

主論文の要旨

**Properties of echoic memory revealed by
auditory-evoked magnetic fields**

〔 脳磁図による聴性感覚記憶特性の解明 〕

名古屋大学大学院医学系研究科 総合医学専攻
生体管理医学講座 麻酔・蘇生医学分野

(指導：西脇 公俊 教授)

絹川 友章

【緒言】

人間の記憶はスクワイア分類によると、その保続時間の短い順に感覚記憶、短期記憶、長期記憶と分類されている。感覚記憶は、極めて保続時間が短く、解像度の高い意識外の記憶とされている。感覚記憶は各感覚系に認められ、例えば、音の連続である音楽を滑らかに音楽として認識できるのは、感覚記憶の寄与によると考えられている。感覚記憶として保持された情報は注意過程を経て短期記憶へ変換されると考えられており、非常に重要なヒト認知機能の一つと思われるが、生理学的意義は十分には解明されていない。1960年にハーバード大学の Sperry が、Partial Report という手段を用いて視覚における感覚記憶の存在を心理実験で初めて示した。以降、聴覚、触覚にも感覚記憶が存在することが明らかになった。しかし、感覚記憶は保続時間が短く意識外の事象であるため、心理実験での調査には限界があった。今回、我々は聴覚誘発脳磁場を用いて感覚記憶の特性に関する研究を行った。

【対象】

13人の健康なボランティア（女性3人、男性10人、年齢25～55歳、中央値37歳）が本研究に参加した。直近5年間に精神・神経疾患の既往歴のある者はおらず、全員から書面にて同意を得た。

【方法】

今回の実験には脳磁図（MEG: Magnetoencephalography）を使用した。脳磁図は神経細胞の電気活動によって生じる僅かな磁場を計測する手法である。脳波と異なり、頭蓋骨や髄液の影響を受けないため、信号の発生源推定の点で優れている。磁気信号は306チャンネルの全頭型 MEG システム（Vector-view, ELEKTA Neuromag, Helsinki, Finland）を使用して記録した。

音刺激はインサートイヤホンを用いて呈示し、被験者には2m先のスクリーンに映される字幕つき無音映画に集中し、実験中はすべての刺激を無視するように指示した。1ミリ秒のクリック音連続（100Hz）を用いて（Figure 1A）、0.49ミリ秒の両耳間時間差を挿入して右を遅らせた音（R-Delay、以下R）と左を遅らせた音（L-Delay、以下L）の二種類の音を作成して刺激音とした（Figure 1B）。被験者には遅延のある側の対側に音源があるように聞こえる。音刺激の持続は500ミリ秒とし、300ミリ秒の休止を挟んで繰り返し呈示した。すなわち、L、Rにかかわらずそれぞれの耳には同一の音が800ミリ秒間隔で呈示されたことになる。二つの三音連続パターン、L-R-RとR-L-Lを（Figure 1C）をランダムかつ等確率で呈示した（Figure 1D）。この時、直前に同じ音が1回あった音刺激を1S、2回あったものを2S、異なる音が1回あったものを1D、2回あったものを2D、3回あったものを3Dとしてイベントをグループ分けした。LとRは1:1、1D、2D、3D、1S、2Sは1:1:1:2:1の確率で発生する。

聴覚誘発脳磁場の記録から両側聴覚野の信号源を推定した。得られた信号源強度波形を用いて誘発脳活動の振幅を計測し、5群間で比較した。波形は1-100Hzのデジタ

ルフィルターを適応した。解析は音刺激の開始 100ms 前から、音刺激の 400ms 後までの範囲で行った。有意差検定には（大脳半球×イベント×音刺激）として 3 要因の分散分析を用いた。

【結果】

5 群それぞれの信号源強度総加算波形を Figure2 に示す。左右半球と音（L と R）を全て合わせて 5 群で加算したものである。5 群は全て同一の音に対する脳反応であるにもかかわらず、振幅は 5 群間で有意に異なった ($F_{4,48} = 25.2, p = 2.8 \times 10^{-11}$)。Figure2 から明らかなように、下位検定では振幅は 1D と 2D、1D と 3D に有意差があったが、1S と 2S には差がなかった。重要な結果としては、1D は有意差をもって 1S より高振幅であった ($p = 0.039$)。すなわち、先行する 1 音が次の音に対する応答振幅に影響した。

【考察】

本研究で D 群が高振幅となったのは変化関連脳活動のためと考えられる。変化関連脳活動は、先行する感覚入力と最新のそれとを比較し、異なると判定された際に発生する特異的な活動である。従ってその発生には記憶と比較過程が関与している。今回の結果で 1S と 2S に差がないことから、1 音の呈示でそれまでの感覚履歴がリセットされるものと考えられる。一方 D 群では先行する異なる音の数が振幅に影響を与えたことから、感覚記憶に強度があり、少なくとも 1 音では強度の最高値に達しなかったと考えられる。このように、感覚記憶の強度が増すとともに、それと異なる入力があった際に発生する変化関連脳活動の振幅が増す、との考えから作成したモデルを Figure3 に示す。横軸が時間、縦軸が感覚記憶の強度を示す。記憶強度の増強、減衰が線形でないのは、それらが時間の対数に比例するためである。直近の履歴と異なる音が呈示された際に、それまでに蓄積された記憶の強度に応じて変化関連脳活動の振幅が決定される。今回の結果でさらに重要なことは、一つの音要素について、聴覚感覚記憶はある状態一つしか保持しないという点である。今回は音源位置の記憶を用いたが、音源位置を直近の一方向のみ記憶するということになる。そして、音源位置がどの方向であれ、保持されていた情報は、それと異なる入力があると新たな情報で置き換えられる。その点を Figure3 では L と R の記憶が時間的に全く重複しない形で表現している。

【結語】

超短時間・意識外の聴性感覚記憶の挙動を、脳磁図を用いて客観的に観察することができた。感覚記憶は変化関連脳活動の基礎となるものであり、生存に重要な役割を果たしている。現在の感覚状態を常に最新のものに更新しておくには、忘却・置換が重要である。このような感覚記憶聴の特性から、感覚記憶は注意を向けるべき新たな事象を特定するためのリアルタイムモニターとしての役割を果たしていると考えられる。