

脳の学習から心の発達へ

～幼児の言葉の学習戦略～

北海道大学 大学院工学研究科
大森隆司



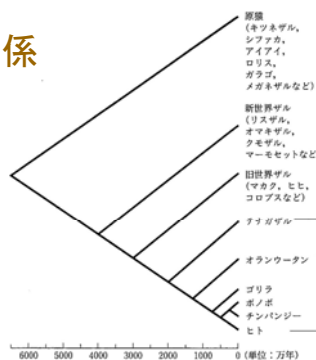
「言語」の学習と利用

- 言語の利用：動物×，ヒト○
- ヒトに特有の行動：
道具，心の理解，言語，
- 謎：動物はなぜできない？
ヒトはなぜできる？



動物とヒトの関係

- 進化の系統
→ 霊長類は近い
- 進化している
↓
より高い知的能力



「知能」という種の生存戦略

図1 霊長類の系統関係と分岐年代
ホミノイデのうち、ヒト以外の5種を「類人猿」と呼ぶ。
その中で、テナガザルを小型類人猿、他を大型類人猿と区
別することもある。

ヒトと動物を分ける行動

- 人間に特有の知的行動
 - 道具をつかう
 - 他者に教える，学ぶ
 - 他者をだます，
 - 言語を使用する



本日のストーリー

- ヒトと動物の能力の比較(比較認知科学)
→ ヒトと動物はどれほど近い
- 言葉(語彙)の獲得の戦略(情報科学)
→ ヒトと動物はどう違う？

ヒトの心の仕組みを知る試み



ヒトと動物はどれほど近い

- 人間に特有の行動
 - 道具の利用，
 - 他者に教える，
 - 他者をだます，
 - 言語を使用する



道具の利用と社会的学習

- 道具を利用できる
- 社会的に意味のある行動の学習
- 他者の行動を見て学ぶ



NHKテレビより

他者をだます

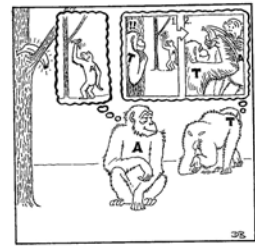
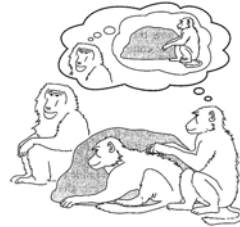


図4 パーソナル『考えるサル』より、チンパンジーのあざむきの観察例。下位のチンパンジーAは、上位のチンパンジーTにエサを横取りされないように、エサから目をそらして、通り過ぎるのを待つ。(Byrne, R. (1995): *Thinking ape: Evolutionary origins of intelligence*. Oxford University Press. Figure 9.5)

心の理論

「他人は自分と同じ心を持っている」ということの意味

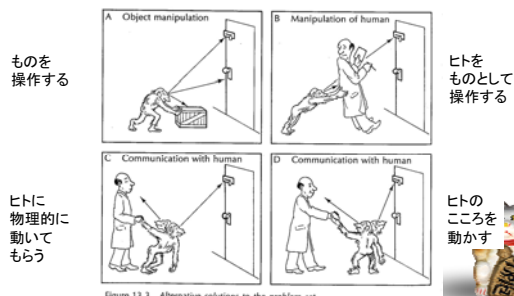


Figure 13.3 Alternative solutions to the problem set.

発達段階を見てみよう

- 進化は検証が難しい



- 発達を見てみよう

幼児はたくさんいる
調査が可能

竹下秀子: 赤ちゃんの手とまなざし
岩波書店2002



初期発達の共通性

ニホンザル チンパンジー オランウータン



図2 《赤ちゃんの手とまなざし》より、チンパンジー、オランウータンの生まれたばかりの赤ちゃんの手とまなざし。赤ちゃんの手とまなざしは、人間の子供の手とまなざしと非常に似ている。赤ちゃんの手とまなざしは、人間の子供の手とまなざしと非常に似ている。赤ちゃんの手とまなざしは、人間の子供の手とまなざしと非常に似ている。

竹下秀子: 岩波書店より

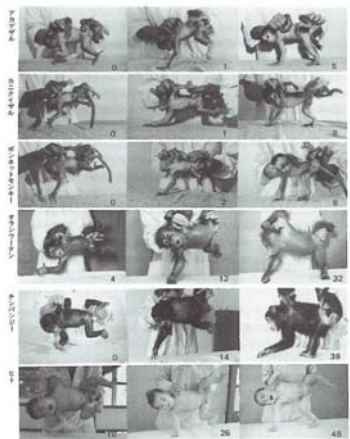
姿勢反応

第一段階: 腕・脚が屈曲
体を支える反応はない

第二段階: 腕が伸展、
伸展支持反応が発生
脚は屈曲

第三段階: 腕・脚が伸展、
伸展支持反応が発生

写真中の数字は週齢
竹下秀子: 岩波書店より



指の動作の発達

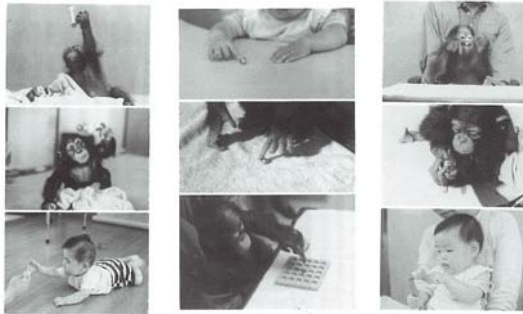


図6 ガラガラへの手のばし（上から）オランウータン：録画、チンパンジー：録画、ヒト：録画
図7 人さし指による小輪への接触（上からヒト：録画、チンパンジー：録画、オランウータン：録画）
図8 両手の非対称的操作（片手で輪の側を持ち、もう一方の手の人さし指で輪をつつく。（上から）オランウータン：録画、チンパンジー：録画、ヒト：録画）

竹下秀子、岩波書店より

手・腕の動作の発達



図10 ヒト（24歳）とチンパンジー（12歳）の足先つかみ

図11 ヒト（24歳）の両手あわせ



図12 あおむけで手に持ったガラガラをさまざまなとりあつかう（ヒト：録画）

図13 あおむけで手に持ったガラガラをさまざまなとりあつかう（ヒト：録画）

竹下秀子、岩波書店より



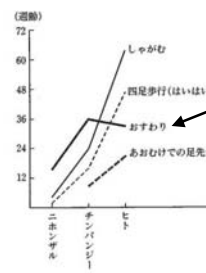
動物にも見られる知的な行動 (どれほど近い)

人間に特有と言われる行動も、

- 道具の利用 → チンパンジー
- 他者から学ぶ → チンパンジー
- 他者をだます → ヒヒ、チンパンジー
- 反射的な動作 → サル、チンパンジー、ヒト
- 言語を使用する → アイの記号言語



どこでヒトと他の動物は別れるのか



ヒトのおすわりは他の動物比較して相対的に早い時期に出てくる

手でモノを操作する能力の発達が相対的に早い

体の発達が手を使うようにできている（モノの順次的な操作）

図9 ニホンザル、チンパンジー、ヒトにおける手・足を地面につける姿勢（しゃがむ、四足歩行）と胴体を地面につける姿勢（足先つかみ、おすわり）の初出年齢

竹下秀子、岩波書店より



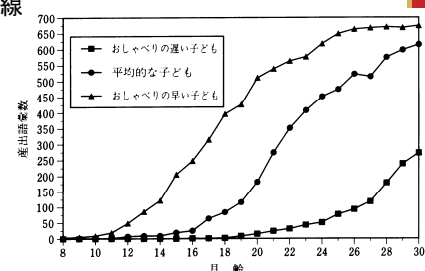
ここまでのまとめ

- ヒトと動物は共通に持っているものが多い
道具使用、社会的学習、だまし、反射動作
- しかし詳細を見ると異なっている
例：個々の機能が発生してくる時期
- 言語については？

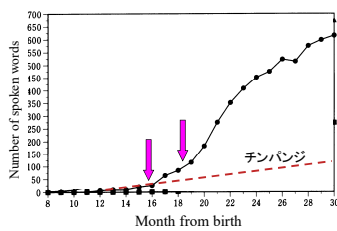


幼児の言語（語彙）の獲得

- 一語文、二語文、三語以上の文
- 語彙獲得曲線
- 語彙爆発



幼児語彙発達におけるルール獲得



幼児の語彙獲得戦略

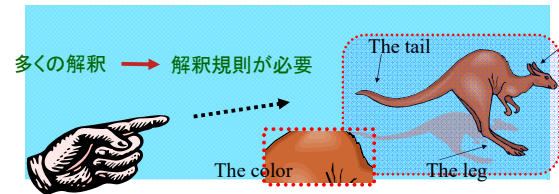
1. 全体バイアス
 2. 形バイアス
 3. カテゴリーバイアス
- を状況に応じて切り替える
(適用ルールの獲得)

学習戦略の獲得と適用制御



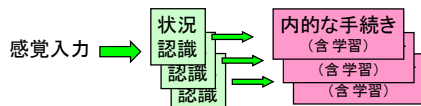
言葉と意味のマッチングの難しさ

単語以外の何らかの信号を利用しなくてはならない



言語獲得バイアスの 状況駆動の学習手続き モデル

- 個々の「状況」に応じて学習「行動」
ex. 対象の形に注目して語と連合(名詞)
動作に注目して語と連合(動詞)
- それぞれの学習行動は、個々の状況でのみ
有効な経験的方法(理論的でも最適でもない、手続き)
- 状況と行動は獲得される



前頭葉障害の症例

Human Autonomy

- F. Hermitte: Human Autonomy Part I, Annals of Neurology, p.326-334, Vol.19, No.4, 1986
- F. Hermitte: Human Autonomy Part II, Annals of Neurology, p.335-343, Vol.19, No.4, 1986

Imitation Beha.

Utilization Beha.

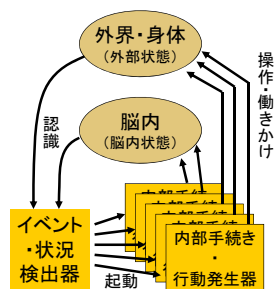
前頭葉の障害

高度に自動化された行動の
自動的実行



脳内処理のイベント駆動仮説

- ① 外部／脳内の事象の認識
- ② 認識によって処理手続きを起動
- ③ 手続き・行動による
内的／外的世界の状態変化
- ④ 新たな事象の発生 → ①に戻る
- ⑤ 上記①～④の動作のチャンク化
→ 新たなマクロ処理の発生
→ 状態空間の複雑化



モデル実験

「モデル」

ある現象を単純化・抽象化して
本質部分のみを残した表現
ex. ファッションモデル

シミュレーション

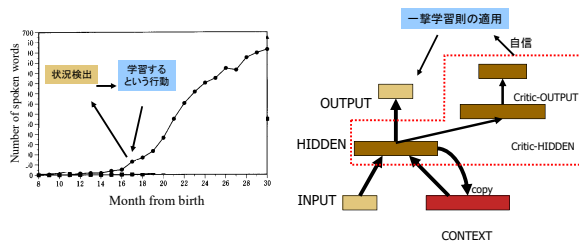
モデルを計算機の中で動作させ、
その動作からもとの現象に
ついての理解を得る



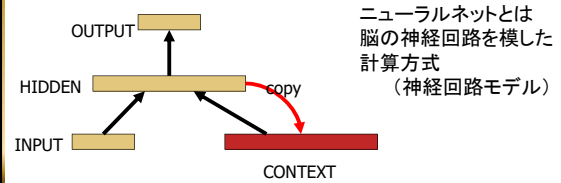
言語学習の脳現象のモデル

基本イメージ

- 言語学習はニューラルネット(神経回路)の学習である。
- 言語の状況認識 → 学習動作の制御。
- 状況認識に自信 → 自信を持って学習する



ニューラルネットによる再現 エルマンネットワーク (RNN)

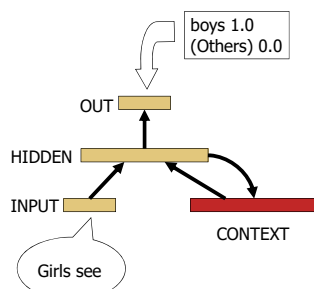
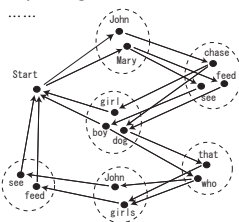


特長：学習する

Elman, J. L. (1991). Distributed representations, simple recurrent networks, and grammatical structure.
Elman, J.L. (1993). Learning and development in neural networks: The importance of starting small.

RNN による文法学習(予測の学習)

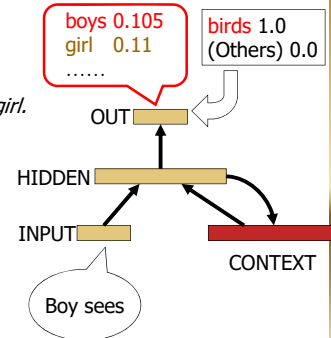
Input Sentence
Girls see boys.
Dog who chases cat sees girl.
.....
Boy sees girl.
.....



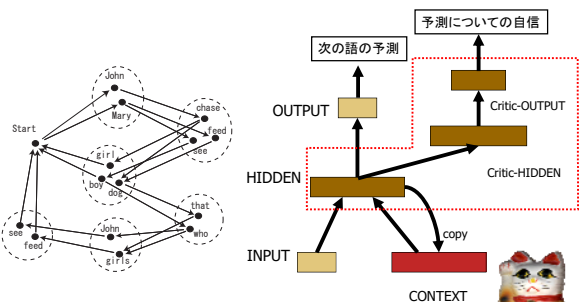
新規語彙の獲得

Input Sentence
Girls see boys.
Dog who chases cat sees girl.
.....
Boy sees *birds*.
.....

早い学習と遅い学習
・ 通常は様子をみながらの遅い学習
・ しかし結果が見えていて自信がある場合は一撃で覚える。



自己評価ネットワーク → 自信あり?



シミュレーションの概要

初期学習期

- 22 語 + '！'
- この語で文を生成 → 学習
- 遅い学習を適用

追加学習期

- 20 語が一つずつ追加されていく
- 十分に自信があるときは、一撃学習を適用

比較

1. 単純一撃学習
2. 自信に基づく一撃学習
3. 遅い学習のみ

生成文法による文の生成

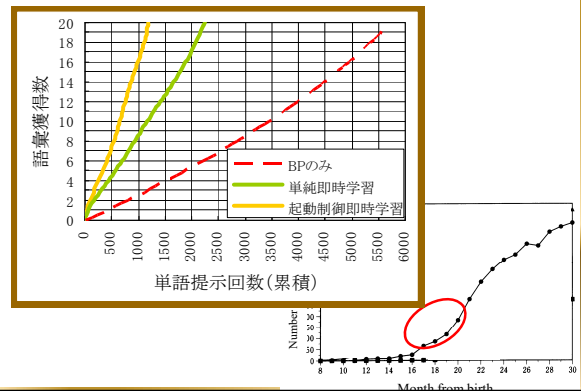
$S \rightarrow NP VP \text{ "}$
 $NP \rightarrow PropN \mid N \mid N RC$
 $NP \rightarrow V (NP)$
 $RC \rightarrow \textit{who} NP VP \mid \textit{who} VP (NP)$
 $N : \text{boy, girl, cat, dog, boys, girls, cats, dogs, bird, monkey, birds, monkeys}$
 $PropN : \text{John, Mary, Andy, Tom}$
 $V : \text{chase, feed, see, hear, walk, live, chases, feeds, sees, hears, walks, lives, bump, hit, say, know, jump, run bumps, hits, says, knows, jumps, runs}$

Initial words
Additional words

50% monoclausal sentences
50% multi-clausal sentences



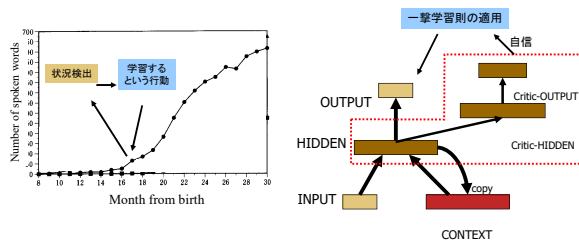
Position in vocabulary spurt



言語学習の脳現象のモデル

基本イメージ

- 言語学習はニューラルネット(神経回路)の学習である。
- 言語の状況認識 → 学習動作の制御。
- 状況認識に自信 → 自信を持って学習する



でも、本当かい？

- あくまでもモデルである。
→ モデルが正しいという保障はない
→ シミュレーションは正しいの？
- 実際の語彙獲得の現象で確かめよう
↓
- 名詞と動詞の獲得バイアスで行動実験



行動実験(調査)でためしてみよう

- 対象 3, 4, 5 歳児
- 名詞の学習ルール「ほら、ネケだよ」
- 動詞の学習ルール「ほら、ネケってる」



「ネケる」の意味推論ルール(下斗米)

「ほら、ネケってるね」
「このお姉さんネケってるよ」
↓
「ネケってるのはどっち」

標準画像



新奇物体
で
新奇行動

ネケってる(行動同じ)



動詞の汎用ルール 3歳児 × 5歳児 ○

ネケだよ(物体同じ)



名詞の汎用ルール 3歳児 ○

行動実験の詳細

被験者

- 3歳から5歳までの幼稚園児

実験方法

- 1セットは標準刺激とテスト刺激からなり、8セット行なう
- スコアは8回のうち、OCを選んだ回数
→ 0点~8点/各被験者
- 百数十人に実施 → スコアの分布



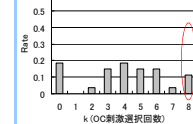
幼稚園の実験場面



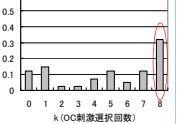
結果データ(人数比率)

動詞条件

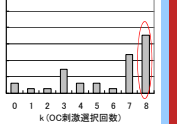
3歳



4歳

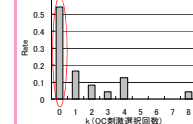


5歳

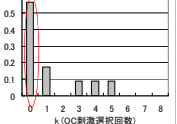


名詞条件

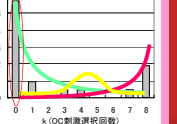
3歳



4歳



5歳



階層型モデル: 混合二項分布

- 混合二項分布を使ってデータにフィッティングする

$$P(k, z) = P(k | z)P(z)$$

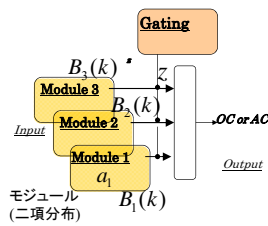
$$P(k | z) = \sum_i z_i B_i(k)$$

$$P(z) = \sum_i z_i g_i$$

$$B_i(k) = C_i a_i^k (1 - a_i)^{8-k}$$

確率変数(OC選択回数に相当)
 $0 \leq k \leq 8$

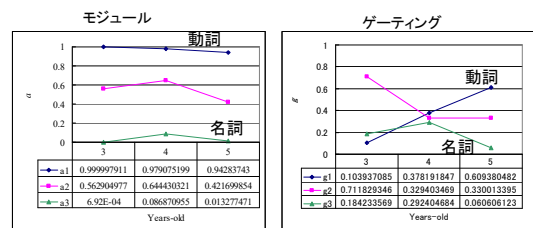
$z = [z_1, z_2, \dots, z_L]^T$ 隠れ確率変数



モデルの概念図

パラメータ解釈(年齢変化)

動詞条件



- 動詞条件ではモジュールの変化は小さく、ゲーティングの変化が全体の変化に大きく影響を与えている



分析の結果

- 動詞の名詞の学習方法は別々に獲得される
- 名詞は三歳でok
- 動詞は五歳までかかる
- 時間がかかるのはどういいうときにその方法を使うかという適用条件
「メタ知識」



問: 語彙学習バイアスとは何か

現在の解答

- 言葉が使われる状況に依存して脳が使う言葉の学習方法(動詞と名詞は違う)
- 状況 → 脳内の学習行動(メンタルな処理)
- 言語の経験 → 次第に観測されるようになる

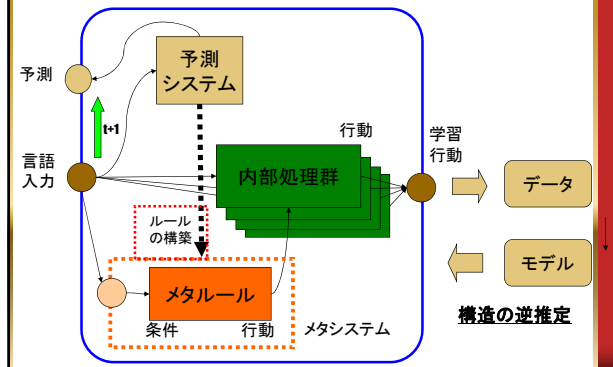
未解決の問い

- 先天的(遺伝子) or 後天的(経験依存)?

背景: 言語の先天性に関する論争



語彙獲得のルール駆動機構



本日のストーリー

- ヒトと動物の能力の比較 (比較認知科学)
→ ヒトと動物は近い
- 言葉(語彙)の獲得の戦略 (情報科学と行動実験)
→ ヒトは学習ルールを獲得する?
- **まとめ + II**
勝手な意見 (頭のよい子を作る方法)



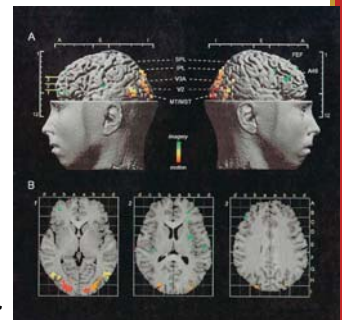
言葉の獲得と心の理論 の工学

- 言葉の獲得
 - 日常的な言葉の利用の中の規則性
 - 幼児はそれを観測 → 言語のルールを発見
 - ルールに基づいて、新しい学習方法を発見
- 心の理論
 - 他者の行動の中に規則性
 - 幼児はそれを観測 → 行動のルールを発見
 - ルールを用いて相手の心を推定



新しい行動・方法の発見とは？

- ある問題を解くとき、脳はそれに関連する部位が活性化
- 新しい問題
 - ↓
 - 多くの部位が一斉に活性化
 - ↓
 - しだいに収束
- → 行動・方法の発見



脳の知能発生アーキテクチャ

