



環境影響評価に関する技術的な動向（健康・生活環境分野）

* 騒音・（超）低周波音・振動 *

SCCR I 静穏創造研究所（元工学院大学 工学部 教授）

塩田 正純

はじめに

不確実性に対する基本的な考え方として、環境基本法第4条の中に「環境の保全は、（中略）科学的知見の充実の下に環境の保全上の支障が未然に防がれることを旨として、行われなければならない。」とある。「確実性」や「不確実性」について信頼性があり、適切な説明が出来る必要がある。それが環境影響評価の基本であると考えている。

騒音・（超）低周波音・（人体）振動の周波数範囲は、基本的に決められている。国際会議などで、超低周波音関係の計測器について、議論は進んではいたが、人体への影響に対する研究が進んでいなかった。そのため、計測器に係る特性一人歩きした部分があり、そのまま我が国に持ち込まれたため、少々混乱した状況が生じていた。低周波音は平成10年代から色々研究が行われてきた。30年くらい前にフランスで会議が行われ、我が国からの参加者はほとんどいない中で議論が行われた。その後、低周波音に係る国際会議への参加者が増えて行ったが、人体に対する影響については各国それぞれの事情があるため世界的に基準を決めないでおうといった提案があった。我が国では独自に1～100Hz程度に設定することが日本騒音制御工学会などの議論により約束された経緯がある。これを定義としているが、実は呼称と呼ばれ実際は定義されていない。その範囲の中には非常に聴こえにくいものと聴こえる部分がオーバーラップしており、分かりにくくなっているのだが、研究が進むにつれて検討が進められているというのが現状である。

振動については、振動規制法があるが、これはISOで統一されている。これは日本の研究が国際規格に取り入れられて逆輸入され法制化されたといった経緯がある。しかし、昭和51年に法制化されて以来抜本的な改正はされていない。屋外で振動評価するという手法は日本しか行われていないため、韓国や台湾に取り入れられているに過ぎない。それ以外の国では、屋内での基準で評価している。

波動・振動の発生原因については、様々な原因がありそれぞれメカニズムがある。事業に伴う発生源のメカニズムをよくとらえて、予測・評価することが重要であり、事例や研究をよく理解した上で実施することが必要となる。波動・振動の物理的現象については、反射、透過、吸収、屈折、回折、干渉、うなり、共鳴、吸収などがある。これを環境保全措置の中で利用して対策することになる。例えば、防音壁は回折することにより波動の持つエネルギーを減少させるものであり、その辺のことを理解した上で、検討を進めていく必要がある。空気中の音波の伝搬による距離減衰とは、幾何学的減衰と超過減衰が加わったものを指している。発生源からの距離が1kmや2kmある場合には超過減衰が十分に発揮されるが、100mや200mの場合には計算は可能ですが効果が発揮されにくくなる。このような計算による経験を一度しておけば、保全対策を効果的効率的に実施することができる。

1. 騒音に関する技術的な動向

(1) 騒音発生源

騒音源の種類としてはかなりの数が存在している。これらの騒音が事業場から発生するが、交通関

係や建設工事が大きな比重を占めることが多い。しかし、例えば、火力発電所などでは給排気用ファンなどが壁に取り付けられているが、一般の予測ではそのような音源が考慮されていないことが多い。大きな音源だけ予測し、その他は影響が軽微であるとしているが、数が多くなると影響が出てくる可能性があるため、予測はしておいた上で問題の有無を検討する必要がある。

(2) 騒音源の形状

発生源の形状については、点音源から立体音源までであるが、一般的には点音源が使われている。道路交通や建設作業はそれでいいと思うが、例えば建家の大きな壁などの場合、点音源とはいいいにくく、面音源に置き換えると、例えば面積が 100 m² の場合 1m² の点音源で計算し合成すると最大 20 デシベル追加されることになる。このように点音源から置き換える方法や面音源から計算する方法などは昭和 40 年代から既に式が出来上がっている。そのような手法をどうして使わないのか理解に苦しむ部分がある。線音源の場合も 2 通りの方法があり、例えば、高速道路と新幹線では減衰の仕方に違いがあるので、点音源から置き換えるか有限の線音源にするかについて適応条件を考慮して検討する必要がある。

(3) 発生源から受音系までのシステム

各種発生源から人間や動物に至るまでに、伝搬経路や建築物、人間・動物の状態など種々なシステムが介在し、非常に悩ましいものも多い。環境アセスメントの場合は敷地境界や影響の及ぶ範囲でどのような状況かを検討すればよいが、苦情などでは部屋の中の状況についての質問が多くなる。表現は従来の内容でいいと思うが、部屋の中での状況くらいは念頭においておく必要がある。

(4) 環境に関する法体系（騒音を主体）

法律分野では、騒音に関連するものだけでもたくさんあり、またあらゆる内容に変革が起こりつつあるため、法律も改正が行われているなど、それぞれに対応しなければならない状況となっている。

(5) 各種騒音源における評価方法等

評価方法も発生源ごとに、地域や時間帯、評価時間等によってたくさん存在している。これらの手法も基本的にオーバーオールで実施しているが、評価値以下であっても様々な意見が出てくる。日本の場合、海外と違って発生源ごとの基準となっていることから、海外との比較がしにくく、エネルギー平均で行われているなど、色々な経緯の中で創り上げられてきたものである。紛らわしさは歴史的背景として残ってきていることになる。

(6) 最小可聴値と等ラウドネス曲線

周波数別評価の指標としての等ラウドネス曲線について歴史的経緯をまとめると、戦後英国のデータのみに依存していた規格が、異を唱えたドイツの研究やそれを受けて行われた日本などでの研究を基に、2003 年に ISO の正式な規格として発行された経緯がある。しかし、日本ではまだ古い規格を使用しており、このことについて先駆研究者と我々が議論を重ね改正していくことが必要と思う。

(7) 騒音発生源毎の予測手法

予測手法には、発生源ごとに様々な手法がある。道路交通騒音の予測モデルについては、その変遷をまとめると、昭和 50 年に中央値を予測するモデルが作られた後、5 年ごとに多く研究者や実務者が検討を重ねながら新しくしてきた。現在使われているのは Model2008 のモデルだと思われるが、新

たに 2013 のモデルができており、音源特性、伝搬計算、道路特殊箇所の騒音、建物・建物背後における騒音予測方法が更新されている。

(8)ハード面における対策技術

基本的には、敷地状況や稼働状況、発生源などをチェックリストの形式でつぶしながら、進めていくもので、一般的に利用されている。

(9)先端的なハード技術による対策例

アクティブノイズコントロールは、既に汎用的な技術になり始めている。移動発生源では困難だが、火力発電所や定置型の機械設備などで導入すれば、かなり下げられると思う。特に、50Hz 以下の低周波音に対しては有効な技術であるといわれている。

(10)ソフト面における対策技術

ソフト面では、周辺に対してどんな配慮や気配りを行うかということで、建設作業や工事用車両が走行する場合などにおける、種々な環境保全対策の多くが実際に行われている。

(11)注意すべき事項

道路交通騒音や建設作業騒音では式が表示されているのに対し、道路交通振動や建設作業振動では式が表示されていないことがある。(超)低周波音では 1~20Hz (G 特性) と 20~100Hz (Z 特性) が混在しており、波動理論による伝搬式と表示しているだけなど、バランスがとれていない。利用した予測式は、具体的に表示することが必要である。

未指定地域や環境基準が設定されていないにも拘わらず、予測結果を自由裁量で比較し「問題なし」との記述等がある。未指定地域や環境基準が設定されていない地域での評価は、地域の環境騒音との比較や環境保全措置、事後調査等で配慮するなど、不確実性の判断や考え方を統一しておくことが必要である。

利用した「ソフトウェア (例: SoundPLAN)」の名称などを記載することも重要である。

2. 低周波音に関する技術的な動向

(1)低周波音問題の変遷

私が最初に低周波音を経験したのが昭和 44 年頃で、計測器がなかったため独自でマイクロホンを制作して公害用振動レベル計に連結して計測をしていた。当初は「建具のがたつき」などが主体であったが、徐々に音源が増加し、工場・事業場に加え、橋梁、ダムの放流などの発生源による問題が増加してきた。その後、「心身に係る苦情」が主体になり、集合住宅、店舗、工場に設置している室外機、変圧器、風力発電施設等の問題へと移行してきた。

(2)平成 24 年度低周波音の苦情の状況

苦情の状況を見ると、徐々に増えてきていることが理解できる。最近では風車だけではなく、室内機や冷凍冷蔵庫など 24 時間稼働している機器に対する苦情が増加してきている。

(3)低周波数騒音、低周波音及び超低周波音とは

騒音と音の呼称が混在しているが、米国と英国の研究を踏襲したことによる相違であり、騒音 (Noise) は人間や動物への影響が懸念されるが、音 (Sound) は影響に対する呼称にはなっていない。

また、低周波数騒音、低周波音及び超低周波音の波長が重なり合っており、用語の定義について検討が行われているところである。海外においても各国様々である。

わが国では、「低周波音」という用語を「おおむね 100Hz 以下の音」として慣用的に用いる場合があるが、一方で、騒音環境基準（環境省告示）では、20Hz 以上も含めて測定した結果に基づき評価することとしている。

国際的には、IEC（国際電気標準会議）規格により、20Hz 以下を「超低周波音（infrasound）」、20～100Hz を「低周波音（low frequency noise）」と定義しており、国内では、これを受けた JIS C 1400-0 で同様に定義されている。

こうした背景を踏まえ、個別事業ごとの具体的なアセスの技術指針となる主務省令では、従来の「低周波音」の慣用的な用法も配慮しつつ、国際的な定義との整合を取る形で「超低周波音」と規定している。

(4) 低周波音発生機構とその音源、発生しやすい各種音源

原因として、気流振動、機械振動、燃焼振動、空気の圧力変動、回転による乱れなどがある。これらは発生機構や音源による特徴的なメカニズムであり、様々な音源がある。

(5) 風力発電施設風車騒音・（超）低周波音と従来の騒音

私が委員長として参加していた風車関係の委員会では、風車騒音と従来の騒音との相違を比較している。風車騒音については不確かさが多いのが特徴で、合致しているものが多い。今では、風車自体の騒音発生メカニズムもよく分かってきているので、徐々に内容が進んできており、今年の国際学会でもこの点の検討が主流になると思っている。

(6) 低周波音発生源毎の予測手法と風力発電施設風車騒音の予測モデル紹介

予測手法について自分なりにまとめてみた。予測モデルは平成 23～24 年度ころのものだが、環境省により紹介されているものである。これらを利用するときには、何を用いたかを明確にすることが重要となる。

(7) 最小可聴値

計測器などの進歩や研究者が異なるため、相違が出る可能性を考え、1991 年と 2003 年について比較してみた。結果として、どちらを使っても問題ないということが分かった。

(8) 等ラウドネス曲線と G 特性音圧レベル

低周波音について研究しているときに、従来の曲線を低周波音まで連続させれば 1 つの計測器で応用できると考えていた。しかし、実際に計測してみると、20Hz を境に段差が生じてしまった。海外では補正值を利用して計測すればいいなどの議論もあったが、様々な形状があるため危険が大きすぎるとのことで、現在に至っている。なぜ個別に計測しなければ行けないのか分からない方もいると思うが、そのような経緯があったことでお分かりいただけると思う。

(9) 環境影響評価項目（発電所アセスの対象リプレイス／抜粋）

最近、発電所のリプレイスの環境項目の大気環境の中に「騒音及び低周波音」が入ってきた。このように、発生源によってこのような項目が入ってきている。その詳細は、環境省のホームページで見ることができる。

(10) ハード面における対策技術

騒音の項でも述べたが、既にアクティブノイズコントロールが導入されるようになってきている。しかし、コストに見合う効果が得られるかどうかについては検討課題であり、費用対効果を念頭に置きながら検討する必要がある。

(11) ソフト面における対策技術

計画段階において、据え付ける発生源の大きさ、台数、能力等の仕様を詳細に検討し、受音側の地域特性に配慮しながら、それらとの距離間隔等について考慮する。特に、夕方から深夜にかけて稼働する機械・装置・設備等については、周辺状況等を勘案しながら、稼働時間・稼働台数の調整等を検討する。稼働する機械・装置・設備等のメンテナンスに関して、定期検査・試験・運転等をスケジュール通りに実行する。

上記の項目等に関する定期的な会議を開催し、チェックリストの再点検・再構築等を行って、問題解決のための迅速方法を共有することが重要である。

(12) 注意すべき事項

(超) 低周波音の各種規格が整備されていないことから、調査・予測・評価に関して対応が難しい面もあるが、予測は騒音と同様な式を用いて行う。この際には、周波数分析したデータによる周波数ごとの計算が必要になる。決定的な評価方法も存在していないことから、等ラウドネス曲線や ISO220-2003 等との比較により検討せざるを得ない。予測や評価の際には、常に適用条件の有無を確認しながら利用することが必要である。

文献や資料等を引用する際には、できるだけオリジナルにまで遡り、できるだけ新たな科学的知見を導入するよう心掛ける必要がある。

3. 振動に関する技術的な動向

(1) 振動が人体等に伝達する過程

振動が人体に影響を及ぼす過程はたくさんある。一般的に 55dB 以下であれば問題がないようにいわれているが、実際にはなかなかそういい切れない状況がある。

(2) 各種振動発生源

発生源は騒音とほとんど同じであり、同じところで計測する。大気汚染、騒音・振動、低周波音は同じ場所で測っていいと思っている。効率的だし、個別に測る理由が見当たらないからである。騒音計は、今では 1~10,000Hz まで測れるものがあるのでフラットで測れ、各特性に分類して解析すればよい。

(3) 振動源の形状

振動源の形状は中々難しい。線振動について、以前在来鉄道で波動理論を使って式を作り dB まで持って行こうとしたのだができなかったの、仕方なしに数値計算してグラフ化し、現地計測データをそのグラフに載せ、相関があるかどうかを調べた。ほとんどの場合、影響ないと念頭にあるのが一般的である。面振源による式も騒音と同様にあることはあるのだが、地盤（土質・地質等）関係が絡んできたりして複雑になってくる。実際、環境アセスメントではそこまで要求されていないので、そのようなものがあるということを認識しておけば結構である。

(4) 環境に関する法体系、各種振動源における評価方法等

法体系や予測手法についても、発生源ごとに種々なものがある。

(5) 人体振動感覚各曲線

人体振動感覚各曲線には、JISC1510/1995 と ISO2631-1/1997 がある。振動規制法では、環境公害系の計測器で JISC1510/1995 を使っており ISO2631-1/1997 は新しい計測器を用い人体への影響を測るもので、車両や船舶にも用いられている。それぞれの特徴はあるが、将来的に統一する動きが見られる。

(6) 振動発生源毎の予測手法

予測方法は、振動規制法で用いられる数値で予測される。

(7) ハード面における対策技術

道路交通振動の例では、発生源、伝搬経路で検討され、受振側についてはあまり考えられることはないと思う。例えば、発生源の段差でいうと、マンホールで生じるわずかな段差が振動発生源となり、沿線住宅住民に影響を与えるような場合がしばしばある。事業者側の配慮が必要だが、意外に事業者は認識されていないこともある。

鉄道についても様々な検討が行われている。以前、名古屋で新幹線訴訟があった時、50m ほど離れたところに実験住宅を建設し、かなり長期にわたる実験で様々な影響データが集積された。その後、東北新幹線ができた際に応用され、溝をたくさん建設し、伝搬を緩和したりしている。

建設作業の場合、1 機（工種）ずつ行う場合とユニット方式のように複数で行う場合がある。状況に応じて適切に選択すればいいと思う。

(8) ソフトにおける対策技術

ソフト面もいろいろなものがあるが、ポイントは周辺住民に対する配慮が重要であるということである。

(9) 注意すべき事項

道路交通振動予測式は、旧土木研究所式を利用している場合が多いが、予測条件によっては不要な項目があったりするので、適正な予測式の適用が必要である。交通量の設定、地盤卓越振動数の必要性等を考慮して、予測式を選定することが重要である。複数以上の予測式を活用し、予測値を幅で表現することが望ましい。

精度のある予測をするには、予測地域内外の地盤性状を確認することが必要である。N 値と波動の伝搬速度の関係は土質関係の図書等から得ることができ、幾何減衰定数は、 $n=0.5$ が利用される。予測式を利用すれば、地盤振動コンターは同心円状にはならない。

4. 予測計算事例による評価例

火力発電所建屋内から外部へ伝搬する騒音の、点音源の計算例を示してある。この場合簡単な計算式でよく、面音源も簡単である。なぜこんな簡単な式を使わないのか、不思議でならない。

低周波音については、建設作業で使用する発電装置から発生する低周波音が、沿道住宅内等へ伝搬している。住宅までの距離は 30m 程度である。各要因は表に示すとおりである。評価は、ISO226 と比較して判断する。

振動の場合、私が書いた「公害振動の予測手法」井上書院、1986 の pp198-201 にこのような式が載せられている。残念ながらこの本は絶版となっているが、これを参考にすれば対応できる。評価の事例として、道路交通振動への 2 階建て木造住宅への影響についてグラフを示している。一般的には、このように比較して評価することが求められている。

5. 今後の課題

- メリハリのある環境影響評価を行うには、固定した予測技術手法だけで展開するのではなく、新たな科学的知見を取り入れた手法にも取り組む必要がある。
- 振動予測の場合は、地形・地質の調査結果（例：N 値、伝搬速度等）を有効に利用すべきである。
- 予測する際のデータは、基本的に周波数分析を行った値を用いることにより、予測精度の向上を図る必要がある。
- 未指定用途地域や環境基準が設定されていない場合の評価は、その設定地域の環境騒音を考慮して行う必要がある。
- 環境保全措置におけるハード面の対策技術については、設定条件を明確にして提案すべきである。
- 利用した予測式を具体的に表示して、住民等が検算できるように配慮する。

以上