

## 1. 研究課題・受託者・研究開発期間・研究開発予算

- ◆課題名 : 脳活動推定技術高度化のための測定結果推定システムに向けたモデリング手法の研究開発
- ◆副題 : 脳機能ネットワークダイナミクスプラットフォームの構築
- ◆実施機関 : 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
- ◆研究開発期間 : 平成25年度から平成29年度(5年間)
- ◆研究開発予算 : 総額799百万円(平成29年度141百万円)

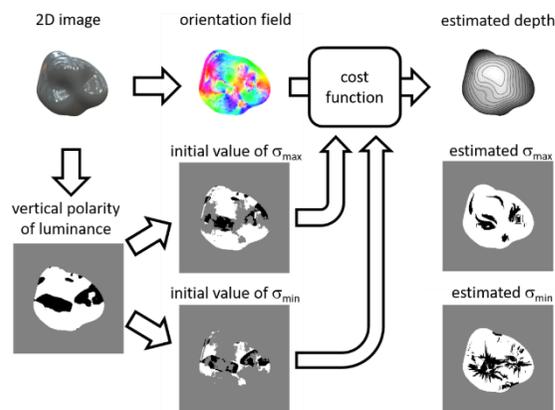
## 2. 研究開発の目標

現在利用されている4種類の代表的な非侵襲脳活動計測法EEG・MEG・fMRI・NIRSの様々な実験条件における測定データを予測するための“ヒト脳機能データ推定システム”を開発する。実験結果予測や実験結果統合を行うためのプラットフォームとして活用することにより、ブレイン・マシン・インタフェース研究の飛躍的な進展に寄与することを目指す。

## 3. 研究開発の成果

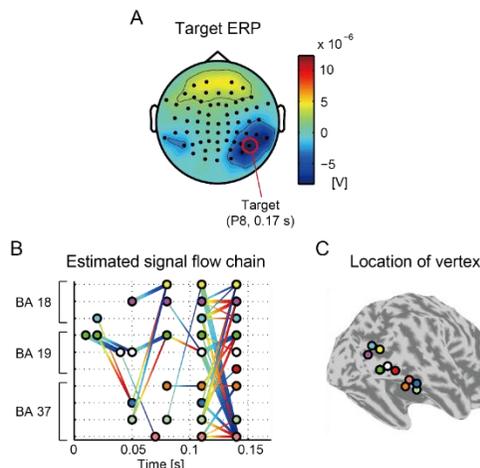
脳のモデル化や入力の圧縮に必要な様々なアルゴリズムを開発し、解像度平均6ミリ程度の個人構造脳モデルにおけるミリ秒の機能的インタラクションを推定可能な機能を持つダイナミクスプラットフォームを作成した。ダイナミクスプラットフォームと計測モデルを組み合わせ、個人レベルまたは平均被験者レベルでEEG,MEG,fMRI,NIRSの4種類の計測データを生成するヒト脳機能データ推定システムを開発することに成功した。個人脳上で定量評価可能な精度をもつ脳計測シミュレータとしては世界初の成果である。また、システム開発に利用したソフトウェアおよびデータベースをウェブ上で一般公開した。

## 研究開発項目1 入力モデルと脳モデルの高度化



- 画像情報処理における中間情報表現の抽出
- 脳神経活動推定のための階層ベイズモデルの開発
- 脳モデリングのためのカオスダイナミクス解析

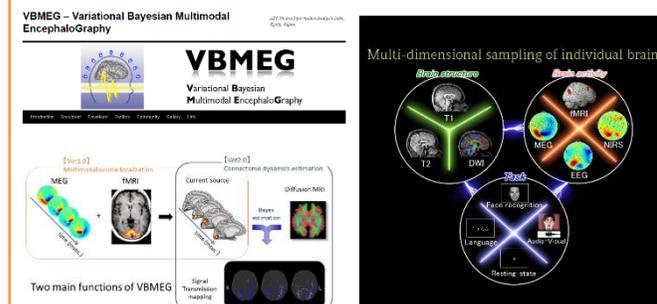
## 研究開発項目2 環境・ユーザの影響を評価できるヒト脳機能データ推定システム



- 全脳ネットワークダイナミクスモデルからの事象に関連した信号の流れの推定
- ディープニューラルネットを用いた脳情報解読手法の開発
- 視覚記憶におけるダイナミクスのユーザ間の違い

## 研究開発項目3 推定システムが出力する脳活動テストデータの妥当性の検証

## ヒト脳機能データ推定システム開発のためのソフトウェアとデータセットの公開



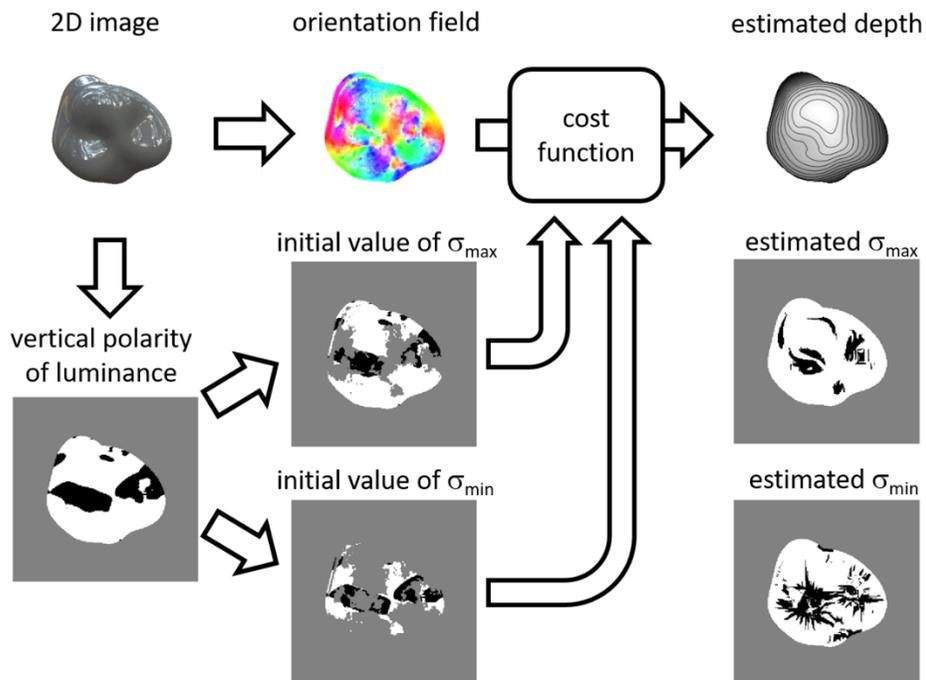
<http://vbmeg.atr.jp>

<https://bicr-resource.atr.jp/mulds/>

- 脳ネットワークダイナミクス推定プログラム”VBMEG ver.2.0”の開発と公開
- 様々な実験時の脳活動計測結果を予測するNIRSシミュレータ: NIRSynth
- ヒト脳機能データ推定システム評価のための複数モダリティ・複数課題脳イメージングデータベースの構築

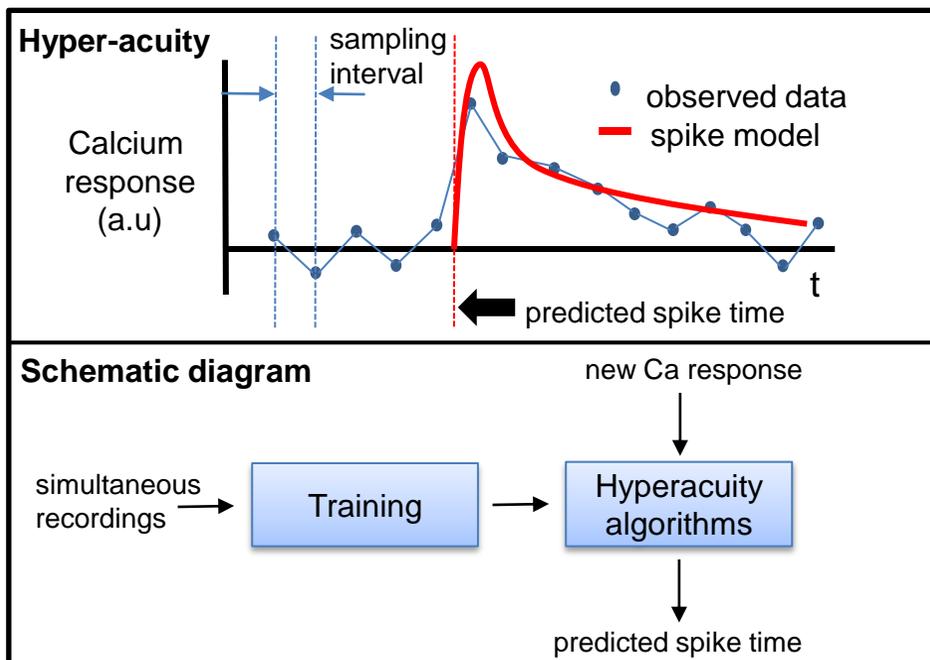
## 課題1-1 画像情報処理における 中間情報表現の抽出

- ヒトの視覚処理に着想を得た画像処理を行うことで、1枚の2次元画像に映っているオブジェクトの3次元表面形状を高精度に抽出するアルゴリズムを完成させた。
- ヒト一次視覚野で行われているような多重解像度の方位フィルタにより、高周波成分の方位と低周波成分の極性を取り出す。高周波方位と3次元表面曲率の方位、低周波極性と3次元表面曲率の符号との関係式を作り、それを解くことで、複雑な画像からであっても3次元表面形状を取り出すことができる。



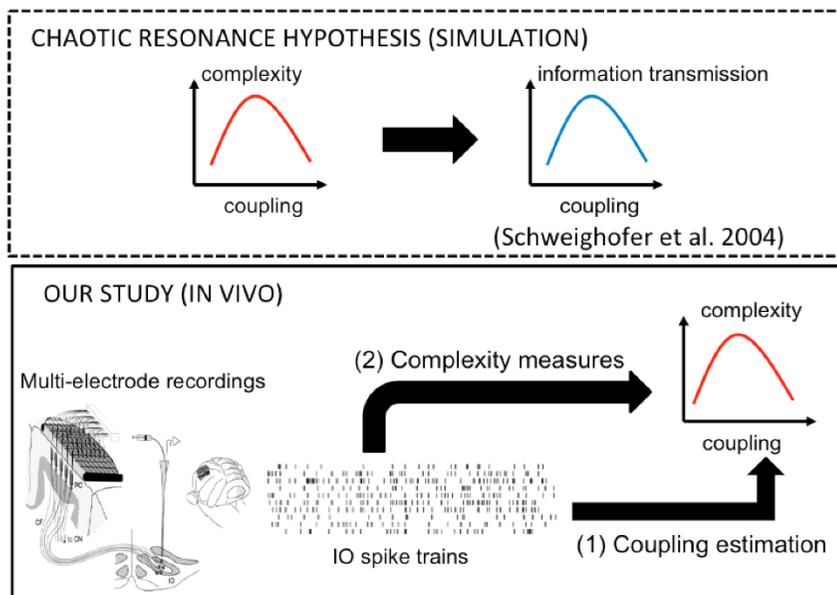
## 1-2 (1) 脳神経活動推定のための 階層ベイズモデルの開発

- Two-photon imaging exhibits low temporal resolution as well as noisy optical signals.
- We developed two novel hyperacuity algorithms to improve spike estimation of two-photon recording by supervised approach minimizing the estimation error based on the ground truth given as the electrical spikes.
- The performance benchmark to compare the foregoing algorithms with ours confirmed superiority of supervised over unsupervised algorithms.



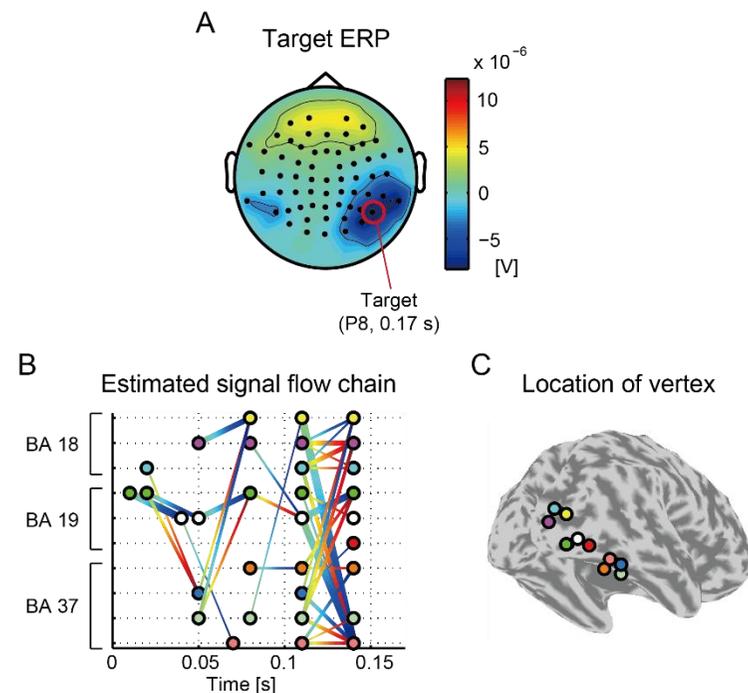
## 1-2 (2) 脳モデリングのための カオスダイナミクス解析

- Chaotic resonance hypothesis stated that intermediate couplings among inferior olive neurons induce chaos and enhance information transmission despite low firing frequency of those neurons.
- We aim to validate the chaotic resonance hypothesis using in-vivo data recorded by an array of multi-electrodes.
- We constructed a network model of inferior olive neurons to estimate the coupling strength (1) and adopted a complexity method to measure the chaotic index (2) from the spike data.
- We found that intermediate couplings maximize the complexity measure, which strongly supports the hypothesis.



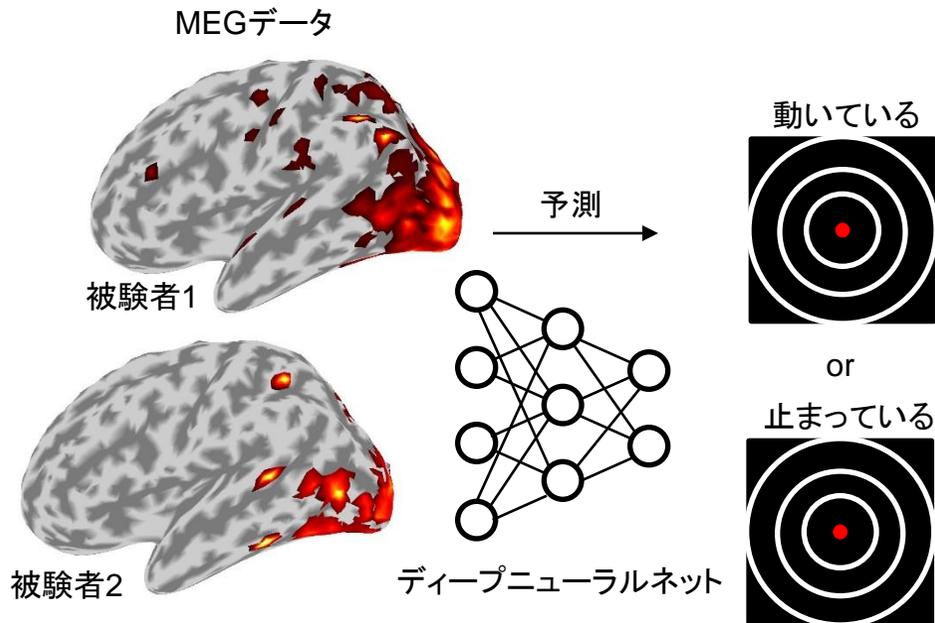
## 課題2-1 全脳ネットワークダイナミクスモデルから らの事象に関連した信号の流れの推定

- 全脳ネットワークダイナミクスモデルから、事象に関連した信号の流れを推定する手法を提案した。
- 提案手法は、信号の流れの時刻と経路を明らかにすることができる。
- 提案手法を運動視課題中のMEGに適用し、MTへの信号の流れを推定した。
- また、提案手法を顔認知課題中のEEG+MEGに適用し、N170生成に寄与する信号の流れを特定した。



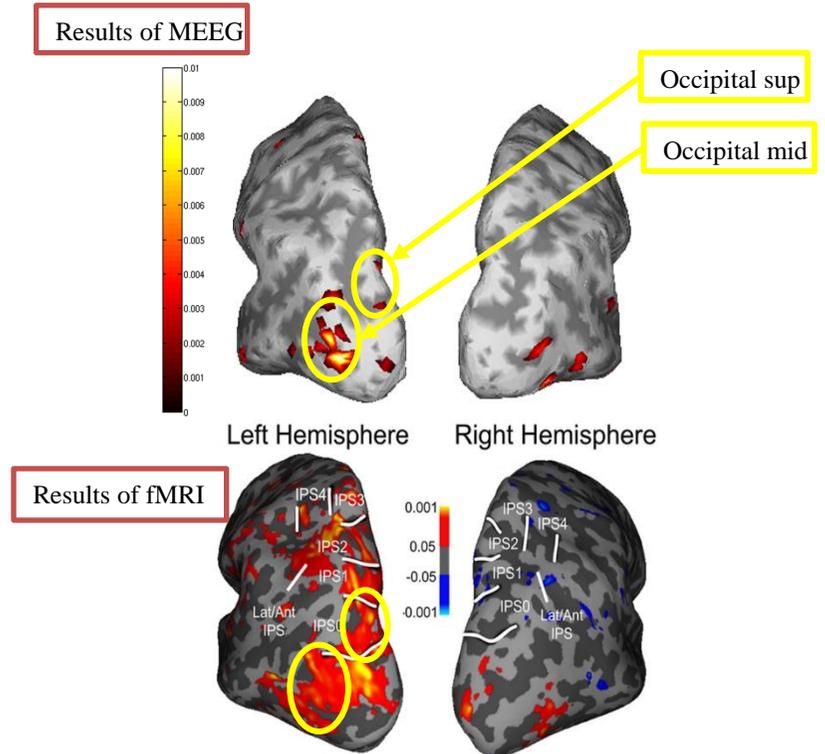
## 課題2-2(1) ディープニューラルネットを用いた脳情報解読手法の開発

- ディープニューラルネットを用いて被験者間共通のMEGデコーダーを作成した。
- MEGから電流源推定を行い標準脳上での脳活動情報をニューラルネットの入力とすることで、MEGトポグラフィを入力とする場合よりも予測精度が向上した。



## 課題2-2(2) 視覚記憶におけるダイナミクスのユーザ間の違い

- MEGとEEG同時計測データを用いて、視覚情報処理における腹側、背側ストリームを確認した。
- MEG電流源では検出できなかった視覚情報処理における脳半球間の非対称性が、MEG+EEG電流源で検出された。
- この結果は、fMRIを用いた先行研究とも一致する。



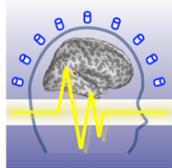
Sheremata, S. L., Bettencourt, K. C., & Somers, D. C. Hemispheric Asymmetry in Visuotopic Posterior parietal cortex emerges with visual short-term memory Load. *J Neurosci* 30(38), 12581-12588 (2010).

### 課題3(1) 脳ネットワークダイナミクス推定プログラム "VBMEG ver.2.0"の開発と公開

- 本委託研究では5年間にわたり、ヒト脳機能データ推定システムの開発を行ってきた。
- システム開発にあたり重要なコア要素技術として、MEG+EEG同時電流源推定技術、脳ネットワークダイナミクス推定技術(可視化技術)の2つの技術を開発した。
- 上記2つコア要素技術を実装したMATLABツールボックス VBMEG ver.2.0 をオープンソースの形態で公開した (<http://vbmeg.ATR.jp>)。

#### VBMEG – Variational Bayesian Multimodal EncephaloGraphy

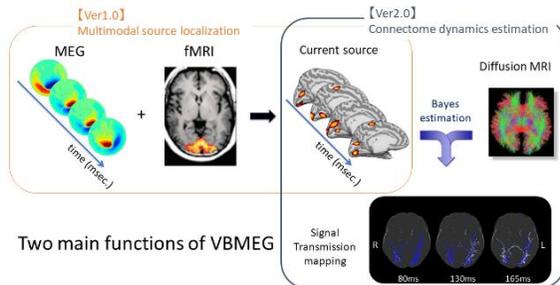
ATR Neural Information Analysis Labs,  
Kyoto, Japan



## VBMEG

Variational Bayesian  
Multimodal EncephaloGraphy

Introduction Document Download Toolbox Community Gallery Link



### 課題3(2) 様々な実験時の脳活動計測結果を予測 するNIRSシミュレータ: NIRSynth

- NIRS計測デザインにかかる実験的コストを低減するために、様々な実験時の脳活動計測結果を予測するNIRSシミュレータ"NIRSynth"を開発した。
- 10000本以上のfMRI論文を自動データベース化・メタ解析する NeuroSynth(Yarkoni et al., 2011)をベースに、当研究プロジェクトで開発した光伝播計測モデルを組み合わせることにより、NIRSメタ解析手法を開発した。
- ターゲットキーワード( 'face', 'language', 'visual' など)に該当する実験を行った時の、全頭NIRS計測結果をNIRS活動尤度マップとして表示する。
- 多くのユーザが簡単に利用することを想定して、Webアプリケーションとして実装を行った。

working memory Meta-analysis of 901 studies

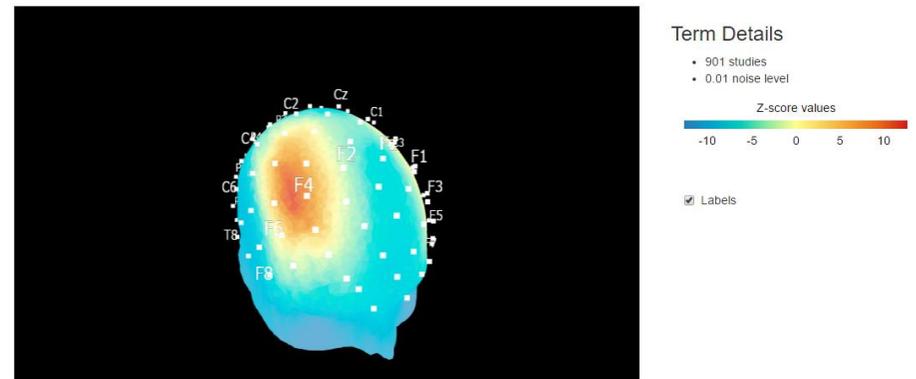
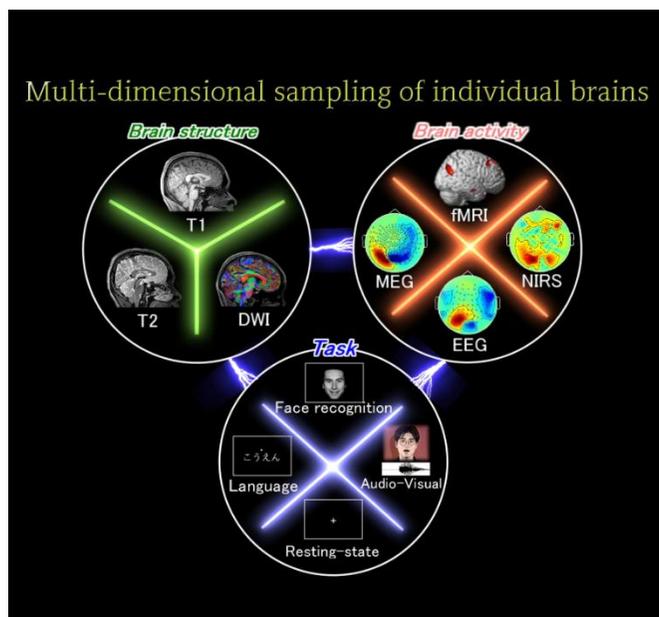


図:NIRSynthウェブアプリケーションのスクリーンショット  
'working memory'に対する全頭NIRS計測結果予測。

### 課題3(3) ヒト脳機能データ推定システム評価のための複数モダリティ・複数課題脳イメージングデータベースの構築

- 複数モダリティ・複数課題脳イメージングデータベース (Multi-dimensional sampling of individual brains, MULDS) を構築した。
- MULDSには、以下のデータが含まれる。
- 被験者: 5名
- 7種類の計測モダリティ: EEG-MEG (同時計測)、functional MRI (fMRI)、NIRS、diffusion MRI (dMRI)、T1、T2
- 4種類の課題: 顔認知課題、言語課題、視聴覚統合課題、レスト課題
- 構築したデータベースをインターネット上で公開した (<https://bicr-resource.atr.jp/mulds/>)。



4. 特許出願、論文発表等、及びトピックス

国内出願	外国出願	研究論文	その他研究発表	プレスリリース 報道	展示会	標準化提案
1 ( 0 )	0 ( 0 )	25 ( 2 )	127 ( 32 )	7 ( 1 )	1 ( 1 )	0 ( 0 )

※成果数は累計件数、( )内は当該年度の件数です。

(1) ヒト脳機能データ推定システム開発に利用した脳ダイナミクスイメージングソフトウェア “VBMEG ver2.0”とデータベース”MULDS”の公開

オープンサイエンスを推進するために、当委託研究で開発した基幹技術を実装したソフトウェアおよびデータセットをウェブにて一般公開した。EEG, MEG, fMRI, T1-MRI, diffusion MRIデータを統合解析し、全脳ネットワーク上をミリ秒の単位で変化する電気活動を可視化するソフトウェア VBMEG ver2.0 をオープンソースソフトウェアとして公開した ( <http://vbmeg.atr.jp/> )。また、fMRI, EEG, MEG, NIRS, T1-MRI, T2-MRIをdiffusion MRIを最新の計測プロトコルで計測した他に類をみないリッチなデータベース・複数モダリティ・複数課題脳イメージングデータベース (Multi-dimensional sampling of individual brains, MULDS) を<https://bicr-resource.atr.jp/mulds/>にて公開した。

(2) 国際シンポジウム『Human brain dynamics research in connectome era』を主催

ニューロフィードバック技術の国際研究会議『rtrin2017』のサテライトシンポジウムとして、2017年11月27日に『Human brain dynamics research in connectome era』を開催した。MEG研究の国際的権威である McGill大学 Sylvain Baillet教授、世界で最も有名なEEG電流源イメージング法の1つである LORETA法の提案者である Zurich大学の Roberto Pascual-Marqui教授、EEGダイナミクス研究の日本の第1人者である理研BSIの北城先生を招待し、現在のヒト脳ダイナミクス研究の到達点と今後の展開について議論を行った。また、第2部としてけいはんなリサーチコンプレックスと共催で『Front Line of Researches on Neuroimaging and its Societal Implementation』というタイトルのワークショップを行った。ワークショップでは、シンポジウムに参加した Baillet教授、Pascual-Marqui教授に加え イスラエル工科大学のHendler教授を交えて、ニューロイメージング技術の社会実装の展望についてパネル討論を行った。国内外の研究者、企業の方に向けて研究成果をアピールすると同時に、将来の研究の方向性について意見を聞くことが出来た。

5. 今後の研究開発計画

公開したオープンソースソフトウェア「VBMEG ver2.0」の標準化を目指す。ソフトはオープンソースであるため、ユーザの利用がある一定数超えれば我々の想定を超えた進化をすると考える。そのために、初期の広報活動、学会、論文、ユーザミーティング、展示会等でしっかり行い、ソフトウェアの重要性をアピールしていく。脳科学の基礎分野だけでなくBMI応用や脳疾患応用において国内外で標準的な方法として使用されることを目指していく。