

An analysis of functional imagery and onomatopoeic representation of auditory signals

山内，勝也

<https://doi.org/10.15017/458558>

出版情報：Kyushu Institute of Design, 2003, 博士（芸術工学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：

第3章 振幅変調音のサイン音としての機能イメージと擬音語表現

3.1 はじめに

第2章では、実際に利用されている様々なサイン音を刺激として、それらから想起される機能イメージと音響的特徴との対応、およびそれを反映する擬音語表現を検討した。その結果、繰り返し周期、立上り特性、減衰特性などのサイン音の時間特性、および周波数特性による機能イメージの違い、またこれらの特性と擬音語表現の間の対応が示された。特に繰り返し周期に着目すると、「警報」のイメージが強い音で同一音節が繰り返される擬音語表現が用いられる音は、短い音が吹鳴と断続を繰り返す音であり、その繰り返し周期は130～350ms程度であること、「終了」のイメージが強い音で長音を用いた繰り返しの擬音語表現が用いられる音は、同じく吹鳴と断続を繰り返す音で、その繰り返し周期は740～1100ms程度と「警報」感を生じさせるものより長いことが示された。加えて、第2章で得られた結果は、変動周期をさらに短くすることで「呼出」の機能イメージを与えられる可能性も示している。これは、実際に利用されているサイン音には多くの変動音が使われており、変動パターンの違いによって各種の機能イメージをもたらしていることを示している。

このことから、変動パターンを系統的に変化させれば、機能イメージを組織的にコントロールできるものと考えられる。また、変動音変動パターンの違いは擬音語表現で分類可能であることも示されており、変動音の変動パターンの適切な統制によって、憶えやすく（異なる擬音語で区別できる）分かりやすい（機能イメージを想起しやすい）サイン音を作り出せることが期待できる。

しかし、第2章で得られた結果は、既に利用されているサイン音を分析対象としていたため、音を規定する各種の物理特性が交錯した状況下のものであった。本章では、合成音を用いて、音響特性の系統的な変化、特に吹鳴と断続の繰り返しのような振幅の変

化パタンに対する機能イメージと擬音語表現の変化を検討する。さらに、第2章で対象としたサイン音は、実際に様々な場面で使われているものであるため、被験者の知識によって各機能イメージがもたらされた可能性もある。合成音を用い、音響特性を系統的に変化させることで、音響特性と機能イメージの対応をより正確に観察することが可能となる。

ここで、時間的な変動に着目する理由について述べる。Petterson²⁷⁾による警告サイン音の規格や、JIS³³⁾の家電製品報知音の規格にも見られるように、吹鳴と断続を繰り返す時間パタンで、サイン音の機能イメージをコントロールする手法は、現在多く利用されている。また、JISでも指摘されているように、サイン音の音色の違いは機器の判別に用いられることが望まれ、時間的な変動パタンのような、単純な音の属性の変化によるサイン音の機能イメージの違いは、サイン音デザインの参考資料として重要なものとなる。

3.1.1 短音の繰り返しパタンが機能イメージに及ぼす影響

まず、短音の吹鳴と断続を繰り返す音列の繰り返しパタンを統制し、機能イメージの変化を調べた。なお、ここでは、次の実験への予備的な実験と位置付け、擬音語表現については検討していない。

3.1.1.1 実験方法

実験には図3.1に示す吹鳴時間、短断続時間、長断続時間、および繰り返し回数を制御した音列を用いた。繰り返し回数と吹鳴時間を表3.1の各4水準、吹鳴時間に対する断続時間を表3.2の8水準とした。これらの全組合せ128通りのパタンを実験刺激とした。吹鳴する音は2kHzの正弦波である。

実験刺激はコンピュータのディスプレイ上に表示されるボタンを被験者がマウスでクリックすることで、刺激がヘッドホン(STAX / Lambda Nova)から提示された。刺激音の提示順序は被験者ごとにランダムとした。聴取音量は被験者ごとに聞きやすい音量に調節させたが、刺激音間の相対的な音量差は全ての被験者で同じである。被験者は、19歳から24歳の学生13名(男性10名、女性3名)であった。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。

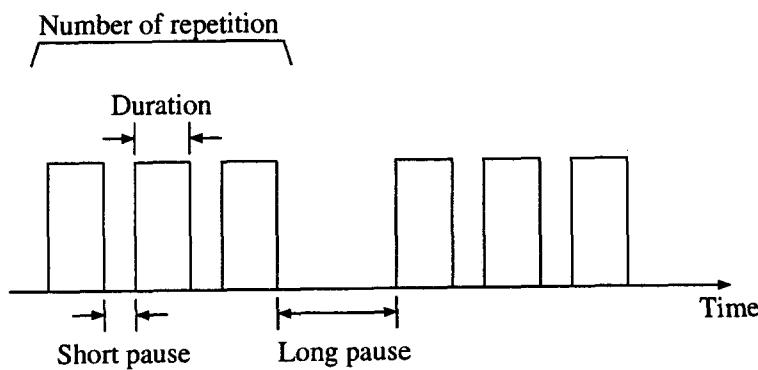


図 3.1: 実験で統制した吹鳴バタンの属性

表 3.1: 繰り返し回数 (Number of repetition) と吹鳴時間 (Duration)

繰り返し回数 (Number of repetition)	2, 3, 4, 5 (回)
吹鳴時間 (Duration)	100, 250, 500, 750 (ms)

表 3.2: 吹鳴時間に対する長短断続時間の割合

バタン (Patton)	短断続時間 (Short pause)	長断続時間 (Long pause)
1	50%	50%
2	50%	75%
3	50%	100%
4	50%	200%
5	100%	100%
6	100%	200%
7	150%	150%
8	150%	200%

被験者には聴取したサイン音から受ける機能イメージを、表3.3に示す10カテゴリから選択させた。表3.3のカテゴリは、第2章の実験で用いたものと同じである。スムーズな実験の進行と、機能イメージカテゴリの各々の言葉に対する被験者の先入観やそれらから想起する内容の個人差の低減のため、表2.1の内容を記した紙を被験者の手元に置き、常にカテゴリの内容を確認できるようにした。聴取した音にふさわしいと思われるカテゴリがない場合は「不明」と記入させ、複数のカテゴリに当てはまると思われる場合には複数選択させた。

3.1.1.2 分析・結果

今回の刺激によって想起された機能イメージと、繰り返しパターンとの対応の概略を掴むことが本実験の目的である。今回の刺激群に対して、同様の反応が示された機能イメージをまとめ、さらに機能イメージ相互の関係を知るために主成分分析を行う。各カテゴリの選択された回数をもとに、各カテゴリ間の分散共分散行列を求め、カテゴリを変量とした主成分分析を行った。その結果、4主成分解を得た。主成分係数行列を表3.4に示す。

第1主成分は「報知」「呼出」などのカテゴリに正の高い係数を有し、「状態提示」に負の高い係数を有することから「呼出-状態提示」を表す主成分と考えられる。第2主成分は「許可」「開始」などに正の高い係数を有し、「警告告知」「警報」に負の高い係数を示していることから、「許可-警告」と解釈する。第3主成分および第4主成分は、それぞれ「終了」「要請」主成分と解釈した。

表3.3: 機能イメージカテゴリ

操作	警報	開始	終了
要請	許可	呼出	報知
警告告知 状態提示			

これら 4 主成分は独立・無相関であり、本実験の刺激群によるサイン音の機能イメージは、この 4 主成分で集約して捉えられると言える。本実験で用いた刺激は、第 2 章の実験で用いた刺激に比べて、音の物理特性の変化が限定されているため、2.2.2 の主成分分析結果と異なる機能イメージ間の関係が現れている。2.2.2 の主成分分析結果と比較すると、2.2.2 では 5 主成分解が得られているのに対して本実験では 4 成分解が得られており、2.2.2 では高い係数を有していないかった「要請」「状態提示」のカテゴリが高い係数を示している、「警報」と「警告告知」が同じ主成分で高い係数を有しているなど、各カテゴリの主成分係数も異なっている。ただし、「警報」と「操作」、「警報」と「終了」の独立関係など、共通した部分も存在する。本実験で統制した短音の繰り返しパタンの違いによって大きく影響を受ける機能イメージカテゴリが高い主成分係数を示したと考えられる。

次に、本実験で統制した短音の繰り返しパタンと、機能イメージの関係を検討するため、各刺激の主成分得点を求め、主成分得点と吹鳴時間、短断続時間、長断続時間、繰り

表 3.4: 主成分係数行列

	主成分			
	1	2	3	4
状態提示	-.916	.132	.025	-.284
報知	.719	.403	-.160	-.253
呼出	.584	.101	-.177	.018
警告告知	-.182	-.873	-.252	.087
警報	.409	-.573	.001	-.167
許可	-.121	.538	.001	-.167
開始	.191	.489	-.023	.013
操作	.226	.431	-.161	.036
終了	-.226	.004	.959	-.049
要請	.070	.048	-.050	.938
寄与 (%)	33.8	19.4	12.1	9.8

り返し回数との重回帰分析を行った。主成分得点との偏相関係数が、有意水準5%未満で有意であった要因を用いて回帰式を構成した。得られた偏相関係数と標準偏回帰係数を表3.5に示す。

「呼出一状態提示」主成分で、主成分得点の絶対値が大きな刺激の吹鳴パターンを見ると、吹鳴時間と短断続時間が短いほど「呼出」感が強いという評価を得ている。この主成分での偏相関係数は、吹鳴時間と短断続時間がそれぞれ -0.506, -0.203 で、共に有意水準5%未満で有意であった。そこで、吹鳴時間と短断続時間を独立変数とした重回帰分析を行ったところ、短断続時間の標準偏回帰係数は-0.624、吹鳴時間の標準偏回帰係数は -0.223 であった。決定係数は 0.641 であった。「呼出」感には短断続時間が大きく影響を及ぼしており、短断続時間が短いほど「呼出」感が強くなり、逆に、短断続時間が長くなるほど「状態提示」感が強まると言える。また、吹鳴時間の長さも弱い影響を

表 3.5: 主成分得点と吹鳴パターンの各パラメータとの標準偏回帰係数と偏相関係数

	偏相関係数			
	呼出	許可	終了	要請
繰り返し回数	-0.008	-0.581**	-0.191*	-0.048
吹鳴時間	-0.203*	-0.529**	0.469**	0.085
短断続時間	-0.506**	0.175	-0.218*	-0.338**
長断続時間	-0.034	0.336**	-0.051	0.294**

* 有意水準 5%未満で有意 ** 有意水準 1%未満で有意

	標準偏回帰係数			
	呼出	許可	終了	要請
繰り返し回数	—	-0.517	-0.164	—
吹鳴時間	-0.223	-0.688	0.721	—
短断続時間	-0.624	—	-0.365	-0.532
長断続時間	—	0.600	—	0.593
決定係数 (R^2)	0.641	0.446	0.271	0.121

えており、吹鳴時間が短いほど「呼出」感が強まり、長いほど「状態提示」感が強まる傾向にある。

「許可一警告」主成分では、繰り返し回数が多いほど「警告」感が強く、逆に少ないほど「許可」感が強い。同様に、吹鳴時間が長いほど「警告」感が強く、逆にそれが短いほど「許可」感が強い。また、長断続時間が短いほど「警告」感が強まる傾向も見られる。桑野らによる報告⁴⁾では、発音頻度によって緊急性の印象が変化するという結果が示されており、本実験での、繰り返し回数が多いほど、断続時間が短いほど「警告」感が強くなるという結果は、これに一致する。

「終了」主成分では吹鳴時間が長いほど終了感が強まる傾向が見られる。しかし、決済係数はあまり高くなく、分析対象とした要因以外に「終了」感に影響を及ぼしている要因があると考えられる。そのような要因としては、偶数回の繰り返しを持つ繰り返しタンの方が、若干「終了」感が強く見られたことが挙げられる。水谷ら⁸⁾も、偶数回の繰り返し回数では若干緊迫感が緩和されるという結果を示している。拍子として安定の高い偶数回の繰り返しにより、「正常に終了した」という印象が与えられるのではないかと考えられる。

「要請」主成分では、短断続時間が短く、長断続時間が長いもので「要請」感が強く感じるという傾向が見られる。長短断続時間が同一の物は「要請」感が弱かった。

3.2 振幅変調音を刺激とした実験

3.1.1において、短音が吹鳴と断続を繰り返す合成音で、その繰り返し周期がサイン音の機能イメージに影響を及ぼすことが確認された。

本章の冒頭でも述べたように、第2章で、実際に利用されているサイン音には多くの変動音が使われており、変動パターンの違いによって各種の機能イメージをもたらしていくことを示していること、変動音変動パターンの違いは擬音語表現で分類可能であることが示された。本実験は、3.1.1の予備実験を拡張し、振幅の時間的な変動に対する機能イメージおよび擬音語表現の関係を調べることを目的とする。

予備実験の実験刺激に対して、より一般的に、振幅の時間的な変動に対する機能イメージと擬音語表現との対応を考察することを可能にするため、振幅変調音（AM音）を刺激として用いる。短音の吹鳴と断続を繰り返す音は、矩形波によって変調度1.0で変調された振幅変調音とみなすことができる。また、正弦波を搬送波とする振幅変調音の変調周波数を高くすれば、搬送波による周波数スペクトル成分と側波成分との周波数間隔が広がってブザー音のようになり、有声子音を用いる擬音語表現や、これに対応する「警報」「警告告知」の機能イメージに対する考察も可能となる。

3.2.1 実験方法

3.2.1.1 実験刺激

実験刺激は、正弦波を搬送波として、矩形波および正弦波によって変調された振幅変調音である。表3.6、表3.7に刺激とした振幅変調音の属性を示す。

変調周波数10Hz以上の刺激については、変調周波数(f_m)、変調波の種類、変調度(m)、搬送周波数(f_c)を変化させた(表3.6)。

変調周波数10Hz未満の刺激については、短音の吹鳴と断続の繰り返しのサイン音を模したものとして、矩形波による変調度1.0の振幅変調音のみを用いた。変調周波数10Hz未満の刺激では、搬送周波数と衝撃係数(d)を変化させた(表3.7)。衝撃係数とは矩形波において1周期を100としたうちで信号が最大値をとる時間の割合である。変調周波数10Hz以上の刺激は全て衝撃係数50である。

第2章の実験で用いた、実際に利用されているサイン音の中での振幅変調音の搬送周波数を参考に、搬送周波数を 1kHz と 2kHz に設定した。また、4kHz 程度以上の高い周波数のサイン音は、高齢者への配慮という点で避けられるべきもの³⁰⁾であり、検討の対象とした。

矩形波によって振幅変調された刺激では、立上り時間が必然的に 0 になるため、音の上りの音圧勾配は施していない。正弦波によって振幅変調された刺激は、振幅が 0 の直後から開始しており、変調周波数に応じた立上り時間となっている。

刺激音は、正弦波による振幅変調音 48 個、矩形波による振幅変調音 72 個、計 120 個ある。

表 3.6: 刺激音の属性(変調周波数 10Hz 以上の場合)

搬送周波数 (f_c)	1k, 2k (Hz)
変調波	正弦波, 矩形波
変調度 (m)	0.5, 1.0
変調周波数 (f_m)	10, 15, 17, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 100, 150, 200 (Hz)
持続時間	2s

表 3.7: 刺激音の属性(変調周波数 10Hz 未満の場合)

搬送周波数 (f_c)	1k, 2k (Hz)
変調波	矩形波
変調度 (m)	1.0
変調周波数 (f_m)	1.25, 1.7, 2.5, 5 (Hz)
衝撃係数 (d)	20, 50, 80
持続時間	$T \times 8$ (T :変調波の周期 (s))

3.2.1.2 実験手続き

被験者への刺激の提示、応答はパーソナルコンピュータによって制御した。各刺激音は2秒おきに5回提示され、その後20秒の回答時間において次の刺激が提示された。各刺激音はヘッドホン（SONY MDR-CD780）により提示した。

全ての刺激は最大振幅を一定に揃えた。提示音圧レベルは、人工耳（B&K Type 4153）と騒音計（RION 普通騒音計 NA-29）を用いて、実験刺激の最大振幅値と等しい振幅の正弦波のA特性音圧レベルが75dB(A)となるように設定した。

被験者には、刺激音から想起される機能イメージを表3.8の10カテゴリより選択し（複数選択可）、さらに刺激音を擬音語によって表現し、自由記述によって擬音語表現回答を記入するよう教示した。表3.8のカテゴリは、第2章の実験で用いたものと同じである。スムーズな実験の進行と、機能イメージカテゴリの各々の言葉に対する被験者の先入観やそれらから想起する内容の個人差の低減のため、表2.1の内容を記した紙を被験者の手元に置き、常にカテゴリの内容を確認できるようにした。

被験者は、日本語を母語とする学生（19歳から23歳）、男性15名、女性13名の計28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。

表3.8: 機能イメージカテゴリ

操作	警報	開始	終了
要請	許可	呼出	報知
警告告知	状態提示		

3.2.2 結果・考察

3.2.2.1 擬音語表現について

各擬音語表現回答の繰り返しパターンを、表3.9の特徴のいずれかに分類し、各刺激の該当数をカウントした。2.3.2でも言及したように、本論文では同一音節が繰り返す表現（「ピピピ」）との対比を明確にするため、「ピーピー」などの擬音語表現は長音（-）を伴って「ピ」の音節を繰り返しているものと捉える（表3.9:(b)）。同様に、「ピッピッピッ」などの擬音語表現は促音（'）を伴って「ピ」の音節を繰り返しているものと捉える（表3.9:(c)）。ただし、(d)2~3音節の組合せを繰り返す表現と、(h)第2音節以降で2~3音節の組合せを繰り返す表現の中における「2~3音節の組合せ」については、モーラ音素（撥音、促音、長音）を含む1モーラを1音節としてカウントしている。

表3.9: 繰り返しパターンの分類に用いた擬音語表現の特徴

(a)	同一音節を繰り返す
	例) ピピピピ
(b)	長音を伴って同一音節を繰り返す
	例) ピーピーピー
(c)	促音を伴って同一音節を繰り返す
	例) ピッピッピッ
(d)	2~3音節の組合せを繰り返す
	例) ピロピロピロ, ピコンピコン
(e)	第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す
	例) ピリリリリ
(f)	第2音節以降で母音の同一音節を繰り返す
	例) ピイイイイイ
(g)	第2音節以降で同一音節を繰り返す（ラ行、母音以外）
	例) プワワワワ
(h)	第2音節以降で2~3音節の組合せを繰り返す
	例) ポウオウオウオ

各擬音語表現回答の繰り返しパターンを、表3.9の特徴のいずれかに分類し、各刺激の該当数をカウントした。繰り返しパターンは、まず、同一音節が繰り返されるもの(a-c), 2~3音節が繰り返されるもの(d), 第2音節以降で同一音節が繰り返されるもの(e-g), 第2音節以降で2~3音節が繰り返されるもの(h)に分類し、さらに同一音節が繰り返されるものの中で、長音や促音を伴うもの(b, c), 第2音節以降で同一音節が繰り返されるものの中で、母音とラ行のもの(e, f)を区別した。第2音節以降で同一音節が繰り返される表現については、ラ行で繰り返されるものが最も多く、全有効回答の16%を占める。母音で繰り返されるものは全有効回答の9%, その他のものは4%で「ブワワワ」「ピビビビ」などの表現が見られた。

表3.9の特徴のいずれかに、全有効回答数3348回答のうち2055回答(61%)が分類された。これに繰り返しなしで最後が長音で終る(「ピー」「ブリュー」等)表現を含めると3260回答で、全有効回答数の97%にあたる。擬音語によって表現された刺激の時間的側面を、これら9パターンで集約できたと言える。

表3.9の繰り返しパターンのうち、各刺激の該当数が全被験者の過半数(15)以上にのぼる刺激が存在するのは、

- (a) 同一音節を繰り返す
- (b) 長音を伴って同一音節を繰り返す
- (c) 促音を伴って同一音節を繰り返す
- (e) 第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す

の4パターンである。この4パターンに繰り返しなしで最後が長音で終る表現を合わせると、2587回答で、全有効回答数の77%となる。時間パターンに関すると考えられる擬音語表現の特徴は、本実験の刺激についてはこれら5種類で代表されると考えられる。

さらに、各擬音語表現回答の第1音節に有声子音が用いられている回答を集計した。第1音節に有声子音が用いられている回答を含めた6つの擬音語表現の特徴について、各擬音語表現の回答率と変調周波数の関係を図3.2から図3.7に示し、音の特徴との対応について検討する。

なお、変調周波数10Hz未満の刺激では、第2音節以降でラ行の同一音節が繰り返され

る表現（図3.5），第1音節に有声子音が用いられる表現（図3.7），繰り返しなしで長音で終る表現（図3.6）は全く見られないため，これらの条件のグラフは割愛した。

（i）同一音節を繰り返す表現

矩形波によって変調度1.0で振幅変調された刺激音で，変調周波数が15Hz程度以下では，同一音節が繰り返される，もしくは長音または促音伴って同一音節が繰り返される擬音語表現がなされており（図3.2，図3.3，図3.4），短音が反復した音列として知覚されていると考えられる。

長音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現は，衝撃係数80の刺激では変調周波数5Hz以下，衝撃係数50の刺激では変調周波数2.5Hz以下で多い（図3.3）。促音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現が多く見られるのは衝撃係数20の刺激のみである（図3.4）。

このような傾向は，吹鳴時間によって決定される可能性が考えられる。過半数の被験者が長音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現を用いた刺激の平均吹鳴時間は355ms，過半数の被験者が促音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現を用いた刺激の平均吹鳴時間は91msである。

しかし，衝撃係数80の刺激では，その中で最も吹鳴時間が短い変調周波数5Hzの刺激でも長音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現が多く見られるが，この刺激と同じ160msの吹鳴時間を持つ衝撃係数20，変調周波数1.25Hzの刺激では長音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現はほとんど見られず，多くが促音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現を用いている。

つまり，長音や促音を伴って同一音節が繰り返される擬音語表現は吹鳴時間によって一意に決まるのではなく，繰返し周期に対して吹鳴時間が短い場合は促音を伴った繰り返しが選択され，繰返し周期に対して吹鳴時間が長い場合は長音を伴った繰り返しが選択されるようである。

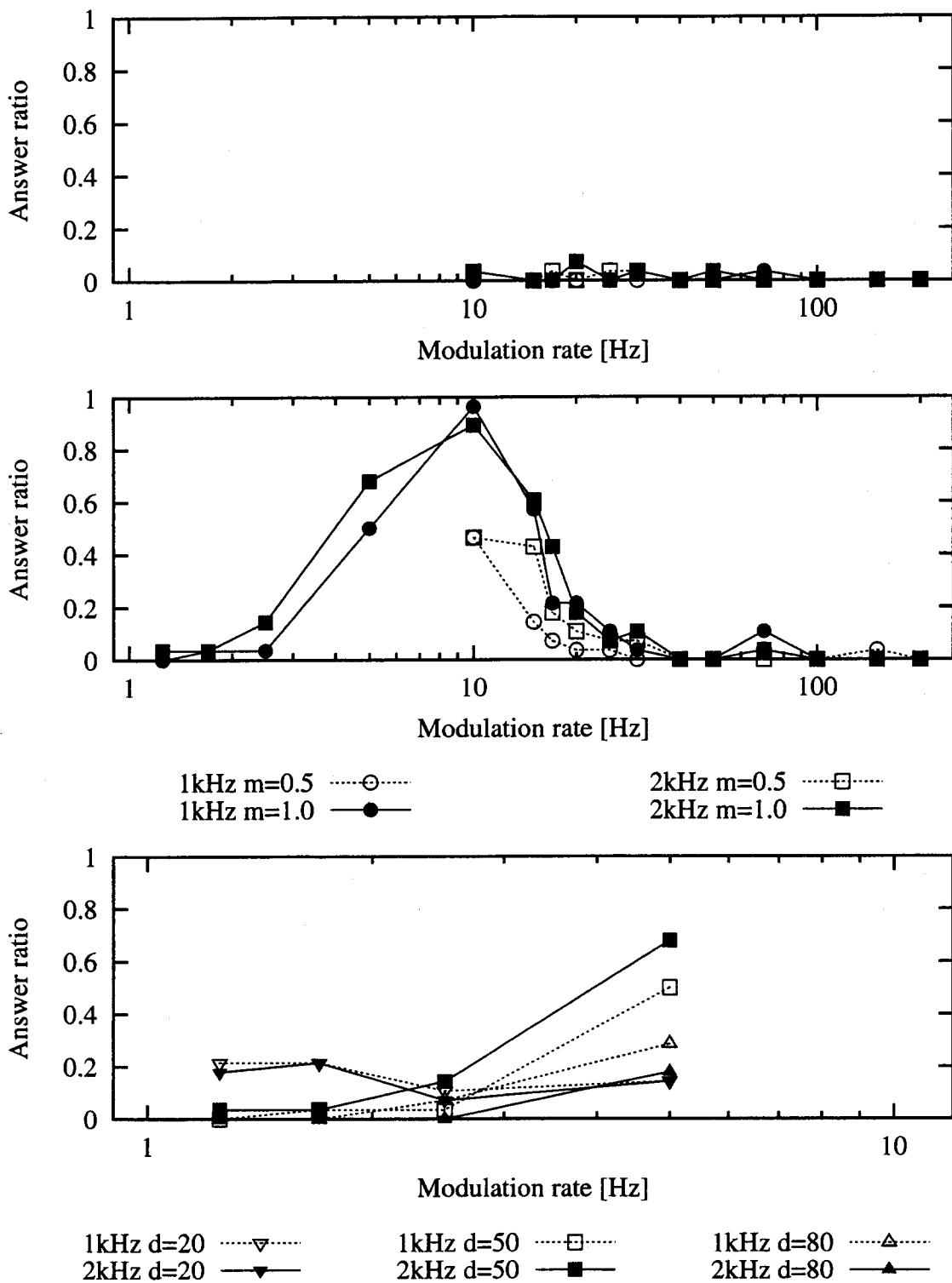


図 3.2: 同一音節を繰り返す擬音語表現の回答率と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激，中:衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激，下:変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

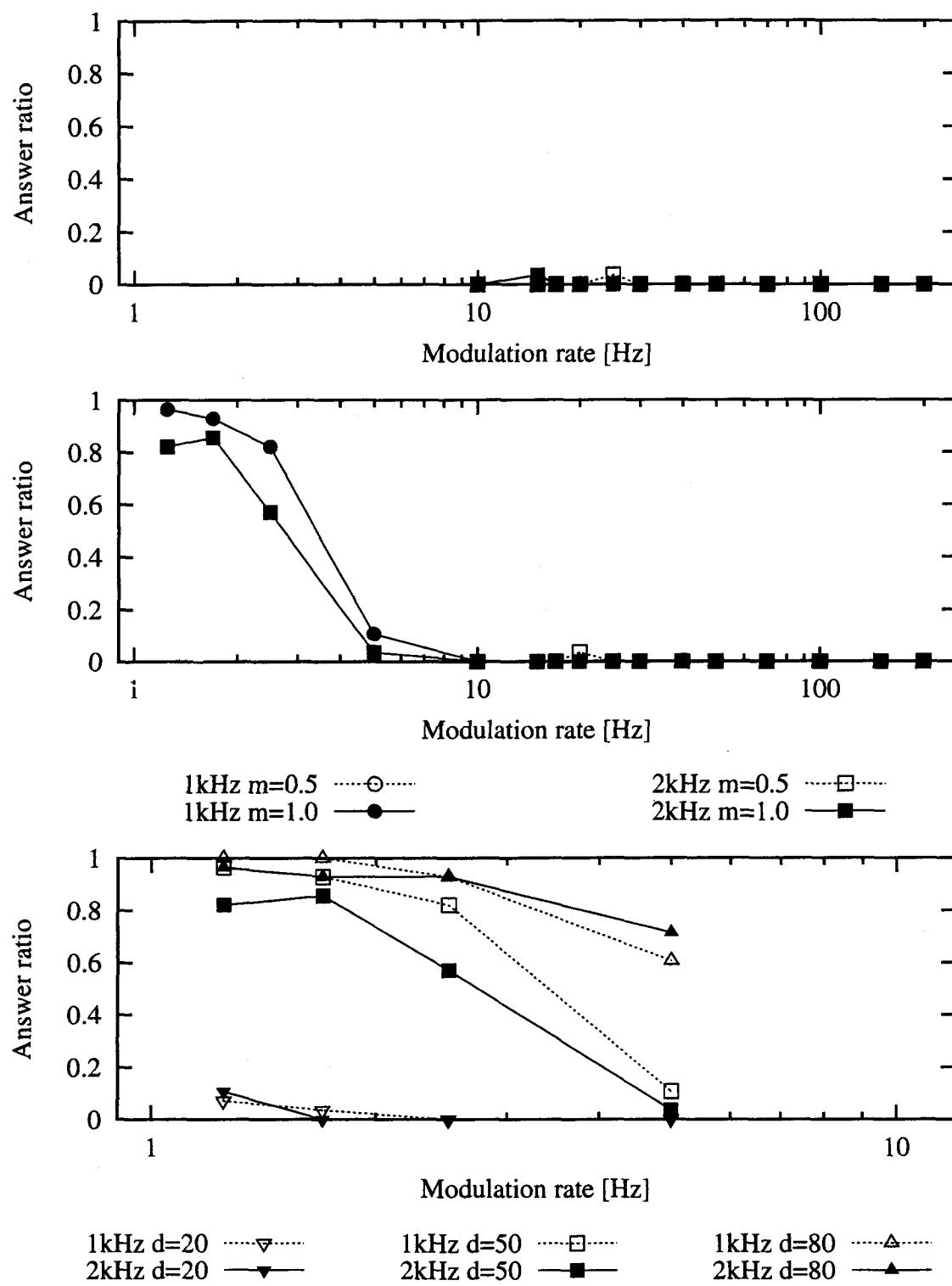


図 3.3: 長音を伴って同一音節を繰り返す擬音語表現の回答率と変調周波数の関係（上: 正弦波によって変調された刺激, 中: 衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激, 下: 変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

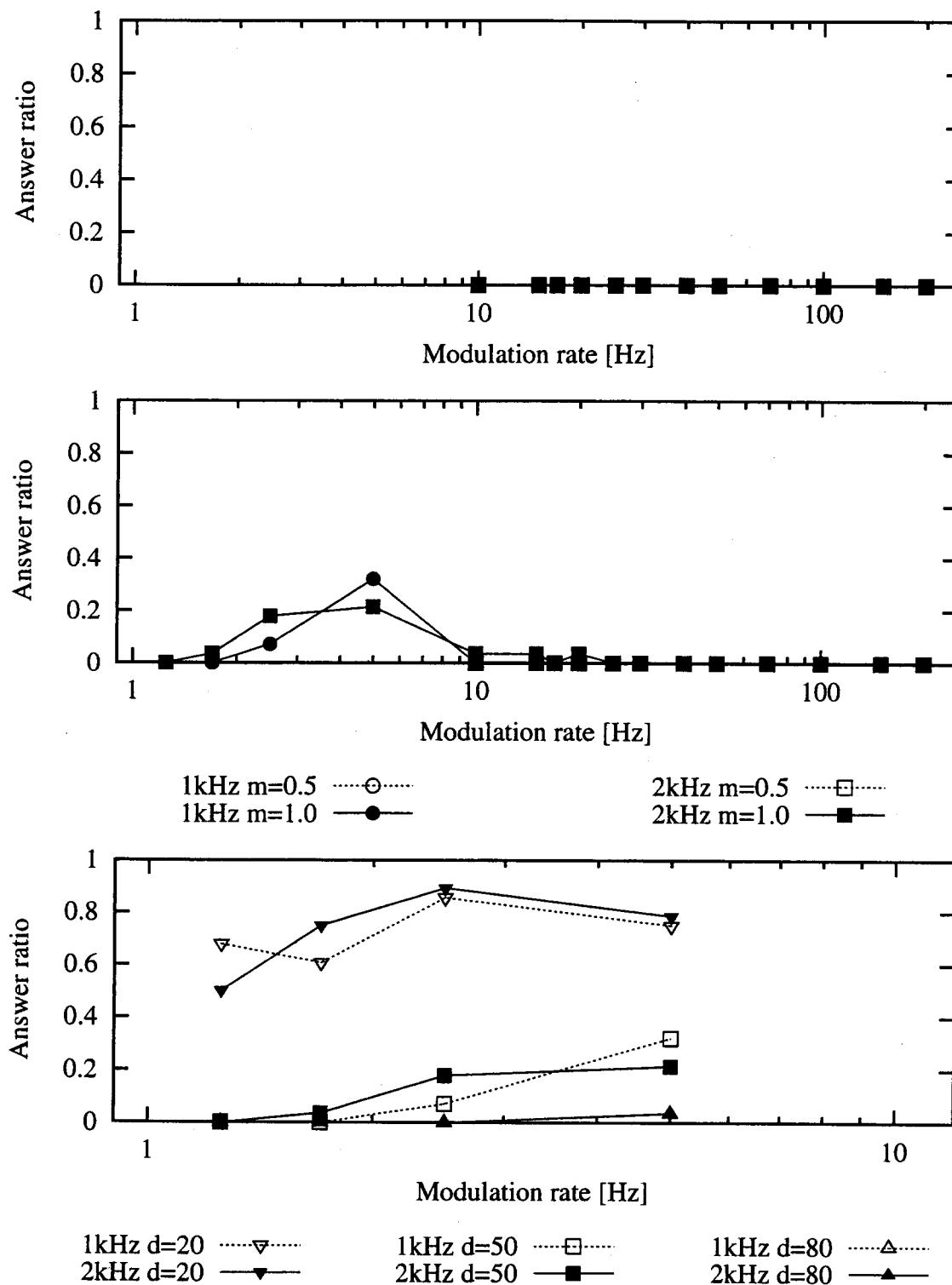


図 3.4: 促音を伴って同一音節を繰り返す擬音語表現の回答率と変調周波数の関係（上：正弦波によって変調された刺激、中：衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激、下：変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

(ii) 第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す表現

本研究では10~40Hz程度の変調周波数において、第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す擬音語表現が見られた（図3.5）。この変調周波数帯域は、振幅変調音から感じられる fluctuation strength と roughness の境界付近である⁶⁴⁾⁻⁶⁷⁾。第2音節以降をラ行に変化させる表現が見られる変調周波数帯域は、fluctuation strength と roughness の境界とされる帯域であると言える。

ただし、正弦波による変調音で、搬送周波数2kHz、変調度0.5の刺激の場合は、変調周波数10~50Hz程度でも第2音節以降でラ行の同一音節が繰り返される擬音語表現は少ない。この刺激条件では、繰り返しなしで最後が長音で終る擬音語表現が多く見られる（図3.6）。

(iii) 繰り返しなしで長音で終る表現

繰り返しが認められず、最後が長音で終る表現は、高い変調周波数において多く見られる（図3.6）。矩形波によって変調された刺激の場合は、変調周波数40Hz以上で多い。変調周波数40Hz以上では、聴覚系は振幅の周期的変動に追従することはできず、roughness 感が生じたり、側波成分が分離して知覚されたりする。この条件では、振幅変調音が定常的な音として捉えられたため、繰り返しなしで最後が長音で終る擬音語表現が用いられたのであろう。

正弦波によって変調された刺激の場合、変調度1.0のときは矩形波の場合と同様に変調周波数40Hz以上で多いが、変調度0.5のときは変調周波数がより低い刺激でもこの擬音語表現が多く見られる。変調周波数10~40Hz程度では、第2音節以降をラ行で繰り返す擬音語表現が多く見られたが、正弦波による変調音で、搬送周波数2kHz、変調度0.5の刺激の場合では、第2音節以降がラ行で繰り返される表現は少ないと前述した。（3.2.2.1(ii)）変調周波数40Hz以下の場合でも、変調度0.5の正弦波による変調音では、その音の時間的变化は繰り返しの擬音語表現を用いるほどの变化ではなく、比較的定常的な音として表現されたと考えられる。

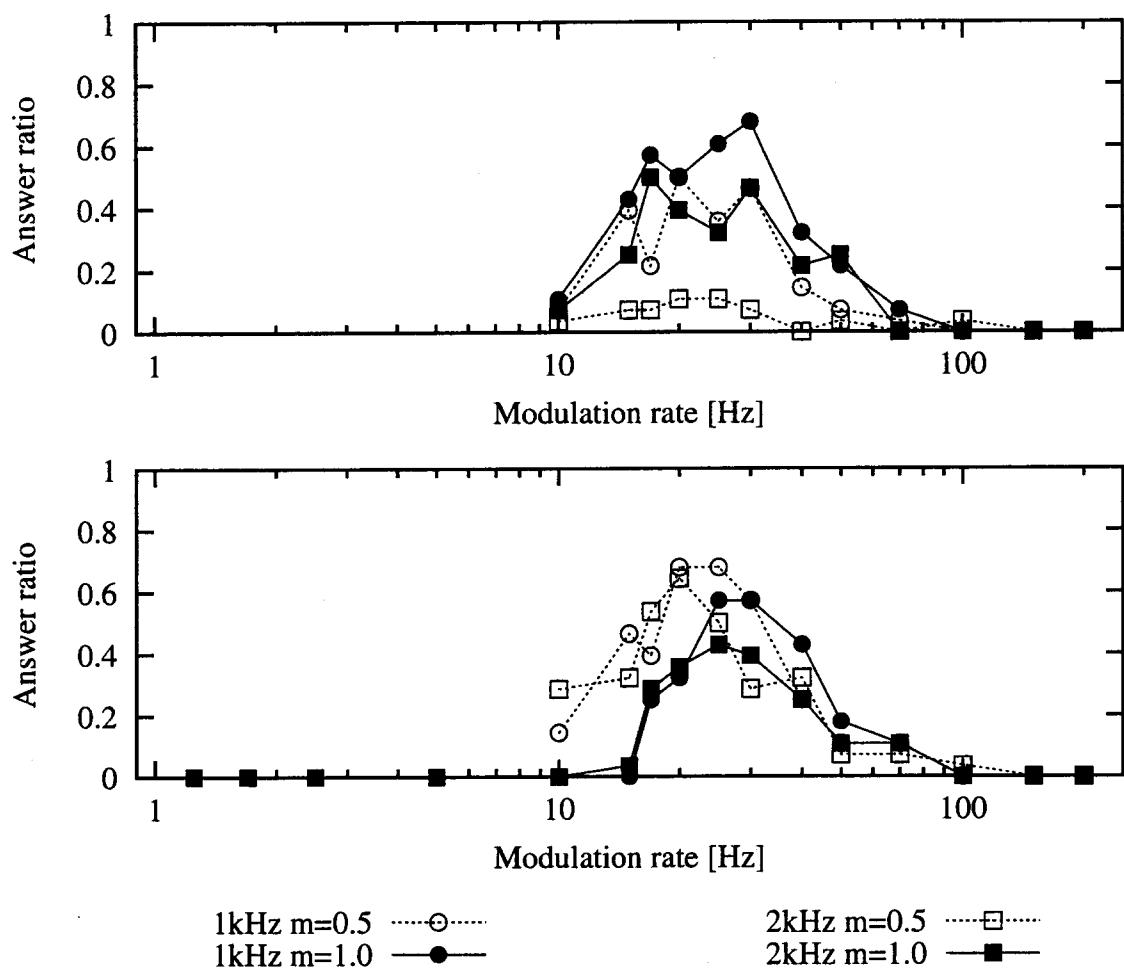


図 3.5: 第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す擬音語表現の回答率と変調周波数の関係（上：正弦波によって変調された刺激、下：衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激）

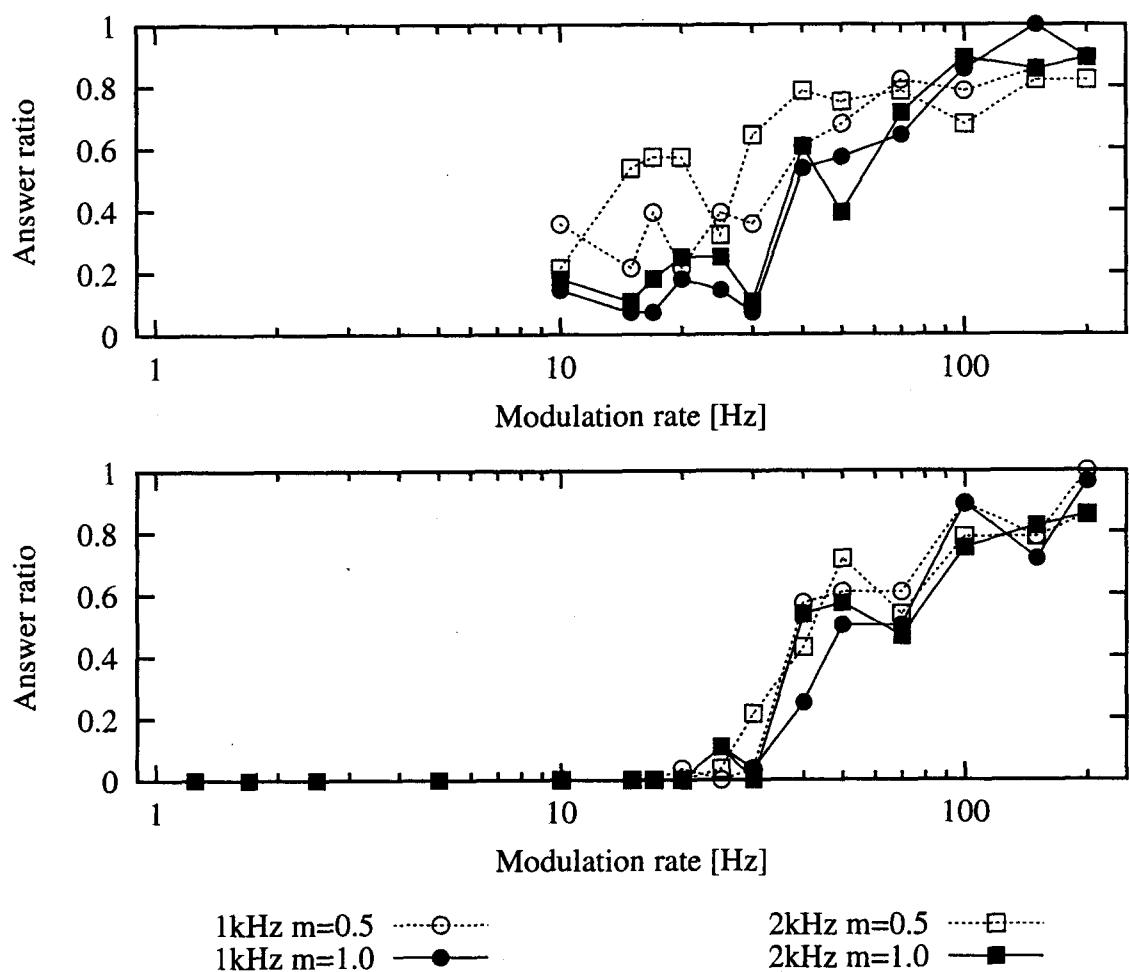


図 3.6: 繰り返しなしで長音で終る擬音語表現の回答率と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激, 下:衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激）

(iv) 第1音節に有声子音を用いる表現

第1音節に有声子音が用いられる擬音語表現は、40Hz程度以上の高い変調周波数において多く見られる（図3.7）。

矩形波によって変調された刺激では、正弦波によるものよりも第1音節に有声子音を用いた擬音語表現が多く見られる。第2章で、周波数成分が広範囲に及んでいる音に対して有声子音を用いた擬音語表現がなされることが示された（2.4.1.1）。変調波の種類による違いは、この特徴に基づいて説明できる。

図3.8に、変調周波数100Hz、変調度1.0、搬送周波数1kHzの場合の、変調波の種類による周波数スペクトルの違いを示す。正弦波によって変調された刺激の周波数成分は搬送波と $f_c + f_m$, $f_c - f_m$ (f_c は搬送周波数, f_m は変調周波数) の周波数を持つ側波のみであるが、矩形波によって変調された刺激ではより多くの成分が見られる。矩形波によって変調された刺激は、正弦波によって変調された刺激より周波数成分が広い範囲に分布しており、その特徴を表現するために第1音節に有声子音が用いられたと考えられる。

矩形波によって変調された刺激は、変調周波数が低い場合でも同様に広い範囲に周波数成分が分布するが、変調周波数が低い場合には第1音節に有声子音を用いた擬音語表現回答は少ない。また、正弦波によって変調された刺激も、変調周波数が高くなるほど搬送波と側波の周波数差が広くなるので周波数成分の分布範囲が広くなるが、その差は有声子音が用いられるかどうかには影響しない程度に小さいようである。これらより、有声子音が用いられるには roughness を生じさせる変調周波数以上であることが第一条件であり、変調波の種類などによって周波数成分が広い範囲に分布することでより有声子音を用いられることが多くなるという傾向が推測される。roughness を生じさせる変調周波数よりも低い変調周波数では、聴覚系が音響情報の周期的变化に追従できる状態であり、その周期的变化を表現するために繰り返しの擬音語表現がなされている。

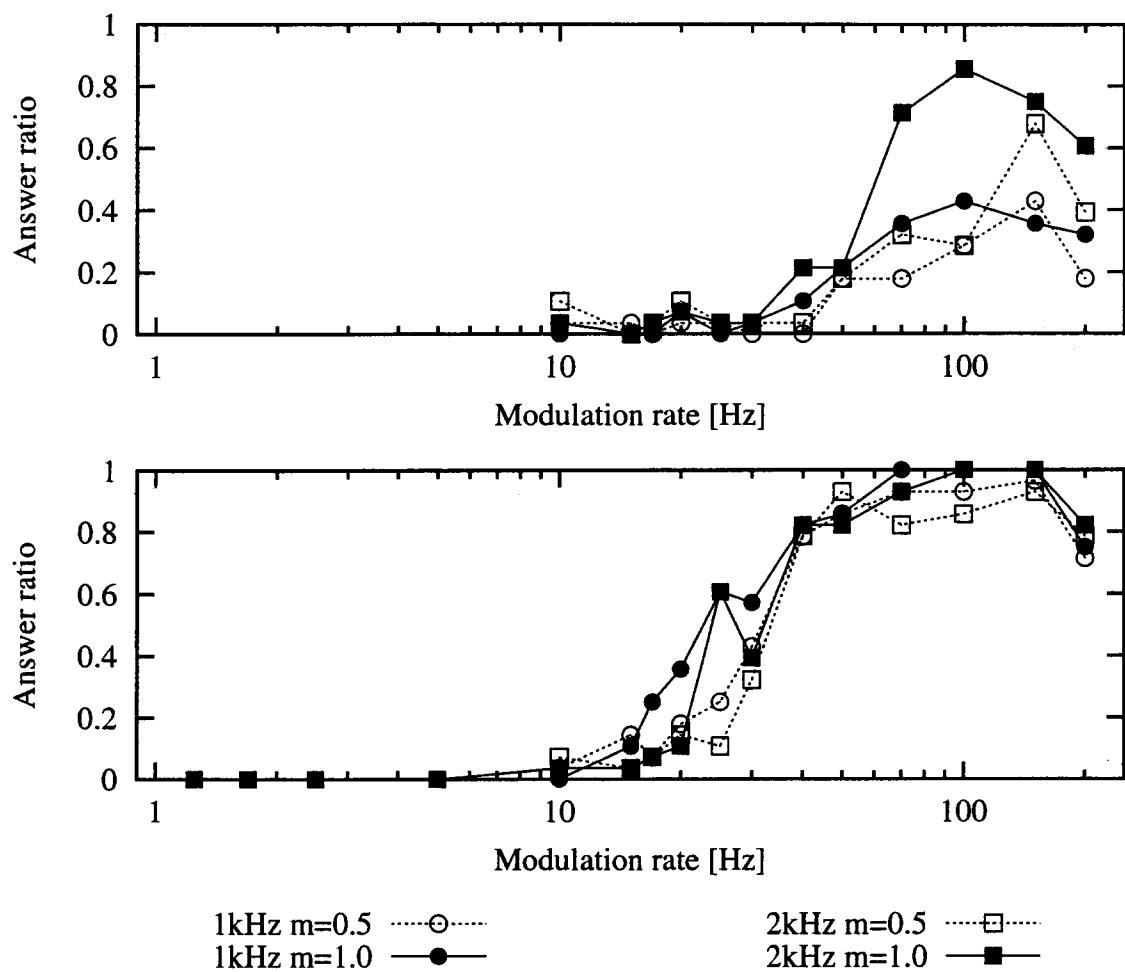


図 3.7: 第1音節に有声子音を用いる擬音語表現の回答率と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激、下:衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激）

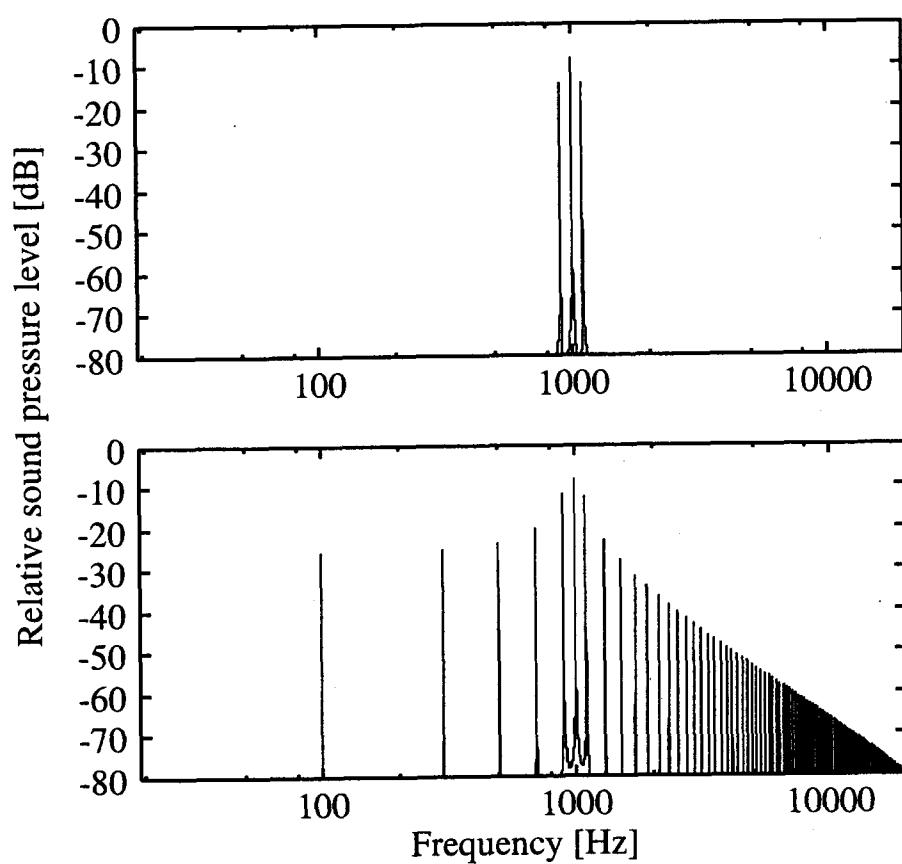


図 3.8: 変調周波数 100Hz, 変調度 1.0, 搬送周波数 1kHz の実験刺激の周波数スペクトル
(上: 正弦波によって変調された刺激, 下: 矩形波によって変調された刺激)

3.2.2.2 機能イメージについて

表3.10に、過半数の被験者が各カテゴリを選択した刺激の数と、各機能イメージカテゴリが最も多く選択された刺激での選択率を示す。これより、「呼出」「警報」「警告告知」「終了」の各カテゴリにおいて、多くの被験者にその機能イメージを想起させた刺激が存在していることが分かる。

最大選択率が50%に満たない、すなわち、そのカテゴリが最も多く選択された刺激においても選択被験者数が被験者の過半数に至っていない「報知」「許可」などのカテゴリは、多くの被験者が共通してその機能イメージを想起する刺激ではなく、本実験の刺激のような正弦波を搬送波とする振幅変調音では想起されにくい機能イメージであると言える。ただし、このような場合でも、最大選択率が50%に達している刺激もあり、ある程度はある条件下で「報知」「許可」などの機能イメージも生じていると考えられる。

機能イメージを整理、集約するため、各カテゴリの選択された回答数からカテゴリ間の分散共分散行列を求め、これをもとに主成分分析を行った。分散共分散行列を用いる

表 3.10: 各機能イメージカテゴリが選択された回数の集計（値は過半数の被験者が各カテゴリを選択した刺激の数。括弧内は各機能イメージカテゴリの最大選択率。）

	正弦波	矩形波	
		$f_m \geq 10\text{Hz}$	$f_m \leq 10\text{Hz}$
呼出	23 (93%)	19 (96%)	0 (32%)
警報	0 (43%)	18 (93%)	0 (25%)
警告告知	6 (64%)	1 (57%)	9 (71%)
終了	0 (50%)	0 (32%)	9 (71%)
要請	0 (46%)	0 (50%)	4 (64%)
状態呈示	0 (32%)	0 (32%)	2 (64%)
開始	1 (57%)	0 (32%)	0 (18%)
操作	0 (21%)	0 (18%)	1 (54%)
許可	0 (50%)	0 (32%)	0 (25%)
報知	0 (46%)	0 (50%)	0 (46%)

目的は、2.2.2に示した通りである。2主成分分解を採用し、2主成分の累積寄与率は59.1%であった。主成分係数行列を表3.11に示す。

第1主成分は「終了」に正の高い係数を有し、「要請」「操作」「状態提示」「警告告知」にも正の係数を有する。負方向に特に高い係数を有するカテゴリはない。第2主成分は「呼出」に高い正の係数を有し、「警報」に負の高い係数を有する。「警告告知」は両方の主成分に中程度の係数を示している。

2.2.2の主成分分析結果と比較すると、2.2.2では5主成分分解が得られているのに対して本実験では2成分分解が得られている。これは、本実験で用いた刺激は、第2章の実験で用いた刺激に比べて、音の物理特性の変化が限定されているため、2.2.2の主成分分析結果と異なる機能イメージ間の関係が現れています。本実験で統制した振幅変調音の属性の変化によって大きく影響を受ける機能イメージカテゴリが高い主成分係数を示していると考えられる。ただし、「操作」と「警報」の対立性や、「終了」と「警報」の対立性など、共通した傾向も見られる。

表 3.11: 主成分負荷行列

	第1主成分	第2主成分	共通性
終了	.834	-.092	.704
要請	.790	.200	.664
操作	.715	.017	.511
状態呈示	.690	-.058	.479
警告告知	.519	-.427	.452
警報	-.387	-.908	.974
呼出	-.427	.861	.925
報知	.360	.581	.467
開始	-.355	.566	.664
許可	-.012	.531	.282
寄与(%)	31.7	27.4	

3.2.2.3 機能イメージおよび擬音語表現と音響特性の関係

各機能イメージ主成分に対する刺激の主成分得点を求め、刺激の物理特性との対応を検討する。

各機能イメージに対応する擬音語表現を特定するため、まず各主成分において主成分得点の正方向、負方向の上位30個の音刺激をその主成分を代表する刺激音グループと定義し、両グループ間で擬音語表現の特徴を比較する。グループ間で用いられた擬音語表現の回答数に差を統計的に確認するため、*t*検定を行なった。有意水準は0.1%とした。

*t*検定の詳細は2.4に示した通りである。

(i) 第1主成分

図3.9に各刺激の第1主成分得点を、変調波の種類ごとに示す。縦軸は主成分得点、横軸は変調周波数である。図は、正方向が「終了」「要請」のイメージを示す。第1主成分は、変調周波数5Hz以下において正方向に高い。これより、「終了」「要請」などの機能イメージは、変調周波数5Hz以下において強いことが分かる。

表3.12に、第1主成分の正負を代表する30刺激の、擬音語表現回答数の平均値と標準偏差を示す。第1主成分得点が正方向に高い、「終了」「要請」などの機能イメージが強い音のグループでは、長音を伴って同一音節を繰り返す擬音語表現が多く ($t = -5.18, df =$

表3.12: 第1主成分の正負を代表する30刺激の擬音語表現特徴の該当数の平均と標準偏差 (*印は*t*検定によって有意水準0.1%未満で有意差が認められたことを示す。)

	正	負
同一音節を繰り返す	3.900 ± 5.921	1.100 ± 2.325
長音を伴って同一音節を繰り返す*	11.567 ± 12.204	0.033 ± 0.183
促音を伴って同一音節を繰り返す	6.300 ± 9.045	(該当なし)
第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す*	0.067 ± 0.254	9.233 ± 6.765
繰り返しなしで長音で終わる	3.767 ± 8.144	9.600 ± 8.148
第1音節に有声子音を用いる*	1.767 ± 4.392	10.700 ± 12.012

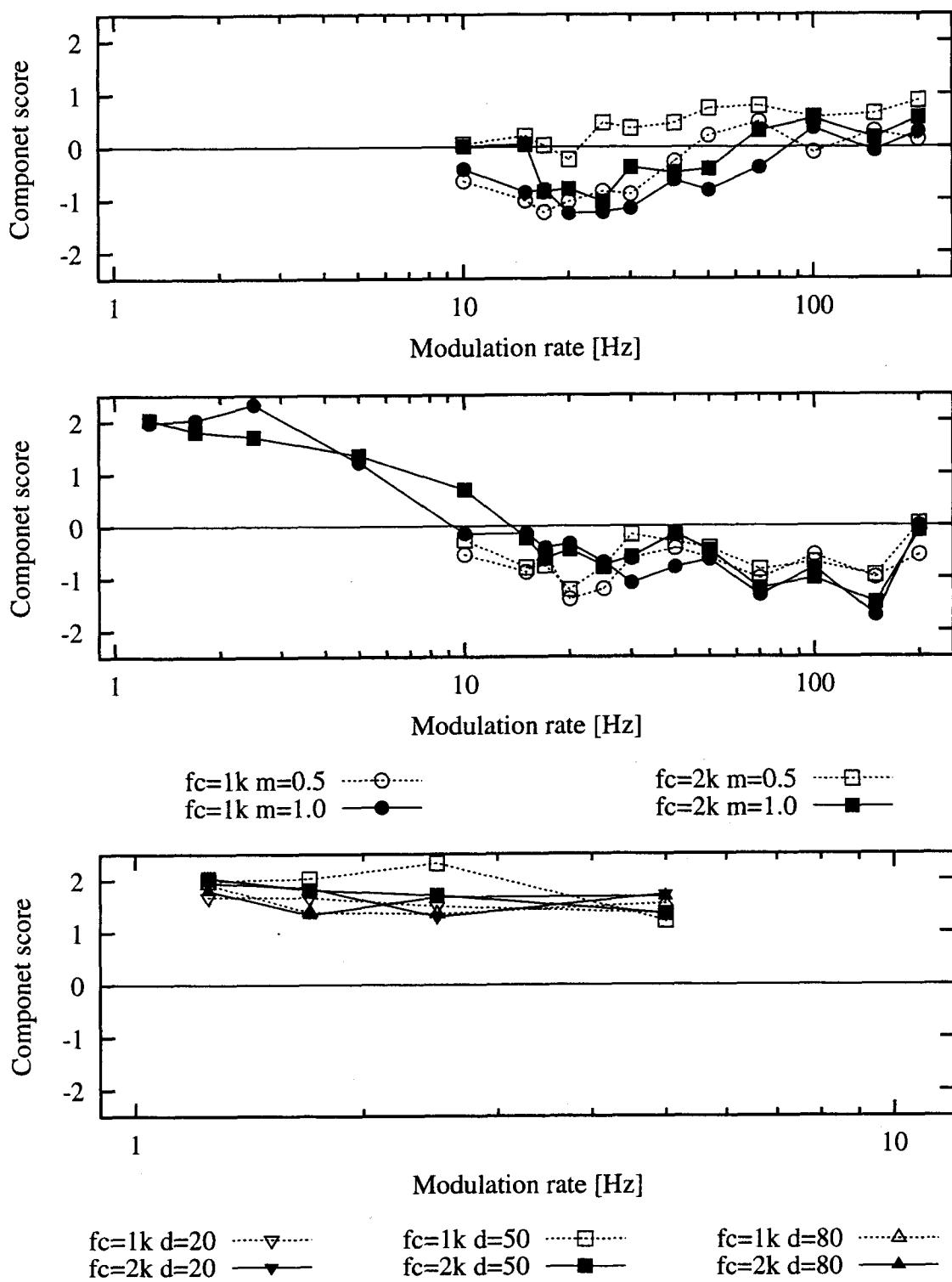


図 3.9: 第1主成分得点と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激、中:衝撃係数50の矩形波によって変調された刺激、下:変調周波数10Hz未満の矩形波によって変調された刺激）

$29.01, p < 0.001$), 第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返したり ($t = 7.41, df = 29.08, p < 0.001$), 第1音節に有声子音を用いる ($t = 3.83, df = 36.62, p < 0.001$) 擬音語表現は少ない。

これらより、「終了」「要請」などの機能イメージには、長音を伴って同一音節が繰り返されるような、変調周波数 5Hz 程度以下のゆっくりとした繰り返しの音が適していることが分かる。

衝撃係数による第1主成分得点の違いは小さい。しかし、3.1.1 では、吹鳴時間による機能イメージの違いが示されている。そこで、各機能イメージカテゴリの選択数から、衝撃係数の影響を検討する。

図 3.10 に、「終了」カテゴリの選択数を表すグラフを示す。衝撃係数 50 と 80 の刺激の場合は、変調周波数が低くなるほど、つまり吹鳴時間が長くなるほど「終了」の回答数が増加する傾向にあるが、衝撃係数 20 の刺激の場合は、吹鳴時間と単純には対応していない。これは、3.2.2.1 で示したように、繰り返し周期に対して吹鳴時間が短い場合には、促音を伴った同一音節の繰り返しの表現が用いられ、長音を伴った同一音節の繰り返しと対応する「終了」のイメージが想起されにくくなるからと考えられる。吹鳴時間が比較的長い短音が繰り返される「ピーピーピー」という音によって終了感が得られると言えよう。

また、変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激での、第1主成分に高い負荷を有する「要請」「操作」「状態提示」の各カテゴリの回答率を図 3.11 に示す。これらのカテゴリはいずれも、変調周波数 10Hz 未満の刺激条件で、50%以上の回答率を示す刺激が存在する（表 3.10）。

「操作」のカテゴリは、全体的に選択率が低いが、多く選択されているのは、変調周波数 5Hz 以下、特に衝撃係数 20 の場合である。また、「状態提示」のカテゴリは変調周波数 1.25Hz、衝撃係数 20 の場合に選択率が高い。変調周期に対して吹鳴時間が短く、促音を伴った繰り返しの擬音後表現がなされる場合には、「終了」などの機能イメージは想起されにくく、「操作」や「状態提示」の機能イメージが生じている。第2章で、「操作」の機能イメージを想起させやすい音は、吹鳴時間が短い単音であるとの結果が示されている。本実験の変調周波数 5Hz 以下の刺激は、短音が繰り返し吹鳴する音列とみなせるので、連続した操作に対するフィードバック音として評価されたと考えられる。

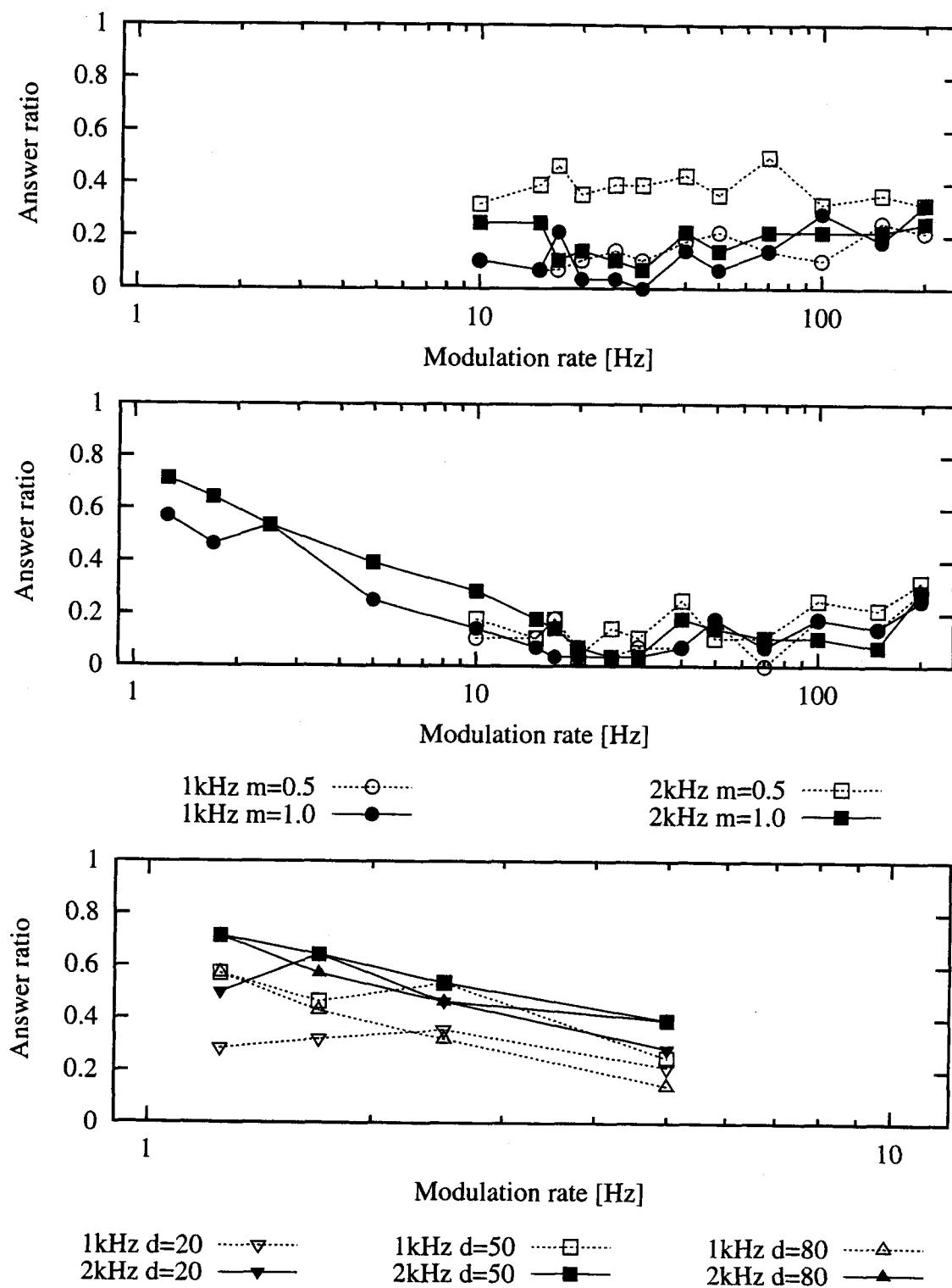


図 3.10: 「終了」カテゴリの選択率と変調周波数の関係（上：正弦波によって変調された刺激、中：衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激、下：変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

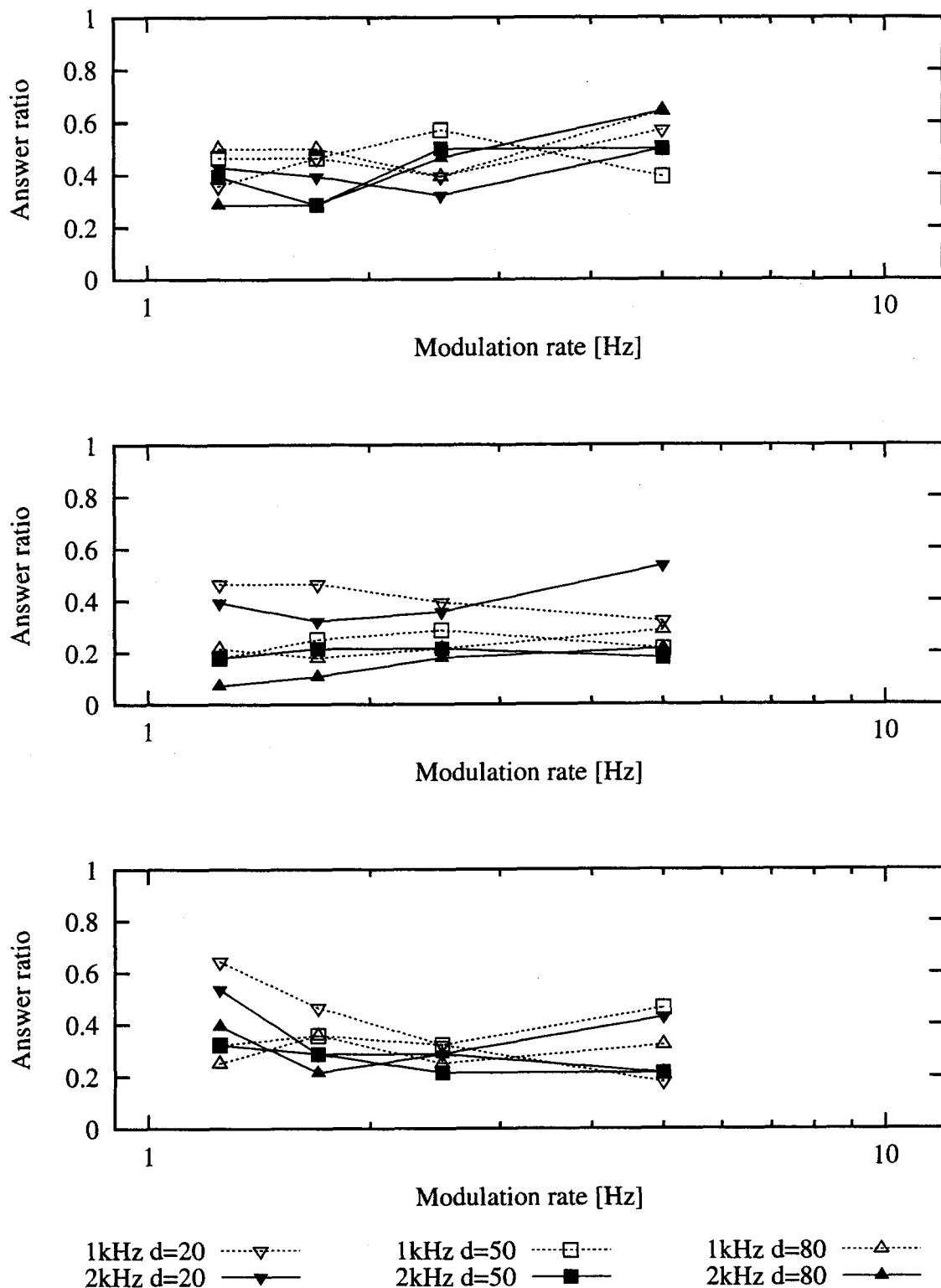


図 3.11: 変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激での、カテゴリの選択率。上から「要請」「操作」「状態提示」カテゴリ。

図3.13から、第1主成分に負の負荷を有する「警報」「呼出」などの機能イメージは、変調周波数5Hz以下のゆっくりとした繰り返しの音からは想起されず、変調周波数10程度以上で想起されることが示されている。「警報」「呼出」のカテゴリは、第2主成分で高い負荷を有しているので、第2主成分得点の結果も含めて考察する。

(ii) 第2主成分

図3.12に各刺激の第2主成分得点を、変調波の種類ごとに示す。縦軸は主成分得点、横軸は変調周波数である。図は、正方向が「呼出」のイメージ、負方向が「警報」のイメージを示す。第2主成分得点は、変調周波数10~40Hz程度で正方向に高く、この変調周波数域で「呼出」のイメージが強いことが分かる。

表3.13に、第2主成分の正負を代表する30刺激の、擬音語表現回答数の平均値と標準偏差を示す。第2主成分得点が正方向に高い「呼出」の機能イメージが強い音のグループでは、第2音節以降がラ行の同一音節が繰り返される擬音語表現が多く ($t = -6.24, df = 44.03, p < 0.001$) 見られる。第2音節以降でラ行の同一音節が繰り返される擬音語表現がなされるような、変調周波数10~40Hz程度の音で「呼出」のイメージが想起されることが分かる。

ただし、搬送周波数1kHz、変調度0.5の刺激の場合には、この傾向は見られない。この刺激条件では、他の刺激条件に比べて第2主成分得点がやや低く、第1主成分得点(図

表3.13: 第2主成分の正負を代表する30刺激の擬音語表現特徴の該当数の平均と標準偏差(*印は t 検定によって有意水準0.1%未満で有意差が認められたことを示す。)

	正	負
同一音節を繰り返す	3.333 ± 6.661	0.200 ± 0.610
長音を伴って同一音節を繰り返す	0.033 ± 0.183	0.867 ± 4.747
促音を伴って同一音節を繰り返す	0.033 ± 0.183	(該当なし)
第2音節以降でラ行の同一音節を繰り返す*	9.600 ± 5.899	2.000 ± 3.118
繰り返しなしで長音で終わる*	5.533 ± 5.563	19.200 ± 6.233
第1音節に有声子音を用いる*	1.667 ± 2.006	23.067 ± 5.252

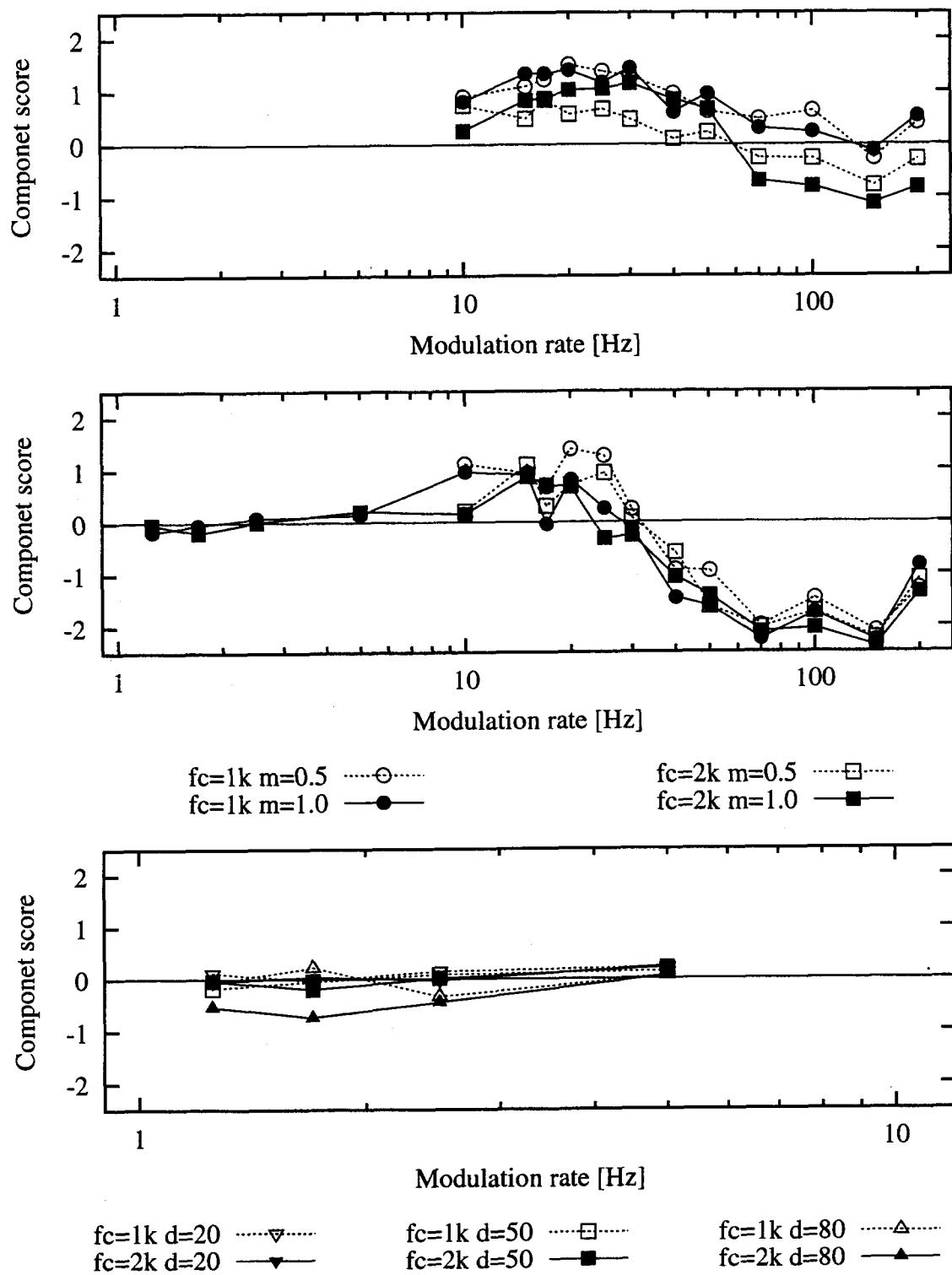


図 3.12: 第2主成分得点と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激、中:衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激、下:変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

3.9) も正方向に分布している。正弦波による変調音で、搬送周波数 2kHz, 変調度 0.5 の刺激は、他の条件に比べて第 2 音節以降でラ行の同一音節が繰り返される表現も少なく、逆に繰り返しなしで長音で終る表現が多いことが示されている (3.2.2.1(ii), 3.2.2.1(iii))。この条件は、「終了」(図 3.10) と「呼出」(図 3.12) が同程度の選択数を示している。「呼出」の機能イメージを想起させる変調周波数であっても、搬送周波数が高く変調度が高くない場合など、比較的定常的な音と評価される音は「呼出」のサイン音として適切ではないと言える。

変調周波数 40Hz 程度以上の矩形波によって変調された刺激で、第 2 主成分得点は負方向に高い (図 3.12)。正弦波によって変調された刺激では、搬送周波数 2kHz の場合に、変調周波数 70Hz 以上で負の第 2 主成分得点が示されている。これらの刺激で、「警報」のイメージが想起されることが分かる。警報感は矩形波による変調の場合の方が強いと言える。この傾向は、3.2.2.1 で示したように、矩形波による変調音が広い周波数帯域を有することと関連していると考えられる。

第 2 主成分得点が負方向に高い「警報」の機能イメージが強い音のグループでは、繰り返しなしで長音で終る表現 ($t = 8.96, df = 58, p < 0.001$) や、第 1 音節に有声子音を用いる ($t = 20.85, df = 37.28, p < 0.001$) 擬音語表現が多い (表 3.13)。

「警告告知」カテゴリは、多くの被験者にその機能イメージを想起させた刺激が存在することが示された (表 3.10) が、主成分分析では、第 1 主成分に中程度の正の負荷、第 2 主成分に中程度の負の負荷を有しており、その性格が顕著に現れなかった。「警告告知」カテゴリの選択数から、その機能イメージに影響する音響特性を検討する。

図 3.14 に、「警告告知」カテゴリの選択数を表すグラフを示す。正弦波による変調音では、変調周波数 70Hz 程度以上、搬送周波数 2kHz の場合に「警告告知」が多く選択されている。矩形波によって変調された刺激では、この変調周波数帯域で「警告告知」が多く選択されているとは認められない。矩形波による変調音の場合、この周波数帯域では「警報」の機能イメージが想起されることが示されている。このような変調波の種類による違いから、roughness を生じさせる変調周波数以上で「警告告知」感が生じ、変調波の種類などによって周波数成分が広い範囲に分布することで、より危険度が高い「警報」感を与えると解釈できる。

矩形波による変調音では、変調周波数 5Hz 程度未満のいくつかの刺激条件においてこ

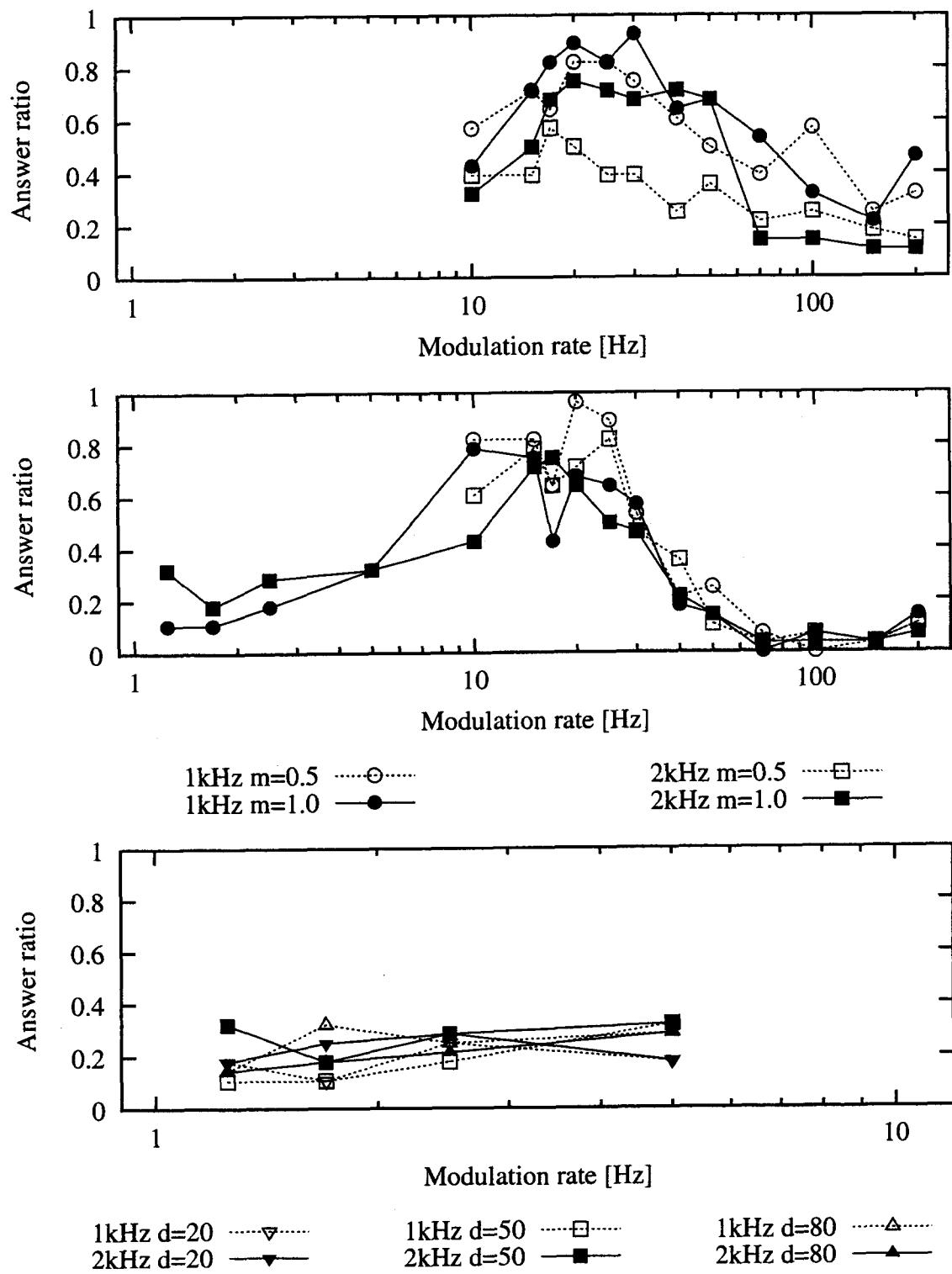


図 3.13: 「呼出」カテゴリの選択率と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激、中:衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激、下:変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

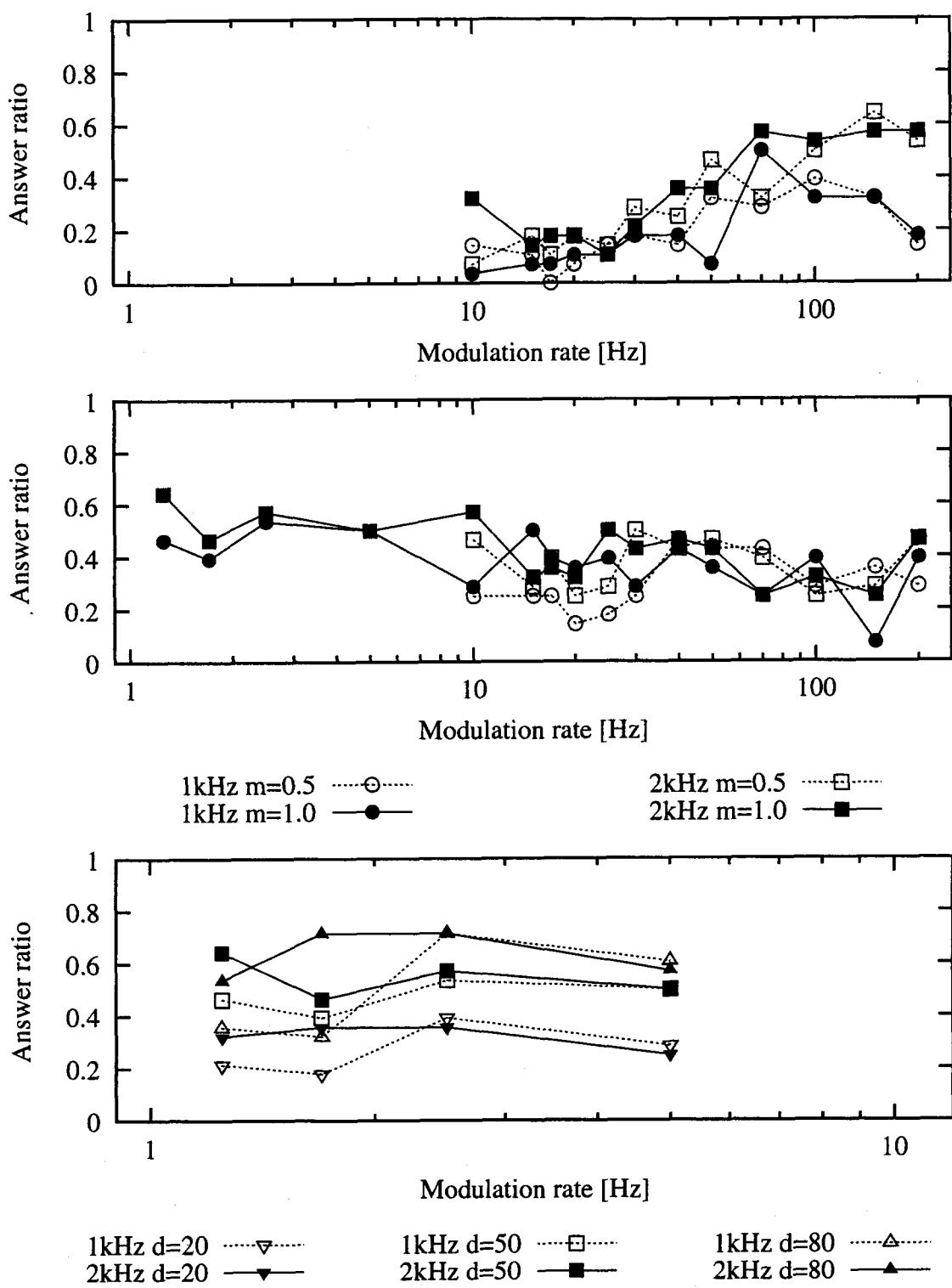


図 3.14: 「警告告知」カテゴリの選択率と変調周波数の関係（上:正弦波によって変調された刺激，中:衝撃係数 50 の矩形波によって変調された刺激，下:変調周波数 10Hz 未満の矩形波によって変調された刺激）

のカテゴリが多く選択されている。過半数の被験者がこのカテゴリを選択している刺激が見られるのは、変調周波数 10Hz 以下で衝撃係数が 50, 80 の刺激である。「終了」と同じような特徴を示しているが、「警告告知」が多く選ばれる刺激の変調周波数は「終了」の場合よりやや高い。過半数の被験者が「警告告知」を選択した刺激の平均吹鳴時間は 292ms であるのに対し、「終了」では 374ms である。

3.3 本章のまとめ

第 2 章で、繰り返し周期によって想起される機能イメージに違いが見られ、その繰り返し周期の違いは擬音語表現で分類可能である結果が得られた。これを受け、まず次の実験への予備的な実験と位置付け、短音の吹鳴と断続を繰り返す音列の繰り返しパターンを統制し、機能イメージの変化を検討する実験を行った（3.1.1）。その結果、繰り返し回数、吹鳴時間、断続時間などによって機能イメージに影響が及ぼされることが示された。

短音の吹鳴と断続を繰り返す音は、矩形波によって変調度 1.0 で変調された振幅変調音として表現することが可能であり、より一般化して、振幅の時間的な変動に対する機能イメージと擬音語表現との対応を考察するため、正弦波を搬送波とした振幅変調音を実験刺激とし、変調周波数をはじめとする振幅変調音の各種パラメータの変化による擬音語表現と機能イメージの変化を検討した。

擬音語表現の自由記述回答から、振幅変調音の各種属性、特に変調周波数による擬音語表現の変化が観察された（3.2.2.1）。

機能イメージのカテゴリ判断による主観評価実験を行い、カテゴリの選択頻度から機能イメージの主成分分析を行った。その結果、2 主成分解を得た。第 1 主成分は、「終了」のイメージを代表とする主成分であり、「要請」「操作」などが「終了」と共通した特徴を持つことが示された。第 2 主成分は、「呼出」と「警報」を相対するイメージとする主成分である。ただし、第 2 章の実験と比較して、本実験では刺激の属性の変化が限定されており、想起される機能イメージに偏りがある。そのため、第 2 章の主成分分析結果とは異なる機能イメージ相互の関係が見られる。本実験で統制した振幅変調音の属性の変化によって大きく影響を受ける機能イメージカテゴリが高い主成分係数を示したと考え

られる（3.2.2.2）。

変調周波数が10Hz未満で、長音を伴った繰り返しの擬音語表現がなされる場合には、「終了」の機能イメージが想起される。ただし、変調周波数が十分に低い場合でも、変調周期に対して吹鳴時間が短く、促音を伴った繰り返しの擬音語表現がなされるような場合には「終了」のイメージは想起されにくく、「操作」のイメージが生じることが示された（3.2.2.3(i)）。

変調周波数15～30Hz程度では、第2音節以降がラ行に変化する擬音語表現がなされ、「呼出」のイメージと対応する。この変調周波数帯域は、roughnessを知覚しはじめる帯域である。しかし、この変調周波数帯域においても、搬送周波数が高く変調度が高くない場合など、比較的定常的な音と評価されて、第2音節以降がラ行に変化する擬音語表現がなされないような音は「呼出」のサイン音として適切ではないことも示された（3.2.2.3(ii)）。

変調周波数40Hz以上では、第1音節に有声子音を用いる表現がなされ「警告告知」や「警報」のイメージと対応する。周波数成分が広範囲に及ぶ矩形波による変調の場合、より危険度の高い「警報」のイメージと対応する。また、「警告告知」のイメージは、変調周波数10Hz未満で衝撃係数50, 80の刺激でも多く選択されている（3.2.2.3(ii)）。