

令和 2 年 6 月 24 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00202

研究課題名(和文)聴覚の時間窓の進化：事象関連電位による比較研究

研究課題名(英文)Evolution of auditory time-window: a comparative study using ERP

研究代表者

伊藤 浩介 (Itoh, Kosuke)

新潟大学・脳研究所・特任准教授

研究者番号：30345516

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：物理的な時間と異なり、脳が刻む時間には、時間窓(時間幅)という制約がある。時間窓は、蝸牛神経核から大脳新皮質までを含む中枢聴覚系の複雑な機能で、言語や音楽の聴覚に甚大な影響がある。聴覚の時間窓が、進化の過程でこれがどの程度保存され、あるいは変化したかは、これまでほとんど調べられていない。

そこで本研究は、聴覚の時間窓が、ヒト進化の過程でどのように変化したのかを、ヒト・アカゲザル・コモンマーモセットの3種比較により明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

言語や音楽といったヒト特有の脳機能が、なぜ、どのように進化したか、よく分かっていない。本研究は、この進化において、大脳の聴覚野が果たした役割を検討した。

物理的な音は連続的だが、言語や音楽は、音節な音符などの不連続な要素の連なりである。つまり、大脳の聴覚野は、連続的な音信号を、一定の時間幅で、不連続な意味要素に区切る役割を果たしている。この時間幅がどの程度の長さかによって、言語や音楽のあり方は、まったく変わったものになる。

本研究は、脳波によって人とサルの聴覚野の機能を比較することで、この時間幅がヒトで延長していることを示す、世界で初めての実験的証拠を得た。

研究成果の概要(英文)：Auditory information is integrated over time for obtaining neural representations of auditory events in the brain. The time window of integration is a critical parameter of auditory processing that determines how sounds are represented in the brain and in perception.

This project revealed that the time scale of auditory integration, as evidenced by non-invasively recorded scalp auditory evoked potentials (AEP), is elongated in humans as compared to monkeys. Longer time scales of integration would allow neural representations of complex auditory features that characterize speech and music.

研究分野：認知脳科学

キーワード：聴覚 進化 霊長類 音楽 言語

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

物理的な時間と異なり、脳が刻む時間には 時間分解能と 時間窓 (時間幅) という2つの制約がある。霊長類の聴覚におけるこれらの制約の進化を考えると、時間分解能は主に蝸牛機能に規定されており、種によってそれほど大きくは異なる。一方、時間窓は、蝸牛神経核から大脳新皮質までを含む中枢聴覚系の機能に依存する複雑な特性であり、進化の過程でこれがどの程度保存され、あるいは変化したかは、決して自明ではない。

時間窓が聴覚知覚に及ぼす影響は甚大であり、それはおそらく言語の進化にも関わった。例えば、voice onset time (VOT) が25ms より長いか短いかの違いで、ある音声は /pa/ に聞こえたり /ba/ に聞こえたりするが、これは音声処理の時間窓が25ms よりも十分に長いことが前提となっている。逆に時間窓が10ms の動物では、このカテゴリカル知覚は起こりえない。そして後述のように、申請者の予備実験によれば、マカクザル聴覚の時間窓はおそらく極めて短いのである。

2. 研究の目的

聴覚の時間窓は、ヒト進化の過程でどのように変化したのだろうか？あるいは変化しなかったのだろうか？これは、言語や音楽を含む聴覚機能の進化を考えるうえで、極めて基礎的な問いである。しかし、その詳細は全く不明とって良い。そこで本研究は、ヒト・マカクザル・マーモセットを対象とした比較研究により、聴覚の時間窓の進化を明らかにすることを目的とした。

具体的には、予備実験の結果に基づいて立てた「ヒト聴覚の時間窓は進化で延長した」という作業仮説の検証を目的とした。

3. 研究の方法

このような比較研究では、心理学実験による行動指標が利用されることが多い。しかし、ここでは独自の工夫として、事象関連電位の一つである聴覚誘発電位 (AEP, auditory evoked potential) を用いた。頭皮上から記録できるAEP にはいくつもの有利な特徴がある。無侵襲であるため実験への障壁が低く、多数の個体を比較的容易に調べられる。被験体は受動的に音を聞くだけでよく課題の訓練が不要である。ヒトおよび様々な種のサルのAEP を、厳密に同条件の実験で比較できる。ヒトAEP について既に多くの知見の蓄積があり、結果の解釈が容易である。とくに本研究にとって重要なことに、聴覚処理の時間窓を反映するAEP 成分がヒトで確立されているため、実験の標的とすべき指標が明確である。

無麻酔のサルから無侵襲で脳波を記録するのは技術的には容易ではないが、申請者のチームは、アカゲザルの脳波記録の方法論を独自に確立することに成功した (Itoh et al., Hearing Research, 2015)。本研究では、この方法を活用し、またさらにコモンマーモセットにも適用を拡大することで、ヒト・アカゲザル・コモンマーモセットの三種比較を行った。

4. 研究成果

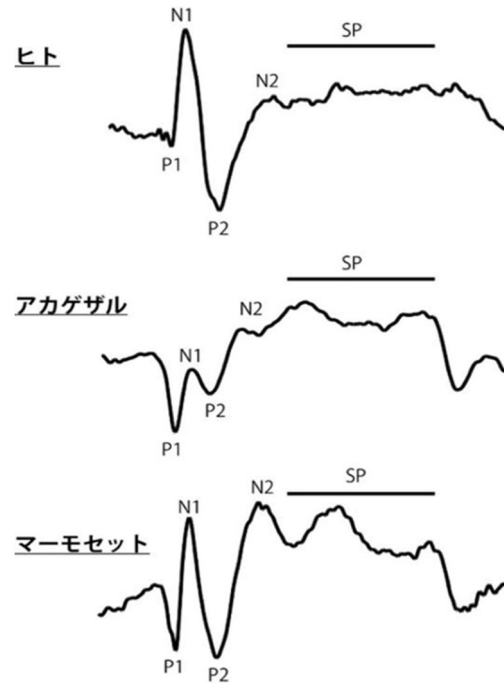
(1) サル無侵襲脳波記録法の改良と拡張

アカゲザルの無侵襲脳波記録につき、いくつもの改良を施した。具体的には、電極の材質や大きさや形状、電極の設置法、サルの固定法などを見直し、研究期間の終了までに大幅な技術的な改善を達成した。これにより、短時間の実験準備で、高品質の脳波を、再現性良く記録で

きるようになった。

アカゲザルでの経験をもとに、コモンマーモセットの無侵襲脳波記録へと適用を拡張した。アカゲザルよりかなり頭部が小さいため、電極そのものや電極固定法を根本から見直す必要があった。また、適切な室温管理や、頭皮が薄くて弱いことなど、動物の取り扱いに注意が必要な点も明らかとなった。苦労はしたが、最終的に安定して高品質な脳波を記録できるようになった。マーモセットの無麻酔下での無侵襲での頭皮上脳波記録に成功したのは、これが世界で初めてであり、成果は英文原著論文にまとめて投稿した(Itoh et al., submitted)。

これにより、ヒト・アカゲザル・マーモセットの三種で、AEPを比較する準備が整った。



(2) 時間窓の評価

聴覚の時間窓を種間で比較する実験を、いくつか行った。その中から二つ報告する。

音刺激の持続時間とAEP振幅

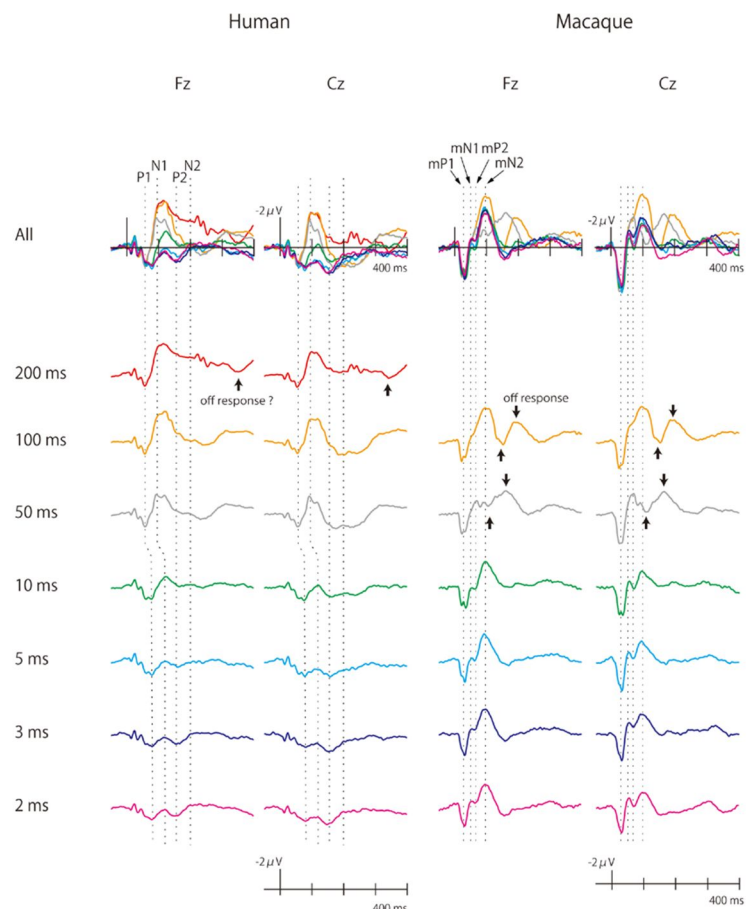
AEPの振幅は神経活動の時間的加重を反映して、ある一定の範囲まで、音の持続時間の延長に伴って増大する。例えばヒトのN1振幅は、刺激音の長さが50ms 程度になるまで増大して最大値に達するが、さらに音を長くしてもこれ以上AEP振幅は増えない。しかし、アカゲザルではこの時間的加重がほとんど起こらず、たった2、3 msecの刺激持続時間でも、すでにN1の振幅

は最大値に達していることを発見した。

聴覚の時間窓がアカゲザルで短い証拠である。

この実験は、先に脳波記録法の確立したアカゲザルでのみ実施し、英文原著論文にて発表した

(Itoh et al., 2019)。その後、同じ実験をマーモセットでも行ったので、このデータを解析することで、三種間の比較を完成させたい



アカゲザルやマーモセットでは、純音に対するAEP成分（例えばP1やN1）のピーク潜時は、ヒトの半分程度と短いことが判明した。つまり、ある音が聴覚イベントの開始として見なされるまでにかかる時間統合の幅が、ヒトよりもかなり短いようである。この結果を詳細に解析し、英文原著論文にまとめている。

以上の結果は、いずれも、「ヒト聴覚の時間窓は進化で延長した」という、代表者の当初の説を支持する。この仮説が電気生理実験により実証されるのは、代表者の知る限り、初めてのことである。ただし、聴覚の時間窓は、処理階層が上がるにしたがって増大する複雑な脳機能である。今後の研究で、複数の指標により多面的な検証を進めていきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Matsuda Masato, Igarashi Hironaka, Itoh Kosuke	4. 巻 13
2. 論文標題 Auditory T-Complex Reveals Reduced Neural Activities in the Right Auditory Cortex in Musicians With Absolute Pitch	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 809
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2019.00809	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 Itoh Kosuke, Nejime Masafumi, Konoike Naho, Nakamura Katsuki, Nakada Tsutomu	4. 巻 13
2. 論文標題 Evolutionary Elongation of the Time Window of Integration in Auditory Cortex: Macaque vs. Human Comparison of the Effects of Sound Duration on Auditory Evoked Potentials	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 630
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnins.2019.00630	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 2件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Kosuke Itoh
2. 発表標題 Evolutionary elongation of the time window of auditory cortical processing
3. 学会等名 Post-Symposium of the 33rd Annual Meeting of the International Society for Psychophysics: Perception and the Brain（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤浩介
2. 発表標題 頭皮上脳波記録で探る聴覚皮質機能の進化
3. 学会等名 第47回ホミニゼーション研究会「言語の生物学と進化」（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 藤浩介、禰占雅史、鴻池菜保、中村克樹、中田力
2. 発表標題 聴覚機能の進化：ヒトとアカゲザルにおける無侵襲頭皮上聴覚誘発電位記録による検討
3. 学会等名 日本基礎心理学会第36回大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Itoh K, Nejime M, Konoike N, Nakamura K, Nakada T
2. 発表標題 Musical chord change detection in the macaque monkey is hindered by insertion of silent gaps between chords: a scalp ERP study
3. 学会等名 Society for Neuroscience 47th Annual Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究分担者	酒多 穂波 (Sakata Honami) (50804548)	新潟大学・脳研究所・特任助教 (13101)	
研究分担者	松田 将門 (Matsuda Masato) (30838652)	新潟大学・医歯学総合病院・副臨床検査技師長 (13101)	