

BMI

—脳を機械と結びつける—

第9回



はじめに

手足の運動のさいに生じるプロセス
 脳の指令 → 神経 → 手足の筋肉

神経活動(ニューロンの活動):
 運動に関わる情報を表現

→ 読み取って機械・コンピュータを制御?

BMI (Brain-Machine Interface)
 ブレイン・マシン・インターフェイス

機械・コンピュータを脳と直接的に結びつけて
 制御したり、両者を相互作用させたりする技術



BMIの基本的なアイデア

アームを伸ばそう/縮めよう

神経活動:
 アームの伸縮に関わる情報を表現

検出・入力

解析装置で情報抽出

出力

アームが実際に伸縮

BMI → 「第二の身体」

Nicolette 2003



今日の講義の目的

現在BMI研究が活発 → 将来的に普及
 ...どのように社会は受け入れるべきか?

- (1) どのような技術的な発展の道筋をたどるか?
 研究の現状を知る: 成果・課題・方向
- (2) 社会のどのような場面で利用されるか?
 そして利用されるべきなのか?
 BMIの光と影の両面を考察



今日の講義の内容

1. 侵襲型BMI—ラットと人間
2. 非侵襲型BMI
3. BMIの今後の発展と社会的影響
4. まとめ



補足

用語について:

- ・「BCI(ブレイン・コンピュータ・インターフェイス)」
 「サイボーグ技術」などの呼び名も
- ・便宜上、BMIで統一

扱う対象:

- ・「出力型BMI」が中心
- ・知覚情報を脳に入力する「入力型BMI」には余裕があれば
 少しだけ触れる



第一節



1. 侵襲型BMI——ラットと人間

2. 非侵襲型BMI

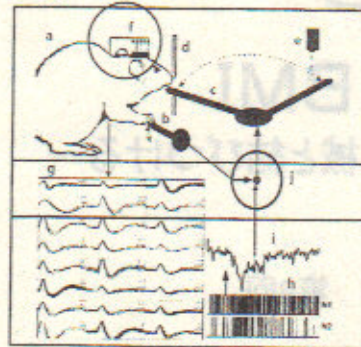
「侵襲的 (invasive)」
電極を刺すなど直接的に
脳に介入

3. BMIの今後の発展と社会的影響

4. まとめ



1 ラットを用いたBMI (Chapin, 1999)



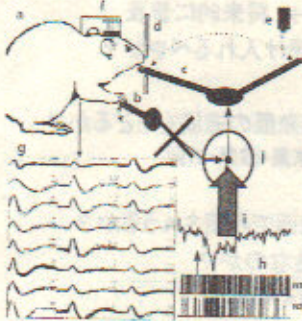
Chapin 1999

【準備段階】

- ・ラットの訓練
レバーを押してアームを動かし、水を飲む
- ・運動野の活動を記録
→ 解析
→ 前足の運動を予測する信号が出力可能



1 ラットを用いたBMI (Chapin, 1999)



Chapin 1999

【実行段階】

- ・レバーとコントローラの接続を切り離す
- ・予測信号をコントローラに入力

レバーを押さずに直接アームを動かすようになった

脳の活動状態さえ変えればよいから
→ 「考えるだけ」でよい



2 人間によるBMI (ドナヒューらの実験)

被験者: 四肢まひ患者

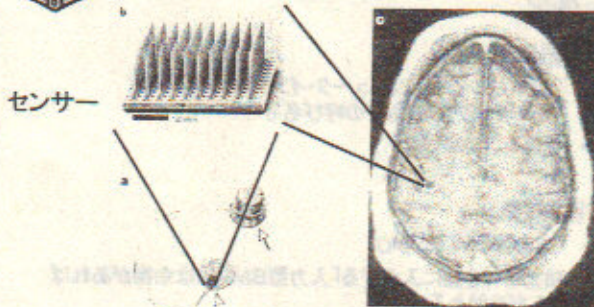


Hochberg, Donoghue et al. 2006

考えるだけで
コンピュータを操作



2 人間によるBMI (ドナヒューらの実験)



センサーと固定用部品

取り付け箇所

Hochberg, Donoghue et al. 2006



2 人間によるBMI (ドナヒューらの実験)

- ・カーソルの操作 (オレンジの四角にカーソル動かす)
- ・電子メール
- ・テレビの操作 など



【脳機能の解明への寄与】

脳の神経回路網の再編成の生じ方やその規模
再編成を通じての運動指令を生み出す能力の保存のされ方



3 示唆と課題

示唆: 医療への応用

- ・ 考えるだけで動かせる車いす、義手・義足など

課題(1) 操作の不安定性

- ・ 四肢まひ患者のカーソル操作: 困難を覚える場合あり
- ・ 原因の詳細は不明



- ・ 脳の情報表現についての基礎的研究
- ・ 多数のニューロンの活動がもっと正確に計測できる電極の開発

→ 安定した作動と、より精密なコントロールが可能に

19



3 示唆と課題

電極を交換するたび

課題(2) 安全性

- ・ 電極を埋め込む → 手術の負担、感染症のリスク
- ・ ケーブルの使用 → ケーブルを介した感染症、移動の妨げ

抜本的な解決: 頭蓋骨の切開手術の不要化
 → 動脈を経由してプローブを用いて脳に施術
 → 装置の超小型化 → きわめて先の将来?

短期的な対応:
 手術時間の短縮、電極の耐久性向上、ワイヤレス化など

19



【コラム】人工内耳 入力型BMIの際立った成功例

- ・ 全世界で7万人が利用(2007年)
- ・ 先天的に失聴している幼児
→ 装着により音声言語を獲得

- ・ 幼児の装着に問題があるケース
= 両親ともに手話の話者
独自の構造と歴史をもつ自然言語

→ 手話文化の継承ができない?

文化向きのインパクトの考察も重要

19



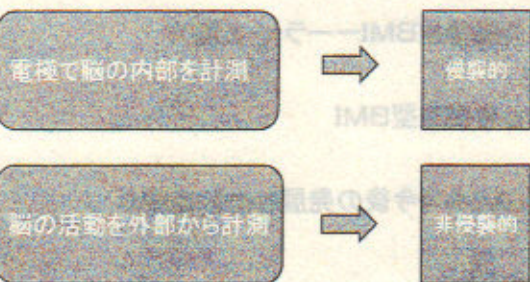
第二節

1. 侵襲型BMI——ラットと人間
2. 非侵襲型BMI
3. BMIの今後の発展と社会的影響
4. まとめ

19



非侵襲型BMIの可能性



EEG(脳波)、fMRI(機能的磁気共鳴画像法)など

17



1 fMRIを用いたBMI 神谷之康らの実験



活動している脳部位の
血液中の酸素の増加

統計処理

→ 画像化

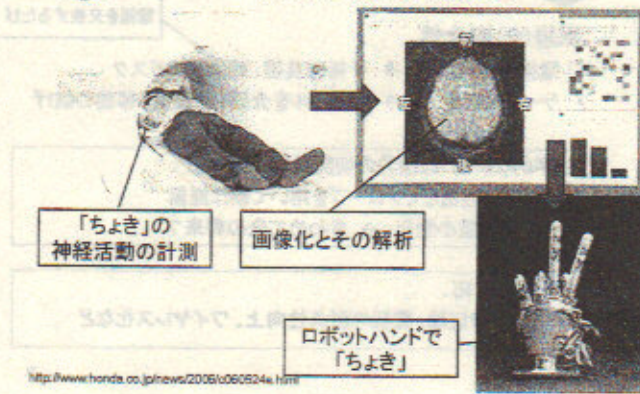
※脳の活動そのものの画像ではない

18

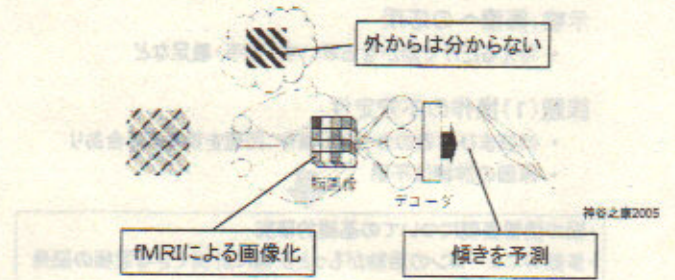
<http://www.honda.co.jp/news/2006/06/060524a.html>



1 fMRIを用いたBMI 神谷之康らの実験



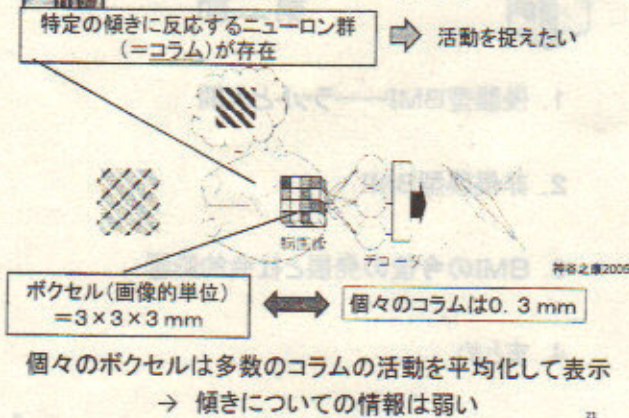
基礎:デコーディング = 神経活動から課題や刺激を予測する技術



主観的な心の状態を読む「マインドリーディング」

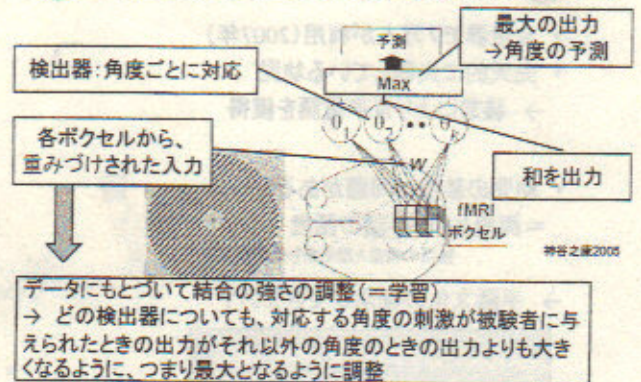


基礎:デコーディング



基礎:デコーディング

デコーダの仕組み:弱い情報を有効に組み合わせる



2 特長と課題

特長

- ・安全性:非侵襲的
- ・直ちに使用可能:使用者の訓練や脳活動の記録不要
必要なのはデコーダの学習

一般的普及への課題

- ・計測装置の小型化
- ・時間的ずれの縮小
酸素の増加は神経活動に5秒遅れて生じる(fMRIの計測)
→ ロボットハンドが手の動作よりも遅れる
- ・過去のデータも併用して予測力を向上
→ 素早く精密な動作



第三節

1. 侵襲型BMI——ラットと人間
2. 非侵襲型BMI
3. BMIの今後の発展と社会的影響
4. まとめ



1 統合型BMI

さらに素早い意図どおりの制御へ

これのみで精密な制御は困難
ゆで卵をつかんで食べる→落とす・砕く

フィードフォワード: 脳から機械への出力
フィードバック: 機械から脳への入力

兼ね備えたBMI
= 統合型

触覚・位置などの情報を脳に入力
ゆで卵を落とさず・砕かず



医療技術への応用
高性能の義手の開発へ

Nicolaie and Lebedev 2006



2 さらなる展望

医療技術

- インターネットを介した遠隔手術 → 人的・時間的コストの削減

知的活動

- マウスやキーボードの不要化
- 脳とコンピュータの緊密な連携 → 知的活動の新形態?

エンターテインメント(ビデオゲーム等)

- 従来より高い操作性のコントローラ
- 考えるだけでチャット可能なオンライン・ゲーム → より深い没入感



3 BMIの影の面 ① 軍事利用の可能性

考える軍事利用

- BMIによる兵器の操作
- ロボットアームやロボットレッグの装着
 - さらに、兵士同士の思考通信、遠隔操作された兵士ロボット等

現状: DARPA(米国防総省国防高等研究計画局)

- 「人間支援神経装置プログラム」
 - 目標: 脳と機械の相互作用およびそれにもとづいた人間の能力を増大させる新技術の創造
 - 軍民共用: 医療などへの利用をも視野に
 - すでに2400万ドル以上の資金が注入されている

このような研究は許容してよいか? → 検討



3 BMIの影の面 ② 社会の基盤への影響

きわめて高度に発展したBMI

思考や身体動作に関わる情報処理

- 一部が自動化
- 他者の脳と接続

自分の行為? 誰の行為?
そもそも行為と呼べるか?

刑罰に関わる
法体系・法実践は?

責任の主体は?

社会制度の根幹を揺るがす可能性

【石原孝二の覚悟】高度な発展を抑制する
or こうした結果を回避する技術とセットで開発

社会の基盤という観点からの考察の必要性



第四節

1. 侵襲型BMI——ラットと人間
2. 非侵襲型BMI
3. BMIの今後の発展と社会的影響
4. まとめ

29



まとめ

BMI研究の現状と今後の方向

侵襲型・非侵襲型それぞれの課題
統合型BMI

BMI研究の発展とその社会的影響

医療技術への応用などの「光の面」
軍事利用、社会の基盤への影響などの「影の面」

BMIの社会にとっての有効利用

社会が受容可能なBMIの発展の方向
→ さまざまな観点からの考察がいまから必要

30