

計算論的神経科学と ブレインネットワークインタフェース

川人光男

ATR脳情報研究所

心理学・認知科学と神経科学

認知科学

- 情報処理を明らかにする
- ヒトの高次機能を対象
- 行動観測とモデルが主
- 物質と神経回路にグラウンディングされていない
- 階層を下がろうとしない
- 進歩が分かりにくい
- 研究者人口少
- 最初から応用の側面: 人工知能、情報科学、教育

神経科学

- 物質と場所はわかるが、情報処理はわからない
- 動物で、限定的条件
- 還元論的で仮説主導
- 階層を楽観的・逸話的説明で超えたと誤解する
- 激しく拡大・進歩
- 研究者人口多
- 社会に広がる脳科学、でも神経神話、似非脳科学

脳科学と情報通信を組み合わせて超能力を実現する！？

- テレキネシス(念動力):意志の力だけで物体を動かす (例、スプーン曲げ)
- テレポーテーション(瞬間移動):離れた場所に瞬間的に移動する
- テレパシー(精神遠隔感応):遠隔の者と言葉を交わさずに通信する
- 念写:心の中に思い浮かべている観念を印画紙などに画像として焼き付ける

ブレイン・マシン・インタフェースで 実現していること

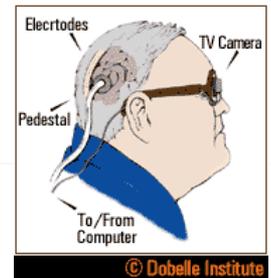
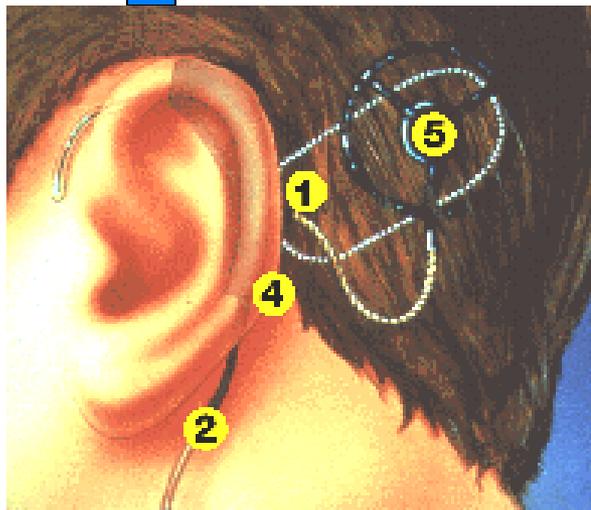
- テレキネシス: 頭で考えただけで、コンピュータのカーサやロボットを動かす
- テレポーテーション: 1万キロ離れた場所にいる第2の身体に憑依する
- テレパシー: 2人の主観的認知を、そろえる試み
- 念写: 脳の活動から映像を取り出す

ブレイン・マシン・インターフェース

脳の**感覚**・中枢・運動機能を電気的人工回路で
補綴・再建・増進



人工内耳



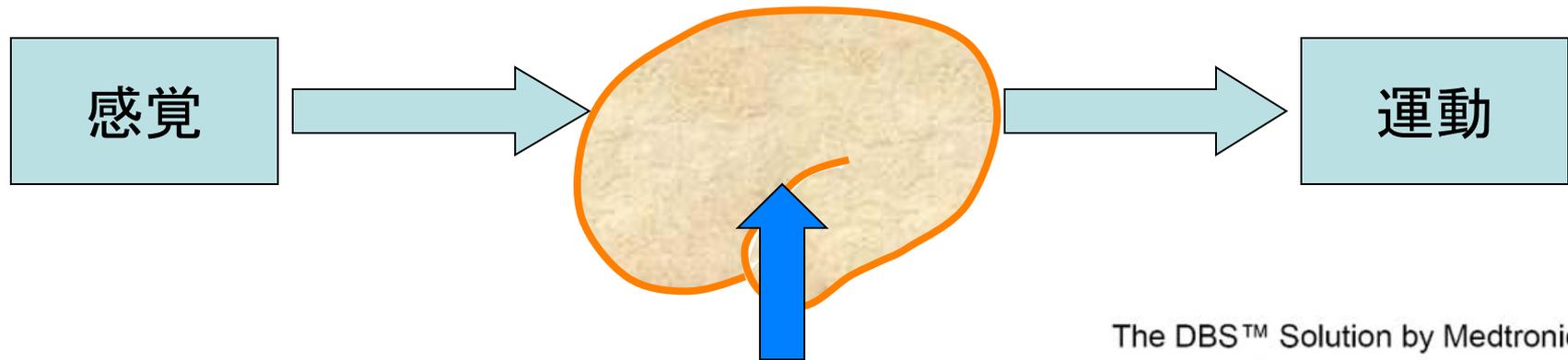
人工感覚型BMI

- 人工内耳 コクレア社
- 人工視覚 ドーベル研究所
- 人工網膜 Argus II
- 人工前庭器官



ブレイン・マシン・インタフェース

脳の感覚・**中枢**・運動機能を電気的人工回路で
補綴・再建・増進



中枢介入型BMI

- 脳深部刺激 メドトロニック社(米国)



ブレイン・マシン・インターフェースとは何か

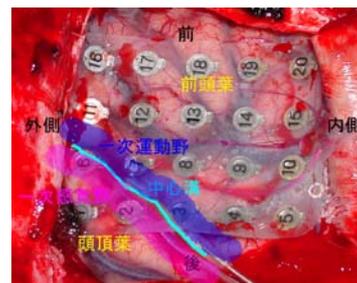
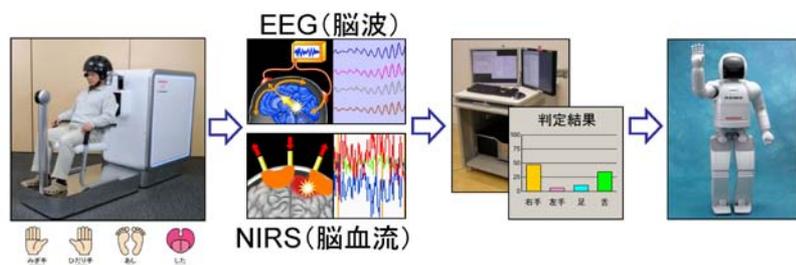
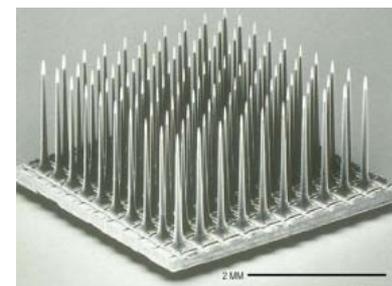
脳の感覚・中枢・**運動**機能を電気的人工回路で
補綴・再建・増進



- 半導体多重電極 (サイバーキネティクス社 米国)

- 皮質脳波-ECoG (脳プロ主要成果その1)
(阪大脳外、東大工、ATR)

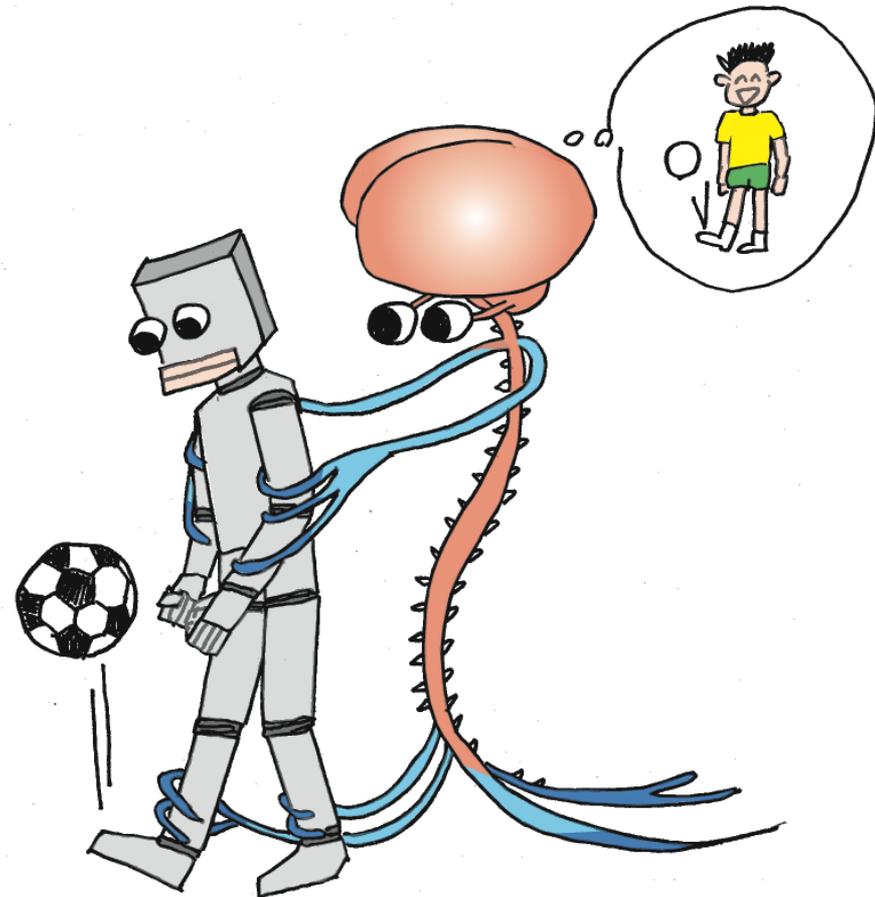
- 脳波と近赤外光の組み合わせ
(Honda, ATR, 島津製作所)



ブレイン・マシン・インタフェース

脳と情報通信機器を直接繋ぐ技術

1. 失われた感覚の再建
2. 運動・コミュニケーション機能の再建
3. 超高速のコミュニケーション・機器操作
4. 非言語、意識下の脳情報のコミュニケーション
5. 大規模で複雑なシステムの脳活動による直接制御
6. 神経科学の道具



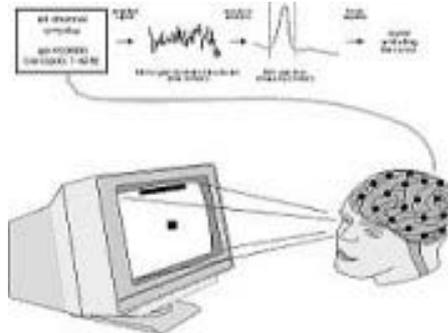
BMI研究は欧米に10年の遅れ！？長期安定な ECoG-BMIと治療型BMIでは脳プロで逆転した

米



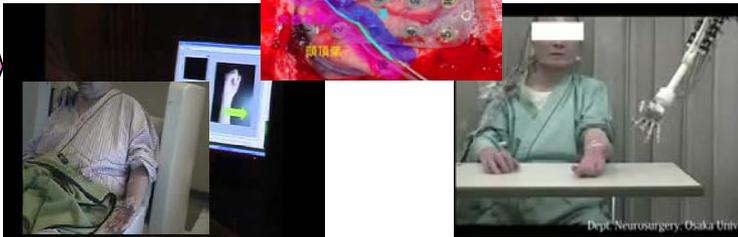
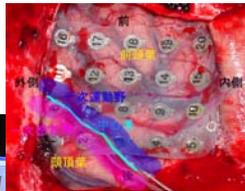
半導体電極による侵襲型BMI
(長期安定性がない、脳を傷つける)

米・独



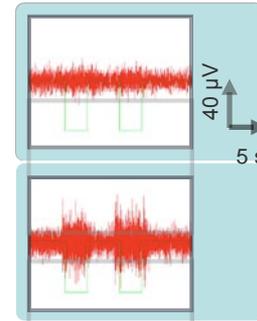
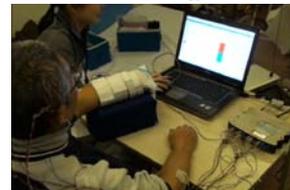
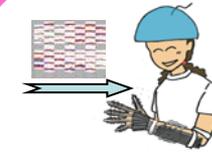
脳波BCI(機能代償型、被験者の過大な訓練)

脳プロ



安定で低侵襲の皮質脳波(ECoG)によるBMI

脳プロ



脳波による機能回復型(治療型)BMI

- ECoGは低侵襲で長期安定(阪大、藤井)
- 長高密度パリレンECoG電極(鈴木、長谷川、生理研)
- 先進的デコーディング技術、中心溝(ATR, 阪大、生理研)
- 高性能ロボット義手(横井、生理研)
- 完全埋め込みシステム(生理研、ATR、阪大、鈴木)
- 人工体性感覚(生理研、横井、ATR)

- 代償型BMIから治療型BMI(慶應)
- NIRS-EEGによる脳活動計測高性能化(島津、ATR)
- 外骨格ロボットによる全身リハビリテーション(ATR)
- リハビリテーションの神経メカニズムの解明と治療指針の確立(生理研)

● は動物実験を含む

侵襲型と非侵襲 B M I

侵襲型

- 高時間空間分解能
- ニューロン活動
- 高性能

非侵襲型

- 低 S N
- 脳波、近赤外光計測、脳磁図、fMRI
- 低い性能
- 過度なユーザ訓練

ATRの新しい視点

- 多点観測、機械学習
- 高性能
- 自然な脳活動
- ユーザ訓練なし

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
- 高度な計算論: CPGの位相、受容野(画像基底)、運動プリミティブなど

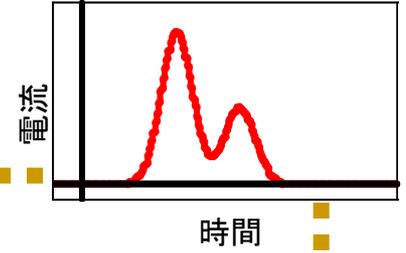
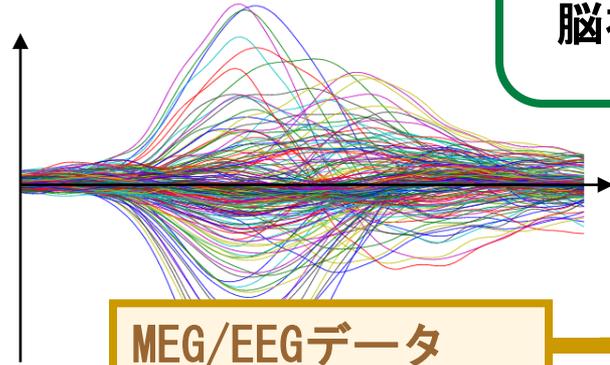
2. 機械学習(脳情報解読)

- 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
- 逆問題、スパース推定、縮約表現の発見

3. ユーザ訓練(シナプス可塑性)

脳内電流源の階層ベイズ推定

高時間分解能(ミリ秒)と
高空間分解能(ミリメートル)で
脳神経活動推定

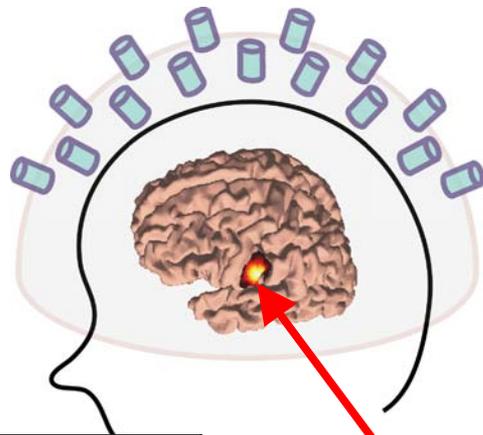


階層ベイズ
逆フィルタ

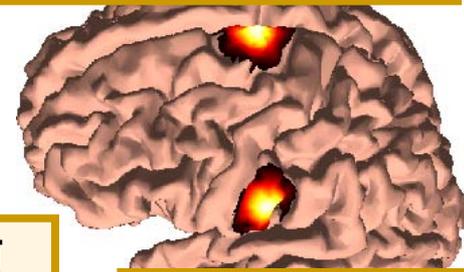
推定電流

推定電流を用いて
活動領域にフォーカス

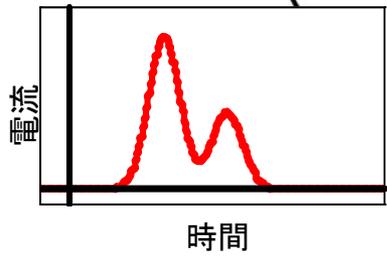
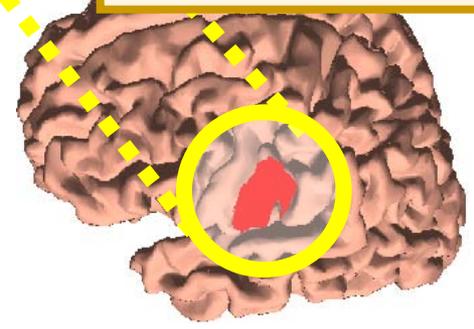
fMRI/NIRSデータに
よる柔らかな拘束条件



脳内電流源



fMRI/NIRSによる脳活動時間平均情報

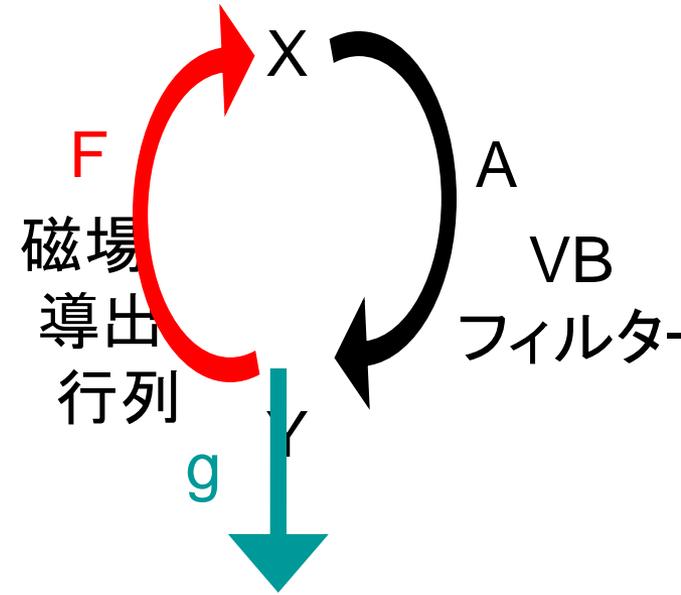
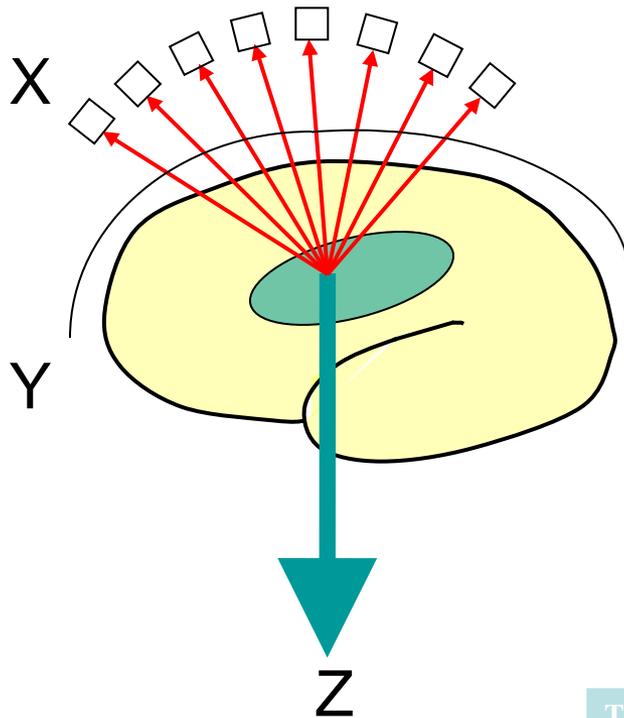


ブレインネットワークインタフェースの利点 逆問題解法と特徴量絞り込みの組み合わせ

脳活動
センサー信号
次元～400

皮質上脳活動
次元
1,000～20,000

刺激、物理、
心的状態変数



$$\begin{aligned}
 Z &= g(Y) \\
 &= g(AX) \\
 &= h(X)
 \end{aligned}$$

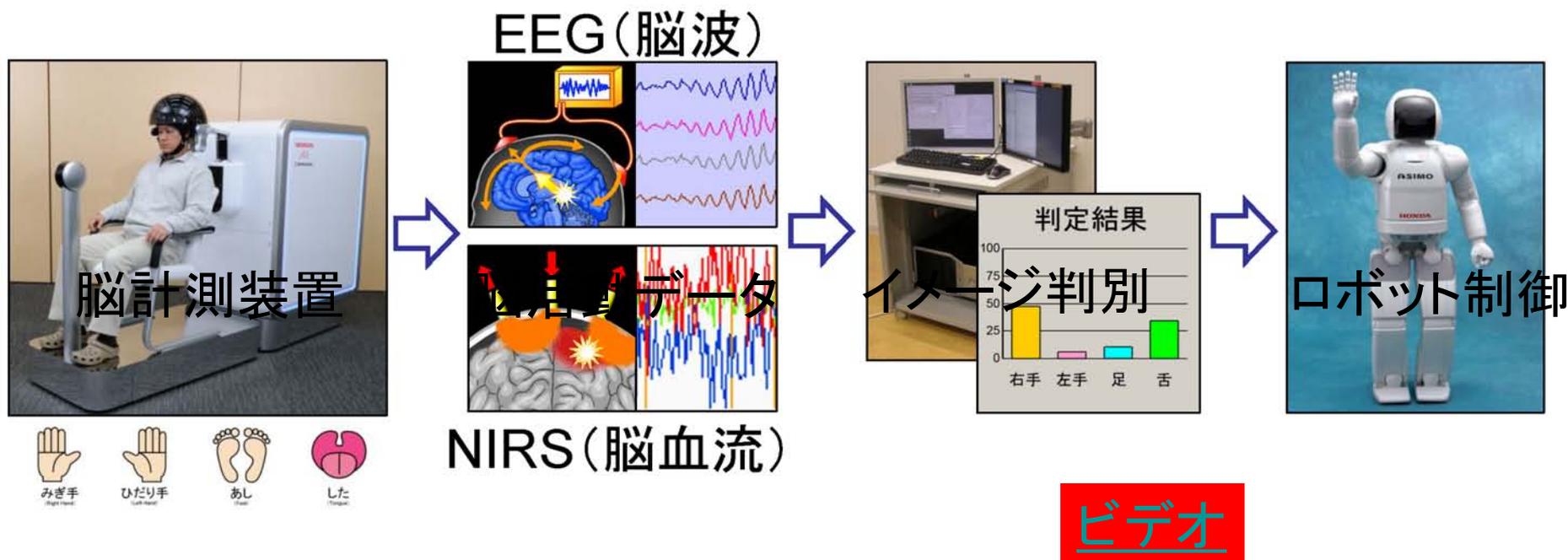
等価 → 無意味??

| Ting | Brute & SR | Neuron | Regression |
|-----------|------------|-----------------|----------------|
| Yamashita | SLR | fMRI | Classification |
| Ganesh | LASSO | fMRI | Regression |
| Toda | SR | MEG & fMRI (VB) | Regression |
| Nambu | Brute & SR | NIRS | Regression |
| Okabe | SLR | EEG & fMRI (VB) | Classification |

スパースネスによる次元縮約をセンサー空間で行うか、脳空間で行うか

Honda-ATR-島津 : BMI制御ロボット

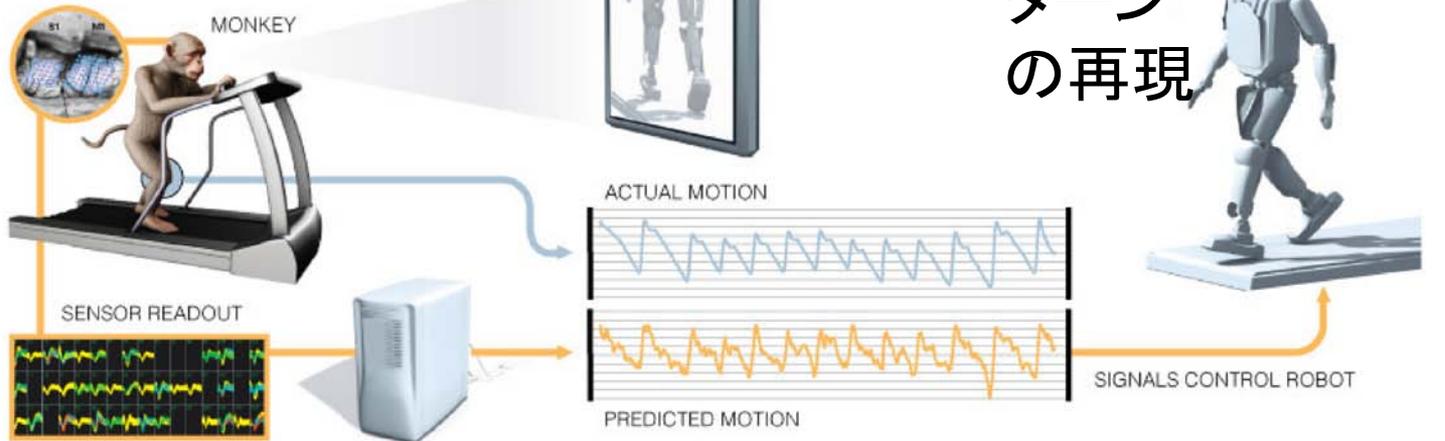
- 100ch超の近赤外光・脳波同時計測
- 被験者訓練なし、自然な運動イメージ
- 上位指令推定、ロボット自律制御



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))

サルの歩行中の脳活動計測



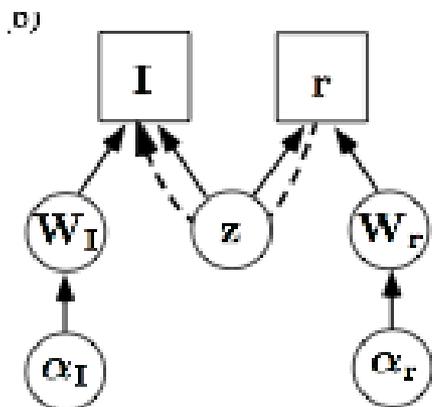
変換された脳活動データのインターネットを介したリアルタイム送信
(Duke大学(米国)→JST(日本))

中枢パターン生成器の位相の推定：
脳の階層制御の情報推定

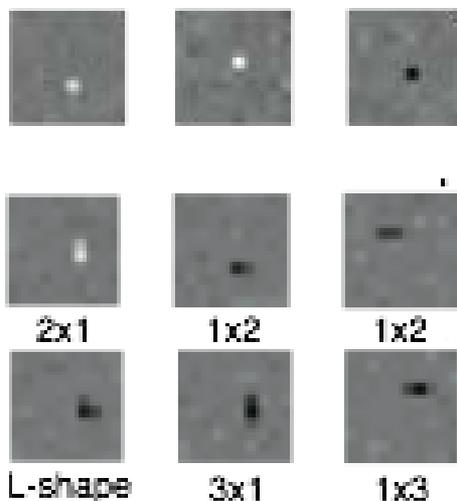


ベイジアン正準相関分析 (CCA) を用いた 画像基底の自動抽出

Bayesian CCA
モデル

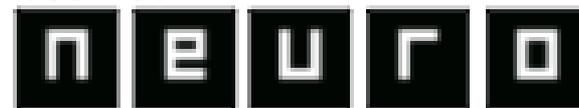


自動抽出された
画像基底



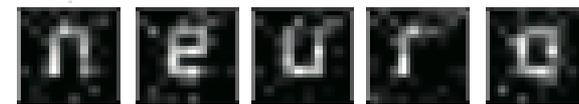
再構成結果

Presented



Reconstructed

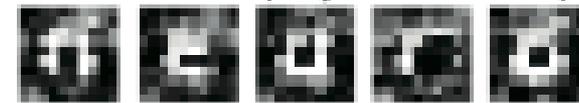
Bayesian CCA



CCA



Fixed bases (Miyawaki et al.)



(Fujiwara, Miyawaki, Kamitani, NIPS 2009)

ブレイン・マシン・インタフェースで実現 できている、できそうな超能力

- テレキネシス: 考えただけで、コンピュータのカーサ、車いす、ロボットを動かす
- テレポーテーション: 米国東海岸のサルの脳活動で京都のATRのヒト型ロボット制御
- テレパシー: 多義図形に対する主観的視覚認知を二人のヒト、サルで電気刺激、TMS同期: さきがけ 林隆介、北城圭一
- 念写: 視覚野のfMRI信号からヒトが思い描いていることを映像で再構成する

システム神経科学の 新しいパラダイム

- 従来手法
- 時間相関
- 神経情報は操作不能
- 要素還元主義
- 仮説主導の実験設計
- 異なる階層を乗り越えることが困難
- 新しい方向性
- 脳活動、物理と心的変数の予測
- 神経情報の実験的操作
- 統合、合成、創る
- データ駆動、中心
- 異なる階層を繋ぐ

BMIの社会的課題

- 神経倫理：軍事利用、企業による利益追求、似非脳科学、医療倫理、人間が激しく変わる
- 医療福祉から一般ユーザへ：利益と危険のバランスの変化
- 脳情報通信：コミュニケーションが変わる
- ヒトの統一された意思、自由意志、コミュニケーションの様式などが根底から変革される可能性

脳神経科学の応用の波及効果

○成果の実用化による効果

「安心して年をとれる社会」は、加齢に伴う種々の課題(介護・医療・雇用等)を解決し、**少子高齢化社会に与える波及効果**が大きい。

「人為的災害ゼロ社会」は、我々の社会・経済活動全般のリスクを低減し、**経済活動に与える波及効果**が大きい。

「臨場感溢れるユビキタス社会」は、「心地よさ」「自然さ」等の感性を重視したICTを実現し、**高度情報化社会に与える波及効果**が大きい。さらにこれらの成果は、**労働生産力の向上、GDPの向上、医療費・介護費の削減、国際競争力の向上等**が期待できるものである。

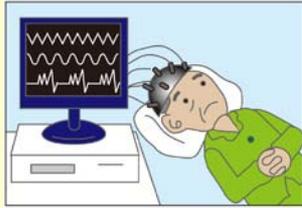
短期的(5～10年後)

長期的(15～20年後)

少子高齢化の解決

安心して年をとれる社会

緑:成果の実用化
黒:波及効果



認知症等の脳関連疾患の
早期発見・早期診断・リハビリ
加齢に伴う不安の解消



BMIパワード外骨格
介護者負担軽減による雇用機会増大
高齢者の意欲向上



BMI家事お手伝いロボット
家事負担軽減による労働生産力の増大、少子高齢化の解消

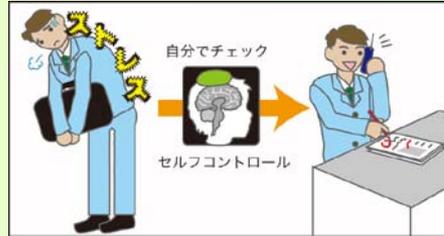
社会経済活動のリスク低減

人為的災害ゼロ社会

緑:成果の実用化
黒:波及効果



脳活動をモニターし、危険を事前に察知するインテリジェントビークル
交通事故等の減少



ストレスや疲労を簡便に計測できる機器
ヒューマンエラー防止による事故の低減



BMIによるPC、家電の制御
安全で快適な暮らしの創出

感性重視のICT化

臨場感溢れるユビキタス社会

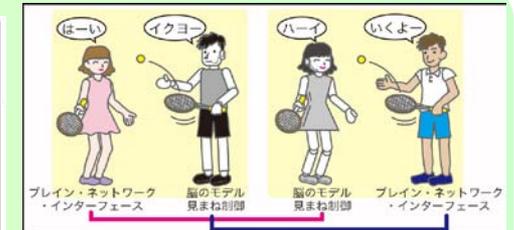
緑:成果の実用化
黒:波及効果



自然環境の中にあるようなメディア環境
テクノストレス軽減による作業効率の向上



いつでもどこでも通信
デジタルデバイド解消



テレパシー・テレポーション型通信
感性重視の未来型コミュニケーション
の実現によるユビキタス社会の実現

クオリティーオブライフを向上させる脳神経科学の研究開発

- 携帯・小型・無線で長時間装着できる脳活動計測装置の開発
- 日常生活における脳活動と行動のデータベース(ブレインライフログ)
- 計算論モデルにもとづく脳活動推定
- 脳情報の解読と制御
- 心理学・認知科学と脳神経科学のBMI技術を触媒とする統合