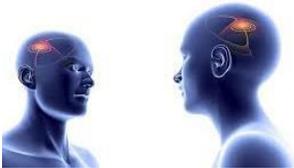




# 言葉の神経生理学

～言葉から紐解く中枢神経系の機能～



東京大学医科学研究所附属病院  
安田 真章 (RPT, Ph.D)  
shaq.masa@gmail.com

## 本日のOUTLINE

- 言語の発達過程について
- 言語に関わる中枢神経系の機能
- 言語と行為の関係について
- 臨床推論と臨床応用

### 言語の発達過程について

ヒトはなぜ言語を獲得できるのか？  
なぜ獲得するのか？

ヒトと他の霊長類との違いはなに？  
(ヒト特有のコミュニケーション能力とは？)

### ヒトのコミュニケーションが他の動物と異なる点

1. ヒトの言語コミュニケーションは記号 (**シンボル**) を用いる  
動物の信号 (**シグナル**) は他者の行動や動機状態に向けられるのに対して、ヒトの言語記号は他者の注意状態や心的状態に向けられる。
2. ヒトの言語コミュニケーションは文法を備えている  
ヒトは言語記号をいくつか組み合わせ、鋳型に合うようにして用いる。こうした鋳型は「言語構文」と呼ばれ、固有の意味を担う。

### 個体発生における起源

記号を用いたコミュニケーションに対するヒトの適応性は、個体発生において1歳頃になると、文化の違いを超えて予測通りに発現する(Tomasello, 1995, 1999)。それは新たな社会・認知的スキルが一通りそろった環境で発現するのだが、その中で言語習得にとって最も重要なものは、「共同注意フレームの構築」, 「伝達意図の理解」, そして「役割交代を伴う模倣」として知られる文化学習タイプの3つである。これらすべての根底にある最も根本的な社会・認知的能力を示すために、この新たに獲得されたスキル一式をまとめて「**意図理解のスキル**」と呼ぶ。

### 言語習得以前の乳児 (4,5ヶ月)

- 5ヵ月児は言葉を理解も産出もしないので、言語習得の開始には概念、発話単位、連合学習だけではまだ十分でないかもしれない
- ヒトの乳児は発達の初期の段階から社会的な生き物であるが、ほかの霊長類と社会的にはそこまで違ってない



←人間の顔を図式的に描いた物を他の知覚パターンよりも選択的に注視 (Fantz, 1963)

他者をモノとは違った有生の存在と認識し (Legerstee, 1991), 大人と「原会話」をし (Trevarthen, 1979), 身体的動きを模倣する (Melzoff and Moore, 1977, 1989, 1994) .

## 言語習得以前の乳児（4,5ヶ月）

「結局、語彙学習がなぜ正誤12か月頃に始まり、6か月や3年でないのかは誰もわからない」（Bloom, 2000）

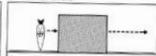
- 乳児は事物を生後4、5か月から概念化しているように見える。

### habituation Events

Short Carrot Event



Tall Carrot Event

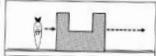


### Test Events

Possible Event



Impossible Event



(Baillargeon, 1995)

- 4,5か月齢において、音声パターンが輪郭のはっきりした物と結びつけられて反復されるのを経験すると、それを認識できる。

(Jusczyk, 1995)

## 言語習得以前の乳児

- 知覚、記憶、注意、カテゴリ化などの認知プロセスは、ヒトと他の霊長類に共通する。

- 子どもが母親と**共同注意**に携わる最初期のスキルが、その子の言語理解・産出に関する最初期のスキルと高度に相関する (Carpenter, Nagell, and Tomasello, 1998)



## 意図理解に関する初期の能力

◆生後9～12か月頃、乳児は社会的世界を理解する仕方において革命が起きていることを示唆する新しい行動をし始める。大人が見ている方向を柔軟かつ確実に見たり(視線追従)、大人を社会的参照点として用いたり(社会的参照)、大人と同じ仕方でも物に働きかけ(模倣学習)始めるのはこの時期。

◆こうした行動により子どもと大人（あるいは子どもと物）という2項関係的でなく、子ども、大人、そして共同注意の対象となる物・出来事という三角形（3項関係）ができる

◆こうした行動は、他者を自分と同様、意図をもつ主体であり、そのヒトの外界の事物に対する心理的關係をたどったり、構築させたり、共有することができる存在として理解し始めている (Tomasello, 1995)



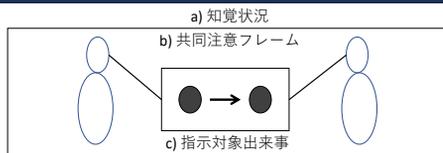
これら新しいレベルの社会的理解が根底にある、1) 共同注意フレーム、2) 伝達意図の理解、3) 役割交替を伴う模倣という形で文化学習、の3つが言語習得にとって重要

## 共同注意フレーム



- 共同注意フレームは意図の観点から定義される。すなわち、子どもと大人が「自分たちがしていること」を自分たちが携わっている目標志向的活動の観点から理解することから共同注意フレームは規定される
- このことによって、子どもは大人が新しい言葉を用いたときの伝達意図を理解することができる
- 子どもは相互交渉における大人と自分の役割を同じ「外」の観点から理解できるようになる

## 伝達意図の理解



大人と子ども間のコミュニケーションの基本的状況：a) 知覚状況（発話には関連性をもたない）、b) 共同注意フレーム（直接的な関連性をもつ）、c) 言語によって指示される出来事。

生後9～12か月頃、乳児は他者を自分と同様に意図を持つ主体であると理解し始め、そのことにより具体的状況における大人の意図を2つの重要な仕方でも理解できるようになる。第1に、乳児は外界の物に対する他者の意図状態をモニターし始め、自らの注意と学習の「足場」となるような協調行動（共同注意フレーム）も含め、あらゆる種類の共同注意活動に他者と携わり始める。第2に、乳児は自分に対する大人の意図状態と自分自身の意図/注意状態をモニターし、伝達意図の独自の構造を理解し始める。

## 役割交替を伴う模倣

乳児期の早い段階においては、行動を面と向かって2項関係的に模倣することはあるが (Meltzoff and Moore, 1977)、生後9か月になると乳児は、外界の物に対する大人の意図的行動を3項関係的に再現し始める。このことにより、外界の物を前提としたり、「指し示す」道具や他の人工物（言語記号のような記号的人工物を含む）の慣習的使用を身につける可能性が開かれるようになる。

○18か月児対象に2つのタイプの実演 (Meltzoff, 1995)

- 大人が物に対して動作を行うのを見る。
- 大人がやっってはみたが、目標とした動作の結果を達成できない（下図）



乳児はどちらも上手に目標動作を再現した。つまり、乳児は大人が何をしようと意図したかを理解しており、実際の行動をただ模倣するのではなく、意図された動作を行った。

## 共同注意の3つの相互作用パターン

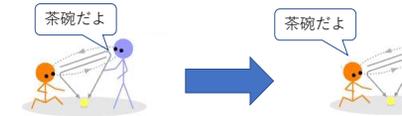
共同注意には発達プロセスに応じて、「注意をチェックする」「注意に従う」「注意を向けさせる」といった3つの要素が確認されている



Carpenter, Nagell, and Tomasello (1998)より改変

## 社会-心-脳を結ぶ枠組み

- 随意的行為の発生の過程, 随意的注意の発生 (心理間 (精神間) 機能から心理内 (精神内) 機能への内化という概念)



心理間機能としての注意

自分の頭の中だけで行われる内言の段階 心理内機能としての随意的注意慣性

心理間機能としての注意→外言による自己制御による注意→内言による自己制御の注意 (心理内機能としての注意) という三段階を経過していくプロセスを内化

## 子どもの最初の発話

子供が初めて言語記号を能動的に使用するの、共同注意フレームの共通の場内においてであり、身振りと言語の両方の手段を含む。これらの2つのコミュニケーションの形態はしばしば1つの発話において協力的に現われる。

## 初期の身振り

ヒトの乳児は主に3つのタイプの身振り【儀式化、直示的身振り、記号的身振り】をする。

儀式化：乳児が何かをしてもらうのに単に効果的な手続をとるだけの身振り



儀式化された身振りは記号的ではない。なぜなら儀式化された身振りを行う者は (注意を共有したり、その他の目的を目指した) 相互に理解された伝達行為によって他者の注意に影響を与えようとしているのではない。

## 直示的身振り

第2のタイプの身振りは直示的身振り、大人の注意を外界の物に向けようと企図されたもの。その典型は (大人に対して物を掲げて見せるなどの) 提示と指差し。

重要な事実は、身振りをする者とその相手が2項関係的に関与するだけの儀式化された身振りとは異なり、指差しは一般的に3項関係的。



## 記号的身振り

第3のタイプの身振りは記号的 (あるいは指示的) 身振りで、指示対象と換喩的あるいは類像的に結びついた伝達行為。例としてククン匂いを嗅ぐことで花を、両腕を広げることで飛行機を、フーフー吹くことで熱い物を表す。

乳児はこうした記号的身振りを模倣を介して学習していると思われる。つまり、身振りを行う際の大人の伝達意図をまず理解し、それから自分が「同じ」伝達意図をもつときに自身でその身振りを行うために役割交替を伴う模倣を行う。



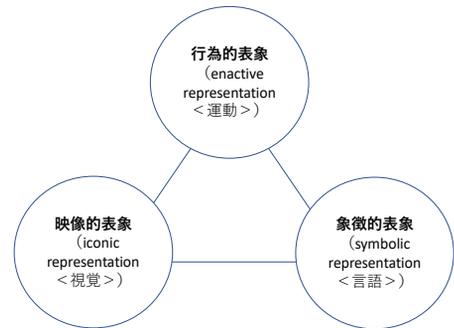
## 言語構文の発達

一語文	生後1年ほど	「もっと」「バイバイ」「食べる」「ママ」 etc...
動詞の構文	1年半～2歳	～を切って ～を～に描いて etc...
抽象的な構文	2歳半頃～	テーブルにそれを置いた。 それが転がっている。 etc...
語り (narrative)	3歳頃～	物語を構成する。 だから、そして、けれど、だから、しかし etc...

## Tomaselloによる人間のコミュニケーションの起源仮説

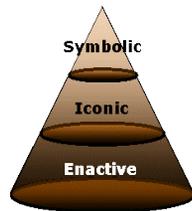
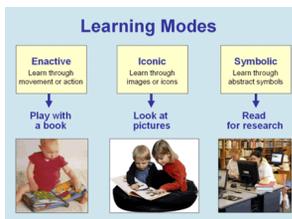
1. 人間の協力に基づくコミュニケーションは、まず身振りの領域で進化した。それが「指さし」と「物まね」
2. この進化を助けたのは、共有志向性のスキルと、動機づけ
3. 完全に恣意的な言語的慣習が存在しうようになったのは、本来的に意味を持つ協調活動に、指さしや物まねのような“自然に”理解できる形式のコミュニケーションが連携したコンテキストにおいて

## 何かを知るための3つの手段



Bruner. 1966

## Brunerの発達モデル



## ことばの意味理解に関わる一要因

標準形：卵形 形アクション：こみがす 命名：「これはムタです」  
材質：ガラス 材質アクション：選かして見る  
色：黄色

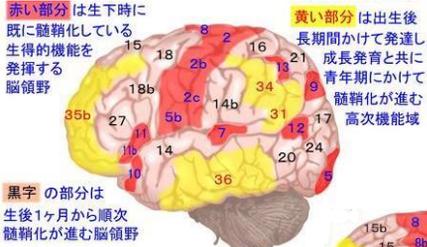
選択1 形：卵形 テスト：「どっちがムタ？」  
材質：発泡スチロール 材質：ガラス  
色：黄色

会話をする時は、ただことばを発するばかりでなく、さまざまに身体を動かして相手とコミュニケーションを図る。  
⇒この両者が同期することが重要

正高 信夫著. 子供はことばをからだで覚える：中公新書

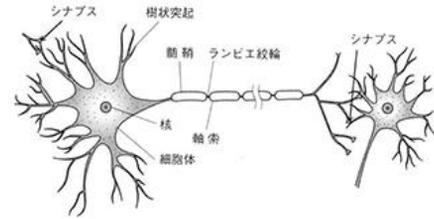


## Paul Flechsigによる脳の髄鞘化地図

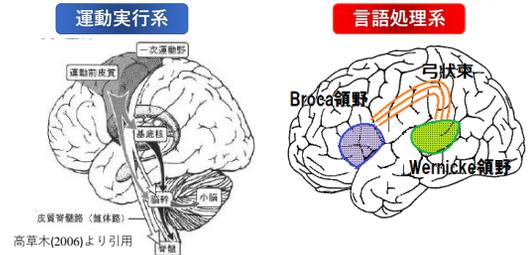


(Paul Flechsig, 1896)

## シナプス



## 一般的な運動実行系と言語処理系の脳メカニズム



運動系と言語系は異なる脳内情報処理過程を経過している

## 言語の脳内機構

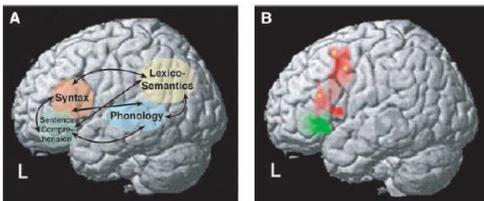
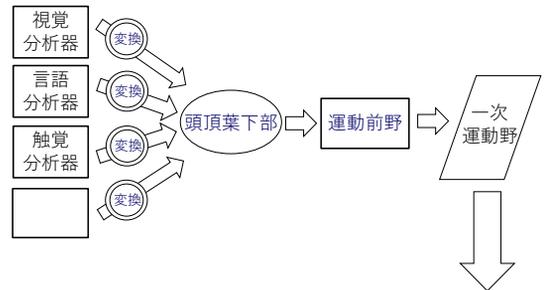


Fig. 2. (A) Possible network of fundamental linguistic functions in the brain. The exact correspondences between the left (L) brain regions and linguistic factors are still under study. (B) The grammar center and other left frontal regions critically involved in sentence processing. The green region (the left F30/F30) is selectively activated in the comprehension of sentences (16, 17), whereas the red regions (the left lateral premotor cortex, the left dorsal IFG, and the left F30p/F30) are specifically involved in syntactic processing (15, 26) and can be regarded as the grammar center.

Broca野などは産生のみならず理解（解読）にも関与

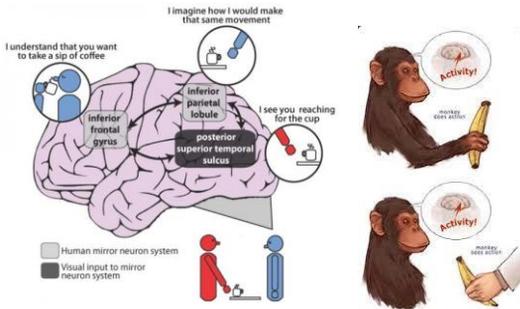
Sakai, 2004.

## 知覚と情報変換

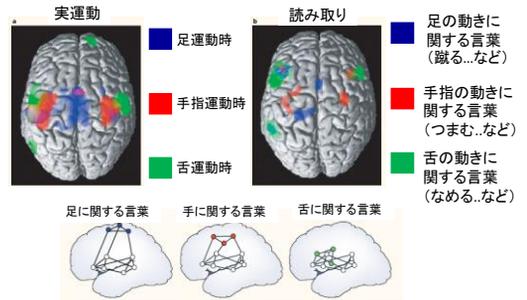


Luria, 1967

## ミラーニューロンシステム (模倣・意図理解)



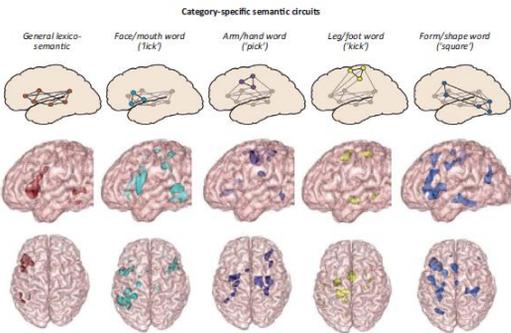
## 言語の脳内機構



身体表象部位と身体部位の動きに対応する言語理解には脳内の処理過程において、オーバーラップする部分がある

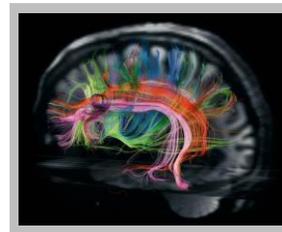
Friedemann Pulvermüller, 2004.

## 様々なネットワークによって言語処理が成される



Friedemann Pulvermüller, *Trends in Cognitive Sciences*, 2013.

## 言語による脳内の情報構築



- ・脳の回路を色分けしたMRI画像
- ・ピンクとオレンジの回路が言語機能に不可欠な信号を伝達
- ・様々な大脳皮質、辺縁系との関与
- ・構音機能における脳幹部との連関
- ・海馬の記憶回路との密接な連関

Van Waden, 2012  
National Geographic, 2014

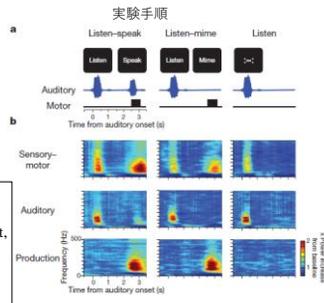
## 言語の脳科学

### 左右両半球が言語理解・発話に関与



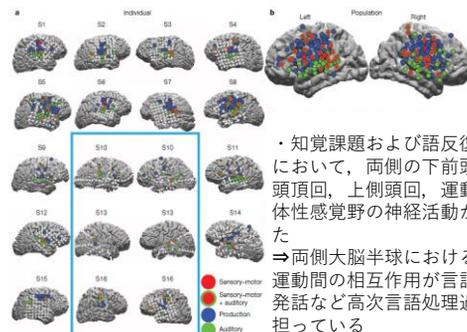
electrocorticography (皮質脳波記録)

- ・てんかん患者16名が対象
- ・子音-母音-子音形式の単語を刺激として使用 (ex: hat, hit, heat, hoot)
- ・3条件を設定
- Listen-speak: 刺激単語を復唱
- Listen-mime: 刺激単語の口パク
- Listen: 刺激単語を聞くのみ



G.B. Cogan, et al. *Nature*, 2014.

## 言語の脳科学

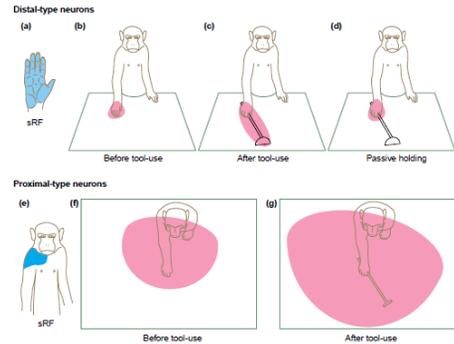


- ・知覚課題および語反復課題時において、両側の下前頭回、下頭頂回、上側頭回、運動前野、体性感覚野の神経活動がみられた
- ⇒ 両側大脳半球における感覚-運動間の相互作用が言語知覚と発話など高次言語処理過程を担っている

G.B. Cogan, et al. *Nature*, 2014.

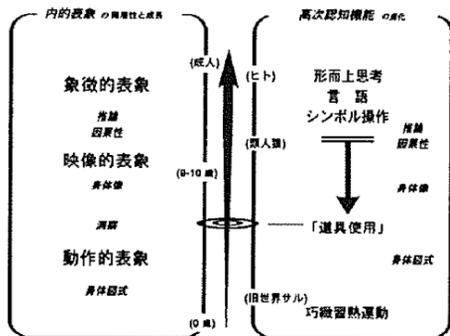
## 言語と行為の関係について

### 意図を伴う行為遂行時は身体図式を改変する



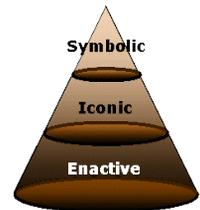
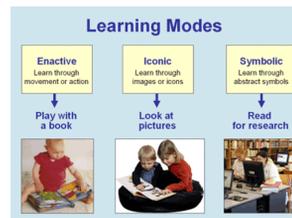
Iriki A et al, 1996

## 高次脳機能の発達と進化



入来, 2000

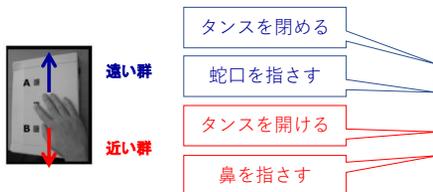
### Brunerの発達モデル



### 動作方向によって文章理解速度が異なる

Arthur M. Glenberg et al, Psychonomic Bulletin & Review, 2002.

- 動く方向と同様の方向性を意味している文章の理解(運動反応)は早い

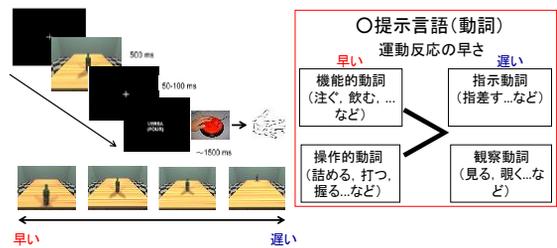


- ACE(action-sentence compatibility effect:運動-文互換性作用)の根拠として, 言語理解は身体活動を基に生じている

### 文脈や環境によって動詞への反応が異なる

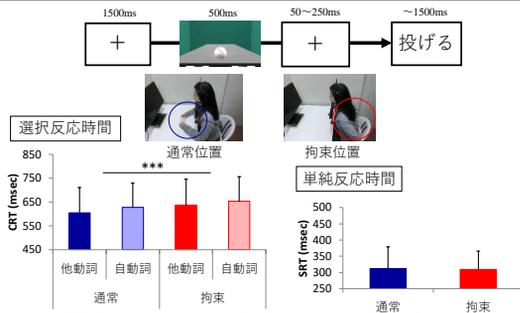
Ettore Ambrosini et al, Consciousness and Cognition, 2012.

- 提示された物に対する“言葉(動詞)”が, 動作的・操作的な意味を含んでいるほうが運動の反応が早い



- 動詞の言語理解がその言葉の動作遂行中の知覚・運動システムと同様のシステムによって生じている

## 身体状況の変化が言語処理過程に影響を与える



- ▶ 上肢拘束によって言語判断処理過程に影響を与える
- ▶ 現状の身体状況が言語処理過程に関与する

Masaaki Yasuda et al. *Frontiers in Neuroscience*, 2017.

## 形容詞と副詞

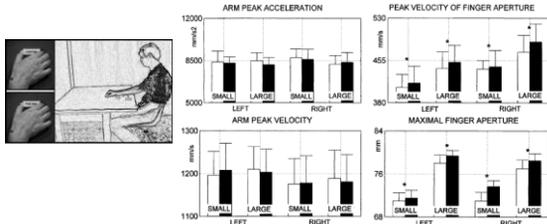
形容詞

- 名詞がどのような人（物）なのかを修飾する

副詞（副詞の範疇は広いが..）

- 動詞がどのような状態かを修飾する

## 形容詞・副詞の提示が身体運動に影響を与える

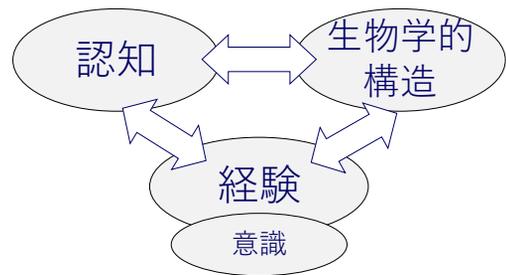


- 「GRANDE」もしくは「PICCOLO」の文字が書かれた物を持つ  
→ 手の開く大きさと、開く角速度が有意に変化
- その他にも「ALTO(high)」・「BASSO(low)」と「SOPRA(up)」・「SOTTO(down)」の比較など

言語の視覚提示およびその無自覚的な理解は運動への変換に影響を与える

M Gentilucci et al. *Exp Brain Res*, 2000.

## 行為によって人に生じること



Perfetti, 2006

## 身体化された認知 (Embodied cognition)

身体を介して世界を知り、思考すること



## Lakoff & Johnson 認知意味論

身体化された言語は  
比喩（メタファー）で拡張していく

- メタファーとは、「ある意味を持つ一つの言葉を、それと類似の関係を持つ別の言葉に置き換えること」  
例えば、「人生とは旅のようなもの」「あなたは太陽のようだ」
- メタファーとは、「ある概念を他の概念へと写像する認知的相関能力」  
例えば、人間の「脚」と机の「脚」・・・機能的類似  
例えば、人間の「首」と瓶の「首」・・・形状的類似
- メタファーの本質は、「ある事柄を他の事柄を通して理解する」こと

## 身体化された言語

→運動感覚イメージ・スキーマ (Lakoff & Johnson, 1999)

[人間の精神の認知構造 (メタファーの基本概念) ]

1. 容器図式：自分の体を容器として経験し、また容器 (例えば部屋) の中のものとしても経験する
2. 部分/全体図式：身体を<部分>を伴った<全体>として経験する
3. 連結図式：へその緒から社会関係など
4. 中心/周辺図式：身体を中心 (胴体や内臓) と周縁 (指, 髪) を持つものとして経験する
5. 起点/経路/目標図式：出発する場所と終わる場所があり, 目標や目的地という語を使う
6. 上/下, 前/後, 左/右図式など

## まとめとして

- ヒトがコミュニケーションを獲得する要因として意図理解のスキル (他者も自分と同様に意図を有した存在であると認識する) がある
- 神経科学的にも言語に関する処理は単一領域で生じるものではなく、システムとして生成されており、その基盤として自身の経験がある
- よって臨床時の観察・訓練も3項関係を形成し, 相手の言葉の意味を共感・推論し, 身体状況や目標との関係や齟齬を推察していく

