対象地域が決まったら全体にメッシュをかけ、地域を矩形状に分割してその一つ一つを単位として扱う²⁴⁾。標高は格子点の位置の

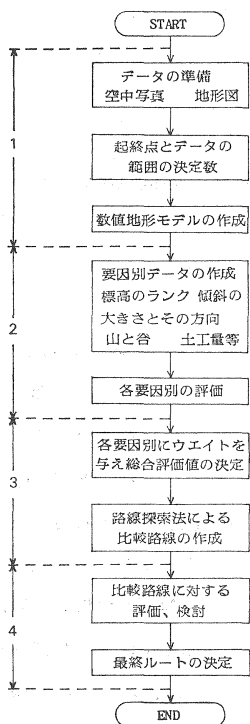


Fig. 2 電算機による林道の路線選定の流れ
Flow chart for forest road location by electronic computation.

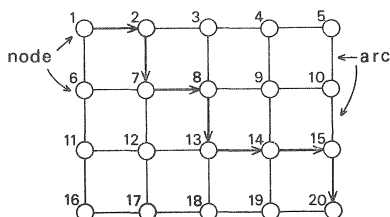


Fig. 3 グリッドとネットワーク
Grids and network.

値がデータとして記憶され、位置の座標とともに数値地形モデル (D. T. M.) となる。電算機内ではこの格子 (グリッド) の値を中心に扱い、ネットワーク探索の段階では Fig. 3 に示すようにこのグリッドの値をノード値とし、2点間の平均をアーク値として扱う²⁶⁾。アーク値は8方向と Fig. 3 のような斜めの方角を除いた4方向の場合がある。また計算機のグリッド値の記憶の形は Fig. 3 のような番号順である。

3.3 数値地形モデル (D. T. M.) について

この路線選定に用いられるデータは格子点を中心に扱われる。数値地形モデル (D. T. M.) はかなり以前から用いられ、空中写真、電算機あるいは周辺機器の発達によって得られやすいものになってきている。この構想が生まれたのは電算機が第3世代に入る前、MIT の MILLER 教授が道路設計にともなう設計計算に地形を数値化することの必要性を提案して以来である。作成方式は配置の違い別に等間隔のグリッド方式、ランダムポイント方式、コンターライン方式、セクション方式、帯状メッシュ方式などがあり¹⁸⁾、今回は等間隔のグリッド方式を用いた。また地形情報の抽出の仕方により地形図を利用する場合と空中写真を利用する場合があり、地形図の場合は手作業で標高を読みとることと、ディジタイザなどを用いて標高を計算により求める方式がある。空中写真による場合、メッシュを空中写真上に地上の縮尺になおして、図化機によって空中写真上にメッシュを入れ、交点の標高を直接測量し、データを紙テープ、カードまたは磁気テープに (X, Y, Z) の形で自動的に記録するシステムも完成されている¹⁹⁾。今回使用した数値地形モデル (D. T. M.) は空中写真より自動的にカードにパンチされるシステムによって作られたものと、手作業によって地形図から標高を読み、カードにパンチしたものをを用いた。

4. 林道の路線選定に影響を及ぼす各要因の数値化と評価

ここでは、先に述べた各要因が林道の路線選定にどのような影響を及ぼすかを考察し、その度合の数値化あるいは評価を試みた。

4.1 標高と林道路線

数値地形モデル (D. T. M.) として与えられている標高は絶対的評価より、相対的に論じられる要因と考えられる。あるグリッドの標高を評価する場合、路線に対して次の項目を一つのスケールとして評価できる。

- 1) 起終点の計画高に対して当該グリッドの標高はどうであるか。
- 2) 当該グリッドを路線が通過すると仮定し、進行方向の前後の2～3のグリッドの標高に対してどうであるか。
- 3) 同じく路線方向の直角方向のグリッドの標高に対してはどうであるか。

当該グリッドの標高は仮りに起点、終点を順勾配で結ぶことがもっとも合理的であるとすれば1) については起終点の計画高との差をもとに評価することができる。また2) 3) についての評価は ROBERTS の提唱したスムーズモデル (S. M.) を利用するとうまく説明が可能である²³⁾。

標高の相対的尺度としては、グリッド間の地表勾配があり、これを算出して、小さい程良しとすれば評価は可能である。この場合はノード値ではなく、グリッド間のアーク値となる。

4.2 地形傾斜と林道路線

地形傾斜が林道の作設コスト，線形，路線選定全体に影響していることは明らかで，前節における相対的標高もマクロ的にみた地形傾斜といえる。傾斜の路線選定に対する影響の仕方は，Ⅰ．大きさの絶対値として，Ⅱ．傾斜の方向と合せての 2 つが考えられ，Ⅰは特に作設に関連し，最急地形傾斜，平均地形傾斜の値を用いることができ，Ⅱは前節の路線方向の勾配かあるいは最急地形傾斜の方向を算出し，評価することが可能である。

最急地形勾配 S は (2) 式より，斜面方位は東方位から θ の角度で (3) 式により求まる¹⁸⁾。

$$S = \sqrt{(\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\partial z}{\partial x} / \frac{\partial z}{\partial y} \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

数値地形モデル (D. T. M.) より求めるには各測点での残差が最小になるように想定し，(4)，(5) 式のようになる。

$$S = \tan^{-1} \sqrt{a^2 + b^2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\theta = \tan^{-1}(b/a) \quad \dots\dots\dots (5)$$

ただし

$$a = (Z_{i,j} + Z_{i+1,j} - Z_{i,j+1} - Z_{i+1,j+1}) / 2D \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$b = (-Z_{i,j} + Z_{i+1,j} - Z_{i,j+1} + Z_{i+1,j+1}) / 2D \quad \dots\dots\dots (7)$$

$Z_{i,j}$, $Z_{i+1,j}$, $Z_{i,j+1}$, $Z_{i+1,j+1}$ はそれぞれグリッドの標高， D はグリッド間隔である。

4.3 尾根と沢，谷の判別法

河，沢，尾根のような地形因子は林道の路線を迂回させたり，橋梁，トンネル，暗渠等の構造物を作らせたりして，林道の作設費，路線全体径路に影響を与えるもので重要な因子である。河川，大きな尾根は地形図，空中写真より概略の位置はつかめるが，メッシュ上で沢や小さい尾根等も含めて地形の起伏の位置関係をつかむには数値地形モデル (D. T. M.) より何んらかの判定をしなければならない。そこで以下の方法によりあるグリッドが尾根か沢，斜面に当たるかを判定させた。

地形を X , Y 方向の 2 方向に分け分析を行うと一方向の断面は Fig. 4 のようになる。地形の表面を高次式 f にあてはめると (8) 式のようになり尾根は図からわかるように (8) 式を微分して (9) 式の状態の場合であり，谷，沢は (10) 式の状態の場合である。

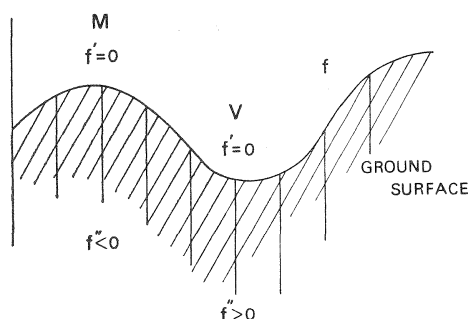


Fig. 4 尾根と沢
Vally and ridge.

$$f = ax^n + bx^{n-1} \dots\dots + ex + g \quad \dots\dots (8)$$

$$f' = 0, f'' < 0 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$f' = 0, f'' > 0 \quad \dots\dots\dots (10)$$

この場合の地形面として標高の値をあてると小さなおうとつも現われるので，地形面として数値地形モデル (D. T. M.) の 3 点を移動平均し¹⁸⁾，地形を平滑化した値を用いることにした。

平滑化した地形面の地盤高を XL_i とし (11)，(12) 式を計算する。

$$XM_i = XL_i - XL_{i-1} \dots\dots\dots(11)$$

$$XN_i = XM_{i+1} - XM_i \dots\dots\dots(12)$$

XM_i は一次導関数 f' に相当し, XN_i は二次導関数 f'' に相当する。したがって当該グリッドが沢, 谷, 斜面 かはこの値によって Table 1 のように判別でき, これは X, Y 両方向別に行う。

4.4 林道路線選定と土工量の推定

あるグリッドで土工量を推定できたら, 路線選定に非常に都合がよい。そこであるグリッドに林道が通過することを想定して土工量を推定する。土工量は縦断面における計画線が前後関係より決定されることからこの計画線を推定すれば, 現地盤をどれだけ修正しなければならないか, すなわち切盛高と, 横断方向の地形傾斜の2因子より推定できる。前述のスムーズモデル (S. M.) の表面は前後, 左右を考慮して作られており, 路線選定の土工量の推定の場合の計画線として好都合と考えられる¹⁷⁾²³⁾。

スムーズモデル (S. M.) の具体的な作り方は Fig. 5 に示すように平坦化する地域を決定し, あるグリッド (i, j) とし, これを中心に $(2a+1) \times (2b+1)$ の大きさの地域をとると, グリッド (i, j) におけるスムーズモデル (S. M.) の標高 $SZ_{i,j}$ は (13) 式で表わされる。

$$SZ_{i,j} = \left(\sum_{p=-a}^a \sum_{q=-b}^b Z_{i+p, j+q} \right) / \{ (2a+1)(2b+1) \} \dots\dots\dots(13)$$

これを利用して土工量を推定すると, 土工量 $V(x, y)$, 地盤線 $f(x, y)$, スムーズモデル (S. M.) による面 $g(x, y)$ とすれば土工量 $V(x, y)$ は (14) 式のように表わせる。

$$V(x, y) = \iint (f(x, y) - g(x, y)) dx dy \dots\dots\dots(14)$$

同様な考え方でグリッドを中心に考え, 地盤高 $(Z_{i,j})$, スムーズモデル (S. M.) による高さ $(SZ_{i,j})$, 切盛高 $(X_{i,j})$, 推定土工量 $(V_{i,j})$ とすれば, 切盛高は (15) 式より求まり, 正のときは切取高, 負のとき盛土高となる。推定土工量は (16) 式により, グリッドごとに切盛量の推定が可能である。

$$X_{i,j} = Z_{i,j} - SZ_{i,j} \dots\dots\dots(15)$$

$$V_{i,j} = a \cdot X_{i,j}^2 = a \cdot (Z_{i,j} - SZ_{i,j})^2 \dots\dots\dots(16)$$

4.5 総合評価について

林道の路線選定は多数の項目が考慮され, その種類は建設費, 用地費から社会環境的費用にまで及ぶ。林道の路線選定に影響する重要な要因と要因相互間の問題は第一章で述べたとおりウェイト付けをおこなうことにより解決した。重要なことはどんな要因をどんな比率でウェイトをかけて選定した結果であるかということで, すべてに満足するということはおのずから限界がある。この意味で各種の評価方法の中で

Table 1. 尾根と谷の判別
Discrimination of valley,
ridge and slope

判別式 Discriminant	$XM_i \cdot XM_i$	XN_i
I 斜面 Slope	> 0	≤ 0
II 尾根 Ridge	< 0	< 0
III 谷, 沢 Valley	< 0	> 0

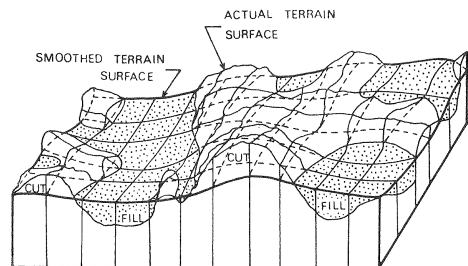


Fig. 5 地形の平滑化 (S. M.)
Terrain smoothing to
simulate cut-and-fill.

効用理論が適切である²⁾。すなわち、ここでは望ましがが評点法の中に利用され、価値の尺度になっている。評価値は費用、0 から 100 までの数、その他どんなスケールであってもよい。

次に一般的に総合評価値の算出方法を述べる。あるノードにおける要因 (i) の評価値を (V_i) とし、このノードの全体の評価値を V 、ウェイトを W 、総合評価値を (SV) とすればこれらの値は (17)～(19) 式のようになる。

$$V = (v_1, v_2, v_3, \dots, v_i, \dots, v_n) \dots\dots\dots (17)$$

$$W = \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{pmatrix} \dots\dots\dots (18)$$

$$SV = W \cdot V = w_1v_1 + w_2v_2 + w_3v_3 + \dots + w_nv_n \dots\dots\dots (19)$$

このウェイトの与え方により各グリッドの値は変わり、従って路線選定の結果も変わる。ウェイトを与えることがすなわち設計者の意図になりこの結果の計算結果が比較路線選定のためのデータとなる。また、今回用いた各要因とそのウェイトについての具体的値は後に述べる。

5. 林道の路線選定とネットワーク手法

電算機によって二次元的な広がりをとらえるには平面を分割してとらえなくてはならない²⁴⁾。ここでは対象地域全体にメッシュをかけグリッドごとに 4 章で分析した総合評価値を記憶する。道路は線的なつながりであるので径路的接近として、グリッドをノードとしたメッシュ全体を一つのネットワークとしてとらえた。このネットワークにおける林道の路線選定という意味はある点 (起点) から他の点 (終点) に至るすべての径路の中で長さの合計が最小である径路を求めることであると言える¹⁾。すなわち最短径路探索問題であり Fig. 3 の点列をノード番号で $P = (1, 2, \dots, i)$ とし、その枝を (アーク) として (i, j) で表わし、径路値 $d_{i,j}$ が与えられ、 $P(k, k+1)$ を点 0 から r に至る「路」、 $d_{0,1} + d_{1,2} + \dots + d_{r-1,r}$ を「長さ」といってこの最小なものを求めることである。解法はいろいろあるが最も効率的といわれているダイクストラ法を適用した。

5.1 ダイクストラ法による林道路線選定

ダイクストラ法³⁾⁸⁾による解法を応用するには、すべてのアーク値が $d_{i,j} \geq 0$ という条件が必要である。ノードのラベルの仕方、隣接ノードとそのアーク値の求め方等を工夫し、以下のような考え方によって、ダイクストラ法を用いた路線探索方法を電算プログラム化した。まず総合評価値をノード値として与えアーク値はその両端の平均値として (20) 式より計算する。

$$d_{i,j} = (Z_i + Z_j) / 2.0 \dots\dots\dots (20)$$

- 1) 最初の出発点を起点 (KS) とし、終点 (KE) を目的地とする。
- 2) $d_{i,j}$ を (20) 式により計算する。
- 3) すべてのノードについてポテンシャルに相当する値 $V_i = \infty$ 、一つ前のノードを表わす $IP_i = 0$ 、ラベルされたノード $IL_i = 0$ とする。
- 4) 最初にラベルされるノードは起点 (KS) で、 $IL(KS) = KS$, $V(KS) = 0.0$ とする。
- 5) Fig. 6 の I に示すように該当するノード (K) に結ぶノード番号: J_1, J_2, J_3, J_4 を得、 $d_{i,j}$ を

$J1$ から $J4$ まで計算する。

6) ノード (K) に対して $V(J1) > V(K) + d_{K, J1}$ ならば $V(J1)$ を $V(K) + d_{K, J1}$ とし $IP(J1) = K$ とし、以下 $J2$ から $J4$ まで計算を行い $V(I)$, $IP(I)$ を修正する。

7) ラベルされないすべてのノード (Fig. 6 の 2 重丸の他のノード) のうち、最小の V_i (Fig. 6 における III の m) を探す。

8) $IL_j = K$ (Fig. 6 の II の K) として、7) の m をラベルし、5) にもどる。すべてのノードがラベルされたときをもって終了とする。径路は終点 (KE) の一つ前 $IP(KE)$ をたどることにより KS までの最短径路が求められる。

5.2 第2路線ほかの比較路線の選定

最短径路探索より求められたルートは扱われた範囲では最小とするものであるが、他の計量化できない要因、繰り入れない要因を考え、いくつかの比較路線をとる必要がある。この場合は優先順位と径路の合計値をもったルートを選定することが望ましい。そこで第1の最短径路が求まった時点で第2路線ほかのルートを選定しておけば比較路線としても都合がよく、以下その方法を述べる。

第1路線が探索されたあとにこのルートに当たるアーク値を、第2ルートの選定のとき禁じるかあるいは高い値を割り当て、このアークを事実上、考慮の対象から除く。こうして修正されたネットワークで再び分析し、最短径路が見いだされ、以下第2、第3と定義された代替路線 (比較路線として必要とする本数) の探索が終わるまで繰り返す。この場合、探索されたルートのすべてを禁じアークとした場合に次々と何本も選定することが難しくなることが生ずる。そこで起点と終点の側に5~7のアークはこの禁じアークからはずす¹⁵⁾ことによって、同一の起終点間に5~7本のルートを選定することができる。ルートについての径路値の比較も可能であり、この例については後に計算例について述べる。

6. 林道の路線選定の電算プログラム

3章, 4章, 5章で述べた理論に従い実際のプログラム化を行った過程と考え方を示す。

6.1 全体プログラムの流れ

今回、使用した当場の OKITAC-4500 中央処理装置の記憶装置容量は 20 K 語であり、この種のプログラム処理用としてはかなり小さいので、補助記憶装置として 2,400 K 語の磁気 Disk を使用した。これによりプログラム内外におけるデータのやりとりが可能となった。

全体のプログラムの流れは Fig. 7 に示すとおりであり、全体は3つのプログラムよりなる。すなわち (1) から (6) までの総合評価プログラム、(7) の探索プログラム、(8) の XY プロット作図プログラムである。データはメッシュ全体の大きさ、間隔、標高値、標題が読み込まれる。(1) のプログラムにより数値地形モデル (D. T. M.) が作られ、標高は評価値として用いるためにグレードとして表わされ MT に記録する。(2) スムーズモデル (S. M.) 作成プログラムにより、スムーズモデル (S. M.) を作成し、マップを打ちだし、MT に記録する。(3) 傾斜処理プログラムは数値地形モデル (D. T. M.)

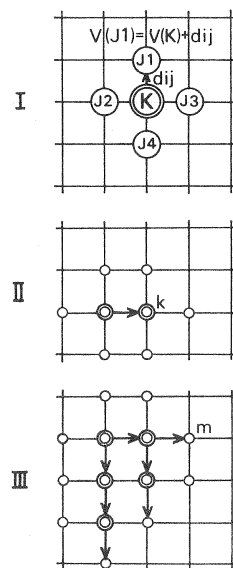


Fig. 6 グリッドと
路線探索
Road route selection in grids.

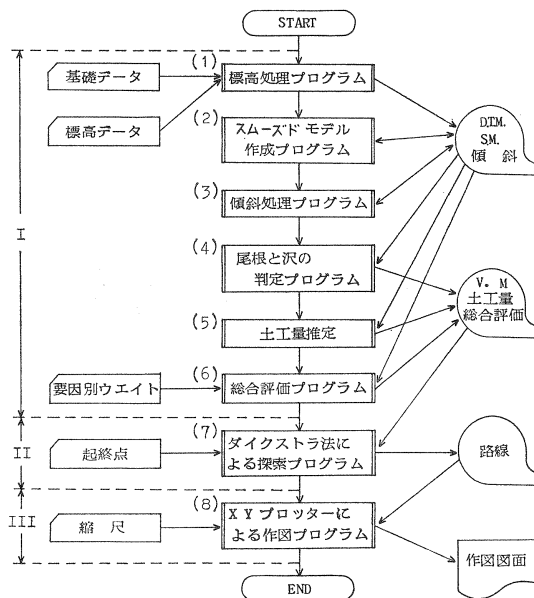


Fig. 7 全体のプログラムの関係
Relation among individual programs.

による作図プログラムにより、XYプロッタによって比較路線ごとに作図させる。

6.2 要因別プログラムの流れ

以上 Fig. 7 の流れ図に従ってプログラムごとに詳しい流れ図を示す。内容は前節で述べたとおりである。

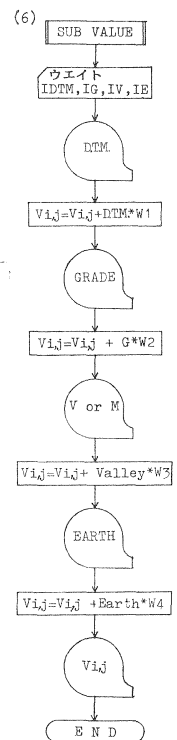
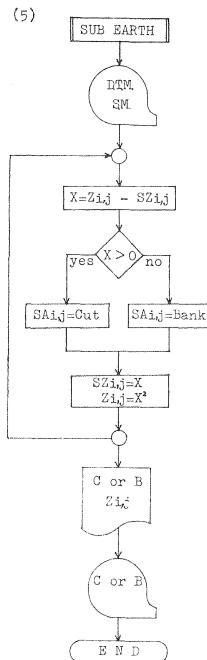
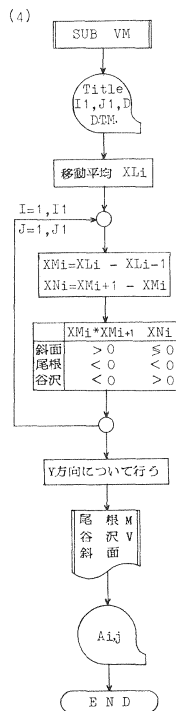
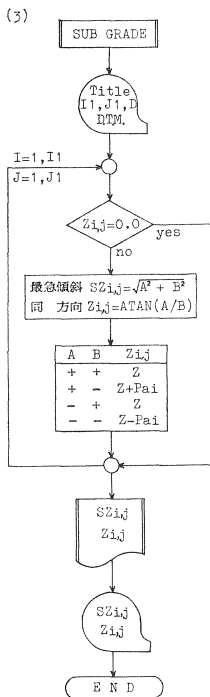
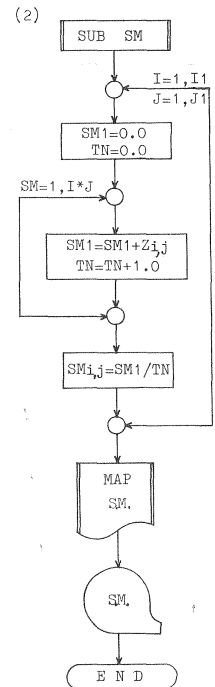
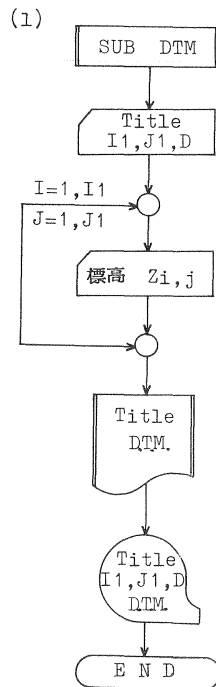
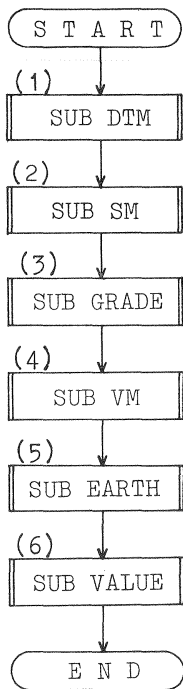
6.3 プログラムの構造と使用語数

地形解析と探索に関するプログラムはかなりの記憶容量を必要とする。現在のグリッドの大きさの範囲は 30×30 を限度としているが、さらに大きな範囲について行うにはもっと大型な記憶容量を必要とする。以下プログラムの構造と使用語数について Fig. 8 により説明する。

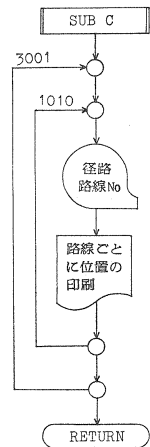
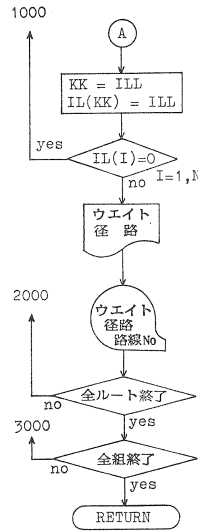
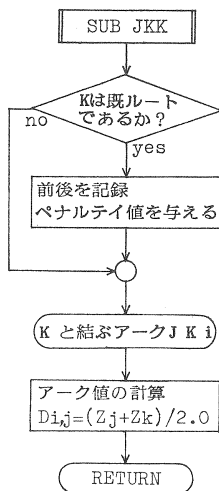
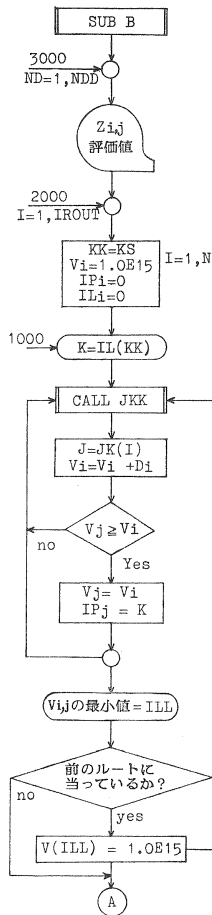
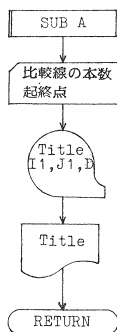
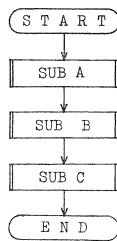
1. 総合評価プログラムは主プログラムと7個の副プログラムよりなり、これを単一プログラムにすると27,809語の記憶容量を必要とするが、当場のOKITAC-4500の限度をこえる。これはFig. 8のようにトリー構造にし、実行はオーバーレイ(Over lay)にすることにより解決した。こうすることにより12,884語になる。同様に、2. 路線探索プログラムも分割し、使用語数を15,446語から12,441語にした。3. XYプロッタ用プログラムは電算機にオンラインになっているXYプロッタを動かすためのプログラムで、各種の副プログラムが使用されている。構造はFig. 8のとおりで使用語数も14,391語から11,434語になった。

より最急地形傾斜の大きさとその方向を、
(4) 尾根と沢の判定プログラムは数値地形モデル(D. T. M.)から移動平均、微分法の考え方により尾根、沢、斜面をグリッドごとに判定し、マップを作り、MTに記録する。(5) 土工量推定プログラムは数値地形モデル(D. T. M.)とスムーズモデル(S. M.)を用い切取、盛土量を推定し土工量に対して評価を行う。(6) 総合評価プログラムはMTに記録された要因別のデータを、データとして与えられたウエイト付けを行い、総合評価し、グリッドごとにMTに記録する。(7) 路線探索プログラムは(6)のデータを用い比較路線を探索する。結果はマップの形でラインプリンタに印刷、さらにMTにXYプロッタ用として記録する。(8) XYプロッタ

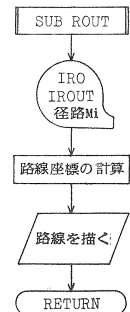
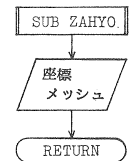
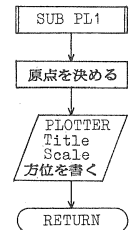
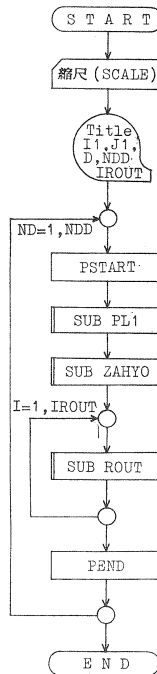
6.2.1 総合評価プログラム



6.2.2 路線探索プログラム



6.2.3 作図プログラム



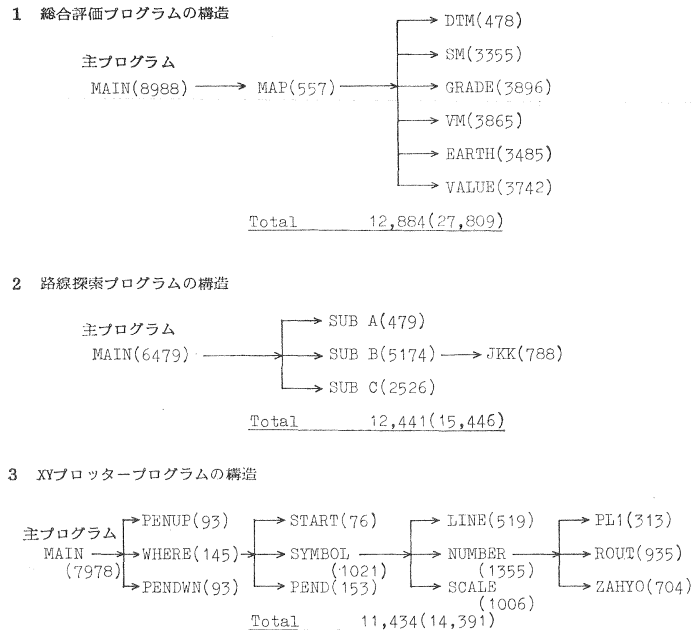


Fig. 8 プログラムの構造と使用語数
Structure and used memories of programs.

6.4 補助記憶装置

プログラムの記憶容量の問題はオーバーレイ方式を用いることで解決した。全体のメッシュの各グリッドごと、要因別にデータを計算し、記録する場合はさらに大型の記憶容量を必要とする。また全体プログラムをいくつかに分割し計算するデータの受け渡しも必要となりこの媒体としても用いられるのが補助記憶装置であり、今回は磁気ディスクを用いた。ディスク内ではMTの形でデータエリアを専用している。Fig. 7で示したMTデータの内容をさらに詳しくFig. 9に示す。プログラム別に(1)(MT), (2)(MTDJ), (3)(MT5), (4)(MT3), (5)(MT3)が一つの磁気テープとしてのデータ単位で枠内で表わし、データはこのかかれた順に記録されている。

(1) MTは総合評価プログラムの要因別に計算された結果で、Valueというサブ

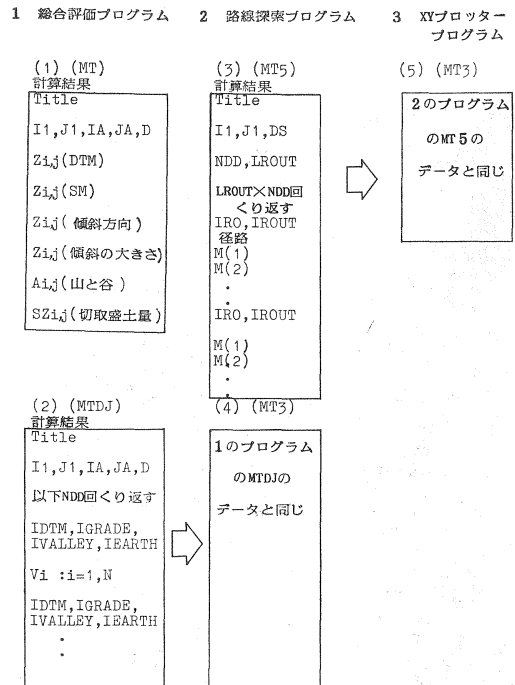


Fig. 9 プログラム間のディスク内の
データの流れ

Data flow chart in magnetic disc
memories for different programs.

ルーチンにより総合評価のデータとして用いられ、(2) MTDJ にその結果のデータが記録され、これはそのまま路線選定プログラムの (4) MT3 として利用される。(3) MT5 は路線選定プログラムの計算結果で、比較路線の数だけ記録され、(5) MT3 になり XY プロット用のプログラムデータとなる。こういった MT は次のプログラムに用いられる場合は残されるが使われた後は消去される。

7. 電算機による林道の路線選定結果

以上論じた理論に従い、組み立てられたプログラムにより計算を行った。地域は比較的地形の緩斜地である北海道北見地区と地形がやや急である桧山地区、普通であると考えられる茨城県の大金田地区と内野地区である。用いた資料は北見がデジタルフォトマップ (D. P. M.)、桧山地区は 20,000 分の 1 の地形図による 100 m メッシュ、大金田地区と内野地区は 5,000 分の 1 の地形図上に 40 m のメッシュを入れて作られた数値地形モデル (D. T. M.) である。

7.1 北 見 の 例

Fig. 10 は対象地域を等間隔の網目でおおいい交点の座標測定を行い計算して写真上の縮尺になおし、写真に焼きつけたデジタルフォトマップ (D. P. M.) である。地形や植物、構造物などを、そのまま正確に縮小記録している写真上に地表の長さ、高さを数量的に加え、高さや広がり把握しやすくしたものである。今回の計算に用いた地域は No. の入った地域で、データとして与えた林道の起点と終点は図の BP、EP であり、写真上に中央に入っているのが既設の林道である。座標の標高測定は一級写真図化機で自動印字記録、カード穿孔装置により自動的に測定されたもので、測定座標値は (X, Y, Z) であるが等間隔のメッシュで X, Y は規則的であり、地形的要素は Z 値によってのみ得られる¹⁹⁾。この値は Fig. 11 に

示した。この写真とデータは当场航測研究室より提供されたものである。

このデータをもとに以下プログラムの流れ (Fig. 7) に従って計算されたアウトプットを示し、考察する。Fig. 12 は Fig. 7 (1) 標高処理プログラムのアウトプットで標高を 20 m のグレードとコンターラインで表現し、後に総合評価プログラムのデータとなる。Fig. 13 はスムーズモデルを 20 m のグレードとコンターラインで表わした (2) S. M. 作成プログラムのアウトプットである。Fig. 12 の実際の地形をより単純化され、コンターラインがなめらかな形になっている。このスムーズモデル (S. M.) が土工量を推定する場合の想定計画高を表わしている。Fig. 14 は (3) 傾斜処理プログラムのアウトプットでグリッドごとの最急地形傾斜をもとめラジアン単位のを 10 倍したグレード図であり、この値も総合評価値として用いられる。なお数値地形モデル (D. T. M.) として与えられないグ

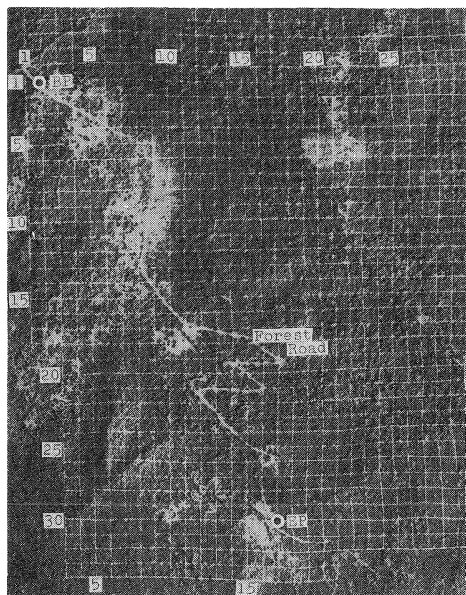


Fig. 10 北見地区のグリッドの入った
空中写真

Aerial photograph with grids in
Kitami area.

リッドには数値 (200) をペナルティ値として与えた。Fig. 15 は最急地形傾斜方向を 8 方向、つまり N, NE, E, SE, S, SW, W, NW で表わしたもので直接にいかに関係するかは別としても選定時の参考となる。

Fig. 16 は原地形を X 方向, Y 方向別に移動平均して山と谷を判別したもので, M が尾根, V が谷, ブランクは斜面を表わしている。当該グリッドに林道を通す場合を想定し, 評価され, 評価値が計算される。

Fig. 17, 18 は原地形 (D. T. M.) とスムーズモデル (S. M.) により土工を推定したもので Fig. 17 はスムーズモデル (S. M.) を計画高にし, 原地形との差を表わし, マイナスが盛土高プラスが切取高を表わしている。Fig. 18 はこれより一層わかりやすく表現したもので C が切取部分, B が盛土部分を示し, 全般に尾根が切取, 沢が盛土となっている。当該グリッドができるだけ切取も盛土も少ない方が路線の通過に適していることになる。最終的には土工量として評価され, 総合評価値に入れられる。

Fig. 19 は 4, 5 節で述べたごとく各要因 (標高, 最急地形傾斜, 山と谷, 推定土工量) のウェイト比が $1:1:3:2$ である値を用いて総合的に評価した値である。各要因の評価方法を述べれば, 標高の評価は選定範囲外の地域の場合にペナルティとして 1,000.0 が与えられ, ウェイトを C_1 とすれば評価値 ($V_{i,j}$) は (20) 式ようになる。

$$V_{i,j} = C_1 \cdot Z_{i,j} \quad \dots\dots\dots (20)$$

地形傾斜は各グリッドに接する 4 つのメッシュの平均値を用い, (21) 式のようにさらに 200.0 ウェイトをかけた。

$$V_{i,j} = 200.0 \cdot C_2 \cdot Z_{i,j} \quad \dots\dots\dots (21)$$

山と谷の評価は山に当たる部分に 50, 沢が 200, 斜面が 0 とした。推定土工量の評価は (22) 式より求めた。

$$V_{i,j} = 5.0 \cdot C_4 \cdot Z_{i,j} \cdot Z_{i,j} \quad \dots\dots\dots (22)$$

総合評価値はこれら要因ごとに求めた値の和である。Fig. 19 はその値を示し, 小さいほど林道の路線として望ましいことを示している。

Fig. 20 は路線探索プログラムのアウトプットの一部で, Fig. 21 に示された 5 路線のうち第 1 ルートの選定結果である。路線の優先順位, 総合評価値 $V(I)$, 路線径路 (30, 17) から (2, 2) が示されている。計算時間はグリッド数 30×30 の本例の場合 18 分要し, 5 本ずつ 2 組の合計時間は約 3 時間要する。Fig. 21, 22 はその結果のアウトプットと路線ごとの分析結果を示した。Fig. 21, 22 は同一地区でウェイトの比によって路線の径路が変わってくることを示したもので, Fig. 21 は各要因の評価値がほぼ同一の 0 から 200 ぐらいになるようにウェイトを与えた結果で, Fig. 22 は山と谷と推定土工のみ $1:2$ のウェイトを与えた結果である。破線の既設路線と比較すると第一優先順位の路線は Fig. 21 より Fig. 22の方が近い線形を示している。右上の路線の分析結果をみると路線ごとの相対評価値, リンク数をみても Fig. 22 が Fig. 21 よりバラツキが大きい。いずれにしても, 要因別に与えられたウェイトに対して総合評価値としての径路値をもった比較路線が与えられる。

Fig. 23, 24 は第 3 の XY プロッタ用のプログラムの結果で選定結果をプロッタにより描く。第 1 から第 5 までの優先順位別にシンボル別に描かれる。以上北見地区のプログラムの流れにそったアウトプットを示した。

*** K I T A M I * OHOUTUKU *****

*** DIGITAL PHOTO MAP *** ORIGINAL ***

*** DIGITAL MAP ***

J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15															
1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30															
1	300.6	304.2	312.0	312.8	317.7	317.9	314.9	309.3	290.0	276.5	255.7	237.5	224.0	209.3	201.3	197.6	191.0	182.7	181.6	188.7	191.3	183.0	171.7	160.2	165.6	179.9	186.5	198.2	199.2	192.8
2	289.7	295.5	296.7	301.2	306.7	307.6	307.9	298.6	286.3	270.5	247.6	237.3	224.0	215.4	207.0	198.7	195.5	190.0	188.7	195.7	193.2	179.7	165.3	168.0	177.0	189.8	199.4	194.0	188.1	180.5
3	272.7	283.5	286.2	277.3	287.0	295.7	296.6	285.3	277.6	265.8	249.0	236.6	228.3	223.4	211.9	207.0	200.8	195.2	200.0	201.0	190.0	178.3	172.9	177.3	180.1	190.4	200.8	185.1	175.0	168.2
4	268.3	274.0	268.9	271.6	274.4	280.8	286.1	277.8	268.8	264.7	258.0	247.2	249.1	230.4	216.7	204.6	198.9	190.3	193.6	200.3	190.0	178.6	180.0	185.1	189.2	201.0	199.6	182.8	174.6	164.3
5	260.9	258.5	257.8	253.2	260.2	265.8	268.5	272.2	267.5	266.3	269.4	267.2	253.1	235.8	219.2	208.6	198.9	185.0	185.3	189.0	190.1	184.2	188.7	193.9	192.8	200.4	193.2	182.2	167.6	158.7
6	250.0	247.7	241.5	246.0	241.8	246.0	250.9	264.9	269.5	276.5	274.0	267.7	255.6	235.2	216.1	207.7	197.6	186.0	179.1	182.3	187.7	188.0	195.0	199.0	194.5	193.7	193.4	180.2	176.7	171.0
7	237.5	230.2	227.3	237.0	236.2	236.6	240.0	255.6	264.4	278.6	274.1	265.8	256.1	235.7	219.8	209.2	197.9	185.5	176.6	173.9	179.3	192.2	196.6	188.6	186.8	186.8	187.5	192.4	184.6	176.5
8	235.8	214.3	222.5	231.1	236.0	237.0	240.8	253.6	265.3	277.7	271.3	262.2	251.7	233.3	219.7	215.9	197.1	188.2	181.9	172.7	173.1	183.0	189.0	184.0	177.4	178.5	179.8	188.3	183.1	182.2
9	212.7	208.3	220.2	228.1	229.6	233.1	244.5	251.9	267.1	279.0	267.5	259.3	247.3	233.7	227.6	221.0	206.7	194.7	188.3	177.2	164.2	172.2	182.0	182.6	176.8	166.5	168.2	184.7	180.2	180.7
10	199.0	201.8	213.0	218.0	213.7	224.0	235.5	249.8	266.5	277.2	257.3	246.7	246.8	247.2	241.3	231.3	216.7	198.6	188.6	175.0	163.3	163.3	176.0	181.6	174.0	163.3	165.6	172.5	171.5	173.6
11	186.7	197.0	204.6	207.3	203.3	219.5	231.2	248.0	266.1	271.6	248.9	223.6	229.1	236.1	236.4	231.9	214.9	197.6	184.9	173.1	170.0	154.7	164.5	168.1	171.5	171.2	159.8	164.1	166.3	167.8
12	184.1	190.5	197.2	194.0	198.7	211.5	230.5	248.8	263.1	263.3	240.6	242.2	216.8	220.0	222.1	216.6	204.1	189.0	180.0	171.0	164.6	157.6	153.0	162.7	171.5	162.1	152.3	154.0	162.1	171.0
13	177.2	189.6	187.4	188.7	194.7	212.5	232.8	248.4	257.0	253.3	235.3	220.0	209.6	207.6	206.1	199.3	193.7	187.7	196.3	178.3	168.6	161.3	151.4	160.1	159.2	162.0	144.6	149.8	158.0	167.8
14	166.5	177.8	183.9	191.5	205.5	222.7	234.4	241.0	250.5	245.7	226.1	214.0	204.4	205.1	201.8	199.2	207.9	214.6	199.6	185.9	170.0	167.9	158.0	152.9	147.5	151.8	145.2	148.2	156.1	165.6
15	173.6	181.8	192.7	206.6	218.8	223.1	228.6	234.5	245.7	244.8	227.7	220.6	217.0	215.5	210.6	217.5	216.3	199.7	195.0	193.6	185.1	172.9	164.5	160.7	150.6	142.1	139.2	141.2	145.8	152.8

16	171.2	178.9	191.6	208.8	220.1	218.0	220.5	232.1	238.6	242.4	239.6	238.3	233.0	228.5	225.8
	226.3	213.3	200.6	204.9	205.5	192.1	177.1	164.1	159.7	144.3	136.3	137.6	137.0	141.5	151.1
17	160.6	171.6	181.8	203.0	215.8	210.7	212.0	223.8	229.5	234.2	238.7	243.0	244.0	245.2	243.2
	230.5	215.6	210.4	214.2	201.2	190.0	176.0	166.8	156.1	141.0	136.7	132.0	131.7	139.5	153.6
18	162.7	177.0	187.7	204.7	212.5	203.6	205.4	214.9	220.8	224.8	230.8	234.5	236.7	238.6	242.1
	239.7	228.3	223.0	211.2	200.6	188.2	177.3	169.6	153.2	144.1	142.5	131.5	128.3	132.5	148.7
19	162.2	179.2	194.1	204.7	207.6	194.5	185.1	208.6	214.5	216.0	222.3	224.7	227.0	230.0	231.6
	235.3	238.7	230.0	216.5	203.7	189.6	181.9	172.0	161.5	151.5	150.7	134.8	125.0	127.1	136.5
20	0.0	0.0	196.4	198.6	193.1	177.6	186.0	198.2	204.0	207.5	212.0	216.0	216.5	220.6	223.1
	227.6	231.6	223.1	210.8	196.0	181.3	171.6	169.6	162.7	161.5	156.8	143.7	135.4	123.7	123.8
21	0.0	0.0	192.4	192.1	180.1	163.5	169.2	187.0	195.0	197.5	201.6	204.9	206.3	211.5	216.6
	219.3	220.6	215.1	198.6	187.3	174.2	166.9	155.0	152.8	147.7	150.4	149.1	136.0	126.6	120.2
22	0.0	0.0	182.6	184.0	175.0	159.4	162.1	181.8	186.0	186.5	191.1	197.3	199.2	205.6	209.3
	210.1	211.3	214.3	199.2	186.1	180.3	174.1	162.3	153.4	147.8	141.0	141.5	130.7	126.0	117.8
23	0.0	0.0	171.7	176.2	163.7	148.1	161.0	178.3	176.7	178.7	180.8	189.4	193.5	199.5	202.0
	202.7	202.2	205.2	204.4	198.8	197.3	179.3	166.2	154.8	143.6	136.0	134.4	127.1	119.8	121.2
24	0.0	0.0	164.4	166.6	156.6	138.6	159.2	167.6	165.7	162.1	173.2	184.6	191.0	192.0	195.3
	197.2	197.1	196.7	195.6	196.1	194.6	178.9	164.0	147.6	130.4	136.5	129.4	125.2	123.8	134.9
25	0.0	0.0	157.2	160.4	145.0	128.2	152.5	148.7	140.8	160.8	176.7	183.3	186.4	187.7	188.5
	189.3	189.6	189.2	187.0	186.7	185.9	174.1	159.0	145.0	137.0	135.2	135.8	135.0	141.6	146.2
26	0.0	0.0	149.1	150.2	139.8	129.2	141.6	138.9	154.1	165.3	174.0	180.0	180.0	180.9	180.6
	181.7	182.2	179.6	181.2	178.1	177.2	166.2	151.1	135.5	135.3	136.1	150.9	152.3	159.9	149.8
27	0.0	0.0	136.8	142.5	127.9	121.1	129.1	150.3	159.0	164.7	171.0	170.6	173.7	176.4	174.0
	172.8	173.6	173.7	171.1	168.6	169.2	157.0	141.7	144.7	149.1	146.5	154.2	160.2	167.5	154.7
28	0.0	0.0	126.2	130.6	118.0	128.6	141.1	145.7	149.1	156.5	160.0	161.3	166.2	169.0	170.5
	169.6	170.6	162.3	162.1	159.1	151.6	145.3	150.0	160.7	160.6	148.8	152.0	165.8	172.7	168.6
29	0.0	0.0	118.8	110.5	116.4	136.6	134.2	137.0	142.4	144.0	147.5	151.0	158.3	163.0	167.0
	171.6	170.2	165.5	156.6	153.6	153.3	157.5	163.3	170.0	165.1	156.0	154.1	169.9	175.2	173.5
30	0.0	0.0	105.8	114.6	127.8	130.8	127.5	129.9	132.5	136.3	136.6	142.8	150.0	154.4	159.3
	168.7	171.0	170.2	166.1	166.0	167.0	171.6	176.2	180.0	171.2	158.0	156.7	170.5	176.6	167.5

Fig. 11 北見地区の数値地形モデル
Digital terrain model in Kitami area.

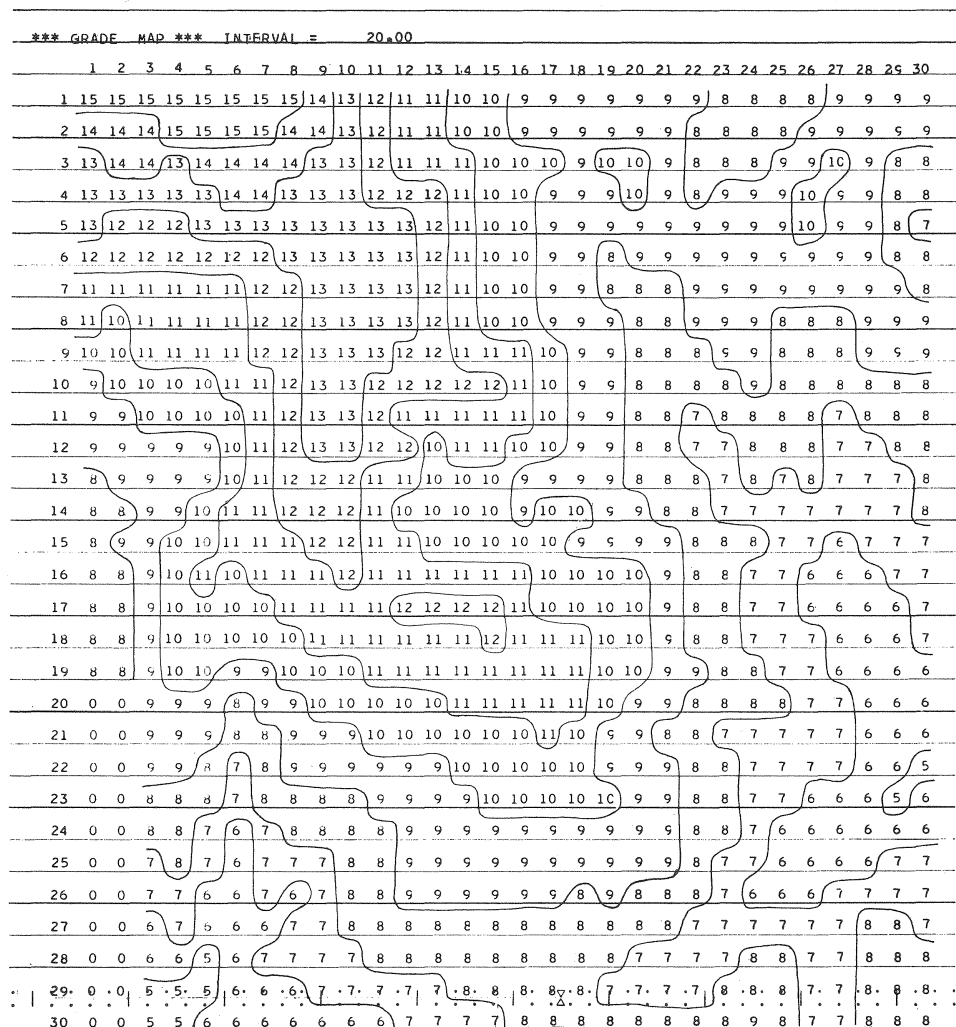


Fig. 12 北見地区の標高グレードとコンター図
Height grade and contour map in Kitami area.

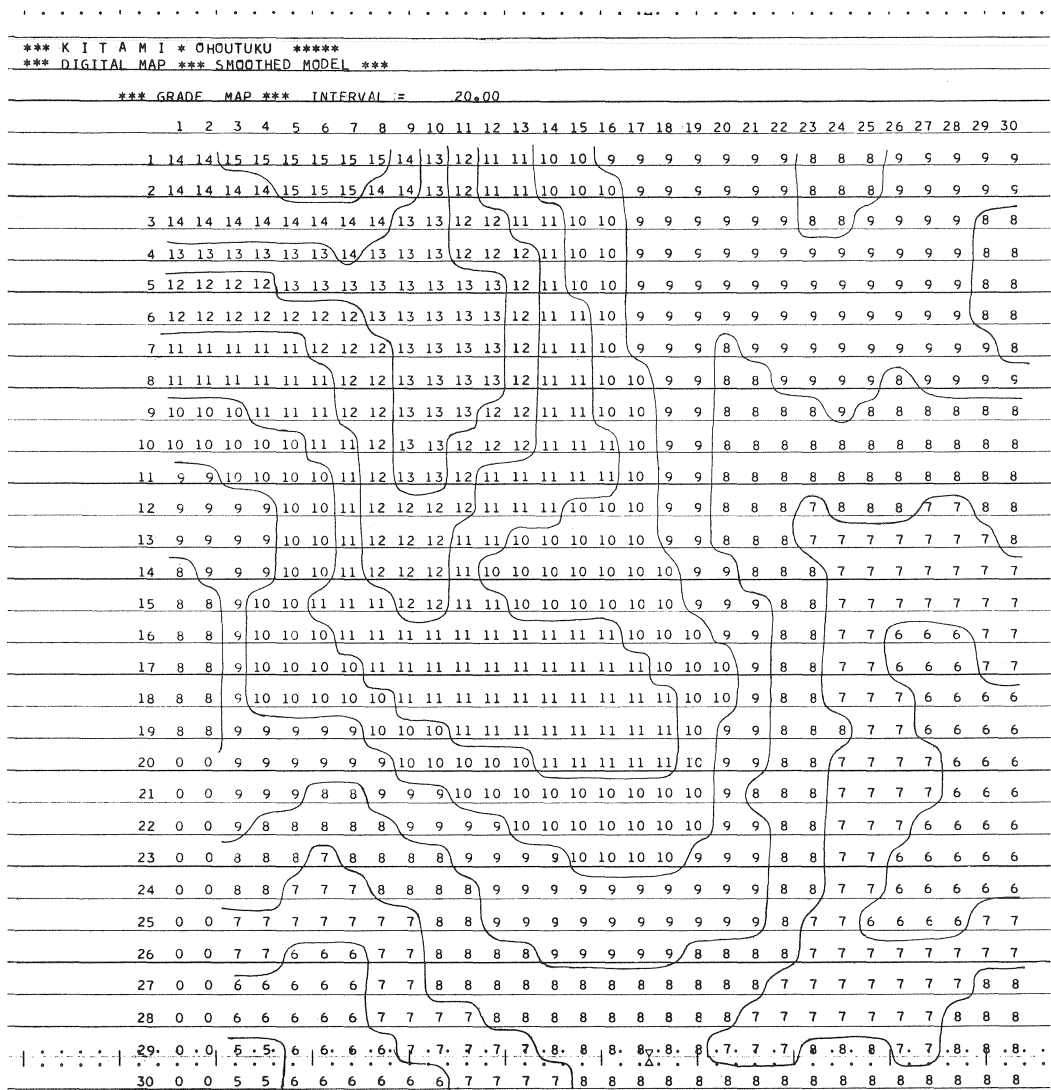


Fig. 13 S. M. のグレードとコンター図

Grade and contour map of smoothed model in Kitami area.

*** K I T ' A M I * OHOUTUKU *****																															
*** TERRAIN GRADE OF THE SQUARE ***																															
*** GRADE MAP *** INTERVAL = 0.10																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1	2	3	3	3	2	2	2	4	3	5	3	3	3	2	1	1	2	1	2	1	2	3	1	2	4	3	1	2	3	0	
2	4	2	4	5	4	2	4	3	3	4	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	3	2	2	2	2	2	2	3	3	0	
3	2	3	2	2	3	3	3	2	2	3	3	4	4	3	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	3	1	4	2	2	0	
4	2	3	3	4	3	4	2	1	0	1	4	3	4	3	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	3	3	2	0	
5	2	3	2	3	5	4	3	0	1	1	1	3	4	4	2	2	3	1	1	1	0	1	1	1	1	1	3	2	3	0	
6	3	4	3	1	1	2	4	2	2	0	1	2	5	4	2	2	3	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	0
7	4	2	2	0	0	0	3	2	3	1	2	2	4	3	1	3	2	2	1	1	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	0
8	4	2	2	1	1	1	2	3	3	2	2	2	4	2	2	4	3	2	2	1	3	2	1	1	1	1	2	3	1	0	0
9	2	3	2	3	3	3	3	4	2	4	3	2	2	3	3	4	4	2	3	3	1	3	1	1	1	2	0	3	2	2	0
10	2	2	2	2	3	3	3	4	2	5	5	5	3	2	1	3	4	2	3	1	1	3	3	2	1	1	2	1	1	1	0
11	2	2	2	2	3	3	4	4	1	6	3	2	3	3	3	4	4	3	2	1	2	1	2	1	1	3	2	2	1	0	
12	2	1	1	1	3	4	4	2	2	5	3	5	2	3	4	4	3	1	4	2	2	1	2	2	1	3	1	2	2	0	
13	4	1	1	3	5	4	2	2	2	5	3	2	0	1	1	1	5	3	4	3	1	2	0	2	2	3	1	2	2	0	
14	2	2	4	4	3	2	2	2	1	4	2	2	2	2	3	3	1	3	1	4	3	2	2	2	0	2	1	2	3	0	
15	2	2	3	2	0	1	2	2	1	2	3	4	3	3	3	1	3	1	2	3	3	2	1	3	2	0	0	1	2	0	
16	3	3	5	3	1	2	3	2	2	1	0	2	3	4	3	3	2	2	1	3	3	2	1	3	1	0	1	1	2	0	
17	3	2	4	2	2	1	3	2	2	2	2	2	1	0	2	4	3	1	2	2	3	2	3	3	1	2	0	1	4	0	
18	3	3	3	1	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	3	3	3	2	2	3	3	1	3	1	1	3	0	
19200200	1	2	5	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	3	2	2	1	2	4	3	1	2	0	
20200200	1	3	5	4	5	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	4	3	2	2	3	3	2	1	2	2	0	0	
21200200	2	3	4	1	4	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	3	3	2	2	3	1	1	1	1	2	3	1	1	0	0	
22200200	2	3	4	2	4	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	3	3	4	3	2	2	2	1	2	1	0	0	0	0	
23200200	2	3	4	4	3	2	3	3	2	1	1	1	1	1	1	2	1	0	4	3	3	4	1	1	1	1	1	2	0	0	
24200200	1	3	5	6	3	5	3	3	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	0	1	2	3	4	0	0	0	
25200200	2	3	3	4	2	1	4	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	4	4	1	0	2	4	4	2	0	0	
26200200	2	3	3	3	2	3	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	3	4	1	2	3	3	1	2	3	0	0	
27200200	3	4	0	3	3	2	2	2	2	2	1	1	0	0	2	2	2	3	4	1	3	3	2	1	2	2	3	0	0	0	
28200200	3	2	3	1	2	2	2	3	2	2	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	3	3	1	2	1	3	2	1	0	0	
29200200	1	3	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	0	3	1	2	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 14 最急地形傾斜のグレード図
Grade map of the steepest terrain slope of grids.

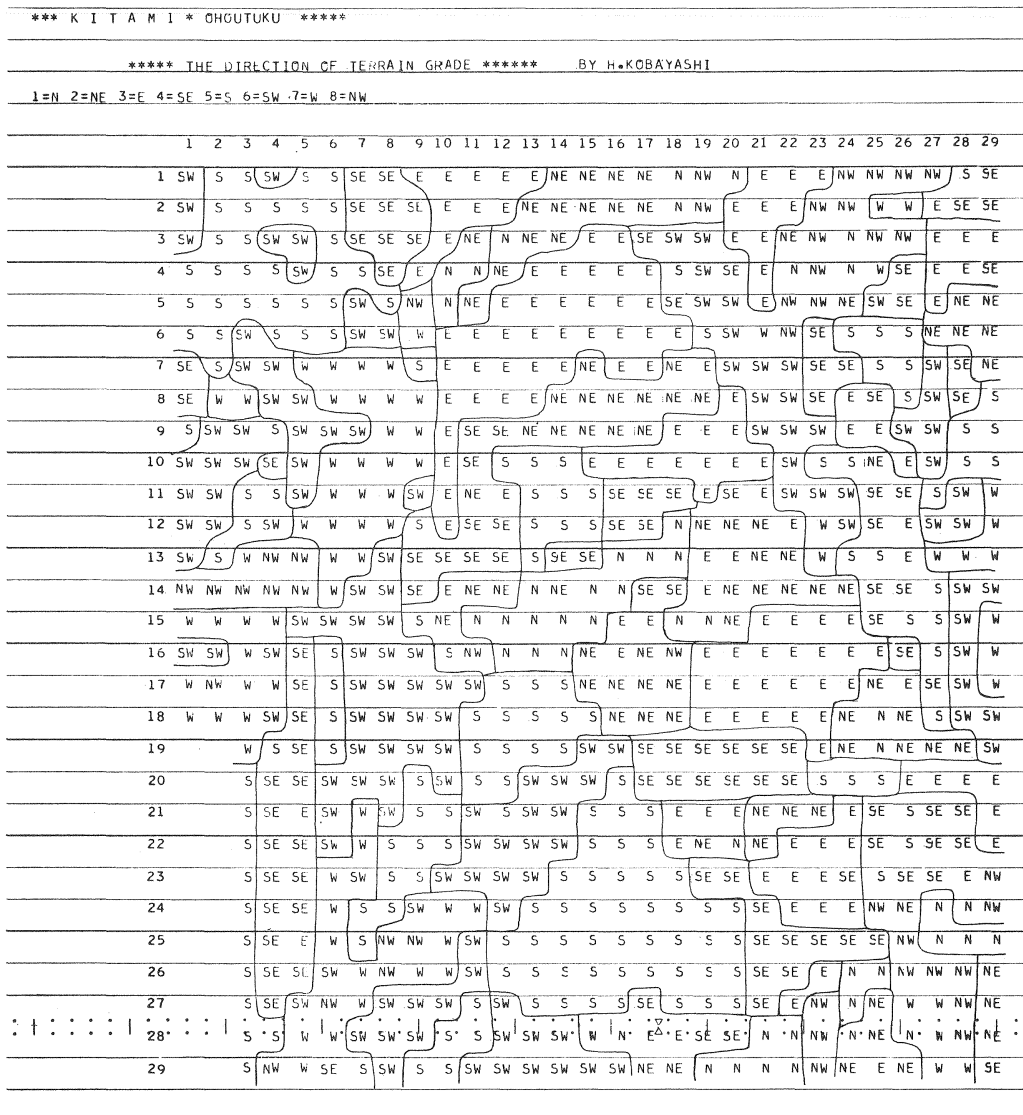


Fig. 15 最急地形傾斜の方位図
Directions of the steepest terrain slope of grids.

*** K I T A M I * OHOUTUKU *****

**** VALLEY AND MOUNTAIN MAP ***** BY H.KGBAYASHI

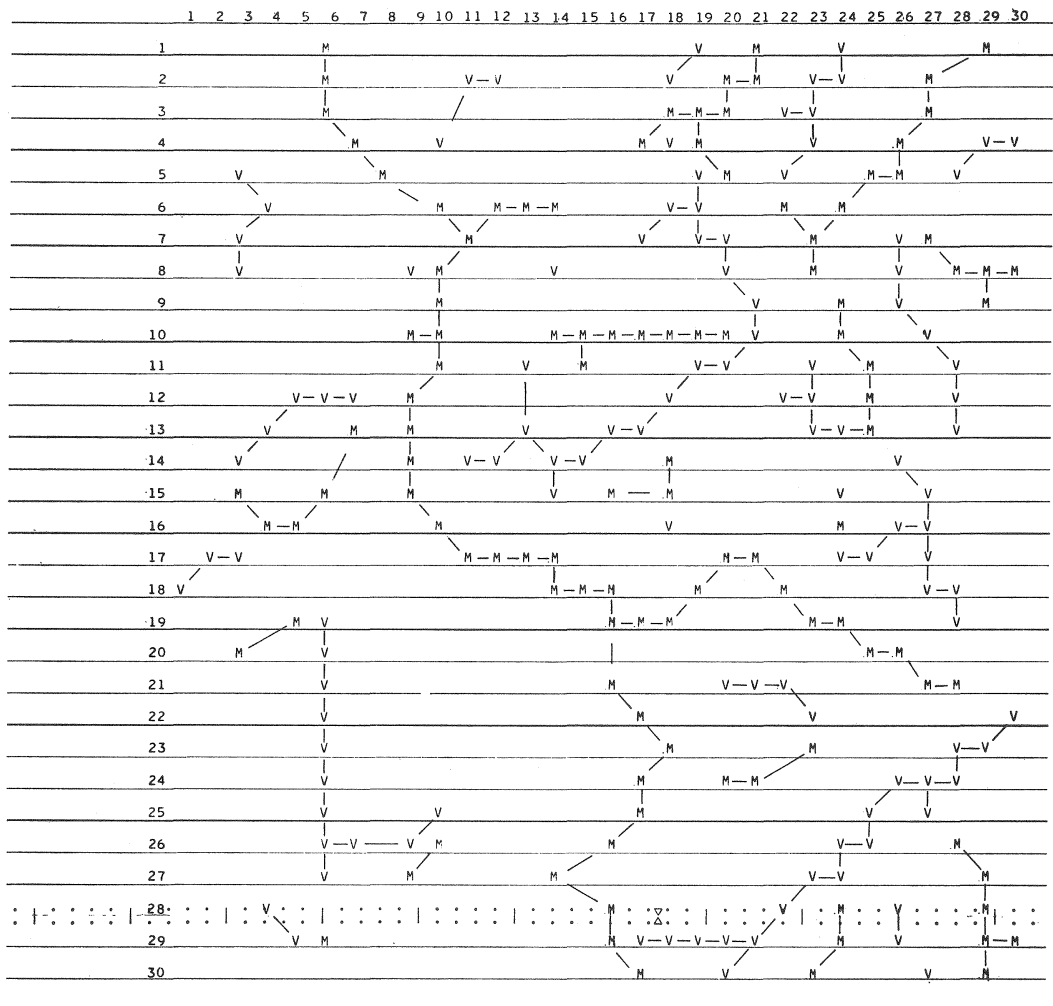


Fig. 16 尾根と谷の分布図

Map of ridges and valleys.

*** DIGITAL MAP ***

J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	3.1	4.4	8.3	4.9	7.1	5.8	5.5	8.1	1.5	5.4	1.5	-0.2	-0.6	-4.2	-3.6
	-0.9	-1.6	-5.5	-6.3	-1.2	2.7	2.3	0.4	-7.8	-7.8	-3.1	-4.8	4.6	7.1	2.7
2	-1.3	2.0	0.1	1.5	4.0	1.8	4.1	2.3	1.9	1.7	-5.3	-0.5	-2.2	-0.7	-1.0
	-2.5	0.1	-1.7	-2.8	3.5	4.2	-0.9	-7.6	-2.9	0.5	4.3	7.8	2.2	1.3	-3.5
3	-7.9	1.8	2.3	-8.3	-2.1	2.1	3.7	-1.9	0.3	0.4	-4.0	-5.3	-4.1	0.5	-0.9
	2.4	2.9	0.4	5.0	6.3	0.4	-2.6	-3.2	0.1	-4.1	-1.5	7.1	-3.7	-4.2	-6.9
4	-1.4	3.9	-1.2	0.9	0.3	1.2	5.0	-0.0	-3.0	-0.5	-0.2	-3.7	7.9	0.6	-0.8
	-2.8	0.1	-3.9	0.3	7.0	0.9	-5.0	-2.1	0.7	-0.8	6.8	6.8	-1.7	1.4	-3.8
5	1.0	-0.1	0.1	-4.1	0.1	2.9	0.3	2.6	-2.3	-2.0	3.7	7.1	4.1	1.2	-0.2
	1.0	1.4	-5.5	-2.6	0.4	2.3	-2.7	0.6	3.0	-1.6	5.1	1.4	-1.4	-5.7	-10.4
6	2.5	2.0	-2.9	1.4	-5.3	-3.7	-4.8	3.4	1.1	5.4	2.9	2.9	3.1	-1.1	-4.7
	-0.6	0.2	-2.0	-3.4	-0.3	2.5	-1.1	3.2	6.1	1.6	1.6	3.4	-4.2	1.8	-1.8
7	1.6	-3.9	-5.8	1.5	-2.4	-4.0	-7.3	-0.5	-2.9	6.2	2.1	1.5	4.6	-0.2	-1.6
	0.2	-0.4	-2.3	-4.1	-4.6	-2.1	5.1	6.0	-1.5	-0.9	0.3	0.8	7.1	-2.7	-2.8
8	12.7	-8.9	-1.8	1.3	2.1	-0.1	-2.9	-0.1	-0.6	6.0	0.7	0.5	2.2	-2.8	-4.3
	3.1	-4.7	-2.6	-0.2	-3.7	-3.3	1.7	8.4	-0.9	-3.5	-0.2	-1.6	5.1	-0.5	1.0
9	0.7	-5.9	2.7	4.5	1.8	0.4	3.4	-0.9	1.8	9.1	1.0	2.6	-0.3	-5.0	-2.5
	1.3	-1.1	-0.9	3.3	1.2	-7.4	-1.8	2.7	2.2	0.7	-5.7	-6.0	7.6	0.6	2.2
10	-1.9	-3.0	2.0	2.6	-6.0	-2.0	-2.0	-1.4	2.4	10.4	-1.7	-0.7	5.7	8.8	7.2
	6.0	4.1	-0.4	2.2	-1.1	-4.8	-4.5	4.3	6.4	1.2	-5.2	-2.8	2.2	-2.0	0.3
11	-6.5	-0.1	1.9	2.2	-6.8	0.8	-2.0	-0.8	4.5	10.0	-3.5	-15.5	-5.2	3.2	5.0
	8.0	3.7	0.4	0.7	-1.4	4.2	-8.3	-0.1	-1.1	1.9	5.5	-3.0	1.0	-0.7	-0.9
12	-3.4	0.0	2.0	-3.4	-4.7	-3.5	-1.0	1.5	5.4	7.8	-3.7	12.6	-6.0	-0.4	2.5
	2.7	0.2	-5.2	-4.2	-5.3	-2.0	-3.0	-6.3	0.3	6.1	0.5	-5.5	-2.8	-0.2	5.5
13	-3.7	5.8	-1.6	-4.8	-7.5	-3.4	1.4	3.2	4.7	5.0	-2.5	-3.2	-5.9	-2.8	-2.5
	-6.3	-7.6	-9.3	7.1	-1.1	-0.9	-0.1	-6.9	2.7	0.3	6.9	-7.6	-2.5	-1.2	4.4
14	-11.2	-3.4	-5.0	-5.1	-1.6	3.5	3.5	-0.4	3.7	2.8	-5.8	-5.4	-8.2	-3.5	-5.2
	-6.6	3.9	13.4	5.1	0.1	-6.0	1.3	-3.1	-3.2	-6.6	2.7	-1.9	0.6	2.2	7.9
15	-1.4	2.0	2.3	4.4	6.0	1.8	0.3	-1.7	4.0	4.7	-5.5	-3.9	-2.6	-0.2	-3.9
	4.3	5.7	-6.1	-4.9	1.2	1.8	0.5	0.3	4.9	1.1	-1.7	-2.9	-2.3	-3.0	0.7
16	-1.7	0.7	0.8	4.4	6.2	-0.6	-2.1	2.6	2.4	4.5	3.0	4.8	1.3	-0.7	-1.2
	4.2	-1.2	-7.2	2.1	7.5	3.9	0.6	-2.3	3.3	-3.2	-3.7	0.5	-1.4	-2.3	3.7
17	-9.7	-4.3	-7.7	0.1	5.0	-2.5	-3.7	1.8	0.5	0.9	2.4	5.4	6.0	7.7	7.7
	1.1	-5.3	-3.1	6.2	0.3	0.2	-1.9	0.1	0.7	-5.0	-1.7	-2.8	-2.9	-0.5	9.1

Fig. 17 推定の切取高 (+) と盛土高 (-)

Cut (+) and fill (-) estimated.

18	-6.2	1.8	-1.6	3.4	6.2	-2.8	-2.2	1.4	0.3	-0.6	0.9	1.0	0.7	1.0	4.7
	5.8	0.4	2.1	-1.1	-1.1	-1.6	-1.7	1.3	-4.1	-4.5	2.0	-3.3	-3.1	-3.4	19.1
19	-8.1	-0.7	1.3	4.8	7.9	-2.8	-3.1	3.7	-0.3	-0.6	1.3	0.2	-0.2	0.4	-0.5
	1.2	2.2	7.9	6.3	3.7	3.9	1.8	4.0	3.2	0.9	-2.3	4.4	-3.9	6.3	4.5
20	99.0	99.0	2.5	3.1	2.9	-7.6	-0.6	3.2	1.2	0.0	0.6	1.4	-1.0	0.2	-0.9
	0.4	4.8	2.5	1.8	0.7	-2.3	-2.0	3.6	3.3	6.4	7.2	1.3	1.9	-4.6	-2.5
21	99.0	99.0	1.4	3.8	-0.3	-10.5	-6.9	1.5	1.3	-0.4	0.0	-0.1	-2.4	-0.6	0.6
	0.5	1.4	1.3	-4.8	-3.1	-5.6	-3.7	-8.2	-4.2	-5.0	1.6	6.4	1.3	-0.1	-2.8
22	99.0	99.0	-0.6	4.2	3.7	-5.3	-5.7	4.3	0.7	-1.7	-0.9	1.3	-1.6	0.8	0.8
	-0.4	0.1	6.4	-1.8	-5.7	-2.4	1.3	-0.5	-0.3	0.3	-2.5	3.0	-1.7	1.0	-4.1
23	99.0	99.0	-2.5	5.0	0.6	-10.1	-0.8	7.4	0.8	0.8	-1.8	0.5	-1.2	0.9	0.5
	-0.3	-1.9	2.3	4.8	4.1	10.0	1.9	1.7	2.6	0.1	-1.8	0.9	-1.6	-5.4	-2.7
24	99.0	99.0	-1.7	4.2	2.9	-11.7	5.6	6.4	1.3	-6.3	-3.4	0.3	1.3	-0.9	0.4
	1.2	0.5	0.4	0.1	2.1	6.6	1.2	0.8	-2.1	-10.3	1.1	-3.3	-5.0	-7.1	3.2
25	99.0	99.0	-0.8	6.0	-1.1	-15.2	7.6	-3.4	-15.2	-2.8	3.4	2.3	1.3	0.8	0.4
	0.2	0.4	0.5	-0.8	-0.2	3.9	1.8	1.1	0.0	-0.6	-1.1	-1.6	-4.3	0.3	6.0
26	99.0	99.0	-0.8	4.4	1.5	-5.7	3.9	-7.2	0.5	2.4	2.2	2.7	0.1	-0.0	-0.7
	0.3	0.9	-1.2	1.7	-0.2	3.5	1.6	-1.6	-8.8	-5.2	-6.1	5.8	1.5	7.7	-4.0
27	99.0	99.0	0.1	6.5	-4.1	-9.6	-7.1	4.9	5.3	3.2	4.0	-0.2	0.6	1.8	-1.1
	-2.3	-0.4	0.8	0.5	-0.1	5.6	0.4	-8.5	-2.9	2.7	-1.7	2.3	0.7	6.2	-7.5
28	99.0	99.0	-1.9	5.0	-7.8	0.5	5.1	2.6	-0.8	1.6	1.5	-0.9	0.7	0.3	0.1
	-1.5	0.6	-5.0	-1.5	-1.5	-5.6	-9.0	-4.5	4.6	4.9	-5.2	-4.4	1.8	4.7	-0.8
29	99.0	99.0	1.1	-8.2	-7.4	7.6	-0.4	-0.7	0.9	-1.0	-0.9	-1.6	1.0	1.0	1.1
	2.9	1.3	-0.6	-5.8	-5.9	-5.0	-2.0	-0.5	3.7	1.7	-2.1	-5.0	3.5	7.6	0.5
30	99.0	99.0	-6.6	-1.0	5.0	1.9	-5.2	-4.0	-4.5	-3.6	-6.4	-4.9	-3.2	-4.3	-4.7
	0.7	1.5	3.6	3.1	5.6	5.5	6.8	6.4	9.0	4.5	-2.2	-4.2	2.7	3.7	-6.7

Fig. 17 (つづき) (Continued)

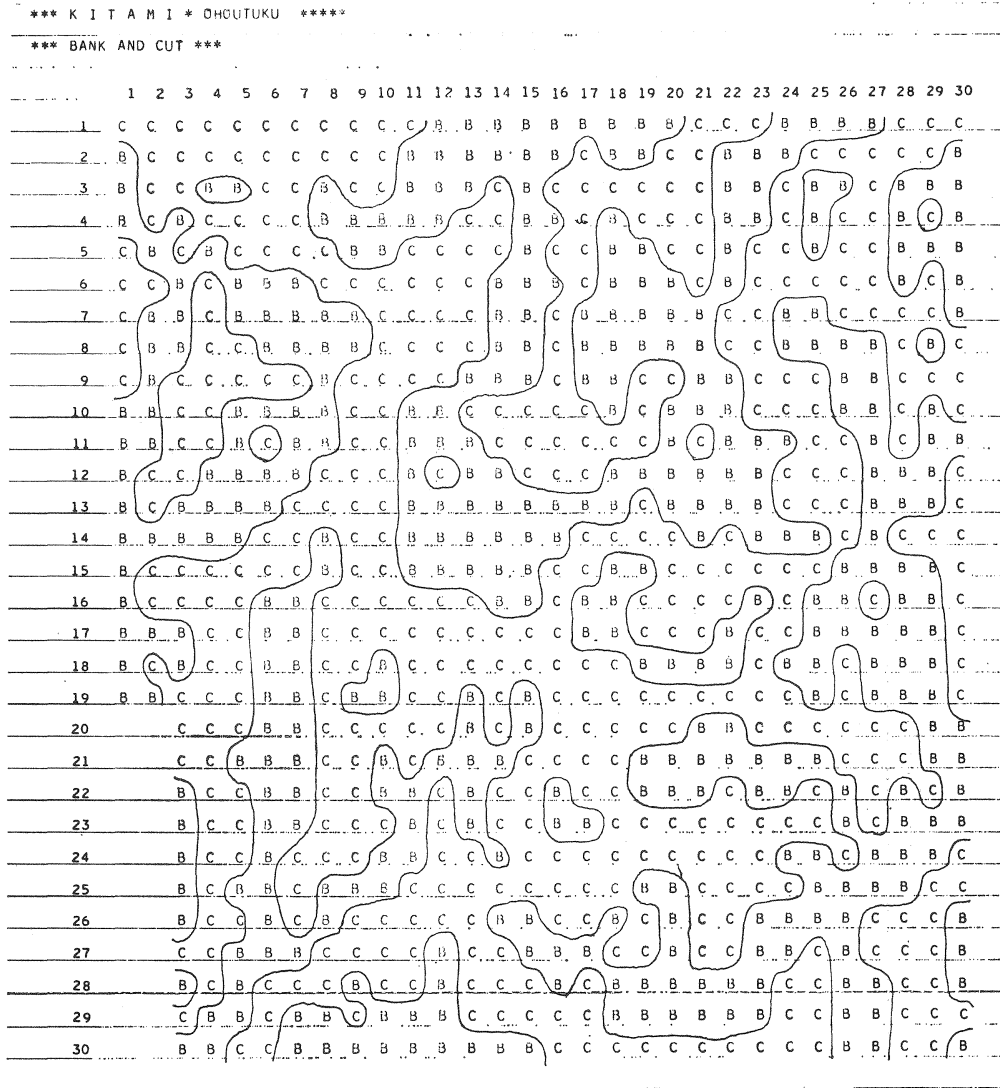


Fig. 18 切取部 (C) と盛土部 (B) の分布
Map of cut (C) and bank (B).

```

***** VALUE SURFACE MODEL *****

----- IDTM = 1
----- IGRADE = 1
----- IVALY = 3
----- IEARTH = 2

*** DIGITAL MAP ***

J      1      2      3      4      5      6      7      8      9      10     11     12     13     14     15
1      16     17     18     19     20     21     22     23     24     25     26     27     28     29     30

1      505.4 563.4 1063.9 620.0 868.1 846.2 678.9 1057.6 388.7 682.9 352.9 304.8 287.6 436.2 364.2
      234.2 261.5 527.2 1228.3 224.6 468.8 304.6 195.4 1423.4 862.8 348.0 443.7 395.7 916.8 463.0

2      391.0 391.7 360.9 391.3 532.5 544.1 523.4 410.4 408.0 377.3 1248.0 913.8 339.4 280.1 266.6
      295.7 223.8 865.1 304.2 515.0 542.8 242.4 416.6 874.4 239.7 460.9 1032.9 268.8 245.5 368.8

3      953.3 398.6 407.8 1038.1 415.9 559.1 498.6 392.1 342.8 339.0 479.9 584.4 465.2 292.2 274.4
      306.9 323.2 385.6 639.5 785.0 243.6 894.0 918.2 222.0 404.3 267.4 916.4 386.6 407.4 675.9

4      344.4 480.9 350.8 347.6 349.4 371.6 755.2 333.4 396.7 906.5 322.7 459.5 950.9 317.4 285.7
      326.3 391.1 985.9 382.4 739.3 247.1 473.8 863.2 232.5 246.1 863.8 710.9 278.2 847.1 931.5

5      326.4 316.5 925.6 489.1 342.5 437.7 347.7 537.7 345.1 335.7 453.9 825.8 498.6 339.6 288.4
      268.1 271.0 534.4 888.8 379.7 274.0 892.5 233.9 318.6 399.4 640.1 258.1 861.2 556.4 1283.0

6      392.9 342.8 392.8 924.3 582.5 453.7 563.0 437.6 319.3 749.0 389.3 548.6 583.0 490.6 506.9
      262.0 254.9 871.8 927.5 218.6 282.5 379.7 330.2 756.5 250.6 247.2 346.4 404.4 266.3 235.3

7      347.0 460.2 1224.1 304.3 320.3 424.7 826.5 323.5 406.2 707.5 501.2 337.0 547.1 326.8 308.1
      264.4 860.8 286.0 979.3 1019.6 265.8 498.5 744.1 250.5 237.3 826.1 379.1 731.0 298.1 276.1

8      1937.7 1090.8 907.1 284.4 301.6 259.1 368.1 313.8 930.6 842.2 317.7 316.2 375.2 988.3 455.8
      376.2 489.7 306.0 226.7 942.8 331.5 273.3 500.4 226.6 338.0 824.7 260.1 644.0 361.1 350.8

9      268.5 651.2 349.0 480.4 308.7 287.4 413.5 324.3 364.3 1323.0 340.6 384.0 305.7 550.7 351.2
      311.3 300.7 262.7 347.5 244.6 1353.7 261.3 298.4 410.3 222.0 1137.9 577.7 818.7 366.9 239.7

10     289.6 343.1 311.2 343.8 638.2 336.4 344.3 345.6 539.3 1582.9 383.9 336.6 639.9 1232.9 973.0
      809.5 619.6 418.2 441.9 393.4 1037.6 419.1 422.0 778.5 227.7 469.9 884.7 270.6 250.3 191.5

11     654.6 251.0 295.2 308.1 723.9 300.8 348.4 338.8 529.4 1494.1 474.1 2714.3 1173.4 407.8 691.7
      941.7 442.8 275.8 850.2 840.0 383.6 892.4 819.9 229.2 394.0 512.3 293.4 815.9 204.4 190.0

12     351.7 238.1 279.7 351.2 1080.0 1015.2 927.6 349.0 754.5 952.5 471.1 1915.6 647.3 289.7 364.8
      376.5 288.6 1128.1 418.8 509.1 247.7 889.2 1186.4 207.5 732.3 216.4 505.9 873.8 204.1 492.6

13     399.5 576.9 243.8 1059.2 825.9 420.3 483.9 417.7 673.5 574.6 391.2 405.9 1220.7 325.5 322.5
      1260.2 1448.5 1120.0 778.8 262.3 223.2 203.3 1268.7 871.9 356.5 690.5 773.2 845.6 218.5 383.4

```

14	1488.2	372.8	1081.6	521.1	312.5	416.9	415.6	297.2	584.2	388.1	1249.0	1168.3	932.2	967.5	1110.6
	687.7	420.3	2229.9	524.7	254.4	585.6	235.5	293.9	292.4	626.7	869.8	223.6	189.7	257.2	822.4
15	234.2	278.8	463.4	481.7	637.8	445.1	274.0	314.8	594.2	511.6	604.1	443.1	353.8	880.3	425.1
	613.1	593.9	767.6	485.7	270.0	288.7	236.2	208.2	1043.9	207.8	206.4	850.0	229.2	286.4	185.8
16	266.5	225.7	276.9	632.9	799.7	253.0	314.7	357.5	341.4	631.7	372.1	518.7	318.4	309.1	311.4
	459.5	286.3	1367.4	291.2	830.7	417.4	244.7	260.7	467.9	303.5	900.9	759.4	183.6	237.0	315.1
17	1173.9	1021.2	1450.8	282.6	514.5	310.5	399.8	318.7	282.9	285.9	481.3	716.9	803.3	1047.7	881.9
	307.6	561.7	357.9	648.2	406.2	405.0	271.1	218.2	821.6	1039.1	195.9	837.3	246.1	202.2	1019.9
18	1223.4	275.0	287.4	381.1	638.9	327.7	310.0	292.8	271.4	279.4	288.5	290.1	285.4	436.6	654.5
	775.1	288.3	324.5	429.4	274.5	274.3	408.2	245.1	387.8	392.7	226.4	880.4	851.1	303.0	1007.5
19	4814.3	262.5	1253.9	478.3	1051.9	943.3	359.2	403.8	259.8	270.5	291.8	274.3	277.0	280.7	278.3
	470.5	1055.5	841.7	426.1	430.5	287.5	392.8	474.7	373.4	251.8	399.6	353.7	1164.9	342.3	365.6
20	*****	2422.5	341.8	359.4	1444.7	274.2	377.0	269.5	258.5	269.8	288.1	278.6	270.1	274.4	
	274.1	512.4	356.4	322.8	281.1	304.1	264.9	352.2	326.3	773.9	881.2	219.6	223.1	367.7	202.8
21	*****	2229.4	389.7	259.9	1943.2	724.0	287.5	263.4	252.6	256.9	254.7	308.8	259.9	262.2	
	416.5	285.0	293.9	505.8	953.1	1139.8	960.0	877.2	374.2	436.5	213.6	755.0	355.6	162.9	212.8
22	*****	2209.3	421.1	387.1	1104.2	558.7	438.4	234.5	265.8	252.8	260.1	265.1	252.2	254.4	
	253.1	401.9	675.2	293.0	573.7	301.6	256.2	819.9	193.5	183.1	238.8	281.9	207.5	168.3	902.5
23	*****	2260.3	485.3	249.9	1848.0	242.9	784.1	232.6	243.0	273.1	238.6	243.0	244.7	240.1	
	237.7	275.5	450.4	480.0	413.0	1266.4	289.6	410.3	284.6	195.0	202.4	177.2	788.1	1041.2	213.1
24	*****	2213.1	398.4	326.1	2214.0	561.5	657.4	261.6	628.3	350.5	226.4	236.0	230.1	230.9	
	245.3	384.1	237.2	235.9	422.7	840.2	270.9	245.5	268.8	1236.8	772.9	870.8	1020.7	683.1	270.9
25	*****	2184.1	583.4	237.6	3138.8	807.0	328.7	2526.0	915.2	342.5	268.6	230.8	224.3	225.5	
	228.0	380.6	231.9	233.8	230.0	398.8	283.1	252.5	210.7	770.6	171.2	810.6	394.2	219.1	544.3
26	*****	2177.6	408.0	236.2	1133.7	958.1	707.2	812.9	429.7	263.7	286.5	212.0	212.7	221.6	
	372.6	230.6	233.6	252.9	222.4	359.5	271.1	249.6	1556.7	1043.8	558.6	542.4	390.2	811.6	336.7
27	*****	2167.3	632.6	356.1	1700.0	694.2	445.4	641.1	313.7	371.8	213.7	215.7	390.2	213.2	
	253.3	209.8	222.0	220.9	221.9	552.2	227.6	1526.3	888.1	283.5	225.2	252.9	210.6	761.5	749.4
28	*****	2194.9	1047.2	784.8	177.5	456.2	263.8	204.9	238.7	239.1	221.6	216.2	203.5	191.1	
	354.0	198.1	449.7	223.9	223.7	523.5	1613.9	409.0	581.1	452.5	1063.9	388.8	254.5	591.1	199.8
29	*****	2152.8	842.7	1323.2	913.7	170.7	184.9	198.3	206.6	212.5	233.0	216.9	214.0	211.0	
	420.3	803.9	799.8	1131.3	1143.8	1055.4	261.2	235.2	509.6	246.9	837.4	449.9	352.5	950.4	345.9
30	99210.0	*****	1550.3	146.6	409.8	191.0	412.2	312.2	359.7	288.1	575.7	410.0	281.3	360.0	402.8
	186.5	348.8	316.7	288.1	1106.0	504.0	668.1	773.9	1025.0	400.2	224.0	952.4	269.9	486.4	627.1

Fig. 19 総合評価値

Total value surface model.

*** SAITAN RO TANSAKU OWARU *** ROUT NO.1 ***** DIJKSTRA METHOD ***** BY H.KOBAYASHI				
FROM(I)	TO(J)	V(J)		
887	886	13203.000	348(X,Y) =	30 17
886	885	12936.000	186(X,Y) =	30 16
885	855	12642.000	402(X,Y) =	30 15
855	825	12336.000	211(X,Y) =	29 15
825	824	12135.000	191(X,Y) =	28 15
824	823	11938.000	203(X,Y) =	28 14
823	793	11729.000	216(X,Y) =	28 13
793	763	11514.000	215(X,Y) =	27 13
763	733	11301.000	211(X,Y) =	26 13
733	703	11081.000	230(X,Y) =	25 13
703	702	10849.000	235(X,Y) =	24 13
702	672	10619.000	226(X,Y) =	24 12
672	671	10387.000	238(X,Y) =	23 12
671	670	10132.000	273(X,Y) =	23 11
670	669	9874.000	243(X,Y) =	23 10
669	639	9637.000	232(X,Y) =	23 9
639	609	9404.000	234(X,Y) =	22 9
609	579	9156.000	263(X,Y) =	21 9
579	549	8890.000	269(X,Y) =	20 9
549	519	8626.000	259(X,Y) =	19 9
519	489	8361.000	271(X,Y) =	18 9
489	488	8085.000	282(X,Y) =	17 9
488	458	7785.000	318(X,Y) =	17 8
458	428	7448.000	357(X,Y) =	16 8
428	398	7113.000	314(X,Y) =	15 8
398	368	6808.000	297(X,Y) =	14 8
368	338	6451.000	417(X,Y) =	13 8
338	308	6069.000	348(X,Y) =	12 8
308	307	5726.000	338(X,Y) =	11 8
307	306	5383.000	348(X,Y) =	11 7
306	276	5059.000	300(X,Y) =	11 6
276	246	4741.000	336(X,Y) =	10 6
246	216	4430.000	287(X,Y) =	9 6
216	215	4157.000	259(X,Y) =	8 6
215	185	3877.000	301(X,Y) =	8 5
185	155	3567.000	320(X,Y) =	7 5
155	125	3116.000	582(X,Y) =	6 5
125	95	2654.000	342(X,Y) =	5 5
95	94	2309.000	349(X,Y) =	4 5
94	93	1961.000	347(X,Y) =	4 4
93	63	1613.000	350(X,Y) =	4 3
63	33	1235.000	407(X,Y) =	3 3
33	32	852.000	360(X,Y) =	2 3
32	2	477.000	391(X,Y) =	2 2
*****ROSEN SENTEI OWARI***** NPA = 37 IRO = 45				

Fig. 20 路線選定結果の一例
An example of forest road route selection.

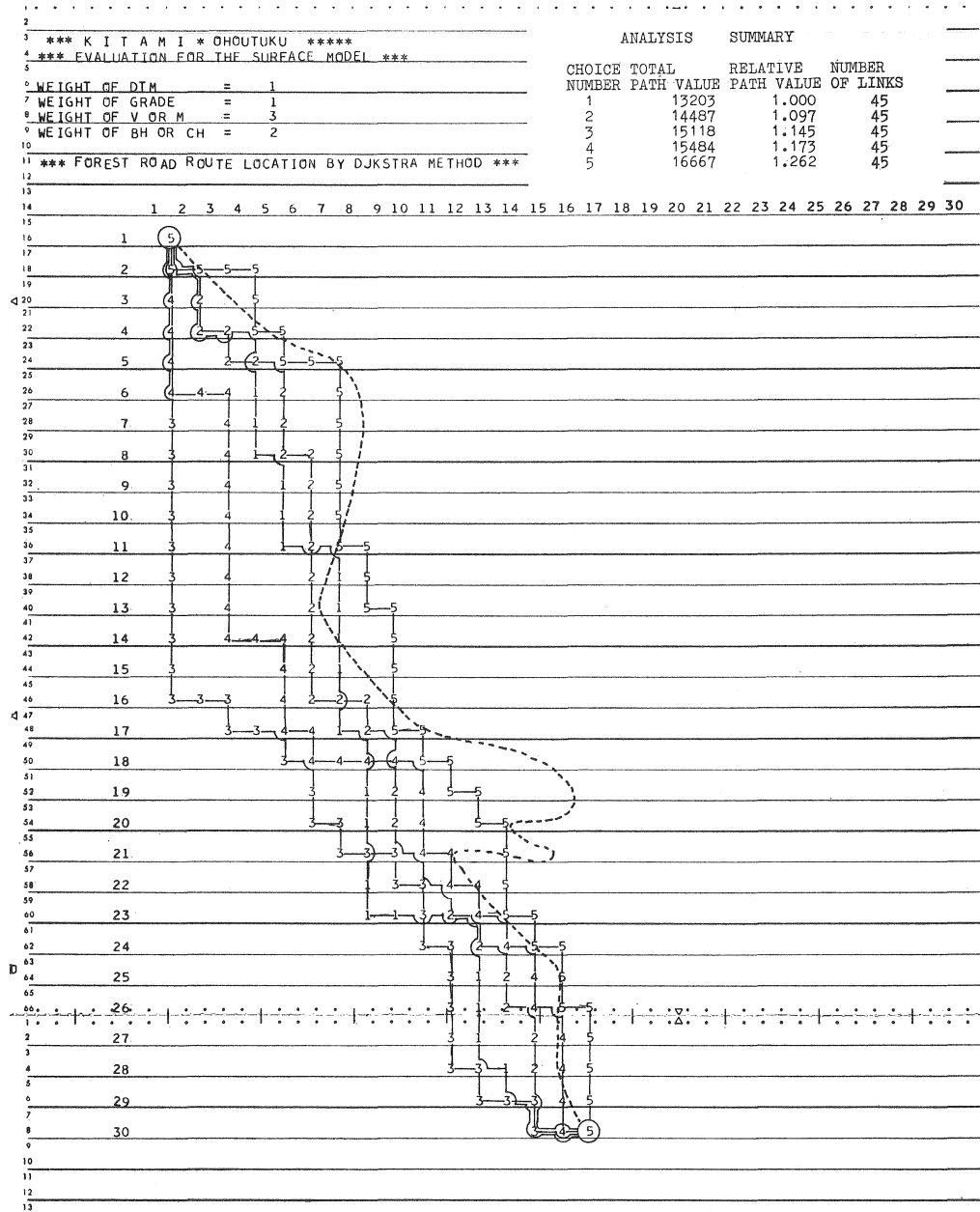


Fig. 21 北見地区の路線選定結果 (1)
Forest road route in Kitami, calculated with
electronic computation (1).

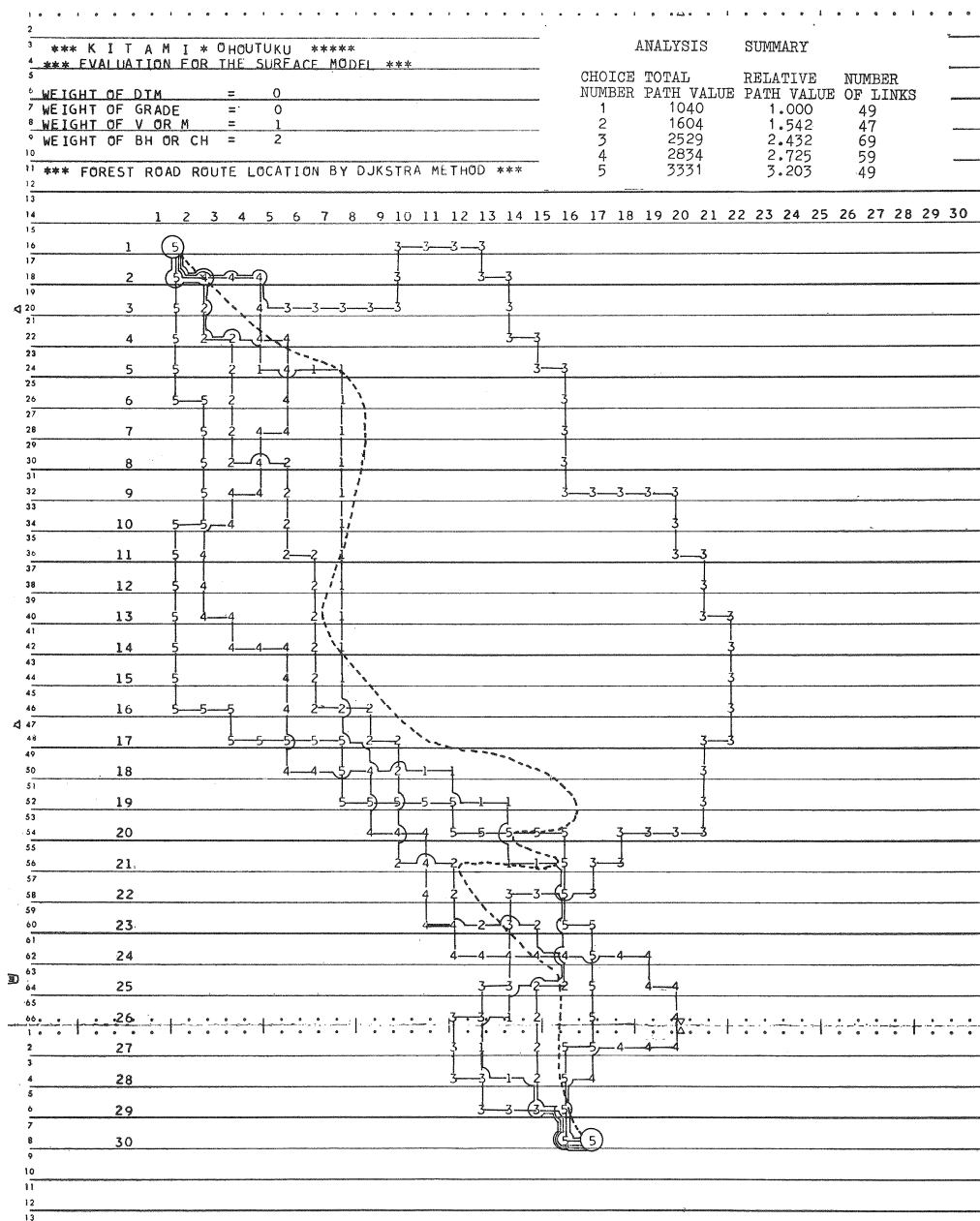


Fig. 22 北見地区の路線選定結果 (2)
Forest road route in Kitami, calculated with
electronic computation (2).

***** FOREST ROAD LOCATION ***** BY DIJKSTRA METHOD **
 NAME--KITAMI (1) **

SCALE 1 : 4000

DTM = 1 GRADE = 1 VALY = 3 EARTH = 2

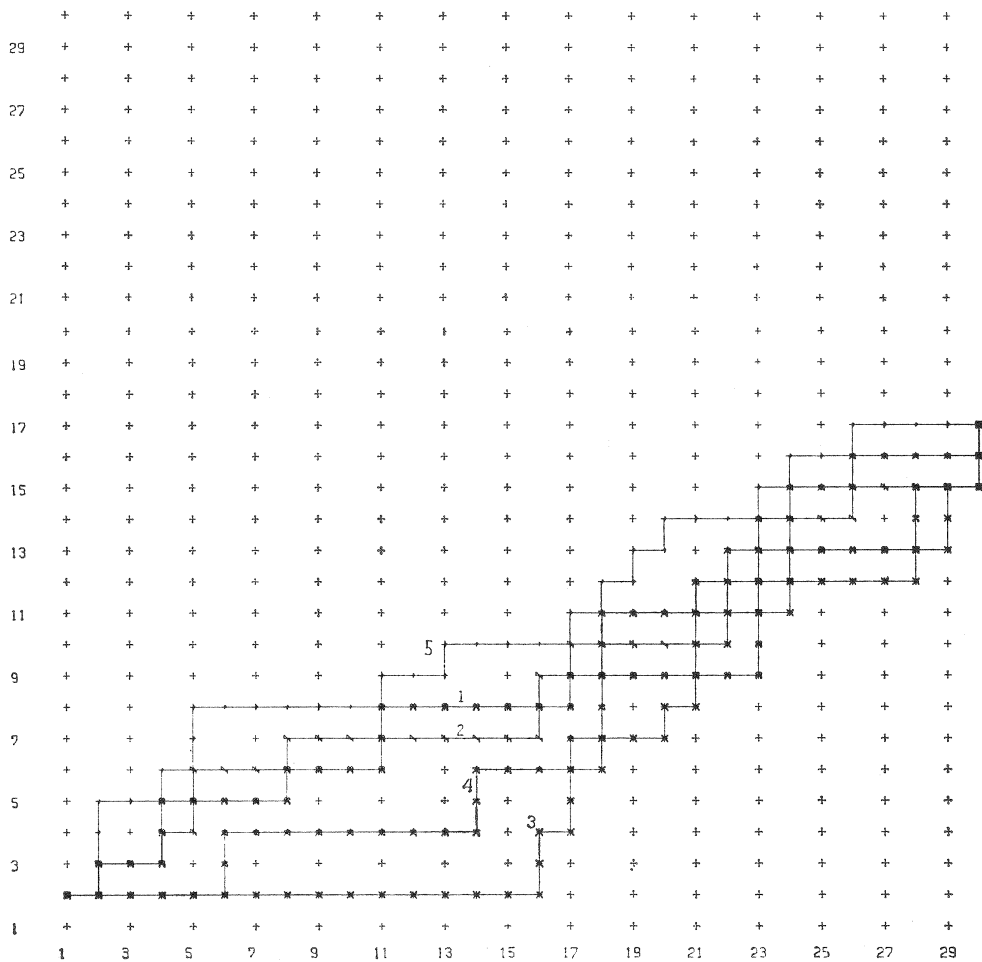
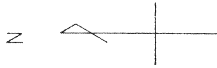


Fig. 23 北見地区のXYプロッターによる林道路線 (1)

Forest road route in Kitami, drafted with a
 digital XY-plotter (1).

***** FOREST ROAD LOCATION ***** BY DIJKSTRA METHOD **
NAME-- KITAMI(2)**

SCALE 1 : 4000

DTM = 0 GRADE = 0 VALY = 1 EARTH = 2

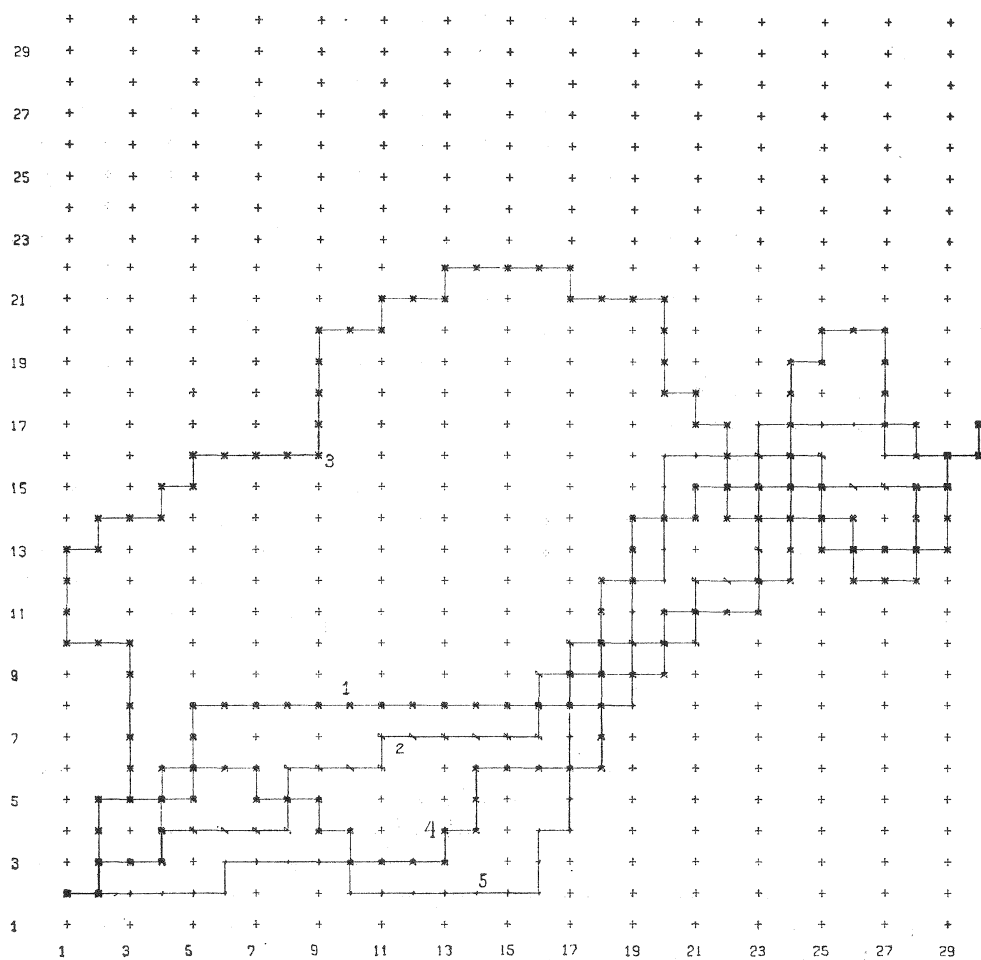
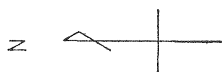


Fig. 24 北見地区の XY プロッターによる林道路線 (2)

Forest road route in Kitami, drafted with a digital XY-plotter (2).

7.2 松山の例

以下の例は途中の計算結果は省略し、路線の入った地形図と要因別ウェイト、分析結果の入った路線選定結果のアウトプットを示し考察する。松山は Fig. 25 に示す 20,000 分の 1 の地形図に 5 mm のメッシュをかけ標高値を読んで作成した D. T. M. で間隔は 100 m となる。対象路線は北海道松山支庁管内の昭和 48 年に計画された 民有林林道峰越連絡林道真駒内千走線で 北松山側 8.5 km の計画線で、5,000 分の 1 の地形図上で計画勾配 5% で作られたものである。峰越鞍部は標高 780 m、北松山起点位置標高 375 m であり、地形は全般的に急峻で山腹横断傾斜角は $30^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 、峰越鞍部前後 1 km は岩盤がほうぼうに露出している。

Fig. 26 に標高、地形勾配、山と谷、推定土工量のウェイト比が $1:4:3:2$ の結果を Fig. 27 は山と谷と推定土工量の比を $1:2$ の計算結果を示した。全般に各路線間のバラツキが大きく、特に Fig. 27 の分析結果は径路評価値、リンク数も第 1 と第 5 のひらきが大きい。Fig. 27 の第 1 ルートが既設ルートに近い。この方法により選定された結果は計画路線と比較すると勾配が比較的急なところがあるが、現場の計画勾配が 5% とゆるい勾配をとったため著しい。ウェイトの取り方により各優先順位の路線のとり方が異っている。

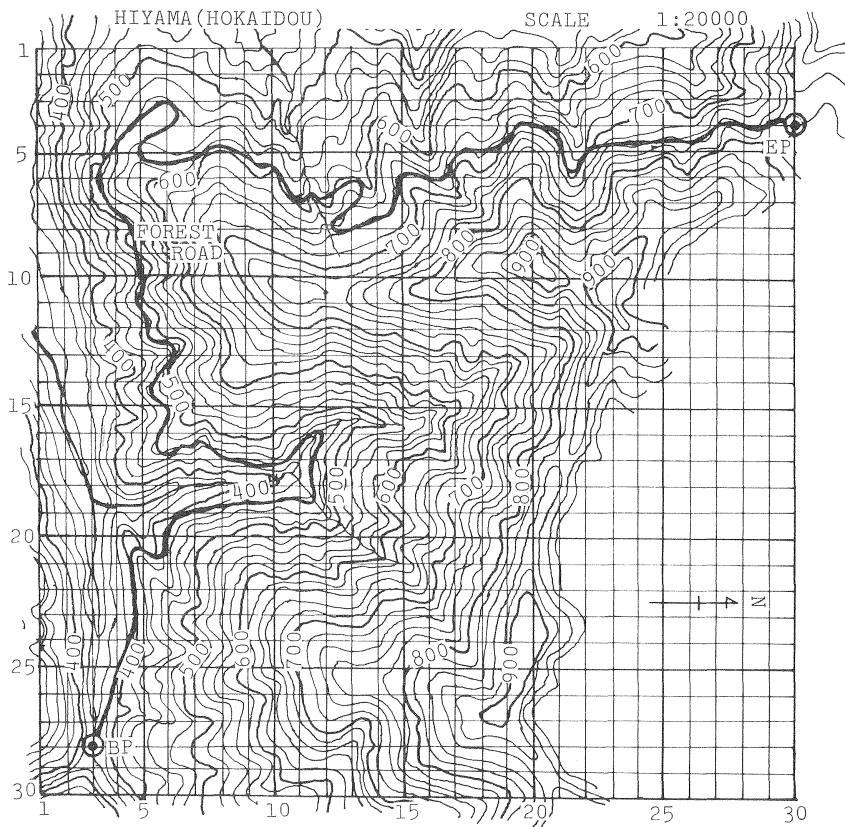


Fig. 25 松山地区の地形図
Topographical map in Hiyama area.

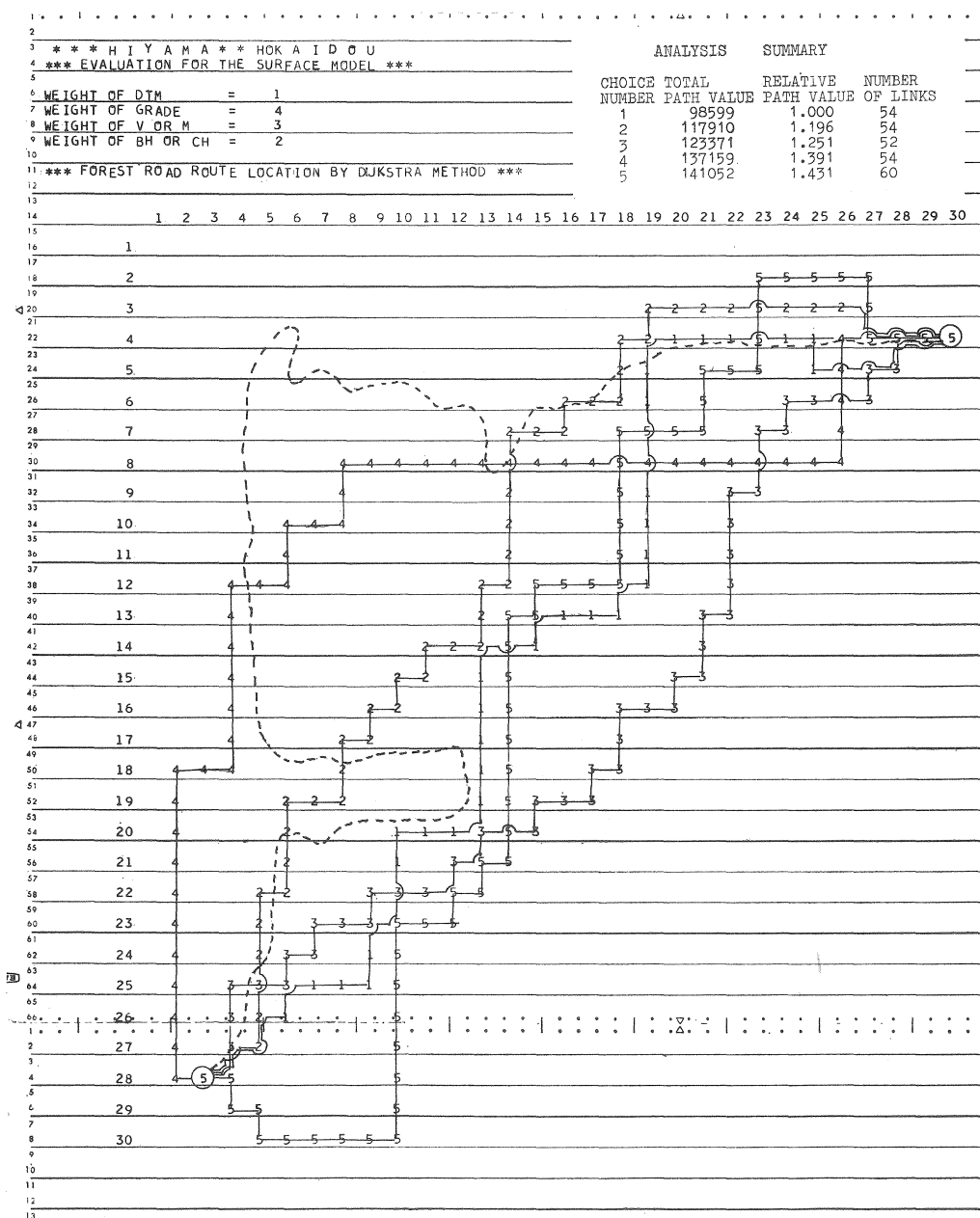


Fig. 26 桧山地区の路線選定結果 (1)
 Forest road route in Hiyama, calculated with
 electronic computation (1).

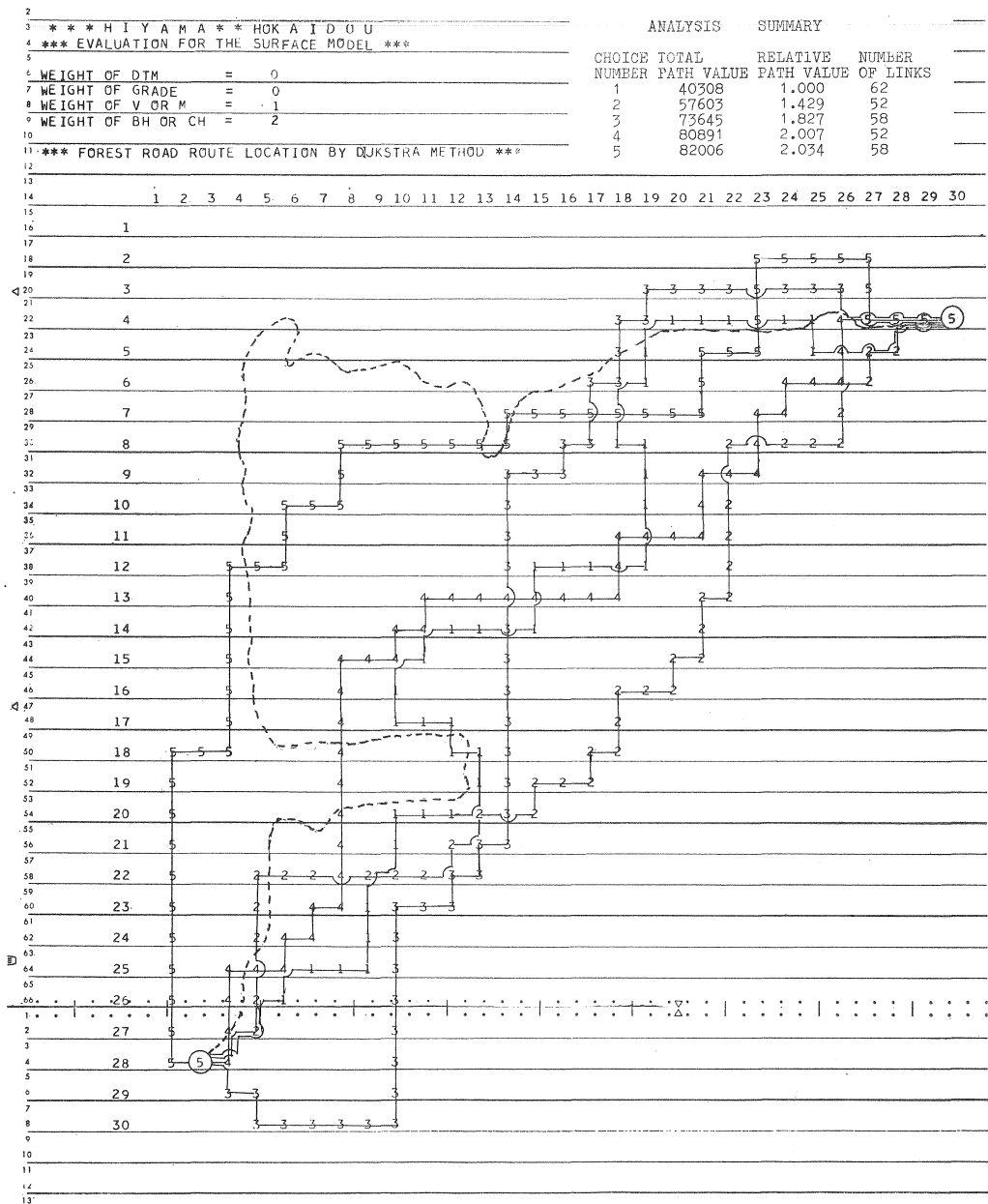


Fig. 27 桧山地区の路線選定結果(2)
Forest road route in Hiyama, calculated with
electronic computation (2).

7.3 内野林道の例

地域は茨城県の西部で Fig. 28 に示すように地形は比較的ゆるやかである。5,000 分の 1 の地形図を 8 mm のメッシュでおおい D. T. M. を作ったためメッシュ間隔は 40 m である。

Fig. 29, 30 の結果を比較してみると第 1 から第 3 ルートまではほぼ同様の径路を示しているが、第 4, 第 5 ルートは大きく異っている。分析結果は Fig. 29 が第 1 と第 5 ルートの径路比が 1.167, リンク数は同じ値であるのに、Fig. 30 はバラツキが大で、要因のウェイトの与え方によって異なることを示している。既設路線と比較すると、計画勾配に急なところが現われるが、これは総合評価値の最短径路探索の結果に起因するものと考えられ、別な面での配慮が必要となる。

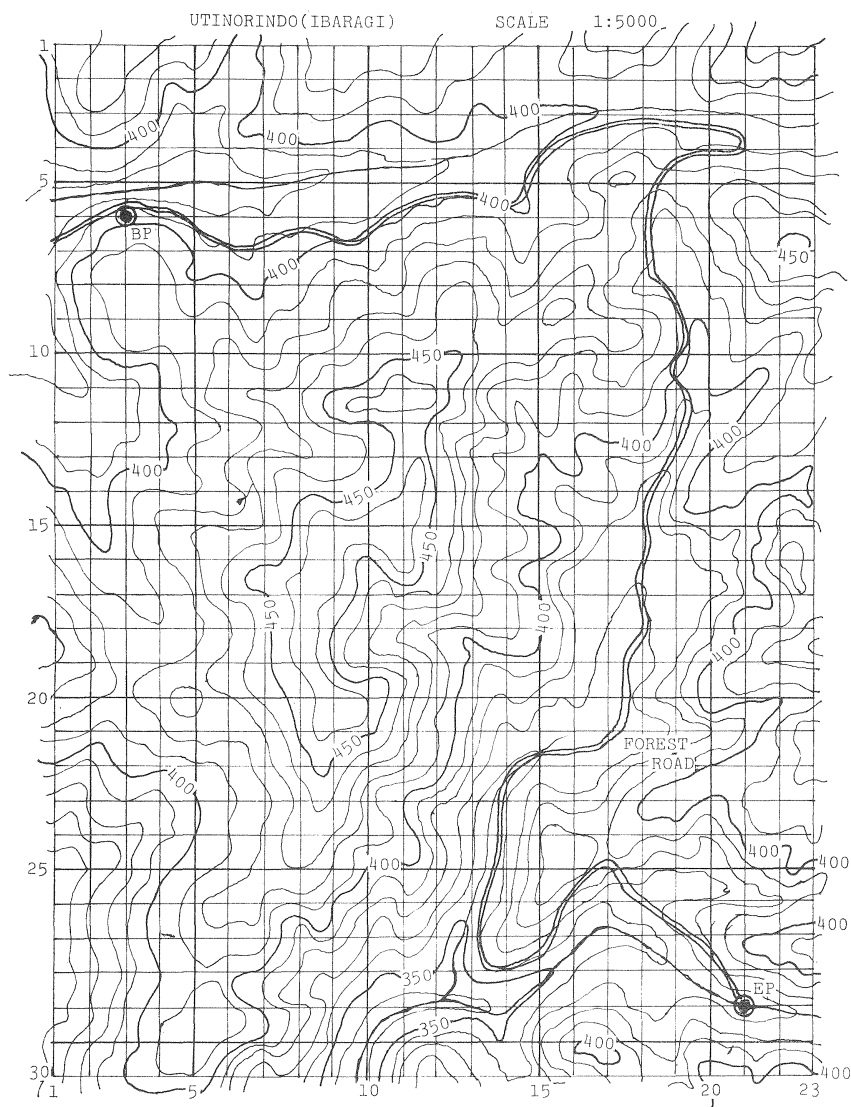


Fig. 28 内野地区の地形図
Topographical map in Utino area.

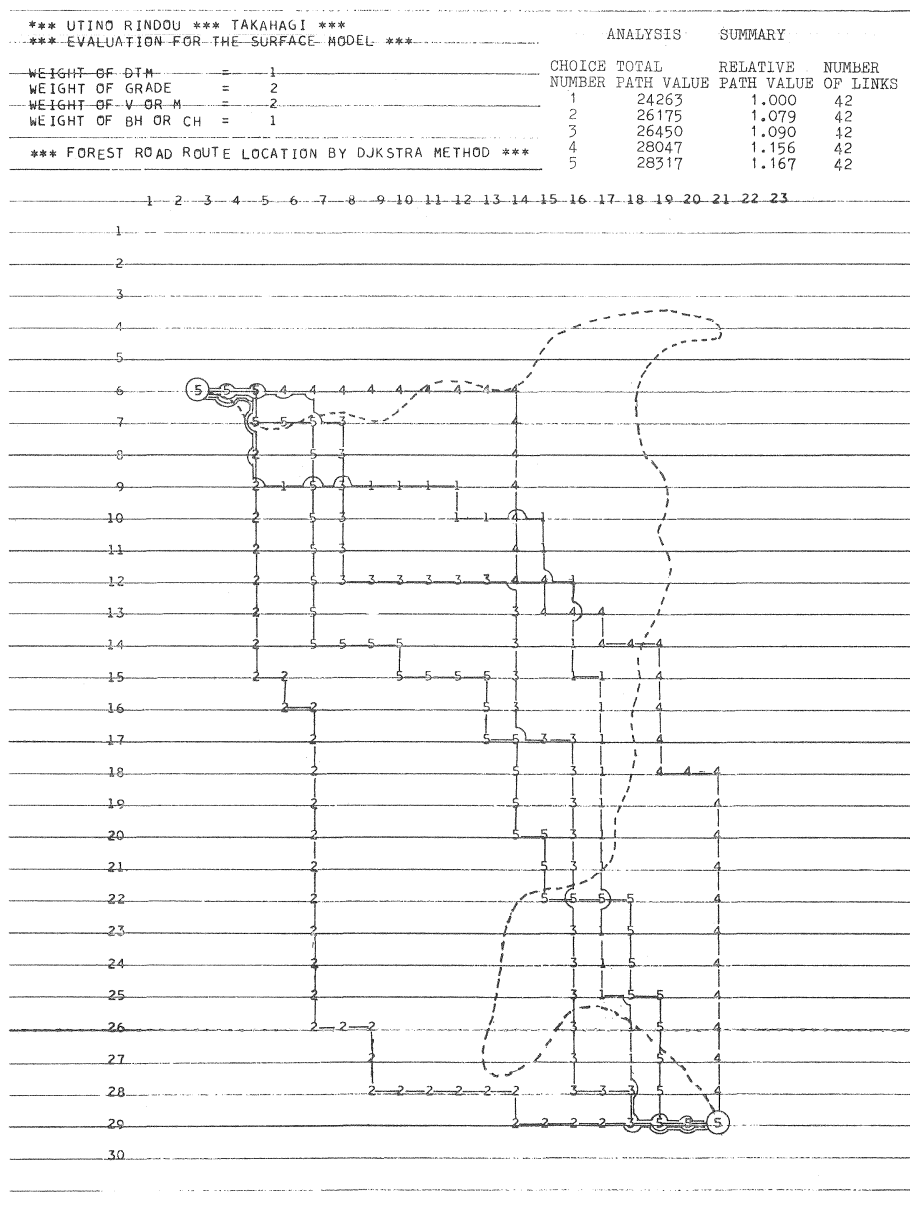


Fig. 29 内野地区の路線選定結果 (1)
 Forest road route in Utino, calculated with
 electronic computation (1).

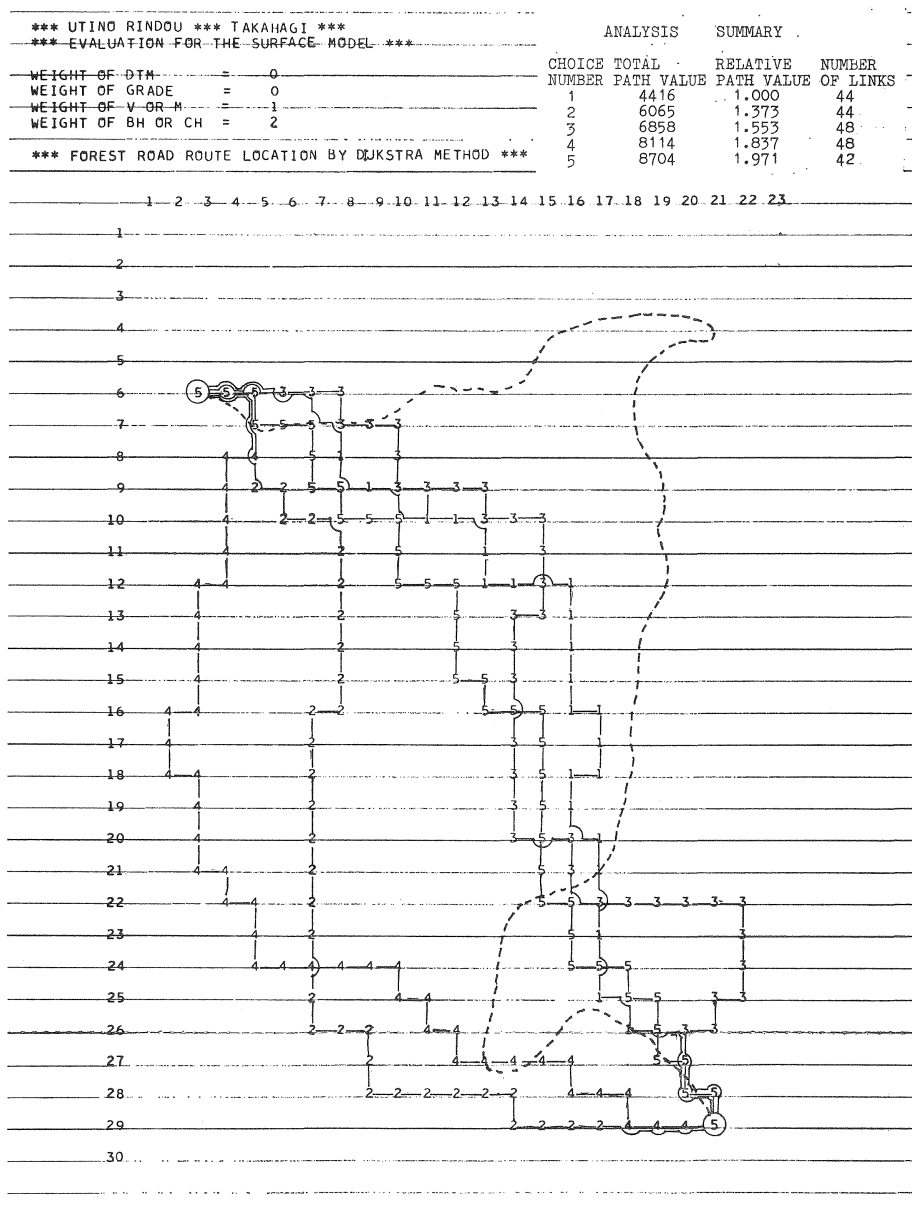


Fig. 30 内野地区の路線選定結果 (2)
 Forest road route in Utino, calculated with
 electronic computation (2).

7.4 大金田林道の例

内野林道と同じく茨城県高萩営林署管内の林道で Fig. 31 に示すように前の例より急峻である。路線は峰越の鞍部から山腹にいたる既設林道である。

Fig. 32, 33 の計算結果は両者とも既設林道を中心にバラツいているが Fig. 32 が相対径路比も小さく、リンク数のバラツキも少ない。Fig. 33 は Fig. 32 に比べバラツキが大きくなって、径路比も3倍近いひらきがある。しかし第1ルートは比較的既設ルートに近い形状を示した。両結果ともいくぶんこまかい点は実際の場で修正するにしても、縦断勾配の点に無理と考えられる箇所が示された。これも前例と同じようなことが考えられる。

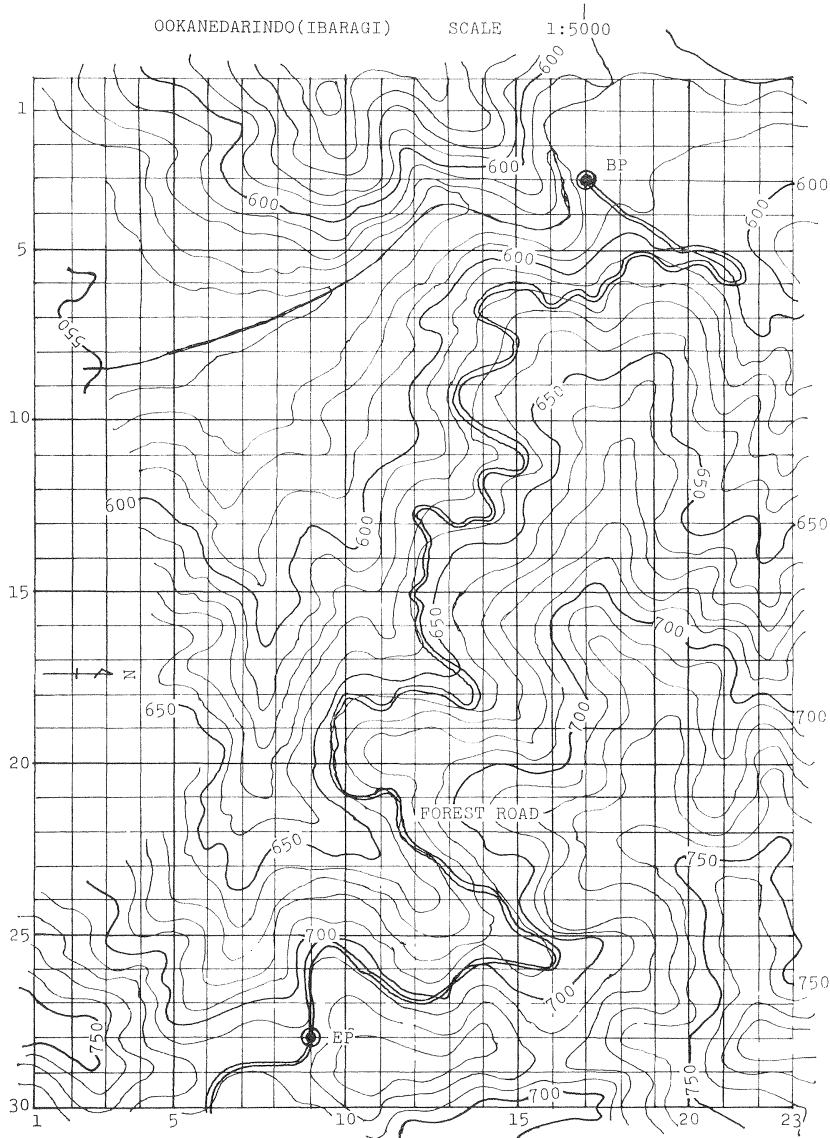


Fig. 31 大金田地区の地形図
Topographical map in Ookaneda area.

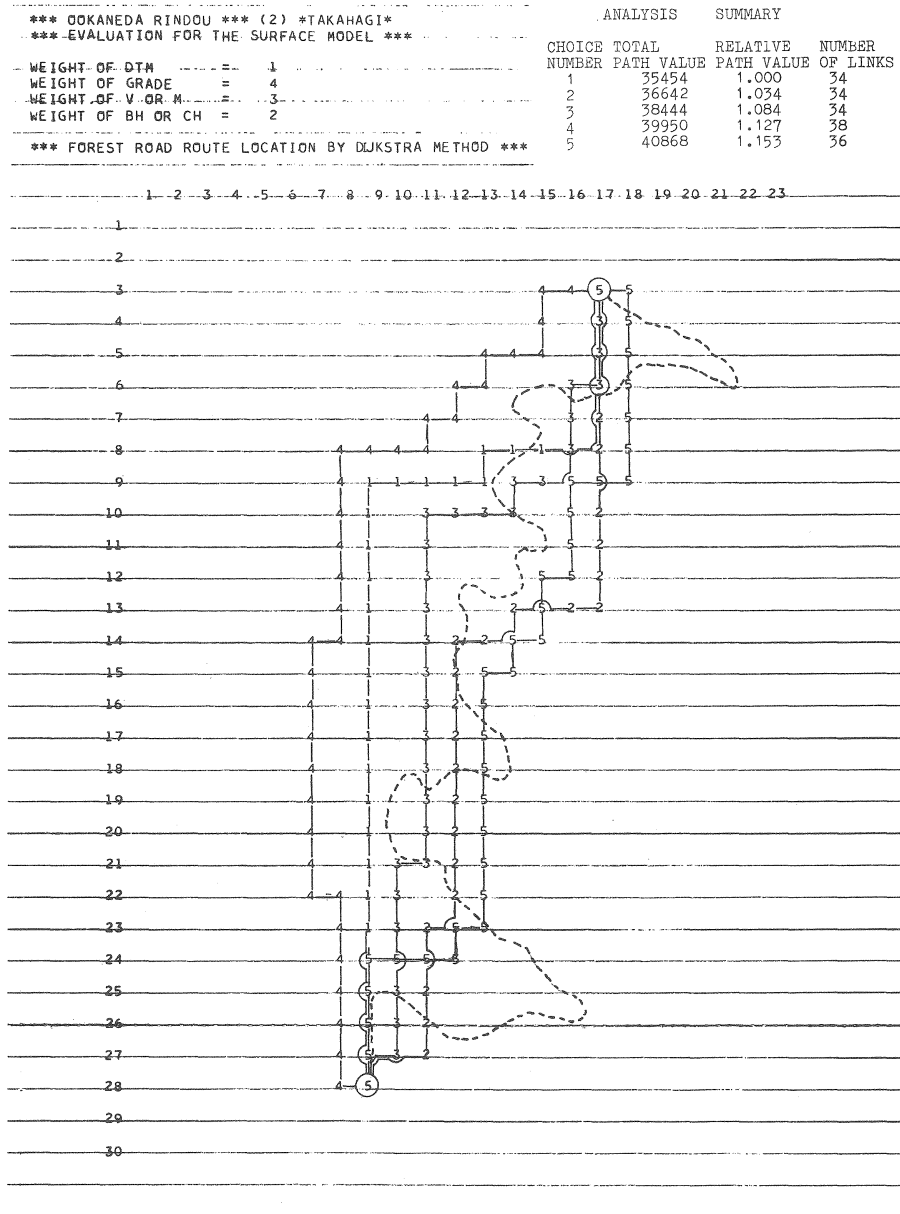


Fig. 32 大金田地区の路線選定結果 (1)
 Forest road route in Ookaneda, calculated
 with electronic computation (1).

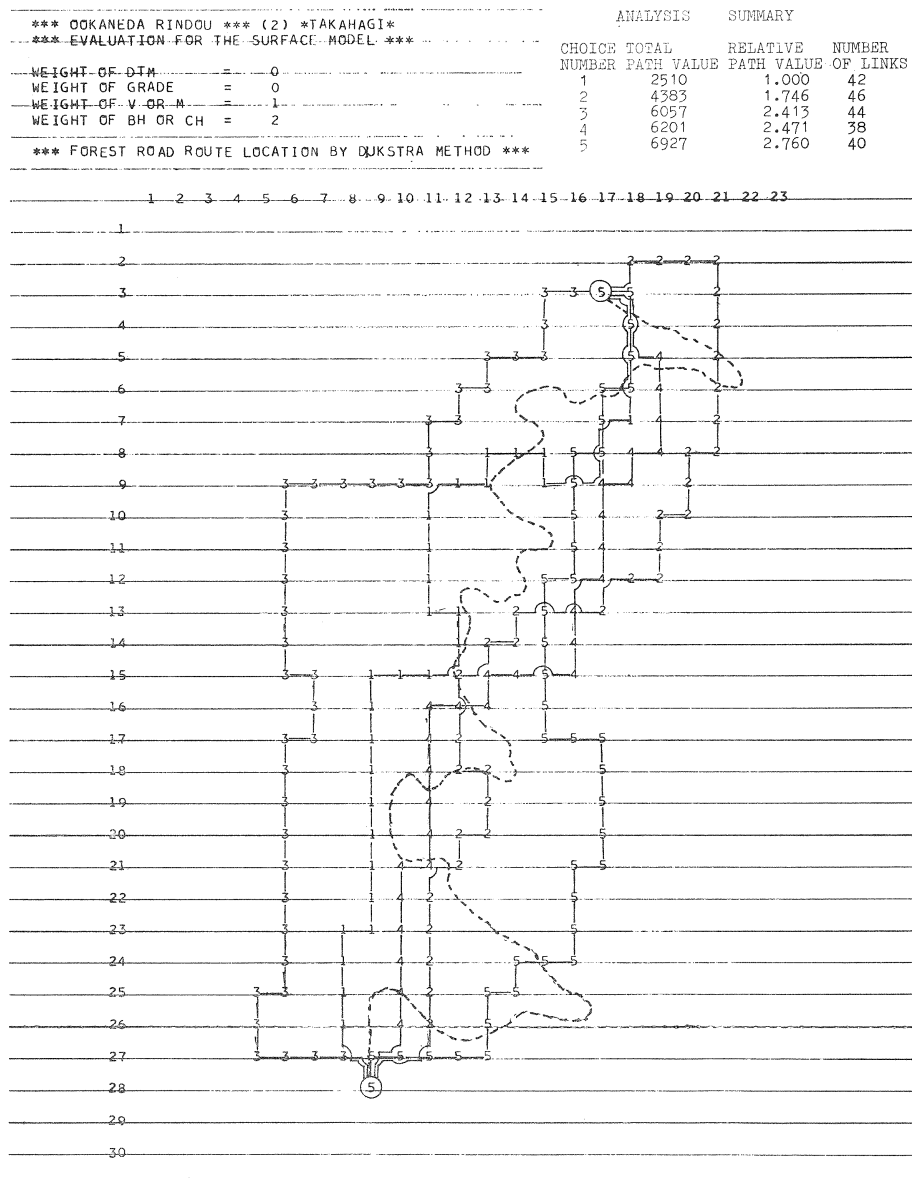


Fig. 33 大金田地区の路線選定結果 (2)
 Forest road route in Ookaneda, calculated
 with electronic computation (2).

以上 4 つの例から、地形図の縮尺、メッシュ間隔と全体の大きさについて考えてみると、全体の計画延長とメッシュ全体の大きさ、地形傾斜も考えなければならないが、通常の 2~3 km の 2 点間の路線選定は 5,000 分の 1 の地形図に 40 m ぐらいのメッシュをかけて D. T. M. を作るのが適当であると考えられる。

7.5 縦断勾配に重点をおいた林道路線選定

問題となった 2 点間の縦断勾配の制限を越えた場合の配慮であるが前節まで扱ってきた評点法はこの要素を考慮することが難しい。評点法による値はノード値とされ、アーク値は 2 点間の平均値とした。一方 2 点間の勾配をアーク値とする場合には別な形を考えなくてはならず、他の要因と合わせて用いるのは難しい。そこで 2 章 1 節で述べた従来から行われている 5,000 分の 1 の地形図でコンターラインを切っていくゼロ線設定方法の電算機による路線選定を試みた。電算化の方向は次のような手順で行った。

- 1) 2 点間の標高差から勾配を求める (GR)。
- 2) 適正勾配 (GS) を決める。
- 3) アークの評価値を求める。評価方法は適正勾配とアーク勾配の差の自乗とした。
- 4) さらに順勾配、逆勾配の制限値 (S2, S1) を決定し、これをこえるアークはペナルティとしてウェイトを支える。これらの合計をアークの評価値とした。数式で表現すると以下のとおりである。

$$GR = (H_i - H_j) / DS_{i,j} \quad \dots\dots\dots (23)$$

$$D_{i,j} \leftarrow 100 \times (GS - GR) \quad \dots\dots\dots (24)$$

$$D_{i,j} \leftarrow D_{i,j} \times D_{i,j} \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$D_{i,j} \leftarrow D_{i,j} + W_l \quad \dots\dots\dots (26)$$

アークの最終的评价値は (26) 式の $D_{i,j}$ でこの値をもとにネットワーク手法によって解いた縦断勾配

を重視したプログラムである。

Table 2. 縦断勾配とウェイト値
Weight value for profile grade of link

リンク勾配の区分 Classification (GR)	ウェイト Weight (WL)	具体的な値 Actual value
~ 3S1	W4	{ S1 = -0.10 S2 = 0.12
3S1 ~ 2S1	W3	
2S1 ~ S1	W2	{ W1 = 0.0 W2 = 1000.0 W3 = 3000.0 W4 = 10000.0
S1 ~ S2	W1	
S2 ~ 2S2	W2	
2S2 ~ 3S2	W3	
3S2 ~	W4	

本例で用いたウェイト値は Table 2 の値を用いた。このプログラムのアーク方向は斜方向も加えた 8 方向とした。Fig. 34 に前出の内野林道の計算結果を示す。当然のことながら、既設の林道に近い線形を示し、等高線に沿った曲くねった線形を示している。分析結果は相対径路比が第 1 と第 5 ルートでは 2 倍以上に、リンク数もバラツキが大きい。従来の方法に立脚した比較路線として参考となる。

8. お わ り に

林道設計における路線選定の重要性を論じ、合理的な林道の電算機を用いた路線選定法を検討した。数値地形モデル (D. T. M.) の作成方法は空中写真の判読による自動カード穿孔法と地形図にメッシュをかける方法をとったが、前者は現在のところ高価であり、後者の 5,000 分の 1 の地形図から作成する方法が適切である。路線選定に影響を及ぼす要因のうち、尾根、沢、斜面は数値地形モデル (D. T. M.) の移動平均法によって地形を平滑化し微分法の考え方をもとに判別し、推定土工量はスミーズモデル (S. M.)

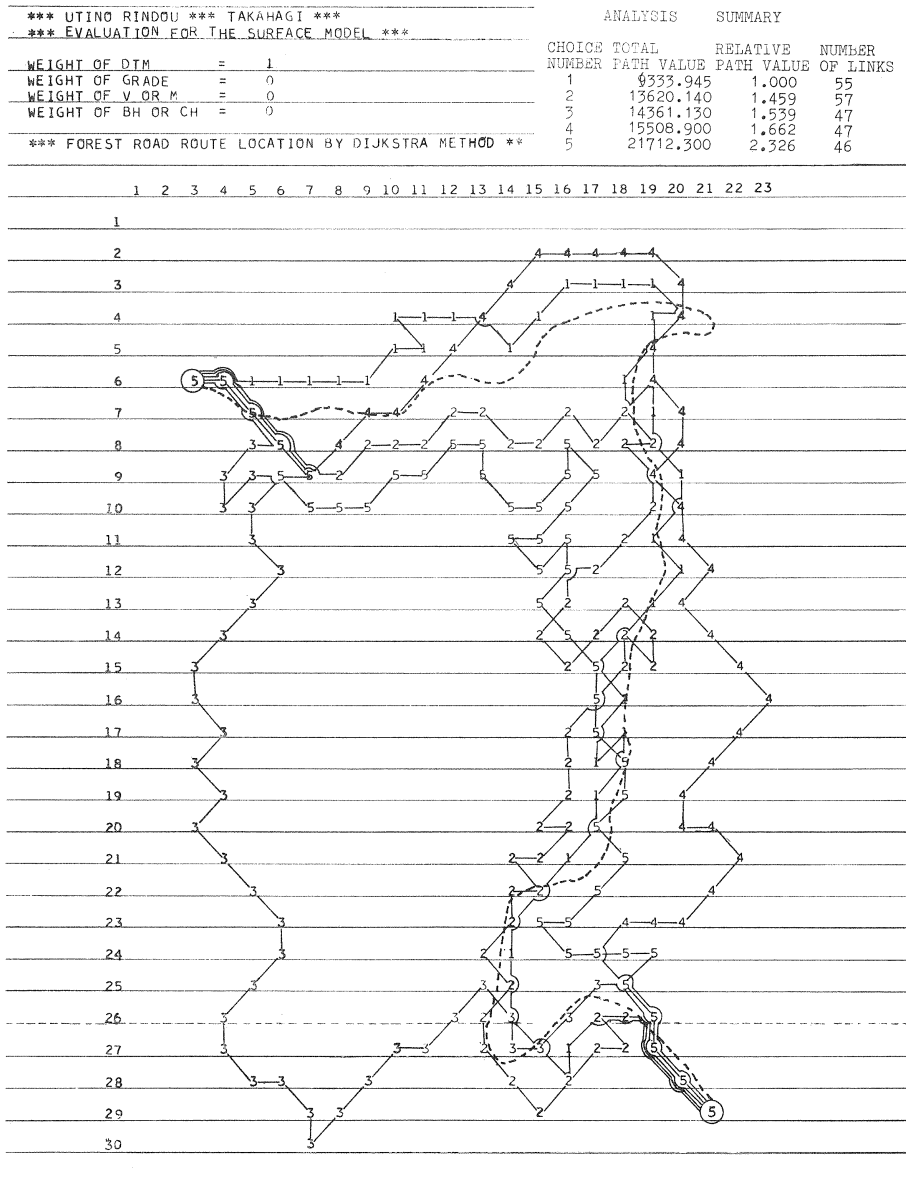


Fig. 34 内野地区の縦断勾配に重点をおいた路線選定結果
 Forest road route in Utino, calculated with
 electronic computation for profile grade.

より行った。そして、標高、最急地形傾斜を加え、ウェイト付け法による総合評価方法を確立した。比較路線の探索法としてグリッドをネットワークとし、総合評価値をノード値としてダイクストラ法の解法により、7本まで行えるプログラムを作成した。現地に予定路線、既設路線のある4地域を選び作成したプログラムの現地適用性について、検討したところ、与えたウェイト値に対する総合評価値としての径路の値と径路の長さとしてのリンク数が各比較路線ごとに示され、これをもとに検討、修正が可能であり、適用に有効であることを確かめた。

以上は地形因子を建設費との関連からとり上げたが、残された問題としては、環境保全、利用者費用をいかに評価するか、これらの要因にどんなウェイトをかけたらいいか等これらの要因と林道路線との因果関係に関する究明があげられる。

文 献

- 1) ALEXANDER, C., and MANHEIM, M. L. : The use of diagram in highway route location : An experiment. Civil engineering systems laboratory. MIT Res. Rept. 62, 3, 11~19, (1962)
- 2) CARTER, E. C., HALL, J. W. and HAEFNER, L. E. : In corporating environmental impacts in the transportation system evaluation process. Highway Research Record, **467**, 1~13, (1974)
- 3) DIJKSTRA, E. W. : A note on two problems in conection with graphs. Numerishe Mathematic 1, 269~271, (1959)
- 4) 平賀昌彦 : J. B. 法による林道通過点決定手法について, 第84回日林講, 423~425, (1973)
- 5) 稲村 肇 : 地域住民の反応と路線選定, 土木学会論文集, **239**, 93~106, (1975)
- 6) 神崎康一 : 林道路線選定の数学的方法について, 日林誌, **56**, 12, 415~424, (1974)
- 7) 北川勝弘 : 林道の路線選定の自動化に関する研究 (I) —均一な縦断勾配の場合—, 84回日林講, 420~423, (1973)
- 8) 古林 隆 : ネットワーク (1), オペレーションズ・リサーチ, **18**, 10, 64~66, (1973)
- 9) 小林洋司 : 林道設計の自動化に関する研究 (I) —合理的縦断勾配決定の検討—, 81回日林講, 358~359, (1971)
- 10) ——— : 林道設計の自動化に関する研究 (II) —平面線形および土工横断面の検討—, 82回日林講, 308~310, (1972)
- 11) ——— : 林道設計の自動化に関する研究 (III) —DIJKSTRA 法による林道の路線選定—, 86回日林講, 463~464, (1975)
- 12) ——— : 土工を主とした林道設計の自動化に関する研究, 林試研報, **254**, 1~54, (1973)
- 13) KRUMBEIN, W. C., and GRAYBILL, F. A. : An introduction to statistical models in geology. McGraw-Hill, 475 pp., (1965)
- 14) 丸安隆和・村井俊治 : 土木設計システムにおける地形情報処理, 土木学会誌, **55**, 10, 29~37, (1970)
- 15) MCHARG, I. : Where should highway go? Landscape Architecture, 179~181, (1967)
- 16) MILLER, C. L. : The impact of the new highway program on photogrammetry. Photogrammetric Engineering, **22**, 5, 834~837, (1956)
- 17) 森 忠次・大塚岩男 : 土工区間の路線選定手法の研究, 土木技術, **28**, 7, 24~39, (1973)
- 18) 村井俊治 : 数値形解析法講座・地形の数量化, 土木学会誌, **58**, 1, 93~99, (1973)
- 19) 中島 巖 : 林分地形の数量解析について, 79回日林講, 30~32, (1968)
- 20) 夏目 正 : 林道設計, 農林出版, 45~50, (1969)
- 21) 荻原貞夫・加藤誠平監修 : 林業土木ハンドブック, 千代田出版 K. K., 379~380, (1968)

- 22) PRYOR, WILLIAM T. : Highway engineering applications of photogrammetry. Photogrammetric Engineering, **20**, 3, 523~531, (1954)
- 23) ROBERTS, P. : Using new methods in highway location. Photogrammetric engineering, **23**, 563~569, (1957)
- 24) STEINITZ, CARL and ROGERS, PETER : A system analysis model of urbanization and change. MIT Press, 129 pp., (1970)
- 25) TURNER, A. K. and MILES, R. D. : The GCARS System; A computer assisted method of regional route location. Highway Research Record, **348**, 1~15, (1972)
- 26) WHITING, P. D. and MILLER, J. A. : A method for finding the shortest route through a road network. Operational Research Quarterly, **2**, 1~2, (1960)

A Method of Forest Road Route Location with an Electronic Computer

Hiroshi KOBAYASHI⁽¹⁾

Summary

Forest road route location, the first procedure in forest road design, is a highly important technical work. In this paper we study how to locate the forest road between two given points more rationally and economically. This study is mainly done using an electronic computer as a part of "Studies on Automatic Processing in Forest Road Design". The digital terrain models (D. T. M.) used in this method are made from two methods. One is made by surveying aerial photographs automatically, and the other is made by using topographical maps which are covered with grids. The D. T. M. made by these methods is analyzed from the standpoint of forest road location. The heights above sea level are evaluated with the ranking method. The angle and direction of the steepest terrain slope in each grid are calculated from D. T. M. The factors such as a valley, a river, a mountain and a slope are estimated by calculating moving averages of heights of the grids and by differentiating them. The banking-and-cutting volume of the grid is also estimated from difference between original terrain and the smoothed model of the terrain (S. M.). The S. M. proposed by Robert is calculated from D. T. M. Above mentioned factors are evaluated individually and also synthetically with the weighing method. The method of forest road location with the use of an electronic computer is completed by regarding these unified values of the grids as the values of nodes of the network and the average of two grids as the values of arcs of the network, using the shortest route selection method; DIJKSTRA's method. This procedure is written in electronic computer program; FORTRAN IV. A few forest road route location were computed with this program as examples. Examples were practised in terms of different terrain, scale of topographical map, width of the grids and weight values by comparing these computed roads with actual forest roads, and it shows that this method of forest road location with an electronic computer will be usable for the selection of forest road route locations.

Received October 26, 1976

(1) Forest Mechanization Division

