

マンマシンシステムによる環境影響評価を
とり入れた路線選定ROUTE LOCATION WITH CONSIDERATION OF ENVIRONMENTAL
FACTORS BY MAN MACHINE SYSTEM

内山久雄*・中村英夫**

By Hisao UCHIYAMA and Hideo NAKAMURA

1. はじめに

1960 年代における急激な道路投資は電子計算機や写真測量の普及とあいまって、効率的な路線選定や設計の方法の開発を促した。これらの開発は欧米およびわが国で進められたが、そのいずれにおいても写真測量により測定された地形をデジタルな形で電子計算機に貯え、このデータを用いて電子計算機により、よりよい路線の選定を能率的に行い、かつ設計計算をしようとするものであった。そのために地形をデジタルに表現するいわゆるデジタルトレインモデルに関してのいくつかの方法が考案され¹⁾、また、線形計算の新たなアルゴリズム²⁾や透視図の作成方法³⁾等々、路線設計において必要な種々の計算処理に関していくつかの提案がなされ、そのいくつかは実用化されて現在に及んでいる⁴⁾。

これらの方法は総合化された路線設計システム (Integrated System) として、地形の測量から設計図の作成までの一貫した方法として組み立てる試みがなされ、また、数理的な最適化手法の発展とあいまって最適な路線の自動的な選定への夢を抱かせるものであったし、事実この方向でのいくつかの研究が報告された^{5), 6)}。

しかしながら、その後の経過をみると、この種の総合的な路線設計システムは完全な形で機能するに至らなかったといえる。その理由は第 1 には路線選定においては面的に広い範囲にわたる諸条件を考慮して判断を行わなければならない過程が多く、これを計算機ですべて処理するにはその能力は必ずしも十分でなかったこと、第 2 には地形のデジタルな入力に高能率で経済性の高い装置がまだ開発されていなかったこと、さらにはデータ処理につきまわるエラーをモニターし、それを迅速に修正す

ることが容易でなく、実作業での効率性を低くしていたことなどいくつかの要因が挙げられよう。

その後 1970 年代に入ると道路建設における環境の問題が顕在化し、旧来の如く建設費や走行費用という評価項目のみでは路線の最適性を議論することは意味をなくしていった。

このようなこれまでの事情を踏まえ、本研究では近年普及した図形処理装置を広く利用して、人間の図解的な判断能力と機械の計算処理能力を組み合わせ、また、騒音をはじめとする種々の環境的な影響を路線の評価に取り入れることを可能とした総合的なシステムをつくり上げることを試みるものである。

なお以下では 5000 分の 1 から 2500 分の 1 の図面上での概略設計作業を念頭においているが、ここでの方法は原則的には 1000 分の 1 の実施設計の段階でも用いることは可能である。この場合、1000 分の 1 の図面に対応する精度で地形データをデジタルモデルとして表わすことが必要であるし、さらに、たとえば標準断面のような標準設計に関するデータファイルを入れ換えることが必要である。

2. 図形処理システムを用いた路線選定の方法

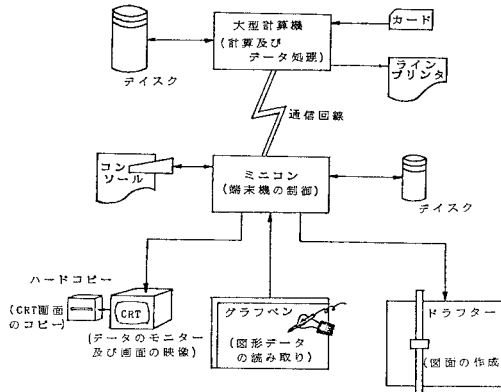
(1) 図形処理システムの概要

ここで用いる図形処理システムとは図-1 に示されるようにグラフペン、CRT、ドラフタとよばれる各入出力機器をミニコンを媒介として大型電子計算機と連結することにより、図形データの入出力を容易にし、電子計算機の対話形の利用を可能としたものである。

図形データの入力に対してはグラフペンが用いられ、出力に対してはオンライン制御された CRT、ドラフタが用いられる。このため入力データや計算結果のチェッ

* 正会員 工博 東京理科大学講師

** 正会員 工博 東京大学教授



図一 図形処理システム

ク等も、図形を介した視覚的な判断で行い得ることを可能にしている。

さらには多量のデータを蓄積するファイルの機能を有し、単にグラフペンによる指示だけで容易にその内容を変更できるという特徴ももっている。

(2) 路線選定の手順

路線選定の全体の手順の概要は 図-2 に示すとおりであり、大別して、1) 線形の幾何学的な構造を決定する部分、2) 道路環境への影響を計測し評価する部分とからなっている。

1) の手順においては、各設計段階において必要に応じて図形処理システムを用いることにより、設計作業を効率的に行うことをめざしている。すなわち、平面線形の初期案あるいは修正案をフリーハンドで直接地図上に描き入れること、フリーハンド曲線に対応する曲率図を修正し、これを円弧、クロソイド、直線の組み合わせられた道路線形とすること、CRT およびドラフタに出力された地形縦断をみながら縦断線形の計画案を入力すること、さらには CRT 上に映し出される道路の横断形状をみながら横断の幾何構造を選定していくこと等の各種の入力作業をグラフペンを用いることによって容易に行っている。

また、デジタルトレインモデルを作成し、計算機にファイルすることによって、縦断や横断の計画に際して必要な地形のプロファイルを描き出したり、土工量等を求める作業や透視図を作成する作業を能率的に行う。さらに、土地利用の現況を計算機にファイルすることにより、用地費用の積算や環境評価に際しての利用を可能にしている。これらのほか、多くの計算処理を必要とする線形計算を全面的に計算機に行わせることや、設計の結果をドラフタにより自動製図させることによって設計作業の効率化を図っている。

このような設計作業においては、設計の各段階ごとに

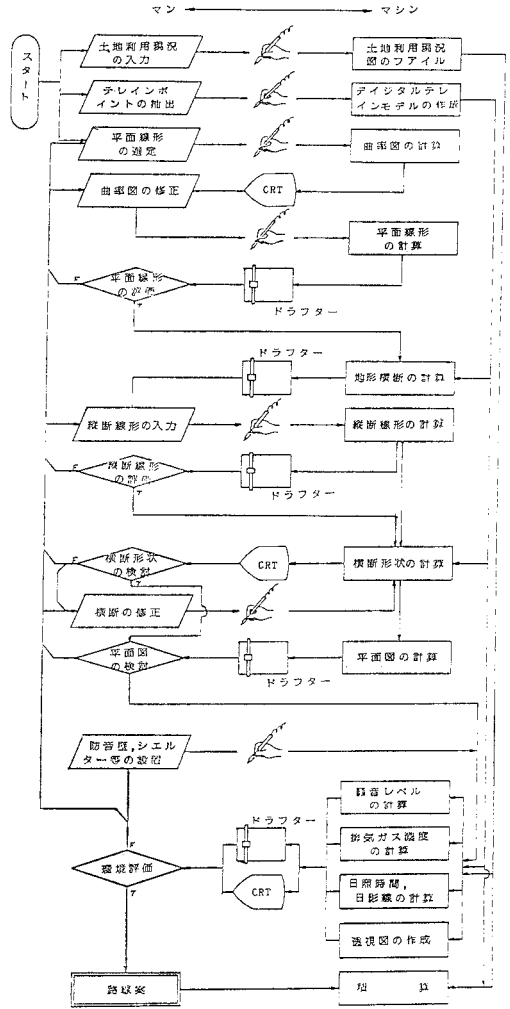


図-2 路線選定の手順

修正を必要とする場合や、それ以前の段階にもどって修正しなければならない場合があり、さまざまな修正を経てよりよい路線の線形が得られるが、これらの修正の指示はグラフペンを用いて容易に行うことができる。

2) の 沿道環境へ及ぼす影響は以下に示す手順によって計測し表現する。

(i) 騒音……沿線地域全体の騒音レベルの変化を騒音コンターの形でドラフタに出力し、あわせてグラフペンで指示された任意地点の騒音レベルを CRT に出力する。このとき、グラフペンでその位置や形状を指示した防音壁やシェルター設置の場合についても同様な形式でその減音効果を出力する。

(ii) 日照……冬至日の道路による日影線、およびグラフペンで指示された日照の状態を騒音の場合と同様な形式でグラフィックに出力する。

(iii) 排気ガス……シェルターを設置した場合等で、

沿線の長期平均濃度にどの程度の相違が見い出されるのかをいくつかの拡散モデルを用いて表現し、濃度コンターの形で出力する。

(iv) 景観……道路およびその周辺の透視図の作成を行う。

このように路線選定システム全体では、路線計画の各段階での必要な修正を容易に指示できると同時に、1つの段階での結果をみて全体的な修正へのフィードバックを可能にしている。

3. 路線の線形設計

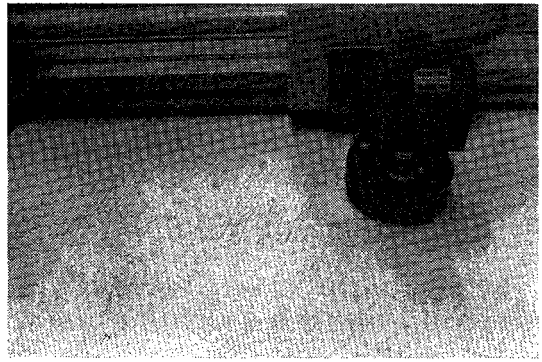
(1) デジタルトレインモデルの作成

デジタルトレインモデルとは計画対象地域全体の地形をデジタルに表現するモデルをいい、以下の3つの方法によりこれを作成し得る。すなわち、1) 地形図上の等高線をグラフペンで直接たどりながら、その等高線を点列の座標形として計算機に記憶させる方法、2) 写真測量図化機に自動座標記録装置を取り付け、直接航空写真から地形図を図化すると同時に地形等高線を点列の形で計算機に記憶させる方法、3) 平面的なグリッドの交点、あるいはまったく不規則に配列された点の X, Y, Z 座標を写真測量図化機により測定し、地形を近似曲面などにより表現し、これを記録する方法である。これらの方法にはデータサンプリングの能率、得られる精度、データ処理の能率等に一長一短があるが、数値的に地形を表現することには変わりはなく、本路線選定システムは原理的にはどの方法でも適用可能であり、いろいろな場合に応じてそれに適した方法を採択することができる。写真一1 は上記 1) の方法により計算機にファイルされた等高線をドラフターで描画している写真である。なお、最近の写真測量図化機には等高線やグリッドに沿って一定の距離間隔あるいは測定時間間隔ごとにその上の点の座標が迅速に記録しうる装置が取り付けられるようになっている。

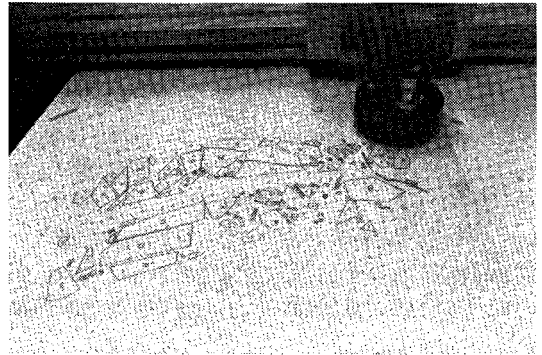
また、用地費用の積算や環境評価に利用する土地利用現況図は、12 の利用形態に分けられ、各利用形態別にグラフペンを用いて読み取られ多角形として計算機にファイルされる。写真一2 はこれをドラフターにより出力したものである。

(2) 路線案の選定と平面線形

平面線形は、1) 概略の線形選定、2) クロソイド、円弧半径といった線形要素の抽出、3) 調整計算、座標計算、という手順によって設定される。旧来は地図上にフリーハンドでスケッチすることによって概略の線形を選



写真一1 等高線の描画



写真一2 土地利用形態の描画

定し、このフリーハンド曲線に定規をあてはめることによって各線形要素を図解的に求め、その後得られた結果を近似値として厳密な座標計算を行い、正しく調整された道路平面線形を見出すという非常に手間を要する方法によって行われていた。この線形設計を能率的に行うため計算処理の部分を計算機が代行するようになり、最終的に線形選定から座標計算までを一貫して自動的に行うことも試みられるに至った。ところが前述のように線形選定の際には面的に広がる種々の条件を考慮しなければならず、そのアルゴリズムの作成がきわめて困難であるため、完全な自動化は不可能であった。そこでフリーハンド曲線としての線形選定を行うまでは地図上で計画者が行い、それに基づいてこれを適切な道路平面線形として修正することを計算機が行うという方法が試みられた⁷⁾。

すなわち、地図上で種々のコントロール条件を考慮しつつフリーハンド曲線として路線を選定し、この路線形をグラフペンを用いて計算機に入力する。そしてフリーハンドで描かれた線形が適切な道路平面線形となるために、

(i) フリーハンド曲線と得られる線形との乖離が小さいこと。

(ii) 円弧半径とクロソイドパラメーターとの比率

(たとえば $R/3 \leq A \leq R$) をはじめとする道路線形として必要な幾何学的な条件を備えていること。

(iii) 計画区間の始終点で前後の線形に接続すること。

(iv) 円弧半径、クロノイドパラメーターという線形要素がラウンドな数値であること。

等の条件を満足するように調整を行っていかうとする試みである。

その方法はたとえば、フリーハンド曲線に対応する曲率図を作成し、点列の形で表現される曲率の変化のパターンを何本かの直線に回帰させることにより、これを折線状の曲率図に作り上げ、それより各種の線形要素を自動的に見い出そうとするものである⁹⁾。そして得られた線形要素に基づいて後述のような調整計算を行って幾何学的に正しい平面線形としている。

この方法はフリーハンド曲線として線形を選定しさえすれば自動的に線形の諸成分を求めることができるという利点がある反面、自動なるがゆえに不必要に複雑な線形を構成したり、逆にこれを避けようとするれば現実にはコントロール条件等から必要となる複雑な形の線形を単純な線形として作り上げたりする危険をもっている。したがって、この方法では必ずしも現実に適切な線形を見い出しているとはいいいにくい場合が生ずる。

そのため本研究ではフリーハンド曲線に対応する曲率図を CRT 上に描かせ、この曲率図をみながら必要に応じてこれを修正し、より現実性の高い道路の平面線形を見い出すことを試みる。曲率図はフリーハンド曲線上の隣接する 3 点より計算される曲率から得られる。そして写真—3 に示すようにこの原曲率図上にグラフペンを用いて円弧、クロノイド、直線の始終点を直接指示し、あわせて線形の具備すべき幾何学的な条件を満足するように折線状の曲率図に作り上げ、必要に応じてこれを修正する。

このとき得られる円弧半径等の線形要素はラウンドな値でないため、ラウンドナンバー化することが実用上必

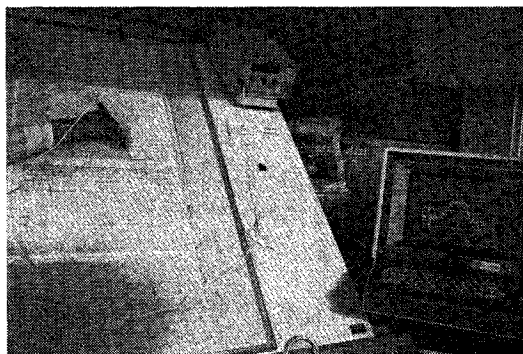
要である。そのため曲率図に示される累積面積が平面線形上の累積路線距離における曲線の方向を表わすという性質を利用して、路線の始点から順次原曲率図と修正曲率図の面積の差が可能な限り小さくなるようにラウンドナンバーのパラメーターを用いて再度曲率図の修正を行い、ラウンドな値のパラメーターを見い出す。

こうして得られたパラメーターに基づいて、初期値として与えたフリーハンド曲線に可能な限り近く、計画区間の始終点において前後の曲線と接続するように調整を行う。各線形要素が決められたとき線形の調整計算を行う方法は、いろいろな線形形式の組み合わせに応じて直線の位置を固定して円曲線をずらしたり、1つおきの円弧の位置を固定して中間の円弧を決める方法など²⁾がある。ここでは線形の形式に応じてこれらの種々の方法を用いることによって調整を行う。なおこの場合、固定する円弧の中心や直線の位置は対応するフリーハンド曲線の点列座標から最小二乗法を用いてもとの曲線の位置にもっとも近いものとして決めている。

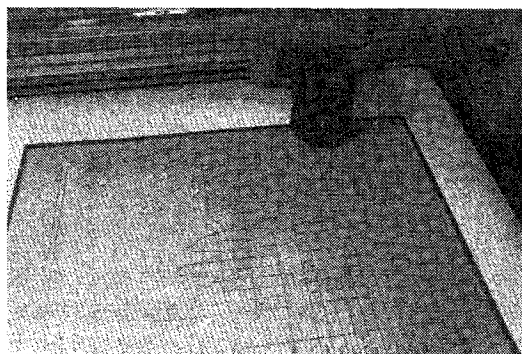
(3) 縦断線形、横断形状の決定

平面線形計算により得られた中間点座標とデジタルトレインモデルとから、中間点での標高を知ることができ、これをドラフターで地形縦断図として出力する。計画縦断線形は地形縦断図上に勾配変化点をグラフペンを用いて指示し、縦断線形計算を行うことにより得られる。このとき縦断勾配、縦断曲線長等の縦断線形の制約条件のチェックを CRT で行い、縦断線形が不適切な場合にはグラフペンにより再入力し、上記プロセスを繰り返しながら適切な縦断線形を見い出していく。この結果、写真—4 に示されるように縦断図が自動製図される。

また、得られた計画縦断図をみながら、道路の横断形状に関して盛土、切土、隧道、高架橋というあらかじめ定められたいくつかの構造形式についてグラフペンにより各中間点ごとに指示する。そしてこれとデジタルテ



写真—3 曲率図の修正



写真—4 縦断図の描画



写真—5 平面図の描画

レインモデルを介して求められる各中間点での地形横断面図とを CRT に出力し、描き出された画面を見ながら必要に応じて修正のメッセージをグラフペンにより再入力し、その結果を同様に CRT に出力させ適切な横断面形状を決定する。

さらにこれらの結果を用いて平面図作製に必要な用地境界線等の諸元を計算し、写真—5 に示されるように平面図をドラフターにより描かせる。また、この段階で土工量、用地面積、法面積、擁壁面積等の積算を行っておく。

4. 環境へ及ぼす影響の計測とその表現

よりよい路線であるためには、その道路のもたらす種々の影響を多角的に評価し、当該路線計画へフィードバックさせるような路線選定の方法が必要不可欠である。そこでここではそのための情報として、特に沿道の環境にどの程度の影響が及ぶのかの計測方法と、計測結果の表現方法について検討を行う。従来より個々の環境要因に対して、そのインパクトを計測することの研究が進められており、その成果も一応得られている。したがって、ここではそれらの研究成果を踏まえたうえで、道路の沿道環境要因として重要であると考えられる騒音、日照、排気ガス、景観の4つを取り上げることにする。

(1) 騒音

沿線のある地点の騒音は、計画道路の新規発生交通による自動車騒音とその地点が固有に有する暗騒音とから構成されている。自動車騒音に関してはここ 10 数年来種々の騒音レベル推定式が提案されてきたが、昭和 50 年 2 月に日本音響学会がまとめた以下に示すような 1 列等間隔モデルに基づいた騒音レベルの中央値の推定式⁹⁾が現在用いられるようになっている。

$$L_{50} = L_W - 8 - 20 \log_{10} l + 10 \log_{10} \left(\pi \frac{l}{d} \tanh 2\pi \frac{l}{d} \right) + \alpha_d + \alpha_i$$

ただし、

L_{50} : 騒音レベルの中央値 [dB(A)]

L_W : 車両の平均パワーレベル [dB(A)]

$L_W = 0.2 V + 87 + 10 \log_{10}(a_1 + 10 a_2)$

V : 平均走行速度 [km/時]

a_1 : 普通自動車混入率

a_2 : 大型車混入率, $a_1 + a_2 = 1$

l : 車道中心線から受音点までの距離 [m]

d : 平均車頭間隔 [m], $d = 1000 V/Q$

Q : 交通量 [台/時]

α_d : 回折による補正值 [dB(A)]

α_i : その他の条件による補正值 [dB(A)]

沿線の任意地点の騒音レベルの中央値は計画道路の予測される交通状況(交通量, 平均走行速度, 車種構成)を入力することによって得られ、障壁などによる回折減音についても音源と受音点の間の音波の行路差に基づいて推定される。

この式の推定精度に関しては、いくつかの論文により回折による補正を含めて実測値と推定値の差の分布の標準偏差がおおよそ ± 5 dB(A) 程度ということが判明しており¹⁰⁾、ある程度の精度でもって推定され得ると考えられる。したがって、ここでは騒音レベルの中央値の推定に関して本式を用いることとする。

なお、シェルターを設置した場合に道路騒音が周辺にどのように伝播していくかについては実測値との対応が十分でないため、ここではシェルターの材質の透過損失のみを考えることにする。

さらに地域が固有にもっている暗騒音レベルに関しては、ここでは表に示されるように用途別地域ごとの実測結果¹¹⁾をまとめたものを用いることにするが、計画対象地域で騒音測定を行いその実測結果を用いることが望ましいことはいうまでもない。また、計画対象地域ですでに供用されている道路の騒音レベルについても上記日本音響学会式によりその中央値を推定し、計画道路沿線の騒音レベルはこれら複数音源のエネルギー和として表現する。

表 土地利用形態別暗騒音レベル

土地利用形態	平均値 dB(A)	標準偏差 dB(A)	サンプル数
住居	46.4	7.8	566
商業・準工業	55.5	10.4	61
近隣商業	62.3	6.6	60

以上の騒音レベル中央値の推定結果は図—3 に示されるようにドラフタによりそのコンターが出力されると同時に、写真—6 に示されるように CRT 上にグラフペンでその位置が指示された任意地点の騒音レベルの中央値が出力される。さらに防音壁を設置したときの騒音コンターは、防音壁の高さおよび位置をグラフペンにより指

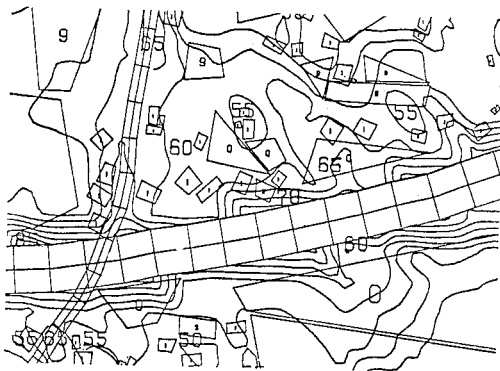


図-3 騒音コンター

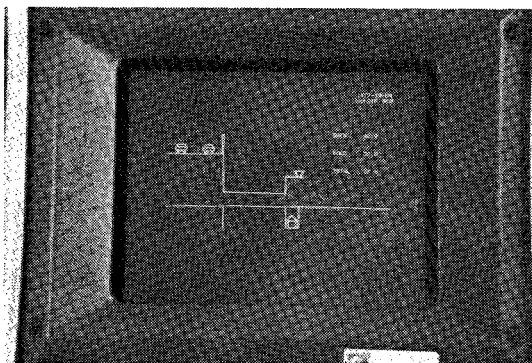


写真-6 任意地点の騒音レベル

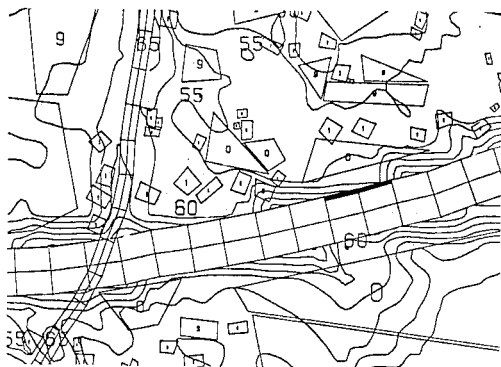


図-4 騒音コンター(防音壁を設置した場合)

示すだけで図-4に示されるように描かれる。

(2) 日 照

騒音にとっては多大な減音効果のある防音壁等は、そのために日照障害を発生し人間のみでなく農作物等にも重大な影響を及ぼす場合がある。しかし、わが国では日照に関する基準はその設定作業が進められている段階で、現在「建築基準法の一部を改正する法律案」に盛り込まれているにすぎない。この案では冬至日における日影時間を尺度としているため、ここでも冬至日について

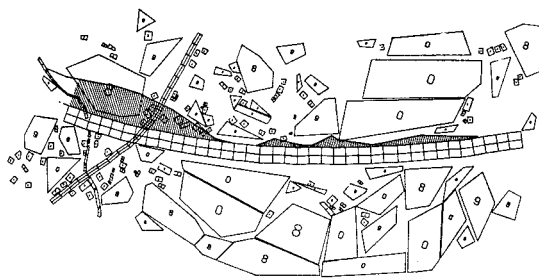


図-5 道路による日影線

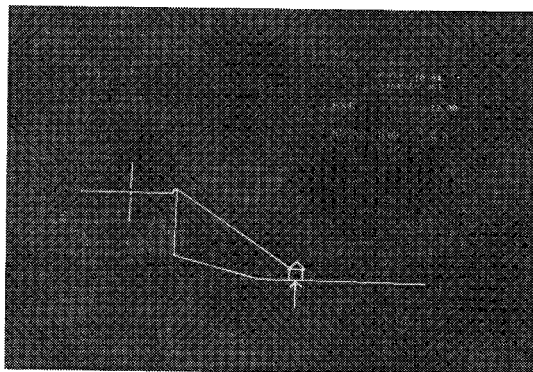


写真-7 任意地点の日影時間

観測点の緯度と時刻から太陽光の方向と高さを見出し、その点の日影を求めることにする。図-5は冬至日の正午の日影線を土地利用現況図の上にドラフターにより出力したものであり、写真-7はグラフペンにより指示された任意地点でのある時刻の日影線と、日照時間をCRTに描き出したものである。

(3) 排 気 ガ ス

大気汚染濃度を推定するモデルは正規分布を仮定した統計理論による方法、差分による数値解法、集中定数系化する方法等¹²⁾その目的と準備される資料の精度に応じてさまざまなものが提案されている。本路線選定システムにおいても資料の整備程度や予測目的に応じていろいろな推定モデルが利用できるように作られており、したがって、推定結果の相互チェックを可能にしている。

ここではその1例として排出源から20km程度以内の局地的な長期平均濃度を推定するブルームモデル¹³⁾について示すことにする。このモデルは風向方向への移流とその直角方向への拡散を考慮しており次に示す式でその濃度が計算される。

$$C(x, y, z, H_e) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

ここで、

C: 濃度 (g/m³)

u: 風速 (m/sec)

Q: 排出源のガス排出量 (g/sec)

H_e: 有効煙突高 (m)

x: 風下方向への排出源からの距離 (m)

y: 風下方向と垂直な水平方向の x 軸からの距離 (m)

z: 鉛直上方の距離 (m)

σ_y, σ_z: y, z 方向の拡散パラメーターで風下距離 x および大気安定度によってその大きさは異なる。

地上の濃度は z=0 として計算すればよく、任意地点の長期平均濃度 \bar{C} は、方位を i と表示したとき年間の風向頻度 f_i と風向別平均風速 u_i より、16 方位をとるとすれば、

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^{16} \frac{16 f_i Q}{\sqrt{2\pi} \cdot \pi \sigma_{zi} u_i x_i} \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

により与えられ、任意地点の拡散状況を知ることができる。ただし、x_i, y_i は i 風向方向での x, y 座標を示す。

さて、排出源となる個々の自動車の排出原単位は、走行モード別の排出パターンに基づいた回帰式により推定されることが知られている¹⁹⁾。1例としてCOの排出原単位 y(g/km/台)を示すと、

$$y = \beta_1 x_3 / V_x + \beta_2 x_1 + \beta_3$$

ここに、

V_T: 時間平均速度 (km/h)

V_x: 空間平均速度 (km/h), $V_x = V_T + \frac{\sigma_T^2}{V_T}$

σ_T: 時間速度の標準偏差 (km/h)

x₁: 1 km あたりの走行所要時間 (sec/km)

x₃: 1 km あたりの加減速度累加値 (km/h/km)

β₁~β₃: 車種別の回帰係数

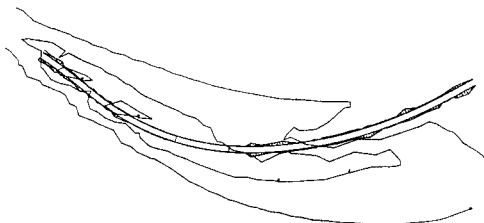


図-6 CO 濃度コンター

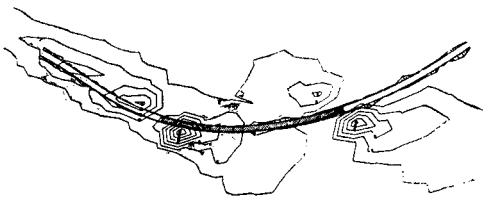


図-7 CO 濃度コンター (シェルターを設置した場合)

によって推定される。したがって、ある道路区間での総排出量は車種別に1台あたりの排出量を求め、当該区間の車種別交通量をかけ合わせたものを合計することにより得られる。

図-6 および 図-7 は長期平均濃度のコンターをドラフターにより描かせたものであり、シェルターを設置した場合とそうでない場合の相違を例示している。なお計算に用いた道路区間は道路中心線のステーション間隔を20 m とし、20 m ごとに排出源があるとしている。また、シェルターの区間ではグラフペンによりその出入口が指示されるが、この区間の総排出量がその出入口に集中すると仮定している。

(4) 景 観

ここでは走行中の自動車を視点としたときの道路内の透視図¹⁹⁾および道路外の任意地点からの透視図を作成する。このような視覚的な情報という形で景観を表現することによって道路利用者側の走行上あるいは景観上の評価を可能にするし、沿道地域側からの景観の評価も可能にする。図-8 にはこのような例として道路の中心からみた透視図を示しておくことにする。なお、このような透視図と計画対象地域の写真とを組み合わせたフォトモンタージュを作成し、景観の評価にこれを利用することも可能である。

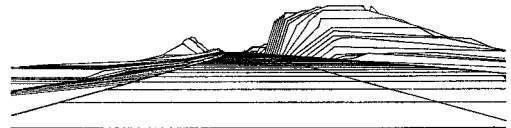


図-8 道路透視図

5. 本システムの利用方法

図形処理システムはグラフペンによって入力が容易にできるということ、視覚的な情報という形で出力が結果についての判断をしやすくしていること等の特徴を有している。この結果、これまで述べてきた路線選定システムは従来と比較して以下のような利点をもつていよう。すなわち、

- (i) 多数の路線代替案を能率よく比較検討できる。
- (ii) 環境面に及ぼす影響についても従来の設計作業と同時に検討できる。

(iii) 当該路線計画に関与する主体の要求に対して、そのもたらす他の側面への影響をも明示的に示し得る。特に第 (iii) 点について詳述すると、たとえば騒音の影響を軽減する目的で設置される防音壁やシェルターは沿道のある地点にとっては一方では相応の減音効果が期待

できるものの、同時に他方ではある程度の日照障害を生じさせるし、さらには特にシェルターの場合、排気ガスの濃度分布が変わるといいうゆるトレードオフの関係にある。このようなとき、本システムが単にグラフペンで防音壁あるいはシェルターの位置および高さを指示するだけで即座にその答がビジュアルな形で出力されるため、当該路線計画に関与する人々のその路線に対する代替的な要求と、その結果の判断の対話型式の応答を通じてよりよい案を探し出せよう。すなわち、このような利用は、トレードオフの関係にある項目の定量的な理解を可能にするといえよう。

また、各主体の要求に対して彼らの案のもたらす効果のみならず試すことができるので、道路計画者のみならず、それ以外の人々も本システムを利用することが可能である。したがって、望むらくは将来このような装置が装備された計画評価システムのセンター的な施設が設置されることを期待するものである。

6. おわりに

本研究で用いた図形処理システムは三井建設(株)に設置されているものを借用したが、同社技術研究所 梅園輝彦氏、中川良文氏をはじめとする同所の多くの方々には本システムの操作やプログラム作成に関して貴重な示唆をいただいた。ここに謝意を表する次第である。また、本研究での多くのプログラム開発、データ処理は東京大学のわれわれの研究室で卒業研究を行った西宮良一、松岡龍治、小林 建の3氏の多大な努力によるもので、その労に感謝すると同時に彼らの貴重なアイデアが多々含まれていることを付言しておく。

なお、本研究は前半の一部に対して国際交通安全学会からの研究費を、後半に対しては昭和51年度科学研究費総合研究(A)の補助を得て行われたものである。

参考文献

- 1) 中村・村井：Digital Terrain Model—地形の数値的表現の方法—生産研究，Vol. 20, No. 8, 1968.8.
- 2) R. Kamiya, G. Kuroiwa and H. Nakamura : A Study on Electronic Computation of Clothoidal Alignment, Proc. of JSCE, No. 120, August 1965.
- 3) 中村・柴田：道路透視図作製の新しい方法，土木学会論文報告集 第135号，昭和41年11月。
- 4) Köln Arbeitsausschuß Elektronisches Rechnen : Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen e.v., Elektronisches Rechnen im Straßenbau und Brückenbau, Bauverlag. G.m.b.H., 1962.
- 5) J.L. Deligny : Les Projects d'autoroutes à l'ère du dessin automatique, Revue Générale des Routes et de Aéroports, April, 1965.
- 6) L. Gallas et R. Coquand : Applications du Calcul Électronique aux Problèmes de Tracés Autoroutiers, Revue Générale des Routes et Aéroports, Mars, 1964. など。
- 7) K. Linkwitz, D. Schwenkel : Die Approximation von Freihandlinien mit Kreisen und Klothoiden durch eine erstweise Ausgleichung im Winkelbild, Zeitschrift für Vermessungswesen, Verlag Konrad Wittwer, 98. Jahrgang 1973, Heft 2.
- 8) H. Nakamura : Automatische Feststellung der Straßenentrasierung von der Freihandlinie, Proc. of JSCE, No. 199, March 1972.
- 9) 日本音響学会道路交通騒音調査委員会：道路交通騒音の予測計算法に関する研究報告書，昭和50年2月。
- 10) 中村・内山：道路騒音の被害意識の実験的分析，土木学会論文報告集，第244号，1975.12月。
- 11) 東京都公害研究所：多摩近郊10市の環境騒音調査結果，昭和51年3月。
- 12) 近藤次郎編：大気汚染，コロナ社，昭和50年4月。
- 13) 村田元秀ほか：自動車排気ガスの拡散モデルの検討，三重県公害センター年報2号，昭和49年3月。
- 14) 交通流管理対策委員会：交通流管理からみた自動車排気ガスの研究，昭和49年9月。
- 15) H. Nakamura : A Photogrammetric Technique applied to Making Highway Perspective Drawings, the International Symposium of Photogrammetry, Tokyo, October 1966.

(1977.9.29・受付)