

自動車内の各種サイン音にとって望ましい音響特性

崔, 鍾大

<https://doi.org/10.15017/458889>

出版情報 : Kyushu University, 2004, 博士 (芸術工学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :

第3章 リバース報知音にとって望ましい 音響特性

3.1 はじめに

本章では、リバース報知音を対象とし、その機能イメージに相応しい音であるかどうかなどを検討するために、印象評定実験を行う。

本章でリバース報知音を対象としたのは、ほぼ全車種で搭載されており、自動車内で使われている各種サイン音の研究の初期段階として最も重要なものと判断したからである。また、キー抜き忘れ報知音やライト消し忘れ報知音については、自動車のインテリジェント化が進むことにより、最近はそれらのサイン音の必要性がなくなりつつある現状もある。

第2章では、市販車で実際に使用されているサイン音を収録し、実験刺激としたため、様々な物理量の影響が交錯した状況のものであった。本章では、第2章の実験結果に基づき、刺激音を合成し、徹底的にそれらによる影響を検討できるような印象評定実験を行っている。

第2章の実験結果によると、「リバース報知音」の相応しさに影響を与えている要因としては、大きく分けて「断続パターンの影響」と「スペクトルの影響」が挙げられた。リバース報知音は周期的な断続音でありながら、なおかつ、様々なパターンのスペクトル構造を持つ音である。

まず、断続パターンの影響を検討する実験を行い、スペクトルの条件を統一した状況下で、断続パターンの吹鳴時間（音が鳴っている時間）、休止時間（音が鳴っていない時間）による影響を調べる。

次に、スペクトルの影響を検討する実験を行い、断続パターンの条件を統一した状況下で、周波数スペクトルの影響を検討する。純音を用いて基本周波数の影響を探る実験、複合音を用いて倍音構造の影響を探る実験を実施する。

最後に、総合的評価実験では、断続パターンの影響の実験と3.3 スペクトルの影響の実験で明らかになった「断続パターン」「基本周波数」「スペクトル構造」の影響をそれぞれ独立に変化させ、各変量の条件を組み合わせた状況で印象評定実験を行い、各要因間の相互作用も考慮して、リバース報知音として相応しい音響特性について総合的に検討する。

3.2 断続パターンの影響

リバーズ報知音は、通常、周期的な断続音である。そこで、断続パターンの吹鳴（音が鳴っている）時間、休止（音が鳴っていない）時間がリバーズ報知音の機能イメージや心理的印象にどのように影響しているのかを検討する実験を行った。2.2.2.1 で、吹鳴時間 330ms～400ms、休止時間 620ms～750ms の断続パターンの音がリバーズ報知音として相応しいとの傾向を得ているが、スペクトル構造の影響を排除した状況で得たものではない。本実験では、刺激音のスペクトル構造を一定とし、断続パターンの影響のみを観測できるように配慮した。

3.2.1 実験 I

3.2.1.1 実験方法

刺激音の基本周波数は 2kHz で、倍音として 4kHz の成分を基本周波数成分の 50% の振幅で加えた。吹鳴時間は 100ms 刻みで 300ms～600ms の 4 条件、休止時間は 200ms 刻みで 300ms～900ms の 4 条件、計 16 種類の断続パターンを用いた。この範囲は、第 2 章のリバーズ報知音の実験で相応しいと判断されていた条件を参考にして設定したものである。刺激の長さは、8 秒を目安とし、7.5～8.5 秒の範囲に含まれるように繰り返し回数を調節した。ただし、二通り以上の繰り返し回数が考えられる場合、8 秒以内で 8 秒に最も近くなる繰り返し回数を採用した。8 秒という長さは、「定常的に鳴っている」と認識するには十分な長さであると判断した。各音には、クリック音の発生を防ぐために 10ms の直線的な立ち上がり、および減衰特性をつけた。

印象評定実験は、5 段階の形容詞尺度を用いた SD 法によって実施した。評定尺度は、リバーズ報知音としての相応しさ、音としての快さ等を含み、各種の聴覚的印象を表す 8 つの尺度である（表 3.1 に示す）。

すべての刺激は、コンピュータに記憶し、ヘッドフォン（SONY/MDR-CD780）を通して呈示した。刺激のサンプリング周波数は 44.1kHz、量子化ビット数は 16 ビットである。被験者にはドライバーとして車を後退させている状況をイメージするように教

示を行った。刺激の呈示音圧レベルは、人工耳（B&K/Type 4153）、騒音計（RION/NA-29）を用いて約 55dB(A)に設定した。被験者は、自動車の運転経験がある 21 歳から 24 歳の男性 15 名である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

3.2.1.2 結果

断続パターンがリパース報知音の機能イメージに及ぼす影響を調べるため、各印象評定尺度に対する各被験者の評定値をもとに、評定尺度を変数として主成分分析を行った。その結果、2 主成分を得た。表 3.1 に主成分係数行列を示す。

表 3.1 実験 I（断続パターンの影響）の主成分係数行列

評定尺度	第 1 主成分	第 2 主成分
ゆったりした — せかせかした	0.919	0.168
落ち着いた — 慌しい	0.889	0.213
静かな — やかましい	0.859	0.265
やわらかい — かたい	0.594	0.321
相応しい — 相応しくない	0.126	0.892
好ましい — 好ましくない	0.246	0.879
快い — 不快な	0.594	0.617
高級な — 安っぽい	0.433	0.530
寄与率 (%)	41.8	30.9

第 1 主成分は「ゆったりした—せかせかした」「静かな—やかましい」などの尺度に負荷が高く「落ち着き主成分」、第 2 主成分は「相応しい—相応しくない」「好ましい

「好ましくない」などの尺度に負荷が高く、サイン音の適性を総合的に表す「評価主成分」と解釈した。

また、断続パターンと機能イメージの関係を検討するために各刺激音の主成分得点を求め、吹鳴時間、休止時間と各主成分得点との間の相関関係を検討した結果、各刺激の休止時間と落ち着き主成分得点の間には、有意水準 1%未満で有意な相関 ($r = -0.880$) がみられた。

図 3.1 に落ち着き主成分得点と吹鳴時間、休止時間の対応関係を示す。休止時間が長い刺激ほど静かで、ゆったりした印象を持たれる。

評価主成分得点と吹鳴時間、休止時間の長さとの対応関係は、このような単調なものではない。図 3.2 に評価主成分と吹鳴時間、休止時間の対応関係を示す。評価主成分得点が低いほど「相応しい」「好ましい」印象が強い。最もリバーズ報知音として相応しく、好ましいと判断された刺激音は、吹鳴時間-休止時間が 500ms-500ms, 500ms-700ms, 600ms-500ms の組み合わせである。おおよそ、吹鳴時間の長さが 500ms~600ms, 休止時間の長さは 500ms~700ms の範囲で、リバーズ報知音として相応しい断続パターンがありそうである。しかし、図 3.2 の相応しいと判断された吹鳴時間を見ると、より長い吹鳴時間を持つ刺激でも相応しく、好ましい印象を持たれる可能性が考えられる。さらに、吹鳴時間と休止時間の長さの比が影響を及ぼしている可能性も考えられる。そこで、より長い吹鳴時間をもつ刺激、また同じ断続周期でも吹鳴時間と休止時間の比を変化させた刺激を含む条件で、同様の実験を行うことにした。

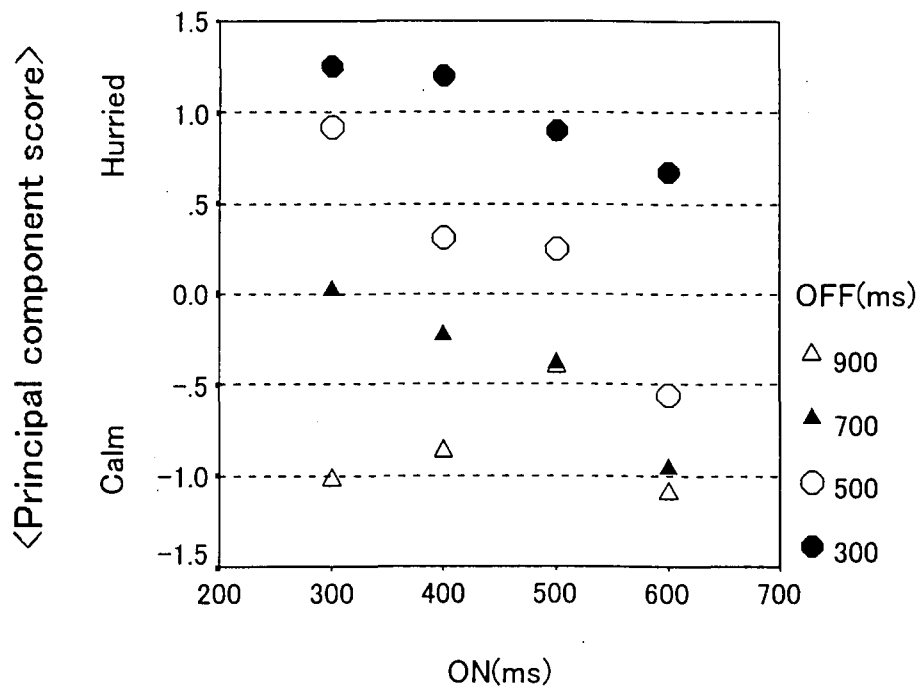


図 3.1 落ち着き主成分得点と吹鳴時間, 休止時間の対応関係
(ON : 吹鳴時間, OFF : 休止時間)

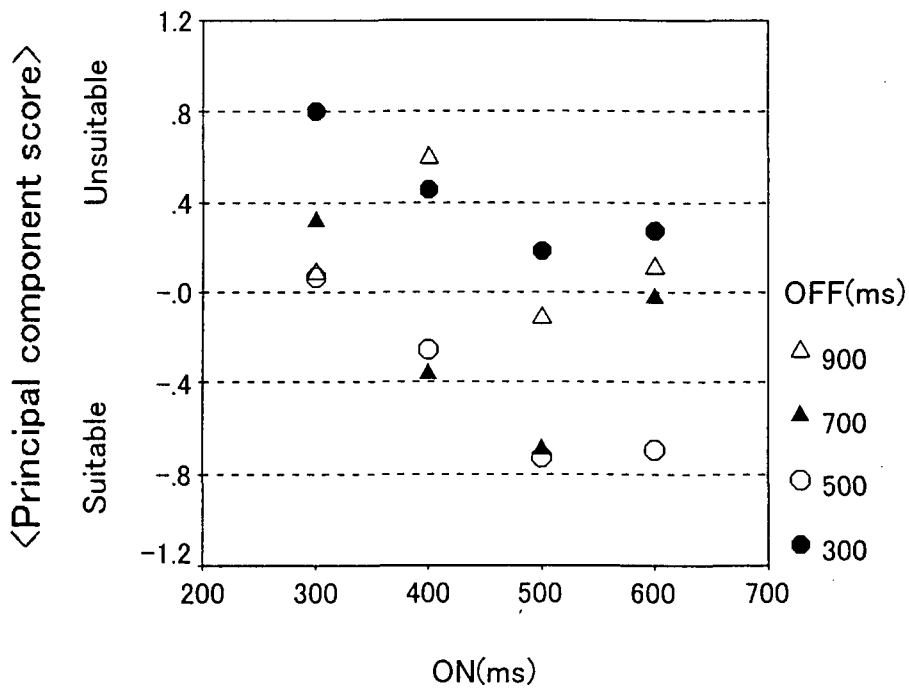


図 3.2 評価主成分得点と吹鳴時間, 休止時間の対応関係
(ON : 吹鳴時間, OFF : 休止時間)

3.2.2 実験Ⅱ

3.2.2.1 実験方法

実験Ⅰの刺激には含まれていない600ms以上の吹鳴時間のものや、吹鳴時間と休止時間の長さの比を系統的に変化させた刺激を含む条件で、実験Ⅰと同様の実験を行った。

刺激の周波数成分構造は実験Ⅰと同様である。吹鳴時間は200ms刻みで300ms～900msの4条件、休止時間は200ms刻みで100ms～1300msの7条件である。断続周期は1000ms～1600msに限定し、計16種類の断続パターンを用いた。これらの刺激を用い、吹鳴時間と休止時間の比の影響を検討できるようにした。各音には、クリック音の発生を防ぐために10msの直線的な立ち上がり、および減衰特性をつけた。

実験の手続きは、実験Ⅰと同様である。被験者は、自動車の運転経験がある21歳から24歳の学生15名（男性14名、女性1名）である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

3.2.2.2 結果

断続パターンがリバーズ報知音の機能イメージに及ぼす影響を調べるため、各印象評定尺度に対する各被験者の評定値をもとに、評定尺度を変量として主成分分析を行った。表3.2に主成分係数行列を示す。実験Ⅰと同様に「落ち着き主成分」「評価主成分」が得られた。

また、断続パターンと機能イメージの関係を検討するために、各刺激音の主成分得点を求め、吹鳴時間、休止時間と各主成分得点との間の相関関係を検討した結果、実験Ⅰと同様に各刺激の休止時間と落ち着き主成分得点の間には、有意水準1%未満で有意な相関($r = -0.791$)が見られ、休止時間が長い刺激ほど静かで、ゆったりした印象を持たれることが分かった。図3.3に落ち着き主成分得点と吹鳴時間、休止時間の対応関係を示す。

実験Ⅰと同様に、評価主成分得点と吹鳴時間、休止時間の長さとの対応関係は、このような単調なものではなかった。図3.4に評価主成分得点と吹鳴時間、休止時間の対応

関係を示す。図 3.4 によると、吹鳴時間 500ms~700ms と休止時間 500ms~700ms の刺激がリバーズ報知音として、相応しく、好ましい印象を持たれている。また、吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しい断続パターンの方が、より「相応しい」側に位置する。

表3.2 実験Ⅱ（断続パターンの影響）の主成分係数行列

評定尺度		第 1 主成分	第 2 主成分
ゆったりした	－ せかせかした	0.888	0.190
落ち着いた	－ 慌しい	0.875	0.271
静かな	－ やかましい	0.753	0.319
やわらかい	－ かたい	0.684	0.105
高級な	－ 安っぽい	0.449	0.417
相応しい	－ 相応しくない	0.096	0.914
好ましい	－ 好ましくない	0.249	0.893
快い	－ 不快な	0.377	0.781
寄与率 (%)		37.6	33.0

実験Ⅱでは、実験Ⅰより長い吹鳴時間の条件を加えて実験を行ったが、700ms よりも吹鳴時間が長くなると、相応しさは低下する。

また、同一の断続周期の刺激音でも、吹鳴時間と休止時間の比により、相応しさが変化する様子が観測された。断続周期 1400ms の場合、吹鳴時間－休止時間の組み合わせとして、300ms－1100ms, 500ms－900ms, 700ms－700ms, 900ms－500ms のものがあり、700ms－700ms のものが最も相応しいと判断されている。断続周期 1000ms の場合、300ms－700ms, 500ms－500ms, 700ms－300ms, 900ms－100ms のもの

があり、500ms-500ms が最も相応しいと判断されている。おおむね、吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しい断続パターンの方が「相応しい」と判断される傾向にある。

第2章では吹鳴時間が330ms~400ms、休止時間が620ms~750msの断続パターンが相応しいと判断されたのに比べ、本実験では吹鳴時間の長さが500ms~700msと、もう少し長い音が相応しいと判断された。その理由としては、実際の自動車には、このような範囲のリバース報知音がほとんどなかったことが考えられる。

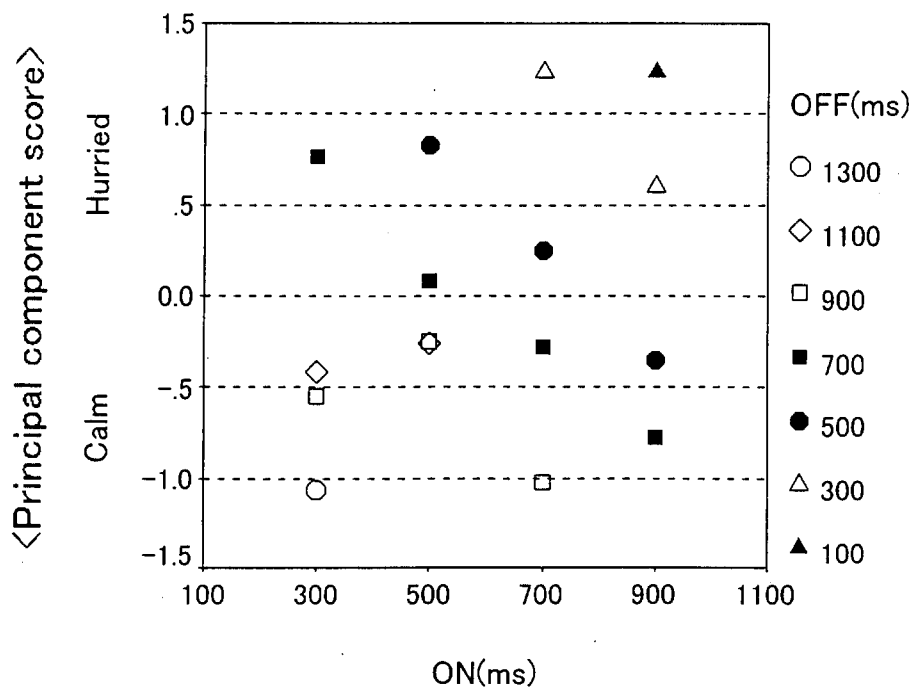


図 3.3 落ち着き主成分得点と吹鳴時間、休止時間の対応関係
(ON : 吹鳴時間, OFF : 休止時間)

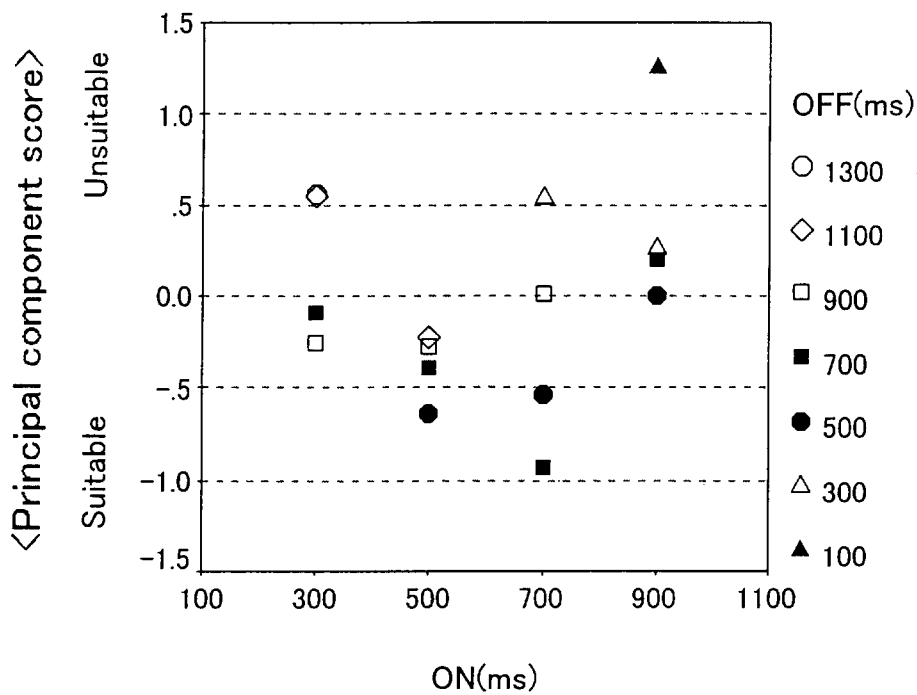


図 3.4 評価主成分得点と吹鳴時間、休止時間の対応関係
(ON : 吹鳴時間, OFF : 休止時間)

3.2.3 補足実験

3.2.3.1 実験方法

実験Ⅱの結果では、吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しい500ms-500msと700ms-700msの断続パターンの方が相応しいと判断される傾向にあった。しかし、吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しく、より長い断続パターンに関しては、不明瞭な結果である。そこで、実験Ⅱの刺激には含まれていない900ms-900msの断続パターンを含む条件で、実験Ⅱと同様の実験を行う。

刺激としては、吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しい「300ms-300ms」「500ms-500ms」「900ms-900ms」の3条件である。刺激の周波数成分構造は実験Ⅰと同様である。各音には、クリック音の発生を防ぐために10msの直線的な立ち上がり、および減衰特性をつけた。

印象評定実験の評定尺度に関しては、評価主成分の尺度の中からリバーズ報知音としての相応しさを評価する「相応しい-相応しくない」のみの形容詞尺度を用いて実験を行った。その他の実験手続きは、実験Ⅰと同様である。被験者は、自動車の運転経験がある21歳から30歳の学生11名（男性8名、女性3名）である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

3.2.3.2 結果

吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しい断続パターンがリバーズ報知音の機能イメージに及ぼす影響について調べた。図3.5に各刺激音に対するリバーズ報知音としての相応しさに関する平均評定値を示す。図3.5によると、500ms-500msの組み合わせの条件については実験Ⅱの結果と同様、比較的相応しい方向に位置することが観察された。

また、断続パターンの相応しさに関する被験者の評定値を従属変数として、分散分析を行った結果、断続パターンの効果は有意水準1%未満で有意 ($F(2, 30)=10.06, p<0.001$) であった。300ms-300ms, 900ms-900msの断続パターンの場合、リバー

ス報知音として相応しくない印象を持たれていることが示された。300ms-300ms の断続パターンについては、実験Ⅱと同様な結果が得られている。また、実験Ⅱの刺激には存在しなかった、より長い断続パターンの900ms-900msの組み合わせについても相応しさが低下するという明瞭な結果が得られた。それぞれの刺激音に対する下位検定を行った結果でも、「300ms-300ms と 900ms-900ms」の断続パターンの間には、統計的に有意な差は見られなかったが、「300ms-300ms と 500ms-500ms」、「500ms-500ms と 900ms-900ms」の断続パターンの間には、有意水準 1%未満で有意であった。

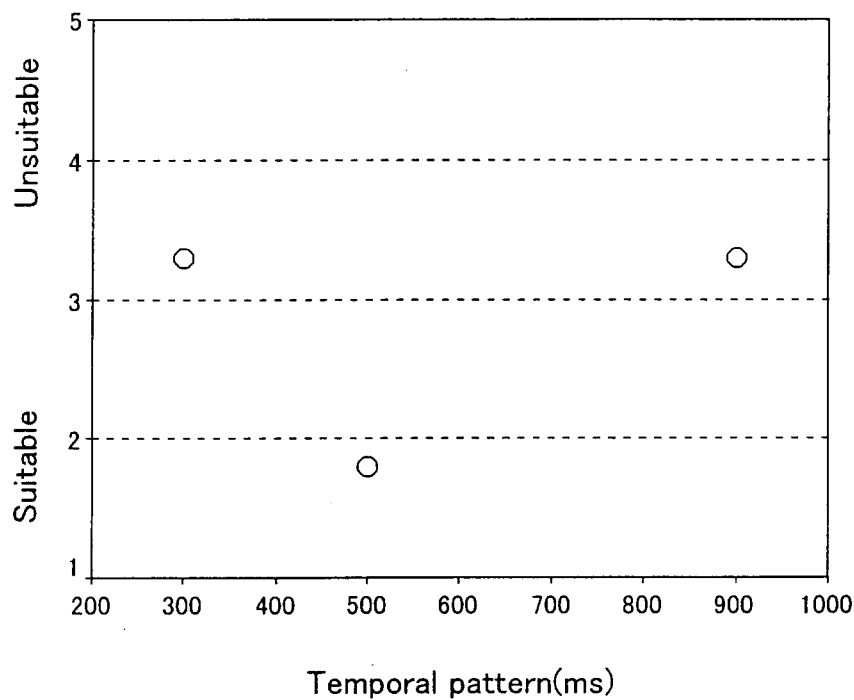


図 3.5 各刺激音に対するリバーズ報知音としての相応しさに関する平均評定値

3.3 スペクトルの影響

3.2 断続パターンの影響の実験では、リバーズ報知音の断続パターンが機能イメージや心理的印象にどのように影響しているのかを検討した。本節では、断続パターンの条件を統一した状況下で、周波数スペクトルの影響を検討する。純音を用いて基本周波数の影響を探る実験、複合音を用いて倍音構造の影響を探る実験を実施した。第2章では、4kHz以上の成分が優勢であるとリバーズ報知音として相応しくない音であるとの傾向を得ていたが、断続パターンの条件を統一した条件で得られたものではない。

3.3.1 純音の周波数の影響による実験

3.3.1.1 実験方法

本実験では、様々な周波数の純音を刺激として用い、周波数がリバーズ報知音の機能イメージや心理的印象にどのように影響しているのかを検討する。

刺激音は、周波数 500Hz, 700Hz, 1000Hz, 1300Hz, 1500Hz, 1700Hz, 2000Hz, 2500Hz, 3000Hz の純音を用いた断続音である。吹鳴時間-休止時間の組み合わせは、断続パターンの実験(3.2)で相応しいとされた範囲から、500ms-500msとした。各刺激の長さは8秒である。周波数の範囲は、第2章で最も相応しいと判断されたリバーズ報知音の基本周波数、2kHzを中心に定めたものである。各音には、クリック音の発生を防ぐために10msの直線的な立ち上がり、および減衰特性をつけた。

実験手続きは、実験Ⅰ、実験Ⅱと同様である。ただし、評定尺度には、「鋭い-鈍い」「明るい-暗い」といった周波数の情報と関連の深い尺度を加えた、13尺度を用いた。被験者は自動車の運転経験がある21歳から24歳の学生15名(男性13名、女性2名)である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

3.3.1.2 結果

純音の周波数がリバーズ報知音の機能イメージに及ぼす影響を調べるため、各印象評定尺度（13 尺度）に対する各被験者の評定値をもとに、評定尺度を変数として主成分分析を行い、2 主成分を得た。表 3.3 に主成分係数行列を示す。

表 3.3 実験Ⅲ（純音の周波数の影響）の主成分係数行列

評定尺度		第 1 主成分	第 2 主成分
鋭い	－ 鈍い	-0.911	-0.135
はっきりした	－ ぼんやりした	-0.893	-0.054
澄んだ	－ 濁った	-0.845	0.141
明るい	－ 暗い	-0.827	0.038
重い	－ 軽い	0.792	-0.014
ゆったりした	－ せかせかした	0.683	0.430
やわらかい	－ かたい	0.665	0.497
静かな	－ やかましい	0.653	0.479
落ち着いた	－ 慌しい	0.646	0.441
好ましい	－ 好ましくない	-0.039	0.889
相応しい	－ 相応しくない	-0.186	0.857
快い	－ 不快な	0.271	0.812
高級な	－ 安っぽい	0.153	0.710
寄与率 (%)		42.6	27.6

第 1 主成分は「鋭い－鈍い」「重い－軽い」などの尺度に負荷が大きい「金属性主成分」、また、第 2 主成分は「相応しい－相応しくない」「好ましい－好ましくない」などの尺度に負荷が大きい「評価主成分」と解釈した。

また、周波数と機能イメージの関係を検討するために、各刺激音の主成分得点を求め、周波数と各主成分得点との間の相関関係を検討した結果、周波数と金属性主成分得点の間には有意水準 1%未満で有意な相関 ($r=0.787$) がみられた。周波数の高い音ほど、鋭く、軽い印象を持たれている傾向が分かる。図 3.6 に各刺激音の周波数と金属性主成分得点の対応関係を示す。

評価主成分得点と周波数の関係は、金属性主成分のような単調なものではない。図 3.7 に各刺激音に対する評価主成分得点を示す。図 3.7 によると、純音を用いた場合、リバーズ報知音として、相応しく、好ましいと判断された周波数の範囲は 1kHz~2kHz であることが分かる。この範囲より周波数が低くても高くても、「相応しさ」は低下する。第 2 章において、基本周波数 2kHz 程度の音がリバーズ報知音として相応しいという傾向が示されている。純音を用いた場合、もう少し低い周波数まで、相応しい範囲に含まれることが分かった。

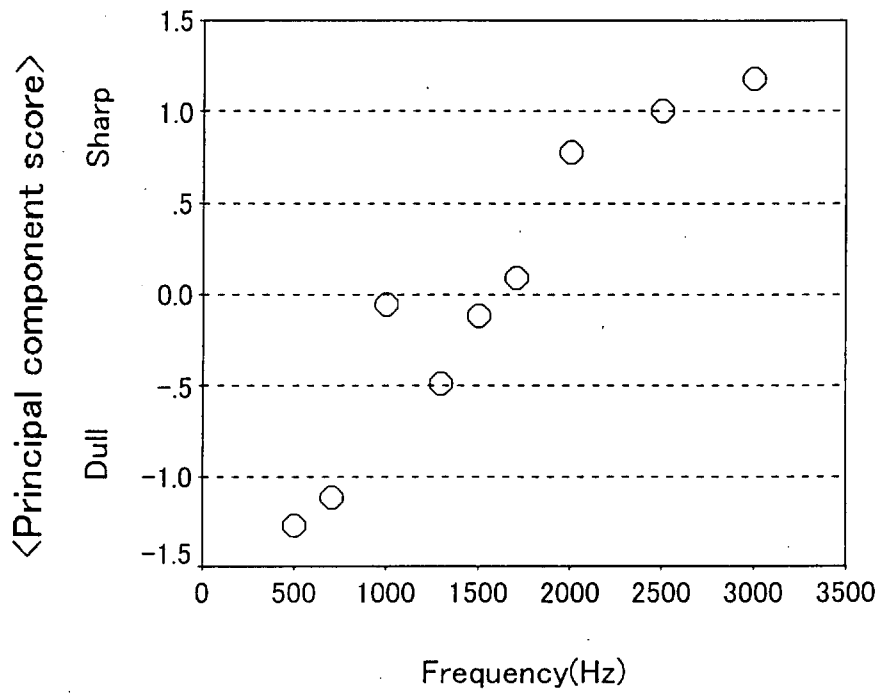


図 3.6 各刺激音の周波数と金属性主成分得点の対応関係

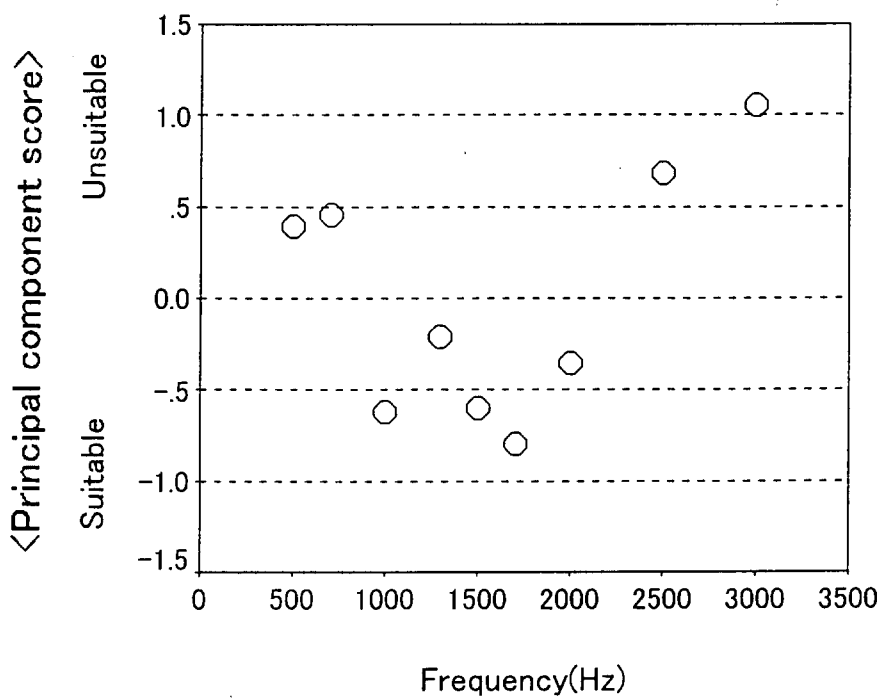


図 3.7 各刺激音の周波数と評価主成分得点の対応関係

3.3.2 倍音の影響による実験

3.3.2.1 実験方法

本実験では、基本周波数を固定して、倍音の影響を検討する。刺激音としては、純音の周波数の影響による実験(3.3.1)で対応しいと判断された基本周波数の成分に数パターンの倍音を加えたものである。

刺激音のスペクトル形状としては、単一成分（純音）、右下がり型（Falling-slope）のもの2種類、谷型（Valley-shape）のもの2種類を用いた。図3.8に、純音以外の8つのスペクトル・パターンを示す。これらのスペクトル・パターンは、第2章で実験素材とした自動車で利用されているリバース報知音のスペクトル・パターンをモデル化したものである。基本周波数は、1kHzおよび2kHzに設定した。断続パターンは、純音の周波数の影響による実験(3.3.1)と同様に、吹鳴時間500ms、休止時間500msとした。各音には、クリック音の発生を防ぐために10msの直線的な立ち上がり、および減衰特性をつけた。

実験手続きは、評定尺度も含め、純音の周波数の影響による実験（3.3.1）と同様である。被験者は、自動車の運転経験がある21歳から24歳の学生15名（男性14名、女性1名）である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

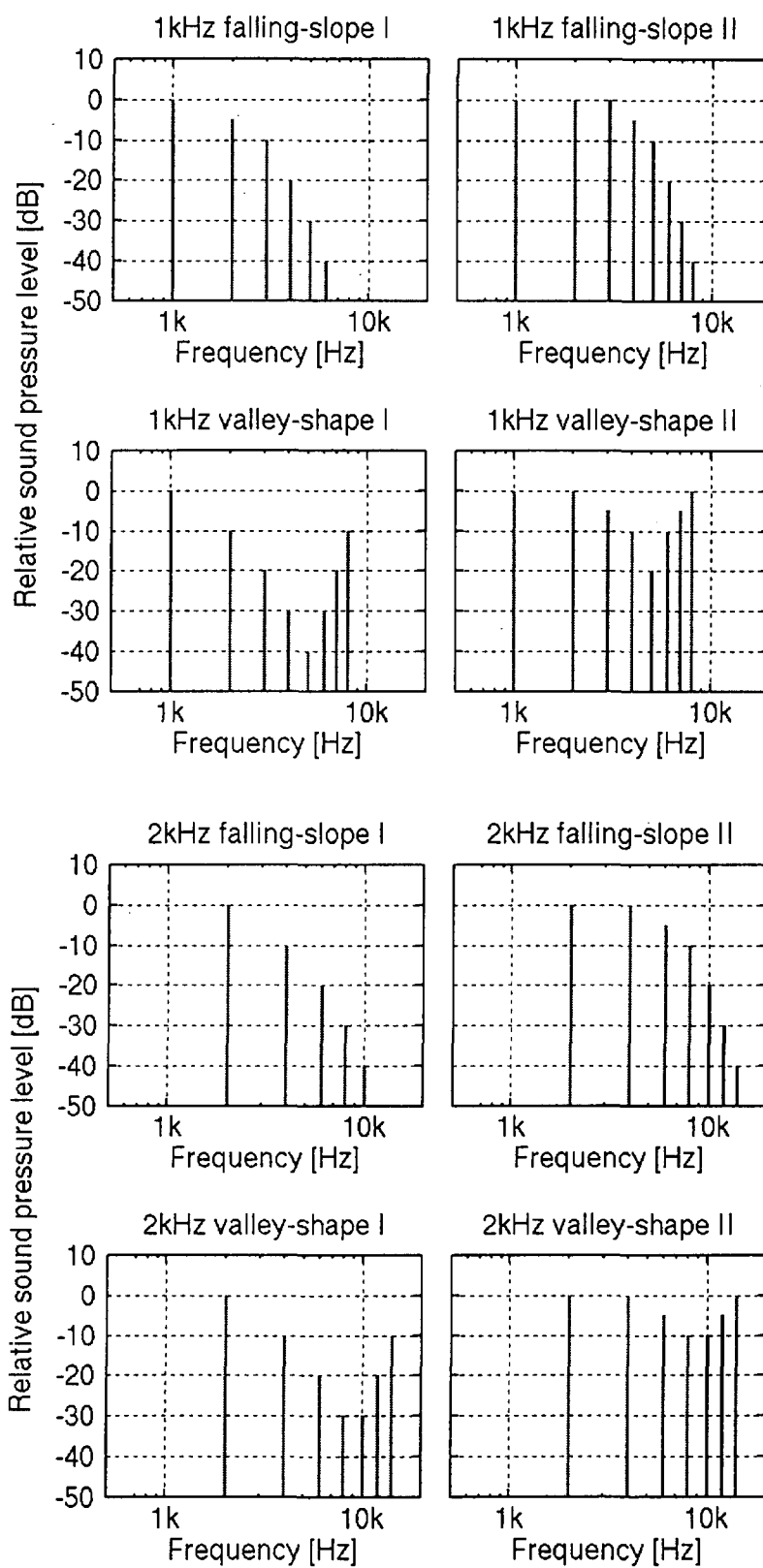


図 3.8 刺激音のスペクトル形状

3.3.2.2 結果

倍音がリバース報知音の機能イメージに及ぼす影響を調べるため、各印象評定尺度に対する各被験者の評定値をもとに、評定尺度を変量として主成分分析を行った。その結果、3主成分を得た。表 3.4 に主成分係数行列を示す。

表 3.4 実験IV（倍音の影響）の主成分係数行列

評定尺度		第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
静かな	— やかましい	0.856	0.263	0.116
ゆったりした	— せかせかした	0.744	0.314	-0.185
落ち着いた	— 慌しい	0.739	0.290	-0.099
やわらかい	— かたい	0.729	0.289	-0.272
鋭い	— 鈍い	-0.690	-0.333	0.436
はっきりした	— ぼんやりした	-0.639	0.051	0.527
相応しい	— 相応しくない	0.219	0.893	0.041
好ましい	— 好ましくない	0.212	0.886	0.027
高級な	— 安っぽい	0.297	0.718	-0.241
快い	— 不快な	0.570	0.613	0.123
重い	— 軽い	0.073	0.326	-0.800
澄んだ	— 濁った	0.006	0.130	0.783
明るい	— 暗い	-0.442	0.067	0.637
寄与率 (%)		30.4	23.5	18.0

第 1 主成分は「静かな—やかましい」「落ち着いた—慌しい」「鋭い—鈍い」などに負荷が高い「金属・落ち着き主成分」、第 2 主成分は「相応しい—相応しくない」「好ましい—好ましくない」などに負荷が高い「評価主成分」、第 3 主成分は「重い—軽い」「澄んだ—濁った」などに負荷が高い「鮮明主成分」と解釈した。

第2章の結果では、von Bismarck の提案[22]する音の鋭さを総合的に表す音響心理指標として良く使われている sharpness を求めた上で、各主成分得点との対応関係を調べた。しかし、本実験では、各主成分との対応関係を探るために、スペクトル重心を用いている。基本的には、sharpness とスペクトル重心はほぼ対応すると考えられる。スペクトル重心は、エネルギーが集中している周波数帯域がより詳細に特定できる、つまり、スペクトル重心の値を周波数で表し、各主成分との解釈がしやすくなると共に制御しやすいという利点もあり、本実験では、各刺激音のスペクトル重心を求め、各主成分得点との対応関係を調べている。

スペクトル重心と各主成分得点の関係を調べた結果、金属・落ち着き主成分の間には、有意水準 1%未満で統計的に有意な相関 ($r=0.812$) がみられ、スペクトル重心が高いほど、やかましく、鋭い印象が持たれていることが示された。また、スペクトル重心は評価主成分とも相関がみられた ($r=0.685$, 有意水準 5%未満)。鮮明主成分得点は基本周波数と対応し、基本周波数が 1kHz の場合の方が、2kHz の場合よりも「濁った」印象である傾向がみられるが、それほど明瞭な傾向ではない。表 3.5 に各刺激音の基本周波数、スペクトル重心と金属・落ち着き主成分得点、鮮明主成分得点との対応関係を示す。

表 3.5 各刺激音の基本周波数, スペクトル重心と金属・落ち着き主成分得点, 鮮明主成分得点との対応関係

(スペクトル形状)	基本周波数 (Hz)	スペクトル 重心(Hz)	金属・落ち着き 主成分得点	鮮明主成分 得点
Pure tone	1k	1000	-1.143	0.291
Falling-slope I	1k	1830	-0.777	0.523
Falling-slope II	1k	2671	0.411	0.253
Valley-slope I	1k	2910	0.274	0.331
Valley-slope II	1k	4177	-0.370	0.398
Pure tone	2k	2000	-0.754	0.415
Falling-slope I	2k	2897	0.215	-0.741
Falling-slope II	2k	4449	0.628	-0.748
Valley-slope I	2k	5324	0.324	-0.636
Valley-slope II	2k	8072	1.193	-0.085

図 3.9 は, スペクトル重心と評価主成分得点の関係を示す。最も「相応しい」「好ましい」と判断された刺激音は, 基本周波数が 1kHz で右下がり型のスペクトル構造を持つ音 (1kHz falling-slope I) である。これに次いで「相応しい」と判断された刺激音も同タイプのスペクトル構造を有する。基本周波数が 1kHz でも, スペクトルが谷型あるいは純音の場合には, これら (1kHz Pure tone, 1kHz Falling-slope I, II) に比べると「相応しさ」は低い。基本周波数が 2kHz の場合, 刺激音は「相応しくない」側に位置する。基本周波数 2kHz の刺激音の中では, 2kHz の純音は最も「相応しい」と判断されている。

図 3.9 において, スペクトル重心と評価主成分得点との対応関係をみると, おおむね, スペクトル重心の値が 3kHz 以上では, 刺激音は「相応しくない」側に位置する。その

ため、スペクトル重心と評価主成分得点の間に、相関が認められているのであろう。ただし、基本周波数 1kHz の場合、純音の条件では、右下がり型のスペクトルよりも「相応しくない」側に位置する。また、前節で示したように、純音を刺激とした条件では、1kHz よりも低い条件ではリバース報知音としての「相応しさ」は低下する。従って、スペクトル重心が低いほど、リバース報知音として相応しいというわけではない。

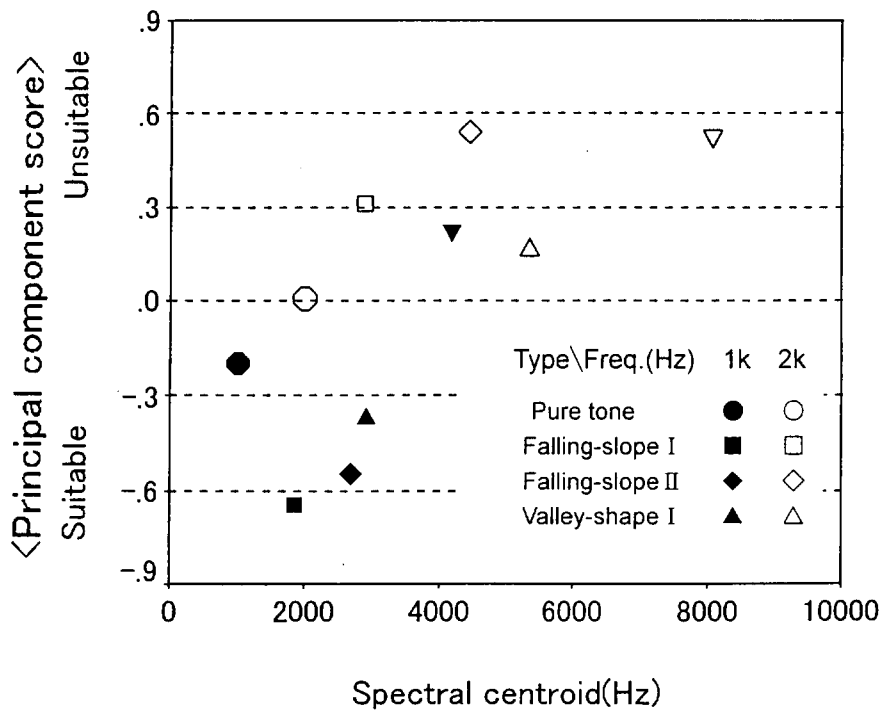


図 3.9 スペクトル重心と評価主成分得点の対応関係

3.4 総合的評価実験

3.2 と 3.3 の実験では、「断続パターン」「基本周波数」「スペクトル構造」の影響をそれぞれ独立に変化させ、詳細に検討した。本実験では、各変量の条件を組み合わせた状況で印象評定実験を行い、各要因間の相互作用も考慮して、リバーズ報知音として相応しい音響特性について総合的に検討する。

3.4.1 実験方法

3.4.1.1 実験刺激

刺激音の周波数成分構造は、1kHz, 2kHz の純音, 1kHz を基本周波数とする右下がり型のスペクトル構造 (図 3.8, 1kHz falling-slope I), 2kHz を基本周波数とする谷型のスペクトル構造 (図 3.8, 2kHz valley-shape II) の 4 種類である。断続パターンは、吹鳴時間-休止時間が、300ms-300ms, 500ms-500ms, 700ms-700ms, 900ms-100ms の 4 種類である。以上の組み合わせ、16 種類の刺激を作成した。これらの刺激は、各変量の影響を網羅するものではないが、これまでの実験で「相応しい」と判断されたスペクトル並びに断続パターン、「相応しくない」と判断されたスペクトル並びに断続パターンを有するものである。各刺激の長さは実験 I (3.2.1) と同様に、7.5~8.5 秒の範囲に含まれるように繰り返し回数を調節してある。各音には、クリック音の発生を防ぐために 10ms の直線的な立ち上がり、および減衰特性をつけた。

3.4.1.2 実験手続き

この実験では、評価主成分の尺度の中からリバーズ報知音としての相応しさを評価する「相応しい-相応しくない」のみの形容詞尺度で実験を行った。それ以外の実験手続きは、実験 I (3.2.1) と同様である。被験者は自動車の運転経験がある 21 歳から 29 歳の学生 11 名 (男性 9 名, 女性 2 名) である。全ての被験者は、健康診断などで異常が見られず、日常生活に不自由しない聴力を有する。

3.4.2 結果

実験要因の効果を検討するため、相応しさに関する被験者の評定値を従属変数として、断続パターンの要因とスペクトル構造の要因、この2要因による分散分析を行った。その結果、断続パターンの主効果 ($F(3, 30) = 9.48, p < 0.001$)、及び、スペクトル構造の主効果 ($F(3, 30) = 9.60, p < 0.001$)、断続パターン×スペクトル構造の交互作用 ($F(9, 90) = 3.38, p < 0.001$) が有意水準1%未満で有意であった。

図3.10に、各刺激音に対するリバーズ報知音としての相応しさに関する平均評定値を示す。断続パターンの主効果は、多くのスペクトル条件で、吹鳴、休止時間の長さが等しい500msと700msの断続パターンが相応しい印象を持たれていることを示す。これらに対して、吹鳴、休止時間の長さが等しい300ms-300msの断続パターンと900ms-100msの組み合わせは、「相応しくない」方向に位置する。この傾向は、断続パターンの影響を単独で検討した実験(3.2)で得られた傾向と一致する。

図3.10によると、スペクトル構造の主効果は、1kHz、2kHzの純音、1kHzを基本周波数とする右下がり型のスペクトル構造を持つ音が、相応しい印象を有することを示す。基本周波数が2kHzで谷型のスペクトルを有する音は、これらに比べて「相応しくない」方向に位置する。この刺激音のスペクトル重心は、8072Hzで3kHzを越えている。これらの傾向も、純音の周波数の影響による実験(3.3.1)と倍音の影響による実験(3.3.2)で得られた傾向と矛盾しない。

スペクトル構造と断続パターンとの交互作用は、断続パターンの効果が、スペクトル構造の条件に依存することを示している。2kHzを基本周波数とする谷型のスペクトル構造を持つ音の場合、断続パターンの影響は明瞭ではない。スペクトル構造が明らかにリバーズ報知音として相応しくない条件では、断続パターンを相応しいものにしても、あまり効果はないようである。スペクトル構造が相応しい条件であれば、多少バラツキはあるが、吹鳴、休止時間がそれぞれ500ms~700msの断続パターンが最も相応しいという判断が下される。

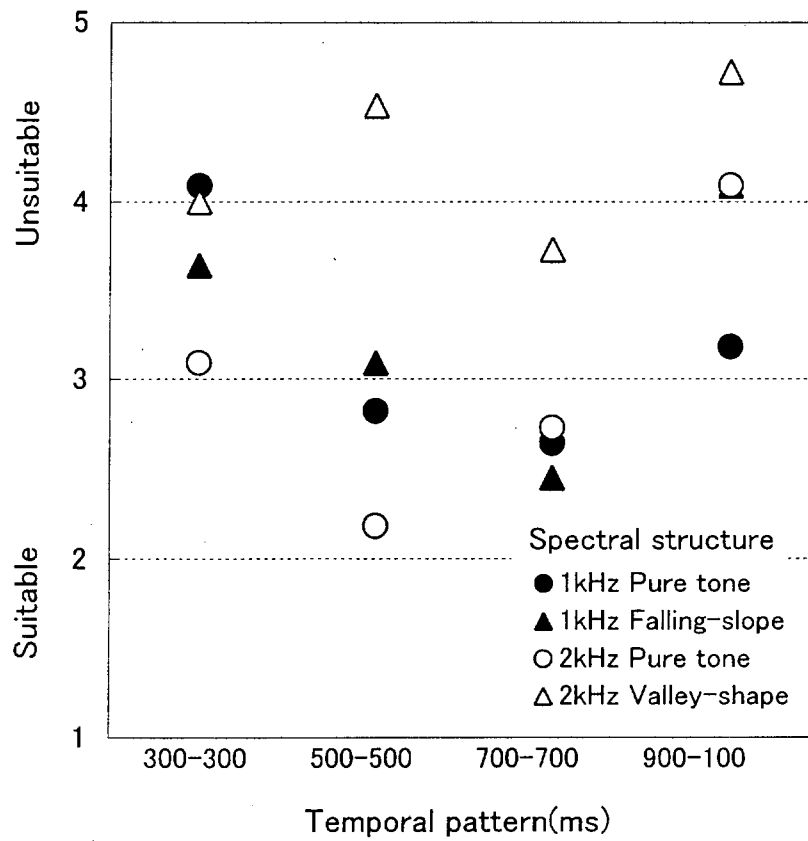


図3.10 各刺激音に対するリバース報知音としての相応しさに関する平均評定値

3.5 本章のまとめ

本章では、実際に自動車内で使われているリバーズ報知音をモデル化し、「断続パターン」「基本周波数」「スペクトル構造」を系統的に変化させた刺激音を用いて印象評定実験を行い、各要因とリバーズ報知音としての相応しさや音質との対応関係を明らかにした。断続パターンの影響に関する実験では、吹鳴時間と休止時間の長さの割合が等しい500ms~700msの刺激がリバーズ報知音として、相応しく、好ましい印象を持たれている範囲であることが分かった。また、吹鳴時間の条件が700msまでは相応しいとの判断が得られることが示されたが、700msよりも吹鳴時間が長くなると、相応しさは低下することが分かった。第2章では吹鳴時間が330ms~400ms、休止時間が620ms~750msの断続パターンが相応しいと判断されたのに比べ、この実験では吹鳴時間がもう少し長い音が相応しいと判断された。実際の自動車には、このような範囲のリバーズ報知音はほとんどない。吹鳴時間、休止時間の長さが、ほぼ500msに近い音は存在しているが、高周波成分が多く含まれている断続パターンであり、相応しくないと判断された。これらの結果を総合すると、リバーズ報知音の断続パターンとして、吹鳴時間をもう少し延ばした音があってもいいのではないだろうか。

スペクトルの影響に関する実験では、断続パターンの条件を統一した状況下で、周波数スペクトルの影響を検討した結果、純音を用いた場合、リバーズ報知音として、相応しく、好ましいと判断された周波数の範囲は1kHz~2kHzで、この範囲より周波数が低くても高くても、「相応しさ」は低下することが分かった。第2章において、基本周波数2kHz程度の音がリバーズ報知音として相応しいという傾向が示されたが、純音を用いた場合、もう少し低い周波数まで、相応しい範囲に含まれることが示された。

基本周波数を固定して、倍音の影響を検討した結果では、基本周波数が1kHzで右下がり型のスペクトル構造を持つ音(1kHz falling-slope I)が最も相応しい音であることが分かった。基本周波数2kHzの刺激音の中では、2kHzの純音は最も「相応しい」と判断された。また、スペクトル重心の値が3kHz以上の高域成分にエネルギーが集中している刺激音は「相応しくない」傾向であった。純音の周波数の影響による実験(3.3.1)にも示されたように、純音を刺激とした条件では、1kHzよりも低い条件ではリバーズ報知音としての「相応しさ」は低下した。つまり、スペクトル重心が低いほど、

リバース報知音として相応しいわけではないことが示唆された。

総合的評価実験では、断続パターンの影響の実験とスペクトルの影響の実験で、「断続パターン」「基本周波数」「スペクトル構造」の影響をそれぞれ独立に変化させ、詳細に検討したのに対し、本実験では、各変量の条件を組み合わせた状況で印象評定実験を行い、各要因間の相互作用も考慮して、リバース報知音として相応しい音響特性について総合的に検討した。断続パターンとしては、吹鳴、休止時間の長さが等しい500msと700msの断続パターンが相応しい印象を持たれていることが分かった。この傾向は、断続パターンの影響を単独で検討した実験Ⅱで得られた傾向と一致した。周波数スペクトルとしては、1kHz、2kHzの純音、1kHzを基本周波数とする右下がり型のスペクトル構造を持つ音が、相応しい印象を有することが分かった。基本周波数が2kHzで谷型のスペクトルを有する音は、相応しくないと判断された。スペクトル重心も8072Hzで3kHzを越えていた。これらの傾向も、スペクトルの影響の実験(3.3)で得られた傾向と矛盾していなかった。また、スペクトル構造が明らかにリバース報知音として相応しくない条件では、断続パターンを相応しいものにしても、あまり効果はないことが示された。つまり、スペクトルの重心が3kHzを超えた場合、断続パターンの効果は不明瞭になる。スペクトル構造が相応しい条件であれば、多少バラツキはあっても、吹鳴、休止時間の長さが500ms～700msの断続パターンは相応しいと判断されることを示唆している。

ここで相応しいとされた音は、4kHz程度以上の高域の音が聞こえにくいと言われていた高齢者にとっても[23]、聞き取りやすい音である。また、車内のエンジン音も1kHz以下にエネルギーが集中しており[24]、エンジン音にもかき消される恐れもない。実際にリバース報知音として利用できる音であると考えられる。