展望・音環境

音環境の技術展望

塩田 正純*

1. はじめに

21世紀の音環境を考える際に、これまでの音環境はどうであったのだろうか。ひるがえってみると、昭和43年に「騒音規制法」が施行され、順次、「騒音に係る環境基準」、「航空機騒音に係る環境基準」、「新幹線鉄道騒音に係る環境基準」が告示され、平成7年には「在来鉄道の新設又は大規模改良に際しての騒音対策の指針」が設定され、追って平成10年に「騒音の評価手法等の在り方について」が答申され、また平成11年に「騒音の評価手法等の在り方について（自動車騒音の要請限度）」の答申があり、27年ぶりに、騒音に係る環境基準の評価値が騒音レベル（中央値）から等価騒音レベル（LAeq）に変更され今日に至っている。さらに、昭和40年に施行された公害対策基本法に変わって、地球環境をベースにした環境基本法が平成5年に法律第91号として施行され、その20条に環境影響評価の推進が取り上げられている。これを基本にして、平成11年6月に環境影響評価法が本格的に施行され、現在、展開されている。また、大規模小売店舗立地法が平成12年6月に施行されている。これらの法律は、音環境を保全するための基本的な礎として、適正に運用されることが期待されている。さらに、非可聴音から可聴音を含んだいわゆる「低周波音」に関して、環境省は本格的な取り組みを実施し始めてきている。

一方、研究、開発および技術の動向は、基本的な防止対策を継続的に利用・活用しながら汎用的に展開してきている。単独な技術よりは、複合的な技術の取り組みがなされ始めてきている。特に、音響材料、防振材料あるいは制振材料等に新たな材料の出現もあり、環境にやさしい材料として利用され始めている。また、大きな音から小さな音へ、音の影響範囲が拡がり、ますます重要な対応が課題となって

きている。

本稿では、これらを踏まえて音環境分野の現状、行政の動向および音環境の技術展望を私見も含めて言及していきたい。

2. 音環境分野の現状

音環境分野は、理学、工学……社会心理学、社会工学などを含んだ非常に学際的な課題を含み、これらの分野を深耕させながら、実学的に複合化させて騒音発生源—伝搬経路—受音側（人間、動植物、建物など）の一体的な流れの中で効果的な対応を模索し続けているのが現状である。また、環境影響評価法の中の標準項目として、調査、予測、評価の対象になっており、静かな音環境を保全するよう網が被されている。音環境は、うるさい音から快適な音、大きな音からかすかな小さい音、聞きたい音から聞きたくない音まで、拡がりを見せ始めてきている。しかし、騒々しい音がなくなって、初めて快適な音や聞きたい音、かすかな小さい音が際だってくるものと思われる。また、経済成長とともに、騒音発生源になりやすい機械・装置・設備類は、高能力、高エネルギー、大型化などに伴ってますます騒音発生量が高レベルになる傾向にある。このような現状を打破するための音源対策が高度解析技術を駆使しながら挑戦され始めてきている。伝搬経路対策においても、一般化した防音塀が各種考案され、実用化してきている。道路自体も吸音特性を兼ね備えた路盤が出現してきている。

2.1 騒音発生源について

多くの騒音発生源には、下記に示されるようなものがあげられる。

① 機械・装置・設備類関係：鍛造機械、プレス機械、射出成形機械、鋳造造形機械、織物機械、印刷機械、せん断機、ふるい、ダイキャスト、コンクリートブロックマシン、コンプレッサ、プロア、ポンプ、ディーゼル発電装置、空気圧縮機、燃焼炉、抄紙機械

*飛鳥建設機技術研究所
Masazumi SIODA

- ② 鉄道関係：新幹線，在来線，地下鉄，新交通システム，市電，モノレール
- ③ 道路交通関係：乗用車，消防自動車，救急車，バス，ダンプトラック，大型トレーラ，タクシー，オートバイ，コンクリートミキサー車，パトカーなど
- ④ 建設機械関係：杭打機械，破碎機，さく岩機，油圧ショベル，ブルドーザ，トラクタショベル，パワーショベル，ブレイカ，パイプロハンマ，ふるい機械，シールド機械，振動ローラなど
- ⑤ 爆発関係：ダイナマイト，発破，火薬類
- ⑥ 船舶関係：貨物船，客船，モーターボート，釣り船，タグボート，水中翼船，潜水艦，遊覧船など
- ⑦ 航空機関係：旅客機，ジェット機，輸送機，戦闘機，プロペラ機，ロケット，ヘリコプターなど
- ⑧ 生活関連：住宅設備機器類，家庭用電化設備類，ポンプ類，自家発電設備類，終車設備，冷水塔設備類，エレベータなど
- ⑨ 近隣関係：動物の鳴声，カラオケ，自動車類のクラブカシ，楽器類，子供のいたずらなど
- ⑩ その他：乗り越し清算機，横断道路の信号機(?)，商店街の宣伝放送，携帯電話の呼び出し音，銀行自動払い出し機の音，エレベータ内の案内用声など

これらにはサービス過剰な音も存在しており，時の流れで消滅してしまうものもあるが，機械的なメカニズムが改良・改善されなければ騒音の低減が図れないものも存在している．特に，商品生産に深く関わっている機械・装置・設備類は，単体での騒音対策で目的を達することに困難を極めている．しかしながら，作業環境の立場から，機械本体のフレームやケーシングなどの複合化，防振装置の一体化により，従来のものに比べて，低騒音化・低振動化が図られてきている．また，各種騒音発生源の周波数特性に合わせて，アクティブ騒音制御技術を導入する方向での挑戦が続けられている．

2.2 騒音測定・解析方法について

測定に関しては，ISO1996を基本にした日本工業規格：JIS Z 8731—1999 環境騒音の表示・測定方法や騒音規制法による一定の方法がある．また，住宅の遮音性能に関する測定についても日本工業規格：JIS A 1417—1419などでの方法がある．これらの測定法を用いて多量のデータを蓄積して統計処理などをしながら，規制値や基準値との比較をして現状把握や対策への基礎データとして利用している．一方，高度な分解能を駆使して，音響現象を追

求することも行われている．これらには，原波形のスペクトル解析やモーダル解析から伝達関数，コヒーレンス関数，パワースペクトル，音響インピーダンスなどを求めて騒音発生源の音響パワー特性や伝達経路，放射特性の情報を得ている．また，理論解析として，有限要素法，境界要素法，差分法などの数値解析を行っている．他には，音源を推定するための測定技術として，音響ホログラフィ法，音響インテンシティ法あるいはマイクロホンアレイ法があり，利用されている．さらに，音響信号を周波数分析するに当たって，時間領域と周波数領域の両方をもつデジタルフィルタにより信号解析が可能となり，現在では，短時間フーリエ変換，ウェーブレット変換，ウイグナービル分布などが提案されて，より高度な解析を駆使することにより音源対策に活用・利用されてきている．

2.3 騒音予測手法について

本予測手法に関しては，騒音発生源ごとに存在している．理論式，実験式，経験式など，それぞれ一長一短ある．現実には，環境影響評価を実施する際に利用されている．その中でも，日本音響学会から提案された「道路交通騒音の予測モデル：ASJ Model 1998」は，多方面で利用・活用されていくものといえよう．この予測モデルの特徴は，適用範囲として，① 対象道路：道路一般部，道路特殊部，② 交通量：制限なし，③ 自動車の走行速度：自動車専用道路と一般道路の定常走行部—40～140 km/h，一般道路の非定常走行部—10～60 km/h，インターチェンジ部などの減速・停止部—0～80 km/h，④ 予測範囲：道路から水平距離200 m，高さ12 m，⑤ 貴重条件：無風で特に強い気温の勾配が生じていない状態を標準とするとされている．その他の騒音発生源に関する予測手法に関しては，参考文献²¹⁾に詳細に紹介してあるので割愛する．

2.4 騒音伝搬について

各種騒音発生源から発生する騒音は，近距離伝搬から遠距離伝搬かつ複合伝搬して，時間とともに減衰する．特に，道路交通における近距離伝搬では，道路沿道沿いにある住宅，病院，学校などの文教施設あるいは老人用住宅の社会施設に対して，少なからず影響を及ぼしている．道路交通からの発生は，タイヤと路面の摩擦音によるもの，自動車のエンジン音からのもの，あるいは排気管を通した排気音からのものが複合して伝搬してくる騒音である．これ

らの騒音量は、走行速度が増すにつれて上昇する傾向にある。しかしながら、路面への摩擦力低下およびポーラスな路面により騒音の低減に取り組んでいる。さらに、デザイン化された防音塀や防音壁に植栽を利用して、回折効果あるいは反射音の減少などに努力している。高速道路下の天端に吸音性材料を施工して反射音による伝搬の影響を低下させている。

また、工場・事業場内に設置されている機械・装置・設備からの騒音伝搬は、内部騒音の低下により影響が少なくなり始めてきているが、外部騒音源が多く存在する石油プラントでは、騒音予測シミュレーションを駆使して伝搬傾向をあらかじめ把握して複合伝搬の影響を少なくするよう努力している。航空機騒音に関しても、音源対策もさることながら、飛行コースの検討を行いながらできるだけ影響範囲を縮小するよう努力している。新幹線鉄道騒音、在来鉄道に関しても高架部分には各種防音塀を設置したり、固体伝搬音による二次放射音を低減するためにダンピング材料を利用したり、トンネル出入口に吸音性材料を施工して反射音の低下に努力している。建設作業に伴って発生する騒音に関しては、低騒音型・低振動型といわれる建設機械を活用して実施し、仮囲いを併用した防音塀により伝搬の影響を低減するよう努力しているが、困難なことが多い。

2.5 建物騒音について

快適な居住空間の中で、快適な日常生活を営む基本的な要求が、ここへきて日増しに強まってきている。特に、住宅建築物における性能表示への要求が高まってきている。建物騒音の発生源は、外部騒音源と内部騒音源の両方があり、複合騒音となりやすい。内部騒音源は、2.1 騒音発生源の⑧生活関連に記述されているものおよび家事作業、楽器/音響機器あるいは飼育動物など多く存在している。これらのほとんどが、低い方は40dBから高い方は100dB

前後までとなっている。また、外部騒音源は用途地域に関わらず、2.1 騒音発生源の多くが存在している。多くの場合、70dB以上の騒音がほとんどである。これらの騒音から解放されるには建築（設計・設備/建設）側と住み手（住居者/購入者）の認識の一致が重要であるが、現実には表1のようなミスマッチが存在している。さらに、構造的な条件によって左右されるため、特に、二次放射音の寄与を見いだすことが困難となっている。これらの条件を踏まえながらも[住宅の品質確保の促進等に関する法律]が、平成12年6月より本格的に施行されている。

2.6 騒音制御・対策について

高度な解析技術の開発と並行して、従来の対策方法と最新の先端的な騒音制御・対策技術が開発継続されてきている。従来の対策方法には、下記のようなものがある。

- ① 音源対策：防音カバー、吸音衝立、防音ラギング、防振処理、制振処理、消音器
- ② 伝搬経路対策：防音塀・防音壁、バッファービル、密度のある緑化/植栽
- ③ 受音側対策：建物遮音、建物吸音

先端的な騒音制御・対策技術として、表2にその例を示した。この制御技術は、すでに実用化されているものもあるが、いまだ開発中のものもある。一次元音場としてのダクト系は、空調設備に応用されてきている。三次元音場での自動車室内の騒音制御も実現してきている。道路交通用防音塀の回折音低減に適用しようと挑戦しているが、大きな成果は出ていない。

2.7 騒音防止材料について

機械・装置・設備、自動車、鉄道、航空機、船舶、土木・建築構造物あるいは空気調和設備機器、電気機器など多岐にわたっている騒音振動防止材料は、特に環境保全や省エネルギーに重点をおいて、再利

表1 一般的認識と基本的認識の比較²⁵⁾

	一般的認識	基本的認識
建築主	専門家に任せれば、適正な性能が保証可能である	適正なコストには、適正な性能が合致する
設計者	建築に関してポリシーと知識をもつ高度な専門家	ポリシーと高度な知識により、要求項目を性能設計
施工者	設計者と協力して性能の良い建物を建築する技術者	建築主、設計者の方針要求に則って建築する技術者
性能	設計とおりに建築すれば、性能良い快適空間が完成	設計とおりに建築しても性能をどのように確認？
設計	建築主・居住者の要求項目が網羅されている	建築主・居住者の要望は、コストのバランスが必要
技術	技術革新が進んでいるので、性能保証は可能	建築技術全体の性能保証・表示はまだ未整備・尚早
施工	高度な建築技術を駆使しているので性能保証は可能	高度な建築技術を駆使しても接合部等に未整備技術有
管理	性能表示、性能保証等には、当然対応すべし	性能表示、性能保証等には、時期尚早の感あり
居住者	快適な居住環境は、性能設計を実現しているから	建築物の性能設計は時間とコストのバランスが必要

表2 アクティブノイズ制御技術の分類

分 類	技 術 概 要	適用機種	開 発 状 況	備 考
音 場 の 消 音	サイレンサ 圧力脈動吸収装置 <ul style="list-style-type: none"> 伝搬音の吸収・反射による減音 圧損の増加なし ダクトの音響特性の変化 	ファン 空調ダクト エンジン ガスタービン 水・油配管 ほか	<ul style="list-style-type: none"> 最も単純で古くから研究開発が進んでいる。 基本的なアルゴリズムは確立、実機適用、商品化が進んでいる。 最近はハードをシンプル化し、信号処理でフィードバック不安定を抑制する方法が主流 高次モードを形成する高周波音の抑制に関する研究に進んできている。 	高温、汚染ガスへの対処が課題
	閉空間こもり音対策 <ul style="list-style-type: none"> 二次ソースで逆位相の音場を形成 共鳴音については空間平均音圧を低減可、非共鳴音については局所的減音のみ可 	自動車 航空機 一般の居室 ほか	<ul style="list-style-type: none"> 研究開発中で、下記局所空間の消音も含めた実機試験が行われている。 	周期音が主であり、回転数変化への追従性が課題
	局所空間の消音 <ul style="list-style-type: none"> 波長に比べて十分狭い空間を消音 多ch化して消音領域を拡大 拡散音場、自由音場、一般の音場に適用 	同 上 開空間	<ul style="list-style-type: none"> 最近になって研究開発が進んできている。 多ch制御がポイント。自動車では数ch、航空機では20～30chのテストが行われている。 広帯域ランダム音の制御は難しく、周期音が主な対策 	演算のスピードアップシステムのコンパクト化が課題
	回折音の減少 <ul style="list-style-type: none"> 塀の頂上に二次ソースを配置して回折音が最小となるように制御 	防音塀	<ul style="list-style-type: none"> 最近研究に着手された。 	システムのコンパクト化が課題
	小さなキャビティの消音 <ul style="list-style-type: none"> キャビティが小さいので高周波まで消音化 	イヤープロテクタ	<ul style="list-style-type: none"> 既に商品化済み 不要な音のみ消音するよう研究開発中 	
	放射音響パワーの低減 <ul style="list-style-type: none"> 音源から1/2波長以内に二次ソースを設置 又は音源を囲むように二次ソースを設置 	全 般	<ul style="list-style-type: none"> ダクト用口端からの放射音についてはこの原理が使用されており、これについては 実用化済み 音源を囲むことは実用的には難しい。 	
	壁のインピーダンスコントロール <ul style="list-style-type: none"> スピーカーで壁を作成 近接音圧や膜の振動を制御してインピーダンスを制御 	ホール 一般室内 ほか	<ul style="list-style-type: none"> 国内外で研究開発中。ただし実験室段階 	
音場境界の制御	壁の遮音増加 アクチュエータ <ul style="list-style-type: none"> アクチュエータで壁の振動を抑え、遮音量やダンピングを増す。 	全 般	<ul style="list-style-type: none"> 最近ビエゾアクチュエータを使用した研究開発が進められているが、まだ実験室段階 	壁の振動モードを考慮した制御が必要
	アクティブマウント アクティブ制振 アクチュエータ <ul style="list-style-type: none"> 固体伝搬音の防止という意味で低騒音化につながる。 	エンジン コンプレッサ ほか	<ul style="list-style-type: none"> 機械力学の分野で広く研究開発 現代制御理論によるフィードバック制御が主流であるが、最近フィードフォワード制御も検討されている。 一部実用化済み 	アクチュエータの動力が最大の問題点
	アクティブフローコントロール <ul style="list-style-type: none"> 流体自励音、自励振動の防止 燃焼振動の防止 乱流遷移、噴流混合の促進 不安定流れに作用して流れを安定化 	流体機械 全 般	<ul style="list-style-type: none"> 最近、注目され研究が盛んになってきているが、まだ実験室段階 一種の音源対策 	

(出典) 西村正治 (MHI) : 空気音とアクティブコントロール, 日本音響学会講演論文集, p.508 (1990.3)

用も可能な材料を導入利用し始めてきている。最近よく話題になっている「排気ガスの除去と騒音低減」のための材料として、光触媒を塗布した吸音材料がある。この材料には、セラミックの再利用を基盤として数mmの酸化チタンの塗布により、NO_xの除去とともに騒音低減のための吸音特性を組み合わせた特徴をもっている。表3は、道路関係、鉄道関係あるいは住宅関係について、リサイクル材料として利用されているものである。また、騒音防止材料は、音響（吸音・遮音）材料、防振材料あるいは制振材料を適正に組み合わせることによって本来の目的を達成する材料である。特に、機械的に加振された物体が共振現象を生じた場合に、制振材料によって振動エネルギーを吸収し、振動振幅の低下を期待するものである。騒音防止材料も「環境にやさしい材料」として、実用的に展開されてきている。

2.8 騒音評価について

騒音影響に係る科学的な知見は、睡眠影響、聴力影響、会話影響および不快感などの研究を根拠として示されている。騒音の時間的な変動タイプは、定常性から衝撃的な成分などを含んだ非定常性の幅があり、それらの騒音を聴いた場合の反応、影響にバラツキがあるため、国内では、騒音発生源ごとの騒音評価を取り入れてきたものであろう。しかしながら、27年ぶりに、一般地域、道路に面する地域の環

境基準の騒音評価を騒音レベルの中央値から等価騒音レベルによるものを採用した。これは、下記に示すような利点があることによった。

- ① 間欠的な騒音を始め、あらゆる種類の騒音の総暴露量を正確に反映させることができる。
- ② 環境騒音に対する住民反応との対応が、騒音レベルの中央値に比べて良好である。
- ③ ①の性質から、道路交通騒音などの推計においても、計算方法が明確化・簡略化される。
- ④ 等価騒音レベルは、国際的に多くの国や機関で採用されているため、騒音に関するデータ、クライテリア、基準値などの国際比較が容易である。しかしながら、測定の実用性に課題があるが、その点も承知の上で、道路交通騒音の環境基準、要請基準に関して採用している。工場騒音、航空機騒音、鉄道騒音および建設作業騒音に関しては、従来の騒音評価となっている。

2.9 低周波音について

低周波音は、可聴音域から非可聴音域を含んだ音波を称し、周波数1～20Hz以下の音波を超低周波音と呼び、およそ100Hz以下の低周波数の可聴音と超低周波音を含む音波を低周波音と呼んでいる。低周波音の発生により、人間がその影響を受けるような場合、下記のような反応などを示すことが多い。

- ① 直接的影響：心理的妨害、物的被害

表3 各分野で利用される環境にやさしい音響材料の例⁹⁾

分 野	材 料	材料の構造	実施例
1) 道路関係	多孔質弾性舗装材料	排水性舗装とも言われ、空隙率20%程度で、高粘度バインダ改質アスファルトと5号砕石粗骨材を利用	一般国道230号、阪神高速神戸線
	高架裏面対策用吸音材料	金属成型パネル（グラスウール+PVFフィルム）、成形繊維パネル、その他には、セラミック系、アルミ系等がある	阪神高速神戸線
	光触媒機能付吹付型吸音材料	セラミック系人工骨材とセメントペーストを主体にして吹付型吸音材料を作製し、その表面に酸化チタンを混入吹付	千葉県で光触媒による大気浄化沿道暴露試験
2) 鉄道関係	鉄道高架用防音材料	回収ガラスのリサイクル品である焼成発泡砲ガラスを主原料とした吸音パネル	在来線
	鉄道用防音壁材料	従来の防音材料を利用して、直立型、近接型、窓開き型、逆L型等の効果を実験的に確認	新幹線、在来線
	低廉型軌道吸音材料	本材料は、無機質粒子結合材（オトメイト）である。これは、粒度がそろったケイ砂等の無機質粒子をエポキシ樹脂等の耐候性樹脂で結合した硬質吸音材料である	新幹線、在来線
3) 住宅関係	自然素材	プラスター、セメントモルタル、漆喰等の附着材料として自然に存在する石灰岩を利用、珪藻土と漆喰との混合材を利用	集合住宅、病院、社会施設、学校等の壁面仕上げ
	再生建材	廃材、廃棄物等によるタイル、ボード、土レンガ等の建材を再生利用する	

表4 低周波音の領域

領域	領域内の概要	領域	領域内の概要
領域(1)	●戸、障子などがガタつくこともなく、特別なことがない限りどんな低周波音も感じたり、圧迫感などはない。	領域(4)	●戸、ふすま、障子、木製窓枠とガラスのガタツキにより、「耳、胸、腹」の圧迫する感覚も鋭くなる。20 Hz以下の周波数であっても音圧レベルが高いので、外耳から内耳にいたる伝達機構にある非線形性のため、倍音が発生し、明確に「音の感覚」を生じることもあり、強い苦情が発生する可能性が大である。
領域(2)	●戸、障子などがガタガタ鳴ることはないが、モータやボイラ、圧縮機等の低い音が聞こえたり、圧迫を感じたり苦情の発生につながる可能性大である。この領域は『低周波音』である。 ●近隣関係を悪化させる近隣騒音の性格が加味される。		
領域(3)	●低周波音そのものは知覚されないが、戸、ふすま、障子、木製窓枠とガラスのガタつきあるいは人形ケース等の揺れによっても間接的に知覚される。多くの場合、20 Hz以下である。この領域は、「聞こえないのに苦情が発生する」といわれる『超低周波音』である。

② 情緒的影響：生活妨害、身体的妨害

③ 総合的影響：苦情、陳情などの行動的反応

これらのことを踏まえて、低周波音を評価するには、感覚的、睡眠影響、物的影響および圧迫感・振動感のそれぞれの影響について検討する必要がある。表4は低周波音の領域を示したものである。最近では下記のような項目の検討がされてきている。

- ① 超低周波音の感覚および睡眠への影響に関する評価として、G特性音圧レベルを測定し、100 dB (G) を超えるか超えないかで、その影響を評価しようとするものである。
- ② 低周波音による建具などががたつきに関する評価として、1/3オクターブバンド幅で周波数分析して評価しようとするものである。
- ③ 低周波音による圧迫感・振動感に関する評価として、1/3オクターブバンド幅で周波数分析して評価しようとするものである。

3. 騒音・振動行政の動向

21世紀を目前にして、騒音・振動行政の変換点に達してきている。これまでの行政は苦情対応方が主力で経過してきたが、これからは苦情対応も含めて、音・振動環境保全の先取りをどのように行政に反映させていくかが課題となつてこよう。可聴音域の騒音発生源に関する行政的な法制化は、取り敢えずメニューが揃ってきており、これらの精度をどのように上げていくかが課題となつていくものと思われる。一方、非可聴音域の領域に関して苦情等が寄せ

られている事実を垣間見ると、これらの実態や影響について早急に取り組み、対応していくことが問われている。一定以上の騒音レベルに関する騒音対策技術は、ほぼアッパーリミットの段階にきているようであるが、かすかな小さい音に関しては、可聴音領域以上に「聴こえ」に対する反応のばらつきが予想され、特に、敏感な聴覚をもつ人々への対応が困難を極めることになりそうである。これらのかすかな小さい音は、発生源近傍では低い騒音レベルともいえず、住宅内などの密閉度の向上により、特に低周波領域といわれる「20～60 Hz」前後の周波数に関して、微妙に連続して聴こえるため、何らかの影響を与えることになっているようである。これらのことも含め、環境庁は、全国的にデータを収集することにより、新たな科学的知見を見いだすことで汎用的な対策技術までもっていければとしている。また、27年ぶりに改訂された「一般地域及び道路に面する地域の騒音に係る環境基準」は、道路交通騒音の影響低減に寄与することを期待している。しかし、ますます集中する都市部の流通・運搬等に関する道路交通騒音問題は、交通計画、土地政策、さらに建築構造物などのからみで解決の目途さえつかないような状況で推移している。ここへきて、これら

表5 騒音アセスメントにおける予測計算値と実測値の差異要因

	要因	差異要因	精度向上のための条件
音源	音源の抽出	<ul style="list-style-type: none"> ・多数の音源のうち、ある一定レベルの音源のみを考慮する ・音源の抽出不足および追加された音源の考慮不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・多数の音源をデータベース化する ・音源データがない場合には、できるだけ、同種同型の機械・装置・設備の騒音量を実測する
	音源条件	<ul style="list-style-type: none"> ・機械・装置・設備類の性能（出力風量、回転数、羽枚数、圧力損失、気筒数、流量、流速、容量、電圧、開度、温度、湿度、熱量、空気圧、ストローク数、荷重…等）に対する考慮不足 ・機械・装置・設備類の形状（寸法：短辺・長辺、横・縦、深さ、厚さ、薄さ、角度、材料等）に対する考慮不足 	<ul style="list-style-type: none"> ・機械・装置・設備類から発生する騒音を「発生メカニズム別」および「性能別」にデータベース化する ・機械・装置・設備類の形状から、騒音放射面を設定する、できなければ騒音放射面からの騒音量を実測する ・機械・装置・設備類から発生する騒音の指向性を実測から得るか簡易的なパラメータとして考慮する
	音源データ	<ul style="list-style-type: none"> ・パワーレベル、音圧レベル、騒音レベル、周波数特性、指向性あるいは超過減衰等の適用条件が考慮不足 ・周波数範囲を限定することによる過小評価 ・騒音量は、最大値か、平均値か、中央値か、等価騒音レベルか等などの混合による利用 	<ul style="list-style-type: none"> ・音源データの設定条件（例：パワーレベルか、音圧レベルか、騒音レベルか）を統一化する ・騒音の周波数範囲（63Hz～8kHz）を考慮する ・騒音量を統一する
伝搬経路	遮へい	<ul style="list-style-type: none"> ・遮音壁、遮音壁、建築物（住宅、事務所、工場など）あるいは構造物（高速道路、橋梁、広告塔など）が存在する場合、それらの回折減衰の計算方法に一貫性がない ・厚み、高さ、長さあるいは吸音、反射、遮音、防振、地盤の吸音、反射など考慮すべき項目の単純化 ・音源－受音点の条件（フルネル数$N>$, 0, $<$）の簡素化、すなわち、代表周波数のみの考慮 ・樹木・植生の回折減衰量の期待過多 	<ul style="list-style-type: none"> ・遮へい条件と計算条件の明確化による計算の徹底 ・遮へいのみの回折減衰量の独立化－厚み、高さ、長さあるいは吸音、反射、遮音、防振、地盤の吸音、反射などを考慮したかどうかを明確にする ・オクターブバンド周波数での実用的な回折減衰量（25dB）を考慮する ・樹木・植生の回折減衰量は、実測による値を利用することが望ましい
	超過減衰	<ul style="list-style-type: none"> ・温度・相対湿度の条件に左右される、特に高周波数での値にかなりのばらつきがある ・研究者によって、取り扱いが異なっており、計算式や図表による方法もある ・空気の吸収を期待できる距離が明確に考慮されていない 	<ul style="list-style-type: none"> ・考慮する距離や温度・相対湿度の条件を明確にすること ・距離によっては、考慮しない ・計算式によるのか図表によるのかを明確にすること ・理論式を利用の場合は、研究者を明記する
	風、気温の影響	<ul style="list-style-type: none"> ・風向、風速あるいは気温の条件に左右される ・定量的なデータが乏しく、どのような値を用いているのか明確でない 	<ul style="list-style-type: none"> ・条件設定を明確にした実測データを利用する ・考慮していないことも明記にする
	地表面の反射吸収	<ul style="list-style-type: none"> ・反射吸収の適用限界があいまいであるとともに定量的なデータが乏しい ・地表面形状あるいは音源と受音点の地表面からの高さが具体的でない ・空気の吸収と地表面の吸収を加えたものを利用することがある 	<ul style="list-style-type: none"> ・条件設定を明確にした実測データを利用する ・考慮していないことも明記する ・理論式を利用の場合は、研究者を明記する

のからみを単独で解決するのではなく、現実にはできるものから実施していく方向へ転換し始めてきているようである。いわゆる激甚地区といわれる都市部の一級国道沿道では、建築構造物の遮音性の高度化に期待を寄せ始めている。また排気ガスからの粉じん対策を実施することにより、並行して、騒音・振動も低減可能な方策も取られ始めている。道路の路盤をポーラス状にしてタイヤノイズを低減するとか、施工面で健闘してきている。振動規制法に係る振動に関しては、騒音に隠れて年間の苦情件数はそれほど多くないが、現実的な苦情は規制値以下で発生している。道路沿いでの道路交通振動の発生は、路盤のフリクや不連続による段差などからある程度

明らかになっているが、増幅する木造住宅の基礎部から構造物までの構成あるいは地盤状況などがからんで複雑を極めている。道路管理者は、路盤状況を改良することにより、振動を低減する方向で進めているが、抜本的な解決に繋がっていない。21世紀まで持ち越され、同様な議論が繰り返されるであろう。個別の行政対応を進める中で、一定規模以上の事業に関しては、環境影響評価法によりあらかじめ調査、予測、評価をすることにより、環境保全を積極的に行っていくことで展開されてきている。建設省では、「住宅の品質確保の促進等に関する法律」を施行し、展開をし始めている。また、通商産業省は、「大規模小売店舗立地法」を施行して、特に騒音の発生に

表6 騒音評価手法としての等価騒音レベルと騒音レベル中央値との一般特性の比較

	L_{Aeq}	L_{50}
基本的特性	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音のエネルギー平均値 (dB表示値) ・突発的、間欠的な音に影響される (時間的、空間的安定性は高くない=感度が高い) ・騒音の変動特性によらず適用でき複合騒音にも適用容易 	<ul style="list-style-type: none"> ・騒音レベルの中央値 ・突発的、間欠的な音に影響されにくい (時間的、空間的安定性が高い=感度が低い) ・騒音の特性が異なる場合や複合騒音の場合の評価が困難。また、異なる騒音に対する測定結果を相互に比較することが困難。
	両指標により同時に計測した場合、騒音の変動の度合いにより程度は異なるが、通常 L_{Aeq} の方が L_{50} よりも値が大きくなる。	
住民反応との関係	間欠的な騒音をはじめ騒音の暴露量が数量的に必ず反映されるため住民反応と比較的よく対応する。	L_{Aeq} と比較すれば、間欠的な騒音が数量的に反映されにくいため、住民反応との相関はあまりよくない。
予 測	騒音のエネルギーを時間平均したものであるため、予測地点の騒音分布を再現しなくても騒音のエネルギー平均値を予測するば足りる点で予測計算が簡略化・明確化される。	騒音分布に左右されるので、厳密には、予測地点における騒音分布を再現する必要がある点で予測計算が行いにくい (ただし、経験式による予測の実績はあり)
測 定	騒音レベルの変動に敏感な指標であるため、変動が大きい場合には、ある程度の時間をかけて測定しなければ安定したデータが得られない。(安定性と実用性の両立が課題)	比較的短時間の測定で安定したデータを得ることができる。
国際的動向	国際的に多くの国や期間で採用されており、国際的なデータの比較が非常に容易。	国際的にはほとんど使用されていないので、国際的なデータの比較が難しい。

関して一定の制限を課している。

21世紀の音環境保全への要求はかなり強まってくるものと考えられ、行政側も走りながら政策を履行し、研究・開発側もそのための情報発信が社会への重要な責務となってくるものといえる。

4. 音環境の技術展望

4.1 技術的課題について

音環境保全技術は、ここへきて成熟傾向を示し、単体技術では効果的な成果を発揮できにくいところへきつつある。特に、道路交通騒音の低減を進めるための技術として、純粋な音環境保全技術だけでは抜本的な解決を望めない状況となっている。行政的な総合政策の中で、例えば、沿道対策を実施するには、用途地域、交通計画あるいは土地利用計画をベースにして、交通流、道路構造、建物計画などに関して、音環境保全技術をどのように導入していくかが課題となってくる。音源対策—伝搬対策—受音点

対策の一連の技術は、独立して対応するのではなく、総合的な立場で行うことが重要である。騒音源の発生メカニズムが精度良く把握できれば、従来の技術によって達成可能であるが、ある一定の騒音低減を達成した中で、さらに騒音低減効果を発揮するには、全体系で対処することが求められる。

また、複合伝搬の影響による上昇を抑制するために、戦略的なモニタリング技術の確立が急務といえる。騒音発生源の周波数特性を発生源側に情報として発信することにより、特に激甚地区といわれるエリアには、騒音の状況をリアルタイム周波数解析結果から騒音伝搬予報として知らせることが必要である。このことにより、交通流の経路変更や速度制限などの行政的な手立てがリアルタイムに可能となるものといえる。

4.2 新たな騒音制御技術について

在来の騒音制御技術の延長線上では、抜本的な技術の期待は難しいのではないだろうか。初心に帰って、音の波動現象を再度見直すことが必要と思われる。例えば、高度な遮音性能を要求するには、単位当たりの重量を重くする方向でないと効果を期待できない。いわゆる質量則に馴染まない方法で、高度な遮音性能を得ることができないか、波動論・振動論と化学変化による方法の組み合わせで可能かどうかということである。音エネルギーを熱エネルギーに変換することにより遮音性能が向上するのであれば、材料中に熱エネルギー変換効率センサを挿入することで可能かもしれない。また、パラボナ式音源追従型サイレンサや全天候型吸音性外壁材料、振動吸収型タイヤ、吸音ガラスなどの出現が待たれる。

4.3 環境アセスメントのための騒音予測手法について

ご存じのように、発生源ごとの騒音予測手法は、現在すでに、展開されてきている。調査、予測およ

び評価するに当たって、信頼性とその結果の保証が重要となってくる。この手法によって、予測値と実測値との差異が常に議論になる。その差異要因として考えられる項目について表5に示した。信頼性と保証を高めるには、下記のような課題を解決することが必要である。1) 複数の予測手法と数値解析手法をハイブリットの組み合わせで、幅で表示できるか、2) 合理的な予測範囲の適正化、3) 予測方法の設定条件の透明化、4) 予測モデルの適正化、5) 予測精度の検証、6) データベースの標準化

4.4 騒音影響の評価手法について

騒音の影響に関しては、直接的な影響：聴力低下、聴取妨害および心理的妨害と間接的な影響：情緒的妨害、生活妨害および身体的影響に分けられるとされている。このことを踏まえて、特に、一般地域および道路に面する地域の環境基準は、27年ぶりに、騒音レベル（中央値）から等価騒音レベルに変更になった。この根拠の一つとして、表6が中央環境審議会の答申から示された。住民反応との関係から、等価騒音レベルが比較的良く対応するとして導入されたものである。今後、建設作業騒音などに関しても導入の方向で進められるものと見られる。

5. おわりに

地球環境保全への取り組みに関して、今世紀以上に、21世紀はますます重要なものになっていくものと予想される。と同時に、地域環境に関しても日常的な環境として、ますます身近な存在を担ってくるものと考えられる。音環境分野も環境ビジネスの中に本格的に取り込まれて、競争力のある技術として、存在感を示すことになるものとみられる。静穏さの中での「かすかな小さい音」が、鋭敏な方々に影響を与え始めるかもしれない。もうすでにその兆候が見られ始めている。20世紀は大きな音を如何に低減するかに注力し、ある程度の成果を得てきたが、21世紀は、快適な音環境の中に存在する「気になる音、かすかな小さい音」をどのように扱っていくかが問われるかもしれない。技術志向による対策はある程度アッパーリミットにきているとしたら、さらに人間、動物、鳥類への影響について、あくなき追求が継続していくことになるだろう。

参考文献

- 1) 橘 秀樹：音環境の技術展望，環境技術，29(2)，149-156 (2000)
- 2) 橘 秀樹：環境影響評価研修テキスト：騒音に関する環境影響評価，4，1-4，27，環境庁，平成12年1月25日
- 3) (社)産業環境管理協会：特集 交通騒音，環境管理，36(8)，1-44 (2000)
- 4) 編集協力 環境庁：地球を守る 環境技術100選，公害対策技術同友会，210-237
- 5) (財)鉄道総合技術研究所：特集 騒音・空気力学，鉄道総研報告，14(9)，1-36 (2000)
- 6) 環境庁 大気・水・環境負荷分野の環境影響評価技術検討会：大気・水・環境負荷分野の環境影響評価技術（I）〈スコーピングの進め方〉，平成12年8月
- 7) 塩田正純：講習会資料：環境アセスメントに係わる騒音・振動予測手法の実践，(1999.5)
- 8) 塩田正純：低周波音をめぐる最近の動向：建設系で発生する低周波音とその対策，3-1～3-42，工業技術会，(2000.4)
- 9) 塩田正純：なぜ，新しい材料が注目されるか，騒音制御，24(1)，9-14 (2000)
- 10) 騒音制御：特集 新しい環境影響評価の手法—道路事業，24(4)，211-232 (2000)
- 11) 日本バーチャルリアリティ学会：音 特集，5(3)，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，909-987 (2000)
- 12) 塩田正純：従来の手法の改善—騒音の予測・評価手法，148-149，(社)環境科学会 1999年会，シンポジウム
- 13) (社)日本騒音制御工学会 研究部会 環境振動行政分科会：環境騒音調査の手引き（騒音に係る環境基準の活用と運用），(2000.6)
- 14) 環境庁 大気保全局：低周波音の測定方法に関するマニュアル，平成12年10月
- 15) 綾木和弘：平成12年度 環境アセスメント入門研修会テキスト 日本の環境アセスメント制度，(社)日本アセスメント協会，1-23，平成12年10月
- 16) 塩田正純：平成12年度 環境アセスメント入門研修会テキスト 騒音・振動・低周波音，(社)日本アセスメント協会，1-80，平成12年10月
- 17) 沖山文敏：平成11年度 環境アセスメント部門別研修会テキスト（I）大気環境 5. 騒音（調査，予測，評価），(社)日本アセスメント協会，1-21，平成12年10月
- 18) 環境庁：騒音に係る環境基準の評価マニュアル，平成12年4月
- 19) 環境庁環境影響評価制度推進室 監修，環境庁環境影響評価研究会 編：逐条解説 環境影響評価法，ぎょうせい，平成11年5月
- 20) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会：小特集—新しい道路交通騒音予測法—道路交通騒音の予測モデル“ASJ Model 1998”，日本音響学会誌，55巻，4号，pp281-324 (1999)
- 21) 高木興一，塩田正純：環境アセスメント，騒音制御 20巻，4号，pp64-75 (1996.8)
- 22) 日本騒音制御工学会：平成11年度研究発表会 特別企画「集合住宅の音環境を考える」シンポジウム論文集 (1999.9)
- 23) 日本騒音制御工学会：平成12年度研究発表会 特別企画「環境騒音問題と工学会の役割—静かな21世紀社会をめざして—」シンポジウム論文集 (2000.9)
- 24) (社)日本音響材料協会：特集 建築音響関係改正JIS（測定法，音響材料），音響技術，29巻，3号 (2000.9)
- 25) 塩田正純：第18回 環境振動シンポジウム—性能設計に向けた環境振動評価—性能設計に向けての今後の取り組み，日本建築学会環境工学委員会，環境振動小委員会，PP.25-29 (2000.1)
- 26) 塩田正純：環境アセスメントに関する騒音予測手法の課題，環境管理，PP.1-12，34-12 (1998)