

ラットを用いた原始的音楽知覚の基盤

松竹 理匠, 高橋 宏知 准教授

music, music perception, rats, auditory cortex, behavioral psychology

1. 序論

音楽を聴取するという活動は、広範囲の脳活動を賦活させ、情動喚起、パターン認識、記憶との照合など、その過程において人間の知能に特徴的な情報処理が行われる。音楽心理学の領域では、近年の神経活動計測技術の発達や、不断の心理学的研究により、関連する神経活動の同定や、音楽知覚モデルの提案等がなされてきた。しかし、神経メカニズムは解明が進んでいないものの、未だ明らかになっていない点が多い。

ヒトの聴覚系の理解は、主に解剖学的に、または症例から逆算する形で機能推定するという形で進んできた。近年では脳波(electroencephalogram: EEG)、脳磁図(magnetoencephalography: MEG)や機能的核磁気共鳴画像法(functional magnetic resonance imaging: fMRI)等を用いた、非侵襲的、つまり脳を傷つけない遠隔脳活動計測が可能になり、ヒトが音楽を聴取する時に、どのような脳活動が見られるのか調べられてきた。大脳皮質の領野は処理を担う機能ごとに局在していることがわかっているが、非侵襲計測ではそのスケールでの解析が限界であり、音楽のどの情報がどのようなメカニズムで神経活動に符号化され、脳で処理されるのかを調べることは容易ではない。動物モデルを用いた研究では、多点同時計測電極などを用いた侵襲計測が可能であり、より高い時間的・空間的解像度での脳活動計測が可能であるため、神経メカニズムの解明に迫ることができる。ただし、動物モデルには幾つかの問題点があり、中でも最大の問題点は、未だ人間と動物の間の複雑なコミュニケーション方法が開発されていないため、音楽を「音楽」というまとまりで認識をしているか確認できないことである。例えば特定周波数の音の数、録音条件の違いなど、一部の特徴量で曲や音色の弁別を行っている可能性も否定できない。また、異なる音刺激を提示すれば、神経細胞も異なる応答を示すと考えれば、神経活動の特徴量も動物の音楽認識の証拠として断定することは難しい。そこで本研究は、動物の音楽知覚が成立し得るか調べるために、モデル動物としてラットを用いて、音楽を構成する様々な要素について、それらを弁別できる素養があるか行動実験により調べる。

2. 恐怖条件付けによるオクターブ知覚の群化を調べる実験

2.1 実験の目的

本実験の目的は、ラットに恐怖音条件付けを施すことで、音に対する群化の程度を調べることである。ここでは2種類の音に対し群化の程度を測定する。1つ目は、倍音を含む純音に対し、恐怖条件付けを施し、その1オクターブ上下の音に対する条件反射の有無を

調べる。2つ目は純音で構成された長三和音に対し恐怖条件付けを施し、違う周波数の長三和音と短三和音に対する条件反射の有無を調べる。

仮に対照刺激に条件刺激と同程度の反射が得られたとすれば、般化(類似刺激に条件付けが転移する)が起こったと考え、ラットの中では条件刺激と対照刺激が同一または類似のカテゴリに属していると考えられる。一方、般化が見られなければ、条件刺激と対照刺激のカテゴリは遠いと考えられる。

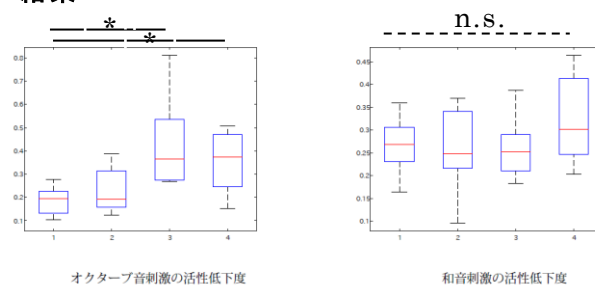
2.2 手法

恐怖条件付け連合学習と行動計測は同じ行動実験ボックス(35 cm×35 cm×35 cm, 小原医科産業株式会社)内で行った。音は信号をマルチファンクション・ジェネレータを用いて生成、シグナルミキサ(SM5 Signal Mixer, Tucker-Davis Technologies社)を用いて合成し、実験ボックス上部に角度をつけて設置したスピーカ(DDL-RT16C, アルパイン株式会社)から提示した。実験ボックス直上にUSBカメラ(CMS-V32BK, サンワサプライ株式会社)で実験ボックス内を撮影した。刺激に用いた音として、以下の表に従う音を用意した。

構成音	条件刺激	対照刺激(1)	対照刺激(2)	音圧(dB)
基本音(kHz)	8	16	4	60
2倍音(kHz)	16	32	8	40
4倍音(kHz)	32	64	16	20

構成音	条件刺激	対照刺激(1)	対照刺激(2)	音圧(dB)
根音(kHz)	12	13.5	15	60
三度音(kHz)	15	16.875	18	60
五度音(kHz)	18	20	22.5	60
三和音の種類	長三和音	長三和音	短三和音	-

2.3 結果



結果は上の表の表のとおりである。三和音では硬直時間に有意差がでなかった一方で、オクターブ知覚では対照刺激(2)と条件刺激にたいして優位にフリージング時間が向上した。

このことから、ラットはオクターブ知覚について

シュタルトを有することが明らかとなった。

3. オペラント学習による音列弁別能力の調査

3.1 実験の目的

本実験の目的は、ラットが旋律・ピッチに対するゲシュタルト知覚を保持するかどうか調べることである。具体的には、規則的音列が知覚できた時のみレバーを引くというオペラント反応が誘発できるようラットを連合学習させ、その学習の完遂または進行をもって、定期的にピッチが変わる音列に対するオペラント知覚が得られたと判断する。

2.2 手法

恐怖条件付け連合学習と行動計測は同じ行動実験ボックス(35 cm×35 cm×35 cm, 小原医科産業株式会社)内で行った。音は信号をマルチファンクション・ジェネレータを用いて生成, シグナルミキサ (SM5 Signal Mixer, Tucker-Davis Technologies 社)を用いて合成し, 実験ボックス上部に角度をつけて設置したスピーカ (DDL-RT16C, アルパイン株式会社)から提示した。実験ボックス直上に USB カメラ(CMS-V32BK, サンワサプライ株式会社)で実験ボックス内を撮影した。刺激に用いた音として, 表2に従う音を用意した。予め無理のない程度の節水期間をおいたラットを用いる。ラットは頭部に埋め込まれたヘッドギアをアームに固定され, 目の前のレバーを引くこと以外の行動を, 筒の中で制限されている。レバーの先には水の射出口があり, 特定の条件下で報酬(強化子)である水が出る。レバーの回転量取得や水の射出には制御装置(OPR-SPL-RM, OPR-7300C)を用いた。ラット正面に設置したスピーカ(DLS-108, アルパイン株式会社)から音刺激を提示し, これを手がかりとしてレバーを引く動作と報酬を連合学習させる。また, 教示信号として, LED ライトからの光刺激を用いることで, 学習の進行を促進した。音に遅延してレバーを引くオペラント反応と強化子が関連づいている状態で, ランダムな周波数の純音が離散的に流れている状況で, ある期間だけ規則的な上昇音階音列が流れるように設定した。この期間にレバーを引けば強化子が得られることを学習させた。誤った期間にレバーを引いた場合, LED ライトが3秒光り, その間は規則的音列が流れないようにした。5 mL 程度の飲水を行うか, 90~120分程度の訓練時間経過をもって, その日の訓練を終了した。

3.3 解析方法

ランダム音列を聴きながら待ち, 規則音列を聴取しレバーを引けた場合は True Positive, それ以外の期間にレバーを引いた場合は False Positive, 音列提示の間レバーを引かなかった場合, False Negative とし判定し, これを訓練期間中に記録し続けた。また, 規則音列開始からレバーを引くまでの潜時に関するヒストグラムをチェックし, 偶然か意図的かを大まかに判定した。試行10回を1セッションとし, 1セッションあたりの True Positive, False Positive, False Negative の出現確率を随時計算した。これを前後5セッションで移動平均をとり, それぞれの確率の推移を見た。

3.4 結果

下図に, 最終日より4日前からの True Positive 率, False Positive 率, False Negative 率を示す。

True Positive 率の最大値は緑色の円で示した。正解率が日を経るごとに向上し, また最大値となるセッション数も減少することがわかる。これらのことから, 学習の進行が示された。

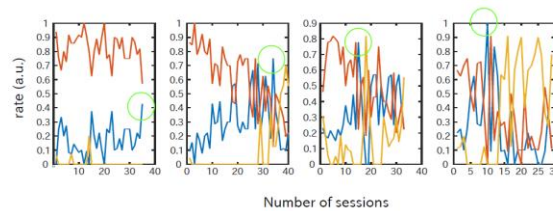


図 オペラント学習による音列弁別課題の成績

4. 総括

以上の2実験から, ラットが音列, オクターブ知覚についてゲシュタルト知覚を持つことが示された。これは和声法の発達する前の音楽を認識できる可能性を示唆する。

5. 参考文献

- [1] 和家尚希. 「聴覚野における耳鳴の神経メカニズム」. PhD thesis, 東京大学大学院情報理工学系研究科, 2019.
- [2] 大串健吾. 音のピッチ知覚について. 日本音響学会誌, Vol. 73, No. 12, pp. 758{764, 2017.
- [3] Reinier Plomp and Willem Johannes Maria Levelt. "tonal consonance and critical bandwidth". *The journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 38, No. 4, pp. 548{560, 1965.
- [4] Thomas Fritz, Sebastian Jentschke, Nathalie Gosselin, Daniela Sammler, Isabelle Peretz, Robert Turner, Angela D Friederici, and Stefan Koelsch. "universal recognition of three basic emotions in music". *Current biology*, Vol. 19, No. 7, pp. 573-576, 2009.
- [5] 佐藤正之. "音楽の脳内過程についての神経心理学的検討". 基礎心理学研究, Vol. 30, No. 1, pp. 115{120, 2011.
- [6] Doreen Kimura. "functional asymmetry of the brain in dichotic listening". *Cortex*, Vol. 3, No. 2, pp. 163-178, 1967.
- [7] Donald Shankweiler. "Effects of temporal-lobe damage on perception of dichotically presented melodies." *Journal of Comparative and Physiological Psychology* 62.1 (1966): 115.