

発達する知能

ことばの学習を可能にする能力

玉川大学 脳科学研究所応用脳科学研究センター

赤ちゃんラボ&キッズラボ

岡田浩之



自己紹介

○ 岡田浩之

○ 玉川大学脳科学研究所
応用脳科学研究センター
心の発達研究部門



○ 認知発達ロボティクス

○ 人間を含めた生物全般をシステムの的に理解

○ 脳と赤ちゃんとロボット

玉川大学脳科学研究所 社会に生きる脳科学へ





Research Group
on the
Multi-dimensional
Communication



研究紹介 友愛観グループ

コミュニケーションの
認知発達科学・脳科学的解明を目指す。

友愛観グループは、「社会に生きる心」を支える脳機能、特にコミュニケーションをはじめとする協調的社会性に焦点をあて、その認知発達科学・脳科学的解明を目指しています。

心理学・言語発達科学・ロボット工学・認知神経科学といった多方面からのアプローチのみならず、学際的研究協力体制を構築し、互いの方法論や知見を共有することで、コミュニケーションを実現する心的機能を認知発達科学・脳科学的に解明します。

認知心理学

◆意思決定 ◆嗜好

Two studies show that a neural network supports the two distinct processes of cognitive control and the automaticity of a choice.



情動と意思決定、共感、潜在認知を主な研究テーマとし、コミュニケーションの基盤をなす心的機能の認知メカニズムの解明を目指します。

言語発達科学

◆育児 ◆教育



言語発達、母子間相互作用、自己／他者理解を主な研究テーマとし、科学的根拠に立てる教育・教材開発を目指します。

学際的
研究協力

「社会に生きる心」
の脳科学的解明

友愛

コミュニケーション

共感
情動と意思決定

言語発達
母子間相互作用

意図推定
行動支援

表情認知
行動選択

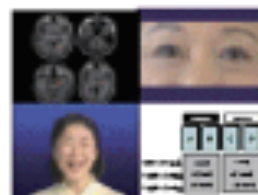
◆ロボットサービス ◆福祉



意図推定モデルの構築・ロボットによる問題解決を主な研究テーマとし、人とロボットの円滑なコミュニケーションの実現を目指します。

ロボット工学

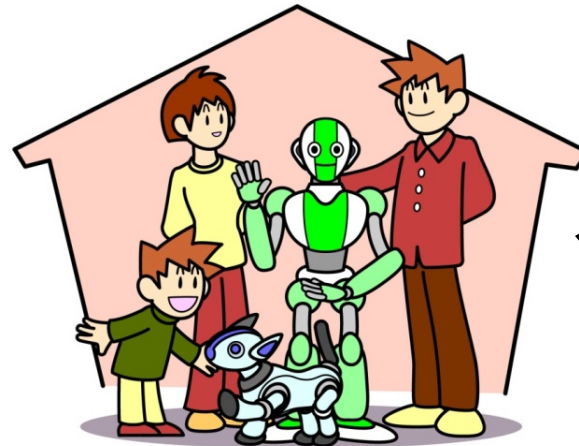
◆臨床 ◆機能回復



社会性、情動認知、情動制御を主な研究テーマとし、人間の社会性を支える脳機能とその障害メカニズムの解明を目指します。

認知神経科学

ロボットと赤ちゃんと脳科学



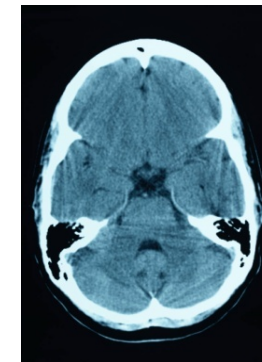
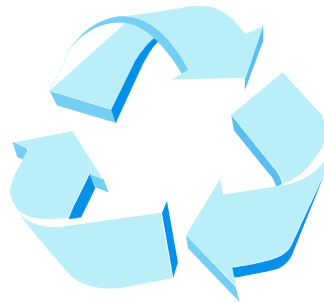
【ロボティクス】

人と共存するロボット
RoboCup@Home



【認知発達】

赤ちゃんラボ & キッズラボ



【脳科学】

発達する知能

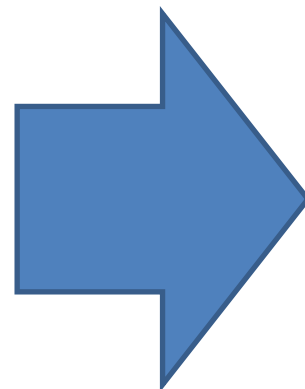
- 幼児の発達の研究は、人間の高度な情報処理過程を理解する上で科学的に重要な知見や示唆を提供し、意思決定や発話理解などの知的活動に関わる工学的な研究へブレークスルーを実現する

発達する知能

- **幼児の発達の研究は、人間の高度な情報処理過程を理解する上で科学的に重要な知見や示唆を提供し、意思決定や発話理解などの知的活動に関わる工学的な研究へブレークスルーを実現する**

発達する知能

- 幼児の発達の研究は、人間の高度な情報処理過程を理解する上で科学的に重要な知見や示唆を提供し、意思決定や発話理解などの知的活動に関わる工学的な研究へブレークスルーを実現する



本当？？？



人工知能は発達するのか？

赤ちゃんを理解するための人工知能
人工知能を実現するための発達研究

発達の原因

- 遺伝と環境の相互作用により調整される
 - 遺伝(初期値)と環境(学習)
- 方向性と順序性
 - 速さの個体差はあるが、順序は変わらない
 - 喃語→一語→二語→...
 - 中心→末梢
 - 具体的→抽象的
- 漸成性
 - 発達の順序に従い、途中形成された機能を土台として、より洗練された機能へと進化する

発達の原因

- 遺伝と環境の**相互作用**により調整される
 - **遺伝**(初期値)と環境(**学習**)
- 方向性と順序性
 - 速さの個体差はあるが、
 - 喃語→一語→二語→...
 - 中心→末梢
 - 具体的→抽象的
- 漸成性
 - 発達の順序に従い、途中
として、より洗練された機能へと進化する

本日のテーマ

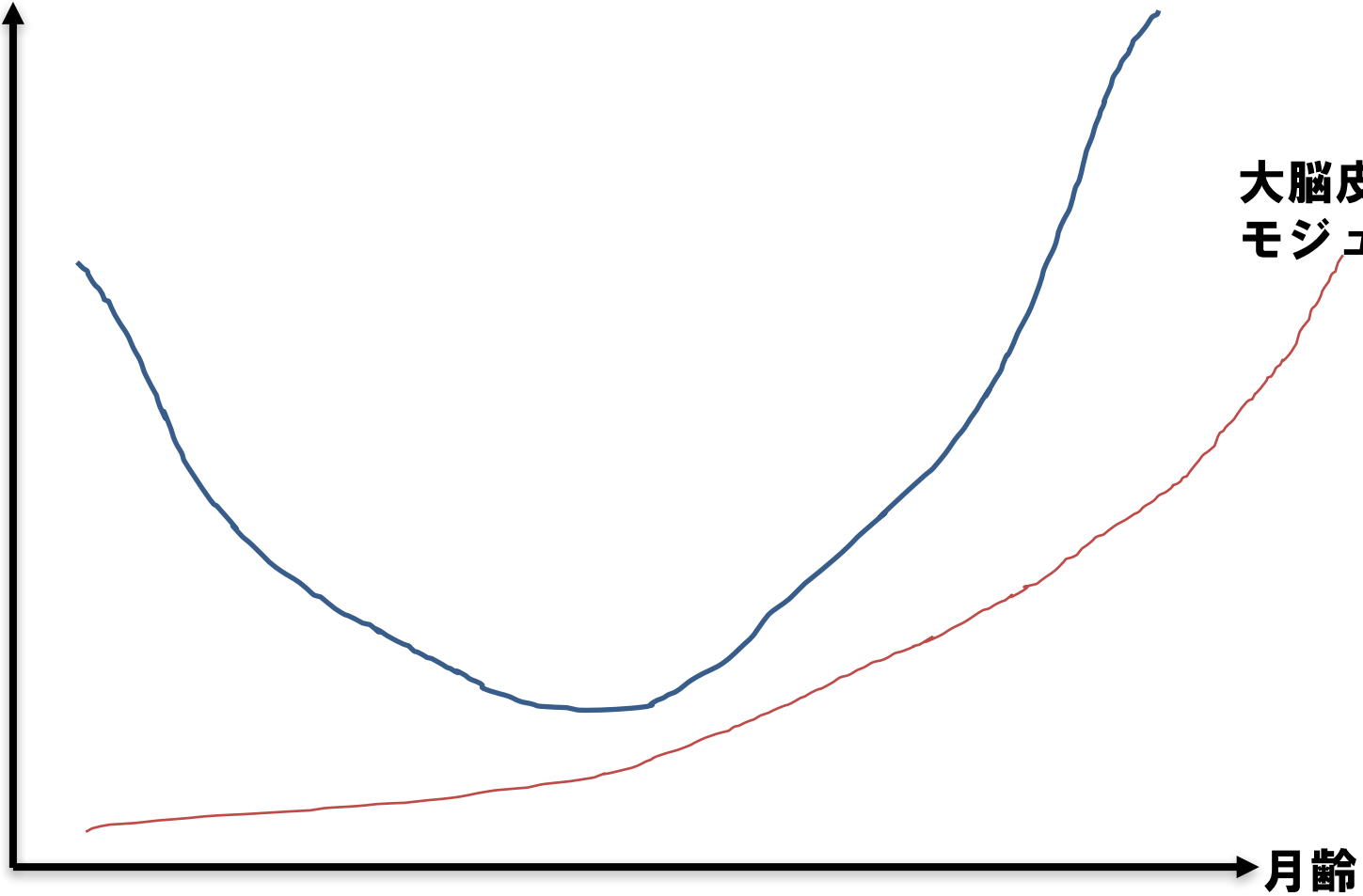
「遺伝する知能、
発達する知能、
学習する知能」

発達の原理

- 遺伝と環境の相互作用により調整される
 - 遺伝(初期値)と環境(学習)
- 方向性と順序性
 - 速さの個体差はあるが、順序は変わらない
 - 喃語→一語→二語→...
 - 中心→末梢
 - 具体的→抽象的
- 漸成性
 - 発達の順序に従い、途中形成された機能を土台として、より洗練された機能へと進化する

発達 の U字型 曲線

パフォーマンス



なぜ、U字型に発達するのか？

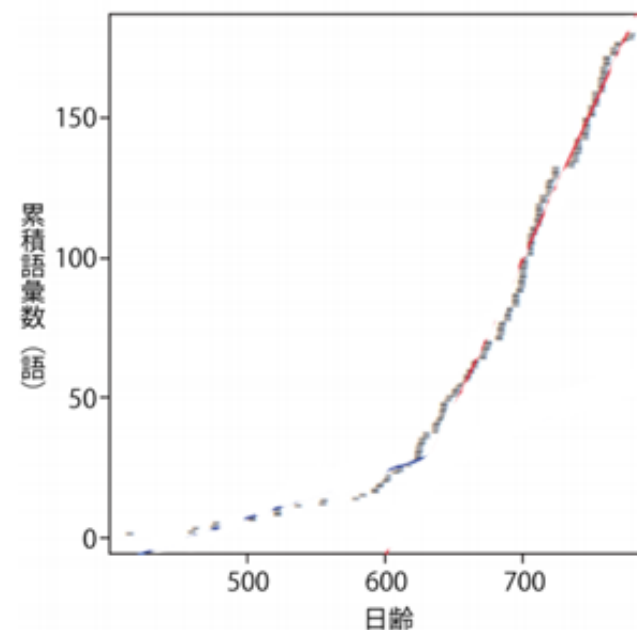
Robert S.Siegler (CMU)

- 方向性、順序性、漸成性があるはずなのに？
 - 年齢とともに上達する
 - 練習をすればするほど上達する
- 探索と知識利用のトレードオフ説
- 汎化能力の獲得と例外処理説
- 知識の増加による一時的な負荷増大
- 知識獲得、方略、メタ認知、内容理解などの、複数プロセスの相互非線形性

語彙爆発の新しい視点

小林哲生(NTTコミュニケーション科学基礎研究所)より

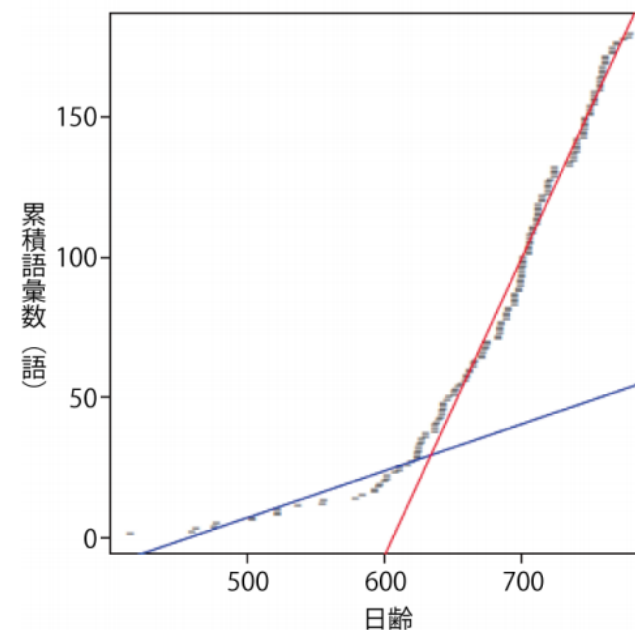
- 「語彙爆発が起こると8-10語／日のペースで新しい語を発する」(従来の教科書)



語彙爆発の新しい視点

小林哲生(NTTコミュニケーション科学基礎研究所)より

- 「語彙爆発が起こると8－10語／日のペースで新しい語を発する」(従来の教科書)
- しかし実際は、99％は4語以下／日



赤ちゃんは真っ白じゃない

「よく、赤ちゃんの事を純真無垢などと言いますが、これって、何も神経回路がない状態。

真っ白いキャンパスに自由に絵を描くように、
真っ白い(何もない)脳に、時間をかけて回路を
作っていくようなものですね。」

- 大人が完成された存在で、子どもは未熟で無垢な存在



ほぼ否定

「ことばの獲得」という問題

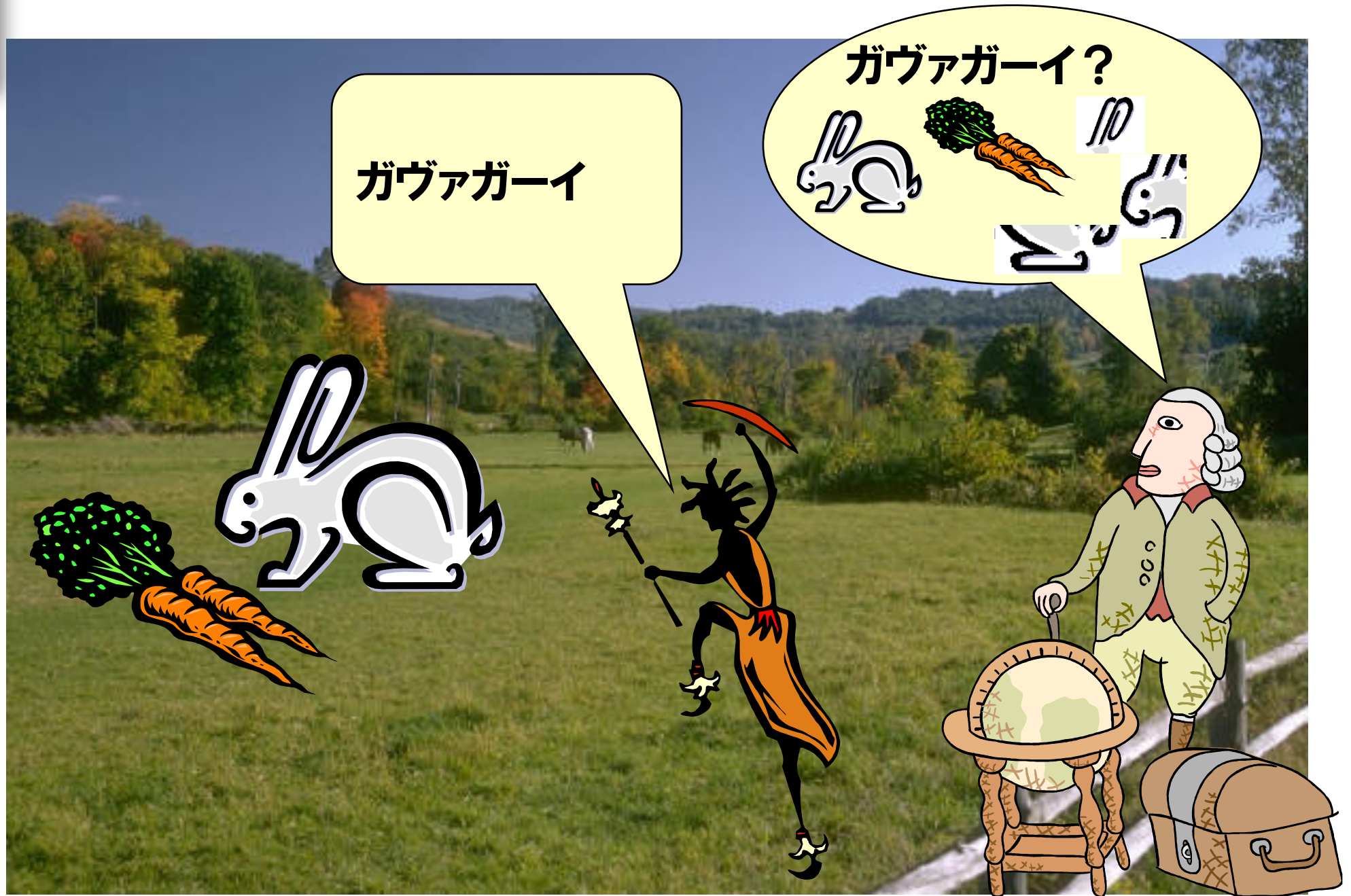
- ことばという記号と、その指示内容である意味は、どのように結びつけられるのかという大問題



「ことばの獲得」という問題

- ことばという記号と、その指示内容である意味は、どのように結びつけられるのかという大問題
- 母親は一々、「モノとその名前の関係」を教えない
- 環境からのインプットだけで全てを獲得するは無理
 - 刺激の貧困

クワインの謎



クワインの謎

ことばの指示対象を確定する際の論理的な難しさ

- ことばを学習する過程でどのような未知のことばに意味を付与するか
- 子供はどのようにしてことばの指示対象を曖昧な状況から確定するのか
 - **そもそも、「言語音には指示対象ある」ということに気付くのは何故か？**

ヘレン・ケラー問題

- 「言葉というものがあるのを、はじめて悟った日の晩。ベットの中で、私は嬉しくて嬉しくて、この時はじめて、“早く明日になればいい”と思いました」
- 突如としてヘレンは言葉と物を結びつけ、すべての物に名前があることに気づいた



奇跡の人(The Miracle Worker)の”Miracle Worker”はサリバン先生のこと

ヘレン・ケラー問題

- 「言葉というものがあるのを、はじめて悟った日の晩。ベットの中で、私は嬉しくて嬉しくて、この時はじめて、“早く明日になればいい”と思いました」
- 突如としてヘレンは言葉と物を結びつけ、すべての物に名前があることに気づいた



奇跡の人(The Miracle Worker) の”Miracle Worker”はサリバン先生のこと

「ことばの獲得」という問題

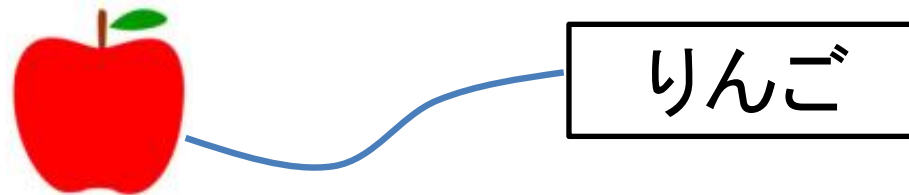
- ことばという**記号**と、その指示内容である**意味**は、どのように結びつけられるのかという大問題
- 言語獲得時(あるいはそれ以前に)
「**言語音には指示対象がある**」ということに気付く
(referential insightを得る)ことが、言語を身につける上での重要な第一歩

言語学習を可能にする能力

- 言語学習を可能にする認知能力を探る
 - ヒト以外の種と共有する能力 vs. ヒト固有の能力
 - 生得的に持つ能力 vs. 環境との相互作用によって学習される能力
- 原素的能力からのブートストラッピング
 - 言語学習における単語切出し、意味推論、文法学習、文・談話理解と暫時的に複雑さを増していく推論機構が**どのような要素から始まり、どのようにブートストラッピングをしていくのか**を行動レベル、神経レベルで明らかにする
- 具体的な研究テーマ
 - 言語学習前後における**音象徴性への敏感性**(行動、脳波)
 - 乳児とチンパンジーにおける**対称性推論能力**の比較(行動、視線)
 - 他者意図推論能力の発達過程(視線、脳波)
 - コミュニケーションロボットを使った実証実験(計算モデル、ロボット)

音象徴と referential insight の形成

「言語音には指示対象がある」ということに気付く



記号接地問題

(symbol-grounding problem)

- ことばという記号と、その指示内容である意味は、どのように結びつけられるのかという大問題
- 「**言語音には指示対象がある**」ということに気付く (referential insightを得る) ことが、言語を身につける上での重要な第一歩
- では赤ちゃんはどうやってその気付きを得るのか？
→ 本研究ではその手掛かりの候補として、
音象徴 (sound symbolism) に注目

音象徴(sound symbolism)

- 8 従来、ことばの音と指示対象は恣意的に対応付けられていると考えられてきた (e.g., de Saussure)
- つまり、ことばの音は単なるラベルにすぎないという考え方



りんご

恣意的

(実は「みかん」でもなんでも良い)

- しかし、ことばの音自体が何らかの意味(概念)と結びつくケースも存在する。 = **音象徴**

(Imai, et al., 2008; Ramachandran & Hubbard, 2001など)

たとえば

Q. どちらが「ブーバ」/「キキ」という名前だと思いますか？



たとえば

Q. どちらが「ブーバ」/「キキ」という名前だと思いますか？

A.

ブーバ



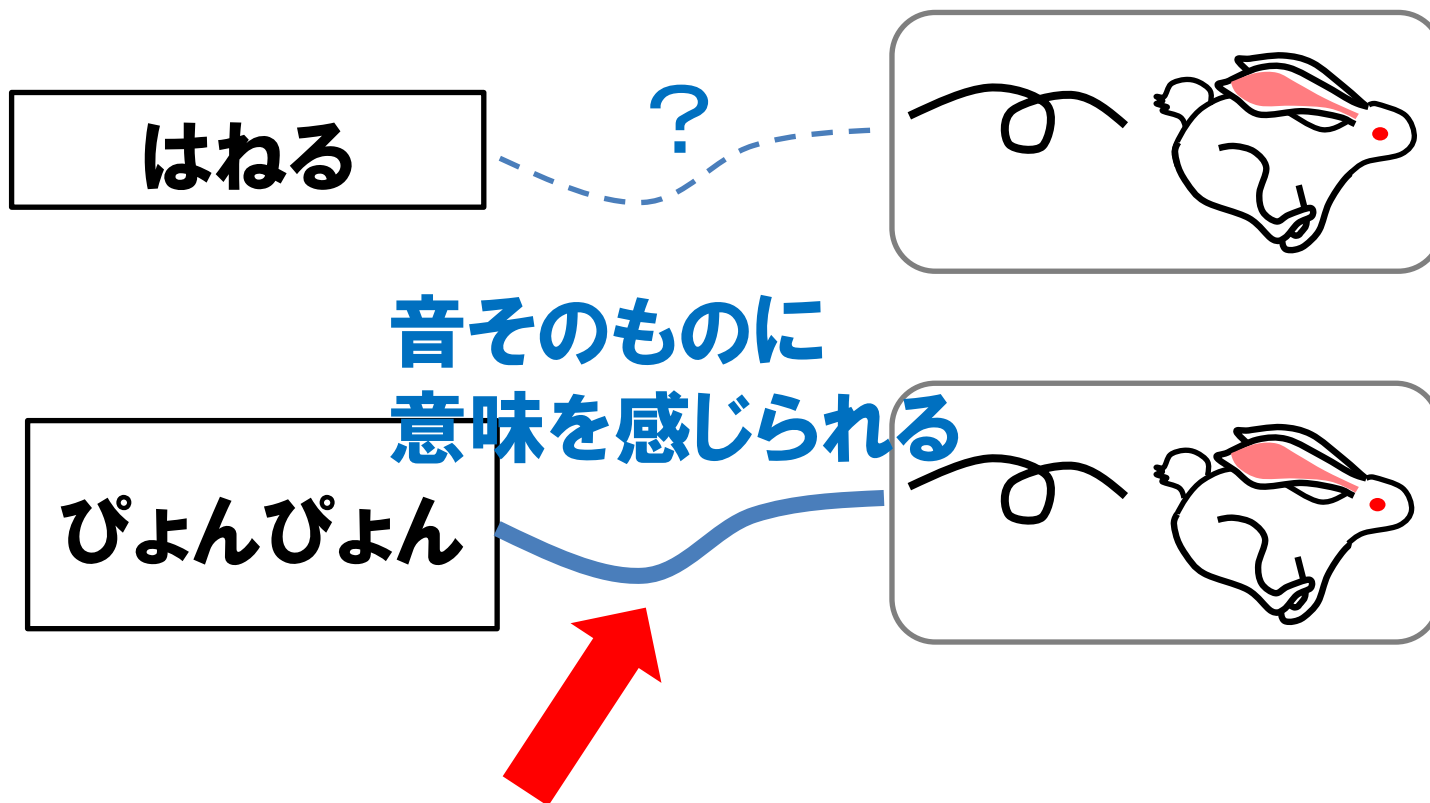
キキ

言語圏に寄らず、95%以上の人がこのように回答する。
(ブーバ・キキ効果)

“Maluma and Takete” (K ö hler, 1929)

“Bouba and Kiki” (Ramachandran & Hubbard, 2001)

音象徴が記号接地の手がかりに？



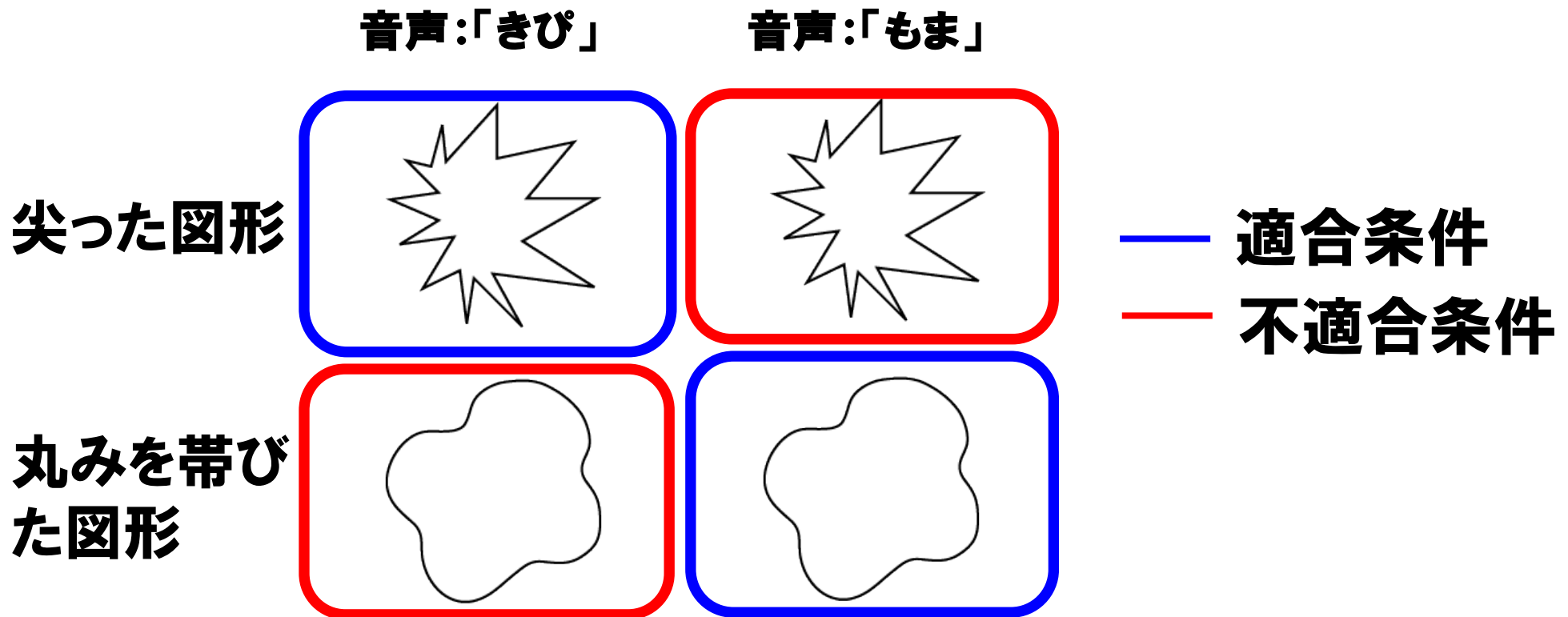
もしもことばを身につける前から音象徴への感受性があれば、「ことばの音は何らかの指示対象と結びついていて」という気付きを得やすくなるのではないか？

音象徴と乳幼児の言語発達：先行研究

- 2.5歳児では、成人と同様の音象徴への感受性が見られる(Maurer, et al. 2006)。
- 音象徴が幼児(2～3歳児)の語彙学習を促進(Imai et al., 2008, Kantartzis et al., 2011)
- しかし、言葉を話し始める(生後14か月ごろ)よりも前から音象徴に対する感受性があるかどうかは不明

本研究：脳波測定による検討

- 対象：11～12ヶ月児(＝言葉を話し始める前) 19名
- ねらい：音象徴の面で適合的な刺激(図形と言語音のペア)と不適合的な刺激に対する反応を脳波測定で調べ、音象徴性への感受性の有無を調べる。

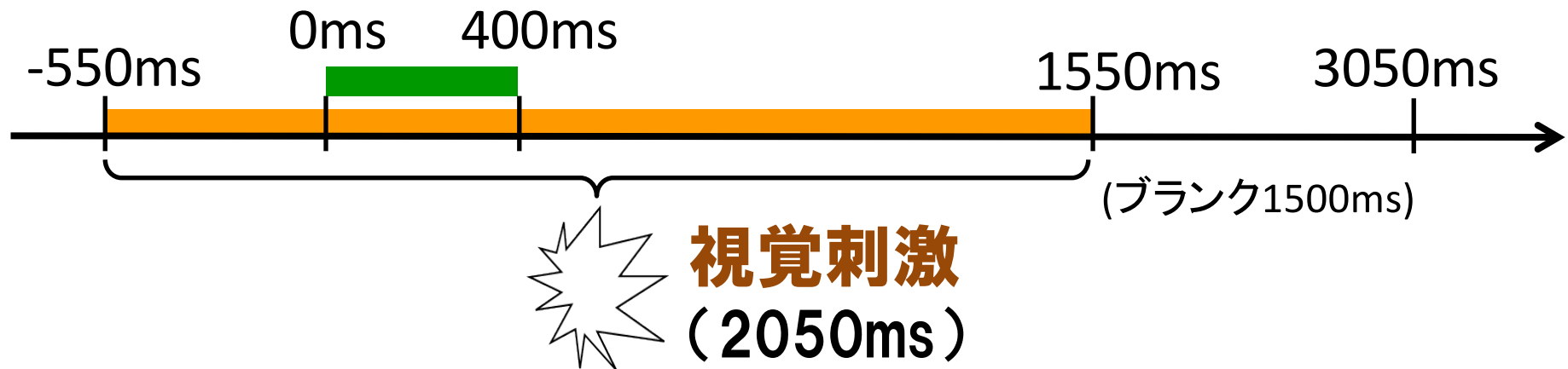


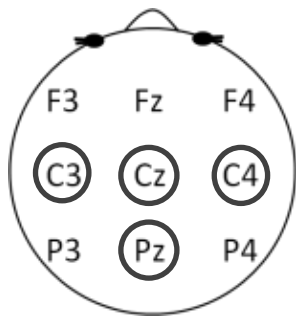
1試行の流れ

音声刺激(400ms)



きび

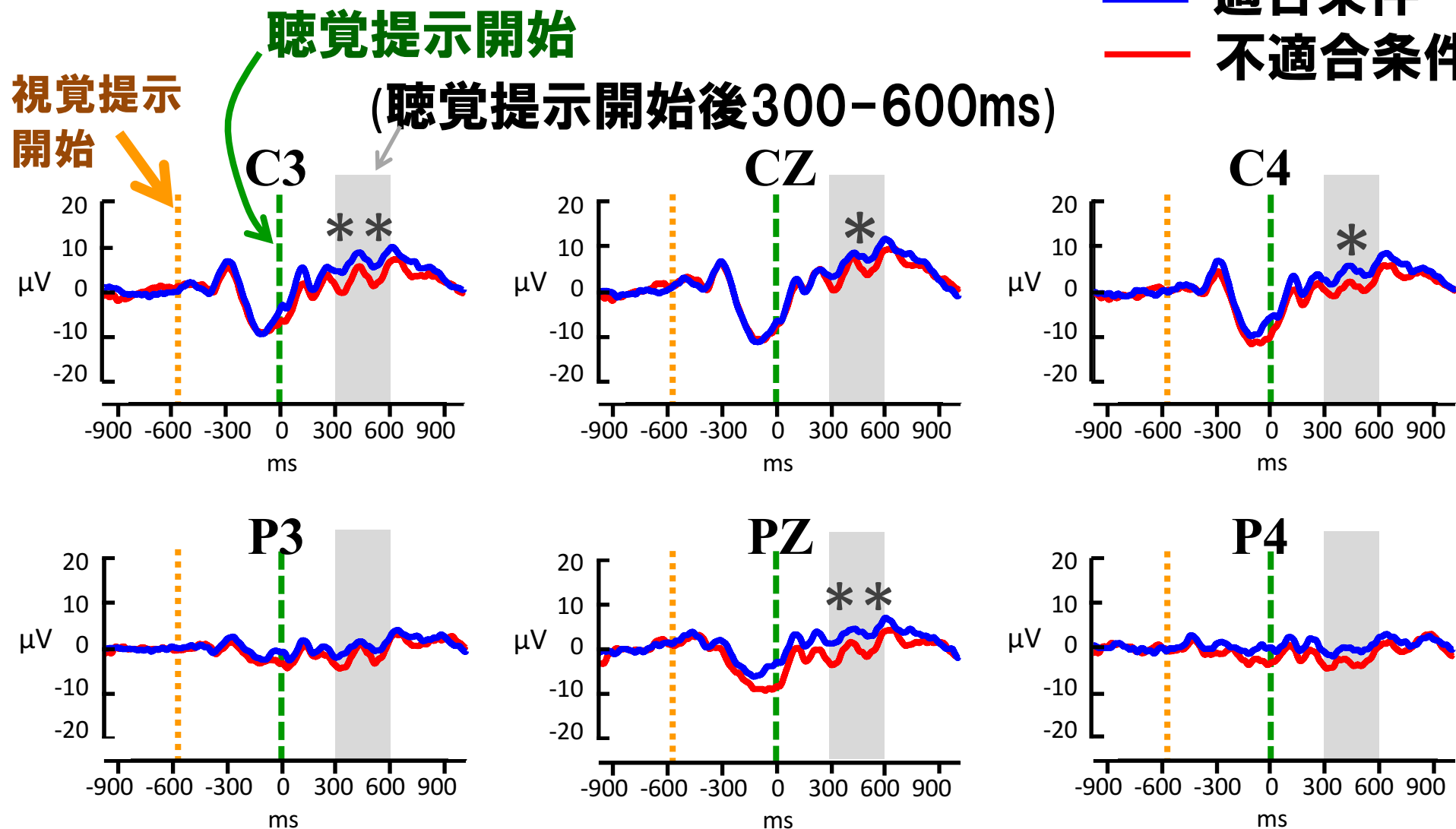




結果:

11~12ヶ月児に音象徴への感受性が存在

— 適合条件
— 不適合条件



まとめ

言葉を話す前の乳児(11～12ヶ月児)でも、音象徴性に対する感受性を持つ。

- Referential insight の獲得に寄与？
- 今回の実験結果：聴覚提示開始後300～600msの時間帯で、不適合条件では適合条件よりも陰性寄りのERP
- 既知または学習済みの単語に対して誤った指示対象が提示された場合(＝意味的な逸脱)に出るN400成分に類似(14ヶ月児や発話の早い12ヶ月児でもN400:Friedrich & Friederici, 2008; 2010; Friederici, 2005)

プロト言語と言語の発生

- 人間の先祖が身振り手振り(ジェスチャー)でコミュニケーションを行ったことからプロト言語が始まり、その後、音声言語が主流になった
(e.g. Arbib, 2005; Ramachandran & Hubbard, 2001)
- 「プロト言語」から「言語」へ
→ ことばとその対象物のマッピングはどのようにされたか
→ 音象徴？

推論の対称性と語彙獲得

ヒトだけに存在する特徴なのか？



対称性推論

オブジェクト

ことば



学習



“apple”

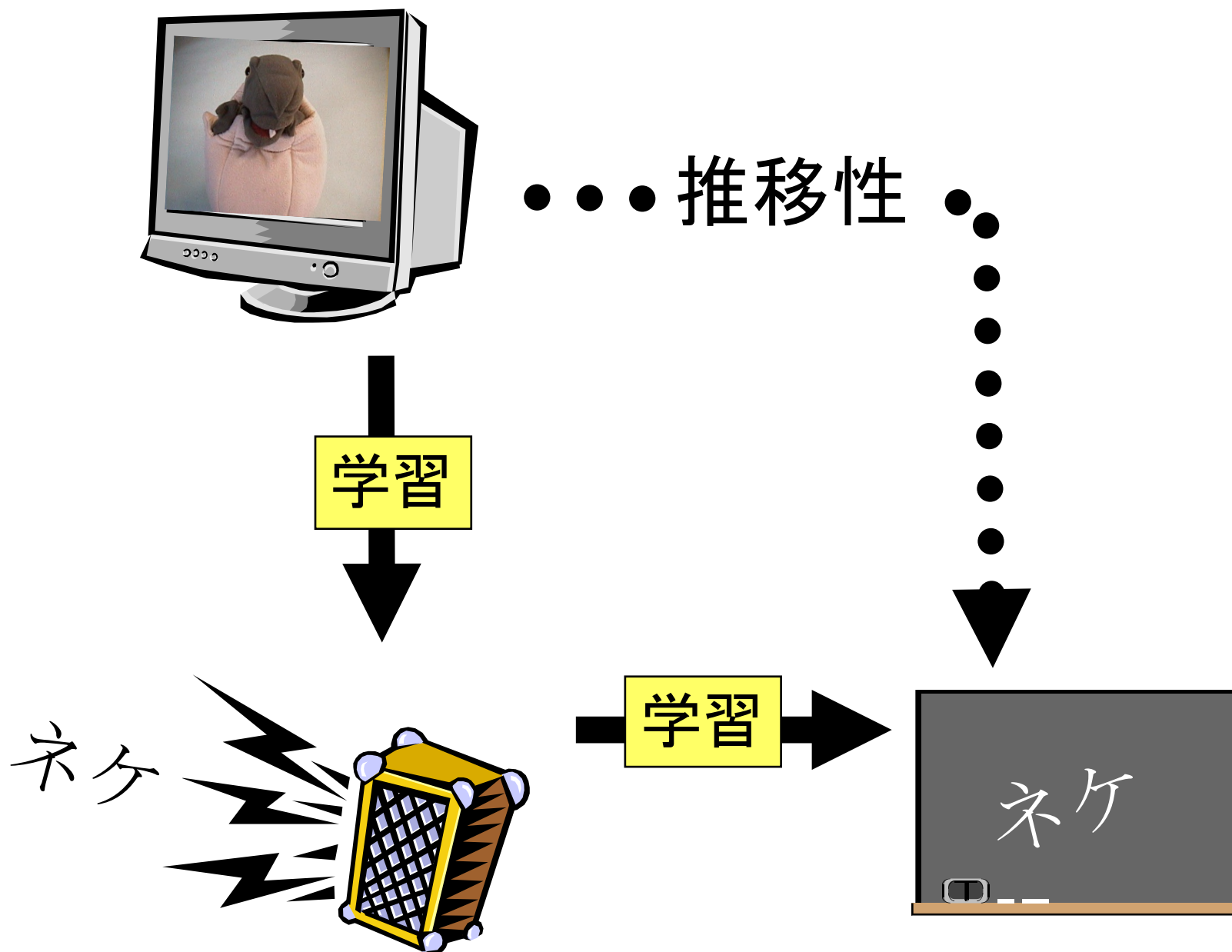


“apple”

学習なしに成立

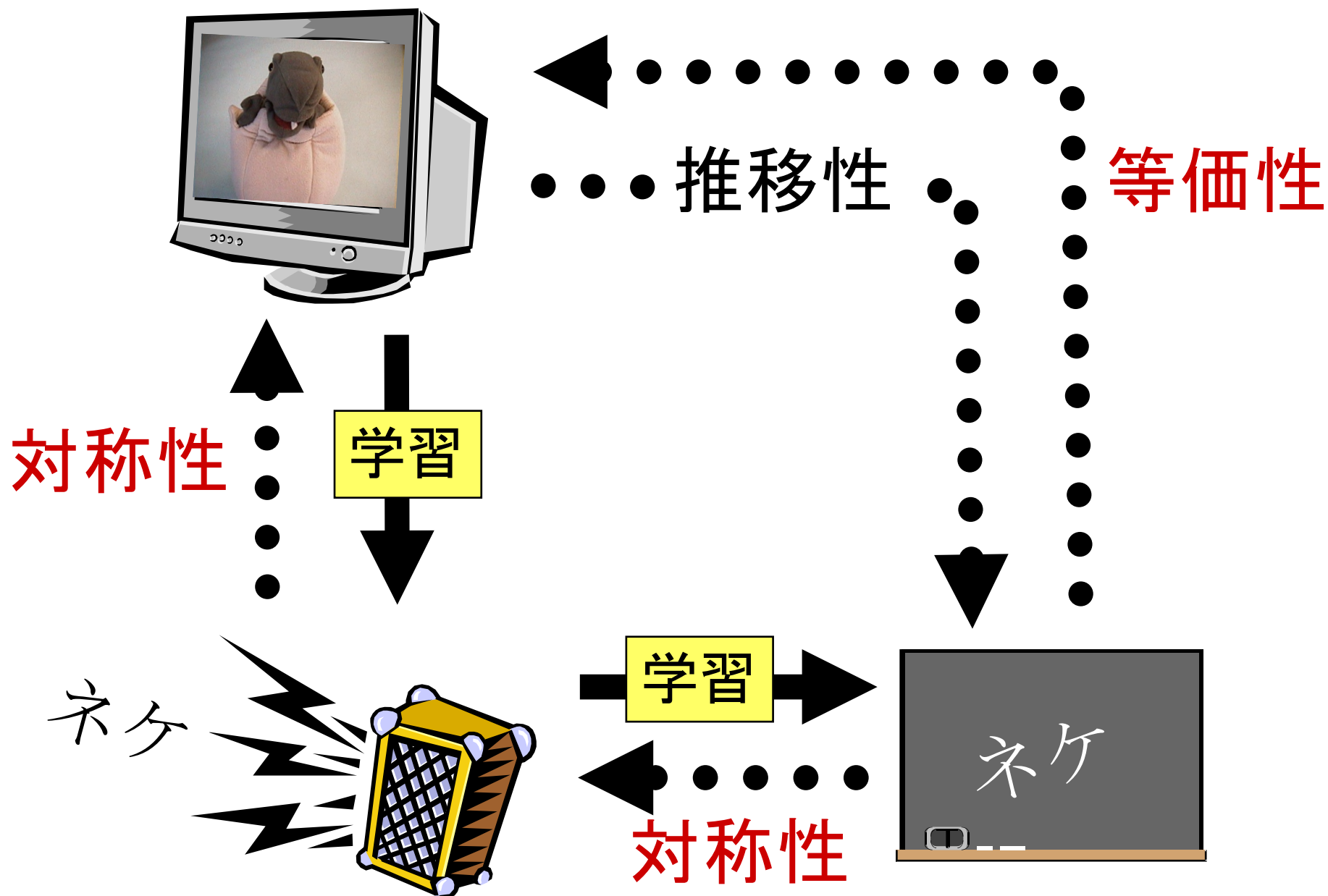
刺激等価性

(Sidman, 1994)



刺激等価性

(Sidman, 1994)



なぜヒトだけに対称性が成立するのか？

- 「そもそもヒトにはそのような能力が備わっている。ヒトは**ものともものとの関係を常に双方向的に学習する**」(友永:1990)
- 「ヒトが言葉とそれを指し示すものを対応させて、**語彙を獲得する過程に関連がある**」(山崎:2002)

ヒトと動物を比べて

- ほとんどのヒトは刺激等価性が成立する
 - 3歳後半以降の幼児(Sidman、1971)
 - 知的障害者(木幡)
 - →言語獲得以前の乳児に関しては???
- ヒト以外の動物では**対称性の成立が困難**
 - チンパンジー(友永、山本、山崎)
 - ハト

なぜ動物に対称性が成立しないのか？

- 課題が難しいから
- 経験が足りないから
 - 生活している環境が違うから
 - ヒトに固有な行動特性ではなく、環境で決まる
- ネーミングが必須だから
 - ネーミング行動と機能的に同じことを導入すれば動物も対称性が成立する(McIntire)
 - 6個の色刺激を2つの等価クラスに弁別
 - 標本刺激に対して2つの**外見的に異なる**ボタンのうち標本刺激に対するボタンを押す
 - 二つ提示された比較刺激のうち、標本刺激に対応する比較刺激を選択する
 - 選択した比較刺激に対して、標本刺激に対して行ったのと同じボタンを押す

対称性推論

オブジェクト

ことば



学習



“apple”



“apple”

学習なしに成立

刺激等価性がヒトの推論過程や言語獲得過程に果たす役割を実験的に解明する

■ 対称性が

- 先天的に備わっている
- 生後～初期の言語獲得前に学習により獲得
 - 言語獲得のためのバイアスとして利用？
- 初期の言語獲得の過程で、対称性も同時に獲得

■ 言語以外の複数モダリティ(音、画、触)間でも刺激等価性が成立するのか？



実験デザイン

- 被験者

- 8ヶ月

- 刺激

- Toy(A1, A2)

- Ball movement

- B1(↓), B2(↑)

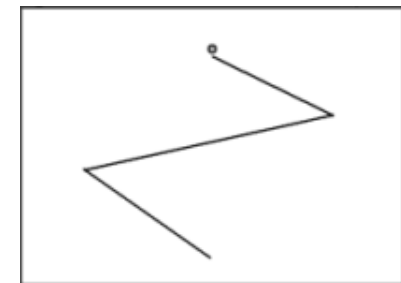
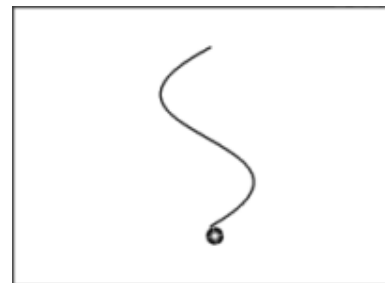
- 実験パラダイム

- 馴化・脱馴化法

Toy (A1, A2)

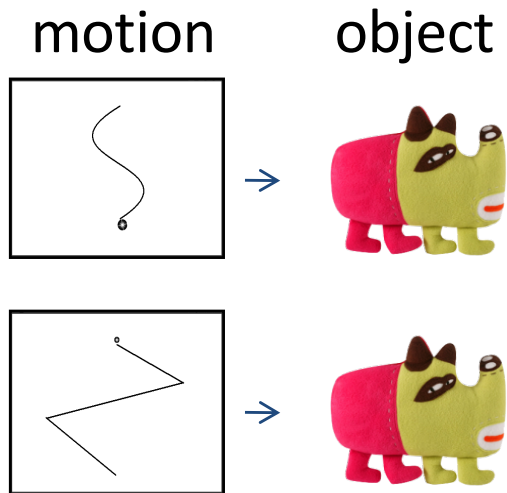


Ball movement (B1, B2)



対称性の種間比較： チンパンジーにおける検討

実験の様子



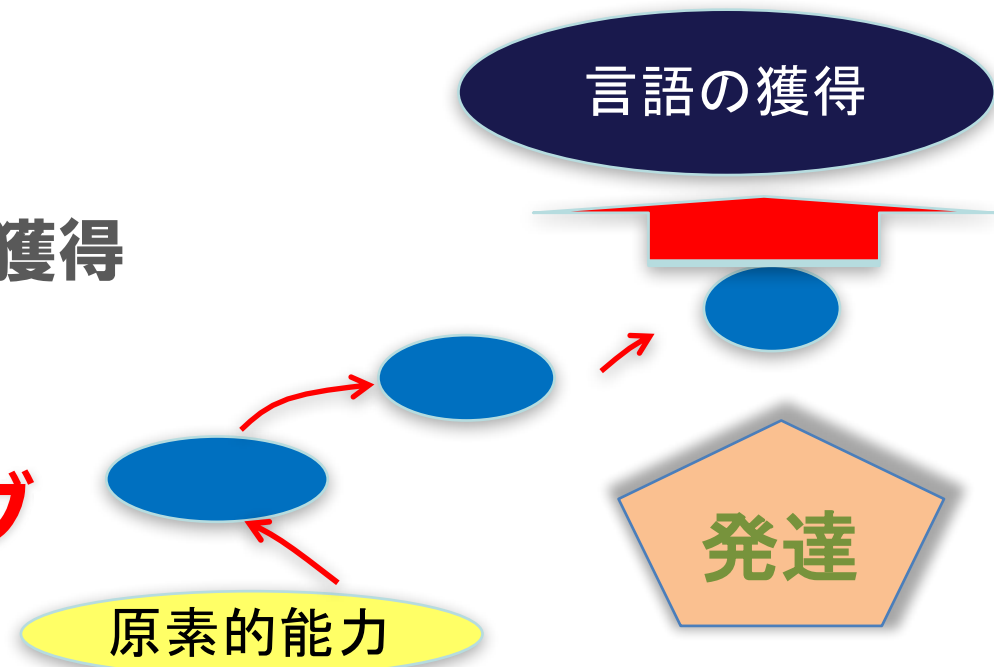
発達する知能

言語学習を可能にする能力

- 音象徴と referential insight の形成
「言語音には指示対象がある」ということに気付く

- 推論の対称性
指示された対象の意味の獲得

ブートストラッピング





最後に

○ 人工知能研究者の皆さま

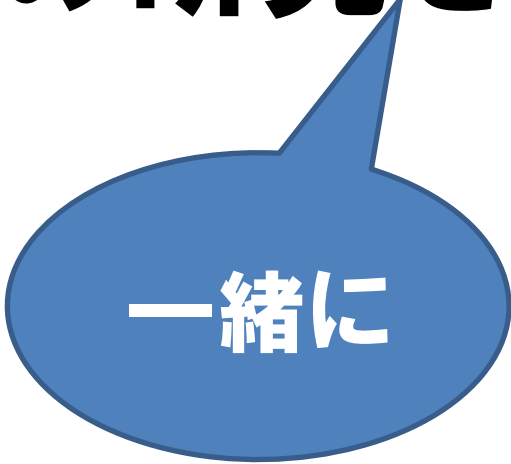
○ 「知能」の研究をしましょう



最後に

○ 人工知能研究者の皆さま

○ 「知能」の研究をしましょう



一緒に

赤ちゃん大募集！！！！

○ 玉川大学赤ちゃんラボ

○ 生後0ヶ月～30ヶ月の赤ちゃん

- <http://www.tamagawa.ac.jp/brain/baby/>
- 電話:042-739-8494
- メール:baby@tamagawa.ac.jp

○ 玉川大学キッズラボ

○ 小学校1年生～6年生

- <http://devsoc-tamagawa.net/exp.html>
- 電話:042-739-8672
- メール:kids-lab@tamagawa.ac.jp

ポスドク急募！！！！

- **ポスドク研究員を探しています**
- お問い合わせは okdhryk@gmail.com まで
お気軽に
-  **hiroyuki.okada.370**
- **大学院生修士・博士也大募集**
 - 玉川大学大学院脳科学研究科
心の科学専攻(修士)
脳科学専攻(博士)
 - オープンキャンパス
6月25日(土)(13:30~15:30)