

ERP の頭皮上分布の差の検定

2 つの条件における電位の頭皮上分布が異なっていれば、その発生源が異なっている可能性がある。ERP の分析では、振幅値に対して分散分析を行い、部位を含む交互作用が得られた場合に、頭皮上分布が異なると判定する。Figure 1A に示した振幅のデータに、条件 × 部位の分散分析を行うと交互作用が得られた。このことから、条件 1 と条件 2 における電位の頭皮上分布は異なるっていいのだろうか？ もうひとつの可能性として、これらの電位が同一の発生源(ダイポール)から生じていて、その強度だけが変化していることもありうる。

McCarthy & Wood (1985) は、シミュレーションを行い、振幅の実測値に対する分散分析の交互作用が、実際の頭皮上分布の違いを過大評価することを示した。そして、それを補正するために、比較する条件間で振幅の絶対値の差をなくしてから分散分析を行う方法を提唱した。これがスケールリング(基準化/尺度化)手続きであり、2 つの方法がある(彼らは第 3 の方法も紹介しているが、不適切な修正だと述べているのでここでは省く)。

部位の数を n 、部位 i における振幅の実測値を X_i 、基準化した値を D_i とすると、

- ・ 最大値と最小値の差を基準とする方法(一部のデータしか使わないのが欠点)

$$D_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

X_{\max} : 全部位のなかの最大振幅値, X_{\min} : 全部位のなかの最小振幅値

- ・ ベクトル長を基準とする方法(すべての部位のデータを使うので合理的)

$$D_i = X_i / \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + X_3^2 + \dots + X_n^2}$$

ベクトル長(vector length): 全部位の振幅値の平方和にルートをかけたもの

これらの方法により、Figure 1A のデータは、B と C に変換され、分散分析を行っても交互作用が生じない。つまり、条件間に頭皮上分布の差があるとはいえず、電位の発生源が異なっているとはいえないと判定される。

ところが、Haig, Gordon, & Hook (1997) は、もし観察された電位が 2 つ以上の発生源から生じており、そのうちの 1 つだけが増大するような場合には、McCarthy & Wood (1985) の基準化手続きはデータを歪めることになる」と主張した。Figure 1D に示した振幅のデータを素直に見ると、条件 1 と条件 2 の差は、Pz 付近に限局して出現する電位によるものであると考えられる。しかし、基準化すると E と F のようになり、頭皮上分布について実際とは異なった印象を与えてしまう。このことから、Haig らは、頭皮上分布を検討するときは、まず振幅の実測値を使って分析を行い、そのあと適当であれば、基準化した振幅値で分析を行ってもよいと述べた。

これに対して、Ruchkin, Jonhson, & Friedman (1999) は、Haig et al. (1997) は McCarthy & Wood (1985) の方法を誤解していると指摘した。そして、(1)複数の条件で得られた頭皮上分布の差を検定するには、基準化した振幅値を用いて分散分析を行わなければならない、(2)しかし、基準化した振幅値は頭皮上分布を解釈するのに使ってはならない、と提案した(これは McCarthy & Wood の主張と同じである)。

以上をまとめると、頭皮上分布の検定手順は次のようになる。

- (1) 条件間の振幅差は、実測値を用いた分散分析によって検討する。頭皮上分布の差の検定を行わない場合でも、この分析は必須である。
- (2) 条件間の頭皮上分布の差に興味があるときは、基準化した振幅値を使って、実測値の分析と同じ要因計画の分散分析を行う。条件×部位の交互作用が得られたときは、頭皮上分布に有意な差があると判定する。この分析では主効果は意味をもたない。また、下位検定も行わない。ノイズの影響を減らすために、ベクトル長は全被験者の平均値を使って各条件について一つだけ求める。被験者ごとに各条件でベクトル長を求めて基準化することもできるが、この方法の妥当性は確認されておらず、多要因計画のときに予期しない問題が発生するかもしれないので使わない方がいい (Picton et al., 2000, Note 11)。
- (3) 頭皮上分布に有意差が得られたときは、振幅の実測値を用いた分散分析に戻る。条件ごと/部位ごとに下位検定を行い、各条件での電位の部位間関係はどうなっているか、条件差はどの部位で生じているかを明らかにして、頭皮上分布の違いを記述する。

[追記 2003.10.17]

上記の方法は、本来、被験者内デザインで頭皮上分布の条件差を検定するためのものである。同様の方法は、被験者間デザインで群間差を検定するときにも使えそうだが、問題が生じる。Ruchkin et al. (1999)は、スケーリングすることで群間のデータ分散が等質でなくなり、ANOVA や MANOVA の基本仮定が満たされなくなる可能性があるとして指摘した。彼らは、頭皮上分布の群間差の検定をこの方法に頼ってよいかは今後の確認が必要であると述べているが、他の方法は提案していない。実際には、群間に極端な分散の差が生じていないことを確認しつつ、注意して使えばよいだろう。

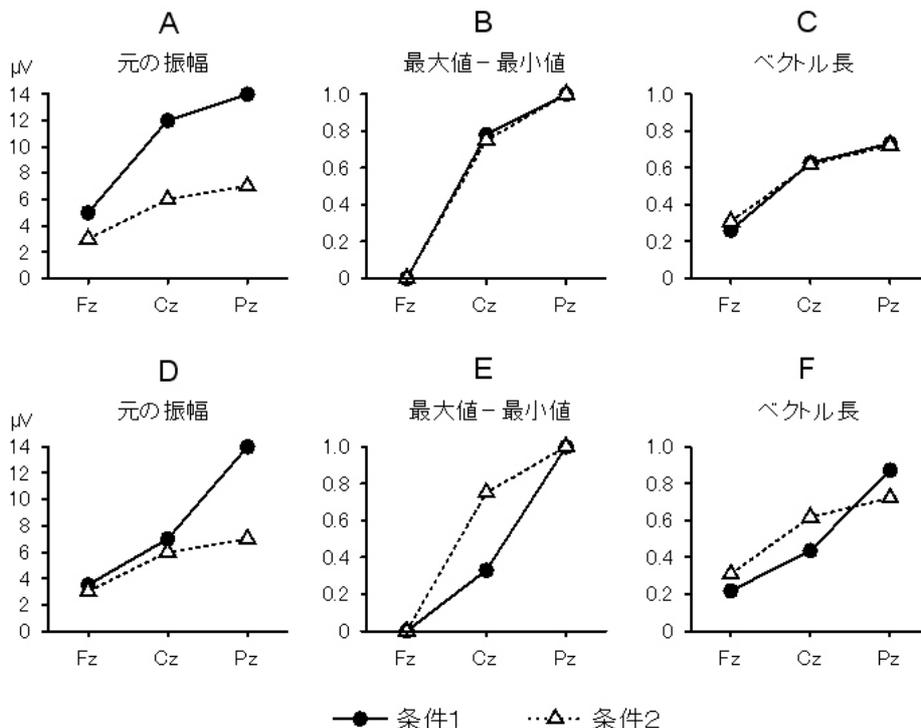


Figure 1. 正中線上3部位における振幅の仮想データ

引用文献

- Haig, A. R., Gordon, E., & Hook, S. (1997). To scale or not to scale: McCarthy and Wood revisited. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *103*, 323-325.
- McCarthy, G., & Wood, C. C. (1985). Scalp distributions of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *62*, 203-208.
- Picton, T. W. et al. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, *37*, 127-152.
- Ruchkin, D., Johnson, R. J., Jr., & Friedman, D. (1999). Scaling is necessary when making comparisons between shapes of event-related potential topographies: A reply to Haig et al. *Psychophysiology*, *36*, 832-834.