

fNIRS解析におけるGLM手法の有効性評価

苦勞して測定したfNIRSデータを、有効に評価する方法は、どちらか？

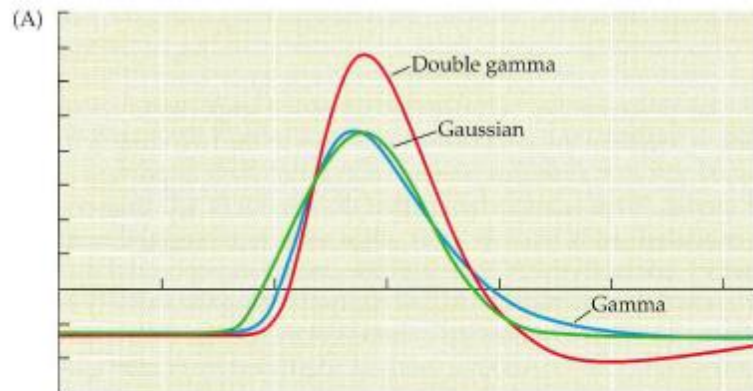
加算平均手法（Block Averaging）か GLM法 ？

どちらが論理的か？

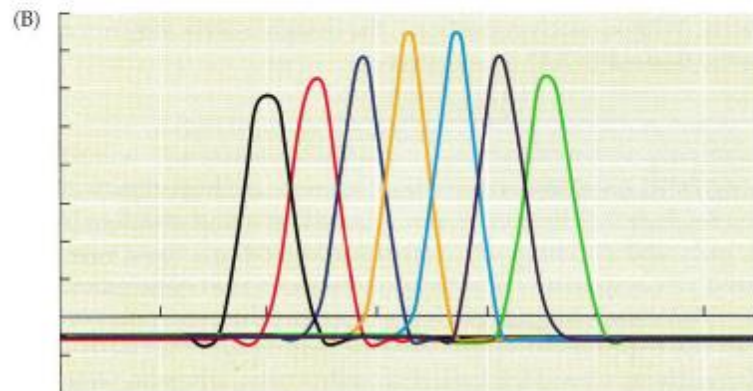
GLM手法

GLM手法は、fMRIの解析手法として発達しました。

SA Huettel,AW Song,G McCarthy “Functional Magnetic Resonance Imaging, second edition,2009” のpage353に



Time



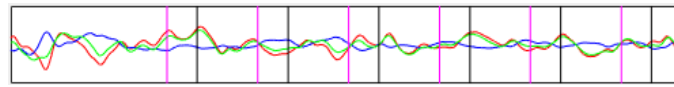
Time

GLM手法でhemodynamic responseを近似する方法として2種類があります。

(A)左図上の一つの波形で近似する方式で、Canonical HRFです。
波形は、Double Gamma,Gamma,Gaussianが用いられます。

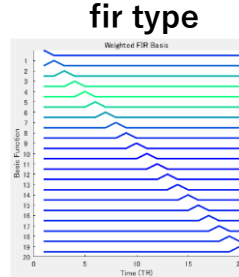
(B)左図下の複数の波形のセットで近似するFIR方式です。一つ一つの波形は、低周波数のsine,cosine,gamma gauss function,box carが用いられます。

measured concentration data Y (HbO,HbR)

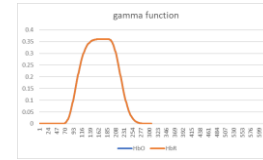


$$Y = X\beta + \varepsilon$$

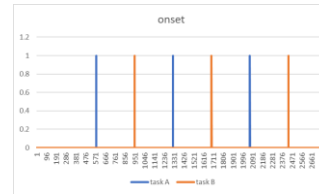
basis function



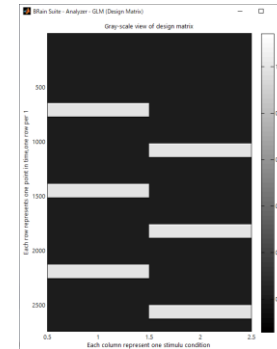
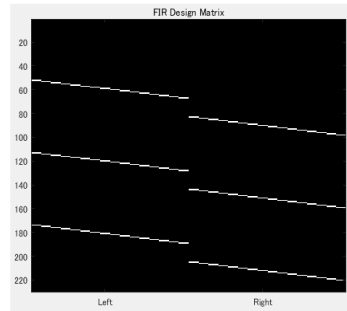
gamma function type



onset/duration



design matrix (convolution)



X

$$X^* = (X^T X)^{-1} X^T$$

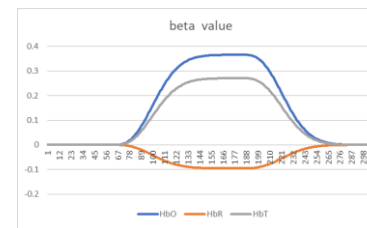
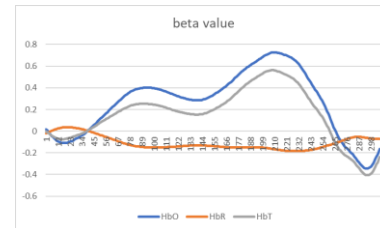
β (based on OLS)

$$\beta = X^* Y \quad (\text{MATLAB/regress})$$

Y :data

X :regressor

HRF



β :coefficients(weights)

ε :measurement error

c :contrast vector

t value

$$t = \frac{c^T \beta}{\sqrt{\varepsilon^2 c^2 (X^T X)^{-1} c}}$$

BSANLでは、GLM解析の検定（モデルの適性、等）をstats情報で表示します。

HRF Basis Function					
	GAMMA		FIR		
"Functional Magnetic Response Imaging" second edition SA Huettel, AW Song, G McCarthy	Double gamma function, Gamma function, Gaussian function		Finite Impulse Response (FIR)		
SPM (NIRS_SPM)	Double gamma function spm_hrf.m, spm_Gpdf.m				
Homer3	Modified Gamma function convolved with square wave of duration T	Modified Gamma function and its derivative convolved with square wave of duration T	Consecutive sequence of gaussian function		
AnalyzIR(MDPI)	Canonical HRF Double gamma function	Gamma Function	FIR-Deconvolution	FIR-Impulse Response Deconvolution	
BSANL	GMF_I: Double gamma function $gampdf(y, s1, r1)$ $-k \times gampdf(y, s2, r2)$ $k: coefficient(ex. 0.5)$	GMF_II: Gamma Function (1) $gampdf(y, s, r) \dots$ $p(y s, r) = \frac{r^s}{\Gamma(s)} y^{s-1} exp(-ry)$ $y: time, s: shape(peak time),$ $r^{-1}: scale(dispersion time)$	FIR_I Consecutive 1[sec] BoxCar	FIR_II Consecutive gaussian function	

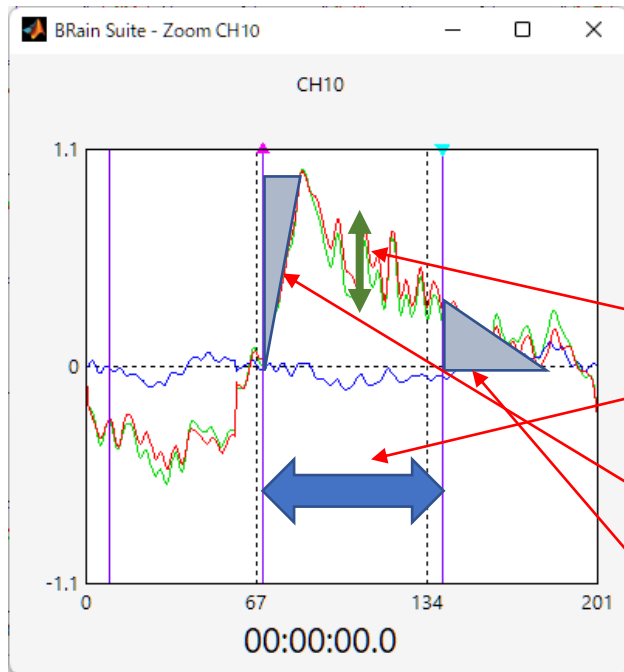
(1) page138, 「データ解析のための統計モデリング入門」、久保拓弥

図1. 加算平均法の矛盾点について

(1) 加算平均法 (BBrainAnalyzer(ビー・アール・システムズ (株))使用)

BandPassFilter: 0.004-0.2[Hz]

Baseline 処理 : Pre 10[sec], Recovery 10[sec], Post 10[sec]



加算平均法(Block Averaging)の長所 :

①視覚的で判り易い

加算平均法(Block Averaging)の短所 :

① タスク範囲の信号値を対象にして加算平均値を計算

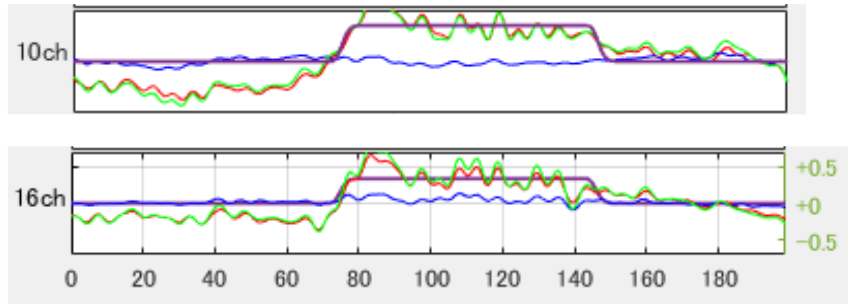
② ベースライン処理時、pre, recovery, postを各々何秒に設定するか明確化されていない。これらの設定値により、補正される波形は変化します。

神経活動に対し、血流反応は時間遅れがあるにも関わらず、Block Averagingでは考慮されない。

特にタスク終了後の脳賦活はタスクにより異なるためRecovery時間の設定が難しい。

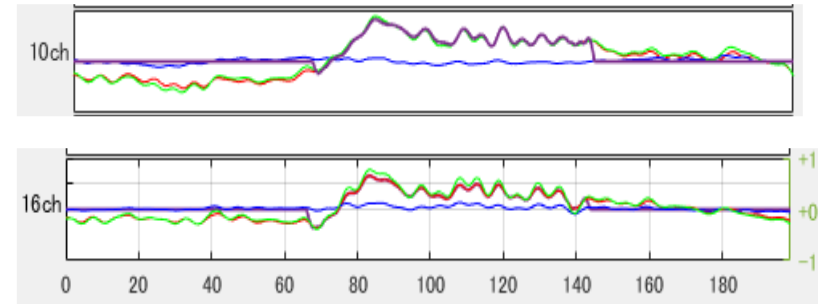
(2) GLM gmf (fixed canonical shape) (BSANL(ビー・アール・システムズ(株))使用)

BandPassFilter: 0.004-0.2[Hz] Baseline 処理無し



(3) GLM fir (flexible model) (BSANL(ビー・アール・システムズ(株))使用)

BandPassFilter: 0.004-0.2[Hz] Baseline 処理無し



GLM法の長所：

- ①ベースライン処理が不要
- ②神経活動に対し、血流反応の時間遅れを考慮している。
- ③タスク終了後の脳賦活を考慮している。
- ④測定信号波形をその要因ベースで分類できる。論理的です。

GLM (HRF関数がgamma(gmf)) 法の短所：

- ①複数あるHRF関数のどれを使うか統一されていない。
- ②パラメータ値の設定が統一されていない。

- ・ 加算平均法 (Block Averaging) とGLM法、どちらが論理的か？

=> GLM法です。

SfNIRS2021 Virtual Meeting, “Standardization of methodological procedures”,
でFelix Scholkmannは、GLMがStandard approach for fNIRS data analysisと述べています。

- ・ GLM法にも2種類あるが、GAMMAとFIRのどちらのモデルが望ましいか？

=> GAMMA関数の波形が測定波形にフィットしない場合、FIRです

Homer3 and Atlas Viewer, OPENFNIRS Forum, Aug.2,2021で、
Boasさんは、FIRを推奨しています。

[参考文献]

1. Commentary on the statistical properties of noise and its implication on general linear models in functional near-infrared spectroscopy, T.J.Huppert, Neurophotonics,Jan-Mar 2016,Vol.3(1)
2. Optimizing the general linear model for functional near-infrared spectroscopy: and adaptive hemodynamic response function approach, M.Uga, et al. Neurophotonics,Jul-Sep 2014,Vol.1(1)
3. Current Status and Issues Regarding Pre-processing of fNIRS Neuroimaging Data: An Investigation of Diverse Signal Filtering Methods Within a General Linear Model Framework, P.Pinti, F.Scholkmann, et al. Frontiers in Human Neuroscience, Jan.2019,Vol.12 Article 505
4. Improved physiological noise regression in fNIRS: A multimodal extension of the General Linear Model using temporally embedded Canonical Correlation Analysis, A.Luhmann, et al. NeuroImage 208(2020) 116472
5. keio-IscpGLM(POTAToで使えるGLM解析ツール),皆川、太田
6. Best practices for fNIRS publications, M.Yucel, A.Luhmann, F.Scholkmann, I.Dan, Neurophotonics,Jan-Mar 2021,Vol.8(1)