

聴覚情報処理に及ぼす  
注意の効果に関する研究  
－注意フィルタと時間窓の形成－

宮園 博光

# 目次

第1章 序論	1
1.1 注意研究の意義と工学的応用	1
1.2 聴覚系における注意の理論	3
1.3 周波数領域における注意と聴覚フィルタ	7
1.3.1 注意の周波数特性	7
1.3.2 聴覚フィルタ	12
1.4 時間窓と注意の時間特性	15
1.4.1 時間知覚と時間窓	15
1.4.2 注意の時間特性	16
1.5 注意と騒音評価	17
1.6 研究の目的	18
1.7 論文の構成	20
第2章 信号検出に及ぼす多成分複合 Cue 音の効果と注意フィルタ	22
2.1 はじめに	22
2.2 多成分複合音を Cue 音として用いた注意分割	24
2.2.1 2および4成分複合音を Cue 音として用いた場合の注意分割	24
2.2.2 2成分複合音を Cue 音として用いた場合の注意フィルタ	33
2.3 調波複合音および Low pitch に対する注意フィルタ	42
2.3.1 調波構造を持つ4成分複合 Cue 音に対する注意フィルタ	42
2.3.2 13成分複合音を Cue として用いた場合の Low pitch に対する注意フィルタ	52
2.4 周波数変化音に対する注意フィルタ	68
2.5 まとめ	79
第3章 聴覚系における注意時間窓	81
3.1 はじめに	81
3.2 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響	82
3.3 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響	93

3.4	まとめ	106
第4章	騒音評価における注意フィルタと時間窓	107
4.1	はじめに	107
4.2	衝撃音のやかましさに及ぼす暗騒音の影響	109
4.2.1	単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果	109
4.2.2	繰り返し衝撃音と暗騒音の時間特性の効果	117
4.3	有意味騒音のうるささに及ぼす定常騒音の影響	122
4.3.1	認知レベルおよび最適聴取レベルの測定	122
4.3.2	認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ	127
4.3.3	認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響	142
4.4	まとめ	149
第5章	まとめ	150
	謝辞	153
	参考文献	154

# 第1章 序論

## 1.1 注意研究の意義と工学的応用

近年のコンピュータの技術は、半導体技術の発展を背景として、ハードウェア面での進歩が著しい。今日、コンピュータの能力は、数値計算や一部の記号処理の面では人間の能力をはるかに凌ぐものとなっている。しかし、そのコンピュータは、専門家だけではなく一般の人や体に障害をもった人などが使えるようには作られていないのが現状であり、使い勝手の面で立ち遅れていると言える。これは現在のコンピュータは、人間同士がコミュニケーションするような音声や文字、画像などの情報に対する処理能力が低いことに起因しており、さらには利用者とコンピュータとの間のインターフェースが十分に考慮されていない事が大きな原因であると考えられる。コンピュータだけではなく機械の性能を十分に発揮させるためには、ユーザの操作方法や利用形態が十分に考慮された使い勝手がよいマンマシンインターフェースが必要になってくる。使い勝手のよいインターフェースとは、ボタンの大きさや配置だけではなく、機械の性能特性と人間の知覚・認知特性さらには行動特性とを調和させるものである。そのようなインターフェースを設計、実装するためには技術的な研究だけではなく、人間の知覚・認知、さらには行動のメカニズムを解明する研究と技術開発を行う必要がある。同時に使い勝手のよいインターフェースの充実だけではなく、コンピュータに人間と同じように目や耳で知覚させ、さらに認識、理解などの認知活動の機能を持たせるためには、それらメカニズムをモデル化しコンピュータに実装できる形にする必要がある<sup>[1]</sup>。人間の情報処理メカニズムを考慮したモデルの例としては、聴覚末梢系における聴覚フィルタがある。このモデルは工学的に応用されており、音響信号の圧縮、音声認識等で用いられている。

また人間の知覚・認知などの情報処理メカニズムを解明しモデル化する事は、製品などの人工物の評価にも応用できる。人工物の使いやすさを最終的に評価するのは、その利用者たる人間である。そのため人間の情報処理メカ

ニズムをそなえた評価器ができれば、従来の物理な指標で評価されていた人工物が利用者から見た評価を受け、本当に使う人の事を考えた評価基準ができる可能性がある。人間の情報処理をベースとする評価器は人工的なものばかりではなく、自然現象に対しても応用できる。特に近年、環境に対して人々の関心が集まり、物理的な指標だけではなく人間の持つ感情や感性などを基本とする評価が行われつつある。このような評価器を構築するには、聴覚末梢系だけではなく感情や情動などのより高次な処理までも考慮する必要がある。視覚、聴覚に関わらず感覚器から入力されてくる膨大な情報は感覚記憶に貯蔵され、感覚記憶での膨大な情報が短期記憶へと有限な情報として転移する。その際に、注意の働きにより情報のフィルタリングが行われていると考えられている<sup>[2]</sup>。

視覚系での注意による情報のフィルタリングは、情報知覚者の能動的な制御により可能である。その注意の測定は被験者の内観報告などにより行う事が可能であり、測度としては被験者の視点の位置やその移動量などを利用できる。さらに刺激の提示も、複数情報の同時提示が可能であり情報の遮断も容易に行う事ができる。しかし聴覚系においては注意の制御は情報知覚者の認知過程にあり、内観は基より直接的に観測することは極めて困難である。さらに刺激の提示方法も時間的な要因を考慮する必要があるため、刺激の提示方法にも制限がある。そのため注意の研究が視覚を中心として行われてきたのは必然的である。しかし、実生活においては、音はあらゆる方向から到来し、それぞれの音に対して何らかの注意が向けられている。この音に対する注意のメカニズムを、視覚の研究の応用または拡張として捉える事には無理があり、聴覚における注意は独自のアプローチにより研究を行う必要があると考える<sup>[3]</sup>。また、現在では生理学的な方法による測定方法もあるが十分な成果があるとは言いがたく、注意の測定は心理学的な方法が主として用いられている。聴覚における注意の研究は、カクテルパーティ効果に代表されるような特定の聴覚刺激に対応する方向への知覚や、複数の音の中からある特定の音だけを抽出する能力を解明する事に主な目的がある。その解明された能力は、雑音下での音声認識や複数話者が同時に発話する環境での話者分離に対して応用され、音の物理的特性だけではなく聴取者の能動的な注意の働きを応用する事でさらなる認識率や話者分離の精度が向上する可能性がある。また、注意の働きの解明は、音に対する快・不快などの主観的な評価に

対しても応用できる。例えば騒音の評価においては、注意が引かれる事による不快感の増加を示す事ができると考えられる。人間の情報処理をベースとする評価方法に注意機構を取り入れ、より人間の感覚を考慮した評価器の製作、評価基準の決定などへも応用する事ができる。

## 1.2 聴覚系における注意の理論

カクテルパーティ効果<sup>[4]</sup>に代表されるような我々の注意集中の働きは、研究の初期段階においては、提示された音の物理的特徴に大きく依存していると考えられた。これは、左右の耳にそれぞれ同じ話者の声で刺激を提示した場合、右耳への情報と左耳への情報をうまく分離できなかったという実験結果に基づく。この結果より、両耳に提示された刺激間の物理的特徴が同じ場合には、意味的な特徴だけでは情報の分離ができないという解釈がなされている。LinseyとNormanも左右の耳に別の聴覚刺激を提示する両耳分離聴取実験により注意分割の研究を行った<sup>[2]</sup>。その実験では、被験者の両耳に違う単語や文章などの言語的な情報を与え、その片方から与えられた情報に注意を向けて追唱する手法が用いられた。実験の結果、注意を向けなかった耳から与えられた情報は音としては知覚されていたが、意味的な処理はおろか言語の種類、話者の性別すらも処理されていない事が明らかとなった。しかし、純音のような意味を持たない音に対しては反応する事も示された。そのため注意を向けられていない耳に対する刺激は、知覚されているが意味的な情報までは処理されていないと考えられた。これらの実験結果により、両耳に与えられた情報を分離する場合や片方の耳に注意を集中した場合、他方の耳に与えられた情報は、意味の処理までは十分に行われずに物理的特徴の処理にとどまると結論づけられた。

この注意分割の実験結果は、Broadbentのフィルタモデル(Filter Model)により説明される<sup>[5]</sup>。Broadbentは複数の聴覚刺激を同時に処理する場合において、感覚情報を処理する感覚系、容量に限界のある知覚チャネル、そしてその間に情報を選択するフィルタが存在すると考えた。そして、ある情報のみが選択される選択的なフィルタモデルを考案した。このモデルは、単一の情報のみがフィルタを通過し、それ以外の情報は排除される注意集中の現象をよく表していると考えられる。このモデルではフィルタリングは情報の物理

的特性によって決定され、聴覚情報処理の初期段階で行われる事を仮定している(図1.1 A)。しかし、このフィルタでは、情報を処理する段階が聴覚の初期に固定されていた。さらに、フィルタリングされた後に処理される情報は単一であった。一方、実験により注意を向けていない情報でも高次の処理が行われている現象も確認され、Broadbentが当初提案したような処理の初期段階に固定的な選択フィルタが存在する説とは矛盾する結果も出てきた。この結果も踏まえBroadbentは、その後、処理の後半部分で情報選択の起こる可能性を考慮したモデルへと修正を加えたが、処理の初期段階で選択が行われる事に重点が置かれていた。Broadbentの選択フィルタ説を修正したものが、Treismanの減衰モデル(Attenuation Model)であった<sup>10)</sup>。これは、注意を向けられていない情報は、フィルタにより完全に棄却されるのではなく、単に弱められるだけであると考えた(図1.1 B)。このモデルでは、聴覚情報は、物理的特徴の分析、シラブルの分析、単語の分析、文法分析、意味分析へと処理が進められ、初期段階での物理特性によりフィルタリングが行われるのではなく、もっと高次において処理される可能性を残したと言える。さらに、このモデルでは、被験者の期待が情報の選択に影響する事も示唆している。これら2つのモデルは、聴覚系において複数の情報が同時に処理される場合の注意の振る舞いを十分に説明できるものではない。しかし、情報が段階的に処理されていく過程で、情報のフィルタリングが行われる事を示した点で重要である。これらのモデルは、情報がまだ十分に処理されていない段階でのフィルタリングを仮定しており“知覚フィルタ”とも呼ばれている。これに対して情報の意味内容についての処理が行われた後にフィルタを設定するモデルもある。Deutsch&Deutschは、両耳聴取実験において注意が向けられなかった情報の中に自分の名前などの重要な情報が含まれている場合には、意味的な処理がなされている事を見いだした<sup>11)</sup>。これにより注意が向けられなかった情報に対しても完全な処理がなされており、情報の重要性により注意が働く最終決定モデルを提唱した(図1.1 C)。このモデルでは、Broadbentのモデルとは対照的にかなり高次の処理が全ての情報に対して行われており、反応の直前に選択的なフィルタが存在する事を仮定している。このモデルは“反応フィルタ”とも呼ばれており、“知覚フィルタ”との対比においてどちらのモデルが有効かについては議論が繰り返されている。これらのモデルは、処理のどの段階で情報の選択が行われるかに主眼が置かれており、注意の働く場所や形

態は異なっても、基本的な考えは処理段階のどこかに選択を行うフィルタが存在するというものである。

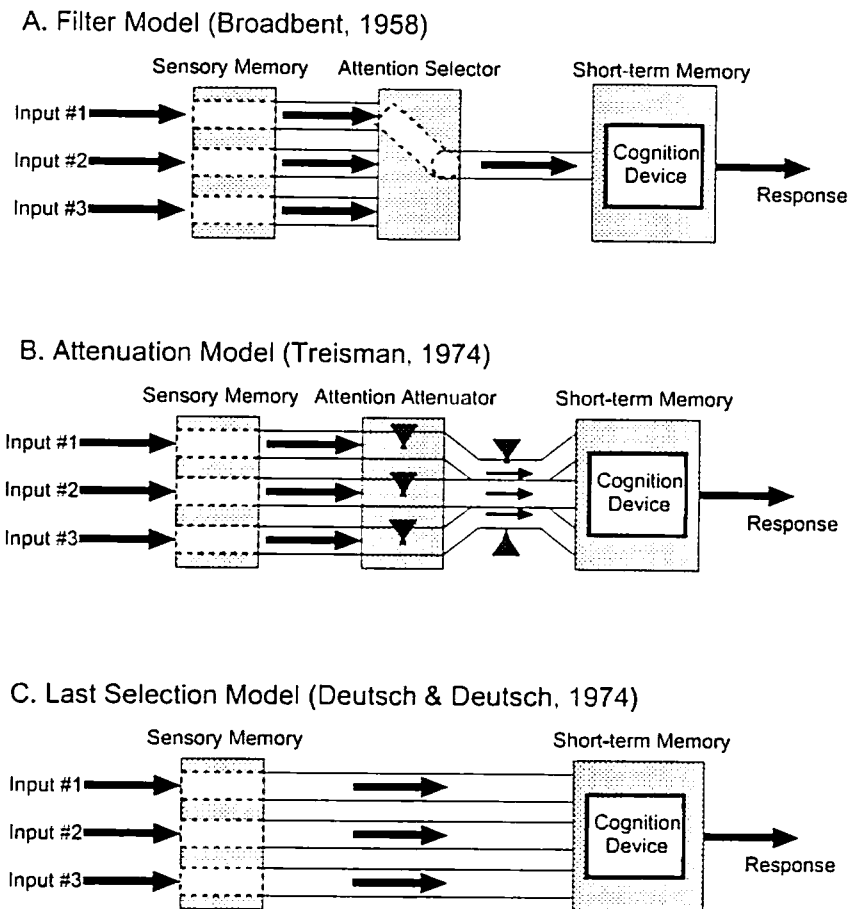


図 1.1 Broadbentのフィルタモデル(A), Treismanの減衰モデル(B)と Deutsch & Deutschの最終決定モデル(C)のイメージ



このフィルタの考え方に対してKahnemanは、容量モデルを提唱した<sup>[8]</sup>。これは、情報撰択のフィルタを仮定する代わりに、人間には有限な注意資源が存在し、その資源容量の限界により処理できる情報の量が決定されるというものである。人間はこの注意資源を複数の処理に配分しながら作業を遂行しているとし、もしも処理に必要とされる資源が容量の限界を越えるようであれば、その作業に対する処理が十分に行われず何らかの影響が出る事になる。このモデルは、人間が提示された情報に対してどのように資源を配分して処理しているかに主眼が置かれ、注意の分割と集中を説明する有効なモデルである。このモデルには、情報のコード化、記憶や学習といった処理段階の概念を取り入れたもの<sup>[9]</sup>や、複数の資源を有するもの<sup>[10]</sup>などが存在している<sup>[11]</sup>。さらに注意分配の方法には、永続的な傾向や一時的な意図などが影響している。

Broadbent, Treisman, Deutsch&Deutschの3つのモデルでは、情報が段階的に処理される過程において注意がフィルタとして働く事を仮定しているが、生理学的な解釈は行われておらず、処理が行われる段階も聴覚末梢、中枢などの過程に分けられてはいない。また、提示している刺激も音声などを用いており、音の物理特徴を把握した実験が行われているとは言いがたい。また、Kahnemanらの容量モデルでは、注意の働きをある程度説明できるが、取り上げられている処理は、コード化、記憶や学習などと抽象的なものが多い。さらに、資源がどのように配分されるのかを量的に評価した研究は少なく、特に聴覚における実験の報告もあまり見られない。注意の働きを定量的に把握するためには、音刺激の物理パラメータを制御し、その刺激に対する処理過程をある程度明確にした実験を行う必要がある。

日常会話における聴覚の注意集中や注意分割の手がかりとしては、音声の意味や話者特性などがあげられる。音声は全ての物理パラメータを特定する事が困難であり、意味情報は聴取者に大きく依存するために一般化が困難である。モデル化や一般化のためには、もっと音の物理特性を絞りこんだ実験を行う必要がある。実空間において、注意の分割に及ぼす物理的要因の中で話者の位置、つまり空間的な情報は大きいと考えられる。カクテルパーティ効果で代表されるCherry<sup>[4]</sup>の実験においても両耳分割聴が用いられていたのは、刺激に空間的情報を持たせるためであり、Broadbent<sup>[5]</sup>やSpieth<sup>[12]</sup>の注意分割実験においても空間的な要因が強調されている。近年においても、特定の位

置に対する空間的な注意分割の実験は行われており<sup>[13][14]</sup>、空間的な注意に対する位置情報の重要性は明らかである。Darwinらも両耳間時間差(Interaural Time Difference:ITD)を持った刺激を用いて注意分割の実験を行い、同一話者の場合でも数十マイクロ秒のITDの差を持つ場合には、注意が分割される事を報告している<sup>[15]</sup>。さらに、彼らは、注意の分割における空間的な手がかりと、ピッチや強度などの手がかりとの影響の差を測定している<sup>[16]</sup>。その結果、2つの文章に注意を向けた注意分割条件では、音律的な手がかりの影響は小さくITDの差の優位性が示された。しかし、ある特定の文章に注意を向けた注意集中の条件では、ITDよりも音律的な手がかりが優位な結果も示されている。Woodらの脳波の活動電位を測定した注意分割の実験によると、空間に対する注意は、ある特定の位置の情報だけではなく話者の特定と空間的な位置との一致に大きく依存している事が報告されている<sup>[17]</sup>。空間的な情報を持たない場合でも、音声のように複雑な周波数特性を持つ音に対する注意の分割では、ピッチの連続性や話者特性<sup>[5]</sup>や音響的な伝達特性<sup>[18]</sup>などといった非空間的な手がかりが話者特定に影響を及ぼす。音源の位置を特定する空間特性以外の物理特性としては周波数が上げられ、異なる周波数の刺激に対する注意に関しては数多くの論文がある。聴覚系における注意の研究は、信号検出作業を用いた周波数領域でのフィルタリングや周波数選択性を取り扱ったものが多い。

## 1.3 周波数領域における注意と聴覚フィルタ

### 1.3.1 注意の周波数特性

ある周波数の信号に注意を向けた状態で聴取実験を行うと、注意を向けなかった音に対する検出力が低下することを示す多くの報告がある<sup>[19][20][22]</sup>。Probe-Signal法により測定されたこれらの結果は、聴覚系内に何らかの帯域通過フィルタを仮定する事により説明がなされており、フィルタの幅は、近似的に臨界帯域と等しいとされている<sup>[23][24][25]</sup>。これら周波数領域での研究は、信号周波数が予測できない場合の検出力を測定する方法と、ある特定の周波数に注意を集中させた場合の検出力を測定する方法に大別される。前者は、周波数不確定性を用いた実験、後者は、Probe-Signal法による実験に代表される<sup>[23][26][27][28]</sup>。

周波数不確定性を用いた実験においては、ある周波数範囲から純音の信号を複数選び、選んだ信号の数により信号の周波数の出現頻度をコントロールする。その純音の信号をノイズ中に提示して検出閾値を測定することにより、周波数不確定性の違いと検出閾値の関係を見るものである。選択された信号の数が多いほど、一つの信号に対する出現頻度が少なくなり閾値が上昇すると考えられる。しかし、周波数不確定性の実験では、被験者間で大きな差がある事が示されていた。そこで、Green<sup>[29]</sup>はこの被験者間の差を小さくするために、まず、被験者に対して、特定の周波数範囲の両端と中心の周波数の信号に対して十分に聴取トレーニングを行った。そして、中心周波数と両端の周波数信号をランダムに提示し、それらの信号に対する検出閾値を測定した。この実験では、提示する信号周波数の間隔をコントロールする事により、被験者の期待を周波数軸上で分散させる方法を取っている。さらに、3種類の周波数の信号を単独で提示した場合の結果と比較して閾値の移動量を調べた。その結果、周波数間隔を1Hzから1000Hzまで広げた場合でも閾値の上昇はわずか1dBにしかならない事、さらに、3500Hzまで広げてさらに2dB程度の上昇にすぎない事が示された。それゆえ、周波数不確定性の影響は、最大で3dB程度の閾値の上昇を生じるだけと結論づけられている。この周波数不確定性を用いた実験で結論づけられた最大値3dBは、現実を反映するにはかなり小さい値であり、工学的な応用を考慮した場合にはそれほど大きな効果がないと考えられる。しかし、この値は、刺激の種類や実験環境に変化する可能性がある。この不確定性に影響される周波数選択性を定量的に説明するモデルは多数存在するが、以下の2種類に大別される。一つは、臨界帯域を元にしたFletcherのSingle bandモデル<sup>[30]</sup>であり、もう一つは、Helmholtzに端を発するMulti-bandモデルである<sup>[31]</sup>。Single bandモデルでは、狭い周波数帯域をもつ単一のフィルタが存在すると仮定している。そして、周波数が単一ではない音に対しては、このフィルタを周波数軸上で移動させて聴取を行っているとしている。そのため、提示される刺激が複合音の場合には、刺激が提示された時間内でフィルタの移動を十分に行う事ができず、検出力が低下すると考えられた。その低下は、複合音の周波数成分の数と成分周波数の距離の増加に対して大きくなると考えられる。それに対してMulti-bandモデルでは、周波数軸上で狭帯域のフィルタが多数存在し、これらを用いて複合音を聴取するというものである。Greenの実験結果<sup>[29]</sup>をSingle bandモデルに

より説明すると、周波数に対して最大の不確定性をもつ場合ですら10dB程度の閾値の上昇となった。Multi-bandモデルでも同様な結果が導かれている。その後、Bussらは、Multi-bandモデルを改良して、Greenのデータに近い予測結果を導き出している<sup>[32]</sup>。しかし、現状では、周波数不確定性の効果を定量化するものとしては両者とも不十分だとされている<sup>[33]</sup>。これは、両者が周波数を固定し、周波数不確定性を考慮していない状況をモデル化しているのが最大の原因であると考えられる。さらに、周波数不確定性を用いた実験においては、被験者は信号の数や信号周波数などにより聴取方法を変化させている可能性が示されている。フィルタの形状が固定的ではなく、被験者の聴取方法により変化する注意のダイナミクスがモデルに対して反映される必要がある。しかし、両モデルは、周波数選択性に対する注意の働きを概念的に説明するものとしては有益であり、複数の周波数領域に注意を向けた場合の検出力の低下をある程度説明できる。

TannerとNorman<sup>[34]</sup>は、4区間強制選択法により広帯域ランダムノイズ中の1000Hzのトーンバースト検出が65%の正答率を示すレベルを測定した。その後、被験者に何の情報も与えないまま、信号の周波数を1300Hzに変更して実験したところ、正答率は25%(チャンスレベル)まで低下した。さらに被験者に信号周波数が増えていることを伝えたところ、すぐに正答率は65%に戻った。これは、被験者に対してあらかじめ信号の情報を与える事により検出力が変化することを示しており、刺激に先行する他の刺激や教示などにより注意をコントロールする事が出来ることを示したものである。

Gundyは、刺激に対する情報のあるなしにより、被験者の聴取戦略がどう変化するかを実験により調べた<sup>[35]</sup>。彼は、2区間強制選択法により広帯域ノイズ中での1000Hz純音の検知限を測定した。その際に一つの被験者グループには、各試行の前に数回、聞き取れるレベルの信号(Cue音)を提示し、もう一つのグループにはCue音を提示せずに実験を行った。その結果、Cue音を与えなかった被験者の正答率は50%(チャンスレベル)であるのに対して、Cue音を提示したグループは85%の正答率を示した。この結果は、Cue音により被験者の注意をコントロールでき、不確定性を低下させる事ができる事を示している。Cue音を用いた実験では、検出する信号と同一の刺激を提示した実験<sup>[23][25][36][37][38]</sup>や、音楽的に相対距離があるCue音を用いたもの<sup>[39][40]</sup>などがある。音楽経験者や絶対音感を有する被験者を用いた実験<sup>[41][42]</sup>もあり、刺激の

手がかりと聴取者とを関連づけたものも存在する<sup>[13]</sup>。Cue音に注意を向けさせた状態で、その成分音またはその成分近傍の音を提示して検出能力を測定することにより、Cue音に対する注意の様子を測定することができる。このような測定は、Probe-Signal法により行う事ができ、刺激のパラメータを変化させる事で注意フィルタの幅と形状を測定できる。Probe-Signal法の基本は、信号を多数回提示する事により、被験者の注意を単一または複数の周波数領域に向けさせ、その他の周波数領域での検出を測定するものである。この方法は、注意が向けられていない信号の検出能力を測定する方法として有効である。

Ebataらは、Probe-Signal法を用いて周波数軸上での注意集中による検出力の向上を示す他、特定の方向に注意を向ける事による聴取能力の向上を示している<sup>[19]</sup>。同様に、GreenbergとLarkinもProbe-signal法により注意力による検出能力の向上を示している<sup>[20]</sup>。彼らは、各試行の前に明らかに聞こえるレベルの音を提示する事で1000Hzの信号に対して注意を向けさせた。そして、全体の試行の77%に注意を向けさせた1000Hzの周波数の信号(Target音)を提示し、残りの23%は1000Hz以外の周波数の信号(Probe音)を提示した。Target音とProbe音は、広帯域ランダムノイズ中で約80%の正答率になるレベルで提示した。実験方法は、2区間強制選択法(2 Interval Alternative Forced Choice: 2IAFC)であった。Target音の周波数と等しい周波数をもつ信号、およびその近傍の周波数をもつ信号に対しての正答率は80%のままであったが、Target音の周波数から離れるに従い正答率は急激に低下した。さらに、その低下は、臨界帯域の約半分の範囲までおよび、それ以上広くなった場合には、チャンスレベル(50%)まで低下した。Scharfも同様に各試行の前にTarget周波数となる1000Hzの信号をCue音として与えた実験を行った<sup>[21]</sup>。その提示レベルはCue音がない場合の信号検出で75%の正答率となる8dBSL(Sensation Level)に設定した。実験は、2IAFC法を用い、信号の提示レベルは閾値より4dB大きいレベルとして提示した。その結果、1000Hzでは90%の正答率となり、Probe信号に対しては約50%の正答率になった。これらの実験では、信号の提示レベルが一定で、得られたデータも正答率であるため注意フィルタを物理量で規定するには何らかの方法によりデータを変換する必要がある。また、Cue音には信号音と同一の周波数の刺激を用いており、Cue音が複合音の場合や、信号とCue音が違う場合について言及した研究は少ない。

SchlauchとHaftersは、Probe-Signal法を改良して複合音に対する精神測定関

数を導出して周波数領域での注意分割の検討を行った<sup>[25][44]</sup>。彼らは、2または4成分の周波数複合音をCue音として用い、被験者の注意を単一の周波数領域ではなく複数の領域に向けさせた。その複合音の周波数 $f_c$ は、600Hzから3500Hzの範囲から選ばれた。Cue音の提示後に提示した信号は純音であり、Cue音の成分に対応する周波数を持つ信号をTarget音とした。さらに、複合音に含まれない周波数の信号はProbe音とされ、その周波数 $f_p$ はTarget音の周波数 $f_c$ との比 $f_c/f_p$ が一定になるように調整された。被験者にはCue音によりTarget音の周波数の情報が提示されるが、成分周波数が多くなることにより信号の不確実性が増加し検出能力の低下が測定される。同時にProbe音に対する検出力も測定され、注意を向けられた信号の周辺の周波数に対する検出力も測定された。結果として、Cue音の成分数の増加により周波数不確実性が増加し、検出能力の低下が観測された。同時に、成分が増加する事によりProbe音に対する検出力も低下する結果となった。この不確実性の影響を示す彼らの結果は、Multi-bandモデルの変形であるM-orthogonal bandモデル<sup>[45]</sup>により説明がなされている。このモデルでは、注意を向けるM種類の周波数が直交していると仮定して、それらのベクトルの和により最終的な検出が決定されるとするものである。このモデルにおいて、Mを1, 2, 4と設定する事により彼らの実験データは説明ができた。さらに彼らは、Probe音に対する検出力の低下により聴取帯域の形状を推定し、Cue音の成分数が1から4に増加するに従いその聴取帯域は広がる事を示した。これらの帯域の広がりや検出能力の低下は、注意分割のMulti-bandモデルと一致するものとなっている。しかし、彼らの実験では、成分間の周波数軸上での距離と成分数については言及しておらず、同じ成分数でも成分の間隔が変化する事による検出力の変化については検討していない。また、Cue音成分の周波数軸上の距離が近い場合には、複数のフィルタではなくて単一のフィルタにより聴取する可能性もあり、そのフィルタの帯域幅も臨界帯域や臨界比との比較を行う事により、注意のふるまいを捉える事ができると考えられる。

臨界帯域や臨界比は、聴覚末梢系のフィルタリング機能を表現したもので、蝸牛での神経メカニズムによる周波数解析を表現したものであるため、フィルタの形状や幅は実験条件などに依存しない。しかし、被験者への教示や周波数不確実性などの条件により、このフィルタの特性は変化することを示す多くの報告がある。最近の神経生理学の研究により、この現象は中枢から聴

覚末梢へ向かう外心性神経の働きであるとする報告がある<sup>[46][47][48]</sup>。これは蝸牛の周波数選択性が上オリーブ束の外心性神経の働きが蝸牛の外有毛細胞をコントロールしている事による。

### 1.3.2 聴覚フィルタ

Fletcherは、広帯域雑音により純音をマスクする場合、雑音の全ての成分がマスキングに寄与するのではなく、純音の周波数近傍の成分のみがマスキングに効果的に働く事を示した<sup>[30]</sup>。これは、現在、臨界SN比と呼ばれており、雑音で純音をマスクする場合に、雑音成分のある帯域内の強さと純音の強さとが等しくなった状態を示している。このことより、聴覚フィルタの存在が示唆された。Zwickerは、2成分複合音をマスクとして、その中心に等しい周波数の狭帯域雑音の最小可聴域を求める事により、フィルタの帯域幅を測定した<sup>[49][50]</sup>。その結果に基づき、臨界帯域幅を式(1.1)で近似した<sup>[51]</sup>。

$$CB = 25 + 75(1 + 1.4f^2)^{0.69} \quad (1.1)$$

ここで $f$ は中心周波数[kHz]、 $CB$ は中心周波数 $f$ の臨界帯域幅[Hz]である。2成分複合音の分離や、複合音における成分音の聞き取りでは、成分の距離が上記の臨界帯域により評価される事が多い。本研究で用いた複合音も、この臨界帯域を考慮した周波数間隔を用いている。臨界帯域は、一般に中心周波数により固定されたものとされているが、注意の効果により変化する可能性があると考えられる。Pattersonは、純音の信号に対して信号周波数より低い周波数成分を持つ高域遮断雑音を用いて検出実験を行った<sup>[52]</sup>。実験の結果、被験者は、信号の周波数にフィルタの中心を置いて聴取するのではなく、出力のSN比が最大になるような聴取を行う事が明かになった。この現象は、Off-frequency listeningと呼ばれ、純音の検出でさえも末梢だけの機能でフィルタを形成するのではなくて、雑音とのSN比を算出した後の処理過程からのはたらきが末梢のフィルタの形成に影響を及ぼす事が示唆された。この影響を受けない方法として、帯域除去ノイズ(notch-noise)を用いた測定法が提案された。

これは、信号周波数が $f_c$ の時に、周波数が $f_c - \Delta f_l$ 以下と $f_c + \Delta f_u$ 以上の成分からなるノイズマスカを用いて、 $\Delta f_l$ と $\Delta f_u$ を変化させてフィルタの形状を測定する方法である。聴覚フィルタの測定においては、notch-noiseのうち

フィルタに入っているパワーと閾値における信号のパワーが等しいと仮定されており、閾値における信号のパワー  $P_s$  は式(1.2)で表される。

$$P_s = KN_0 \left\{ \int_0^{f_c - \Delta f} |H(f)|^2 df + \int_{f_c + \Delta f}^{\infty} |H(f)|^2 df \right\} \quad (1.2)$$

ここで  $K$  は定数であり、 $N_0$  はノイズのスペクトル密度を示している。 $|H(f)|$  は聴覚フィルタの伝達関数である。 $P_s$  を測定することにより、式(1.2)から聴覚フィルタの形状を算出することができる。このモデルを注意の効果として応用するために物理的な信号のパワーを心理的な注意の力とみなし、notch-noiseのパワーを注意により減衰させられた閾値の低下と仮定した。Pattersonらは、この聴覚フィルタの形状を、式(1.3)のroex関数(Rounded-exponential)として定義し、聴覚フィルタの周波数特性  $|H(f)|^2$  を近似している<sup>[53][54]</sup>。

$$W(g) = (1 + pg) \exp(-pg) \quad (1.3)$$

ここで  $g$  は求める周波数  $f$  と中心周波数  $f_c$  の差の絶対値を中心周波数で割った値 ( $g = |f - f_c|/f_c$ ) であり、 $W(g)$  はフィルタの形状を決める強度重み関数である。 $p$  がフィルタの帯域幅と頂点の傾きを決定するパラメータであり、 $p$  の値が大きいほどフィルタの形状は鋭くなる。Mooreらは、式(1.3)における周波数応答の臨界帯域幅に相当する値を等価矩形帯域幅(ERB: Equivalent Rectangular Bandwidth)と呼んだ<sup>[55]</sup>。これは、聴覚フィルタの通過帯域の面積と等しい面積をもつ矩形フィルタの通過帯域幅とされ、式(1.4)により求められる。

$$ERB = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} |H(f)|^2 df}{|H(f_c)|^2} \quad (1.4)$$

ただし、 $f_c$  はフィルタの中心周波数である。式(1.3)と式(1.4)より、等価矩形帯域幅(ERB)は式(1.5)により式(1.3)で推定された  $p$  の値を次式に代入することで簡略的に求めることができる。

$$ERB = \frac{2}{p_l} + \frac{2}{p_u} \quad (1.5)$$

ここで、 $p_l$ 、 $p_u$  はそれぞれ中心周波数より低域および高域の結果に対して式(1.3)により推定された  $p$  の値である。notch-noise法で測定された聴覚フィルタ



の形状を表すこれらの数式は、生理的学な知見により求められたものではなく、心理学的に測定されたフィルタの形状を最もよく表現するための手法である。従って、計算された聴覚フィルタの形状と幅は、生理学的な現象を表すものではない。しかし、さまざまな条件下で測定されたフィルタの形状と幅を比較するためには有効な方法である。Probe-Signal法で測定された注意により形成されるフィルタの形状は、少なくとも中心付近ではこのnotch-noise法で測定された聴覚フィルタの形状とほぼ一致している<sup>[21]</sup>。

聴覚フィルタは、ある聴覚刺激に対して末梢系で構成させる概念的なものであり、その存在については認識されているものの、形成のメカニズムや形状、さらに、複合音に対するふるまいに対しては多くの議論がある。本論文における注意により形成されたフィルタも一種の聴覚フィルタであると考えられるが、これを区別するために注意フィルタと呼ぶ。

## 1.4 時間窓と注意の時間特性

### 1.4.1 時間知覚と時間窓

視覚刺激でも聴覚刺激でも、その刺激に対しては時間知覚が生じている。時間知覚が生じるためには、時間の心的事象としての心的時間または主観的時間が形成されなければならない。心理的な時間がどのようなものであるかが明かになれば、時間知覚のメカニズムを知る事ができる。心理的時間は、事象の知覚によりもたらされ、物理刺激の中である情報を処理した結果が、時間を知覚するための手がかりとなると言われている<sup>[56]</sup>。さらに、心理的時間は、継時的に提示されたいくつかの音響事象が一つの流れとして知覚される時間範囲を示しており、注意の範囲や短期記憶の働きと密接に関係していると考えられている<sup>[57]</sup>。時間知覚は、継時的に提示されたいくつかの事象が一つのまとまりとして知覚される時間の範囲内での時間に関する知覚である。この時間の範囲は、心理的現在と呼ばれている<sup>[58]</sup>。しかし、この心理的現在は、ある特定の時間範囲をもっているわけではなく、刺激の提示時間が長くなるにつれて刺激に対する知覚だけではなく、知覚以外の判断や、注意さらに記憶の過程などに関連してくると考えられる。特に、長い提示時間の刺激に対する時間知覚では、刺激に対する期待などの主体的条件も大きな影響を与えるとされ、ある出来事の生起を期待して待つと、その経過した時間は過大評価される“watched pot”効果も測定されている<sup>[59][60][61]</sup>。

聴覚刺激の時間知覚に関しては、2つの刺激を継時的に提示して、その2つの刺激が1つの刺激として知覚される最大の時間感覚(Temporal gap)の測定が多数行われている<sup>[62][63]</sup>。同様に、ある継続的な刺激の中に時間的な空白の隙間を作り、その知覚できる最小の空隙時間を測定する実験も同一のTemporal gapを測定するものであり、その値は5ms～15msとされている。さらに、聴覚の時間特性については、音の大きさ知覚での積分時間の測定により検討が行われてきた<sup>[64][65]</sup>。時間積分の基本的な考えは、ある音響刺激の大きさを知覚する場合、時間軸である幅を持つ単一の窓を移動させて、その窓からの出力を加算または移動平均しているというものである。その加算や平均の方法は、音響刺激の継続時間や周波数などの物理特性、検出や弁別、大きさ知覚などの要求される反応また応答の方法により異なる。その結果、それぞれの条件下で形成される時間窓の形状や幅が異なると考えられる<sup>[66][67]</sup>。このことは、

時間窓の出力の加算、平均化の方法は、末梢系だけで決定されるものではなくて高次の処理によりコントロールされる事を示している。

これらの時間領域における特性は、周波数領域における特性とは双対関係にあると考えられ、厳密ではないにしても周波数領域の特性から、時間領域の特性が定性的には推測可能である。聴覚特性の中で重要な概念にFletcherの臨界帯域(臨界比)がある<sup>[53]</sup>。これに対応する時間領域の測度として、Pennerらの定義したCritical Masking Intervalがある<sup>[68][69]</sup>。Pennerらは、クリック音の継続時間を固定した状態で、ノイズマスキングの継続時間を変化させて実験を行った。実験では、ノイズマスキングの時間的な中心に提示されたクリック音の閾値がマスキングの継続時間の関数として測定された。実験の結果、閾値は最初マスキングの継続時間の増加により上昇するが、ある値を超えると一定の値をとることとなり、その値は6msから30msの間の値であった。この継続時間を臨界帯域(Critical Band)と対比させ、臨界マスキング区間(Critical Masking Interval)と呼んでいる。Mooreらは、帯域除去ノイズを用いて聴覚フィルタを求める手法と類似の手法によって、聴覚系の時間窓を導出している<sup>[55]</sup>。さらに、PlackとMooreは、聴覚における時間分解能力について実験を行い、積分の時定数が周波数の上昇により減少することを明らかにしている<sup>[70]</sup>。また、Nicolleらは、強度弁別実験の結果に対して周波数-時間領域での検討を行っている<sup>[71]</sup>。これらの周波数領域と時間領域での結果のアナロジーは、高次の処理とされる注意の領域にも適応が可能であると考えられる。

#### 1.4.2 注意の時間特性

周波数軸と並んで時間軸上での注意の継続性については、視覚におけるヴィジランス作業として検討されている。Neuchterleinらの実験では、1分間に60回提示された数字の中からある特定の数字を検出する作業が課せられた<sup>[72]</sup>。この実験結果の解析には、信号検出理論が適用され、観測区間の増加に伴う感受性 $d'$ の低下が観測された。Fiskは、この感受性の低下が検出のための処理資源を時間の継続に対して十分に維持できないために生じるとして、容量モデルを用いて説明している<sup>[73]</sup>。しかし、その処理資源が時間によりどのように低下しているのかを定量的に示した結果はない。Eganらは、刺激に対する時間的な不確実性が信号の検出に及ぼす影響を測定し、不確実性が検出能力を低下させる事を示している<sup>[74]</sup>。また、Baconらは長い継続時間のマス

カーに対して継続時間の短い信号の検出能力を測定し、マスキングのオンセットから刺激提示までの時間の影響を測定している<sup>[75]</sup>。この結果においては、信号提示までの時間は検出能力に依存する傾向が示され、神経生理学におけるチューニング曲線による検討がなされている。聴覚において注意の時間的特性を測定したものはあまり多くない。それは、視覚の場合であれば、プライミング効果<sup>[76]</sup>のように各試行の前に注意をコントロールする情報を提示することが可能であるが、聴覚刺激のみでコントロールするのは時間の要因があるため困難である事に一因がある。これまでの研究においては、ヴィジランス作業に代表される数分から数時間における注意の継続性を取り扱ったものはあるが、聴覚系で数秒のオーダーを取り扱ったものはない。さらに、数ミリ秒での時間窓の研究はあるが、注意の視点からのものはない。本研究では、聴覚系においでの数秒のオーダーにおける時間窓を注意の働きからの観点で実験を行い検討を行っているのが特徴である。一般的に検出すべき信号の生起時間があらかじめ分かっている場合は少ないが、逆に、信号の生起時間を何らかの方法で与える事ができれば、時間軸上での注意の特性をコントロールできる可能性がある。注意の時間特性が明確にされれば、警告音などの聴覚刺激を提示する場合の提示のタイミングや時間特性についての指標ともなりうる。

## 1.5 注意と騒音評価

音楽や会話を聞いている場合に、周囲からの騒音に注意が向き不快感を生じたり、聞きたい音の聴取が妨害されたりする事がある。これは、音楽や会話に向けていた注意が騒音に対して分割されるために起こる現象であると考えられる。騒音に対する評価も注意の働きが影響している。騒音に対する心理属性としては大きさ(ラウドネス)の他に、やかましさ(ノイジネス)やうるささ(アノイアンス)などがある。これらの属性は、対象としている音が単独で存在する事を前提しておらず、別の音(暗騒音)下における大きさはマスクトラウドネスとして規定されている<sup>[77]</sup>。同様に、やかましさやうるささの場合にも、暗騒音下という状況はあるが、マスクトラウドネスほどの厳密な規定はない。現在の騒音評価においては、複合騒音全体の評価を行うことが一般的であるが、ある特定の騒音の消去、または低減を行おうとする場合に

は、対象となる音源からの音(特定騒音)とそれ以外の音(暗騒音)に分けて評価する必要がある。注意分割の観点から騒音評価を説明する場合には、音楽や会話などの特定の信号と騒音とに注意が分割されて、やかましきやうるささが生じると考えられる。しかし、複合騒音中では、それぞれの音に対して注意が分割される。本来、騒音のどの音を特定騒音とし、どの音を暗騒音とするかは被験者の判断による。そのため複合騒音の中で最もやかましいと感じる、またはうるさいと感じるものが特定騒音となりそれ以外が暗騒音になる。この選択性には、注意の働きが影響していると考えられる。被験者のやかましい、またはうるさいという評価基準に対して注意を最も引くものが特定騒音、それ以外を暗騒音とみなす事ができる。最も注意を引く特定騒音のみが存在する場合と比べ、暗騒音が付加された場合、被験者の注意がすべて特定騒音に向けられ、暗騒音に対してはまったく向けられないとは考えられない。その知覚過程においては注意の分割が起こると考えられ、それが騒音の評価に対して現れ、過大評価または過小評価などとして表面化すると考えられる。

## 1.6 研究の目的

人間の聴覚における知覚・認知機構については、数多くの研究があり、末梢系ではモデル化され工学的に応用されているものもある。一方、高次の処理は、現象を定性的に説明するモデルは存在するが、定量的なものは少なく、工学的に応用できるものはさらに少ない。特に、比較的高次の処理とされる注意機構に関しては、その存在は認められているものの、それが何なのか、また、どう働くのかが分からないものとまで言われ、実体が掴めていないのが現状である。とりわけ聴覚においては、音響刺激が視覚刺激のように瞬間的に提示し消失する事ができないなどの刺激提示の手法や、測度の問題などがあり測定が困難であると考えられる。聴覚における注意の研究においては、神経生理学的なアプローチにより脳波の活動電位などを測定し直接注意を測定する手法もある。しかし、現状では心理学的な手法により刺激の物理量と心理量との対応関係を測定し、注意のダイナミクスを物理量として表現する心理物理的な手法以外はないと考える。本研究の第1の目的は、比較的高次の処理と考えられている注意機構を説明する、または影響を及ぼす刺激の物

理的パラメタを把握する事にある。そのために、注意の過程を周波数軸と時間軸とに分け、信号に対する検出力を測定し注意によるフィルタと注意により作られる時間窓の形状を求めた。特に、注意を向ける刺激が純音ではなく調波複合音を含む周波数複合音の場合には、被験者の注意が分割されたり、成分周波数以外に向けられると考えられる。さらに、注意を向ける音が時間的に変化する場合、被験者の注意は変化のある時点に対して向けられたり、小さい変化の刺激に対しては一つの流れとして知覚され、何らかの周波数属性に対して注意が向けられると考えられる。周波数複合音や周波数変化音などは、純音に比べ現実音に近いと考えられるので、それらの音に対する注意のふるまいが明らかになれば、現実での注意のふるまいが把握でき工学的な応用にも繋がる可能性がある。過去の研究においても、注意の効果は、物理的な測度(dB等)で記述されているが、それらは特定の音に対する値や特定周波数成分に対するものであり、注意を十分に記述しているとは言い難い。そこで、本研究の第2の目的は、測定された注意の効果は注意の向けられた特定周波数と特定の時間ではなく、その周辺の効果は定量的に示す事である。そのために、周波数軸に対しては、注意により形成されるフィルタ(注意フィルタ)を測定し、時間軸に対しては、注意により形成される時間窓(注意時間窓)を仮定しそれを測定した。このフィルタと時間窓は、従来の聴覚フィルタ(Auditory Filter)と時間窓(Time Window)の一種と考える事ができ、注意の概念が取り入れられた測定方法の違いによるものと考えられる。注意の機構が注意フィルタや注意時間窓などの定量的なモデルで記述可能であれば、現在の聴覚の末梢系で構成されている聴覚フィルタや時間窓のモデルに対して、さらに高次の処理機構をそなえたモデルが実現することになる。

本研究の第3の目的は、周波数軸および時間軸で測定された注意フィルタと時間窓を騒音評価に対して応用する事である。複数の騒音が同時に存在する複合騒音下において、特定騒音と暗騒音の撰択は、注意の働きによるところが大きいと考えられる。本研究では、特定騒音の評価に及ぼす暗騒音の影響を、注意の分割により検討する。

## 1.7 論文の構成

音の物理特性は、周波数軸と時間軸とに分けて記述することができるため、本論文での注意の効果も、時間軸と周波数軸とに分けて検討する。周波数軸では、注意に及ぼす周波数成分と成分の距離を主なパラメタとする。時間軸では、注意を継続する時間をパラメタとする。論文の構成としては、大きく分けて第2章が周波数領域における注意、第3章が注意の時間特性、さらに、第4章が騒音評価に対する注意の効果に関する研究になっている。本論文の第2章では、周波数領域における注意の働きとして、信号検出に及ぼす多成分からなる複合Cue音と周波数変化音の効果について検討する。周波数軸においては、これまでの研究で成分周波数の増加に伴う検出力の低下は測定されているが、注意を向けられる周波数複合音の成分数と周波数軸上での距離との関係は明確にされていない。さらに、その注意フィルタの帯域幅についても言及されていない。そのため、第2章2節では、2または4成分の周波数複合音に注意を向けた場合の成分周波数の信号に対する検出力を測定し、複合音に対する注意フィルタを測定する。その結果により求められた注意フィルタの帯域幅を臨界帯域および臨界比と比較する。第2章3節においては、多成分複合音を構成する成分音に対する注意分割の検討と、複合音により知覚される基本周波数の領域に対する注意フィルタについて検討する。実験では、2、3または4成分からなる複合Cue音を用い、成分周波数に対する注意力と実際にはパワのない基本周波数に対する注意力を比較する。その結果より、基本周波数の信号に対して形成される注意フィルタに及ぼす周波数の成分数の効果について検討する。さらに、調波複合音により基本周波数領域に形成される注意フィルタの形状を、純音に対する注意フィルタの形状と比較する。ここでは、実際にパワのない周波数領域に対しても注意を向けさせることができるのかを解明し、その注意のふるまいについて検討を行う。第2章4節においては、時間的に周波数が上昇または下降する刺激音に注意を向けた場合の実験を行う。周波数変化音は、成分が時間的に集中していないために注意の向けられる周波数が特定できない。本研究では、周波数変化音により知覚されるOver-all Pitchに着目し、この周波数周辺に対する注意フィルタを測定する。

第3章では、これまでの研究の中心であった周波数領域を時間領域に発展させる。実験では、背景騒音中に提示された純音の検出域値を測定し、信号の発生頻度を時間軸上でコントロールする。さらに、背景騒音の提示時間と提

示される信号の時刻を変化させる。得られた結果より時間軸上での注意のコントロールが可能であるのかを解明し、注意により形成される時間窓の形状に及ぼす注意を向ける区間の効果と信号の提示時刻の影響について検討を加える。

第4章においては、特定騒音に対して暗騒音を提示し特定騒音の評価に及ぼす暗騒音の影響を注意分割の観点から検討する。騒音に対する心理属性としてはやかましさ(ノイジネス)とうるささ(アノイアンス)の両者を取り扱う。やかましさの測定においては、特定騒音としては立ち上がりが急峻で継続時間の短い衝撃音を用い、特定騒音と暗騒音に対する注意分割を検討する。うるささの測定においては、音声を聴取する状況を設定し、別の音声を特定騒音とし、さらに別の騒音(暗騒音)を提示する。その結果より、聴取すべき音声、特性騒音さらに暗騒音に対する注意分割について検討する。

第5章は、本論文の結論である。



## 第2章 信号検出に及ぼす多成分複合 Cue音の効果と注意フィルタ

### 2.1 はじめに

ある信号に注意を向けた状態で聴取実験を行うと、注意を向けなかった音に対する検出力が低下する事を示す多くの報告がある<sup>[19][20][22]</sup>。Probe-Signal法により測定されたこれらの結果は、聴覚系内に何らかの帯域通過フィルタを仮定する事により説明がなされており、フィルタの幅は、近似的に臨界帯域と等しいとされている<sup>[23][24][25]</sup>。しかし、これらの結果は、ある単一の周波数を持つ信号に対して注意を向けたものであり、複数の成分周波数を持つ信号、または周波数が時間的に変化して周波数成分が集中していない信号に対して注意を向けた状態では、このフィルタの形状も変化する可能性がある。本章では、多成分複合音と周波数変化音に注意を向けた場合での信号検出実験を行い、複合音と周波数変化音に対する注意フィルタを求める。従来、多成分複合音の周波数成分の数に関する注意フィルタの形状については議論されているが、その周波数の間隔については検討がなされていない。この章では、はじめに、この成分周波数の数と周波数間隔の影響について実験を行う。注意を向けるCue音には、2または4成分からなる複合音を用い、その周波数成分間隔の間隔を臨界帯域の外と内とに変化させている。成分周波数の間隔が近い場合には、被験者は複数の成分を含む単一の聴取帯域を用いて聴取するが、間隔が大きくなるに従い聴取帯域を広げて聴取を行うか、または複数の聴取帯域を用いて聴取すると考えられる。さらに、2成分複合音については、それぞれの注意フィルタの形状も測定し、複合音に対する聴取帯域と臨界帯域または臨界比との比較を行う。複合音の成分音を聞き取る能力については、Plompにより検討されており、複合音の隣接成分の周波数差が臨界帯域幅を越えたときのみ部分音を聞き取ることが可能であるとされている<sup>[78]</sup>。そのため、臨界帯域または臨界比で規定される帯域内の成分周波数に対しては、一つの注意帯域で聴取可能であり、成分の増加に伴う検出力の低下は小さいと考え

られる。逆に、臨界帯域幅を越える複合音の成分周波数に対しては、被験者は、個別の注意帯域を設定することが考えられ、複合音の成分周波数が多くなると、それぞれの成分に対する検出力は低下すると考えられる。

次に、被験者の注意は、複合音の成分だけではなく、複合音のピッチ(高さ)や音色などといった属性に対しても向けられ、それらが信号検出の手がかりとなると考えられる。Hafterらによると、Cue音に検出すべき信号が含まれない場合にも信号とCue音とが相対的な関係をもつことにより、被験者はCue音を信号検出の手がかりとして利用することができるとしている<sup>[39][41][44]</sup>。

また、複合音が調波構造をもつ場合には、基本周波数に相当領域にLow pitchが知覚され、被験者の注意は、成分周波数のみではなく、基本周波数に相当する信号に対しても向けられるとするのが妥当である<sup>[25]</sup>。そのため、基本周波数に相当する信号検出作業の手がかりともなり得ると考えられるので、基本波の欠けた調波複合音をCue音として用い、複数の周波数に注意を向けた場合の信号検出実験を行い、各成分音と基本周波数に相当する純音に対する精神測定関数を求める。さらにその結果により、複合音の成分の数と成分周波数の信号に対する検出力の関係を調べ、成分とLow pitchに対する注意力について比較し検討する。

最後に、本章では音響的なパワは存在するがエネルギーが集中していない周波数変化音に対する注意フィルタについて実験を行う。通常、周波数変化音の変化幅が小さい場合には単一のピッチ(Over-all pitch)を知覚するが<sup>[79]</sup>、周波数変化幅が大きくなると単一のピッチではなくて複数のピッチを知覚する事になる。本実験では、注意フィルタとOver-all pitchとの関係を調べるために、周波数が直線的に上昇する周波数上昇音と下降する周波数下降音をCue音として用いた。用いた周波数変化音は、Over-all pitchが知覚できるような継続時間と周波数変化幅を選択している。周波数変化音のOver-all pitchは、実験の前にピッチマッチングにより上昇音、下降音を独立して測定した。得られた結果より周波数変化音に対する注意フィルタとピッチの関係について検討する。

## 2.2 多成分複合音をCue音として用いた注意分割

### 2.2.1 2および4成分複合音をCue音として用いた場合の注意分割

#### 目的および実験方法

はじめに、2または4成分の複合音に対する注意分割の実験を、成分の数と周波数軸上での距離に着目して行う。実験では、Cue音の先行する2区間強制選択法により精神測定関数を測定する。図2.1に刺激の提示パターンを示す。実験では、信号を検出する2つの区間の前に1000msの時間間隔においてCue音を提示する。被験者は、Cue音に注意を向けるように教示されており、Cue音が提示された後に2つの区間のどちらに信号が提示されたかを区間の1, 2に対応するボタンを押し応答する。2区間目の後に2500msの応答時間を設定し、この時間内で応答がない場合には自動的に次の試行に移る。Cue音と観測区間の継続時間は350msであり、被験者は音が聞こえなくても視覚的な表示装置により区間を同定できるようになっている。各試行においてCue音は約10dBSL(Sensation Level)である。信号の提示レベルは、被験者毎に調整されており、予備実験により求めた閾値付近に2dB間隔で5段階設定されている。信号の提示される区間および提示レベルはランダムである。パーソナルコンピュータにより信号の提示の制御と被験者の応答の記録を行っている。背景騒音として100Hzから5000Hzの帯域制限ノイズを60dBSPLで提示した。全ての音は、STAX SR- $\Lambda$  Pro(STAX社製)ヘッドホンによりダイオティック提示とした。実験条件としては、テスト条件とコントロール条件とに大別した。テスト条件としては、Cue音として2または4成分からなる複合音を用いた場合(複合Cue条件)と1000Hzの純音を用いた場合(Probe条件)とに分けられる。信号音は、Cue音の成分周波数のうちどれか1つの純音である。コントロール条件として、単一周波数をもった刺激をCue音として用い、同じ周波数の刺激を信号として提示した。コントロール条件では、Green<sup>[29]</sup>が行ったのと同じ方法を用いて全試行の中で信号周波数は固定している。

本実験で用いた刺激のパラメータを表2.1に示す。Cue音は、2または4成分の複合音または1000Hzの純音である。信号は、複合Cue音の場合には成分の一つと同じ周波数の純音であり、Probe条件では複合Cue音のうちの2成分としている。Probe条件と2成分複合Cue音の場合の成分周波数と信号周波数は、

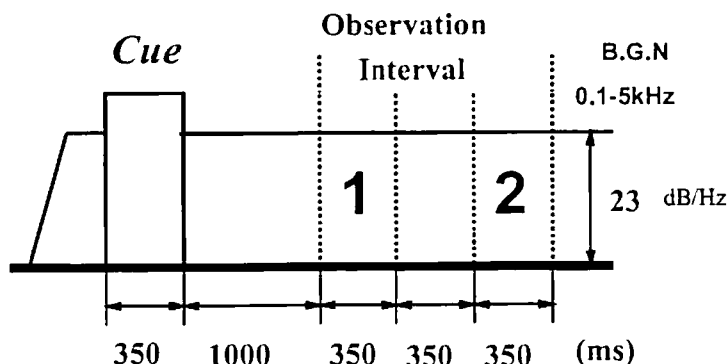


図 2.1 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験における刺激の提示タイムパターン

1000Hzを中心として周波数の間隔が近接した40,100,600Hzの場合と離れた場合の200Hzと4100Hzを設定している。Cue音が4成分の場合には、2成分の複合音の成分周波数の間の周波数を設定している。周波数の間隔が40Hzと100Hzの場合には、1000Hzの臨界帯域内になっている。信号周波数の出現頻度は、複合Cue条件の場合には、Cue音の成分周波数の数に対して均等とし、2成分複合音の場合には50%、4成分複合音の場合には25%となる。被験者は、信号の周波数がCue音の成分であることを知らされている。Probe条件の場合には、試行の80%でCue音と同じ1000Hzの純音、残りの20%で2成分複合Cue音の成分周波数に対する純音が提示される。被験者は、Cue音に注意を向けるように教示されており、その他の信号が提示される事を知らされていない。実験の試行回数は、コントロール条件では約50回、テスト条件では、一つの信号に対して約60回となっている。そのため、Probe条件における1000Hzの信号提示回数は約240回となる。実験では、データを安定させるため最初の約20試行は解析に用いていない。このデータの棄却に関しては定量的なデータに基づくものでなく実験のパラメタにより変化する。本実験では、得られた最終的なデータを解析し、分散が小さくなる試行回数を推定して最初の20試行を解析の対象外とした。

表 2.1 2および4成分複合Cue音と信号音の周波数成分

Cue tone	Frequency of signal [Hz]	Panel in Fig.2.2 ~Fig.2.9
Pure tone(1000Hz)	980, 1020	A, B
	950, 1050	C, D
	700, 1300	E, F
	200, 4100	G, H
2 Comp.	980, 1020	A, B
	950, 1050	C, D
	700, 1300	E, F
	200, 4100	G, H
4 Comp.	980,990,1010,1020	A, B
	950,975,1025,1050	C, D
	700,850,1150,1300	E, F
	200,500,2150,4100	G, H

### 実験結果

各被験者から得られた精神測定関数を図2.2～図2.9に示す。得られた精神測定関数は、3人の被験者で類似していたため平均化している。それぞれの図は信号の周波数毎になっており、それぞれのシンボルは、■がコントロール条件、○がProbe音に対する結果、▲が2成分のCue音、▼が4成分複合Cue音に対する結果である。表2.1に各図の成分周波数と精神測定関数との対応を示す。

### 検討

結果の図において、コントロール条件からの右への移動量は、検出能力の低下を示しており、各精神測定関数の傾きは、その信号に対する感度を示している。この精神測定関数の移動量と関数の傾きを表2.2に示す。精神測定関数の移動量に関しては、それぞれの関数に対して最尤推定法を用い75%になる検出レベルを算出している。表2.2より、精神測定関数の移動量はCue音の成分成分周波数の間隔が増加、またはCue音とProbe音間の周波数の間隔が増加するにしたがい成分の周波数間隔が600Hz(700Hzと1300Hz)まで大きくなっ

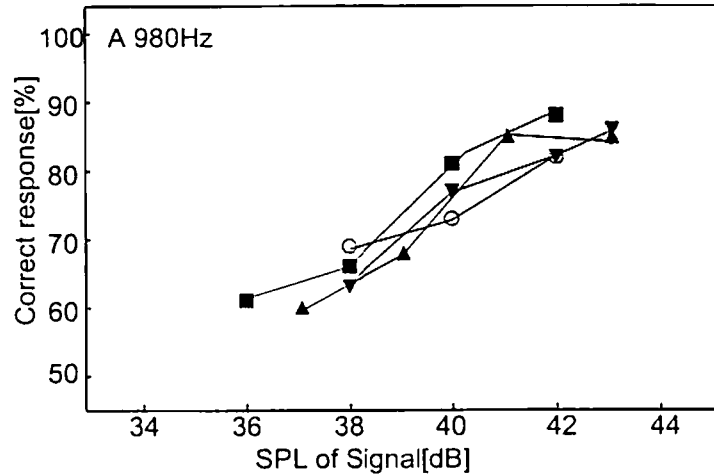


図 2.2 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験により得られた980Hzの信号に対する精神測定関数 ■：コントロール条件，○：Probe音，▲：2成分のCue音，▼：4成分複合Cue音 (被験者3人の平均)

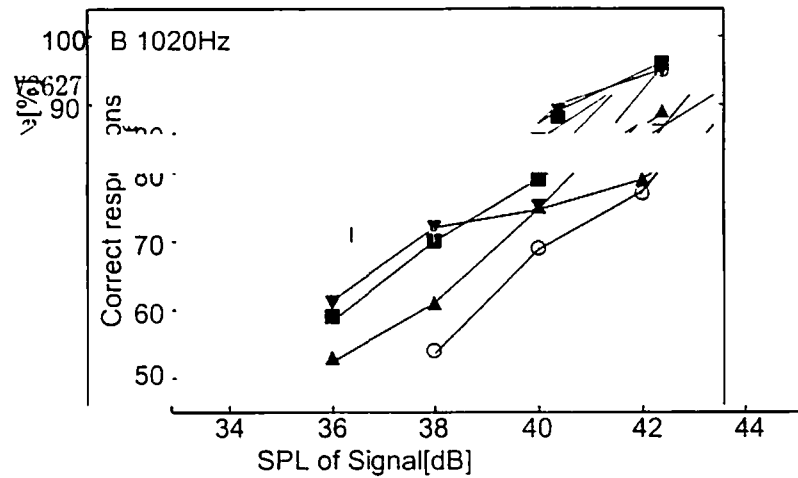


図 2.3 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験により得られた1020Hzの信号に対する精神測定関数 ■：コントロール条件，○：Probe音，▲：2成分のCue音，▼：4成分複合Cue音 (被験者3人の平均)

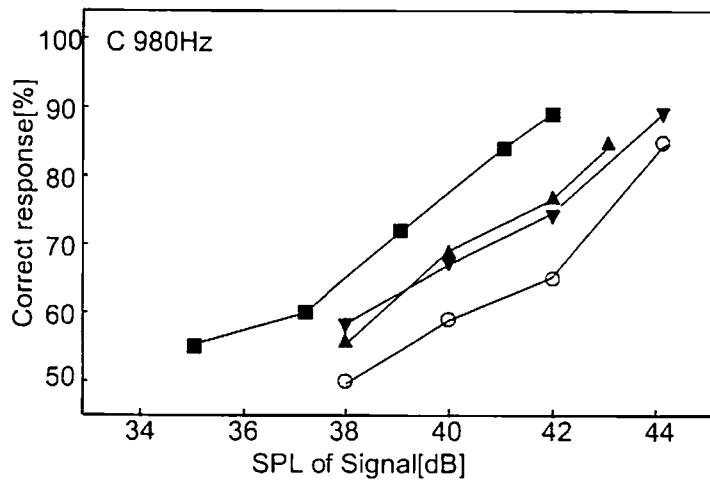


図 2.4 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験により得られた980Hzの信号に対する精神測定関数 ■:コントロール条件, ○:Probe音, ▲:2成分のCue音, ▼:4成分複合Cue音(被験者3人の平均)

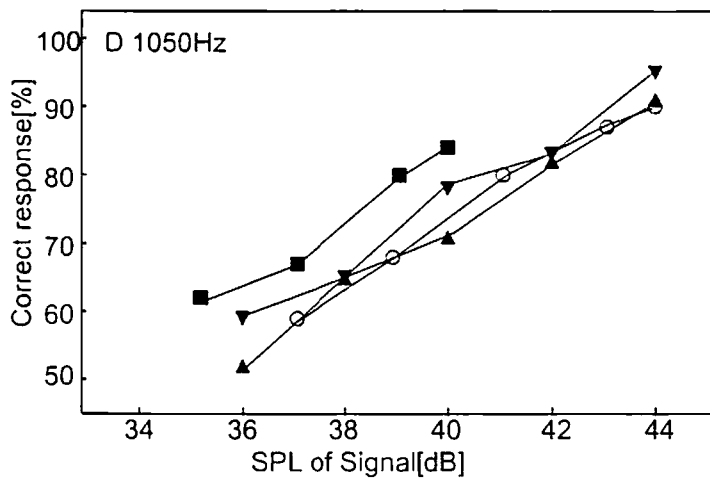


図 2.5 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験により得られた1050Hzの信号に対する精神測定関数 ■:コントロール条件, ○:Probe音, ▲:2成分のCue音, ▼:4成分複合Cue音(被験者3人の平均)

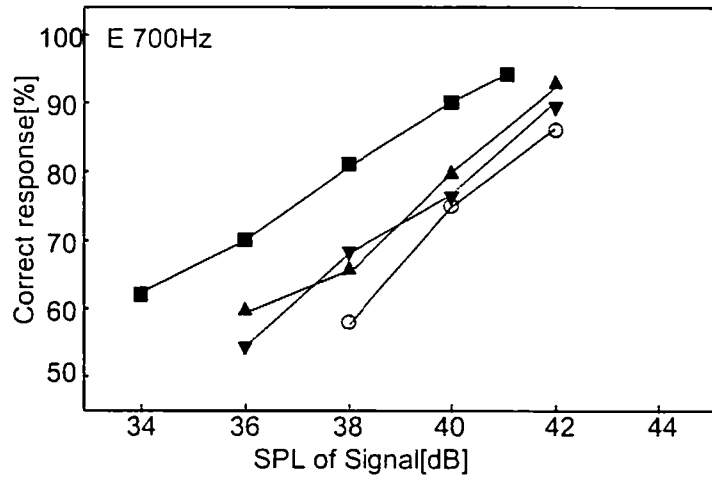


図 2.6 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験により得られた700Hzの信号に対する精神測定関数 ■：コントロール条件，○：Probe音，▲：2成分のCue音，▼：4成分複合Cue音(被験者3人の平均)

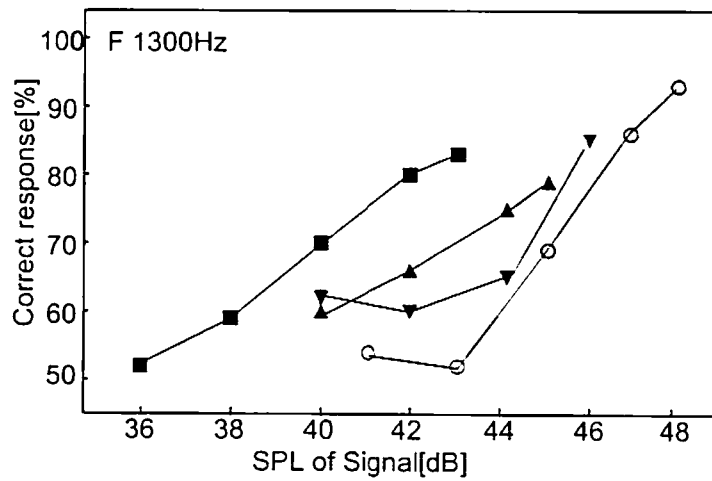


図 2.7 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験により得られた1300Hzの信号に対する精神測定関数 ■：コントロール条件，○：Probe音，▲：2成分のCue音，▼：4成分複合Cue音(被験者3人の平均)



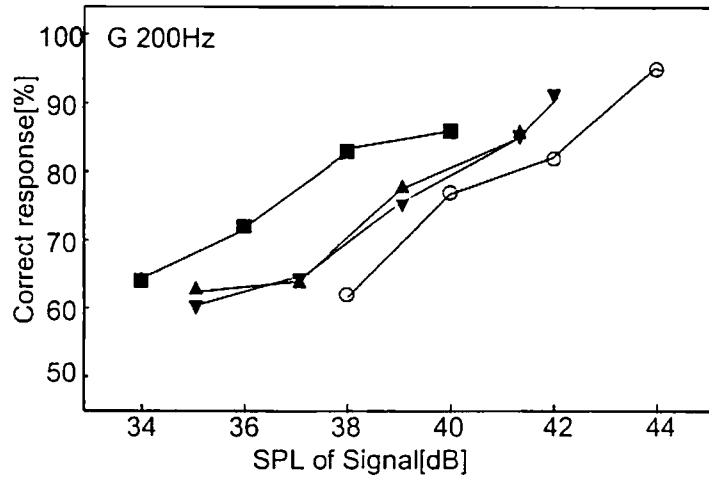


図 2.8 2および4成分複合 Cue音に対する注意分割実験により得られた200Hzの信号に対する精神測定関数 ■：コントロール条件，○：Probe音，▲：2成分のCue音，▼：4成分複合Cue音(被験者3人の平均)

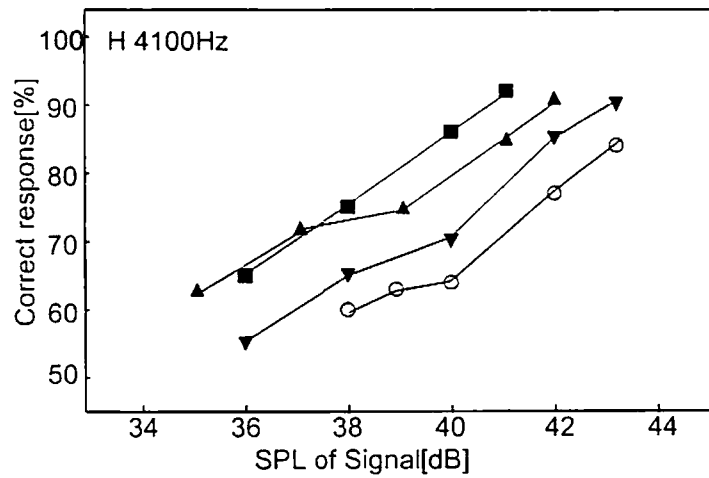


図 2.9 2および4成分複合 Cue音に対する注意分割実験により得られた4100Hzの信号に対する精神測定関数 ■：コントロール条件，○：Probe. ▲：2成分のCue音，▼：4成分複合Cue音(被験者3人の平均)

ている。その最大値は約4dBとなっており、この移動量はScharf<sup>[33]</sup>および江端ら<sup>[80]</sup>の結果と一致している。Probe条件での移動量は、ほとんどの場合において複合Cue音を用いた場合よりも大きくなっている。その理由としては、被験者に対しては、教示においてProbe音ではなくて、複合Cue音に対して注意を向けるようにしているためであると考えられる。しかし、4成分複合音の成分周波数の間隔が100Hz以内(950Hzと1050Hz)の場合では、975Hzから1025Hzの範囲内よりも、950Hzか1050Hzの範囲外の方が減少が大きい。この理由としては、被験者は成分の算術平均値である1000Hzを中心周波数としたフィルタを設定した形で聴取していたためだと考えられる。Probe条件と対照的に、複合Cue音を用いた場合、平均の移動量は、最も広い周波数間隔(200Hzから4100Hz)に対して明らかに小さい値となっている。この理由としては、周波数の間隔が大きくなってしまったために、それぞれの周波数の音が聞き出しやすくなっているのではないかと考えられる。同じような理由により、周波数間隔が最も広い場合では、2成分複合音よりも4成分複合音の結果が大きい移動を示したことも説明可能である。一方、周波数間隔が臨界帯域よりも狭い場合(40Hz,100Hz)、2成分と4成分で対応する周波数に対して同様な移動量を示している。前述のSingle BandモデルとMulti-Bandモデルとでこの結果を検討すると、分離できない複合Cue音(980Hzと1020Hz, 950Hzと1050Hz)が提示される事により被験者は、1000Hzを中心とした単一のフィルタを形成していると仮定される。複合音が提示された場合には、その単一のフィルタをそれぞれの周波数成分に高速に移動させて聴取すると考えられる(Single Bandモデル)。本実験で得られた結果では、2成分と4成分の場合には、成分周波数の間隔が700Hzと1300Hzまで大きくなるに従って移動量が大きくなる事はSingle Bandモデルにより説明ができる。しかし、それ以上の周波数の間隔においては、単一のフィルタによ聴取する事が困難で複数のフィルタを用いて聴取していると考えられる(Multi-Bandモデル)。つまり、どちらのモデルを用いて聴取しているかどうかは、複合音の周波数の間隔に依存しているものと考えられる。Daiらは、Probe-Signal法を用いて聴取フィルタ(いわゆる注意フィルタ)を測定し、帯域除去ノイズ(notch-noise)を用いて測定された聴覚フィルタとの比較を行った<sup>[23]</sup>。その結果、彼らは、注意フィルタの形状は、少なくともその中心周波数付近では、聴覚フィルタと似た形状を示すと結論付けている。本研究では、精神測定関数の移動量が、その注意フィルタの出力結果としてお

り、フィルタによる減衰量を測定している。測定した周波数は、中心周波数から近く単一のフィルタ、または複数のフィルタを用いているため、その測定された移動量は最大で4dBと小さくその差も小さい。

表 2.2 2および4成分複合Cue音に対する注意分割実験における精神測定関数の移動量と傾き

Signal Frequency]	Shift of Psychometric Function [Hz]			Slope of Psychometric Function[%/dB]			
	[Hz]	2	4	Probe	Cont.	2	4
980	0.8	0.8	1.1	5.5	4.7	5.6	4.7
990		0.5		4.3		5.7	
1010		-1.2		4.1		5.6	
1020	1.5	0.2	1.5	5.0	4.8	5.1	6.1
950	1.7	2.1	3.4	5.6	5.5	4.9	8.1
975		0.4		4.8		3.7	
1025		0.6		4.3		5.6	
1050	2.2	1.5	2.4	5.0	4.4	5.3	4.9
700	2.4	3.0	3.6	4.9	5.2	6.0	7.3
850		3.7		4.7		6.1	
1150		3.3		3.9		5.5	
1300	2.6	3.2	4.7	5.9	4.8	6.7	9.6
200	1.3	1.8	3.4	5.3	4.3	5.3	6.3
550		2.2		3.8		5.8	
2150		1.2		4.0		5.1	
4100	1.0	2.4	3.9	5.3	5.0	6.0	7.5

## 2.2.2 2成分複合音をCue音として用いた場合の注意フィルタ

### 目的および実験方法

前節の実験により、被験者は、成分周波数の間隔が小さい場合(980Hzと1020Hz、950Hzと1050Hz)には、成分周波数の中心である1000Hzの注意フィルタを設定して聴取していた可能性が示唆された。そのため2成分複合音をCue音として用い被験者の聴取帯域について実験を行う。実験では、Cue音の先行する2区間強制選択法により精神測定関数を測定する。図2.10に刺激の提示パターンを示す。Cue音と観測区間の継続時間は350msであり、被験者は音が聞こえなくても視覚的な表示装置により区間を同定できるようになっている。各試行においてCue音の提示レベルは約10dBSL(Sensation Level)とした。被験者は、Cue音に注意を向けるように教示されている。信号は、2つの観測区間のどちらかに提示され、被験者は、区間の1、2に対応するボタンを押す事により応答する。全ての試行において、信号の提示レベルは、被験者の閾値付近の2dB間隔の5段階のレベルに設定されており、提示順序はランダムである。信号の提示と被験者の応答の記録は、パーソナルコンピュータにより制御している。背景騒音として100Hzから5000Hzの帯域制限ノイズをととして60dBSPLで提示した。全ての音はSTAX SR-A Pro(STAX社製)ヘッドホンによりダイオティク提示とした。前の実験と同様にコントロール条件での精神測定関数を測定しProbe条件の場合には、試行の80%でCue音の成分周波数と同じ純音、残りの20%で2成分複合Cue音の成分周波数周辺に対する純音が提示される。Cue音の成分周波数は、700Hzと1300Hz、または950Hzと1050Hzとしている。Cue音の成分周波数が950Hzと1050Hzの場合には、1000Hzを中心とする臨界帯域内であり、それぞれの周波数を中心とする臨界帯域はオーバーラップしている。刺激のパラメータを表2.3に示す。被験者は、Cue音に注意を向けるように教示されており、その他の信号が提示される事を知らされていない。実験の試行回数は、コントロール条件では約100回、テスト条件では、一つの信号に対して約120回となっている。本実験では、得られた最終的なデータを解析し、分散が小さくなる試行回数を推定して最初の50試行を解析の対象外とした。

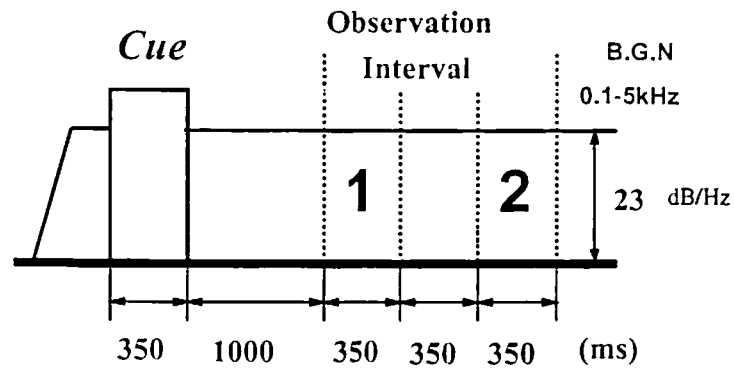


図 2.10 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験における刺激の提示タイムパターン

表 2.3 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験における刺激のパラメタ

Frequency of Cue tone [Hz]	Frequency of Signal[Hz]	
	Target	Probe
950,1050	950. 1050	700,980,1000,1020,1300
700,1300	700. 1300	200,950,980,1000,1020,1050,4100

### 実験結果

前の実験と同様に、Cue音と信号周波数が同一の純音の場合をコントロール条件としている。各被験者により得られた精神測定関数を図2.11～図2.19に示す。結果は、3人の被験者とも傾向が類似していたため平均化している。■は、コントロール条件の結果。○と●は700Hzと1300HzのCue音の場合、▲と△は、Cue音が950Hzと1050Hzの結果である。シンボルの黒塗りはCue音の成分周波数であることを示す。信号の周波数がCue音の成分と近い場合には、精神測定関数のコントロール条件との差が小さいか接しており、Cue音との間隔が大きくなるに従いその差が大きくなっている。しかし、4100Hzにおいては近接している。

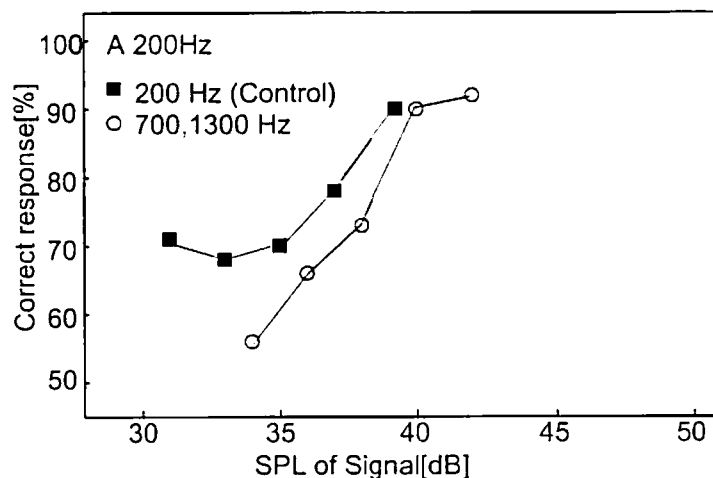


図 2.11 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた200Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

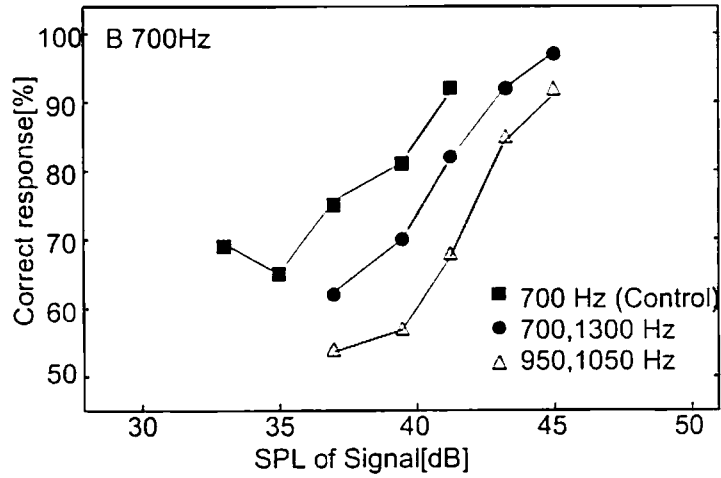


図 2.12 2成分複合 Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた700Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

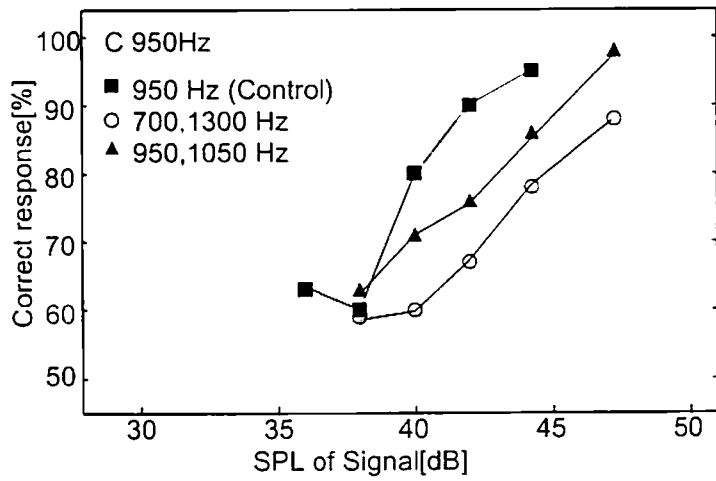


図 2.13 2成分複合 Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた950Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

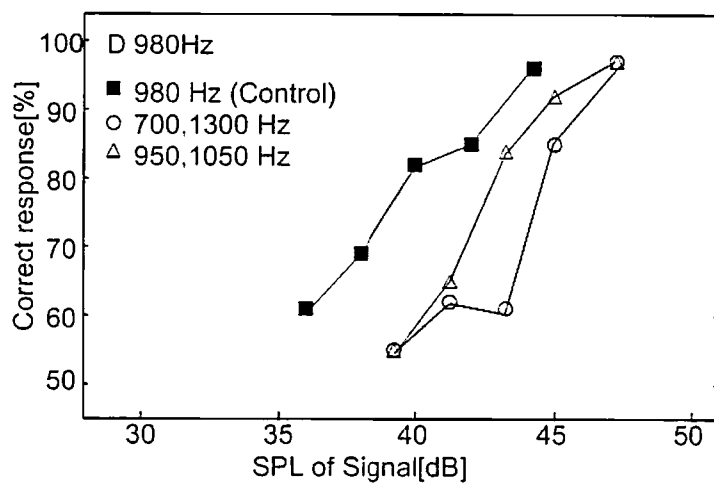


図 2.14 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた980Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

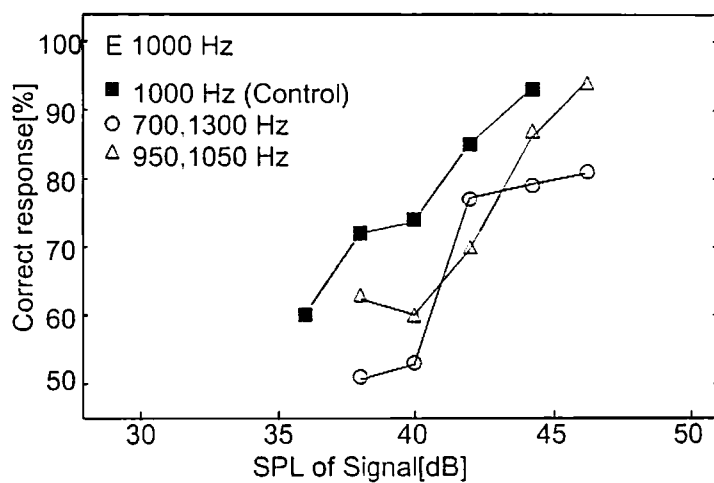


図 2.15 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた1000Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)



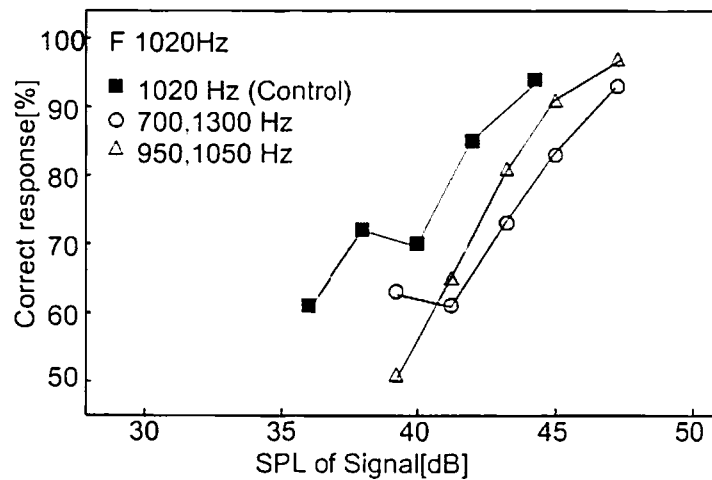


図 2.16 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた1020Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

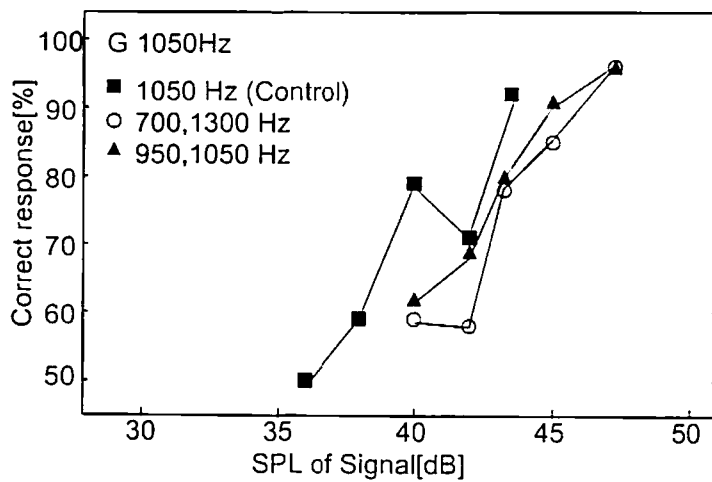


図 2.17 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた1050Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

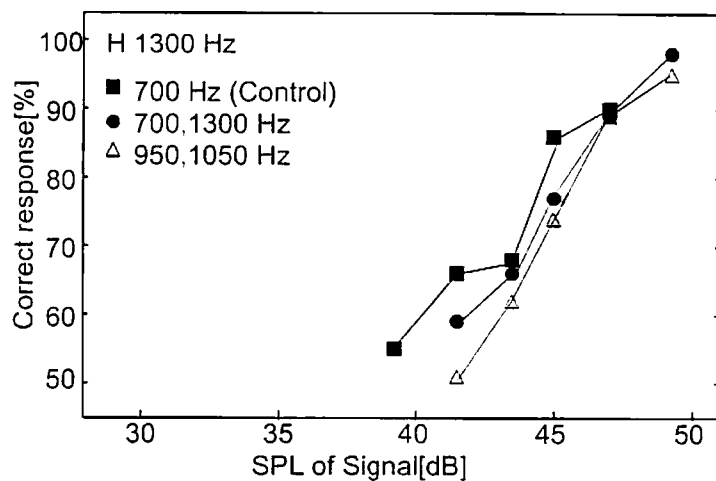


図 2.18 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた1300Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

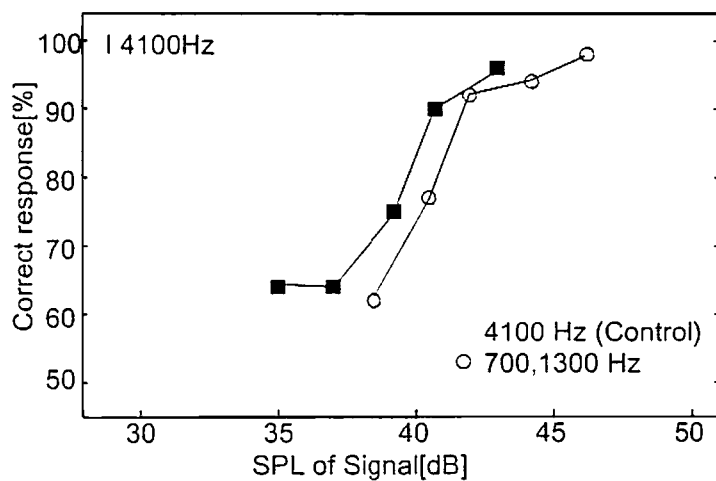


図 2.19 2成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた4100Hzの信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

## 検討

精神測定関数のコントロール条件との差（精神測定関数の移動量）を図2.20と図2.21に示す。図の横軸は信号の周波数，縦軸は精神測定関数の移動量であり，図のAはCue音の成分周波数が700Hzと1300Hz，Bは950Hzと1050Hzの場合の結果である。黒いシンボルがCue音の成分周波数に対応する。両方の図において，成分周波数で移動量が最小になり，それらの間でギャップが見られる。Cue音の周波数間隔が大きい場合のAでは，聴取は個別の周波数成分に対して行われた様子が見える。Probe音に対する移動量は臨界帯域内では小さく，それ以外では大きくなる傾向がある。しかしながら，1020Hz，1050Hz，さらに4100Hzの周波数に対しても中程度の移動量である。これは，1300Hzの高い方の周波数の聴取帯域が低い周波数700Hzに比べて広いためであると考えられる。Cue音の成分が臨界帯域内のBの結果においても，聴取は2つのフィルタを用いていたと考えられる。前の実験結果では，1000Hzを中心とした単一のフィルタを用いて聴取していた事が示唆されたが，結果より個別のフィルタを設定していた可能性も否定できない。しかし，Cue音の周波数である950Hzと1050Hzに対する移動量と980Hzと1020Hzに対する結果との差は1dB以下となっており有意な差はない。これは，これらの周波数がCue音の臨界比内に含まれている事が原因であると考えられる。さらに，1000Hzに対する結果では，980Hzと1020Hzの差よりも大きくなっており，聴取帯域外であると解釈できる。そのため，本実験で得られた聴取帯域は，単一のフィルタか複数のフィルタかは断定できないが，臨界帯域よりも臨界比に近い結果となった。

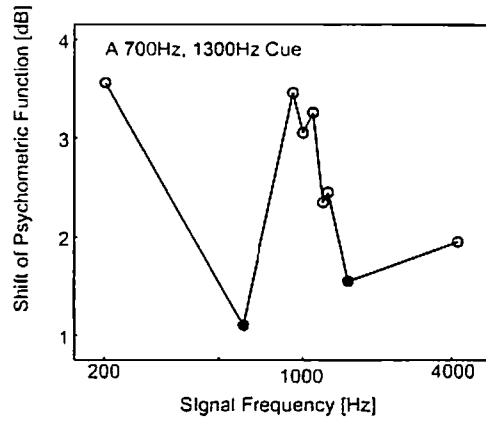


図 2.20 2成分複合 Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた精神測定関数の移動量(被験者3人の平均)

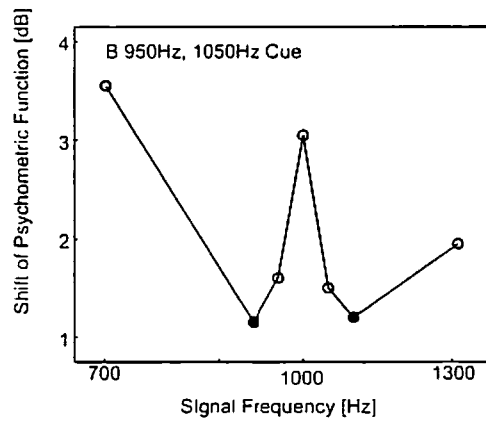


図 2.21 2成分複合 Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた精神測定関数の移動量(被験者3人の平均)

## 2.3 調波複合音およびLow pitchに対する注意フィルタ

### 2.3.1 調波構造を持つ4成分複合Cue音に対する注意フィルタ

#### 実験方法

前節までで、2および4成分の複合音の成分に対する注意フィルタについて検討を行った。しかし、現実の音は多成分からなり、音声や音楽などの音は調波構造を持っている。そのため、本節では4成分複合音の成分周波数の音に対する注意と、調波により基本周波数の領域に知覚されるLow pitchに対する注意を比較する。本実験でも、Cue音の先行する2区間強制選択法により精神測定関数を測定する。図2.22に刺激の提示パターンを示す。Cue音と観測区間の継続時間は350msであり、被験者は音が聞こえなくても視覚的な表示装置により区間を同定できる。各試行においてCue音は約10dBSL(Sensation Level)である。被験者はCue音に注意を向けるように教示されている。信号は、2つの観測区間のどちらかに提示され、被験者は、区間の1.2に対応するボタンを押す事により応答する。全ての試行において、信号の提示レベルは、被験者の閾値付近の2dB間隔で調整された5段階のレベルに設定しており、提示はランダムな順序である。パーソナルコンピュータにより信号の提示の制御と被験者の応答の記録している。背景騒音として100Hzから5000Hzの帯域制限ノイズを60dBSPLで提示した。全ての音は、STAX SR- $\Lambda$  Pro(STAX社製)ヘッドホンによりダイオティック提示とした。

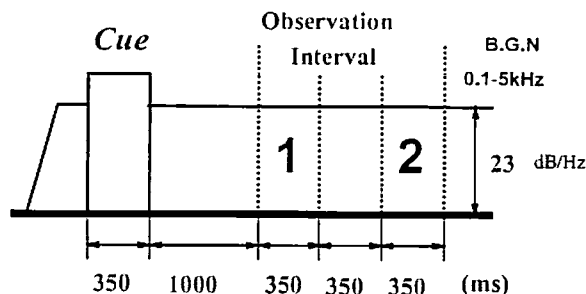


図 2.22 調波構造を持つ4成分複合Cue音に対する注意フィルタの実験における刺激の提示パターン

実験条件としては、テスト条件、コントロール条件とCue無し条件(No Cue Condition)からなる。テスト条件では2から4成分周波からなる複合音をCue音として用い、検出する信号は試行の80%がCue音の成分周波数の純音(Primary音)、残りの20%が複合音の基本周波数に相当する200Hz、または、300Hzの純音(Probe音)となっている。Cue音の成分周波数とPrimary音は、200Hzを基本周波数とする構成になっており200Hzを基本周波数とする場合には、成分周波数の数を2から4に変化させている。成分周波数の数が2および3の場合に比べ構成を高い成分と低い成分とに設定している。コントロール条件として、単一周波数をもった刺激をCue音として用い、同じ周波数の刺激を信号として提示した。コントロール条件は、Green<sup>[29]</sup>が行ったのと同じ方法を用いて全試行の中で信号周波数は固定している。さらに、本実験ではCue音を提示しない条件(Cue無し条件: No Cue Condition)で測定を行い、各信号音の精神測定関数を求めた。実験のパラメータを表2.6に示す。被験者は前節とは異なる正常な聴覚を有する3名の男子大学生である。

#### 実験結果

被験者から得られた精神測定関数を図2.23～図2.30に示す。図2.23と図2.24は400Hzの信号に対する結果であり、それぞれCue音が2または3成分の場合と4成分の場合の結果を示している。同様に、図2.25と図2.26は600Hzに対する結果、図2.27と図2.28は800Hz、図2.29と図2.30は1000Hzの信号に対する結果を示している。

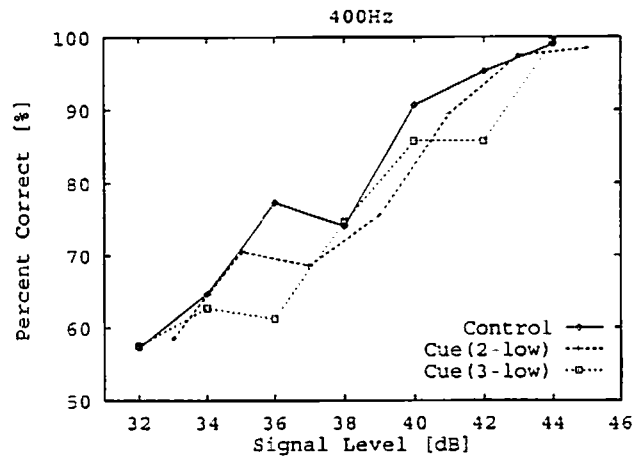


図 2.23 2および3成分調波複合Cue音の注意フィルタ実験での400Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

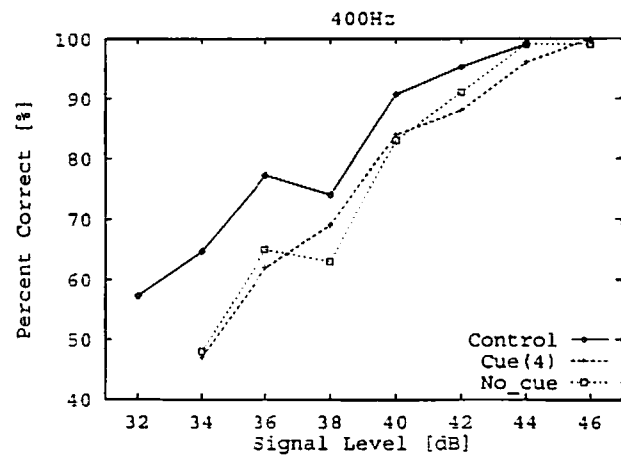


図 2.24 4成分調波複合Cue音の注意フィルタ実験での400Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

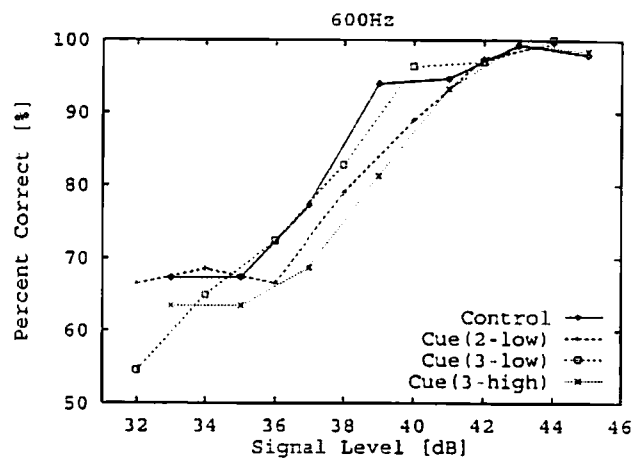


図 2.25 2および3成分調波複合Cue音の注意フィルタ実験での600Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

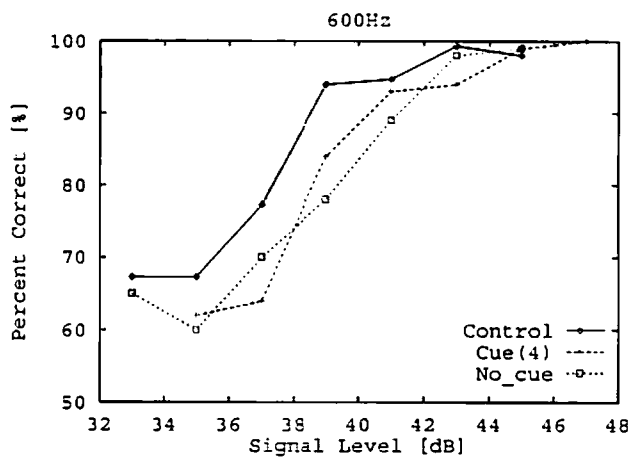


図 2.26 4成分調波複合Cue音の注意フィルタ実験での600Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)



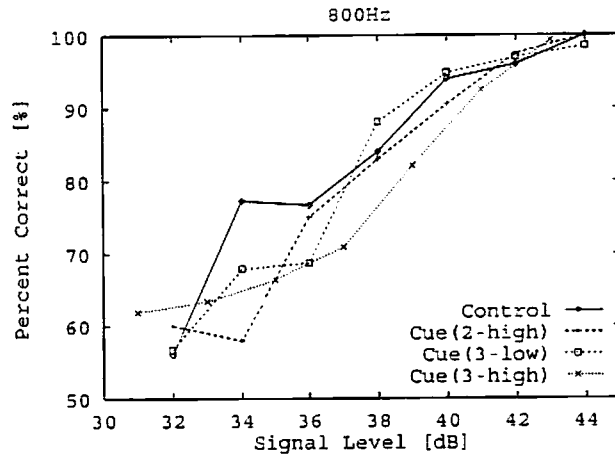


図 2.27 2および3成分調波複合 Cue音の注意フィルタ実験での800Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

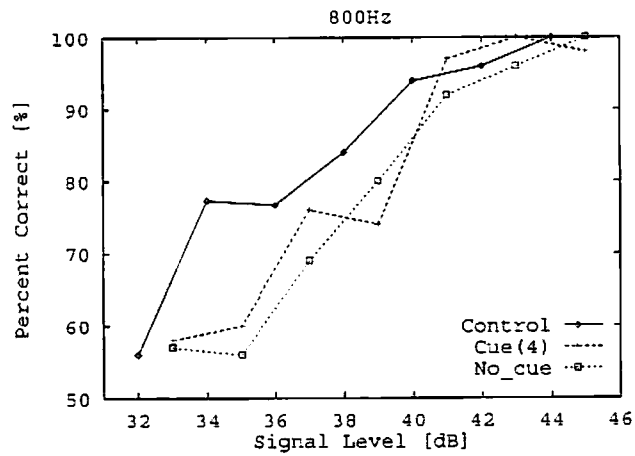


図 2.28 4成分調波複合 Cue音の注意フィルタ実験での800Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

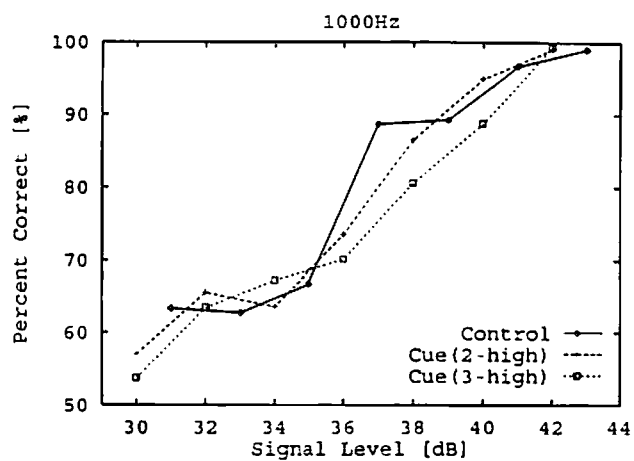


図 2.29 2および3成分調波複合Cue音の注意フィルタ実験により得られた場合の1000Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

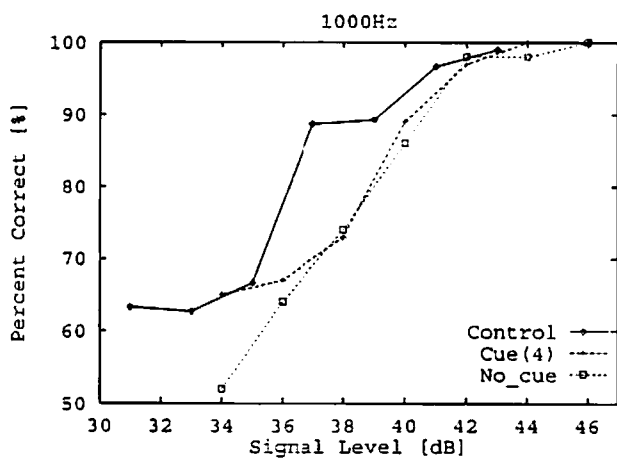


図 2.30 4成分調波複合Cue音の注意フィルタ実験での1000Hz信号に対する精神測定関数(被験者3人の平均)

## 検討

得られた精神測定関数に対して最尤推定法を用いて75%の検出限を算出した。コントロール条件からの精神測定関数の移動量は検出力の低下を示し、それらを被験者間により平均化したものを表2.5に示す。表より、Cue音の成分の数が増加するに従い、検出力は低下する傾向がある。これは、被験者が複数の成分に対して注意を向けたために、各成分に対する検出力が低下したためであると考えられる。Plompらによると、複合音の成分は、複合音の隣接成分の周波数差が臨界帯域を越えたときのみ部分音が聞き取ることが可能であるとされている<sup>[81]</sup>。また、前節の結果からも、純音の信号に対する注意帯域はほぼ臨界比に相当することが明らかになっている。本実験で用いた成分周波数の間隔は、臨界帯域幅を越えているため、成分音の聞き取りが可能であり、また、一つの注意帯域では聴取できないと考えられる。そのため、本実験で用いた複合音の聴取には、被験者の聴取戦略により、複合音のある成分のみを聴取していた可能性がある。しかし、それぞれの被験者で各成分間の差はあまり大きくなく、被験者はある成分の音のみを継続的に聴取していたとは考えられない。さらに、結果より、4成分の複合音に関しては、Cue音を提示しない場合(No Cue Condition)と同等の低下を示している。これは、成分の数が多いため、各成分に対して十分な注意を向けることが出来なくなったために、検出力が低下したと考えられる。しかし、被験者が複数の成分周波数に対して、複数の注意帯域を設定して聴取していたか、また、事象毎に選択的にある成分のみを聴取していたかどうかは、本実験では恒常法

表 2.4 4成分調波構造複合Cue音と信号音の周波数

Component of Cue[Hz]		Signal Tone [Hz]
400,600		400,600
800,1000		800,1000
400,600,800	200	400,600,800
600,800,1000		600,800,1000
400,600,800,1000		400,600,800,1000
600,900,1200,1500	300	600,900,1200,1500

を用いているため明らかではない。

表 2.5 調波構造を持つ4成分複合 Cue音に対する注意フィルタの実験により得られた精神測定関数の移動量(3人の被験者の平均)

Frequency of Signal[Hz]	Number of Components			
	2	3	4	None*
400	-1.04	-1.51	-3.40	-3.21
600	-0.98	-1.21	-1.86	-3.24
800	-1.26	-1.00	-1.60	-3.52
1000	-0.94	-1.09	-3.68	-3.68

None\* : No Cue Condition

本実験で用いた複合音は、全て調波構造をもっているため、複合音により Low pitchが知覚される場合が考えられる。図2.31に Low pitchに対応する精神測定関数の移動量を示す。これは、基本波が200Hzの結果で、縦軸は移動量を表しており、値が小さい程検出力が低下することを示している。図より、2, 3成分の複合 Cue音の場合には、基本周波数の信号に対する検出力は、成分周波数に対する検出力よりも低下している。Plompらは、Low pitchの知覚に支配的な高調波の次数を測定し、200Hzの Low pitchを知覚するためには、4成分が必要だとしている<sup>[7]</sup>。そのため、2または3成分では、Low pitchを知覚するのに必要な成分周波数の数が不十分なため、検出力が低下していると解釈される。逆に、4成分複合 Cue音の場合には、基本周波数の信号に対する検出力は、成分周波数に対する検出力に比べ上昇している。しかし、基本周波数の信号に対する検出力を比較すると、全ての成分の検出力にはあまり違いがない。この原因としては、本実験で用いた複合 Cue音の種類は5種類であり、全ての基本周波数が200Hzに固定されている。被験者は、成分周波数が少ない場合にも基本周波数に注意を向けていたとも解釈できる。本実験では、Cue音の効果を調べるために、信号検出作業のための手がかりがない状況(No Cue Condition)を設定している。Cue音が複合音の場合、Cue音がない時の検出力と複合 Cue音を提示した時の各成分に対する検出力とを比較することにより、複合 Cue音の成分中で相対的に大きく注意が向けられた周波数成分が分かる

と考えられる。そこで、各信号に対する検出力とNo Cue Conditionとの比較を行なった。表2.4に4成分複合Cue音に対する精神測定関のNo Cue Conditionからの移動量を示す。それぞれの結果より、成分周波数の出力は、前に述べたように、No Cue Conditionの場合ほとんど差がないが、基本周波数に相当する信号に対する検出力は上昇している。このことより、被験者の注意力は、成分周波数対してよりも基本周波数に対して向いていたと考えられる。

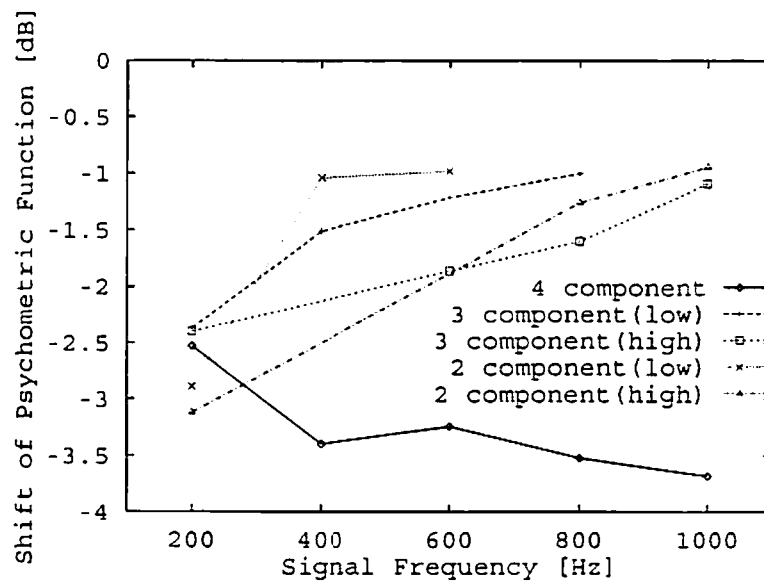


図 2.31 2,3および4成分調波複合Cue音に対する注意フィルタ実験における精神測定関数のコントロール条件からの移動(被験者3名の平均)Cue音：○:4成分複合音, △:2成分複合音(800+1000Hz), ×:2成分複合音(400+600Hz), +:3成分複合音(400+600+800Hz), □:3成分複合音(600+800+1000Hz)

表 2.6 精神測定関数のNo Cue Conditionからの移動量

Frequency of Signal[Hz]	Shift of Psychometric Function [dB]
200	+2.31
400	-0.34
600	-0.14
800	-0.16
1000	0.00
300	+1.53
600	-0.19
900	-0.13
1200	-0.29

### 2.3.2 13成分複合音をCueとして用いた場合のLow pitchに対する注意フィルタ

#### 目的および実験方法

前節により、調波複合音に対する注意は、複合音が4成分の場合にはその周波数成分よりもピッチの周波数領域に向けられる事が明らかになった。そこで、本節では、成分周波数を13成分に増やし、基本周波数に相当する周波数領域のみでの測定をおこなう。実験方法は、前節と同様であるが、Cue音には基本波の欠けた13成分調波複合音を用いた。検出する信号音にはTarget音としてCue音の基本周波数に等しい純音を、Probe音として基本周波数近傍の6種類の周波数の純音を用いた。実験に用いた刺激を表2.7に示す。Target音と各Probe音の出現頻度は4:1とし、これらはランダムに提示した。なお、Cue音に基本周波数の純音を用いた場合についても実験を行った。本実験と共にCue音と検出する信号音が常に同一周波数であるコントロール条件においても測定を行い、各信号音の精神測定関数を求めた。被験者は、正常な聴覚を有する大学生3名である。

表 2.7 13成分複合Cue音の場合のLow pitchに対する注意フィルタ実験におけるCue音.信号音の周波数

Components of Cue[Hz]	Signal [Hz]	
	Primary	Probe
1000,1250.1500,1750		
2000,2250.2500,2750		179,197
3000,3250.3500,3750	250	221,287
4000		342,417
250	250	

### 実験結果

被験者から得られた精神測定関数を平均したものを図2.32～図2.45に示す。純音と調波複合音の結果を比較するために各信号の周波数を固定している。

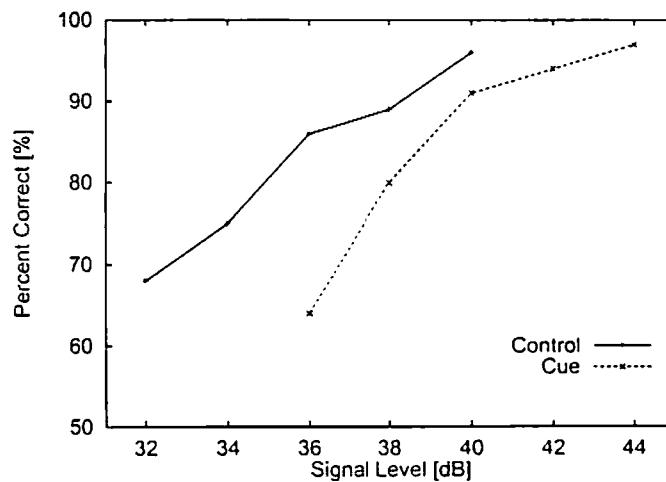


図 2.32 13成分複合Cue音での注意フィルタにおける179Hz信号に対する精神測定関数



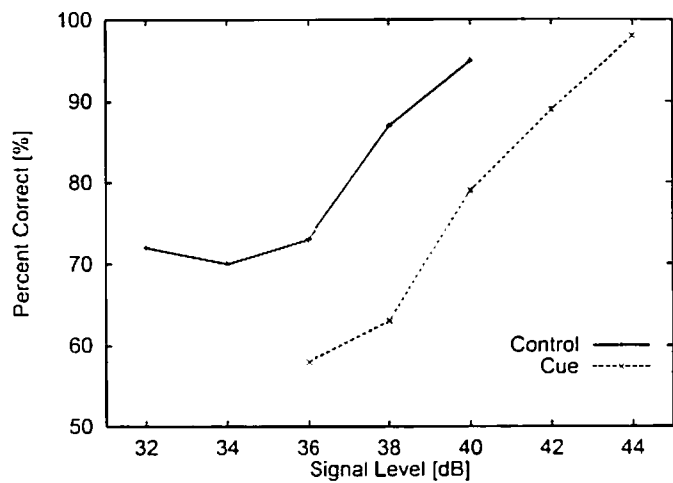


図 2.33 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける 179Hz信号に対する精神測定関数

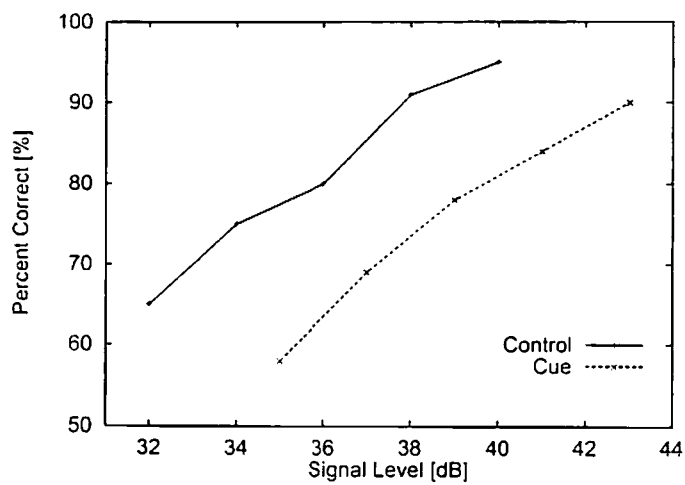


図 2.34 13成分複合 Cue音での注意フィルタにおける 197Hz信号に対する精神測定関数

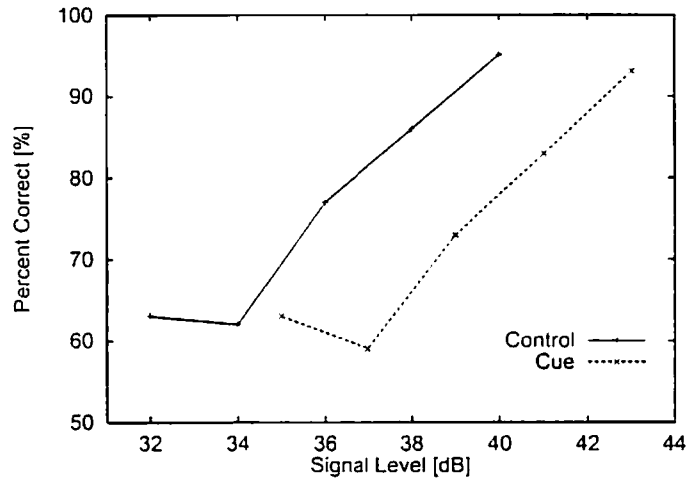


図 2.35 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける 197Hz 信号に対する精神測定関数

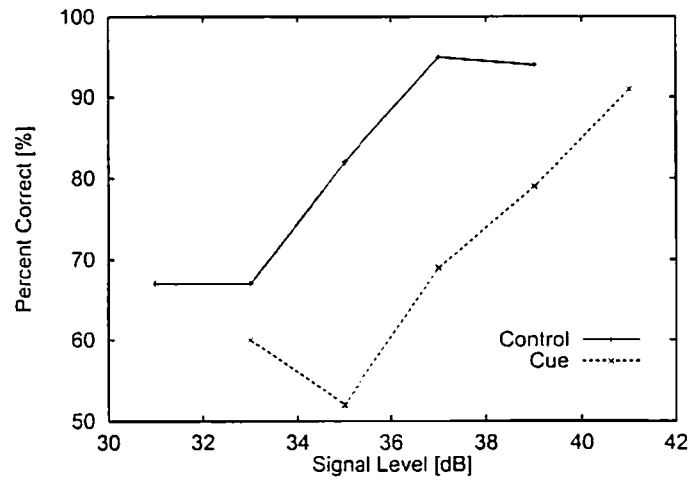


図 2.36 13成分複合 Cue 音での注意フィルタにおける 221Hz 信号に対する精神測定関数

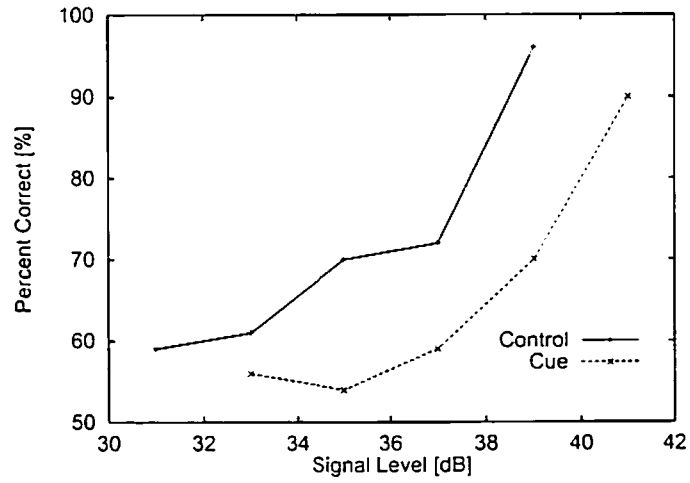


図 2.37 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける221Hz信号に対する精神測定関数

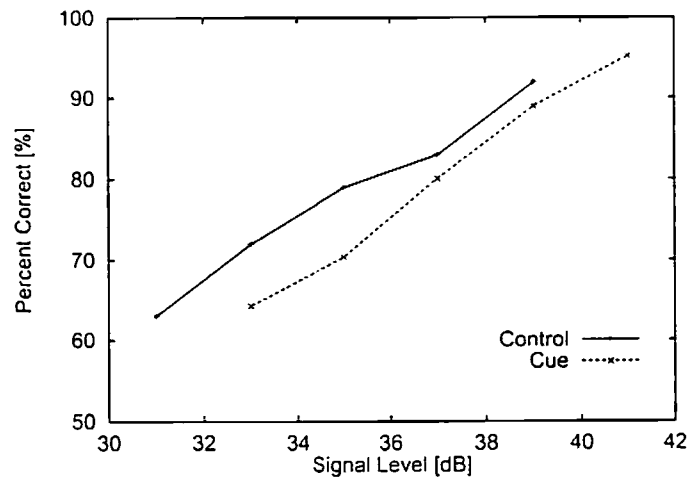


図 2.38 13成分複合 Cue音での注意フィルタにおける250Hz信号に対する精神測定関数

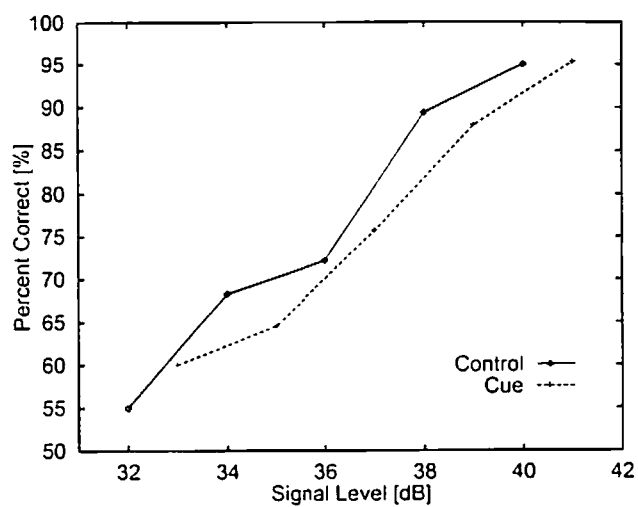


図 2.39 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける250Hz信号に対する精神測定関数

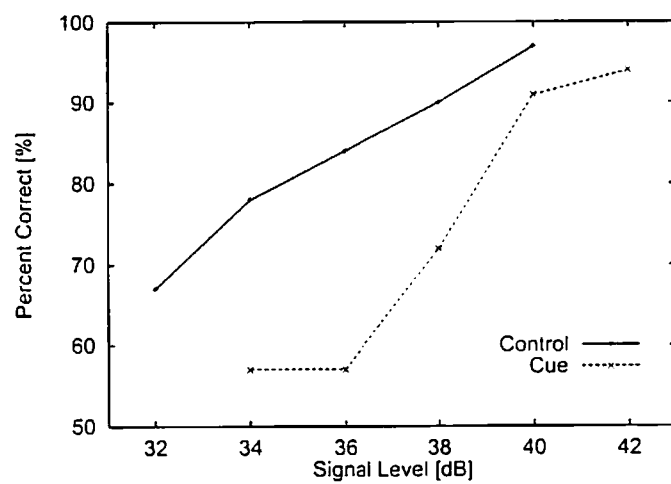


図 2.40 13成分複合 Cue音での注意フィルタにおける287Hz信号に対する精神測定関数

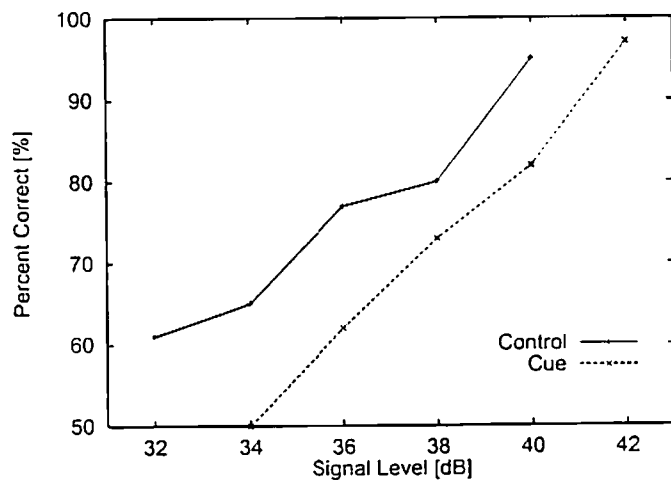


図 2.41 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける 287Hz信号に対する精神測定関数

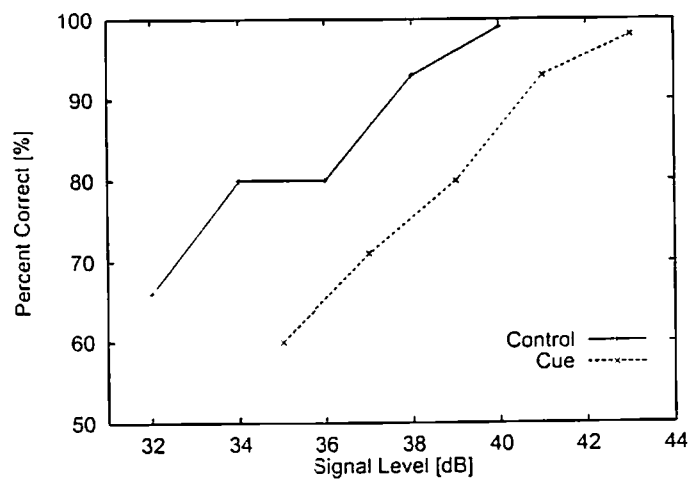


図 2.42 13成分複合 Cue音での注意フィルタにおける 342Hz信号に対する精神測定関数

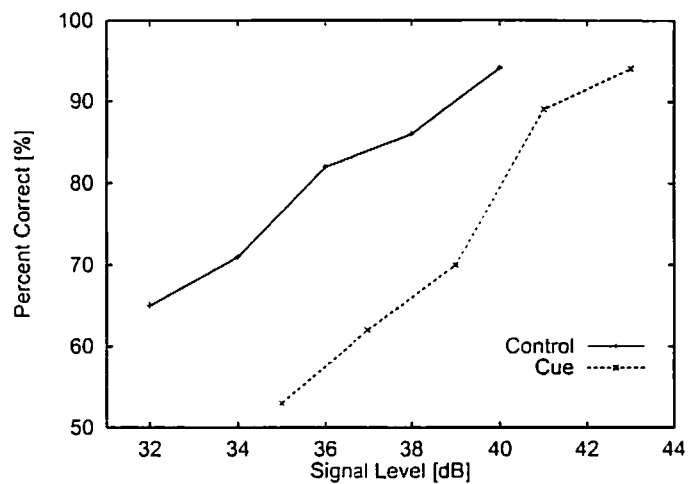


図 2.43 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける342Hz信号に対する精神測定関数

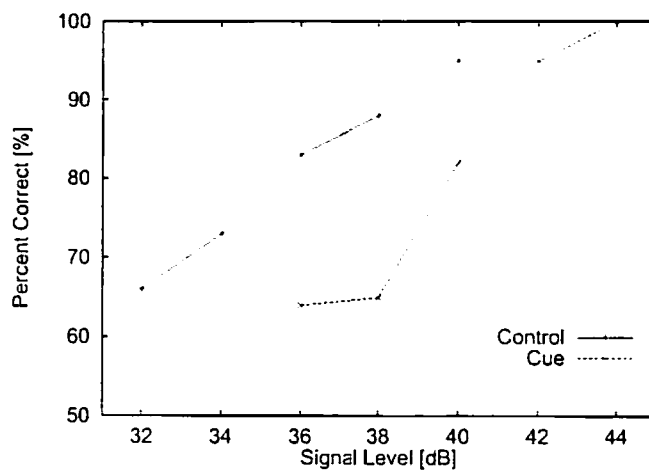


図 2.44 13成分複合Cue音での注意フィルタにおける417Hz信号に対する精神測定関数

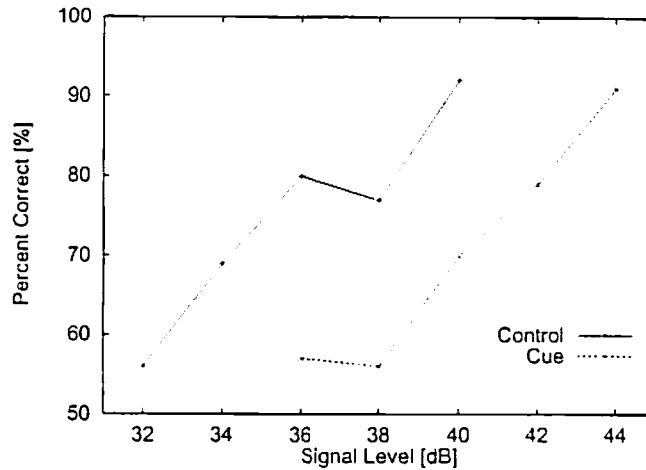


図 2.45 純音 Cue(250Hz)での注意フィルタにおける 417Hz 信号に対する精神測定関数

検討

得られた精神測定巻数の各信号音に対する 75% 検出閾値を求め、コントロール条件からの精神測定関数の移動量を求めた。その結果を図 2.46 と図 2.47 に示す。図 2.46 は各被験者の結果であり、図 2.47 は被験者 3 人の結果を平均したものである。図中の上下のバーは 90% 信頼区間を示す。横軸は信号音の周波数、縦軸はコントロール条件を基準にした場合の精神測定関数の移動量である。図中の◇は Cue 音が 13 成分複合音の場合の結果であり、+ は Cue 音が 250Hz の純音である場合の結果を示す。この図における下方への移動はその信号に対する検出力が低下していることを示す。これらの結果より、被験者全員の傾向として 250Hz の信号音に対する検出力の低下が最も小さく、信号音の周波数が 250Hz から離れると検出力の低下が大きくなるという傾向を示した。この傾向は Cue 音が 13 成分複合音の場合と 250Hz 純音の場合の両者に見られる。注意を向ける信号音 (Cue 音) が純音である場合には、その信号音の周波数を中心とした注意フィルタが形成されることは既に示されている。これと同様の傾向が 13 成分複合音に対しても得られたということは、この時知覚された Low pitch が信号検出の手掛かりとなり、Low pitch に対しても注意フィルタが形成されたことを示唆する。また、250Hz の信号音に対する両者の精神測定

関数の移動量を比較すると、Cue音が13成分複合音の場合の値が250Hz純音の場合より小さくなっている。さらに、基本周波数に対応する250Hz以外の周波数においては、被験者間で差が見られる。被験者の平均を取った図2.47の結果においても、複合Cue音と純音の差が見られるのは、中心の周波数のみでそれ以外では有意な差が見られない。フィルタの中心部においては、純音により形成される注意フィルタと調波複合音により基本周波数に対する注意フィルタの形状が違うことが予測されるが、すそ野の部分では明確ではない。被験者の平均で考察すると、わずかではあるが、Low pitchに対するフィルタが純音に対するものより緩やかであることが分かる。このように、Low pitchの注意フィルタが緩やかになったのは、信号検出の手掛かりとしてLow pitchが純音よりも曖昧なものであるためだと考えられ、手掛かりが曖昧になるほど注意フィルタは緩やかになると考察出来る。



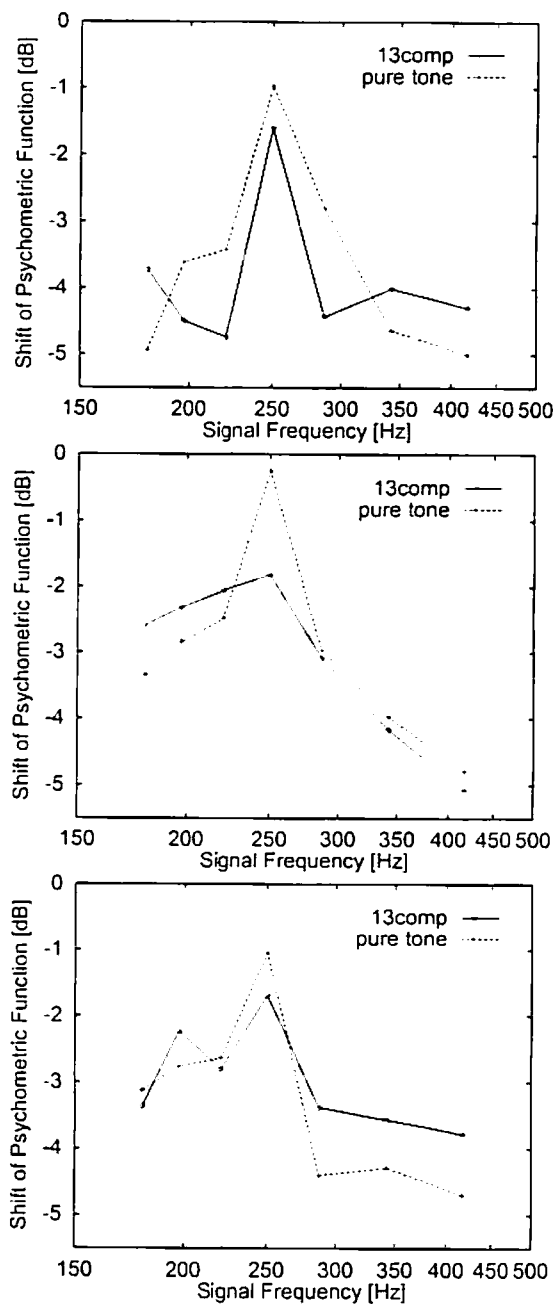


図 2.46 13成分複合音を Cueとして用いた場合の Low pitch に対する注意フィルタの実験で得られた精神測定関数の移動量(各被験者毎)

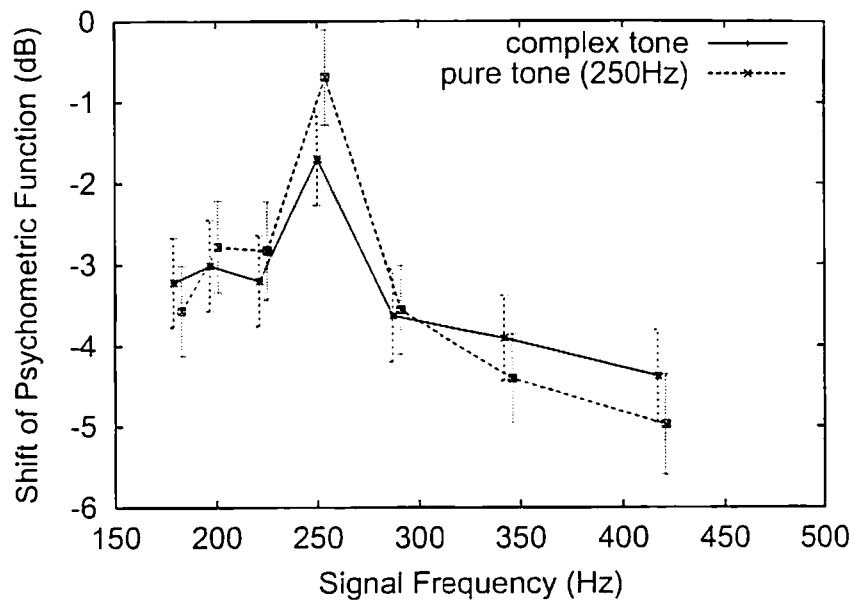


図 2.47 13成分複合音を Cueとして用いた場合の Low pitch に対する注意フィルタの実験における精神測定関数の移動量(被験者3人の平均)

### 目的および実験方法

実験で用いた信号の周波数範囲はフィルタの中心からの距離が大きいため、裾野の部分では純音と調波複合音の差がなかったと考えられる。

Low pitchに対する注意フィルタの形状を求めるという観点から考えると、中心周波数付近の狭い周波数範囲に対する測定を行う必要がある<sup>[82]</sup>。聴覚フィルタのモデルである roex 関数においても、中心周波数の部分とすそ野を決定するパラメタを分けている。そのため次の実験では、フィルタの中心部分の測定を行い、注意フィルタの形状を推定する。実験において Cue 音は先に用いた 13 成分複合音とし、Probe 音の周波数間隔を 10Hz と狭くして測定を行う。実験で用いた刺激のパラメタを表 2.8 に示す。

表 2.8 13 成分複合 Cue 音における注意フィルタ実験(信号の距離が近い場合)の Cue 音. 信号音の周波数

Components of Cue[Hz]	Signal [Hz]	
	Primary	Probe
1000,1250,1500,1750	250	220,230
2000,2250,2500,2750		240,260
3000,3250,3500,3750		270,280
4000		
250	250	

### 実験結果および検討

実験で得られた精神測定関数に対して最尤推定法を用いて、それぞれの信号音に対する75%検出閾値を求め、それぞれの信号音の閾値におけるコントロール条件からの移動量を求めた。その結果を表2.9に示す。表より信号周波数の範囲が大きい時と同様に複合Cue音の基本周波数である250Hzの移動量が最も小さく、基本周波数を中心としたフィルタが形成されているのが分かる。これは、純音の場合の結果も同様である。注意を向ける信号音が純音である場合や相対的手がかりである場合には、注意フィルタが聴覚フィルタモデルの1つであるroex関数で推定できることが示されている<sup>[10]</sup>。そこで、本研究で得られたLow pitchに対する注意フィルタをroex関数で推定された値よりフィルタの幅について検討する。roex関数には、式(1.3)を用いた。実験の結果から注意フィルタの形状は非対称であるので、注意フィルタの中心周波数より低い周波数領域と高い周波数領域で別々にroex関数を適用し、形状を決定する係数 $p_l$ (低域)と $p_u$ (高域)を推定した。表2.10にroex関数により推定した際のパラメタの値を被験者毎に示す。結果より純音の方が関数との適応性はよく回帰係数の値も全ての場合で0.95を上回っている。求められた $p_l$ と $p_u$ を基に式(1.3)を用いて推定した関数を図2.48と図2.49に示す。横軸は信号音の周波数、縦軸はフィルタによる減衰量を表している。図中の+は実験結果であり、250Hzに対する検出力を基準にしてプロットしている。これらの図を見ると、実験結果をほぼ予測できておりLow pitchに対する注意フィルタについてもroex関数で表現できると思われる。次に、求められたroex関数からフィルタの等価方形幅(ERB:Equivalent Rectangular Bandwidth)を式(1.5)により求める。式(1.3)で求められた $p_l$ と $p_u$ の値を式(1.5)に代入する事により得られた各被験者のERBの平均は70.7Hzとなった。Daiは、250Hzの純音に対する注意帯域幅が臨界帯域幅のほぼ半分の約50Hzになることを示しており<sup>[23]</sup>、この値は250Hz純音に対する臨界比に相当する。また、先の結果(図2.47)で示したようにLow pitchの注意フィルタは純音のそれより広くなることを考慮すると、Low pitchに対する注意帯域幅が臨界比より幾分広く設定されるのではないかと考えられる。

表 2.9 13成分複合 Cue音における注意フィルタ実験(信号の距離が近い場合)における精神測定関数の移動量

Cue tone	Subs.	Signal Frequency [Hz]						
		220	230	240	250	260	270	280
Multi-Cue tone	A	-3.73	-3.59	-1.12	-0.33	-1.02	-2.83	-2.62
	B	-2.83	-2.63	-1.55	-0.66	-0.78	-1.01	-3.44
	C	-3.28	-3.11	-1.34	-0.50	-0.90	-1.92	-3.03
Pure tone	A	-4.34	-2.09	-1.71	-0.28	-0.58	-0.97	-2.71
	B	-3.09	-2.51	-1.02	-0.26	-0.61	-1.59	-2.65
	C	-3.72	-2.15	-1.02	-0.27	-0.75	-1.42	-2.82

表 2.10 roex関数により推定されたパラメタと回帰係数

Cue tone	Subject	$p_l$	$p_u$	$R^2$
Multi-Cue tone	A	17.0	13.6	0.761
	B	12.7	11.7	0.778
	C	14.9	12.2	0.903
Pure tone	A	16.3	12.5	0.957
	B	14.5	12.1	0.952
	C	15.4	12.3	0.994

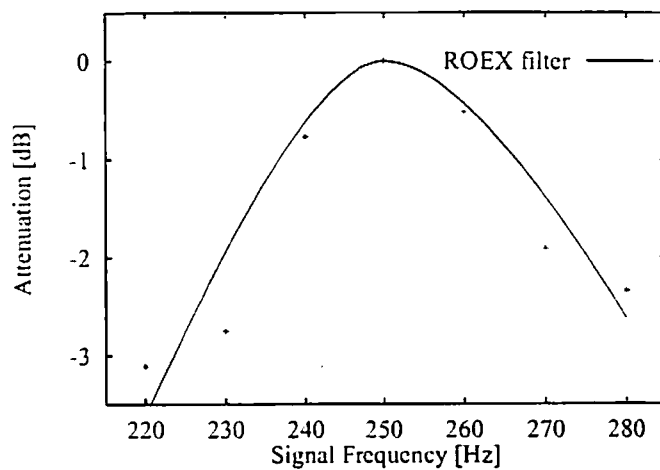


図 2.48 13成分複合Cue音における注意フィルタ実験(信号の距離が近い場合)により得られた複合Cue音に対する推定結果(3人の被験者の平均値)

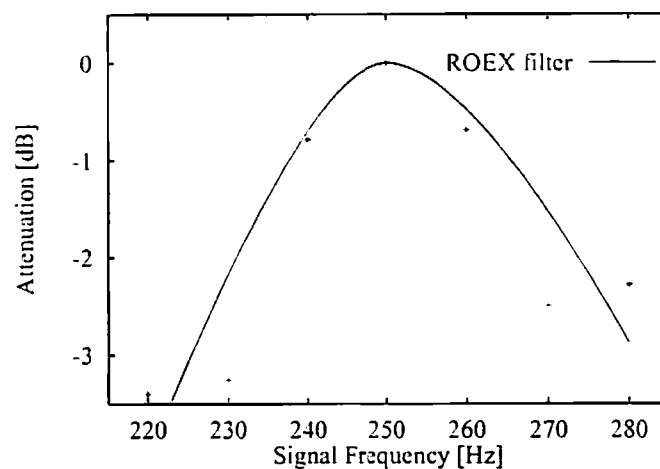


図 2.49 純音のCue音における注意フィルタ実験(信号の距離が近い場合)より得られた純音に対する推定結果(3人の被験者の平均値)

## 2.4 周波数変化音に対する注意フィルタ

### 目的および実験方法

音声や楽器音のような音響信号は、周波数軸上で多成分であるだけでなく、時間的に変化している。そのため本節では音響的なパワは存在するがエネルギーが集中していない周波数変化音に対する注意フィルタについて検討する。通常、周波数変化音の変化幅が小さく継続時間が短い場合には単一のピッチ(Over-all pitch)を知覚する<sup>[79]</sup>が、周波数変化幅が大きくなると単一のピッチではなくて複数のピッチを知覚する事になる。本節では、注意フィルタとOver-all pitchとの関係を調べるために、周波数が単調に上昇する周波数上昇音と周波数下降音をCue音として用い、用いた周波数変化音は、Over-all pitchが知覚できるような周波数変化幅と継続時間を選択している。

実験方法は前節とほぼ同様であるが周波数変化音の継続時間をOver-all pitchを知覚させるため140msと短くし、信号の継続時間も同様に140msとしている。刺激提示のタイムパターンを図2.50に、周波数変化音のタイムパターンを図2.51に示す。また、提示する信号は予備実験で用いた周波数変化音のOver-all pitchの周波数を持つ純音(1065Hz)をTarget音として用い、その周辺の純音をProbe音とした。Target音とProbe音の出現頻度は、4:1としている(regular条件)。提示した刺激のパラメタを表2.11と2.12とに示す。コントロール条件として、Cue音と信号音が同一の状態を測定している。被験者は、正常な聴力を有する男子大学生3名である。本実験では、Cue音の影響ではなく信号の提示確率が高い事により周波数変化音のOver-all pitchに対応する周波数に注意が向けられた可能性がある。そのため、信号の出現頻度を全て等しくした場合(frequency equality条件)についても実験を行っている。

表 2.11 周波数上昇音をCueとした場合の刺激のパラメタ

Cue tone	Signal [Hz]	
	Primary	Probe
Frequency gliding tone (925~1075Hz)	1065	925,1000
		1040,1075
		1100,1140

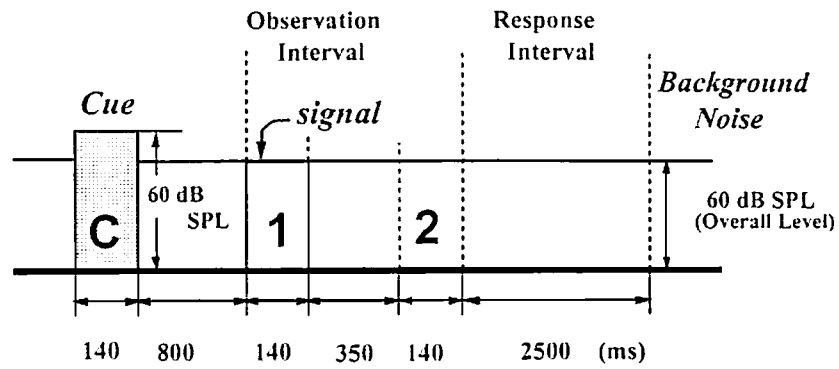


図 2.50 周波数変化音に対する注意フィルタの実験で用いた刺激の提示パターン

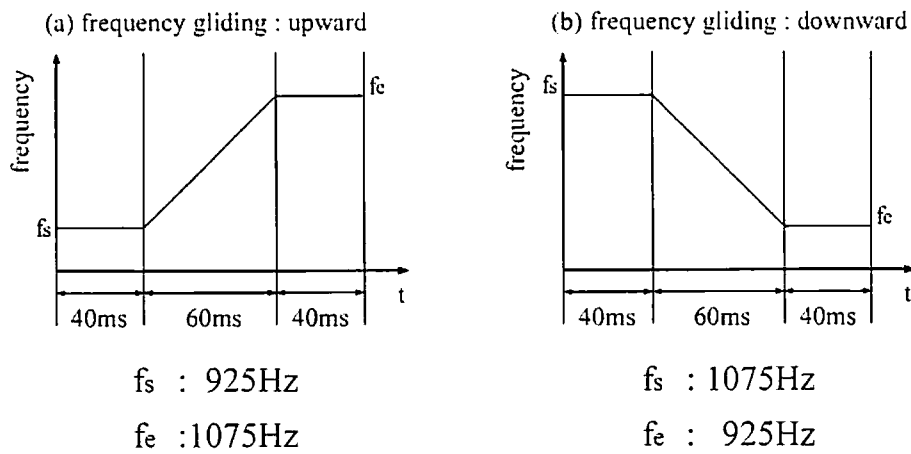


図 2.51 周波数変化音に対する注意フィルタの実験で用いた周波数変化音(上昇, 下降)のタイムパターン



表 2.12 周波数下降音をCueとした場合の刺激のパラメタ

Cue tone	Signal [Hz]	
	Primary	Probe
Frequency gliding tone (1075 - 925Hz)	940	860, 900
		925, 960
		1000, 1100

実験結果

被験者より得られた精神測定関数を図2.52～図2.65に示す。図2.52～図2.58は周波数上昇音のCue音に対する結果であり、図2.59～図2.65は周波数下降音のCue音に対する結果である。

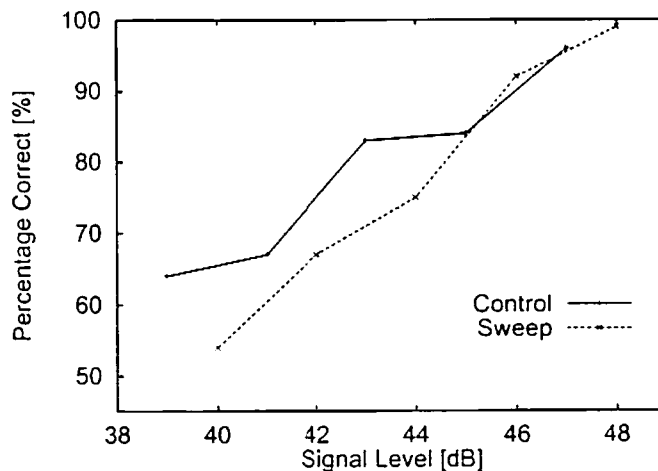


図 2.52 周波数変化音に対する注意フィルタの実験で得られた周波数上昇音の場合の925Hz信号に対する精神測定関数

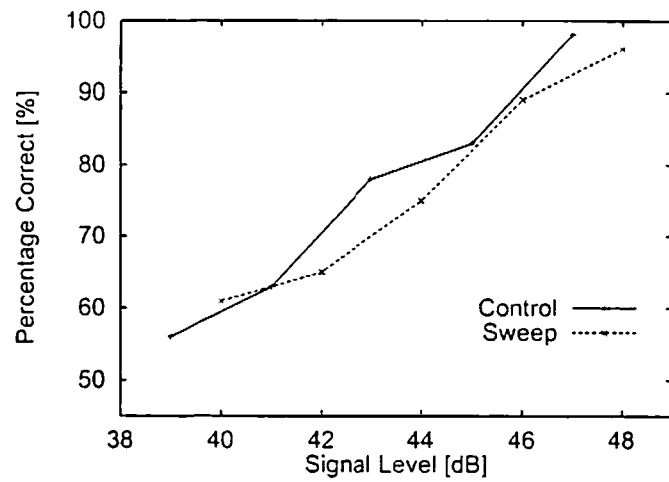


図 2.53 周波数上昇音に対する注意フィルタ実験での1000Hz信号に対する精神測定関数

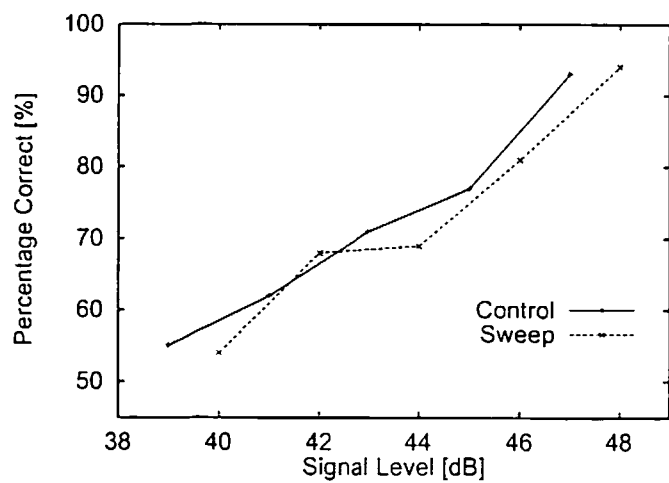


図 2.54 周波数上昇音に対する注意フィルタ実験での1040Hz信号に対する精神測定関数

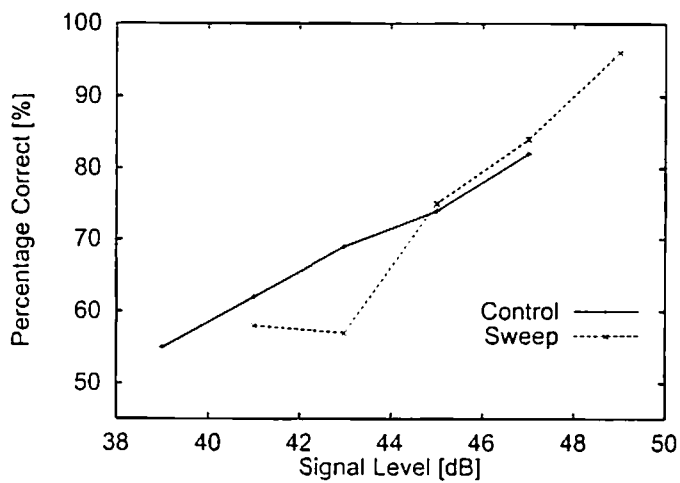


図 2.55 周波数上昇音に対する注意フィルタ実験での1065Hz信号に対する精神測定関数

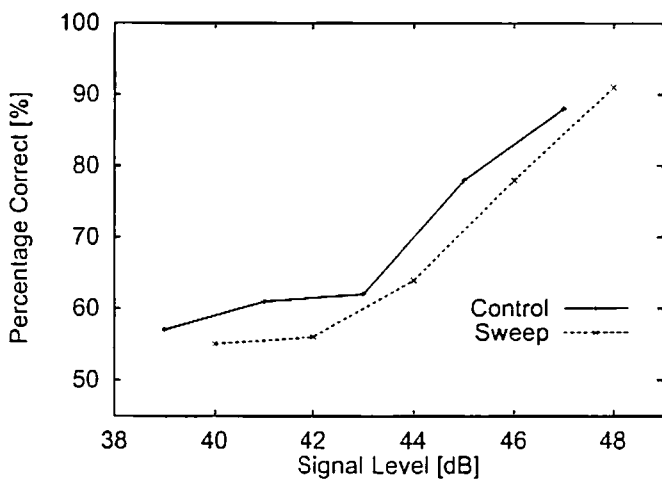


図 2.56 周波数上昇音に対する注意フィルタ実験での1075Hz信号に対する精神測定関数

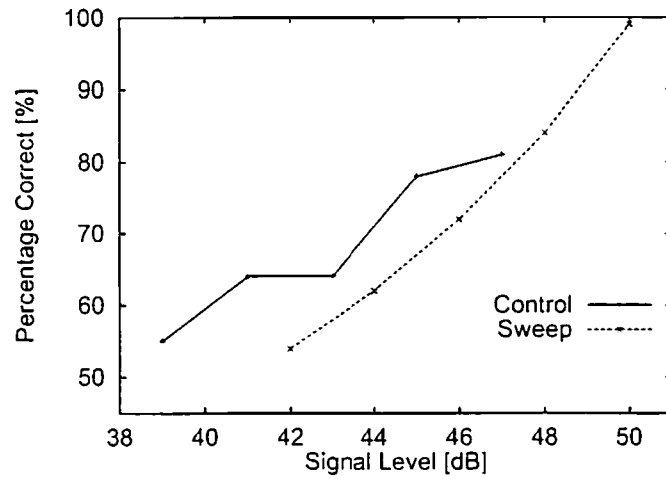


図 2.57 周波数上昇音に対する注意フィルタ実験での1100Hz信号に対する精神測定関数

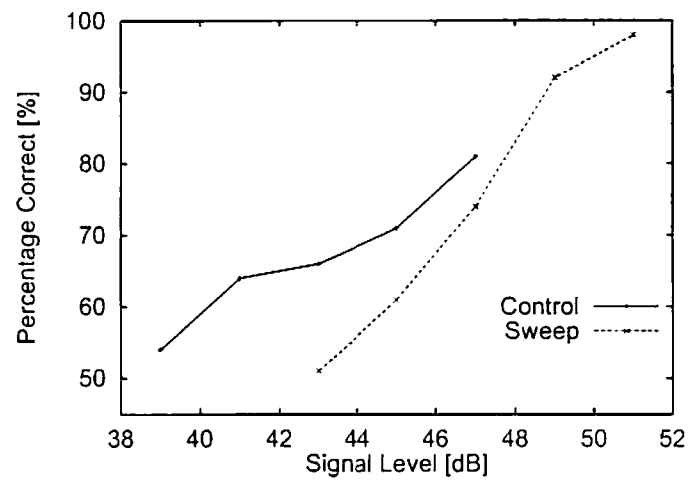


図 2.58 周波数上昇音に対する注意フィルタ実験での1140Hz信号に対する精神測定関数

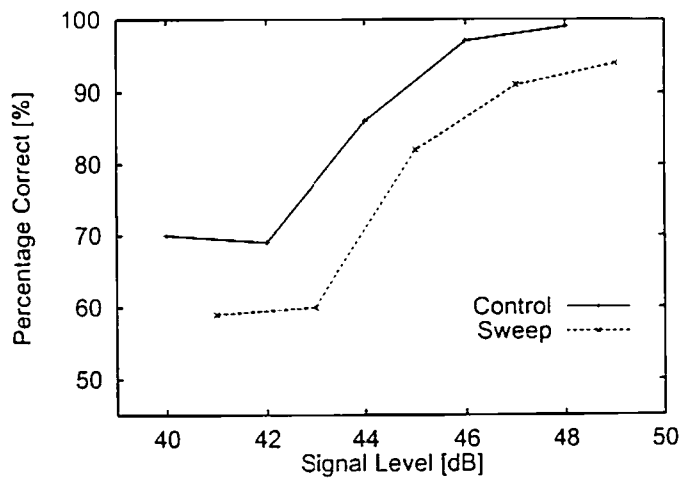


図 2.59 周波数下降音に対する注意フィルタ実験での860Hz信号に対する精神測定関数

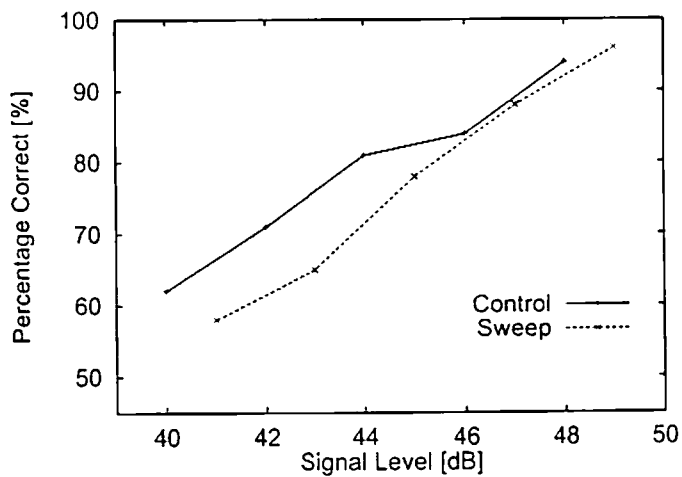


図 2.60 実験2.6で得られた周波数下降音の場合の900Hz信号に対する精神測定関数

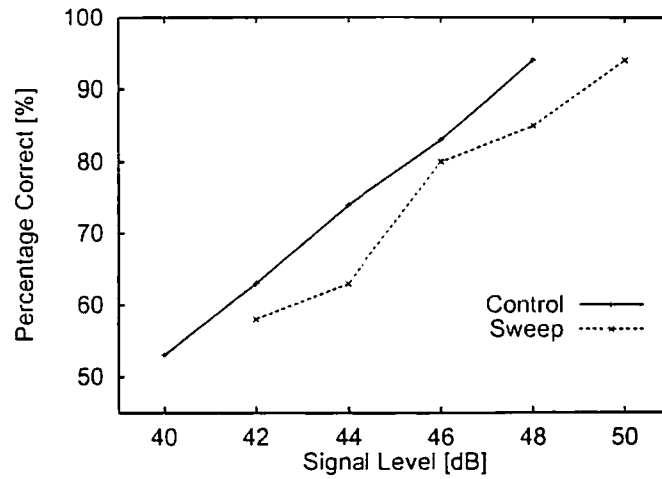


図 2.61 周波数下降音に対する注意フィルタ実験での925Hz信号に対する精神測定関数

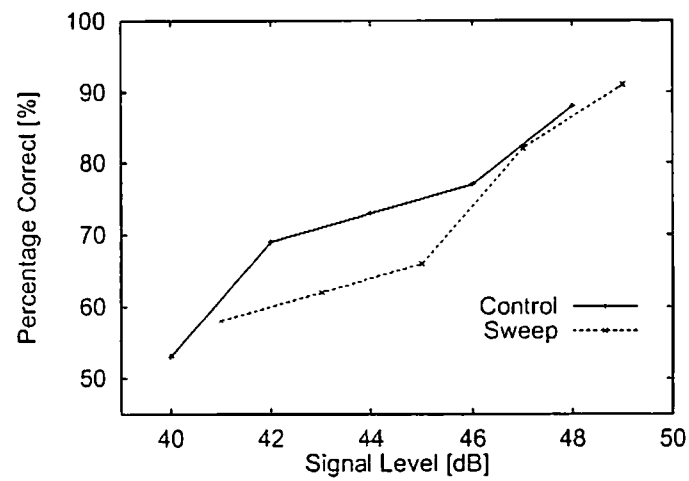


図 2.62 周波数下降音に対する注意フィルタ実験での940Hz信号に対する精神測定関数

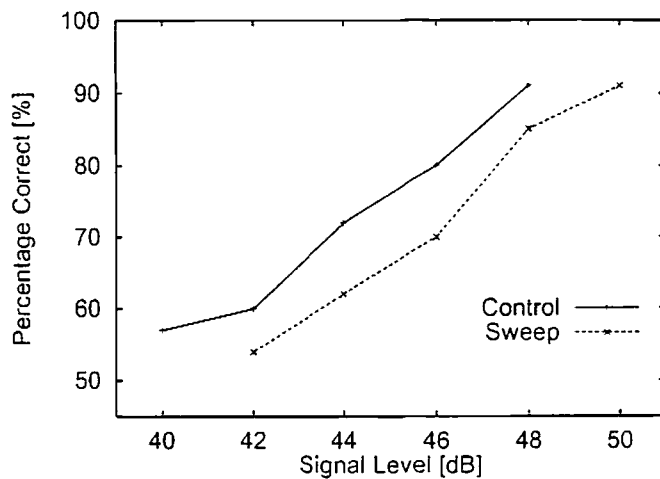


図 2.63 周波数下降音に対する注意フィルタ実験での960Hz信号に対する精神測定関数

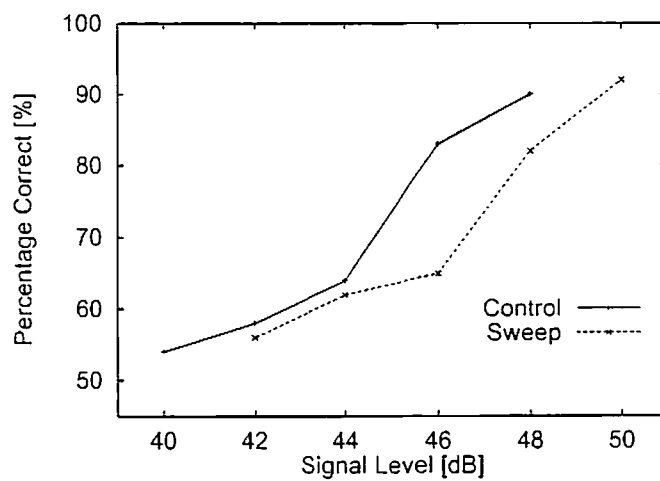


図 2.64 周波数下降音に対する注意フィルタ実験での1000Hz信号に対する精神測定関数

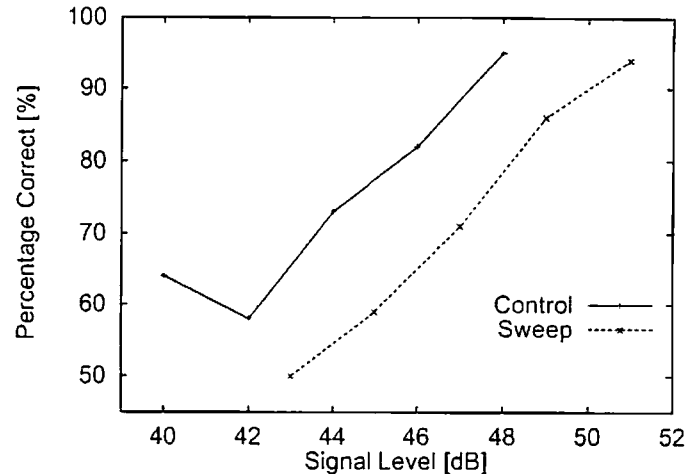


図 2.65 周波数下降音に対する注意フィルタ実験での 1100Hz 信号に対する精神測定関数

#### 検討

各被験者より得られた精神測定関数によりコントロール条件との差(精神測定関数の移動量)を求めた。それらを図 2.66 と図 2.67 に示す。regular が Over-all pitch の周波数の提示確率を 80% とした場合、frequency equality が信号の周波数の提示確率が等しい場合の結果である。図より信号の出現頻度に関係なく、Over-all pitch に対応する周波数に注意フィルタが形成されているのが分かる。

周波数上昇音と同様に下降音でも Over-all pitch の周波数に注意フィルタが形成されてはいるが、上昇音の場合よりも傾斜がなだらかになっている。Schouten は、周波数変化音の単位時間当たりの変化が小さい刺激音に対して、移動の方向(上昇か下降か)の知覚実験を行った<sup>[83]</sup>。その結果、被験者は物理的な移動方向にかかわらず下降していると判断される傾向があることを示した。この傾向は周波数変化のない定常音に対しても見られ、判断も曖昧であった。このことが本研究の上昇音と下降音に対する注意フィルタの形状の違いとなって現れたのではないかと考えられる。つまり下降音に対する Over-all pitch の知覚も上昇音と比べると曖昧になり、注意フィルタの形状も上昇音に比べなだらかになったと考える事ができる。信号の出現頻度を等しくした場合には、



上昇音とは少し違った傾向が見られる。前節で注意フィルタの形成が、音のピッチの強さに依存していることを考えると、周波数上昇音よりも下降音の方に対して注意フィルタの形状が緩やかになった理由は、ピッチの強さであると解釈できる。

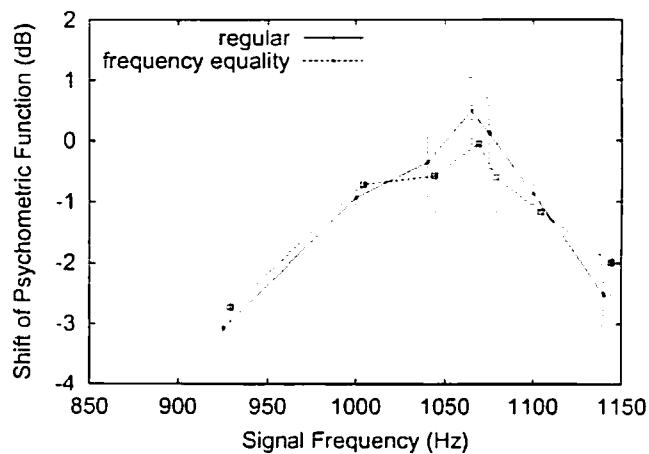


図 2.66 精神測定関数の移動量(周波数上昇音), regular:Over-all pitchに対応する純音(1065Hz)の提示確率が80%の場合, frequency equality:信号の提示確率が等しい場合

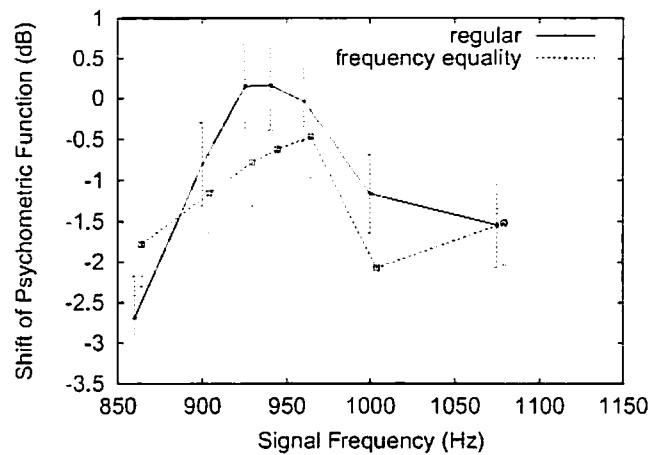


図 2.67 精神測定関数の移動量(周波数下降), regular:Over-all pitchに対応する純音(1065Hz)の提示確率が80%の場合, frequency equality:信号の提示確率が等しい場合

## 2.5 まとめ

本章では、複合音をCue音として用い被験者の注意を複数の周波数帯領域に向けた場合について実験を行った。複合Cue音は1000Hzを中心周波数とする2成分または4成分としており、成分の間隔は1000Hzの臨界帯域の内と外とに設定した。実験の結果よりCue音の周波数の間隔は、成分周波数に対応する純音の検出に強く影響を及ぼすことが明らかとなった。周波数成分の間隔が近い場合には2つの周波数成分の中心に注意フィルタを形成して聴取し、離れた場合には2つの注意フィルタで聴取することが分った。しかし、単一のフィルタを周波数軸上で移動させているのか、複数のフィルタを設定しているのかを明らかにすることは出来なかった。2成分複合音に対しては、Probe-Signal法を用いてそれぞれの成分に対する注意フィルタを測定した。その結果、それぞれに設定された注意フィルタは臨界帯域よりも臨界比の方に近い値となった。次に、基本波の欠けた調波複合音をCue音として用い、複数の周波数領域に注意を向けた場合の信号検出実験を行った。成分周波数の数を2成分から3,4成分に増加させるに従い、前節と同じような検出力の低下が見られた。さ

らに成分周波数の信号と基本周波数に対する信号への注意力を比較した。その結果、成分数が増加するに従って、注意力は成分周波数から基本周波数に対して向いていく事が明らかになった。この現象は、基本周波数領域に知覚されるピッチの強さが成分周波数の数に依存しているためだと考えられる。また、基本周波数に対応する純音とLow pitchに対する注意フィルタの形状について比較した。その結果、Low pitchの注意フィルタは純音のそれより若干ではあるが広く設定される結果となった。Low pitchに対する注意フィルタの幅は、前節で見られた臨界比よりも大きい値となった。さらに、周波数が上昇または下降する音をCue音として用いた場合のOver-all pitch周辺における注意フィルタについて実験を行った。その結果、被験者の注意フィルタは、周波数変化音のOver-all pitchに相当する周波数に形成される事が分かった。さらに、注意フィルタの形状は前節の多成分複合音により基本周波数に形成されたものよりも広くなっており、これは形成されるピッチの強さに影響を受けているのだと考えられる。このように、注意フィルタの形状はCue音の種類により影響を受け、形成されるピッチに依存しているのではないかと推測される。

本章により、複合音に対する注意分割による検出力の低下が明確にされ、複合音や周波数変化音に対する注意は、ピッチに対応する周波数に対して向けられる事が明らかとなった。さらに、成分に対して形成される注意フィルタは臨界比に近い値となり、複合音や周波数変化音のピッチに対応した注意フィルタは純音のそれよりも傾斜がなだらかなものとなる事が明らかとされた。

## 第3章 聴覚系における注意時間窓

### 3.1 はじめに

聴覚の周波数領域における特性と時間領域における特性とは双対関係にある事が示されており、厳密ではないにしても、周波数領域の特性から時間領域の特性が少なくとも定性的には推測可能である。聴覚特性のうち極めて重要な概念にFletcherの臨界帯域(臨界比)がある<sup>[53]</sup>。これらに対応する時間領域の測度として、Pennerらの定義したCritical Masking Intervalがある<sup>[68][69]</sup>。これは短いクリック音をノイズバーストでマスクする場合、継続時間が増すにつれてマスキング量は増加するが、継続時間がある値を超えると一定値になるというものである。Mooreらは、帯域除去ノイズを用いて聴覚フィルタを求める手法と類似の手法によって、聴覚系の時間窓を導出している<sup>[55]</sup>。さらに、PlackとMooreは聴覚における時間分解能力について実験を行い、積分の時定数が周波数の上昇により減少することを明らかにしている<sup>[70]</sup>。また、Nicolleらは、強度弁別実験の結果に対して周波数-時間領域での検討を行っている<sup>[71]</sup>。これらの周波数と時間領域での結果のアナロジーは、高次の処理とされる注意の領域にも適応が可能であると考えられる。

そこで、本章では注意によって周波数領域に形成される注意フィルタに対応して、時間軸上での窓の形成における注意の効果を検討する。特に時間窓の形状や長さよりも、時間窓が形成される位置が注意によって制御されることに注目して実験を行う。さらに、注意を向ける時間の前後についても影響がある事が考えられるため、前後500msの範囲について信号に対する検出力を測定する。そのように信号の生起時間を制御して特定の時間に注意を集中して信号聴取を行う場合の時間窓について検討する。本実験においては、注意を集中する時間を帯域ノイズの時間的な中心としており、被験者は、その帯域ノイズを時間的なCue音として注意を集中する時間を確定しているのではないかと考えられる。そのため、注意を向ける時間的な範囲を変えた場合の時間軸上に形成される窓の形状についても検討する。時間領域においても、

周波数領域でのOff-frequency listeningに対応するOff-time listeningのような現象も見られている<sup>[55]</sup>。Off-time listeningにより、末梢系における時間窓は固定されたものではなく、刺激の種類、時間特性などにより変化し、被験者の聞き方にも依存する動特性を持つことが示唆されている。時間窓の形成は、被験者の聴取方策にも依存するため、何らかの方法により被験者の時間窓をコントロールし特定の時刻に時間窓を形成させる事も可能だと考えられる。周波数領域においては、ある特定の周波数の出現頻度を制御し、その信号の周波数に対応するフィルタ(注意フィルタ)を設定することができる。しかし時間領域においては、周波数領域と違い、出現頻度をコントロールする要因の一つとして、信号を提示するまでの時間が問題になると考えられる。ここでは、ある特定の時刻の出現頻度を制御することで実験を行ない、時間窓の形状と信号提示時刻との依存性について検討を行う。

### 3.2 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響

#### 目的および実験方法

はじめに、信号を提示する時間の出現頻度を上げる事により、注意のコントロールが可能かどうかを調べ、注意による時間窓(注意時間窓)が形成されるかどうかを検証する。さらに、注意を継続する時間を変化させ注意を向ける時間への依存性を検討する。実験は図3.1に示す二区間強制選択法を用いて行った。検出信号は、被験者に時間的な注意を向けさせたい時間に発生させるTarget音、それ以外の時間に発生させるProbe音の2つからなる。実験では、マスクの継続時間が2000msと3000msの場合について測定を行った。どちらの実験においても、Target音は観測区間の時間的中心に設定(継続時間2000msの際にはマスクの立上りから1000ms、3000msの際には1500msの時点)した。Probe音は、Target音を中心として前後に2点ずつ250ms間隔で設定した。以上計5点の生起時間における閾値の測定を行った。信号の生起時間を図3.2と図3.3とに示す。検出信号には継続時間10ms、周波数1000Hzの純音を用いた。Target音とProbe音はランダムに提示するが、その出現頻度を4:1とすることで、Target音へ被験者の注意を向けさせた。検出信号のレベルは、それぞれの被験者の閾値付近に2dB間隔で5段階に設定した。マスクは500Hz～2000Hzの帯域ノイズを60dB SPLで提示した。

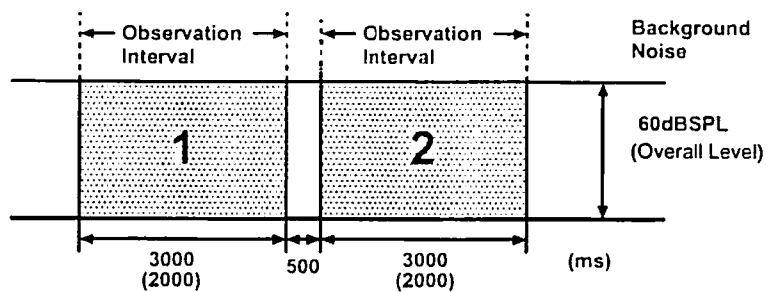


図 3.1 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における刺激のタイムパターン

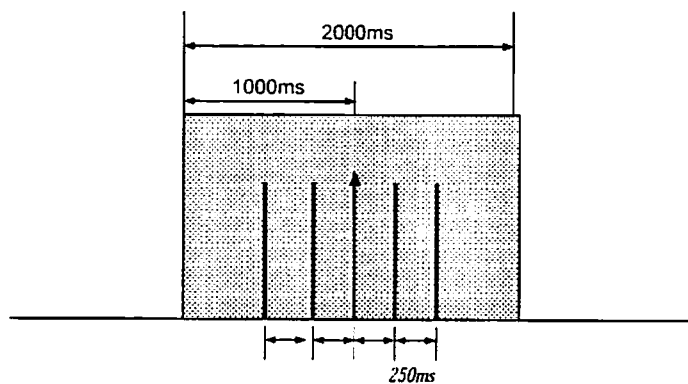


図 3.2 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における Target 音、Probe 音提示の時間的位置(マスクの継続時間2000ms)

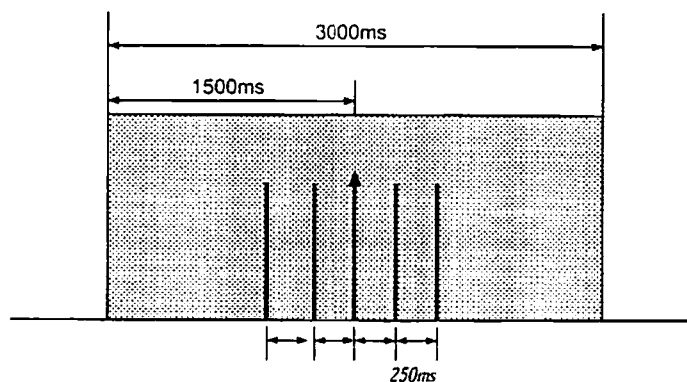


図 3.3 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における Target 音, Probe 音提示の時間的位置(マスクの継続時間3000ms)

#### 実験結果

実験で得られた精神測定関数の例を図3.4～図3.13に示す。横軸は信号の提示レベル縦軸は正答率である。図3.4～図3.8はマスクの継続時間が2000msの場合、図3.9～図3.13はマスクの継続時間が3000msの場合の結果である。図中の波線は全ての信号を Target の位置に提示した場合のコントロール条件としている。

#### 検討

結果について最尤推定法を用いて、それぞれの生起時間に提示される信号音に対する75%検出閾値を求めた。さらに、それぞれの生起時間においてのみ信号を提示した際の閾値を同様にして求め、これをコントロール値とする。この値と実験により求めた検出閾値の差を図3.14と図3.15に示した。グラフの横軸は信号の生起時間であり時間的な中心を0として正規化している。縦軸は検出閾値の移動量を示しており、下方への移動はコントロール値に対しての検出力の低下を示している。実線が2000msマスクの場合、波線が3000msマスクの場合の結果である。この図において、Target音に注意が向いている際にそれぞれの生起時間における検出力がどう影響を受けるかを示している。つまり、このグラフの形状を時間軸における注意により形成される時間窓と考えることができる。マスクの継続時間が2000ms、3000msのどちらの場合に

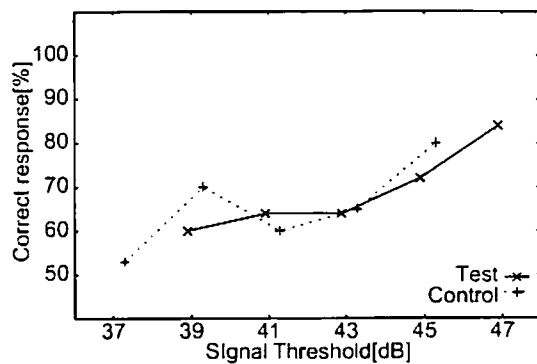


図 3.4 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(2000ms マスカで500msの位置)

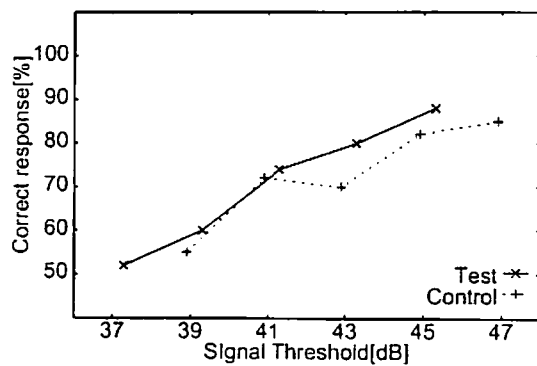


図 3.5 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(2000ms マスカで750msの位置)



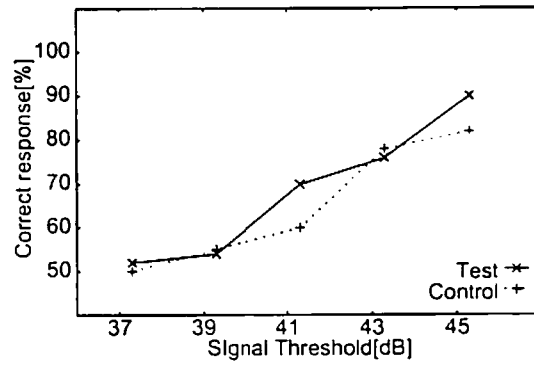


図 3.6 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(2000ms マスカで1000msの位置)

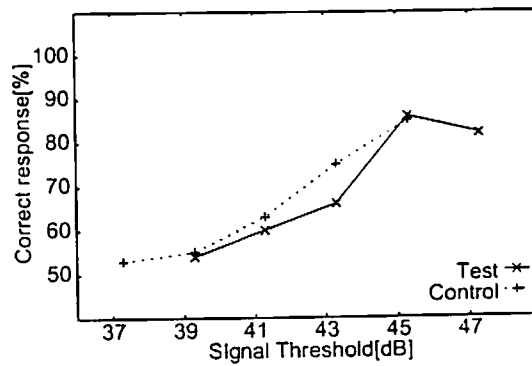


図 3.7 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(2000ms マスカで1250msの位置)

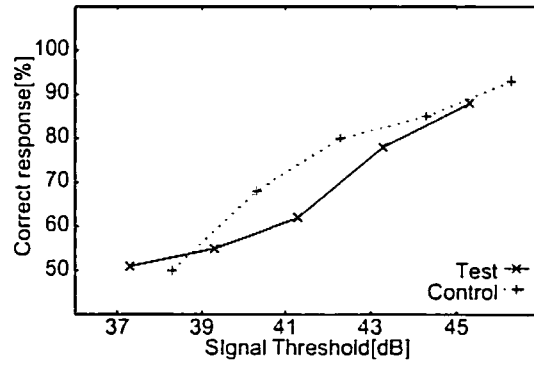


図 3.8 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(2000ms マスカで1500msの位置)

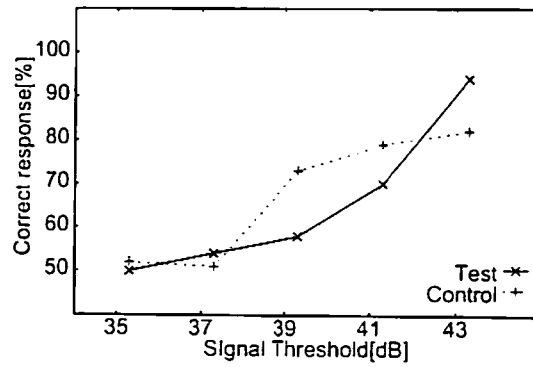


図 3.9 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(3000ms マスカで1000msの位置)

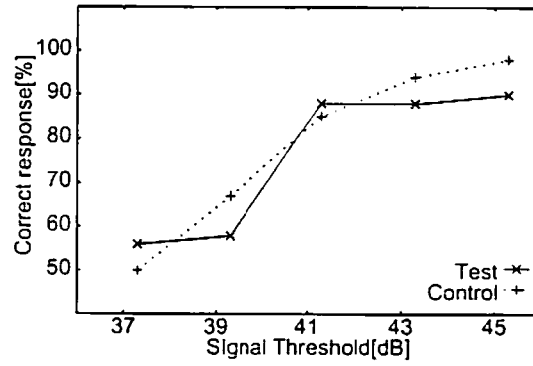


図 3.10 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(3000ms マスカで1250msの位置)

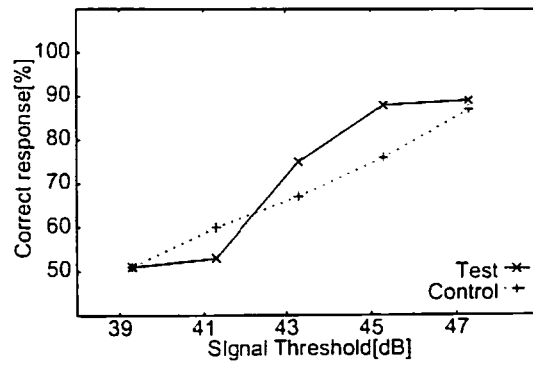


図 3.11 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(3000ms マスカで1500msの位置)

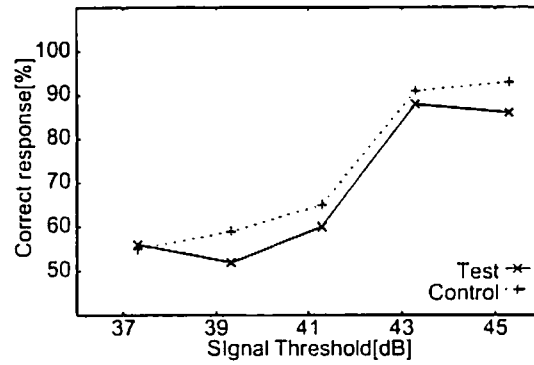


図 3.12 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(3000ms マスカで1750msの位置)

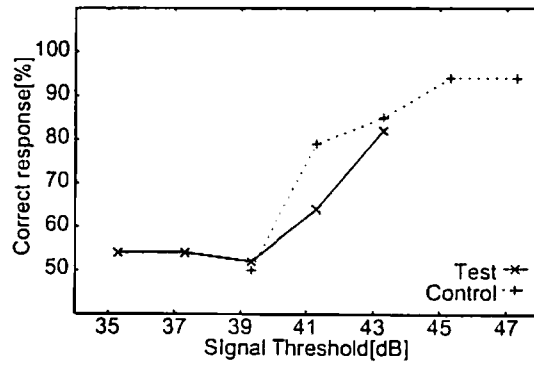


図 3.13 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数(3000ms マスカで2000msの位置)

も、時間軸上での注意により時間窓が形成されている。その形状は、3000msの際、2000msに比べて傾斜が緩やかになっている。これは注意を向けるべき継続時間が長くなり、注意を向けるべき中央に対する時間知覚があいまいになったためと考えられる。しかし、注意を向けるべき時刻の知覚が、マスクの時間的な中心なのかマスクのオンセットからの継続した時間(提示時刻)なのかは、この結果からは明らかにはできない。Marie-Claireは、周波数領域において注意を向ける信号の周波数を変化させ、注意を向けた周波数の周辺の信号に対する検出閾値を求めた<sup>[26]</sup>。その結果、注意を向ける周波数の幅が大きくなるに従い周辺の信号閾値が上昇し、注意フィルタの形状がブロードになる事を示した。本研究においても、注意を向ける時間的な範囲が大きくなったために、時間窓の傾斜が緩やかになったと解釈する事ができる。しかし、その形状は被験者により異なり被験者Aの2000msマスクでのTarget位置(0ms)は、他の2名の被験者に比べて検出力の低下が見られる。これは、Target位置での提示頻度80%がこの被験者ではまだ低く、注意を向けさせるのには十分では無かったと解釈できる。

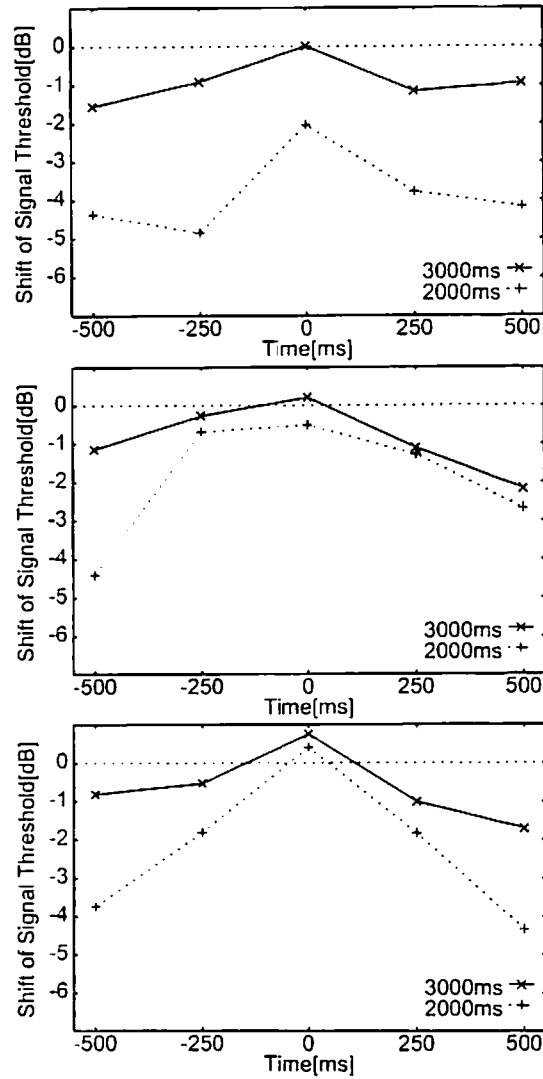


図 3.14 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数の移動量(各被験者毎). +:観測時間長2000ms, ×:観測時間長3000ms

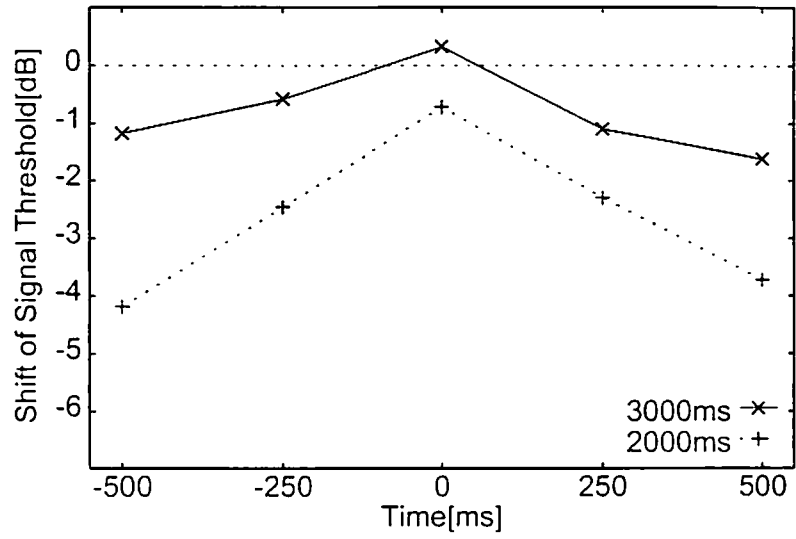


図 3.15 時間窓形成に及ぼす観測区間長の影響における精神測定関数の移動量(被験者3名の平均), +:観測時間長2000ms, ×:観測時間長3000ms

### 3.3 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響

#### 目的および実験方法

前節により、信号の時間的な出現頻度を上げる事により時間軸における注意をコントロールできる事が明らかになり、注意による時間窓(注意時間窓)の形成が確認された。さらに、注意を継続する時間が長くなるに従い、窓の傾斜がなだらかになる事も明らかとなった。しかし、その影響は注意を向ける継続時間なのか、注意を向け始めてからの経過した時間(時刻)なのかは明確にはされなかった。そこで本節では、継続時間を一定とし出現頻度を上げる時刻を変化させて実験を行う。実験には、前の実験と同様に500msの無音区間を挟んだ2つの観測区間1, 2を設け、そのいずれかに信号を提示する二区間強制選択法を用いた(図3.1参照)。観測区間および信号の提示時刻を変化させ、4つの条件下において測定を行う。全ての実験において、検出信号は出現頻度を高くした時刻に提示されるTarget音とそれ以外の時刻に提示されるProbe音を設けた。Target音の前後に250ms間隔で2ヶ所ずつのProbe音を設定し、5ヶ所の時刻について測定を行った。Target音とProbe音は4:1の割合で提示した。観測区間は2000ms一定とした。Target音は観測区間の中心と中心から250ms前方へずらした場合、250ms後方へずらした場合を行った。それぞれの提示パターンを図3.16～図3.18に示す。またコントロール条件として、それぞれの時刻ごとに、その時刻においてのみ信号を提示し信号の域値を測定した。検出信号には継続時間10ms、周波数1000Hzの純音を用いた。検出信号のレベルは、それぞれの被験者の閾値付近に2dB間隔で5段階に設定し、Target音とProbe音の出現はランダムである。マスクには500Hz～2000Hzの帯域ノイズを60dB SPLで提示した。聴取は簡易無響室内で1人ずつ行い、STAX SR-A Pro(STAX社製)により両耳で行った。応答は手元の応答ボックスを用い、観測区間1又は2のどちらに信号音が聞こえたかを応答させる。本実験では、正常な聴力を有する大学生3名に対して測定を行った。

#### 実験結果

実験により得られた被験者の精神測定関数の例を図3.19～図3.33に示す。図3.19～図3.23はTarget音の位置が750msの場合、図3.24～図3.28はTarget音の位置が1000msの場合、図3.29～図3.33はTarget音の位置が1250msの場合の結果である。



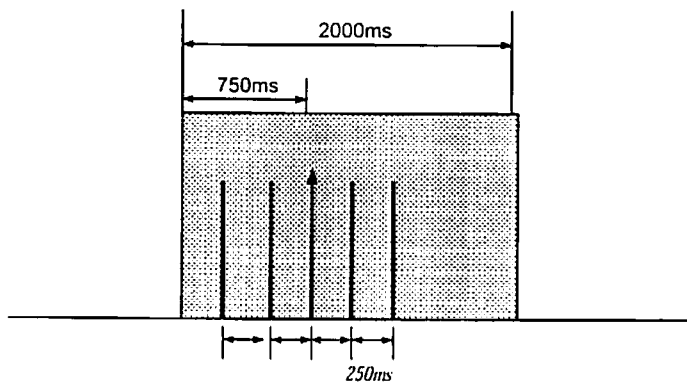


図 3.16 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における刺激の提示パターン (Targetが750msの位置)

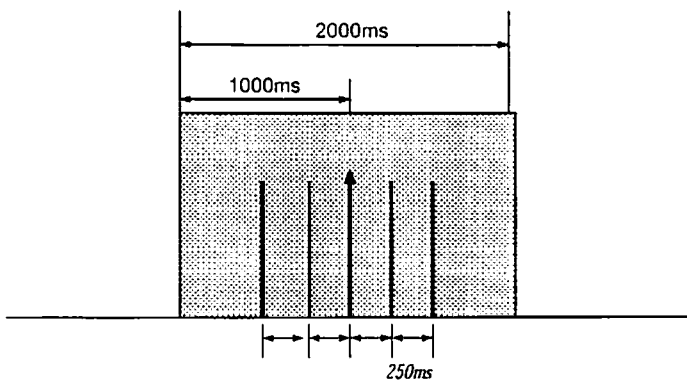


図 3.17 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における刺激の提示パターン (Targetが1000msの位置)

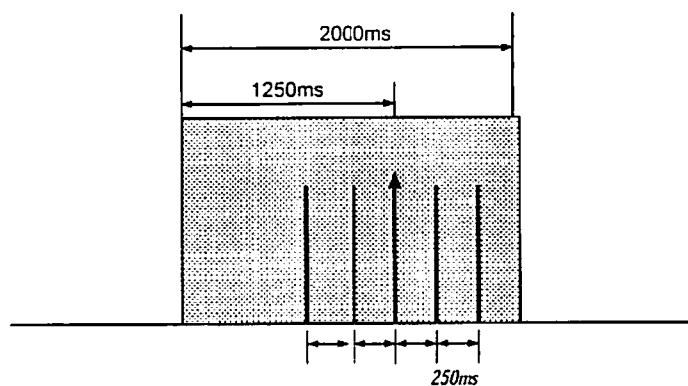


図 3.18 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における刺激の提示パターン (Targetが1250msの位置)

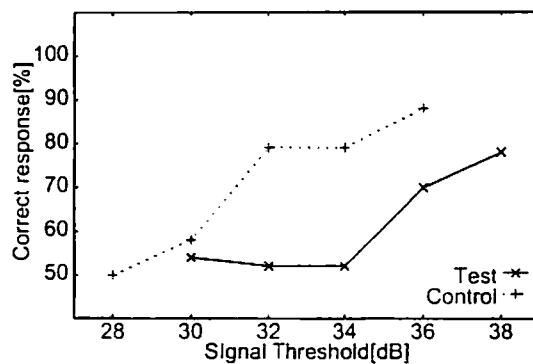


図 3.19 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Targetが750msの位置で信号が250msの位置に提示された場合)

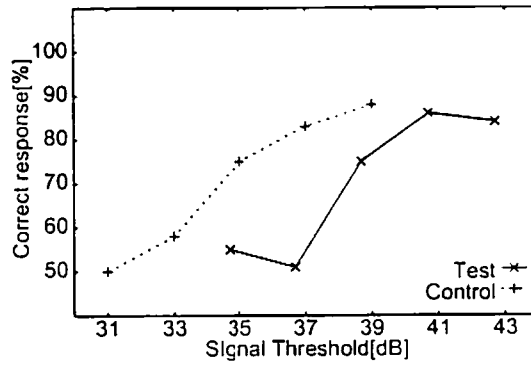


図 3.20 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 750ms の位置で信号が 500ms の位置に提示された場合)

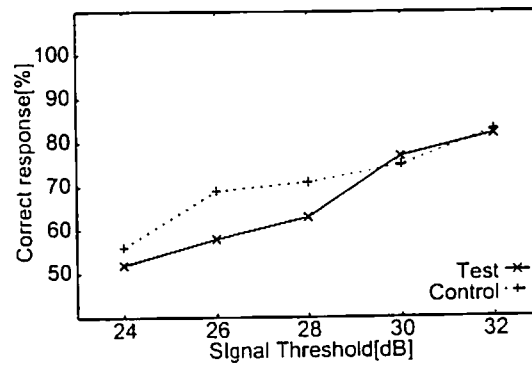


図 3.21 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 750ms の位置で信号が 750ms の位置に提示された場合)

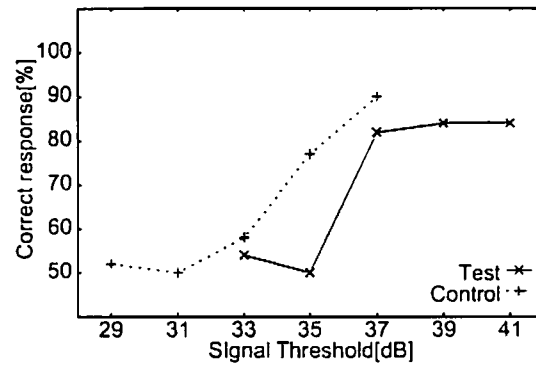


図 3.22 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 750ms の位置で信号が 1000ms に提示された場合)

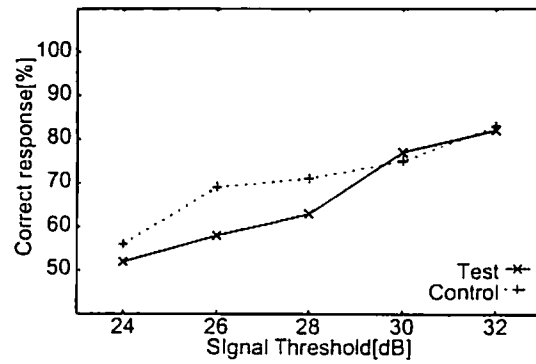


図 3.23 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 750ms の位置で信号が 1250ms に提示された場合)

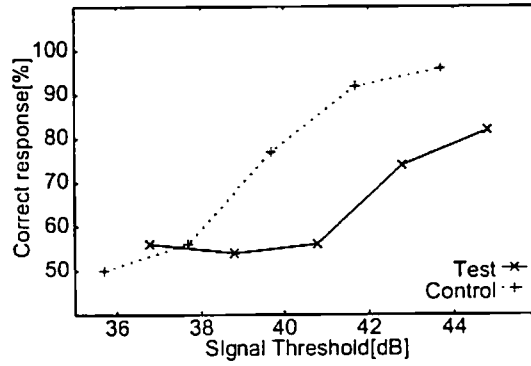


図 3.24 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 1000ms の位置で信号が 500ms に提示された場合)

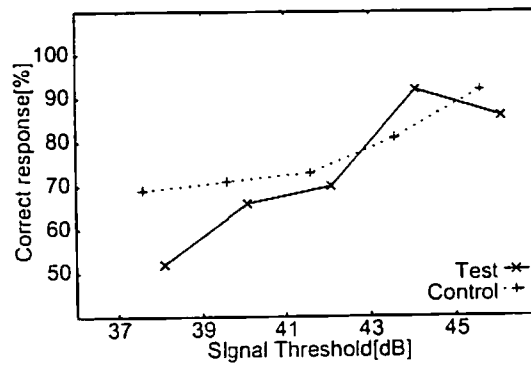


図 3.25 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 1000ms の位置で信号が 750ms に提示された場合)

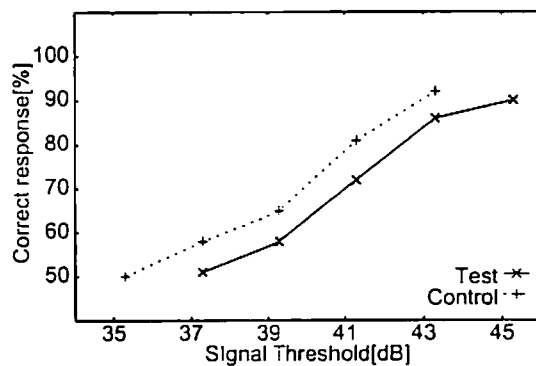


図 3.26 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が1000msの位置で信号が1000msに提示された場合)

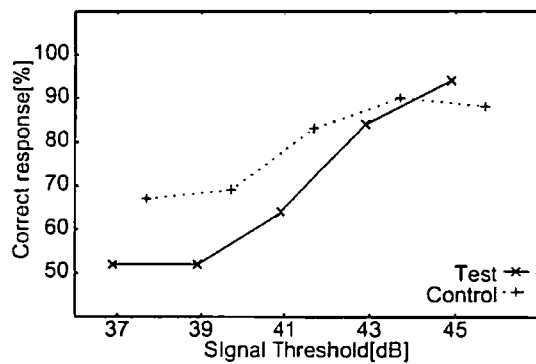


図 3.27 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が1000msの位置で信号が1250msに提示された場合)

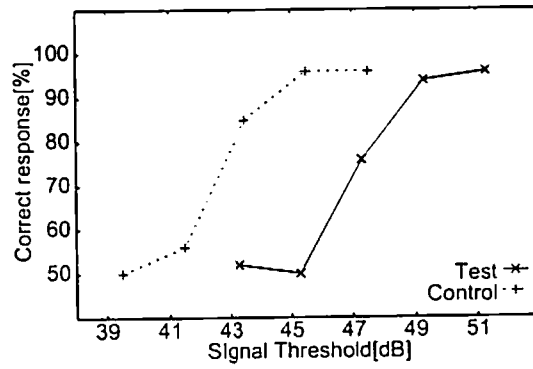


図 3.28 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数(Target が1000msの位置で信号が1500mに提示された場合)

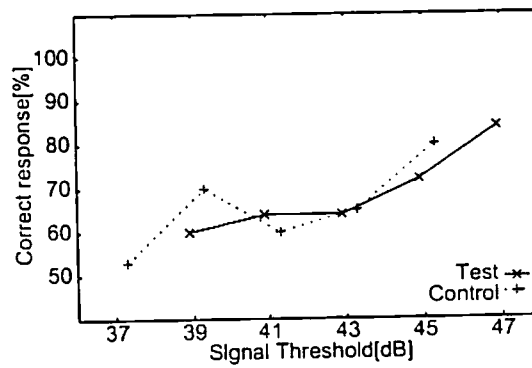


図 3.29 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数(Target が1250msの位置で信号が750msに提示された場合)

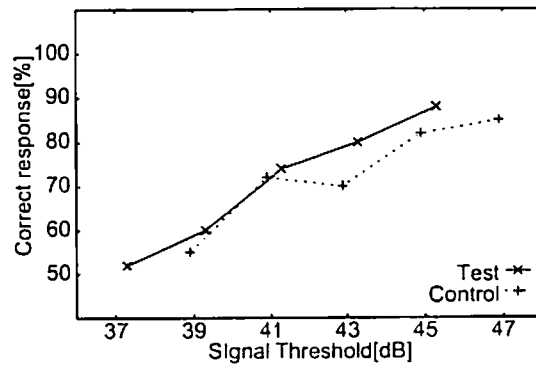


図 3.30 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 1250ms の位置で信号が 1000ms に提示された場合)

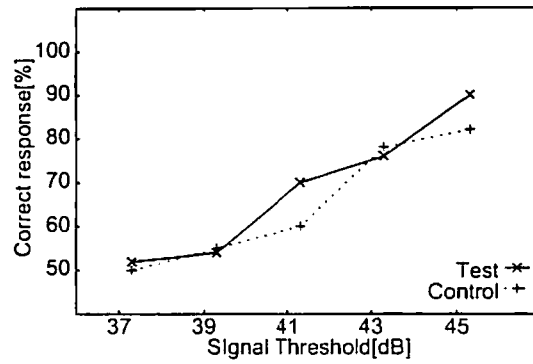


図 3.31 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 1250ms の位置で信号が 1250ms に提示された場合)



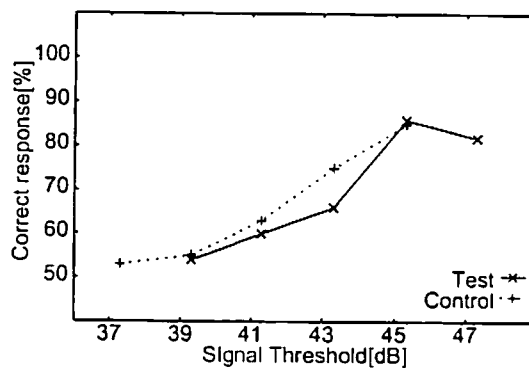


図 3.32 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 1250ms の位置で信号が 1500ms に提示された場合)

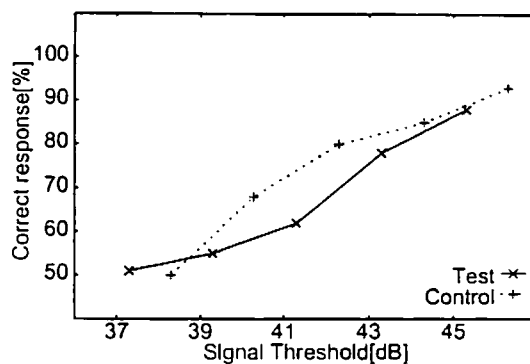


図 3.33 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数 (Target が 1250ms の位置で信号が 1750ms に提示された場合)

## 検討

測定された精神測定関数に対して最尤推定法を用いて、それぞれの時刻に提示される信号音に対する75%検出閾値を求めた。コントロール実験と本実験の結果から得られた検出閾値の差をとり、これを時間窓による減衰値とした。実験の結果を図3.34と図3.35に被験者毎と被験者3名の平均を示す。図から、観測区間の長さに関わらず、全ての被験者について時間窓が形成され、その形状は観測区間が長くなる程傾斜は緩やかになることが分かる。また図から、ノイズの立上りからTarget音までの時間が長い程、時間窓の傾斜が緩やかになることが分かる。これは、Target音までの時間が長くなるにつれ、その知覚が困難になったことが原因と考えられる。このことで観測区間が長くなる程、傾斜が緩やかになることも説明が可能である。また、ほぼ全てのグラフで、その形状はTarget音を中心に非対象である<sup>[84][85]</sup>。そして、多くのグラフに関して、その形状は前方に比べ、後方の傾斜が緩やかになっている。このことから、信号の存在を期待していた位置(Target音の位置)に信号が存在しなかったことで、再び時間窓の形成を行っているのではないかと考えることができる。Baconらは、純音の300msまたは800msの継続時間をもつマスクに対して、20msの1kHz純音の信号をマスクのオンセットから提示時間を変化させて提示して検出実験を行った<sup>[75]</sup>。実験の結果、信号とマスク周波数が同じ、または、マスク周波数が低い場合には信号の提示時刻の影響はなかった。一方、マスク周波数が高い場合には、マスクの提示時刻の中心部分で信号に対する域値が低下した。この現象をBaconらは、聴覚末梢系のチューニング曲線より説明を行っている。本実験の結果では、マスクの時間的中心だけではなく、提示頻度を変えることにより被験者の注意をコントロールできる事が明らかになった。これは、聴覚末梢系の特性だけではなく、さらに高次の処理からの外心性の影響が現れた結果であると解釈され、時間的な注意の効果と考える事ができる。

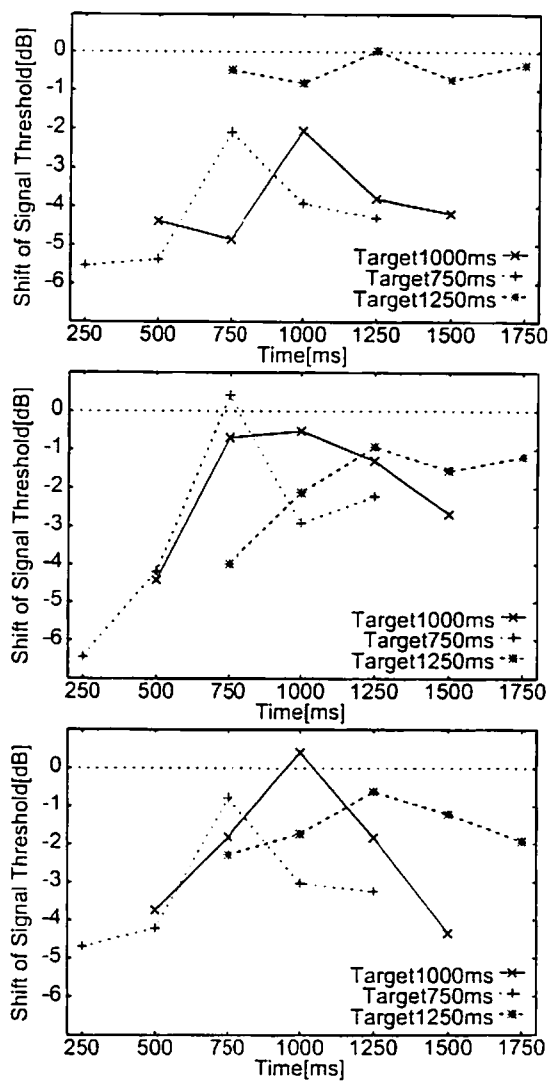


図 3.34 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数の移動量 (各被験者毎). +:Target音 750ms, ×:Target音 1000ms, \*:Target音 1250ms

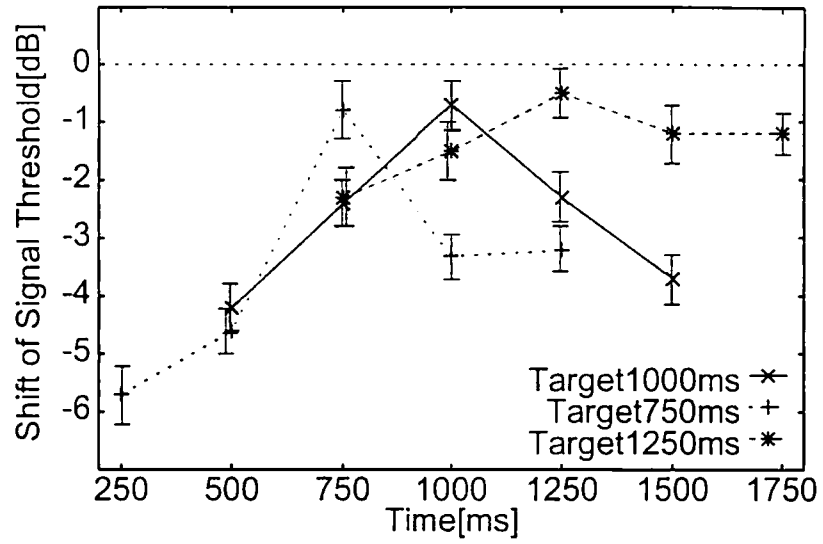


図 3.35 時間窓形成に及ぼす信号提示時刻の影響における精神測定関数の移動量 (被験者3名の平均), +:Target音 750ms, ×:Target音 1000ms, \*:Target音 1250ms

### 3.4 まとめ

本章は、信号の時間軸上での出現頻度により被験者の注意を制御し、注意を向けた時間とその前後での域値を測定した。さらに、コントロール条件での域値との差を取り、注意により形成される時間窓について検討した。実験の結果、出現頻度の高い時間では、コントロール条件との差が小さく、前後にずれると従い差が大きくなった。この事より注意を向けさせた時間を中心とする時間窓が形成されている事が確認された。また、注意を向ける継続時間に関して比較を行うと、2000msに比べて3000msの時間窓の傾斜が緩やかになっていることが明らかとなった。このことは、注意を向ける時間が長くなり、時間の知覚が困難になったことが原因と考えられる。また、ノイズのオンセットからの継続時間が長くなる程、時間知覚があいまいになり、時間窓の傾斜が緩やかになる傾向も見られた。さらに、信号の存在を期待した点に知覚ができなかった場合、時間窓の再形成を行っている事も示唆された。本章により注意により形成される時間窓は、注意の継続時間に依存しており、継続する時間が長くなるに従って、傾斜のなだらかなものとなる事が明らかとなった。これらの事により、注意時間窓には、被験者の心的な時間の影響が現れると考えられる。

## 第4章 騒音評価における注意フィルタと時間窓

### 4.1 はじめに

騒音を評価する場合の心理属性としては、大きさ(ラウドネス)の他に、音を騒音として見た場合のやかましさ(ノイジネス)やうるささ(アノイアンス)がある<sup>[86]</sup>。これらの属性は、特定する騒音が単独で存在する事を前提としておらず、暗騒音下における大きさはマスクラウドネスとして規定されている<sup>[87][88]</sup>。同様に、やかましさやうるささの場合にも暗騒音下での評価は行われるはずであるが、マスクラウドネスほどの厳密な規定はない。これは、2種類以上の騒音源からなる複合騒音においては、それらを暗騒音と特定騒音に分ける事が困難であるためであると考えられる。本来、騒音のどれを特定騒音とし暗騒音とするかは被験者の判断によるもので、複合騒音の中で最もやかましいと感じる、または、うるさいと感じる騒音が特定騒音となり、それ以外が暗騒音になる。この選択は注意の効果の一種であると考えられる。被験者のやかましい、または、うるさいという評価基準に対して注意を最も引くものが特定騒音、それ以外を暗騒音とみなす事ができる。最も注意を引かれた特定騒音のみが存在する場合と比べ、暗騒音が付加された場合、被験者の暗騒音に対して注意がまったく向けられないとは考えられず、何らかの注意の分割が起こると考えられる。その注意の分割が騒音の評価に現れ、過大評価または、過小評価などの効果を導くと考えられる。本章では、周波数軸、時間軸で測定された注意の効果の評価器として騒音評価に応用する。本研究では、被験者により特定騒音として撰択された音に対して暗騒音を提示し、特定騒音と暗騒音に対する注意の分割を調べる。そして周波数軸での注意フィルタ、時間軸での注意時間窓を用いる事により騒音評価への応用の可能性を検討する。特定騒音の評価におよぼす背景騒音の影響については、すでに現実音を用いた実験が多数あり、航空機騒音の評価は背景騒音により過小評価される報告がある<sup>[89]</sup>。これは、背景騒音に対して注意が向けられた結果、特

定騒音に対する注意分割の影響と見る事ができる。しかし、逆に過大評価される場合<sup>[90]</sup>も報告されており、単純な注意の分割だけでは説明ができない部分もある<sup>[91]</sup>。

本章で扱う特定騒音は、やかましさを測定実験においては、時間的に継続時間の短い衝撃音を用いている。これは、衝撃音は立ち上がり時間が急峻で定常部が短いため、刺激提示時間の制御が厳密にでき、継続時間が短いため注意を向けるのに適しているためである。しかし、衝撃音が定常騒音と同じ評価ができない理由のひとつに、衝撃音の急激な時間変動にもとづく驚愕効果がある<sup>[92]</sup>。この驚愕効果は、人の注意を一瞬にして向けさせる事ができるが、暗騒音の存在によりその効果は変化すると考えられる。さらに、うるささの測定実験において特定騒音は、現実に近い音声を用いている。

本節では、まず、特定騒音である衝撃音が定常的な暗騒音と複合した場合、その衝撃音のやかましさ(ノイジネス)に及ぼす暗騒音の影響について検討する。この特定騒音は純音を、暗騒音には帯域制限ノイズまたは広帯域ランダムノイズを用いている。これは、特定騒音と暗騒音のスペクトルの違いによる影響を見るためである。次に、日常生活に近い状態としての評価を得るために、ニュース番組を聴取するといった状況を設定し、日常生活において騒音となり得る有意味な騒音のうるささについて評価実験を行う。この場合、被験者の注意の対象は音声であり、それに対して有意味な騒音に対して注意が向けられるためにうるささが増加すると考えられる。また、さらに定常的な暗騒音が付加される事により、有意味性騒音の有意味性が減少するために、注意の向けられ方が変化すると考えられる。

## 4.2 衝撃音のやかましさに及ぼす暗騒音の影響

### 4.2.1 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果

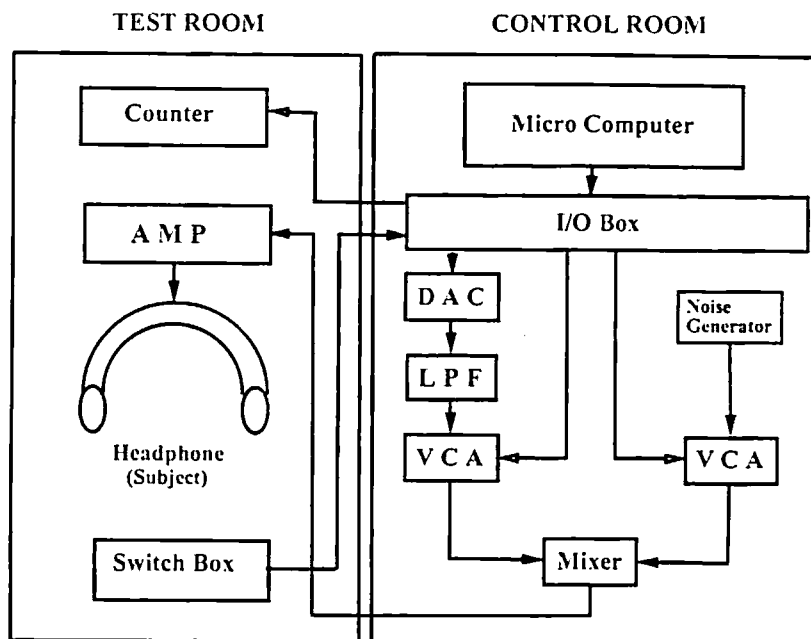
#### 実験の目的および実験方法

実験は、暗騒音の影響が衝撃音と暗騒音両方のスペクトルの違いにより変化すると考えられるため、単発の衝撃音がそれぞれ帯域幅の異なる狭帯域ノイズ中に存在する場合と、衝撃音のキャリア、暗騒音が現実音に近いと考えられる広帯域スペクトルノイズを用いた場合について行った。図4.1は実験のブロックダイアグラムであり、実験は簡易無響室で行った。被験者はヘッドホン(HP-100)により刺激の対(暗騒音を含むテスト音と比較音)を両耳で聴取する。そして、前に提示された音と後に提示された音とのどちらが「やかましいか」を判断し、それぞれ前と後に相当するボタンを押す事により応答する。その結果は、パーソナルコンピュータにより収録され、得られたデータより直接探査法を用いた最尤推定法<sup>[3]</sup>により評価値がPSE(主観的等価値: Points of Subjective equality)として求められる。

衝撃音と比較音は、正弦波(1kHz)をキャリアとし、エンベロープを振幅制御して作成したものである。衝撃音は立ち上がり、減衰時間をそれぞれ3ms/20dBと100ms/20dBとし定常部の長さを0, 30, 100msの3種類設定した。さらに提示レベルはピークレベルで85dB一定とした。比較音の提示レベルは各テスト刺激について予備実験で求めたおおよその等価レベルを中心として、上下2.5dBステップで9段階設定した。暗騒音は中心周波数が1kHzで帯域がそれぞれ(a):1/3オクターブバンド、(b):1オクターブ帯域、そして(c):2オクターブ帯域の3種類を用い50~70dBのレベルで5dB間隔に5段階設定した。衝撃音および比較音の提示パターンを図4.2に示す。

被験者は、正常な聴力を有する男子大学生6名である。被験者への教示はあらかじめ用意したものを呼んで聞かせた。教示の内容は以下の通りである。「ヘッドホンから2つの音を対にしてお聞かせします。この対になった2つの音のやかましさを比較し、やかましいと感じた方の音に対応するキーを押して下さい。なお、様々な音が含まれていますが、どの音についても全体のやかましさを比べて判断して下さい」





Schematic Diagram of Apparatus

図 4.1 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果の実験におけるブロックダイアグラム(定常部:  $X=100, 300, 0\text{ms}$ )

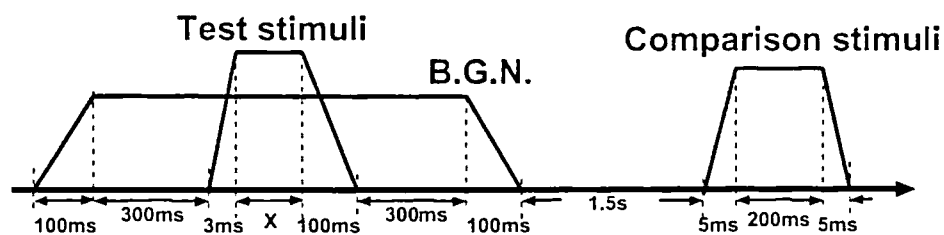


図 4.2 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果の実験における刺激の提示パターン  $X = 100, 30, 0\text{ms}$

### 実験結果

図4.3～図4.5に得られた結果を示す。横軸は暗騒音の提示レベル、縦軸はPSE(それぞれの衝撃音と等しいやかましさを生じる定常音のレベル)である。図4.3は、暗騒音の帯域が1/3オクターブ、図4.4は1オクターブ、図4.5は2オクターブの結果を示し、図中の●、▲、■は、衝撃音の定常部がそれぞれ100ms、30ms、0msの結果を示している。さらに、図中の波線は、暗騒音が存在しない場合のノイズネスを示しており、上から順に、衝撃音の定常部が100ms、30ms、0msの結果である。それぞれのグラフより衝撃音のやかましさは、衝撃音の定常部が短くなるほど小さくなっている。さらに、暗騒音のレベルが上昇するに従い、やかましさが低下している。また、3種類の暗騒音の帯域幅に関しては、定常部が100msの場合には、帯域幅の増加による違いはあまりないが、定常部が30msと0msの衝撃音に対しては、帯域幅が増加するに従いやかましさを減少が大きくなっている。

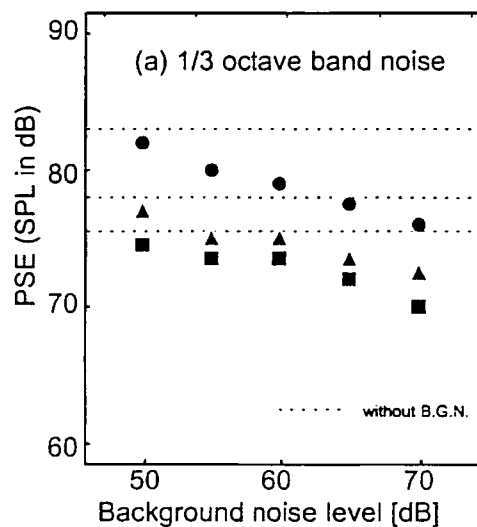


図 4.3 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果の実験におけるPSE(1/3オクターブ帯域ノイズ) ●: 100ms, ▲: 30ms, ■: 0ms, 波線: 暗騒音のないときのやかましさを示す(上から順に100ms, 30ms, 0ms)

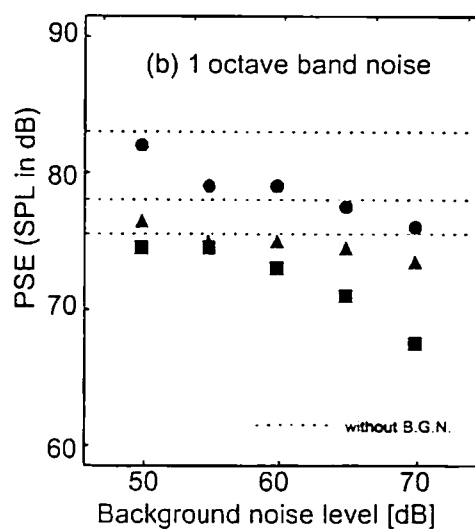


図 4.4 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果の実験におけるPSE(1オクターブ帯域ノイズ)●:100ms,▲:30ms,■:0ms. 波線:暗騒音のないときのやかましさ(上から順に100ms,30ms,0ms)

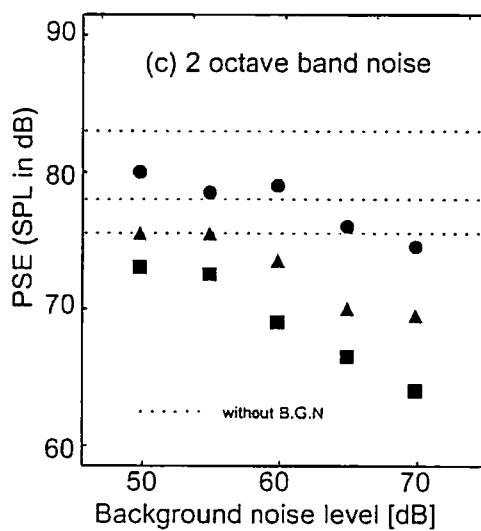


図 4.5 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果の実験におけるPSE(2オクターブ帯域ノイズ) ●: 100ms, ▲: 30ms, ■: 0ms, 波線: 暗騒音のないときのやかましさ(上から順に100ms.30ms.0ms)

## 検討

グラフより衝撃音のやかましさは、各帯域に関して暗騒音のレベルが上昇するに従い低下している。さらに、衝撃音の定常部分が短くなると低下が大きい傾向がある。また、3種類の暗騒音の帯域幅に関して定常部が30ms, 100msの場合はほとんど変わらないが、0msの場合には帯域が大きくなるに従い減少が大きくなっている。暗騒音の存在する場合の衝撃音の評価においては、暗騒音のマスクングにより衝撃音の大きさ(ラウドネス)が減少し、それに伴いやかましさ(ノイジネス)も低下すると考えられる。得られた結果からも、暗騒音のレベルが上昇するに従い衝撃音のノイジネスの低下は明かである。実験で用いた暗騒音は、単位周波数当たりに含まれる音の強さが違う。そのため、それぞれのレベルにおいて単位周波数当たりの強さを算出し衝撃音のキャリアを中心とした臨界帯域の成分のみの帯域ノイズにレベルを変換した<sup>[94]</sup>。その結果を図4.6に示す。結果より等しい暗騒音のレベルにおいて帯域幅が大きくなるに従いやかましさは変化しないか減少する傾向にある。この事は衝撃音のやかましさに影響を及ぼす暗騒音の周波数成分は、衝撃音を直接マスクする周波数成分だけではなく、他の周波数帯域の成分も含んでいることを示している。さらに、衝撃音の継続時間が短くなったためにスペクトルに広がりが生じ、その広がった周波数領域で暗騒音のマスクングを受けた影響も考えられる。やかましさ(ノイジネス)は大きさ(ラウドネス)に大きく依存するため<sup>[95]</sup>、マスクングにより衝撃音の大きさが減少し、その結果やかましさが減少したのも一因として考えられる<sup>[96]</sup>。鈴木らは、複合音が広帯域雑音にマスクされた場合のラウドネス(マスクトラウドネス)を算出する際に複合音の各周波数での臨界帯域からのマスクングだけではなく、その他の帯域成分からのマスクングを考慮するためにS.S.StevensのMARK VII<sup>[97]</sup>を用いている<sup>[98]</sup>。

この実験で用いた衝撃音は1kHzの純音であるため、1kHzを中心とした注意フィルタが形成されると考えられる。純音の信号に対する注意フィルタは、信号のピッチの強さに依存する事が第2章で分かった。本実験で得られた衝撃音の継続時間の違いはピッチの強さの違いを生じると考えられる。そのため定常部が短くなるにつれピッチの強さが減少し、注意フィルタの形状がなだらかになりやかましさが低下したと解釈できる。さらに、その低下も暗騒音のレベルが上昇するに従い、衝撃音の注意フィルタに含まれる暗騒音のエネル

ギが大きくなり、やかましさを低下が生じたと考えられる。さらに、暗騒音の周波数帯域が広がるにつれやかましさを低下が大きくなっているのは、衝撃音の継続時間が短いために注意フィルタの形状があまり鋭くないか、またはフィルタの裾野に部分に暗騒音のエネルギーが含まれた結果であると推測される。しかし、第2章により注意フィルタの幅は臨界帯域よりも狭い事が示唆されたため、臨界帯域で正規化した図4.6の結果においては帯域が大きい場合には、さらにやかましさが低下する事になる。これは、衝撃音の周波数成分に単一の注意フィルタを仮定し、被験者の注意がその周波数成分のみに集中した場合を仮定しているためだと考えられる。暗騒音の存在によりフィルタの形状が変化したか、別の周波数領域にも注意が向けられていた可能性も考えられる。時間窓に関しては、この刺激のパラメータからは明かではないが、純音の信号の立ち上がりの時間をランダムにすることにより検出能力が低下する事や<sup>[11]</sup>、衝撃音の立ち上がりを変化させる事によりやかましさが変化する結果<sup>[9]</sup>があり注意による時間窓の影響も考えられる。

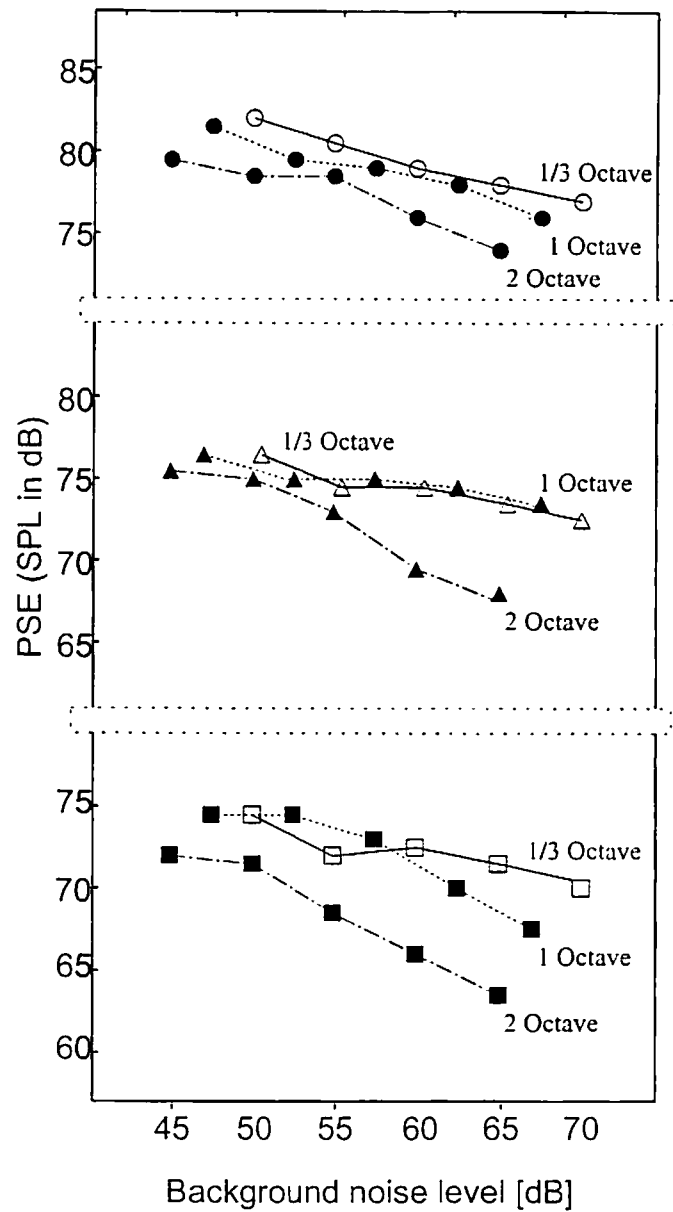


図 4.6 単発衝撃音と暗騒音のキャリアの違いの効果の実験における帯域を一定にした暗騒音下におけるPSE(衝撃音の定常部：●○:100ms, △▲:30ms, ■: 0ms)

#### 4.2.2 繰り返し衝撃音と暗騒音の時間特性の効果

##### 目的および実験方法

前節では、衝撃音のキャリアをピッチを持つ純音とし、暗騒音はピッチを持たない帯域ノイズを用いた。そのため音質の違いは明確であり2つの刺激の分離も容易であったと考えられる。しかし、現実に存在する騒音は、純音のような音ではなく帯域を持ったものが多く、周波数構造の違いではなく時間的構造の違いにより分離される場合が多い。そこで、本節では、衝撃音と暗騒音のキャリアをともに広帯域ノイズとし、時間特性が違う場合について実験を行う。

被験者は、ヘッドホン(HD414SL)より刺激音(暗騒音を含む衝撃音)を両耳で聴取する。そして、応答ランプがついたら衝撃音のみのやかましさを判断し手もとにある応答ボックスにより応答する。被験者からのデータはパーソナルコンピュータに収録される。本実験におけるやかましさを評定に関しては、衝撃音と暗騒音の周波数特性が同一または、近い場合一対比較法、ME法などの評価は難しいと考えカテゴリ判断とした。そこで、7段階のカテゴリ単極尺度を用い、1に「少しも気にならない」、7に「極めてやかましい」と範中に説明文をつけ残りの5範疇には被験者の判断にまかせた。衝撃音のキャリアは周波数特性が0dB/octave(white noise), -3dB/octave (pink noise)と現実の衝撃音には低域成分が多く含まれる事<sup>[10]</sup>を考慮し-6dB/octave(red noise)の特性を持つ広帯域ノイズを用いた。衝撃音は、この3種類の広帯域ノイズをキャリアとしてエンベロープを振幅制御したものである。衝撃音の立ち上がり、減衰時間は、それぞれ3ms/20dB と100ms/20dBと一定にし、その繰り返し率をred noiseでは10回/秒、pink noise では3回/秒と10回/秒の2種類、white noise は3回/秒を設定した。この衝撃音の提示レベルはピークレベルで55~75dBAの中で3~5種類を設定した。衝撃音のパラメータを表4.1に示す。暗騒音はノイズジェネレータからのピンクノイズを用い、40~55dBAのレベルで5dBA間隔で4段階設定し、さらに暗騒音を提示しない場合(30dBA以下)を含めて5種類を設定した。刺激の提示パターンを図4.7に示す。被験者は正常な聴力を有する男子大学生12名である。被験者へのノイジネス判断に対する教示は、あらかじめ用意したものを読んで聞かせた。教示の内容は以下の通りである。「ヘッドホンから暗騒音を含む衝撃音をお聞かせします。この衝撃音のやかましさを判断し、そのやかましさを評定値1から7までの数字で応答してください」



い。やかましさを評価の方法は、1がやかましい方の最小値，7が最大で，その中間が4になるように判断してください。」

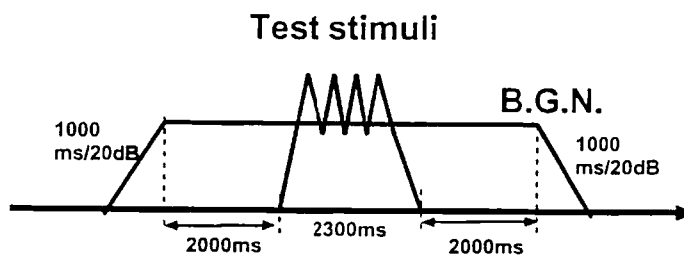


図 4.7 繰り返し衝撃音と暗騒音の時間特性の効果の実験における提示パターン

表 4.1 繰り返し衝撃音と暗騒音の時間特性の効果の実験における刺激のパラメタ

Carrier (dB/octave)	Repetition (times/s)	Peak level (dBA)	Panel in Fig.4.8
-6	10	55, 60, 65	a
-3	3	55, 60, 65, 70	b
-3	10	55, 60, 65 70, 75	c
0	10	55, 60, 65 70, 75	d

### 実験結果

図4.8に実験により得られた結果の一部を示す。横軸は暗騒音のレベル，縦軸はやかましさを評定値である。図4.8における(a)は衝撃音のキャリアがred noiseで繰り返しが10回/秒，(b)と(c)はキャリアがpink noiseで繰り返しがそれぞれ3回/秒と10回/秒，(d)はwhite noiseで3回/秒の結果である。また，図中の●，▲，×，■，▼は，衝撃音のピークレベルが順に55, 60, 65, 70, 75dBAの全被験者から得られた評定値の平均である。本来，カテゴリ判断で得られたデータは順序尺度であるので評定尺度の等間隔性を検討するために，系列範囲ちゅう判断の法則<sup>[10]</sup>を適応したところ，この方法により求められた各範囲ちゅうの間隔と評定値の間に高い相関が得られた( $r=0.976$ )ため尺度値をそのまま用いて，その算術平均値を心理尺度値とした。

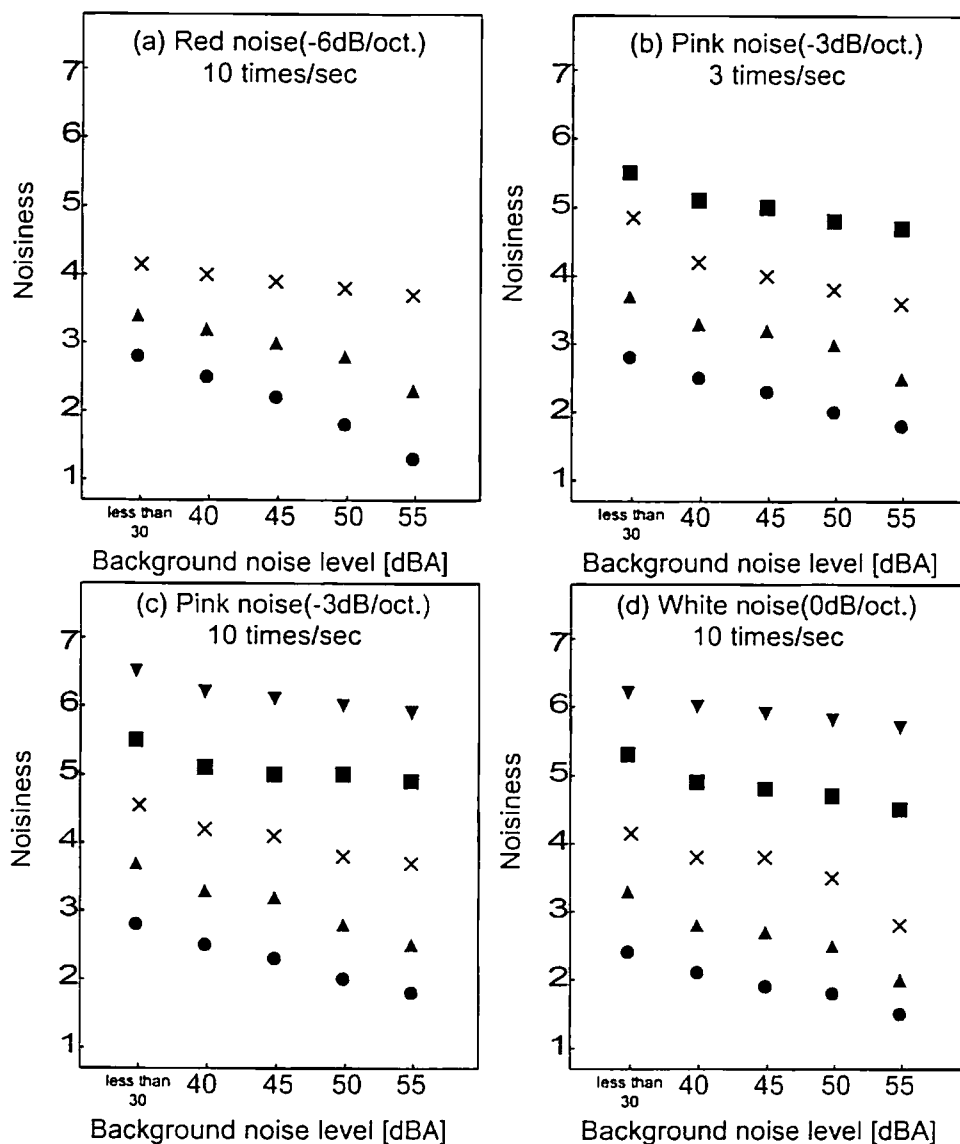


図 4.8 繰り返し衝撃音と暗騒音の時間特性の効果の実験におけるやかまし  
 きの評定値 (a):red noise, 10 times/s, (b):pink noise, 3 times/s, (c):pink noise,  
 10 times/s, (d):white noise, 10 times/s, 衝撃音のピークレベル:●:55dBA, ▲:  
 60dBA, ×:65dBA, ■:70dBA, ▼:75dBA

## 検討

グラフより、衝撃音のどのキャリアにおいてピークレベルが大きい場合にやかましさを評価する値が大きく、キャリアが pink noise の結果が他のものよりも値が大きい傾向がある。これは、衝撃音と暗騒音のキャリアが同一であるため、被験者が2つの刺激の分離が十分に出来なかった事と評価すべき衝撃音に暗騒音のパワが加わったのではないかと考えられる。さらに、全ての結果において、暗騒音が上昇するに従いやかましさは減少する傾向にある。暗騒音の上昇に伴う衝撃音のやかましさを低下は、衝撃音に対する暗騒音のマスクング効果であると考えられる。しかし、この減少の様子は、衝撃音のキャリアと繰り返し率に関係なく同様な傾向にある。この原因としては、今回用いた3種類の広帯域ノイズと繰り返し率では、その周波数構造と時間構造にあまり違いがない事によりやかましさを大きく差がない事に原因の1つがある。搬送波が同じ特性の雑音の場合、衝撃音の評価は定常音のマスクングを受けにくい事がある<sup>[77]</sup>が得られた結果からはその関係は明確ではない。

実験において用いた刺激のキャリアは、全てが広帯域ノイズであったため、注意フィルタの形成に影響を及ぼすピッチが存在しないと考えられる。そのため全ての衝撃音に対する注意フィルタは前章で述べたような明確なものではなく、さらに暗騒音とのキャリアの違いもあまりないため周波数軸上での注意フィルタでは説明することができない。この衝撃音の立ち上がりは一定にしているが、繰り返し回数が異なっている。図の(b)と(c)のピークレベルが高い場合(×:65dBと■:70dB)、暗騒音のレベルの上昇に伴うやかましさを低下は、繰り返し率が10回/秒の方が3回/秒よりも若干であるが小さくなっている。これは、ピークレベルが高く、繰り返し回数が多いほど時間窓の形成が容易になり暗騒音の影響を受けにくくなったのではないかと解釈される。

## 4.3 有意味騒音のうるささに及ぼす定常騒音の影響

### 4.3.1 認知レベルおよび最適聴取レベルの測定

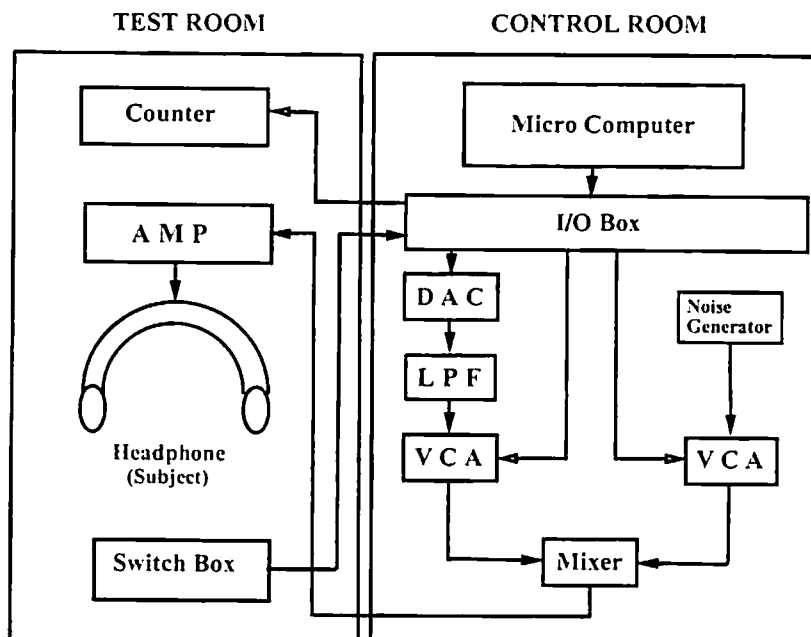
#### 目的および実験方法

前節により衝撃音のやかましさは、暗騒音のレベルが上昇するに従い低下することが明らかになった。その低下は、注意フィルタと注意時間窓によりある程度の説明ができた。前節までの実験においては、衝撃音のキャリアも純音から広帯域雑音へと拡張した事や、評価方法も一対比較法から評定尺度法にした事で、より現実に近い状況になったと考えられる。しかし、注意の概念を日常生活へ適用する事を考えると、評価すべき騒音は現実に存在するものを用い、さらに、評価に対しても音響的な要因だけではなく、非音響的な要因も考慮すべきである。最近、携帯電話の公共の場での利用が新しい騒音問題となっている。騒音レベルとしては、それほど大きくない携帯電話による会話が特に取り上げられる背景には、対象とされる音声の意味をもっている事が大きな原因だと考えられる。さらに、通常の会話と違い相手がそこに存在しないため周囲にとっては会話の内容が断片的である事、携帯電話の所有の有無やモラル・マナーに対する個人の考え方の違いなどの非音響的な要因も考えられる。そのため、本節での評価実験を行う際の主観量としてうるささ(アノイアンス)を選んだ。これは騒音による不快感の総称のことである。音によって生ずる不快感には、音自体に起因する不快感(聴覚的要因の不快感)と音に随伴して生ずる不快感(非聴覚的要因の不快感)がある。やかましさ(ノイジネス)が前者を限定して意味するのに対して、うるささは両者を包含した総体的な不快感を言う。非聴覚的要因による不快感は、音の意味や内容の他、音の聞こえる場所、時刻、状況、聞き手の状態と音源との関係など多種の要因によって規定される<sup>[102]</sup>。このようにうるささの評価は、同じ刺激を用いた場合でも個人差が生じる可能性がある。ここではそれを低減するために、「内容もなんとか聞き取れる」という印象を受けるレベルを「認知レベル」さらに「最も聞きやすい大きさ」という印象を受けるレベルを「最適聴取レベル」として、これらを被験者ごとに測定し実験での提示レベルとする。うるささの評価実験を行う前に、この認知レベルと最適聴取レベルを個人別に測定する必要がある。

その実験のブロックダイアグラムを図4.9に示す。実験は簡易無響室で行い、

被験者はヘッドホンより両耳で騒音を聴取する。認知レベルの測定のために、実験では作業音と無意味騒音を同時に提示し、作業音の聞こえ方を判断させる。判断の評定には、表4.2に示すような7段階のカテゴリー尺度を用いる。得られた応答の中から'4'の「内容も何とか聞き取れる」の時の作業音のレベルを平均したものを認知レベルとする。作業音は、ニュース番組からの10～12秒程度の音声を男声と女声の2種類でそれぞれ90文ずつ選ぶ。背景騒音としての無意味騒音は、ノイズジェネレータからのピンクノイズを用いる。無意味騒音の提示レベルは50dBAと60dBAの2種類、作業音の提示レベルは40dBAもしくは50dBAを中心として、2dBステップで上下4段階の計9段階(無意味騒音の提示レベルが60dBAのときは50dBAを中心、無意味騒音の提示レベルが50dBAのときは40dBAを中心)とする。被験者は、正常な聴力を有する成人男性6名と女性4名の計10名である。1人当たりの試行回数は表4.4に示す通り180試行とする。被験者への教示は、あらかじめ準備したものを黙読させた。教示は以下の通りである。「今からニュースの一文をお聞かせします。あなたの作業は、その音声の聞きやすさを掲示された指示語に従い評価することです。」

次に、最適聴取レベルの測定のために、作業音と無意味騒音を提示し、表4.3に示すような掲示を被験者に与え、作業音が最も聞き易いレベルを決定する。以上を1試行とし、男声と女声に対してそれぞれ5試行ずつ行い、応答によって得られた作業音のレベルの平均を最適聴取レベルとする。作業音および無意味騒音は、認知レベルの測定に用いたものと同じのものを用いる。作業音は認知レベルの測定と同じく男声と女声の2種類でそれぞれ90文を用意した。また、無意味騒音の提示レベルは50dBAと60dBAの2種類、作業音は70dBAから始まり、被験者がボタンを押す毎に、3dBステップで上下する。被験者は、認知レベルの測定で用いた10名であり1人当たりの試行回数は認知レベルの測定と同じである。被験者への教示は、あらかじめ準備したものを黙読させた。教示は以下の通りである。「今からニュースの一文をお聞かせします。あなたの作業は、その音声中最も聞きやすいレベルになるように掲示された指示語で操作する事です。操作は何度でもやり直す事ができますので最適になるまで操作し続けて下さい。」



Schematic Diagram of Apparatus

図 4.9 認知レベルと最適聴取レベルの測定実験のブロックダイアグラム

表 4.2 認知レベルの測定における揭示

1	全く聞こえない
2	かすかに何か聞こえる
3	何か聞こえるが内容まで聞き取るのは困難である
4	内容も何とか聞き取れる
5	良く聞き取れる
6	かなり良く聞き取れる
7	非常によく聞き取れる

表 4.3 最適聴取レベル測定における揭示

1 放送を大きくする
2 放送を小さくする
3 今の大きさに決定する

表 4.4 被験者一人当たりの試行回数

作業音の種類	2種類
作業音の提示レベル	9種類
無意味騒音の提示レベル	2種類
計	36種類
以上を1セットとし5回行なう	×5
試行回数	180試行



### 実験結果および検討

表4.5に認知レベルと最適聴取レベルの被験者毎の結果を示す。表4.5において、認知レベルの結果に注目すると無意味騒音のレベルに対し、全員の被験者がマイナスの値となる結果を示しており中村らの報告<sup>[104]</sup>と一致する。また、無意味騒音が50dBAの時と60dBAの時とでは認知レベルについては、無意味騒音のレベル差と同じ10dB程度の差がみられ、最適聴取レベルについては、無意味騒音のレベルとはほとんど関係せず、同じようなレベルになる傾向が見られた。

表 4.5 認知レベルおよび最適聴取レベルの測定結果)

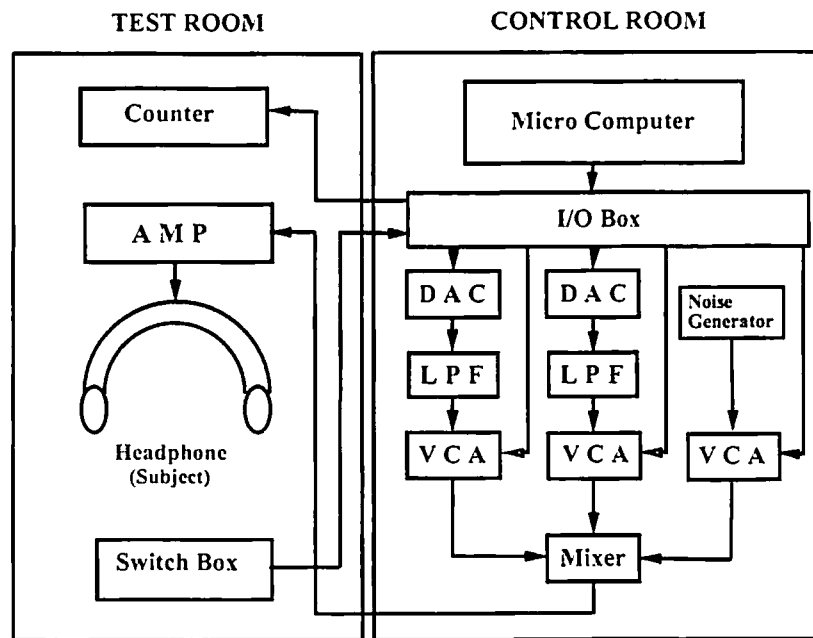
Subject	認知レベル (dBA)				最適聴取レベル (dBA)			
	50dBA		60dBA		50dBA		60dBA	
	男声	女声	男声	女声	男声	女声	男声	女声
A	41.8	41.6	51.3	51.6	71.2	69.2	71.0	69.4
B	39.6	40.7	50.8	50.8	68.4	71.2	68.5	73.0
C	42.3	43.4	51.1	52.8	53.2	57.2	59.0	61.8
D	41.9	42.5	52.4	52.9	68.0	69.6	72.2	73.4
E	40.2	40.6	49.8	50.4	55.2	56.4	59.8	61.4
F	41.8	42.7	51.6	52.4	56.0	55.0	60.4	60.6
G	45.3	45.9	53.4	54.7	61.2	61.2	67.4	67.4
H	41.5	42.5	52.0	52.9	63.6	68.4	65.0	69.0
I	41.0	40.0	49.5	49.6	62.8	64.0	64.6	66.2
J	41.2	41.6	50.3	50.3	58.4	61.6	61.0	65.0

### 4.3.2 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ

#### 目的および実験方法

前節で測定された認知レベルと最適聴取レベルを用いてうるささの評価実験を行う。実験のブロックダイアグラムを図4.10に示す。実験は簡易無響室で行い、被験者はヘッドホンより騒音を両耳で聴取する。うるささの評価には、非音響的な要因も含まれるため、被験者の騒音に対する態度を統一する必要がある。しかし、各被験者の態度を統一することは不可能に近い。そこで、本実験ではその被験者間の差を小さくする方法として、うるささを作業音に対する妨害感として評価させた。被験者には、音声として提示された文章からターゲットとなる分節を検出する作業を課した。そのため最初にターゲットとしてニュースの一文から1~2秒程度に切りわけた分節を2つ提示する。ただし、どちらか1つは必ず作業音に含まれているとする。次に作業音、有意味騒音(もしくはレベル変動ノイズ)と無意味騒音を同時に提示した。作業音が男声の場合は有意味騒音を女声とし、女声に対しては男声とした。そして作業音中にどちらのターゲットが含まれていたかを応答させ、この単語検出作業における騒音の妨害感を判断させた。妨害感の評定には、7段階のカテゴリー単極尺度を用い、'1'に「全く気にならない」、'7'に「極めてうるさくて聴くに耐えない」、'4'に「1と7の間」と説明文を付け、残りの4つについては被験者の判断に任せた。作業音は前で用いたものと同じくニュース番組の音声を用いた。有意味騒音は、作業音を計算機上で音声波形を見て文章の切れ目である無音部分を探し、1~2秒おきに切りだし、ランダムに並び替えたものを用いた。無意味騒音は、ノイズジェネレータからのピンクノイズを提示した。レベル変動ノイズは、作業音と同様にピンクノイズをキャリアとして、作業音(音声)で振幅変調したものである。作業音は、男声、女声の2種類をそれぞれ90文ずつ用意した。作業音の提示レベルは、認知レベル、最適聴取レベル、および認知レベルと最適聴取レベルの平均のレベルの3種類、また、騒音と提示レベルの組合せは、無意味騒音のみ、無意味騒音+有意味騒音(認知レベル)、無意味騒音+有意味騒音(最適聴取レベル)、無意味騒音+レベル変動ノイズ(認知レベル)および無意味騒音+レベル変動ノイズ(最適聴取レベル)の計5種類とした。無意味騒音の提示レベルは、50dBAと60dBAの2種類とし、ターゲットの提示レベルは60dBAとした。被験者一人あたりの試

行回数は、表4.6に示す通り300試行とした。被験者は、前の実験の表4.5におけるA~Jの成人男性10名である。被験者への教示は、あらかじめ用意したものを黙読させた。教示は以下の通りである。「今から2つの言葉をお聞かせした後に、騒音とニュースの一文をお聞かせします。あなたの作業は、あらかじめ提示された2つの言葉のどちらが文章の中に含まれていたかを判断する事です。さらに、その作業の後に、騒音の作業に対する妨害感を、1:全く気にならないから7:極めてうるさくて聴くに耐えない、4:1と7の中間の中から選んで下さい。」



Schematic Diagram of Apparatus

図 4.10 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験のブロックダイアグラム

表 4.6 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験における被験者一人当たりの試行回数

作業音の種類	2種類
作業音の提示レベル	3種類
騒音の組合せ	5種類
無意味騒音の提示レベル	2種類
計	60種類
以上を1セットとし5回行う	×5
試行回数	300試行

#### 実験結果

表4.7～表4.9に実験により得られた結果を示す。表中の値は10名の被験者の結果を平均したものである。表4.7は女声作業音、表4.8は男声作業音、表4.9は女声作業音と男声作業音の結果を合わせたものである。また、図4.11～図4.16は表4.7～表4.9のデータを基にグラフ化したものである。図中の横軸は作業音のレベルであり、'cognitive'は認知レベル、'mean'は認知レベルと最適聴取レベルの平均のレベル、'optimum'は最適聴取レベルである。縦軸は被験者の評価値の平均であり、うるささとして示してある。また、'○:Non-presentation'は無意味騒音のみ、'△:cognitive'は認知レベル、'□: optimum'は最適聴取レベルとそれぞれ騒音の提示レベルである。また、黒塗りは無意味騒音60dBA、白抜きは無意味騒音50dBAである。また、ターゲットに対する正当率は、騒音のレベル、作業音のレベルに対して対応関係がみられず、全体の平均は90.0%となった。ただし、作業音の聴取レベルが認知レベル、騒音の聴取レベルが最適聴取レベル時は、無意味騒音のレベルが50dBAのときに67.4%、60dBAの時に69.8%と、この2点のみに正当率の落ち込みが見られた。

#### 検討

図4.11の女声作業音の場合と、図4.12の男声作業音の場合を比較すると、ほとんど同様の結果が得られたため、男性作業音と女性作業音を一つにまとめた総計を基に検討を行なう。図4.13について見てみると最適聴取レベルの結果(図中の□、■)が無意味騒音の提示レベルに依存せずほとんど同じ結果となっていることがわかる。これは前の実験結果である表4.5より、最適聴取レベル

が無意味騒音のレベルにはあまり依存せず、ほとんど同じ値になることに関係していると考えられる。しかも、最適聴取レベルは無意味騒音の提示レベルよりかなり大きな提示レベルとなっているため同様な結果になったと考えられる。次に、無意味騒音のみと認知レベルで提示された有意味騒音との違いに(図中の○と△, ●と▲)に注目してみると、作業音が'mean'と'optimum'においては、騒音のレベルに対応した評価値の結果となっているが、'cognitive'における結果は、騒音の提示レベルと対応が取れていない。これは、無意味騒音のみの時の60dBAの時より無意味騒音50dBA+認知レベル(41.8dBA)の方が騒音の提示レベルが小さい。つまり、図4.13の作業音のレベルが'cognitive'の時の騒音の提示レベルを順に並び替えると、レベルの大きい順に白抜きから黒塗りの順(○, △, ●, ▲の順)になる。しかし、うるささの評価値は、無意味から有意味の順(○, ●, △, ▲の順)となっている。これはどの被験者についても、また、作業音が男声、女声のどちらの場合でも同じ結果となる。これにより、うるささは騒音の提示レベルにのみに依存するのではなく騒音の有意味性に影響を受けたのではないかと考えられる。しかし、有意味性のないレベル変動ノイズについてもほぼ同様の結果が得られている。表4.10に分散分析による有意味騒音とレベル変動ノイズとの検定結果を示す。この結果から、有意味騒音とレベル変動ノイズの違いを比較すると図4.13と図4.16では、全体的に有意味騒音の場合にうるささの評価値が上昇しているが統計的な有意差はない。

本実験の結果を、注意フィルタで検討すると、音声はピッチを有するため男声、女声の基本周波数に相当する領域に注意フィルタが形成されることが考えられる。作業音として用いた音声と騒音として用いた音声は、性別が異なるため別の注意フィルタが形成されることになる。さらに、レベル変動ノイズと無意味騒音にはピッチがないため注意フィルタは形成されない。本実験で得られた結果において、作業音の提示レベルが変化に対してはうるささが変化しなかったのは、作業音に対する注意フィルタが提示されたレベルに依存しないことを示している。さらに、有意味騒音に対しても形成される注意フィルタも提示レベルに依存していないと考えられ、2つの注意フィルタがお互いに影響を及ぼさなかったのではないかと考えられる。同様に、無意味騒音に対しては注意フィルタが形成されないため無意味騒音に対しても影響がないと考えられる。注意時間窓に関しては、レベル変動ノイズと有意味騒音ではピッ

チの有無の差があるが時間的な変動が似ているため、おなじような時間窓が形成されると考えられる。しかし、得られた結果を比較すると、わずかではあるが有意味騒音の方がうるささが大きい結果となっており、時間窓の形成だけでは説明する事ができない。有意味騒音に対する注意フィルタの影響も考えられ、周波数軸上での注意フィルタと時間軸上での注意時間窓が独立しているのではなく、お互いに影響した形のフィルタと窓が形成されている可能性がある。

表 4.7 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果  
(女声作業音)

作業音の 提示レベル	騒音の組合せ (提示レベル)	無意味騒音の 提示レベル	評価値	
			平均	s.d.
認知	無意味騒音のみ	50dBA	4.42	1.06
		60dBA	4.77	1.12
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	5.60	0.92
		60dBA	5.67	0.86
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	6.72	0.50
		60dBA	6.53	0.50
レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	5.07	1.21	
	60dBA	5.26	1.06	
レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	6.30	0.79	
	60dBA	6.14	0.74	
中間	無意味騒音のみ	50dBA	3.12	1.24
		60dBA	3.91	1.16
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	3.72	1.21
		60dBA	4.37	0.99
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	5.47	1.19
		60dBA	5.37	0.72
レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	3.37	1.20	
	60dBA	4.30	0.90	
レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	4.98	1.11	
	60dBA	5.05	0.96	
最適聴取	無意味騒音のみ	50dBA	2.16	0.96
		60dBA	3.23	1.14
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	2.65	1.36
		60dBA	3.65	1.16
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	4.33	1.07
		60dBA	4.70	0.90
レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	2.58	1.17	
	60dBA	3.65	1.20	
レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	3.95	1.48	
	60dBA	4.49	1.19	

表 4.8 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果  
(男声作業音)

作業音の 提示レベル	騒音の組合せ (提示レベル)	無意味騒音の 提示レベル	評価値	
			平均	s.d.
認知	無意味騒音のみ	50dBA	4.40	0.97
		60dBA	4.86	1.00
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	5.49	1.04
		60dBA	5.67	0.77
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	6.42	0.81
		60dBA	6.47	0.62
	レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	5.37	1.10
		60dBA	5.44	0.69
	レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	6.26	1.04
		60dBA	6.42	0.75
中間	無意味騒音のみ	50dBA	2.88	1.15
		60dBA	3.74	1.18
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	3.67	1.09
		60dBA	4.26	0.84
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	5.09	0.88
		60dBA	5.14	0.79
	レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	3.56	1.47
		60dBA	4.19	1.30
	レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	4.93	1.68
		60dBA	5.14	1.23
最適聴取	無意味騒音のみ	50dBA	2.16	0.91
		60dBA	3.28	1.17
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	2.74	1.37
		60dBA	3.60	1.20
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	4.21	1.13
		60dBA	4.37	1.01
	レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	2.86	1.52
		60dBA	3.60	1.46
	レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	3.91	1.55
		60dBA	4.47	1.40



表 4.9 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果  
(総計)

作業音の 提示レベル	騒音の組合せ (提示レベル)	無意味騒音の 提示レベル	評価値	
			平均	s.d.
認知	無意味騒音のみ	50dBA	4.41	1.02
		60dBA	4.81	1.06
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	5.55	0.98
		60dBA	5.67	0.81
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	6.57	0.69
		60dBA	6.50	0.57
	レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	5.22	1.17
		60dBA	5.35	0.90
	レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	6.28	0.92
		60dBA	6.28	0.77
中間	無意味騒音のみ	50dBA	3.00	1.20
		60dBA	3.83	1.17
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	3.70	1.15
		60dBA	4.31	0.92
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	5.28	1.06
		60dBA	5.26	0.77
	レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	3.47	1.34
		60dBA	4.24	1.12
	レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	4.95	1.42
		60dBA	5.09	1.11
最適聴取	無意味騒音のみ	50dBA	2.16	0.94
		60dBA	3.26	1.15
	有意味騒音 (認知レベル)	50dBA	2.70	1.36
		60dBA	3.63	1.18
	有意味騒音 (最適聴取レベル)	50dBA	4.27	1.10
		60dBA	4.53	0.97
	レベル変動ノイズ (認知レベル)	50dBA	2.72	1.36
		60dBA	3.63	1.34
	レベル変動ノイズ (最適聴取レベル)	50dBA	3.93	1.52
		60dBA	4.48	1.30

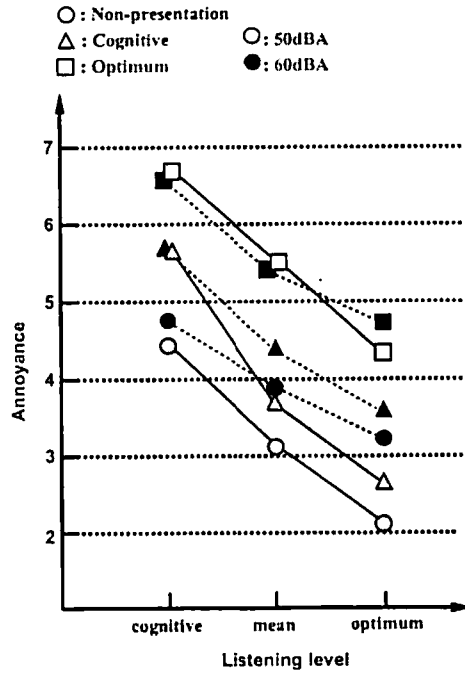


図 4.11 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果(女声作業音:有意味騒音), ○:認知レベルの有意味騒音(音声)のみ, ●:最適聴取レベルの有意味騒音のみ, △:認知レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ▲:認知レベルの音声と60dBAの無意味騒音提示, □:最適聴取レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ■:最適聴取レベルの有意味騒音と60dBAの無意味騒音提示

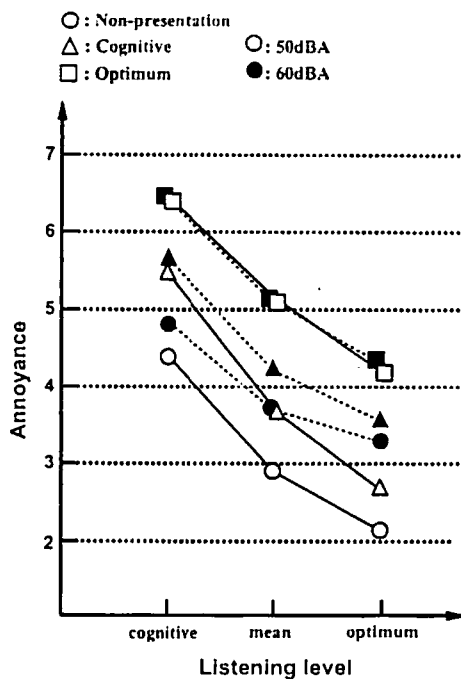


図 4.12 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果(男声作業音:有意味騒音), ○:認知レベルの有意味騒音(音声)のみ, ●:最適聴取レベルの有意味騒音のみ, △:認知レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ▲:認知レベルの音声と60dBAの無意味騒音提示, □:最適聴取レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ■:最適聴取レベルの有意味騒音と60dBAの無意味騒音提示

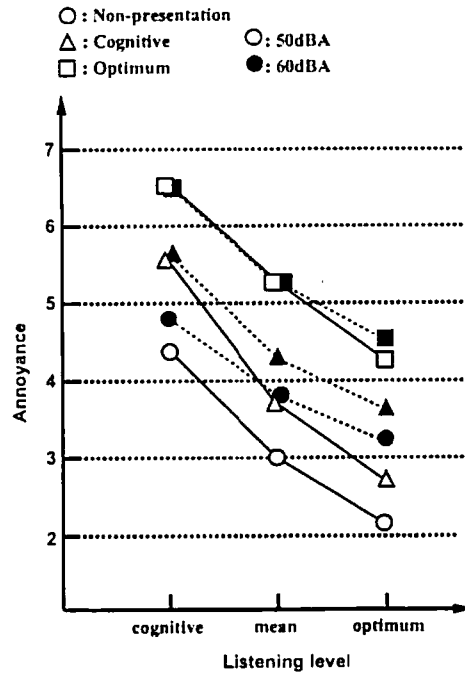


図 4.13 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果 (総計:有意味騒音), ○:認知レベルの有意味騒音(音声)のみ, ●:最適聴取レベルの有意味騒音のみ, △:認知レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ▲: 認知レベルの音声と60dBAの無意味騒音提示, □:最適聴取レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ■:最適聴取レベルの有意味騒音と60dBAの無意味騒音提示

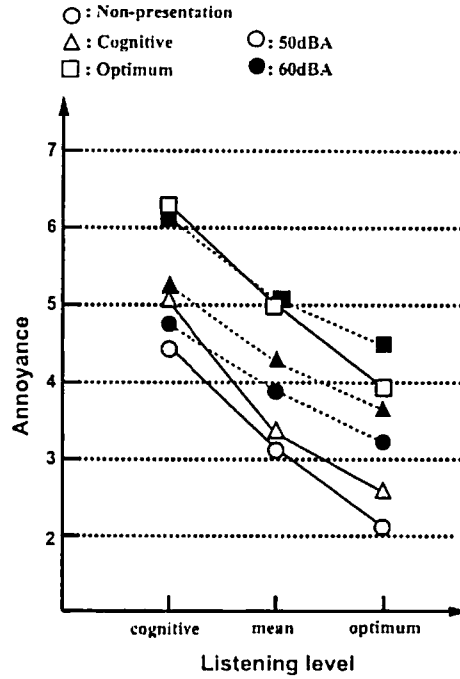


図 4.14 認知レベルおよび最適聴取レベルの放送音に対するうるささ実験の結果(女声作業音:レベル変動ノイズ), ○:認知レベルの有意義騒音(音声)のみ, ●:最適聴取レベルの有意義騒音のみ, △:認知レベルの有意義騒音と50dBAの無意味騒音提示, ▲:認知レベルの音声と60dBAの無意味騒音提示, □:最適聴取レベルの有意義騒音と50dBAの無意味騒音提示, ■:最適聴取レベルの有意義騒音と60dBAの無意味騒音提示

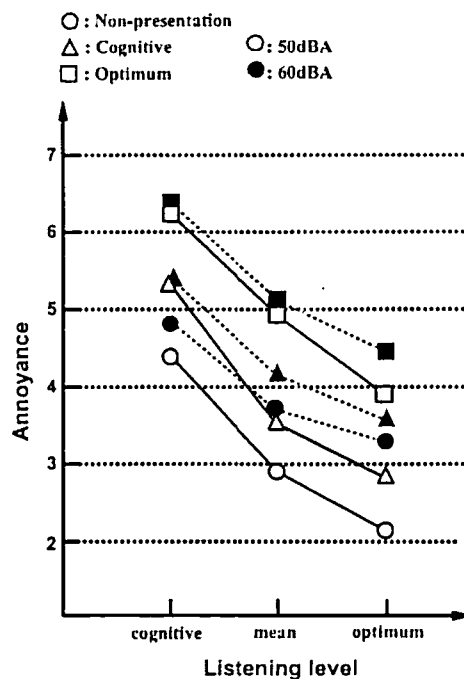


図 4.15 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果 (男声作業音:レベル変動ノイズ), ○:認知レベルの有意義騒音(音声)のみ, ●:最適聴取レベルの有意義騒音のみ, △:認知レベルの有意義騒音と50dBAの無意味騒音提示, ▲:認知レベルの音声と60dBAの無意味騒音提示, □:最適聴取レベルの有意義騒音と50dBAの無意味騒音提示, ■:最適聴取レベルの有意義騒音と60dBAの無意味騒音提示

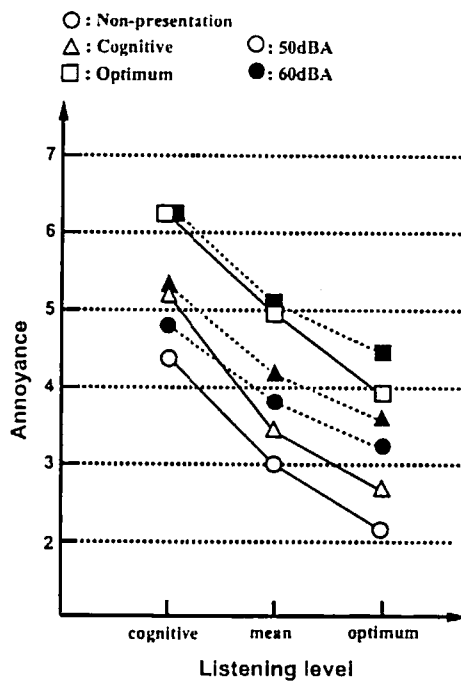


図 4.16 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の結果(総計:レベル変動ノイズ), ○:認知レベルの有意味騒音(音声)のみ, ●:最適聴取レベルの有意味騒音のみ, △:認知レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ▲:認知レベルの音声と60dBAの無意味騒音提示, □:最適聴取レベルの有意味騒音と50dBAの無意味騒音提示, ■:最適聴取レベルの有意味騒音と60dBAの無意味騒音提示

表 4.10 認知レベルおよび最適聴取レベルの音声に対するうるささ実験の分散分析の結果

無意味騒音の 提示レベル	有意味騒音の 提示レベル	作業音のレベル(F値)			2元 配置
		認知	中間	最適聴取	
50dBA	認知	× (0.247)	× (0.170)	× (0.136)	× (0.058)
	最適聴取	× (0.641)	× (0.310)	× (1.040)	× (1.836)
60dBA	認知	× (2.121)	× (0.086)	× (0.000)	× (0.544)
	最適聴取	× (0.095)	× (0.000)	× (0.121)	× (0.015)

(ただし, ×は有意水準5%以下のもの)



### 4.3.3 認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響

#### 目的および実験方法

前節では、騒音の有意味性、無意味の効果は明確ではなく、注意フィルタと注意時間窓での解釈も十分行う事ができなかった。そのため、本実験では、前節の実験において有意味性の効果が見られた認知レベル付近のみを提示レベルとする。さらに、被験者の注意を作業音に向けるために難易度を上げ、ターゲットを作業音の後に提示し、ターゲットが含まれていたかどうかという判断に作業内容を変更する。実験は、前節の結果において、女声作業音と男声作業音との間にほとんど違いが見られなかったため、本実験では作業音を男声、有意味騒音を女声とする。実験に用いた刺激(作業音、有意味騒音、レベル変動ノイズ、無意味騒音、およびターゲット)は、全て前節と同じものを用いた。また、実験のブロックダイアグラム、および妨害感の評定等の実験条件も前節のものと同じである。実験は簡易無響室で行い、被験者はヘッドホンより両耳で聴取する。まず作業音、有意味騒音(もしくはレベル変動ノイズ)、無意味騒音を同時に提示し、次にターゲットを提示する。そして作業音にターゲットが含まれていたかどうか応答させる。作業音の提示が終了後、ターゲットの提示は4回行い、被験者には、それぞれのターゲットに対して応答をさせた。その後、この作業に対する騒音のうるさを妨害感として判断させた。妨害感の評定には7段階のカテゴリ単極尺度を用い、1に「全く気にならない」、7に「極めてうるさくて聴くに耐えない」、4に「1と7の間」と説明文を付け、残りの4つについては被験者の判断に任せた。

実験に用いた刺激は、前節の実験で用いたものと同じである。作業音の種類は、男声のみで90文、有意味騒音は、女声のみで90文を用意した。作業音の提示レベルは、認知レベルのみで1種類、騒音の提示レベルは認知レベル、認知レベル $\pm$ 3dBの計3種類とした。騒音の種類は無意味騒音、有意味騒音およびレベル変動ノイズの3種類で、無意味騒音の提示レベルは50dBAと60dBAの2種類、ターゲットの提示レベルは60dBAとした。被験者は、予備実験の表4.5におけるA~Jの10名である。被験者への教示は、前節と同じものを提示しそれを黙読させた。被験者一人あたりの試行回数は表4.11に示す通り180試行とした。

## 実験結果

表4.12と表4.13に実験により得られた結果を示す。表4.12はうるささの評価値、表4.13は作業に対する正当率を示している。表中の数値は10名の被験者の分を全て平均化したものである。次に、図4.17と図4.18は表4.12のデータを基に、また、図4.19と図4.20は表4.13のデータを基に、グラフにしたものである。図中の横軸は、作業音のレベルであり、'0'が認知レベル、'+3'は認知レベル+3dB、'-3'は認知レベル-3dBを表している。縦軸は図4.17と図4.18が被験者のうるささの評価値の平均であり、図4.19と図4.20は、作業に対する正当率を示している。また、'○:meaningless noise'は無意味騒音、'△:Amplitude modulation noise'はレベル変動ノイズ、'□:Semantic noise'は有意味騒音である。

## 検討

まず、図4.17と図4.18を見てみると共に基準となるノイズレベルが0の時の○よりも□と△が大きくなっていることがわかる。これは、有意味騒音とレベル変動ノイズが無意味騒音50dBAもしくは60dBAに付加されているためである。しかし、無意味騒音のレベルが3dB上昇するだけで、50dBの場合(図中の□)を除き、ほとんどの騒音がそれよりも小さく評価されている。これは、騒音の有意味性およびレベル変動性の効果があまり大きくないということを表している。図4.17と図4.18の両方においてレベル変動ノイズよりも有意味騒音のうるささの評価値が上昇している。これらの違いに関する検定結果を表4.14に示す。この実験においては、前節の結果と違い有意味騒音とレベル変動ノイズの違いがある程度認められる結果となった。前節の実験では、作業に対する正当率が騒音のレベル等と対応関係が見られなかったが、この実験においてはある程度騒音のレベルに対応した正当率を示す結果となった。

図4.19と図4.20をみると共にほぼ右下がりの傾向を示しており、これは騒音のレベルが上昇したために正当率が低下したものである。同様に、無意味騒音50dBAと60dBAのどちらの場合についても、ほぼ無意味騒音よりレベル変動ノイズ、レベル変動ノイズよりも有意味騒音と正当率の低下が見られる。これは、うるささの評価が騒音単独のものではなくて、作業に対する妨害感として評価されている事示している。

実験の結果、作業音の聴取レベルと騒音のレベル差が大きな場合、作業に対する騒音のうるささは騒音の種類による影響よりも提示レベルに大きな影

響を受け、ほとんど騒音のレベルそのものに依存する。作業音の聴取レベルと騒音のレベル差が比較的小さい場合、作業に対する騒音のうるさは騒音の種類にも影響を受け、特に有意味音についてはうるささの評価値がかなり大きくなる。有意味音の物理特性のうちレベル変動のみがほぼ同じであるレベル変動ノイズについては、うるささの評価は有意味音よりも小さくなる。作業に対する正当率は個人差が大きく、うるささが作業に及ぼす影響も個人差が大きい事が明かになった。この実験より、作業音と騒音のレベルが近い場合には、騒音の有意味性の効果が現れ、注意フィルタの有無による影響が現れた。さらに、作業音と有意味騒音のそれぞれに対して注意フィルタが形成され、注意の分割の影響が出る事が明らかになった。しかし、単純な注意フィルタと注意時間窓だけでは十分に説明ができない部分もあり、もっと高次の意味的な情報に対する撰択のフィルタが働いていると考えられる。本結果からは騒音と音声のレベルが高い場合には、うるささが騒音の種類よりも物理的なレベルに依存することが分かり、意味的なフィルタではなく、物理的なレベルでうるささが評価されているのではないかと考えられる。しかし、両者のレベルが低い場合には、意味的なフィルタが働くために影響が出たと解釈される。さらに、刺激の時間変動の影響は受けている事より、放送に対する注意による時間窓の形成は動的に行われているのではないかと考えられる。

表 4.11 認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響における被験者一人当たりの試行回数

作業音の種類	1種類
作業音の提示レベル	1種類
騒音の提示レベル	3種類
騒音の種類	3種類
無意味騒音の提示レベル	2種類
計	18種類
以上を1セットとし10回行う	×10
試行回数	180試行

表 4.12 認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響の結果(うるささの評価値)

無意味騒音の提示レベル	認知レベル +	うるささの評価値					
		無意味騒音のみ		有意味騒音		レベル変動	
		平均	s.d.	平均	s.d.	平均	s.d.
50dBA	-3	3.4	1.24	4.7	1.21	4.3	1.15
	0	4.1	1.31	4.9	1.06	4.5	1.09
	+3	5.1	1.23	5.4	1.31	4.8	1.15
60dBA	-3	3.8	1.13	5.4	0.98	5.0	1.17
	0	4.8	1.08	5.8	0.96	5.2	1.08
	+3	6.3	0.81	6.0	0.96	5.6	0.94

表 4.13 認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響の結果(作業に対する正当率)

無意味騒音の 提示レベル	認知レベル +	作業に対する正当率(%)		
		無意味騒音のみ	有意味騒音	レベル変動
50dBA	-3	82.2	80.0	80.6
	0	81.5	74.8	77.9
	+3	77.8	72.4	73.5
60dBA	-3	85.4	78.3	78.0
	0	84.4	70.7	80.3
	+3	68.3	66.3	75.4

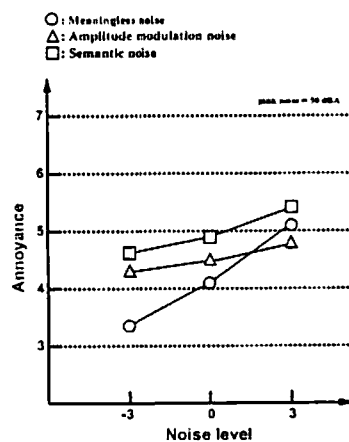


図 4.17 認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響の結果(無意味騒音 50dBA の時のうるささ), ○:無意味騒音, △:レベル変動ノイズ, □:有意味騒音

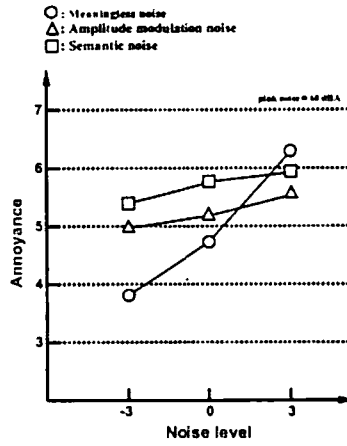


図 4.18 認知レベルの音声に対するうるささと定常音の影響の結果(無意味騒音 60dBAの時のうるささ), ○:無意味騒音, △:レベル変動ノイズ, □:有意味騒音

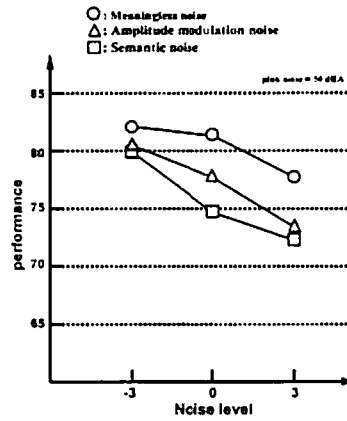


図 4.19 認知レベルの放送に対するうるささと定常音の影響の結果(無意味騒音 50dBAの時の正当率), ○:無意味騒音, △:レベル変動ノイズ, □:有意味騒音

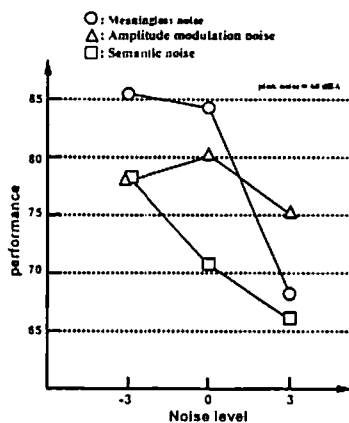


図 4.20 認知レベルの放送に対するうるささと定常音の影響の結果(無意味騒音 60dBAの時の正当率), ○:無意味騒音, △:レベル変動ノイズ, □:有意味騒音

表 4.14 認知レベルの放送に対するうるささと定常音の影響の分散分析の結果

無意味騒音の 提示レベル	作業音の提示レベル(F値)			2元 配置
	-3	0	+3	
50dBA	× (4.334)	× (6.514)	◎ (11.758)	○ (21.836)
60dBA	× (8.239)	◎ (14.905)	× (7.492)	◎ (29.881)

(ただし, ◎は有意水準1%, ○は有意水準5%, ×はそれ以下)

## 4.4 まとめ

本章では、まず衝撃騒音の評価に及ぼす暗騒音の影響について実験を行い、注意の観点からの検討を行った。その結果、純音をキャリアとする衝撃音のやかましさが暗騒音の提示レベル、帯域の幅の影響を受ける事が明かになった。この事は、第2章で述べられた周波数領域での注意フィルタが、純音の衝撃音に対して形成されるためであると考えられる。しかし、暗騒音の帯域が広がるにつれてやかましさを低下が大きくなり、単純な帯域通過フィルタのみでの解釈は難しく、暗騒音に対して注意が向けられたのではないかと考えられる。さらに、衝撃音のキャリアが広帯域ノイズになった場合には、ピッチ(高さ)がないため第2章で述べたような周波数領域での注意フィルタは形成されない。しかし、衝撃音の繰り返しが増加する事による影響は、時間窓の形成により説明が可能である。次に、音声聴取時における有意味騒音および無意味騒音のうるささの評価では、音声のピッチに対する注意フィルタにより、騒音の有意味性の効果が説明できた。しかし、それ以外の刺激のレベル依存性や、意味的な情報撰択のフィルタを考慮する必要性も示された。複合騒音の評価においては、注意フィルタと時間窓の両者を組み合わせる事により、注意の分割という観点から説明できる事が明らかとなり、本研究の有効性が示された。



## 第5章 まとめ

本研究は、心理物理学的手法により、注意に影響を及ぼす刺激の物理的パラメタを把握する事を目的としている。そのために、実験では周波数軸と時間軸とに分けて精神測定関数を測定し、周波数軸では注意により形成されるフィルタ(注意フィルタ)を、時間軸では注意により形成される時間窓(注意時間窓)を求めた。このフィルタと窓は、従来の聴覚フィルタ(Auditory Filter)と時間窓(Time Window)の一種であり、測定方法が違うものとしてとらえることができる。注意の機構が注意フィルタや注意時間窓などの定量的なモデルで記述可能であれば、現時点で聴覚末梢系で構成されている聴覚フィルタや時間窓のモデルが、さらに高次の処理機構をそなえた有効なモデルへと発展することになる。

本研究では、まず注意を向ける複合音の成分周波数の数と周波数間隔に着目して実験を行った。注意を向けるCue音の成分周波数の数は2および4とし、成分周波数の距離は1000Hzを中心として臨界帯域の内と外とを設定した。実験の結果より、複合音の成分周波数の数と間隔は成分信号の検出力(注意力)に影響を及ぼし、数と間隔の増加により注意力の低下が明らかとなった。その周波数成分の間隔が近い場合には2つの周波数成分の中心に注意フィルタを形成して聴取し、離れた場合には2つの注意フィルタで聴取していると考察できた。形成されたフィルタの帯域幅は、臨界帯域よりも臨界比に近い値となった。しかし、周波数間隔が狭い2成分の複合音をCue音とした場合でも、独立した2つの注意フィルタが測定された。次に、基本波の欠けた調波複合音をCue音として用い、複数の周波数領域に注意を向けた場合の信号検出実験を行った。実験の結果、成分周波数を2から4へと増加させる事により成分の信号に対する注意力の低下が見られた。さらに、成分周波数の信号と基本周波数に対する信号への注意力を比較した結果、成分数が増加するに従って、注意力は成分周波数から基本周波数に対して向けられる事が明らかになった。この現象は、基本周波数領域に知覚されるピッチ(高さ)の強さが、成分周波数の数に依存しているためだと考えられる。また、基本周波数に対応する純

音と Low pitch に対する注意フィルタの形状について比較した結果、Low pitch の注意フィルタは純音のそれより若干ではあるが広く設定される結果となった。さらに、周波数が上昇または下降する音に対して注意を向けた場合の注意フィルタについて実験を行った。実験の結果、被験者の注意フィルタは、周波数変化音の Over-all pitch に相当する周波数領域に形成される事が分かった。その注意フィルタの形状は、多成分複合音により基本周波数に形成されたものよりも広がっており、これは形成されるピッチの強さに影響を受けているのだと考えられる。調波複合音と同様に、注意フィルタの形状は音のピッチの強さに依存しているのではないかと推測された。

次に、信号の時間軸上での出現頻度により被験者の注意を制御し、注意を向けた時間とその前後に形成される時間窓について実験を行い、注意を向ける継続時間の影響について考察した。実験の結果、出現頻度により時間軸上での注意がコントロール事が示され、注意による時間窓(注意時間窓)の形成が確認された。さらに、注意を向ける継続時間が長くなると時間窓の形状の傾斜が緩やかになっていることが明らかとなった。このことは、注意を向ける時間が長くなり時間の知覚が困難になったことが原因と考えられる。また、注意を向けはじめてからの継続時間が長くなる程、時間知覚があいまいになり時間窓の傾斜が緩やかになる傾向も見られた。これらの事により、注意時間窓は、被験者の心的な時間の影響があると考えられる。また、信号の存在を期待した点に知覚ができなかった場合、時間窓の再形成を行っている事も確認された。

最後に、測定された注意フィルタと注意時間窓を騒音評価への適用可能性について検討した。まず、衝撃騒音の評価に及ぼす暗騒音の影響について実験を行い、注意の観点からの検討を行った。その結果、純音をキャリアとする衝撃音のやかましさが暗騒音の提示レベルの増加により低下する現象は、衝撃音に対する注意フィルタの形成により説明が可能である。しかし、暗騒音の帯域が広がるにつれてやかましきの低下が大きくなり、単純な帯域通過の注意フィルタのみでの解釈は難しく、暗騒音に対しても注意が向けられたのではないかと推測された。さらに、衝撃音のキャリアが広帯域ノイズになった場合には、注意フィルタの形成による解釈は行えず、繰り返しが増加する事により暗騒音の影響を受けにくくなる現象を注意時間窓の形成により説明が可能である。次に音声聴取時における有意味騒音および無意味騒音のうる

ささの評価では、音声のピッチに対する注意フィルタにより、騒音の有意味性の効果が説明できる。さらに、レベル変動ノイズのうるささも注意時間窓の形成により、定性的に説明が可能である。しかし、フィルタと窓だけでの解釈では十分でない現象も観測され、それら以外の刺激のレベル依存性や意味的な情報撰択のフィルタを考慮する必要性も示された。

本論文により、周波数軸での注意分割による注意力の低下を注意フィルタにより定量的に表現する事ができた。さらに、そのフィルタ幅の成分数と成分間隔への依存性も示された。複合音が調波構造をもつ場合や周波数に変化する音に対する注意はピッチに対応する周波数領域に対して向けられ、その注意フィルタは純音のそれよりも傾斜がなだらかなものとなる事を示した。また、注意により時間窓をコントロールする事ができる事を示し、その窓(注意時間窓)は注意を向けた継続時間に依存する事が示された。さらに、信号の発生を期待する心的な時間により影響を受けると解釈された。最後に、複合騒音の評価においては、注意フィルタと時間窓の両者を組み合わせる事により、注意の分割という観点から現象を説明できる事が明らかとなり本研究の有効性が示された。

実際の音声や音楽などに対する注意フィルタと時間窓は、それぞれを独立ではなく同時に形成されていると考えられる。この研究で解明された周波数軸上での注意が向けられるピッチと時間軸上での心的な時間の影響は、周波数-時間領域での注意のモデルを構築する際に考慮すべきパラメタである。これらの影響を考慮した周波数-時間軸上での注意のモデルが構築できれば、音声認識や話者分離などの分野に人間の注意機構が応用できる可能性がある。

## 謝辞

本研究を行うに際して御指導，御助言をいただいた宇佐川毅教授に心から御礼申し上げます。

本論文をまとめるにあたり有益なる御助言，適切なる御指摘をいただきました熊本大学工学部 渡邊亮教授，中村良三教授，村山伸樹教授に心から感謝いたします。

熊本電波工業高等専門学校 江端正直校長には，修士論文から直接に御指導いただき，本研究の基本概念をはじめ実験方法，結果の解釈にいたるまで，細部に渡る御討論，御助言をいただき感謝の念に絶えません。

論文提出に当たって御助言をいただいた菅木禎史助手，西村義隆技官，熊本電波工業高等専門学校 中島助手に心より感謝致します。

公私にわたって終始相談にのって下さった(株)九州松下電気 嶋田浩和氏，熊本電波工業高等専門学校 小茂田治助教授，嶋田泰幸助教授に心から感謝致します。

さらに，様々な面で支援して戴いた当講座博士前期課程修了生の野田，橋本，石躍，佐藤，姚，当講座博士前期課程2年の岩坪，園田，永田，橋口の各氏に感謝の意を表します。

最後になりましたが，聴覚実験のために貴重な時間を割いて頂いた多くの被験者の方々に最大の感謝の気持を意を表します。

## 参考文献

- [1] 東倉洋一, “人間の音声処理過程と工学への応用,” 電子情報通信学会誌, 75, 10 1038-1041(1992)
- [2] Linsey P. H. and Norman D. A., Human information processing, New York; Academic Press.(1977)
- [3] Moray N. and O'Brien T., “Signal-Detection Theory Applied to Selective Listening,” J. Acoust. Soc. Am. 42, 765-772(1967)
- [4] Cherry E. C., “Some experiments on the recognition of speech with one and two ears,” J. Acoust. Soc. Am. 25, 975-979(1953)
- [5] Broadbent D. E., Perception and communication. Oxford; Pergamon(1958)
- [6] Treisman A. M., “Verbal cues, language, and meaning in selective attention,” American Journal of Psychology, 77, 206-219(1964)
- [7] Deutsche J. A. and Deutsche, D., “Attention: Some theoretical considerations,” Psycho. Rev. 75, 80-90(1963)
- [8] Kahneman D., “Attention and effort,” Englewood Cliffs, H. J.: Prentice-Hall(1973)
- [9] Schneider W. and Fisk A. D., “Concurrent automatic and controlled visual search: Can processing occur without resource cost,” J. Exp. Psychol.: Learning, Memory and Cognition 8, 261-278(1982)
- [10] Craik F. I. M. and Lockhart F. S., “Levels of processing: A framework for memory research,” J. Verbal Learn. Verbal Behav. 11, 671-684(1979)
- [11] 鈴木真一, “聴覚情報処理に及ぼす注意の効果に関する研究,” 熊本大学博士論文(1992)

- [12] Curris W., Spieth J. F. and Webster J. C., "Responding to one of two simultaneous messages," *J. Acoust. Soc. Am.* 26, 391-396(1954)
- [13] Spence C. J. and Driver J., "Covert spatial ordering in audition: Exogenous and endogenous mechanism," *J. Exp. Psychol: Hum. Percept. Perform.* 20, 555-574(1991)
- [14] Mondor T. A. and Zatorre R. J., "Shifting and focusing auditory spatial attention," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 21, 387-409(1995)
- [15] Darwin C. J. and Hukin R. W., "Auditory objects of attention: the role of interaural time difference," *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 25, 617-629(1999)
- [16] Darwin C. J. and Hukin R. W., "Effectiveness of spatial cues, prosody, and talker characteristics in selective attention," *J. Acoust. Soc. Am.* 107, 970-977(2000)
- [17] Woods D. L., Hillyard S. A. and Hansen J. C., "Event-related brain potentials reveal similar attentional mechanism during selective listening and shadowing," *J. Exp. Psycho.: Hum. Percept. Perform.* 10, 761-777(1984)
- [18] Egan J. P., Carterette E. C. and Thwing E. J., "Some factors affecting multi-channel listening," *J. Acoust. Soc. Am.* 26 774-782(1954)
- [19] Ebata M., Sone T. and Nimura T., "Improvement of hearing ability by directional information," *J. Acoust. Soc. Am.* 43, 289-297(1968).
- [20] Greenberg G. Z. and Larkin W. D., "Frequency-response characteristics of auditory observations detecting signals of a single frequency in noise: The Probe-Signal method," *J. Acoust. Soc. Am.* 44, 1513-1523(1968)
- [21] Scharf B., Quigley, S., Aoki C., Perchy, N. and Reeves A., "Focused auditory attention and frequency selectivity," *Percept. Psychophys.* 42, 215-223(1987)
- [22] Ebata M. and Scharf B., "The effect of selective attention on auditory detection," *J. Acoust. Soc. Jpn.(E)* 13, 60-61(1991)

- [23] Dai H., Scharf B. and Buss S., "Effective attenuation of signals in noise under focused attention," *J. Acoust. Soc. Am.* 89, 2837-2842(1991)
- [24] Macmillan N. A. and Schwartz M., "A Probe-Signal investigation of uncertain-frequency detection," *J. Acoust. Soc. Am.* 58, 1051-1058(1975)
- [25] Schlauch R. S. and Hafter E. R., "Listening bandwidths and frequency uncertainty in pure-tone signal detection," *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 1332-1339(1991)
- [26] Marie-Claire B., "Auditory attentional bandwidth: Effect of level and frequency range," *J. Acoust. Soc. Am.* 98, 2475-2485(1995)
- [27] Penner, M. J., "The effects of payoffs and cue tones on detection of sinusoids of uncertain frequency," *Percept. Psychophys.* 11, 198-202(1972)
- [28] Wright B. A. and Dai H., "Detection of unexpected tones in noise: The effect of signal duration," *J. Acoust. Soc. Am.* 93, 2366-2367(1993)
- [29] Green, D. M., "Detection of auditory sinusoids of uncertain frequency," *J. Acoust. Soc. Am.* 33, 904-911(1961)
- [30] Fletcher H., "Auditory patterns," *Rev. Mod. Phys.* 12, 47-65(1940).
- [31] Creeman C. D., "Detection of signals of uncertain frequency," *J. Acoust. Soc. Am.* 32, 805-810(1959)
- [32] Buss S., Schorer E., Florentine M. and Zwicker E., "Decision rules in detection of simple and complex tones," *J. Acoust. Soc. Am.* 80, 1646-1657(1986)
- [33] Scharf B., "Spectral specificity in auditory detection: The effect of listening on hearing," *J. Acoust. Soc. Jpn.(E)* 10, 309-317(1989)
- [34] Tanner W. P., "Theory of recognition," *J. Acoust. Soc. Am.* 28, 882-888(1956)
- [35] Gundy R. F., "Auditory detection of an unspecified signal," *J. Acoust. Soc. Am.* 33, 1008-1012(1961)

- [36] Swets J. A. and Swall S. T., "Stimulus vs. Response uncertainty in recognition," *J. Acoust. Soc. Am.* 33, 1586-1592(1961)
- [37] Johnson D. M. and Hafter E. R., "Uncertain-frequency detection: Cuing and condition of observation," *Percept. Psychophys.* 28, 143-149(1980)
- [38] White B. A. and Dai H., "Detection of unexpected tones with short and long durations," *J. Acoust. Soc. Am.* 95(2) (1994)
- [39] Hafter E. R. and Kaplan R., "A role of for attention in auditory detection under conditions of frequency uncertainty," *NASA Ams Report*(1976)
- [40] Hafter E. R., Schlauch R. S. and Tang J., "Attending to auditory filters that were not stimulated directly," *J. Acoust. Soc. Am.* 94, 743-747(1993)
- [41] Hafter E. R., Saberi K., Schlauch, R. S., Plamondon, L. and Tang J., "Use of Stimulus Pre-cues to Study Processing at Various Levels of Auditory and Musical Processing," *Proc. of Second International Conference on Music Perception and Cognition*, Univ. of California, Los Angeles, CA, 22-29(1992)
- [42] Plamondon, L. and Hafter, E., "Selective attention in absolute pitch listeners," *J. Acoust. Soc. Am. Suppl.* 88, S49(1990)
- [43] Howard A. J., O'toole A. J. and Rice S. E., "The role of frequency versus informational cues in uncertain frequency detection,"(1986)
- [44] Hafter E. R. and Schlauch R. S., "Factors in detection under uncertainty," *J. Acoust. Soc. Am.* 86 (1989)
- [45] Green D. M. and Swets J. A., *Signal Detection Theory and Psychophysics*, Wiley, Newyork (1966)
- [46] Scharf B., Magnan, J., Collet U. and Charys, A. "On the role of the olivocochlear bundle in hearing: A case study," *Hear. Res.* 75, 11-26(1994)
- [47] Scharf B., Charys A. and Magnan J., "The role of the olivocochlear bundle in hearing: Sixteen case studis," *Hear. Res.* 103, 101-122(1997)



- [48] Puel J. L., Bonfils P. and Pujol R., "Selective attention modifies the active micromechanical properties of the cochlea," *Brain Res.* 447, 380-383(1988)
- [49] Zwicker E., "Critical bandwidth in loudness summation." *J. Acoust. Soc. Am.* 29, 548-557(1957)
- [50] Zwicker, E., "Subdivision of the audible frequency range into critical bands (frequenzgruppen)," *J. Acoust. Soc. Am.* 33, 248(1961)
- [51] Zwicker E. and Terhardt E., "Analytical expression for critical-band rate and critical band width as a function of frequency," *J. Acoust. Soc. Am.* 68, 1523-1525(1980)
- [52] Patterson R. D., "Auditory filter shapes derived with noise stimuli," *J. Acoust. Soc. Am.* 59, 640-654(1976)
- [53] Patterson R. D. and Nimmo-Smith I., "Off-frequency listening and auditory-filter asymmetry," *J. Acoust. Soc. Am.* 67, 229-245 (1980)
- [54] Patterson R. D. and Moore B. C. J., "Auditory filters and excitation patterns as representations of frequency resolution," *Frequency Selectivity in Hearing*, Academic, London (1986)
- [55] Moore B. C. J., Glasberg C., Plack J. and Biswas A. K., "The shape of the ear's temporal window," *J. Acoust. Soc. Am.* 83, 1102-1116(1988)
- [56] Poppel E., "Influence of pause duration on reproduction of a 2 second interval," *Bul. Psycho. Soc.* 2, 291-292(1978)
- [57] Fraisse P., "Perception and estimation of time," *Annual Review of Psychology*, 35, 1-36(1984)
- [58] James W., *The principles of psychology*, New York: Holt (1890)
- [59] Black R. A., "Memory and the experience of duration in retrospect," *Memory and Cognition*, 2, 153-160(1974)
- [60] Black R. A., George E. J. and Reed M. A., "A watched spot sometimes boils: A study of duration experience," *Acta Psychologica*, 46, 81-94(1980)

- [61] Edmonds E. M., Cahoon D. and Bridges B., "The estimation of time as a function of positive, neural, or negative expectancies," *Bulletin of the Psychonomic Society*, 17, 259-260(1981)
- [62] Andrew J. O., Moore B. C. J. and Vickers D. A., "Short-term temporal integration: Evidence for the influence of peripheral compression," *J. Acoust. Soc. Am.* 101(6), 3676-3687(1997)
- [63] Wiegrebe L. and Krumbholz K., "Temporal resolution and temporal masking properties of transient stimuli: Data and an auditory model," *J. Acoust. Soc. Am.*, 105(6), 2746-2756(1999)
- [64] Munson W. A., "The growth of auditory sensation," *J. Acoust. Soc. Am.* 19, 584-654(1947)
- [65] Zwillocki J., "Theory of temporal auditory summation," *J. Acoust. Soc. Am.* 32, 1046-1060(1960)
- [66] Viemeister F. F. and Wakefield G. H., "Temporal integration and multiple looks," *J. Acoust. Soc. Am.* 90, 858-868(1991)
- [67] Buss S., "Temporal integration and multiple looks, revisited: Weights as a function of time," *J. Acoust. Soc. Am.* 105, 2466-2475(1999)
- [68] Penner M. J. and Cudahy E., "Critical masking interval: a temporal analog of the critical band," *J. Acoust. Soc. Am.* 54, 1530-1534(1973)
- [69] Penner M. J., Robinson C. E. and Green D. M., "The critical masking interval," *J. Acoust. Soc. Am.* 52, 1661-1668(1972)
- [70] Plack M. J. and Moore B. J., "Temporal window shape as a function of frequency and level," *J. Acoust. Soc. Am.* 87, 2178(1990)
- [71] Nicolle H., Houtgast T. and Festen J. M., "Intensity discrimination of Gaussian-windowed tones: Indications for the shape of the auditory frequency-time window," *J. Acoust. Soc. Am.* 105, 3425-3435(1999)

- [72] Neuchterlein K., Parasuraman R. and Jing Q., "Visual sustained attention: Image degradation produces rapid sensitivity decreament over time," *Science* 220, 327-329(1983)
- [73] Fisk A. D. and Scheneider W., "Control and automatic processing during tasks requiring sustained attention: A new approach to vigilance," *Human Factors* 23, 737-750 (1981)
- [74] Egan J. P., Greenberg G. Z. and Schulman A. I., "Interval of time uncertainty in auditory detection," *J. Acoust. Soc. Am.* 33, 289-297(1968)
- [75] Bacon S. P. and Viemeister N. F., "The temporal course of simultaneous tone-on-tone masking," *J. Acoust. Soc. Am.* 78, 1231-1235(1985)
- [76] Tulving E., Schacter D. L. and Stark H. A., "Priming effects in word-fragment completion are independent of recognition memory," *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8, 352-373(1982)
- [77] 鈴木陽一, 熊谷正純, 稲場義明, 曾根敏夫, "衝撃音と定常騒音からなる複合騒音のラウドネス," 昭和59年東北大学電通談話会記録, 101-112(1984)
- [78] Plomp R., "The ear as a frequency analyzer II," *J. Acoust. Soc. Am.* 43, 764(1968)
- [79] Nabelek I. V., Nabelek A. K. and Hirsh I. J., "Pitch of tone bursts of changing frequency," *J. Acoust. Soc. Am.* 48, 536-553(1979)
- [80] 江端正直, 鈴木真一, 園田公一, 田尻浩章, 宇佐川毅, "信号検出における選択的注意の効果," 日本音響学会, 48, 4, 224-228(1992)
- [81] Plomp R. and Levelt W. J. M., "Tonal consonance and critical bandwidth," *J. Acoust. Soc. Am.* 38, 548-560 (1965)
- [82] Fagelson M. A. and Champlin C. A., "Auditory filters measured at neighboring center frequencies," *J. Acoust. Soc. Am.* 101, 3658-3665(1997)
- [83] Shouten M. E. H. "Identification and discrimination of sweep tone," *Perception and Psychophysics*, 37, 369-376(1985)

- [84] Irino R. and Patterson R. D., "Temporal asymmetry in the auditory system," J. Acoust. Soc. Am. 99, 2315-2331(1996)
- [85] Stecker G. C. and Hafter E. R., "An effect of temporal asymmetry on loudness," J. Acoust. Soc. Am. 107, 3358-3368(2000)
- [86] Hellman R. P., "Loudness, annoyance, and noisiness produced by Single-tone-noise complex," J. Acoust. Soc. Am. 72, 62-73(1982)
- [87] Lochner J. P. A. and Burger J. F., "Form of the loudness function in the presence of masking noise," J. Acoust. Soc. Am. 33, 1705-1711(1961)
- [88] 境, 井上, "雑音による純音の masked loudness について," 日本音響学会講演論文集, 10月, 111-112(1963)
- [89] Namba S. and Kuwano S., "An experimental study on the relation between long-term annoyance and instantaneous judgment of level-fluctuating sounds," Proc. Int. Conf. Noise Control Engineering, 837-944(1979)
- [90] Powell C. A. and Rice C. G., "Judgement of aircraft noise in a traffic noise background," J. Sound Vib. 38, 39-50(1975)
- [91] Fidell S., Tefeteller S., Horonjeff R. and Green D. M., "Predicting annoyance from detectability of low level sound," J. Acoust. Soc. Am. 66(5), 1427-1434(1979)
- [92] Namba S. and Kuwano S., "The relation between overall noisiness and instantaneous judgment of noise and the effect of background noise level on noisiness," J. Acoust. Soc. Jpn.(E) 1, 99-106(1980)
- [93] 小倉泰憲, 鈴木陽一, 曾根敏夫, "恒常法の実験結果への最尤推定法の適用," 日本音響学会聴覚研資料 H85-20, 1-8(1985)
- [94] 境, 井上, "音の大きさの制御と臨界帯域について," 音講論10月, 43-44(1965)
- [95] Hellman R. P., "Growth rate of loudness and noisiness as a function of tone location within noise spectrum," J. Acoust. Soc. Am. 75, 209-218(1984)

- [96] Hellman R. P. and Zwislocki J., "Some factors affecting the estimation of loudness," J. Acoust. Soc. Am. 33, 687-694(1961)
- [97] Stevens S. S., "Perceived level of noise by Mark VII and Decibels(E)," J. Acoust. Soc. Am. 51, 575-601(1971)
- [98] Kumagai M., Suzuki Y. and Sone T., "The loudness of repeated impact sound(A Study on the loudness of impact sound IV),", J. Acoust. Soc. Jpn.(E) 3, 231-237(1982)
- [99] 大渡恵史, 宇佐川毅, 江端正直, "衝撃音のノイジネスに及ぼす暗騒音の影響," 聴覚研究会資料 1-8(1985)
- [100] 橘秀樹, "広帯域スペクトルをもつ衝撃音を用いた聴感補正特性の検討," 昭和61年度科学研究費補助金研究成果報告書, 21-37(1986)
- [101] 田中良久, 心理学的測定法, 東大出版会, 122-126(1961)
- [102] 日本建築学会編, "騒音の評価法", 彰国社, 290(1981)
- [103] 日本建築学会編, "騒音の評価法", 彰国社, 9(1981)
- [104] 中村敏江, 難波精一朗, "低騒音レベルの音のうるささについて -近隣騒音に関する実験室的研究-, " 日本音響学会誌, 40, 302-310(1984)