

01-2

迷路課題遂行中における脳領域間の関連性の検討

A study of reference of between brain regions during 3-D Maze Task

○ 清水政昭 (東京電機大学) 田中慶太 (東京電機大学) 内川義則 (東京電機大学)

Masaaki SHIMIZU, Tokyo Denki University
Keita TANAKA, Tokyo Denki University
Yoshinori UCHIKAWA, Tokyo Denki University

Abstract: Frontal midline theta (Fm theta) rhythm is known as a brain wave appearing mental task in a midline positive central region. The Fm theta rhythm is a synchronous human brain wave between 6 and 7 Hz that appears in midline positive central region. It shows the peak magnitude in positive Fz of the ten – twenty electrode system (Fig.1) ⁽¹⁾. We examined relationship of cortex regions interval applied power spectrum and complex coherence analysis for Fm theta. Fm theta was detected EEG of the person while performing 3-D maze tasks. We analyzed frequency and phase for the Fm theta. Using the imaginary part of coherency which standard electrode is Fz, we analyzed Fm theta. As a result, imaginary part of coherency was high at electrode Pz and O1. Therefore, we suggest that Fm theta rhythm during spatial perception is related of brain area at left region.

Key Words: Electroencephalogram (EEG), Frontal Midline Theta Rhythm (Fm θ), Complex Coherence, 3-D Maze Tasks

1. はじめに

Fm θ 波 (Frontal midline theta rhythm) は、連続加算作業や空間認知などの精神作業中に前頭正中中部に出現する 6-7Hz の同期性の脳波であり、Fig.1 の国際電極配置法 (10-20 法) の電極位置 Fz において最大振幅を示し、1 秒以上持続する脳波として定義されている⁽¹⁾。

近年、空間認知における θ 波活動についてはラットやてんかん患者による報告があるが、空間認知における Fm θ 波活動の定量化について健常者による報告が数少ないのが現状である⁽²⁾⁽³⁾。

本研究は、健常者による三次元迷路課題遂行時の脳波計測を行い、空間認知による Fm θ 活動を検討した。計測したデータに連続ウェーブレット変換を行い、Fm θ 波出現区間の定量化を行った。さらに、Fm θ 波出現区間に対して、脳波の周波数律動の同期性を調べる手法である複素コヒーレンシー解析を用いて、脳領域間の関連性について検討を行ったので報告する。

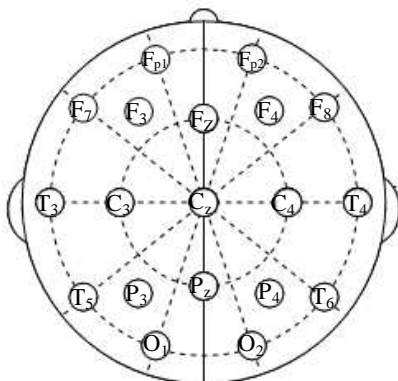


Fig. 1 Electrode Placement

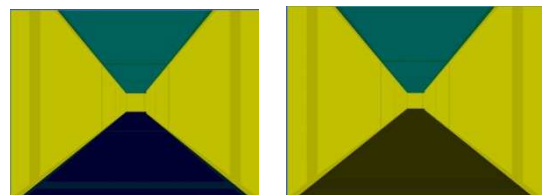
2. 実験方法

本研究で用いた迷路課題 (Fig.2) はナビゲーション課題 (NT: Navigation Trial) とナビゲーション無し課題 (NNT: Non Navigation Trial) と記憶課題 (ST: Study Trial) と試行課題 (TT: Test Trial) で構成される。NT 課題はスタートからゴールまでの最短順路を床に着色し、最短順路をテンキ

ーで 5 回辿る課題である。NNT 課題はスタートからゴールまでの最短順路を、テンキーを使って探索し、5 回辿る課題である。ST 課題はスタートからゴールまでの最短順路を床に着色し、最短順路をテンキーで 5 回辿り、NT 課題とは違い記憶してもらう課題である。TT 課題は ST 課題で覚えた最短順路を思い出し、5 回テンキーで辿る課題である。また、迷路におけるスタートからゴールまでの分岐点は、被験者が直進、右折あるいは左折の判断を必要とする箇所である。本実験では、迷路のマップの分岐点を 6ヶ所とし、スタートからゴールまでの最短順路を 61 マスに全て統一した。

健常者 3 名 (男性: 21-24 歳) に対して迷路課題遂行時の脳波を 10-20 法に基づく 19 点において量耳楽連結電位を基準として計測した。計測条件として、20000 倍の増幅及び 0.5-100Hz の帯域通過フィルタと 50Hz のノッチフィルタを用いた。計測したデータはサンプリング周波数 1kHz で PC に保存した。

被験者には計測前に十分なインフォームドコンセントを得た。



(a) Navigation Trial (b) Non Navigation Trial
Study Trial Test Trial

Fig. 2 The example of Maze Task

3. 解析方法

計測したデータに対して、1-40Hz の BPF (デジタルフィルタ) を用いると共に、ICA による眼電の除去を行った。また、Fm θ 波出現区間検出のために連続ウェーブレット変換を用いて時間周波数解析 (周波数分解能: 0.25Hz) を行い、6-7Hz の平均パワーを求めた。なおウェーブレット変換には morlet のマザーウェーブレットを用いた。求めた平均パワーから、安静時の電極 Fz における時間平均をし

たパワーを求めた。そして、時間平均をしたパワーを小数点第1位で四捨五入し、その値と課題遂行時の電極 Fz における平均化を行ったウェーブレットパワーを 1 サンプル (4ms) ごとに値を比較していき、課題遂行時の電極 Fz における値の方が大きくなる区間が 1sec 以上持続する区間を Fm θ 波出現区間とした。

求めた出現区間に対し、パワースペクトル解析と時系列信号を $x(t)$, $y(t)$ と定義し、基準電極を Fz としたときの複素コヒーレンス解析を行った⁽⁴⁾。

$$\hat{S}_{xx}(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |X_n(k)|^2 \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (1)$$

$$\hat{S}_{xy}(f) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N X_n(k) Y_n^*(k) \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (2)$$

$$C_{xy}(f_1, f_2) = \frac{\sum_{f=f_1}^{f_2} \hat{S}_{xy}(f)}{\sqrt{\sum_{f=f_1}^{f_2} \hat{S}_{xx}(f) \sum_{f=f_1}^{f_2} \hat{S}_{yy}(f)}} \cdot \dots \cdot \dots \quad (3)$$

$$IC_{xy}(f_1, f_2) = |\text{Im } C_{xy}(f_1, f_2)| \cdot \dots \cdot \dots \quad (4)$$

ここで N は Fm θ 波出現区間数、 k は k 番目の Fm θ 波出現区間のデータセグメント、 f は周波数系列、 X_n と Y_n は 2 信号 $x(t)$, $y(t)$ をフーリエ変換したもので、*は複素共役、 f_1 , f_2 は帯域周波数、 \hat{S}_{yy} は信号 $y(t)$ の自己スペクトルを示す。

(1)式は信号 $x(t)$ の自己スペクトル \hat{S}_{xx} , (2)式は信号 $x(t)$ と $y(t)$ のクロススペクトル \hat{S}_{xy} , (3)式は信号 $x(t)$ と $y(t)$ の間のコヒーレンス C_{xy} , (4)式は信号間の位相差のみを捉えるために絶対値をとった複素コヒーレンス IC_{xy} である。

4. 結果及び考察

本解析により、求めた迷路課題遂行時の Fm θ 波出現区間における平均パワースペクトルの結果をマップとして Fig.3(a), (b), (c), (d), Table.1 に課題ごとの電極 Fz のパワーの値を示す。複素コヒーレンスの解析結果をマップとして Fig.4(a), (b), (c), (d), Table.2 に課題ごとの電極 O1, Pz の複素コヒーレンスの値を示す。結果は 6-7Hz の周波数の平均かつ被験者三人の Fm θ 波出現区間数の平均である。

Fig.3 及び Table.1 のパワースペクトルの結果より、NT 課題と NNT 課題では NNT 課題、ST 課題と TT 課題では ST 課題において電極 Fz のパワーの値が高いことがわかった。これは、パワーの増加が、正解のルートを進むより探索時が大きく、記憶を頼りに正解のルートを進むより記憶時が大きいことを示唆する。

また Fig.4 及び Table.2 の複素コヒーレンスの結果より、全ての課題において左後頭部 (O1, Pz) の付近で複素コヒーレンスが高かった。この結果より、左後頭部付近では基準電極 Fz に対して位相差が生じ、左後頭部付近での脳領域間の関連性を示唆する。さらに、NT 課題と NNT 課題では NT 課題、ST 課題と TT 課題では ST 課題において複素コヒーレンスが高かった。これは、スタートからゴールまでの最短順路が示されている時は、左後頭部の複素コヒーレンスが高くなることを示唆する。

5. まとめ

本研究では、パワースペクトル解析と複素コヒーレンス解析を用いて、三次元迷路課題遂行中の Fm θ 波出現区間における脳内活動の検討を行った。その結果、複素コヒー

レンス解析を行ったことにより、左後頭部付近での脳領域間の関連性を捉えることが可能であることが示唆された。

今後は、Fm θ 波の出現区間における迷路課題の空間位置との関連性を検討し、被験者数を増やす予定である。

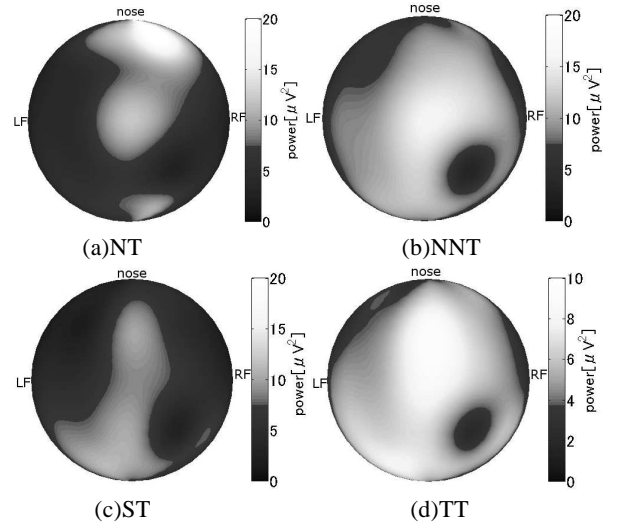


Fig. 3 Maps of power in the frontal midline theta rhythm (6-7Hz) during NT (a) and NNT (b) and ST (c) and TT (d)

Table. 1 Mean Powers and S.D. during the each Tasks at Fz

	NT	NNT	ST	TT
power [μV^2]	8.10	11.52	10.03	9.22
(S.D.)	(4.02)	(7.43)	(3.07)	(4.67)

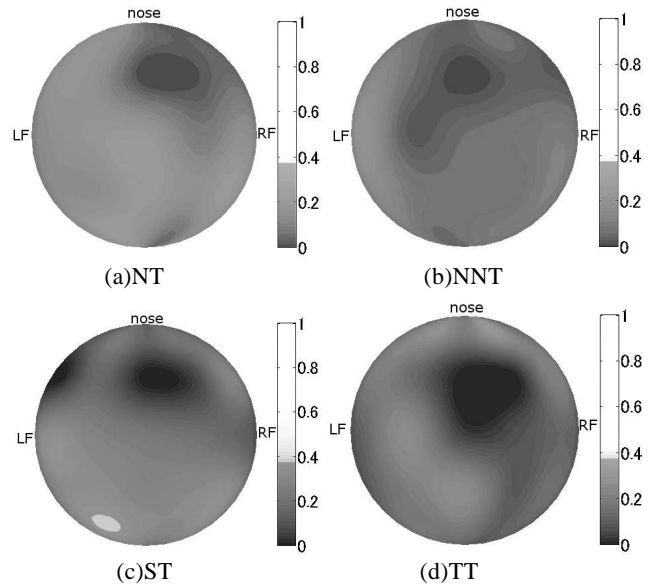


Fig. 4 Maps of imaginary part of coherence in the frontal midline theta rhythm (6-7Hz) during NT (a) and NNT (b) and ST (c) and TT (d)

Table. 2 Imaginary Part of Coherence and S.D. during the each Tasks at O1 or Pz

	NT	NNT	ST	TT
O1	0.22	0.06	0.38	0.17
(S.D.)	(0.17)	(0.07)	(0.32)	(0.04)
Pz	0.20	0.07	0.29	0.25
(S.D.)	(0.16)	(0.01)	(0.23)	(0.15)

参考文献

- (1) 大熊輝雄：「臨床脳波学」，医学書院，p99，1999
- (2) M. J. Kahana, J. B. Caplan, M. Kirschen, J. R. MadsenR,
“Human theta oscillations exhibit task dependence during
virtual maze navigation” , Nature, Vol.399, pp. 781-782 ,
1999
- (3) Arne D. Ekstrom, Jeremy B. Caplan, Emily Ho, Kirk
Shattuck, Itzhak Fried, Michael J. Kahana, “Human
Hippocampal Theta Activity During Virtual Navigation”,
Hippocampus, Vol.15, pp. 881-889, 2005
- (4) Y. Uehara, T. Tanaka, Y. Uchikawa, B. S. Kim,
“Spatio-Temporal Analysis of Frontal Midline Theta
Rhythm in EEG during 3-D Maze Task”, IEEJ Trans. EIS,
Vol.129, No.10, pp1778-1784,2009