音刺激により誘発される脳活動について

○遠藤順一（東海大学）、坂口行成（東海大学）、佐光興亜（東海大学）

On the brain activity evoked by auditory stimulation

Jyunichi Endo (Tokay University), Michinari Sakaguchi (Tokay University),
Okitsugu Sako (Tokay University)

1. はじめに

脳は極めて多数のニューロンの集合からなる複雑な体系であり、脳における電氣的活動は極めて複雑で非線形な動的振る舞いを示し、一見不規則に変動する脳波信号として観測される。しかし、脳波は白色雑音のような完全にランダムな信号ではなく、その内部には α 波や θ 波などの定まった周波数を持つリズムが存在すると共に、広帯域にわたって $1/f$ ゆらぎに似たスペクトルパターンを示す。脳における活動は不規則現象ではなく、認識過程における情報の自己組織化に見られるように、その活動には決定論的規則性、即ち、カオスの存在が示唆される。

本研究では、カオスの活動を示す脳に対して、特定の周波数の単音を一定の周期で発生させたクリック音、一見不規則な間隔で聞こえる水琴窟からの音および広範囲にわたる周波数ゆらぎおよび強度ゆらぎを含む複雑な構造を持つ音楽という、性質の異なる三種類の音刺激を与えた場合に誘発される脳活動について検討を行う。

聴覚野の存在する左右側頭葉と情報の統合部位である前頭葉における脳波を測定し、脳活動の複雑性の尺度を与える相関次元を計算すると共に、脳波に内在する固有リズムの強度変化に注目し、音刺激を与えたときの脳活動の応答を定量的に評価する。

2. 音刺激

クリック音は、周波数 4.0[kHz]、音圧 70[dB]の単音を 1.0[sec]の一定間隔で発生させる。水琴窟は、瓶の底に水を張り、上から水滴をしたらし、水滴が水面に衝突したときに発生する音が瓶の空洞の中で反響して琴の音色に聞こえるようにした装置である。水道の蛇口からしたり落ちる水滴の流体力学的挙動は非線形ダイナミクスであり、落下する水滴の間隔はカオス的変動を示す¹⁾。従って、水琴窟における水滴

の落下間隔、即ち、水琴窟音による音刺激間隔もまたカオス的であると考えられる。本実験で用いた水琴窟音は CD に収録されたもので、その周波数ゆらぎは $1/f$ スペクトルパターンを有している。音楽は、チェロによって演奏されたドビッシーの「ベルガマスク組曲・月の光」を用いた。この曲の周波数ゆらぎもまた $1/f$ スペクトルパターンを有している。音刺激は、ヘッドホンを通して与え、水琴窟音および音楽の音量は、被験者が不快に感じない程度に設定した。

3. 脳波測定

被験者は、20歳代の健常男性5名である。脳波測定は、シールドルーム内において安静座位開眼状態で双極誘導法にて行った。測定部位は、左右側頭葉(C_4-T_4 ; C_3-T_3)および前頭葉(C_z-F_z)の3箇所とした。測定した脳波信号は、ポリグラフシステムを使用してフィルタリングおよび増幅を行った後に、サンプリング周波数 1[kHz]でデジタルデータレコーダに記録した。測定時間は、音刺激前 3[min]、音刺激中 3[min]（音楽は 5[min]）、音刺激後 6[min]の合計 12[min]（音楽は 14[min]）間に設定し、連続測定を行った。

4. 解析

測定データを 200[Hz]で再サンプリングした後に、移動平均法を用いてトレンド成分およびアーチファクトの除去を行った。解析には、データ窓 10[sec]で切断した時系列データを用いた。データの切り出しは、音刺激開始直前(Before)、音刺激開始直後(During 1)、音刺激終了直前(During 2)、音刺激終了直後(After 1)および実験終了直前(After 2)の5箇所で行った。

切り出した脳波時系列データに対して、線形解析であるスペクトル解析と非線形解析である

カオス解析を行う。スペクトル解析では、時系列データに 0.5~45[Hz] のバンドパスフィルターをかけた後に高速フーリエ変換法を用いてパワースペクトル密度を計算する。カオス解析では、脳波 1 次元時系列から Takens²⁾ の埋め込み定理により n 次元ベクトル系列を構成し、Grassberger 等³⁾ のアルゴリズムにより相関次元を計算する。

5. 結果

Fig.1 には、水琴窟音を聴いているときの前頭葉における脳波時系列データを用いて種々の埋め込み次元に対して計算した相関積分の 1 例を示してある。Fig. 2 は、Fig. 1 の相関積分の傾きを埋め込み次元に対してプロットしたものであり、埋め込み次元の値を順次大きくして行くと、傾きの値は埋め込み次元に比例して大きくなっていくが、ある次元を越すと傾きの値は埋め込み次元に依存しない一定の値に収束する。この時の傾きの値は相関次元と呼ばれ、脳の動的活動の複雑性の尺度を与える。この例における相関次元は $D=11.2$ と推定される。前頭葉における相関次元は 7~11 の範囲にわたるかなり高い値を示す。

Table には、クリック音、水琴窟音および音楽の 3 種類の音刺激を与えたときの前頭葉における脳波が示す相関次元の変動をまとめている。いずれの音刺激に対しても、刺激前(Before)に比べて音刺激開始(During 1)によって相関次元の増大が見られるが、最も大きく増大するのがクリック音刺激の場合であり、水琴窟音、音楽の順に増大の比率が小さくなる。これは、刺激開始時における音源の性質を反映しているものと考えられる。クリック音刺激では、刺激の継続中(During 2)にもかかわらず相関次元が減少しているのに対して、水琴窟音と音楽の刺激では逆に増大している。クリック音は規則的で単調な音刺激なので次の音の発生が予測可能であり、脳の活性化が減弱したものと考えられる。一方、水琴窟音の発生間隔はカオス的であり、次の音の発生を予測することが極めて困難であるのに対して、音楽の場合には、水琴窟音程の意外性が無いことが脳の活性化の違いとして During 2 における相関次元の更なる増大に反映

しているものと考えられる。

Table 相関次元の平均

	クリック音	音楽	水琴窟音
Before	8.94	9.33	8.49
During1	11.4	10.3	10.6
During2	9.56	10.5	11.0
After1	8.85	10.7	10.7
After2	9.11	9.78	9.24

Fig.1 相関積分の両対数グラフ

Fig.2 埋め込み次元と相関積分の傾き

参考文献

- 1) J.P.Crutchfield et al. : “Chaos”, Sci. Amer. **245**, 46-57, 1986
- 2) F.Takens: “Detecting strange attractors in turbulence”, Lecture Notes in Mathematics **898**, 366-381, 1981
- 3) P.Grassberger et al. : “Measuring the strangeness of strange attractors”, Physica D **9**, 189-208 , 1983