

令和 3 年 5 月 19 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K13964

研究課題名（和文）広帯域音声有する豊かな質感の音声内起源およびその知覚機構の解明

研究課題名（英文）Investigations of perceptual quality determinants in broadband sounds and its decoding mechanisms in the brain

研究代表者

西村 方孝 (Nishimura, Masataka)

熊本大学・大学院生命科学研究部（医）・助教

研究者番号：80613398

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：我々ヒトや動物の脳内で生じた感覚を読み取るためには、何かしらの反応（例えば、感覚に対応した運動）を観察する必要がある。実験動物を用いて音の質感に関する研究を進めていく上で、動物の行動から高精度に動物の感覚を読み取る手法の確立が求められた。そこで本研究では、動物の運動時間を0.1ミリ秒の精度で厳密に測定可能なシステムを構築し、感覚刺激と運動タイミングの対応を動物に学習させるための行動実験課題を新規に確立した。その結果、研究当初は予測していなかった現象である「動的なタイミング精度の変化」を定量することに成功し、その発見を国際誌のScientific Reportsで論文として報告した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々ヒトにとって、運動のタイミング精度が静的なものでなく動的なもの（集中や注意のレベルで変化するもの）であることは経験的に感じていることである。タイミング精度を変化・向上させるためのメカニズムはいくつか考えうるものの、我々の脳がいずれのメカニズムでタイミング精度を変化させるのかは現時点で不明である。

本研究の当初の目的とは異なる知見ではあるものの、動的なタイミング精度の変化・向上が実験動物であるモルモットでも見られることが明らかになったことで、動物の脳の中で何が起きてタイミング精度が変化するのかを生理学的実験によって明らかにしていくための基盤が構築できたと言える。

研究成果の概要（英文）：The only way to read out the perception in our brain is observations of reactions evoked by the perception, such as motor activities corresponding to the perception. To facilitate the investigations of perceptual quality determinants in broadband sounds and its decoding mechanisms in the brain, it was necessary to establish the behavioural method which enables the observer to precisely read out the animal's perception. To this end, we developed a task system which can precisely measure animal's action times with 0.1 ms precision and established a novel behavioural task to encourage animals to perform actions at the suitable timings corresponding to the sensory cues. The behavioural results, unexpectedly, demonstrated that dynamic changes in the timing precision during the task in guinea pigs. This novel finding has been reported as a research article in the peer-reviewed international journal, Scientific Reports.

研究分野：脳科学

キーワード：時間 タイミング オペラント条件付 精度

1. 研究開始当初の背景

民生品のオーディオ機器の進化が、再現可能な音声周波数帯域の拡張とほぼ対応していたことから分かるように、音声媒体が再現可能な音声周波数帯域と、我々が感じる音声の質感にはいずれかの関係がある。例えば、それが全く同じ音源であっても、音楽 CD 等の帯域が広い音声は、ラジオ等の高い周波数帯域が制限された音声に比べてより豊かな質感『繊細な音の違いを感じさせる何か』を与えることができる。その一方で、言葉の認識や楽器の大まかな聞き分けは、高い周波数帯域が制限された音声でも可能なことから、高い周波数帯域の音声情報は、音そのものの意味を大きく変えずに音声の質感を変える役割があると考えられる(図1)。

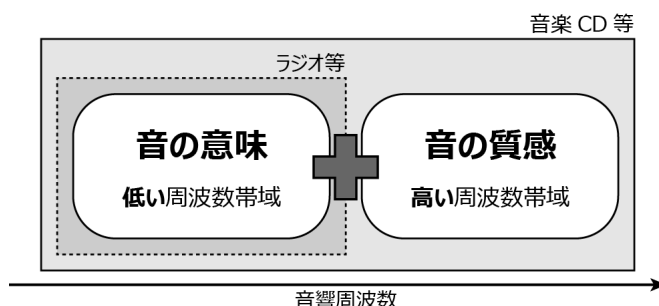


図1. 音声周波数帯域と音の意味・質感の関係

一般的に音では音響周波数・音圧（音の強さ）・時間の3つの量が変化し得るので、高い周波数帯域の音声を与えるより豊かな質感は、その帯域の音声で生じる音圧と時間の両方またはいずれかの変化が生み出していると期待される。しかし、音声内にある質感の起源や、質感を我々の脳が知覚するための機構は、現時点でも明らかになっていない。

2. 研究の目的

研究代表者によるモルモットを用いた予備実験により、モルモット一次聴覚野の中でも高い周波数帯域を担当する部位（高周波領域）が特異的に、低い周波数帯域の音声情報と高い周波数帯域の音声情報の皮質への到達時間差（応答潜時の差）への感度を有していることが示唆された。それに類似する現象がヒトの聴覚皮質でも起きている可能性があるかを心理学的認知課題で検討し、それを知覚する脳内機構を動物実験で解明することを、本研究の目的とした。

3. 研究の方法

(1) ヒトを対象とした心理実験では、ヒトの声や環境音等の自然音でも存在しうる広帯域音声内のミリ秒程度の帯域間時間差(図2)を人工的に再現した音に与え(A音)時間差を与えなかった音(B音)を用いて、A音とB音の弁別課題を実施した。実験によって得られた被験者の応答は、相互情報量および正答率を用いて解析し、与えられた時間差による知覚の変化が統計学的に有意なものかを検討した。

(2) モルモットを対象とした動物実験では、高い帯域の音(16 kHz ± 0.25 オクターブ)と低い帯域の音(1 kHz ± 0.25 オクターブ)に最大で12ミリ秒の時間差を与えて足し合わせた音を提示し、モルモット一次聴覚野の応答を記録した。記録は麻酔下で行った。モルモットの聴覚皮質を膜電位感受性色素 RH-795 で染色し、光イメージングを行うことにより、聴覚皮質の応答時間および応答振幅等を測定した。

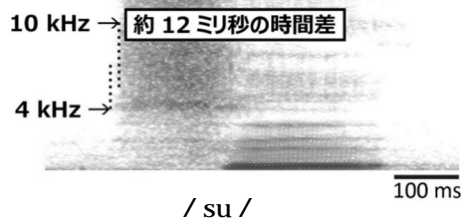


図2. スの発音での帯域間時間差

皮質での応答の違いが、すなわち、脳内で引き起こされた感覚の違いとは限らない。そのため、モルモットの脳内で生じた感覚の違いを客観的に検証することを目的として、オペラント条件付けによる行動課題を新規に考案し、実施した。この方法については既に論文として出版されているため、次のセクション「研究成果」でその詳細を記す。

4. 研究成果

本研究の主な成果の一つとして、オペラント条件付けによる行動実験の一種を新規に確立したことによって、モルモットにおける動的なタイミング精度の向上を発見したことが挙げられる(Nishimura et al., 2020)。

オペラント条件付けによる行動実験の歴史は長く (Skinner, 1948) その手法は半世紀以上用いられてきた。そのため本研究の開始当初は、オペラント条件付を用いてモルモットの脳内で生じた感覚を行動から読み取ることが十分可能と見込んでいた。しかし、モルモットに用いることができる既存の行動実験では、動物の行動に曖昧さが多分に含まれ、モルモットの脳内で生じた感覚を行動から読み取る上での障害となった。本研究の対象である質感を検討していく上では、モルモットの脳の中で生じた感覚を高い精度で行動から読み取ることが不可欠である。

高い精度で感覚を読み取るためには、高い精度で行動を定量的に評価する必要がある。その定量的評価を実現するために、接触センサーとの物理的な接触時間に基づいて報酬を与えるか否かを決定可能なシステムを構築し (図3) 動物の脳内で生じた感覚の読み取りを実現した。

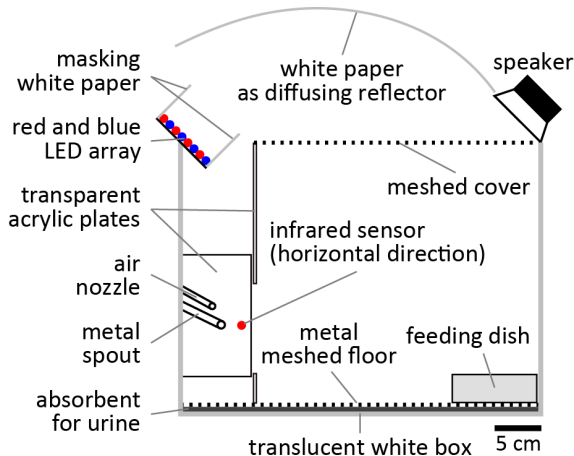


図3. 行動実験に用いたチャンバー

本研究の開始当初には予測していなかったが、本研究で確立した行動実験の手法を用いて、モルモットの運動タイミングとタイミング精度を詳しく解析したところ、タイミング精度が10分程度の短い時間のうちに動的に変化する現象を新規に見出した(図4; Nishimura et al., 2020)。

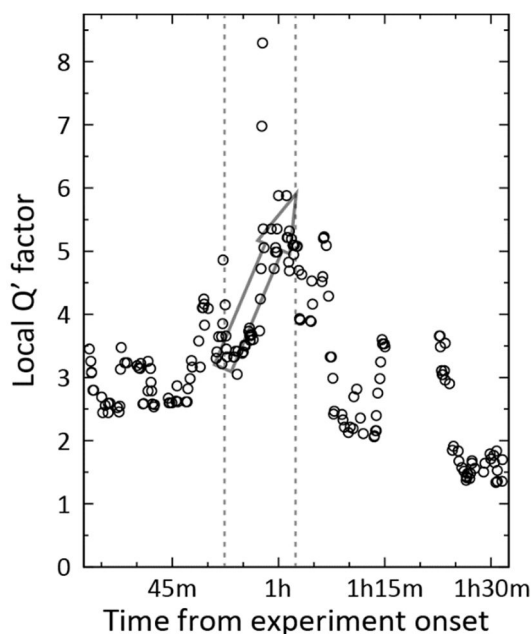


図4. タイミング精度の動的変化

<引用文献>

Nishimura, M., Wang, C., Shu, R., & Song, WJ. (2020). Dynamic changes of timing precision in timed actions during a behavioural task in guinea pigs. *Scientific Reports*, 10(1) doi:10.1038/s41598-020-76953-y

Skinner, B. F. (1948). 'Superstition' in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology*, 38(2), 168-172. doi:10.1037/h0055873

GIBBON, J., CHURCH, R. M., & MECK, W. H. (1984). Scalar timing in memory doi:10.1111/j.1749-6632.1984.tb23417.x

本研究で確立した行動実験の手法を用いて、モルモットの運動タイミングとタイミング精度を詳しく解析したところ、タイミング精度が10分程度の短い時間のうちに動的に変化する現象を新規に見出した(図4; Nishimura et al., 2020)。ヒトや動物の時間精度・タイミング精度は1980年代よりも古くから数多く研究されてきたものの(例としてGibbon et al., 1984)、それらの研究においては、暗黙的に、時間精度・タイミング精度は静的なものとして取り扱われていたため、動的なタイミング精度の変化に関する報告が存在していなかった。しかし、我々ヒトにとって、タイミング精度が静的なものではなく動的なもの(集中や注意のレベルで変化するもの)であることは経験的に感じていることである。

本研究の当初の目的とは異なる知見ではあるものの、動的なタイミング精度の向上が実験動物であるモルモットでも見られることが明らかになったことで、我々ヒトを含む動物が、どのようなメカニズムでタイミング精度を動的に変化させているのかを生理学的実験によって明らかにしていくための基盤が構築できたと言える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Nishimura Masataka, Wang Chi, Shu Reika, Song Wen-Jie	4. 巻 10
2. 論文標題 Dynamic changes of timing precision in timed actions during a behavioural task in guinea pigs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 N/A
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-76953-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Chen Feifan, Takemoto Makoto, Nishimura Masataka, Tomioka Ryohei, Song Wen-Jie	4. 巻 400
2. 論文標題 Postnatal development of subfields in the core region of the mouse auditory cortex	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hearing Research	6. 最初と最後の頁 108138 ~ 108138
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.heares.2020.108138	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nishimura Masataka, Takemoto Makoto, Song Wen-Jie	4. 巻 223(4)
2. 論文標題 Organization of auditory areas in the superior temporal gyrus of marmoset monkeys revealed by real-time optical imaging	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Brain Structure and Function	6. 最初と最後の頁 1599-1614
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00429-017-1574-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 西村方孝, 宋文杰
2. 発表標題 適応的条件付パラメータによる動物音声知覚の高精度復号の実現
3. 学会等名 2019年6月度 聴覚研究会 ASJ-H
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masataka Nishimura, Chi Wang, Yuta Shiromi, Wen-Jie Song
2. 発表標題 A Newly-Developed Timing Production Task For Guinea Pigs To Mimic Decodable Quick Actions of Human
3. 学会等名 ARO 42nd Annual MidWinter Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Chi Wang, Yuta Shiromi, Wen-Jie Song, Masataka Nishimura
2. 発表標題 Serveral-minute lasting extreme precision observed in a sub-second timing production task in guinea pigs
3. 学会等名 Neuroscience 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masataka Nishimura, Wen-Jie Song
2. 発表標題 Impacts of Millisecond-order Onset Timing Difference of High Frequency Component in Spectrally Complex Sounds on Cortical Activity and Sensation
3. 学会等名 ARO 2017 MidWinter Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Wang Chi, Yuta Shiromi, Wen-Jie Song, Masataka Nishimura
2. 発表標題 Serveral-minute lasting extreme precision observed in a sub-second timing production task in guinea pigs
3. 学会等名 Neuroscience2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------