

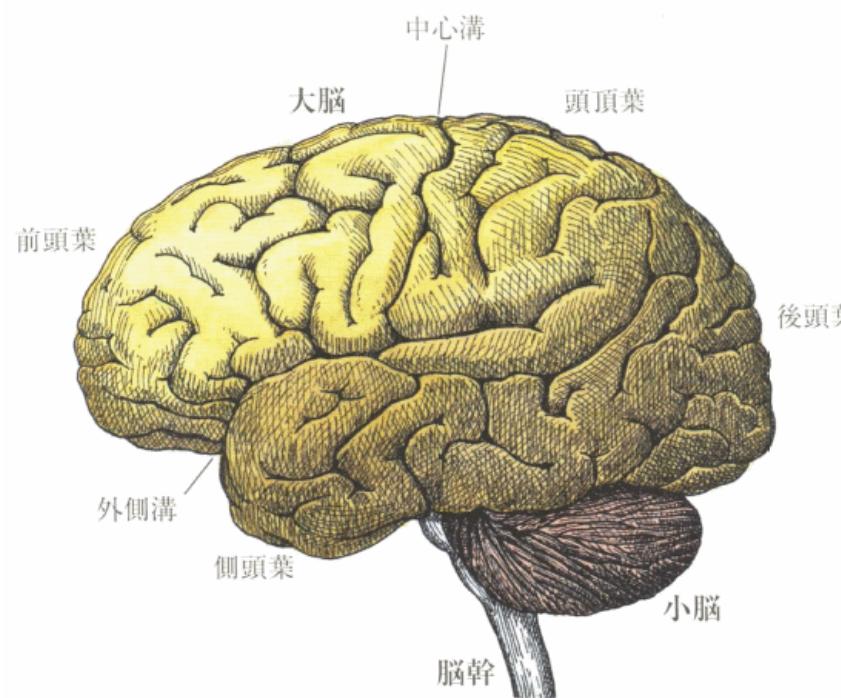
# メディア進化論 脳のシステムと応用

- ・脳の大まかな役割
- ・脳システムを利用した工学的な応用

参考図書：``ブレイン・マシーン・インターフェース'', 「脳を活かす」  
研究会, オーム社, 2007.

参考図書：``脳研究の最前線 (上)(下)'', 理化学研究所 脳科  
学総合研究センター, 講談社, 2007.

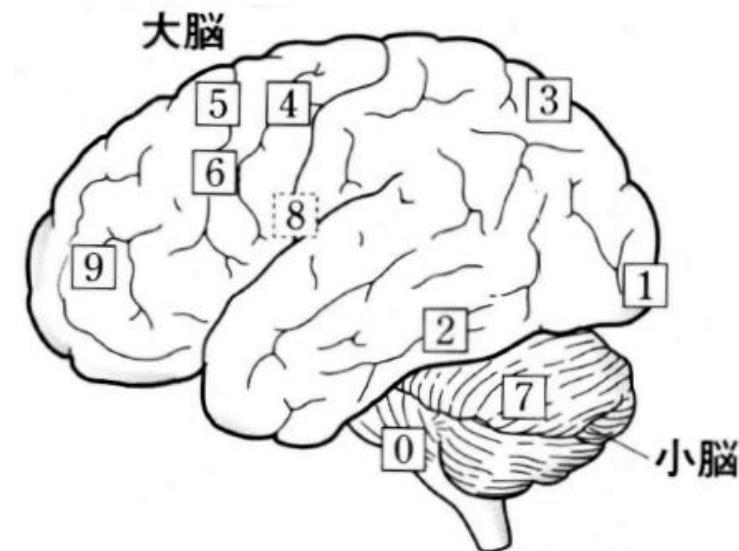
# 脳の形



容量は約1L(大きめのグレープフルーツ)

重さ1.5kg, 神経細胞数100億

表面は厚さ約2mmのシート状の構造  
(大脳皮質)



## 運動実行部隊

- 0 : 脳幹・脊髄
- 4 : 運動野
- 5 : 補足運動野
- 6 : 運動前野

## 感覺情報処理班

- 1 : 初期視覚野
- 2 : 「何?」経路
- 3 : 「どこ?」経路

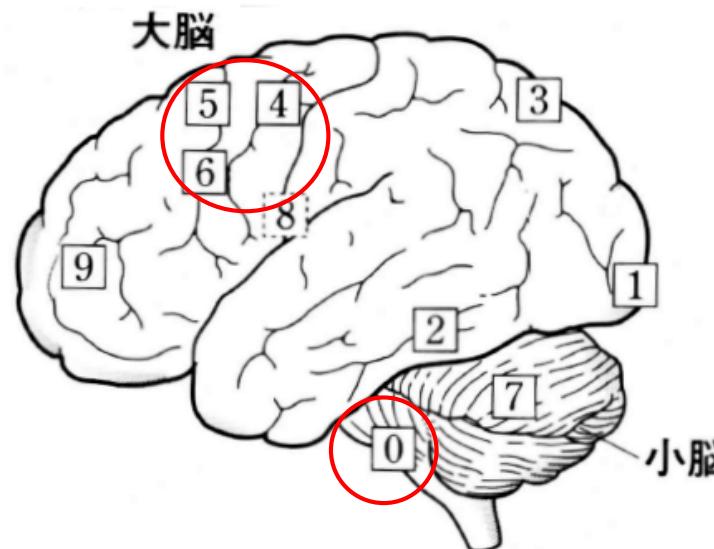
## 運動調整班

- 7 : 小脳
- 8 : 大脳基底核

## 取締役

- 9 : 前頭前野

# 脳の機能の概略: 運動実行部隊



## 運動実行部隊

- ① 脳幹・脊髄
- ④ 運動野
- ⑤ 補足運動野
- ⑥ 運動前野

## 運動調整班

- ⑦ 小脳
- ⑧ 大脳基底核

## 感覚情報処理班

- ① 初期視覚野
- ② 「何?」経路
- ③ 「どこ?」経路

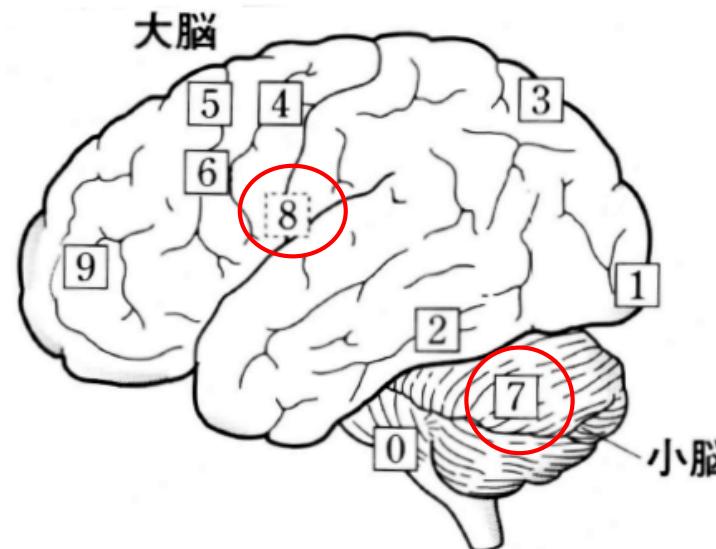
## 取締役

- ⑨ 前頭前野

0: 灵長類以外でもある。反射的な運動命令を筋肉に送る

4, 5, 6: 複雑な運動パターンのデザインを行う

# 脳の機能の概略：運動調整班



## 運動実行部隊

- ① 脳幹・脊髄
- ④ 運動野
- ⑤ 補足運動野
- ⑥ 運動前野

## 運動調整班

- ⑦ 小脳
- ⑧ 大脳基底核

## 感覚情報処理班

- ① 初期視覚野
- ② 「何？」経路
- ③ 「どこ？」経路

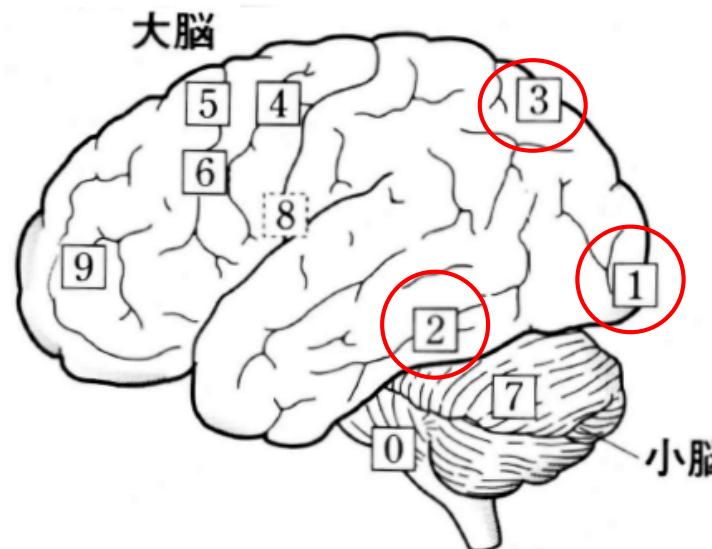
## 取締役

- ⑨ 前頭前野

7: 120～140グラム。知覚と運動機能の統合、平衡・筋緊張・随意筋運動の調整

8: 大脳の中にある、大脳皮質と視床、脳幹を結び付けている神経核の集まり。運動の調整等を行う

# 脳の機能の概略: 感覚情報処理班



## 運動実行部隊

- ① 脳幹・脊髄
- ④ 運動野
- ⑤ 補足運動野
- ⑥ 運動前野

## 運動調整班

- ⑦ 小脳
- ⑧ 大脳基底核

## 感覚情報処理班

- ① 初期視覚野
- ② 「何?」経路
- ③ 「どこ?」経路

## 取締役

- ⑨ 前頭前野

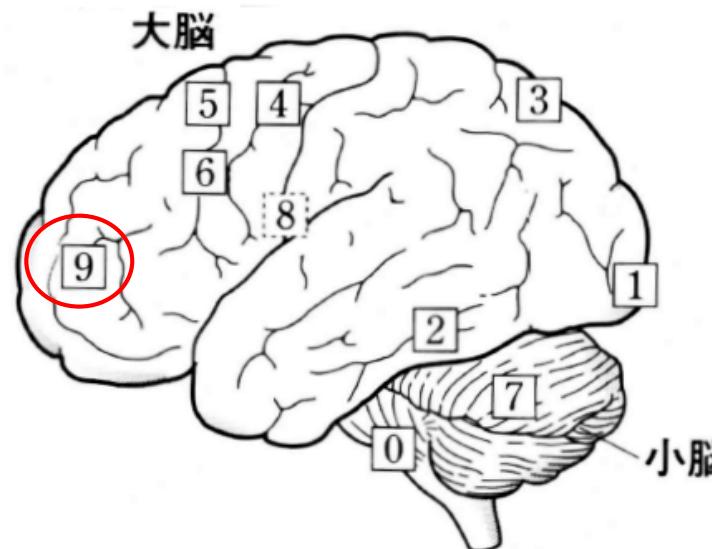
目に映った光景から必要な視覚情報を取り出す

1: 大脳皮質の初期視覚野

2: 目に映る物体が何であるかの処理

3: 目に映る物体がどこにあって、  
どういう動きをしているかの処理

# 脳の機能の概略：取締役



## 運動実行部隊

- ① 脳幹・脊髄
- ④ 運動野
- ⑤ 補足運動野
- ⑥ 運動前野

## 運動調整班

- ⑦ 小脳
- ⑧ 大脳基底核

## 感覚情報処理班

- ① 初期視覚野
- ② 「何?」経路
- ③ 「どこ?」経路

## 取締役

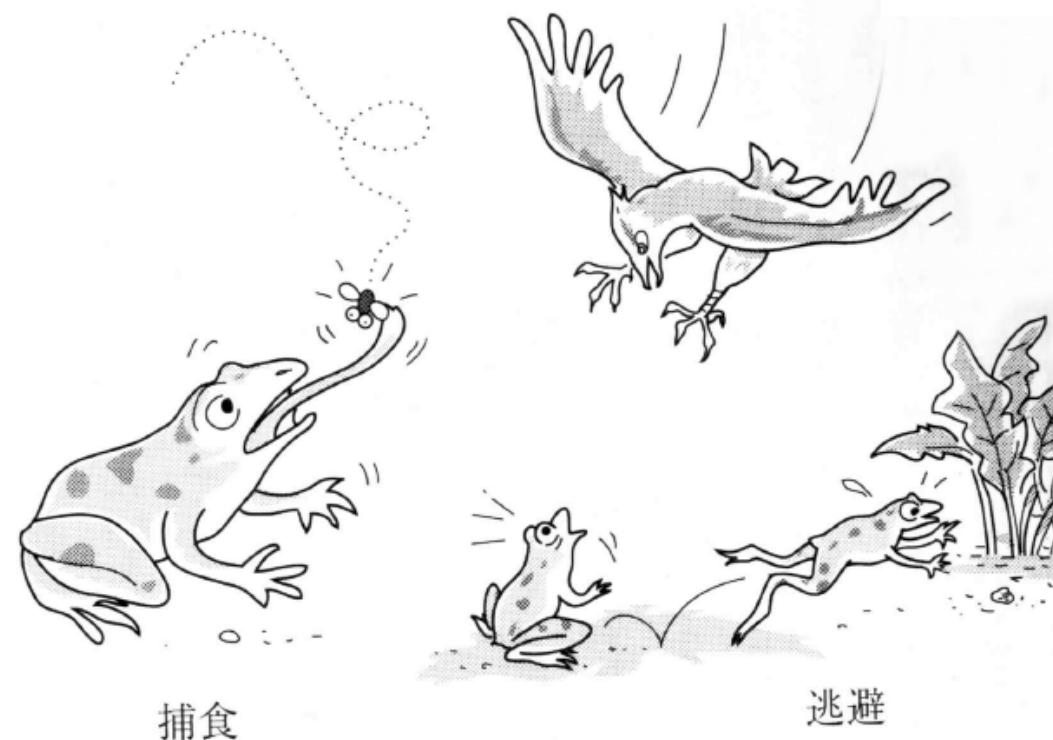
- ⑨ 前頭前野

2や3からの信号を受け、何をするか判断し、必要があれば5や6に運動を計画するよう指示

脳は作業を分業体制で処理

**機能の局在**

# 脳の役割：生きるために必要な行動の制御



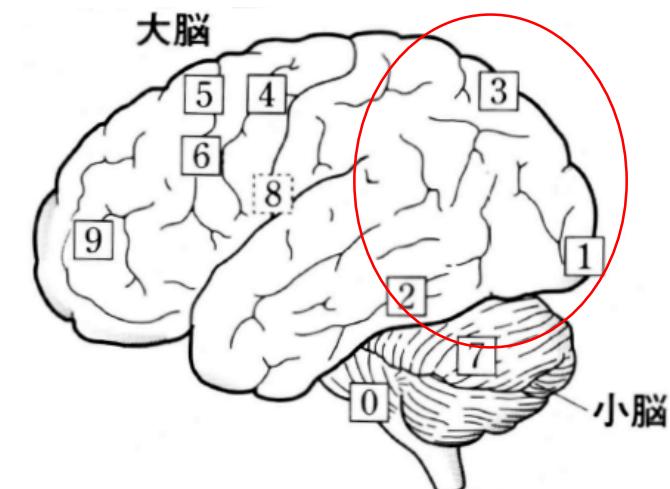
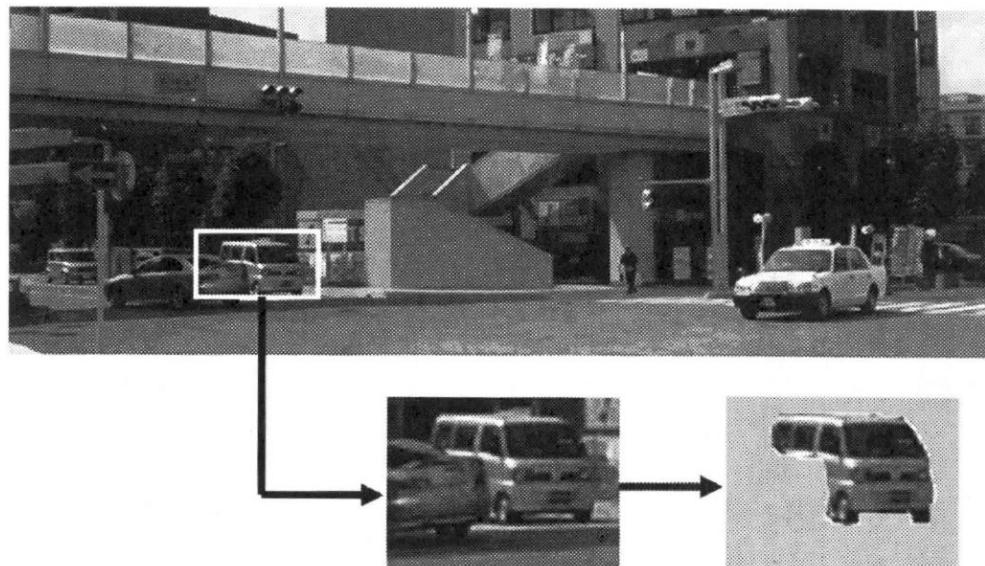
小さなものが目の前を通過→捕食行動  
大きなものが視覚に入る→逃避行動

生存のための戦略が脳の複雑さを決める

# 外部環境を分析する

さまざまな情報を元に行動を決定するためには外部環境を分析する必要がある

例えば特定の物体を探すには感覚情報処理班が大事な役目を果たす



視野に移る光景は複雑→複数の役者で処理

# 視覚情報処理システムをだます



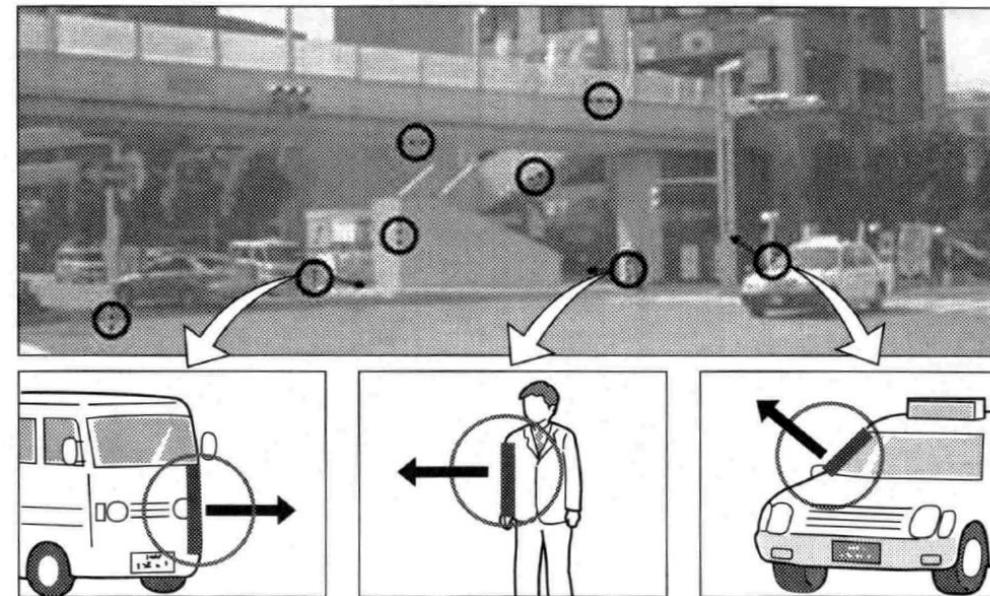
視覚環境の分析は何気なくやっている  
→周りの環境に合わせた分析システムを獲得しているから

周りの環境を見慣れないものに変えるとどうなるか？→錯視

例：サッチャ一錯視  
顔を見るときは正立を前提に処理システムがデザインされているのが確認できる

# 街角でタクシーを探してコンサートに行く

まず、複雑な光景の中からタクシーを見つけ、それがどこにいて、どちら向きに走っているかを検出する必要がある



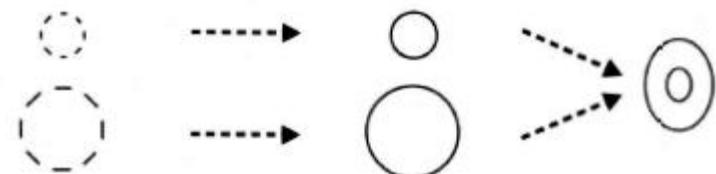
役者1は視野の各部分にどういう向きの輪郭があり  
どちらの向きに動いているかを判断

## 役者2の機能:何を見ているかを分析

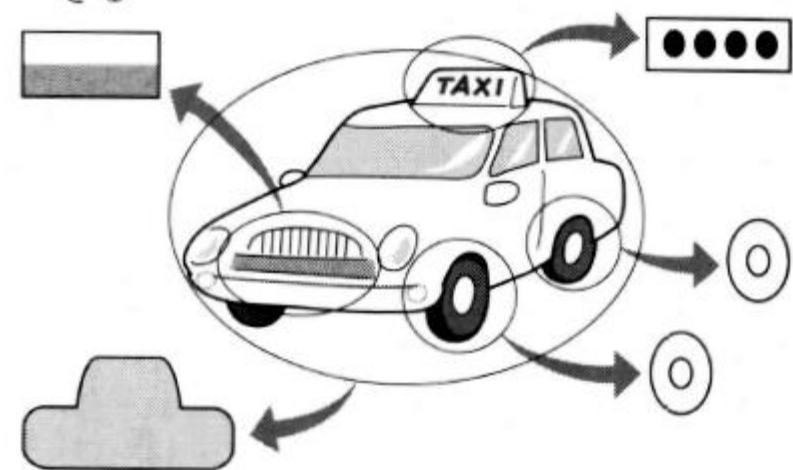
単純な図形特徴を組合させて  
適度に複雑な図形特徴を作る

適度に複雑な図形特徴の組合せと  
して何が視野の中にあるのかを理解

A 微小部分の輪郭から複雑な図形特徴を作る



B 図形特徴を組み合わせると、物体像が特定できる

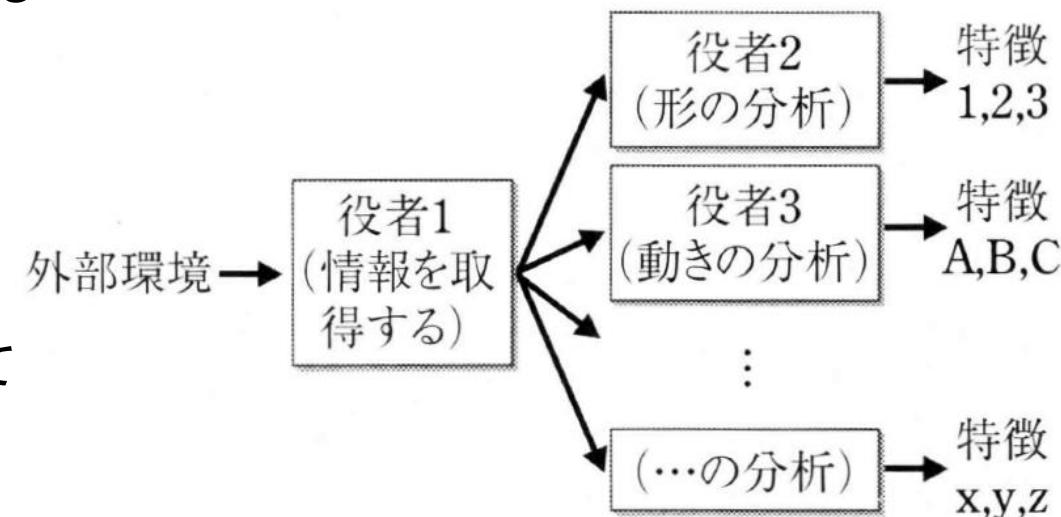
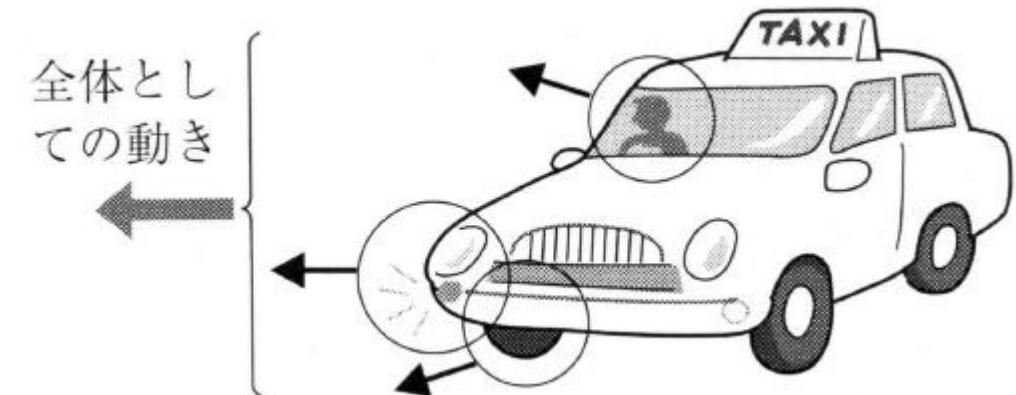


## 領域3の機能:どこに行くのか？を分析する

役者1の動きと位置の情報を利用して物体がどの方向に移動しているのかを分析

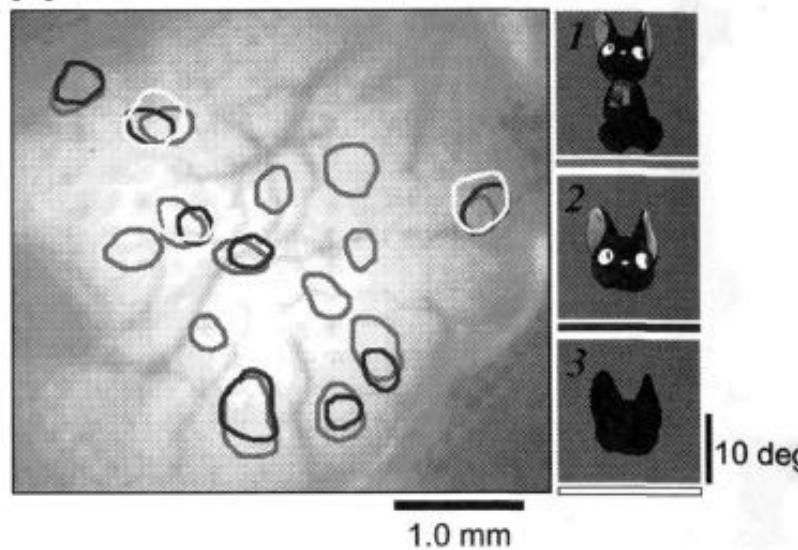
役者2と3の分析によって物体像の中からタクシーの形をしたものがどこにあって、どちらに向かっているかが分かる

情報の質に応じて適度に複雑な特徴に分割し、その組み合わせとして情報を特定していると考えられる



# 適度に複雑な図形特徴の組み合わせとして表現

A

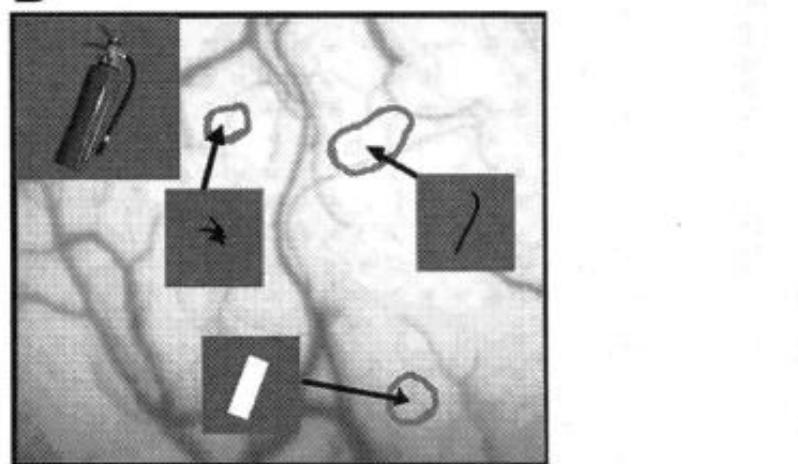


サルにさまざまに物体像を見せたときの役者2の活動の変化を図示

ネコのぬいぐるみ全体→灰色の輪郭線の領域が活動(単一の細胞ではなく小集団の活動)

ネコのぬいぐるみの頭→黒色の輪郭線の領域が活動

B



頭部のシルエット→白色の輪郭線の領域が活動

消火器の実験では、どの領域がどの部品に対応しているのかが示されている

# 結びつけ問題

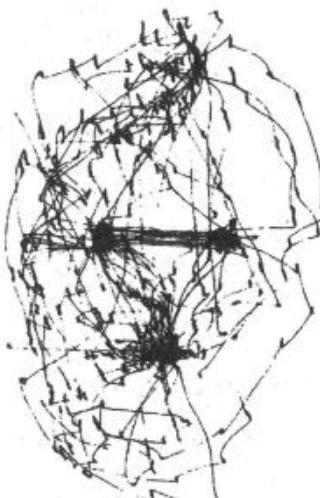
感覚情報をどのように一つのものとして統合しているのか？

図形特徴のどれとどれが同じ物体に由来しているのかを  
どのように判断したらよいのか？（結びつけ問題）

↑は未解決問題（以下は二つの考え方）

1. 関連する細胞の間で活動が同期しているかどうかで判断
2. 関心のない外部環境の信号はシャットアウトする  
「注意」という機構が関係

# 情報は選択されている



## 注意

ある特定の情報に関する処理だけを促進するメカニズム

例) 視野の中の特定の場所に目を向けるのは「その場所になにがあるのか」を明らかにしたいから

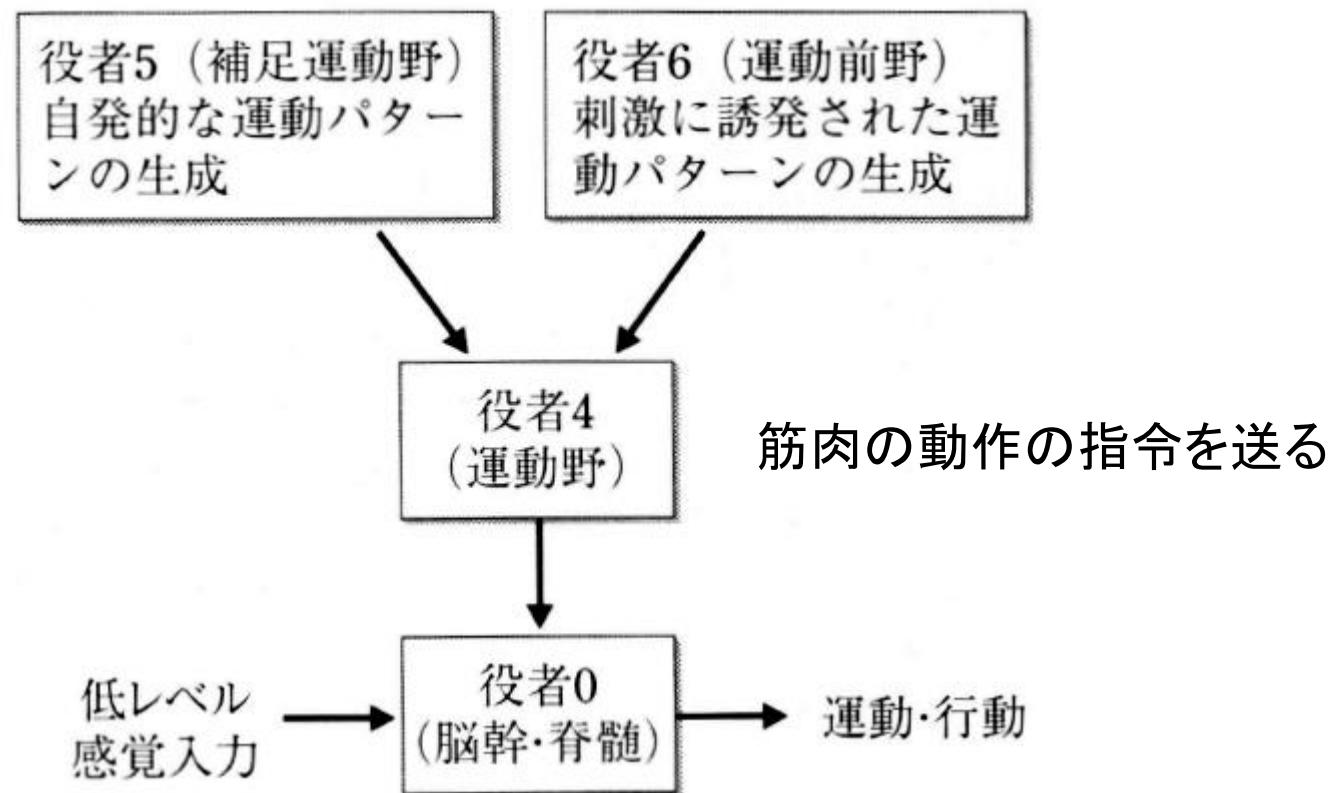
左は物体を見ているときの目の動き  
関心の高いところに目が向かう  
(サッカード眼球運動, 毎秒3回)

注意により不要な情報を捨てる

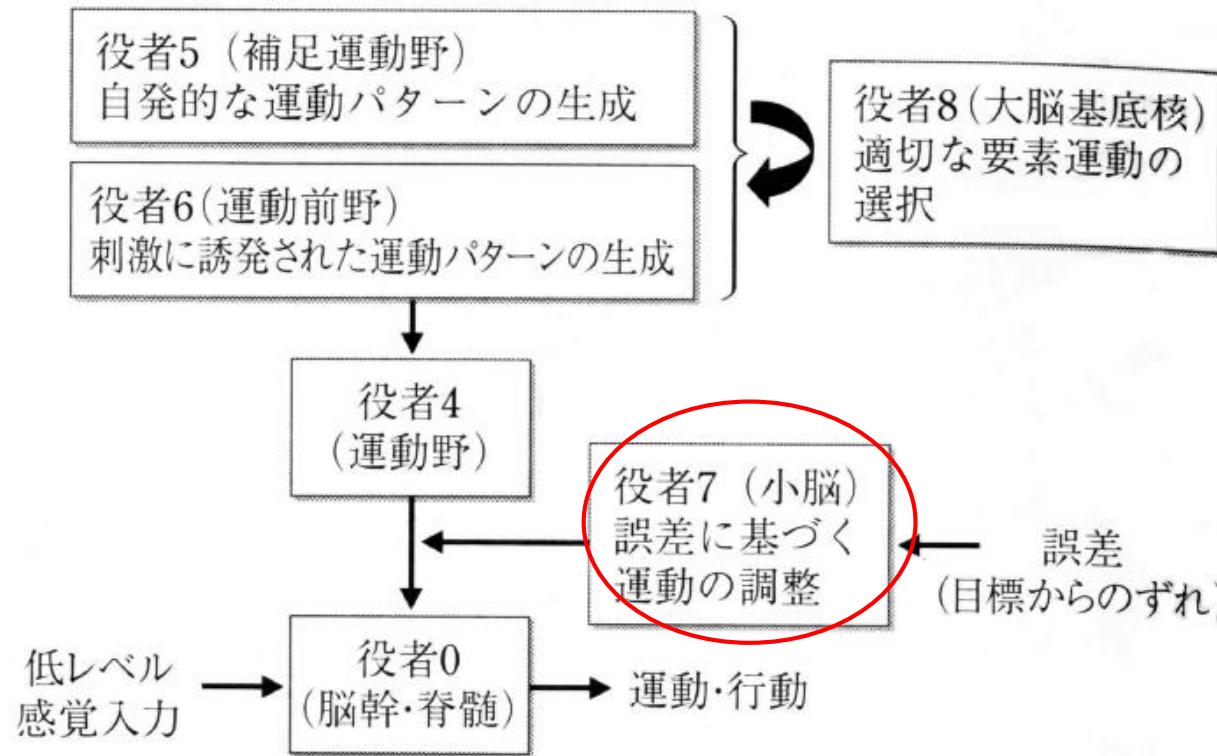
# 運動実行部隊のはたらき

車がとぎれたみたいだから  
道路を渡ろう

タクシーが来た(視覚情報)  
ので手を上げる



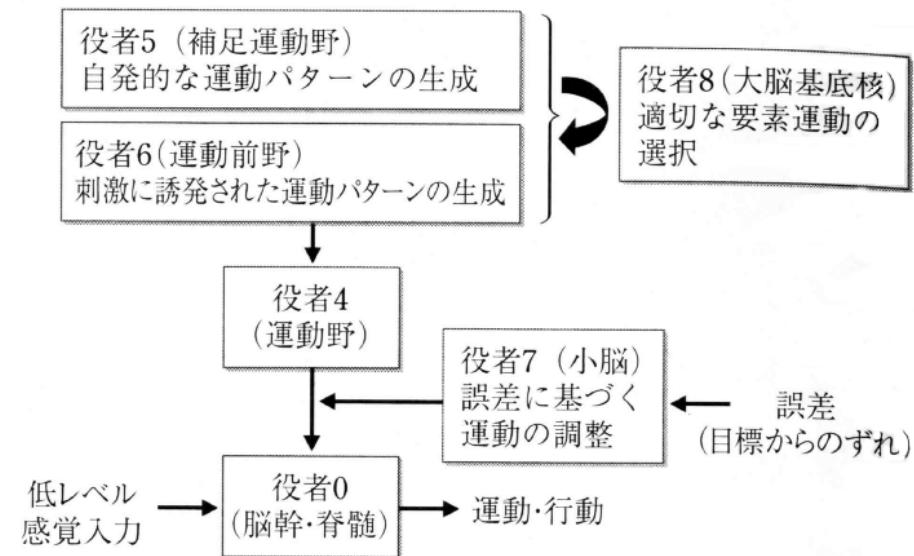
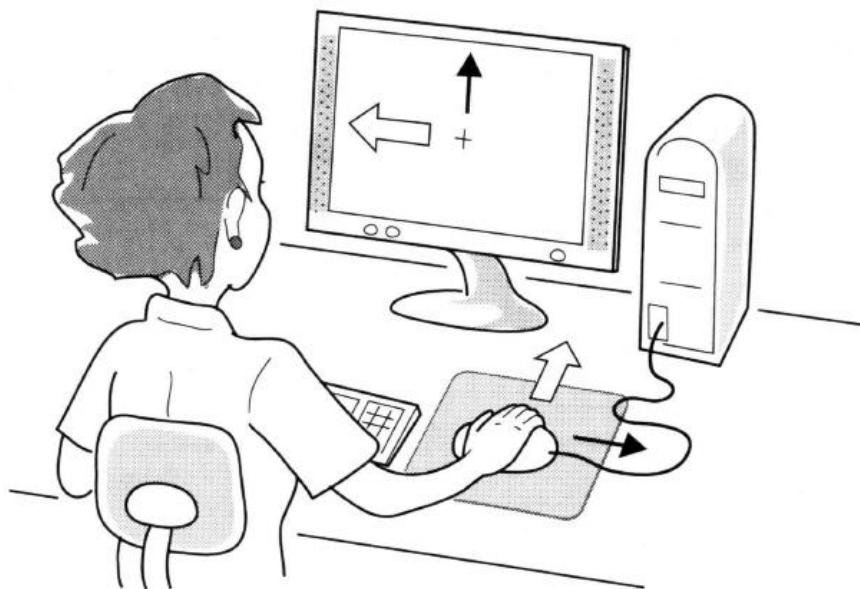
# 滑らかな運動を実現する



運動調整班は目標と実際の運動との差を  
検出してその分だけ運動を修正する

同じ運動を繰り返すと修正分が神経回路の働きに  
反映されて動きが滑らかに

# マウスを横に持つて操作してみる

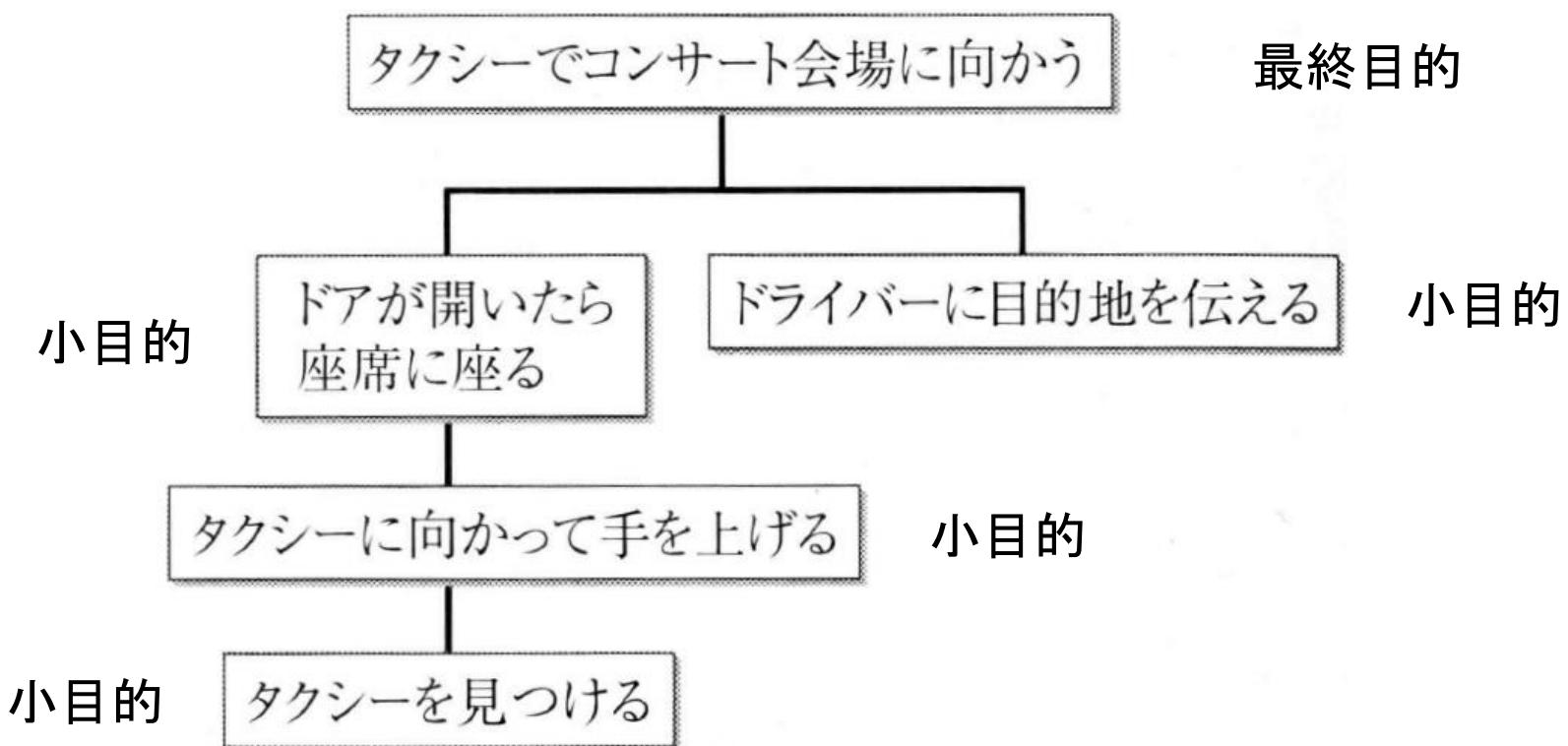


最初は役者5と6を駆使して操作  
そのうち役者7が学習をし、動作が滑らかに

役者8を損傷するとバーキンソン病(運動の過抑制)や  
ハンチントン病(余分な行動を抑制せず)になる

# 行動には目的がある

外部環境の分析システムと運動を計画している部位をつなげば行動を実現できる  
と思いがち… 実際は刺激と応答だけでは行動は生まれない



目的を繰り返し遂行するためには取締役(前頭前野)が必要

# 前頭前野の役目

## (1) 作業記憶

例: 電話番号を覚えて電話をかける; 大きな目標を達成するには作業記憶が必要

## (2) 情報の選択

例: 本を読みながら音楽を聴く; 本に集中するときは文章を, 音楽に集中するときにはリズムや音程に集中する

## (3) 作業の切り替え

例: タクシーを止めたら, タクシーに乗って目的地を告げる



ウィスコンティン・カードソーティング課題

Step1: 被験者はカードを一枚引く

Step2: 引いたカードが, 四枚のカードのうちのどれと同じ性質があるかを示す

Step3: ただし, 性質とは同じ数, 同じ色, 同じマークのうちのどれかであるが, 被験者は知らないが実験者は知っている.

Step4: 被験者が正しい対応付けができた場合に実験者は「正解」, そうでない場合は「不正解」と伝える

# 注意と意識

- ・注意を特定のものに向けるとそれに対する応答が強くなるのはなぜか？
- ・あるもの(たとえば車)から別のもの(たとえば友人)に注意が切替わる仕組みは？
- ・注意をコントロールしているのはどこか？

## 注意を特定のものに向ける要因

例) 本を読んでいるときに警報が鳴った

際立った外界の刺激は注意を向ける要因の一つになる  
(受動的な注意)

本に注意を向け理解しようとする意識的な注意  
(能動的な注意)

際立った刺激への応答が他の応答に打ち勝って、その刺激に注意が向く

## 能動的注意はどのように説明するのか？

色と字が 一致	色が ランダム	色と字が 不一致
あか	XXXXX	みどり
みどり	XXXXX	あお
あか	XXXXX	あか
あお	XXXXX	あお
あお	XXXXX	みどり
みどり	XXXXX	あか
あお	XXXXX	みどり
あか	XXXXX	あお

ストループの実験(文字列の色を言う)

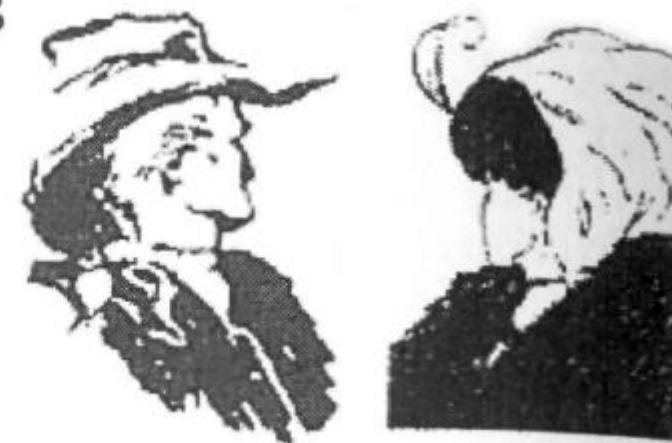
課題の遂行には高い集中力(能動的注意)が必要  
このとき前頭前野が活発に活動する

# 注意と意識は違うものか？

A



B



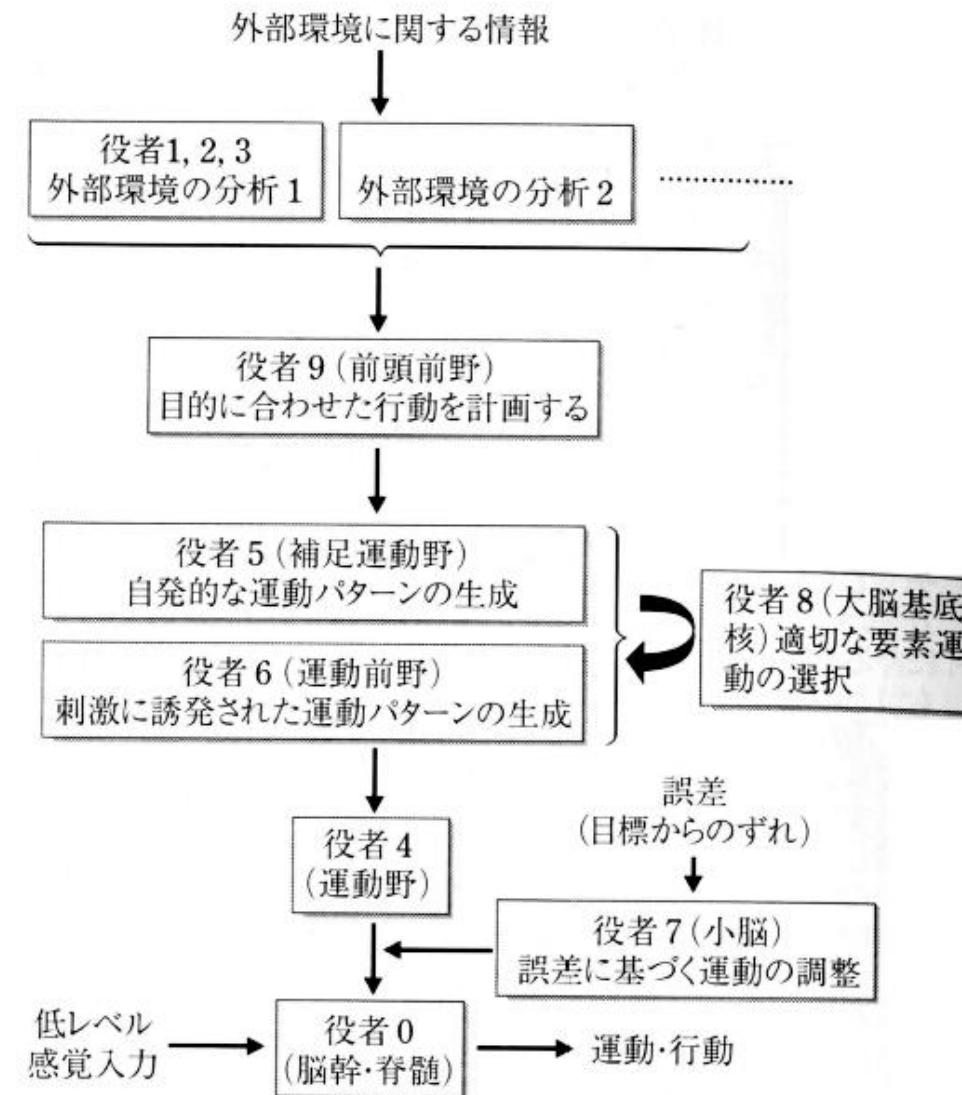
同じ視覚像から異なる知覚が生じる例

同時に二つの像が意識的に近くされることは無い  
意識も切り替わりがあり、注意に似ている

意識や能動的注意は外部刺激に引き起こされるのではなく  
自発的な神経活動の切り替えによって引き起こされる

どのようなメカニズムなのかは分かっていない（ほとんどランダム？）

# 脳のシステム



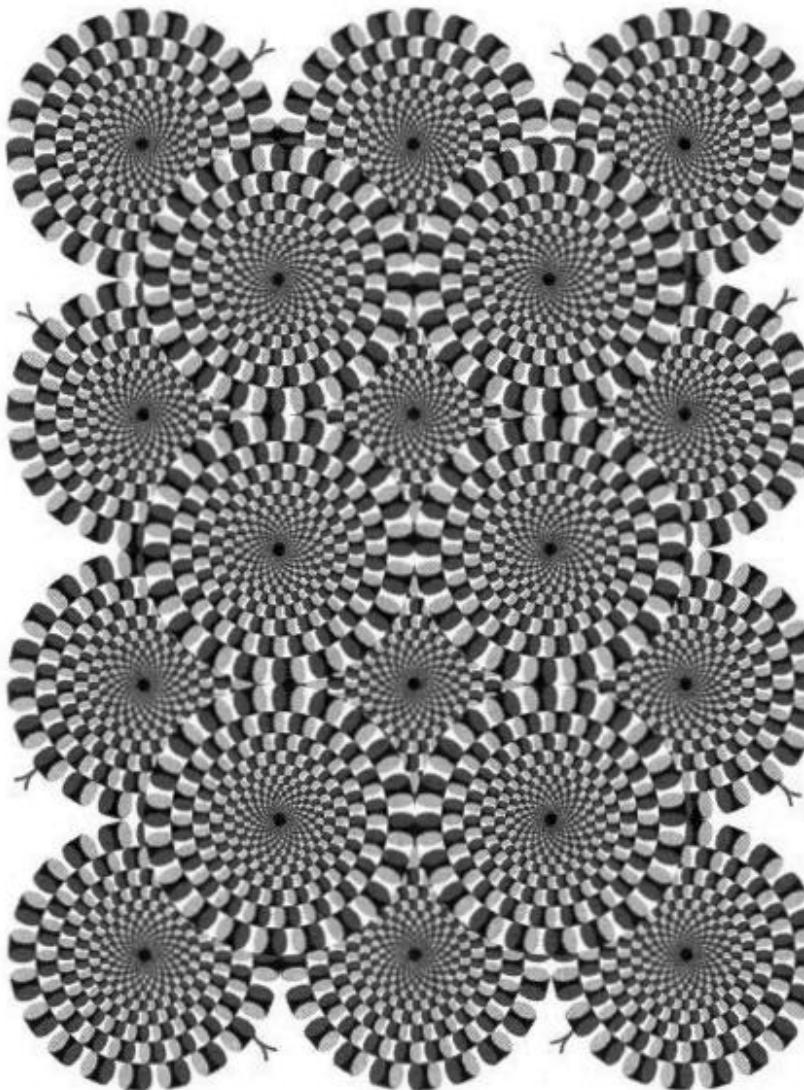
## 脳システムの応用: ブレインマシンインターフェース

アメリカ: 浸襲型(体内埋め込み型), 非浸襲型ともに発展  
国際衛生研究所, DARPAから莫大な資金が出ている  
動物実験に制約, 人体実験盛ん

アメリカ, ドイツ: 頭皮脳波による非浸襲型の研究が盛ん  
障害者の意志伝達, ゲームへの応用等

日本: ロボットとの融合が盛ん  
ただし, 国家レベルでは研究方針を決めている段階  
動物実験は盛ん, 人体実験には制約

# 脳はだまされやすい



脳は古い機能を踏襲したまま  
新しい機能を場当たり的にアップグレード

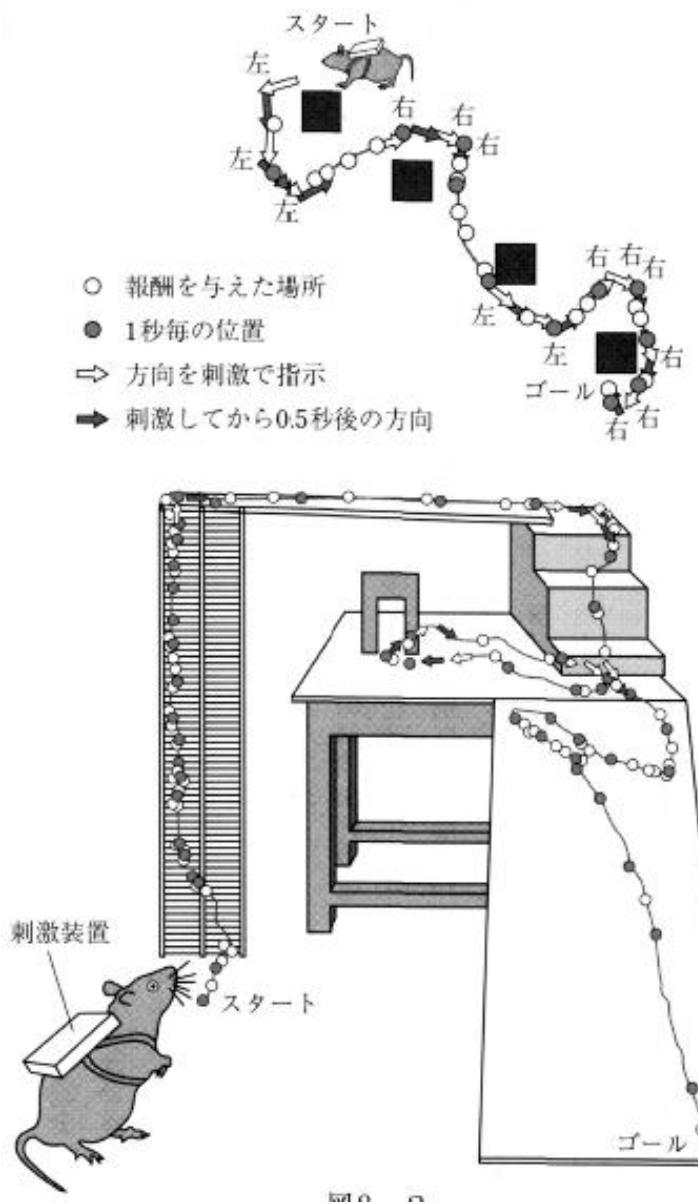
脳が予測していない不適切な  
刺激を受け取ると錯視が起きる  
(脳の正常な反応)

裏を返せば…



脳が予測可能な情報を、適切な様式で  
与えてやれば脳本来の機能を果たせる

# リモートトラット



## シェーピン教授らの実験

## 一次体性感覚野のヒゲに関する ある部分と快楽中枢に電気刺激

右→右のヒゲに刺激

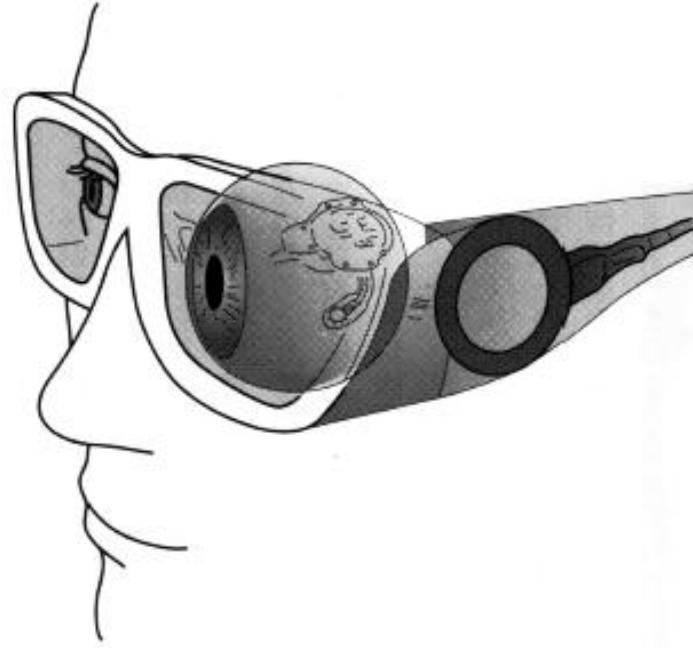
左→左のヒゲに刺激

上手く行動したら報酬(快楽中枢)

使われた技術は新しくないが  
自立した個体を電気刺激だけで  
コントロールできるという事実は衝撃的

(A)

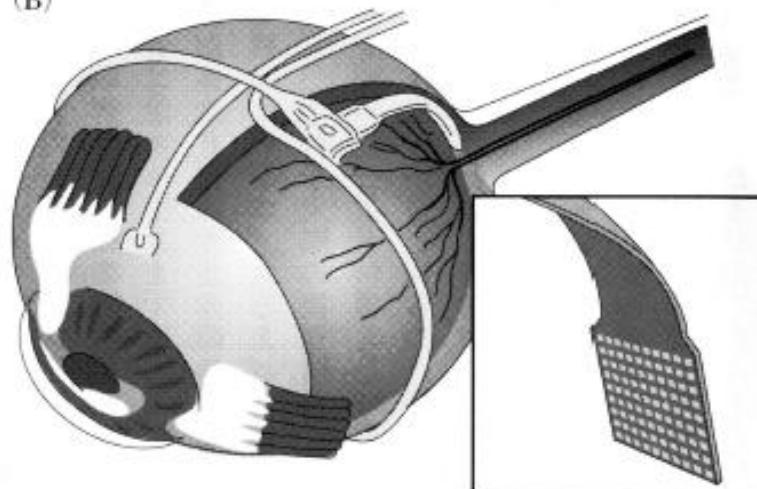
# 人工網膜



網膜刺激による人工視覚の再建

眼球内部に刺激電極を置き  
外部からの映像をアレイ状にならんだ  
刺激電極をつかって網膜上の  
神経細胞に刺激を与える

(B)



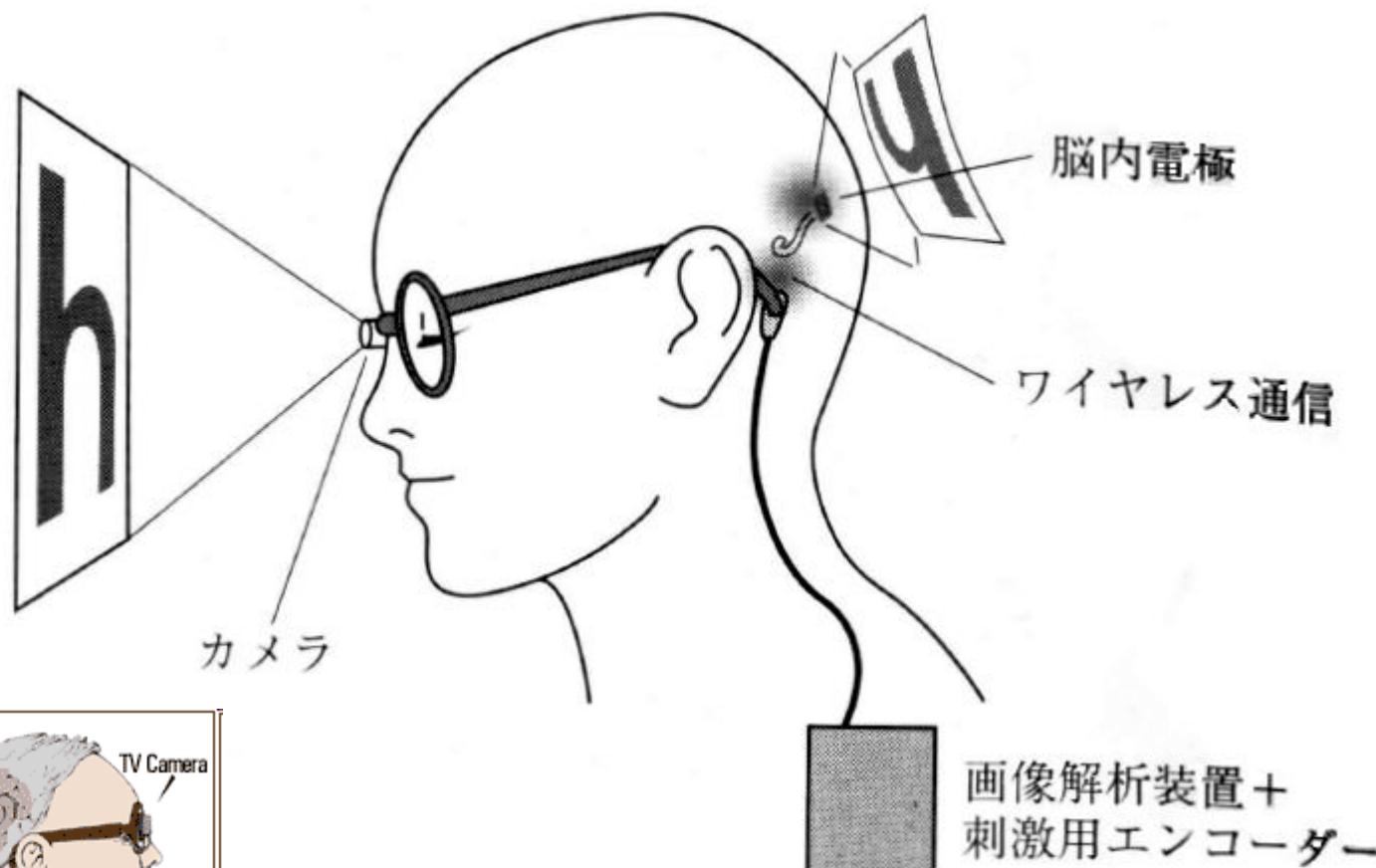
## 利点

刺激装置以降の情報伝達には  
生理的な脳の回路や処理プロセスが使える  
眼球付近の手術だけで済む

## 欠点

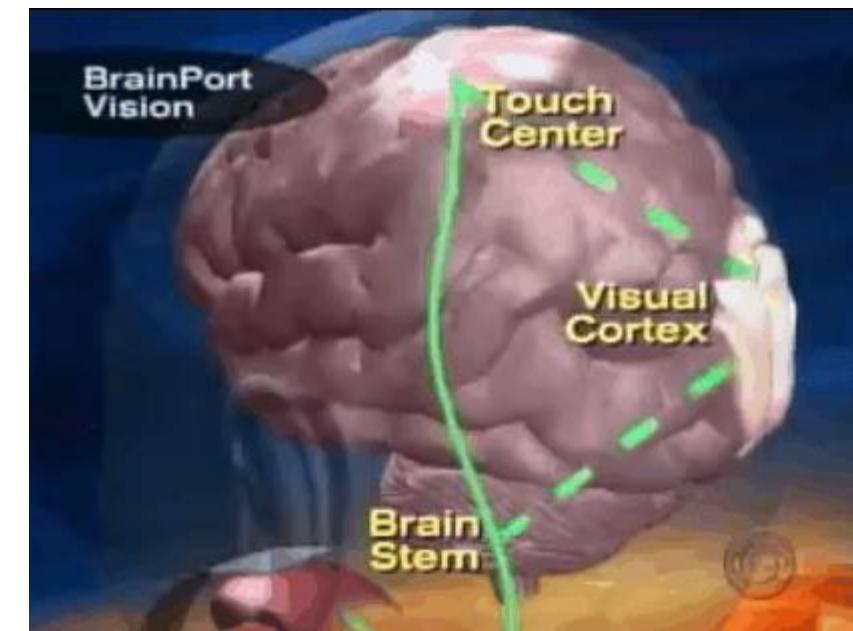
刺激点を空間上に適切な密度で配置して  
患者が空間的な広がりを持った情報として  
理解できるようにする必要がある

# 脳への刺激で視覚を取り戻す



ドーベル・アイと命名

# 舌で物を見る – brainport –



<http://www.wicab.us/index.php>

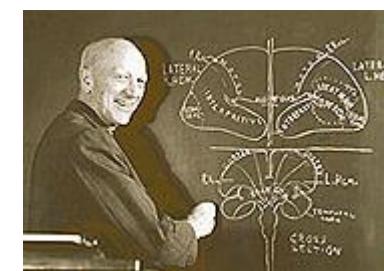
# 意思を制御する



## ペンフィールドのマップ

一次運動野には体の部位が連続的に表現されたマップが表現されている

一次運動野の活動状況から運動情報を抽出して  
デバイスにつなげれば意思だけでデバイスを  
動かすことができるはず

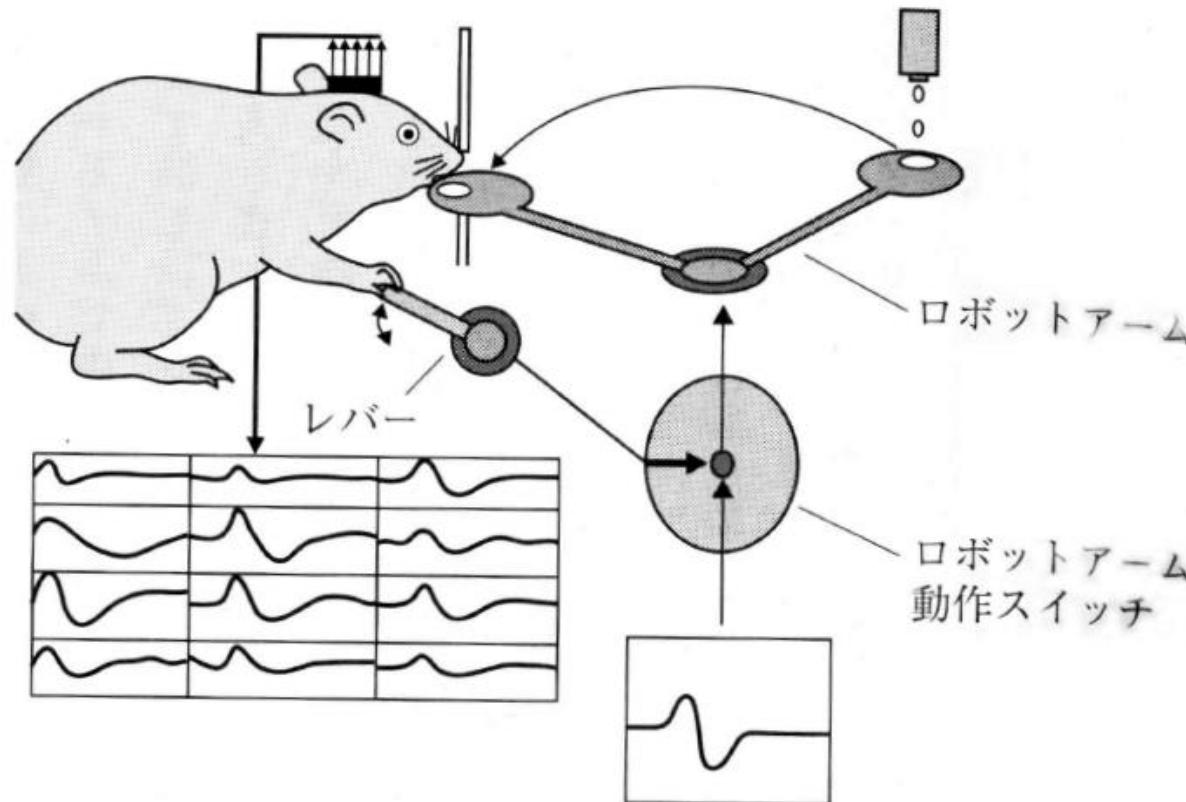


## Wilder Penfield (1891-1976)

てんかん治療の開頭手術の際に脳を電極で刺激し、患者から直接反応を聞き出すことで機能局在を明らかにした

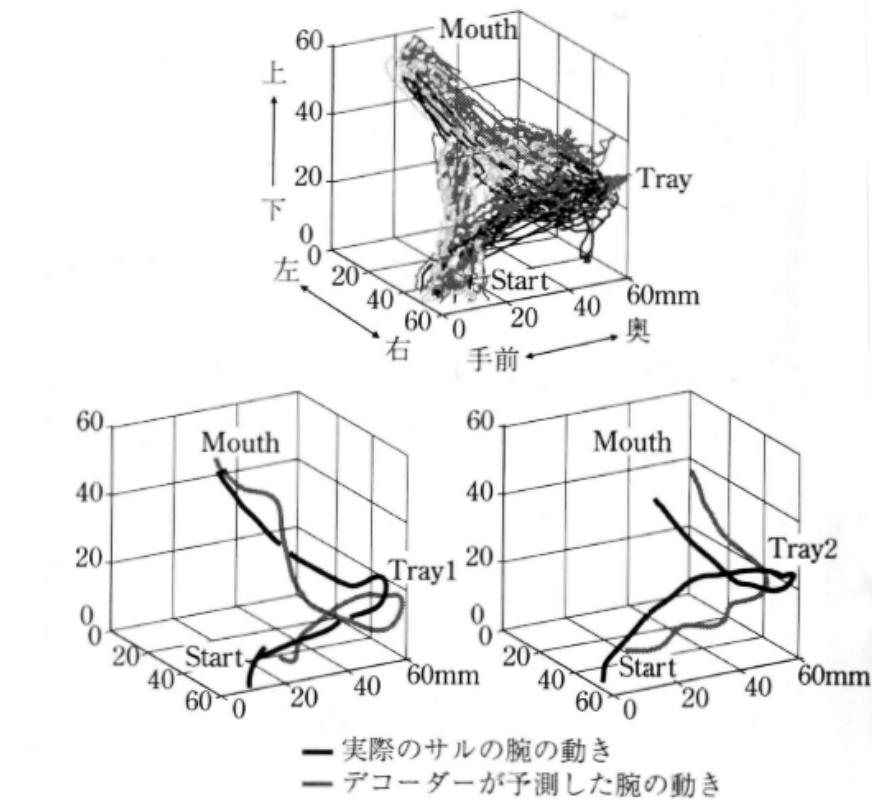
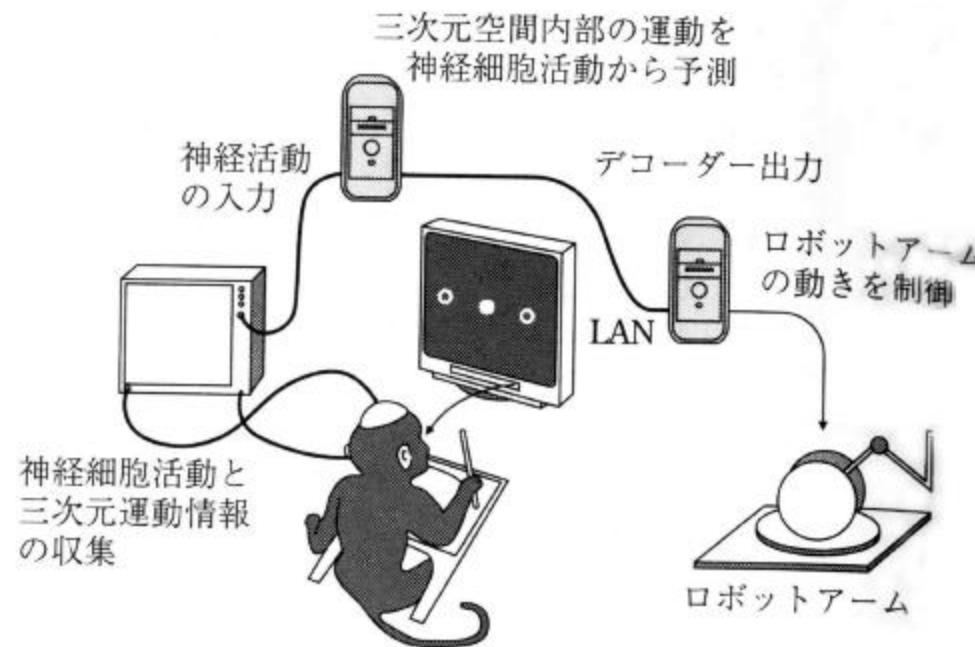
# ラットの意思を予測する

レバーを押すとアームが回転して水が飲める



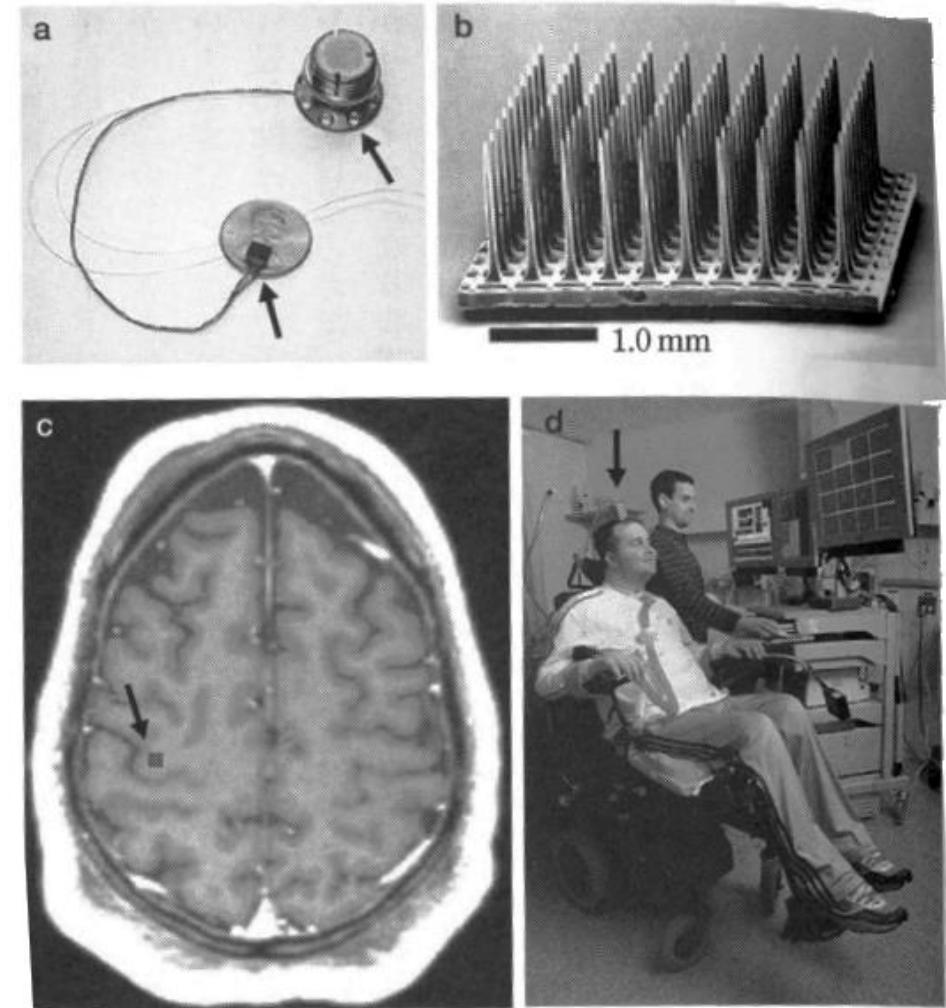
単純なモデルで行動が予測できる  
神経活動だけで課題をコントロールできる

# 神経活動を使って腕を動かす



モーションキャプチャを使って腕の実際の動きを記録しながら  
神経活動状況を記録しておきモデル化の際に利用する

# 人間への応用



被験者は正しくカーソルが動かせるように訓練しつつ  
アプリケーションも同時に最適化する