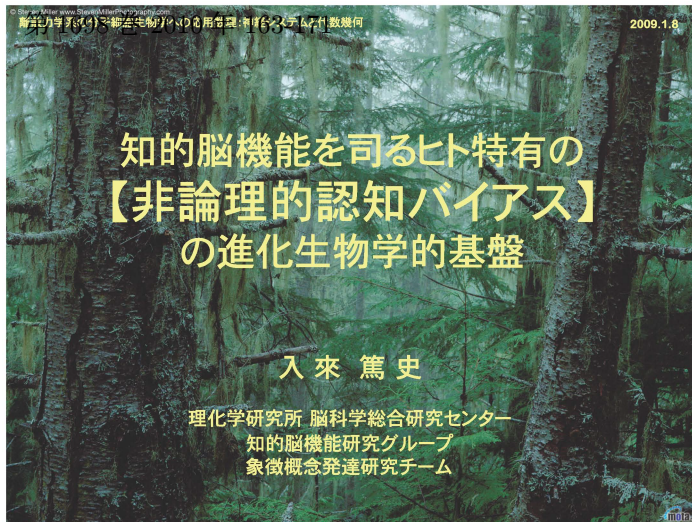
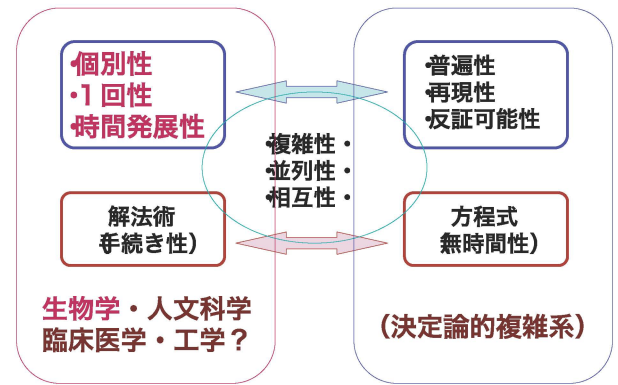




生物学は『科学』たり得るか？



講演者：(生物) 入来篤史 (理化学研究所)
『神経システムと代数幾何』

書記：(生物) 山道真人 (総合研究大学院大学)

- ・ 生物学的なデータを数学らしくアレンジして発表しても限界がある
- ・ 今困っていることを数学でできないか
- ・ アドバイスが欲しい
- ・ 高校は数学者を目指したが、大学では難しく諦めた
- ・ 数学的な解釈へのあこがれがある
- ・ 神経系の話だが、ニューラルネットではない
- ・ 今ホットなトピックは、もやもやしたものどうメスを入れるか？
- ・ 幾何的な方法が武器になる？
- ・ 生物学・認知神経科学の10の難問

- ・ 生物学は(所謂)科学たりうるか
- ・ 生物学者三代目。祖父(発生生物学)「生物学は科学でない」とつぶやいていた
- ・ 科学＝普遍性・再現性・反証可能性により唯一の理論・principleを見つける
- ・ 生物学(・歴史学・生態学・進化学・臨床医学・工学)は個性性・一回性・時間発展性
- ・ 認知は多様性がおもしろい
- ・ 科学で切り込みたいけど今までできなかった世の中の大部分にどうやって切り込むか
- ・ 複雑性・並列性・相互性という概念で説明したことになるのか
- ・ 大部分の人が「有り得ない」と言い、少数の人が「当然」と言い、ごく一部の人が「おもしろい」というような話。年月が経つと常識として受け入れられる？

解けない難問

Ignorabimusあるいは「諸法実相」

入来篤史, 科学, 77(2007):59.

自然認識の限界」「宇宙の七つの謎」¹⁸⁷

デュ・ボア・レーモン, 岩波文庫27.

- 1) 物質と力の本性
- 2) 運動の起源
- 3) 生命の発生
- 4) 合目的性
- 5) 感覚と意識の起源
- 6) 理性と言語
- 7) 意思の自由

ヒト固有の認知バイアス

因果希求性

科学的思考の相克

相関対応関係

ありのままの自然

- ・「分かる」とはどういうことか
- ・ Ignorabimus (結局は分からないのだよという意味のラテン語) あるいは諸法実相
- ・ ヒトは相関対応関係でしかないものを「わかった」と感じようと努力している
- ・ ありのままの自然→因果関係は説明しようがない (分かった因果関係はそんな気になっているだけ、ヒトの認知特性)
- ・ 普遍性・再現性・反証可能性のないもの (生物学) を科学にしたい

所謂 科学的フレームワークの再検討

近代科学的規範の成立から35年

方法序説, 1637 英国王立協会創立 1660

近代民主主義の成立から22年

米国憲法, 1787 フランス革命 1789

ピア・レビュー制度の確立から5年

王立協会 Philosophical Transactions誌 1860年頃)

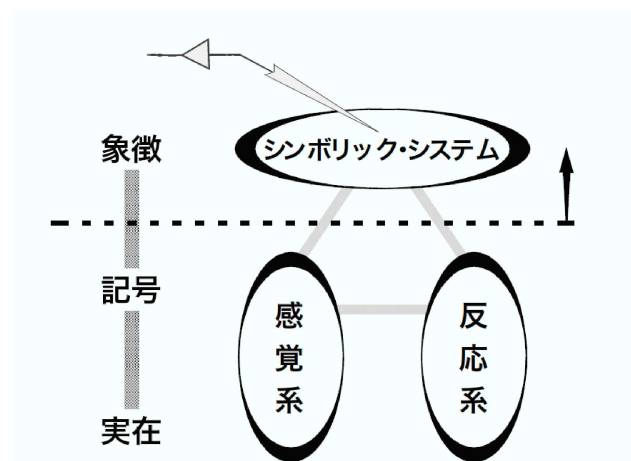
人類叡智の歴史観

日本文化の世界観：(近代英語の成立)

- ・ 所謂「科学的フレームワーク」の再検討が必要。絶対的に正しいと思っている枠組みもた

かだか350年と、そんなに歴史があるわけではない

- ・ 近代的な制度化した民主主義も現在検証中
- ・ 最初は紳士雑誌 (gentleman journal) で、レビューの必要がなかった。ピア・レビュー制度は、オカルト的論文を排除するために始まった。
- ・ 現在排除する対象は、今までの科学的な枠組みに対する批判=ピア・レビュー制度の内側からは新しい科学の枠組みは生まれにくい

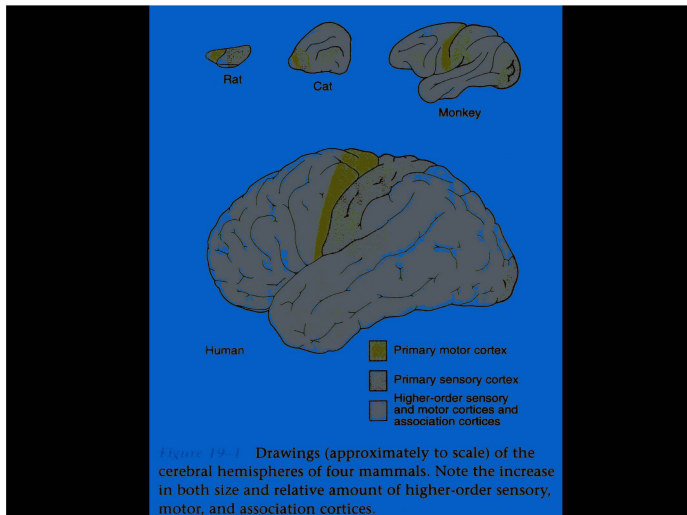


入来篤史:「それでも脳は思っている」, 生体の科学, 60:10-18, 2009

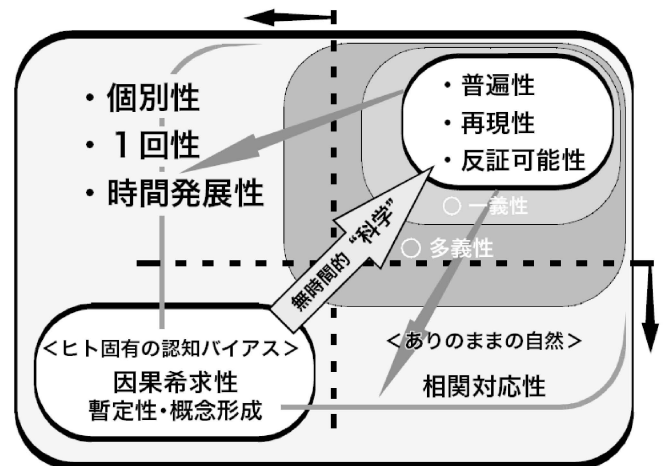
- ・ なぜ脳は、ある種の幻想を持って物事を説明しようとする傾向を持つか
- ・ エルンスト・カッシーラ (独) の人間と動物の区別
- ・ 点線は動物と人間の境界を示す
- ・ 動物は感覚系と反応系のみ
- ・ アメーバの例 (おいしいものに近付く、怖いものから逃げる)
- ・ 外界の情報を検出し、適切な運動をするように進化してきた
- ・ 実在の物理量を神経信号 (記号) にして伝える (神経系)
- ・ ヒトには上位のシンボリックシステム (象

徴)がある。ヒトは恣意的に、現実と乖離した対応付けをすることができる

- ・ 脳の感覚野・運動野が感覚系・反応系とすると、連合野がシンボリックシステム？

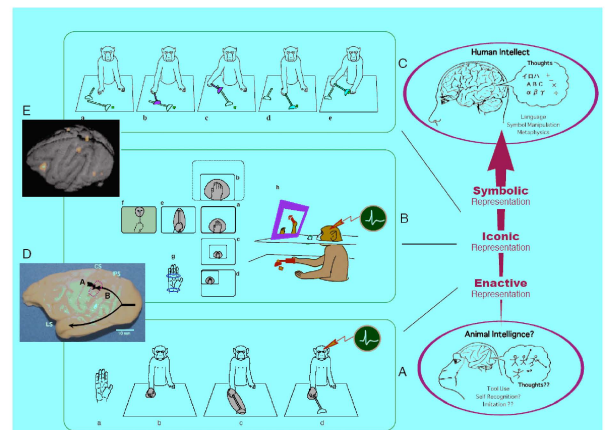


- ・ 感覚野・運動野・連合野はネズミ・ネコ・イヌ・サルにも少しはある
- ・ 感覚系・反応系は計測可能な物理量との対応関係が記述できる
- ・ 対応関係が記述できないシンボリックシステム（愛や正義）は科学の対象にならないか
- ・ 人間がそれを用いている（実在している）以上、科学の定義を見直す必要がある
- ・ 実在は一つ、感覚は複数
- ・ 記憶の蓄積による、現実から乖離した情報処理＝大脳



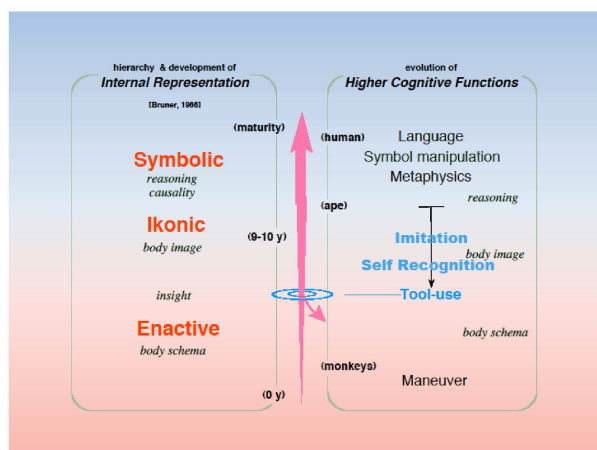
- ・ 数学は実在と便宜上乖離しているからこそできるものではないか
- ・ ヒト固有の認知バイアス＝因果希求性（暫定性・概念形成）
- ・ 現実を捨象した部分＝科学（普遍性・再現性・反証可能性）は狭義

身体像の転換（道具と身体の等価性）



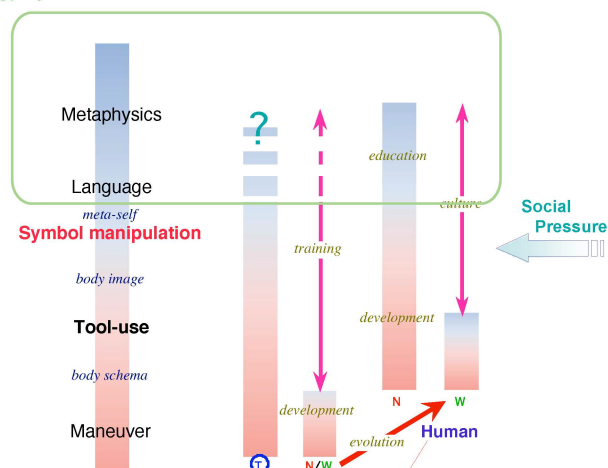
- ・ ヒトとかなり違う生物であるニホンザルがビデオを見ながら道具を使う
- ・ オッカムのかみそりで説明すべきでない
- ・ 身体像の転換
- ・ 手を手として認識する視覚によって、道具も手として認識する（見なす）

- ・「見なす」という行為は科学としての論理的に正しくない
- ・なぜそんなことができるのか？



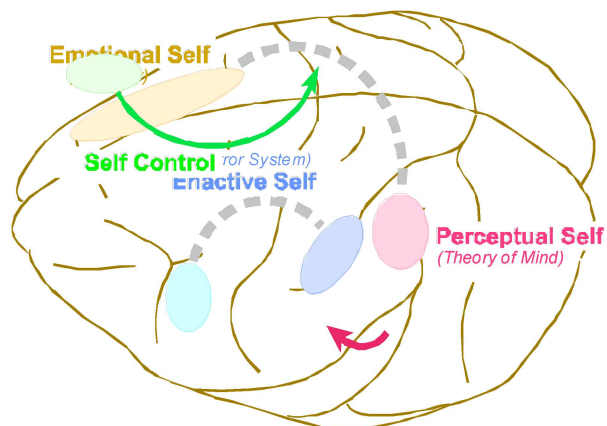
- ・ブルナーの人間の理解の仕方の発達
- ・enactive (触る・行為) → ikonik (見る・視覚) → symbolic (抽象的な記述)
- ・サルの知性を対応付けてみる
- ・訓練すると、頭頂葉の神経細胞が伸びてくる

Biology of ...



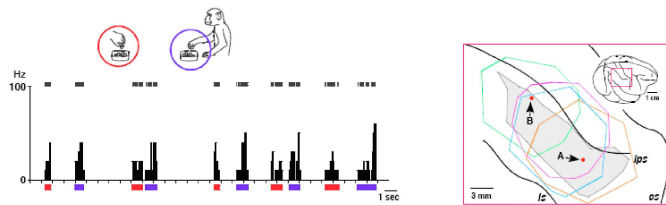
- ・訓練することでサルの道具の使用は人間と同様に発達できるかもしれない
- ・サルでは訓練しないと発達しない神経細胞は、人間では社会によって自動的に発達
- ・本当は野生のサルと野生の人間の比較が必要？ 文化が人間の特性

Hypotheses ?



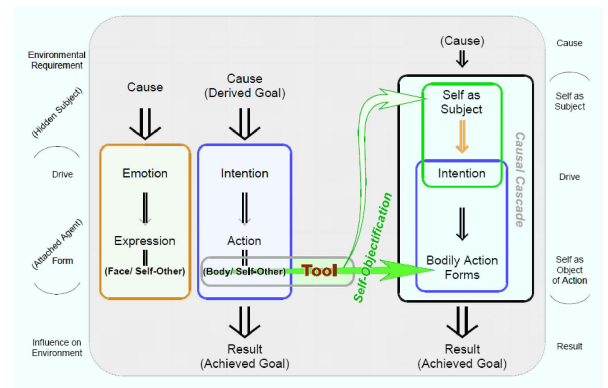
- ・ミラーニューロンとは、他人が行動しているのを見たときと、自分が行動したときに同じように活動する神経細胞
- ・ミラーニューロンは自分と他人を同じとみなすこと

- ・サルはミラーニューロンがあるのに猿真似しない



- ・図の説明。横軸が時間、縦軸が神経パルス
- ・実験者の行為（赤）をサルが見たときと、サルが実際に行ったとき（青）の両方に同様に活動する

身体像の転換（道具と身体の等価性）

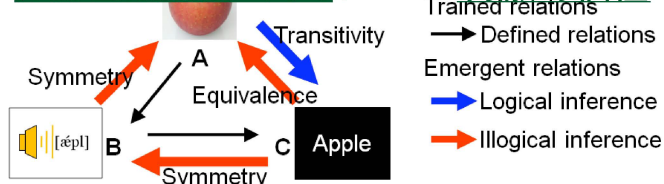


Iriki A, *Curr. Opin. Neurobiol.* 2006

- ・ミラーニューロンは自分と他者の相同性を認識するというのが定説
- ・他のサルを環境要因として捉えるのかもしれない
- ・道具を使うことにより、自分の手を客体化する
- ・「私が／餌を／取る」というように、主語・述語・目的語で切り分けるのが人間の認知特性と考える
- ・逆に、スペインのある一地方では「帽子をかぶった男が女と街を散歩する」という動詞があるらしく、切り分けずに一つの概念として扱っている
- ・道具と自己の等価性 (equivalence) という概念を知覚し、主語と述語の分離という alternative な解釈をヒトは行う
- ・因果関係がないにも関わらず入れてしまう

非論理的認知バイアス

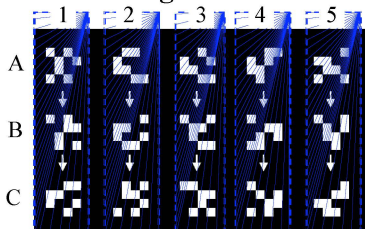
刺激等価性



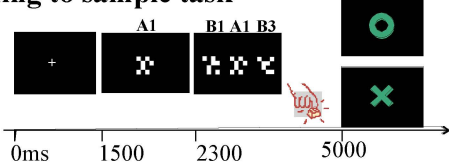
Ogawa A et al, submitted

- ・ 非論理的認知バイアス=A と B を連合する。A ならば B→人間は逆も真であるかのように知覚する (B ならば A)。しかし、動物 (と科学) はやらない (全く別のロジック)
- ・ 「逆は必ずしも真ではない」とは、どの文明にもある警句
- ・ 刺激等価性 (A リンゴの写真 B 発音 C 文字 動物も A→B→C という三段論法から A→C とすることはできるが、ヒトは C→A とする =equivalence)
- ・ 人間はいい加減にやってカテゴリー化する
- ・ カテゴリー化することが人間の誤り (論理的に正しくない) であり、利益でもある

Stimulus assignment

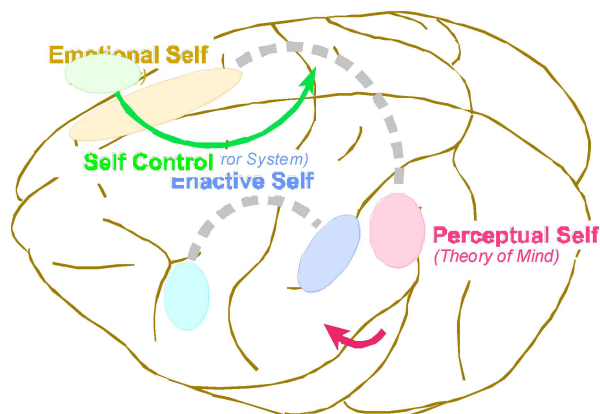


Matching to sample task

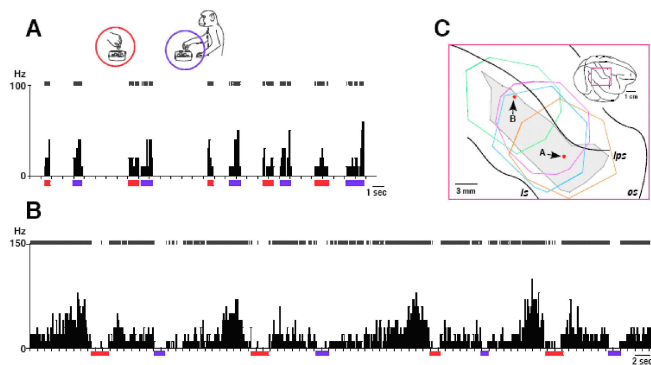


- ・ Symmetry・刺激等価性を処理しているとき、ヒトでは前頭前野と頭頂葉が働く

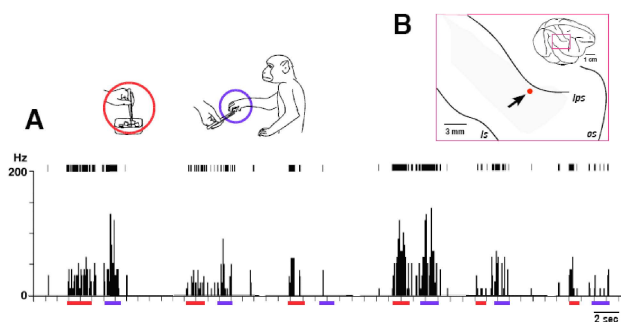
Hypotheses ?



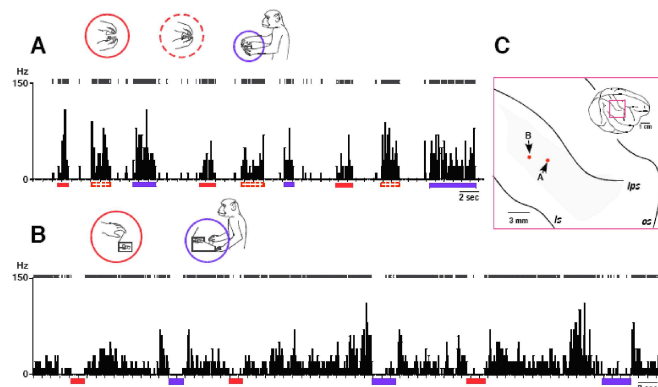
- ・ ミラーニューロンは品詞の起源か？ 多義性を記述するものがある？
- ・ 来週 Berkley でミラーニューロンのシンポジウムがある
- ・ ミラーニューロンを概念だけで解釈したがるヒトが多い



- ・抑制性のミラーニューロンがある
- ・抑制と興奮も意味のコードとしては同等なものに見なされる



- ・ヒトは道具を使ってつまむ、サルは手を使ってつまむ。これらは同じファンクションとしてコードされている
- ・つまむもの（ピーナッツ・レーズンなど）によって違う
- ・今までのミラーニューロンの概念とは違う detail がある

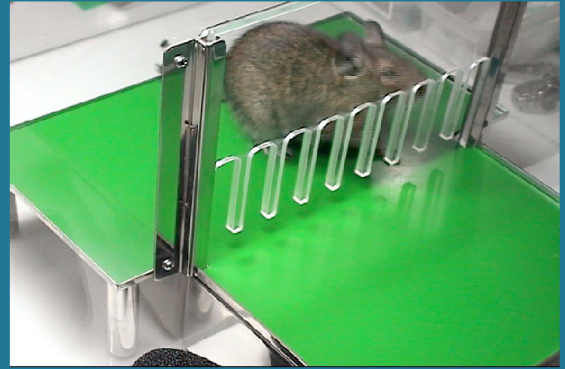


- ・ヒトが蓋を開け、餌をシャーレに入れて閉めて渡す・サルが開けて食べる、という行為の際に、シャーレの開け閉めという行為で活性化
- ・ヒトがふたを引っ張りあげて開ける・サルがボタンを押すという際に抑制
- ・違う行動でも意味は同じ

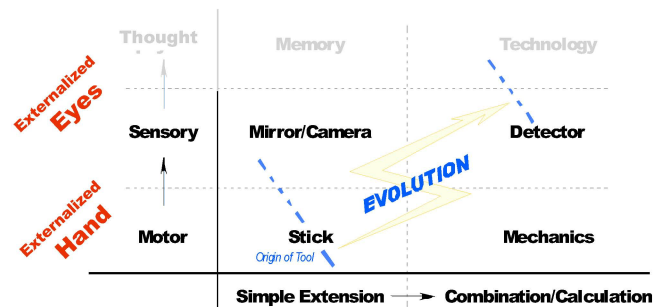
等価性の成立による概念化・構造化

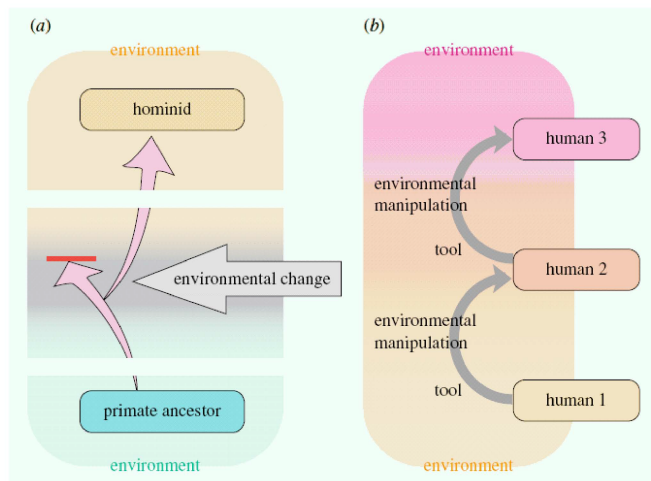
Mirror Properties and Studies	Recording site	Agents Subject(S)	Action forms Verb(V)	Goal of action Object(O)	Others(Ot)	Coding	Neuro-cognitive Processes
Classical mirror neuron Rizzolatti et al. (1996)	FS	X or Y	grasp stick	food		* - (V - O)	Generalization of Agents
Present study [Fig.2]		X or Y	grasp	food			
Contextual dependency Fogassi et al. (2005)		X or Y	bring	food	into the mouse into a box	* - V - O - (Ot)	
Reward dependency		X		peanut			
Present study [Fig.3]	7b	Y	pick	cookies peanut cookies		* - V - (O)	Functional Equivalence of Actions
Contextual dependency Present study [Fig.4, A]		X or Y	open	box			
		Y	close			* - * - (O)	
Functional equivalence Present study [Fig.4, B]		X or Y	push pull	button cover			
Equivalence relations (Prediction)	?	X or Y	any action	any goal		(* - * - *)	Stimulus Equivalence

- ・ 等価性の成立による概念化・構造化
- ・ **conventional** なミラーニューロンは「餌を取る」という動詞と述語が共通で主語の **equivalence** があるときに、共通のものをコードしている
- ・ 3つの **component** があるので、等価性が成立するのに6通りミラーニューロンが必要。訓練したサルでは4種類くらいは記録できる。6つそろってネットワークをつくると、抽象的な言語ができるようになるのではないか
- ・ **conventional** なミラーニューロンは主語の **generalization** で説明できる
- ・ 他の **component** では **functional equivalence** (ある **function** に対してそれに共通な **component** を集める) で、主語述語動詞という記述で物事を切り取ってこられる
- ・ 近代言語学とは、近代英語学のこと。成立は最近 (ここ2、300年?)。
- ・ 基本的に、物事を俯瞰的に見ようとする。
- ・ ある現象は多義的であるが、科学は一義的に解釈しようとする。本来、解釈可能性は無限個あるが、ヒトはある解釈を取ってきて有限にする
- ・ 野生の生物は安全なことしかしないが、人間は安全保障システムがある。ネオテニーが可能になる。好奇心があり危険なこともやってみる。積極的に否定されるべきだった多義性を定式化する方法がないか
- ・ Q: ミラーニューロンが抽象的な概念に反応するか?
- ・ A: できるかもしれない。バブルの形成を調べる (実態から乖離した認知。株取引ゲームの脳認知)
- ・ ニューロンは一時間程度しか記録できないため、全ての場合を検証できず **fragmental** なデータが多い。定式化して幾何学的な構造をつくれな

Degu (*Octodon degu*) Tool-Use

- ・ 知的脳機能の生物学
- ・ サルに道具を使う訓練をさせると物理的にサルの脳がふくらむ。この場所は人間が進化の中でふくらんできた所に対応する
- ・ 今後マーマセツでも実験する
- ・ ネズミに道具を使わせる (海馬がキー)
- ・ 多義性。一回しか起こらないことをどう解釈するか





Review

The neuroscience of primate intellectual evolution: natural selection and passive and intentional niche construction

Atsushi Iriki^{1,2} and Osamu Sakura^{1,2}

¹RIKEN Brain Science Institute, Saitama 351-0198, Japan
²The University of Tokyo, Tokyo 113-8654, Japan

We trained Japanese macaque monkeys to use tools, an advanced cognitive function monkeys do not exhibit in the wild, and then examined their brains for signs of modification. Following tool-use training, we observed neurophysiological, molecular genetic and morphological changes within the monkey brain. Despite being 'artificially' induced, these novel behaviours and neural connectivity patterns reveal overlap with those of humans. Thus, they may provide us with a novel experimental platform for studying the mechanisms of human intelligence, for revealing the evolutionary path that created these mechanisms from the 'raw material' of the non-human primate brain, and for deepening our understanding of what cognitive abilities are and of those that are not uniquely human. On these bases, we propose a theory of 'intentional niche construction' as an extension of natural selection in order to reveal the evolutionary mechanisms that forged the uniquely intelligent human brain.

Keywords: tool use; body image; mind; self; non-human primates; culture

- Q: 整合性のある分節化は個体では必要なく、コミュニケーションの際にのみ必要となるのではないかな？
- A: それはどちらが先かわからない。ミラーニューロンは日本人とイタリア人のみしか観察していない。英語圏の人は近代科学規範からの逸脱に極めて抑制的？
- Q: サルの訓練ではどのように工夫しているのか？ サルには反射以上の行動があるのか？
- A: 枝のたぐり寄せからステップで教える（シェイピング）。ヒトの進化で起きたことと同じステップではないか？ 猿回しは別の方法で教える（恐怖条件付け、ステージ中は餌をやらない、キャッという声は恐怖、恐怖条件付けだと、統制のとれた行動を取るようになる）。脳の基本特性としてはネズミでもイルカでも、同じことができるはず。
- Q: ヒト固有の認知バイアスと言うが、中国では因果希求性がないのではないかな？
- A: ヒトは自己が作った文明によって制限される（意図的ニッチ構築）他の原理は存在するか？ グローバル化は危険かもしれない。「因果希求性」という概念自体が因果希求性の結果？ 多義性

短い質問

- Q: サルに道具は発明できるかな？
- A: まだできない。選択はできる。道具に階層性があり、熊手（手）の先に鏡やカメラ（眼）を付けることができる。自己の認識に結びつけられ、その内に外部記憶装置にまで延長することができる。意図的ニッチ構築（王立協会論文、スライド26）
- Q: 言語の実験的証拠（主語と動詞と客体、分節化）
- A: 理論を構築することに期待。試行錯誤ではできない