

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00221

研究課題名(和文)複数音源混在環境における音源定位の神経機構の解明

研究課題名(英文)Neural mechanisms underlying auditory spatial processing of multiple sound sources

研究代表者

カラン 明子(Callan, Akiko)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳機能解析研究室・主任研究員

研究者番号：80395178

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：視覚に比べると、聴覚の空間知覚の脳内機構の解明は遅れている。本研究では、複数音源知覚時に選択的注意の与える影響の解明・水平360度全方位に位置する音源の脳内処理メカニズムの解明を目指しfMRI実験を実施した。その結果、音源が右もしくは左ではなく左右両方に位置する場合、聴覚の空間知覚に関連する脳の部位(上側頭回後部)が活性化すること、左右から音が聞こえる時にどちらか片方に注意を向ける場合、楔前部・上側頭回後部で脳活動が変化すること、水平360度全方位に対する聴覚空間処理の脳内メカニズムの一部が明らかになった。これらの結果は、人間の聴覚空間の神経機構研究の解明に寄与すると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

複数の音源が混在している環境で、音源を分離し、関心のある音を選択的に処理する能力(選択的注意、例、カクテルパーティ効果)は、人間の大切な能力の一つであり、選択的注意の低下は、難聴者や高齢者のQOL(Quality Of Life)に直結している。本研究の成果は、複数音源混在環境における音源定位の神経機構の解明を進め、難聴者や高齢者のQOLの向上に貢献できると考える。

研究成果の概要(英文)：Compare to vision, neural mechanisms of auditory spatial perception are still unknown. In this study, we conducted several fMRI experiments to reveal 1)neural mechanisms associated with auditory spatial processing of multiple sound sources, 2)neural effects of spatial selective attention on auditory spatial processing and 3) neural correlates of spatial processing for 360° azimuthal directions. Our results show 1) more spatially separated sounds activate the posterior superior temporal gyrus (pSTG), 2)selective attention enhanced activity in the precuneus and pSTG,and 3)pSTG activity is associated with auditory spatial processing for 360° azimuthal directions. We believe that these findings will enhance our knowledge about neural mechanisms of human auditory spatial perception.

研究分野：認知科学

キーワード：fMRI 空間知覚 聴覚 選択的注意 脳機能 音源定位 神経機構

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

音源定位メカニズムに関して、動物の神経生理実験などにより、両耳間時間差・音圧差の処理が脳幹で行われていることは明らかになっているが、頭部伝達関数の脳内処理は不明である。また、人間の脳機能研究では、音源定位に携わる脳の部位や聴覚野の対側性について、一致した見解が得られていない。これは、実験で使われた音刺激の種類の違い(例、立体音 vs 非立体音)、脳計測データ分析における信号感度の違い(例、神経電気活動 vs 血流量変化)によると考えられる。さらに、立体音・非立体音聴取時の脳活動を直接比較し、現実的な刺激と非現実的な音刺激が脳活動に与える影響の違いについて検討した fMRI 実験はなかった。研究代表者らは、立体音聴取時と非立体音聴取時の脳活動を比較する fMRI 実験を行い、上側頭回後部 (pSTG) が頭部伝達関数を含む立体音の聴取時により活性化することを明らかにし、実環境での音源定位に上側頭回後部が携わっていることを示した (Callan et al., 2013)。また、受聴者の正面と左右に位置する 7 つの音源方位を比較した実験では、上側頭回後部の脳活動が、同側の音源方位とは相関を持たないが、対側の音源方位とは正の相関関係を持つことを明らかにした (Callan et al., 2015)。これらの fMRI 実験により、音源が一つの場合の音源定位の脳内表現は明らかになってきているが、音源が複数の場合の音源定位の脳内機構に関しては殆ど未知である。

2. 研究の目的

実世界では私たちは複数の音を同時に聞き、認識・処理している。複数の音源が混在している環境で、音源を分離し、関心のある音を選択的に処理する能力 (選択的注意、例、カクテルパーティ効果) は、人間の大切な能力の一つであり、選択的注意の低下は、難聴者や高齢者の QOL に直結している。それ故、複数音源混在環境における音源定位の神経機構の解明は、重要な研究課題の一つであると言える。本研究では、様々な方位から同時に提示される音を聞いているときの脳活動を fMRI により計測し、そのデータを関心領域法などの信号抽出能力の高い解析法で分析することにより、複数音源混在時の人間の音空間処理機構の理解を深める。

3. 研究の方法

(1) 複数音源知覚時に選択的注意の与える影響の解明

頭部伝達関数を用いて作った立体音 (ヘッドホン聴取時に音源の位置が立体的に再現できる音) を用いて、音が 2 箇所から同時に提示された時の脳内処理を fMRI 実験により検証する。具体的には、2 種類の音声を右・左・左右両側から提示し、右・左・左右両側に注意を向けるように指示を与え、指示された注意方向から何度ターゲットである音声“ありがとう”が聞こえたかをボタン押しで反応する課題を行っている時の脳活動を計測し、次の 3 つの問について検証する。問 1: 音源位置数が増えると音空間処理に携わる脳部位がより活性化するか。問 2: 聴覚による空間的注意に携わる脳部位はどこか。問 3: 空間的注意は音空間処理にどのような影響を与えるのか。

(2) 水平 360 度全方位に位置する音源の脳内処理メカニズムの解明

36 チャンネルスピーカーアレイシステムを用いて、ヘッドホン聴取時にも立体的音空間が再現できるバイノーラル録音刺激を作成し、水平 360 度全方位に位置する音源聴取時の脳活動を fMRI 実験により検証する。脳活動を高め、音源位置推定に伴うトップダウン処理の影響を避けるため、3 つの音を連続して提示 (例、10 度 20 度 30 度) し、その動きの方向 (時計回り・半時計回り) をボタン押しで反応する課題を行っている時の脳活動を測定し、次の 3 つの問について検証した。問 1: 水平位置の違いによって活動が変化する脳の部位はどこか。問 2: 聴覚空間処理において右脳が左脳よりも優位か。問 3: 両耳間時間差・音圧差は聴覚野の対側性にどのような影響を与えるのか。

4. 研究成果

(1) 複数音源知覚時に選択的注意の与える影響の解明

問 1: 音源位置数が増えると音空間処理に携わる脳部位がより活性化するか。

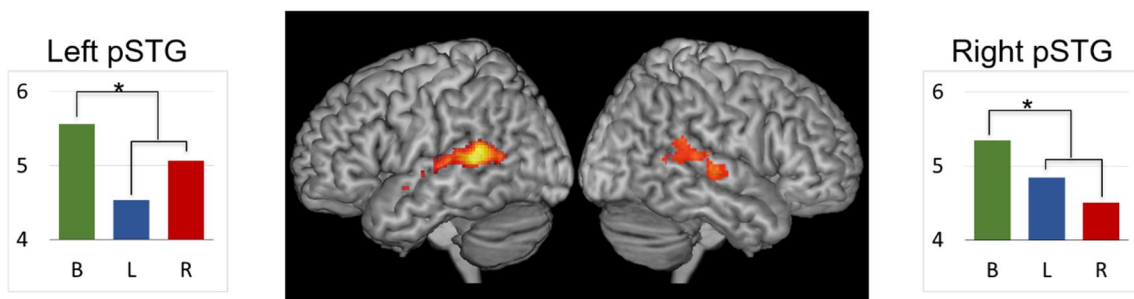


図 1. 音源位置が両側の時により活性化していた脳の部位。

2種類の音が右または左から聞こえた時に比べ、左右両側から1種類ずつ聞こえたときにより活性化していた脳の部位を図1に示す。図1が示すように、音空間処理に携わることが知られている上側頭回後部(pSTG)で有意な差がみられた。各音源位置条件に対する脳活動の平均を示す棒グラフから、対側に位置する音源が上側頭回をより活性化すること(対側性)、両側に音源が位置する時は、対側時よりさらに脳活動が活性化することが分かった。

問2: 聴覚による空間的注意に携わる脳部位はどこか



図2. 右もしくは左空間にだけ注意を向ける条件時により活性化していた脳の部位

ただターゲットの出現回数を数えるだけではなく、指示された方向から聞こえるターゲットの出現回数を数える条件で、楔前部(precuneus)がより活性化していた(図2)。楔前部は、視覚空間における選択的注意に携わることが知られており、この結果は、視覚だけではなく聴覚による空間的注意にも楔前部が携わっていることを明らかにした。

問3: 空間的注意は音空間処理にどのような影響を与えるのか

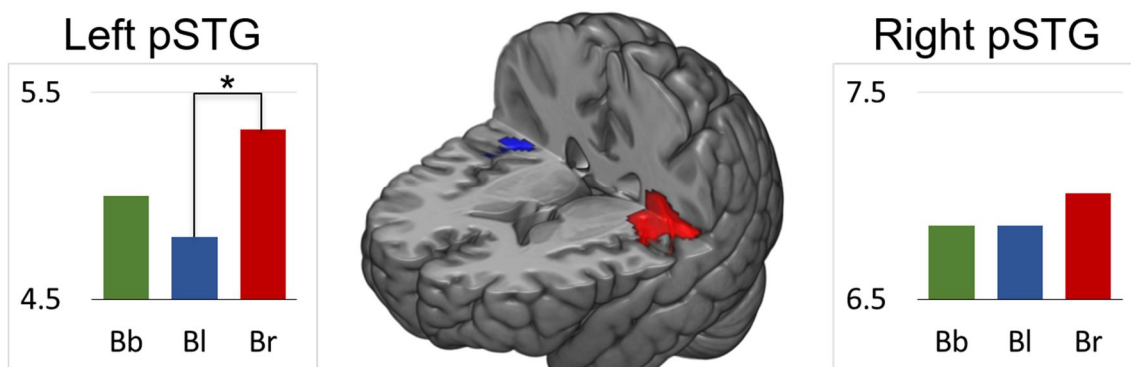


図3. 空間的注意が上側頭回後部の脳活動に与える影響

図3の中央の脳の図に、左音源に比べ右音源で活性化していた部位を赤、右音源に比べ左音源で活性化していた部位を青で示す。これらの部位の脳活動が空間的注意条件によって、どのように変化したかが両側の棒グラフで示されている。右上側頭回後部では有意な差が見られなかったが、左上側頭回後部は、両側に音源が位置する時に、右方向にだけ注意を向けるように指示された場合、左方向に注意を向ける時よりも脳活動が大きくなっていた。これによりカクテルパーティ効果のような、複数音源混在時に関心のある音を選択的に処理する能力に上側頭回後部が携わっていることが示された。

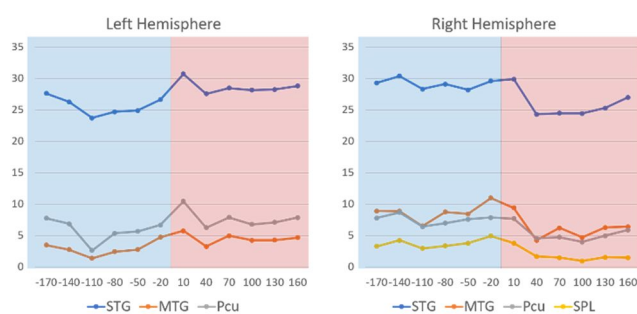


図4. 音源の水平方位に対する脳活動の変化(正の方位が右空間、負の方位が左空間)

(2) 水平360度全方位に位置する音源の脳内処理メカニズムの解明

問1: 水平位置の違いによって活動が変化する脳の部位はどこか

音源位置条件によるF検定の結果、両側の上側頭回(STG)、中側頭回(MTG)、楔前部(Pcu)、右脳の上頭頂小葉(SPL)で有意差が見られた。活動パターンはどの部位も似ていて、同側より対側に位置する音刺激に対してより強く反

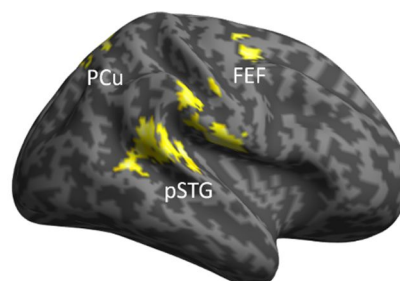


図5. 半側空間内異なる位置に対して異なる活動をみせた脳の部位

応していた。また、どの方位に対しても、上側頭回は他の部位より強く反応していた。左空間内の音源位置に対し有意に活動が変化していた脳の部位を図 5 に示す。右空間の音源位置に対し有意な活動変化を見せた脳の部位は無かった。

問 2：聴覚空間処理において右脳が左脳よりも優位か
症例研究により、視覚空間処理において、左脳は右側の空間処理を担うが、右脳は両側の空間処理を担うという右脳の優位性が示されている。聴覚空間処理においても右脳が優位であるかを検証するため、聴覚の空間処理を担うとされる上側頭回の側頭平面の領域限定分析を行った。全方位では優位性は示されなかったが、前方中心の方位に限定した場合（左 20 度と右 10 度）右側頭平面は左右の音源に対し、同じように強く活動していた（図 6）。一方、左側頭平面は、左より右の音源に対してより強く反応していた。この結果は、聴覚空間処理における右側頭平面の優位性を部分的に支持した。

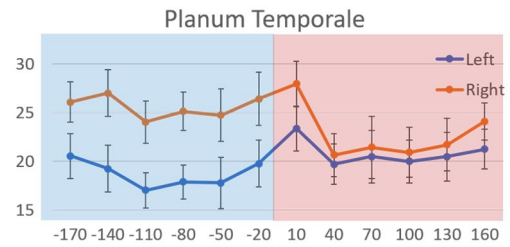


図 6 .音源の位置に対する側頭平面の活動。右側頭平面が赤。

問 3：両耳間時間差・音圧差は聴覚野の対側性にどのような影響を与えるのか

先行研究では、聴覚野の対側性は両耳間時間差によると報告されている。しかしながら、両耳間音圧差が対側性に与える影響については、私たちが知る限り誰も検証していない。この実験では、ヒト型マネキン(Kemar)を用いたバイノーラル録音刺激と、その刺激から、両耳間時間差もしくは両耳間音圧差を計算的に除外した nITD(時間差なし)、nILD(音圧差なし)刺激を比較した。側頭平面の領域限定分析の結果を図 6 に示す。音刺激の種類による対側性の有意差は左側頭平面でのみ見られた。分析の結果、両耳間時間差・音圧差・頭部伝達関数を含む Kemar 音刺激を聴取時に対側性が一番強く、両耳間時間差を含まない nITD 音刺激を聴取時には弱い対側性がみられたが、両耳間音圧差を含まない nILD 音刺激を聴取時には対側性が見られなかった。この結果から、聴覚野の空間処理の特徴である強い対側性には、両耳間時間差・音圧差の両方が必要であること、また、両耳間時間差より両耳間音圧差が対側性により強い影響を与えていたことが分かった。

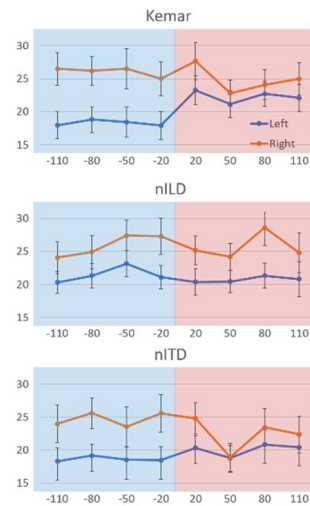


図 6 .音刺激条件ごとの側頭平面の脳活動パターン

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Akiko Callan
2. 発表標題 Neural representation of horizontal 360° sound localization in human
3. 学会等名 The 48th Annual General Meeting of European Brain and Behaviour Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akiko Callan
2. 発表標題 Effect of attention on auditory processing of multiple sound sources
3. 学会等名 47th European Brain and Behaviour Society 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