

騒音評価システムの開発研究 I

—道路騒音伝播に関する電算シミュレータの開発—**

玉野 和保*・北山 正文*

(昭和53年9月30日受理)

Development of System to Evaluate Influence of Noise on Environment I

—Development of Numerical Simulation System for Noise
Emanating from Automobiles on Roads—

By Kazuho TAMANO and Yoshifumi KITAYAMA

(Received Sept. 30, 1978)

Urbanization and development are increasing environmental problems, such as noise and vibration, causing bad effects on the daily lives of people. Thus one of the key items to be examined in evaluating the effect of planned production facilities before they are actually developed is the effect in noise pollution and vibration.

The present work is an attempt to evaluate, using a numerical simulator, the harm caused by noise emanating from automobiles.

The report describes the method used and gives an example of a resultant noise contour map.

1. ま え が き

都市化や種々の開発にともない振動や騒音の公害が急増し、地域住民の日常生活の大きな障害になっている。これは、主として工場や自動車交通に原因しているが、なかでも自動車の増加による影響は大きく、深刻な状況に至っているところも少なくないようである。

振動騒音の環境への影響は、今日では新規開発事業などを計画する場合に実施される環境影響評価の調査項目の1つとして大気質、水質などとならぶ重要項目にとりあげられている。

我々は、従来より環境科学の側面から客観的に評価できる手法の開発研究を進めており、振動騒音についても大気質¹⁾²⁾などと同様に数値シミュレータの利用にもとづく評価法の確立を行ってきた。

* 電子工学教室

** 昭和53年9月19日広島工業大学研究発表会にて発表

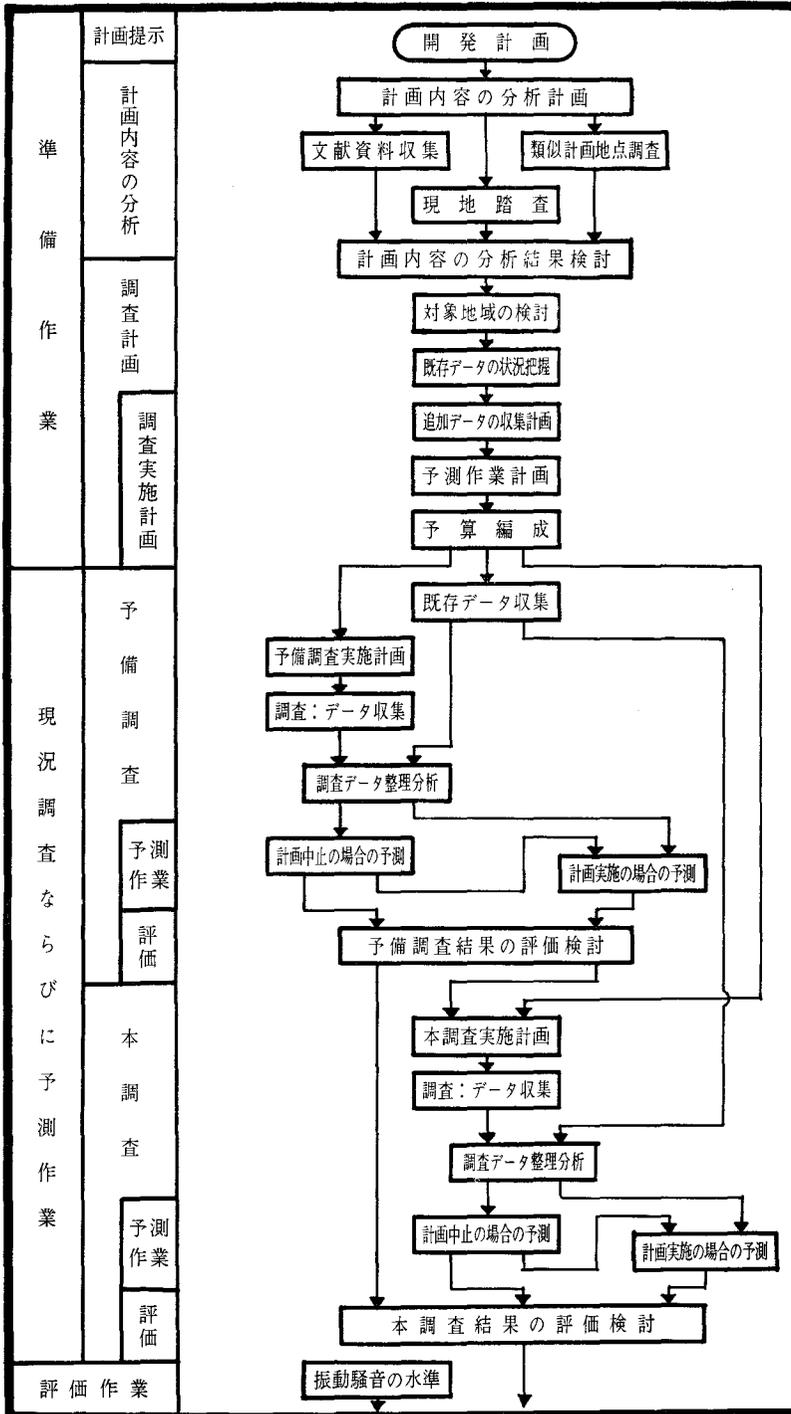


図1 振動騒音に関する環境影響評価作業

本報告は、この成果の中で特に自動車交通による道路騒音をとりあげ、評価を行なう上で最も重要な位置にある騒音音圧レベル分布の予測シミュレーションシステムを中心に、その手法を紹介するとともに、実際に予測を行なった例を示し、評価の方法の考え方を説明する。

2. 道路騒音評価システム

2.1 道路騒音に関する環境影響評価実施方法

道路騒音に関する環境影響評価作業は、振動騒音の1調査項目として、他の環境質と同様に準備、調査予測、評価の各作業の順で実施する⁴⁾。

図1にこれらの作業の相互の関係と手順を表わすフローチャートを示す。

準備作業では、調査の無駄や見落としがないように計画内容の分析と、その結果にもとづく調査計画立案を行なう。調査計画が決まると、次に調査、予測の作業の実施に移る。調査は、予備的な調査と、その結果の判断にもとづいて実施する本調査に区分して行なう。この作業においては、現況把握と予測作業を実施する上で必要なデータの収集とその分析加工を行なうとともに、シミュレータを用いて開発計画が実施されなかった場合と実施された場合の環境状態の変化を予測す

る。

以上の結果は、振動騒音の水準などとの比較や、他の状況変化と合せて総合的に評価する。

2.2 道路騒音伝播シミュレーションシステム

図2にシミュレーションシステムの構成を示す。システムは、騒音の発生源である自動車の交通量と、その発生に影響する路面状態、さらに騒音伝播に影響する気象、建物、地形の各データ部分と、それにもとづく計算部分とから構成されている。

計算は、準物理モデルにもとづいた式によって、任意の受音点での音圧レベルを求め、気象状態、音の伝播経路上の遮音体による補正を加えて実際に近い状態を表現する手法で行なう⁴⁾⁵⁾。

本システムで必要とする交通量、気象、地形の各データは、総合的な環境影響評価を実施する場合には、振動騒音と並行して進められる大気質、地形地質、交通の各環境質の調査と連結し、その結果を用いる。

交通量に関するデータは、現地調査の結果などにもとづく、単位時間当りの通過台数（複数車線の場合、各車線毎）、平均走行速度、車種構成（大型車、普通車、軽4輪車の区分）について道路別に時刻毎に整理する。道路データは、路面の種類、勾配、車線数と幅員、道路構造（高架、盛土、切取りの区別、自動車専

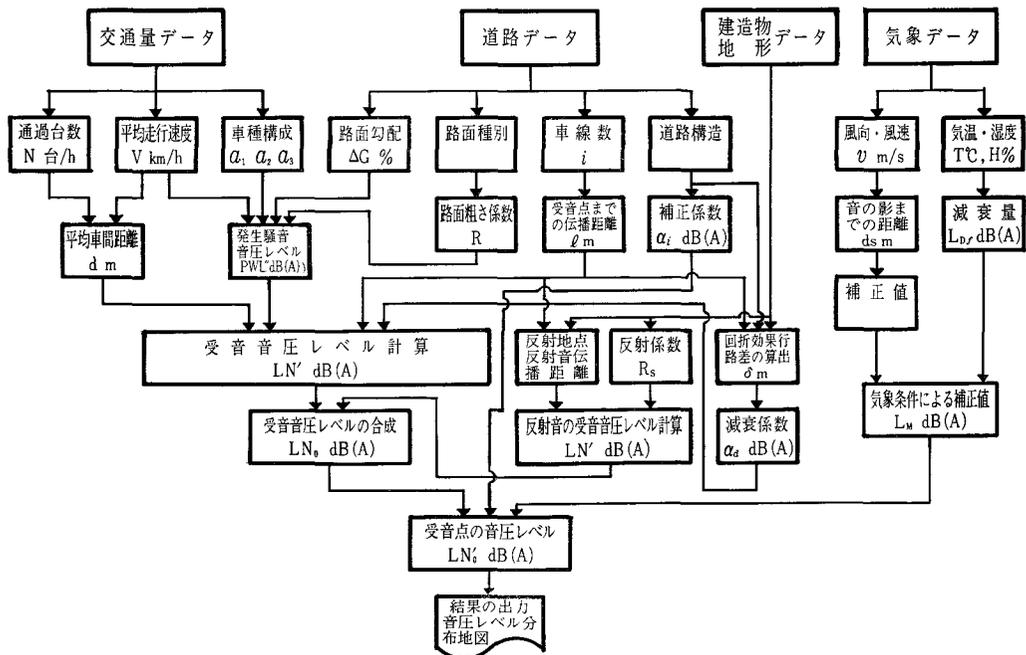


図2 道路騒音伝播シミュレーションシステムの構成

用道か一般道の区別) について道路毎に整理する。建物地形データは、道路に垂直な面についての地表高や、建造物の高さを道路肩からの位置で表わして入力する。気象データは、気温、湿度、風向、風速を道路別に時刻毎に整理して入力する。

計算結果は、時刻別の騒音等音圧分布地図にして評価の際に便利な形式で出力する。

2.3 騒音伝播シミュレーション手法

(i) 騒音の音源の音圧レベル

自動車は、大型車 a_1 、普通車 a_2 、軽4輪 a_3 の割合 $(a_1+a_2+a_3=1)$ で平均速度 V km/h で定常走行している場合の発生音圧レベル PWL は、経験的に次のような式で表わすことができる。

$$PWL=84+0.2V+10 \log_{10}(a_1+2a_2+10a_3) \quad dE(A) \quad (1)$$

発生音圧レベルは、路面の粗さや勾配によって変化する。走行方向に対して路面が $\Delta G\%$ の勾配をもつ場合の補正は、次のようにして行なう。

車速が勾配区間内で変化しない場合

$$PWL' = PWL + \frac{1}{3}\Delta G \quad dE(A) \quad (2)$$

車速が $-4.8 < \Delta G < 4.8\%$ の区間で $\Delta G\%$ 変化する場合

$$PWL' = PWL + \frac{1}{3}\Delta G - 0.2\Delta G \quad dE(A) \quad (3)$$

ただし、 ΔG の値は、上りを正とし、下りを負とする。

表1 路面粗さ係数例

R	該 当 路 面
0.05 以下	シリカサンドアスファルト デラキシール
0.05~0.4	密粒式アスコン ギャラブ式の密なもの
0.4 ~0.7	ギャラブ式アスコン セメントコンクリート
0.7 ~1.0	ギャラブ式の粗なもの すりへったグース
1.0 ~1.3	グースアスファルト 浅い模様付き
1.3 以上	模 様 付 き 横 溝 付 き

路面の粗さによる補正は、表1に示す粗さ係数 R を使用して次のように表わす。

R が0.25より小さい場合

$$PWL'' = PWL' + 14(0.25 - R) \quad dE(A) \quad (4)$$

R が0.25以上の場合

$$PWL'' = PWL' + 7(R - 0.25) \quad dE(A) \quad (5)$$

(ii) 騒音の伝播

毎時1,000台以上で自動車が1列に等間隔で定常走行する場合の道路の中央から列に直角な方向の ℓ m 離れた地点の受音音圧レベルは、次のように表わすことができる。

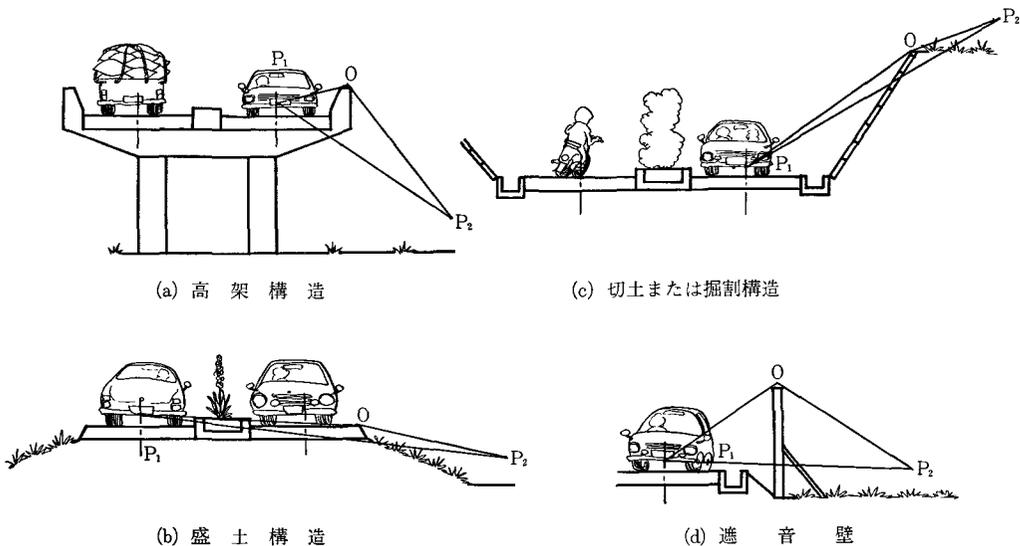


図3 道路構造、建造物などによる回折効果のモデル

$$NL = PWL'' - 8 - 20 \log_{10} \ell$$

$$+ 10 \log_{10} \left\{ \pi \frac{\ell}{d} \tanh \left(2\pi \frac{\ell}{d} \right) \right\} \quad \text{dE(A)} \quad (6)$$

ここで d は、平均車間間隔を表わし、平均走行速度 V km/h と通過台数 N 台/h により $1,000 V/N$ m で表わされる。

(iii) 建造物や地形などによる回折効果にもとづく伝播騒音の減衰

音源と受音点の間に建造物や丘、土塁があると、騒音は遮音されるが、一部は回折して受音点に到達する。回折による効果は、次に示す方法によって組入ることができる。

音源の高さは、地表より 30 cm 上方にあるとして、図 3 に示す行路 P_1O , OP_2 , P_1P_2 を求め、これより、 $\delta = P_1O + OP_2 - P_1P_2$ m で表わされる行路差を算出し、図 4 に示すグラフから減衰量 α_d dB(A) を求める。

道路が図 3 の b, c で示す盛土、切土、堀割の場合で、のり肩の両面が石積み擁壁や補装面の場合は、一般に 2 dB 程度多く減衰するといわれている。したが

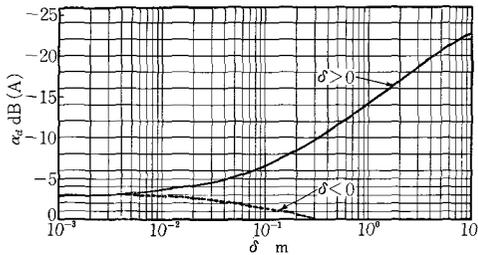


図 4 回折による減衰量

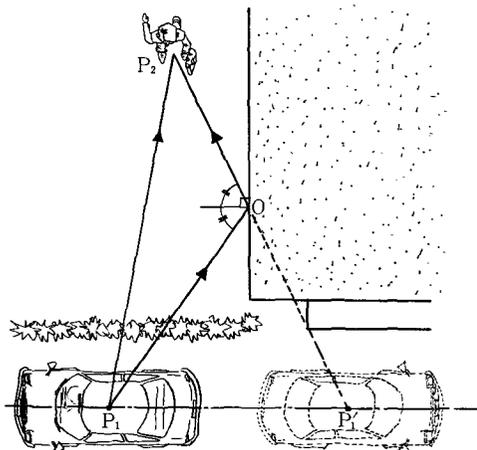


図 5 壁による音の反射のモデル

って、このような道路に対しては、グラフで得た α_d に -2 dB 加える。

以上の手順より受音点の音圧レベルは次のように表わすことができる。

$$NL' = NL + \alpha_d \quad \text{dE(A)} \quad (7)$$

(iv) 建造物による反射にもとづく伝播騒音の増加

建造物は音源と受音点に対する位置によっては反射体となり、受音音圧レベルが増加することがある。この効果は、図 5 に示すような鏡像法を利用することで表わすことができる。

音源と反射面となる建物が図 5 で示す位置にある場合、 P_2 で受音する音圧レベルは、 P_1P_2 の行路を伝播する直接音と、 O で反射して到達してくる音の合成になる。 O で反射する音は、入射角と反射角が等しくなるから、 P_2 に対しては、 P_2O を延長した P_1OP_2 と同距離の点 P_1' から音が伝播したと考えることができる。したがって、 P_2 で受音する反射音圧レベルは、行路を P_1OP_2 として (6) 式を使って表わすことができる。ただし、この場合、壁で反射する際に吸音されて減衰するから受音音圧レベルは次式のように補正しなければならない。

$$NL' = NL + 10 \log_{10} R_S \quad (8)$$

ここで R_S は吸音材の反射係数で、1 kHz について見ると、コンクリート面で 0.98、木材床で 0.94、モルタル壁で 0.90、孔あきアルミ板で (孔径 5 mm 間隔 11 mm, 板裏 50 mm はなしでグラスウール 50 mm) 0.49 などとなっている。

(v) 音圧レベルの合成

以上示した手法によって受音点での音圧レベルを得ることができるが、道路が複数車線の場合や、反射音が含まれている場合にはそれらの音を合成する必要がある。

合成は、次式で行なう。

$$NL_0 = 10 \log_{10} \left\{ \sum_{i=1}^n 10^{(NL'_i/10)} \right\} \quad (9)$$

ただし i は受音する音の種別で、 n は、その個数である。

(vi) 地表近くの伝播に対する受音音圧の補正

受音音圧レベルは、受音点が地表近くの場合には、地面からの反射や、草などの遮音、さらに地表面での気象などによって計算値より低くなる傾向がある。受音点が地上 1.2 m の高さの場合の補正曲線を図 6 に示す。補正值 α_i は道路の種別に応じて路肩から受音点までの距離で求めることができる。

道路が一般道の場合には、次に示す経験式で補正値

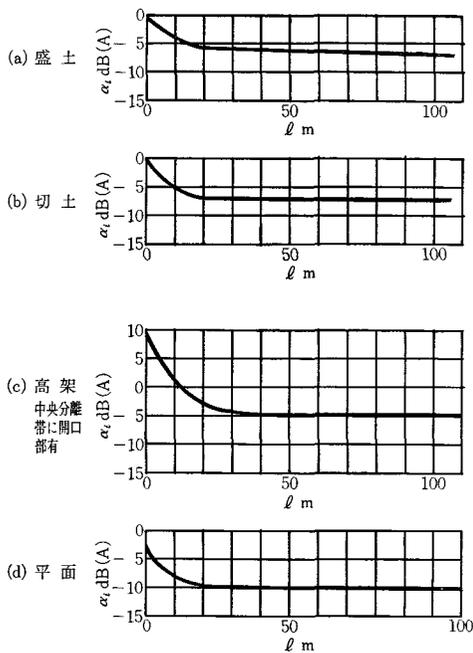


図6 地表近くの伝播に対する受音音圧レベルの補正值

を求めることができる。

盛土の場合

$$\alpha_i = -4.69 - 0.047\ell \quad (10)$$

切土の場合

$$\alpha_i = 3.33 - 0.05\ell \quad (11)$$

高架の場合

$$\alpha_i = 2.21 - 0.106\ell \quad (12)$$

補正は、 NL_0 に α_i を直接加えればよい。

(vii) 気象条件による受音音圧の補正

風や気温、湿度によって受音音圧レベルは変化する。風は、音の屈折と減衰率に影響する。

風上方向に対しては、風による音源から音の影までの距離 d_s と受音点までの距離 ℓ の比によって、 ℓ/d_s

表2 風により発生した音の影までの音源からの距離

	天 気	気温分布	風速(m/s)	d_s (m)
昼 間	晴	上空低温	5~9	80
	曇り	一 様	5~7	130
夜 間	晴	上空高温	1~2	670

表3 気温と湿度による減衰の補正值

温度°C	f Hz		500		1000		2000		4000		6000	
	-10	0.3~0.6	-1.03H +0.87	0.3~0.7	-1.95H +2.12	0.3~0.7	-11.75H ² +11.7H +0.16	0.3~0.5	10.85H +0.11	0.3~0.7	11.83H +0.56	
0	0.6~1.0	-0.23H +0.39	0.7~1.0	-0.9H +1.39	0.7~1.0	-3H +4.65	0.5~1.0	6.1	0.7~1.0	3.2H +6.6		
10	0.3~0.5	-0.45H +0.42	0.3~0.5	-2.05H +1.58	0.3	-6.19H +5.09	0.3~1.0	-7.12H +9.84	0.3~0.5	4H +9.34		
20	0.5~1.0	-0.18H +0.23	0.5~1.0	-0.3H +0.65	0.56 ~1.0	-1.56H +2.43			0.5~1.0	-12.2H +17.44		
	0.3~0.5	-0.18H +0.27	0.3~0.5	-0.7H +0.8	0.3 ~0.57	-3.33H +2.96	0.3 ~0.55	-13.65H +10.68	0.3~0.5	-24.9H +20.31		
	0.5~1.0	-0.09H +0.22	0.5~1.0	0.23H +0.64	0.57 ~1.0	-0.52H +1.35	0.55 ~1.0	-2.4H +4.44	0.5~1.0	-8.58H +12.02		
	0.3~0.5	-0.18H +0.27	0.3~0.5	-0.7H +0.8	0.3~0.5	-1.25H +1.67	0.3~0.5	-7.35H +6.33	0.3~0.5	-18H +13.67		
	0.5~1.0	-0.09H +0.22	0.5~1.0	0.23H +0.64	0.5~1.0	-0.55H +1.34	0.5~1.0	-1.28H +3.28	0.5~1.0	-2.6H +2.97		

注) 湿度 H LD_f

が1以上の場合にのみ補正する。

$1 < \ell/d_s < 3$ の範囲では次のように表わされる。

$$LN'_0 = LN_0 - 56.6 \log_{10}(\ell/d_s) - 2.46 \quad \text{dB(A)} \quad (13)$$

$\ell/d_s > 3$ については、次式のようになる。

$$LN'_0 = LN_0 - 28 \quad \text{dB(A)} \quad (14)$$

風下方向に対しては、 f_m を騒音の中心周波数として、 $\ell \cdot f_m$ が $10^5 \text{ m} \cdot \text{Hz}$ 以上の場合にのみ次式のようにして補正する。

$$LN'_0 = LN_0 + 10 \log_{10}(\ell \cdot f_m) - 32.06 \quad \text{dB(A)} \quad (15)$$

ここで音源から音の影までの距離は、表2に示すような値となる。この補正は、音源が3~5mの高さにあり、受音点が音源から1.6km以内で、地表の草木の高さが60cm以内で、しかも受音点が地表より2mの高さにある場合に適用できる。

気温と湿度は、空気の音に対する伝播の減衰率に影響する。

補正は、気温と湿度により表3の式にもとづいて算出した減衰量を受音音圧レベルから引くことで行なう。

3. 道路騒音伝播シミュレーションの実施例

本シミュレータを実際の道路建設計画に対する影響評価作業に適用してみた。

計画では、現在ある2本の一般道の間に幅員9m、うち、車道は2車線で片側2mを歩道とする全長510

表4 推計自動車交通量

時刻(時)	大型車	普通車	軽4輪車	自動車 2輪車	計(台)
7	32	202	35	33	300
8	31	124	33	9	195
9	20	84	19	10	131
10	20	73	16	9	116
11	15	80	10	5	109
12	14	65	19	3	100
13	18	69	17	11	114
14	24	55	17	11	106
15	34	81	17	9	139
16	19	98	30	10	156
17	25	208	45	21	297
18	17	164	35	8	221
計(台)	263	1,297	286	133	1,978

mの道路を昭和56年完成を目標として建設するようになっている。現在は、この間には、幅員2.5mの曲りくねった小さな道があるが、車輛は通行していない。

シミュレーションは、昭和56年開通時の予想通行自動車台数をもとにして、気象条件による補正は無視して行なった。

予想交通量は、付近の昭和52年の交通量現況と実際に現地に赴き調査した交通量、さらに付近の昭和49年と52年の交通量から求めた交通量の増加率、そして、交通量の発生となる住宅地の建設計画をもとにして推計した。

表4は、結果を7時から17時までの時刻について、自動車種別に推計した結果である。

シミュレーションに際して、平均走行速度は、50 km/h、路面は平坦、路面は、密粒式アスファルトコ

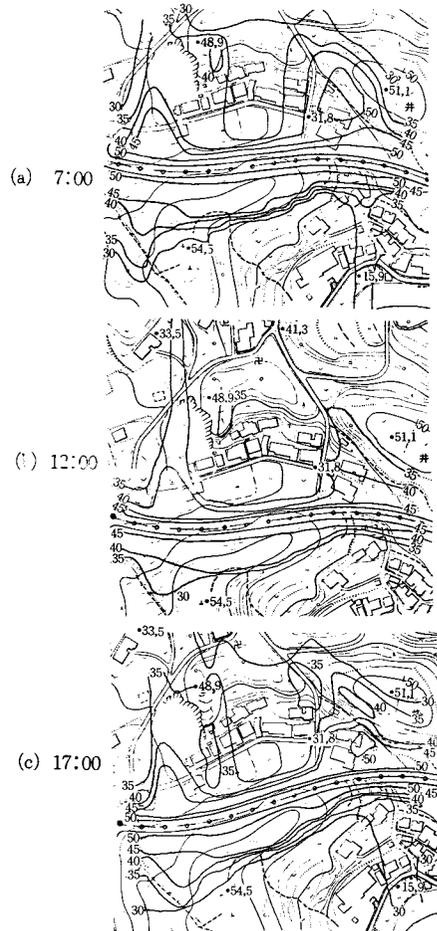


図7 道路騒音伝播分布計算結果

(図中の数値の単位は、dB(A))

ンクリートと仮定し、全域建物などによる反射はなく回折は、地形による効果のみとした。

図7に、通行台数の多い7時と17時、最も少ない12時の騒音音圧レベル分布を示す。

以上の結果は、すでに多くの地域において適用、検証を行なってきており、ほぼ精度よく表現できていると判断している。

4. あとがき

開発などの事業が計画される場合の環境影響評価の調査項目の1つとしてあげられる自動車交通による道路騒音の評価法について、特に、重要な部分である騒音音圧レベル分布予測シミュレーションシステムに中心をおいてその手法の紹介を行なった。

このシミュレータは、発生パワーレベルの計算部分を改造することで工場からの騒音や、航空機からの騒音の伝播をシミュレートすることもでき応用面は広い。

紹介したシミュレーション手法は、さらに道路が急激に曲っている場合への適用、トンネルがある場合、その出入口付近の表現、幅広いビルディングなどの建造物がある場合の回折効果の記述の点についての精度

向上を急いでいる。

また、騒音の評価についても、音圧レベルから実際に感じるうるささへ指標化する手法の開発を進めている。

おわりに、本研究を進めるにあたってプログラム作成、電算処理に多大なる尽力をいただいた、本学工学部研究生、北川清康、同学生、平川正人君をはじめとする研究室の諸君に心より感謝いたします。

また、電算機使用においてこころよく機会を与えていただいた本学電子計算機室の諸氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 北山, 玉野; 本学研究紀要, 10 (14), 117/121 (1976).
- 2) 北山, 玉野; *ibid*, 11 (15), 79/92 (1977).
- 3) 北山, 玉野; *ibid*, 12 (16), 113/119 (1978).
- 4) 北山, 他; 環境アセスメントの実施手法, 日刊工業新聞社, 95/119 (1977).
- 5) 日本音響学会; 道路交通騒音の予測計算方法に関する研究報告書, (1975).