

脳情報学5: ブレインネットワークインターフェース

川人光男

ATR脳情報研究所

脳を活かす

・脳を読む

ニューロエコノミクス、ニューロマーケティング、
ニューロゲノミクス、ニューロポリティクス
人間の精神・社会活動を生物学的基盤から理解し
応用する

・脳を繋ぐ

ブレイン・マシン・インターフェース、ブレイン・コン
ピュータ・インターフェース、ブレイン・ネットワーク・イ
ンタフェース

まったく新しいコミュニケーション技術

・脳と社会:神経倫理学(Neuroethics)

脳科学の応用を倫理から考える。

倫理を脳科学から考える。脳科学の究極の応用

“脳を読む”の社会的応用

ニューロゲノミクス

神経疾患に関わる遺伝子の同定
遺伝子多型による脳活動パターンの違い;個性の生物学的基盤

ニューロエコノミクス

意思決定・経済行動に関わる脳活動の研究

ニューロマーケティング

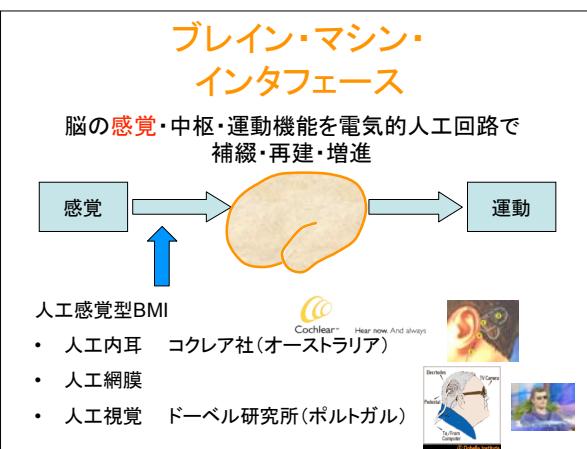
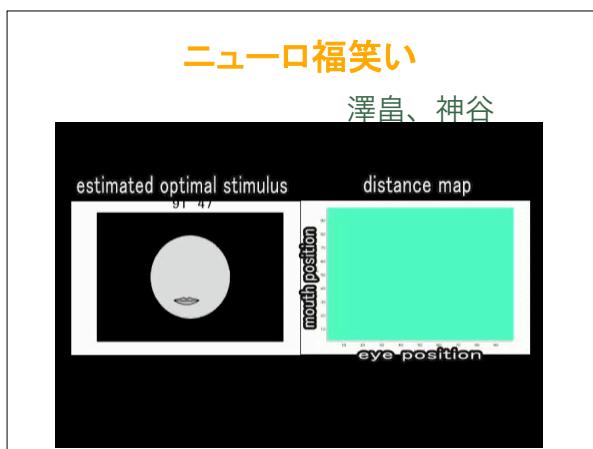
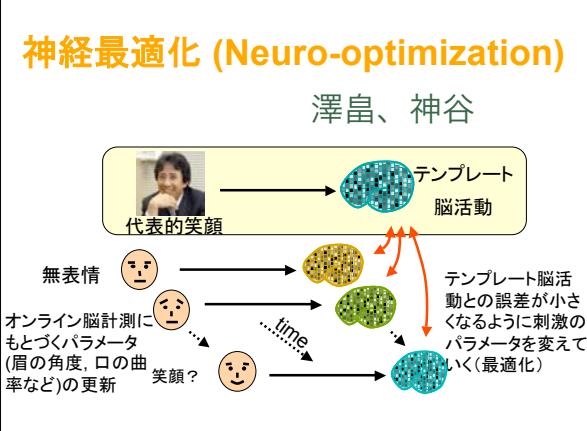
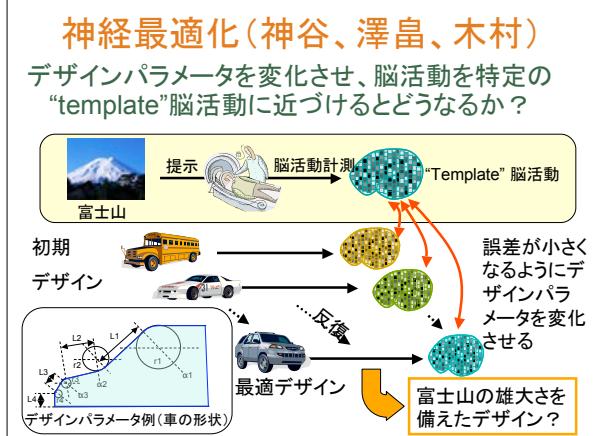
脳活動から消費者の購買行動を予測
「ペプシが好き、コカ・コーラが好き?」

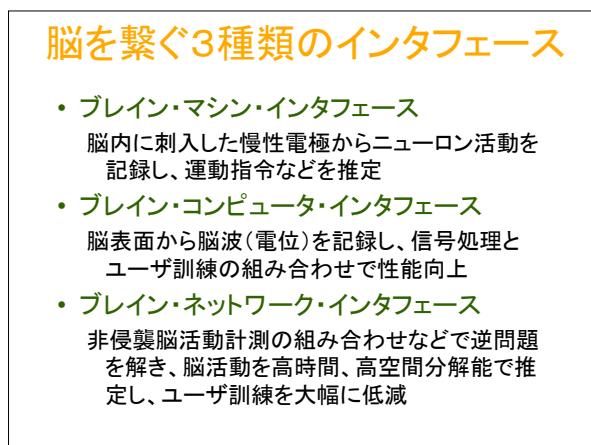
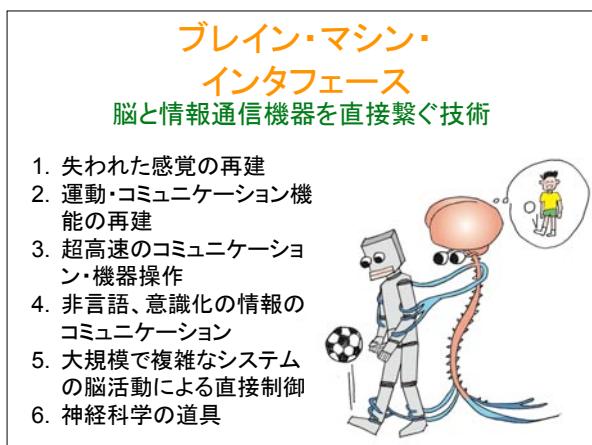
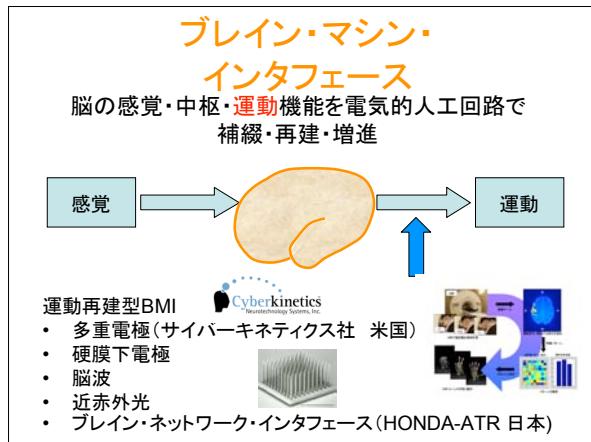
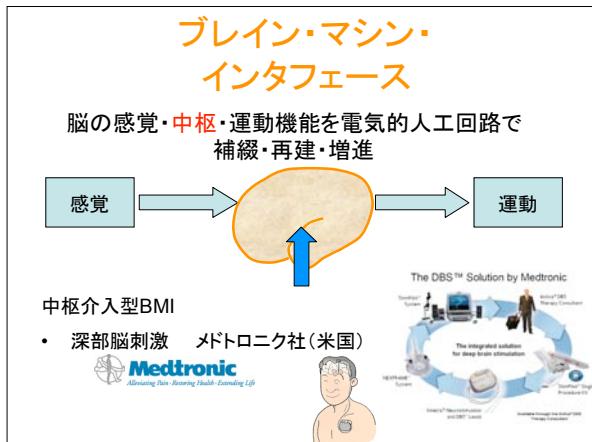
ニューロポリティクス

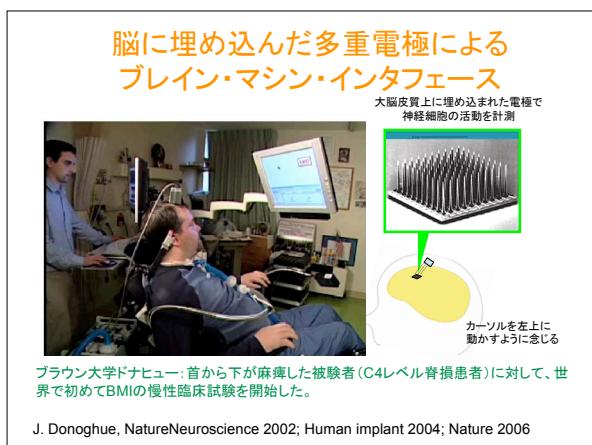
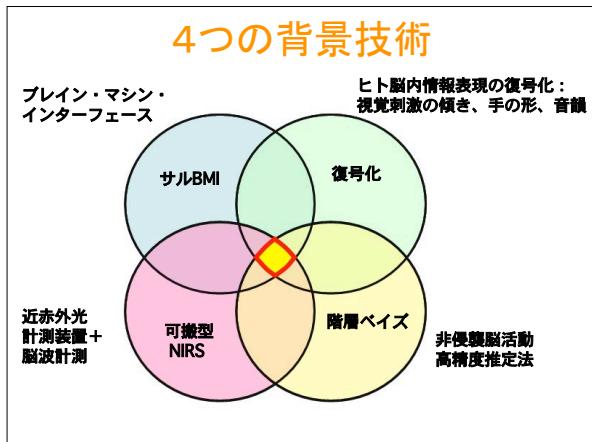
脳に関わる遺伝子多型と政治的性向
保守 vs. 革新とセロトニントランスポーター多型
との相関
政治的性向による脳活動パターンの違い:米の共和党支持者
と民主党支持者の脳活動パターンの違い

ニューロマーケティングの例

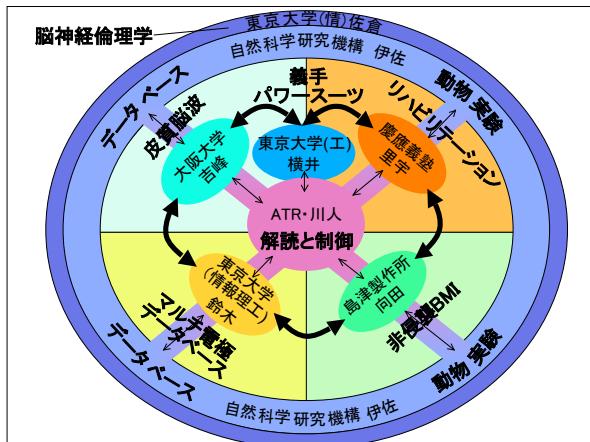
- ペプシコーラと、コカコーラの選択で、脳の異なる部位が競合、ブランディングの脳科学
- ホンダのフェイス(顔型ヘッドライト)の開発で、ATRの脳活動イメージングセンターのfMRIが活躍
- デジタル音響機器の高周波カットが脳幹の活動低下、免疫力低下などを招く:放送通信規格等の脳科学的な評価の必要性







- ## BMI成功の3要素
1. 神経科学の知識
 - 運動野
 - ニューロン発火頻度
 - ポピュレーション符号化
 2. 機械学習(脳情報解読)
 - 脳活動から情報(運動、画像等)へのマップ
 - ニューラルネット、SVM, SLR, SR等
 3. ユーザ訓練(シナプス可塑性)



(1) 皮質脳波(ECoG)による BMIの開発と臨床実験

大阪大学、東京大学、自然科学研究機構、ATR

中心溝内電極留置という独自の技術を持つ大阪大学が中心となり、患者を対象として皮質脳波(ECoG)を用いて、BMIによる運動・言語機能の再建を行う。ATRが脳内情報解読と義手の運動制御モデルを担当する。東京大学鈴木Gは、ハンド部に操り機能を持つ超多自由度の義手を開発する。東京大学鈴木Gは超薄型で柔軟な多チャネルECoG電極を開発し、自然科学研究機構は動物実験によって電極開発を支援する。自然科学研究機構は同時に、逆問題の正解を提供してATRの脳情報抽出アルゴリズム開発を助ける。大阪大学、東京大学鈴木Gは共同で、無線機能と非接触電力供給能力を持つ実用型ECoG-BMIシステムを完成させる。

皮質脳波を用いたbrain mappingとneural decoding

大阪大学-ATR共同研究

平田 雅之、柳澤 琢史、溢谷 大輔、齋藤 洋一、加藤 天美、神谷 之康、吉峰 俊樹
(大阪) (大阪/ATR) (ATR/奈良先端大) (阪大) (近畿大) (ATR) (阪大)

信学技報. vol.107, no.263, NC2007-52, pp.105-108 (2007年10月)

研究目的
硬膜下電極から測定される脳活動をデコーディングし、その結果を用いて機械トレーニングなしに動かす → ALSやLocked-In症候群患者のコミュニケーションツールとして期待

左大脳皮質硬膜下電極

特徴
ノイズが少ない
信号が強い(EEGに比べて)
EOG, ECG, EMGなどの信号が入らない
クロストークが少ない
埋め込みのための手術が必要

*ご紹介する結果は、当該目的のためにこの書道された患者の中で、最初日野・内田などに手筋を取った方がご協力を賜り、実験を行ったものでインフォームドコンセントを得て。

ECoG (皮質脳波)による高精度復号化技術

大阪大学にて独自開発

脳信号から運動パターンを解読(復号化)

PCへ出力

脳表電極(20極): 正答率80%
中心溝内電極(4極): 正答率88%
脳表+中心溝内電極: 正答率90%

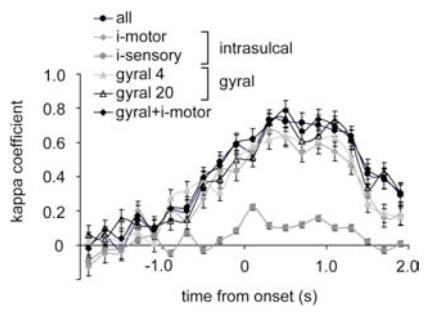
Brain Computer Interfaceへの応用



Brain Computer Interfaceへの応用



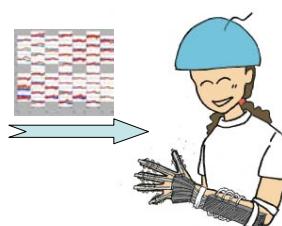
数百ミリ秒前から予測可能



(Yanagiswa, Hirata, Shibuya, Kishima, Saitoh, Kato, Kamitani, Yoshimine, submitted)

(2) 非侵襲型BMIを活用したリハビリテーション手技・機器の開発と臨床実験

慶應義塾、島津製作所、東京大学、自然科学研究機構、ATR



慶應義塾が開発したEEG-BMIにつき、想定受益者である脊髄損傷、神経難病、脳卒中などの疾患群で実証実験を行う。その結果を、ATR-島津製作所のNIRS-EEG複合可搬型脳活動計測システムの開発に活用し、リハビリテーションに応用する。脳活動データベースは、統合データベースプラットフォームで可能な限り公開する。またBMIリハビリテーションによる中枢神経の可塑性について、自然科学研究機構がサルを用いた動物実験を担当する。東京大学横井GはBMIリハビリテーション用の電動装具を開発する。

脳インターフェースの研究動向

- ・侵襲から非侵襲へ
- ・訓練から自然な脳活動へ
- ・オフラインから実時間へ
- ・重厚長大から軽量・安価・携帯へ
- ・基礎研究から応用・開発へ
- ・脳の計算モデルを活用
- ・逆問題推定を基礎に



非侵襲脳活動計測

| | PET | fMRI (磁気共鳴) | NIRS (近赤外光) | MEG (誘導磁場) | EEG (脳波) |
|-------|-----|----------------|----------------|---------------|-------------|
| 空間分解能 | ○ | ○ | ○ | ? | ? |
| 時間分解能 | × | △ | △ | ○ | ○ |
| 携帯性 | × | × | ○ | △ | ○ |
| 安全性 | × | ○ | ○ | ○ | ○ |

PET、fMRI、NIRS：空間分解能が高い

MEG、EEG：時間分解能が高い

？：不良設定問題の解き方に依存

高精度大規模装置

fMRI + MEG

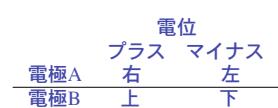
簡便可搬型装置

NIRS + EEG

ALS患者への脳波BCIの臨床実施

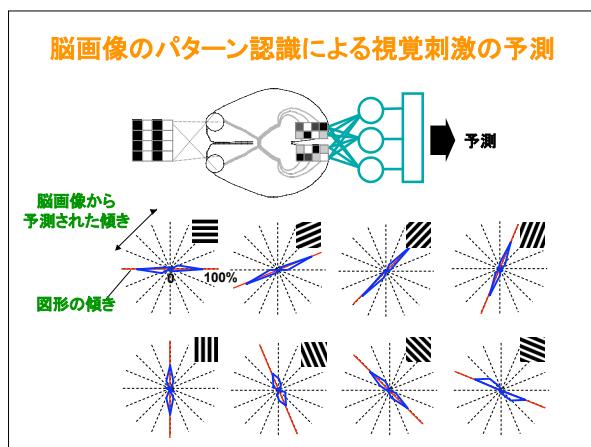
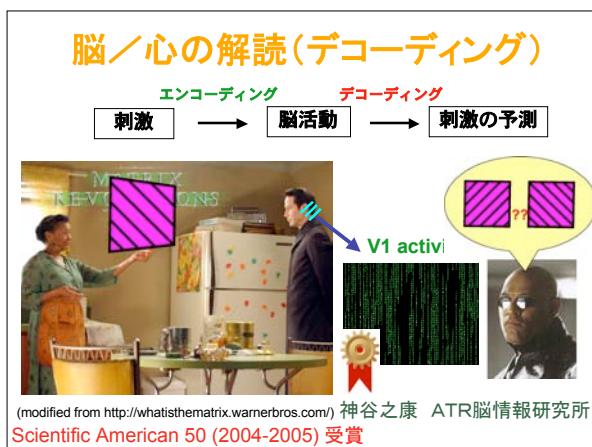
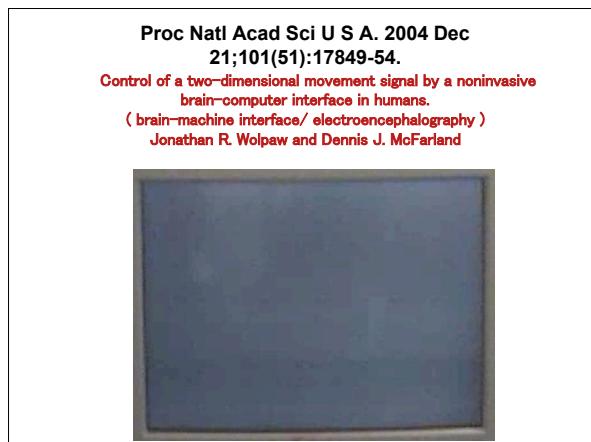
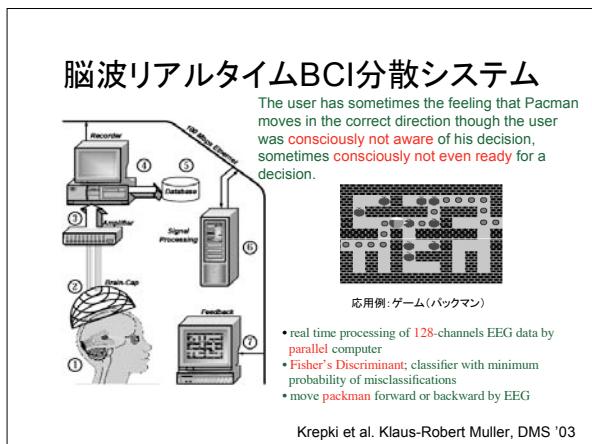
Birbaumer et al., (1999) Nature

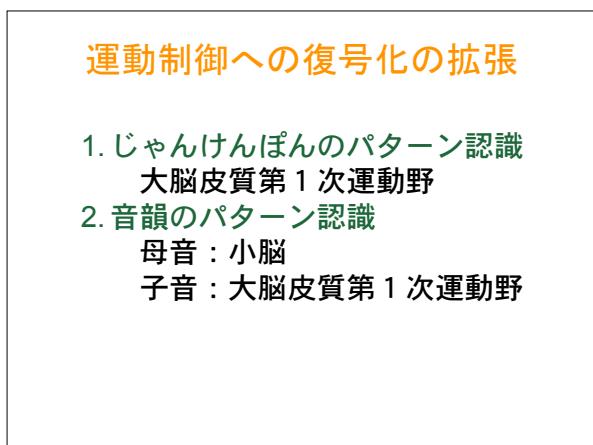
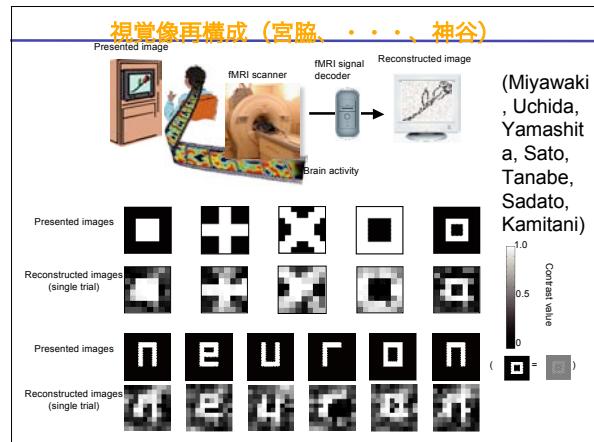
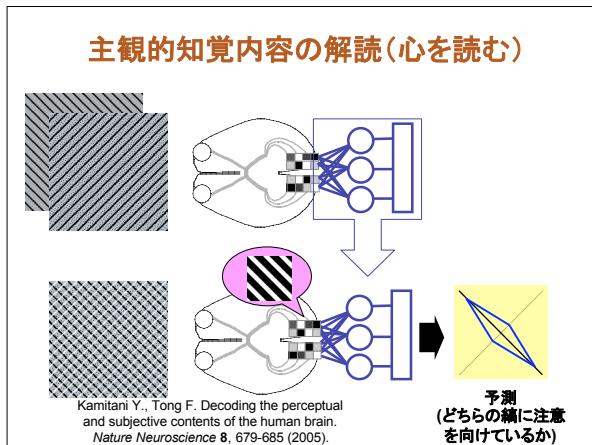
- ・脳波でカーソルを動かす
 - 頭皮上の2カ所の電極(A, B)の電位を計測
 - 電位とカーソルの動きの関係

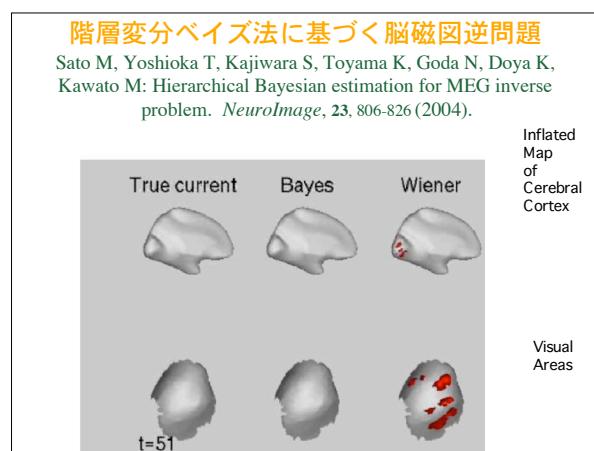
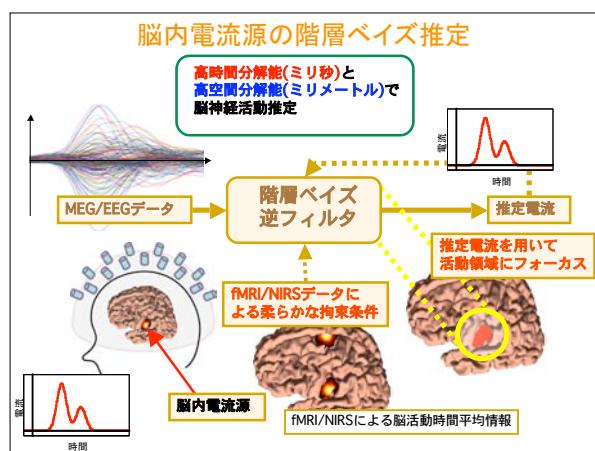
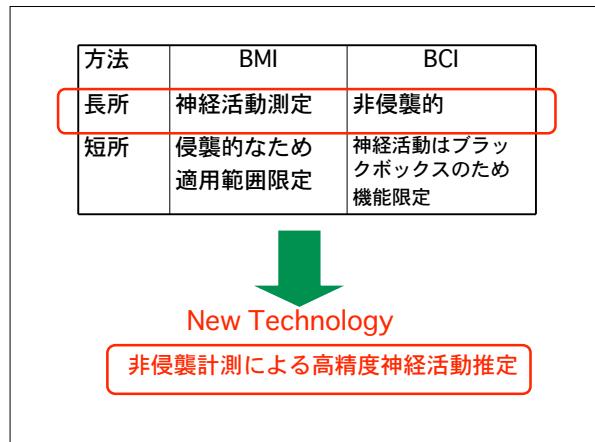


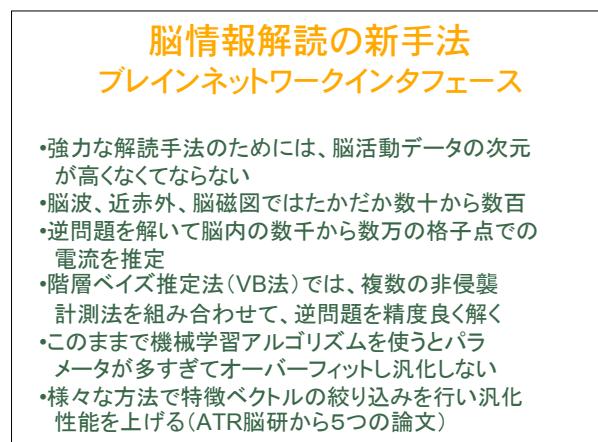
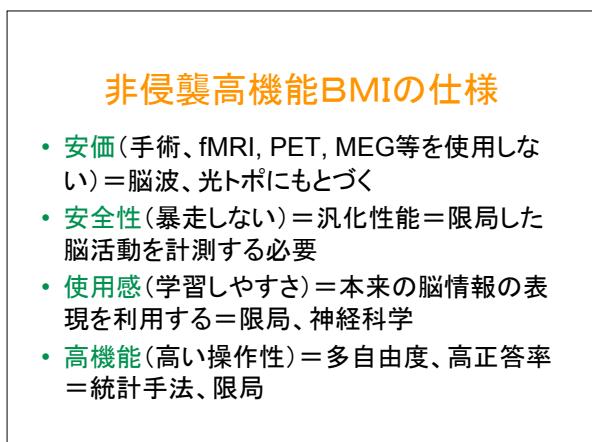
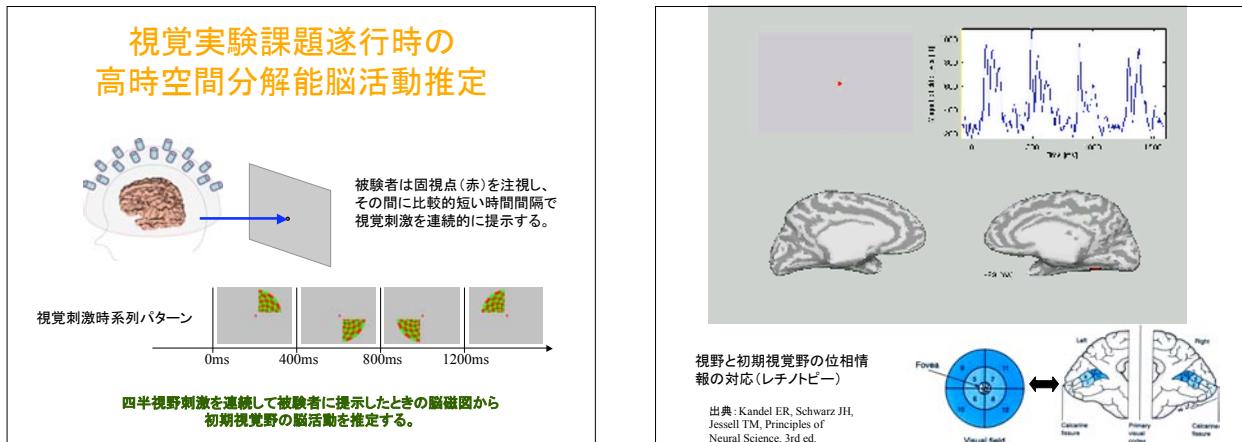
- 携帯電話に似た文字入力ソフトと組み合わせ、全身麻痺の人が長文を書くことに成功

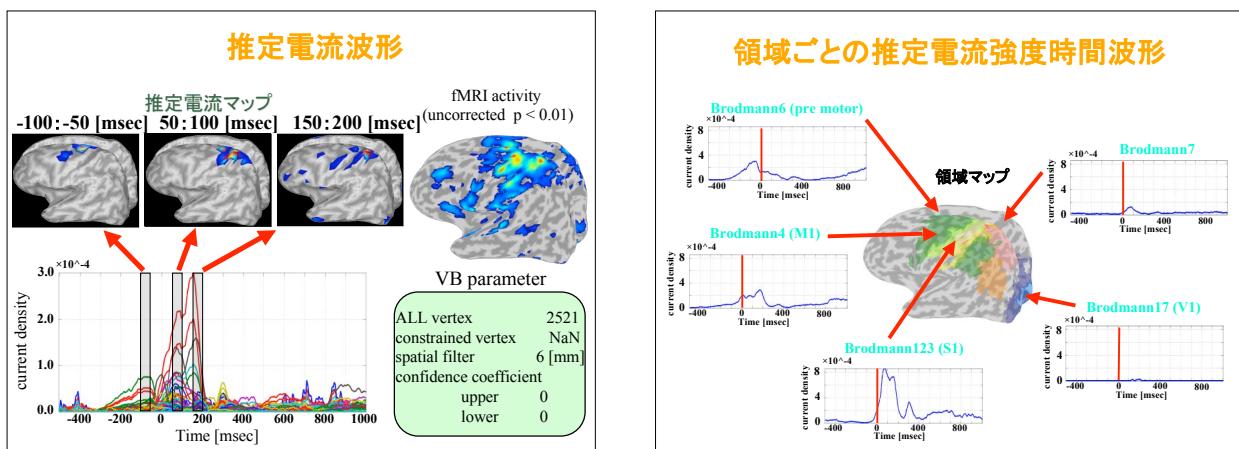
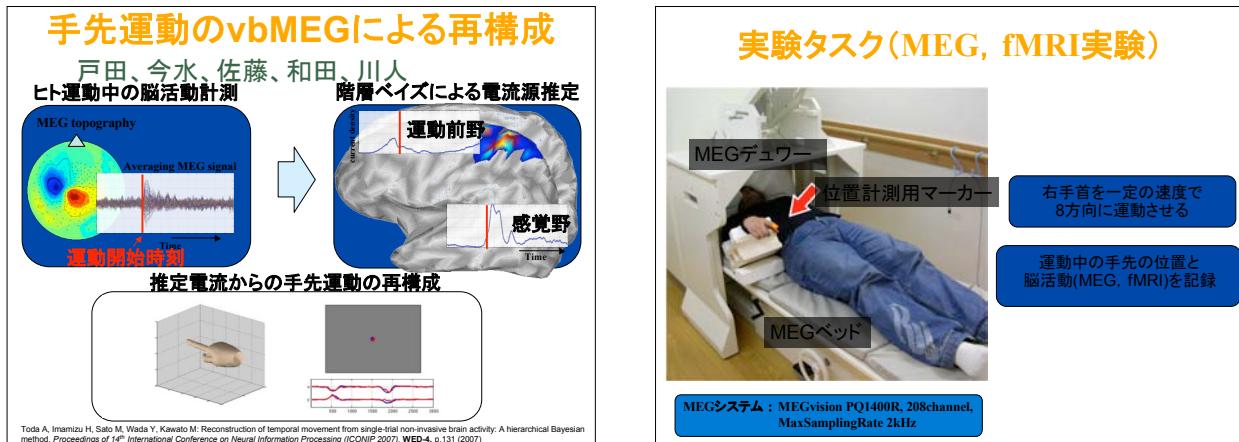
50日間、5万回訓練して、正答率75%











運動課題と回帰

● Task

Brain activity was measured by MEG while subject move right hand. Also hand position.
(hand movement is extension and flection , each 100trial)

● Analysis

Predict hand position (and velocity, acceleration) from brain activity apply to below liner regression equation.

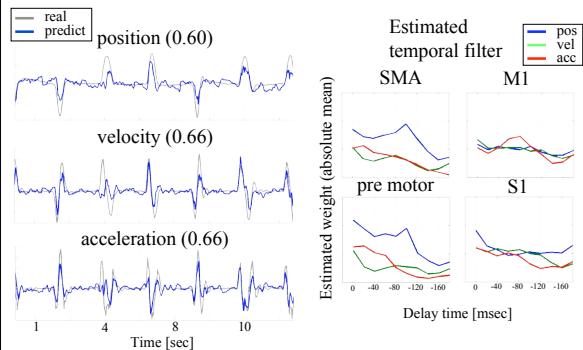
$$Re g(t) = a + \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^M b_{ij} S_i(t-j)$$

$S_i(t)$: MEG signal or current was subsampling 20[msec]
M=10 , 200[msec] time window



脳内の推定電流からの回帰

single trial reconstruction by linear spatio-temporal filter



fNIRSとEEGの複合機

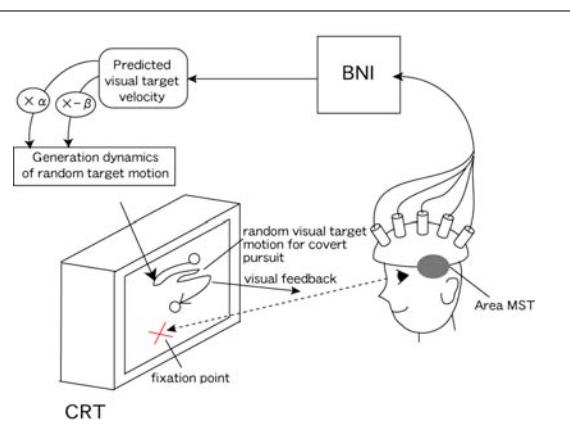
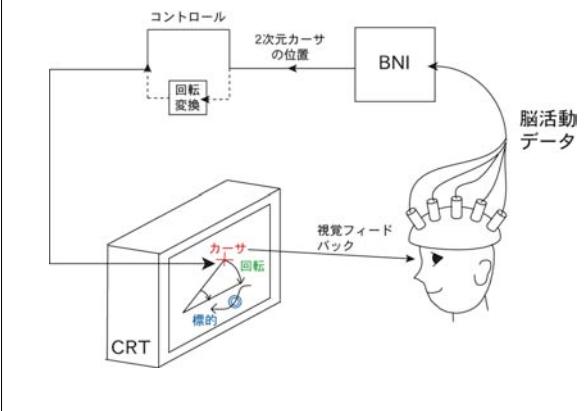


制御脳科学の新しい流れ

1. 理論と実験データの時間相関を超える新しいパラダイムの必要性
2. 脳からの情報抽出とフィードバック
3. 理論に基づいたフィードバックの操作
4. 抽出された脳情報の変更と、脳全体の活動の変化
5. 理論とデータの因果関係の保証
6. 制御に基づいた理論の展開

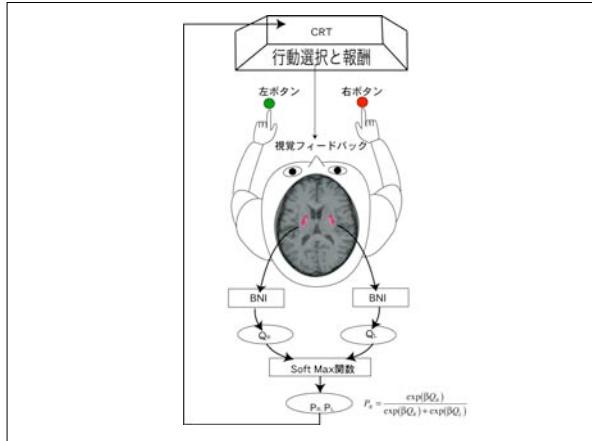
推定した脳活動から情報を抽出し、 脳にフィードバックする

- EEG, MEGなどから2次元カーサーの動きを制御できるように訓練する
- ランダムに動く標的の追跡課題
- 脳活動とカーサーの動きの間に任意の変換(例えば回転、ダイナミクス、ノイズ)を挿入
- 学習に伴う脳活動の変化を計測
- 脳活動と課題遂行の因果関係は保証されている
- 情報抽出する脳部位を系統的に検索
- 今水実験のブレイン・ネットワーク・インターフェース版



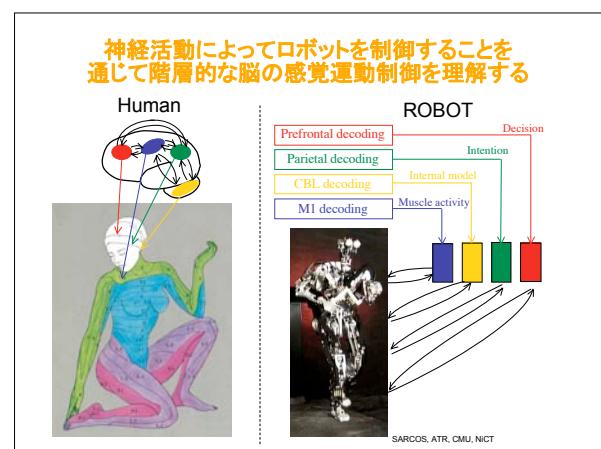
行動状態価値関数に基づいて 意志決定を操作する

- ブレイン・ネットワーク・インターフェースにより実際の意志決定や運動開始前の実行可能 (Andersen 2004, Muller 2003)
- 行動状態価値関数を神経発火、BOLD信号として表現可能(鈴島、春野)
- 左右の行動状態価値関数の差で意志決定
- 左右のQ関数から後の行動決定を復号化と修正式で修飾
- 意志決定式の変更に伴う行動学習と脳活動の変化を計測
- 脳活動と行動学習の因果律は保証されている
- 脳内の各部位から活動をとり意志決定につなげる



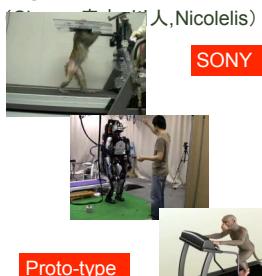
ATRブレイン・ネットワーク・インターフェースの特長と将来

1. 複数の非侵襲計測手法の組み合わせ
2. 逆問題を変分階層ベイズ推定法で解いて脳の空間で特徴抽出
3. 高度な機械学習でユーザ訓練を最小化
4. 神経科学の知識を脳空間で用いる
5. 運動制御計算モデルによる階層制御
6. 脳の順モデルを用いた逆問題解法と多種情報の同時推定



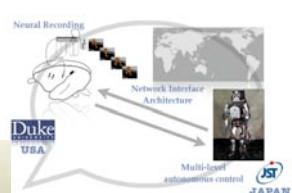
計算脳プロジェクトの報道発表

サルの大脳皮質のニューロン活動情報をネットワークを介して伝送
(米国～日本間)し、リアルタイムでヒューマノイドロボットを歩行させる



SONY

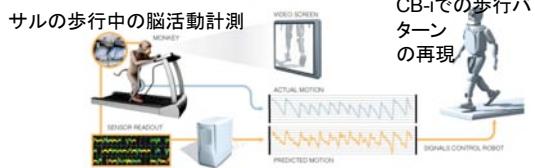
ちんぶいぶい



Cheng G, Fitzsimmons N, Morimoto J, Lebedev M, Kawato M, Nicolelis M: Bipedal locomotion with a humanoid robot controlled by cortical ensemble activity. Society for Neuroscience 37th Annual Meeting, S17.22 (2007)

脳の歩行制御メカニズムの理解: サル脳活動によるロボット制御

ロボットの映像のリアルタイム送信
(JST(日本)→Duke大学(米国))

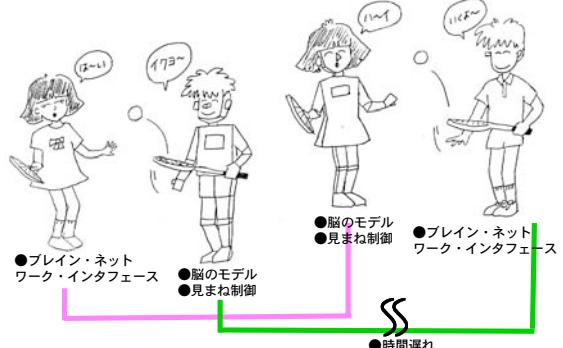


変換された脳活動データのインターネットを介したリアルタイム送信
(Duke大学(米国)→JST(日本))

脳の歩行制御メカニズムの理解: サル脳活動によるロボット制御



ブレイン・ネットワーク・インターフェース、 脳計算モデルとヒューマノイドによる情報通信



Neuroethics (神経倫理)

- 脳計測と脳刺激の進歩→危険性の現実化
 - うそ発見器などプライバシー侵害
 - 脳の形態・活動から潜在的神経病理を予測
 - 個人の意志決定メカニズムに介入
 - 記憶の操作・書き換え
- 米大統領の生命倫理審議会
 - クローンや臓器移植と並ぶ審議項目に