

脳活動可視化技術の最先端 ～複数の脳計測データ統合による解決～

(株) 国際電気通信基礎技術研究所

脳情報解析研究所

佐藤雅昭

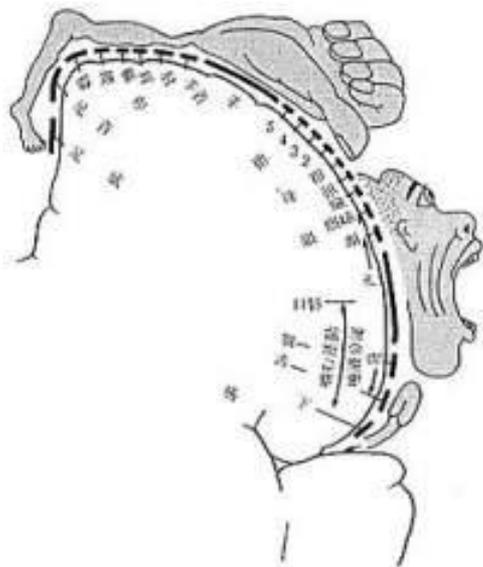
目次



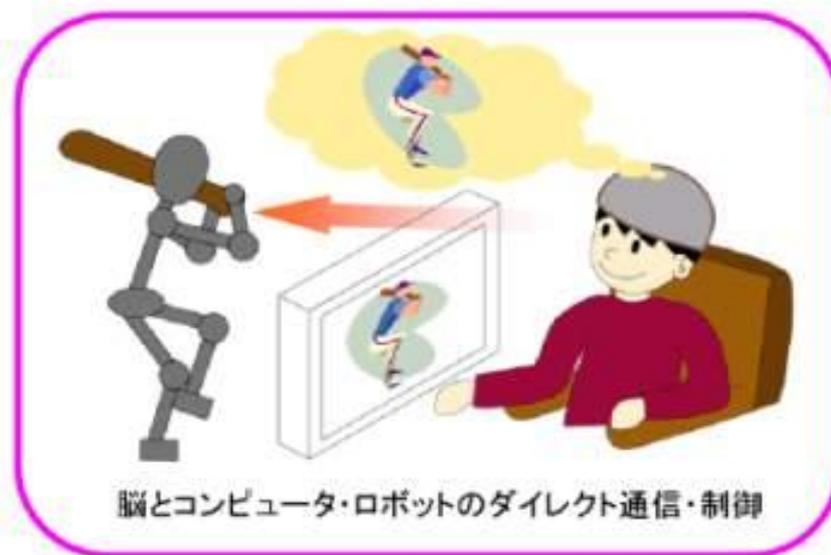
- 研究背景
 - 脳活動計測とブレイン・マシン・インタフェース
 - 非侵襲脳活動計測の現状
 - 委託研究プロジェクトの概要
- 複数の脳計測データ統合による脳活動推定とその応用
 - 階層変分ベイズ推定 VBMEG
 - 脳活動から指先の動きを再構成
 - リアルタイムMEGシステム
 - フライトシミュレーターによる複雑な認知運動課題
- NIRS 拡散光トモグラフィによる高精度3次元推定
- 今後の課題

脳活動計測の必要性

- 脳の仕組みを知るための脳研究や脳活動を利用するブレイン・マシン・インタフェース研究には、脳活動を正確に計測することが出発点

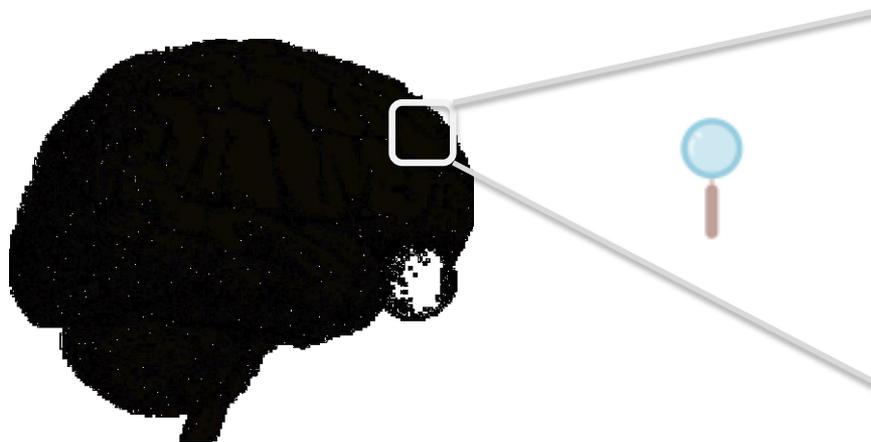


ヒトの一次運動野における体部位局在地図
(Rasmussen and Penfield, 1947より改変)

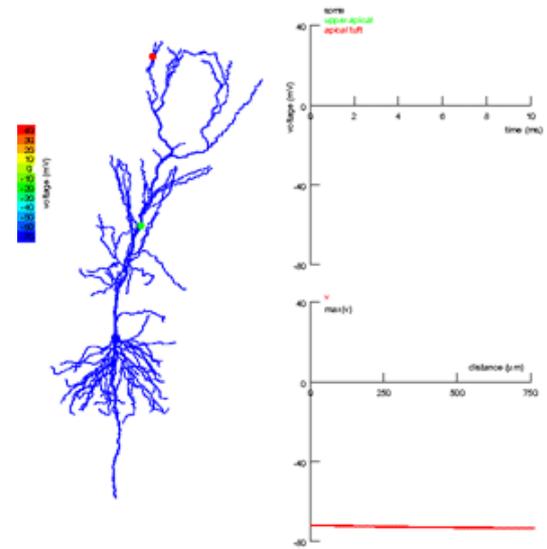


脳活動＝神経細胞の電気信号(皮質電流)

脳



神経細胞



http://www.scholarpedia.org/article/Pyramidal_neuron より転用

ヒトの脳活動を手術無しで非侵襲的に計測する
非侵襲脳活動計測装置はこの20年間で飛躍的に進歩した

非侵襲脳活動計測手法

脳内神経活動の機能部位毎(ミリm)の
速い時間的変化(ミリ秒)を直接計測できる
非侵襲計測手法は存在しない

fMRI(機能的MRI)



提供ATR-Promotions

MEG(脳磁計)



提供ATR-Promotions

NIRS(近赤外分光計測)



EEG(脳波計)



「複数モダリティ統合による 脳活動計測技術の研究開発」

高精度BMI構築のための脳活動推定法の高度化とリアルタイム化

ブレイン・マシン・
インタフェース

MEG+fMRI



高精度・実験室環境

↓ 検証

小型・可搬・実環境

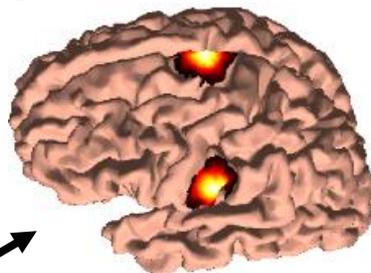


EEG+NIRS

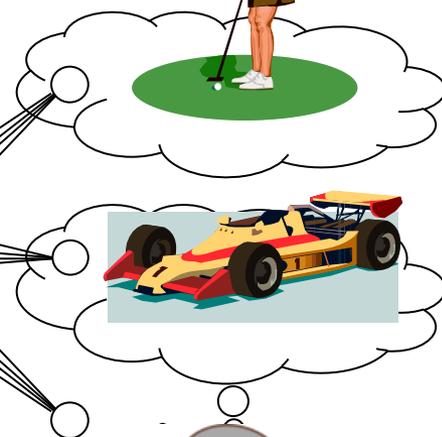
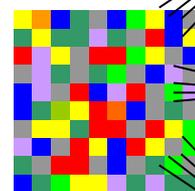
課題ア

MEGとfMRIを組み合わせた
高精度なリアルタイム脳活動推定法

脳活動推定



脳情報解読



アーチファクト
除去

課題ウ

心拍等の生体
アーチファクト除去法

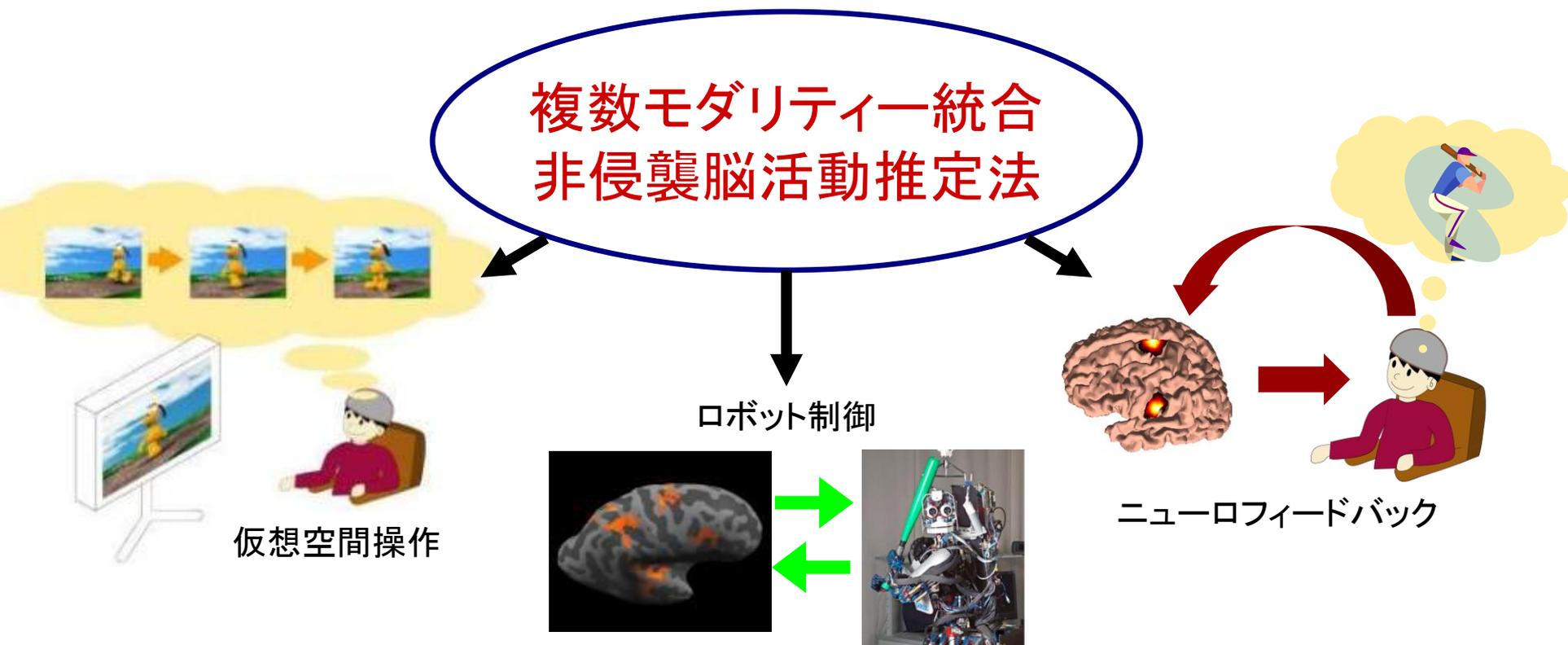
課題イ

EEGとNIRSを組み合わせた
実環境に適したリアルタイム脳活動推定法



BMIへの応用・展開

- 安全性の高い、利用者の負担の少ない、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基づくBMI開発に資する基礎技術を開発



複数の脳計測データ統合による 脳活動推定とその応用

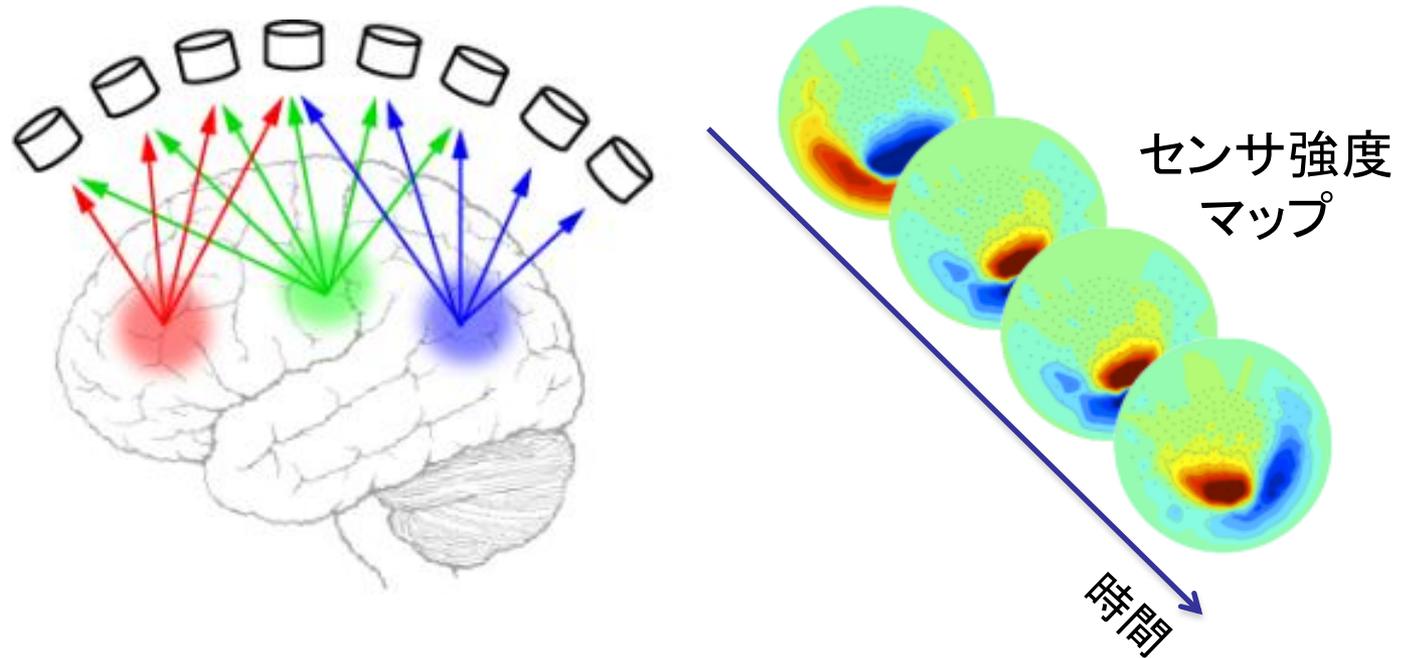
MEG計測原理

神経電流が発生する微弱な磁場を頭の外に設置したセンサで計測

MEG



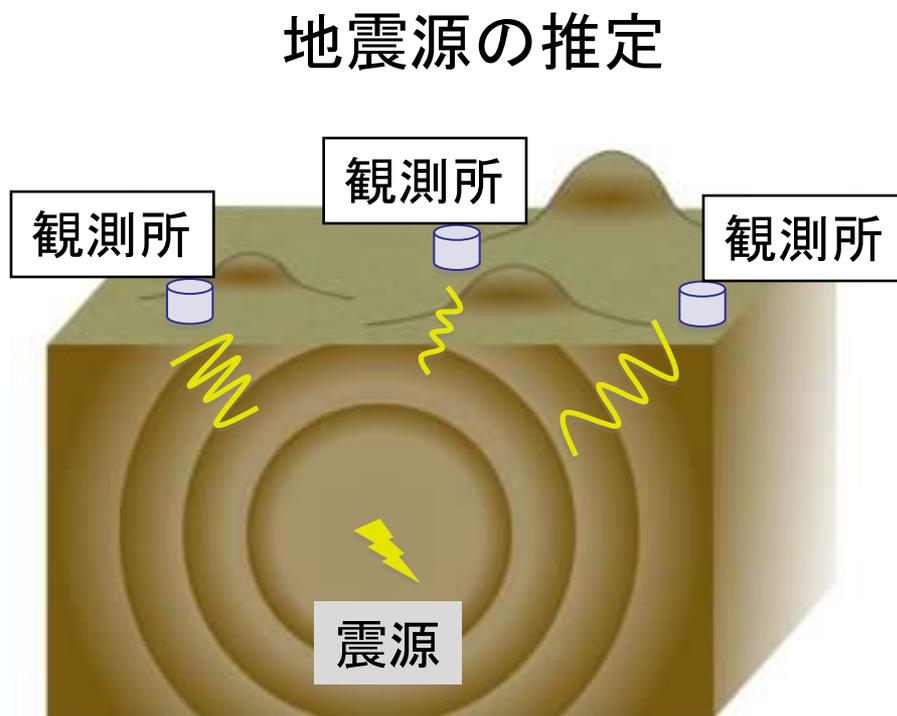
提供ATR-Promotions



- 神経活動の速い時間変化 (ミリ秒) を計測可能
- × 脳内における活動源は直接にはわからない。

MEG逆問題

観測磁場から神経活動源(電流源)の分布を推定する問題
MEG逆問題は解くのが困難な不良設定問題になっている。



複数の震源が同時多発的に発生し
震源の数も分からない時の震源推定

階層変分ベイズ推定 “VBMEG”

(Variational Bayesian Multimodal EncephaloGraphy)



時間分解能に優れたMEG/EEGと

空間分解能に優れたfMRI/NIRSを統合して高精度推定

観測情報

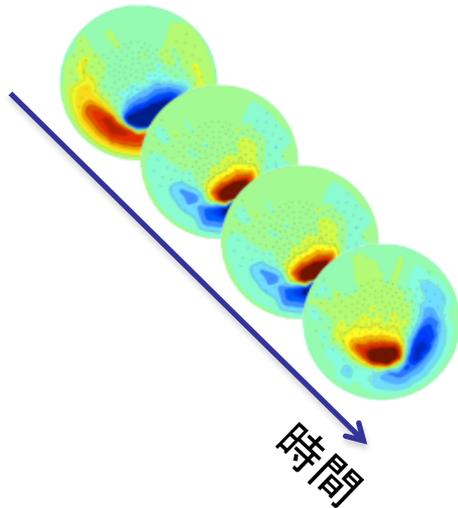
+

事前情報



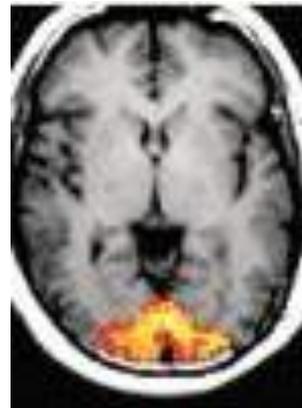
対象に対する推測

MEG

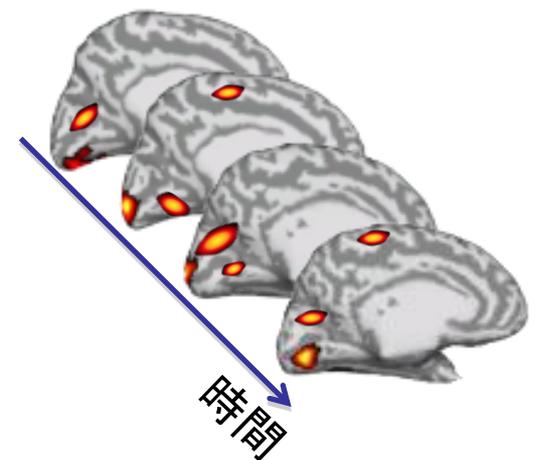


+

fMRI



神経電流
時系列



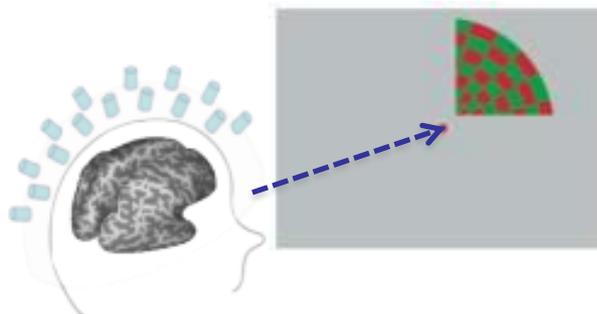
脳内における神経活動の
速い時間・空間変化を可視化

VBMEGによる脳活動の可視化(視覚実験)

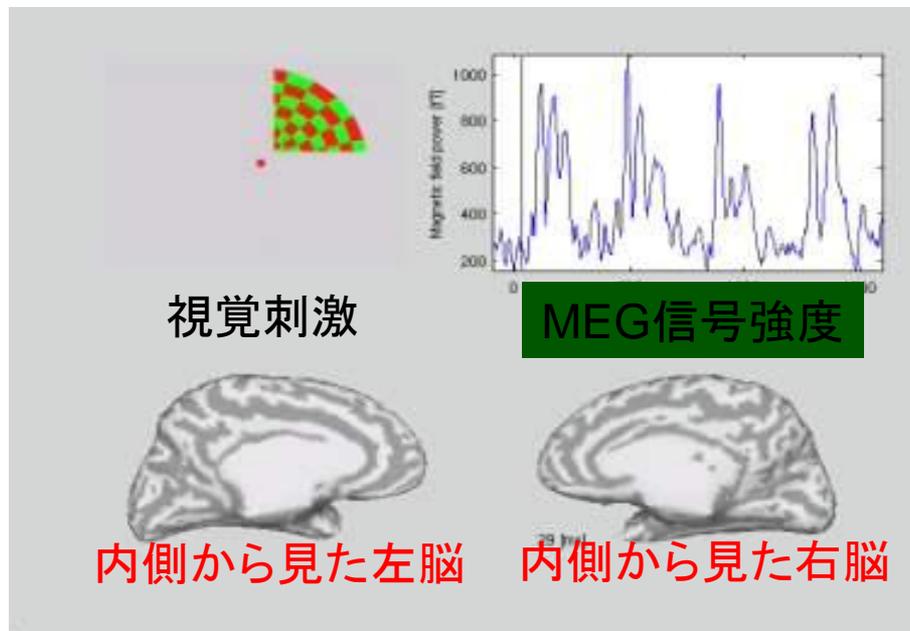


刺激位置に応じて変化する視覚野の脳活動

脳活動計測実験(視覚刺激)

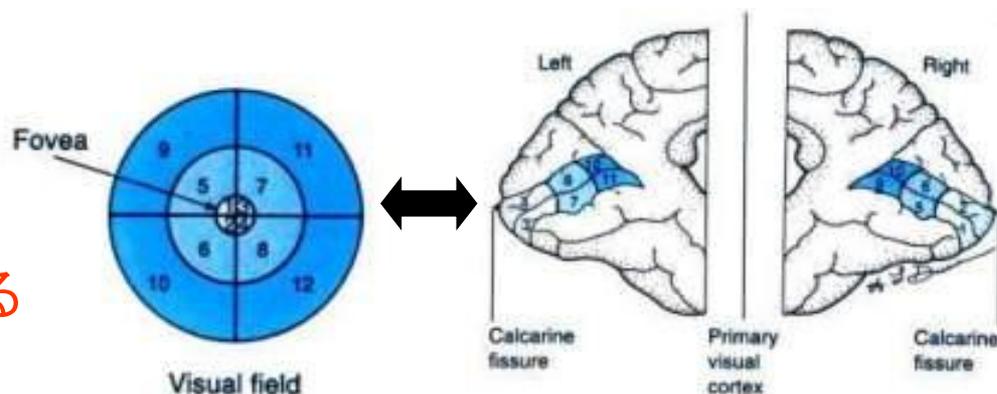


スクリーン上の像の位置が 0.4秒毎に変化(右上、右下、左下、左上)

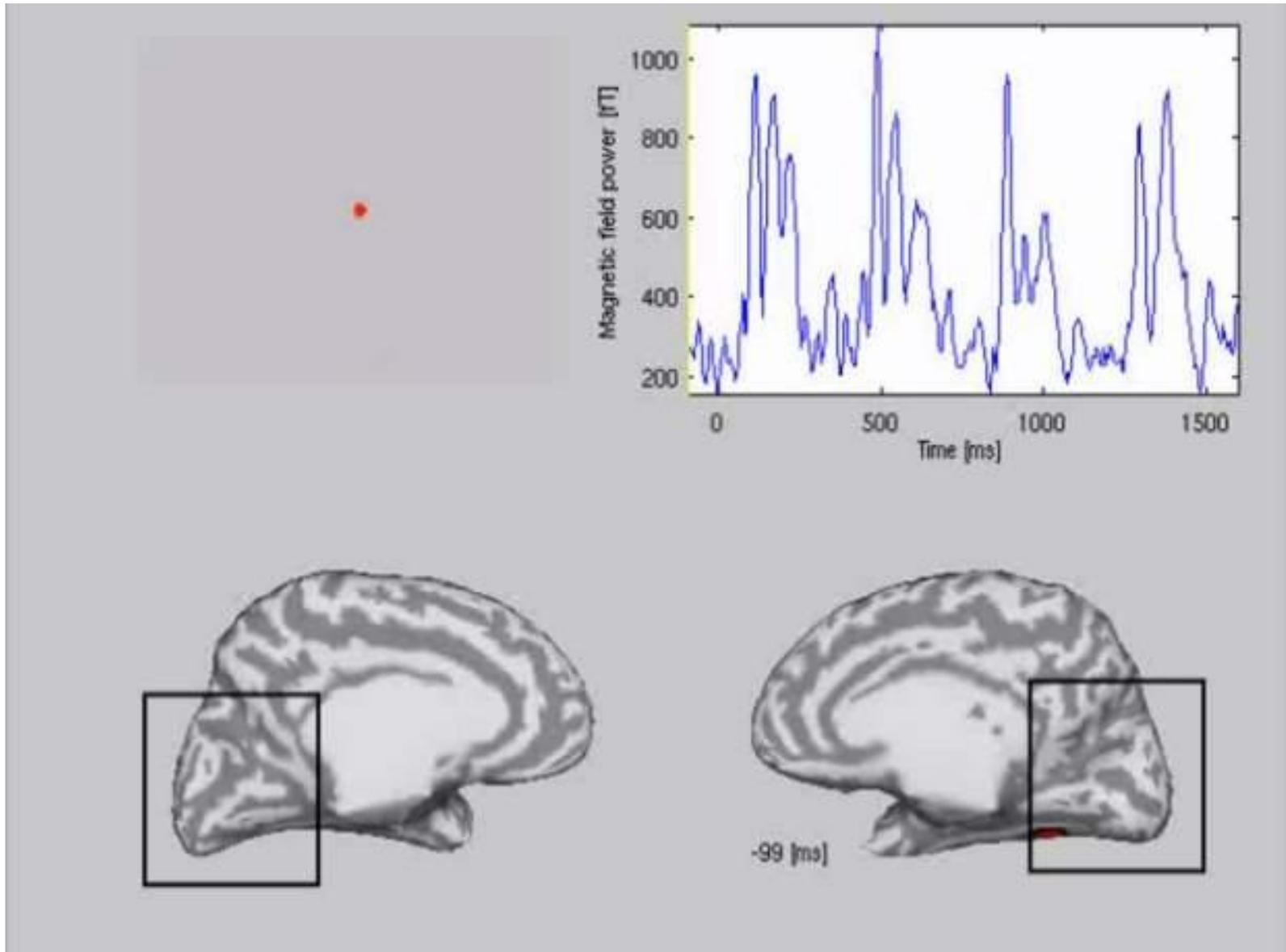


視野と大脳視覚野の
対応関係(レチノトピー)

視野の左右と上下が
視覚野に反転して表現されている



VBMEGによる脳活動の可視化（視覚実験）

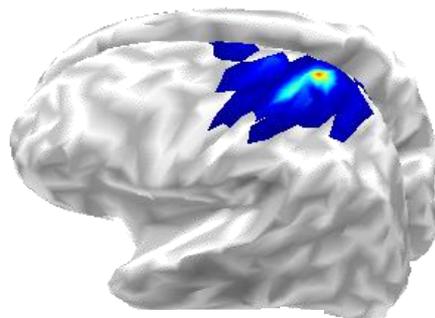
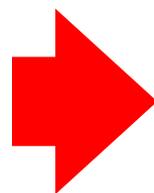


脳活動から指先の動きを再構成

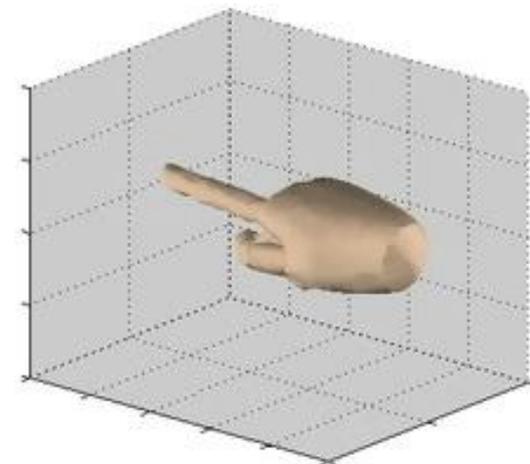
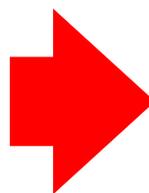
- 人間の脳活動情報から四肢の運動を再構成する技術として、指先の素早い運動(運動時間約0.4秒)を滑らかな動きでコンピュータ上に再構成することに成功



脳活動の計測
「実際に手を動かす」



解析
「オフライン」



指先の動きを再構成

NICTバイオICTグループ(今水 寛グループリーダー)
との共同研究として報道発表(平成22年10月20日)

特徴抽出 顔予測を例に(1)

誰でしょう？



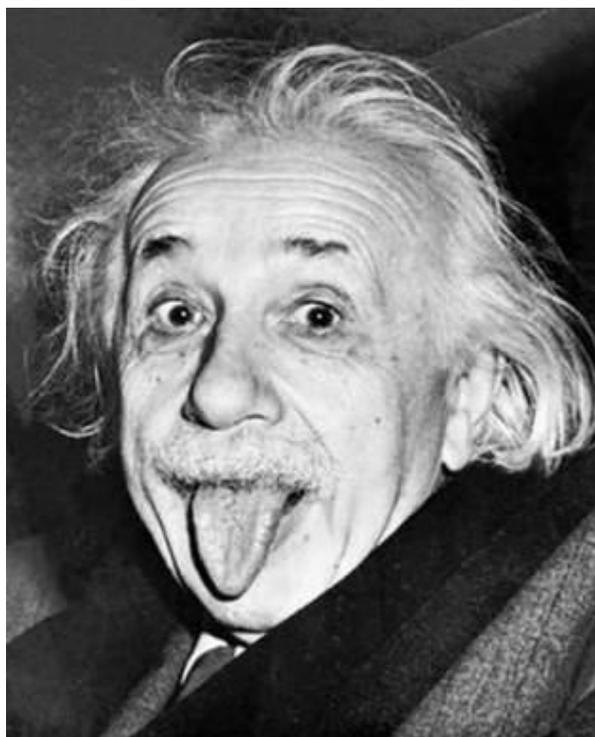
特徴抽出 顔予測を例に(2)

誰でしょう？



特徴抽出

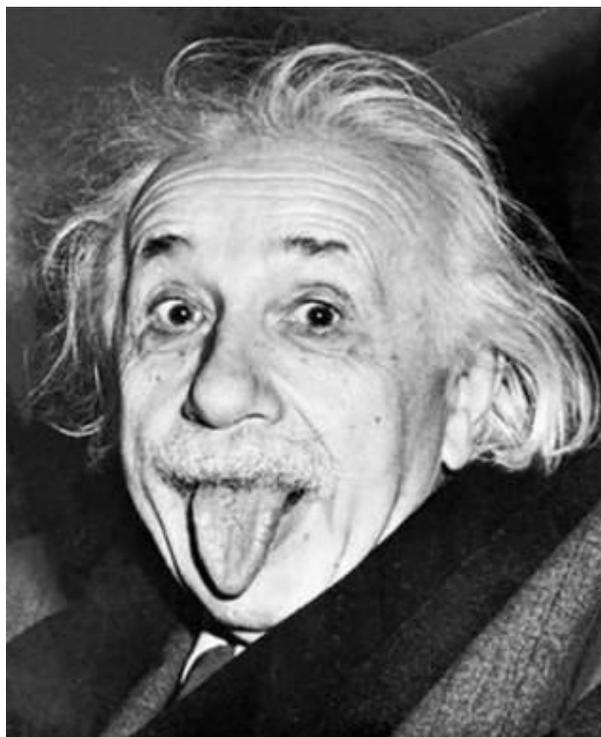
データの**特徴的な部分**を抜き出せば
正しく推定することができる



Albert Einstein (1879–1955)

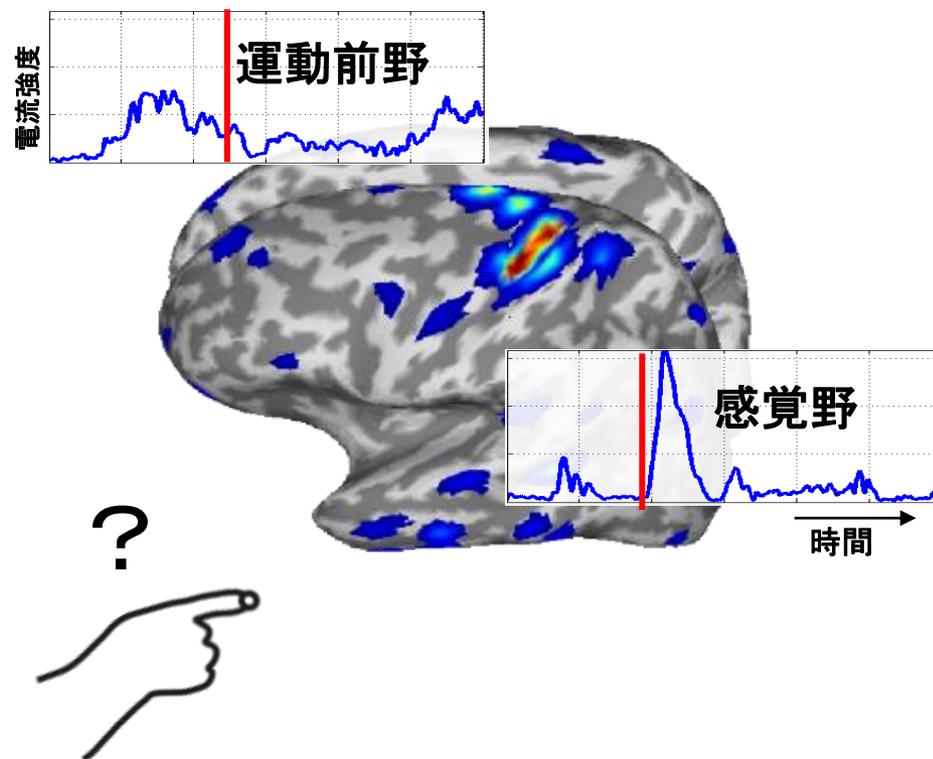
一般の特徴抽出は困難

顔は目元や口元が
特徴量として有効

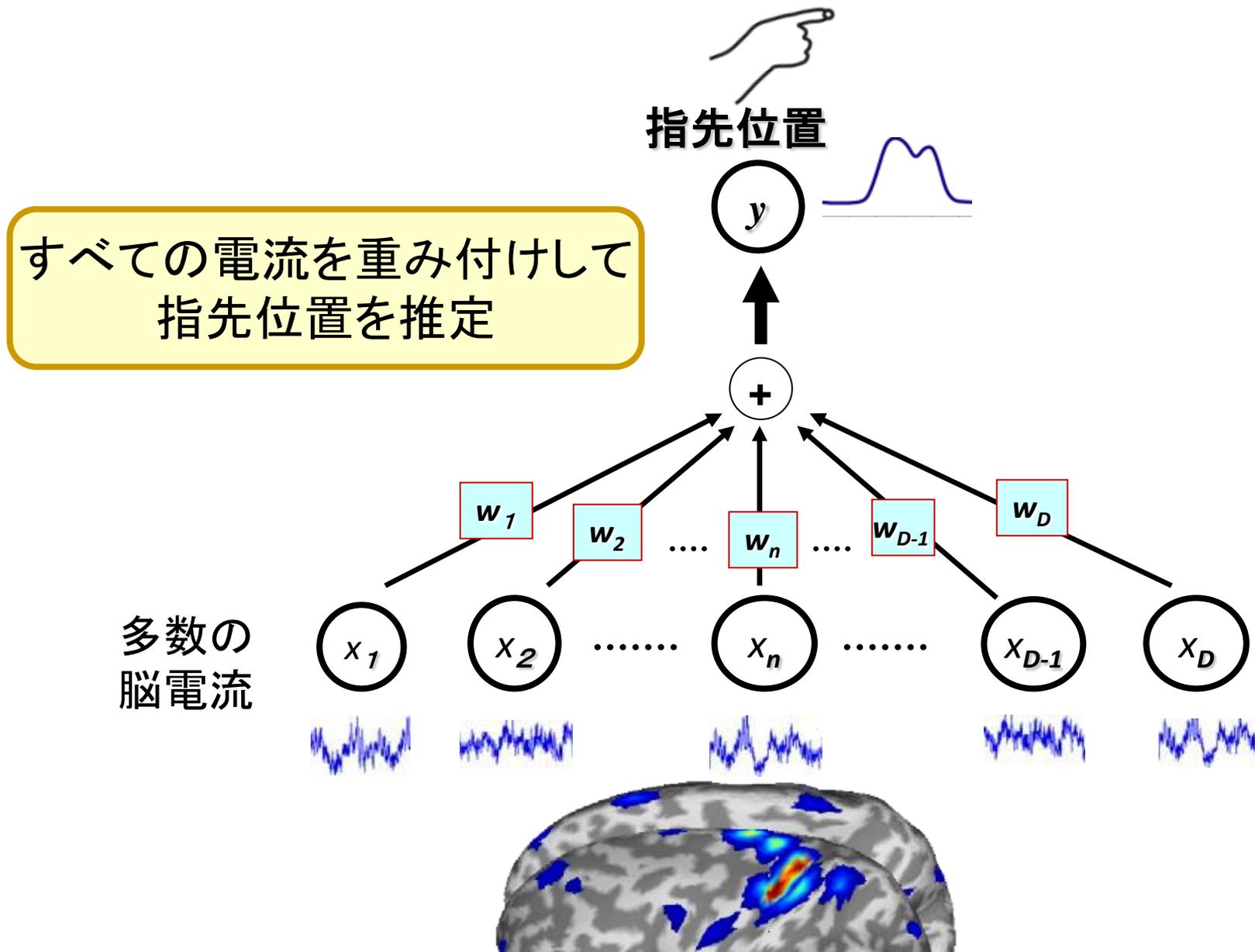


Albert Einstein (1879–1955)

脳の様々な部位の電気活動のうち
どれをどのように使えば
指先位置を知ることができるか？

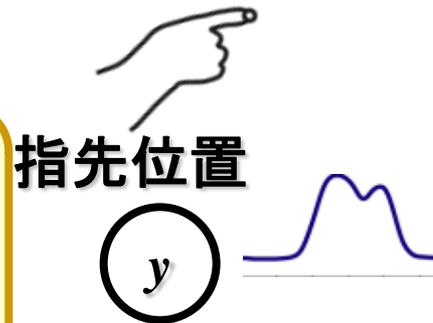


従来手法：線形回帰法



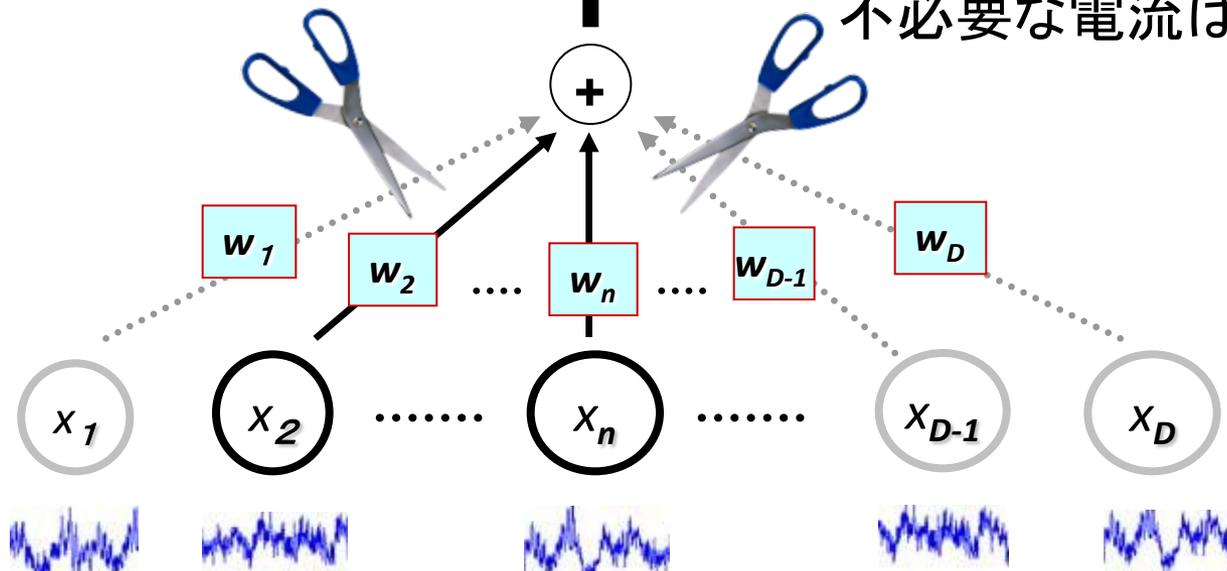
スパース推定法

指先位置を知るのに特徴的な電流を自動的・効率的に選択



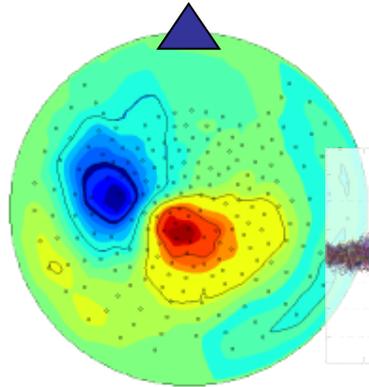
不必要な電流はカット

多数の脳電流



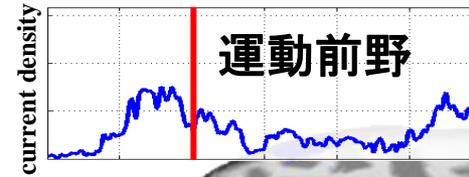
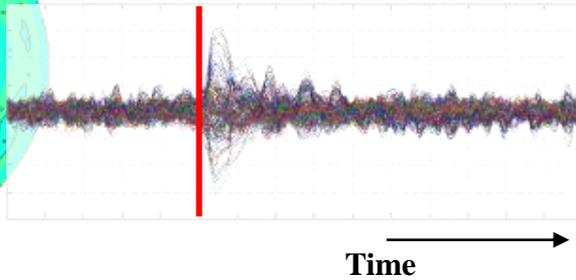
MEG脳活動で手先軌道予測

MEG センサ信号
空間パターン

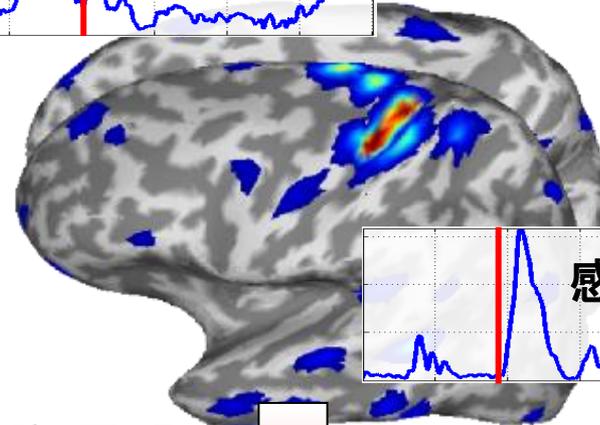


MEG 信号計測

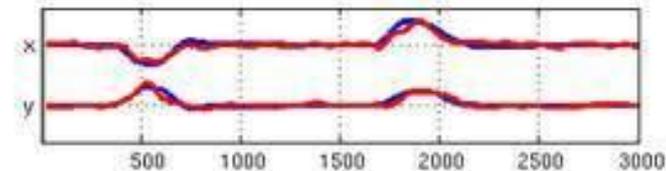
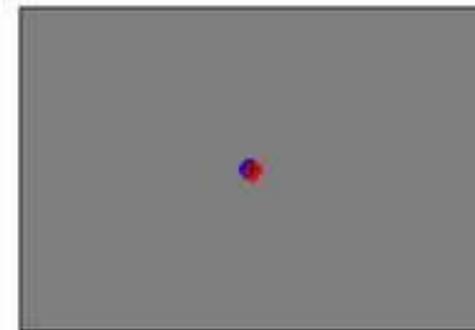
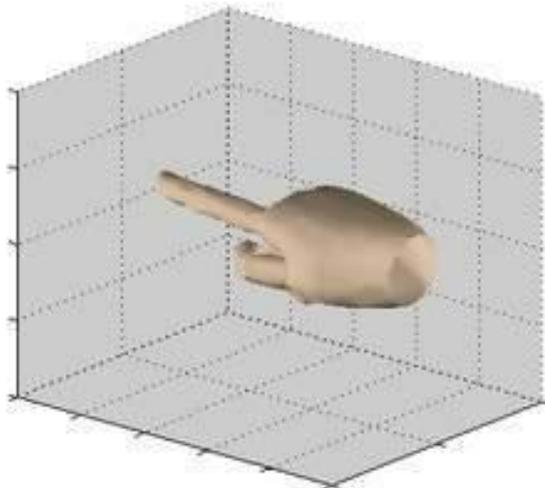
MEG 信号時系列



推定された脳活動



運動予測



自動選択された電流位置

自動的・効率的に選択された
指先位置推定に重要な
部位と重みマップ

各部位が果たす役割の
神経科学的な知見と一致

運動野

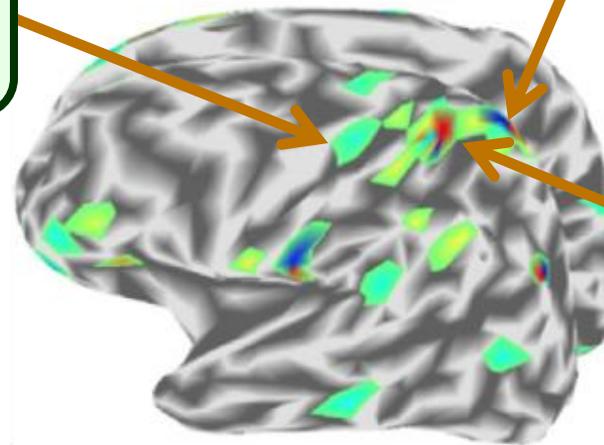
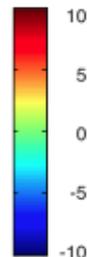
運動をコントロール
する部位

頭頂連合野

運動を
計画する部位

体性感覚野

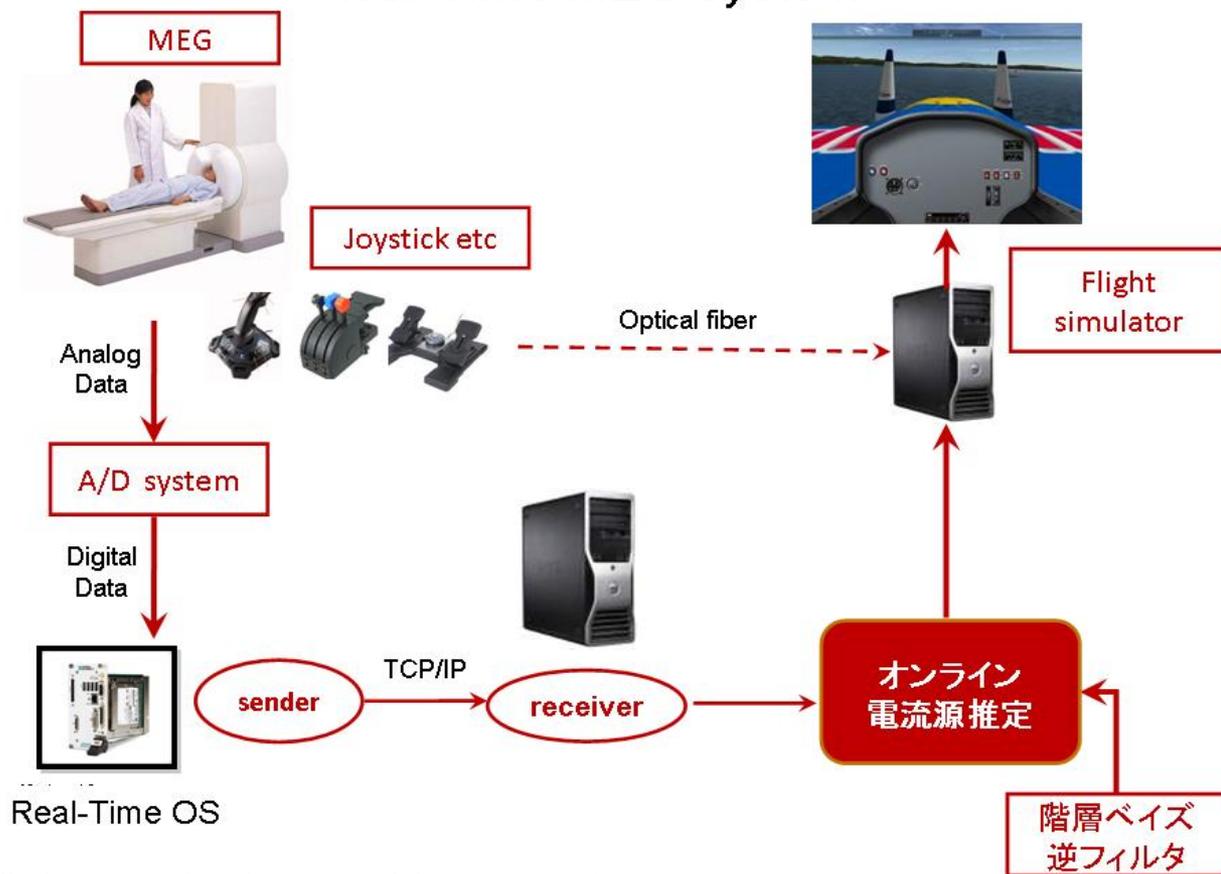
感覚入力
を受け取る部位



リアルタイムMEGシステム

- 実際の飛行操縦に近いフライトシミュレータ環境
- 400チャンネルMEGデータを1000Hzで転送(1ミリ秒の精度)
- 解読した脳情報を10msの時間遅れでフィードバック

Real-Time MEG system



実生活に近い複雑な認知運動課題



Callan et al, PLoS One, 2012

Callan et al, NeuroImage, 2013

- 従来の実験
 - 複雑な認知課題を単純な実験課題に分解
 - 単純な実験課題における脳活動の解析
- 問題点
 - 複雑な認知課題：単純な脳活動の和？
 - 被験者が退屈して長時間耐えられない
- フライトシミュレーターによる複雑な認知運動課題
- 高精度非侵襲計測装置の中で実行可能
 - 実環境に近い形で実験をコントロール出来る
 - 被験者が興味を持って長時間、課題に集中できる

飛行機の左右旋回タスク



- パイロンゲートを通過後、飛行機を左右に旋回

条件指示： 左(<) 右(>) 静止(=)



脳活動による飛行操縦



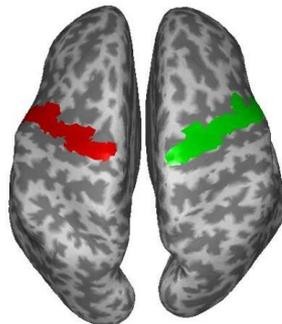
- 飛行機操縦中の脳活動からVBMEGで脳活動推定し、飛行機の昇降舵(上下)、補助翼(回転)制御信号を再構成
 - 2 msec毎に脳活動から(時間窓500 msec)
200 msec 後の制御信号を予測
 - 運動野(Motor)の脳活動による再構成
 - 運動に無関係な領野(SFG)の脳活動による再構成

運動野(Motor)の脳活動による再構成(1)



Motor

Original



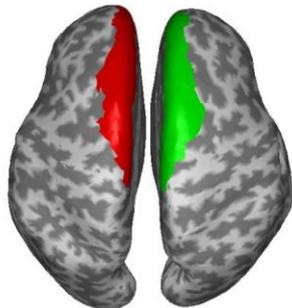
Motor

運動無関係領野(SFG)の脳活動による再構成 **ATR**

SFG



Original



SFG

NIRSとEEGの同時測定による リアルタイムシステム

NIRS情報を用いたEEG脳活動推定

Aihara et al, NeuroImage, 2012



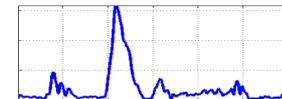
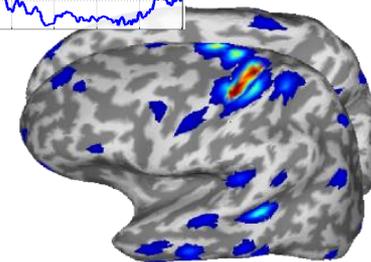
EEG-NIRS計測



三層モデル

EEGデータ

皮質電流源

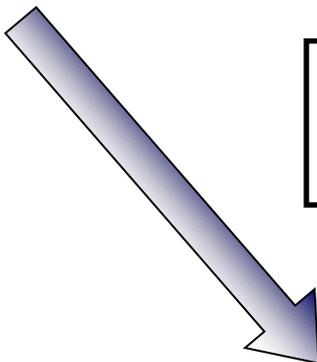
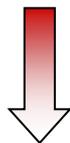


階層ベイズ
逆フィルタ

統計値

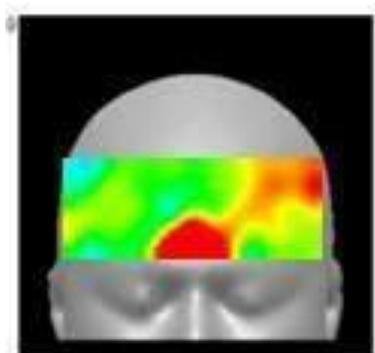


NIRSデータ



NIRS 拡散光トモグラフィによる 高精度3次元推定

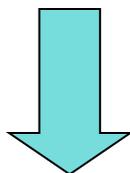
拡散光トモグラフィ(DOT)



Shimadzu corp.

脳活動を
頭表に2次元表示

トポグラフィ

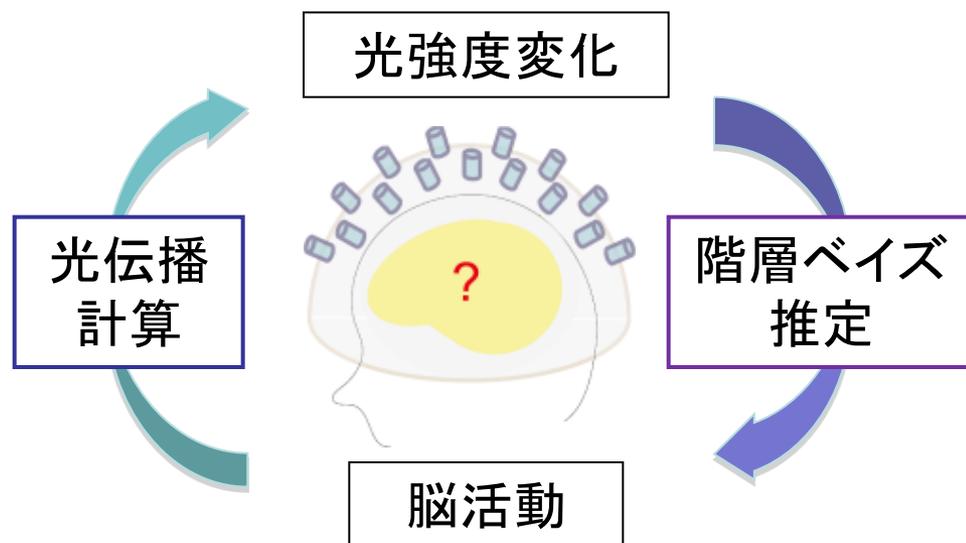


トモグラフィ

深さ方向も含めて
皮質上の脳活動推定

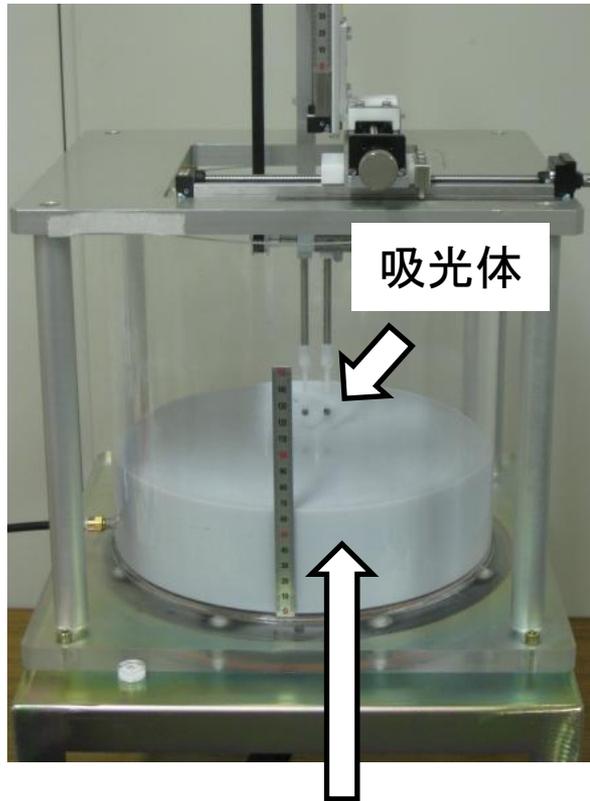


拡散光トモグラフィ

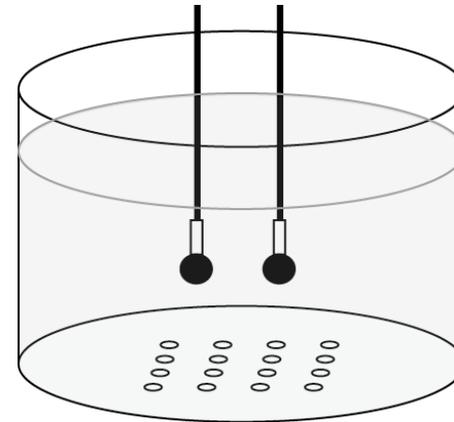


- 我々は、**逆問題**解法を改良することで精度を向上させた。

ファントム実験による検証



大脳皮質と似た光学特性
吸収係数 $\mu_a=0.019\text{mm}^{-1}$,
散乱係数 $\mu_s'=1.1\text{mm}^{-1}$



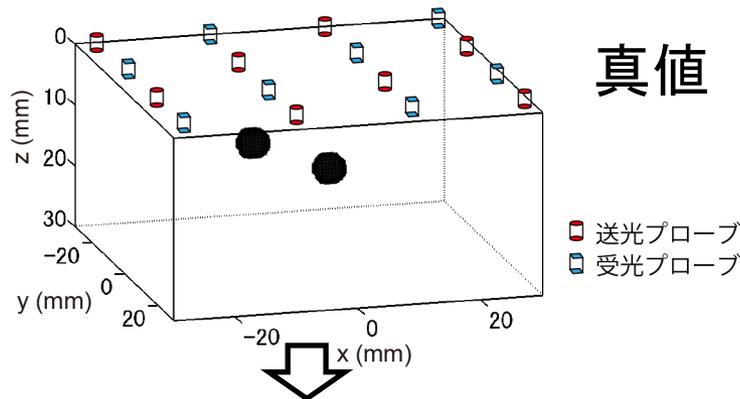
吸光体
直径5mm



底面裏側に
送光・受光ファイバ
18mm間隔で互い
違いに配置

開発した 階層ベイズ 推定法

Shimokawa et al,
Optics Express, 2012



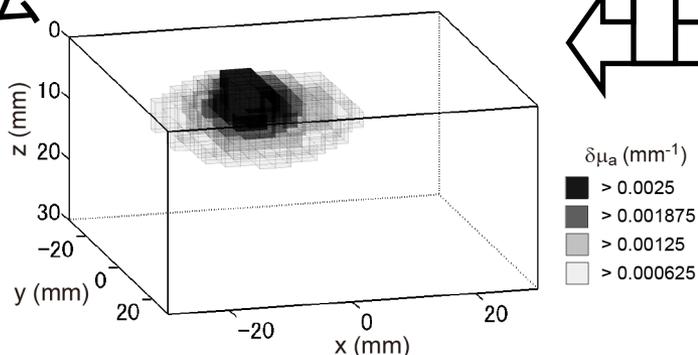
真値

従来法

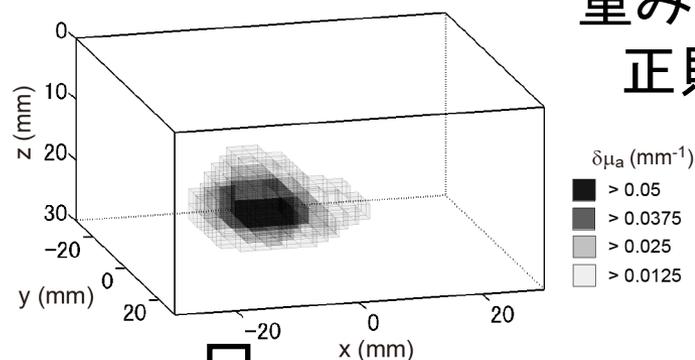
光強度変化データ

新手法

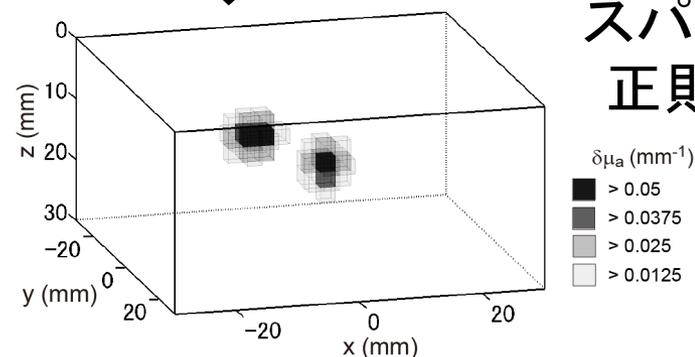
最小ノルム
正則化



重みつき
正則化

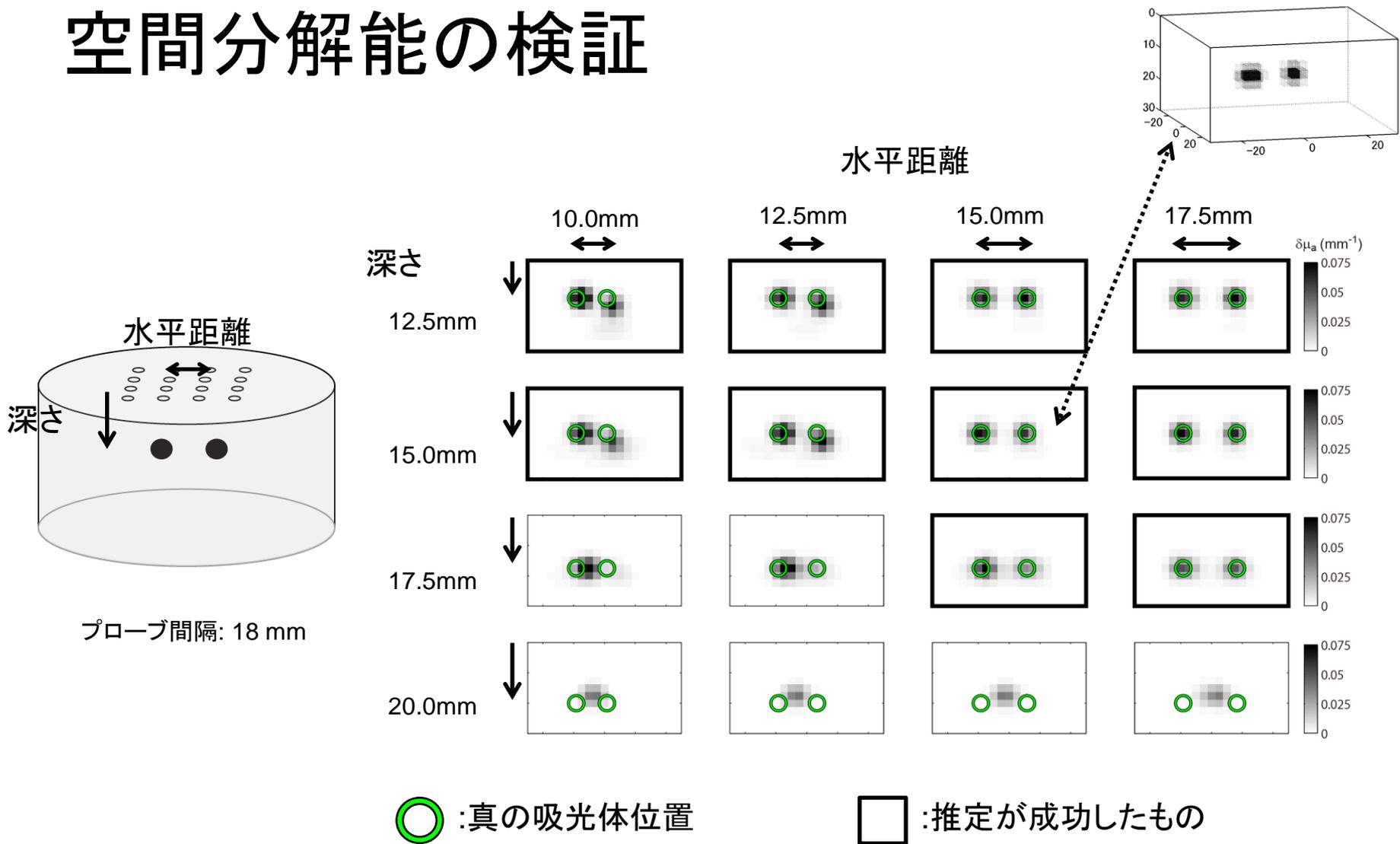


スパース
正則化



- 深さを含めた3次元推定
(正確な深さの推定は初めて!)
- 高い空間分解能

空間分解能の検証



10mm離れたの2吸光体を、プローブ間隔18mm計測で識別可能

今後の主な課題



1.脳活動推定手法の拡張

脳機能と脳ダイナミクスとの関係を明らかにするために、開発した脳活動推定手法を用いて脳ネットワークダイナミクスのモデル化を進めるとともに、ダイナミクスを考慮した脳活動推定手法の拡張を行う。

2.脳活動推定手法の応用

ミリ秒オーダーのMEG・EEG脳活動推定手法や、NIRS脳機能計測の信頼性を大幅に向上する光拡散トモグラフィを、ブレイン・マシン・インタフェース・リハビリや精神疾患診断など応用分野へ適用していく。