

聴覚的顕著性の操作に基づく、音響情報の選択的強調技術の創出 (121803022)

Towards perceptual enhancement techniques of acoustical information
by controlling auditory salience

研究代表者

古川茂人 日本電信電話株式会社
Shigeto Furukawa NTT Corporation

研究分担者

高橋宏知[†] 柏野牧夫^{††}
Hirokazu Takahashi[†] Makio Kashino^{††}
[†]東京大学 ^{††}日本電信電話株式会社
[†]Tokyo University ^{††}NTT Corporation

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

概要

音の顕著性は比較的新しい概念であるため、技術的な基盤が未整理である。このため、まずはその定量化のため、心理物理学的・心理生理学的・神経生理学的といった多角的なアプローチにより、様々な測定方法を考案し、有効性を確認した。そのうえで、顕著性を規定する音響的な要因および神経科学的な要因（聞き手の状態）を同定した。これらの知見に基づき、コンテキストや聞き手の状態に合わせて、特定の音を知覚的に強調または抑制するための基盤技術の提案に至った。

1. まえがき

情報通信技術の進化に伴い、多チャンネル・高精度の音響情報を伝達することが可能になってきている。情報量の増大は、臨場感の向上や情報伝達手段の多様化というメリットがある。しかし、受け取り手である人間が処理できる情報量には限界がある。知覚心理学でいう「選択的注意」のメカニズムは、この情報量のジレンマを解決するために受け手としての脳がとっている戦略である。単一のオブジェクトにリソースを一時的に集中することにより、限られたキャパシティの中で情報を扱うことが可能になる。注意を向ける対象は、ある程度随意的に（トップダウンに）決定できるほか、音の物理的特性、呈示コンテキスト、経験に基づいて非随意的にも（ボトムアップにも）、注意の対象は決定される。人や動物は、このボトムアップのメカニズムのおかげで、環境の有意な変化に気づいて、適切なオブジェクトを優先的に処理することができる。「顕著性 (saliency)」は、このボトムアップ・メカニズムによって表現される音の特性である。情報伝達技術として、信号の知覚的顕著性を適切に評価し、制御することが可能となれば、情報量のジレンマを解決できるだろう。本研究課題では、音の顕著性を定量的に評価する心理物理学的および心理生理学的手法を開発するとともに、神経生理学的アプローチにより、顕著性に関わる脳メカニズムの解明、操作原理の創出を目指した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発課題での取り組みや成果は多岐にわたるが、ここでは、主要なものを述べる。

研究開発の第一歩として、音源固有の顕著性を直接的に評価するための主観評価実験を行った。人工音、自然音を含む様々な音源サンプルに対して、一対比較法をもとに、主観的な顕著性（目立ちやすさ）に関する「顕著性スケール」を算出した。その結果、各音源をそのスケール上にマップすることができた。さらに、顕著性の評価値は、「大きさ」、「不快さ」などの評価値とも正の相関があることが

わかった。これは、音源に固有の顕著性は、主観的に大きな音だけでなく、「不快」といったネガティブな情動を喚起する音ほど、それが高いことを示す結果である。

主観的評価は、受検者の意識的な聴取および判断に基づいて行われる。このため、無意識的なボトムアップ・メカニズムに規定される顕著性を十分に捉えることができない可能性がある。そこで、我々は瞳孔拡大反応に着目した。覚醒・選択的注意のメカニズムに深く関わる青斑核（脳幹神経核の一つ）の神経細胞の活動レベルは、瞳孔径に反映されることが知られている。前述の音源サンプル聴取時の瞳孔径反応を計測したところ、主観的な顕著性が高い音ほど、瞳孔の拡大量が大きいことが確認できた（図 1；誌上発表[1]）。さらに、低頻度で呈示される（ゆえに新奇性・顕著性が高いと考えられる）音に対しても瞳孔拡大反応が見られ、その反応強度は音の種類に依存することも分かった。この音の種類への依存性は、トップダウンの注意を受けにくいという示唆も得られている。音の顕著性は、瞳孔反応のほか、眼球運動の動特性にも反映されることも分かった。以上の結果は、瞳孔・眼球計測は音の顕著性の客観指標としての有用性を支持するものである。

前述のように、低頻度で呈示される音は、顕著性が高いと考えられている。この低頻度刺激に対する神経科学的反応として、ミスマッチ・ネガティビティ (MMN；低頻度で呈示される認知的に識別可能な変化に対する聴皮質付

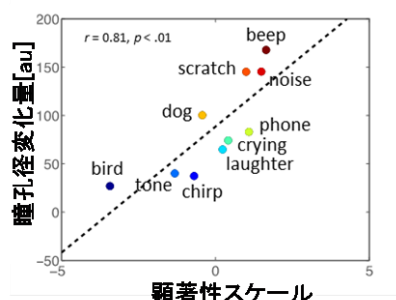


図 1 顕著性スケールと瞳孔径変化量の関係

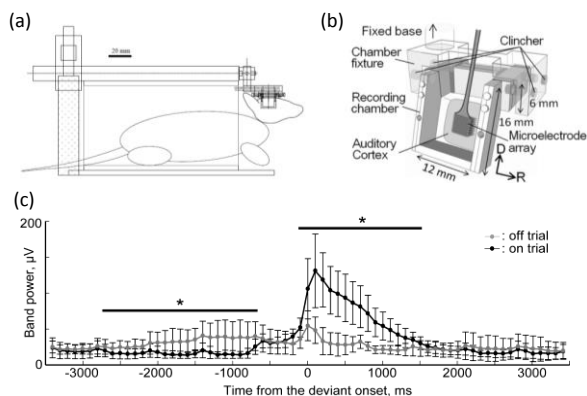


図2 覚醒下における聴皮質の多点同時計測手法 (a: 全体の概念図; b: 頭部固定用のチャンバーと刺入電極)。 (c) MMNの有無とアルファ帯域強度の時間経過の関係

近の誘発電位の陰性のゆらぎ)が良く知られている。その背後のメカニズムを探るため、ラットの聴皮質神経活動の多点同時計測システムを構築した(図2a,b;誌上发表[2])。それにより、まず、ラットでもMMN様反応が生じ、それはヒトのMMNと同様の性質をもつことを示した。このMMNは、恐怖や報酬と関連付けられた音に対して増大する。主観評価実験では、不快な音ほど顕著であると回答される結果が得られているが、MMNに見られた結果はこれと対応する。音の顕著性の評価または操作には、その音の情動的な特性を考慮する必要があることを示すものと言える。

さらに、MMN計測データにおける逸脱反応を単一試行ごとに精査すると、MMNが発生する試行と、発生しない試行が存在した。MMN発生・不発生試行は、逸脱刺激呈示前後のアルファ帯域強度が異なることが分かった(図2c;誌上发表[3])。この結果は大変興味深い重要な発見である。MMNは呈示頻度といった刺激要因のみでなく、その時々脳の状態によって、MMNの発生の有無が決定されることを意味する。つまり、同じ音であっても、それに対する反応はその時々脳の状態によって異なる。ブレイン・マシン・インターフェイス等によって脳の状態(例えばアルファ帯域強度)を適切にモニタし、反応が最も高くなるタイミングで音を呈示することができれば、その音に対する知覚的な顕著性を高めることができるであろう。

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究によって、瞳孔径・眼球運動と聴覚的知覚・注意とのかかわりが明らかになった。「眼」の情報は、外部から非接触・非侵襲で測定することができるため、日常生活での適用範囲が広い。瞳孔径・眼球運動に基づくヒューマン・インターフェイス機能評価や購買意思決定の推定の技術を新サービスへと展開する取り組みは、すでに日本電信電話株式会社で進められている。本研究開発で得られた顕著性に関わる知見や基本的技術は、その取り組みの一部として活用される可能性がある。

動物モデルを用いた実験では、覚醒下動物の脳皮質神経活動の多チャンネル(100チャンネル)同時記録技術、および、皮質・視床活動同時記録技術を実現した(誌上发表[2])。本稿では割愛したが、MMN計測以外にも本研究開発において様々な知見が得られている。神経の大規模ネットワーク、処理レベル間の総合作用は、神経情報処理において本質的な重要性があると近年考えられている。本研究開発で実現した記録系は、この重要な問題に取り組む神

経科学研究分野全体を大きく推進させるものと期待できる。

4. むすび

音響・聴覚情報処理の研究は、音と感覚系の関係性のみを取り扱うことが多い。しかし、音の顕著性(注意の引付けやすさ)といった、生態学的にも本質的に重要な問題を取り扱う際には、知覚・行動・感覚神経系・自律神経系および、それらの密接な相互作用の働きを無視することはできない。本研究開発課題では、様々なレベルの生体反応を調べることにより、音の顕著性に関わる指標、神経メカニズムについて多くの新規な知見が得られた。その価値は学術的なものにとどまらない。眼球運動・瞳孔計測機器や脳波計測装置は、近年では急速にポータブル化し、普及が進んでいる。これらの装置により聴取者の状態を定常的にモニタし、顕著性に関わる生体反応を取得することができれば、聴取者個人にとっての聞こえやすい音を評価・設計できるようになるであろう。

【誌上发表リスト】

- [1] Liao, H., Kidani, S., Yoneya, M., Kashino, M., Furukawa, S., "Correspondences among pupillary dilation response, subjective salience of sounds, and loudness," *Psychon. Bull. Rev.*, DOI: 10.3758/s13423-015-0898-0 (2015年7月)
- [2] Noda, T., Takahashi, H., "Anesthetic effects of isoflurane on the tonotopic map and neuronal population activity in the rat auditory cortex," *Eur. J. Neurosci.*, DOI: 10.1111/ejn.13007 (2015年7月23日)
- [3] 白松(磯口)知世、高橋宏知、"ラット聴皮質における誘発電位とミスマッチネガティビティの単一試行間の振幅変動" *日本音響学会聴覚研究会資料*, 44(8), pp. 523-528 (2014年11月28日)

【登録特許リスト】

- [1] 木谷俊介、古川茂人、リャオ・シンイ、米家惇、柏野牧夫、聴覚的顕著性評価装置、聴覚的顕著性評価方法、プログラム、日本、平成25年10月24日申請、平成27年5月7日登録、特許第5714076号
- [2] 米家惇、リャオ・シンイ、古川茂人、柏野牧夫、木谷俊介、音の顕著度推定装置、その方法、及びプログラム、日本、平成26年1月16日申請、平成27年5月13日登録、特許第5718492号
- [3] 米家惇、リャオ・シンイ、古川茂人、柏野牧夫、木谷俊介、音の顕著度推定装置、その方法、及びプログラム、日本、平成26年1月16日申請、平成27年5月13日登録、特許第5718493号

【受賞リスト】

- [1] 白松(磯口)知世、野田貴大、神崎亮平、高橋宏知、平成25年電気学会電子・情報・システム部門大会優秀論文賞、"和音の質感が聴皮質の神経活動の位相同期に及ぼす影響"、2014年9月4日
- [2] Isoguchi-Shiramatsu, T., Takahashi, H., 生物音響学会優秀賞、"Oscillation in rat auditory cortex representing texture of chord"、2014年12月14日
- [3] 木谷俊介、日本音響学会第37回栗屋潔学術奨励賞、"聴覚検知タスクにおける非関連音呈示の影響 - タスク負荷と非関連音の顕著性の効果 -"、2015年3月17日

【報道掲載リスト】

- [1] "あなたの知らない「音」の世界、体に起こる不思議な反応"、*EE Times Japan* (<http://eetimes.jp/ee/articles/1506/05/news033.html>)、2015年6月5日