

機関番号：13401  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2008～2010  
 課題番号：20591812  
 研究課題名（和文） ウェーブレットバイコヒーレンス法を用いた視床皮質再帰性回路の過渡的同期特性解明  
 研究課題名（英文） Transitional synchronous characteristics of thalamo-cortical reverberating circuit using wavelet bicoherence analysis  
 研究代表者  
 林 和子 (HAYASHI KAZUKO)  
 福井大学・医学部附属病院・講師  
 研究者番号：40285276

## 研究成果の概要（和文）：

ウェーブレット解析法を用いて、全身麻酔下のバイコヒーレンスのスペクトラムを算出した。セボフルラン濃度を1%から3%に変化させた時、脳波信号の2秒間のエポックから、ウェーブレットバイコヒーレンスを持続的に算出し、従来からのバイコヒーレンス解析法を用いたバイコヒーレンスのプロットと比較検討した。その結果、 $\alpha$ 、 $\delta-\theta$ 帯域におけるバイコヒーレンスのピークが検出でき、それらのピークは従来のバイコヒーレンス法により算出されたピークとおおよそ一致していた。これら短時間の脳波信号からウェーブレットバイコヒーレンスの算出が可能であり、このことは、非定常の過渡的な信号からもバイコヒーレンスの算出が可能であることを示唆する。

## 研究成果の概要（英文）：

The bicoherence spectrum of electroencephalogram under anesthesia was examined using wavelet analysis. When the concentration of sevoflurane was changed from 1% to 3%, the wavelet bicoherence analysis was continuously performed by EEG signal of 2-seconds, and compared with the bicoherence plot using conventional bicoherence analysis. As the result, the bicoherence peaks in alpha and delta-theta bands were detected, and these peaks were matched to the bicoherence peaks by traditional bicoherence analysis. The usefulness of wavelet bicoherence analysis in transitional periods was suggested.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

## 研究分野：麻酔蘇生学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・麻酔・蘇生学

キーワード：ウェーブレット、バイコヒーレンス、ハーモニックウェーブレット、ダイナミック、脳波、ニューロンネットワーク、位相、同期

## 1. 研究開始当初の背景

睡眠や麻酔が、ニューロンの同期を変化させることが知られる。これらの同期制御は、脳波の $\alpha$ 及び $\delta-\theta$ 帯域におけるバイコヒーレンスのピーク増強として検出される。しかし、従来のフーリエ変換を用いたバイコヒー

レンス解析には数分の定常状態での脳波信号が解析に必要であり、ダイナミックな脳波のネットワーク制御を検討することはできない。過渡的な状態におけるバイコヒーレンス解析法の開発が必要である。

## 2. 研究の目的

ウェーブレット信号を用いた方法により、脳波のバイコヒーレンス解析をすることを目的とする。初めに、中等度麻酔深度 (sevoflurane 2%) 下の脳波信号をウェーブレットバイコヒーレンス解析を行い、次に、麻酔深度を変化させたときの過渡的な脳波信号について検討する。

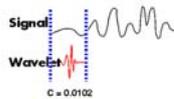
## 3. 研究の方法

臨床での中等度麻酔深度 (sevoflurane 2%) 下の定常状態の脳波信号 (2 秒間、および 8 秒間、128Hz サンプリング) を複素数連続 Morlet ウェーブレット (wavelet center frequency =1, bandwidth parameter=1) を用いて時間-スケール情報に変換後、各スケールに対応する周波数のウェーブレット変換係数を算出し、これをバイコヒーレンス解析に必要なフーリエ変換情報の代わりに用いて、バイコヒーレンス算出を試みた。同時に従来のフーリエ変換を用いたバイコヒーレンス解析を行い、比較検討した。次に、麻酔深度を変化させたときの過渡的な脳波信号について同様の検討を行った。

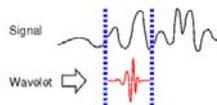
### 〈連続ウェーブレット変換〉

連続ウェーブレット変換は、ウェーブレット関数に平行移動と伸縮を施したものと、対象信号との畳み込みを行う。即ち、信号にウェーブレットのスケーリング、シフトされたバージョンを乗算し、時間領域で和を計算する。この操作は、スケールと位置の関数であるウェーブレット係数を作成することになる。

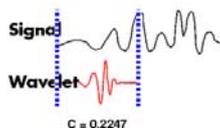
1. ウェーブレットを設定し、オリジナル信号のある時点で信号と比べる。
2. ウェーブレットとの関連性は、ウェーブレット係数 (C) として算出できる。Cは、信号にウェーブレット成分がどのくらい含まれるかを示す。



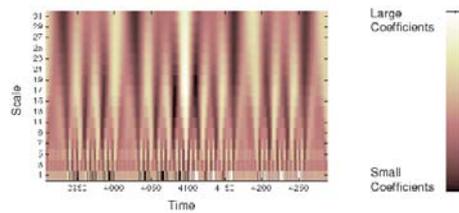
3. 全体の信号をカバーするまで、ウェーブレットを右にシフトし、ステップ 1 と 2 を繰り返す。



4. ウェーブレットをスケーリング(引伸)し、ステップ 1 から 3 までを繰り返す。



5. すべてのスケールに対し、ステップ 1 から 4 までを繰り返す。



x 軸は信号(時間)に沿っての位置を表し、y 軸はスケールを表すプロットであり、各々の x-y 点でカラーは、ウェーブレット係数 C の大きさを表す。

### 〈スケールと周波数〉

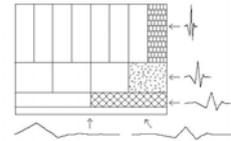
対象とするウェーブレット関数の波形の中心付近を正弦波に近似させて、中心周波数 (Fc) での周期信号とみなせば、スケールから擬似周波数 (Fa) を、算出できる。

スケール: a に対応する擬似周波数: Fa は、

$$Fa = Fc / (a \cdot \Delta)$$

ウェーブレットの中心周波数: Fc (Hz)

サンプリング周期: Δ



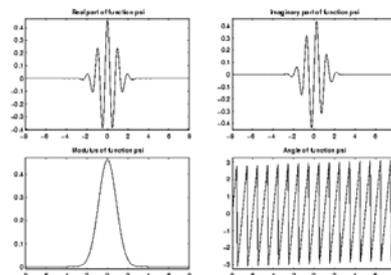
### 〈複素 Morlet ウェーブレット〉

complex Morlet wavelet

$$\psi(x) = \sqrt{\pi f_b} e^{2i\pi f_c x} e^{-\frac{x^2}{f_b}}$$

fb : 帯域幅

fc : ウェーブレットの中心周波数。



ウェーブレット関数は、平均地がゼロで有限の継続時間をもつ波形で、フーリエ変換の基底となる正弦波よりの複雑な波形であるため、フーリエ解析では困難な非周期的な非定

常信号の解析が可能である。

<Bicoherence の算出法>

Triple product:  $TP_j(f_1, f_2) = X_j(f_1) X_j(f_2) X_j^*(f_1 + f_2)$

Bispectrum:  $B(f_1, f_2) = \sum_j |TP_j(f_1, f_2)|$

Bicoherence:  $BIC(f_1, f_2) = \frac{B(f_1, f_2)}{\sum_j |TP_j(f_1, f_2)|} \cdot 100$

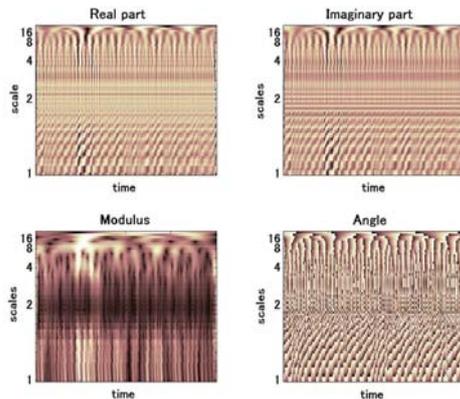
j : epoch number

$X_j(f_1)$  : complex value calculated with Fourier transformation of jth epoch,

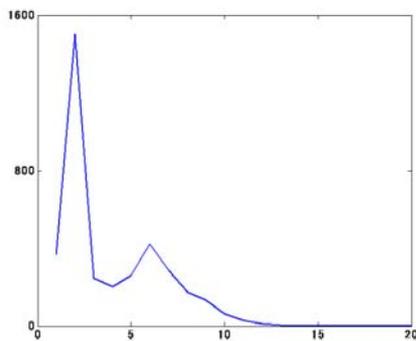
$X_j^*(f_1)$  : conjugate of  $X_j(f_1)$

#### 4. 研究成果

<2 秒間脳波信号の連続ウェーブレット変換>



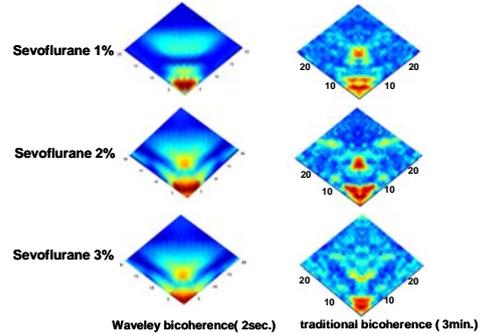
< Scalogram (wavelet power)>



<sevoflurane 濃度を 1%-3% に変化させた時の Wavelet Bicoherence と Bicoherence の比較>

-wavelet bicoherence は、2 秒間の脳波信号より解析-

Wavelet Bicoherence と Bicoherence



これら数秒の脳波信号から、 $\alpha$ 、 $\delta - \theta$  帯域のバイコヒーレンスのピークが検出でき、またこれらは、従来のバイコヒーレンス法によるピークとほぼ一致していた。秒単位の脳波信号からバイコヒーレンス解析が可能であると思われ、過渡的な状態における脳波信号の同期解析にも応用できる可能性が示唆された。

<問題点>

時間分解能  $\Delta t$  と周波数分解能  $\Delta f$  の間には不確定性原理より、次の関係が成り立つ。

$$\Delta t \cdot \Delta f \geq 1/(4\pi)$$

ウェーブレット変換は、この関係のもとで、 $\Delta t \cdot \Delta f$  の値を一定にしたまま、周波数  $f$  において相対的な周波数分解能  $\Delta f / f$  が一定になるように  $\Delta t$  と  $\Delta f$  を変化させている。従って、低周波成分については、幅の広い窓は周波数分解能が良いが時間分解能は悪い。逆に高周波成分については、幅の狭い窓は時間分解能は良いが周波数分解能が悪くなるのが今後の課題である。

<結論>

秒単位の脳波信号からバイコヒーレンス解析が可能であると思われ、過渡的な状態における脳波信号の同期解析にも応用できる可能性が示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

① K.Hayashi, K.Mita, T.Sawa. Electroencephalographic changes in the late cardiopulmonary bypass period are not reflected in the bispectral index. Clin Neurophysiol, 査読有, Vol. 121, 2010, pp. 1198-204

② 林和子, 佐和貞治, 麻酔のメカニズムに関

連した「意識の基盤」に関する諸説，臨床麻酔、査読有，vol 33, 2009 pp.655-662

③ Hayashi, K., Sawa, T. Matsuura, M. Anesthesia depth-dependent features of electroencephalographic bicoherence spectrum during sevoflurane anesthesia. Anesthesiology, 査読有，Vol.108,2008, pp.841-50

④ Hayashi, K. Fujikawa, M. Sawa, T. Hyperventilation-induced hypocapnia changes the pattern of electroencephalographic bicoherence growth during sevoflurane anaesthesia. Br J Anaes 査読有，vol. 1011, 2008, pp666-72

〔学会発表〕（計 4 件）

① 林和子、神澤聖一、佐上祐介、重見研司、次田佳代、松木悠佳. ウェーブレットを用いた脳波の同期解析. 日本麻酔科学会東海・北陸支部第8回学術集会、2010.9.4、福井

② 林和子、重見研司、片岡誠. 血管老化に関する周術期の非侵襲的評価. 第31回日本循環制御医学会総会、2010.5.29、大阪

③ 林和子、佐和貞治. 脳波のバイコヒーレンス解析を用いた麻酔下の視床皮質再帰性回路の活動検討, 第11回日本ヒト脳機能マッピング学会、2009.5.29、新潟

④ 林和子、佐和貞治、松浦愛. セボフルラン麻酔下の異周波数帯域間の位相同期に関して. 日本麻酔科学会第55回学術集会、2008.6.12、横浜

〔図書〕（計1件）

林和子（分担執筆）周術期麻酔管理ハンドブック第3章、周術期麻酔管理の項担当，金芳堂、2008，P67-106

〔産業財産権〕

○出願状況（計0件）

○取得状況（計0件）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

林和子 (HAYASHI KAZUKO)

福井大学医学部附属病院・講師

研究者番号：40285276