

## 複数モダリティー統合による脳活動計測技術の研究開発

### (1) 研究の目的

我が国が諸外国をリードしている fMRI, MEG, NIRS, EEG 等の複数モダリティーを統合した非侵襲型の脳活動計測技術・推定技術を飛躍的に高精度化することにより、安全性の高い、利用者の負担も少ない、いつでも、どこでも、誰にでも利用可能な非侵襲型脳活動計測による BMI 開発に資することで、広く国民に利益をもたらす、国際的優位性を確保することを旨とする。

本研究開発では、非侵襲型脳活動計測による通信インターフェースとしての BMI 実現に向けて、複数モダリティー統合による高時間・高空間分解能を持つ脳活動推定手法開発を目指し、以下の研究開発を推進する。

課題アの fMRI と MEG を組み合わせたオンライン脳活動推定法として、脳内情報処理課程のダイナミカルなモデルと逆問題の解法を組み合わせた第 2 世代逆問題解法を開発する。

課題イの NIRS と EEG を組み合わせたオンライン脳活動推定法として、NIRS 信号生成の順モデルを作成し、それを積極的に用いた逆問題解法を開発することで、革命的な精度を実現する。

課題ウの心拍や眼球運動等によるアーチファクト除去方法として、実験室内にとどまらず段階的に実環境での雑音源を対象とし、モデル化、データベース化を実現する。

### (2) 研究期間

平成 20 年度から平成 24 年度 (5 年間)

### (3) 委託先企業

(株) 国際電気通信基礎技術研究所<幹事>

### (4) 研究予算 (百万円)

平成 20 年度 240 (契約金額)

平成21年度 236 ( " )  
 平成22年度 236 ( " )  
 平成23年度 236 ( " )  
 平成24年度 236 ( " )

**(5) 研究開発課題と担当**

課題ア：fMRI と MEG を組み合わせたオンライン脳活動推定法の研究  
 開発

1. fMRI と超多チャンネルMEGによる脳活動計測のオンラインアル  
 ゴリズム技術 (株国際電気通信基礎技術研究所)
2. 多様な脳活動計測による脳活動の時空間特徴抽出技術の高度  
 (株国際電気通信基礎技術研究所)

課題イ：NIRS と EEG を組み合わせたオンライン脳活動推定法の研究  
 開発

1. NIRS と EEG の同時計測によるオンラインアルゴリズムの開発  
 (株国際電気通信基礎技術研究所)  
 技術 (株国際電気通信基礎技術研究所)
2. NIRS と EEG を組み合わせたリアルタイム脳活動推定手法の開発  
 (株国際電気通信基礎技術研究所)

課題ウ：心拍や眼球運動等によるアーチファクト除去方法の研究開発  
 (株国際電気通信基礎技術研究所)

**(6) 主な研究成果**

特許出願： 0 件  
 外部発表： 4 件

**具体的な成果**

NO.	発表題名	発表分類	発表対象
1	Brain regions involved with speech production mediate phonetic perceptual identification performance	7 一般口頭発表	聴覚研究会

2	刺激に同期及び非同期した脳波成分の抽出手法の一般化	7 一般口頭発表	電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会
3	脳活動からの画像再構成 - データ解析の視点から	7 一般口頭発表	統計数理研究所セミナー
4	A hierarchical Bayesian method to resolve an inverse problem of MEG contaminated with eye movement artifacts	1 研究論文	NeuroImage

(7) 研究開発イメージ図



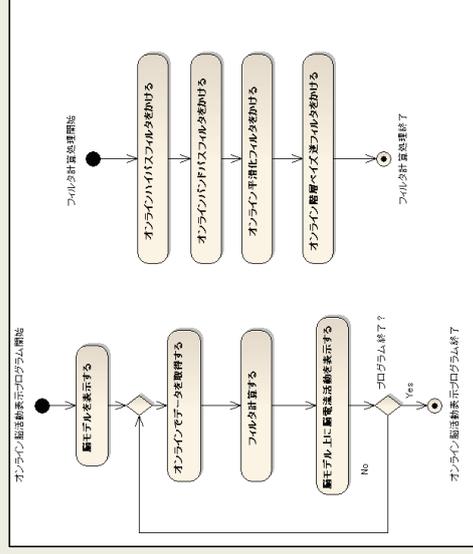
## 【課題ア－1】 fMRIと超多チャンネルMEGによる脳活動計測のオンラインアルゴリズム技術

### 主な研究成果

- ・ 階層ベイズ脳活動推定法の準オンライン型アルゴリズム開発
- ・ MEGハードウェアシステムの準備とシステム設計

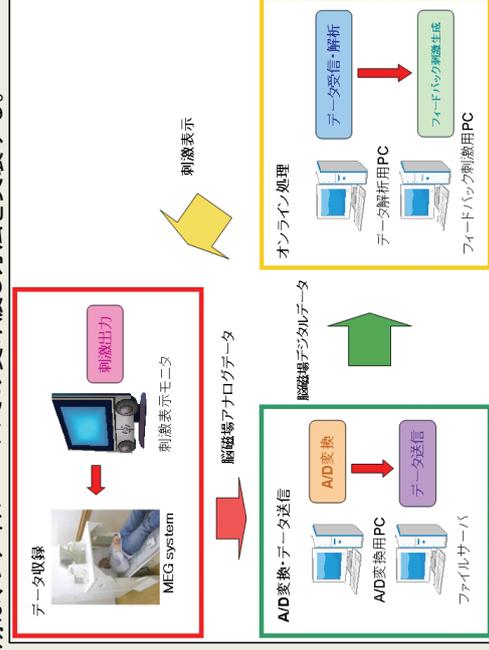
#### 階層ベイズ脳活動推定法の準オンライン型アルゴリズム開発

- 従来の階層ベイズ脳活動推定法は、オフライン処理を前提とした繰り返しアルゴリズムである。
  - 階層ベイズ脳活動推定法をオンライン化するための第1段階として、準オンラインアルゴリズムを開発した。
- (1)過去に計測したMEGデータを用いて、オフラインで階層ベイズ逆フィルタを計算する。
- (2)オンライン的に計測されるMEGデータに対して、逐次的に逆フィルタを適用して電流源推定する



#### MEGハードウェアシステムの準備とシステム設計

- オンラインMEG計測を行うためのハードウェアシステムの準備を行った。
- システムは、「データ収録」「A/D変換データ送信」「オンライン処理」の3つのブロックで構成される。
- 本システムは、被験者から収録されるMEGデータをオンラインで受信・解析し、被験者にフィードバックを返す。
- データ転送仕様として、ファイアベースでの受け渡しの場合と、ネットワークマルチキャストによる受け渡しを検討した。
- 来期は、ファイアベースでの受け渡し方法を実装する。



## 【課題ア-2】 多様な脳活動計測による脳活動の時空間特徴抽出技術の高度化

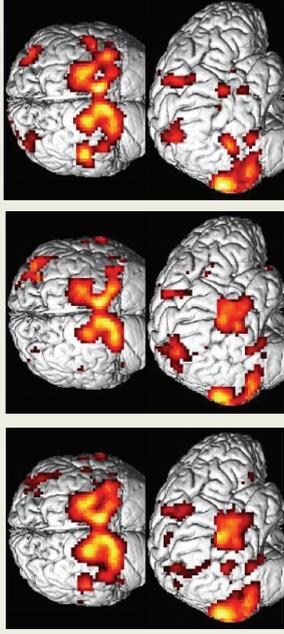
### 主な研究成果

#### 機能的MRI (fMRI)と脳磁計(MEG)の2つの脳活動計測手法を合わせた

- 音声知覚における聴覚・視覚情報統合に関わる脳活動時空間パターンの研究
- 音韻識別課題におけるパフォーマンスと相関した脳活動特徴量抽出

### 音声知覚における聴覚・視覚情報統合に関わる脳活動時空間パターンの研究

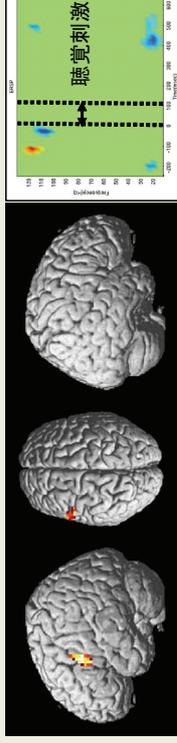
- 騒音下による音声知覚において音声明瞭度の低下を口の動きなどの視覚情報で補えることからわかるように、脳では聴覚情報と視覚情報の統合が行われている。
- 聴覚・視覚情報の統合の脳メカニズムに関する先行研究においては、fMRIでどこで起こるか、脳波・MEGでどうような時間推移で起こるか調べた研究が存在するが、両方を統合した研究は存在しない。
- 本研究では、我々のグループが開発した“fMRI統合MEG電流源推定法”によって時空間パターンを調べることを目的とする。
- 図はfMRIのみを解析し、“どこで起こるか”をマップした図である。
- 今後はMEGデータの電流源解析により時空間パターンを調べる。



fMRIデータの解析結果。左からそれぞれ視聴覚統合、聴覚、視覚条件とレスト条件で有意に差が生じる領域を表示している (SPM5,  $p < 0.05$  FWE)。

### 音韻識別課題におけるパフォーマンスと相関した脳活動特徴量抽出

- 話し言葉を聞く時に、正しく知覚できる場合と、間違えて知覚してしまう場合がある。
- 本研究では、そのような違いは、脳のどの場所か、どのように違うから起こるのかを、fMRIとMEGを用いて電流源推定法と組み合わせることにより明らかにした。
- 左図のfMRIの結果は、左の腹外側運動前野と呼ばれる場所が、間違った時に比べて正しく知覚した時に反応が大きかった。
- この部位は、別実験から発話生成に関わることがわかっている。
- つまり、発話知覚には発話生成の脳部位が必要であることが示された。
- さらに右図のfMRI統合MEG電流源解析から、その部位において、聴覚刺激を提示する数100ミリ秒前に、正しく知覚できるかどうかを示す反応が得られることがわかった。



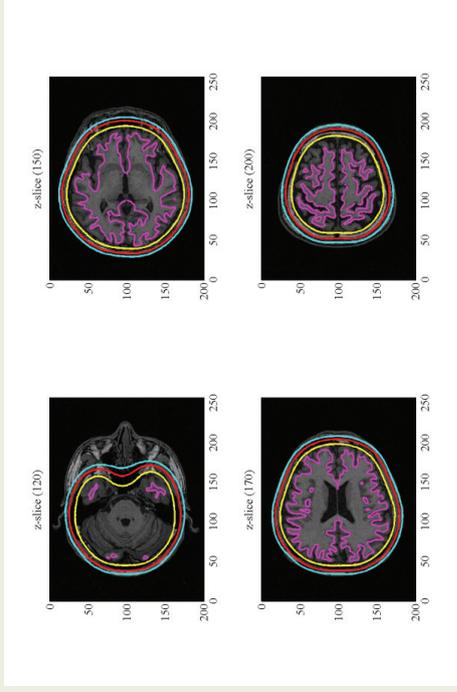
正しく知覚したときと間違えて知覚した時の脳活動の違い。fMRIデータの結果(左図)、fMRI統合MEG電流源推定の結果を時間周波数解析したもの(右図)。

## 【課題イー-1】 NIRSとEEGの同時計測によるオンラインアルゴリズムの開発

- 主な研究成果**
- 3層脳モデルを用いた脳電流からEEG信号への伝達行列計算
  - EEG信号からの脳活動推定

### 3層脳モデルを用いた脳電流からEEG信号への伝達行列計算

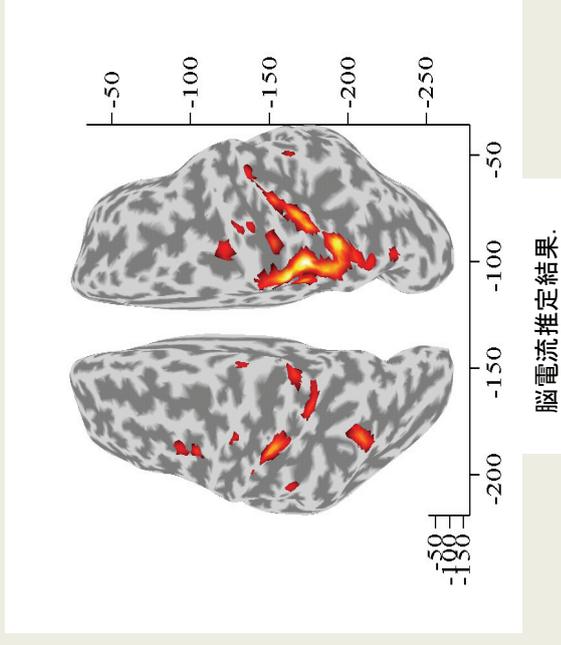
- EEGで計測する電位ポテンシャルは脳内の電気特性に強く依存するため、脳表電流からEEG信号への伝達行列(リードフィールド行列)計算には、頭皮、頭蓋、脊髄液の電気伝導度の違いを考慮に入れた3層脳モデルを使って計算する必要がある。
- 本研究開発では、MRI構造画像から3層脳モデルを抽出し、リードフィールド行列を計算した。



MRI構造画像から抽出された3層脳モデル。

### EEG信号からの脳活動推定

- 本研究では、EEGリードフィールド行列を計算し、アーチファクトを含むセンサや試行を除去したEEG信号に対して、階層ベイズ脳活動推定法を適用した。
- 今後、詳細な解析を行う予定である。



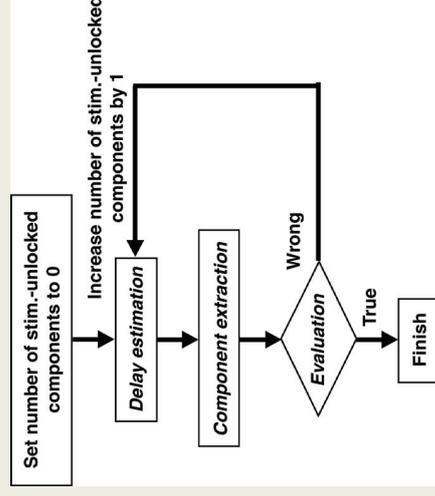
脳電流推定結果。

## 【課題イ-2】 NIRSとEEGを組み合わせたリアルタイム脳活動推定手法の開発

- ### 主な研究成果
- ・ 刺激に同期及び非同期した脳波成分抽出手法の開発
  - ・ スパース推定を使ったNIRS信号からの筋出力再構成

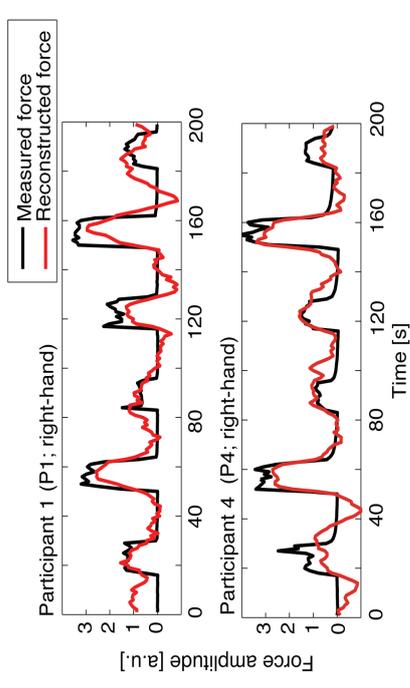
#### 刺激に同期及び非同期した脳波成分抽出手法の開発

- EEGには刺激に同期した成分 (Stimulus-locked component) と非同期な成分 (Stimulus-unlocked component) がある。
- 本研究開発では、EEGからStimulus-unlocked componentの数と遅れ時間を推定し、Stimulus-locked componentとStimulus-unlocked componentの波形を推定する手法を開発した。
- 今後は、実データへの有効性を検証する。



#### スパース推定を使ったNIRS信号からの筋出力再構成

- NIRSには血圧や脈波などの生体信号が背景ノイズとして混入してしまい、その計測精度が悪くなる危険性を持っている。
- 本研究開発では、高次元の入力信号から出力信号を推定する際に有効な信号成分のみを取り出すことで汎化性能を高めるスパース線形回帰を用いて、単一試行NIRSデータから筋出力を高精度に再構成した。
- 今後、スパース線形回帰を用いた解析は、NIRSを使ったアプリケーションに有用であると考えられる。



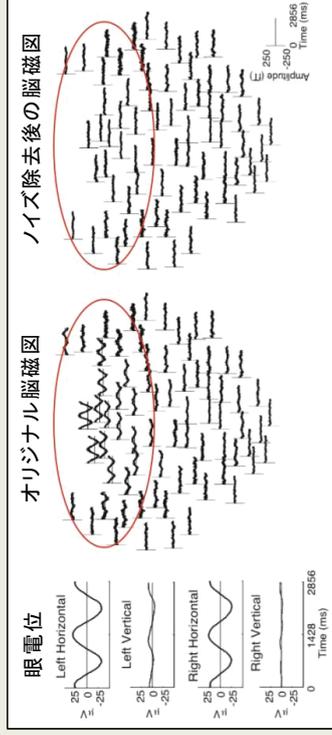
筋出力再構成結果

## 【課題ウ】 心拍や眼球運動等によるアーチファクト除去方法の研究開発

- 主な研究成果**
- 脳磁図に混入する眼球運動アーチファクトを除去する手法の提案
  - 脳磁図に混入する心拍アーチファクトの特性の解析

### 脳磁図に混入する眼球運動アーチファクトを除去する手法の提案

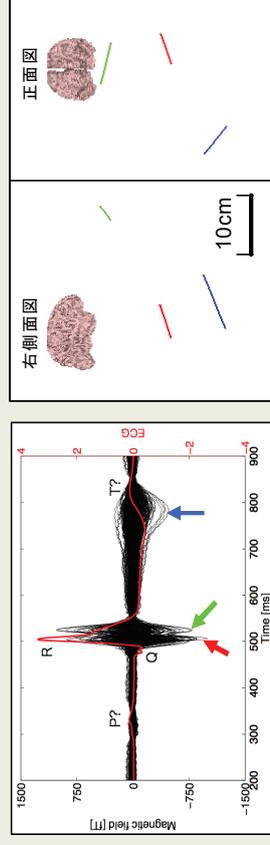
- 眼球運動によって生じる磁場は、脳磁図におけるもともと一般的なアーチファクトに1つである。
- 本件では、脳磁図と同時に眼電位を測り、両方の計測を用いて眼球アーチファクトを除去する方法を提案した。
- 本提案では、目にダイポール(電流源)を仮定して、目の動きをダイポールの方向の回転としてモデル化した。
- 脳の信号源と目のダイポールを同時に推定することによって、図赤丸で囲ったセンサの波形からわかるように、大きなアーチファクトを取り除けることを示した。
- 今後はリアルタイムに除去する方法を検討する。



水平方向に眼球運動を行ったときの眼電位(左)、オリジナル脳磁図(中)、およびアーチファクト除去後の脳磁図(右)。

### 脳磁図に混入する心拍アーチファクトの特性の解析

- 脳磁図の信号に混入する心拍アーチファクトは、リアルタイムで解析するよう単一試行データに大きな影響を及ぼす。
- そのような心拍アーチファクトを除去する為に、“心拍アーチファクトは何か”を、心電図と同時に計測することによって調べた。
- 左図にあるように、心電図のR波のピーク(Rと書いてある時点)に対応して脳磁図で大きなピークが見える。これが、心拍アーチファクトである。その他、R波の直後、T波の点でも心拍アーチファクトが見られる。
- 左図矢印の3時点に対して、脳磁図を生成するノイズ源を単一ダイポール法によって推定した。赤点は心臓付近に推定された。
- 他の2点に関しては、心臓から離れた位置に推定されており、詳細な考察が今後必要である。



脳磁図と心電図。心電図のR波をトリガとして加算平均。赤線が心電図信号。

心拍ノイズ源を単一ダイポール推定した図。左図の矢印の時点のノイズ源を表示(色はそれぞれ対応)