

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24653211

研究課題名(和文) 能動的・選択的な音聴取能力の解明

研究課題名(英文) Investigation of mechanism of active and selective listening

研究代表者

宮内 良太 (Miyuchi, Ryota)

北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教

研究者番号：30455852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、聴覚が音を分析する際の周波数選択性が、聴覚的な注意によって能動的に変化するかどうかを明らかにするために、ノッチ雑音マスキング法を使った聴取実験によって、雑音中の純音が聞こえるか聞こえないかの閾値を測定し、その結果から、聴覚フィルタ形状の推定を行った。聴取実験の結果、ターゲット音と同じ音を事前に呈示して注意を向けさせることで、ターゲット音が聞こえやすくなることが分かった。さらに推定された聴覚フィルタの先端部分の形状が鋭くなることが分かった。これらの結果は、ヒトの聴覚システムに、聴きたいと思った音を選択的に強調するような仕組みが備わっていることを示している。

研究成果の概要(英文)：To investigate whether frequency selectivity is actively improved by auditory attention, we conducted to some hearing experiments using the notch masking procedure and estimated shapes of auditory filter. The results showed that a target signal presented with noise was easily detected if a cue of the target signal was presented before the target signal. Moreover, the shapes of auditory filter estimated from the results of the hearing experiments were sharpened with auditory attention. These results indicate that auditory attention can enhance the frequency selectivity and the enhancement must be caused by active control of the auditory periphery system.

研究分野：聴覚心理学, 音響工学

科研費の分科・細目：心理学・実験心理学

キーワード：聴覚心理 聴覚末梢 選択的注意 聴覚末梢の能動制御 遠心性フィードバック

1. 研究開始当初の背景

耳に入力された音は、まず蝸牛内の基底膜振動の共振特性によって、個々の周波数成分に分解される。聴覚皮質においても、この基底膜の周波数分解能に対応したように、個々の周波数成分にのみ特異的に反応する細胞が相対的位置関係を保ったまま並んでおり(聴覚皮質のトノトピー)、高次にわたっての聴覚情報処理の基盤となる。この周波数分解能の定量的モデル化の核となる臨界帯域説を Zwicker (1982) が提唱して以降、多くの研究によって精緻な理論体系が築かれてきた。しかし、すでに理論体系が固定化されてしまい革新的なブレークスルーが生じにくい分野ともいえる。

研究代表者らは、この聴覚末梢系の周波数分解能をモデル化した聴覚フィルタバンクの精密形状推定を精力的に行い、聴覚フィルタ形状の非対称性、入力レベルや入力刺激の時間パターンによるフィルタ形状の変化、抑圧による非線形なフィルタ形状の変化を明らかにしてきた。さらに、目的音の前に手がかりとなる音(手がかり音)をあらかじめ呈示することで聴覚フィルタ形状が変化する可能性を示した。これは、入力音の物理特性にのみ依存して変化すると考えられてきた聴覚フィルタに、聴きたい音を能動的、選択的に強調する機能があるという新しい可能性を示唆する知見である。

2. 研究の目的

本研究では、聴覚末梢系の周波数分解能が、注意といった遠心性フィードバックによって変化することを示す。聴覚情報処理の基盤となる聴覚末梢系の周波数分解能は、その重要性から体系的に調査されてきた。この末梢系をバンドパスフィルタが並んだものとしてモデル化し、その形状推定から得られたフィルタ(群)を聴覚フィルタバンクと呼ぶ。聴覚フィルタ形状は入力音の大きさや周波数によって変化することが知られているが、あくまで入力音の物理特性にのみ依存して適応的に変化すると考えられている。

本研究では、注意といった高次情報処理からのフィードバックによって基底膜振動を能動的に制御することで聴覚フィルタ形状が選択的に変化するという仮説について検討する。

3. 研究の方法

(1) ノッチ雑音マスキング法によるマスキング閾値の測定 (論文 [2], 学会発表 [8])

聴覚フィルタ形状を推定するために必要なマスキング閾値データをノッチ雑音マスキング法によって測定した。この方法で測定されたマスキング閾値から推定した聴覚フ

ィルタの出力が、生理反応を測定することで得られた聴覚末梢系からの出力と良い対応を示すことが分かっており、この分野で広く使われている標準的な方法である。先行研究の結果と比較して本研究から得られた結果の有効性を示すためにも、この方法を用いた。

ノッチ雑音マスキング法とは、ノッチを入れた帯域雑音と純音を同時に呈示し、雑音のノッチ部分に呈示した純音が聞こえたかどうかを実験参加者に判断してもらう実験法である。純音の大きさを固定し、雑音の大きさを様々に変化させて実験参加者に呈示すると、雑音が大きければ純音が聞こえないが、雑音を小さくすると純音が聞こえるようになる。この純音が聞こえるか聞こえないかの境となる雑音の音圧レベルを閾値として測定する。今回の実験では、純音と同じ周波数の音を手がかりとして直前に呈示する条件と呈示しない条件を設けた。もし注意の影響が純音の聞き取りに影響するのであれば、雑音中に存在する(かもしれない)純音と同じ音を事前に実験参加者に知らせることで、どのような音が存在するか分からない条件よりも純音の聞き取りやすさが向上するはずである。なお、一般的なノッチ雑音マスキング法では変形上下法による測定が行われてきたが、今回は恒常法を用いた。変形上下法では何度も同じ周波数の音に対する判断を行うため、繰り返しによる注意の誘導が生じると考えられるためである。このような方法で、様々なノッチ雑音条件における閾値を測定した。

(2) 注意によるマスキング閾値の変化を考慮した聴覚フィルタ関数の提案 (論文 [2], 学会発表 [7, 8])

得られたマスキング閾値のデータを用いて聴覚フィルタ形状の推定を行った。推定では、マスキングのパワースペクトルモデルを仮定し、まずは、従来の聴覚フィルタ推定で広く用いられている roex フィルタを関数として形状推定を行った。なお、近年、フィルタの低周波数側の裾の部分の広がりを表現する double-roex フィルタを用いた推定が提唱されているが、今回の研究では、フィルタ中心部に着目しているため、こちらの関数は用いていない。

研究成果の項で詳しく述べるが、roex フィルタでは、手がかり音を呈示した際の閾値データをうまく説明できないことが分かった。そこで、中心周波数近傍の形状とそれ以外の部分の形状を分けて別の関数で表す roex フィルタを新たに提案し、注意の影響を考慮した聴覚フィルタ形状の推定を行った。

(3) 心理物理的同調曲線の測定による注意の作用に関する検討 (学会発表 [4, 5, 6, 7])

聴覚フィルタ形状の推定では、フィルタの

ピーク値を正規化しているため、注意の影響によって、フィルタの中心周波数に対応する音が聞き取りやすくなったのか、その周辺の周波数の音が聞き取りにくくなったのかが分からなかった。そこで、マスキング閾値データ自体から求められる心理物理同調曲線を算出する実験を行い、その結果から聴覚フィルタ形状が変化するメカニズムについて考察した。

(4) 生理的指標を用いた聴覚的注意の測定に関する検討 (学会発表 [1])

本研究では、主に実験参加者の主観評価をもとに研究を進めてきた。しかし、主観評価には、聴覚末梢系から中枢まですべての処理の影響が加味されており、今回の研究結果が、聴覚末梢における影響であると断言するのは難しい。そこで、研究開始当初には想定していなかったが、聴覚的注意を測定するための生理的指標が存在するかどうかの追加検討を行った。

この生理指標として、本研究では耳音響放射現象に着目した。耳音響放射現象とは、音が鼓膜から蝸牛に入力された少し後に、入力音に応じた音が、蝸牛から外に向かって自発的に放射される現象である。この現象の生起には、蝸牛における能動的な作用が関わっているとされている。そのため、注意によってこの能動性に変化が生じるとすれば、それに起因する耳音響放射にも変化が生じるはずである。そこで、外耳道に挿入したプローブイヤホンから様々な周波数の組み合わせで短音列を呈示し、同時に挿入したプローブマイクロホンでその際の外耳道内の音を録音して分析した。

(5) 振幅包絡の変化が注意に与える影響の検討 (論文 [1], 学会発表 [2, 3])

今回の研究では、基礎的な知見を得ることが目的であるため、非常に単純な雑音や純音といった定常な音について主に検討した。しかし、日常に溢れる音の殆どが非定常な振幅・周波数変動を持っている。本研究成果を、今後、変動音へと拡張するための予備的検討として、変動音がどのように注意を補足するのかについての検討を追加で行った。

4. 研究成果

(1) 実験で得られたマスキング閾値を図 1 に示す。図中の黒く塗りつぶされた記号が手がかり音を呈示した条件の閾値を、白抜きの記号が手がかり音を呈示しなかったときの閾値を示す。図を見ると黒丸の記号が白丸の記号より全体的に大きくなっていることが分かる。これは、手がかり音を呈示した場合には、雑音の大きさを大きくしても純音が聞き取れたことを表しており、手がかり音を呈

示することで雑音中の純音が聞き取りやすくなっていることが分かった。

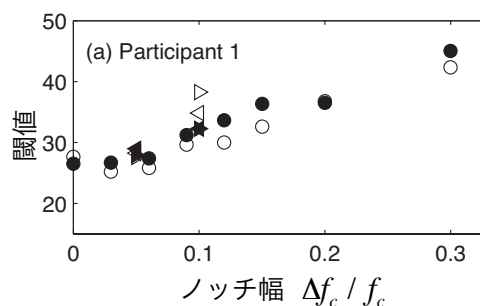


図 1 ノッチ雑音同時マスキング実験によって得られたマスキング閾値 (論文 [2] より抜粋)

(2) roex フィルタを上記のマスキング閾値データへフィッティングすることで、聴覚フィルタ形状の推定を行った。その結果、手がかり音を呈示しない条件では、推定値と測定値との誤差を表す最小二乗誤差が小さく、roex フィルタで閾値の傾向をうまく表現できることが分かった。一方で、手がかり音を呈示した条件では、最小二乗誤差が有意に大きくなる傾向が現れ、roex フィルタでの推定値と実際の測定値との誤差が大きくなることが分かった。よって、従来の roex フィルタ関数では注意による閾値の変化をうまく表現できないことも明らかとなった。

閾値の測定データから、注意の影響は聴覚フィルタの中心周波数周辺にのみ作用していることが分かっている。そこで、この中心周波数付近の形状とそれ以外の周辺の形状を別のフィルタ関数で表現するような聴覚フィルタ関数を新たに設定し、フィルタ形状推定を行った。その結果、最小二乗誤差が小さくなり、得られた閾値データの傾向を反映した聴覚フィルタ形状の推定ができた。

推定された聴覚フィルタ形状を図 2 に示す。実線と点線は、それぞれ手がかり音を呈示した場合と呈示していない場合の聴覚フィルタ形状を表している。この結果から手がかり音を呈示することで、フィルタの先端部分が先鋭化していることが分かる。このようにフィルタ形状が変化することで、例えば、聞き取りたい目的音の周波数と近い周波数を持つ妨害音が存在している場合、手がかりを呈示しないときに比べて、手がかりを呈示したときのフィルタでは、そのフィルタを通過する妨害音のレベルが小さくなる。その結果として、目的音の聞き取りやすさが向上するといえる。

以上の結果から、聴覚フィルタの形状は、手がかり音という注意を誘起する音によって選択的に変化することが分かった。これまでに聴覚フィルタ形状が入力音の大きさや周波数によって変化することは知られていたが、先行して呈示された音の周波数を中心

周波数とするフィルタが選択的に変化することは、本研究で初めて明らかになった知見である。

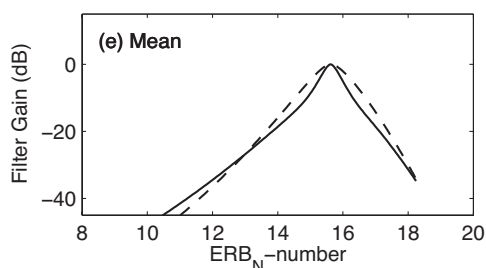


図 2 推定された聴覚フィルタ形状(論文 [2] より抜粋)

(3) 図 2 より、聴覚フィルタの先鋭化は、中心周波数の周辺周波数に対するゲインが小さくなったために生じたように見える。しかし、二つのフィルタ関数のピークのゲインが 0 dB であることから分かるように、フィルタの形状推定ではピークを正規化している。そこで、先鋭化が生じるメカニズムをさらに詳しく考察するために、新たに同時マスクングの閾値データを収集し、閾値から直接算出される心理物理的同調曲線を測定した。

測定された心理物理的同調曲線を見ると、聴覚フィルタと同様に先端部分が先鋭化する傾向が得られた。さらに、この先鋭化は、中心周波数の周辺の周波数に対するマスクング閾値でのマスクレベルの上昇によって生じていることが分かった。これは、同じ大きさの音をマスクするためにはより大きな音圧レベルが必要であることを意味している。つまり、手がかり音によってその音の周辺周波数の音に対する興奮が抑制され、その抑制効果によって先鋭化が生じることが明らかとなった。さらに、信号音の周波数が手がかり音の周波数と異なる場合は、このような閾値の変化が現れないことも明らかとなった。この結果は、手がかり音による注意の誘導という遠心性の情報によって、特定の周波数に選択的に聴覚末梢系の能動的増幅作用の抑圧効果が生じ、周波数選択的に変化が生じるという本研究の作業仮説の妥当性を支持するものである。

(4) ただし、マスクング閾値測定のような主観実験の結果のみでは、末梢系の働きのみを反映している客観的指標として十分ではない。そこで、聴覚末梢系の能動性を反映していると考えられている耳音響放射を、注意の生理的指標に用いることができないかの検討を行った。

実験では、同じ周波数の音を連続的に呈示したときの耳音響放射と複数の周波数の音をランダムに呈示したときの耳音響放射とをそれぞれ測定し、放射された音のスペクトル

ル形状を比較した。その結果、ランダムパターンに比べて繰り返しパターンの場合に耳音響放射のスペクトルピークの最大値が大きくなり、スペクトル形状が鋭くなることが分かった。これは、繰り返される音の周波数に注意を向けることで、放射される音のスペクトル形状が純音に近づくことを表している。耳音響放射は、蝸牛システムの能動性に起因するといわれており、注意によって、能動性に変化が生じることを客観指標でも示すことができた。

(5) 次のステップでは、本研究で得られた成果を実際の音に対する注意の研究へと発展させる必要がある。そのためには、音刺激のどのような特徴が聴覚的注意に影響するのかを知る必要がある。そこで、音刺激の振幅包絡変動に着目し、単純な振幅変調音と音声を用いた実験を行った。その結果、振幅包絡変動の違いにより音源の聞き取りが向上すること、振幅包絡に含まれる変調スペクトルに言語情報を知覚するために重要な特徴が含まれていることが分かった。これらは、研究当初の目的に直接関係のある成果ではない。しかし、今後の聴覚的注意の研究において、音刺激の顕著性をコントロールすることができるという知見は非常に重要であり、次の研究につながる成果も得られたといえる。

以上をまとめると、本研究では、注意といった高次情報処理からのフィードバックによって、注意を向けていない周波数に対する基底膜振動を能動的に抑圧制御することで、注意を向けた周波数の音を選択的に聞き取りやすくする仕組みが存在する知見を得ることができた。さらに、耳音響放射を用いた聴覚的注意の客観的測定法や、振幅変調成分の制御による注意のコントロール法といった次の研究につながる成果も得ることができた。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

1. Yuta Yano, Ryota Miyauchi, Masashi Unoki, & Masato Akagi. Study on detectability of signals by utilizing differences in their amplitude modulation. *Journal of Signal Processing*, 査読有, 16(6), (2012), 623-627.
2. 木谷俊介, 宮内良太, 鶴木祐史. ノッチ雑音同時マスクングデータから推定された聴覚フィルタの同調特性に手がかり音呈示が与える影響, *日本音響学会誌*, 査読有, 68(11), (2012), 546-556. (日本音響学会佐藤論文賞受賞).

〔学会発表〕（計 8 件）

1. 木谷俊介・濱田康弘・宮内良太・鶴木祐史, 耳音響放射を用いた聴覚的注意の測定手法に関する予備的検討, 日本音響学会聴覚研究委会, 2014 年 2 月 8-9 日, 沖縄.
2. 西野恭生・宮内良太・鶴木祐史, 音声の各周波数帯域の振幅包絡に含まれる言語情報, 日本音響学会聴覚研究会, 2013 年 10 月 10-11 日, 神戸.
3. 西野恭生・宮内良太・鶴木祐史, 音声の振幅包絡の変調成分が言語情報の取得に与える影響, 平成 25 年度電気関係学会北陸支部連合大会, 2013 年 9 月 21-22 日, 金沢 (日本音響学会北陸支部優秀論文発表賞受賞) .
4. Shunsuke Kidani, Ryota Miyauchi, and Masashi Unoki, Study on effects of presence of cue-tone on psychophysical tuning curves. International Congress on Acoustics (ICA), 2 - 7 June, 2013, Montreal (Palais des congrès de Montréal), Canada.
5. 木谷俊介・宮内良太・鶴木祐史. 心理物理的同調曲線における手がかり音呈示の効果の検討. 日本音響学会 2013 年春期研究発表会, 2013 年 3 月 13-15 日, 東京.
6. 木谷俊介・宮内良太・鶴木祐史. 同側耳への手がかり音の呈示による心理物理的同調曲線の変化に関する検討, 日本音響学会聴覚研究会, 2013 年 2 月 2-3 日, 金沢.
7. 木谷俊介・宮内良太・鶴木祐史, 手がかり音呈示が聴覚フィルタの同調特性に与える影響. 日本音響学会 2012 年秋期研究発表会, 2012 年 9 月 19-21 日, 長野.
8. Shunsuke Kidani, Ryota Miyauchi, and Masashi Unoki, Effect of presentation of cue tones on active tuning of auditory filters derived from simultaneous notched-noise masking, International Symposium on Hearing (ISH2012), 23-27 July, 2012, Cambridge, U.K.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

宮内 良太 (MIYAUCHI RYOTA)
北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：30455852

(2)研究分担者

鶴木 祐史 (UNOKI MASASHI)
北陸先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号：00343187

木谷 俊介 (KIDANI SHUNSUKE)
NTT コミュニケーション科学基礎研究所・リサーチアソシエイト
研究者番号：70635367
(H24 年度のみ)