

# 脳情報の可視化と制御による 活力溢れる生活の実現 ～携帯型BMI領域～

内閣府 革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)  
プログラム・マネージャー 山川 義徳

# 目次

項目	ページ
携帯型BMI領域の全体概要 (統括技術責任者 ATR川人光男所長)	P3~P12
機械学習脳情報推定グループの取り組み (グループ責任者 ATR今水寛所長)	P13~P24
時空間脳情報解析グループの取り組み (グループ責任者 ATR須山敬之室長)	P25~P37
高密度脳情報計測グループの取り組み (グループ責任者 ATR山下宙人室長)	P38~P50

# 脳情報の可視化と制御による 活力溢れる生活の実現

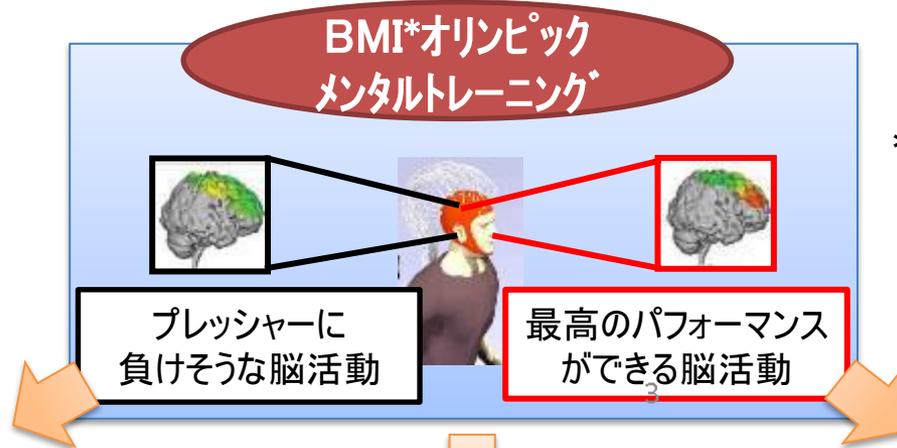
～携帯型BMI～

ATR脳情報通信総合研究所

川人光男

# BMIの社会的インパクト

BMIオリンピックメンタルトレーニングをシンボルとして、  
様々なBMI製品・サービスを実現し、社会の問題を解決する。

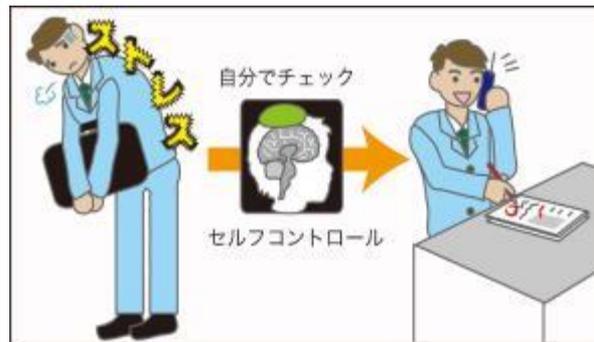


\*Brain Machine Interface  
(脳情報の可視化と制御を可能とするコア技術)

認知機能の低下を  
未然に予防



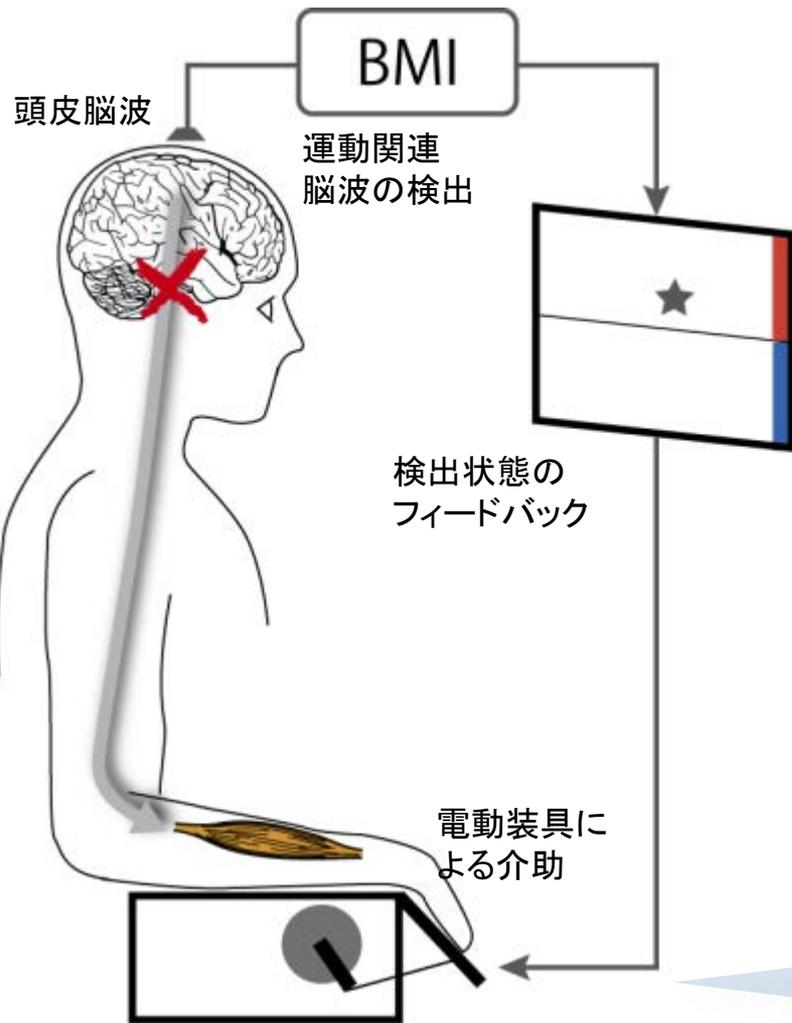
ストレスを抱えるビジネスマンの  
セルフコントロール



すっきりとした頭にする  
ことで受験生の勉強をサポート



# 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)

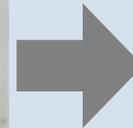


皮質下が障害された脳卒中片麻痺患者さんを対象。

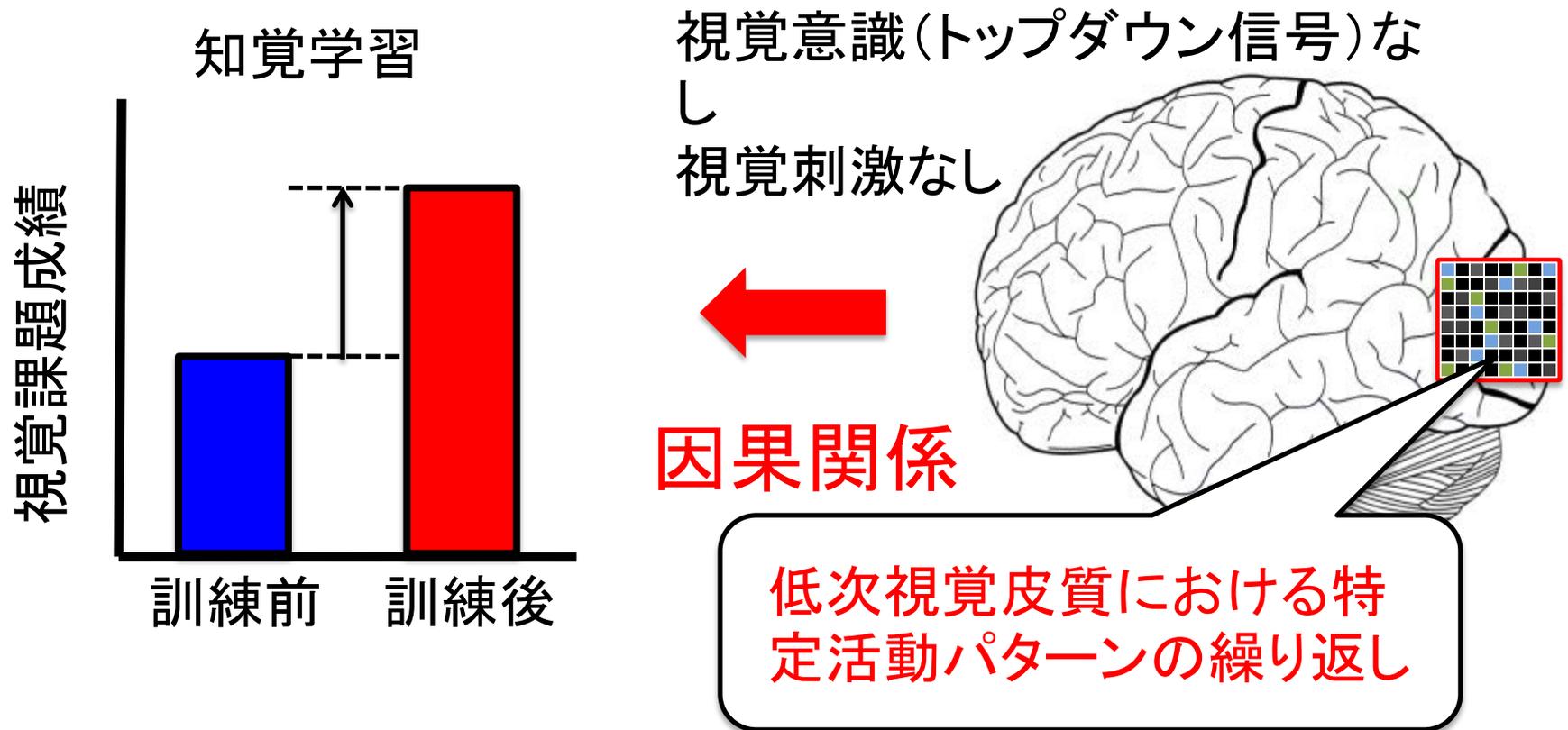
BMIがユーザーの運動関連脳波をモニタリング。  
健常パターンに類似した脳波変化が認められた場合にのみ  
電動装具が駆動し、麻痺手の伸展動作が他動的に介助される。

## トレーニング・プロトコル

- 画面の指示にしたがい、5秒ごとに「運動企図」「安静」を反復。
- 1日50~100回、週1~2日を4~7週間(計20日間)。
- 入院患者に対する週5日(2週間)の集中トレーニングも実施。



# デコーディッドニューロフィードバック法: 機械学習と強化学習法を組み合わせ、 脳内に特定の情報パターンを生成する



# 精神疾患の信頼性の高いバイオマーカ

## 安静時脳機能結合パターンから診断

- ATR・昭和大・東大の3施設で、疾患（自閉症）群および健常対照群rs-fcMRI約200人のデータを収集。
- 標準的前処理の施された各被験者の時系列データから、解剖学的に決めた計140個領域間の相関行列を算出。
- 9,730個の結合から22個が自動的に選択される



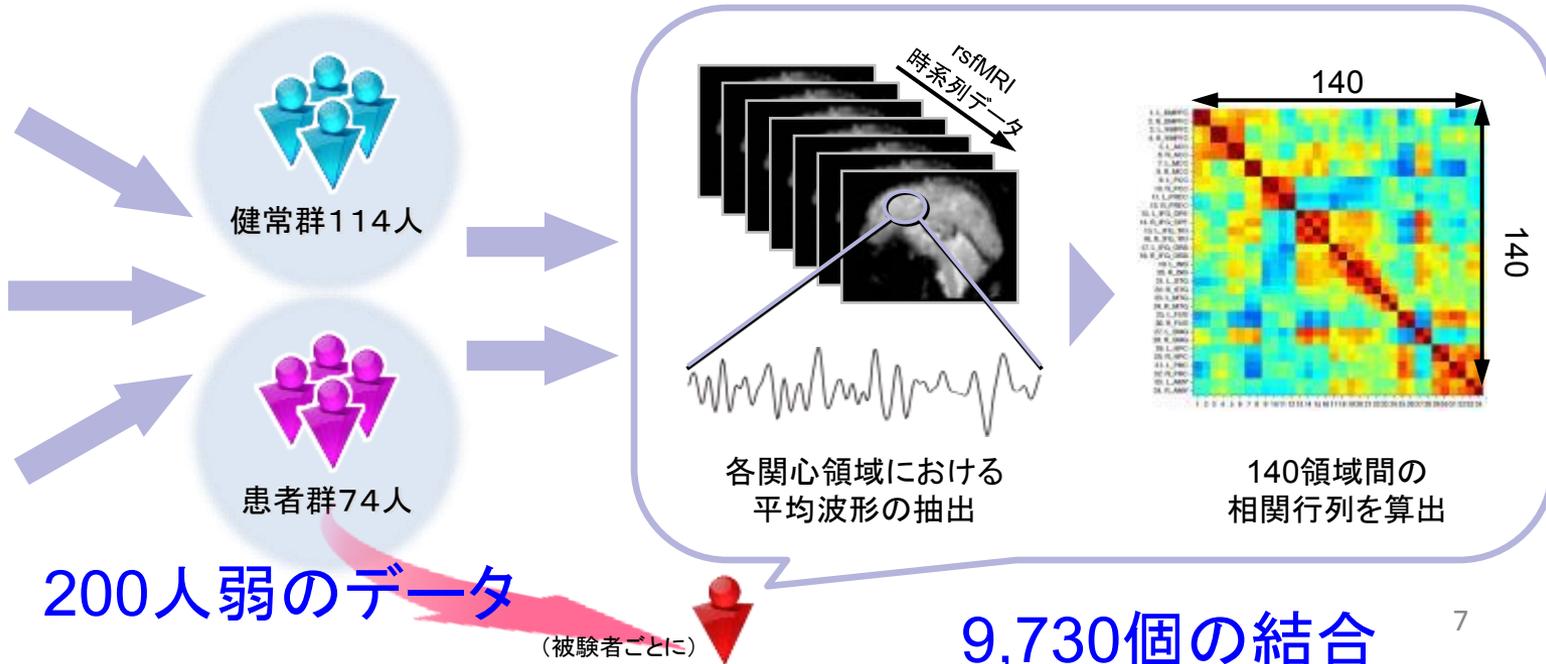
ATR



昭和大



東大



200人弱のデータ

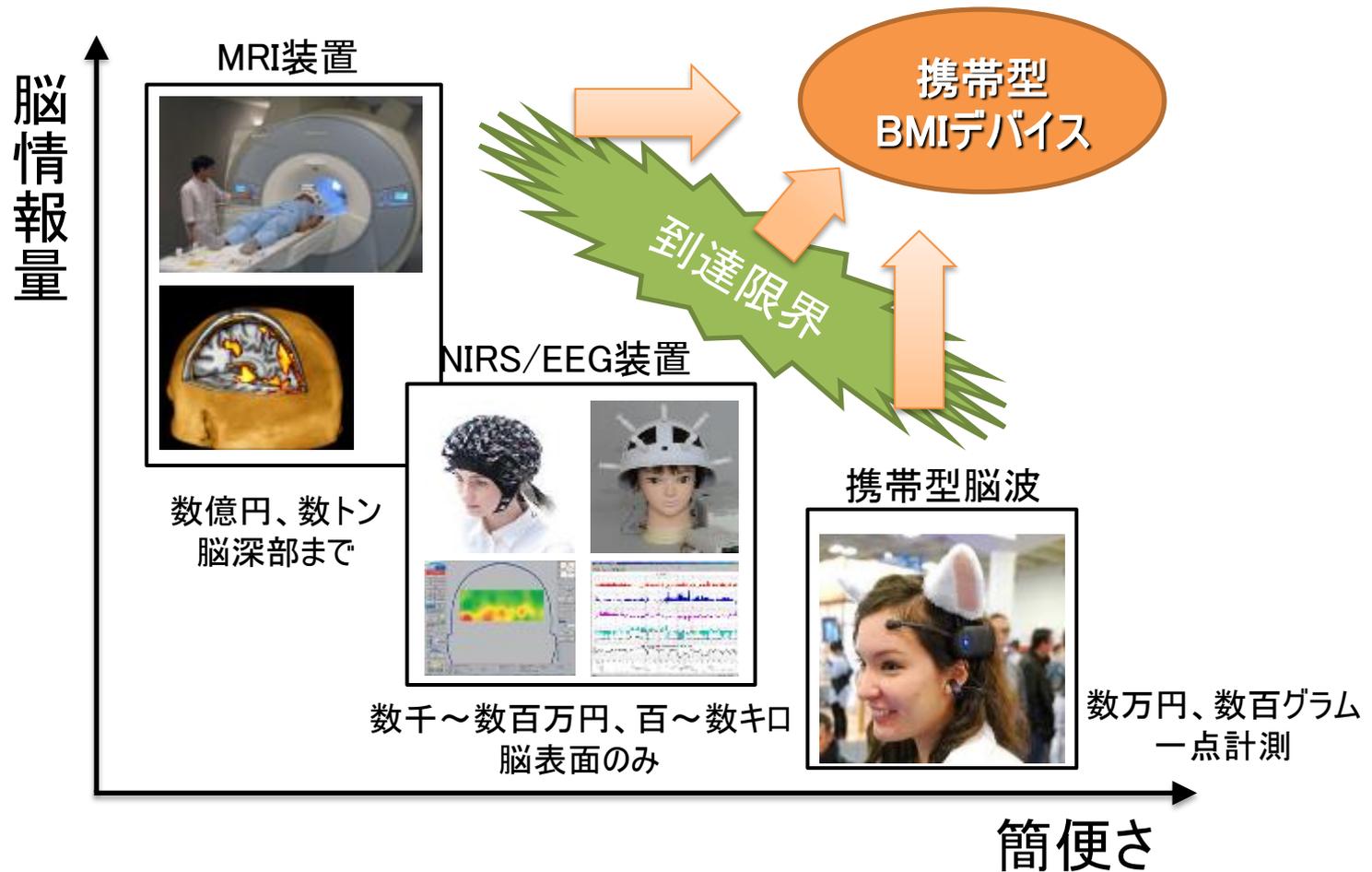
(被験者ごとに)

9,730個の結合



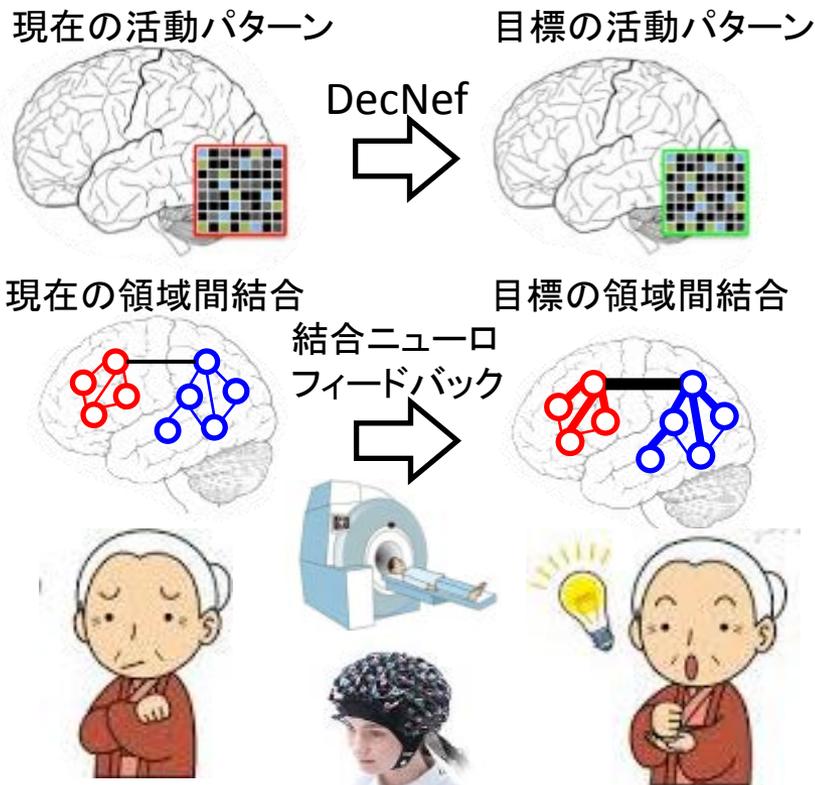
# 非連続なイノベーションのポイント

高価で大型装置を用いた医療・研究利用か、安価で簡易なおもちゃに限られていた従来技術を、簡便でありながらも脳深部の可視化と制御を可能にする携帯型BMIデバイスへ革新させる。

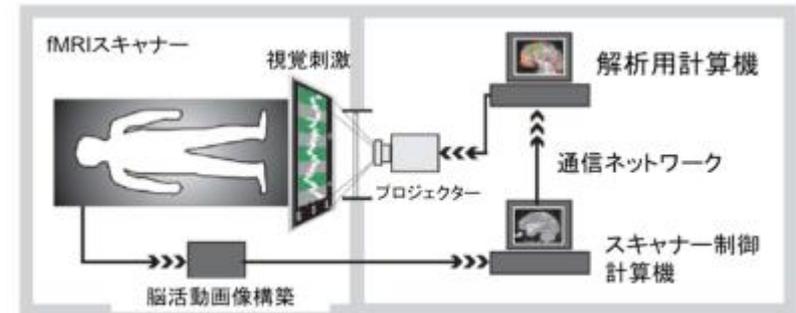


# ①機械学習脳情報推定： 認知能力

- ・ 機械学習推定で、個人の認知・運動機能を左右する脳活動パターンや脳領域間の結合性を特定
- ・ fMRIなど大型装置を使ったニューロフィードバックで、脳活動パターンや結合性を誘導、高齢者の認知・運動機能を回復・維持する原理を検証
- ・ 脳波・光トポなど、携帯型BMIに拡張、社会実証を目指す

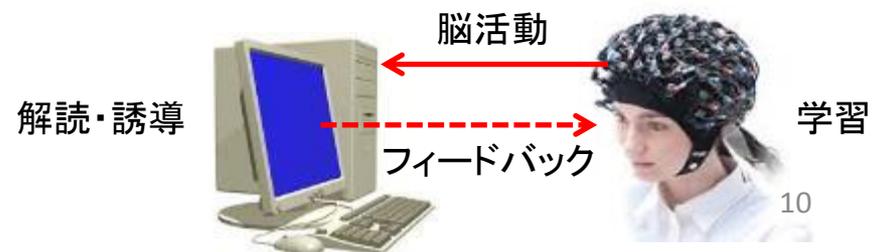


fMRIなど大規模装置で原理検証



原理を応用

脳波・光トポなど携帯BMI装置で社会実証



# ②時空間脳情報解析：情動

日常生活時の脳活動・環境センサデータの同時計測が可能に



BMIハウス  
(総務省委託研究)

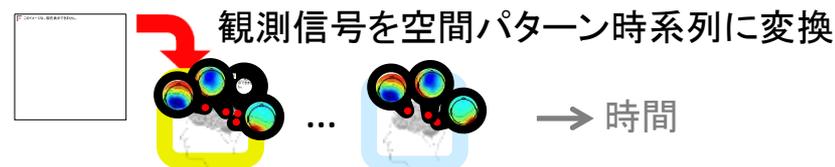
携帯型  
脳計測装置  
(島津製作所・  
慶應義塾大)



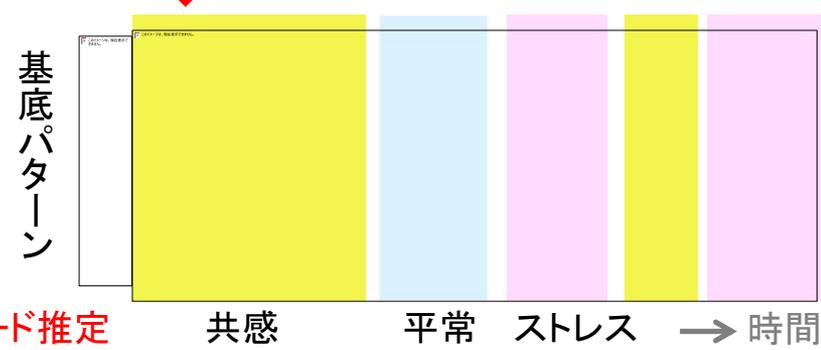
ストレス推測に基づく  
車椅子安心制御  
(総務省委託研究)

EEG-NIRSの空間パターンの  
時系列モデルにより自然な状態  
での脳活動のモード抽出・推定

- ストレスレベル・共感度に相関する脳活動モードの発見
- 日常生活時の情動モードのモニタリング、利用者へのフィードバック



基底パターンを用いた成分表現



# ③高密度脳情報計測：創造力

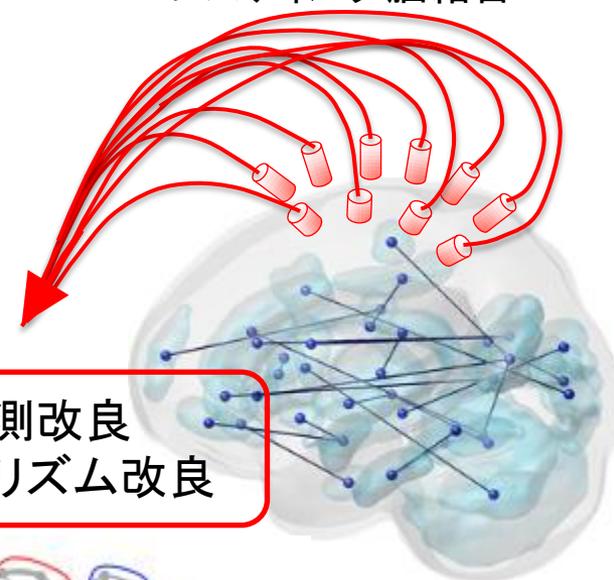
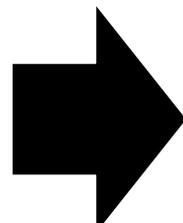
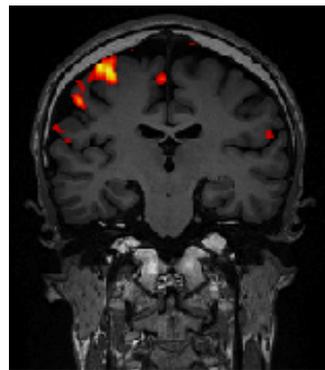
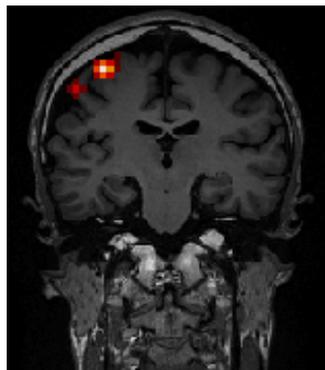
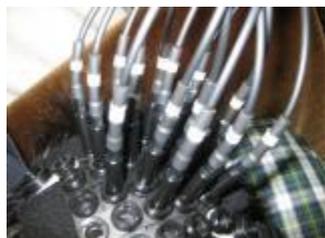
NIRSで**脳活動**を精確に計測可能に

NIRSで**脳結合**を精確に計測し  
脳状態の推定へ

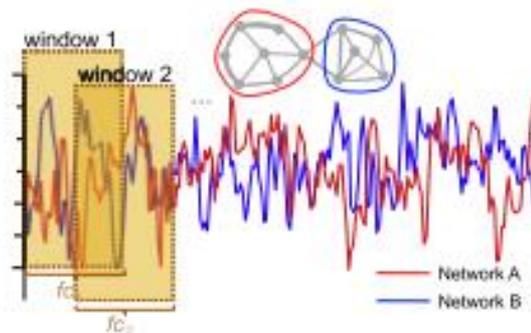
高密度NIRS

fMRI

レスティング脳結合



計測改良  
アルゴリズム改良



脳状態変化

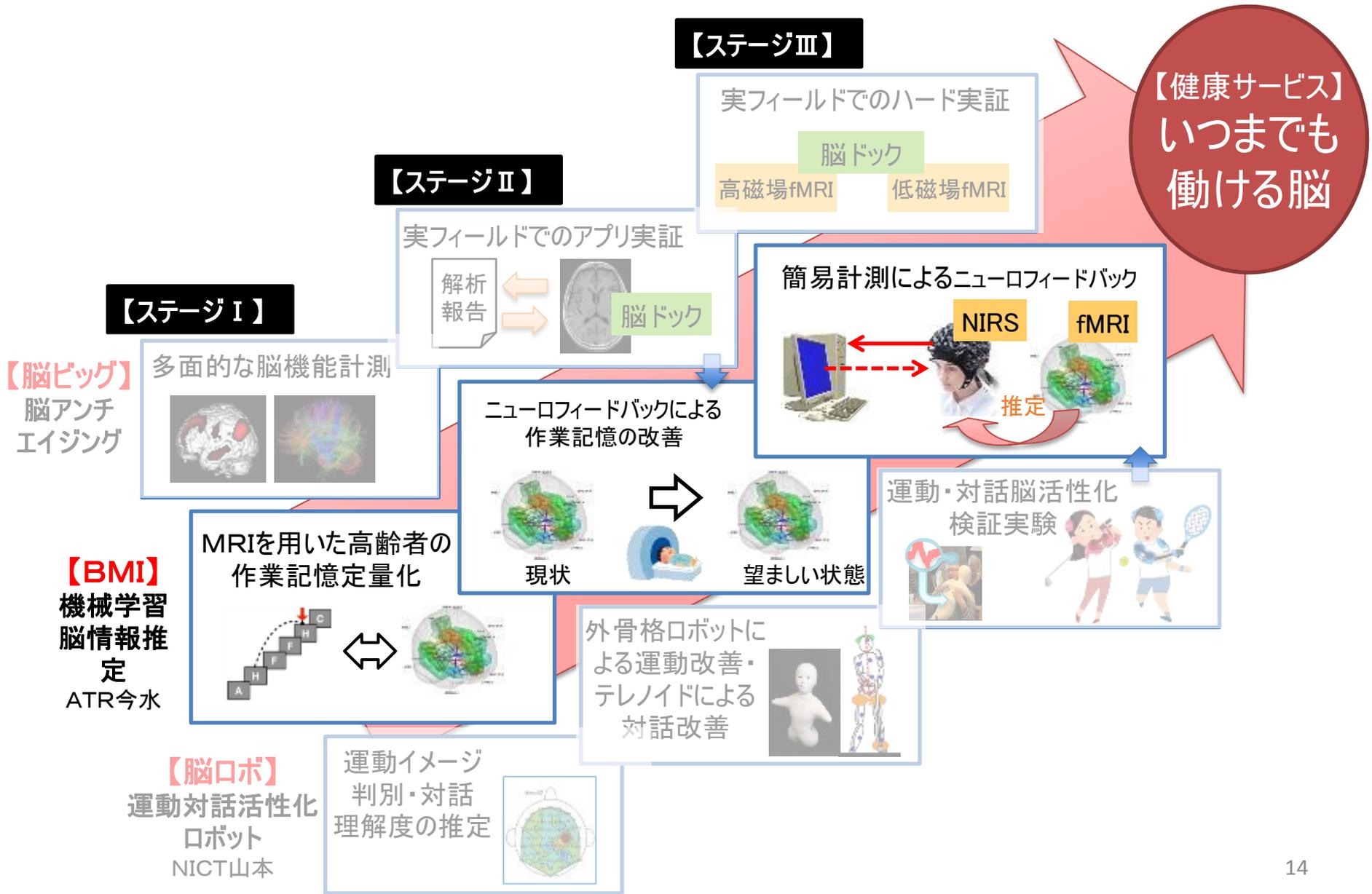
T.Shimokawa et al. Optic Express, 2012  
T.Shimokawa et al. Biomedical Optic Express, 2013  
O.Yamashita et al. JACIII in press

# 機械学習推定を用いた 認知機能の低下の防止と回復

今水 寛

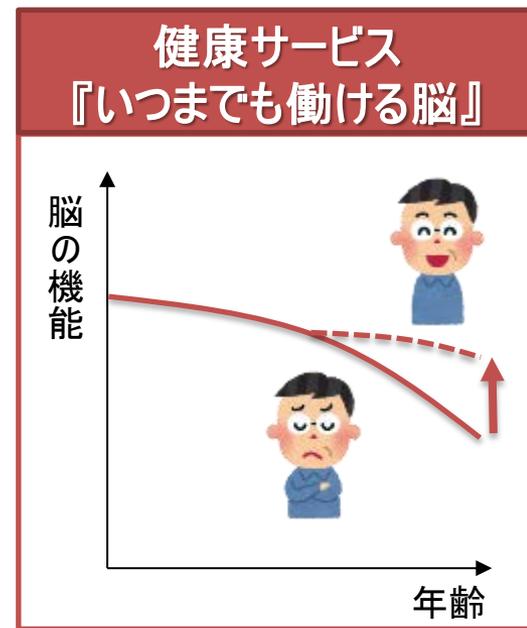
国際電気通信基礎技術研究所(ATR)

# いつまでも働ける脳を目指して



# 背景

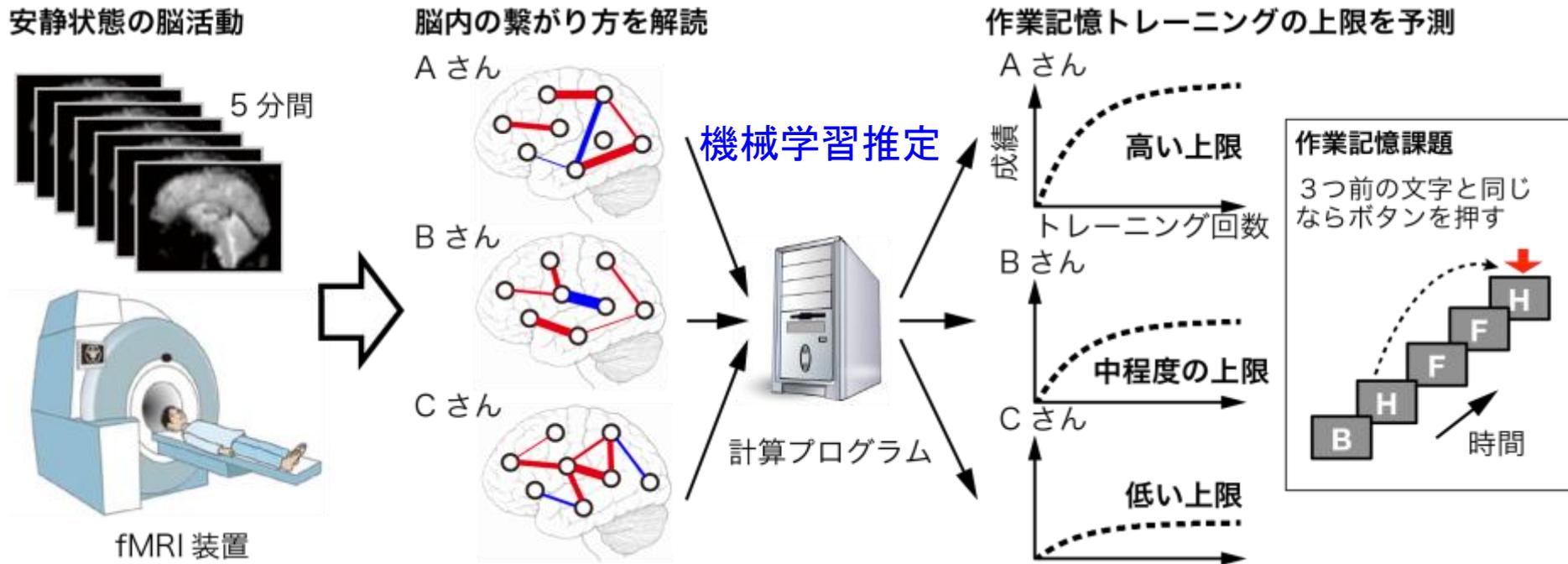
- 医療の進歩 → 身体機能の維持
- 認知機能の維持  
社会で働ける脳を維持する  
高齢化社会で労働人口を確保する
- 脳トレ？  
効果の個人差が大きい  
個人の特性や、低下の原因に合わせたトレーニングを選ぶことが困難



# 基盤技術(1)

## 認知機能の特徴づける脳活動や結合パターン

### 作業記憶の上限をトレーニング前から予測

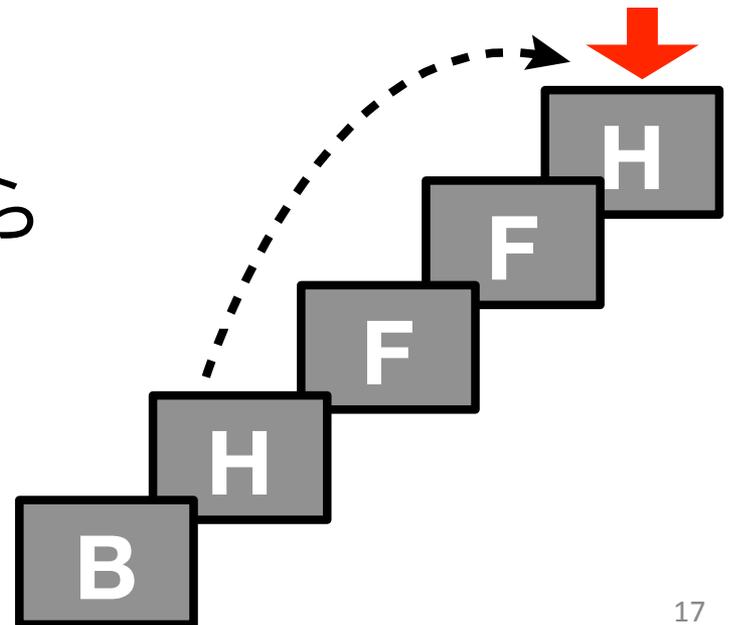


# 作業記憶(ワーキングメモリー)

必要な情報を一時的に保存し、操作する能力

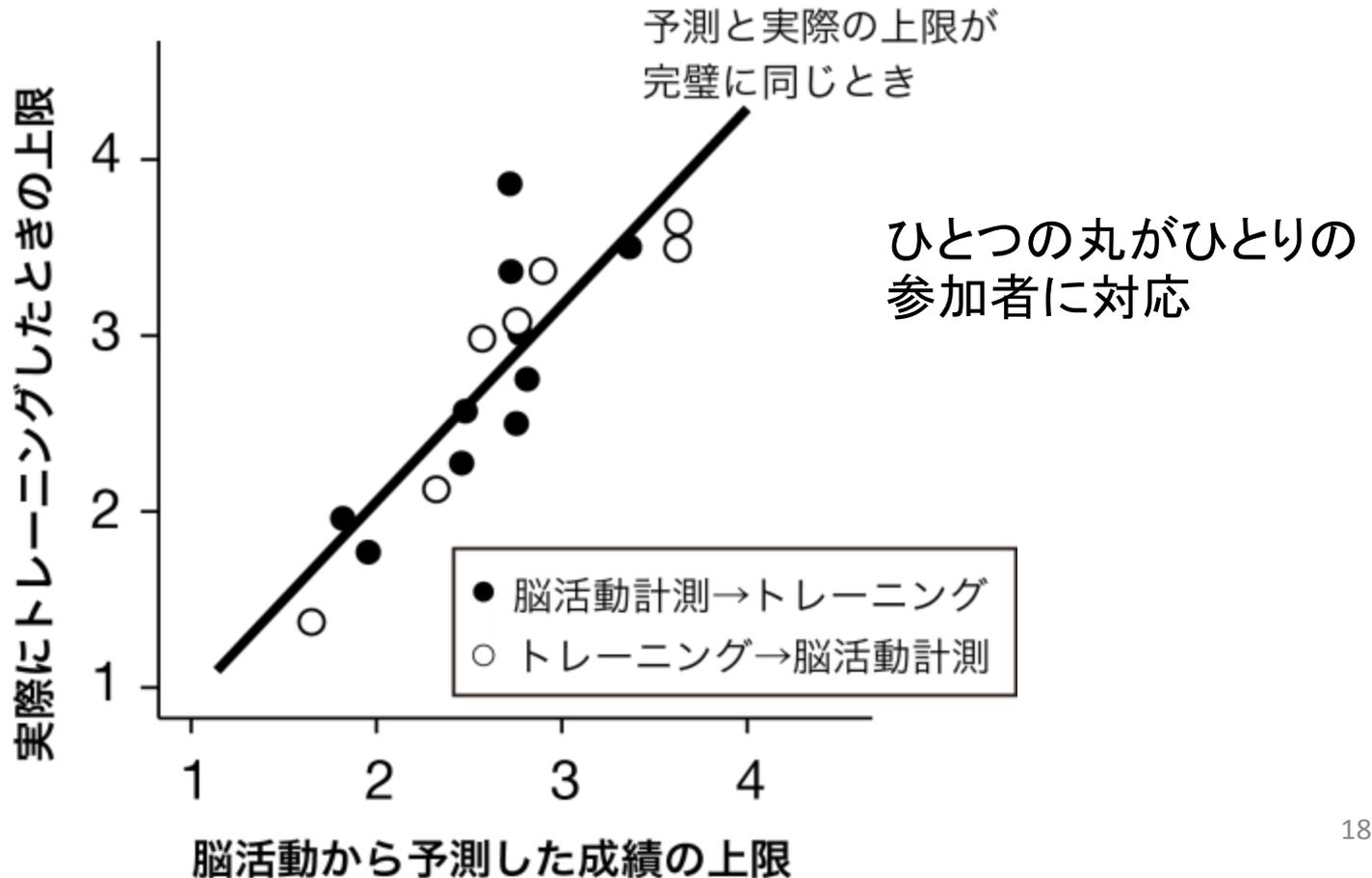
- 電話をかけるまで番号を覚えておく
- 暗算
- 話し言葉の理解

3つ前に現れた文字と同じなら  
ボタンを押す



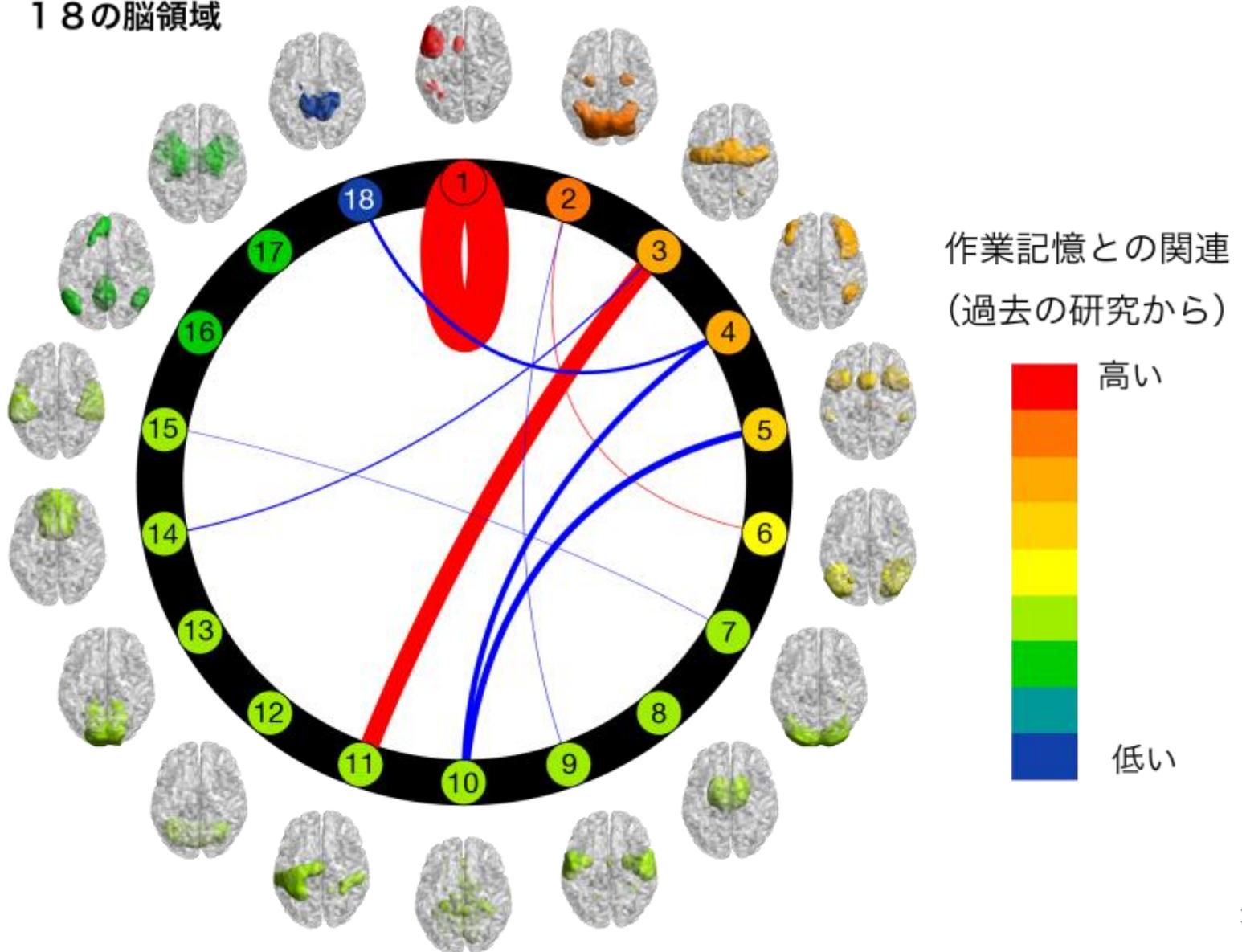
# 予測精度

- 決定係数=0.73
- 予測した上限と実際にトレーニングしたときの上限がほぼ等しい



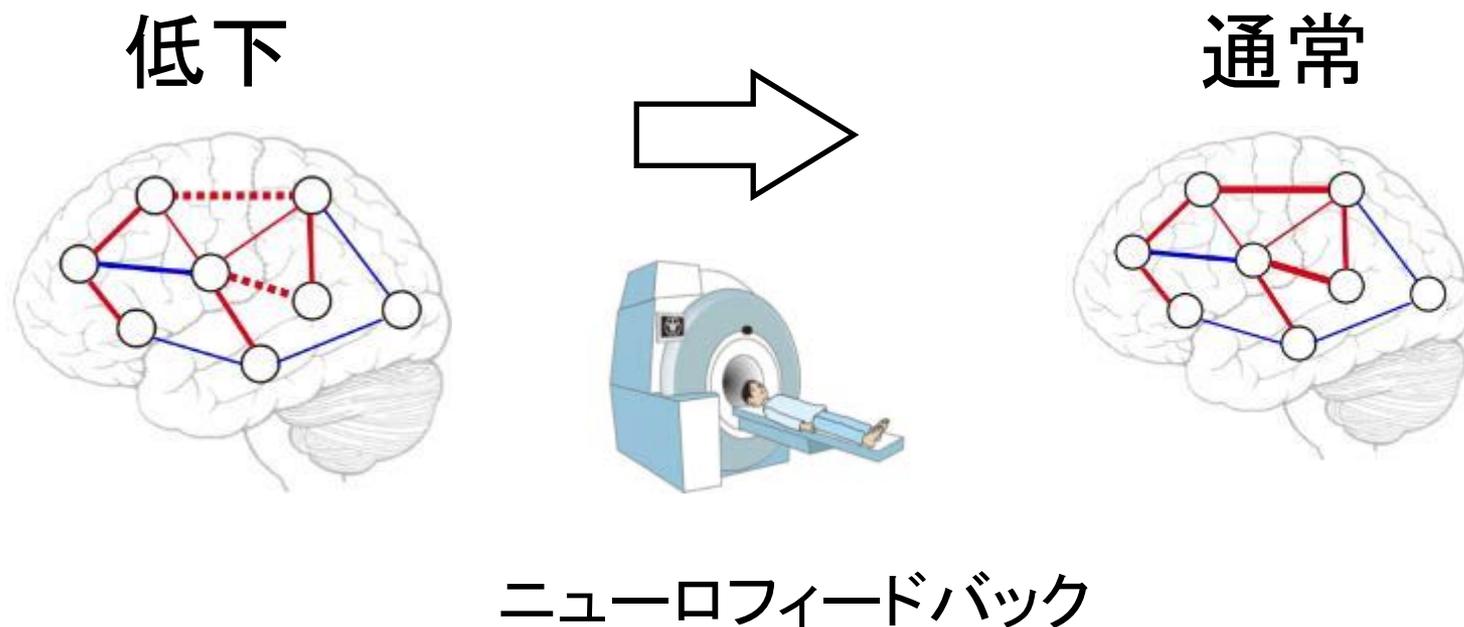
# 予測に重要な繋がり

18の脳領域



# 認知機能の回復と低下防止

- 作業記憶は加齢で顕著に低下
- 低下の原因となっている脳の繋がりを特定
- ニューロフィードバックで、通常に近づける



# 基盤技術(2)

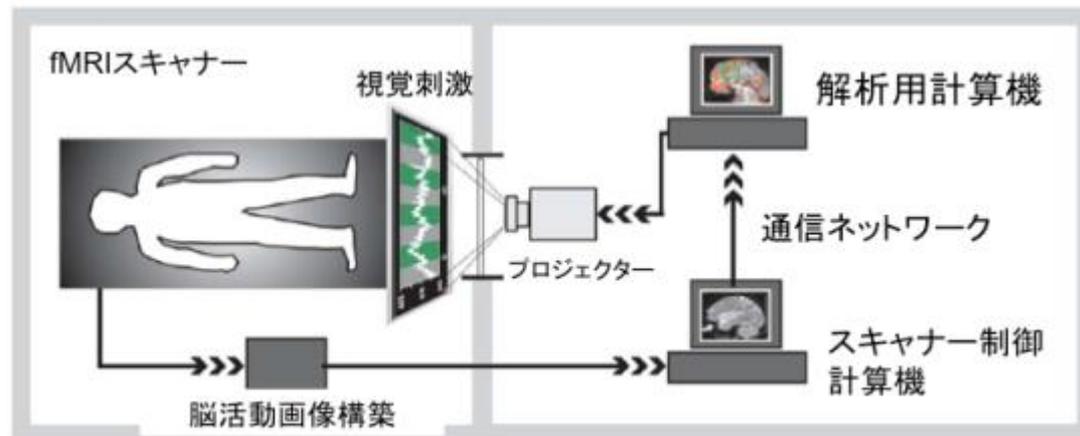
## ニューロフィードバックとは

- バイオフィードバック

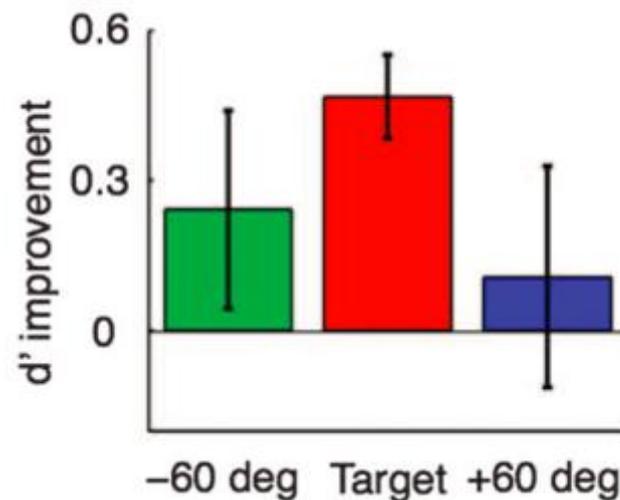
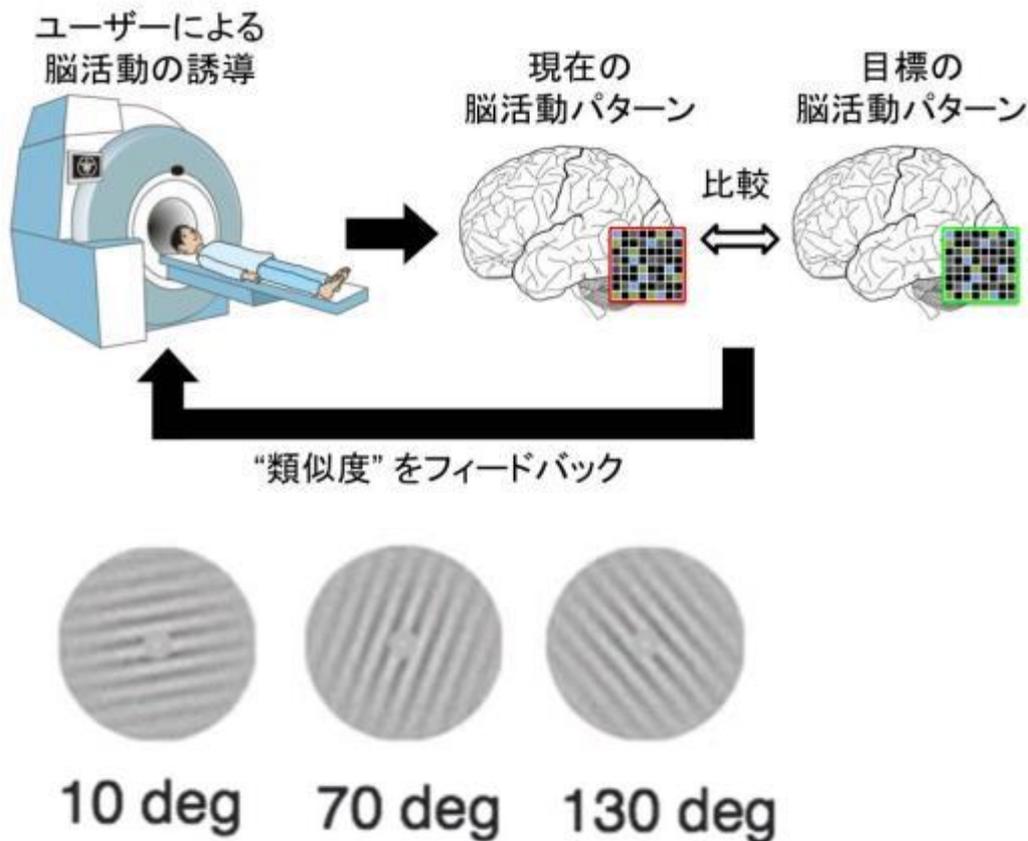
生理指標(心拍, 発汗など)を, 光や音などの感覚刺激に変換, ヒトが知覚できるようにしてフィードバック

- ニューロフィードバック

脳活動(脳波, fMRI, 脳磁図など)を感覚刺激に変換してフィードバック



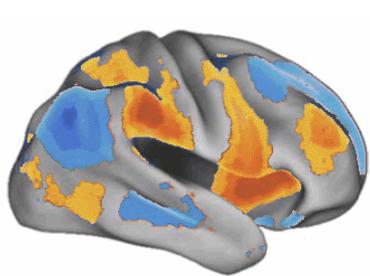
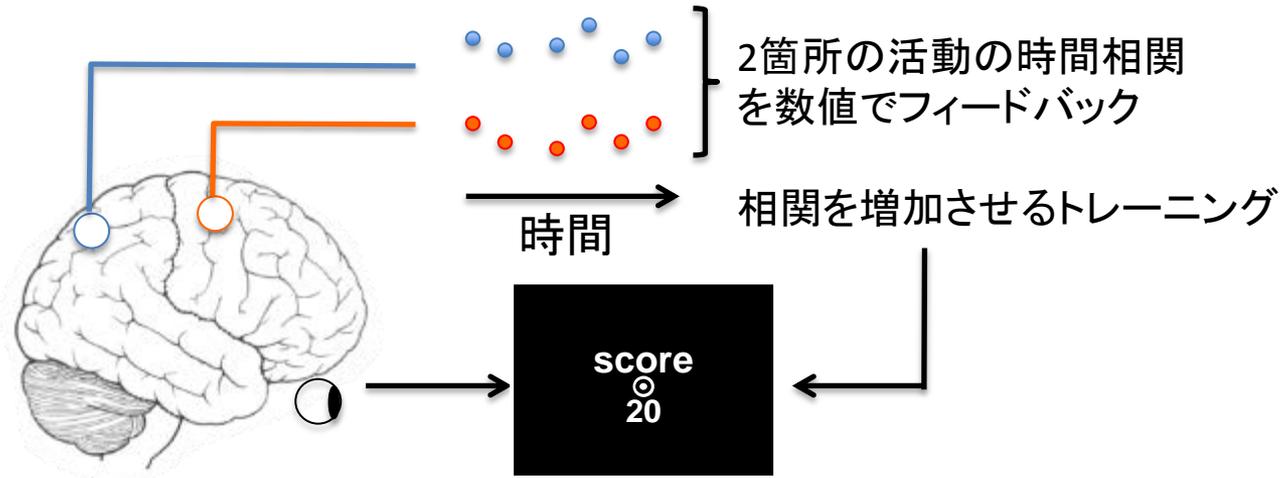
# ATRのニューロフィードバック技術 デコーデッド・ニューロフィードバック



Shibata K, Watanabe T, Sasaki Y, Kawato M. (2011) Perceptual learning incepted by decoded fMRI neurofeedback without stimulus presentation. Science. 334(6061):1413-5<sub>2</sub>

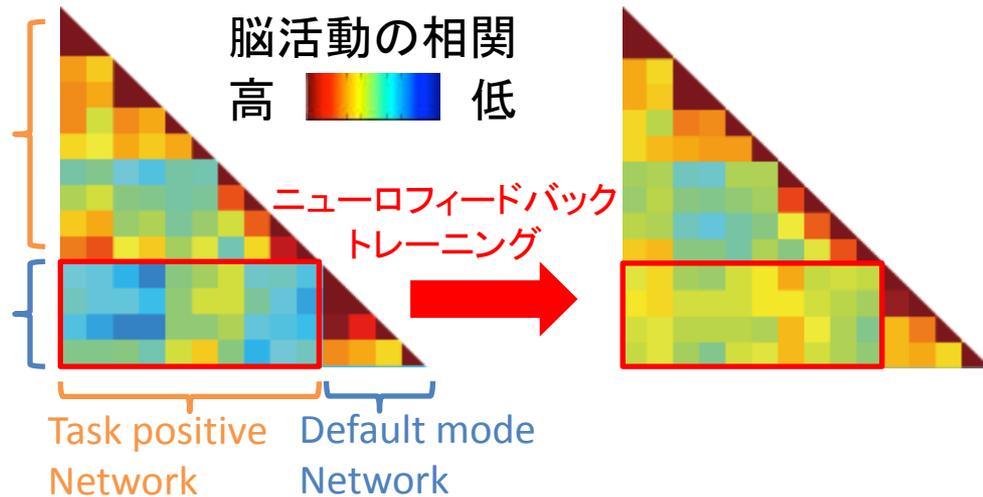
# 結合ニューロフィードバック

- 脳領域間の結合性を変化



Task positive Network

Default mode Network



# 機械学習推定を用いた認知機能の低下の防止と回復

## 携帯型BMIによる作業記憶低下防止システムのプロトタイプ開発と社会実装



ATR 今水所長

ステージ3  
ステージ2  
ステージ1

携帯型BMIへの技術移植

4千円以上の支払い意向の達成



脳活動の推定

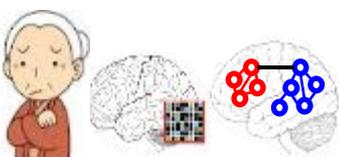


推定脳機能  
フィードバック

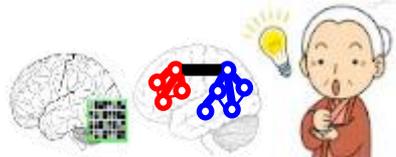


運動対話  
活性化ロボットとの連携

大型装置におけるニューロフィードバック技術開発



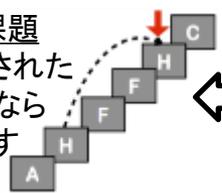
DecNef・結合NF



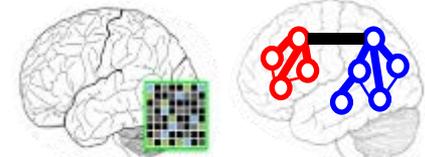
脳アンチエイジングとの連携

個人の作業記憶を左右する脳活動や結合パターンの特定

作業記憶課題  
3つ前に示された文字と同じならボタンを押す



脳機能の推定



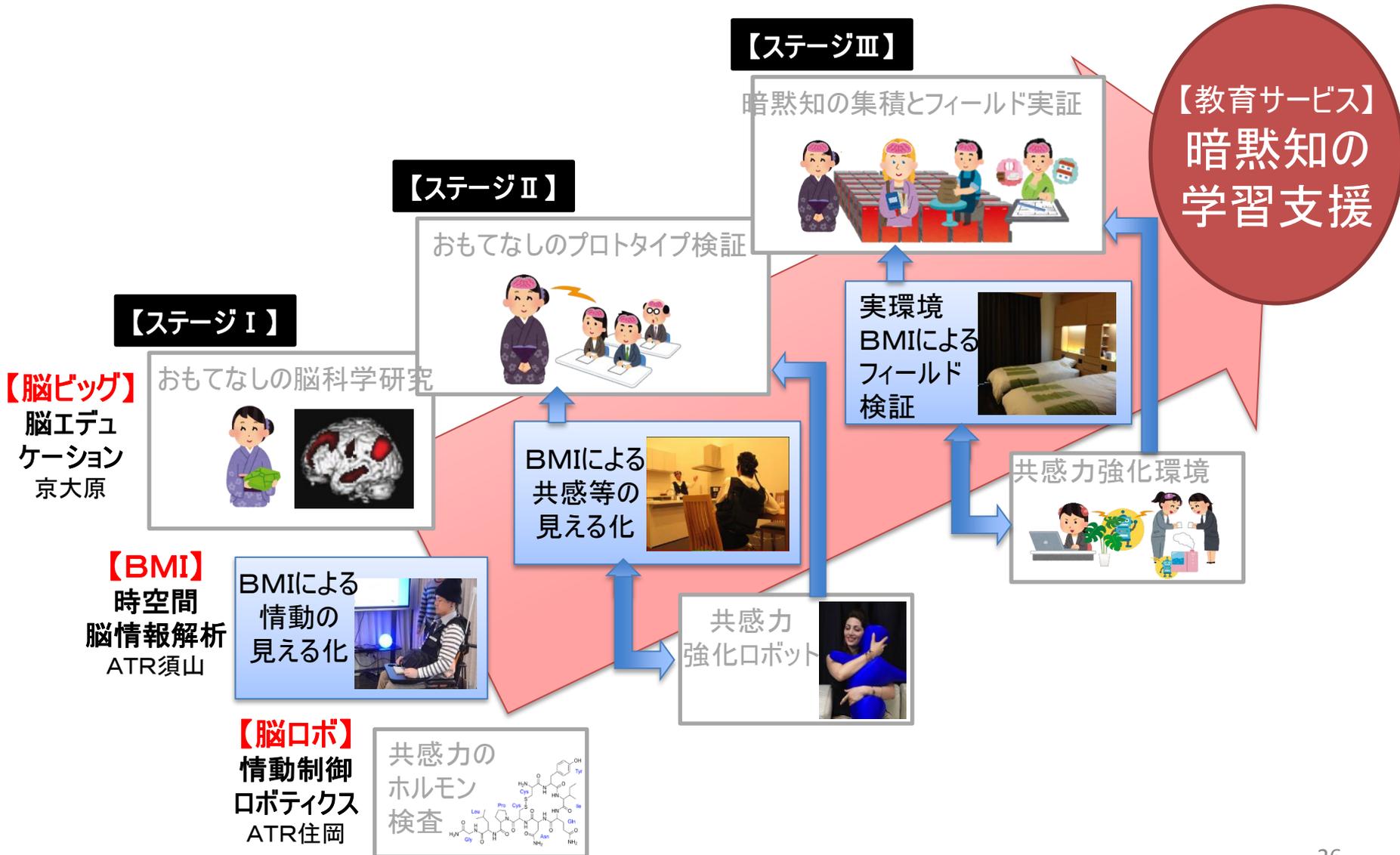
活動パターン 結合パターン

機械学習推定技術・ニューロフィードバック技術  
【ATR今水】

**ImPACT**  
**携帯型BMI**  
**時空間脳情報解析**

2015年2月4日  
ATR 認知機構研究所  
須山 敬之

# 暗黙知の学習を目指して



## 背景 (情動)

- ヒトの適応にとって重要な心理生理学的な機能
- 生体にとってよいこと/悪いことが起きたときに生じ、環境に適応するための行動を促進
- 情動の種類によって、他者や環境へのアプローチが変化

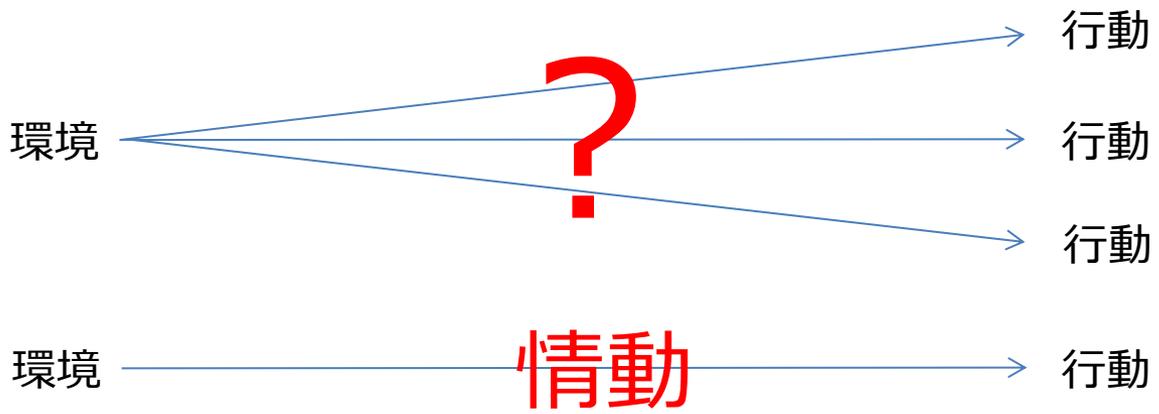
恐怖	—	逃走
怒り	—	攻撃
退屈	—	気分転換
喜び	—	感謝
楽しみ	—	継続

など

- 情動を解読することで、環境に対するヒトの行動や態度を予測できれば、それに基づく産業や日常場面でのフィードバックが可能

# 環境の変化に対する行動の選択肢は多数

- 情動状態を考慮することで行動の予測精度が向上
- 情動状態を考慮したフィードバック、環境制御(空調、照明など)が可能



- 行動予測の例： 難しい課題を与えられた時
- ・ 興味がある・楽しい ⇒ 課題を積極的にこなす
  - ・ 興味がない・つまらない ⇒ 課題に対して消極的・サボる

# ブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)を実験室から一般の生活環境へ

実験室でのBMI



一般の生活環境でのBMI



日常生活での簡単な動作・方向・感情を脳情報を読み取ることで機器に伝え、「いつでも、どこでも、だれでも」利用可能なBMIへ

**これまでに住宅内の移動支援機器（電動車いすの地点間移動）  
生活機器（家電）の制御、情動の提示に成功**

# ネットワーク型ブレイン・マシン・インターフェース

## 1. 携帯型脳活動計測装置

- 小型軽量化、取り外しの容易化により日常的・継続的な利用を可能に

## 2. ネットワークエージェント基盤技術

- 利用者の利用形態・状況に応じてクラウドアクセスを可能とするネットワークプラットフォーム

## 3. 実環境実験設備 (BMIハウス)

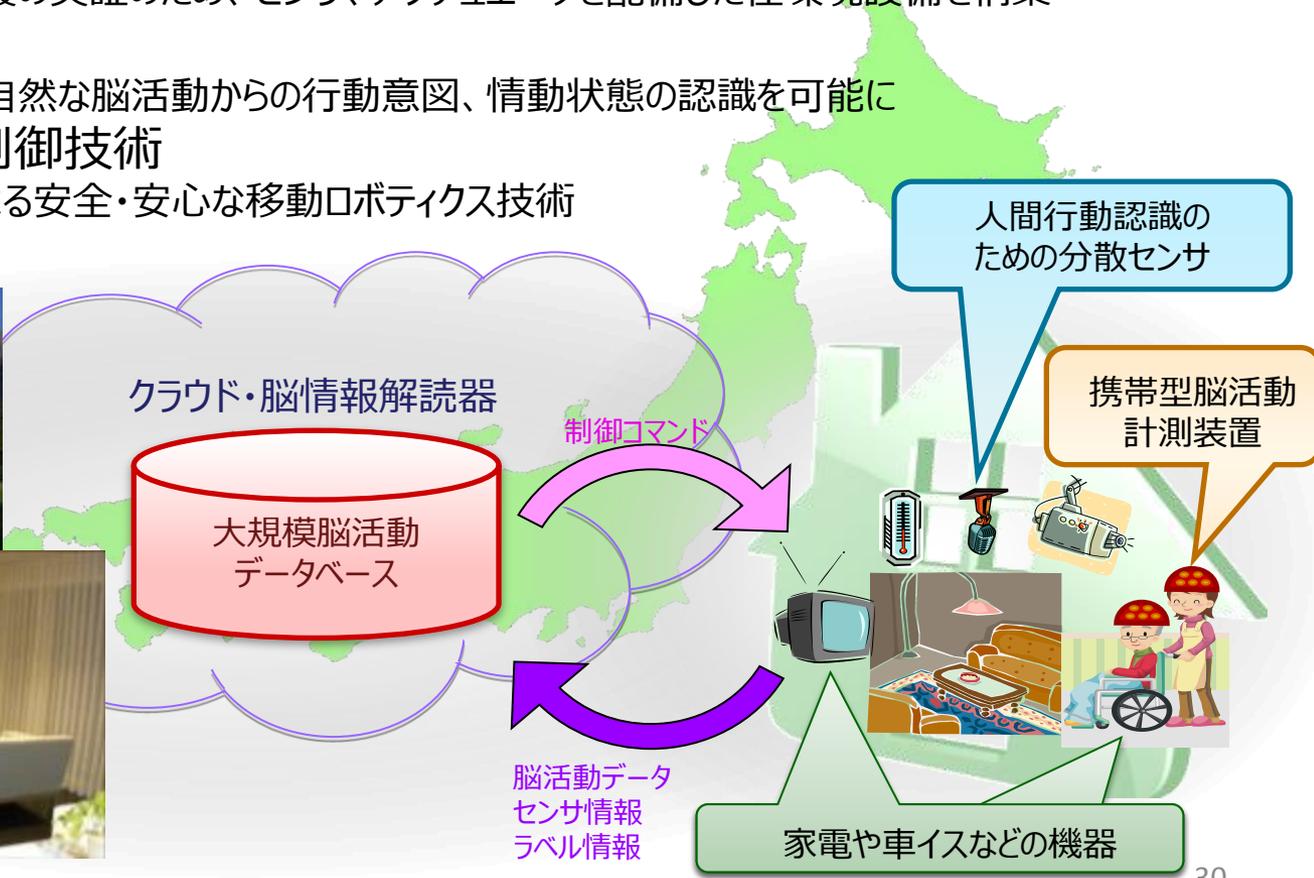
- 日常生活時のBMI支援の実証のため、センサ、アクチュエータを配備した住環境設備を構築

## 4. 脳情報解析技術

- データベースに基づき、自然な脳活動からの行動意図、情動状態の認識を可能に

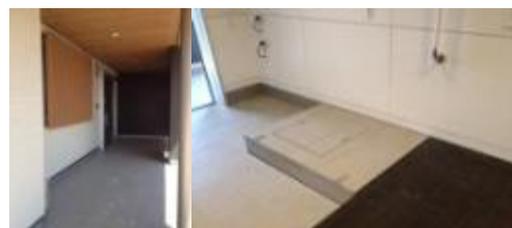
## 5. 移動支援機器の安全制御技術

- 環境センサとの連携による安全・安心な移動ロボティクス技術



# BMIハウス

- 日常生活での脳活動と環境情報 (センサ情報)を同時に計測
- 家電、カーテンなどをコントロール



玄関 (段差解消機)



浴室とトイレ



照明



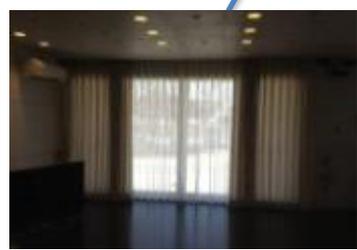
電動ドア



寝室 (照明, 空調, BGM)



キッチン



電動サッシ



水平トランスファー (寝室⇄浴室)

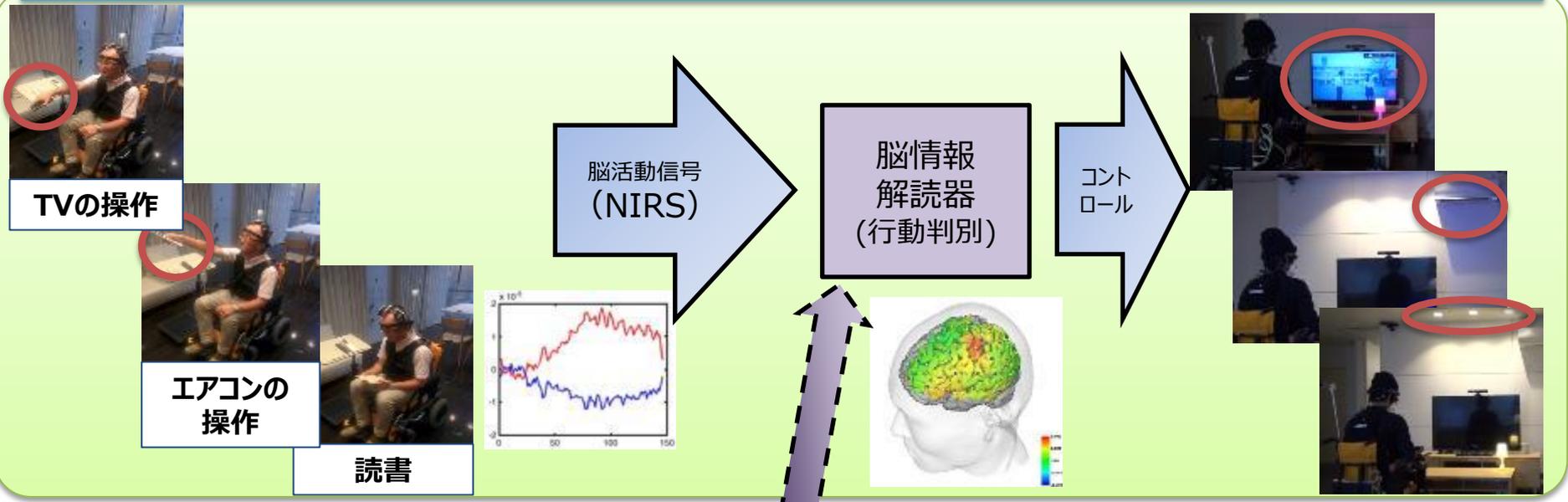


洗面台

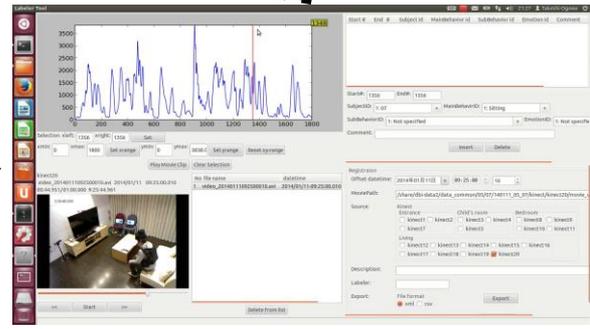
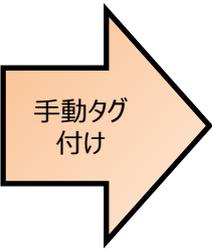


# 上肢運動時の脳活動に基づく生活支援

- 上肢がある程度動かせる方が対象
- NIRSによる脳活動計測の解析より3種類の行動を識別
- 環境状態をコントロールし、充実した生活を支援



日常生活時脳活動長時間計測 (26.5時間)

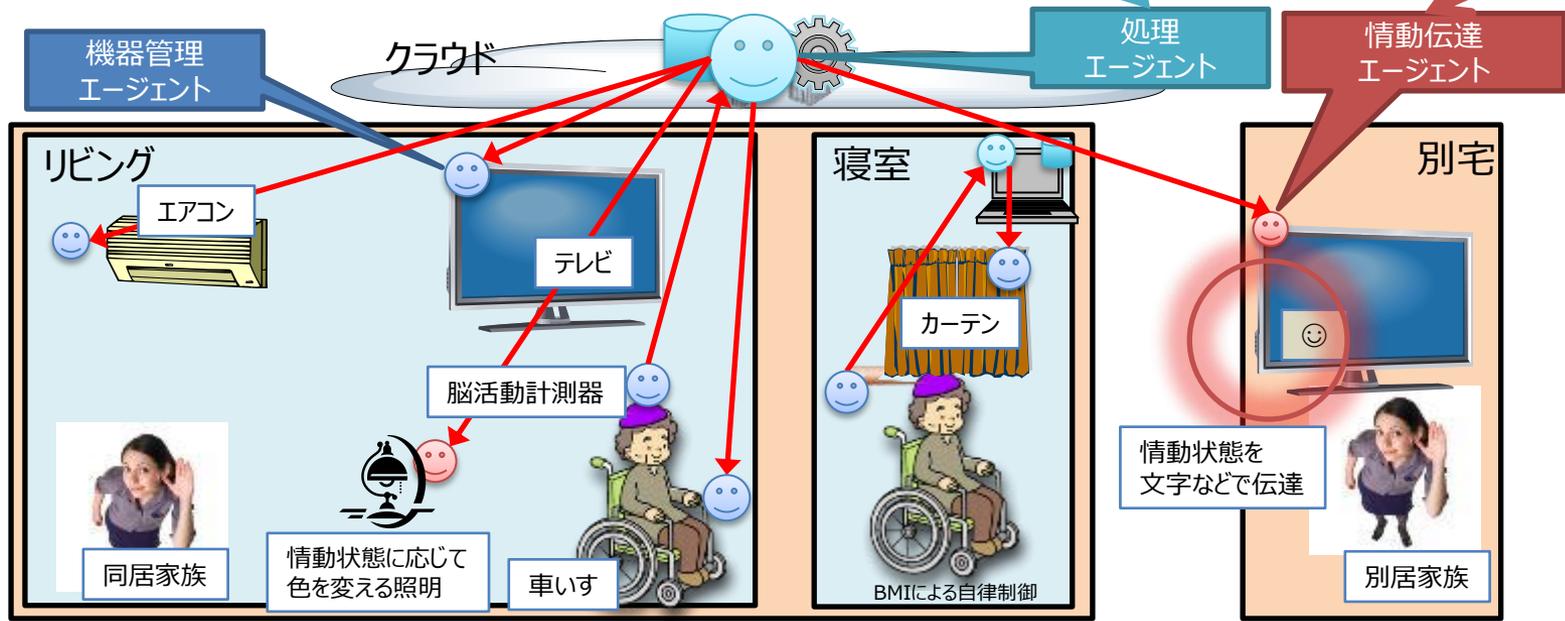
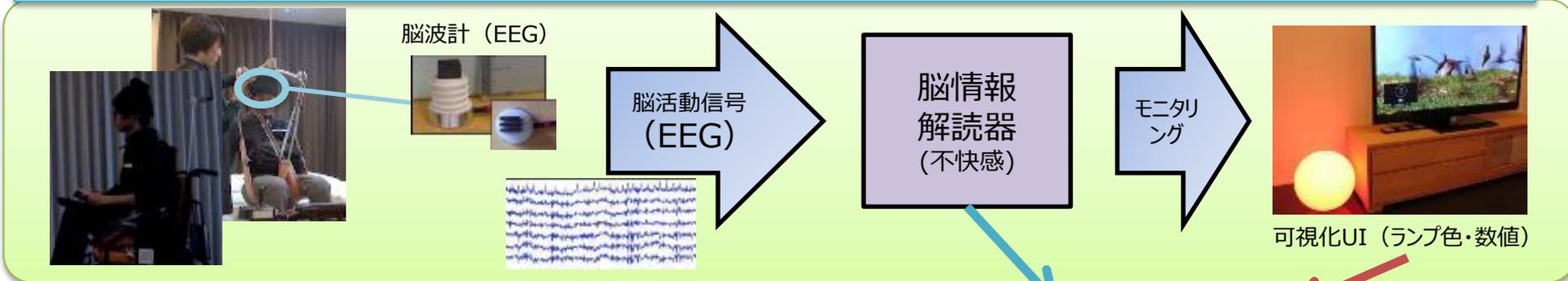


タグ付き脳活動データベース (計13.2TB)

- 大規模データベース解析の成果をBMIシステムに利用
- BMIの利用可能性の拡張

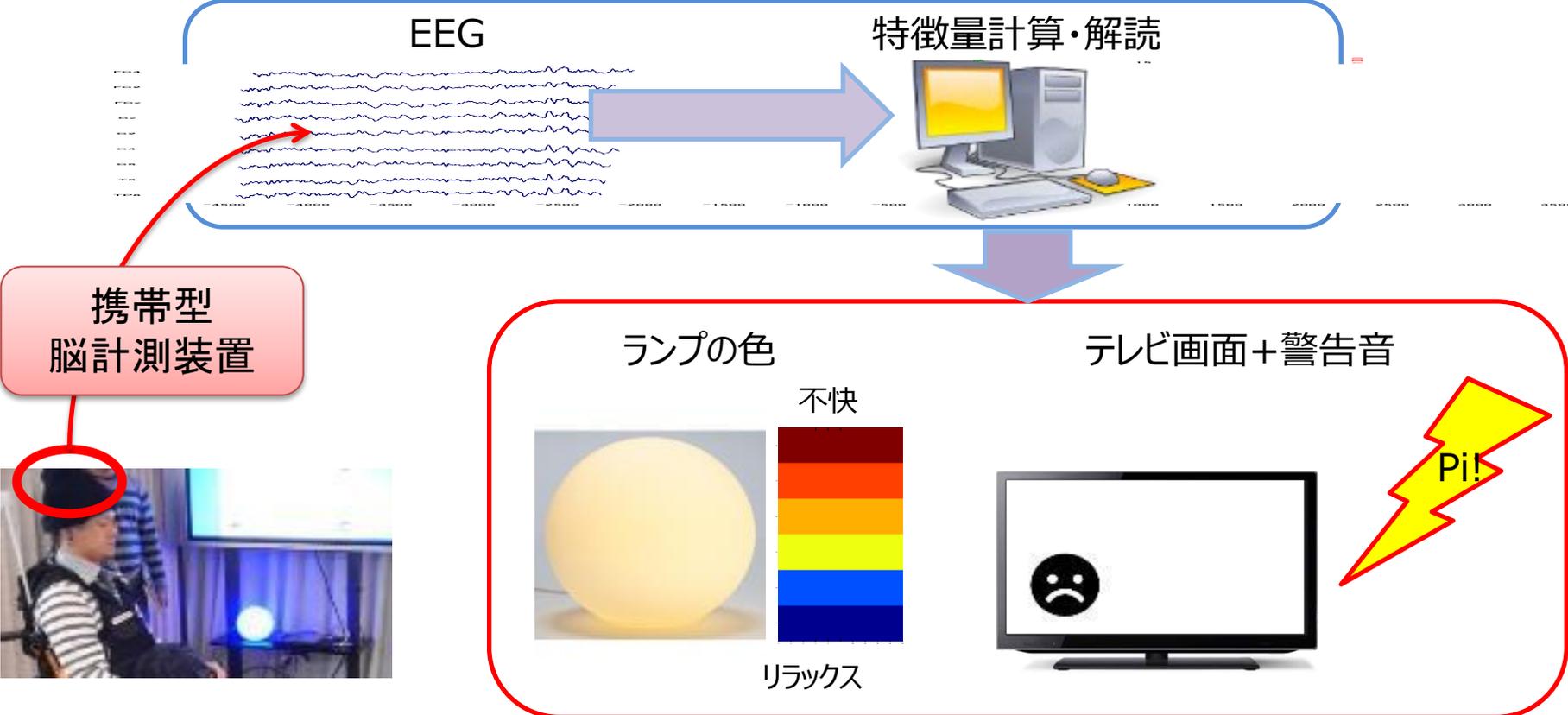
# 脳波(EEG)からの情動状態の検出

- EEGからの自然な脳情報の解析により利用者の不快感などの情動状態を検知
- 情動状態を介助者に伝えるなど情動コミュニケーションに基づく生活支援
- データベース化により利用可能性の拡張を継続実施中

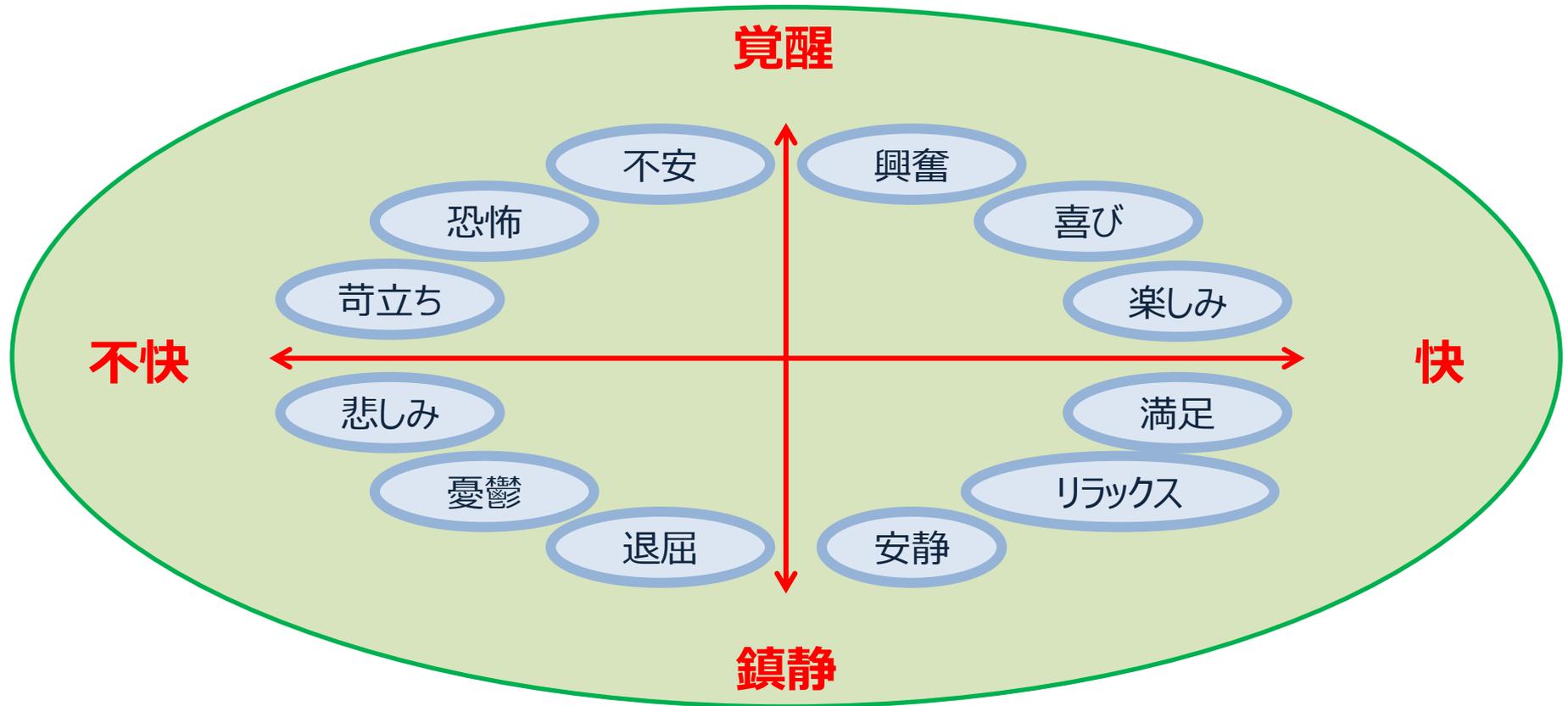


# 情動状態解読

■ 概要：実環境で取得した携帯型脳計測装置(EEG)のデータからユーザーの不快感を解読し，視聴覚情報でオンラインで他者に知らせるインターフェースを開発



# コア感情



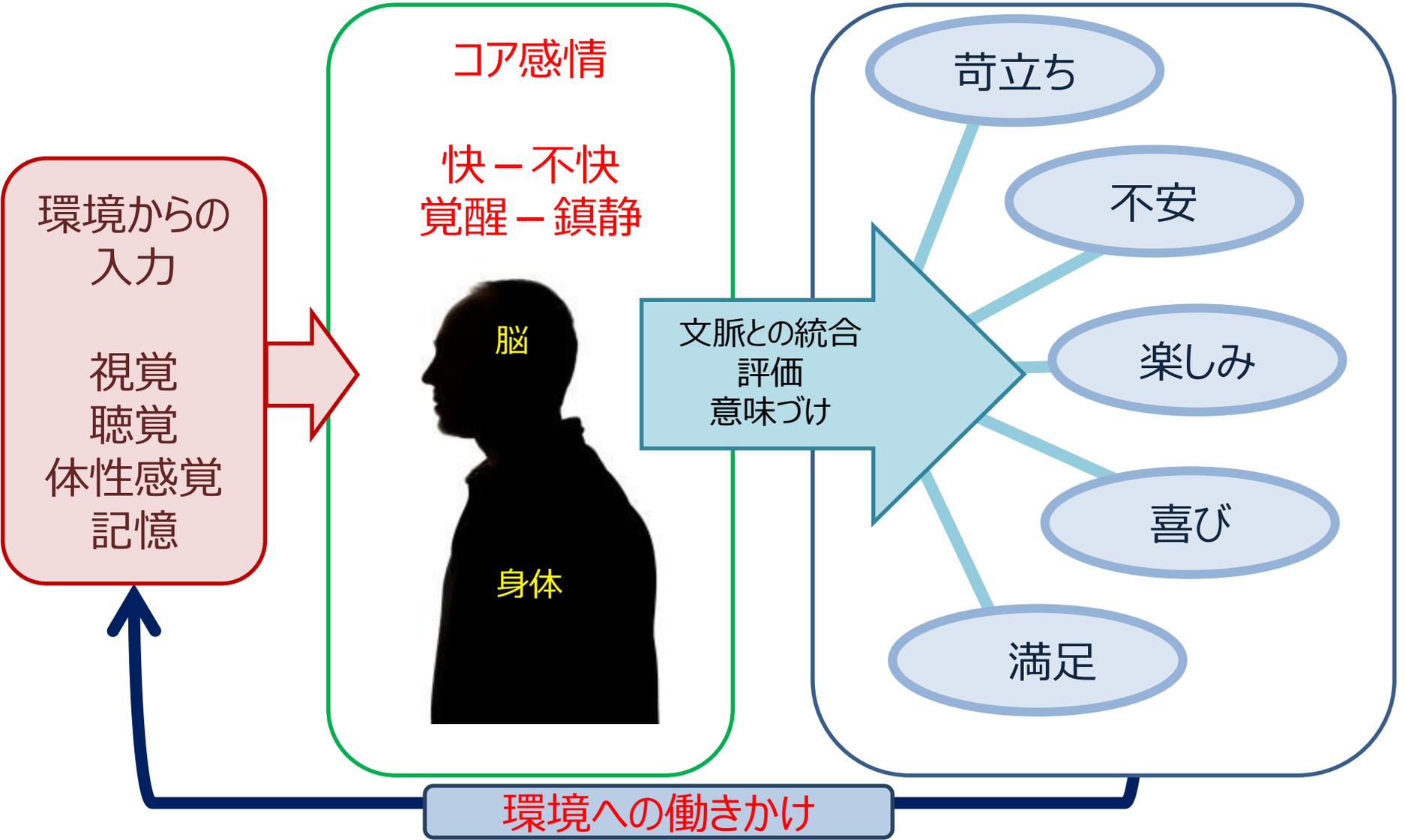
コア感情は、**覚醒－鎮静**と**不快－快**の二つの次元から構成される

Russell (1980)

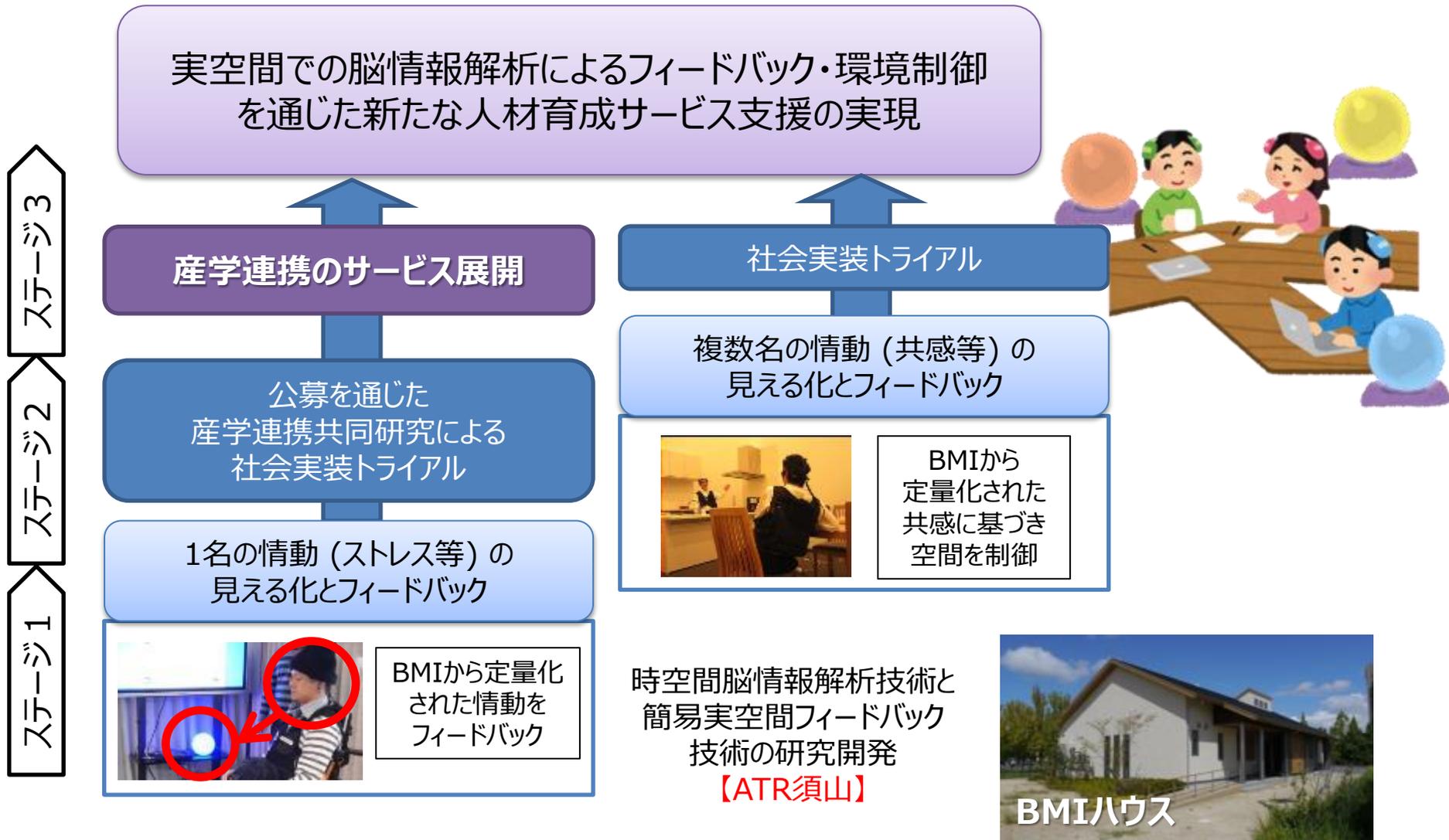
コア感情は**脳の神経ネットワーク**で表現されている

Lindquist et al. (2012); Wyczesany & Ligeza (2014)

# 感情の生起過程



# 時空間脳情報解析Gの研究開発全体イメージ

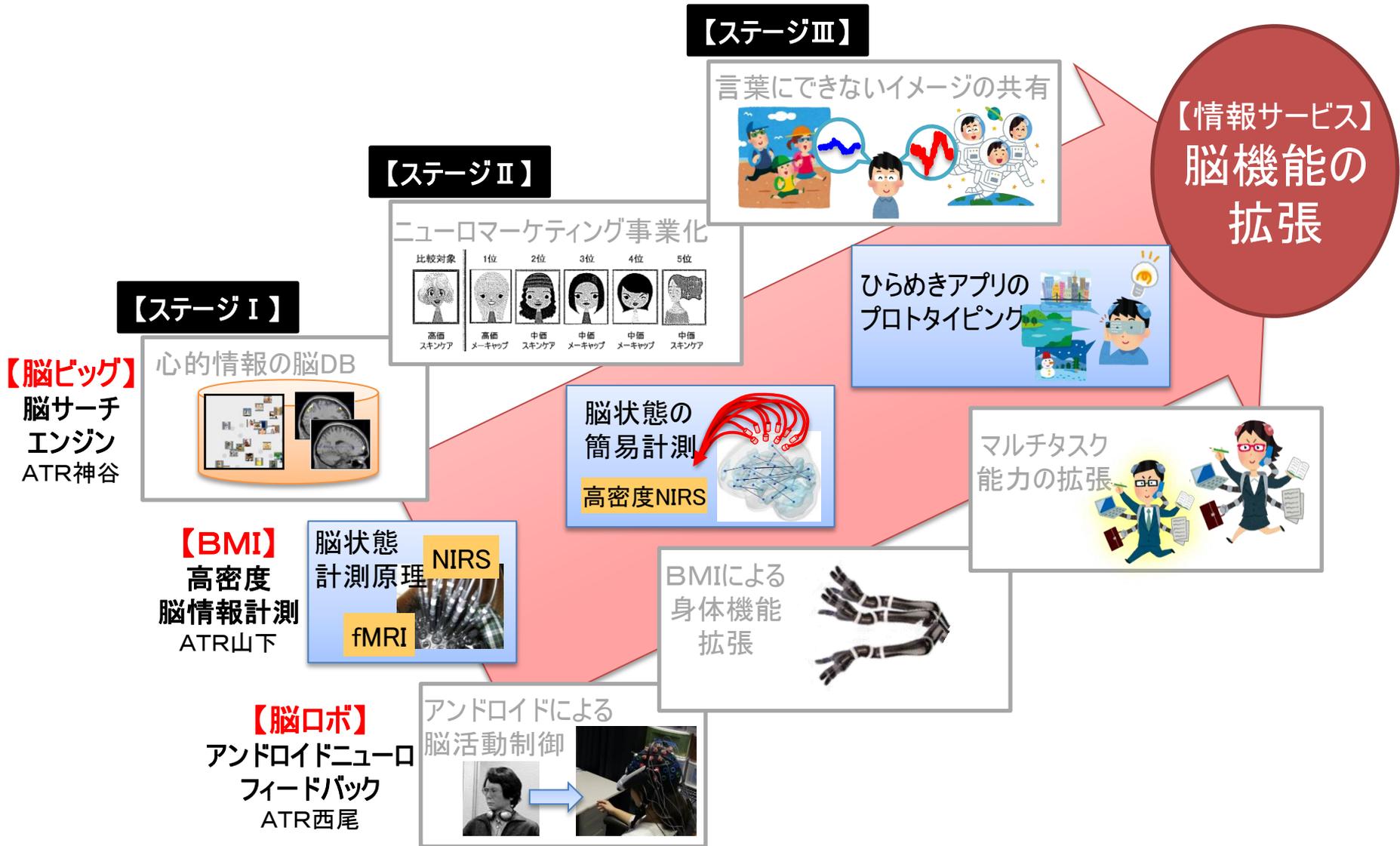


ImPACT 脳情報の可視化と制御による  
活力溢れる生活の実現  
キックオフシンポジウム

「高密度光脳計測による  
ひらめき脳状態の可視化」

ATR脳情報解析研究所  
山下 宙人

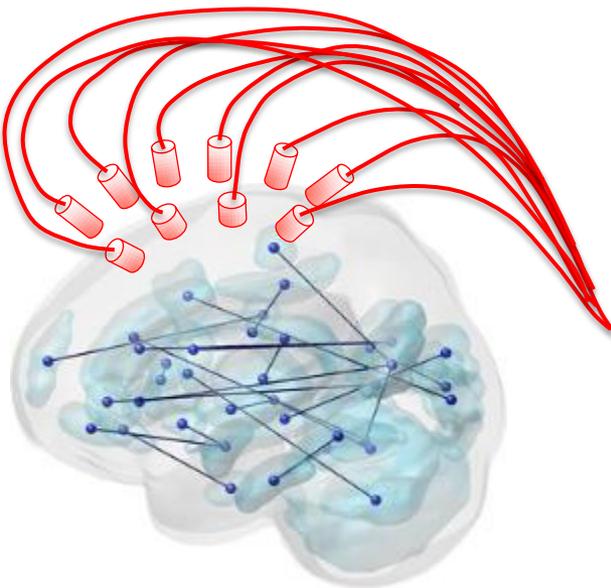
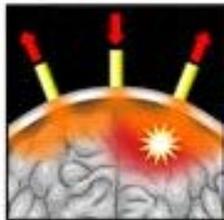
# 脳機能の拡張を目指して



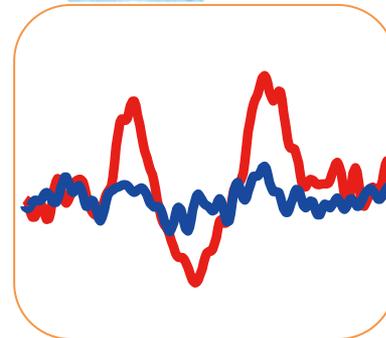
# 研究開発概要

## 高密度光脳計測による“ひらめき”脳状態の可視化

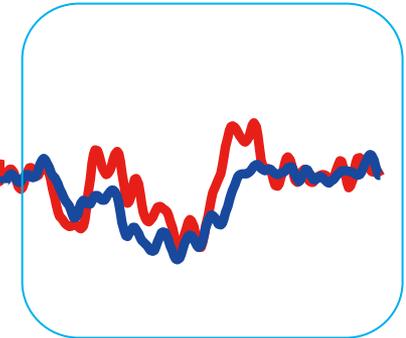
課題2: 高密度NIRSによる  
精確な脳結合計測法



課題1: 脳状態推定法の開発



洞察的状态

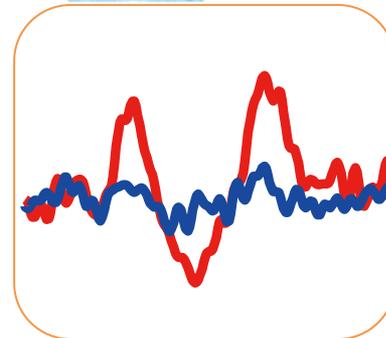


注意散漫状态

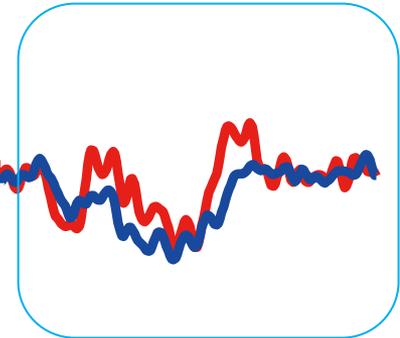
# 研究課題1

## 脳状態推定法の開発

課題1: 脳状態推定法の開発

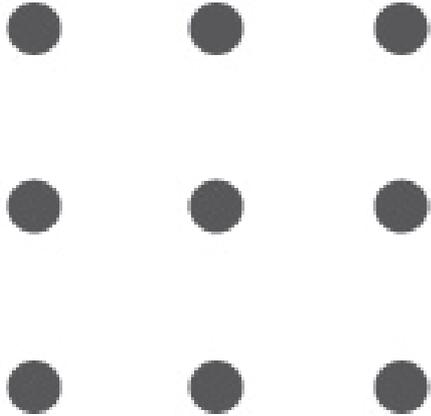


洞察的状态



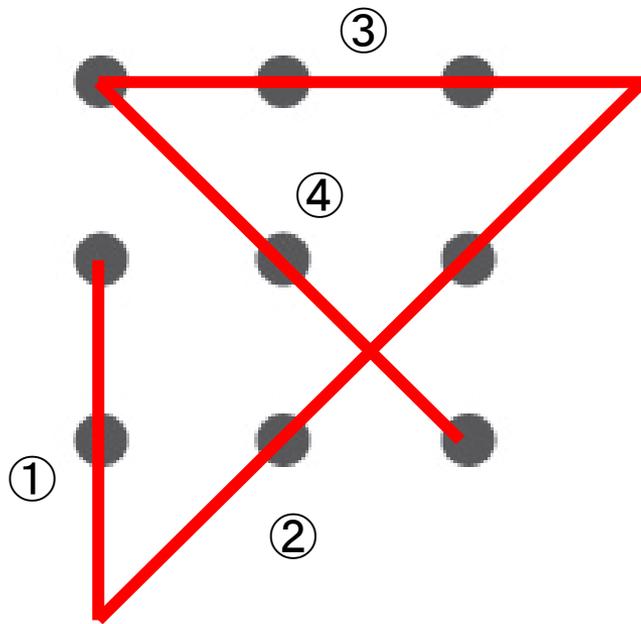
注意散漫状态

# 洞察的問題解決 (insight problem solving)



筆先を上げないで、  
全てのドットを通るように  
4本の直線を引いてください。

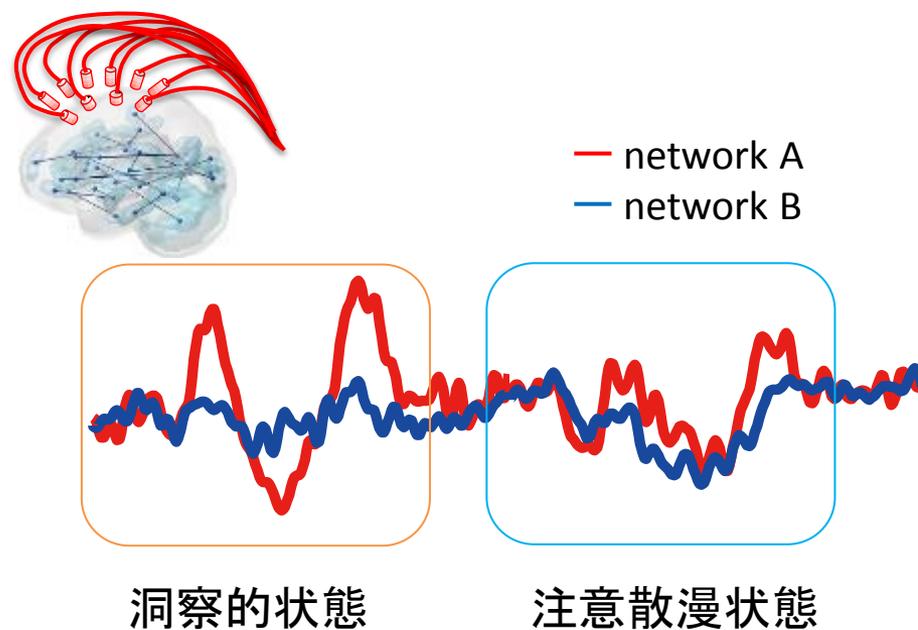
# 洞察的問題解決 (insight problem solving)



- ✓ 行き詰まる
- ✓ 問題の見方を変える
- ✓ 突然、答えがわかる
- ✓ なぜ答えがわかったか説明できない
- ✓ アハ体験を伴う

筆先を上げないで、  
全てのドットを通るように  
4本の直線を引いてください。

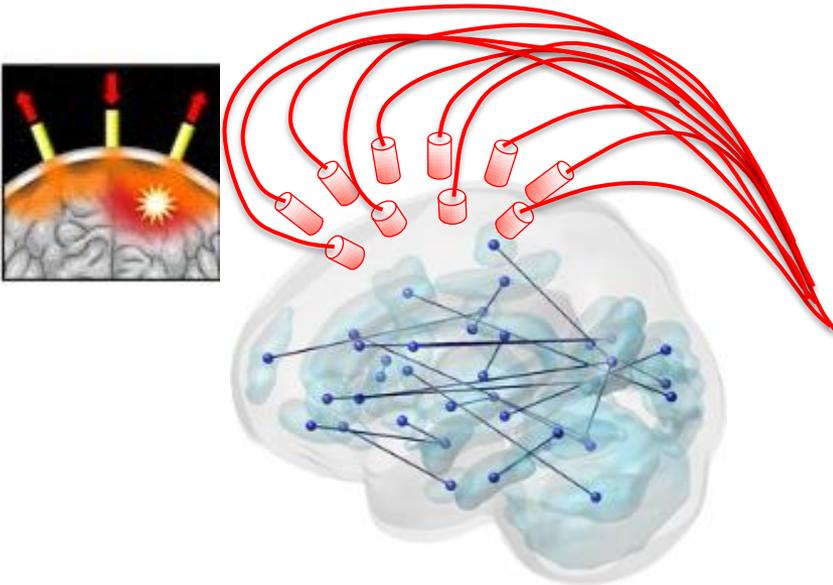
# 課題内容：洞察的問題解決の方法を 応用した脳状態のラベル付



# 研究課題2

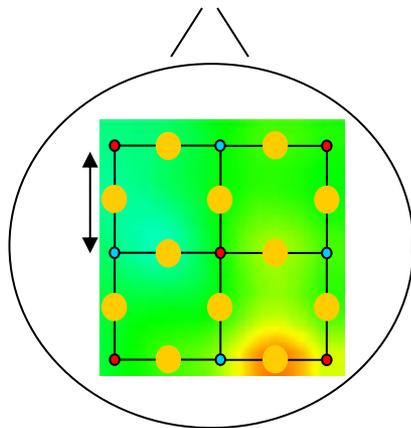
## 高密度NIRSによる精確な脳結合計測法の開発

課題2: 高密度NIRSによる  
精確な脳結合計測法

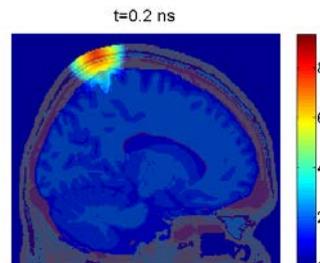


# 拡散光トモグラフィ法＝高密度光脳計測による3次元画像再成

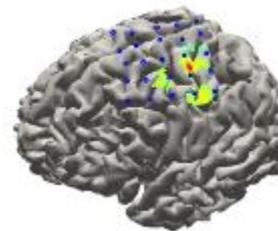
近赤外分光計測 (NIRS)  
トポグラフィ



1. 高密度計測

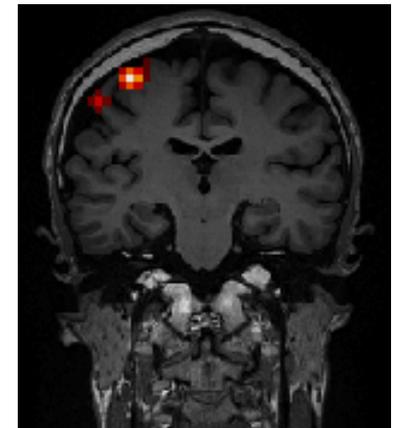


2. 光伝搬  
シミュレーション



3. 画像再構成

拡散光トモグラフィ



- 空間分解能向上
- 脳解剖上の活動定位
- 頭皮血流に頑健
- 定量性向上



# 課題内容：拡散光トモグラフィ法による 精確な脳結合の計測

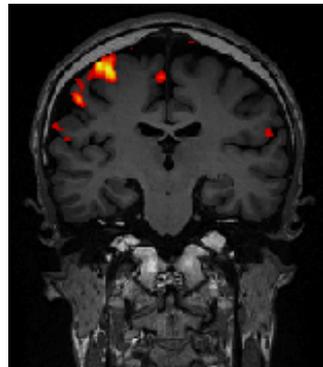
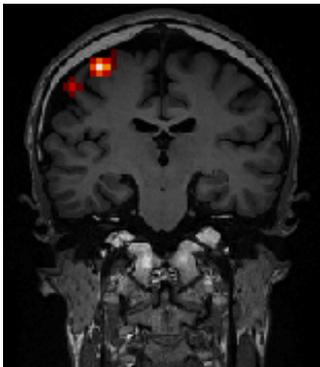
## 2010年～現在 研究成果

NIRSで**脳活動**を精確に計測可能に

高密度NIRS



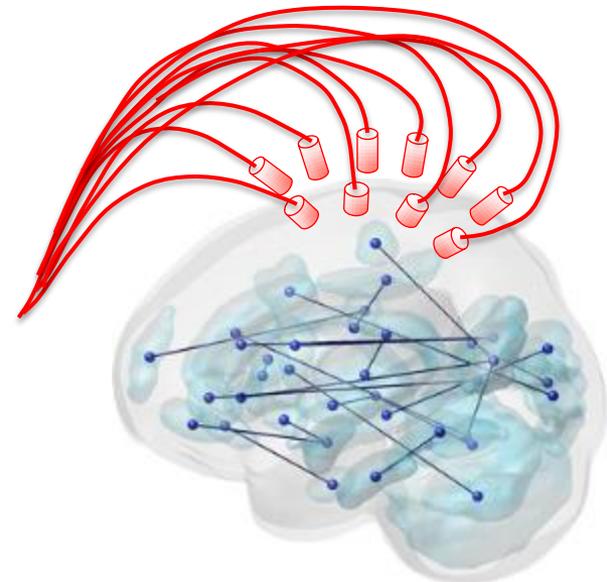
fMRI



## 課題

NIRSで**脳結合**を精確に計測可能

- 計測方法の確立
  - 複数領野の計測
- アルゴリズムの改良
  - 連続データの画像再構成



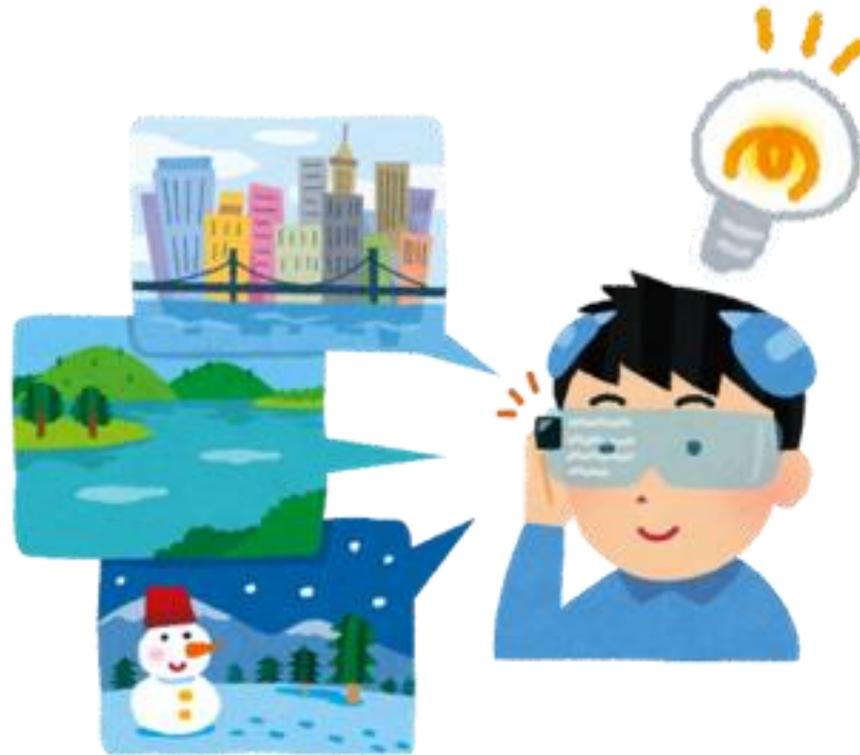
Shimokawa et al. Optic express, 2012

Shimokawa et al. Biomedical optic express, 2013

Yamashita et al. JACIII, 2014

# サービスイメージ

いまはクリエイティブな仕事に良い脳状態です。

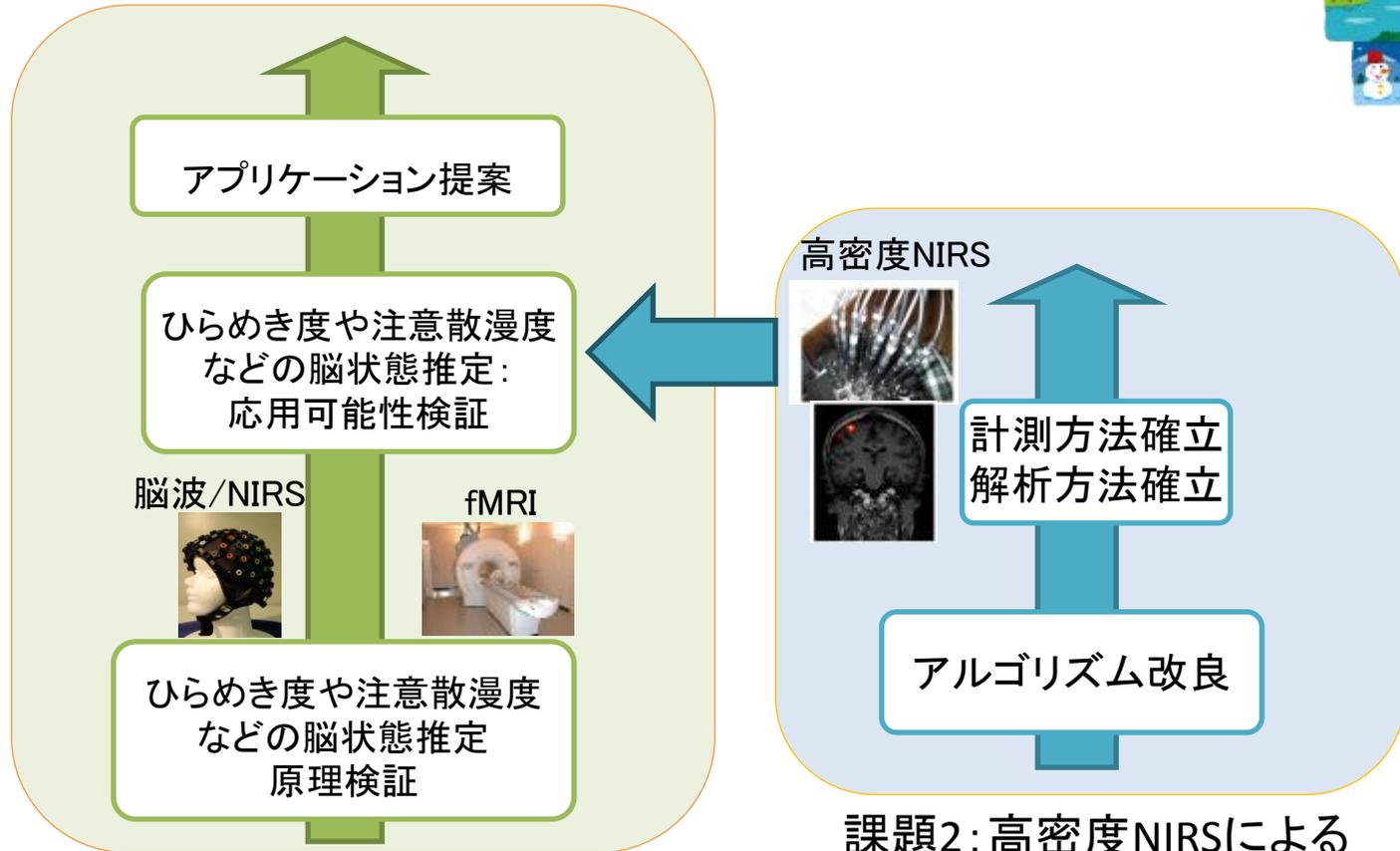


# 研究計画・マイルストーン

光脳計測による高精度ひらめき脳状態モニタリング技術を利用した新サービスのプロトタイプ提案



ステージ3  
ステージ2  
ステージ1



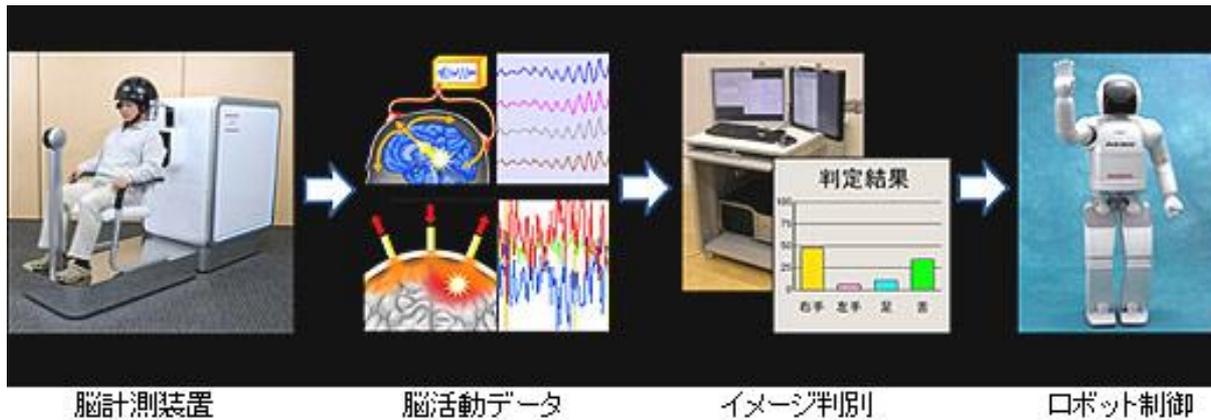
課題1: 脳状態推定法の開発

課題2: 高密度NIRSによる  
高精度な脳結合計測法

# ATR 脳情報解析研究所の 近赤外分光計測(NIRS)研究実績

2006年～ NIRSを使ったブレイン・マシン・インタフェース(BMI) 研究

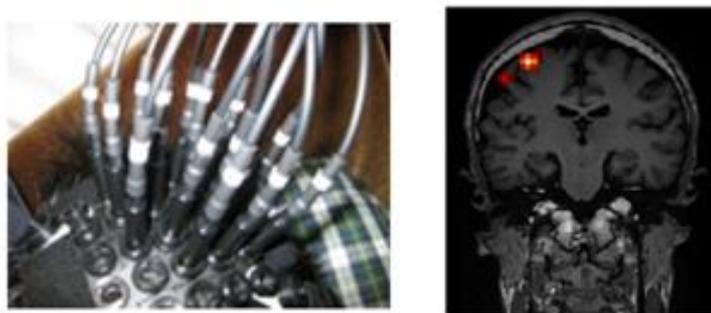
2009年 Honda-ATR-島津製作所 EEG-NIRSを計測によるBMIロボット制御



機械学習法

オンライン  
解析技術

2010年～ 高密度NIRSを使ったトモグラフィ画像再構成



計測シミュレーション技術

右指運動課題時の脳活動