

脳波(EEG)・脳磁図(MEG)による 脳ダイナミクス研究

ATR脳情報解析研究所 計算脳イメージング研究室 室長
理研革新知能統合研究センター チームリーダー
CINET 客員研究員
大阪大学院 生命機能研究科 客員準教授

山下 宙人

Thought

Vision

Motor

Thought

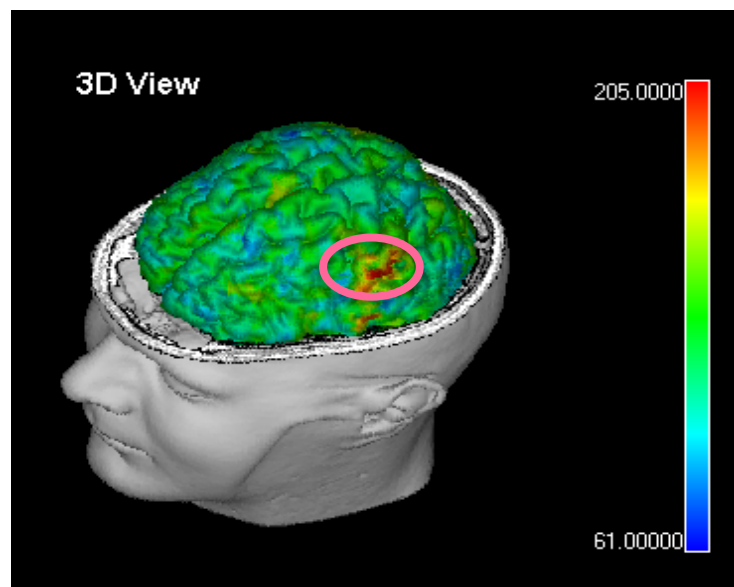
Vision

Motor

脳の情報処理はサブ秒の世界で行われている

ヒト脳機能マッピング研究からダイナミクス研究へ

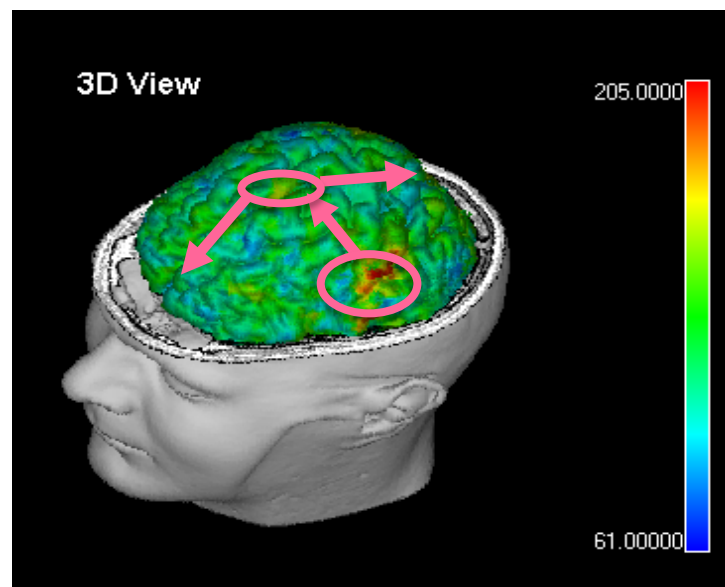
脳機能マッピング



どこで？

1990年代に入り、fMRI(機能的MRI)計測により
“**知覚・高次認知機能**” に関わる “**脳の機能部位**”
を特定する研究が急速に進展した。

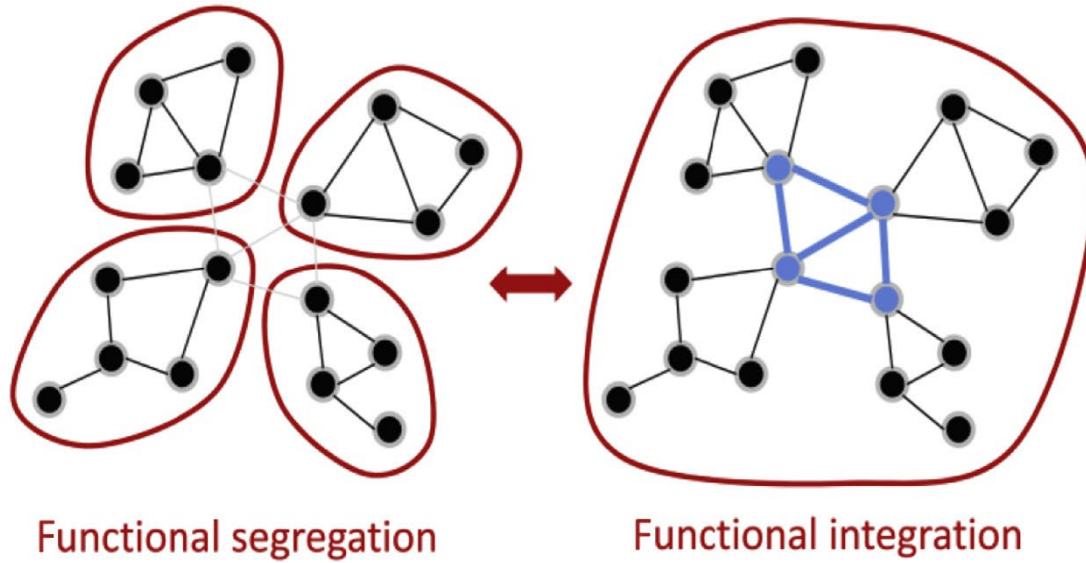
脳機能ダイナミクス



どこで、どのように？

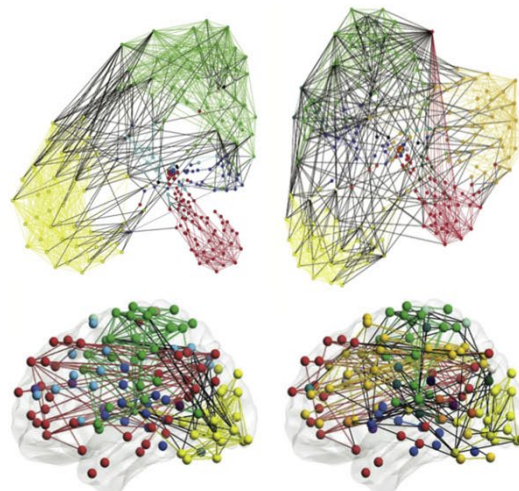
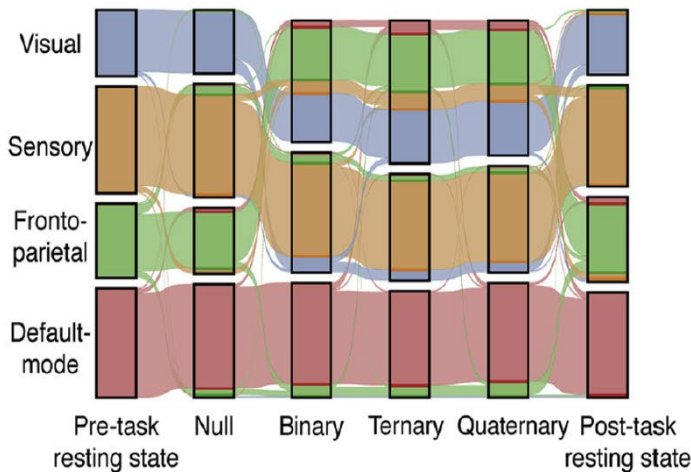
脳活動の速い変化をとらえる
脳**ダイナミクス**研究が注目浴びている。

脳機能ネットワークのダイナミクスの解明に向けて



Segregationとintegrationの
移り変わりメカニズムの謎

- 脳機能との関連
- 神経伝達物質の関連
- 脳疾患との関連



Shine 2019, TICS

講義内容

1. 脳波・脳磁図計測

2. 脳波・脳磁図の波形解析

3. まとめ

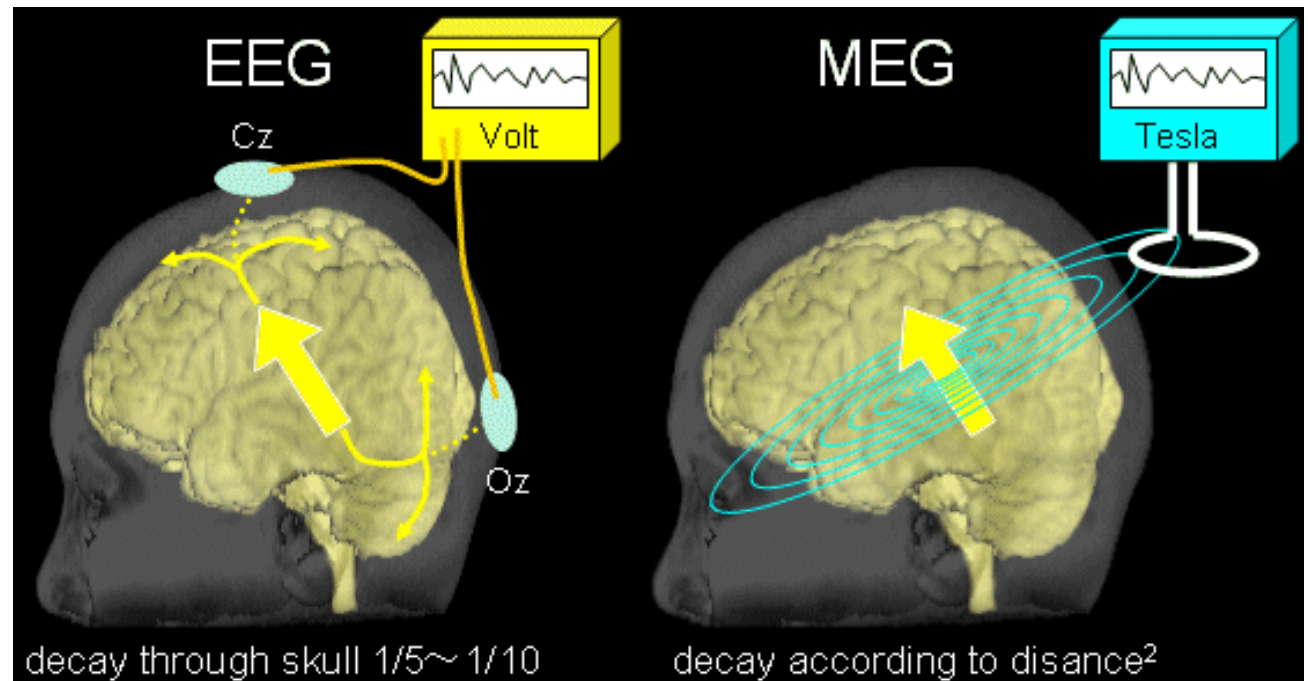
脳波計測(EEG)・脳磁図計測(MEG)

- **電気活動**を1000Hz以上(0.001sec/sample)の**高い時間分解能**で計測
- EEG → 頭皮上の**電位差**
- MEG → 頭の外に設置したセンサにおける**磁束の変化**

MEG



EEG

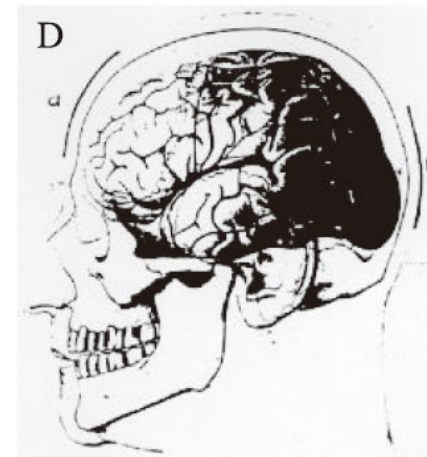
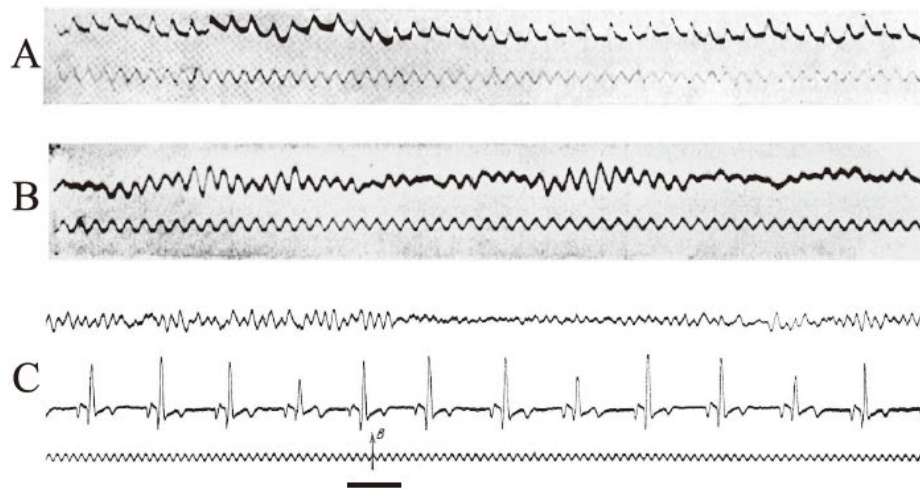


<http://meg.aalip.jp/vsEEG/vsEEG.html>

ヒト脳波の発見 (Berger H, 1929, Archiv fur Psychologie und Neurologie)



Hans Berger



総説 臨床神経生理学 44(1):20-27, 2016

Hans Berger の夢 —How did EEG become the EEG?— その1

総説 臨床神経生理学 44(2):60-70, 2016

Hans Berger の夢 —How did EEG become the EEG?— その2

総説 臨床神経生理学 44(3):106-114, 2016

Hans Berger の夢 —How did EEG become the EEG?— その3

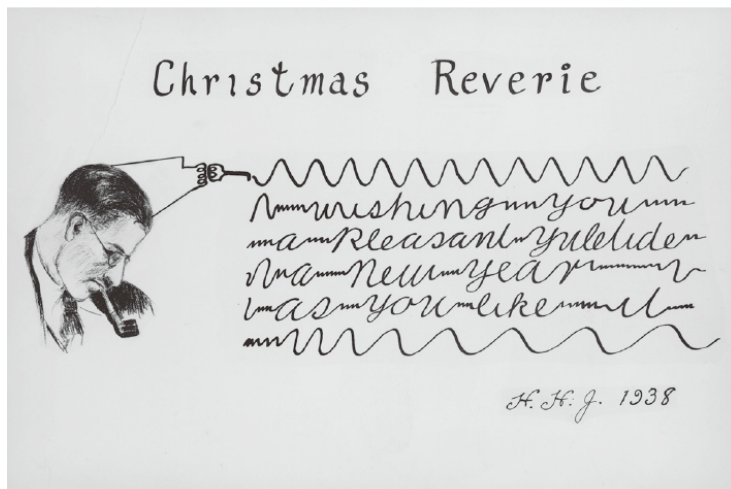


図1 1938年のクリスマスに、JasperがBergerに送ったクリスマスカード

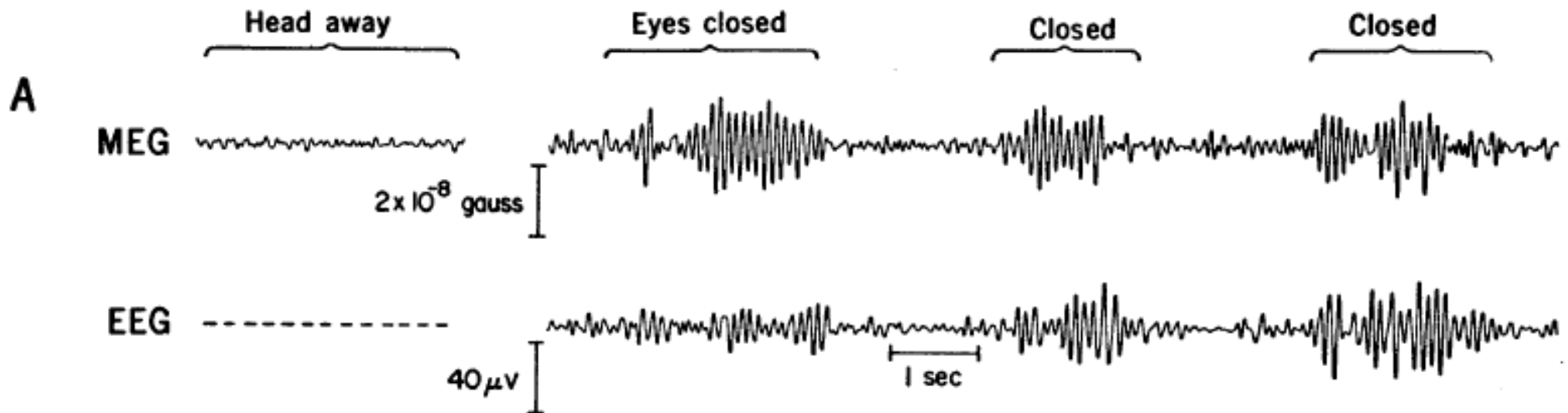
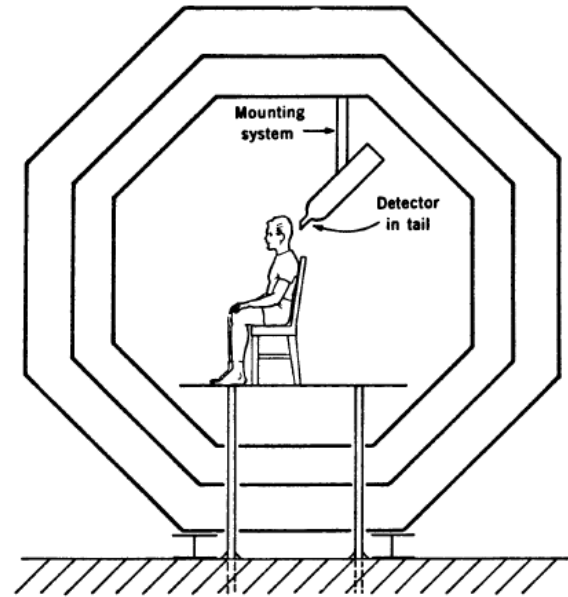
Deutsches Museum (München) の許可を得て掲載。

初めてのヒトMEG計測 (Cohen 1972, science)

Magnetoencephalography: Detection of the

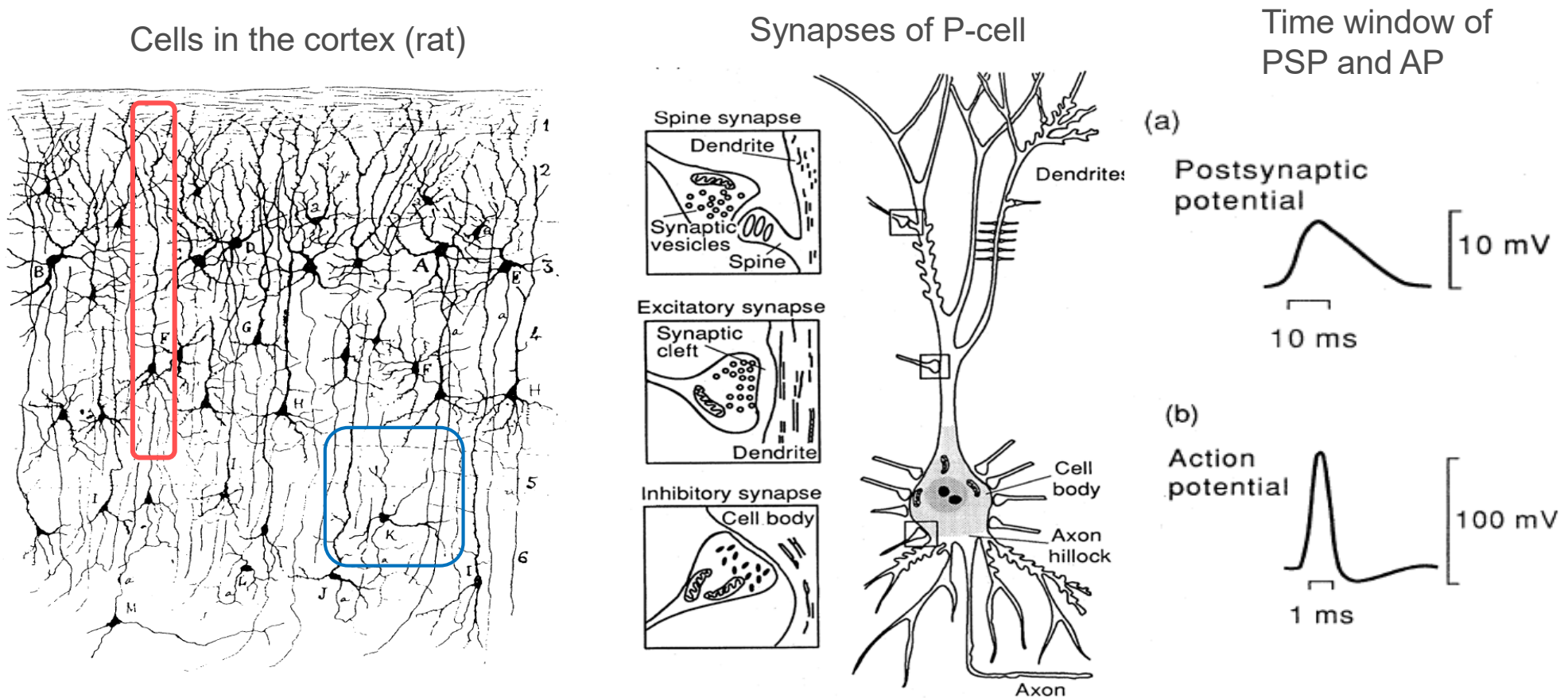
Brain's Electrical Activity with a Superconducting Magnetometer

Abstract. Measurements of the brain's magnetic field, called magnetoencephalograms (MEG's), have been taken with a superconducting magnetometer in a heavily shielded room. This magnetometer has been adjusted to a much higher sensitivity than was previously attainable, and as a result MEG's can, for the first time, be taken directly, without noise averaging. MEG's are shown, simultaneously with the electroencephalogram (EEG), of the alpha rhythm of a normal subject and of the slow waves from an abnormal subject. The normal MEG shows the alpha rhythm, as does the EEG, when the subject's eyes are closed; however, this MEG also shows that higher detector sensitivity, by a factor of 3, would be necessary in order to clearly show the smaller brain events when the eyes are open. The abnormal MEG, including a measurement of the direct-current component, suggests that the MEG may yield some information which is new and different from that provided by the EEG.

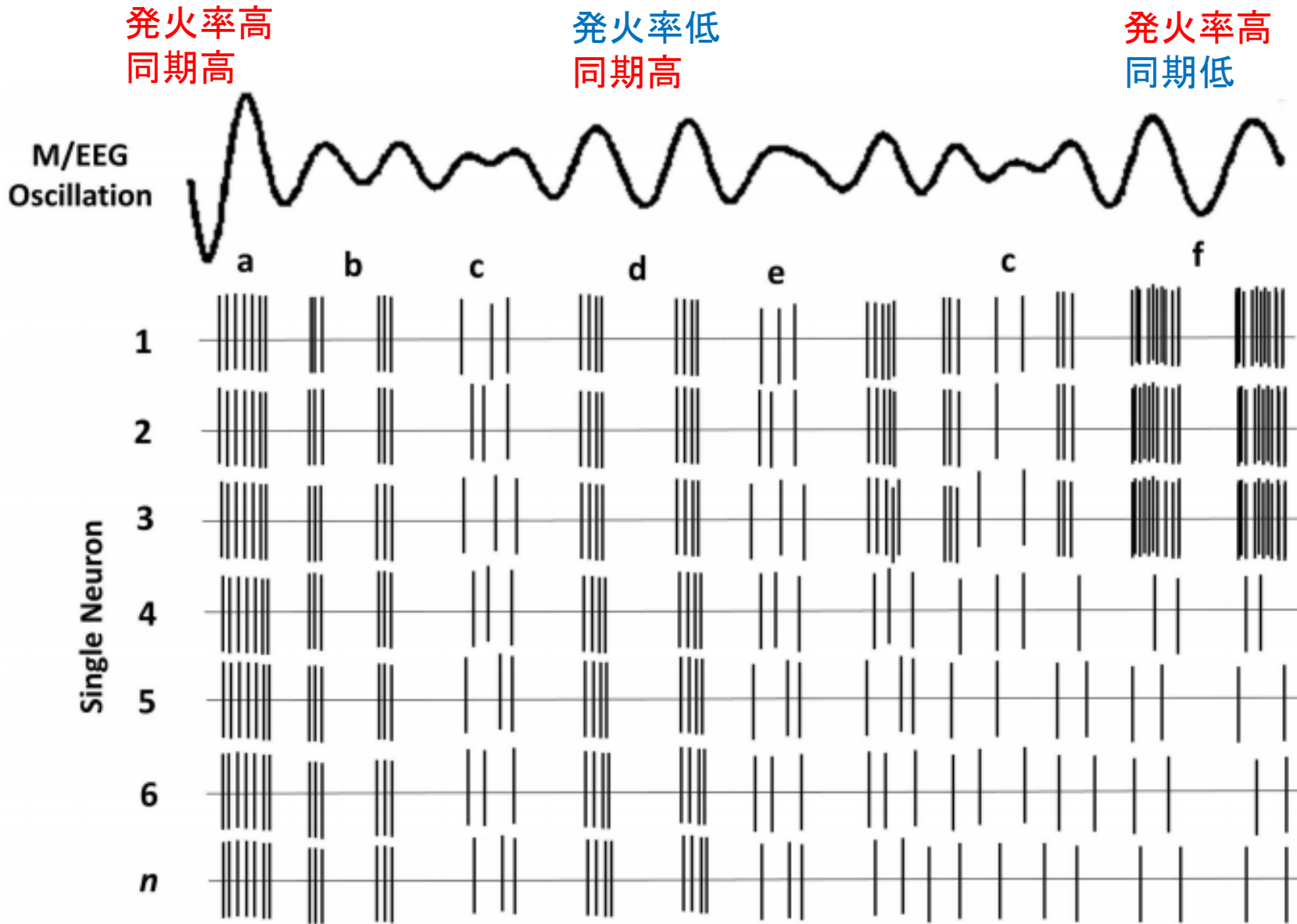


EEG, MEG : 生理学的起源

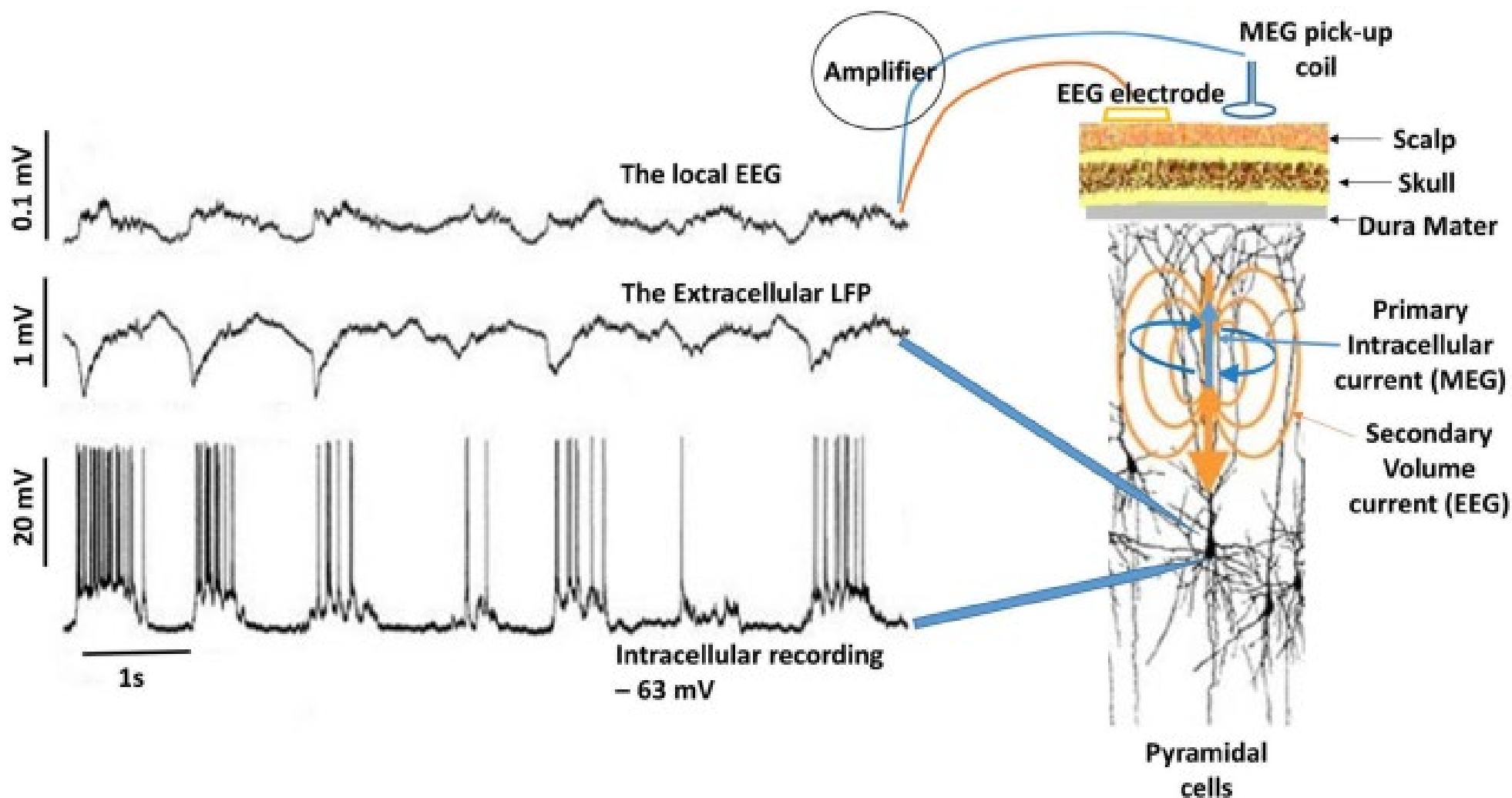
- 50000個以上の神経細胞が同期した電気活動 (0.6mm^2)
 - 錐体細胞へのシナプス後電位 (100万シナプス以上)
- (“MEG an introduction to methods” edited by P.Hansen, M.L.Kringelbach and R. Salmelin)



EEG, MEG : 生理学的起源



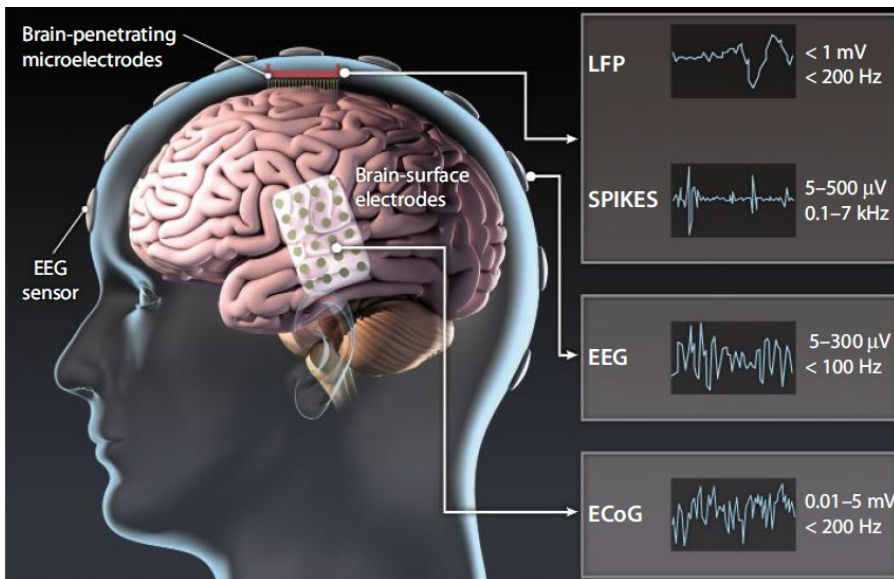
EEG, MEG : 生理学的起源、睡眠下の猫体勢感覚野からの同時記録



EEG, MEG : 微弱な脳活動

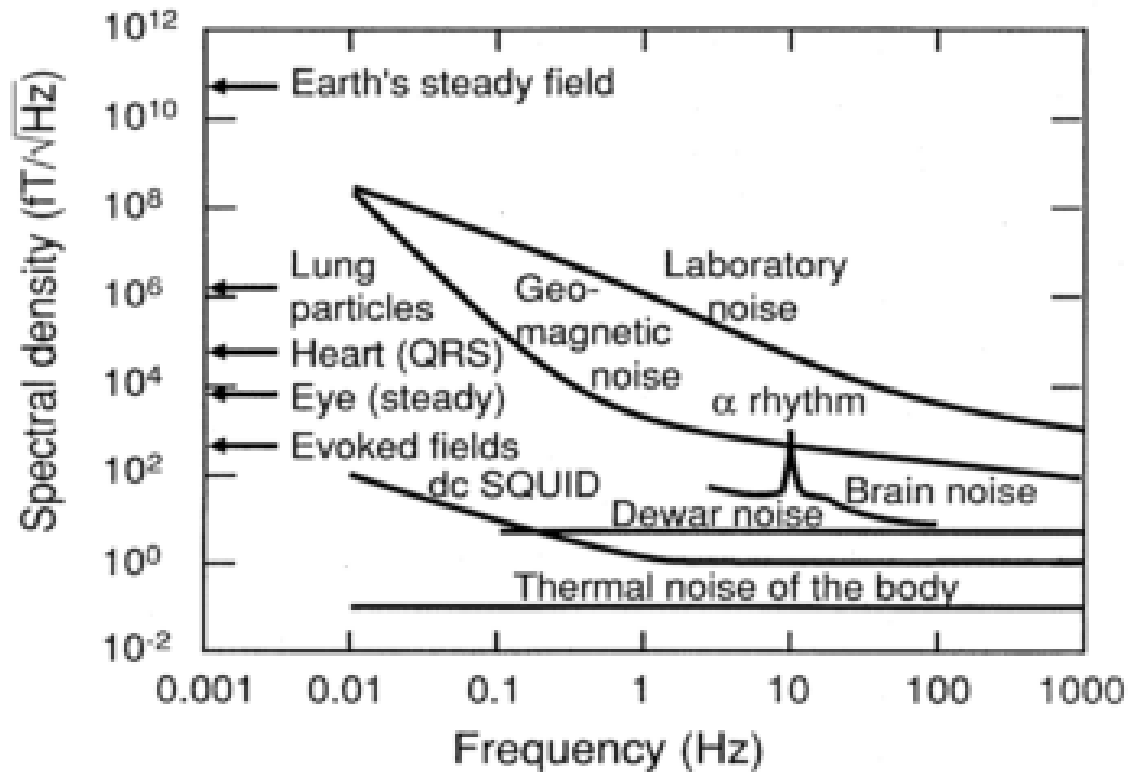
微弱な電位変化

$\mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}$ (マイクロボルト)



地磁気の 10^8 分の1程度の微弱な磁場

$\text{fT} = 10^{-15} \text{ T}$ (フェムトテスラ)



MEG : 様々なセンサタイプ

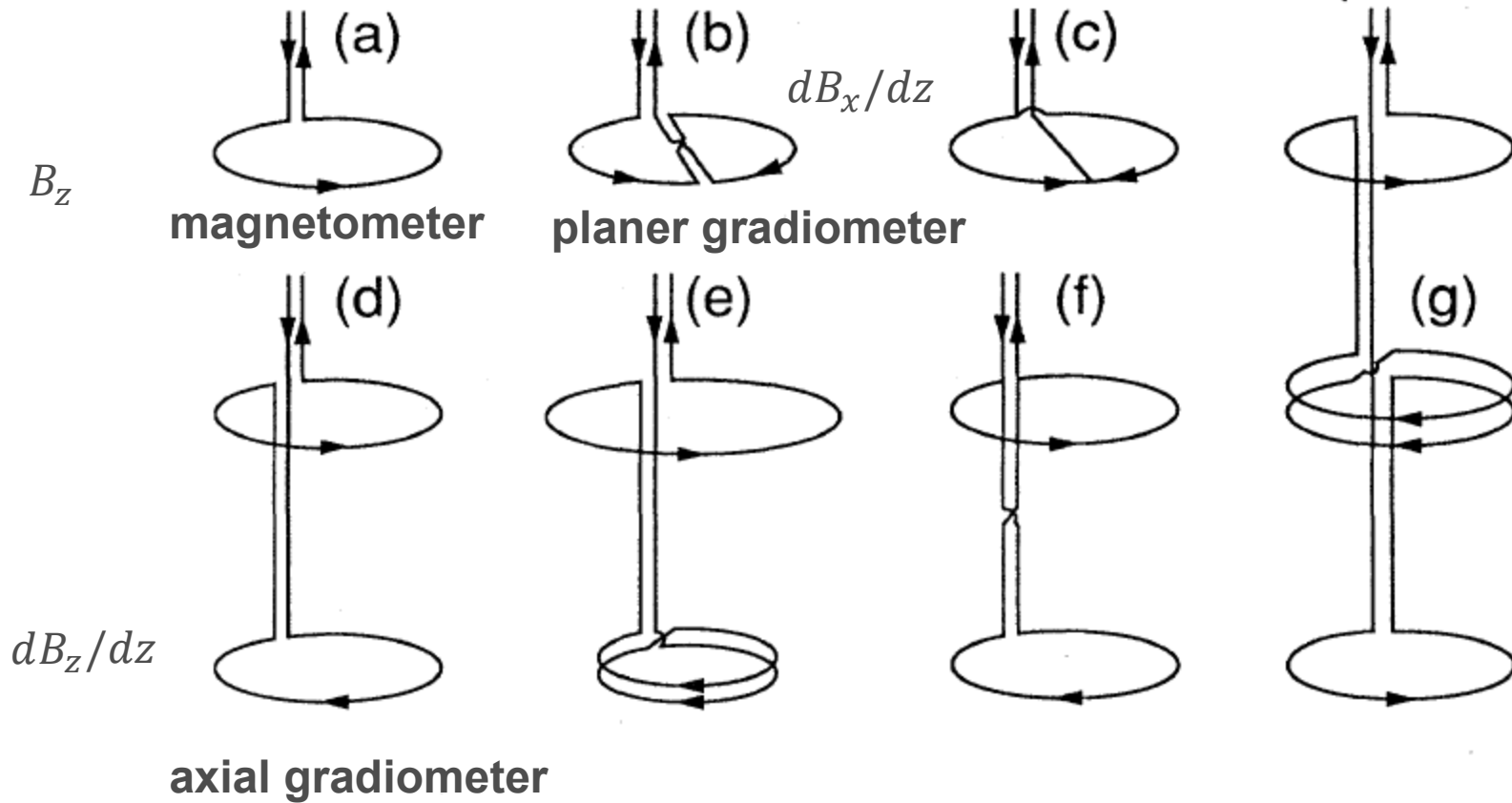
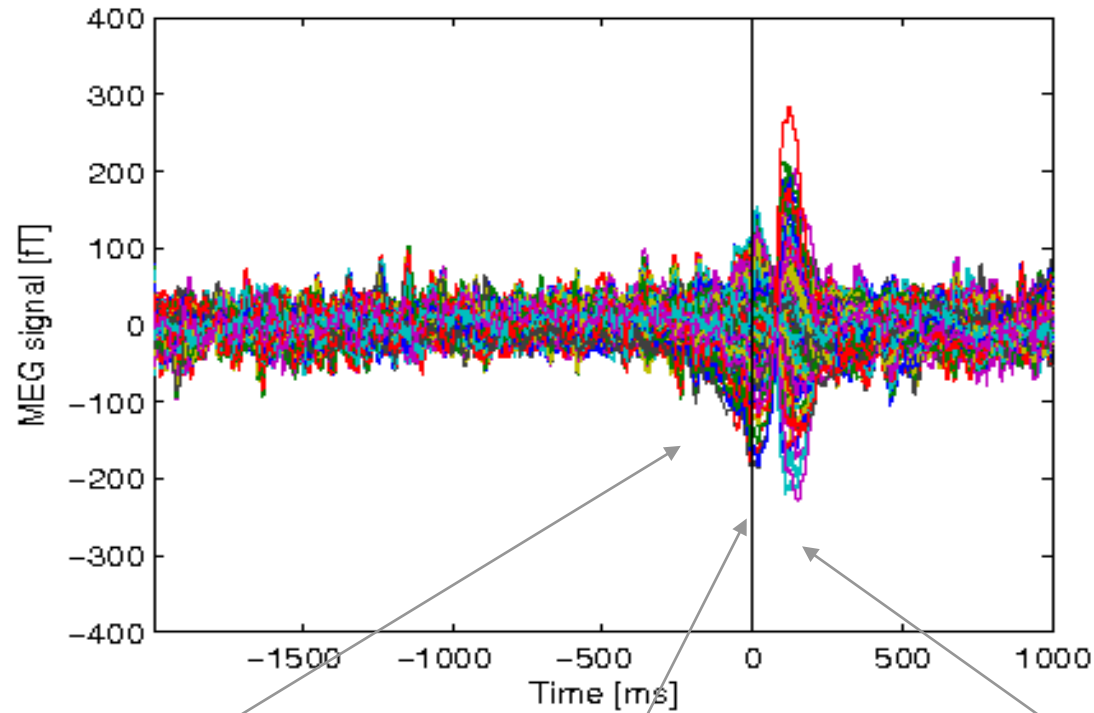


FIG. 26. Various types of flux transformers: (a) magnetometer; (b) series planar gradiometer; (c) parallel planar gradiometer; (d) symmetric series axial gradiometer; (e) asymmetric series axial gradiometer; (f) symmetric parallel axial gradiometer; and (g) second-order series axial gradiometer.

MEGデータ計測例：運動関連磁場（右ひとさし指進展運動）

試行平均波形

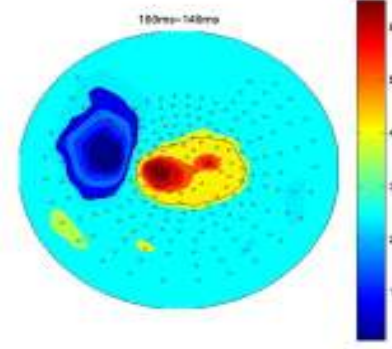
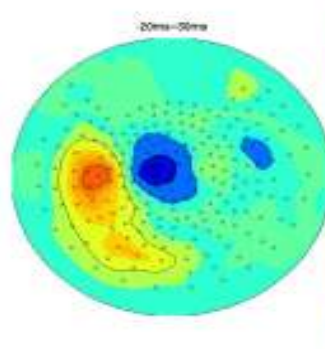
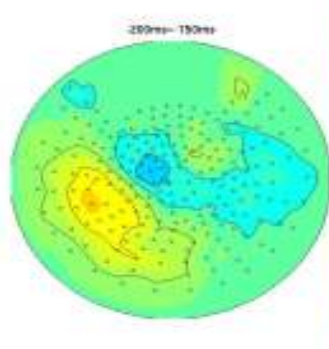


Yokogawa PQ1400R
Axial gradiometer 210ch
サンプリング 1000Hz

-200ms~-150ms

-20ms~30ms

100ms~140ms



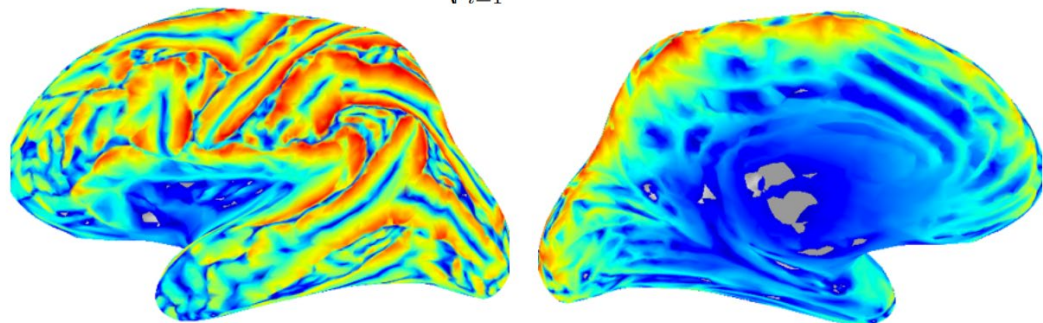
EEG・MEGの長所・短所

- 非侵襲脳計測
- 神経集団活動を計測
- 高い時間分解能 (ミリ秒)

- × 低い空間分解能 (cm)
- × 脳解剖上の位置不定性
- × 基底核など深い脳部位の計測は困難
- × 高い計測コスト (特にMEG)

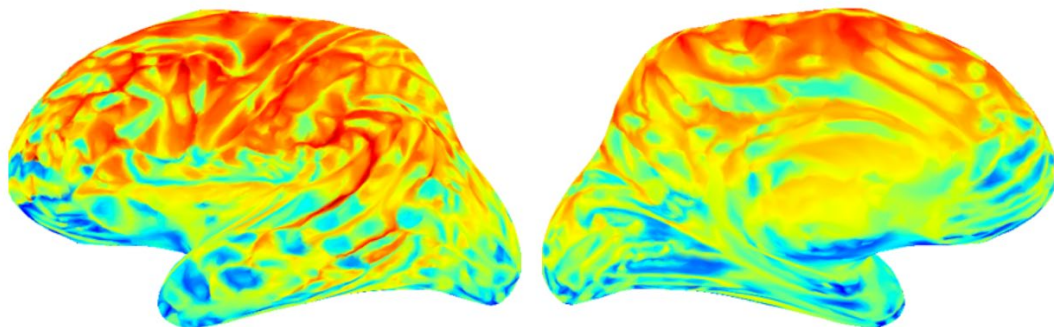
EEGとMEGの比較

MEG leadfield norm $\frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \mathbf{G}_{i,j}^2}$



溝に位置する脳活動に感度が高い
空間分解能が高い
頭の導電率に依存しない

EEG leadfield norm



溝と回に位置する脳活動両方に感度が高い
空間分解能が低い
頭の導電率に依存する

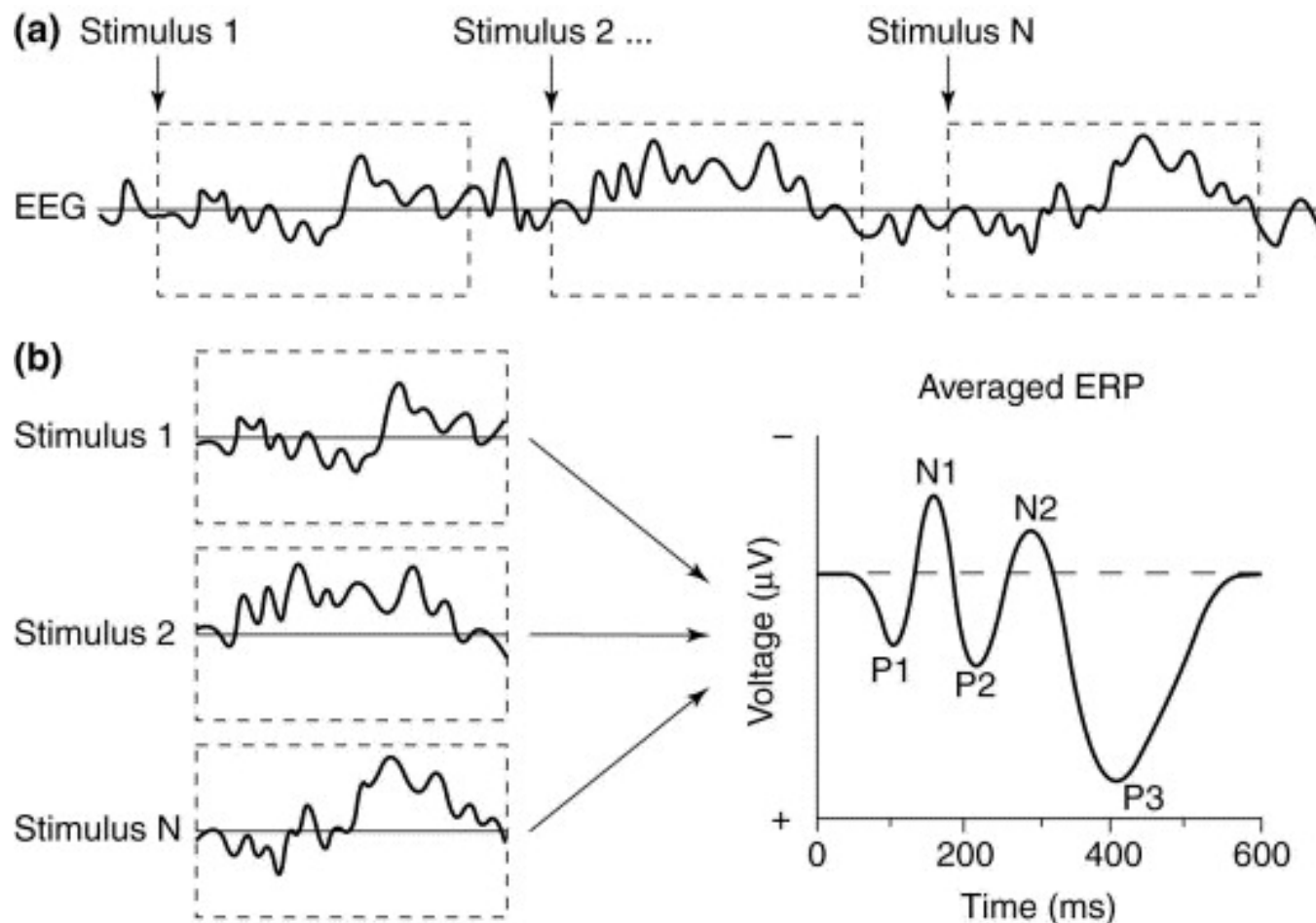
講義内容

1. 脳波・脳磁図計測

2. 脳波・脳磁図の波形解析

3. まとめ

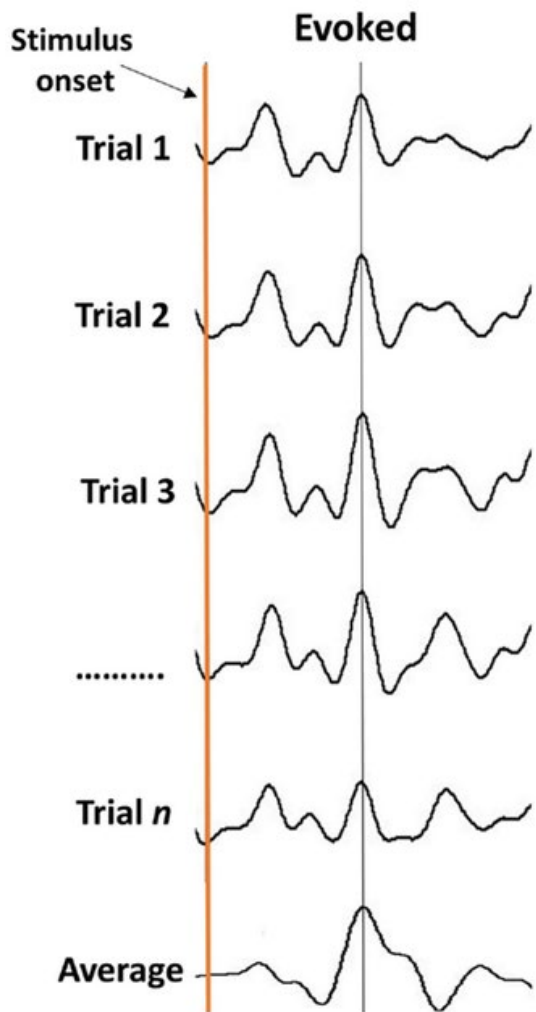
1試行データ = 試行間共通成分 + ノイズ



trends in Cognitive Sciences

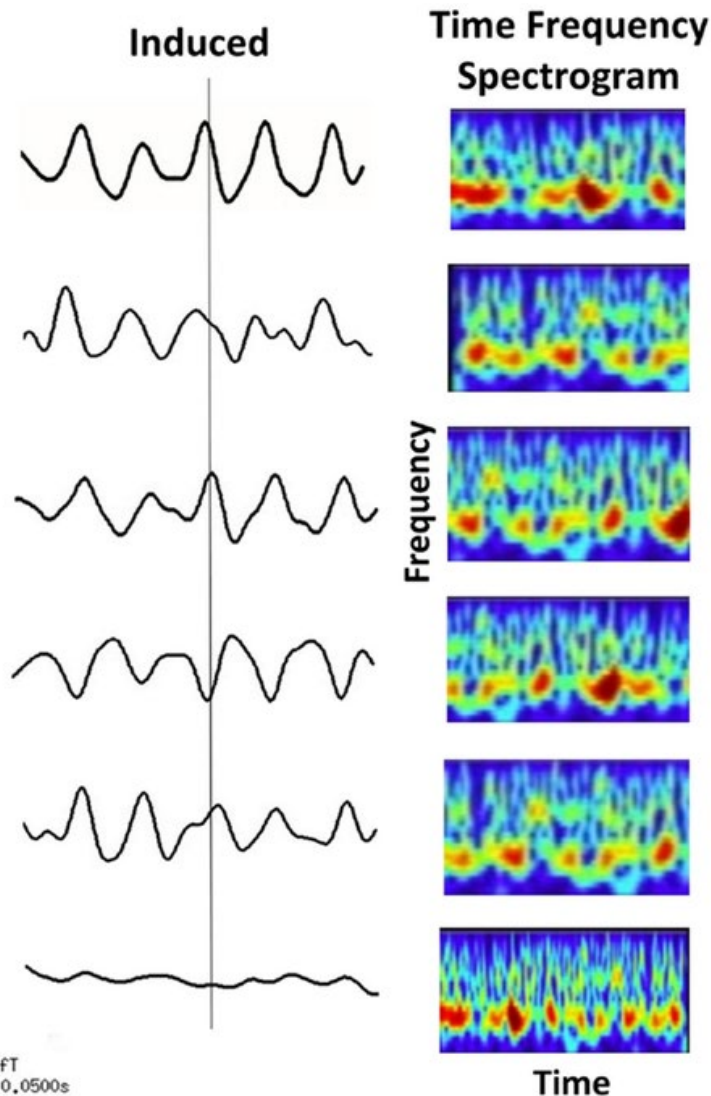
課題関連 EEG/MEG解析：誘発成分と振動成分

Event related potential (ERP)



誘発成分
の分析

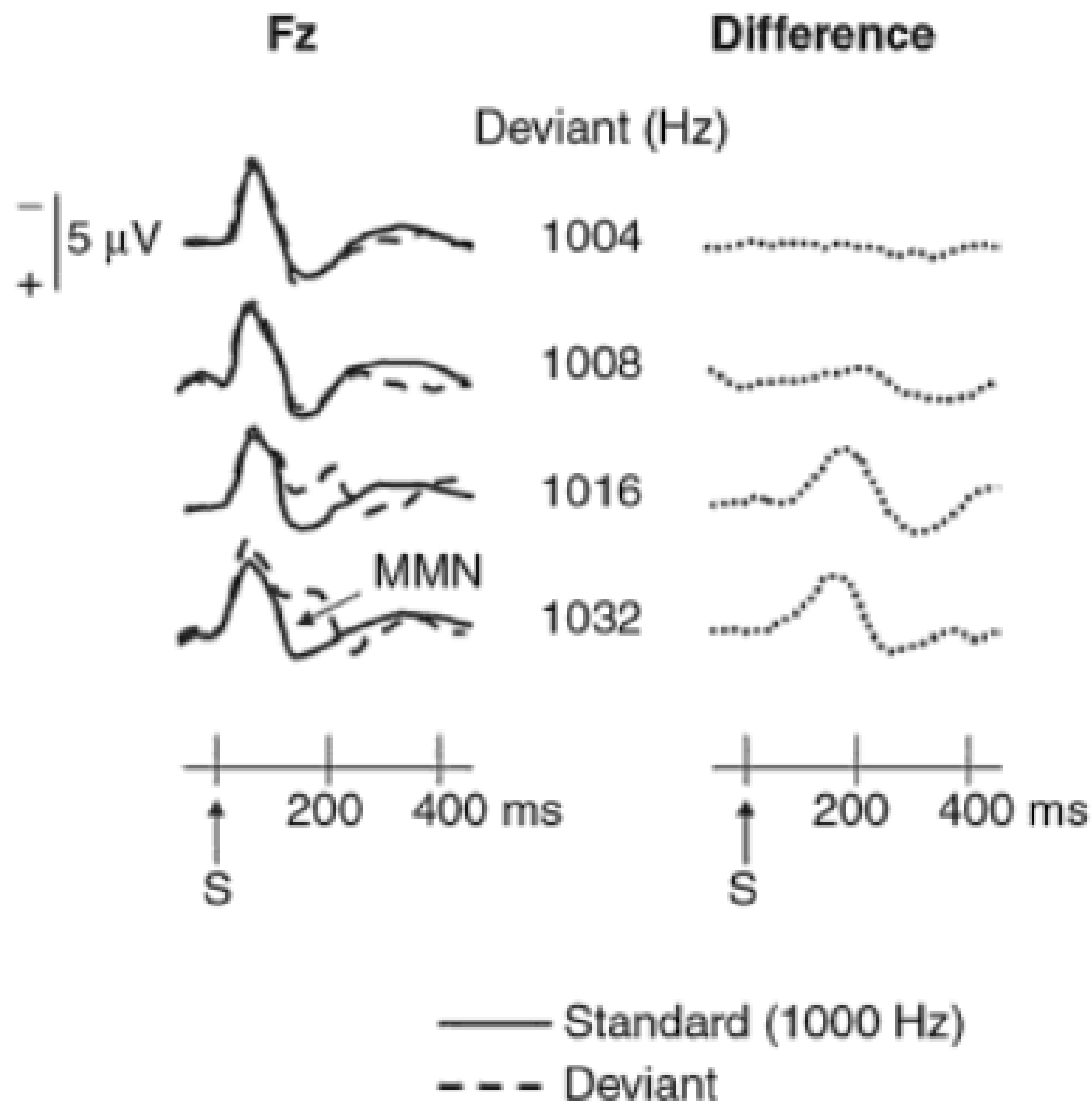
Event related spectral perturbation(ERSP)



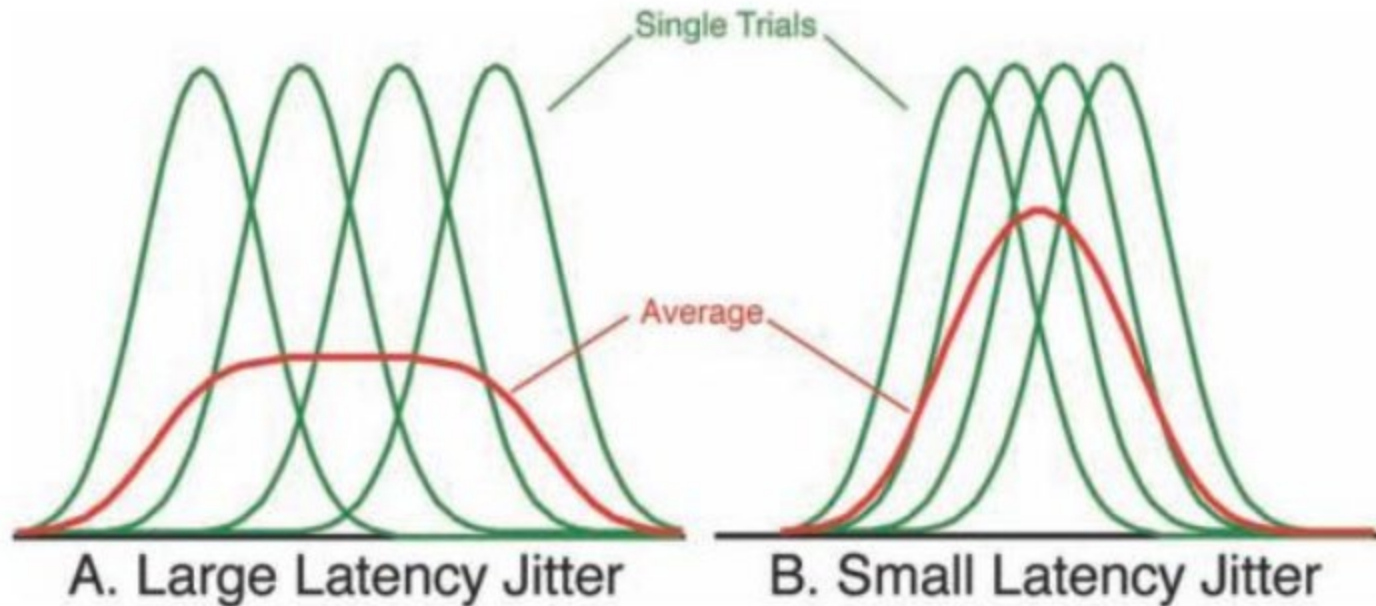
振動成分
の分析

スライディングFFT
Wavelet

ERP解析 : Mismatch negativity (MMN)の例



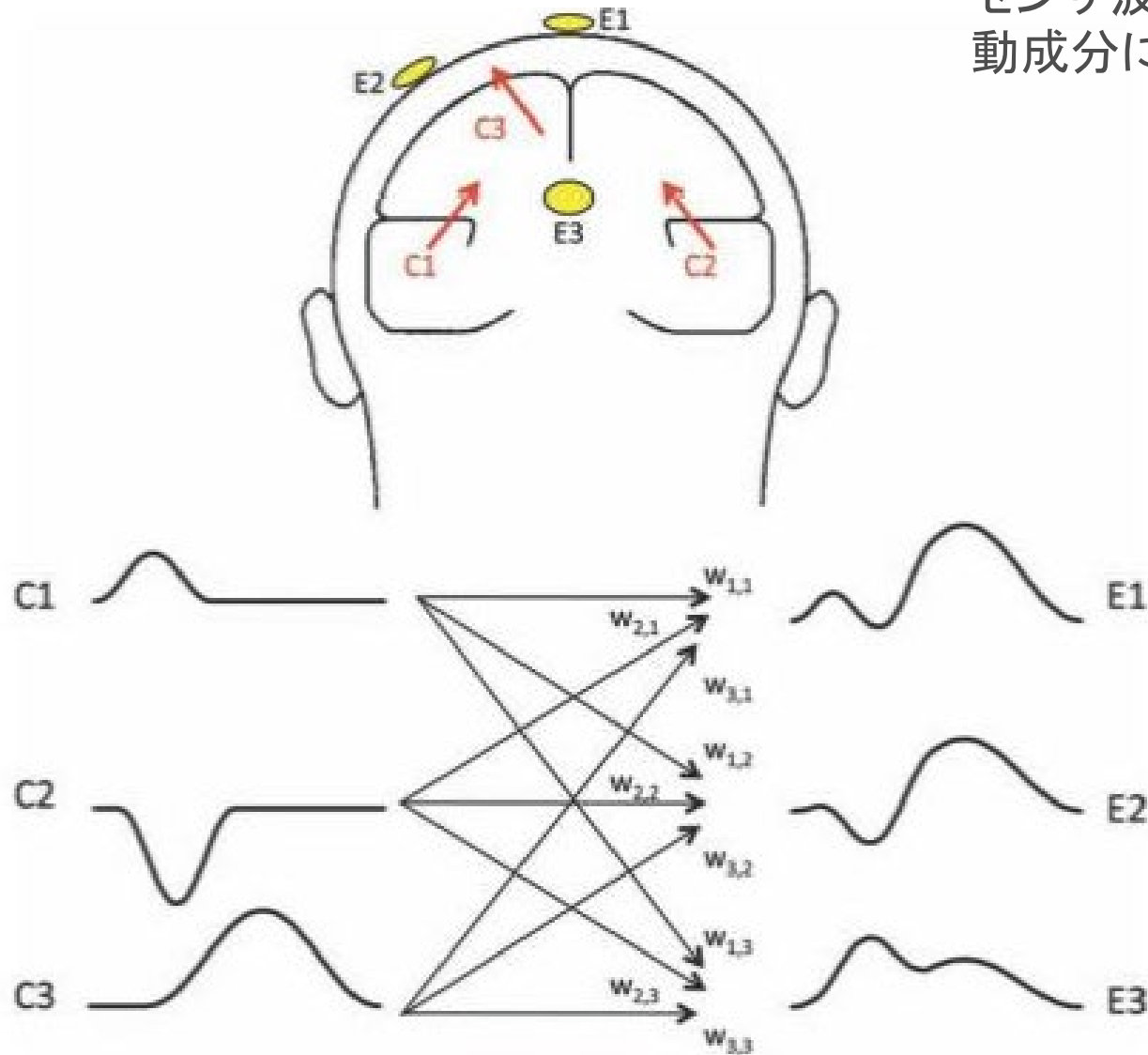
EEG・MEGデータ解析：試行平均解析の注意点



平均後の電位強度が小さいということは、平均前の電位強度が小さいということ意味しない

EEG・MEGデータ解析：センサ空間解析の注意点

センサ波形のピークが1つの脳活動成分に依るものとは限らない。

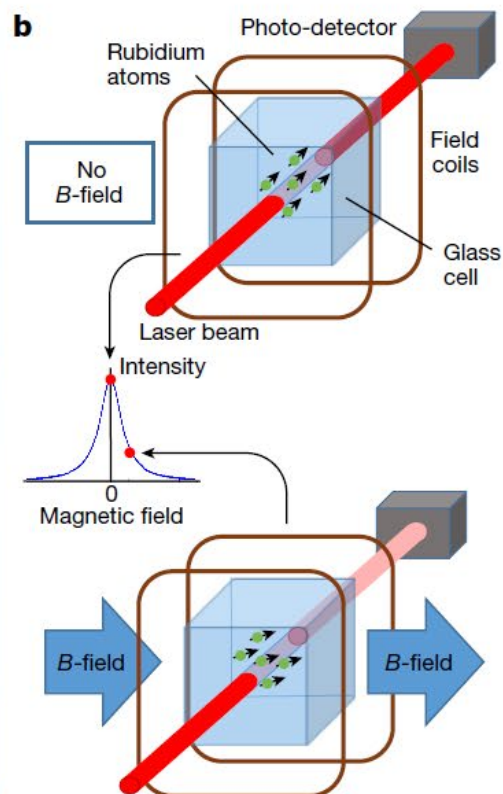


講義内容

1. 脳波・脳磁図計測
2. 脳波・脳磁図の波形解析
- 3. まとめ**

次世代MEG：キャップ型脳磁場計測

旧 MEG SQUID



新MEG OPM (Optically-Pumped Magnetometer)



- 液体Heliumが不要 → 計測コストの低下
- 頭の動きに頑健
- One-size-fit helmet → 頭の大きさの違う被験者群の計測

講義まとめ

- ヒトにおける神経集団活動のミリ秒の速さで起こる変化を捉える脳ダイナミクス研究には、MEG/EEG計測が利用されている。
- 振動成分と誘発成分の解析
- センサ空間の解析の問題点 → 電流源推定法
- EEGマイクロステート解析

