

# 脳情報通信の現状と 今後の展望

情報通信研究機構  
脳情報通信融合研究センター  
大岩和弘

脳情報

脳を帰納的に(Data driven)理解



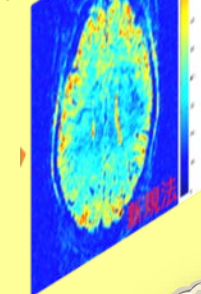
脳が処理する情報とその処理方法

読み出し・書き込み可能

その方法 encode/decode

情報の処理・蓄積方法

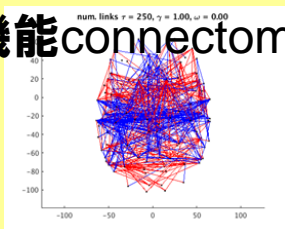
構造 connectome



MRS

ヒト脳の理解

機能 connectome



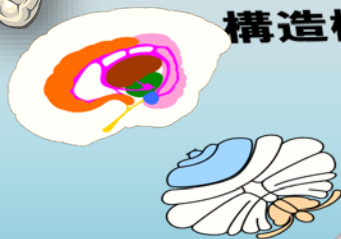
脳機能

脳に備わっている働き

演繹的にメカニズムを理解

構造機能相関

脳構造



## バイオマーカー

生体の状態を客観的に評価するための指標

脳情報の場合は主にネットワークのダイナミクス・ハブ

Impenetrable jungles where many investigators have lost themselves  
多くの研究者が迷い込んできた通り抜けられないジャングル  
(Ramón y Cajal, 1923)

## 脳機能研究は21世紀の最大の研究フロンティア



基礎から応用に至るまで脳科学研究を支援する政策  
世界各国で策定・展開

### 神経科学の急速な進展



**Tool-driven  
revolution**

脳活動の包括的理解が可能なレベルに到達

分子、ニューロン、神経ネットワーク、システム、認知・情動・行動、コミュニケーション

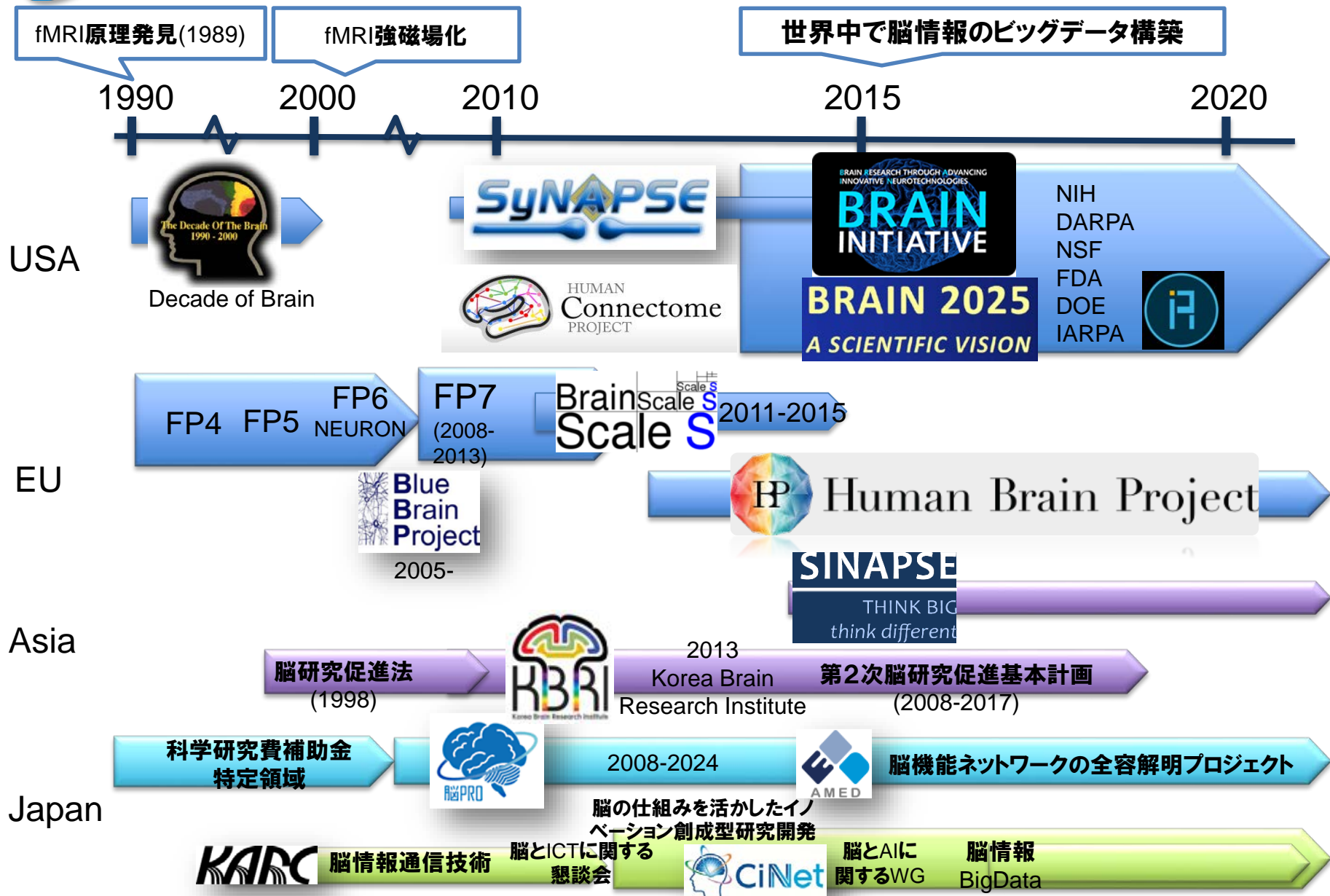


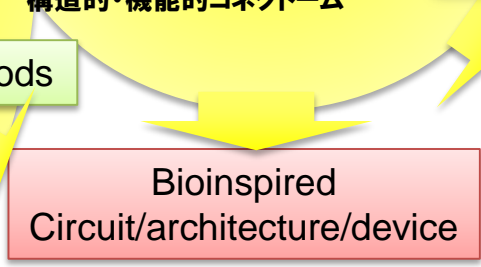
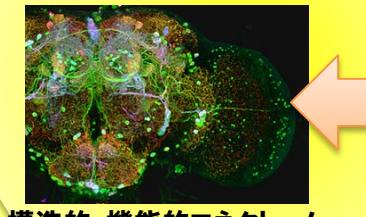
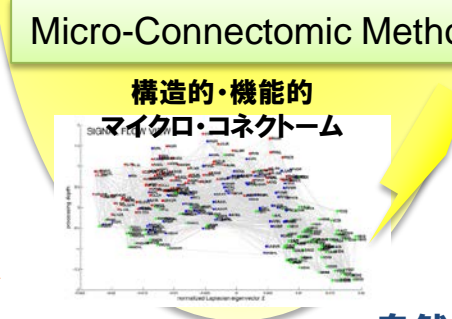
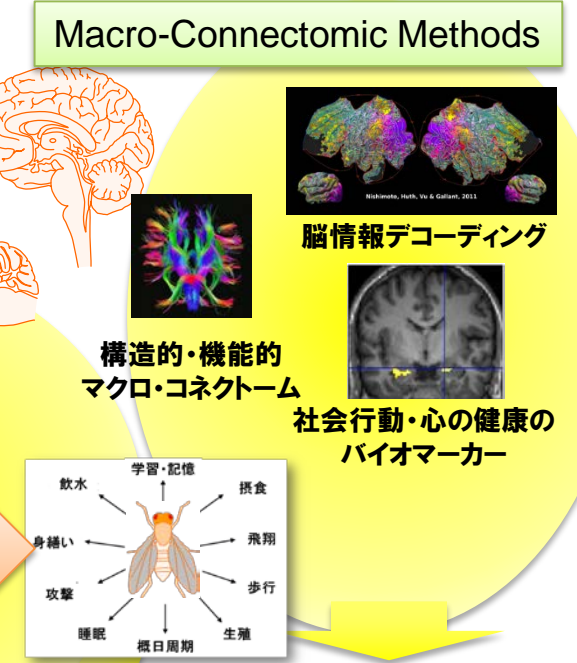
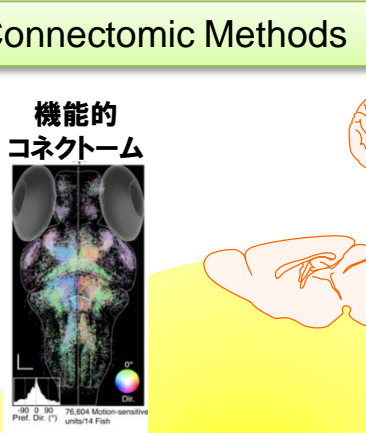
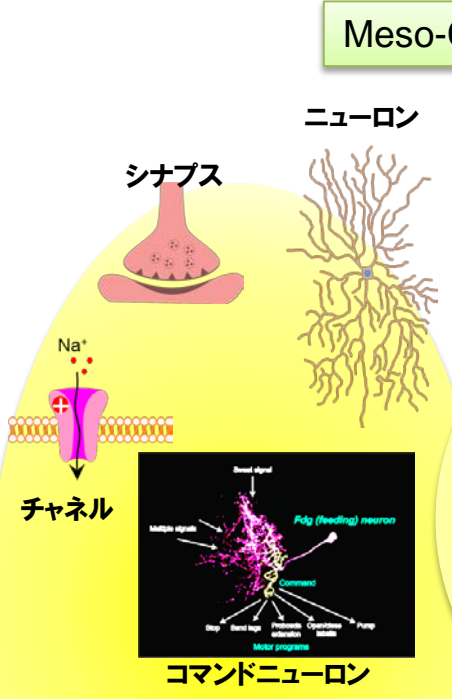
**社会実装**



### 脳活動の理解は人間活動の理解

“Tool-driven revolution is to discover new things that have to be explained”  
--- Imagined Worlds, Freeman Dyson





**明日の未来への投資**  
 自然知に学ぶ新奇AI・新奇アーキテクチャ  
 新奇デバイス

**社会実装シーズ**

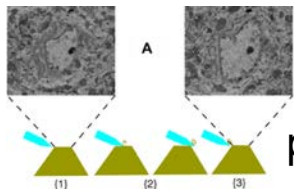
## Micro-/Meso-Connectomic Methods

ニューロンの機能は、主に 他のニューロンとの接続によって定義される

### Micro-connectome Neuron-level

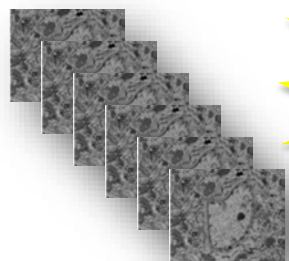
電子顕微鏡観察用  
連続切片作成技術

SBFSEM FIB-SEM



1mm<sup>3</sup> cortex sample  
produces ~PB (2<sup>50</sup> Byte)

画像処理の自動化



1mm<sup>3</sup>の皮質を手動で  
3次元に再構築する場合  
必要な時間10,000人・年

In the case of *C. elegans*  
302 neurons, 7000 connections  
15年

White et al., Philos Trans R Soc London B Biol. Sci, 1986,314

電子顕微鏡像からの  
ニューロンの抽出  
機械学習・AI

Crowd-sourcing

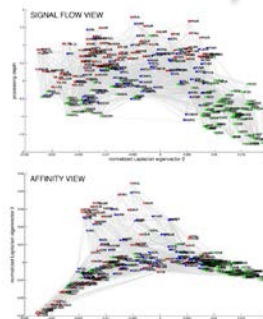
ヒト脳のコネクトーム  
Connectomicsの指数関数的成長があれば  
21世紀終わりまでに得られるが...

In the case of *Homo sapiens*  
86 billion neurons,  
100 trillion synapses

### Meso-connectome projectome

without synaptic resolution  
Long range projections of  
small clusters of neurons

*Drosophila*  
Mouse  
Macaque  
Marmoset



<http://www.wormatlas.org/neuronalwiring.html#CelegansNeuralNetwork>

## 脳シミュレーション

SyNAPSE project: **米国防高等研究計画局(DARPA)**

シナプスの機能を模倣して10億個のニューロンのシミュレーターを構築 (2008)

TrueNorth: IBM

SyNaPSE専用chip, 4096 cores搭載, 54億個以上のトランジスタ 消費電力70mW省エネ  
100万個のニューロンの実時間シミュレーション (2014)

Neurogrid: Stanford Univ.

イオンチャネル特性をチップ上で再現。100万個のニューロンとシナプス結合のシミュレーションを行う電子回路システム  
Benjamin, et al., Proceedings of the IEEE, vol 102, no 5, pp 699-716, 2014.

## バイオインスパイアード認知アーキテクチャ

ACT-R: Carnegie Mellon Univ.

認知アーキテクチャ: 人間の知的行動や知識創成の理解とシミュレーションのための理論構築  
<http://act-r.psy.cmu.edu/about/>

## ニューロモルフィックデバイス・計算

Analog Memristive synapse: CNR (Italy) & Southampton (UK).

Spike timing dependent plasticity (STDP)を持つ素子 --- Memristors  
125 analog memristorsのネットワークが教師なし学習を再現  
Covi, et al., Frontiers Neurosci., 10, 482 (2016)  
Di Ventra & Pershin, Scientific America Feb., 2015

➡ Connectomeとの連携が予測される



ショウジョウバエ  
約20万個のニューロンや回路  
をモデルにする可能性

## Human Brain Imaging

### 脳構造・機能の可視化技術と膨大なデータを扱う機械学習の発展

#### 脳構造・機能の可視化技術

高磁場MRI 3T fMRI 2x2x2mm<sup>3</sup>

fMRI DW-MRI DTI-MRI

Resting-state-fMRI

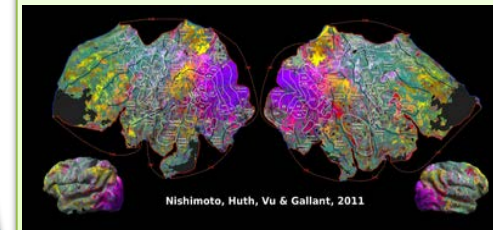


MEG

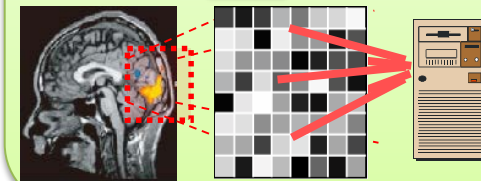
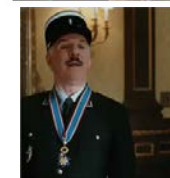


#### 膨大なデータを扱い得る 機械学習

脳内表象のコーディングの推定  
視覚情報の処理過程の推定



脳活動から  
再構築した動画



fMRI: Functional MRI, BOLD effect

DTI MRI : Diffusion Tensor Imaging MRI; trajectories of pathways in the white matter

DW MRI : Diffusion weighted MRI; trajectories of pathways in the white matter

Resting-state fMRI : functional connectivity between dispersed brain regions

Nishimoto, et al. *Current Biology* (2011).



## 脳情報 ビッグデータ

脳情報  
データ収集  
脳機能可視化



人間の元気度

痛みの可視化

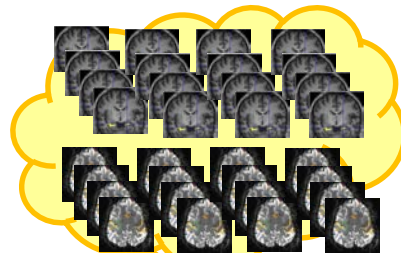
良質な睡眠

温度環境と人間

人間の幸福感

脳波の多元利用

人間の感性評価



脳活動・自然知  
データセンター

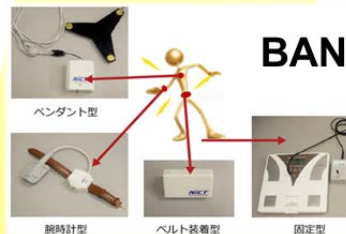


日常生活と精密計測のリンク

脳エンコード、デコードモデルの  
構築/深化



日常生活  
データ収集  
行動解析



ウェアラブル・非接触  
生体センシング



ヒトの心理・行動



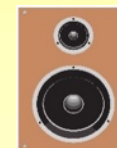
コミュニケーション  
共同作業



感じる



動く

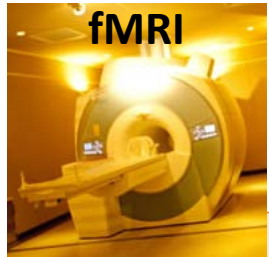


聞く

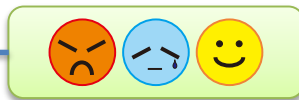


見る

## 可視化・データベース化・指標化 (バイオマーカー)



fMRI



Query



研究者

脳エンコード・デコードモデルの構築/深化  
各種バイオマーカーの提示



脳情報 ビッグデータ



ユーザ



BAN



1

脳活動から脳の状態を知り、脳・身体状態の予測、変調、向上につなげる技術開発

## 実社会

知覚



コミュニケーション



情動、ストレス、  
精神疾患、トラウマ



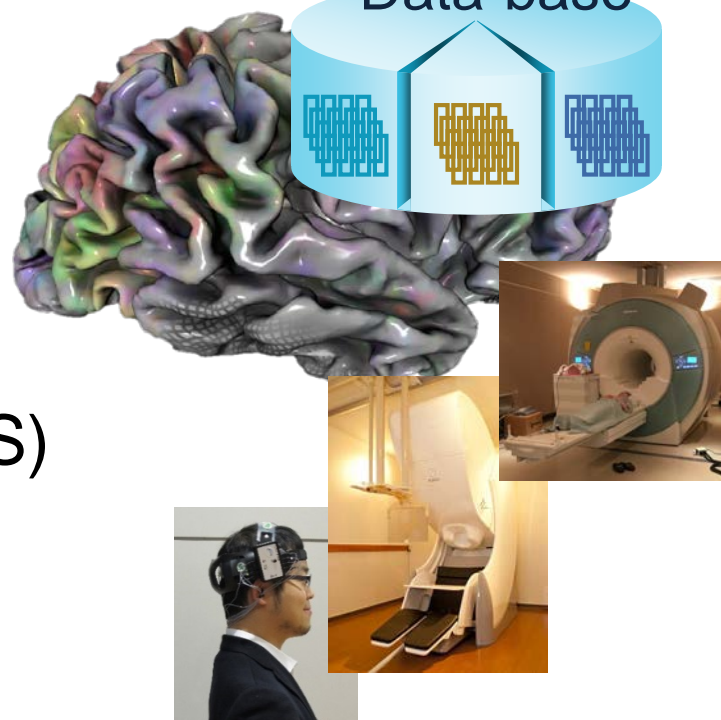
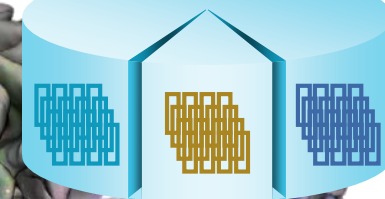
慢性疼痛



身体、スポーツ

## 脳活動

Data-base



Encoding model  
 $p(R|S)$

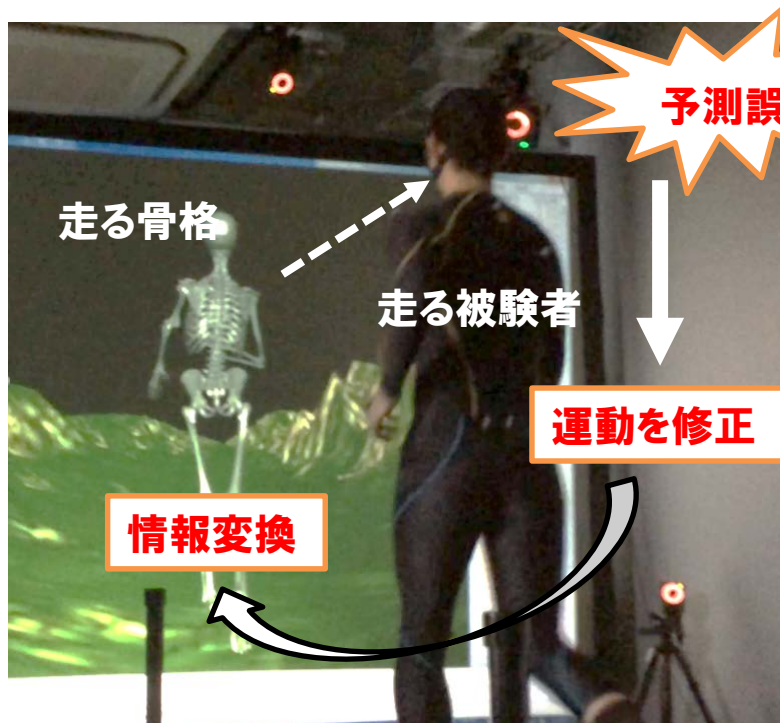
Decoding model  
 $p(S|R) \propto p(R|S)p(S)$

Neuro-Feedback

脳活動を解析、実社会を推定することで意思決定・状況判断など社会応用が可能に

## 2 リアルタイム視覚情報変換フィードバックによる 動作変容システム

脳は予測と異なる感覚情報が得られた場合  
その**予測誤差**を打ち消すように運動指令を調整する



実際とは異なる情報をフィードバックして  
動作を変容させる。  
例) 重心の上下動を増幅して提示すると  
実際の上下動が減るなど。

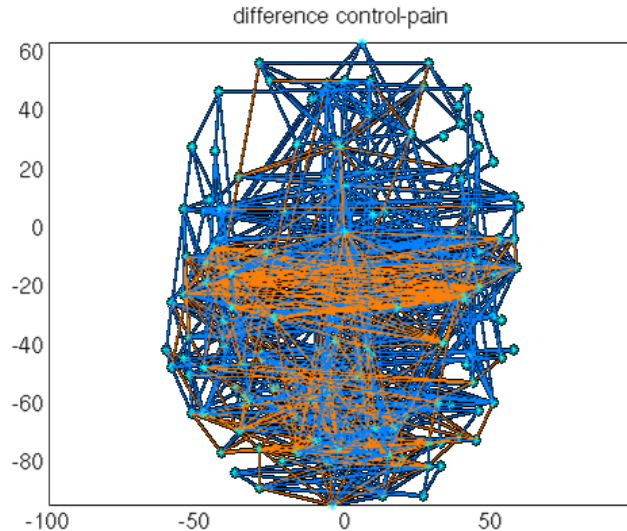


マルチモーダルで効率的に望ましい運動へと  
変容させることのできるシステム構築

モーションキャプチャーで計測した動きをリアルタイムに  
骨格の動きとして等身大ディスプレイに提示

# 3 多様な実験データからの脳内ネットワーク推定 脳内ネットワークから各種バイオマーカーを発見

健常者の脳活動ネットワーク(青線)と  
慢性疼痛患者の脳活動ネットワーク(赤線)の違いが明確に計測可能



## 海外事例

脳内ネットワークからの  
予測技術の活用



- 注意維持能力の評価
  - 注意欠陥多動性障害 (ADHD) の評価尺度
- Rosenberg et al., Nature Neurosci. 19, 165 (2016)

慢性疼痛患者のresting state fMRIでデコーディング精度>90%を達成

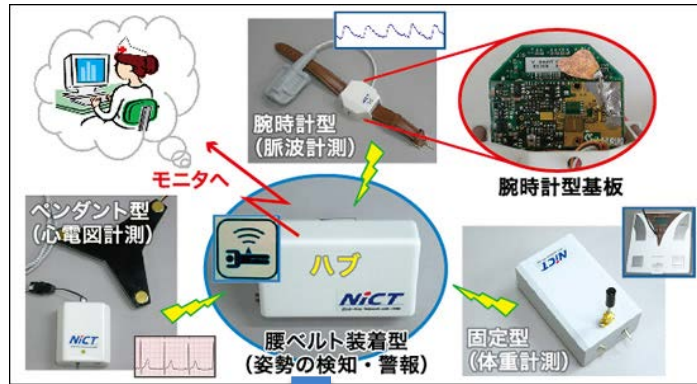
慢性疼痛バイオマーカーを利用した応用技術  
DecNef<sup>\*1</sup>等のニューロフィードバック技術の活用などで  
様々な痛みを脳活動で制御

→ 慢性疼痛以外の脳内ネットワーク推定、バイオマーカーの発見

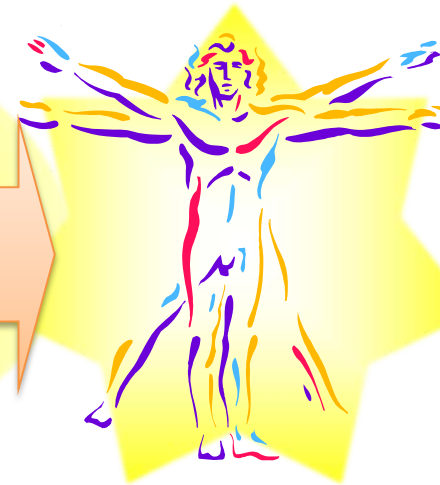
\*1 DecNef: Decoded neurofeedback <http://www.cns.atr.jp/decnef/>

健康管理や健康促進をサポートするウェルネス分野

ワイヤレスEEG



ライフログ・  
脳情報データベース



脳情報・ライフログ  
統合ヒトモデル

ウェアラブルセンサ



装着  
少数・軽負荷センサー

介護・医療

健康管理

健康増進

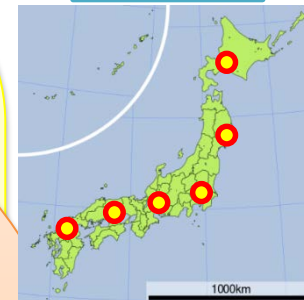
レクリエーション  
スポーツ

競技強化



社会実装展開HQ

全国拠点



ネットワーク化

大容量・高速通信NW



脳情報・ヒト活動DB

研究者

脳機能のモデル化

データセンター

技術者

人工知能・  
深層学習を深化



データサーバー

脳機能画像

計測装置



研究費

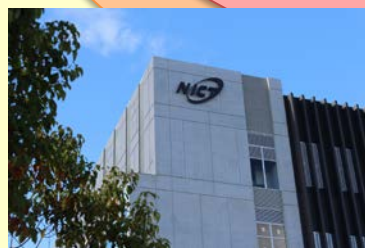
単純作業からの開放

脳構造画像



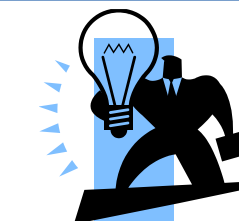
脳ドック

施設



脳計測センター

よりクリエイティブな活動の支援



WISDOMX

様々な  
日常活動データ収集

# 脳機能研究成果の社会実装に必要な取り組み

## 何を測るか

脳科学研究の全体像を把握できる場の提供

基礎研究と実用研究の物理的交流でニーズ掘り起こし

社会実装に役立つ“質”と“量”を兼ね備えたデータの収集

## 何と関連させるか

社会実装のVisionを産学官一体で形成するシステム

## どこで測るか

恒常的に稼働している複数の計測設備・システムを持つ施設

計測システムを持つ複数の施設間の連携

## 誰が測るか

安定した特殊測定装置の維持管理と運用のシステム

計測装置専門の技術者の育成・大容量データをハンドルできる技術者の育成

## データの共有化

データの共有化のインセンティブと権利・倫理課題の解決



# 脳機能研究成果の社会実装に必要な取り組み

## 脳情報ビッグデータの使い方

種々のサービス等の評価やニューロマーケティングへの展開

CM評価 (CiNetの成果をNTTデータがサービス化)

脳波計による消費者の意識調査事例あり

創薬への応用: バイオマーカーの発見、薬による効果(脳活動の変化)の検証

心の健康への応用: バイオマーカーでの評価

デコードデータによるニューロフィードバックによる変容

教育・能力開発への応用: 脳波などのバイオマーカーによるニューロフィードバック

ストレス評価への応用: 脳波・NIRSなどによる評価とニューロフィードバック

認知機能評価・検査: 脳波・NIRSなどによる評価

ニューロフィードバックによる変容

## 脳情報ビッグデータの提供方法

共同研究、フォーラム、コンソーシアムなどで利用形態を整備してデータ活用

MRIデータの直接提供や共有は困難 (個人情報等の課題)

公的機関が構築する解析モデルや翻訳モデルをライセンス提供

サービスに合わせたモデルの構築

※参考事例

ユニバーサルMASTARプロジェクトでの音声翻訳のWEB上でのAPIの公開

認識モデル、翻訳モデルなど2次データの公開、ライセンス提供等

# AIに関連したCiNetの研究成果

(1/16 事前会合 田口氏 資料)

参考資料

1

脳活動からの  
認知内容文章化



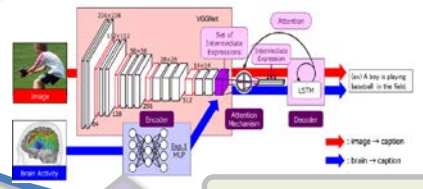
脳科学x深層学習  
x自然言語処理

CM視聴中の脳活動からの  
知覚情報解読

視聴中コンテンツ 「NTTデータCM 多通貨決済サービス編」	脳活動解読による知覚推定	
名前	性別	年齢層
観客	子供	若い
職業	探める	美しい
興味	楽しむ	上手い
アルバム	観かけつける	美しい
職業	運ぶ	美しい
職業	動かす	美しい

商用開始

機械学習・人工知能技術と脳情報の融合

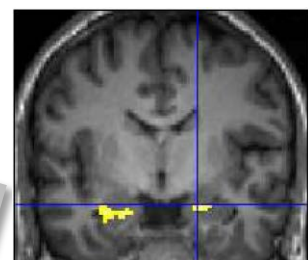


脳情報モデルの高度化

脳型learningの深化

3

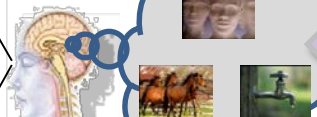
脳(扁桃体)の活動パターンと  
鬱傾向の相関を発見



脳活動計測x機械学習

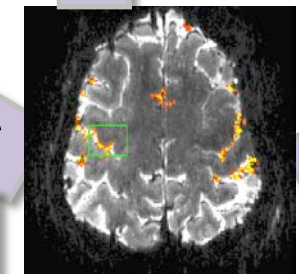
行動予測・心の健康への応用

視覚刺激



ゆらぎの脳科学への応用と  
新しいアルゴリズム開発への貢献

ひらめきの脳科学

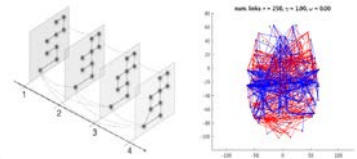


脳情報BigData

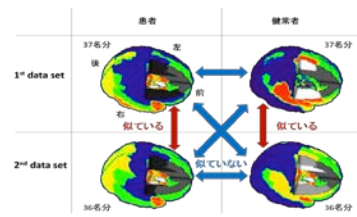
認知行動、意思決定の脳科学

3

脳情報のネットワーク解析



痛みの脳内ネットワーク



統合失調症の  
脳内ネットワーク

市販化済

ドライ型電極を装着した  
携帯型脳波計開発



携帯型脳波計の  
開発と社会実装

4

日常生活空間での脳活動計測を実現

脳状態検知、嗜好性解析、語学学習、ワー  
クロード解析への応用技術開発

ニューロ  
フィードバック



予測誤差

運動を修正

情報変換

運動機能向上、認知改善、ケア改善

2

BiGDataと脳機能定量イメージ  
ングによる医療創薬技術の革新