

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 6 日現在

機関番号：13302

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13158

研究課題名(和文) 耳音響放射を用いた聴覚的注意の推定

研究課題名(英文) Estimation of auditory attention with measurement of oto-acoustic emission

研究代表者

宮内 良太 (Miyuchi, Ryota)

北陸先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・助教

研究者番号：30455852

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：耳音響放射が聴覚的注意の影響によって変化するかどうかを確かめるために、音刺激の音圧レベルや周波数、時間変化、音列の呈示パターンを操作した刺激を用いて耳音響放射の測定を行なった。研究の結果、注意と直接関係する耳音響放射の特性変化を見つけることはできなかった。しかし、耳音響放射には、刺激入力後に即時的に現れる成分と、ある程度の時間遅れをもって現れる成分とが混合して含まれており、高次の脳内処理による遠心性の制御は、その処理にかかる時間分の遅れを持って蝸牛のふるまいに影響を与えることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To investigate whether auditory attention affects otoacoustic emission (OAE), OAEs were measured with various sound pressure levels and frequencies presented in various patterns of sound sequence. The results showed that there are no acoustical features of the OAEs to suggest the effects of auditory attention. However, the results indicated that OAE has two different components, and one component has the delay time which seems to be from post-stage of the auditory peripheral.

研究分野：聴覚心理学

キーワード：耳音響放射 聴覚的注意 能動的聴取 聴覚末梢

## 1. 研究開始当初の背景

ヒトの聴覚末梢系にある外有毛細胞にはモーター蛋白質が含まれており、入力音に同期してダンスをするように細胞を伸縮させることができる。この伸縮運動によって入力音の振幅が増幅され、小さな音でも聴き取りやすくなると同時に、その副産物として、耳から自発的な音が外界に放射されるという不思議な現象が生じる。この現象を耳音響放射と呼ぶ。

耳音響放射は、1977年に Kemp によって報告された現象である。この現象は、入力音を精緻に分析するために外有毛細胞の伸縮運動を能動的かつ非線形に制御する聴覚の働きに由来していると考えられている。また、測定の際に聴取者のレスポンスが必要無いため、乳幼児の聴覚機能検査法としてすでに用いられている。臨床での使用には医学的な知見や現象の恒常性が問題となるため、耳音響放射と聴力障害との関連性や耳音響放射を効果的に測定するための手法に関する研究は行われている。しかし、入力音の時間変化と耳音響放射の特徴変化との因果関係を系統的に調査した研究はない。

## 2. 研究の目的

本研究では、入力音の時間-周波数形状や音列パターンをコントロールすることで聴覚的注意を変化させた刺激を用いて耳音響放射を測定し、注意の変化と耳音響放射の音響特徴変化とを対応づけて分析する。これにより、聴取者が、どの音に注意を向けて聴いているのかを、耳音響放射という客観的な生理指標の音響分析によって推定可能かどうかについて検討する。

申請者らの聴覚的注意に関する研究では「注意はヒトが持つ能動性の重要な要素の一つである。よって、聴覚末梢における能動制御にも注意の影響が現れるに違いない」という着想で心理実験を行い(挑戦的萌芽研究(H24-H25, 24653211)の支援により実施)、聴き取って欲しい音をあらかじめ聴取者に知らせることで、聴覚末梢系における周波数分解機能をモデル化した聴覚フィルタ形状が変化することを示した(木谷ら, 2012)。これは、ある音に対する聴覚的注意の情報が遠心性経路を通して聴覚末梢系にフィードバックされ、外有毛細胞の伸縮運動を能動的に制御している可能性を示唆している。もしこの仮説が正しいのであれば、外有毛細胞の伸縮動作に起因して発生する耳音響放射にも聴覚的注意による変化が表れるはずである。

## 3. 研究の方法

(1) 基礎的な耳音響放射の特性解析(学会発表 [4])

短音やクリック音によって誘発される耳音響放射は、音圧レベル 10 dB から最大でも 30 dB 程度と小さい。そのため、同じ音を複数回連続して呈示し、その加算平均をとることで刺激に同期して発生する音のみを観測することが一般的である。しかし、注意の研究では、音圧レベルや周波数の異なる音を組み合わせることで呈示し、聴覚的注意を目的に合わせてコントロールする必要がある。そこで、聴覚的注意と耳音響放射との関連性を検討する前に、呈示刺激の音圧レベルや周波数、呈示する音の組み合わせ方を系統的に変化させた時に、耳音響放射音の音響特徴がどのように変化するのかを検討した。

(2) 同時に呈示された雑音が耳音響放射に与える影響(学会発表 [2, 3])

聞き取りたい目的音と同時に雑音が呈示されると目的音の聞こえが悪くなる。これは、雑音の呈示によって、目的音に対応する外有毛細胞への抑制性の遠心性投射が発生したためであると考えられる。しかし、短音と雑音の周波数関係と耳音響放射の特性変化との関係は詳しく分かっていない。そのため、外有毛細胞への遠心性の抑制がどの周波数領域に投射されているのかを検討できない。そこで、帯域雑音を同時呈示した際の耳音響放射を測定し、雑音の周波数配置による耳音響放射の振幅への影響を検討した。

(3) 音の出現頻度が耳音響放射に与える影響(学会発表 [4])

注意の研究では、複数の音を継時的に呈示し、注意を誘導したい音の出現頻度をコントロールすることで、その音に対する注意の割合を変化させるオドポール刺激を用いる方法が一般的である。そこで、目的音の音列中での出現頻度を変化させ、そのときに耳音響放射がどのように変化するのかを検討した。

(4) 耳音響放射の時間応答解析による発生機序の推定(学会発表 [1])

耳音響放射は、外有毛細胞の能動的な伸縮に起因して外耳道内に音が放射される現象である。外有毛細胞には、中枢からの遠心性神経が多く繋がっており、入力周波数に対して外有毛細胞が能動的に伸縮することで周波数分解能が向上すると考えられている。この伸縮運動に起因して、耳音響放射が外耳道内に放射されるといわれている。しかし、この能動性を制御する遠心性の情報が、どういった経路で外有毛細胞に伝わっているのかについては明らかでない。仮に耳音響放射が刺激音の周波数によって引き起こされる基底膜振動のピークからの反射であるとする、刺激音の立ち上がりから耳音響放射音の

立ち上がりまでの時間差は、蝸牛遅延の 2 倍になるはずである。一方、刺激音に起因する聴神経の活動をフィードバックすることで初めて生じるのであれば、そのフィードバックにかかる時間だけ耳音響放射音の立ち上がりが時間的に後方にずれるはずである。そこで、刺激音の立ち上がり・立ち下り時間を変化させて耳音響放射を計測し、その時間応答から耳音響放射の発生機序について考察する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 基礎的な耳音響放射の特性解析 (学会発表 [4])

図 1 に、1000 Hz の純音 (図 1 (a)) を呈示して測定した耳音響放射の時間波形 (図 1 (b)) とその音のスペクトログラム (図 1 (c)) を示す。

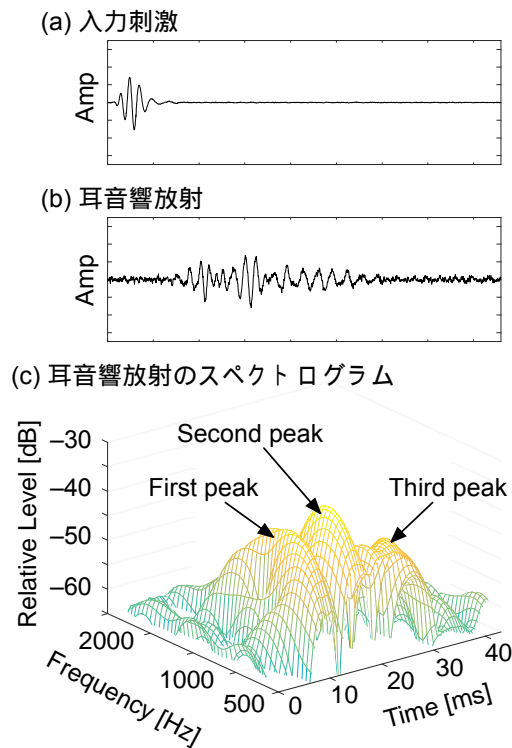


図 1 1 kHz の純音刺激と耳音響放射

短音で誘発される耳音響放射は、呈示刺激の周波数とほぼ同じ周波数の音が同じ時間構造で放射されるといわれている。しかし、図 1 から、耳音響放射には時間に沿って三つのピークが現れているように見える (図 1 (c) 参照)。そこで、これらの三つのピークの周波数を分けて分析すると、最初のピーク周波数は、先行研究の知見と同様に、呈示した純音の周波数や音圧レベルに対応して変化するものの、第二、第三のピークは、異なるふるまいを示していた。これは、耳音響放射には、単純に呈示した音に応じた成分だけでなく、発生機序が異なると思われる複数の

成分が含まれていることを示している。よって、以降の分析では、耳音響放射の先行研究で一般的に用いられるように、ある時間区間の音圧レベルや周波数を平均化した値だけを分析対象とするのではなく、逐次的な時間-周波数構造の変化を分析対象とする必要があることがわかった。

##### (2) 同時に呈示された雑音が耳音響放射に与える影響 (学会発表 [2, 3])

目的音と同時に帯域雑音を呈示すると目的音の顕著性が低下する。そこで、目的音と帯域雑音の周波数や音圧レベルを様々に変化させて耳音響放射を測定し、耳音響放射の瞬時振幅音圧レベルを分析した (図 2)。

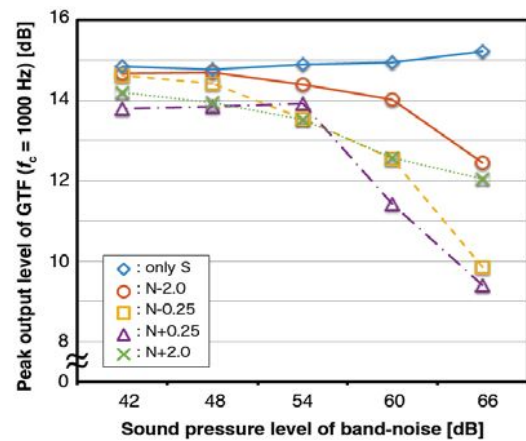


図 2 雑音の音圧レベルによる耳音響放射の瞬時振幅音圧レベルの変化

図 2 をみると、同時に呈示する雑音の音圧レベルが低い場合は、目的音のみを呈示した場合 ( ) と比べて耳音響放射の音圧レベルに大きな影響はないといえる。しかし、雑音の音圧レベルがある一定レベルを越えると、耳音響放射の音圧レベルが低くなる傾向がみられる。これは、目的音によって誘起される耳音響放射は、周辺周波数帯域にその成分と同程度の興奮が起こった時に、その興奮による遠心性の抑制作用によって影響されることを示している。さらに、目的音と雑音の周波数関係をみると、高周波数側に雑音を呈示した時の振幅 ( と  $\times$  ) が、低周波数側に雑音を呈示した時の振幅 ( と ) よりも大きく減少している。外有毛細胞への遠心性投射は、刺激される周波数よりも高周波数側に多くあることが知られている。このような神経系での非対称性が耳音響放射の変化にも現れており、耳音響放射の測定によって、神経系で生じている生理変化を推定することが可能であることがわかった。

##### (3) 音の出現頻度が耳音響放射に与える影響 (学会発表 [4])

目的音だけでなく複数の音が継時的に呈示される音列パターンにおいて、目的音の呈示頻度を変化させるとその音の聞き取りやすさも変化する。そこで、目的音のみが呈示される条件 (TBOAE 条件) と、全体の音の個数に対して、10, 90 % の頻度で呈示される条件 (Oddball 10 %, 90 % 条件), ランダムに呈示される条件 (Random 条件) の4つを用意し、それぞれの条件で測定した耳音響放射を分析した。図3に、耳音響放射の振幅包絡の時間変化を示す。

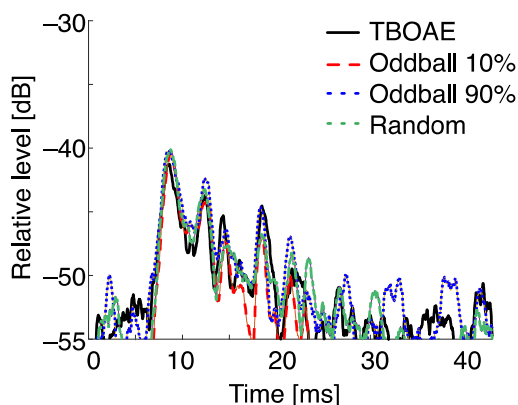


図3 耳音響放射の振幅包絡の時間変化

図3をみると、呈示パターンを変化させても、耳音響放射音の音響特徴に目立った変化は現れていない。Oddball 条件は、刺激系列からボトムアップ的に誘起される注意の研究でよく用いられる刺激系列である。刺激の呈示頻度が10%と90%では、刺激によって誘起される注意の量が異なっていると考えられる。また Random 条件では、短い時間間隔で10種類の周波数が狭い周波数範囲に呈示されるので、一つ一つの音の周波数を認知することは難しい。そのため、ある特定の周波数に注意が向くことは考えられない。このように、条件によって刺激の顕著性に基づく聴覚的注意に大きな違いがあるにもかかわらず、耳音響放射の振幅値の時間変動はほぼ重なっており、顕著性の違いによる影響が現れていない。これは、刺激に対して数ミリ秒といった短い時間間隔で即時的に働く能動制御は、逐次的な刺激変化にのみ依存していることを示している。より高次の脳内処理による注意は、逐次的な刺激変化を分析し、その結果に応じて働くと考えられる。よって、注意の影響が能動制御の変化に現れるには時間遅れが発生する可能性が高い。注意の影響をみるためには、耳音響放射の時間的な変化特性を観察する必要があるといえる。

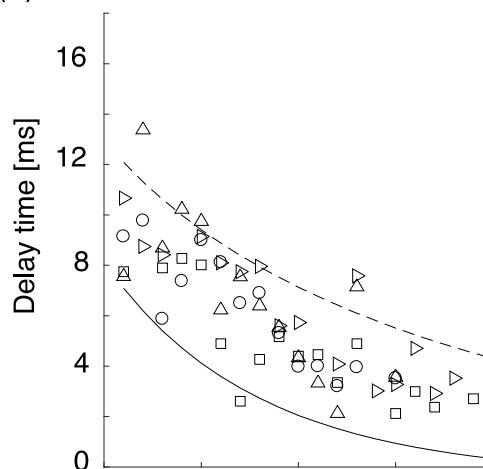
#### (4) 耳音響放射の時間応答解析による発生機序の推定 (学会発表 [1])

耳音響放射は、刺激呈示から数ミリ秒後に発生する。そのため、先行研究では、それよ

りも短い刺激を用いることが一般的である。しかし、(3)の研究成果より、注意の影響が現れるにはそれよりも長い時間が必要であることが示唆された。そこで、より長い刺激を用いてその立ち上がり・立ち下がりにおける耳音響放射の変化を観察し、耳音響放射の発生機序について考察した。

図4に、呈示した刺激の始まりと耳音響放射の始まりとの時間差 (a) と、呈示した刺激の終わりから耳音響放射の終わりまでの時間差 (b) を、呈示した刺激の周波数を横軸にとってプロットした。なお、横軸は、単純な周波数の真数値ではなく基底膜上の距離に対応した ERB-Number という単位に変換しており、左に行くほど低い周波数 (蝸牛の先端側)、右に行くほど高い周波数 (蝸牛の鼓膜側) を表している。

#### (a) Onset



#### (b) Offset

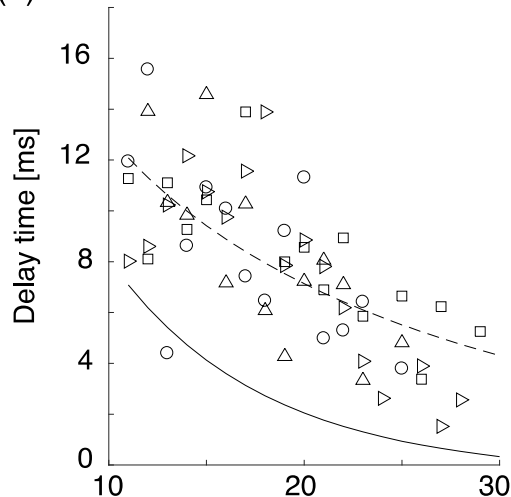


図4 刺激と耳音響放射の立ち上がり・立ち下がり時間差

図4を見ると、立ち上がり・立ち下がり共に、低い周波数の方が遅れ時間が長くなる傾向を示している。蝸牛の構造上、低い周波数の音は蝸牛の先端部まで進むため、その距離

の違いによる到達時間遅れが、耳音響放射発生までの遅れ時間にも現れているといえる。図4のグラフに示した実線は、この蝸牛の構造による時間遅れを表している。耳音響放射が単純に蝸牛内での反射であればこの実線上に結果が重なるはずであるが、ほぼすべての結果がこの実線よりも上に配置している。よって、耳音響放射は、蝸牛内での単純反射ではなく、蝸牛での神経発火に対して生じる高次からの遠心性投射によって生じるといえる。

次に、下丘と呼ばれる部位の反応と関連する聴性脳幹反応から推定した時間遅れ(図4中の破線)と比較すると、立ち上がりにおいてはこの遅れ時間よりも耳音響放射が発生するまでの遅れ時間が早くなる傾向がみられた。つまり、刺激の開始に即時的に反応する能動制御は、下丘よりも低次の上オリブ核や蝸牛核からの遠心性投射によって生じると考えられる。一方で、立ち下がりにおいては、破線上もしくは破線よりも上に結果が分布する傾向がみられた。これは、立ち下がりの場合は、どういった音が入力されたかを知覚してから、入力音の特性に依存した、より高次からの遠心性投射が生じるために、耳音響放射の消失が遅くなると考えられる。よって、注意といった脳の高次処理による影響を検討するためには、ある程度長い刺激を用いて、耳音響放射の時間変化過程をみる必要があるといえる。

本研究の目的は、聴取者が、どの音に注意を向けて聴いているのかを、耳音響放射という客観的な生理指標の音響分析によって推定可能かどうかについて検討することであった。研究の結果、注意と直接関係する耳音響放射の特性変化を見つけることはできなかった。しかし、耳音響放射には、刺激入力後に即時的に現れる成分と、ある程度の時間遅れをもって現れる成分とが混合して含まれており、高次の脳内処理による遠心性の制御は、その処理にかかる時間分の遅れを持って蝸牛のふるまいに影響を与えることが示唆された。そのため、短い刺激を使って、耳音響放射の平均的な特性をみるだけでは注意の影響を正しく観測できないと考えられる。耳音響放射の逐次的な変化をある程度の長い時間の刺激に対して継時的に分析することで、高次の脳内処理による注意の変化を観測できる可能性は示すことができた。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計0件)

[学会発表](計4件)

1. 木谷俊介・鶴木祐史・宮内良太、非線形な刺激誘発耳音響放射成分の時間応答,日本

音響学会聴覚研究会 2017年3月27日, 京都市立芸術大学(京都府,京都市).

2. Shunsuke Kidani, Masashi Unoki, and Ryota Miyauchi, Measurement of tone-burst-evoked oto-acoustic emissions under various band-noise conditions, 28 November - 2 December 2016, Honolulu (Hawaii, U.S.A.).
3. 木谷俊介・鶴木祐史・宮内良太、様々な狭帯域雑音下で計測した単音誘発耳音響放射,日本音響学会 2016年秋季研究発表会, 2016年9月14-16日, 富山大学(富山県,富山市).
4. 宮内良太・木谷俊介・鶴木祐史、様々な刺激を呈示して測定した耳音響放射音の特徴解析,日本音響学会聴覚研究会 2016年3月4,5日,九州大学(福岡県,福岡市).

[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]  
ホームページ等

## 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・先端科学技術研究科・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・先端科学技術研究科・教授  
研究者番号: 00343187

木谷 俊介 (KIDANI SHUNSUKE)  
北陸大学・未来創造学部・助教  
研究者番号: 70635367