

脳科学の社会へのインパクト

(株)ATR脳情報研究所
川人光男

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・インタフェース、
ブレイン・コンピュータ・インタフェース、
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

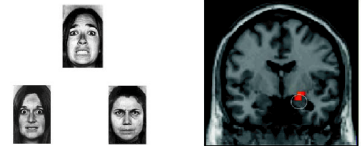
脳に関わる遺伝子多型と政治的傾向
保守 vs. 革新とセロトニントランスポーター多型との相関
政治的傾向による脳活動パターンの違い; 米の共和党支持者と民主党支持者の脳活動パターンの違い

ニューロゲノミクス

神経系の遺伝子に関する研究分野で記憶、言語、意思決定など脳の
高次機能を遺伝子レベルで理解する可能性を持つ

例1 遺伝子多型と脳活動の個人差 [Hariri等,2002]

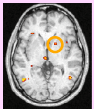
- セロトニントランスポーターに関する遺伝子多型(5-HTT)でs(short)型を持つ人は
l(long)型を持つ人より恐怖、不安を抱くことが多い
- s型を持つ人ではl型に比べ恐怖に関連する扁桃体のみが強く活動し遺伝的背景と
脳活動、行動パターンの因果関係を示す



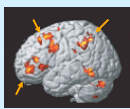
ニューロエコノミクスの研究例

- 時間割引問題(「アリとキリギリス」問題)
– 目先の利益にとらわれて行動する(非合理的)
脳部位と、長期的な展望を元に行動する(合理的)
脳部位が存在することを発見
 - Tanaka et al., Nature Neuroscience, 2004
 - McClure et al., Science, 2004

短期的な予測に関わる脳部位
「情動系」



長期的な予測に関わる脳部位
「認知系」



ニューロマーケティング

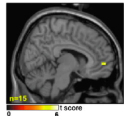
アンケートやフォーカスグループ(グループで討議させる市場調査法)を用いる従来の方法に代わり、脳活動から消費者の嗜好をさぐる方法

- さまざまな形状の自動車への興味への度合いを測定(ダイムラー・クライスラー社)
- 映画の予告編に対する反応を測定(カリフォルニア工科大学)
- コカコーラを好むかペプシを好むか(ペイラー大学)



コココーラ vs. ペプシ:好みにに関する 脳活動部位 (McClure et al., 2004)

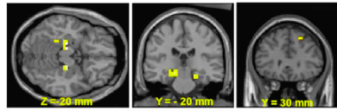
ブランド名なし



VMPFC
前頭連合野腹内側部

ブランド名あり(コココーラ)

Coke Delivery (Brand-cued - Light-cued)



Bilateral Hippocampus

海馬

DLPFC

前頭連合野
背外側部

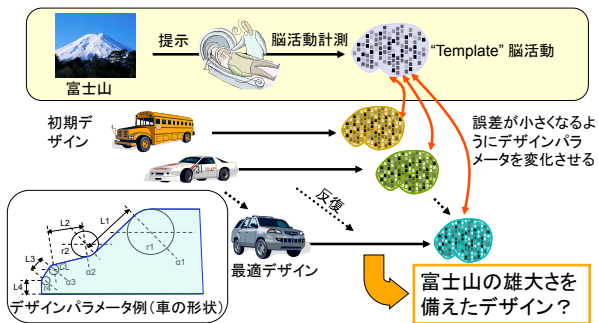
- 好みの決定に複数の神経機構が独立に関与(味情報=前頭連合野腹内側部;ブランド情報=海馬, 前頭連合野背外側部)
- ペプシのブランド名の効果は小: ペプシのブランド戦略失敗?

ニューロマーケティングの例

- ペプシコーラと、コココーラの選択で、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

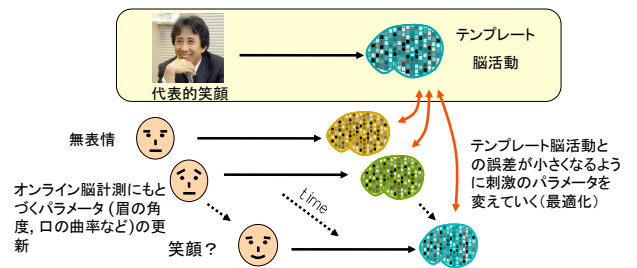
神経最適化(神谷、澤島、木村)

デザインパラメータを変化させ、脳活動を特定の“template”脳活動に近づけるとどうなるか?



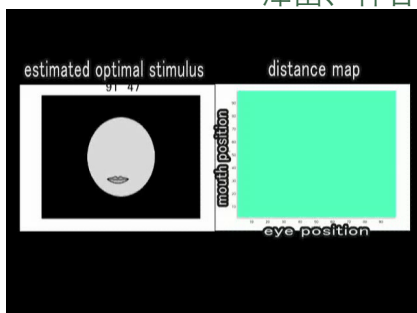
神経最適化 (Neuro-optimization)

澤島、神谷



ニューロ福笑い

澤島、神谷



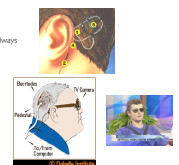
ブレイン・マシン・インターフェース

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



人工感覚型BMI

- 人工内耳 コクレア社(オーストラリア)
- 人工網膜
- 人工視覚 ドーベル研究所(ポルトガル)



ブレイン・マシン・ インタフェース

脳の感覚・中枢・運動機能を電氣的人工回路で
補綴・再建・増進



中枢介入型BMI

- 深部脳刺激 メドトロニック社(米国)



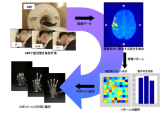
ブレイン・マシン・ インタフェース

脳の感覚・中枢・運動機能を電氣的人工回路で
補綴・再建・増進



運動再建型BMI

- 多重電極(サイバーキネティクス社 米国)
- 硬膜下電極
- 脳波
- 近赤外光
- ブレイン・ネットワーク・インタフェース(HONDA-ATR 日本)



ブレイン・マシン・インタフェース サルニューロン記録

腕を使ったカーソル追跡

脳に埋め込んだ電極から得られる
神経活動でカーソル追跡



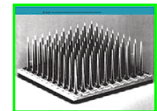
遠隔地の多自由度ロボットの制御にも成功

Miguel Nicolelis Duke University

脳に埋め込んだ多重電極による ブレイン・マシン・インタフェース



大脳皮質上に埋め込まれた電極で
神経細胞の活動を計測



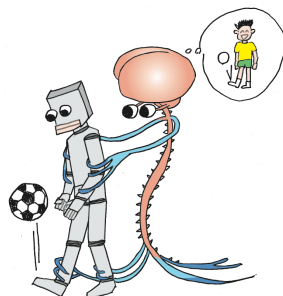
ブラウン大学ドナヒュー: 首から下が麻痺した被験者(C4レベル脊損患者)に対して、世界で初めてBMIの慢性臨床試験を開始した。

J. Donoghue, *Nature Neuroscience* 2002; *Human implant* 2004; *Nature* 2006

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、意識化の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

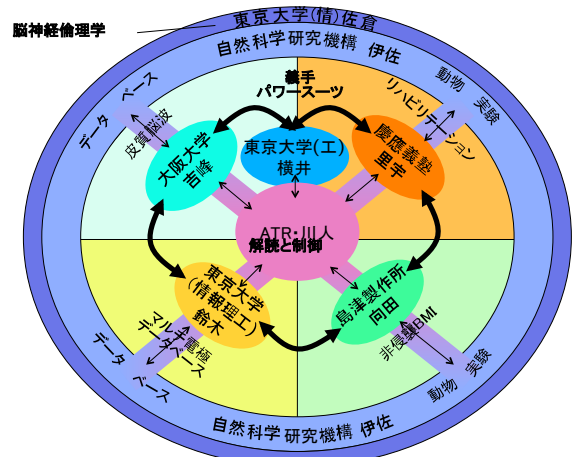


新しいBMI研究プログラム

- さきがけ研究3. 6億円: BMIを中心とした新しい脳科学の応用分野、基礎神経科学の探索的研究から、実用に即した革新的要素技術、毎年10課題、1から2千万円毎年、3から5年間、研究総括川人
- 文部科学省内局プロジェクト: 課題A; 6億円、中核研究拠点ATR, 代表川人、課題B; 4億円、電極開発、動物実験、1-3千万円毎年、10-30課題、臨床医、実験との共同
- 総務省、NEDO, 経産省

国際競争力をどう達成するか

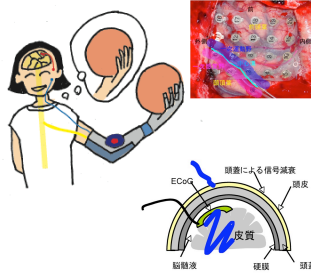
- 研究費の規模、研究蓄積、研究者人口で欧米に10年の差をつけられている
- ユタ・ミシガン等シリコン電極によるDonoghue型BMIでの競争は困難
- 脳波と訓練、統計学習も困難
- 近赤外光計測、脳構内表面電極、階層ベイズ推定、計算論によるロボット制御、MEMS技術、サル脳科学などに強み
- 課題Aと課題Bで協力、データベース等
- 柔軟安定電極、応用との共同



(1) 皮質脳波(EECoG)によるBMIの開発と臨床実験

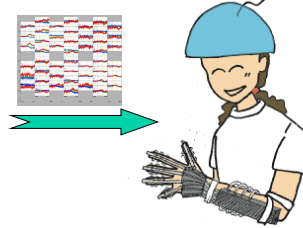
大阪大学、東京大学、自然科学研究機構、ATR

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(EECoG)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。東京大学横井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ンネルEECoG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EECoG-BMIシステムを完成させる。



(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、神経障害、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。

(3) NIRS-EEGの組み合わせによる高精度脳活動計測装置の開発

ATR、島津製作所、自然科学研究機構



ATRは、独自に開発した「階層ベイズ推定法など逆問題推定アルゴリズム」を発展させ新しい脳活動推定・脳情報抽出システムを開発しNIRS-EEG信号の統合に適用し、時間と空間分解能の両方に優れた非侵襲非拘束携帯型の脳活動推定・脳情報抽出システムを開発する。島津製作所がハードウェア開発を担当し、自然科学研究機構が動物実験で、EEG、局所電場電位、ユニット活動などを同時計測して、装置の性能を検証する。

(4) サルを用いた柔軟多機能マルチ電極開発と、各種計測法による脳活動・行動・認知情報の同時記録統合データベース構築

自然科学研究機構、東京大学、ATR



自然科学研究機構が中心となり、東京大学横井Gが開発する超多自由度のBMIへの適用性、東京大学鈴木Gが開発する柔軟マルチ電極、超薄型で柔軟な多チャンネルEECoG電極、ATRが開発する脳活動推定システムの性能を実験的に検証する。脳活動・行動・認知情報のBMI用統合データベースを中核拠点であるATRと共同で構築する。

脳インタ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

皮質脳波を用いたbrain mappingとneural decoding

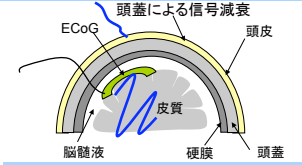
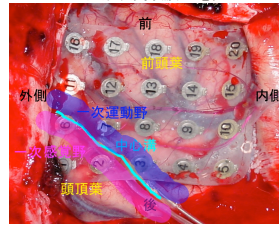


平田 雅之、柳澤 琢史、渋谷 大輔、齋藤 洋一、加藤 天美、神谷 之康、吉峰 俊樹
 (阪大) (阪大/ATR) (ATR/奈良先端大) (阪大) (近畿大) (ATR) (阪大)
 信学技報, vol.107, no.263, NC2007-52, pp.105-108 (2007年10月)

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を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

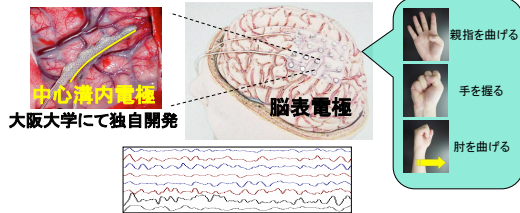


特徴

- ・ 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、治療目的のためにECoG設置された患者の中で、実験目的・内容などに賛同を頂いた方のご協力を得て、実験を行ったものです (インフォームドコンセントを経て)。

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釈(復号化)

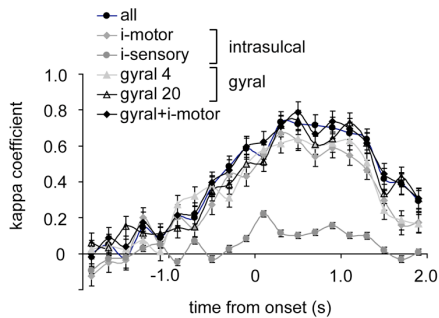
PCへ出力

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



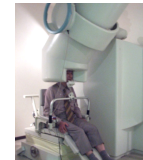
数百ミリ秒前から予測可能



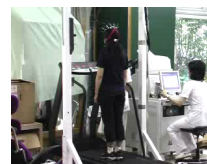
(Yanagisawa, Hirata, Shibuya, Kishima, Saitoh, Kato, Kamitani, Yoshimine, submitted)



MRI / fMRI
ATR脳活動イメージングセンタ



脳磁計(MEG)
川人 振興調整費で
島津製作所と共同開発



近赤外光計測(NIRS)
島津製作所、ポバース記念病院



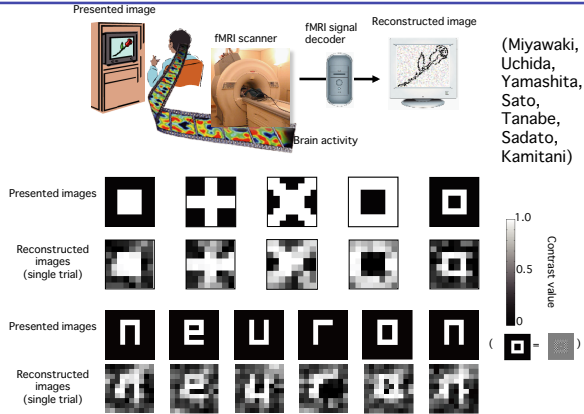
脳波(EEG)

大規模装置
fMRI(高空間分解能)
+
MEG(高時間分解能)

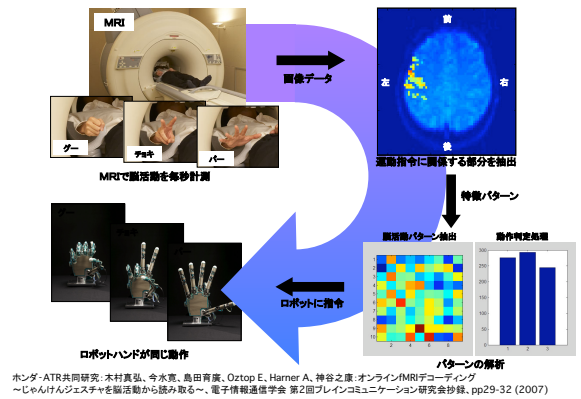
階層ベイズ法による
高精度脳活動推定

可搬型計測装置
NIRS(高空間分解能)
+
EEG(高時間分解能)

視覚像再構成 (宮脇、・・・、神谷)



システムの基本構成 (木村、・・・、神谷)



ホンダーATR共同研究 じゃんけんロボ (木村、・・・、神谷)



2006年5月

HONDA

本田技研研究所 研究開発部
本田ダイナミクスシステム部 脳科学専任
川崎 賢孝

脳科学に関する基礎技術についての発表に先立ち、ご挨拶

本田技研研究所の川崎です。本日はお忙しい中お越しいただきまして、誠にありがとうございます。また卒業より、Honda の活動にご理解とご支援を頂き、厚く御礼申し上げます。

ホンダリサーチ・インスティテュート・ジャパンは、本田技研研究所の100% 子会社として、将来の社会に貢献できる夢の科学技術と工業化可能なレベルに進化させていく、役割を担っています。

ロボットは夢の技術として、お客様や社会から、大変期待されており、ホンダも2足歩行ロボット ASIMO の開発に取り組んでいます。

昨年秋、発表した最新型 ASIMO では身体能力は高いレベルに発達してきましたが、今後人の生活空間で真に役立つ ASIMO を目指していく為の最大の技術テーマは、人と共存を可能とするレベルの「脳の機能を創れるか」であると、思っています。

しかしながら、人工的に脳を創るという事は極めて難しい課題といえます。よう。

<Face の例を入れる - ATRとの研究の発端>

この研究のサブテーマのひとつは、**心と心のコミュニケーション**がなされることです。人の指令を、表情の呼吸で機械が読み取り、指令どおりに動作する、考えただけで思い通りに機械が動くようになるのです。本日の発表はそういった心と心のコミュニケーションにつながっていく、最初の成果であります。

これは、目の外から脳活動を計測する方法で、ブレインマシンインターフェースを実現するという ATR 脳情報研究所のご研究の成果をもとに、共同で世界で初めて外から計測した脳活動のデータから運動指令を読み取り、ロボットハンドとついで動作を実現することができました。

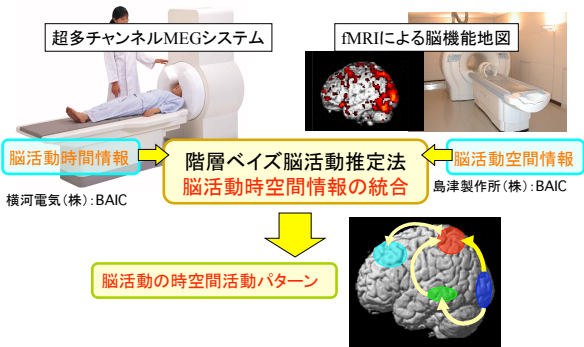
この人に無い技術による研究成果により、人と機械をつなぐインターフェースの実現の可能性が期待できると感じております。

まずはASIMOやクルマがわれわれ人間の意志をよりダイレクトに感じ取る、そのような技術につながることを期待してまいります。

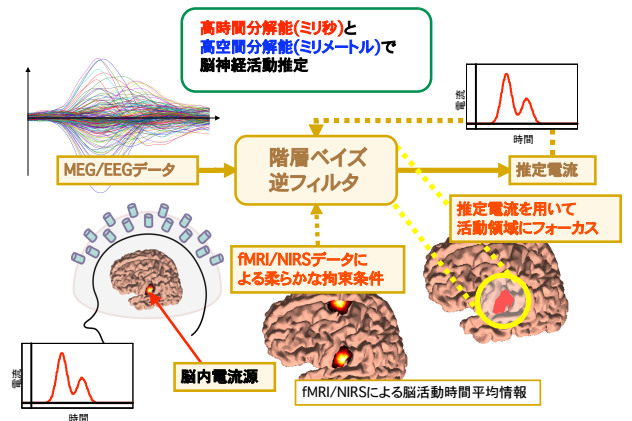
今後、私どもはATRとんとの脳科学に関する協力体制を強化させながら、さらなる研究を進めていく予定でありますので、これを機にブレインマシンインターフェースのさらなる発展にご期待をいただければ幸いです。ありがとうございます。

おはよう日本

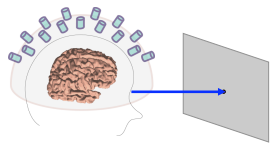
高時空間分解能 脳活動計測システム



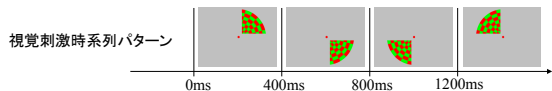
脳内電流の階層ベイズ推定 (佐藤、・・・、川人)



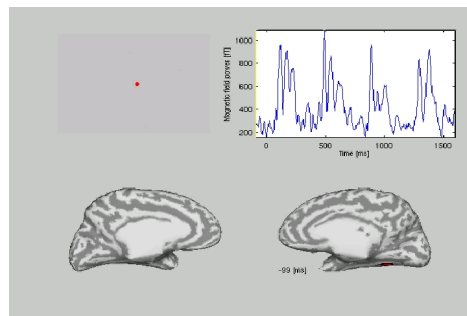
視覚実験課題遂行時の 高時空間分解能脳活動推定 (吉岡、〃、川人、外山、佐藤)



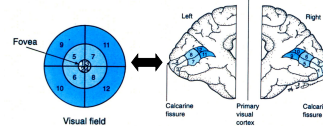
被験者は固視点を注視し、
その間に比較的短い時間間隔で
視覚刺激を連続的に提示する。



四半視野刺激を連続して被験者に提示したときの脳磁図から
初期視覚野の脳活動を推定する。



視野と初期視覚野の位相情報
の対応(レチノトピー)



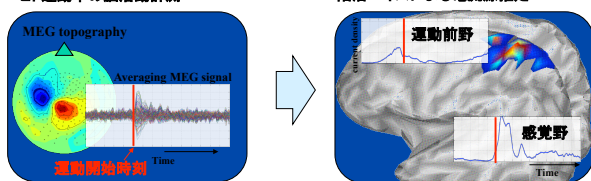
出典: Kandel ER, Schwarz JH,
Jessell TM, Principles of
Neural Science, 3rd ed.

手先運動のvbMEGによる再構成

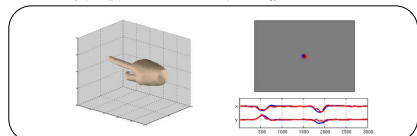
戸田、今水、佐藤、和田、川人

ヒト運動中の脳活動計測

階層ベイズによる電流源推定



推定電流からの手先運動の再構成



Toda A, Imamizu H, Sato M, Wada Y, Kawato M. Reconstruction of temporal movement from single-trial non-invasive brain activity: A hierarchical Bayesian method. Proceedings of 14th International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2007). WED-4, p.131 (2007)

実験タスク(MEG, fMRI実験)



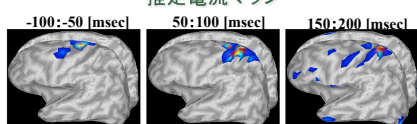
右手首を一定の速度で
8方向に運動させる

運動中の手先の位置と
脳活動(MEG, fMRI)を記録

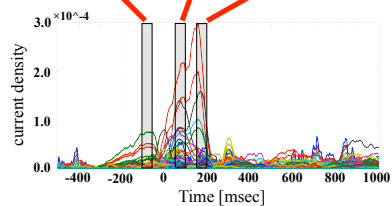
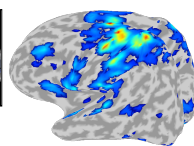
MEGシステム: MEGvision PQ1400R, 208channel,
MaxSamplingRate 2kHz

推定電流波形

推定電流マップ



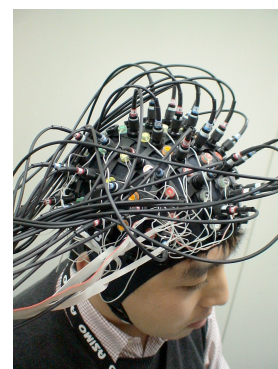
fMRI activity
(uncorrected $p < 0.01$)



VB parameter

ALL vertex	2521
constrained vertex	NaN
spatial filter	6 [mm]
confidence coefficient	
upper	0
lower	0

fNIRSとEEGの複合機



ATRブレイン・ネットワーク・インタ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

計算論的神経科学

脳の機能を、その機能を脳と同じ方法で実現できる計算機のプログラムあるいは人工的な機械を作れる程度に、深く本質的に理解することを目指すアプローチを計算論的神経科学と呼ぶ。

Biped

人工知能神経科学・クス

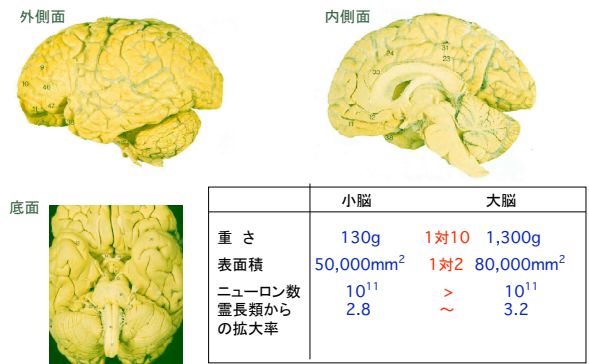
Schaal S, Sternad D, Osu R, Kawato M: Rhythmic arm movement is not discrete. *Nature Neuroscience*, 7, 1137-1144 (2004).
Nakanishi J, Morimoto J, Endo G, Cheng G, Schaal S, Kawato M: Learning from demonstration and adaptation of biped locomotion. *J. Robotics and Autonomous Systems*, 47, 79-91 (2004).

ATR脳情報研の脳ロボット研究

- ノーベルフォーラム講演とノーベルシンポジウムで川人所長招待講演(平成13年、15年)
- 鉄腕アトム誕生日関連で、DBが6つのテレビ番組で紹介される
- アトム計画を提唱(30年で5歳児相当のヒューマノイドロボットを開発)一タイム誌、MIT Magazine等で紹介
- 川人の特許をソニーなどが数千万円で購入(KTC最大収入?)
- ソニー、ホンダが研究員と研究費

Discovery Channel

小脳と大脳

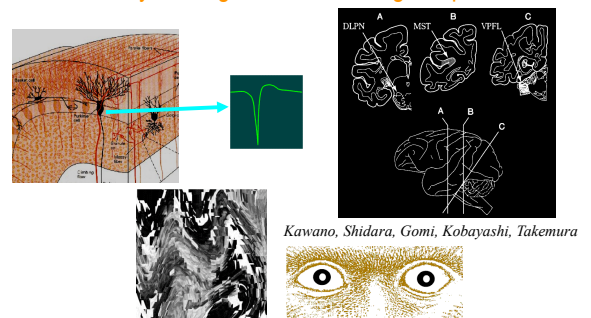


小脳内部モデル理論

- 小脳は入力を出力に変換する神経回路の集まり
- シナプスの伝達効率が変化して異なる変換を学べる
- 学習は教師がいて、誤差を教えてくれる
- 脳の外にある、運動のための身体の一部、道具、他人の脳などのまねをする内部モデルを学ぶ

小脳内部モデルを用いたロボットデモンストレーション

Simple and Complex Spikes of Purkinje Cells in Monkeys during Ocular Following Responses



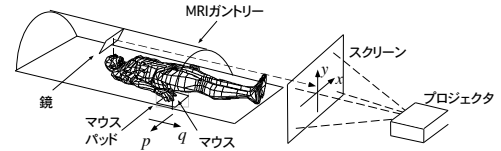
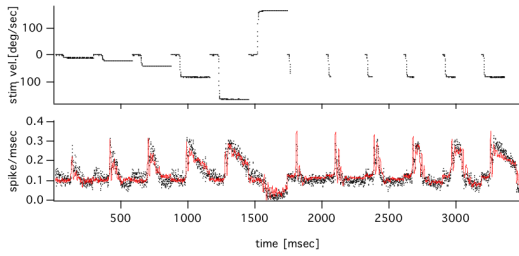
Ocular Following Responses: Reflex eye movement induced by movement of large visual field

プルキンエ細胞発火頻度の逆ダイナミクスモデル

5種類の刺激速度、6種類の刺激時間のデータから1組の係数を推定

Coeff.det 0.78

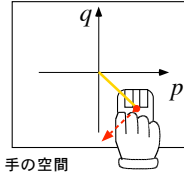
$$f(t) = M\ddot{\theta}(t + \delta) + B\dot{\theta}(t + \delta) + K\theta(t + \delta) + f_{bias}$$



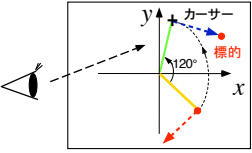
追跡課題

・回転変換

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}$$



手の空間

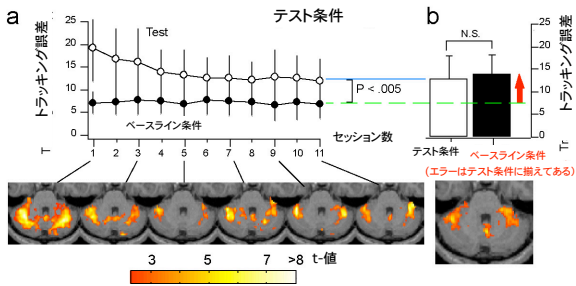


スクリーンの空間

・積分変換

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix}$$

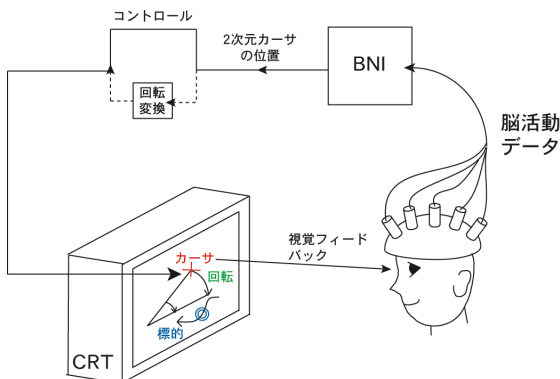
ヒト小脳内の道具の内部モデル: fMRIによる検証



Imamizu H, Miyauchi S, Tamada T, Sasaki Y, Takino R, Puetz B, Yoshioka T, Kawato M: Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool. *Nature* 403 192-195(2000)

操作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

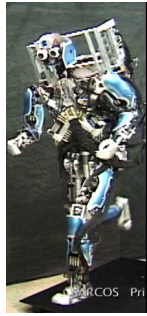
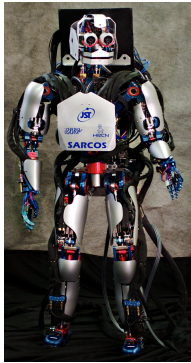


推定した脳活動から情報を抽出し、脳にフィードバックする

- 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・インタフェース版

ヒューマノイドロボットCB

An ATR/SARCOS development with ICORP/JST funding



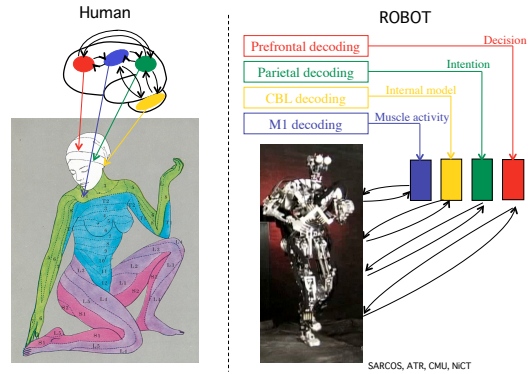
- 人間により近いヒューマノイドロボット(同程度の速さと力)

- 自律型
- 160cm and 70 Kg
- 柔らかい

CB_CPG_Walk

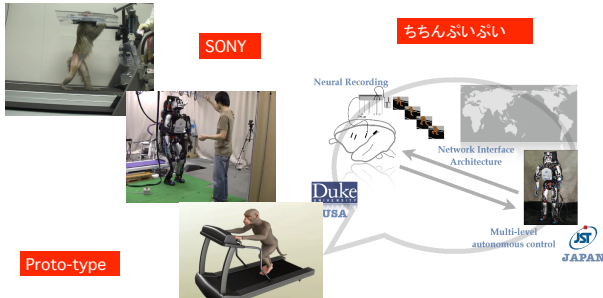
monkey locomotion

神経活動によってロボットを制御することを通じて階層的な脳の感覚運動制御を理解する



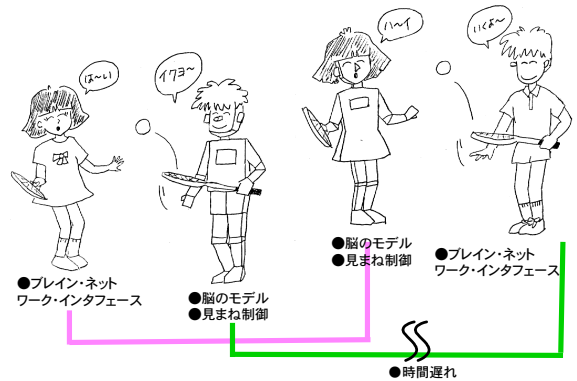
計算脳プロジェクトの報道発表

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(Cheng・森本・川人・Nicoletis)



Cheng G, Fitzsimmons N, Morimoto J, Lebedev M, Kawato M, Nicoletis M: Bipedal locomotion with a humanoid robot controlled by cortical ensemble activity, Society for Neuroscience 37th Annual Meeting, 517.22 (2007)

ブレイン・ネットワーク・インタフェース、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