

脳情報の解読と ブレインマシンインターフェース

脳・神経工学

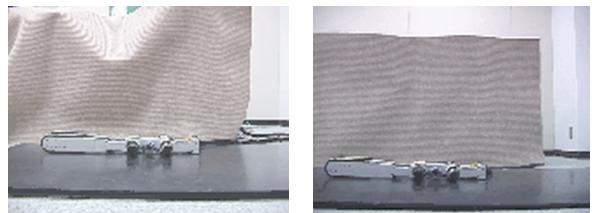
川人光男

ATR脳情報研究所

Discovery Channel

階層強化学習による ロボットの起きあがり

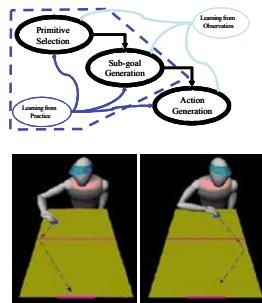
森本淳、銅谷賢治



Morimoto J. and Doya K.: Acquisition of stand-up behavior by a real robot using hierarchical reinforcement learning. *Robotics and Autonomous Systems*, 36, 37-51 (2001)

強化学習・見まね・熟練学習 エアホッケー

- Learn appropriate actions and sub-goals for the observed situation.
 - Database initialized with supervised data; observes human player.
 - Actions: Right bank shot, left bank shot, etc.
- Learn by adjusting the distance to the query point within the database.
 - Data is retrieved using locally weighted learning (LWL) techniques.
 - Weights are updated using Q learning techniques.
 - Agent receives feedback (reward and penalty) while playing.



エアホッケー

Darrin C. Bentivegna (darrin@atr.jp)

日本科学技術大学教授 上田次郎の どんと来い、超常現象

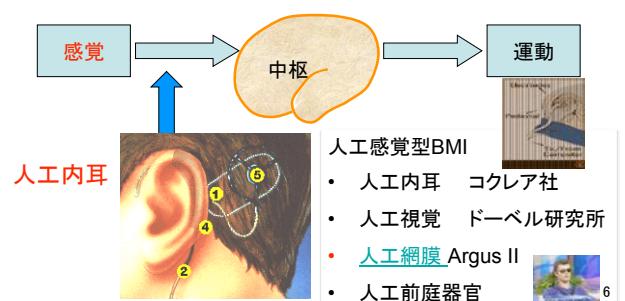


脳科学と情報通信を組み合わせて超能力を実現する！？

- 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

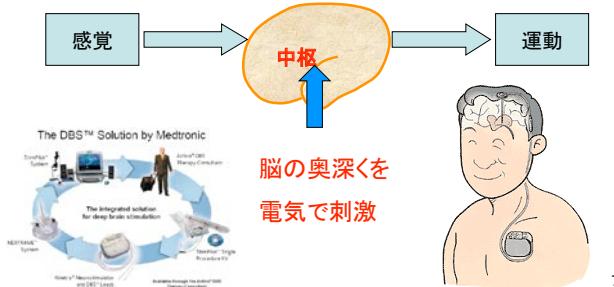
ブレイン・マシン・インターフェース

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



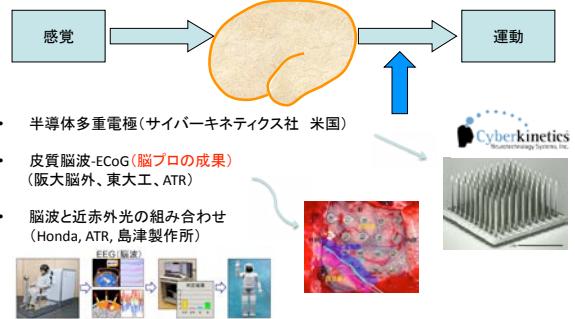
ブレイン・マシン・インターフェース

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



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



ブレイン・マシン・インターフェース 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



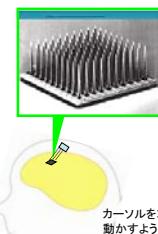
Miguel Nicolelis Duke University

9

脳に埋め込んだ多重電極による ブレイン・マシン・インターフェース



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

10

BMI成功の3要素

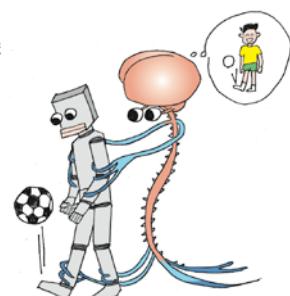
- 神経科学の知識
 - 運動野
 - ニューロン発火頻度
 - ポピュレーション符号化
 - 高度な計算論: CPGの位相、受容野(画像基底)、運動プリミティブなど
- 機械学習(脳情報解読)
 - 脳活動から情報(運動、画像等)へのマップ
 - ニューラルネット、SVM, SLR, SLiR等
 - 逆問題、スペース推定、縮約表現の発見(CCA)
- ユーザ訓練(シナプス可塑性)
 - オペラント条件付け、強化学習、教師あり学習
 - デコードィングニューロフィードバック

11

ブレイン・マシン・インターフェース

脳と情報通信機器を直接繋ぐ技術

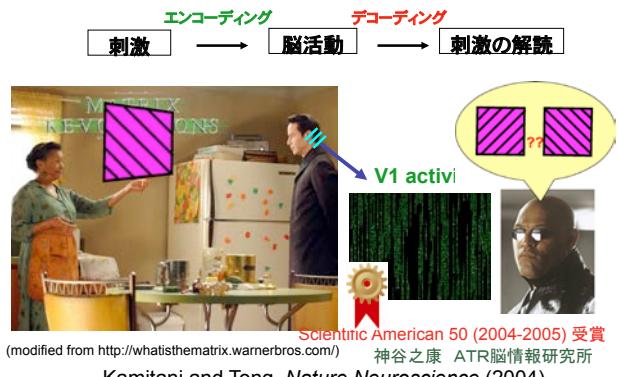
- 失われた感覚の再建
- 運動・コミュニケーション機能の再建
- 超高速のコミュニケーション・機器操作
- 非言語、意識下の脳情報のコミュニケーション
- 大規模で複雑なシステムの脳活動による直接制御
- 神経科学の道具



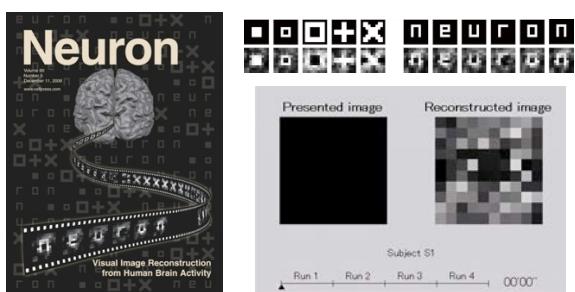
脳を傷つけない4種類の計測法



脳／心の解読(デコーディング)



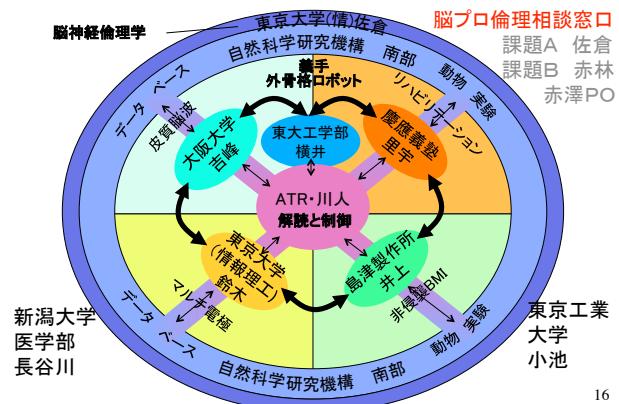
モジュラーデコーディングとスペース推定(SMLR)によるfMRIからの視覚像再構成



Miyawaki, Uchida, Yamashita, Sato, Tanabe, Sadato, Kamitani, *Neuron*, 87, 65-73 (2008)

15

脳科学研究戦略推進プログラム課題Aの体制



侵襲性の低い方法で高い方法を上回る



17

超高密度皮質脳波電極：パリレン柔軟 (東大情報理工 鈴木 一 新潟大、生理研)

- 電極間隔100μm～(保険適用の電極では1cm～)
- 柔軟網状構造→脳表にフィット。刺入電極と同時使用も。
- 生理研南部G(サル運動野)皮質脳波 32ch+刺入型64ch同時
- 新潟大長谷川G(課題B)と連携(サル脳溝内にも)
- 皮質脳波から脳活動が推定可能(生理研、ATR、東大)



18

サル脳活動による義手制御(生理研・東大・東工大)

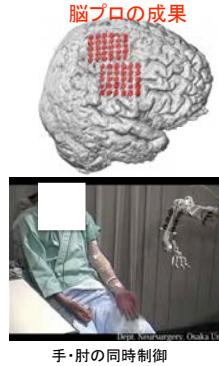


皮質脳波情報→脳内活動推定→筋活動推定→義手制御へ
ATR一生理研 東工大(小池) 東大

Watanabe H, Sato M, Suzuki T, Nambu A, Nishimura Y, Kawato M, Isa T: Reconstruction of movement-related intracortical activity from micro-electrocorticogram array signals in monkey primary motor cortex. *Journal of Neural Engineering*, submitted (2011)

19

低侵襲型皮質脳波BMI(阪大脳外、東大工、ATR)12人



手・肘の同時制御

初回の設定を用いて4日後も制御可能

Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, Kishima H, Matsushita K, Goto T, Fukuma R, Yokoi H, Kamitani Y, Yoshimine T: Electrocorticographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients. *Ann Neurol.* doi: 10.1002/ana.22613 (2011).

20

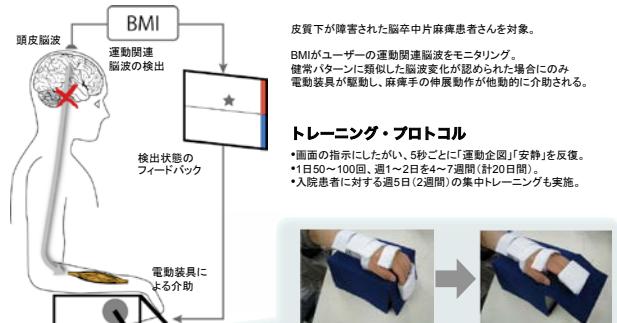
皮質脳波ワイヤレス完全埋込装置



Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, Yoshida T, Sato F, Morris S, Yanagisawa T, Goto T, Kawato M, Yoshimine T: A fully-implantable wireless system for human brain-machine interfaces using brain surface electrodes: w-herbs. *IEICE Transactions on Electronics*, 94(B), 2448-2453 (2011)

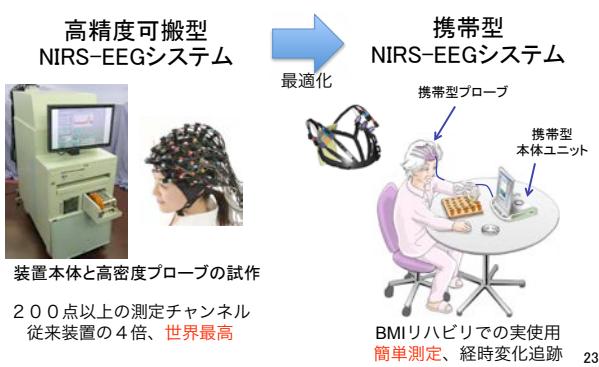
21

BMI神経リハビリテーションによる随意筋活動の誘導(慶應義塾大学)



Shindo K, Kawashima K, Ushiba J, Ota N, Ito M, Ota T, Kimura A, Liu M: *Journal of Rehabilitation Medicine*, 43, 951-957 (2011)

NIRSとEEGを組み合わせた高精度可搬型システムと携帯型システム(島津製作所)



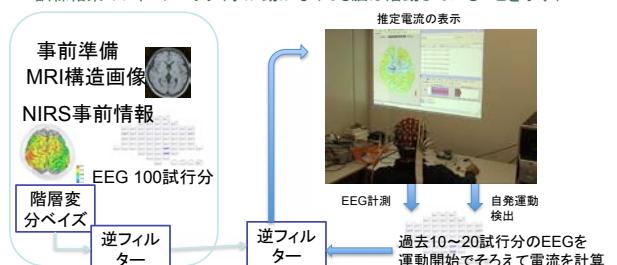
装置本体と高密度プローブの試作

200点以上の測定チャンネル
従来装置の4倍、世界最高

23

臨床応用に向けたNIRS-EEG高精度脳活動ダイナミクス 実時間ニューロフィードバックシステム

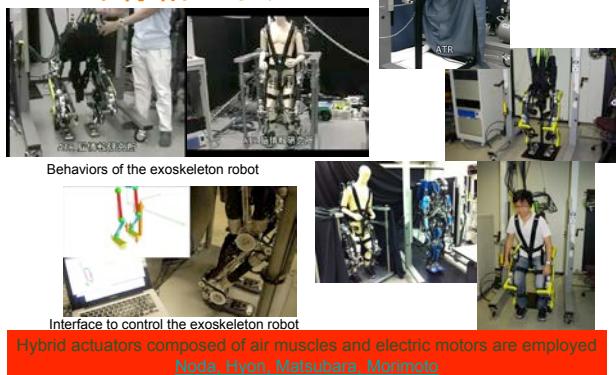
リハビリ現場からの期待： 脳活動をフィードバックすることで不必要的活動を抑制(過度な筋緊張の抑制を期待)、望ましい活動を誘導し、重度患者への訓練結果のフィードバック(手が動かなくても脳は活動していることを示す)



Aihara T, Takeda Y, Takeda K, Yasuda W, Sato T, Otaka Y, Hanakawa T, Honda M, Liu M, Kawato M, Sato M, Osu R: Cortical current source estimation from electroencephalography in combination with near-infrared spectroscopy as a hierarchical prior. *NeuroImage*, in press (2011)

24

リハビリテーション用 外骨格ロボット



外骨格ロボットを使った 運動支援の今後: 脳信号による制御



BMI 制御外骨格ロボット



ブレイン・マシン・インターフェースで 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人の視覚的なみえを、そろえる試み
- 念写: 脳の活動から映像を取り出す

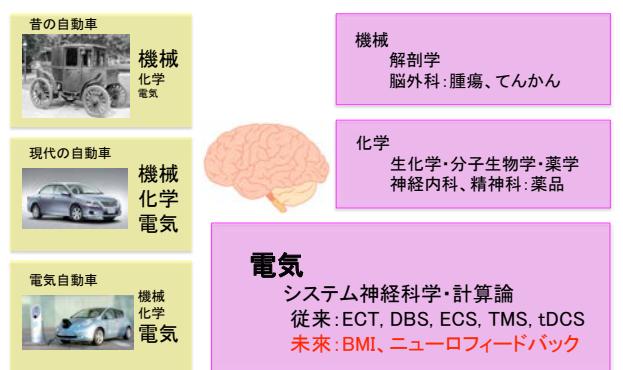
28

ブレイン・マシン・インターフェースで実現 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: 多義图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

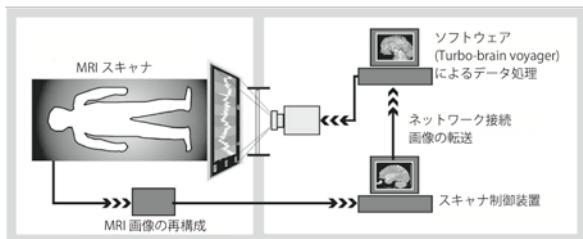
29

自動車と脳: 機械・化学・電気



30

fMRI実時間ニューロフィードバック

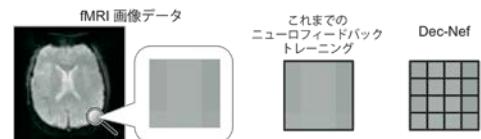


NeuroImage. 2003 Jul;19(3):577-86. Physiological self-regulation of regional brain activity using real-time functional magnetic resonance imaging (fMRI): methodology and exemplary data.
Weiskopf N, Veit R, Erb M, Mathiak K, Grodd W, Goebel R, Birbaumer N.

fMRIニューロフィードバックの応用

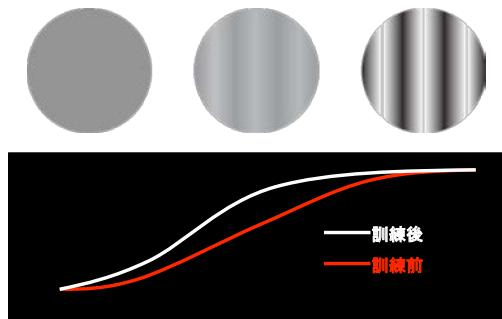


慢性疼痛の治療
Proc Natl Acad Sci U S A. 2005 Dec 20;102(51):18626-31. Epub 2005 Dec 13. Control over brain activation and pain learned by using real-time functional MRI.
deCharms RC, Maeda F, Glover GH, Ludlow D, Pauly JM, Soneji D, Gabrieli JD, Mackey SC.



ボクセルレベルの空間的制御 DecNef *Science*, 334, 1413-1415 (2011)

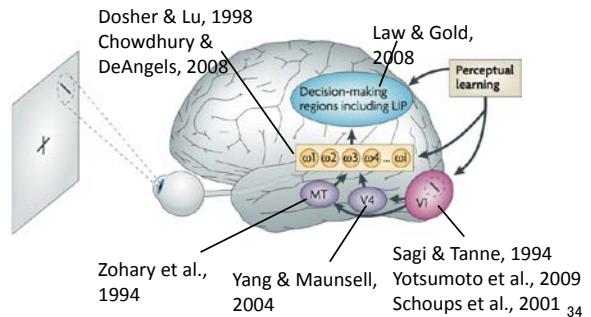
縞模様の検出



33

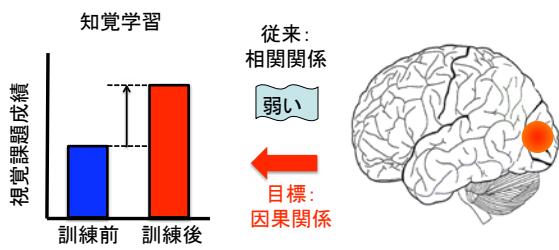
従来研究は知覚学習の神経相関：
 相関研究だけでは学習の座の論争が続く

Sasaki Y, Nanez JE, Watanabe T.,
Nat Rev Neurosci, 2009



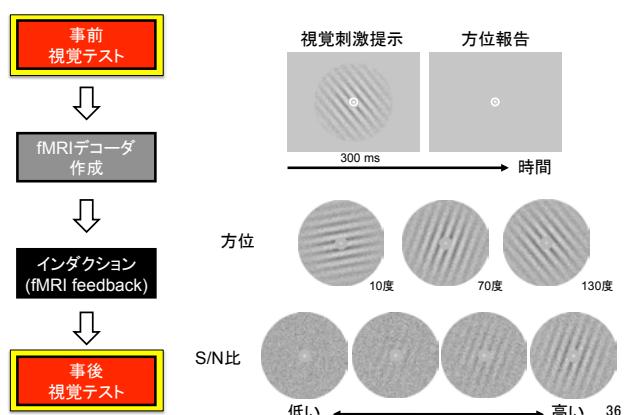
34

目標：低次視覚野と視覚知覚学習の
 間の因果関係を明らかにする



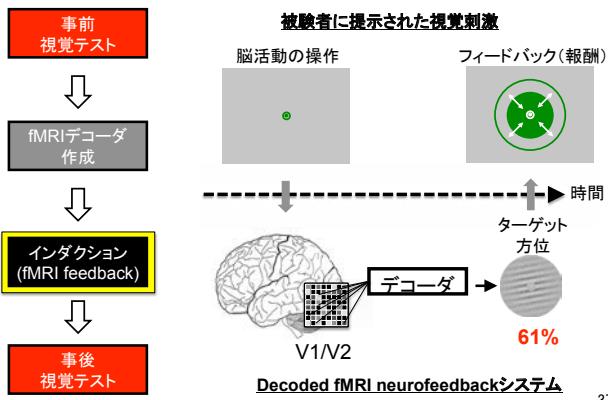
35

知覚学習のプリとポスト三方位弁別課題



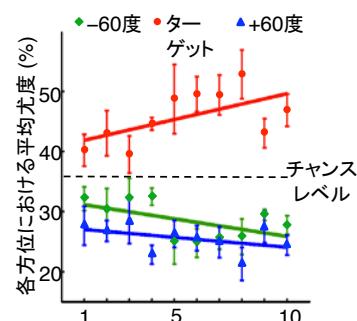
S/N比
 低い ← → 高い 36

デコードィッドニューロフィードバック訓練



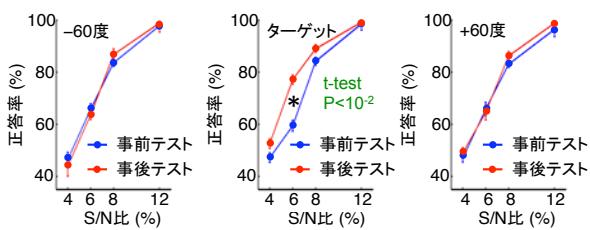
37

インダクションステージの三方位の尤度



前半の5日：両方の被験者群の平均
後半の5日：10日間のインダクションステージに参加した群の平均 38

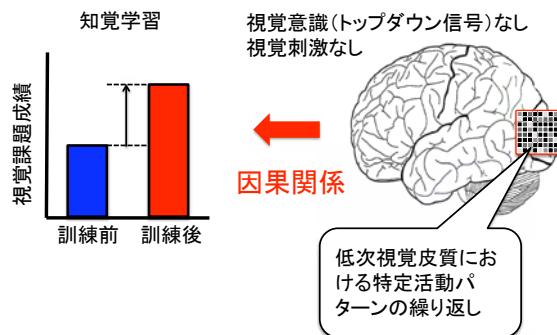
ニューロフィードバック訓練を行った方位についてだけ、弁別能力が有意に上昇



事前/事後、方位、S/N比の間に有意な交互作用
(Three-way ANOVA, $P = 0.02$)

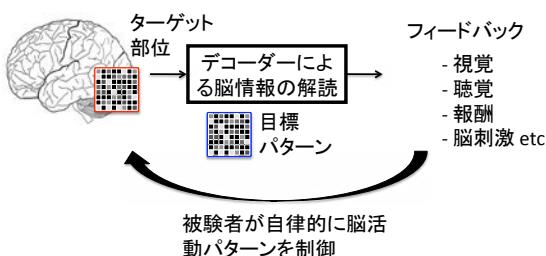
39

結論：低次視覚皮質の活動は視覚知覚学習を引き起こすのに十分である



40

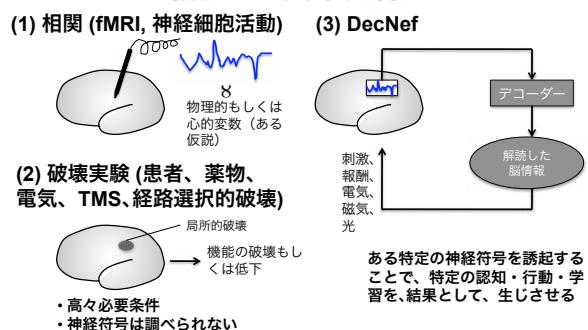
DecNefの枠組みまとめ



- ・脳活動パターンを目標の状態に誘導する
- ・目標パターンを繰り返す/強化することで行動が変化
- ・神経符号から心・行動への因果性に迫れる可能性

41

システム神経科学の方法： 相関 対 因果関係



Kawato M: From "understanding the brain by creating the brain" toward manipulative neuroscience. Philosophical Transactions of the Royal Society B, 363, 2201-2214 (2008) 42

デコーディッドニューロフィード バックの治療への可能性

- バイオフィードバックは60年代から
- fMRI real time neurofeedback 2004 De Charms 慢性疼痛の治療に有効
- 様々な精神疾患でrs-fMRI connectivity等に異常
- 視覚知覚学習がDecNefで誘起
- DMN-TPNの結合を2ヶ月に渡って変更
- 好き嫌い、共感覚もDecNefで変更可能

43

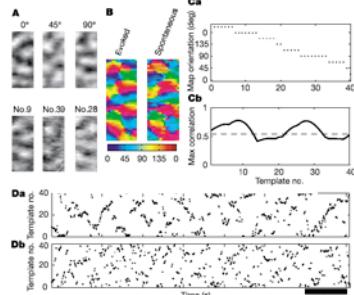
自発脳活動の研究

- 夢、リプレイ(除波、逆説睡眠)、逆リプレイ、プリリプレイ、反響、瞑想、幻覚、rs-fMRI、デフォールトモードネットワーク、内因的機能ネットワーク
- Arieli (1996), Buzaki (1999), Matt Wilson (2001), Ikegaya (2004), Ringach (2009), Raichle (2001), Corbetta (2009), Kamitani (2012)
- Berkes et al. *Science* 331, 83 (2011) Internal model in V1
- 自発脳活動が誘発脳活動を包含し、誘発脳活動が自発脳活動を構築する。

44

視覚野の自発脳活動は方位縞刺激に誘発された脳活動を渡り歩いている

- Arieli & Grinvald, Weizmann Inst., *Nature*, 954, (2003)
- 麻酔ネコ、電位感受性色素、大脳皮質18野4x2mm領域

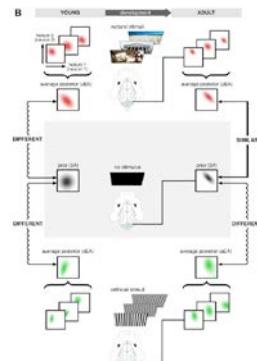
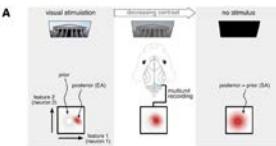


45

視覚野自発脳活動は視覚世界の内部モデル(事前分布)を表している

- József Fiser et al. *Science*, 331, 83-87 (2011)
- 覚醒イタチ、視覚野、多重電極、発達
- 老若4段階、自然刺激映画、KL-Div
- ベイズ理論、事前分布 $P(N)$ 、事後分布 $P(N|V)$ 、視覚刺激 V

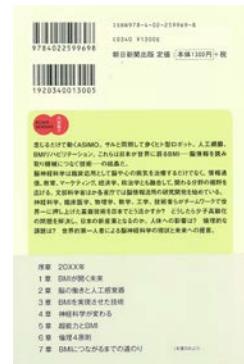
$$P(N|V) = \frac{P(V|N)P(N)}{P(V)}$$



46

脳の情報を読み解く

脳の情報を読み解く BMIが開く未来



Mental disorder	Measure	Task	DMN deactivation		Connectivity	Anti-correlation	DMN function
			Anterior	Posterior			
Broyd et al. (2009)							
Alzheimer's disease	IMR-ICA	SM	-	-	MCI & C	1	-
(Gorevic et al., 2004)	IMR-ICA	WM	-	-	MCI < C	-	-
Rombouts et al. (2005)	See text	WM	-	-	-	-	PCC at risk of atrophy
Buckner et al. (2005)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Wang et al. (2006)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	Effect of global atrophy
Wang et al. (2007)	MI-FA	RS	-	-	-	-	PCC related to MMSE
He et al. (2007)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
At risk of Alzheimer's	IMR-ICA, ROI	RS	-	-	-	-	-
Seng et al. (2007) (MCI)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	*Controlled for atrophy, age
Bai et al. (2008) (MCI)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Persson et al. (2008) (APOE4)	IMR-ROI	Semantic	-	-	-	-	-
Schizophrenia	IMR-paircorrelation	RS	-	-	-	-	-
Huang et al. (2005)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Ilman et al. (2007)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Gurari et al. (2007)	IMR-ICA	Caudate	**	-	-	-	-
Zhou et al. (2007)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Pomarol-Clotet et al. (2008)	IMR-ICA	VM	-	-	-	-	-
Depression	IMR-ICA	RS	-	-	-	-	-
Antony et al. (2007)	IMR-ROI	EPT	-	-	-	-	-
Zhai et al. (2007)	IMR-ROI	EPT	1*	1	-	-	-
Epilepsy	EEG & fMRI	RS	1*	1*	-	-	-
Lau et al. (2007) (no control)	IMR-GLM	RS	-	-	-	-	-
Lau et al. (2008) (GS, PS, C)	IMR-GLM	RS	-	-	-	-	*GS patients only
ASD	Cherkassky et al. (2006)	IMR-ROI	RS	Non-sig	Non-sig	1	-
Kennedy et al. (2006)	IMR-ROI	Stroop	1	-	-	-	-
Kennedy and Courchesne (2008)	IMR-ROI	RS	-	-	1*	Non-sig	1
ADHD	Tian et al. (2006)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-
Gao et al. (2006)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Gastaldon et al. (2008)	IMR-ROI	RS	-	-	-	-	-
Gastaldon et al. (2008a)	IMR-Nets	RS	-	-	-	-	-
Helps et al. (2008)	DC-EEG	RS	-	-	1	-	-

デフォールトモードネットワーク(自発脳活動)異常と精神疾患

48



BMI倫理4原則

BMI倫理4原則

- 原則1** 戰争や犯罪に BMI を利用してはならない
- 原則2** 何人も本人の意思に反して BMI 技術で心を読まれてはいけない
- 原則3** 何人も本人の意思に反して BMI 技術で心を制御されることはいけない
- 原則4** BMI 技術は、その効用が危険とコストを上回り、それを使用者が確認するときのみ利用されるべきである