

平成 21 年 5 月 7 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19800068  
 研究課題名（和文） 脳波、脳磁界の持つダイナミクスの解明 —モデルをベースとしたアプローチ—  
 研究課題名（英文） An approach for investigating MEG and EEG dynamics based on a computational modeling method  
 研究代表者  
 成瀬 康 (NARUSE YASUSHI)  
 独立行政法人情報通信研究機構・未来 ICT 研究センターバイオ ICT グループ・専攻研究員  
 研究者番号：00455453

## 研究成果の概要：

事象関連同期／脱同期(ERS/ERD)は刺激により、 $\alpha$ 波などの自発活動の強度が増加／減少する現象である。脳波、脳磁界にて計測される波形は脳波発生源（ジェネレータ）の活動の空間的な和であるため、どのようなメカニズムにより ERS/ERD が起こっているかが分からなかった。そこで、本研究ではモデルを用いてこのメカニズムの解明を試みた。その結果、ジェネレータ間の同期性の変化が $\alpha$ 波の ERS/ERD を引き起こす主要因であることが示唆された。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,360,000	0	1,360,000
2008 年度	1,350,000	405,000	1,755,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,710,000	405,000	3,115,000

研究分野：脳機能計測

科研費の分科・細目：医用生体工学

キーワード：脳波・脳磁界・ $\alpha$ 波・モデル化・同期・誘発反応・非線形

## 1. 研究開始当初の背景

脳波は約 80 年前に発見されて以来、医学的な臨床応用のみならず、多くの実験的な研究に利用されている。その結果、視覚刺激等により事象関連電位 (ERP) が発生し、 $\alpha$ 波等の自発活動の強度変化 (ERS/ERD) が引き起こされるといったダイナミクスがあることが分かった。更に ERP や ERS/ERD が認知的活動と関連することも数多く報告された。しかし、ERP や ERS/ERD がどのような様にして認知的活動と関連するのかの神経基盤は未だ不明である。これまで、脳波を用いた研究は実験的手法にのみ頼ってきたが、モデ

ルシミュレーション的手法を組み合わせることでこの神経基盤を解明出来る可能性がある。しかし、確立した脳波モデルは未だ存在しない。それ故、脳波が持つダイナミクスを再現できるモデルの構築が至急の課題であった。

## 2. 研究の目的

$\alpha$ 波は脳波に含まれる主要な成分の 1 つである。1 つの領域に $\alpha$ 波を発生する活動源 ( $\alpha$ 波ジェネレータ) が数多く有ることが知られており、これらの相互作用が複雑な脳波の現象を引き起こしていると考えられている。大

脳皮質のコラム構造に注目したモデルを利用することで $\alpha$ 波を再現することが出来ることが知られている。これまではこのモデルを用いて一つの領野に一つの $\alpha$ 波ジェネレータを仮定してシミュレーションをしていたが、本研究では一次視覚野を仮定した1つの領野内で複数の $\alpha$ 波ジェネレータが相互作用するモデルを構築し、このモデルよりERPやERS/ERDを再現できることを示す。また、ERS/ERDが起こるメカニズムは未だ不明である。本研究では構築したモデルを用いてERS/ERDが起こるメカニズムを考察する。

### 3. 研究の方法

本研究にて用いた $\alpha$ 波ジェネレータのモデルは pyramidal neuron の集合体が excitatory interneuron の集合体から positive feedback を, inhibitory interneuron の集合体から negative feedback を受けるという構造になっている(図 1)。これまでの脳波モデルは一つの領野に一つ $\alpha$ 波ジェネレータのみを仮定していた。しかし、実際は一つの領野内に数多くの $\alpha$ 波ジェネレータがあり、それらが複雑に相互作用した結果が $\alpha$ 波であると考えられている。それ故、本研究では一つの領野内に複数(4×4の二次元的に配置した16個)の $\alpha$ 波ジェネレータが存在し、お互いに相互作用する脳波モデルを構築した。

各モデルパラメータは個々のジェネレータが $\alpha$ 波で発振するように決めた。脳波は多くの pyramidal neuron の postsynaptic potential (PSP) の空間的な和を表していると考えられている。そこで、シミュレーション結果の全 $\alpha$ 波ジェネレータの pyramidal neuron の PSP の平均を頭皮上で計測される脳波と仮定し、実際に頭皮上で計測したフラッシュ刺激時の脳波実験結果と比較した。

### 4. 研究成果

始めに、構築したモデルにノイズのみを付加してシミュレーションを行うことにより、 $\alpha$ 波が発生することを確認した。まず、本モデルは $\alpha$ 波を再現できるモデルであるということが明らかになった。

次に、ノイズのみならず刺激も付加した場合の1000試行分シミュレーションした後に試行間で加算平均した。ここで現れる波形がERPである。この波形を脳波実験結果のERPと比較した(図2)。短潜時成分であるN70, P100そして、長潜時成分であるalpha ringingがよく再現できた。実験結果に見られるP100とalpha ringingとの間の成分は複数の領野間の相互作用で発生しているこ

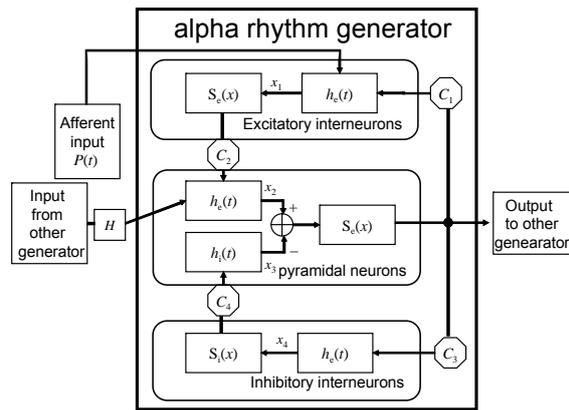


図1  $\alpha$ 波ジェネレータのblock diagram

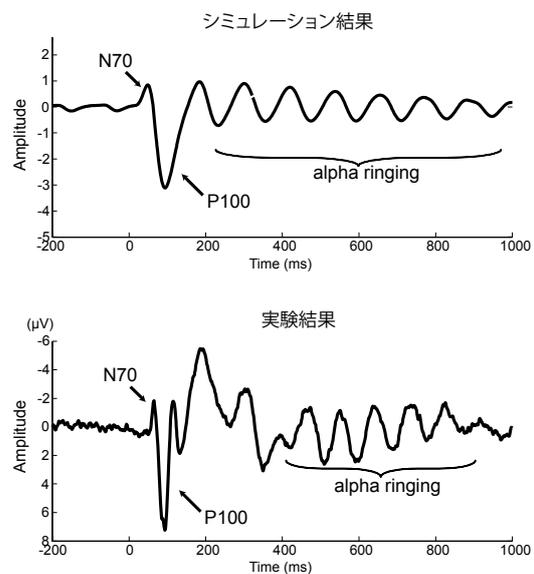


図2 シミュレーション結果のERP(上)と実験結果のERP(下)。

とが実験的な研究から示唆されている。本モデルでは一次視覚野のみをモデル化した為、P100成分とalpha ringingとの間の成分を再現できなかったと考えられる。しかし、本モデルではモデル化した一次視覚野由来と考えられるERPの再現に成功したと言える。

続いて、 $\alpha$ 波の強度変化を調べた。強度が減少することがERDであり、増加することがERSである。図3はシミュレーション結果と実験結果の $\alpha$ 波強度変化を示す。この結果から、共にERDが起こり、続いてERSが起こっていることがわかり、その潜時もほぼ一致した。この結果は、本モデルがERS/ERDを再現できることを示している。これまでのモデルでこのようにERS/ERDを再現したものは存在しておらず、本モデルが世界で始めて再現することに成功した。

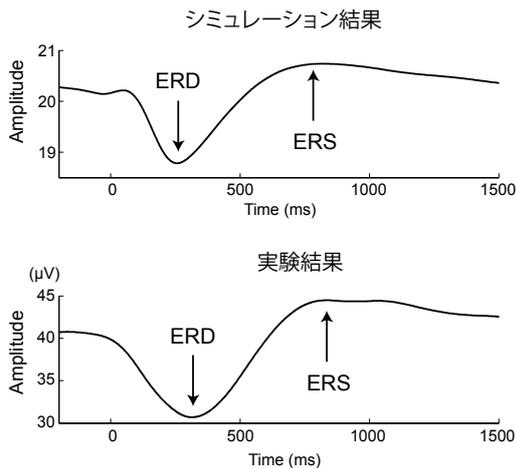


図3 シミュレーション結果の $\alpha$ 波強度(上)と実験結果の $\alpha$ 波強度(下).

続いて、ERS/ERD が起こるメカニズムについて調べた。 $\alpha$ 波は数多くの $\alpha$ 波ジェネレータの活動の空間的な和を反映しているため、ERS/ERD が起こる要因として、1)ジェネレータ間の同期性(inter-generator coherence)が変化すること、2)ジェネレータの平均活動強度(mean amplitude of the generators)が変化すること、が挙げられる。実験結果では個々のジェネレータの活動を知ることが困難であるため、この二つを切り分けることが出来ない。しかし、本モデルでは個々のジェネレータの活動をシミュレートしているため切り分けることが出来る。

シミュレーション結果に対して inter-generator coherence 及び mean amplitude of generators を計算した。この二つの要因の影響を直接比較するために、刺激提示前のそれぞれの値を参照値として dB 値を計算した。その結果を図4に示す。刺激提示直後には inter-generator coherence は減少し、mean amplitude of generators は増加したが、inter-generator coherence の減少の方が大きかった。このことから、図3に見られる刺激提示直後の ERD は inter-generator coherence の減少により起こっていることが示唆された。また、刺激提示後 500 ms 以降では inter-generator coherence 及び mean amplitude of generators は共に増加したが、増加量は inter-generator coherence の方が大きかった。以上から、inter-generator coherence の変化が主に ERS/ERD を生み出していることが示唆された。

また、高次視覚野からの影響も考慮に入れた脳波モデルの構築も行った。その結果、高次視覚野からのトップダウン効果が一次視覚野の $\alpha$ 波の同期性に影響を与えることが示唆された。 $\alpha$ 波の同期性が脳内情報処理に関わっていると考えられるが、高次視覚野か

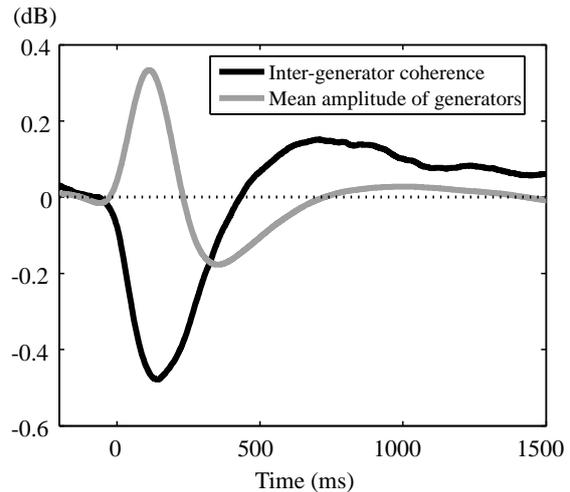


図4 Inter-generator coherence と mean amplitude of generators.

らのトップダウンはその脳内情報処理をモジュレートする役割があることが示唆された。

本研究ではコラム構造を模した $\alpha$ 波ジェネレータを利用して、複数の $\alpha$ 波ジェネレータが相互作用するモデルを構築した。これを用いることで、ERP 及び ERS/ERD の再現が出来た。更に、コラム間の相互作用により変化する、各コラムの活動間での coherence の変化が ERS/ERD の発生に重要な役割を果たしていることが示唆された。さらにはトップダウンの効果を入れることにより、トップダウン効果がこの coherence に影響を与えることが示唆された。今後、本モデルを利用することにより、実験的手法のみでは解明することが困難であった脳波の現象を解明することが出来る可能性がある。

これまで、脳波、脳磁界を用いた研究は主に実験ベースで行われてきた。特に国内ではモデルベースの数理工学的研究は皆無であった。そこに、モデルベースの研究を加えることを提案している点が本研究の最も独創的な点である。実験ベースの研究からは、脳波に何らかのダイナミクスがあることは分かるが、その背景にあるメカニズムを解明することは困難である。しかし、モデルベースの研究も加えることで、そのメカニズムにまで踏み込んで理解できる。また、脳波、脳磁界は、特定の病気の時に波形が変化することから医療の診断にも広く使われている。しかし、特定の病気において、なぜ、そのように波形が変化するのかは分かっておらず、経験論に基づいて診断している場合が多い。モデルを用いてメカニズムを解明することにより、これらの変化の意味まで踏み込み、医療の診断の精度向上にも貢献できる。更に、脳波、脳磁界の工学的な応用として、直接、脳と情報通信を試みる Brain computer

interface (BCI)やデコーディングに関する研究が盛んに行われている。現在、これらの研究は背景にあるモデルを無視してデータから直接学習を試みている。本研究にて構築したモデルを利用すれば、モデルベースのBCIやデコーディング技術の開発が出来、今後、より精度の高い技術の確立が期待できる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2件)

1. 成瀬康, 眞溪歩, 宮脇陽一, 岡田真人: コラム間相互作用が脳波に与える影響, 日本神経回路学会第18回全国大会講演論文集, Vol. 21, 166-167 (2008), 査読無

2. 成瀬康, 眞溪歩, 宮脇陽一, 岡田真人: 事象関連同期/脱同期のメカニズムの解明—モデルを用いたアプローチ—, 第23回日本生体磁気学会論文集, 62-63 (2008), 査読無

[学会発表] (計 6件)

1. Y. Naruse: Influence of visual stimulus size on phase resetting of alpha rhythm—EEG/MEG modeling study, Society for Neuroscience, 2008年11月17日, ワシントンDC

2. 成瀬康: コラム間相互作用が脳波に与える影響, 日本神経回路学会第18回全国大会, 2008年09月26日, つくば

3. Y. Naruse: Multiple alpha generators model for MEG/EEG: mechanism of ERS/ERD, Biomag2008, 2008年08月27日, 札幌

4. 成瀬康: 事象関連同期/脱同期のメカニズムの解明—モデルを用いたアプローチ—, 第23回日本生体磁気学会, 2008年06月13日, 東京

5. 成瀬康: 脳波の位相リセットとそのモデルについて—脳波ダイナミクスの解明を目指して—, 豊橋技術科学大学グローバルCOE特別セミナー, 2008年3月17日, 豊橋

6. Y. Naruse: Role for horizontal connection in multiple alpha generators model for MEG/EEG, Society for Neuroscience, 2007年11月7日, サンディエゴ

[図書] (計 0件)

[産業財産権]  
○出願状況 (計 0件)

○取得状況 (計 0件)

[その他]

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

成瀬 康 (NARUSE YASUSHI)

独立行政法人情報通信研究機構・未来ICT研究センターバイオICTグループ・専攻研究員  
研究者番号: 00455453

##### (2)研究分担者

( )

研究者番号:

##### (3)連携研究者

( )

研究者番号: