低周波音, 超低周波音の性質と被害の現状

山 田 伸 志*

高速道路橋直下の民家では、風もないのにガラス戸がガタガタと振動し気味悪がられている。当初は地面振動が原因と思われていたが、多くの調査によって、超低周波音が原因であることが判明した。

また暖房用ボイラなどから発生する低い周波数の音（低周波音）によって隣家の人が頭に圧迫感を感じ苦情になる。

このような超低周波音もしくは低周波音は新しい形の公害である。このような公害の現状、心理的影響、生理的影響、対策等について、日本国内の研究、外国での研究成果等を毎号本誌に掲載する予定である。

1. 超低周波音公害の概要

今から10年ほど前、中央自動車道が往復四車線で開通した時、葛野川橋付近の民家の窓ガラスが、風もないのにガタガタと音をたてるので、気味悪がられ、大騒ぎになった。地震の時のように窓ガラスがゆれるので、地面の震動が原因と思われたが、山梨県の公害課で調査を行なったところ、地面の振動は小さく、高速道路橋が振動して発生する超低周波音が原因であることが判明した。現地へ行って見ると、葛野川の清流のせせらぎが聞こえ、とても公害があるとは思えない。しかし民家の中に入ると、高速道路橋のジョイントをトラックが通過した時に、民家の端の窓ガラスがゆれ、トラックの走行に従って、窓ガラスのゆれる場所が移動してゆくのがわかる。トラックは常時通行しているので、家の中では、常に地震に見舞われているような感じである。地元の人は、本物の地震があっても気がつかず、テレビのニュースなどであとなって知る状態である。全ての橋梁は多かれ少なかれ、超低周波音を発生するが、はっきりした苦情になっているのは、西名阪自動車道香芝地域、中央自動車道阿知川橋付近、葛野川橋付近、相模湖駅付近等である。都会地の高架

道路でも発生するが、周辺が騒がしいので気がつかず、大きな苦情になっている場所は少ない。このような窓ガラスのガタツキは、ダム堰堤の放水、航空機、新幹線、大型トラック、バス、大型コンプレッサ、送風機、振動ふるいなどによっても、ひき起される。20Hz（ヘルツ）以下の周波数が原因であることが多く、音の存在が耳で直接知覚されるよりも、窓ガラス等のガタツキによって間接的に知覚されることが多い。これらは、超低周波音公害と呼ばれている。

2. 低周波音公害の概要

窓ガラスがガタツキことはないが、モータのうなっているような音、遠くでヘリコプタが飛んでいるような音が聞こえ（あるいは感じられ）苦情になることがある。音源としては、家庭用のボイラや冷凍機、ディーゼルエンジンなどであり、回転、往復運動をする多くのものが、低周波音を発生する。20～100Hzの音が主で、40～50Hz付近の周波数で苦情が多く発生する。この低周波音は、日中は他の通常の音にまぎれて（マスキング効果）問題にならないが、夜間静かになって初めて聞こえ、苦情になることが多い。

低周波音を聞き分ける能力は個人差が大きく、苦情を言う人のみにわかり、まわりの他の人には聞こえないことがある。このため苦情者の方が異常なのと言われることもある。通常経験しない音であり、地震の時の地鳴、雷、爆発など、人間にとって不安を感じる現象に多く含まれる音なので、苦情も非常に強くあらわれ、¹⁾「鎌」をもって音源の工場のまわりを歩いたという人もいる。ピアノがうるさいというので殺人事件がおきたことがあるが、その感情に近い場合もある。

超低周波音、低周波音の問題は、この10年あまりマスコミに取りあげられ知られてきたが、以前にも、火力発電所などから発生し、窓ガラス等をガタつかせていた。しかし最近では、低周波音を発生する大型の機械が増え、家庭の中にもセントラルヒーティングの形で

* 山梨大学工学部助教授
Shinshi YAMADA

音源が入ってきたので、今後この公害が増えていくと考えられる。

3. 低周波音と超低周波音の物理的性質

音の基本的な性質は、音の強さdB（デシベル）と音の高低Hz（ヘルツ）によって決まる。ピアノの鍵盤で左の方が低い音、右の方が高い音である。音の高低は、毎秒の振動数によって決まるが、人間は、20～20,000 Hzの音を聞くことができるとよく言われている。しかし実験をしてみると、20Hz以下の音を聞く(知覚する)こともできるし、逆に15,000～20,000Hzの音は、実際には、ほとんど聞こえない、低周波音の定義は特に決まっていないが、1980年にデンマークで行なわれた国際会議では、100Hz以下の音を低周波音と呼んでいる。100Hz以上の周波数は人間の声に多く含まれ、よく経験しているので、はっきりした音として感知される。しかし100Hz以下の周波数になると、音という感覚が徐々にうすれ、耳のまわりの圧迫感、あるいは振動のような感じで知覚される。20Hz以下になると、音の感覚はほとんどなくなり、圧迫感、振動感が主なものとなる。これらの低周波音は、日常生活の中に多くあり、車、バスなどの排気音、溪流の音などにもある。しかしこれらの低周波音は、100Hz以上の通常の音にかき消され、気がつくことはまれである。

低周波音のうちで20Hz以下の音は特に超低周波音、超低周波空気振動と呼ばれている。物理的には通常の音と同じであるが、周波数が更に低いため、異なった性質も多くみられる。ここでは、低周波音という言葉を中心に使い、20Hz以下の超低周波音をも含めている。特に20Hz以下を区別する必要がある時には超低周波音という言葉も使用する。

4. 低周波音源

低周波音を発生する音源は図-1に示すように多数あり、モータ、コンプレッサ、エンジンなどの回転する

ものは数10Hz程度の低周波音をよく発生する。身近な音源としては、エンジンの音であり、車を家の外に止め、アイドリング状態にし、家の窓等をきちんとしめておくと、家の中で低周波音のみを聞くことができる。

20Hz以下の超低周波音は、高速道路橋、大型のコンプレッサ、大型のディーゼルエンジン、ダムの放水など大型の構造物からよく発生する。この超低周波音もレベル（dB）が高ければ、人間が聞く（あるいは感知する）こともできるが、この機会はあまりなく、多くは超低周波音によって窓ガラス等が振動させられ、発生した「ガタガタ」という二次的な音によって検知されている。

5. 低周波音を体験する方法

低周波音は、車からも発生するので全ての人は、毎日暴露されている。しかし低周波音を聞いた時の独特の圧迫感、振動感などをひきおこさないのは、通常の高い音によって低周波音がマスキングされ、感じなくなってしまうためである。低周波音、超低周波音は聞こえないとよく言われているが、知覚することは可能なので、苦情者の訴えを理解するためにも、実感としてとらえておくことは大切である。以下に低周波音そのものを実感として体験する方法を述べる。

(1) 車の低周波音

家の外に車を止め、エンジンをアイドリング状態にする。家の窓、戸障子、雨戸を全てしめ、部屋の中で耳をすますと、耳のまわりでゴトゴトした感じの低周波音を感じとることができる。床の上に、あおむけに寝ると更に感じやすくなる。4気筒エンジンの場合は、毎分のエンジン回転数を r とすると、 $2r/60$ Hzもしくは、その整数倍の低周波音が発生する。毎分900回転の場合は、30Hz、60Hzとなる。ガソリンエンジンよりも、ディーゼルエンジンの方が、大きな低周波音を発生する。高い周波数の音は家の壁、雨戸などで遮音され、家の中に入らないが、低周波音は遮音量が小さく

図-1 音の種類と音源

図-2 車から発生する低周波音

部屋の中まで侵入する。部屋の中では、高音が消え、低周波音成分が多くなるので、聞きわけることができる。

(2) 飛行機、ヘリコプタの低周波音

飛行機が頭上を低空で飛ぶ時は、キーンという高音を感じるが、遠くを飛ぶ時は、空気の吸収のために高音は消え、低音のみとなる。飛行機、ヘリコプタが遠ざかるにつれて低周波音成分が優勢となるので、できるときぎり耳で追っていくと、20～30Hzの低周波音まで聞き分けられる。(1)の方法と同様に部屋の中で聞くと、さらにわかりやすい。

第二次世界大戦中、遠くにいる飛行機が敵か味方を判別する時に、この低周波音で聞き分けていたようである。

(3) 雷の低周波音

飛行機と同様に遠くで鳴っている雷の場合は、低周波音成分が聞こえる。近くで雷が鳴った時に家のガラスがビリビリするのは、雷で地面が振動するためではなく、空気を伝わってくる低周波音成分によるものである。

(4) バス、トラックの発進の際の低周波音

バス、トラックなどディーゼルエンジンを用いたものは、大きな低周波音を発生する。トラックが坂道の登りで発進する時は、エンジンを吹かすので、レベルが大きく、約100m離れた大学の筆者の部屋で鉄サッシが、ガタガタと鳴る。スピードを出して坂をトラックが下ってくる時は、サッシのガタつきはないので、地

図-3 飛行機から発生する低周波音

図-4 回転ドアによって窓をガタつかせる方法

面の振動ではなく、エンジンの排気から出る低周波音が原因と考えられる。低周波音のレベルを測定すると、80～85dBであり、ガタつきを発生させるのに十分なレベルである。道路の近くの家で窓ガラスがビリビリするが、主な原因は振動ではなく低周波音であろう。同じような現象は船のエンジンによってもおこり、港の近くでは、船が来たことがよくわかる。

(5) 窓ガラスをガタつかせる方法

低周波音そのものは感じないが、窓ガラスのみがゆれるので苦情になる現象がよくある。図-4に示すように回転式のドアを軽く開閉すると室内の圧力が変化し、戸窓が、ガタガタと鳴る。回転ドアを戸当りまで閉めると振動を伴うが、戸当りにあてないで、軽く開閉するのみで、ガタつきを発生させることができる。

6. 低周波音の分類

低周波音の苦情は主に、低周波音そのものが聞こえ(感じられ)不快感をひきおこす場合と、低周波音そのものが聞こえることはないが、ガラス窓、戸障子がガタガタと振動し苦情になるものである。低周波音が聞こえる場合は、人間の聞きうる最小のレベルである最小可聴値が問題となる。窓等のガタつきも、音の発生がはじまる最小のレベルである閾値が重要である。概略を図-5に示すが、線ABは低周波音の最小可聴値で

図-5 低周波音の分類

あり¹⁾、このレベル以下であれば、低周波音は、直接は知覚されない。20Hz以下においては、耳のまわりの圧迫感、耳のまわりのもやもやした感じとして低周波音が知覚される。20Hz以上の場合、圧迫感とともに、音の感覚が少しずつ加わってくる。線CDは、窓ガラス、戸障子のガタつきのはじまる最少のレベルである²⁾。AB、CD線は、概略20Hzで交叉する。これらの線によって、ある周波数、レベルの低周波音は、(1)～(4)の4つの領域に分類される。

領域(1) 窓ガラスがガタガタと鳴ることもないし、どんな低周波音も聞こえる(感じられる)こともなく、特別な場合を除いて、問題は発生しない。はじめはレベルが高く後に対策が行なわれてこの領域に入った場合には後遺症的、あるいは、耳なりの形で苦情が残ることもある。

領域(2) 窓ガラスがガタガタ鳴ることはないが、モータのまわっているような音、遠くで雷が鳴っているような低い音が聞こえ、頭に何か、かぶさっている感じを受け、苦情の発生につながる。屋外に設置されているボイラ、収塵装置などに発生し、隣近所の関係を悪化させる近隣騒音の性格が加味されることも多い。この領域は、“低周波音”と呼ばれるにふさわしい。

領域(3) 低周波音そのものは知覚されないが、ガラス窓、人形ケース、戸障子の振動によって間接的に知覚される。多くの場合20Hz以下であり、風もないのにガタガタと音がするので、気味悪く思われる。ダムの放水、橋脚の高い高架橋、大型送風機などに発生する。この領域の音は“聞こえないのに苦情になる”といわれる“超低周波音”と呼ばれるに、ふさわしい。

領域(4) 戸障子もガタガタ鳴るし、耳を圧迫する音も強く感じられる。20Hz以下の周波数であってもレベルが高いので、耳の中のつち骨、きぬた骨、あぶみ骨等の伝達機構の非線形性のため倍音が発生し、はっきりした“音”の感覚を生じることもある。公害としてはげしい状況である。

4つの領域に分類されるが、(2)と(3)が代表的な公害の形である。20Hz以上を低周波音、20Hz以下を超低周波音と呼んでも大きな間違いはない。

7. 高速道路橋周辺の被害状況

低周波音被害の一例として高速道路橋周辺の被害の訴えについて述べる。高速道路橋周辺においては、窓ガラス等のガタつきと共に、遠くで大砲を打ったようなドドンという腹にひびく音が聞こえる。このドドン

という音はトラックの前輪及び後輪がジョイント部を通過した時に衝撃的に発生し、63～125Hzの低周波音である。窓ガラス等をガタつかせるのは橋全体が振動して発生するものであり、2～20Hzの成分が主に作用している。

表1 香芝高架橋付近被害・症状訴え率

項 目	訴え率 (0～1)
戸・障子のガタツキがある	0.86
ドドンという音がする	0.83
うるさいと感じる	0.96
びっくりすることがある	0.75
いらいらする	0.92
目がさめた後寝られぬ	0.97
よそへ移りたいと思う	0.86
頭部に圧迫感がある	0.71
頭 痛	0.94
肩こり	0.75
体がだるい	0.72
風邪のような症状	0.89
ねずみがへった	0.91

表1に示すのは、西名阪自動車道香芝地区における被害者の被害訴え率である。“びっくりする、イライラする、頭部に圧迫感がある、勉強が出来なくて、イライラする”などの心理的訴えと共に、“頭痛、肩こり、体がだるい”などの生理的症状も見られる。子供達は高速道路橋近くの自宅で勉強するのをいやがり、静かな遠くの友達の家に行って勉強しているという。またこの付近では、以前いたねずみがいなくなってしまうという訴えも多い。

このような心理的、生理的影響の発生原因、メカニズムについては次号以下に述べることとする。

参 考 文 献

- 1) 山田伸志他, 低周波音と△値とマスキング, 騒音制御, Vol. 5, No. 5, PP 288～291, 1981. 10.
- 2) 時田保夫, 低周波音の計測と評価の問題点, 文部省科研費環境科学シンポジウム, 騒音振動の評価手法, PP 147～161, 1981. 1.
- 3) 山田伸志, 超低周波音と低周波音, 環境技術研究会発行.