

植物枝葉に対する騒音の減音作用の部分的見掛け上の増幅的振る舞いについて考察

Considerations of Actions on looks-like Amplifications of Sound-wave, that is appearance in some Noise-reducing Properties by Plant-leaves

深谷義勝* 鈴木郊宇** 新美吉彦*** 濱島繁隆****
Yoshikatu FUKAYA Kou SUZUKI Yoshihiko NIIMI Shigetaka HAMAJIMA

Abstract *It was begun in about 1972 year for people to investigate and to research how much degree the plant belts would effect the propagation of noise^(13, 14, 15). At initial time, the investigation of very huge object, such as jungles, forests and forest lands, had been done mainly⁽¹⁶⁾. Soon later, trends of the researching rapidly directed to micro-objects, and many papers^(6-12, 18), which were to regard to the effect of resonance, absorbing and scattering by leaves and trunks of trees, and plants, had been published. As a result, it has become clear and been proved that the plantings had intrinsically good effect for diminishing the noise figure.*

These could be regarded to as an action of filtering⁽¹⁷⁾ (that is, when the frequency is above 2kHz, it behaves as a low-pass filter of the cut-off frequency $f_c = 1\sim 2\text{kHz}$, and enlarges the attenuation of noise, propagation to the frequency-increasing. And furthermore, the existence of apparently looks-like bands of amplifying action, neighboring 1kHz, has been clearly recognized).

In this paper, we would research the phenomena of the amplifying action and would describe to investigate and to consider the noise action, excited in a propagation of sound-wave, which would be appeared within a complicated vibration of object.

1. はじめに

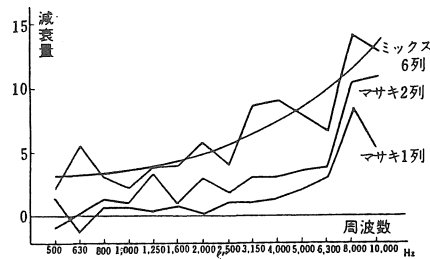
騒音の発生源について、その発生状況、その特質等を詳しく調べることは必要である。我々の生活に大きく影響を及ぼす騒音は、製産工場、建設作業、土木工事、交通機関（航空機、新幹線、自動車など）

があり、最近、地球環境や生活環境の問題として、社会的な取り組みで、振動とか音への関心が非常に強い。絶え間のない音場中で生活を営む我々は騒音によって、不快、思考妨害、嫌悪があり、それから引き起こる障害もあるため、遮音対策、軽減音対策、さらに伝搬経路対策をなさなければならない。騒音の伝搬経路が直列か並列か複合直並列ルートかの確かな把握が大事である。いずれにしても総合遮音効果が得られるべく実施計画を立てることが望まれる。なお、音波の伝搬路を遮断することは、ほとんど不可能に近い問題であるが、植樹帯・植物枝葉は騒音

* 愛知工業大学 電子工学科（豊田市）
** 愛知工業大学 電気工学科（豊田市）
*** 愛知技術短大 （蒲郡市）
**** 市邨学園 植物学専攻（名古屋市）

の軽減効果が期待される、重要な対策の一つである。

植樹帯を設けることは、環境上からもよい結果となる。この植樹帯の遮音や減音作用の研究成果は、文献にあるよう、多く発表されている⁽⁶⁻¹⁸⁾。他方、造園学の方面からも、緑化事業として計画されて、安らぎを持つ心理効果、排気ガス吸着など大気の浄化、気候調節機能、景観の向上、音響環境の創造の効果を持っている。我々は植樹帯をはじめ植栽による枝葉などの物理的、さらには工学的機能の効能について考察を加えようとした。



第1図 周波数対減衰量 (生け垣の場合)

2. 植栽植樹枝葉の音波への影響

一般に生活環境の整備に当たり、機能植栽は、それが持つ生理的、物理的特性を利用するが、騒音に関する対策とするものでなく、単なる遮音、遮光、視覚、植栽に目的がある。我々は公害対策基本法第9条で決められている騒音に係る環境基準値以下に音のレベルを保つよう、騒音の緩和、すなわち、遮音効果を向上するため実験を進めている。具体的には、植樹の種類、植栽のパターン(配置、間隔、組み合わせ)、群植形態(樹高、帯幅)、植樹枝葉の形状・大きさ・密度など、遮音レベルを量的に決めている因子群が考えられる。さらに、騒音伝搬経路を断絶するように、対面的に形状、植物組み合わせシステムを考慮した群植、なおかつ多重層で直列多層による方法で遮音効果を高めることが可能である。

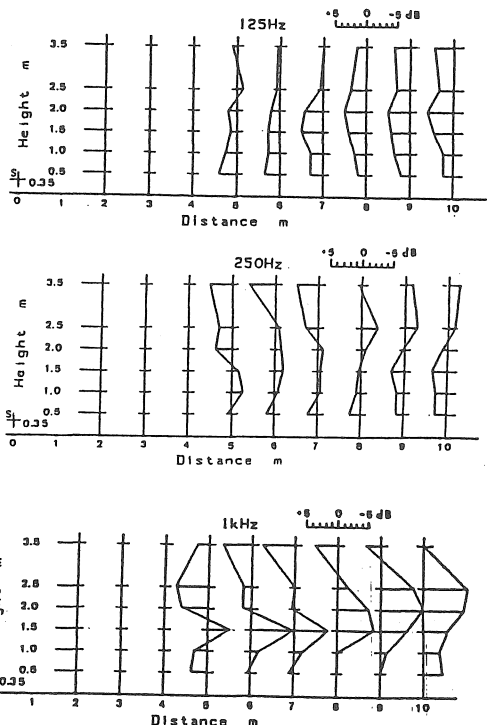
(a) 環境緑構造の基礎研究の中で、1982年三沢氏による周波数対減衰量(生け垣)特性(第1図参照)は典型的な特性で、その減衰量 A [dB] を示す方程式

$$A = f^2 \sum_{i=1}^n C_i \cdot Q_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし f: 周波数 C_i: 樹種の音響係数

Q_i: 樹種の総量 (cm³)

が周知の式となっている。一般に音の伝搬は、植物によって低い周波数で余り影響がなく、中間域(1~2kHz)から周波数の増加と共に減衰量も大きくなる。また、鹿島氏・田村氏^(7, 8, 12)は道路交通騒音対策として植樹帯や植林帯の減音効果について、詳しく研究し、その成果を報告している。特に公園などに実在する植樹帯とか植栽した植樹帯の挿入損失として測定を行った。その結果を引用させて頂き第2図に示すことにした。これは挿入損失の空間分布であ



第2図 植物(椿の場合)の損失
[高さ・距離・周波数分布]

って、高さの垂線(各地点における)、この線の左(減衰)、右(増幅)により表示した図である。125Hz、250Hz、1kHz の3つの代表例の特性で、増幅については1kHz~2.5kHz 当たり存在しているが1kHz 図では顕著に現れている。見掛け上の増幅的振る舞い現象があることについて、その原因は植樹帯の通過音と上端部で回折音の干渉、共振、地表面からの反射音との干渉で起こる過剰減衰が散乱により

妨げられる結果だと述べている。

(b) 模型実験について、植物帯の挿入損失 (IL) を葉面積 (FL) との関係で測定して報告⁽⁸⁾があるが、また各種の矩形板を空間に吊るして無響室内で実験した報告もある⁽⁹⁾。そして IL と FL の一定の関係があつて次の式を提示している。

$$\frac{IL}{(FL)^n} = m \log(k \cdot a) + C \quad \dots \dots \dots (2)$$

ただし $k \cdot a$: 散乱係数 k : 波長定数
 a : 板の長さ m, c : 定数

ここで $k \cdot a = 1.5 \sim 2$ 、 $\frac{IL}{(FL)^n} < 0$ 、文献(9)では、 $n=0.5 \sim 0.7$ 、 $m=5 \sim 6.5$ 、 $c=1$ の値を示している。つまり増幅的振る舞いをすることが述べられている。

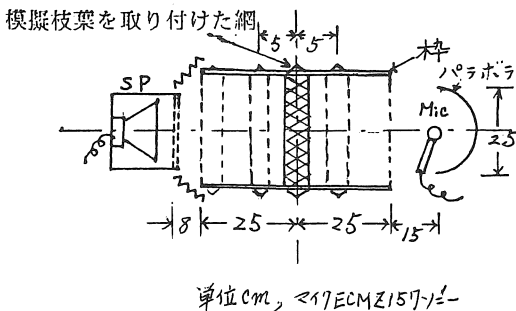
(c) 模擬枝葉 (ポリエチレン) の測定のため無響室内に測定セットを置き、模擬枝葉として、葉面積 72.5 cm^2 (8葉の合計) の1組枝葉を1枠 (3 cm^2) の金網 (15×15 マス) に取付、密度Dの試料として1層 (1枚) の遮音壁とする。この壁から透過音は、パラボラ集音器付きマイクで電気信号に変換する (第3図)。我々は測定に当たり

$$\text{減衰量} = [(\text{無模擬枝葉の場合の相対レベル}) - (\text{各層相対レベル})] \quad \dots \quad (3)$$

ただし、相対レベル: [SPに供給する電圧 (一定)] 対 [マイク側出力電圧] の対数值 (dB)

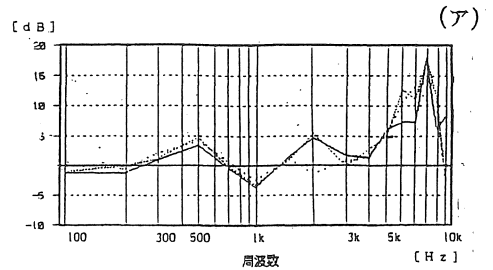
SP: スピーカ

と定めて、網の間隔、層数など各種の測定を行った。

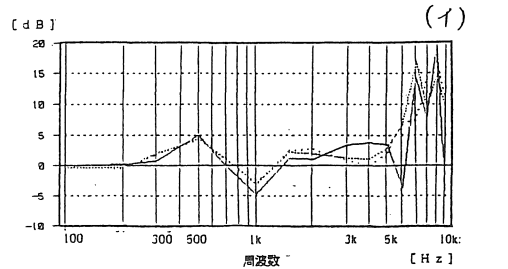


第3図 測定セット

第4図 (ア) および (イ) に周波数対減衰量特性図を示している。(ア) の場合はSPとマイクを中心に各々 5.0 cm 、 7.5 cm 、 10 cm 間隔に5層の試料を取



スピーカよりに密度: Dで5枚の
 $5.0, 7.5, 10.0 \text{ cm}$ 間隔の比較



中心に密度: Dで5枚の
 $5.0, 7.5, 10.0 \text{ cm}$ 間隔の比較

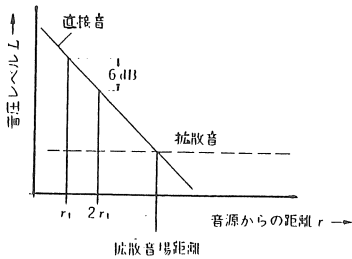
第4図 周波数対減衰量特性曲線

付けた特性であり (イ) の場合は、取付枠のSP側に近い方から、各々3つの間隔に5層試料を置いた特性である。この結果においても周波数 1 kHz max で負の減衰、すなわち音波振幅の増大という増幅的振る舞いが明らかに実測された。

3. 増幅的振る舞いの考察

前述2. の(a)、(b)、(c)のいずれの場合も、周波数が約 1 kHz から周波数が高くなるに従い減音効果 (減衰) が大きく出現する。これらのグラフからみると、低域通過形フィルター (L. P. F) となるから、植樹帯を初め、枝葉の形状を持つ模擬枝葉や板片も葉状の形ならば、これら(a)、(b)、(c)は同様の特性を示すことが解る。なお、 1 kHz を中心とする、その近傍における音波増幅的振る舞いの存在は、(a)ではその原因として過剰減衰 (直接波と地表面からの反射波の干渉) があつて、植樹帯が無い場合の

音圧レベルから、ある場合の音圧レベルを引く挿入損失に見掛けの増幅が生まれる。しかし、このことは2。(b)、(c)において説明がつかない。我々は第一に透過音と枝葉の他の部分での回折音が干渉すること、第二として、透過音(枝葉の間隙を貫く直接音も含める)と枝葉の各部からの散乱音が周波数一定のために同位相的合成音となる、このような受音点において増幅的音波を得ると考えている。さらに音源(スピーカ)は純音であり、枝葉による音波の反射、屈折、回折と散乱などから拡散音場が形成される。無響室内では時間的に一定な白色雑音(直接音以外は総合音において)を音源とする音の放射は時間的定常となる。特に大きくない音に対して室の残響が長引く場合では第5図に示す関係があ



第5図 定常信号による閉空間の音場

る。室全体に音波方向と一定の平均エネルギーに関して拡散した音場ができる。音源からの放射音がインパルスの場合、直接音エネルギーが他の全反射音の和のエネルギーと等しくなる。結局、枝葉が多数の音源となった音場とみなされて、散乱音は他のそれと重なっていき、得られる時間関数が、こうした状態は、多次元不規則過程 $[Ru(x, t)]$ (ここで、 x は1~3次元空間ベクトル、 t は時刻とする) 振動問題として進行する定常など音場の調和波を考えてみる。

$$Ru(x, t) = A \sin 2\pi k_0(x - vt) \dots \dots \dots (4)$$

ただし k_0 の波数、 $f_0 = vk_0$ の周波数
 A の振幅、 $\lambda = 1/k_0$ の波長
 v の定速度 (x 方向のみへ進む)

を類推することにして、時間平均相互相関関数が、次の式で表される。

$$\begin{aligned} Ru(x, x', \tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{A_0}{2} \int_{-T}^T \sin 2\pi k_0(x - vt) \\ &\quad \sin 2\pi k_0[x' - v(t + \tau)] dt \\ &= \frac{A_0}{2} \cos 2\pi k_0[(x' - x) - v\tau] \end{aligned} \quad (5)$$

ここで $\xi = x' - x$ とおくと

$$\begin{aligned} Ru(x, x', \tau) &= Ru(\xi, \tau) \\ &= \frac{A_0}{2} \cos 2\pi k_0(\xi - v\tau) \end{aligned} \quad (6)$$

(6)式について、場所-時間平均相互相関関数であつて、固定した ξ に対して、 $\tau = \xi/v$ において最大値を示すものである。このことは、 $\tau = t' - t$ の時間差、 ξ の位置間ベクトルと、速度 v の関係によつて音波振幅の最大点が決まる。なお、 v の音波伝搬速度は、 $(331.5 + 0.61\theta)$ 式 (θ はセルシウム温度)、で表される周囲温度の変数である。さらに、 ξ の増加につれて形が変わり、振幅の減少するのは距離減衰がある。

ここで問題にする多次元に適用したものは、2。の前文に示されている騒音緩和の因子群を示している。すなわち、植物枝葉の間隙を貫て伝搬する直接波の減衰によるものより、前者の減衰が大きければ見掛け上、増幅とみなされて差し支えない。つまり音波伝搬上の経路別音波の相互相関を考える案である。

4. おわりに

模型実験は音波伝搬の物理的現象の把握が明確になるよう、繰り返し測定データを積み重ね、かつデータ処理に工夫を要すると思う。特に植物枝葉による音の散乱効果について、今回の考察が的確なものか、さらに研究したい。今後できだけ早く波形伝送(伝搬)における位相特性と伝搬特性の関連を含めて、標題の件について考察を報告する予定にしている。一方シミュレーションの方法、そして実用面へのモデル、および図表作成等に関しても今後この面からも複合的考察を加えて、工学への応用も重要課題と考える。

参考文献

- (1) 小橋 豊, "音と音波(基礎物理)" 裳華房 (1984)
- (2) 前川、岡本, "騒音防止ガイドブック" 共立出版 (1981)
- (3) 日本造園学会, "環境と想像" p207-213 日本放送出版 (1985)
- (4) Selected Reprints Tech. Review, "Randum

- Vibration" Buel & Kjaer (1975)(5) J.S.Bend at, A.G.Piersol, 得丸, 添田, 他訳
 " Random Data Analysis and Measurement Procedure" John Wily & Sons Inc. (1971)
- (6) 鹿島、田村, " 植物帯による物理的減音効果" 日本音響学会講演論文集Ⅱ p.521-522 (1983)
- (7) 鹿島、田村, " 植物帯による物理的減音効果 (其の2)" 日本音響学会講演論文集Ⅱ p.413-414 (1984)
- (8) 鹿島、田村, " 植物帯による物理的減音効果 (其の3)" 日本音響学会講演論文集Ⅱ p.453-454 (1985)
- (9) 渡辺、山田, " 植物模型による音の散乱" 日本音響学会誌 43巻,11号 p.845-850 (1987)
- (10) 渡辺、山田, " 植物模型による音の散乱" 日本音響学会講演論文集Ⅱ p.389-390 (1982)
- (11) 鹿島, " 騒音伝搬に対する植物の影響 解説 騒音制御" Vol.14, No.1, p.28-33 (1990)
- (12) 鹿島、田村, " 植物帯による減音効果" 日本音響学会誌 43巻,10号 p.729-737 (1991)
- (13) D.Aylor, " Noise reduction by vegetation and ground" J.Acoust.Soc.Am.Vol.51 p.197-205 (1972)
- (14) D.Aylor, " Sound transmission through vegetation in relation to leaf area density leaf width and breadth of Canopy" J.Acoust. Soc.Am.Vol.51 No.1 p.411-414 (1972)
- (15) S.Yamada, T.Watanabe, S.Nakamura, H.Yokoyama, S.Takeoka, " Noise reduction by vegetation" Proc. Inter-Noise 77 p.B599-B606 (1977)
- (16) J.Kragh, " Road traffic noise attenuation by belts of trees" J.Sound and Vib. Vol.74 No.2 p.235-241 (1981)
- (17) M.J.Martens, " Foliage as lowpass filter Experiments with model forests in an anechoic Chamber" J.Acoust. Soc. Am. Vol.67, No.1 p.66-72 (1980)
- (18) M.J.M.Martens, A.Michelser, " Absorption of Acoustic energy by plant leaves" J.Acoust. Soc.Am.Vol.69 No.1 p.303-306 (1981)

(平成4年3月20日 受理)