

# 地域騒音防止計画のための総合的な 自動車騒音予測システムについて\*

厚井 弘志\*\*・笈西 隆滋\*\*・山下 正信\*\*  
青井 一郎\*\*・中村 隆一\*\*

## 1. はじめに

近年における交通機関の発達は、多くの社会的効用を生み出した反面、深刻な交通公害をもたらした。中でも幹線道路を中心とした道路周辺地域において、自動車に起因する騒音公害問題が各地で発生している。

環境庁がまとめた、全国の幹線道路沿線4,009地点での昭和55年自動車交通騒音実態調査報告によれば、環境基準がすべての時間帯で達成されている地点は、わずか16.6%にしかすぎないという状況である。

自動車交通騒音は、発生源自身のパワーレベル、交通量、走行条件、道路構造、沿道条件など各種の要因が複雑に絡み合っており、その対策については総合的に進められるべきである。

本論ではこうした対策を進めるにおいて必要な、自動車騒音に関する総合的予測システムについて、筆者らが開発した手法を中心に述べるものである。

## 2. 総合的自動車騒音予測システムの考え方

道路交通騒音予測の目的は、道路の新設や改造、土地利用や産業構造の変化に伴う交通流の変化などに応じて生ずる騒音の影響を、時間的、空間的に把握し、地域環境の保全を図る上で必要な判断材料を得ることにある。

とりわけ、環境保全対策の効果予測や代替案の評価など、環境影響評価制度運用のための技術的ツールとして、その重要度は増しつつある。

自動車騒音「予測」の内容は、大きく時間的予測と地域分布予測に分けられる。

時間的予測とは、自動車騒音の発生源での低減技術とか、地域の土地利用の将来動向に応じた騒音の将来予測を行うものである。

地域分布予測は、騒音の空間的分布を把握するものであって、広域的な予測と局地的な予測に分けられる。広域的な予測とは、たとえば一行政区全体の平均騒音レベルや騒音分布など、広域的地域の騒音の全体的傾向を把握するものであり、時間的予測とともに、騒音にかかる長期的施策立案に際し重要なものである。

局地的予測とは、道路近傍の騒音分布を、道路条件、交通条件などに応じて予測するものであり、現在一般に良く行われているものである<sup>1)</sup>。

地域分布予測においては、このほかに、準広域的な予測を行う必要が生ずる場合がある。これは、たとえば再開発事業や大規模な沿道整備事業によって、一定の拡がりを持つ地域が全体として変容するようなケースの騒音予測であって複雑な反射・回折計算を伴う。近時制定された「幹線道路の沿道の整備に関する法律」(昭和55年法律第34号、以下沿道整備法と略する)による沿道整備事業の評価など、こういった予測の必要性は年々高まるものと思われる。

以上のような観点をふまえて、総合的な自動車騒音予測システムが具備すべき機能を列挙すれば以下のようになる。

- (1) 時間的(短期・長期)予測機能
- (2) 広域的(地域の全般的傾向)予測機能
- (3) 局地的(道路沿道の騒音分布)予測機能
- (4) 準広域的(街区、建物集団内での騒音分布)予測機能

また、システムとして構築する場合に考慮すべき条件としては以下のものが考えられる。

- (1) 予測に用いるデータの一般性
- (2) 代替案評価、政策シミュレーション実施の可能性

\* Comprehensive Prediction System of Traffic Noise for Regional Noise Reduction Planning

\*\* Hiroshi KOI, Takashi OINISHI, Masanobu YAMASHITA, Ichiro AOI, Takakazu NAKAMURA (大阪府生活環境部) Life Environment Dept. Osaka Pref.

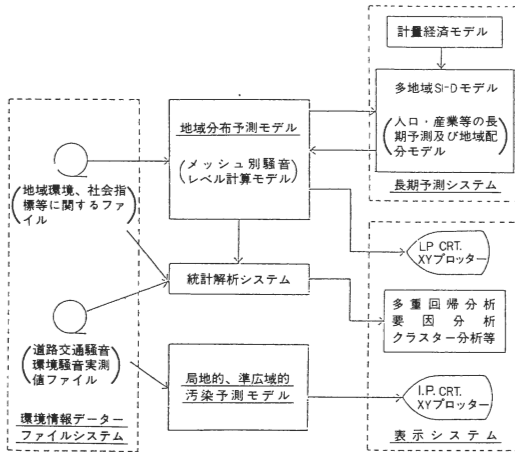


図 2・1 システムの全体構成

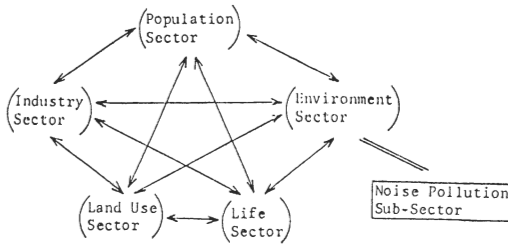


図 3・1 システムダイナミックモデルの概念図

- (3) 予測手法の一般性, 容易性
- (4) 長期予測における上位計画などとの整合性
- (5) 予測結果の表示の明解性

こうした考えに基づいて筆者らが開発した自動車騒音予測システムの全体構成を図 2・1 に示し、以下に個々のモデルについて説明する。

### 3. 長期予測モデル

自動車騒音の防止に関する施策計画の立案を行う場合、その長期的動向を踏まえておく必要があるのは当然である。その場合、自動車騒音の発生源における低減技術や電気自動車化への動向を推定するとともに、対象地域における交通量や土地利用についても推定する必要がある。

このため筆者らは、システムダイナミックモデルを用い、地域別居住人口、地域別業種別従業員数などの将来推定値から乗用車および大型車の増加率を計算し、大阪府全体の平均騒音レベルの将来値を推定した。

モデルの構成は図 3・1 に示した通りで、人口、産業、土地利用、生活および環境の各セクターから成り、環境セクターに表 3・1 の騒音汚染サブセクターを組み込んだ。図 3・2 に予測結果の一例を示す<sup>2,3)</sup>。

### 4. 広域的予測モデル

自動車騒音は、環境騒音を構成する主要音源である。環境騒音の予測に関しては、統計的解析<sup>4)</sup>に基づく方

表 3-1 騒音汚染サブセクターで用いた変数

Variables	
AC	: Allowable Number of Cars
ART	: Allowable Number of Trucks
AVNL	: Average Noise Level
AVRRFC	: Average Operating Ratio of Factories
ECRC	: Ratio of Electric Cars to Total Cars
ECRTR	: Ratio of Electric Trucks to Total Trucks
NPMLT	: Noise Pollution Multiplier
NRTFFC	: Noise Reduction Technical Factor for Factories
NRTFC	: Noise Reduction Technical Factor for Cars
NRTFTR	: Noise Reduction Technical Factor for Trucks
P 2	: Population Engaged in Second Industry
P270	: P 2 in 1970
TNEAM	: Total Noise Emission from Automobiles (PWL)
TENC	: Total Noise Emission from Cars (PWL)
TNEFC	: Total Noise Emission from Factory (PWL)
TNEF70	: TNEFC in 1970 (PWL)
TNETR	: Total Noise Emission Level from Trucks (PWL)
TNPL	: Total Noise Pollution Level (PWL)
TNPL70	: TNPL in 1970 (PWL)



メッシュ内騒音発生量把握のため本モデルで用いたメッシュデータは表4・1に示すとおりである。なお、メッシュ内交通量から騒音発生量への換算は日本音響学会式を用い、工場騒音については業種別工場面積に、表4・2に示した業種別騒音発生原単位を乗じて算出した。

メッシュ内騒音伝搬係数を設定するためには、メッシュごとに建物面積率を把握する必要があるが、これを直接測定したファイルが無いため、資源探査衛星ランドサットのマルチ・スペクトル・スカナー・データ(以下、MSS データと略す)を基にした推定値を用いた<sup>9)</sup>。MSS バンド6を用いて、大阪港付近で水陸判断処理を

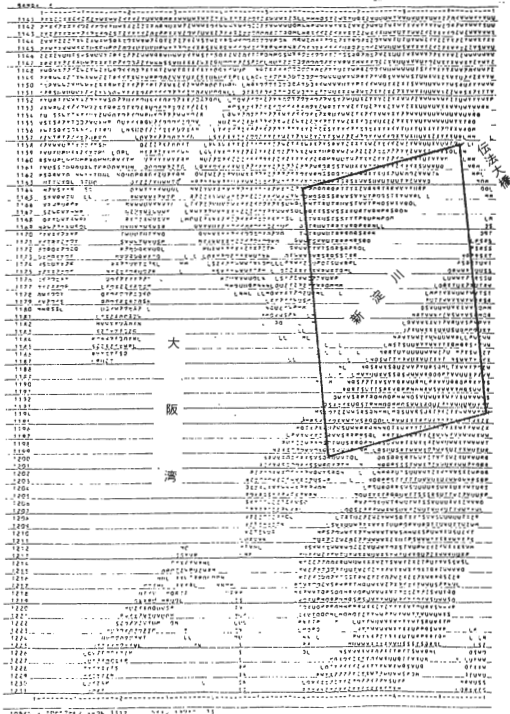


図4・1 ランドサットMSSデータの処理例

した一例を図4・1に示す。図中の1文字(1ピクセル)は公称80m×80mで、実線で囲まれた部分は横メルカトル図法では2km×2kmに相当する。

図4・2は、上記のモデルを基に府下全体における中央値のパワー平均の時間変動を示したものである。図から昼夜間の差が10dB(A)未満と実測値に比し小さいようであるが、これは、夜間における工場の操業率を無視したためと思われる。

1メッシュ当たり25測点の中央値の算術平均値と計算値との相関係数は、0.84であった。

なお、全体の処理手順を図4・3に、また、府下全体の中央値マップを図4・4に示す。

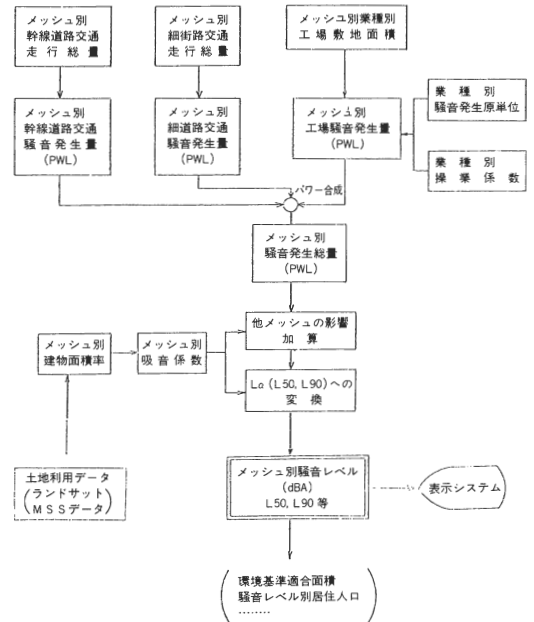


図4・3 地域分布予測モデル

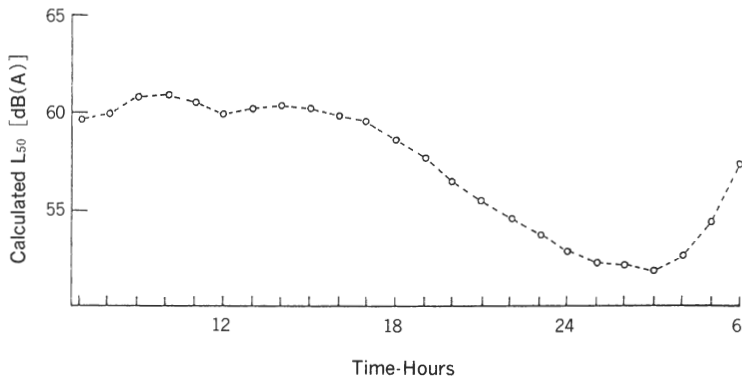


図4・2 大阪府下全体における中央値の時間変動

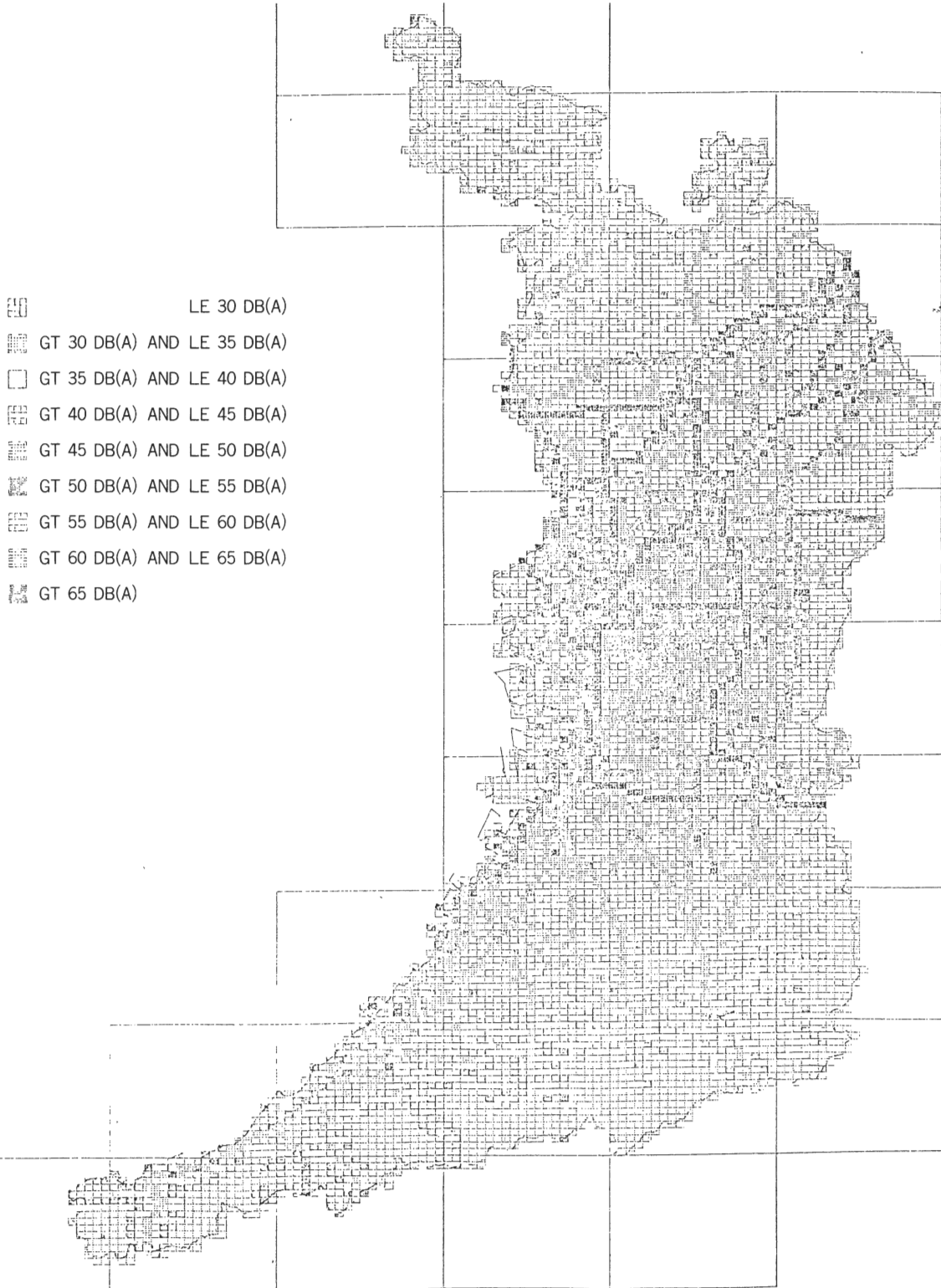


図 4・4 大阪府における中央値マップ（昼間）

表 5-1 局地汚染予測モデルの機能

基本方式の区分 計算方式等	日本音響学会方式	モンテカルロ法によるシミュレーション方式
回折計算の方式	音響学会方式	Kurze の函数近似、湯沢の方式他
地表面による吸音補正の方式	音響学会方式	Ray Theory と Wave Theory に基づく補正
計算値の区分	L 50	L 50及びLeq
車種分類	2種及び3種分類	
音源パワーの分類	現状値及び規制値	
直線・曲線道路の区分	直線道路	直線道路及び曲線道路
道路構造の区分	平垣、盛土、切土及び高架(中分間及び中分間)	
障壁の区分	無限長一重壁・多重壁	無限長一重壁・多重壁、有限長壁、有限長空隙他
出力形態	指定及び断面コンター	指定点、断面コンター及び平面コンター
出力媒体	ラインプリンター、XYプロッター及びグラフィックディスプレイ(入力条件チェックのみ)	
その他の機能	○実測値ファイル(MT)を入力し、実測条件に合った計算値を出力する。 ○伝搬計算用サブルーチンライブラリの利用による複雑な回折計算、床板による反射、複合道路の重合計算等	

## 5. 局地的予測モデル

道路交通騒音の沿線における予測方法については二つの方法が考えられる。一つは等間隔、等パワーで走行する無限長の直線道路からの騒音レベルの中央値を求め壁等の回折による補正值と道路構造など種々の原因による補正值を加えて道路交通騒音を計算する日本音響学会の予測方法<sup>9)</sup>である。この方法は騒音レベルの中央値を簡単に陽関数表示出来るなど多くの利点を持つ反面汎用性に欠けるなどの欠点を持つ。一方汎用性のあるモデルとしてはモンテカルロ法により計算する方法があるが、この方法は計算量が膨大となり、電算機でも長時間の計算を要する欠点を持つ。

本節で述べるモデルは新設ならびに供用道路における種々の騒音防止対策の評価を行う意味から、基本的には上記2種類のモデルを併用している。

本システムにおいて選択できる計算方法を表5・1に示す。また、モンテカルロ法による予測計算のための処理手順は、図5・1に示すごとく、まず、自動車を点音源とみなして車線上に車頭間隔がアーラン分布<sup>10,11)</sup>をすと仮定して乱数を発生させ、個々の音源についての距

離減衰、回折による補正、地表面による補正をそれぞれ計算し、全音源からの騒音レベルを合成して受音点における騒音レベルを算出する。更にこの計算を繰返し実行することにより、その中央値または等価騒音レベルを計算する。

なお、この処理手順のなかで、地表面減衰補正については、幾何音響学的方法<sup>12,13)</sup>、及び波動音響学的方法<sup>14)</sup>が用意され、回折減衰補正については、障壁の回折計算を表5・2のとおり分類し、そのいずれかを選択し計算を実行する。

日本音響学会式による予測計算についてはすでに検証が行われているので、ここではモンテカルロ法における計算値と測定値の比較の一例を示す。

実測調査地点は図5・2に示すように8車線の平面道路の中央に、4車線の自動車専用的高架道路が重なった複合構造の道路で、同条件のもとでの上記モデルによる計算値との比較を行った。

実測調査は、道路端から5, 10, 20, 40, 60, 80, 130 m離れた地点に測定地点を設け、地表面から1.2, 3.5, 7, 12 mの高さのところにS<sub>1</sub>~S<sub>21</sub>までの受音点を設け測定を行った。

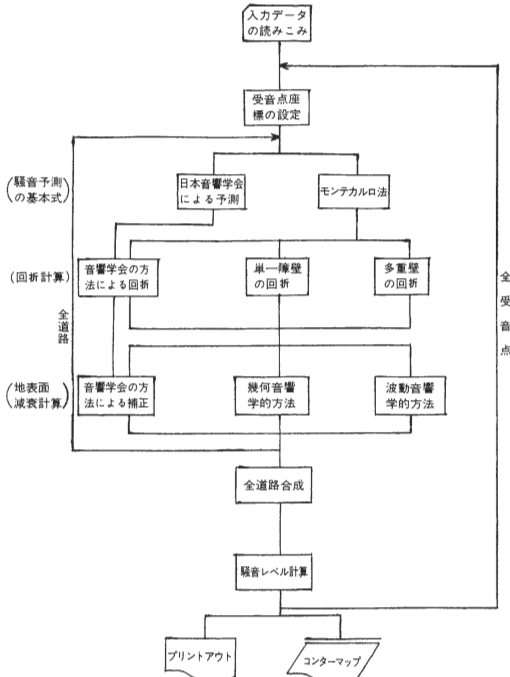


図 5・1 局地予測モデルの処理フロー

予測計算は、現実の道路と同様の交通条件のもとに、高架道路の壁の回折計算は TYPE(1) を用い、地表面による補正は幾何音響学的方法を用い計算を行った。図 5・3 はこの結果の断面コンター図である。

これらの実測値と計算値を比較したところ、道路から遠く離れるに従い、また地面に近づくほど誤差は大きくなったものの、 $S_1 \sim S_{21}$  までの 21 点中 16 地点は、1 ~ 2 dB 以内の誤差で、また全体には 4 dB 以内という良好な予測結果を得た。

表 5-2 回折計算における障壁条件

TYPE	音源受音点及び障壁の位置関係	障壁の条件
(1)	S ○ ○ R	無限長・一枚壁
(2)	○ ○	半無限長・一枚壁
(3)	○ ○	有限長・一枚壁
(4)	○ ○	有限空隙・一枚壁
(5)	○       ○	無限長多重壁
(6)	○       ○	有限長・建物
(7)	○       ○	有限空隙建物

## 6. その他の予測モデル

前述のごとく「沿道整備法」に基づく事業の効果予測などにおいては、従来の局所的かつ汎用性に乏しい予測モデルでは十分には対応しきれない。

準広域的な騒音予測のためには、特に、気象(風, 温度, 湿度)の影響<sup>17)</sup>、市街地における複雑な反射, 回折の取り扱い<sup>18,19)</sup>および、これらの諸因子の複合効果<sup>20)</sup>などに関する知見が必要となる。

気象や反射, 回折の音場への影響については、種々の調査がなされているが、筆者らは、これらの解決策の一例としてフィールドへの有限要素法とフレネルの回折理論の適用<sup>21,22)</sup>を試みた。

### 6・1 有限要素法の音場解析への適用

音場解析における有限要素法の適用については、すでにいくつかの研究<sup>23,24)</sup>があるが、実際の騒音場への適用は少ない。その理由の一つには、大型の行列演算を用いる有限要素法が、多大の計算時間を要すると考えられてきたことが上げられる。

しかしながら有限要素法は、音場領域の形状や境界条

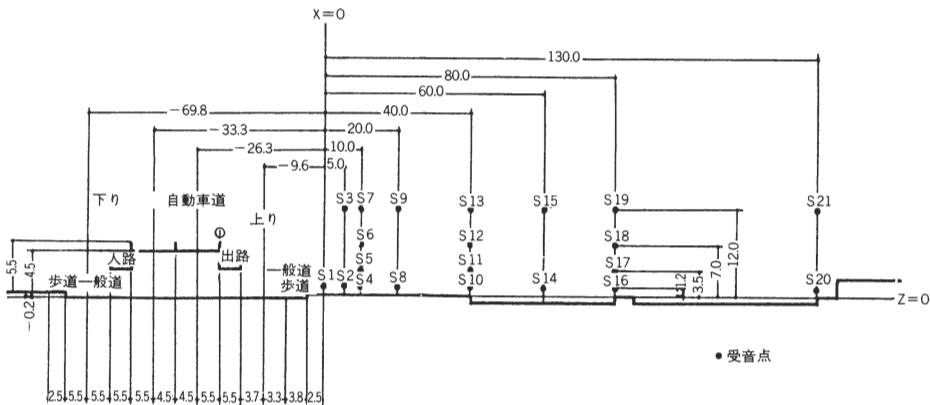


図 5・2 実測調査道路の断面

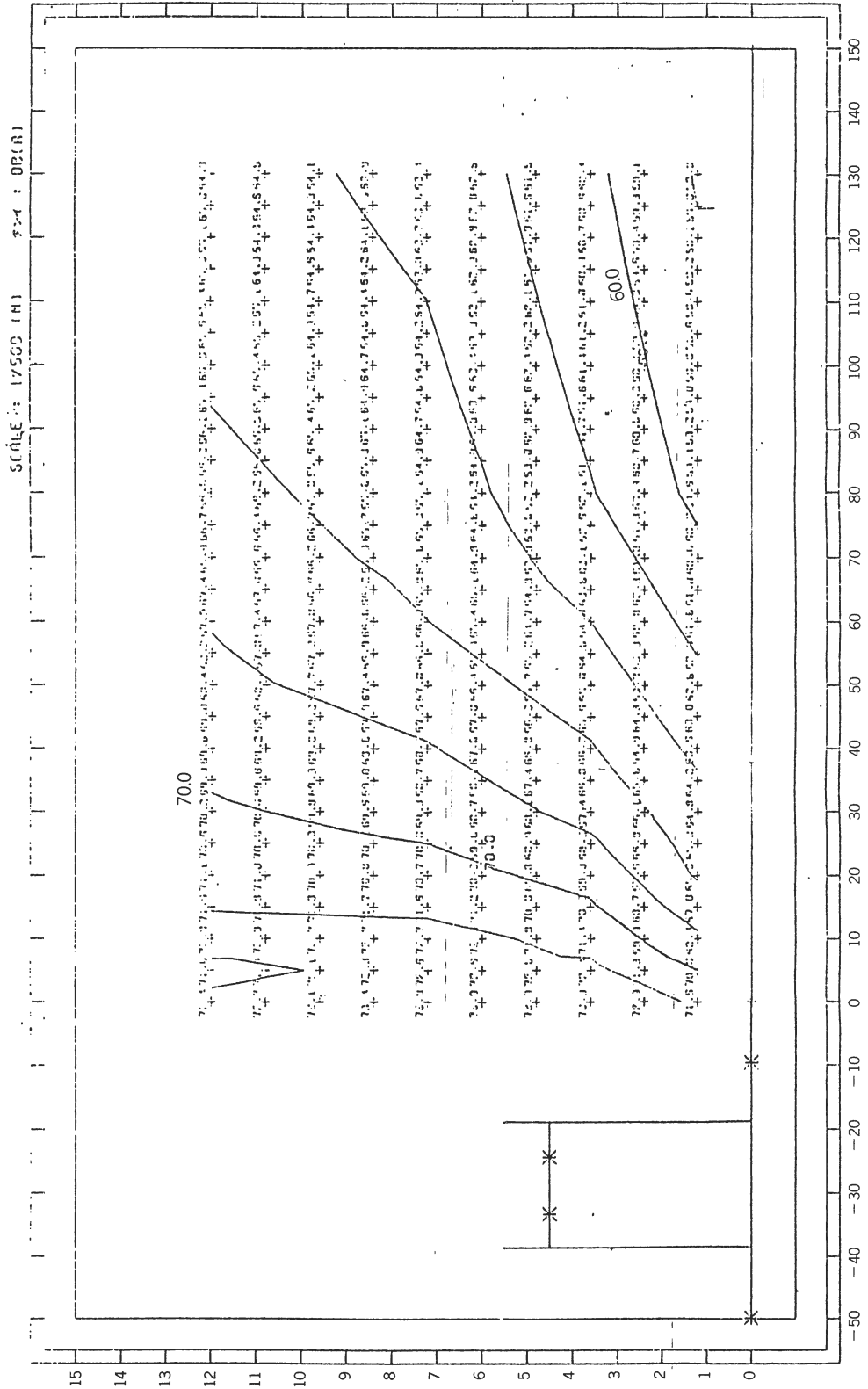


図 5・3 予測計算結果による断面コンター

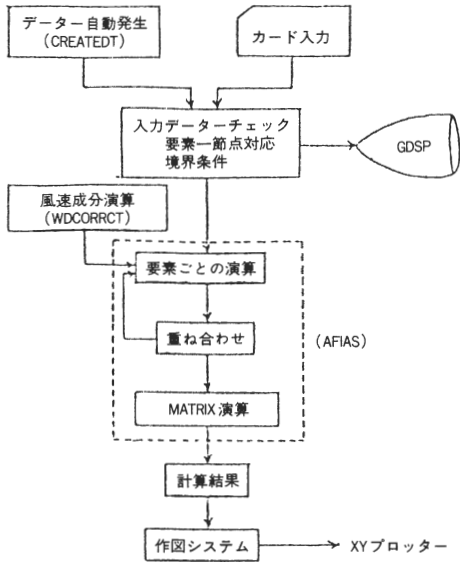


図 6・1 有限要素法を用いた音場解析システム

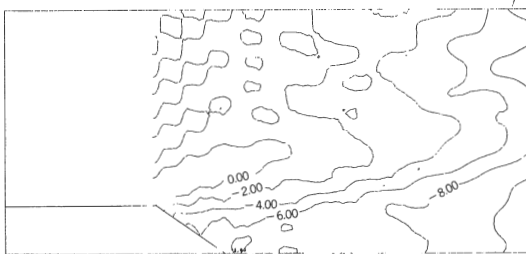


図 6・2 有限要素法を用いた音場解析の一例

件を現実の音場条件に合わせて計算を実行できることから、解析的手法では解くことが困難な問題が容易に行えるという大きな利点を有している。

筆者らは、沖野<sup>24)</sup>らによる重み付き残差法による解法に改良をほどこし、行列演算時間を大幅に短縮するアルゴリズムを開発した。さらに風速補正を行いフィールドへの適用について検討を加えた<sup>21)</sup>。なお、有限要素法による音場解析のシステム構成を図 6・1 に、結果の一例を図 6・2 に示す。

### 6・2 フレネルの回折理論の応用

最近市街地において特に予測頻度が高いと思われるケースは、高架道路と平坦道路が複合した場合における高架床面からの反射や、さらには、沿道の状況まで含めた残響の影響解析などである。

このような、市街地における騒音伝搬の取り扱いについては、鏡像法<sup>18)</sup>や拡散音場として解析する方法<sup>25)</sup>が考えられるが、筆者らは、光学における古典的理論であるフレネル積分<sup>26)</sup>を用いた定量的評価を行う手法をシステム化した。図 6・3 は、高架床面の幅を考慮した計算例である。

## 7. おわりに

以上、自動車騒音による環境汚染予測について、基本的考え方と、個々のモデルの概要を説明した。

深刻な道路交通騒音公害問題の低減を図り、さらに積極的に「静穏」を確保してゆくことは今後の環境行政の

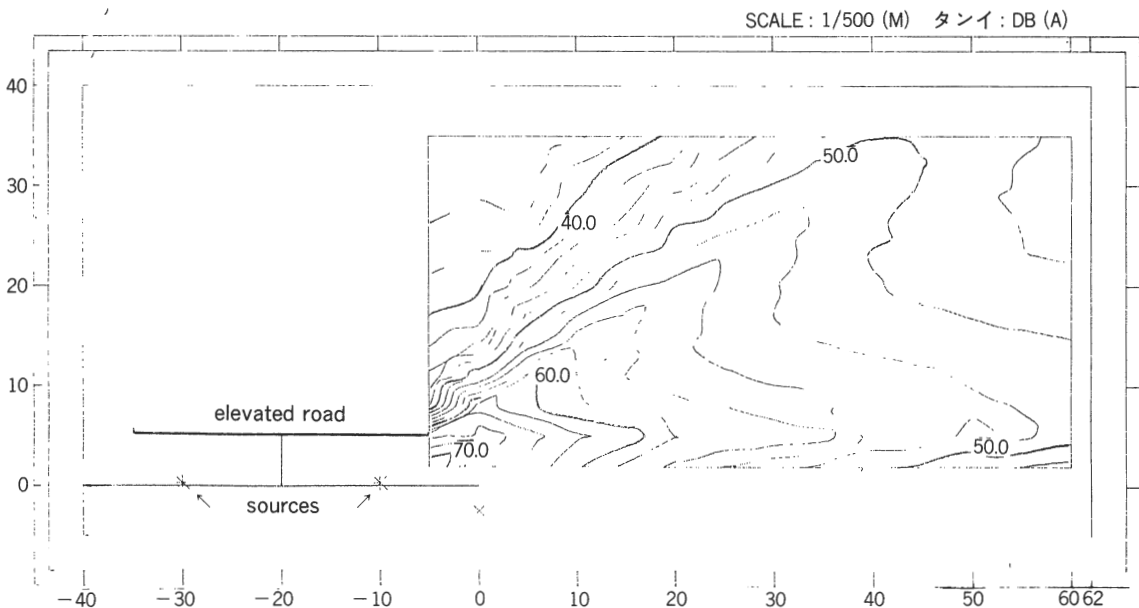


図 6・3 高架道路下の点音源から放射される音圧強度分布

重要な課題であり、自動車騒音対策の強化と、それを技術的に支援する予測システムの確立もまた重要である。今後ともシステムの機能拡充と精度向上に努めてゆきたいと考える。

### —引用文献—

- 1) 石井聖光：道路交通騒音予測計算方法に関する研究（その1），日本音響学会誌，Vol. 31, pp. 507～517, 1975.
- 2) 厚井弘志：多地域 S-D モデル及びメッシュ情報の活用による道路交通騒音予測システムについて，第3回土木計画学研究発表会，pp. 385～390, 1981.
- 3) 厚井弘志：地域環境騒音の現況解析及び予測システムについて，第2回京都大学環境衛生工学シンポジウム，1980.
- 4) 枝村俊郎，他：多属性効用関数法の土地利用計画への応用，第14回都市計画学会学術研究発表会，1979.
- 5) E. A. G. Shaw, Olson: Theory of steady-state urban noise for an ideal homogeneous city, J. A. S. A., Vol. 51, No. 6, pp. 1781～1793, 1971.
- 6) 西宮 元：任意の環境騒音におけるワ이블分布のあてはめによる  $Leq$  の推定，日本音響学会誌，Vol. 35, pp. 562～567, 1979.
- 7) 笈西隆滋，厚井弘志，青井一郎：騒音による環境汚染予測システムについて(1)，日本音響学会講演論文集，pp. 17～18, 1981, 5月.
- 8) 青井一郎，厚井弘志，中村隆一：同上(2)，同上，pp. 19～20, 1981, 5月.
- 9) 厚井弘志，他：同上(3)，同上，pp. 413～414, 1981, 10月.
- 10) M. Katakura: Time headway distribution of traffic flow, Proc. of J. S. C. E., Vol. 189, pp. 107～115, 1971.
- 11) 青井一郎，他：交通騒音のアーラン分布モデルによるシミュレーション，電気関係学会関西支部連合大会講演論文集，P G 369, 1976.
- 12) 青井一郎，上堀松日出，中村隆一：地表面の影響による騒音の減衰，日本音響学会講演論文集，pp. 101～102, 1977, 10月.
- 13) 青井一郎，中村隆一：地表面の影響を考慮した道路騒音予測式，電気関係学会関西支部連合大会講演論文集，P G 349, 1977.
- 14) C. I. Chessel: Propagation of noise along a finite impedance boundary, J. A. S. A., Vol. 62, No. 4, pp. 825～834, 1977.
- 15) Ulrich J. Kurze: Noise reduction by barriers, J. A. S. A., Vol. 55, No. 3, pp. 504～518, 1974.
- 16) 湯沢睦茂，他：多重障壁の減音効果，日本音響学会誌，Vol. 31, pp. 538～547, 1975.
- 17) 例えば，A. R. Kriebel: Reflection and attenuation of sound by wind and thermal profiles over a ground plane, J. A. S. A., Vol. 51, pp. 19～23, 1971.
- 18) Richard H. Lyon: Role of multiple reflections and reverberation in urban noise propagation, J. A. S. A., Vol. 55, No. 3, pp. 493～503, 1974.
- 19) Huw G. Davies: Multiple-reflection diffuse-scattering model for noise propagation in streets, J. A. S. A., Vol. 64, No. 2, pp. 517～521, 1978.
- 20) S. Thomasson: Diffraction by a screen above an impedance boundary, J. A. S. A., Vol. 63, No. 6, pp. 1768～1781, 1978.
- 21) 藤田真一，厚井弘志，青井一郎，笈西隆滋：有限要素法による音場解析手法のフィールドへの適用について，日本音響学会講演論文集，pp. 417～418, 1981, 10月.
- 22) 厚井弘志，青井一郎，尾崎邦彦：高架道路及び道路周辺構造物による回折計算用アルゴリズムについて，同上，pp. 21～22, 1981, 5月.
- 23) 加川幸雄，他：任意の吸音壁を持つ音響フィルタの有限要素シミュレーション，日本音響学会誌，Vol. 33, pp. 259～266, 1977.
- 24) 沖野寿雄，他：有限要素法による音場の解析，同上，Vol. 34, pp. 659～666, 1978.
- 25) 太田光雄：交通流・伝播環境の複雑化と道路騒音予測問題，騒音研究会資料，pp. 1～12, 1977, 7月.
- 26) 前川純一，「建築音響」，pp. 192～195, 共立出版，1978.