

# 京都府における一般環境及び鉄道車両内の音の周波数分析調査について

木崎 利 藤江 康弘

Frequency Analysis of Environmental Noise and Vehicle Interior Noise in Kyoto Prefecture

Toru KIZAKI Yasuhiro FUJIE

様々な場所における等価騒音レベルを調査して作成した「騒音の目安」に周波数分析データを加えようという全国環境研協議会騒音小委員会の「音色の目安」作成調査に参画し、様々な場所でデータを収集した。調査期間終了後も鉄道車両内等で収集を継続した。収集した結果を「音色の目安」作成調査で示された評価方法である周波数構成を活用して検討したところ、住宅地の住居の内外、自然地域や人の集まる施設等での周波数構成は、人の会話やセミの鳴き声等の影響を受けていた。鉄道車両内では周波数が1オクターブ高くなるごとに騒音レベルが概ね6dB低くなる直線的な周波数構成をベースとして、車両の動力や構造、トンネルの通過により、それぞれが寄与すると考えられる騒音レベルの上昇が認められた。また古い車両において、12.5kHz以上の音圧レベルが顕著に高い観測例が高頻度に認められ、走行で生じる高周波音の影響と考えられた。近年は測定機も入手しやすく容易に周波数構成が収集できる。騒音問題での発生源対策などにおいて、音圧レベルのみでなく周波数構成も併せて評価することで、より高度な対応が可能になることが期待される。

キーワード：環境騒音、車両車内騒音、周波数構成

Keywords：Environmental noise, Vehicle interior noise, Frequency configuration

## はじめに

全国環境研協議会騒音小委員会（以下「騒音小委員会」と記す。）が平成19年と平成20年に実施した「騒音の目安」作成調査に当所も参画し、データを収集・提供した。全国で収集した結果に基づき、多様な場所における騒音レベルをとりまとめた「騒音の目安」は環境省のウェブサイト「一般環境騒音について」(<http://www.env.go.jp/air/ippan/index.html>)に引用されているほか、さまざまな場面で活用されている。

しかし音源が異なれば音の周波数構成なども異なるため、同じ騒音レベルであっても人の感じ方は同一ではない。この違いをわかりやすく示すことができれば騒音問題の理解・解決に有用であり、高度な騒音苦情対応に資することが出来ると考えられる。そこで音の周波数構成に着目した「音色の目安」作成調査が平成25年度より騒音小委員会により開始され、令和元年度に結果がとりまとめられた<sup>1)</sup>。本報では平成28年度からの「音色の目安」作成調査の第2期調査に参画して収集した結果及び交通機関の車内を中心に収集した結果をとりまとめたので報告する。

## 方法

### 1. 測定機器

リオン株式会社製普通騒音計NL-22に同社製周波数分析カードRX-22を装填して騒音レベルを測定した。測定項目は、

(令和3年1月26日受理)

1/3オクターブバンド毎のZ特性等価騒音レベル及び各バンドの等価騒音レベル合成値（以下「AP」と記す）並びにA特性等価騒音レベル（以下「AP(A)」と記す）とした。

### 2. 測定地点

音色の目安調査で対象とされた7つの区分のうち、表1に示すとおり「一般の地域」、「人の集まる施設等」、「自然地域」及び「交通機関の車内」で収集した。収集は京都府内で行ったが住居内、墓地及び交通機関の車内は近隣府県内でも収集した。竹林、海辺、滝については環境省が選定した音百選の地点を含めた。

### 3. 測定方法等

収集は、催事や工事といった通常と異なる音が発生する状況に無いことを確認して、特記しない限り9～17時頃に行った。ただし居酒屋と宴会場では19～22時頃、交通機関では8～21時頃に収集した。測定時間は10分間の連続測定を原則とし、除外すべき音の除去は騒音計の一時停止機能を用いた。交通機関の車内で概ね30秒以上の停車が見込まれた場合も、停車中は除外すべき音と同様の処理をした。マイクロホンには防風スクリーンを装着し、マイクロホン高さが1.2m前後となるよう先端が三脚状になった一脚で固定、または手で持って測定した。収集を行った日は、測定開始時と終了時に騒音計の校正機能で騒音計の指示値を点検したほか、概ね1ヶ月毎に音響校正器を用いて指示値を点検した。収集は平成28年7月と8月に行ったが、一部はその前後の時期でも収集した。

交通機関については、駅や停留所または橋など特定しやすい場所の発車または通過するタイミングで収集開始するよう

表1. 調査区分、調査対象項目及び収集件数

調査区分	調査対象項目	収集件数
一般の地域(屋外)	戸建て住宅地域(農村部)	8
一般の地域(屋内)	住居内(都市部)	12
	住居内(農村部)	10
自然地域(屋外)	海辺	4
	滝	3
人の集まる施設等(屋外)	墓地	4
	竹林(観光地)	7
人の集まる施設等(屋内)	飲食店内(ショッピングセンターフードコート)	2
	飲食店内(居酒屋・ホテル宴会場)	7
	商業施設(駅構内(改札口))	5
	公共施設(市役所)	2
交通機関の車内(屋内)	在来線鉄道(一般車)	191
	在来線鉄道(特別車)	214
	トロッコ列車	4
	路線バス(一般道)	18
	高速バス	29
	航空機	12
	観光船	4
合計		536

にし、複数回の収集でも同じ走行区間での収集となるようにした。また鉄道車両については、走行動力がモーターである電車とエンジンを動力とする気動車に区分し、次に乗車にあたり乗車券の他に特急券等の料金券が必要な列車・車両（以下「特別車」という）と不要な列車・車両（以下「一般車」という）に区分した。またトンネル通過中は明らかに音が変わるので、収集中に約15秒以上のトンネル区間走行があった場合を「トンネルあり」、トンネル区間走行が約15秒未満だった場合を「トンネルなし」として区分した。

対象項目毎に音圧レベルを算術平均した値を、周波数を横軸としてプロットしグラフ化したものを周波数構成として解析・評価を行った。

## 結果と考察

### 1. 一般の地域及び自然地域並びに人の集まる施設等

#### 1-1. 一般の地域(屋外及び屋内)

一般の地域では、農村部の戸建て住宅地域の屋外及び屋内、都市部の住宅地域の屋内で、蟬の鳴き声、屋内ではテレビ音声とエアコン運転の有無を区分して騒音レベルを収集した。

結果を図1に示す。いずれも周波数が高くなるにつれて音圧レベルが低下し、緩やかな右下がりの周波数構成であった。セミの鳴き声やテレビ音声があると200Hz付近より高い周波数帯で20dB程度音圧レベルが上昇する周波数構成となった。保育園での子供の遊び声は1~2kHzが中心、成人男性の会話の声は125~250Hz、成人女性では250~500Hz、また朗読時には250Hz~1kHz付近前後が中心であることが知られていることから<sup>2,3)</sup>、200Hzから3kHzにかけての音圧レベルの上昇はテレビ音声の影響と考えられた。また「音色の目安」調査結果や本調査の他地点における結果との比較から、6.3~8kHz付近をピークとする音圧レベルの上昇は、セミの影響と考えられた。AP(A)は「音色の目安」調査結果と同様の値であった。

#### 1-2. 自然地域(屋外)及び人の集まる施設等(屋外)

自然地域(屋外)では滝及び海辺で、人の集まる施設等(屋外)では墓地及び竹林で収集した。このうち、滝はるり溪、海辺は琴引浜と天橋立、竹林は嵯峨野であり、るり溪及び琴引浜並びに嵯峨野の竹林は環境省の「日本の音風景100選」([http://www.env.go.jp/air/life/nihon\\_no\\_oto/02\\_2007](http://www.env.go.jp/air/life/nihon_no_oto/02_2007))

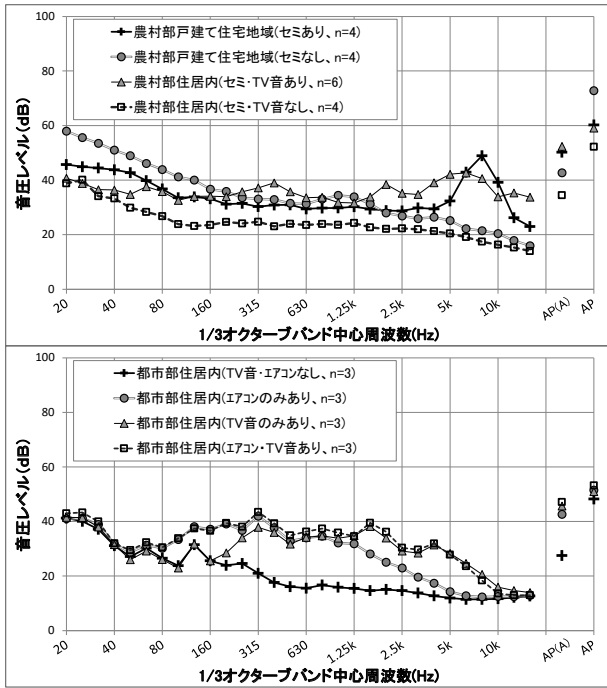


図1. 一般の地域（屋内・屋外）の周波数構成（上図：農村部、下図：都市部）

otol00sen\_Pamphlet.pdf) に選定されている。

結果を図2に示す。滝と海辺は1.25kHz付近を境に低音域は比較的平坦で高音域は緩やかな右下がりとなる周波数構成であった。「音色の目安」調査の海辺の周波数構成は630Hz付近から右下がりであり若干異なっていた。天橋立と琴引浜では波高に差があったので個別に周波数構成を見たところ、波がほぼなかった天橋立（海辺A）と波高10cm程度の波があった琴引浜（海辺B）では200Hz付近より高音域の周波数構成に違いが見られた。「音色の目安」調査も複数地点の結果を算術平均しているので各地点の波の状況の違いが影響した可能性が考えられた。

墓地は都市部と農村部で収集した。どちらも平野部周縁の丘陵地の斜面に立地し、セミが鳴いていた。都市部の墓地は約300m先に高速道路があった。どちらも20Hzから200Hzにかけては右下がり、200Hzから630Hzにかけては平坦な周波数構成であった。630Hzより高音域は、都市部では630Hzから1.6kHzにかけては緩やかに減少した後、3.15kHzまで急激に増加し、8kHzにかけて20dB近く高い音圧レベルを維持し10kHzから急勾配で減少する周波数構成であった。農村部では4kHzから8kHzにかけて最大10dB程度の増加があるが全般的に平坦な周波数構成であった。これらの周波数構成は「音色の目安」調査や本調査の他地点での結果と比較すると、都市部ではセミと道路騒音、農村部ではセミの影響を受けていると考えられた。AP(A)は「音色の目安」調査と比較すると農村部は同程度であったが都市部は10dB程度高かった。

竹林は観光客やセミの影響を勘案し、季節や時間帯を変えて収集した。観光客が少なくセミが鳴いていない場合の周波数構成と比較すると、観光客が多い場合は200Hz付近より高

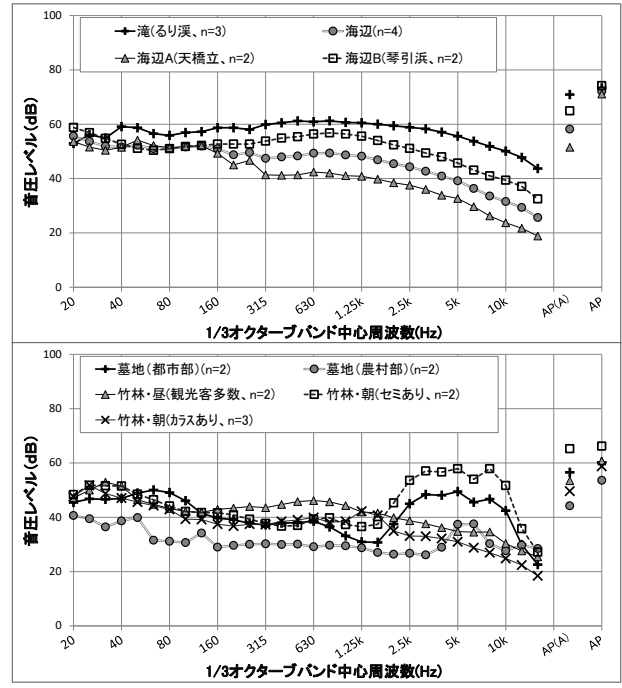


図2. 自然地域（屋外、上図）及び人の集まる施設等（屋外、下図）の周波数構成

音域では音圧レベルが全般的に5dB前後高く、セミが鳴いていた場合は2kHzより高音域で前述の都市部の墓地と同様の音圧レベルの上昇があった。これらの音圧レベルの上昇は観光客の会話やセミの影響の可能性が考えられた。なお観光客が少なくセミが鳴かない時期の朝の収集では数メートル先で時折カラスが鳴いた。1.25kHzや1.6kHzにみられる上昇はカラスの影響の可能性が考えられた。

1-3. 人の集まる施設等（屋内）

ショッピングセンターのフードコート、居酒屋、ホテル宴会会場、駅構内（改札口）及び市役所（戸籍関係の窓口）で収集した結果を図3に示す。

いずれも20Hzから80Hz付近までは緩やかな右下がりであるが、その後200Hzないし500Hzにかけて、1オクターブにつき5dB前後増加し、その後1オクターブにつき5~10dB減少する周波数構成であった。250Hzから630Hz付近をピー

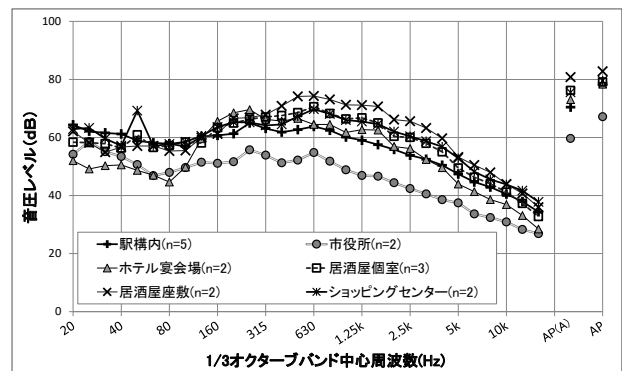


図3. 人の集まる施設等（屋内）の周波数構成

クとする音圧レベルの増加は、市役所や駅構内、ショッピングセンター、居酒屋、ホテル宴会場の順に大きく、AP (A) も同じ順で値が大きかった。この音圧レベルの上昇は、他地点の結果と同様、案内放送や会話、マイク使用の有無の影響と考えられ、AP (A)、周波数構成とも「音色の目安」調査と同様の結果であった。

## 2. JR 在来線等の交通機関の車両内

京都府内のJRの各線及び京都丹後鉄道の各線、京都府外のJR草津線及びJR東海道本線の山崎～大阪間の車両内で収集した結果について検討した。

### 2-1. トンネルの影響がない場合

「トンネルなし」の周波数構成について、電車の一般車と特別車、気動車の一般車と特別車の4区分での周波数構成を図4に示す。いずれの区分でも「音色の目安」調査と同様に直線的に右下がりとなる周波数構成であり、中でも電車特別車は63Hz付近より高音域は1オクターブにつき約6dB減少する右下がりの直線状の周波数構成であった。電車一般車は電車特別車と比較すると200Hz付近より低音域は似ているが、高音域では周波数が高くなるにつれて特別車に比べて一般車の音圧レベルが高くなり、630Hz付近から高音域では一般車の音圧レベルが10dB程度高かった。気動車は一般車と特別車との差は小さく、一般的に電車一般車と似ていたが、80～160Hz付近の音圧レベルが5～10dB高い周波数構成であった。気動車と同様にエンジンを動力とする自動車では主にエンジンに由来する「こもり音」と呼ばれる20～250Hzの音が生じていることが知られており<sup>4,5)</sup>、この音圧レベルの増加は自動車と同様にエンジンの影響によるものであると考えられた。いずれの区分でも8kHzより高い音域で減少が緩やかになる傾向がみられた。これは曲線区間を走る鉄道車両からは10kHzを超える高周波音が生じていることが報告されており<sup>6)</sup>、この影響を受けている可能性が考えられた。AP (A) 値は「音色の目安」調査と類似していた。

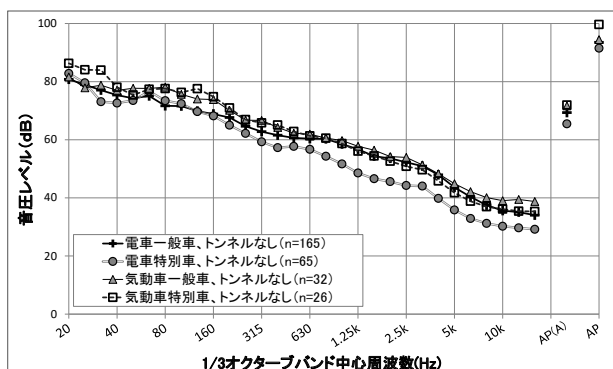


図4. JR 在来線の電車と気動車の周波数構成

4区分とも、測定項目ごとに平均を求める前の音圧レベルは、車両形式や走行区間の影響を大きく受けるためか、どの項目でも音圧レベルに20dB前後の幅があった。また電車一般車では12.5kHzと16kHzで更に幅が拡大し、低音域から10kHzまでは一般的に右下がりの周波数構成であっても10kHz超の音域で大きく右上がりとなる周波数構成が見られた。顕著な例は全て103系車両で収集した事例であり代表例を図5に示す。電車一般車での収集例について車両形式ごとに、12.5kHzまたは16kHzの音圧レベルが10kHzの音圧レベルより5dB以上高くなっていた事例を計数した結果を表2に示す。車両形式ごとに運行されている区間に偏りがあるため単純に比較できないが、製造から50年程度経過している103系や113系といった古い車両で高頻度で生じていたが、221系や321系といった比較的新しい車両でも生じていた。

鉄道車両の車内騒音の由来としては、車輪がレールの上をこる際に生じる音やモーター等の床下に設けられている機器から生じる音が、車両の床等から室内に放射される音や、車外に放射された音が窓や扉から室内に侵入する音が知られている<sup>7,8)</sup>。密閉性の低い古い車両において、室外から室内に侵入した高周波音の影響を受けた周波数構成が多く収集された可能性が考えられた。また車両の軽量化や台車の改良といった騒音対策により、新しい車両では高周波音の発生が減少している可能性も考えられた。

表2. 12.5kHz以上の音圧レベルが10kHzより5dB以上高かった件数

車両形式	5 dB以上の上昇あり	全収集件数
103系	13	31
113系	5	21
125系	0	2
205系	0	4
207系	0	6
221系	1	42
223系	1	47
225系	0	4
321系	1	8

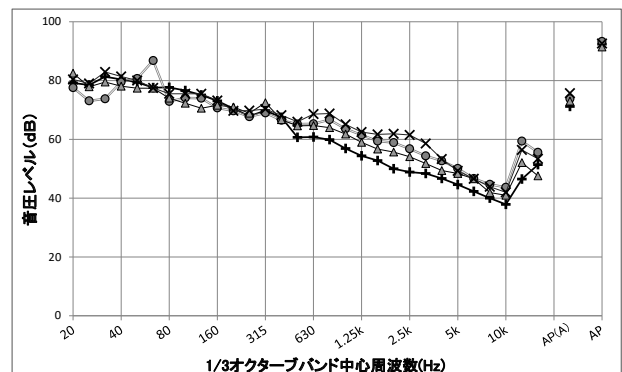


図5. JR103系電車で収集した周波数構成の例



表3. 収集区間毎の特徴

区間名	走行区間	主な特徴	トンネル区間 走行時間	収集件数
A	喜多～大江高校前	単線、勾配区間あり 一部ロングレール	4分強	14
B	大江～福知山市民病院口	単線、曲線あり 勾配区間少ない	3分強	13
C	福知山～山家	大半が複線 勾配・曲線少ない	(なし)	18
D	山家～胡麻	単線、曲線多い 勾配区間少ない	1分弱	15
E	胡麻～和知	単線、曲線多い 勾配区間少ない	1分弱	20
F	和知～園部	単線、曲線多い 勾配区間少ない	1分弱	19
G	園部～亀岡 (一般車は吉富～亀岡)	複線、勾配・曲線少ない ほとんどロングレール	(なし)	23
H	亀岡～円町 (一般車は亀岡～花園)	複線、大半がスラブ軌道 ほとんどロングレール	4分強	24
合計				146

2-2. トンネルの影響がある場合

在来線鉄道の結果のうち、収集例の多かった京都丹後鉄道の天橋立からJR山陰本線の福知山を經由して京都まで運転される特急電車（電車特別車）と、一部区間であるが同一区間の電車一般車の周波数構成について走行区間や車両タイプによる比較を行った。走行区間は表3に示すとおり、数分間のトンネル走行がある区間、平坦で曲線の少ない区間、山間部で曲線が多く短い鉄橋やトンネルがある区間など多様である。

2-2-1. 電車特別車

全て287系車両の動力のある車両で収集した。収集した列車は「はしだて6号」が多いが、同形式車両で同じ区間を運転される別の列車でも収集した。市販されている時刻表で読み取れる所要時間の差は0～2分であり、列車による走行速度の差は少ないものと考えられた。各区間と始発駅で停車中の周波数構成を図6に示した。

各区間とも直線的に右下がりの類似した周波数構成であったが、G区間とH区間はやや特徴的であった。G区間はC区間と同様に曲線の少ない平坦な区間であるが、G区間とH区間のみ騒音低減効果のあるロングレールが多用されているため<sup>9)</sup>、G区間とH区間は全般的に音圧レベルが低めとなった可能性が考えられた。H区間は1kHzを中心に200Hzから2.5kHzにかけてG区間より最大で20dB近く音圧レベルが高くなる周波数構成となった。この区間は時間にして3分強のトンネル区間走行があるが、同様にトンネル走行のあるA区間ではこの音圧レベルの増加は見られなかった。トンネル区間では車両走行に伴い車外に放出された音がトンネル壁面で

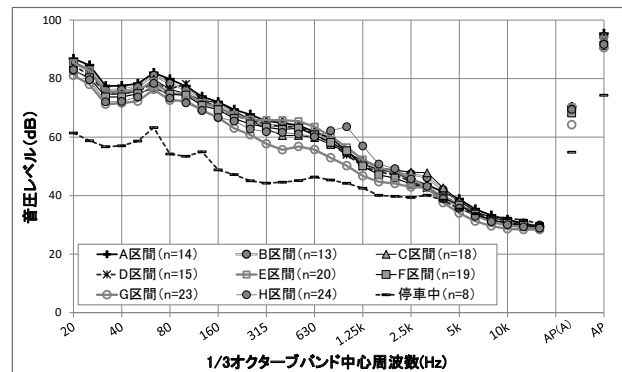


図6. JR在来線電車特別車の周波数構成

反射し窓や壁から室内に侵入して音圧レベルが上昇することが知られている<sup>7)</sup>。A区間のトンネルは単線トンネルであるが、H区間のトンネルは複線トンネルであり、車両とトンネル壁面に生じる空間の形状が異なる。単線トンネルでは、この空間が狭隘なため車両下部で生じた音が侵入の窓に達しづらく音圧レベルの上昇が緩和された可能性が考えられた。加えてH区間のトンネル部分の道床は騒音の面からは不利とされるスラブ軌道であったことから<sup>9)</sup>、H区間では大きな音圧レベルの上昇が生じた可能性が考えられた。

始発駅停車中の車内の周波数構成は63Hzにピークがみられ、顕著な例では音圧レベルが80dB程度に達していた。収集中の騒音計の指示の変化とエアコンのオン・オフがよく一致していたことからエアコンが発生源である可能性が考えられた。

### 2-2-2. 電車一般車と特別車の比較

亀岡駅を中心としたG区間とH区間について、電車一般車の221系車両と特別車の周波数構成を比較する。特別車は全て上り列車で収集したが、一般車は上り・下り両方で収集した。停車駅の多寡により一般車は若干収集区間が短い。一般車も全て動力のある車両で収集した。

結果を図7に示す。一般車の「トンネルなし」の周波数構成は、特別車の「トンネルあり」と似ており、一般車の「トンネルあり」での音圧レベルの上昇は特別車に比べより顕著であった。デッキの有無や乗降口の多寡といった車両構造の違いから、一般車は客室内に外部の音が侵入しやすいと考えられる。そのため一般車では車外に放射された音がトンネル走行中はもとよりトンネル外走行中でも客室に侵入しやすく、このような結果となったものと考えられた。

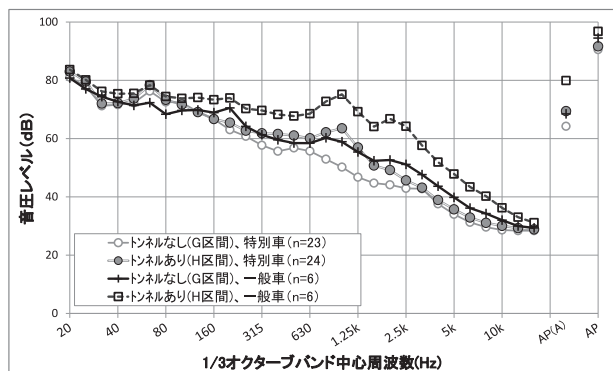


図7. トンネル走行の有無による周波数構成の比較

### 3. JR在来線等以外の交通機関の車内

路線バス、高速バス、観光船、トロッコ列車、飛行機で収集した。路線バスは信号の多い都市部と信号の少ない農村部、高速バスは峠やトンネルがある路線と平野部のみを走る路線でそれぞれ収集した。

結果を図8に示す。いずれもJR在来線等と同様の右下がりの周波数構成で、AP(A)とともに「音色の目安」調査結果と同様の傾向が見られた。観光船と飛行機では40~80Hzをピークとして低音側でも音圧レベルの低下が見られた。自動車の場合、路面の凹凸によって30~400Hz付近のロードノイズが生じることが知られている<sup>4)</sup>。船や飛行機は車輪が無いのでロードノイズが生じず、低音域の音圧レベルが低下している可能性が考えられた。バスについて個別の周波数構成を見ると、前述のJR在来線等と異なり走行区間ごとの信号待ちや勾配区間、トンネルの多寡といった違いによる周波数構成の差異は少なかった。バスの車内騒音は、鉄道の特別車と同様に車外から車内に侵入する音の寄与が小さいため、勾配やトンネルの多寡といった違いが周波数構成の変化に現れにくくなっている可能性が考えられた。またJR在来線等と同様に10kHz付近より高音域で平坦または右上がりとなる周波数構成が散見された。この現象は同じ収集区間でも乗車日や車両による再現性がみられなかったことから原因は特定できなかった。

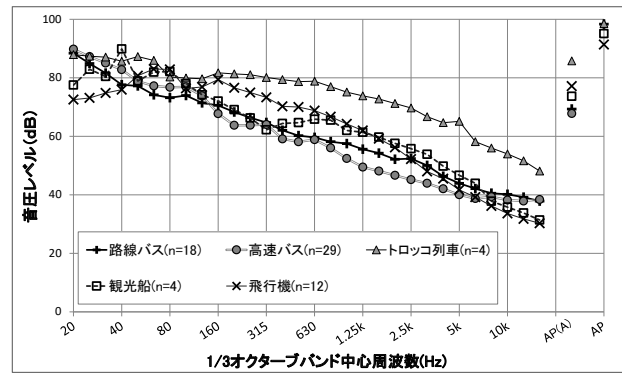


図8. バス、船ほかの周波数構成

### 引用文献

- 1) 小山祐介, 城裕樹, 町田哲, 石橋雅之, 佐々木裕也, 菊池英男. 2020. 「音色の目安」作成調査結果について. 全国環境研会誌, 45 (1), 27-32.
- 2) 橋本典久. 2016. 保育園での子供の遊び声に関する騒音測定調査. J. Environ. Eng., AIJ, 81, 909-917.
- 3) 長井今日子, 小寺一興, 芦野聡子, 前田知佳子. 1991. 会話音に対する快適レベルと不快レベルの測定. Audiology Japan, 34, 259-264.
- 4) 国枝忠明. 1982. 車内騒音について. 騒音制御, 6 (2), 7-11.
- 5) 星野博之, 小沢義彦. 1995. 車内音を構成する音の要素とその評価. 豊田中央研究所R&Dレビュー, 30 (3), 29-38.
- 6) 川口二俊, 北川敏樹, 熊倉孝雄. 2015. 曲線区間で発生する10kHzを超える高周波音の現象解明. 鉄道総研報告, 29 (5), 29-34.
- 7) 山本克也. 2007. 鉄道車内騒音の低減方法. 騒音制御, 31 (5), 368-373.
- 8) 朝比奈峰之, 山本克也, 石森章純, 秋山裕喜. 2016. 車内の騒音を低減する. Railway Research Review, 73 (4), 16-19.
- 9) 阿部英彦. 1981. 鉄道騒音・振動の発生メカニズムと対策. 環境技術, 10 (8), 63-69.