



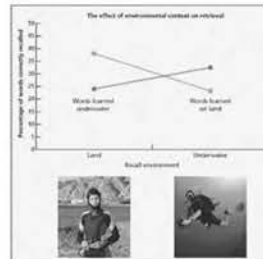
## 文脈に応じて形成される運動記憶

- 構造、機能とその操作 -

東京大学大学院教育学研究科  
身体教育学コース・教授

野崎 大地

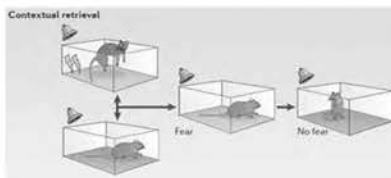
## 文脈依存性の記憶



Baddeley et al., "Memory" 2nd ed., 2014

どこでどのように記憶を形成したかという「文脈（コンテキスト）」が記憶想起に大きく影響する。

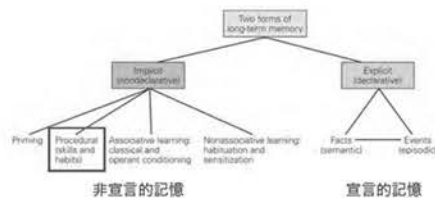
## 文脈依存性の記憶



恐怖条件付けの記憶は文脈に応じて形成される。

Maren et al., Nat Rev Neurosci 2013

## 記憶の分類



Kandel et al., Principles of Neural Science 5th ed., 2013

## 運動の記憶

- 「身体が覚えるプロセス」
- 実際に覚えるのは脳
- 通常の物事を覚えたりするような記憶（宣言的記憶）とは異なった脳内過程が関与している（手続き記憶）

## 患者HM

- てんかん発作治療のため、側頭葉内側部を切除
- 知能には特別な問題なし
- 長期記憶（宣言的記憶）の形成が不可能

## 患者HMの症例：登場人物

Patient HM



From Wikipedia  
深刻な記憶症状

William B. Scoville



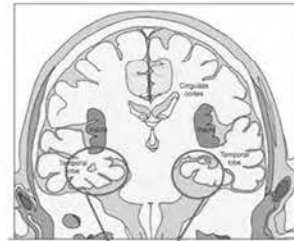
From Stanley Finger,  
Origins of Neuroscience

Brenda Milner



From The History of  
Neuroscience Autography Vol 2

## 側頭葉内側部



Medial temporal lobes

<http://www.csc.buffalo.edu/~rapaport/575/F07/medtemplobes.jpg>

## What's new with the amnesic patient H.M.?

Suzanne Corkin

Milner shows H.M.'s significant learning of a sensorimotor skill within and across days — the first experimental demonstration of preserved learning in amnesia<sup>19</sup>.

NATURE REVIEWS | NEUROSCIENCE  
VOLUME 3 | FEBRUARY 2002 | 5-13

運動技能の記憶能力は維持されている



Figure 2. H.M. showed progress in this task, he was taught to trace the star in a mirror. He showed it (the graph in Figure 2B) just 10 minutes later.

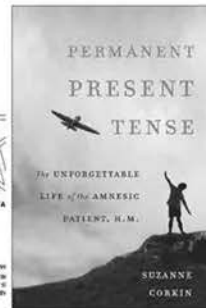
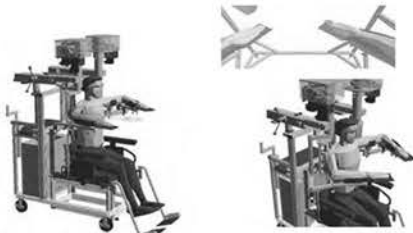


Figure 2B. H.M. while viewing his hand and that he had never done the task before. He is in fact doing the task a second time.

## ロボットアーム（マニピュランダム）を用いた運動学習実験

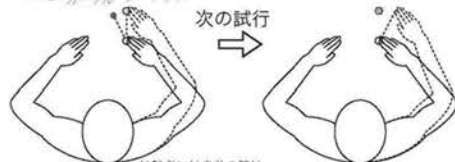


Kinarm, Bkin Technologies, Canada

## 誤差に基づく運動修正

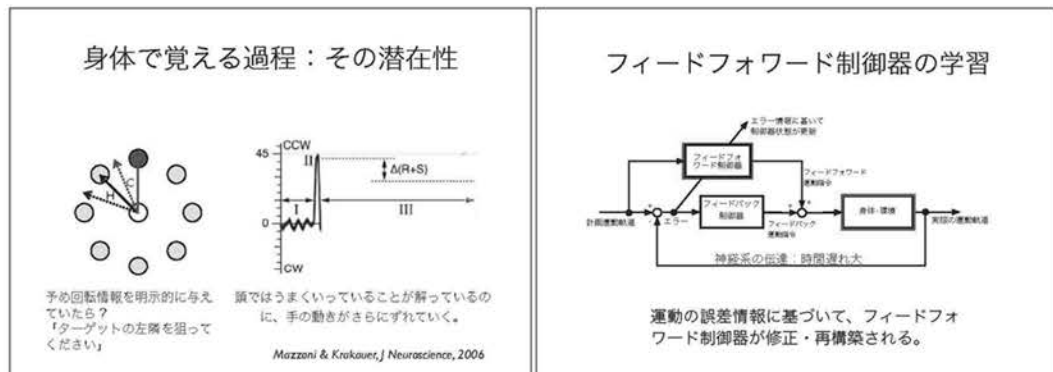
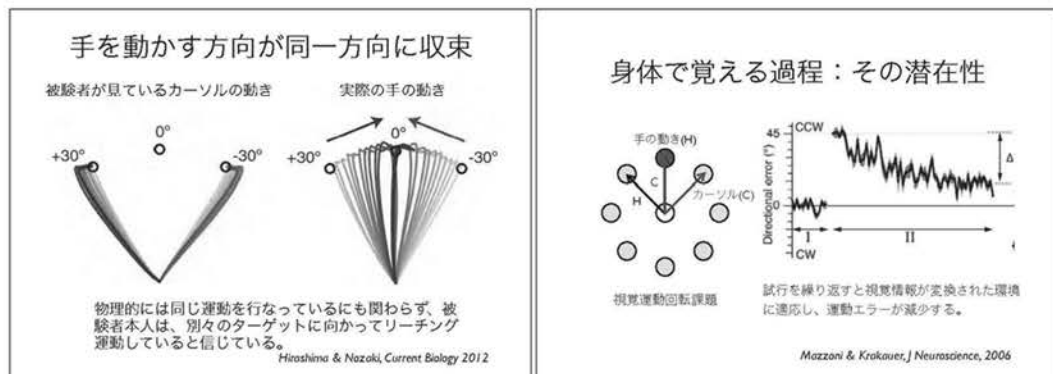
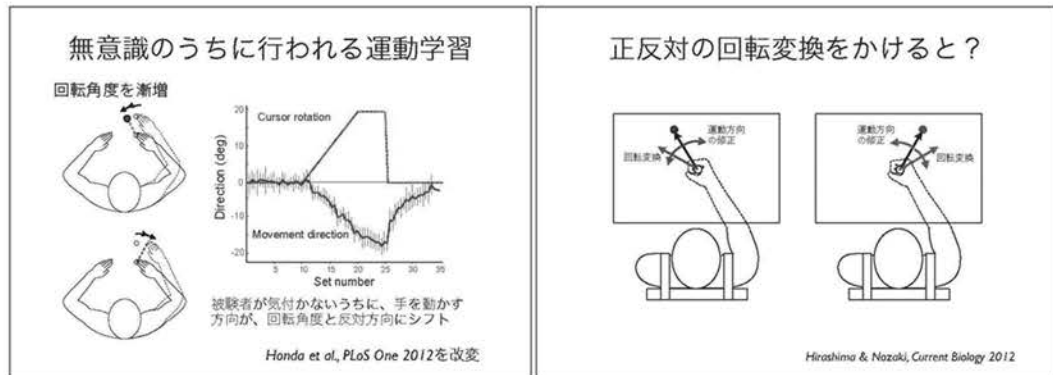
カーソルをずらして  
表示

動作を逆方向に修正

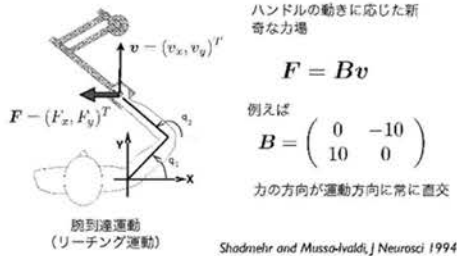


被験者には自分の腕は見えないうように設定

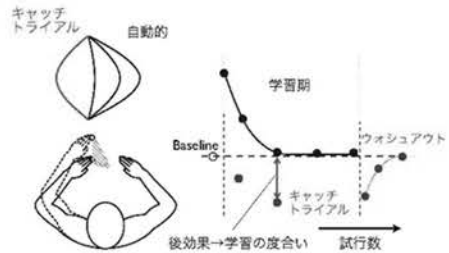
予測との誤差情報を参照して学習が進行



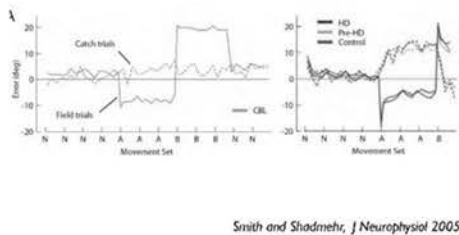
## ロボットアームを用いて新奇な力場を作用させる



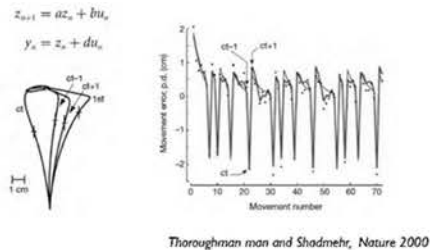
## 力場への適応過程 運動学習研究の実験手法



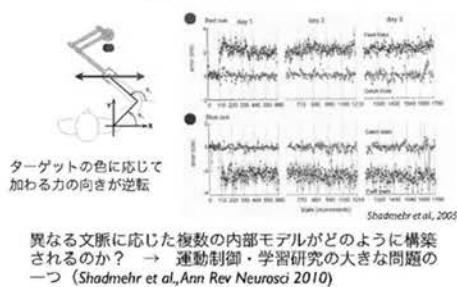
## 小脳、大脳基底核



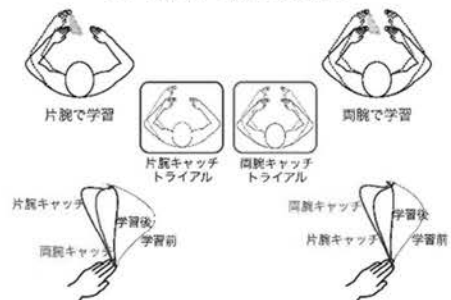
## 状態空間モデル



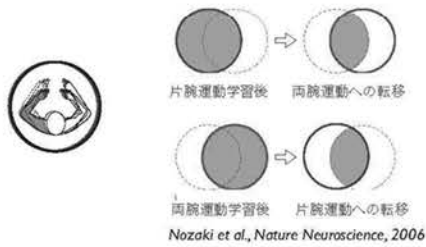
## 運動学習系の非柔軟性



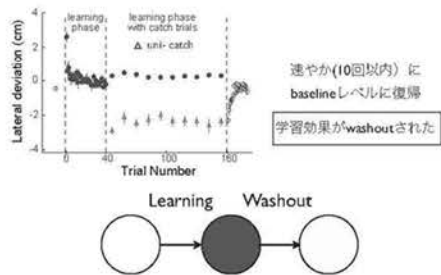
## 学習効果の部分的転移



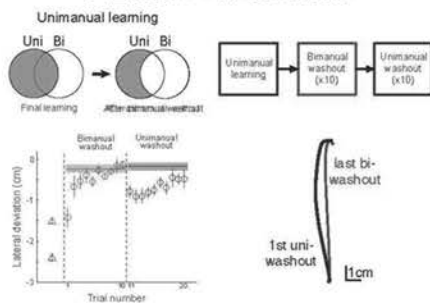
運動学習効果の部分的転移は内部モデルの部分的乖離を反映している



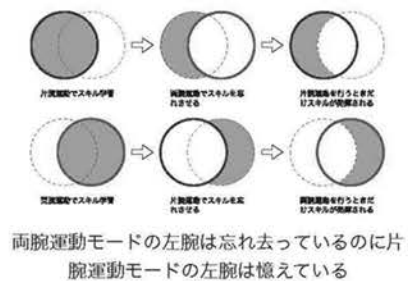
適応と脱適応



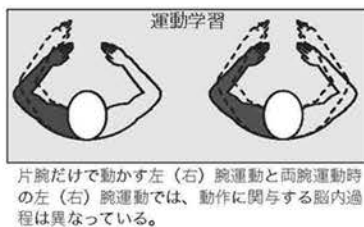
学習効果の部分的残存



一方だけ憶えている



腕の運動は片腕で行っても両腕で行っても見かけ上ほとんど同じ、しかし、

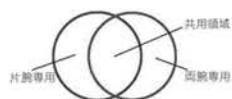


文脈依存性の運動記憶形成



Nozaki et al., Nat Neurosci 2006; Yokoi et al., JNS 2011; Kadota et al., JNS 2014

## 運動学習メモリの切り替わり



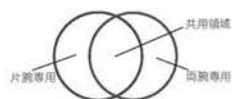
### 1.機序

どのように切り替わりが達成されているのか？

### 2.機能的意義

どうして同じメモリを使い回ししないのか？

## 運動学習メモリの切り替わり



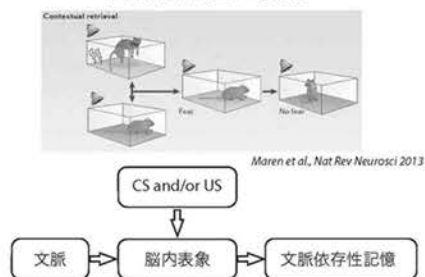
### 1.機序

どのように切り替わりが達成されているのか？

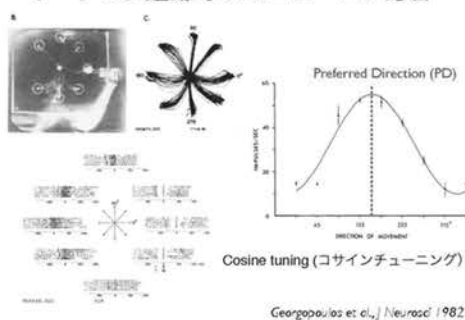
### 2.機能的意義

どうして同じメモリを使い回ししないのか？

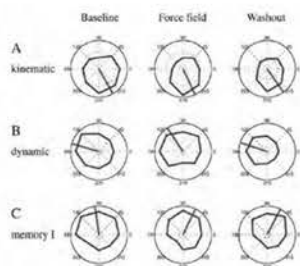
## 文脈依存性の記憶



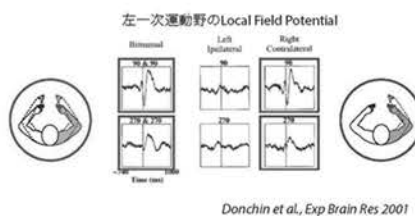
## リーチング運動時のMIニューロン応答

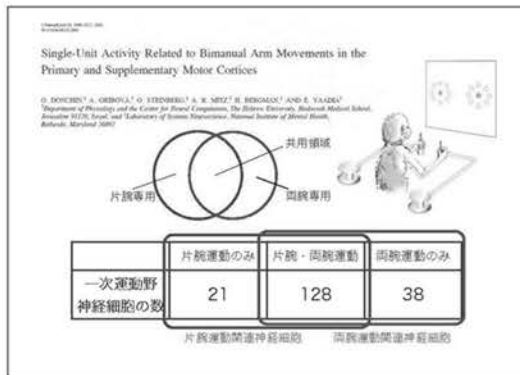


## Force field適応に伴うMIニューロン応答特性の変化

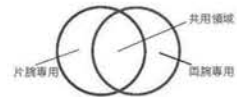


## 反対側の運動の有無に依存した一次運動野の状態変化





## 運動学習メモリの切り替わり

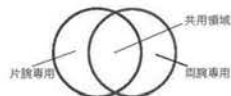


### 1. 機序

どのように切り替わりが達成されているのか？

→反対側の腕運動に伴う脳（MI等）の状態変化

## 運動学習メモリの切り替わり



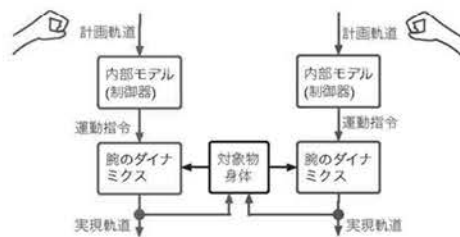
### 1. 機序

どのように切り替わりが達成されているのか？

### 2. 機能的意義

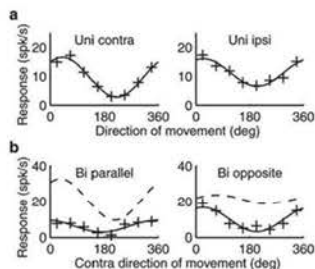
どうして同じメモリを使い回ししないのか？

## 両腕協調運動の制御

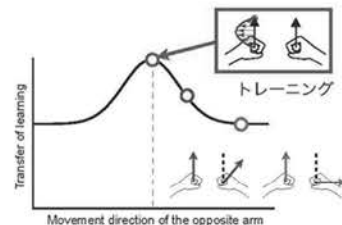


もう一方の腕から力学的な影響を受けてしまう

## MIニューロン応答に及ぼす同側腕運動の影響



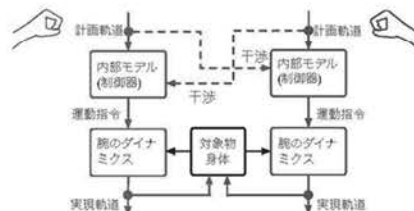
## 運動学習効果の汎化：予測



右腕運動方向がトレーニング時から離れるにしたがって学習効果がスムーズに減少

$$\begin{pmatrix} f_y^L \\ f_y^R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 10 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_y^R \\ v_y^L \end{pmatrix}$$
 左腕への力が右腕運動に依存するように設定

The diagram illustrates a 12-DOF prosthetic arm system. It shows a top-down view of the arm's workspace, which is a circle divided into 12 segments, each representing a different arm configuration. The segments are labeled with angles: 0 deg, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, and Null. The arm is shown in various poses, with the hand and forearm segments clearly visible. The joints are labeled with their respective degrees of freedom (DOF): 12 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF. The arm is shown in a circular workspace, with the hand and forearm segments clearly visible. The joints are labeled with their respective degrees of freedom (DOF): 12 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF, 1 DOF.

Yokoi et al. *SN 2008*

反対側の腕運動からの「干渉」存在下で運動学習プロセスが進むことによって、反対側の腕運動の力学的影響の補償が達成される

「干渉」があるおかげで柔軟な両腕運動制御が可能に

どうして同じメモリを使い回ししないのか？

## 1. 程序

どのように切り替わりが達成されているのか？

どうして同じメモリを使い回ししないのか？

強制的に別々のメモリを形成・想起させることは可能か？





## 謝辞

Stephen Scott (Queen's Univ)  
平島雄也 (CiNet)  
横井 淳 (UCL)  
J-J. Orban de Xivry (KU Leuven)  
Isaac Kurtzer (NY Col Osteo Med)  
門田 宏 (産科工科大)  
日高 一郎 (東京大学)  
池上 剛 (QNet)  
春日翔子 (慶応義塾大学)  
原井進也 (Toronto Univ)

木村 尚裕 (高知工科大)  
本多 卓也  
林 拓志  
今川 弘 豊  
佐々木 彰一  
根 町 隆 也  
岡 部 香 留  
遠 矢 展 子  
内 藤 尚  
安 堂 景



本講演で紹介した研究は、文部科学省科研費（若手S、基盤A、基盤C）、最先  
鋭次世代研究開発支援プログラム、日本－ベルギー二国間共同研究事業、カシ  
オ科学振興財団、日本－カナダ二国間研究派遣事業の援助を受けて行われた。