

平成19年度 国立情報学研究所
第1回 市民講座

「脳科学とロボット」

稲邑 哲也

本日の市民講座の流れ

1. 脳科学とロボットの関連性
2. ロボットに関連する脳科学トピック紹介
3. 脳科学の知見のロボット工学への応用
4. まとめ & 質疑応答

脳科学とは？

- 人間や動物の脳のメカニズムを明らかにする科学(サイエンス)
 - 認知, 思考, 記憶, 学習, 言語, etc...
- 科学: 明らかにする事が第一使命
- 応用例:
 - 脳に起因する病状の治療
 - 脳のトレーニングゲーム

ロボット(工学)とは？

- モータとセンサを統合し，目的の仕事を遂行する自動機械
- 産業用ロボット，ペットロボット，ヒューマノイドロボット....etc
- 工学：目的の動作をさせる事が第一使命

ロボット(コンピュータ)が得意な事, 苦手な事

- 得意分野
 - 細かい精度の制御
 - 大量な情報の正確な記憶と再現
 - 決められたルールに完璧に従い, ミスをしない
- 苦手分野
 - 曖昧な表現などの言葉の理解
 - 知らない環境に対応が難しい(アドリブに弱い!)
 - 人間に対する自然な立ち振る舞い

人間の「得意分野, 苦手分野」と正反対
工場から家庭にロボットが進出する際に大問題となる

人間とインタラクションするロボット



ロボットを「賢く」するための試み

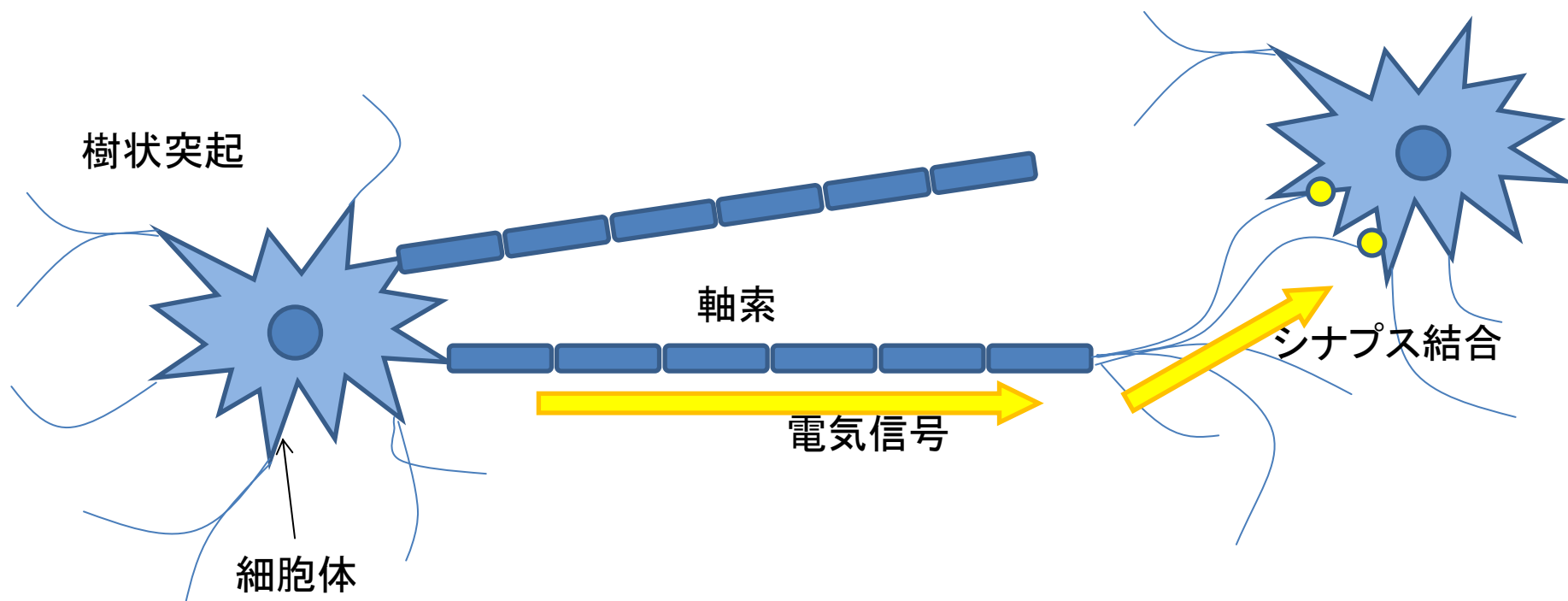
- 遭遇する全ての状況を網羅し，記述しておく
 - 限られた状況のみ．一般的な用途には向かない
- 曖昧な情報に対する判断
 - ニューラルネット，ファジー制御等
- 学習に基づく行動獲得
 - 試行錯誤の経験から，適切な行動を見つける



人間の脳のメカニズムを参考にするべき
という考え方が求められてきた

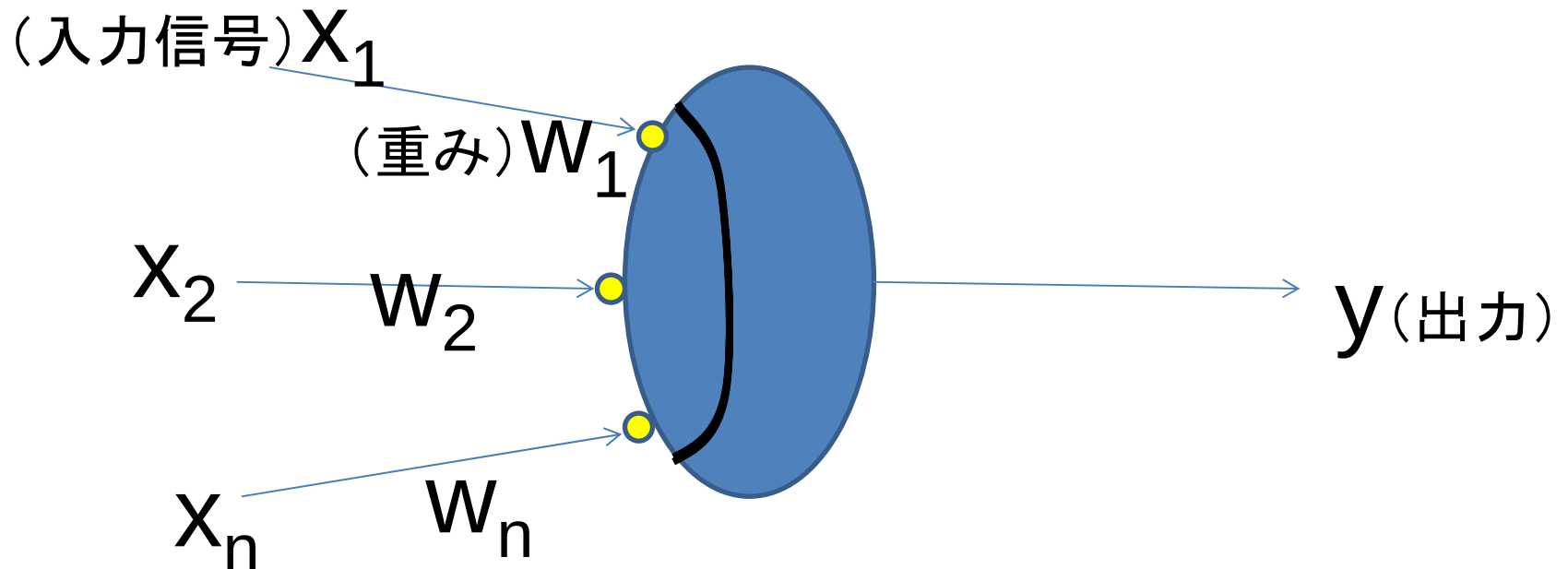
スタンダードな「脳型」計算

- ニューラルネットワーク
- 神経細胞の化学的な振る舞いを, 計算機上で再現する事による「脳型」計算手法



人工ニューラルネットワーク

- 化学的な電気信号の伝達を数式でモデル化
- パターン認識など, 1980年頃に爆発的人気
- 単純な問題から複雑な問題へ発展が困難

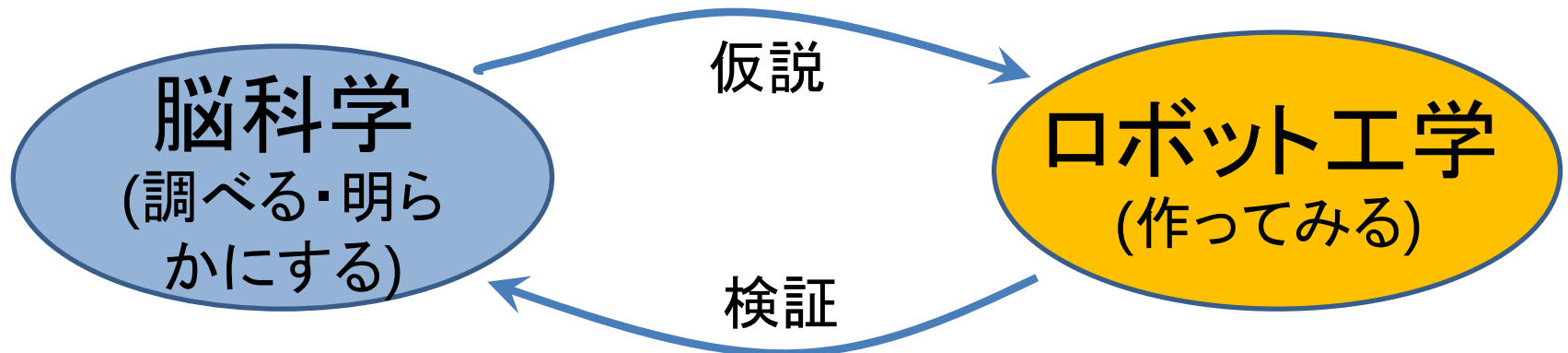


人工ニューラルネットの課題

- 数十種類の顔パターン認識・学習・記憶など、シンプルな問題に対しては非常に有効
- 情動・言語・文脈判断, など高次元な知能を実現するのが困難
- ミクロな神経細胞の挙動の理解だけでは, 高次元な知能のメカニズムが分からない
- マクロな脳全体の挙動の理解も必要

構成論的アプローチ

- 還元論的に対象を理解する, 科学的アプローチだけでなく
- 全体的・マクロな立場からシステムを構成し, その振る舞いを確認する工学的アプローチも並列して行い
- 複雑なシステムのメカニズムを探るアプローチ
- 特に「知能の解明」



本日の話題

- 脳科学とロボット工学の連携による構成論的アプローチとして, , ,
- 言葉を操り, 他者とコミュニケーションを行う人間の hochi 知能のメカニズムをさぐる
- その第一歩として:
 - ヒューマノイドロボットに, そのメカニズムを埋め込む新しい試みについて紹介

なぜ、ヒトは賢いのか？

- そもそも「賢い」「知能」とは何か？
- 学習し、抽象的な思考をし、環境に適応する知的機能のもとになっている能力
 - (大辞林 第二版 より)
- 「環境や人に適応する能力」が現在のロボットにおける大きな課題
- 情動・言語・文脈・判断などがキーワード

心の理論

- サリーとアン課題

- サリーがボールを籠に入れる
- サリーがいない間にアンがボールを箱に移す
- サリーが戻って来る
- 「サリーがボールを取ろうとしています。どちらから取るでしょうか？」

- 3歳児は正解できない

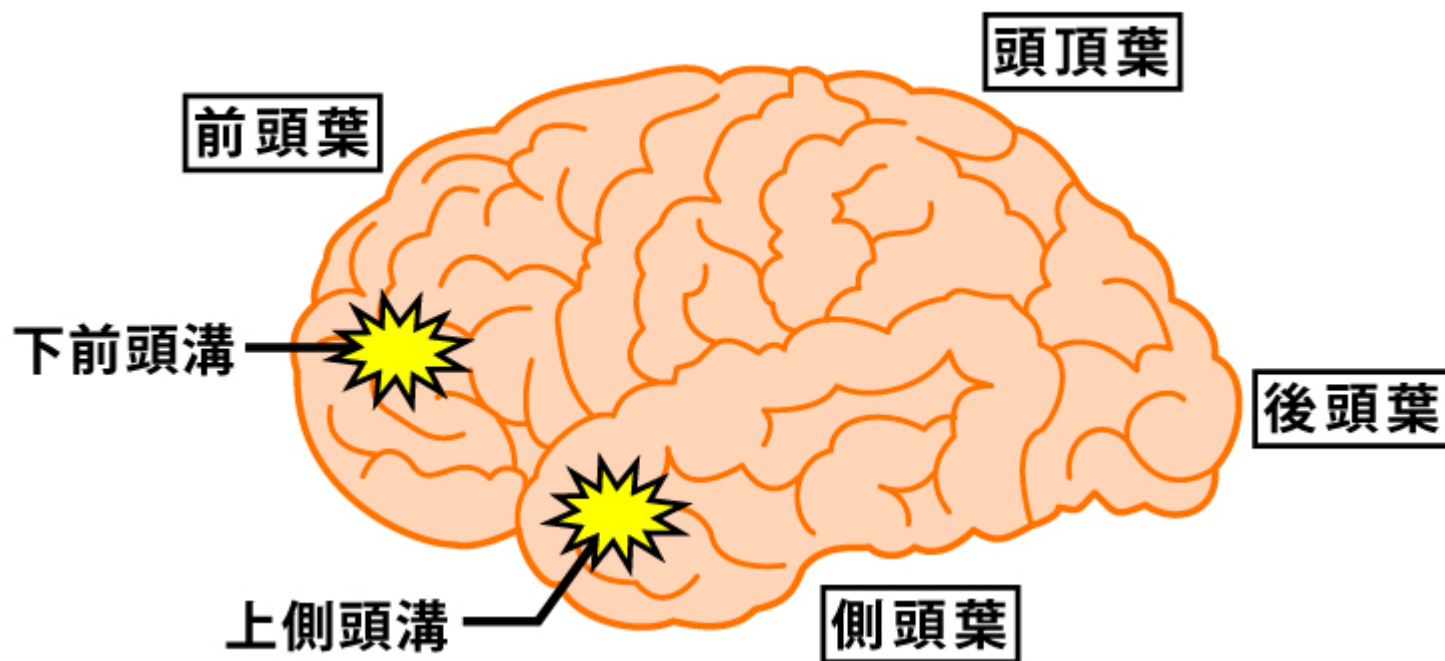
サリー



アン

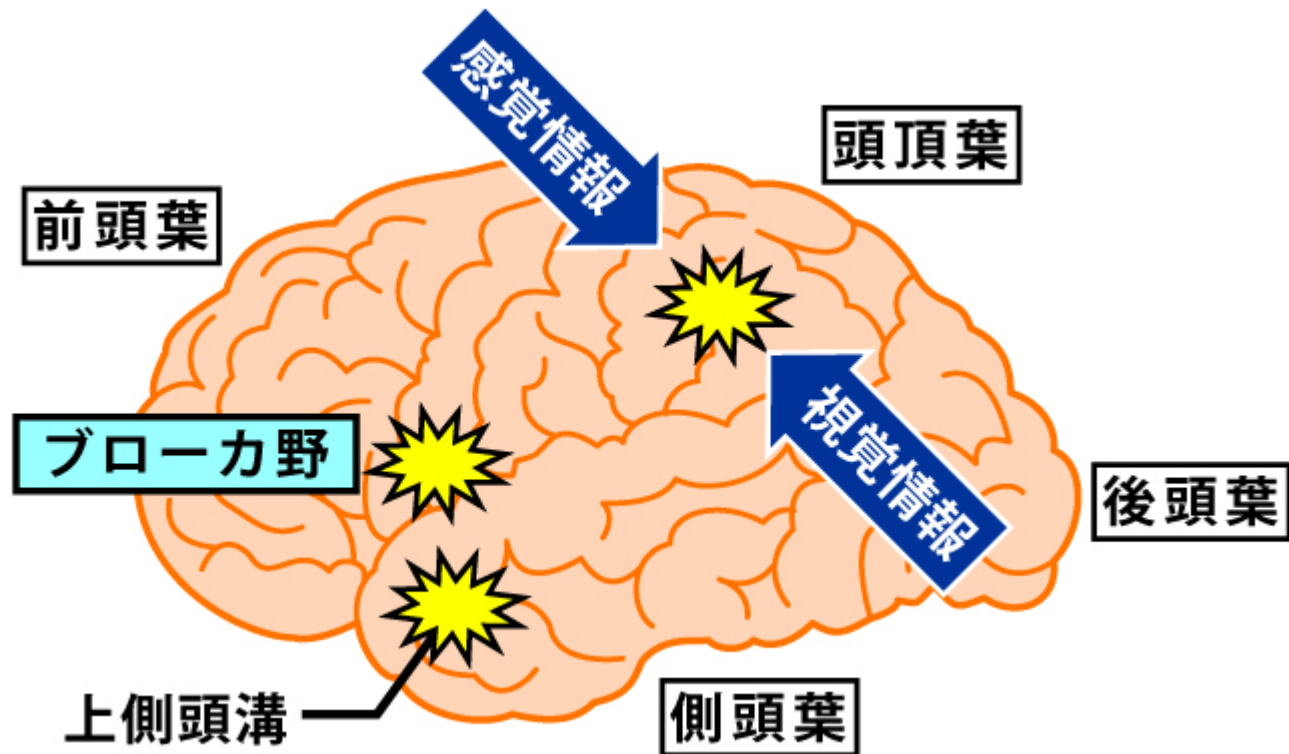
心の理論に関係する脳の部位

- 上側頭溝，下外側前頭前野，前部帯状回，内側前頭前野，など



ミラーニューロン

- Rizzolatti（イタリア，パルマ大）らがマカクザルの前頭葉F5領域に発見した脳の部位



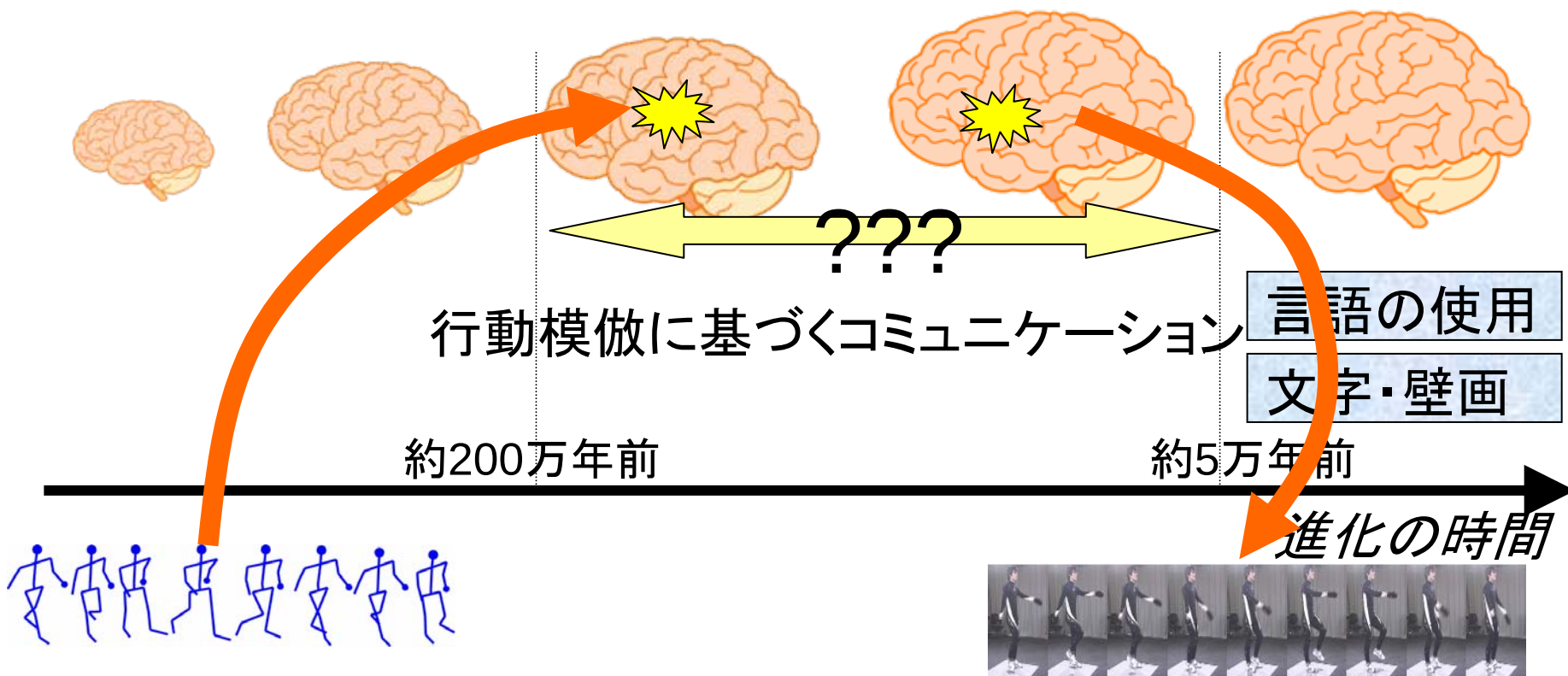
上側頭溝領域

- 視線の向き・動き, ジェスチャ, 手話, 口の動き, 生物的な動き, 等を認知する際に活動
- 生物的・社会的な動きに関する情報処理に関与している可能性
- 「心の理論」の問題に関与

言語と脳

- ブローカ野
 - 運動性言語野
 - この部位を損傷すると、発話が困難になる
 - 他人の発話の理解は可能
- ウェルニッケ野
 - 聴覚性言語野
 - この部位を損傷すると、理解が困難になる
 - 発話は流暢だが、意味が伴わない

ミメシス仮説: ヒトの脳の進化における謎



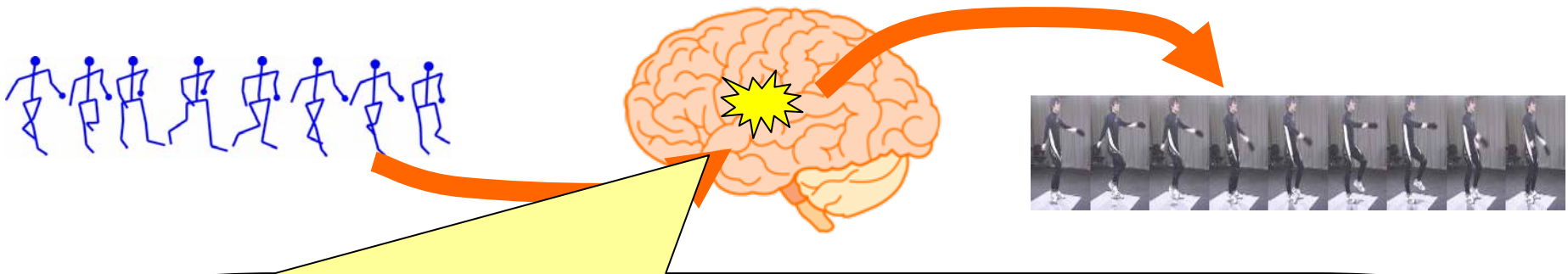
ミメシス仮説:

他人の行動を模倣する能力が, コミュニケーション能力の萌芽になったとする仮説

言語の前段階の, 概念を記号化する情報処理の進化

ミラーニューロンとヒューマノイドの知能

- ミラーニューロン(ブローカ野, 上側頭溝)
 - 人間がある行動を観察した時と、その行動を実行しようとした時の双方で発火する



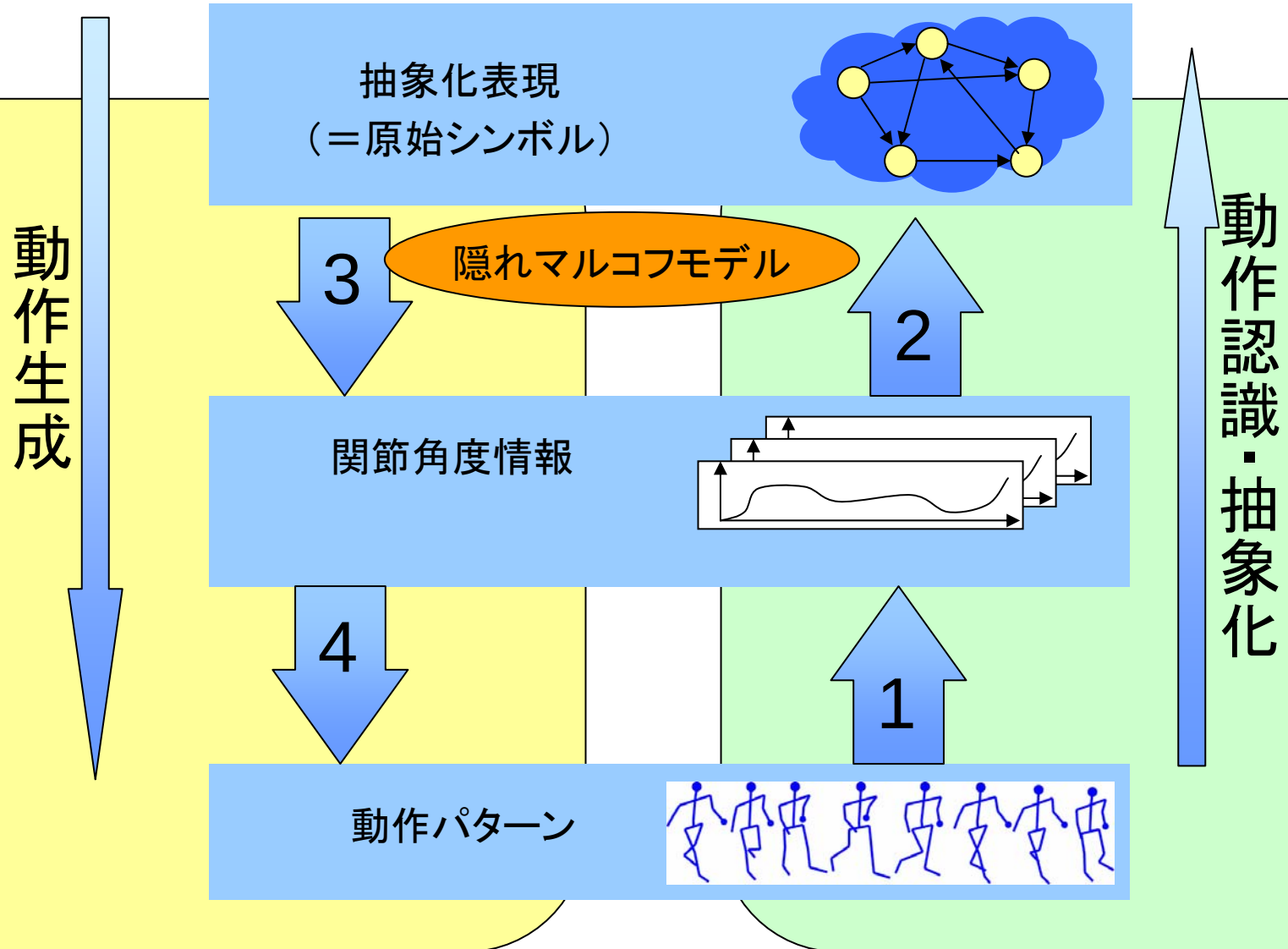
- 双方向計算モデル:

- 行動の認識 & 生成

- シンボルマニプレーション

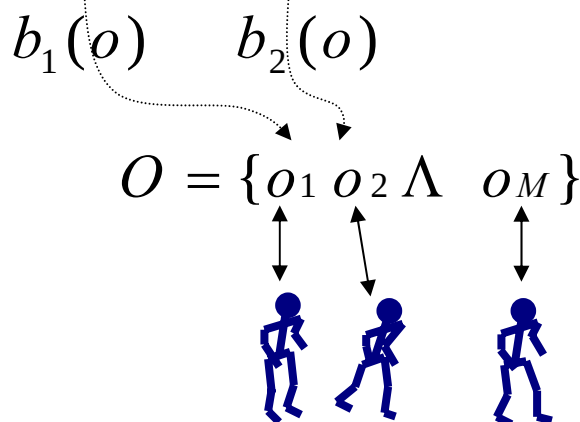
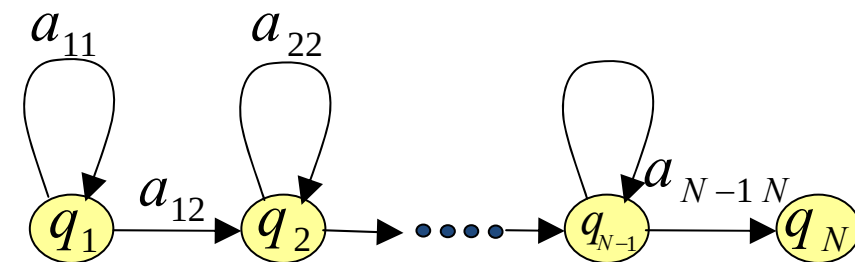
行動を介したシンボル接地
相手の意図の理解
→ 高次知能形成

ミメシスモデル [稲 邑2002]

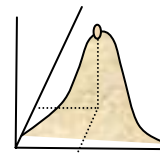


隠れマルコフモデル

- 時系列データを抽象化・認識する数理手法
 - 音声認識システムによく使われる → 動作に応用



$$b_i(o) = \sum_{j=1}^M c_{ij} \mathcal{N}_{ij}(o; \mu_j, \Sigma_j)$$



確率的な振る舞いを表現するパラメータ

a_{ij} : 状態遷移確率行列

$b_i(o)$: 出力確率分布

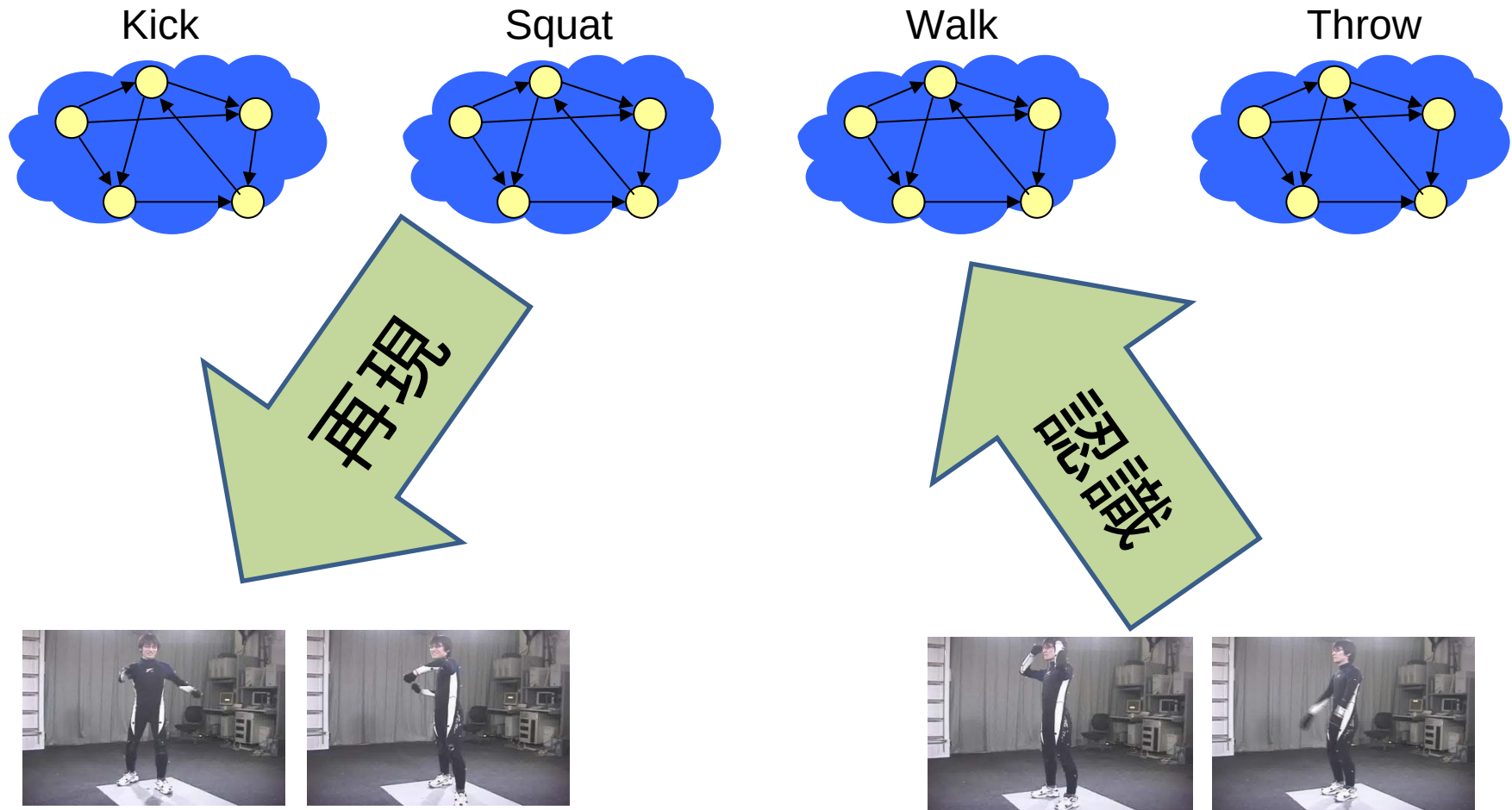
$$\lambda = \{a_{ij}, b_i(o)\}$$



原始シンボル

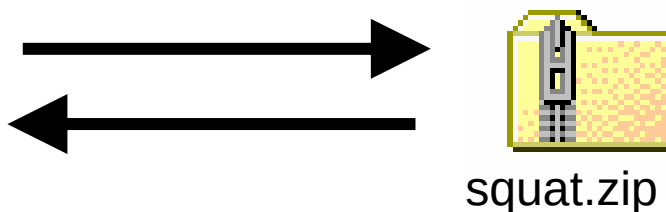
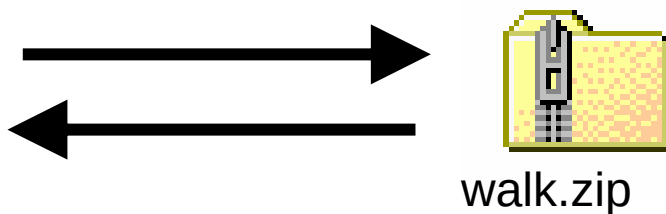
隠れマルコフモデルの利点

- 認識と再現の双方向の処理が表現可能



ここまでの段階で何ができたのか？

- 「概念」と動作パターンの対応付け
- 他者の動作と、自分の動作の対応付け
- HMMによる運動データのパラメータ圧縮
／復元ができただけに過ぎないとも言える



シンボルや言語の醍醐味：組み合わせによって
ほぼ無限とも言えるパターンを取り扱うことができる

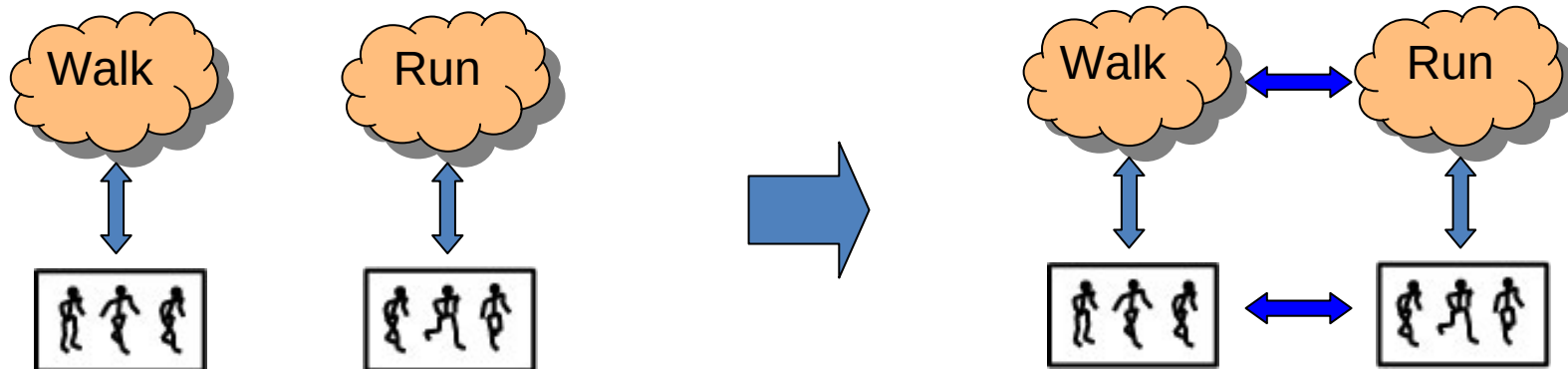
では何が必要か？

- 原始シンボル同士に存在する関係性の記述

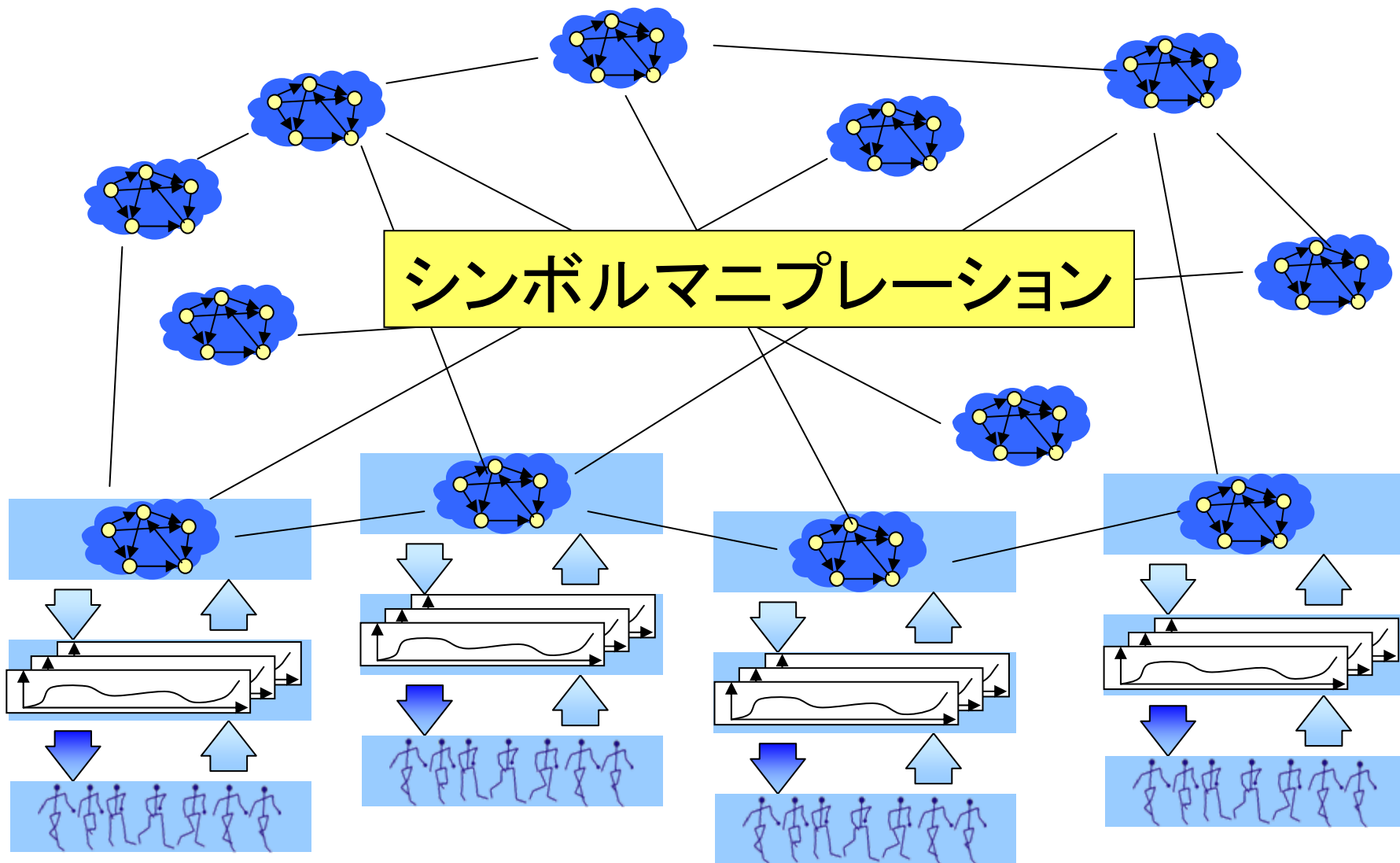
関係性を記述する空間構造の導入

- 原始シンボルの操作

新規行動の生成と未知行動の認識

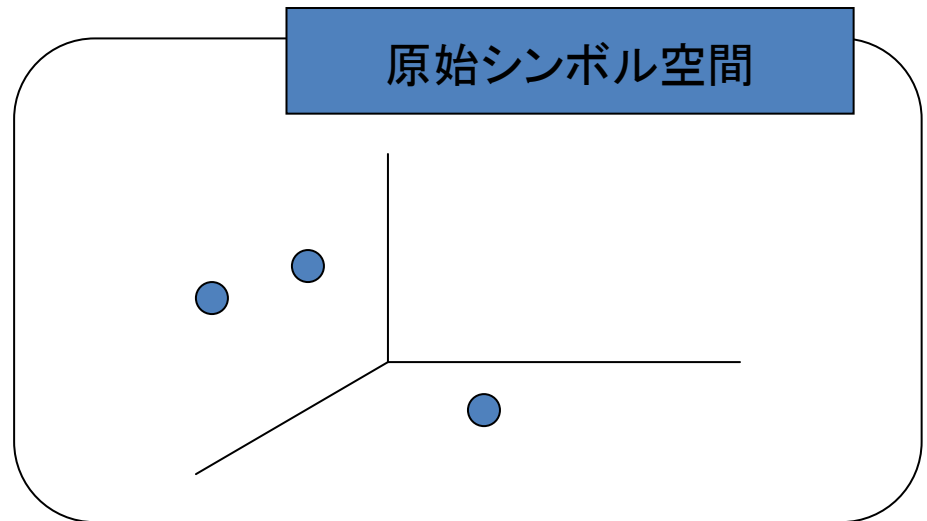
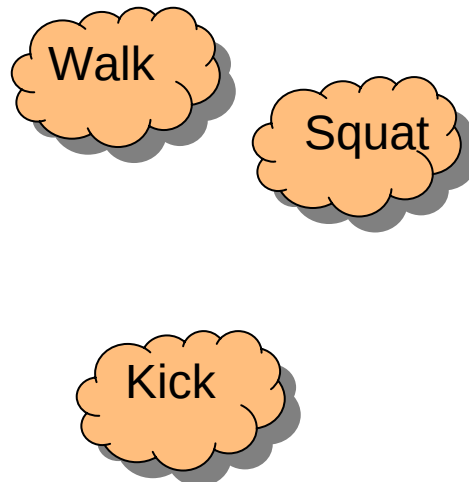


双方向計算モデルから シンボルマニプレーション(記号操作)へ



空間表現の導入

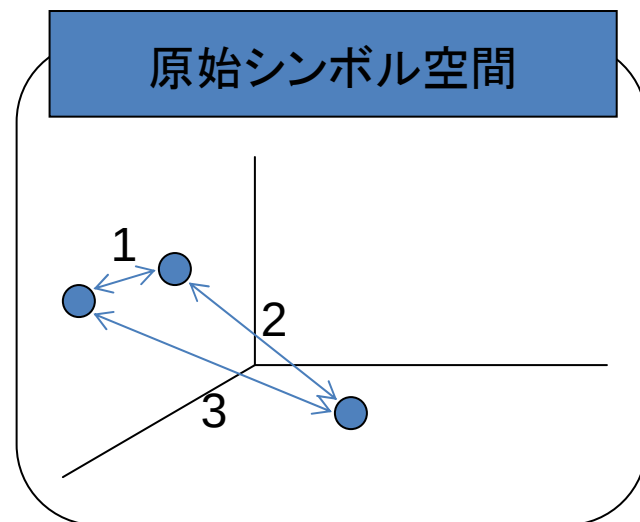
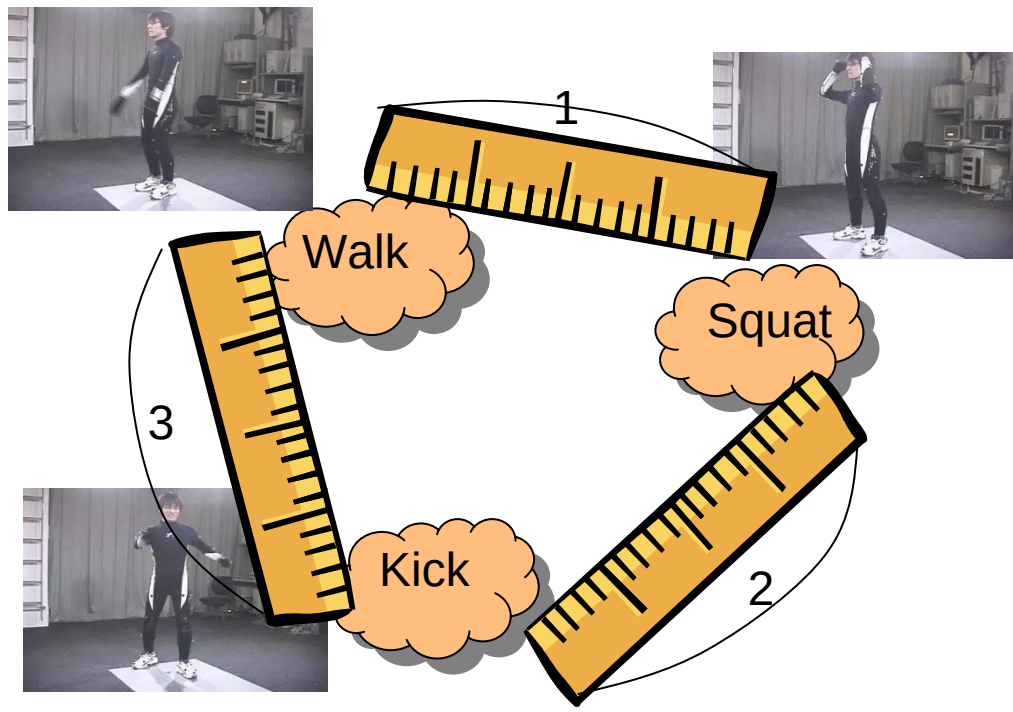
- 原始シンボル同士の関係性を記述するための位相構造
- 行動認識／生成として、位相構造上での幾何学的操作を定義
- 「原始シンボル空間」



どうやって空間を「作る」か？

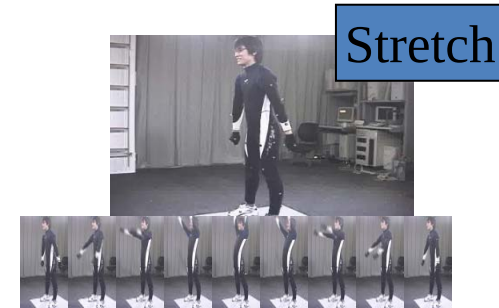
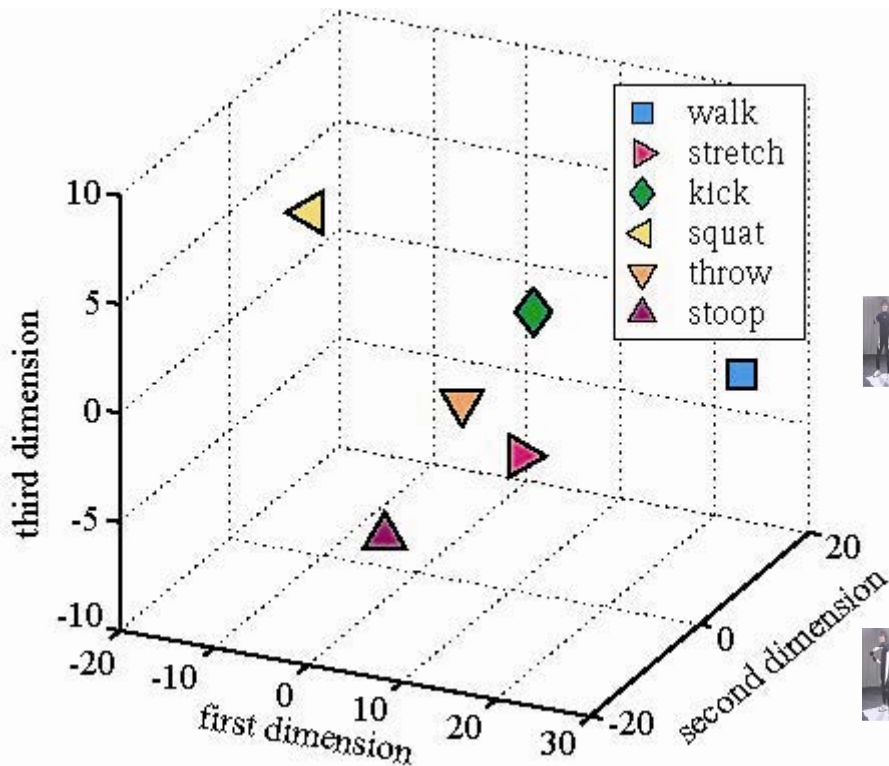
- 動作同士の「似ている度合い」を測る
- 統計学的な「ものさし」を用いて距離を計測
- 距離の関係から、空間的な配置を決定

Kullback-Leibler 情報量



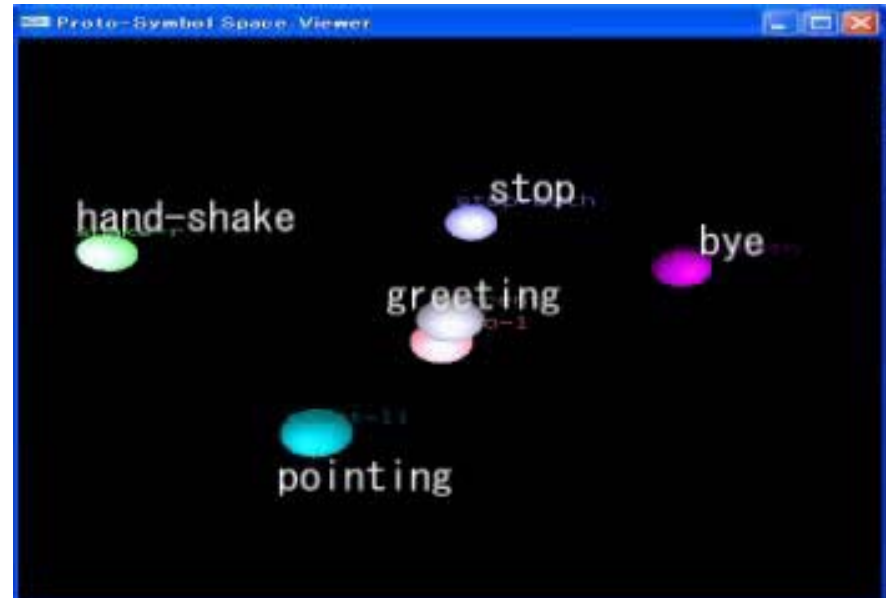
行動の空間的表現

- 「行動の意味」を空間的に配置する数理手法
- 行動間の「類似性」に基づいて空間を形成

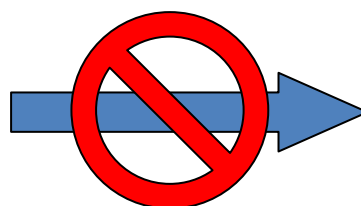
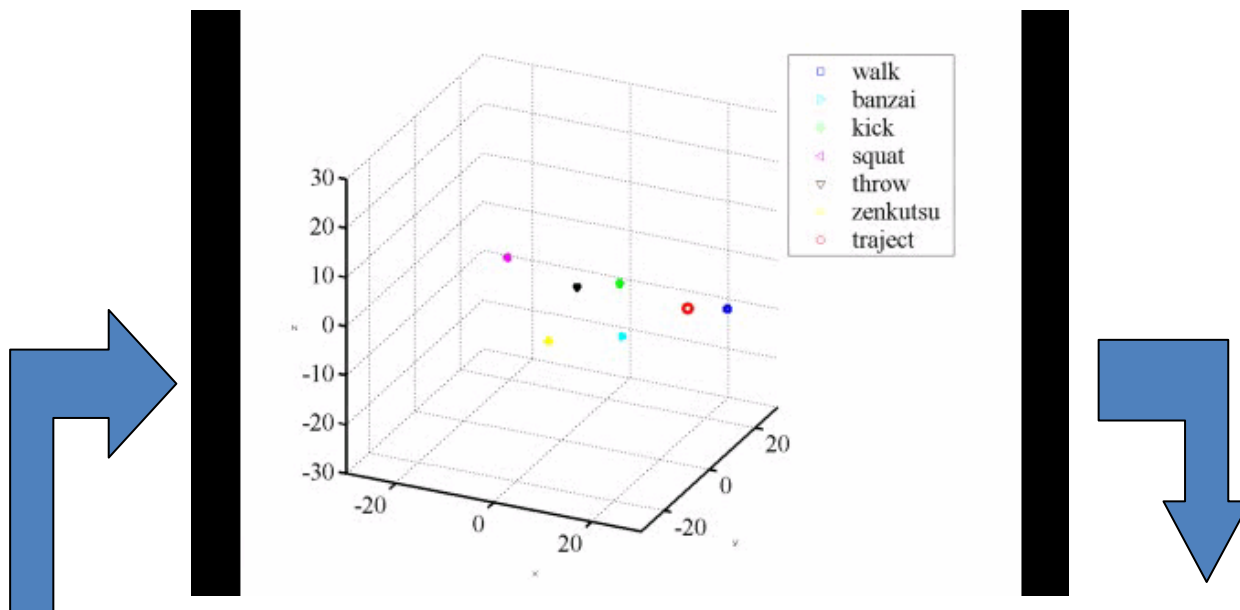


原始シンボル空間を用いた ジェスチャ認識

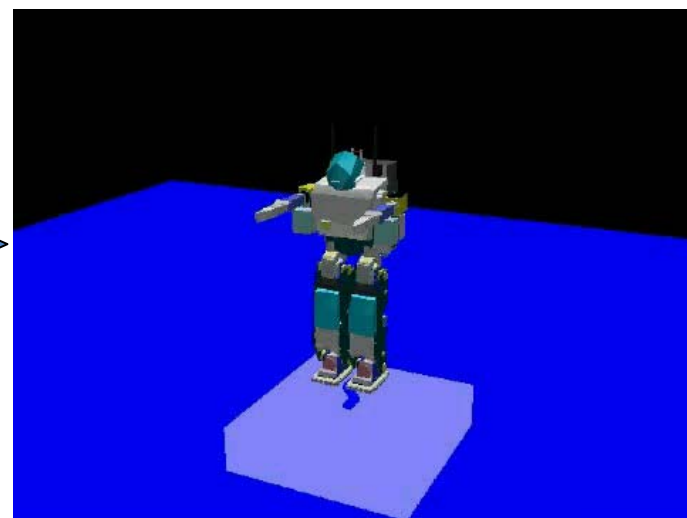
- 特徴
 - 未知の動作も認識が可能
 - ジェスチャの移り変わりの瞬間を検出可能
 - 曖昧なジェスチャであっても, 類推可能



原始シンボル空間を用いた見真似



単純なコピー
ではない



動作の「誘発」と「修正」

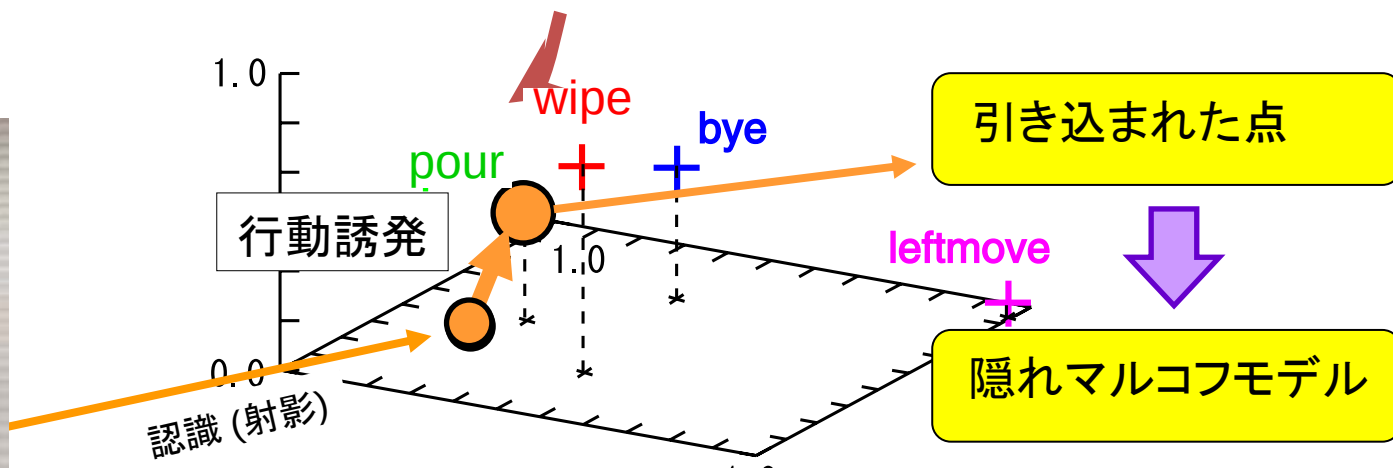
- 人間の動作の認識時に、既知の動作との距離に応じて、自動修正させることが可能

この距離が動作の「類似度」を表現. 近ければ同じ動作と認識



不完全な情報

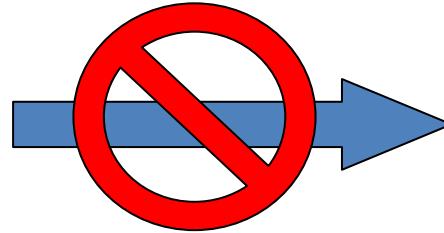
部分的に隠れて見えない
短時間しか観察できない, 等



動作パターン

写真・動画
東京大学 稲葉研究室

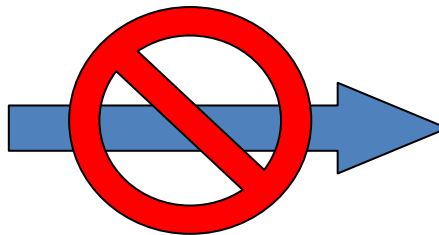
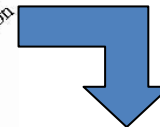
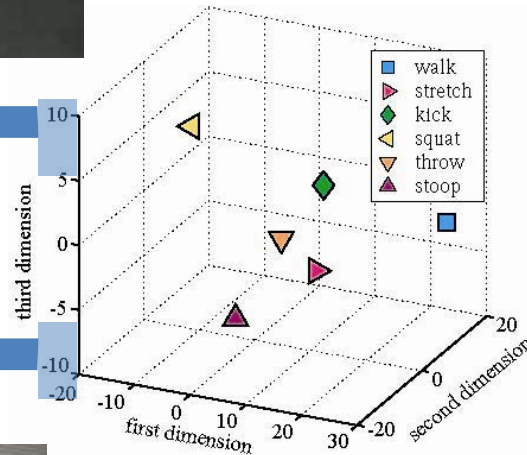
動作修正の例



単純なコピーではない



動作の修正に基づく
目的の遂行



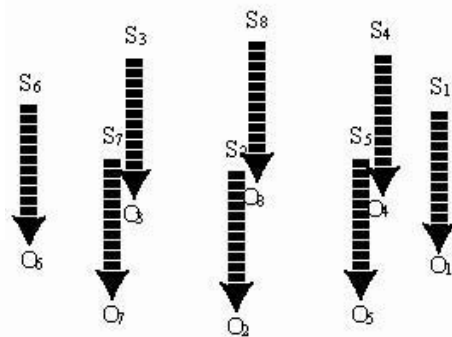
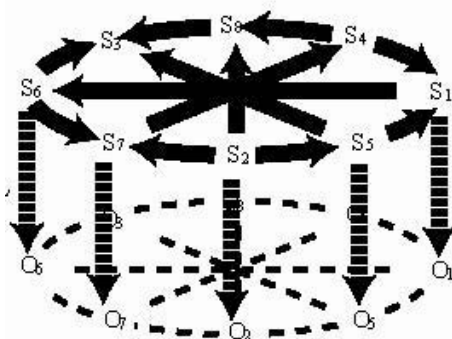
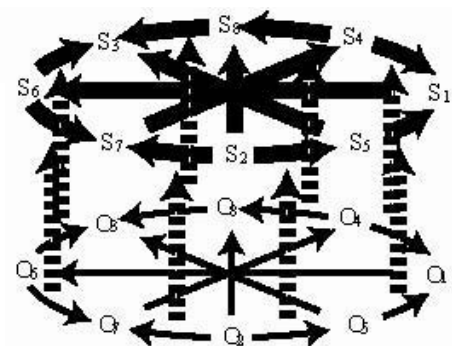
単純なコピーではない



原始シンボル空間は動作
の概念を表現する

シンボルと運動の相互発達

[T. Deacon 97]



Symbol

物理的レベルから乖離した層におけるサイン間の強力な関係性

Index

物理的な影響を考慮したサイン間の間接的な関係性の発達

Icon

物理的, 直接的な関係性

[C.S. Peirce]

本日のまとめ

- 人間の知能のメカニズムを探るため，脳科学とロボット工学の連携は今後も重要
- 言語や記号の処理メカニズムと脳のメカニズムには密接な関係があると考えられる
- 人間と自然にコミュニケーションできるロボットの実現のためには，脳の理解は避けては通れない

研究員・学生募集

稲邑研究室では，ロボットの知能のメカニズムを探る研究テーマについて
総合研究大学院大学の修士・博士課程の学生，および国立情報学研究所
の研究員を募集しています．興味をお持ちの方は inamura@nii.ac.jp までご連絡下さい．

質疑応答

- 脳科学・ロボット工学・言語学・認知科学・社会学・発達心理学等の複数のアプローチから、人間やロボットの知能のメカニズムをさぐる、「社会的知能発生学研究会」
- 本研究会のメンバーの瀬名秀明さんにパネラーとして参加していただきます。