

等価騒音レベルによる交通騒音予測 手法の検討 一第三報一

一 交差点における騒音レベルの算出 一

末岡伸一 今泉信夫

1 はじめに

等価騒音レベル (Leq) は数学的に取り扱い易いなど多くの利点があり、各種騒音評価への適用が進んでいる。筆者らも自動車交通騒音を等価騒音レベルで予測する手法について、一連の検討を行っている。

自動車交通騒音予測手法のうち、定常走行については中央値を予測計算する音響学会式が広く使用されている。また等価騒音レベルについても前々報¹⁾で計算手法を明らかにした。しかし料金所等特殊な区間の予測については、検討²⁾³⁾が開始されてはいるが、市街地で最も問題となる交差点等の区間についての予測手法は、まだ確立されていない。

筆者らは前報⁴⁾において、交差点予測の前段として、定常交通流と見なせない発進区間についてのプログラム化と若干の検討を行った。本報告ではそれに引続き、交差点区間についてプログラムの作成と検討を行ったので報告する。

2 交差点モデル

前報において発進区間のエネルギー量の算出について、速度、パワーレベル、座標を逐次変化させシミュレーションすることによりエネルギー量を求められることを示した。

一般にシミュレーションによる方法は、種々の要因を自由に变化させることができ、計算手法としては単純である。しかしコンピュータ技術の発達があったとはいえ、まだ計算時間がかかり実際的とは言えない側面がある。一方定常走行部分は前々報¹⁾で示したとおり、見込み角で簡単に計算できるので、セグメントを細分化しシミュレーションを行う部分をできるだけ少なくすれば、それ

だけ全体の計算効率の向上を図れる。

今回の交差点区間の予測手法の検討に当っては、この考え方に立ち交差点セグメントをさらにサブセグメントに区分して効率的に計算を行うようにした。

まず交差点セグメントを定めた後、セグメントを定常走行で通過する車両と交差点で停止する車両に区分した。一般道路では減速途中から停止しないで加速する車両も見られるが、このモデルでは単純化するため、いずれの車両も通過もしくは停止するものと仮定した。

通過車両はセグメントを定速で通過するものとし、セグメントの見込み角によりエネルギー量が算出される。停止車両は、定速→減速→停止(アイドリング)→加速→定速と逐次5つの状態を経由するものとした。エネルギー量は、各状態からの量を合算することにより計算することとし、セグメントは4つのサブセグメントと1つの停車位置に細分される。

このサブセグメントは、車両が先頭から何番目に停車するか、車種は何かにより空間的、時間的位置が異なる。

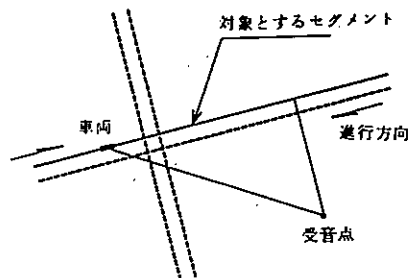


図1 交差点セグメントの概念

そのため停車順位ごとにエネルギー量の算出を行った。

なお交差点は少なくとも2本以上の道路セグメントが交叉しており、等価騒音レベル算出に当っては各セグメントからの値を合算することにした。交差点セグメントの概念は図1に示す。

3 交通流の記述

前述のごとく停止車両に関しては、5つの状態に細分する。それにより図2、図3に示すごとく、始点X1から終点X5のセグメント内に、減速開始点X2、停車位置X3、加速終了点X4をそれぞれ設定する必要がある。また停車時のエネルギー量を計算するため、停車時間 t_s を求めなければならない。

ここで交差理論⁵⁾の教えるところにより、簡単な交通流モデルを考え、交差点への単位時間当りの流入交通量を q_{in} 、発進交通量を q_{out} とおく。この q_{out} は停止している車両の発進時交通量であり、セグメント内で車両の発生・消滅がないかぎり、交差点を出て行く交通量の時間的平均は q_{in} と等しくなる。

一般に発進時交通量は流入交通量よりも大きいことが知られており、

$$q_{out} > q_{in}$$

である。また q_{out} は発進時の環境に依るものであり、その道路の飽和交通量と考えられており、 q_{in} の値にかかわらず同一道路では一定と思われる。

つぎに交差点の1サイクルにおける赤信号の時間を t_R 、青信号の時間を t_G とおく。ここで赤信号により停車する台数を考えると、図4に示すとおり1サイクルごとに停車台数(待ち行列長)は t_R まで増加し、その後発進によ

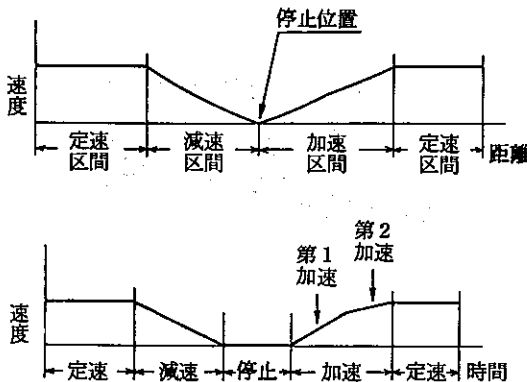


図2 交差点セグメントにおける停止車両の5つの状態

- X2: 減速開始点
- X3: 停車位置
- X4: 加速終了点

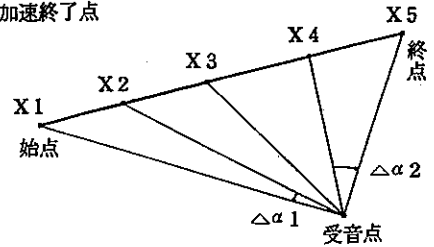


図3 交差点セグメントのサブセグメント

り台数は減少する。時間 t で停車している車両がなくなるとすると

$$q_{in} \cdot t_R = (q_{out} - q_{in}) \cdot (t - t_R)$$

が成り立つ。すなわち

$$t = q_{out} \cdot t_R / (q_{out} - q_{in}) \dots \dots \dots (1)$$

となる。

ここで信号の1サイクル当りの最大停車台数を N_{max} とすると

$$N_{max} = q_{in} \cdot t + 1$$

$$= \frac{q_{in} \cdot q_{out} \cdot t_R}{q_{out} - q_{in}} + 1 \dots \dots \dots (2)$$

となる。よって単位時間当りの停車台数 n_s は

$$n_s = \frac{N_{max}}{t_R + t_G} = \left(\frac{q_{in} \cdot q_{out} \cdot t_R}{q_{out} - q_{in}} + 1 \right) / (t_R + t_G) \dots \dots \dots (3)$$

で算出される。

次に単位時間当りの通過台数 n_p を求める。単位時間当り n_s 台の車両が交差点で停車することから

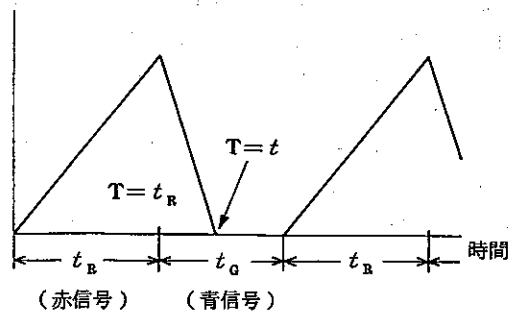


図4 信号による待ち行列長(停車台数)の変化

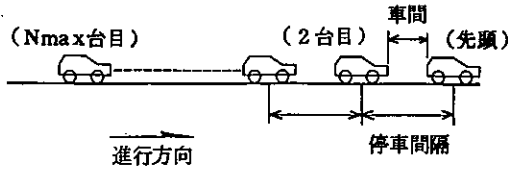


図5 停車の概念

$$n_p = q_{in} - n_s \quad \dots\dots\dots(4)$$

となる。

なお当然のこととして、 $t > t_R + t_G$ となるときは、停車台数が逐時増加する渋滞状態を表わすが、本モデルでは t は $t_R + t_G$ よりも小さいものとした。

次に先頭から N 番目の車両の停車位置を求める。本モデルでは音源を車両の中央に仮定しており、 N 番目の車両中央が、先頭の車両中央から L_N 離れているとすれば図5のごとく平均の停車間隔 ℓ_M によって

$$L_N = \ell_M \cdot (N-1) \quad \dots\dots\dots(5)$$

となる。

停車時の車両の間隔は当然車種によって異なると考えられる。しかしすべての組み合わせを計算することは実際的でなく、ここでは車種混入率によって平均的な間隔 ℓ_M を用いることとした。プログラムのなかでは表1に示した平均長と停車時における前車後部までの車間距離（本検討では $3m$ と仮定した）により車種混入率から算出した。

また N 番目の車両の停車時間を S_N とすれば、車両1台当り平均して $1/q_{in}$ ずつ遅れて到着し、 $1/q_{out}$ ずつ発進しているの

$$\begin{aligned} S_N &= t_R - \frac{1}{q_{in}} \cdot (N-1) + \frac{1}{q_{out}} \cdot (N-1) \\ &= t_R + \left(\frac{1}{q_{out}} - \frac{1}{q_{in}} \right) \cdot (N-1) \quad \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

となる。なお $q_{out} > q_{in}$ と仮定してあるので、 S_N は最大で t_R 、最小は0もしくは0に近い値となる。

4 速度及び加速度

速度及び加速度については前報と同様、表1のとおり5車種に区分した。通過車両は定速とした。停車車両はセグメントの両側の定速部分は通過車両と同じとし、減

表1 車種区分

車種番号	中公審における車種区分	平均車長
1	乗用車	4
2	小型バス・トラック	4
3	中型バス・トラック	7
4	大型バス	11
5	大型トラック	11

(m)

表2 車種別の加速度

区間 車種	第1加速度	第1加速の 最終速度	第2加速度
1	1.6	30	1.48
2	1.65	30	1.5
3	1.65	25	1.5
4	1.5	25	1.03
5	1.5	25	1.03

(m/s²) (km/h) (m/s²)

速時の加速度のデータは充分にないので今回は $-1.6 m/s^2$ とした。停車時間 S_N については(6)式で与えられる。加速区間については前報と同様、第一加速、第二加速に区分した。このデータは料金所における発進時データであり、交差点における発進に比べて若干大きめと思われるが、測定データが少ないので今回の検討ではこのまま使用した。具体的な数値は表2に示す。

5 パワーレベル

パワーレベルの年次別規制台数比率による平均化は前報⁴⁾で報告した方法に依った。定速区間のパワーレベル P_v については音響学会式の方法により

$$P_v = P_0 + 0.2 \times V \quad \dots\dots\dots(7)$$

V: 速度

で算出し、 P_0 については車種1では $P_0 = 85$ 、車種2については $P_0 = 90$ その他の車種は $P_0 = 97$ とした。なおパワーレベルのゆらぎについては定常走行部分では導入できるが¹⁾、加速走行についてはまだ調査研究が進んでいないので交差点セグメントでは考慮しないこととした。

減速区間については測定されたデータがないが、レベルが逐次低下する部分であることから、減速中の速度を

使用し(7)式により計算した。

停車中のパワーレベルについても測定データがほとんどなく今後の調査課題であるが、今回は $V=0$ すなわち(7)式の P_0 の値を使用した。中央値と異なり等価騒音レベルの場合、計算地点が停車位置に近い場合は全体のレベルに与える影響が無視できないものであり詳細な調査が必要である。

加速区間については前報⁴⁾のデータを使用した。この加速区間のパワーレベルについては一定と見なしてもよいと思われるが、⁵⁾ 測定データの蓄積等今後データの見直しが考えられるので、本検討では実測データをそのまま使用することとした。具体的な数値は図6に示す。

また表3にサブセグメント別の速度及びパワーレベルの扱ひ方の一覧を示す。

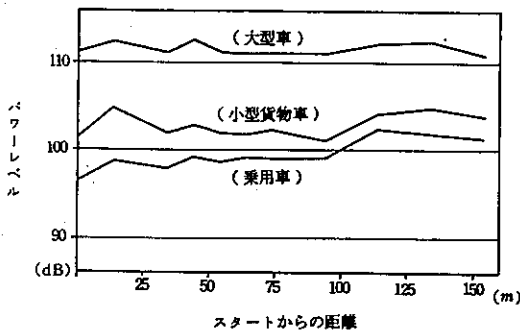


図6 発進時におけるパワーレベルの変化

表3 サブセグメントごとの速度及びパワーレベル

サブセグメント	速度	加速度	パワーレベル
定速	一定 (流入速度)	—	音響学会式の方法
減速	定加速度で減速	一定	音響学会式の方法
停車	$V=0$	—	$V=0$ として音響学会式の方法
加速	第1 定加速度で加速	一定	実測データによる
	第2 定加速度で加速	第1加速度よりも小	
定速	一定 (流出速度)	—	音響学会式の方法

6 プログラム

(1) 等価騒音レベルの算出

道路セグメントからの音響エネルギーの算出を考えるに当って、単位時間の音響エネルギーを $I_0=10^1 \text{ watt/m}^2$ で除して基準化したものを I と表わすことにする。(以降文中では単にエネルギーと呼ぶ)

本プログラムでは通過車両と停車車両に区分して計算を行ったが、それぞれの I を I_p, I_s とおけば、交差点セグメントからの全量 I_c^{II} は

$$I_c^{II} = I_p + I_s$$

であり

$$Leq = 10 \log (I_c + I_c^{II} + 10^{L_B/10}) \dots\dots(8)$$

L_B : 暗騒音レベル

となる。ここで I_c は他の道路セグメントからのエネルギーを合算したものである。

なお前述のとおり交差点区間では、2本以上の道路セグメントが交叉しており、 I_c^{II} の算出に当ってはそれの分だけ合算することになる。

以上の処理フローをブロック図で示せば図7となる。最初に必要なデータの入力とパラメータの設定を行い、通過車両数と停車車両数等を計算する。次に信号の1サイクル内に停車する台数すなわち N_{max} だけサブセグメントの組み合わせを設定しつつエネルギー量を計算する。これと停車台数から停止車両からのエネルギー量を求める。次に通過車両からのエネルギーを通過台数等から計算する。これらを合算し、すべてのセグメントについて求めた後(8)式の I_c 及び L_B を加えて、等価騒音レベルを算出する。

(2) 通過車両からのエネルギー

車両がセグメントを定速で走行するときの1台当りの平均エネルギー I は、セグメントの見込み角により求まる。これを i_p とおくと

$$i_p = \frac{5}{k} \sum_{k=1} 10^{P_{vk}/10} \cdot \Delta\alpha \cdot r(k) \dots\dots(9)$$

P_{vk} : k 車種の減速 V におけるパワーレベル

d : 受音点とセグメントの垂直距離

$\Delta\alpha$: セグメントの見込み角

R : 余剰減衰項

$r(k)$: 車種混入率

で与えられる。ここで見込み角 $\Delta\alpha$ は交差点セグメント

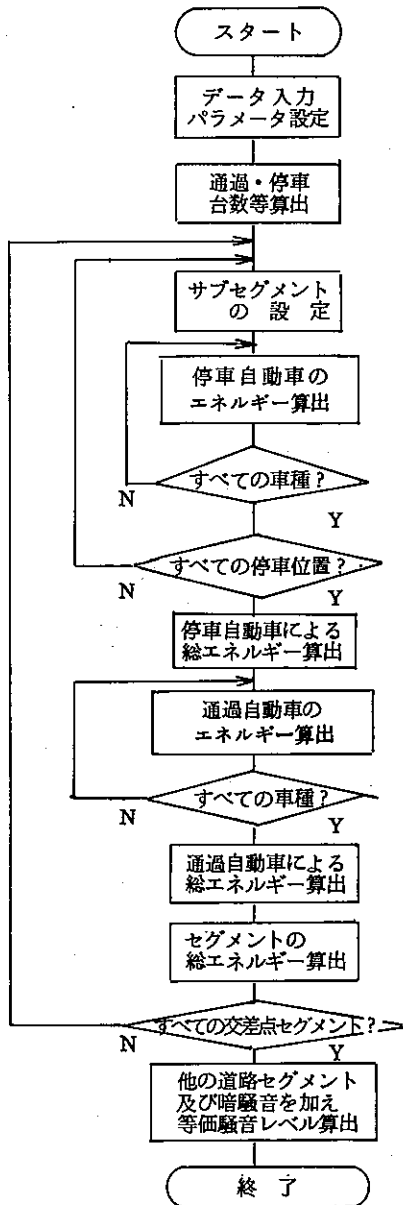


図7 プログラムのブロックチャート

の始点X1及び終点X5により計算される。余剰減衰項Rについては、回折、空気吸収、地表面性状などに区分できる。回折及び空気吸収は定常走行セグメントについてのプログラム化を前々報⁴⁾で報告したが、加減速を含むセグメントにおける周波数成分の取扱い等の問題があり今後の検討課題とした。地表面性状に関する減衰につ

いては佐々木らは³⁾、Thomassonの理論⁶⁾により計算式を提起している。この場合コンクリート面については吸収なしとし、草地等については一定の地面吸収があるとしている。今後実際の適用が検討されると思われ、本プログラムでも入力可能であるが、本検討ではすべての余剰減衰を総合して、前報と同様に音源と受音点の距離 l が $l > 17.5(m)$ で $4 \log(l/17.5)$ の余剰減衰があるものとした。なお実際の余剰減衰量の計算では図8に示すとおり定常走行サブセグメントをさらに、余剰減衰のある部分とない部分に細分化して計算した。余剰減衰量は距離40mで1.4dB、60mで2.1dB、80mで2.6dBでありセグメント全体で平均的な減衰量を考慮すれば算出上問題ないと考えられ、減衰量の最大値と最小値(図8ではa点b点及びc点d点)の平均を(9)式のRに代入して計算した。

これより I_p は

$$I_p = i_p \times n_p$$

となる。

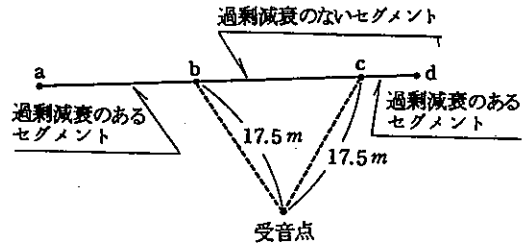


図8 定速走行セグメントにおける過剰減衰の取扱い

(3) 停止車両からのエネルギー

自動車の停車位置は(2)式により N_{max} の組合せがある。それらを別々に計算したのち合算すれば単位時間当りの I_g を求めることができる。ここで先頭からN番目に停車する車両からの i_N を計算すると

$$i_N = \sum_{k=1}^5 (i_{1NK} + i_{2NK} + i_{3NK} + i_{4NK} + i_{5NK}) \cdot r(k)$$

i_{1NK} : 進入時の定速サブセグメントからのエネルギー

i_{2NK} : 減速サブセグメントからのエネルギー

i_{3NK} : 停車(アイドリング)時のエネルギー

i_{4NK} : 加速サブセグメントからのエネルギー

i_{5NK} : 発進後の定速サブセグメントからのエネルギー
 $r(k)$: 車種混入率

となる。

ここで i_{1NK} , i_{5NK} は(2)の通過車両と同様にして計算した。 i_{3NK} は停車時のパワーレベル P_{0k} 及び(6)式で求めた停車時間 S_N より

$$i_{3NK} = \frac{S_N}{t_R + t_G} \cdot \sum_{i=1}^5 \frac{10}{2\pi\ell^2} P_{0k} / 10 \cdot r(k)$$

ℓ : 音源と受音点の距離

$r(k)$: 車種混入率

t_R, t_G : 赤及び青の信号間隔

で計算した。 i_{2NK} , i_{4NK} の減速・加速区間はシミュレーションによって算出した、それぞれ速度・加速度のデータより車両の位置を算出し、パワーレベルから受音点のエネルギーを求めた。実際の計算は時間間隔 Δt ごとに車両をセグメントで移動して行い、本検討では $\Delta t = 0.2$ (sec) とした。なおこれら i_N の算出に当たりの余剰減衰は通過車両と同様とした。

7 計算結果と考察

図9に1台の車両が停止発進する場合の影響を見るため、道路から1.0 m離れた地点における単発騒音曝露レベルを示す。停車時間は60秒とし、定速サブセグメントは40 km/hとし、破線は定常走行時の値である。図で明らかなように各車種とも停車位置付近で最もレベルが高く、発進方向に向かってレベルが高い。これは減速時よりも加速時の方がパワーレベルが高いためであり、乗用車でみれば定常走行時に比べて2dB以上高いのは停止

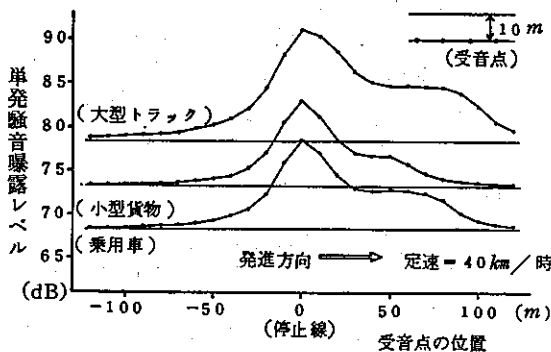


図9 1台の車両が停止発進する場合の受音点の位置別の単発騒音曝露レベル

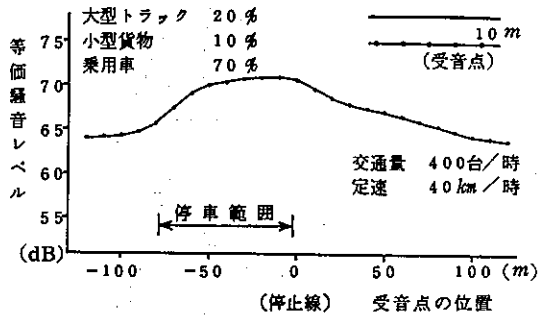


図10 受音点の位置による等価騒音レベル (セグメントは1本とし、信号で停止発進する。)

線の前20 mから、発進方向へ80 mの範囲である。全体的に言えば停止発進を行う車両によるレベル上昇の影響は発進方向へ強く表われる。

前図は1台の車両に着目して検討したが、実際の交通流では一定の交通量があり、停車位置が複数あり騒音分布が変化する。以上の検討を示したのが図10であり、道路から1.0 m離れた地点の等価騒音レベルの変化を示す。セグメントは1本とし、信号間隔は赤青ともに60秒、流入交通量は400台/時、発進交通量は1800台/時とした。図中停車範囲は最大停車台数9台のときの車両中心の位置の範囲を示している。図で明らかなように停止線位置から後方60 mの範囲でレベルが高くなっている。1台車両からの影響は前述のごとく発進方向へ強くでたが、一定の交通量がある場合はおおむね停車範囲で等価騒音レベルが高くなっており、停車台数が交差点におけるレベル上昇範囲に大きく影響を与えることを示している。

表4に実測例との比較を示す。この地点はバイパス上の信号地点であり、平均に車両が流れている。手前側、反対側それぞれ2車線であり、平均速度は45 km/時である。表に示すとおり予測計算結果と実測は良く対応している。距離がはなれた地点で若干差が大きくなるが、これは過剰減衰量の取扱いによるものであろう。

8 おわりに

本報告で騒音計算にシミュレーションを組合せることにより、交差点区間における等価騒音レベルの予測を効果的に行えることを明らかにした。また若干の検討により、交差点では車両の停車範囲でレベルが上昇すること

表4 予測計算例

距離	10 m	20 m	30 m
実測値	7.2	6.7	6.2
予測値	7.2.4	6.8.9	6.4.8

(条件) 片側2車線 信号地点	
手前側交通量	607台/時
大型車混入率	37%
反対側交通量	563台/時
大型車混入率	32%
速度	45km/時

The diagram shows a road with a stop line (停止線) on the left. Three measurement points are marked on the right side of the road: 10m地点, 20m地点, and 30m地点. The road is represented by several horizontal lines, and a vertical dashed line indicates the measurement points.

を示し、実測データとの対比では本モデルが良い結果を示していることから、一定程度実用に供しうるものであることを明らかにした。

しかし本モデルを使用したデータはまだ十分に測定が積み重ねられていないものであり今後の調査研究によりデータ整備をする必要がある。また都市部の道路では信号の広域制御等により、車両密度の変動が大きい道路も多く、交通流の取扱いについて検討が必要であろう。引続き具体的な適応とモデルの補強を行ってきたい。

参考文献

- 1) 末岡伸一：等価騒音レベルによる交通騒音予測手法の検討（第一報），東京都公害研究所年報，（1983）
- 2) 岩瀬昭雄ほか：道路交通騒音の L_{Aeq} に関する実用的予測計算手法，日本音響学会誌，38巻10号（1982）
- 3) 佐々木實，山下充康：道路特殊箇所騒音予測方法に関する検討，日本音響学会誌，40巻9号（1984）
- 4) 末岡伸一ほか：等価騒音レベルによる交通騒音予測手法の検討（第二報），東京都公害研究所年報，（1983）
- 5) 保原光雄，中原恒雄：トラフィック制御，コロナ社，317，（1975）
- 6) S. I. Thomasson : A powerful asymptotic solution for sound program above an impedance boundary, Acvstica 45, 122, (1980)