

2025.7.28

一般社団法人 奈良県言語聴覚士会主催 教職員対象 講演会

発達を知る

～算数の基礎となる身体活動～



株式会社 Magic Connection

代表取締役

こども発達支援 MOMOの実

管理責任者 言語聴覚士

松下真一郎

はじめに

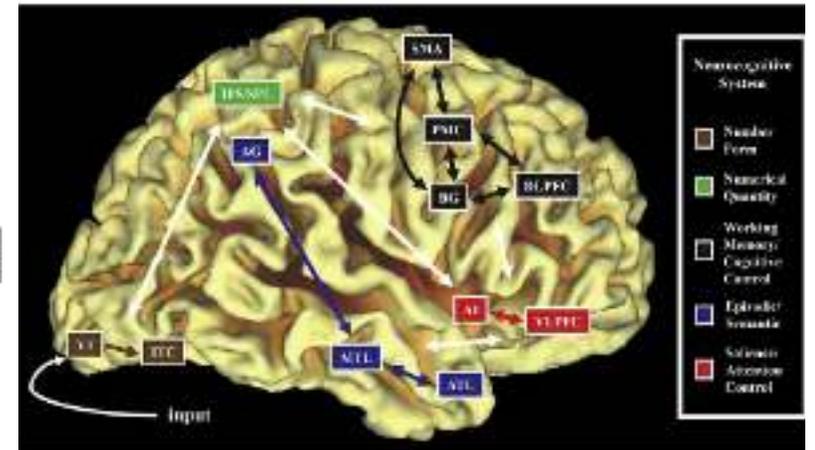
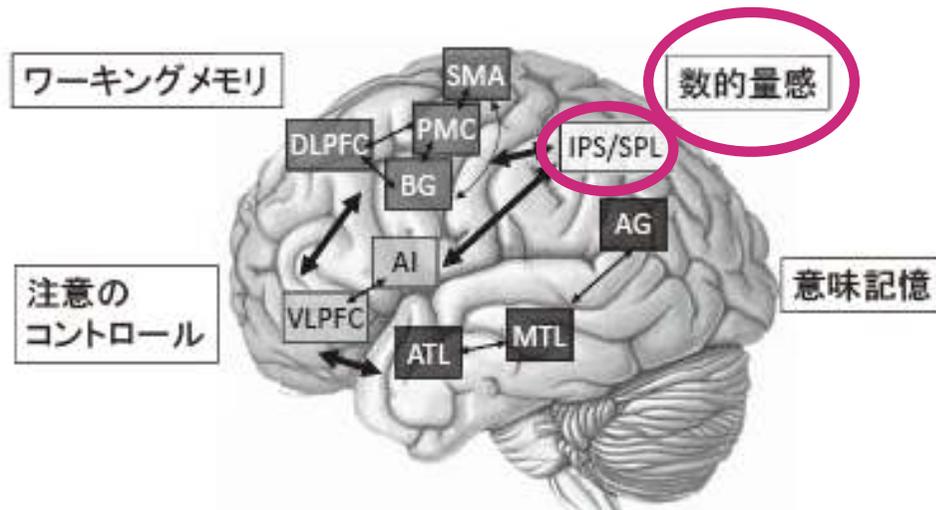
算数には複数の脳機能が関与している

まず初めに乳児期における数と量の認知が幼児期にどの様に変化していくのかを知る

特に数と量の関係性を理解することに時間がかかり、その理解を促すためには物の操作が重要になる

物の操作、つまりは身体の手操作が重要であることを解説していきたい

算数における複数の脳機能



Fias.et.al 2013

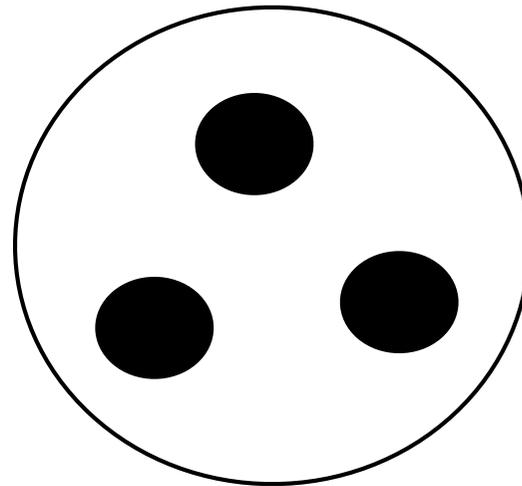
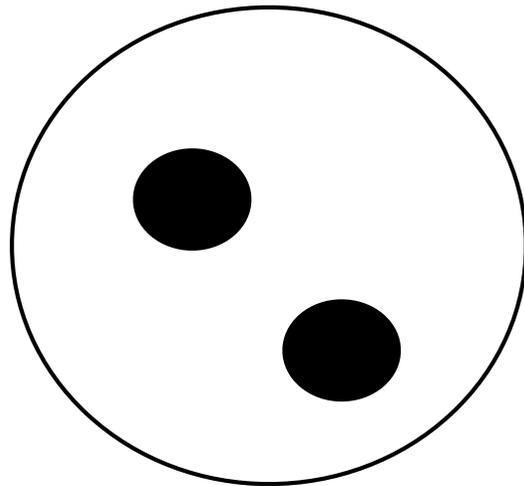
図4 計算に関わる脳領域

Fias et al. (2013) をもとに作成, 関 (2016) より引用

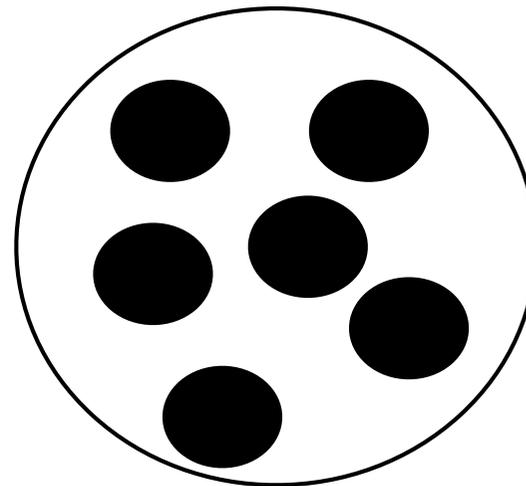
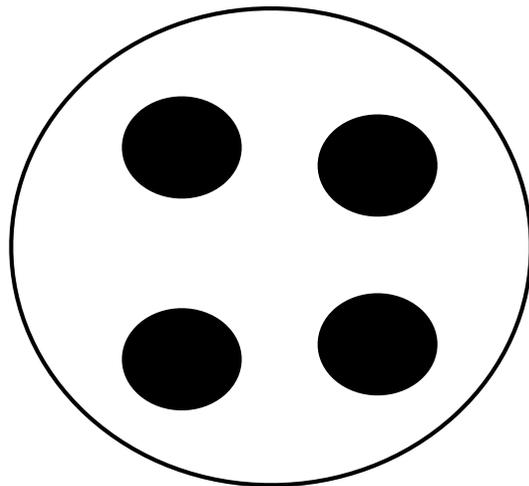
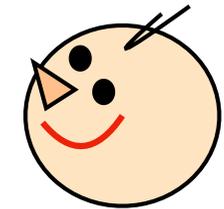
IPS: 頭頂間溝, SPL: 上頭頂小葉, SMA: 補足運動野, PMC: 前運動皮質, BG: 基底核, DLPFC: 背外側前頭前野, AI: 島前部, VLPFC: 腹外側前頭前野, AG: 角回, MTL: 側頭葉内側部, ATL: 側頭葉前部

乳幼児期の数と量の概念の発達を知る

乳児の数の知覚

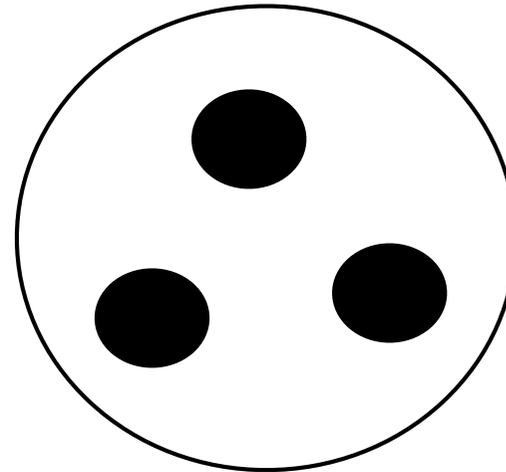
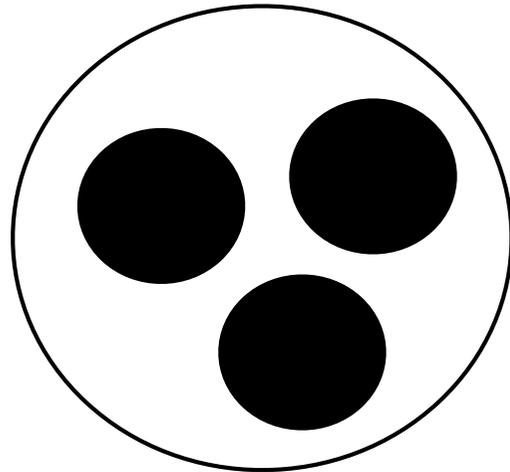


4ヶ月

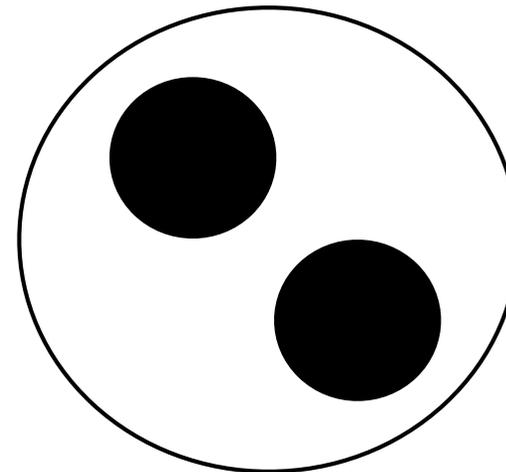
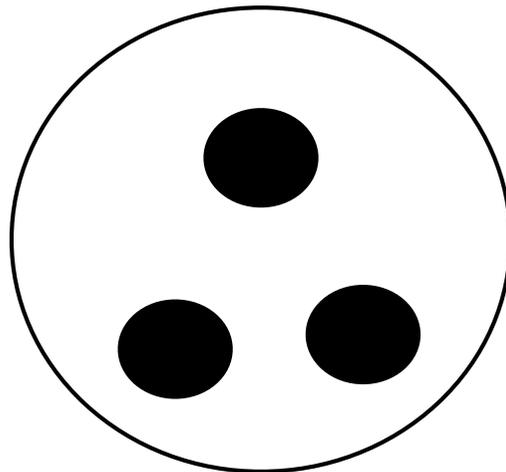
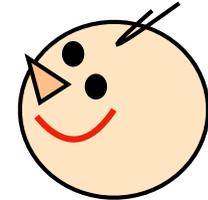


2個と3個の違いはわかるけど4~6個のなると難しい

乳児の数の知覚

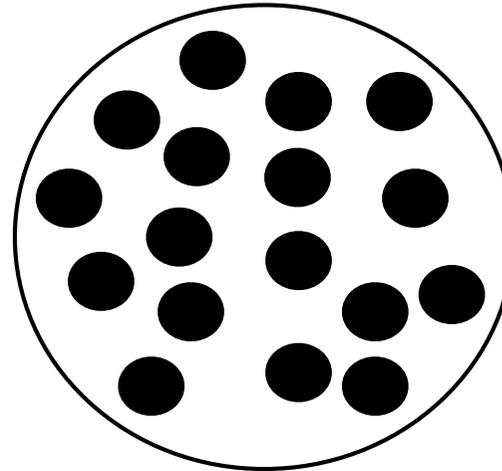
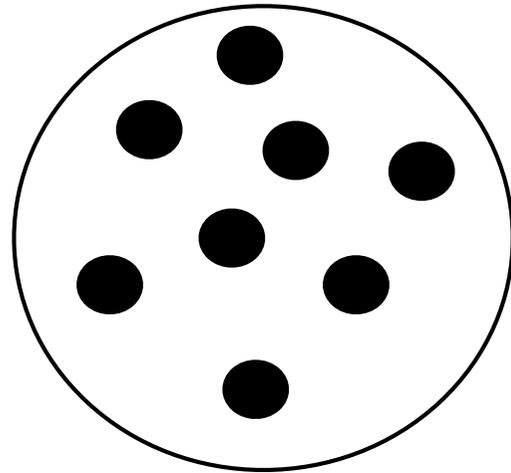


4ヶ月



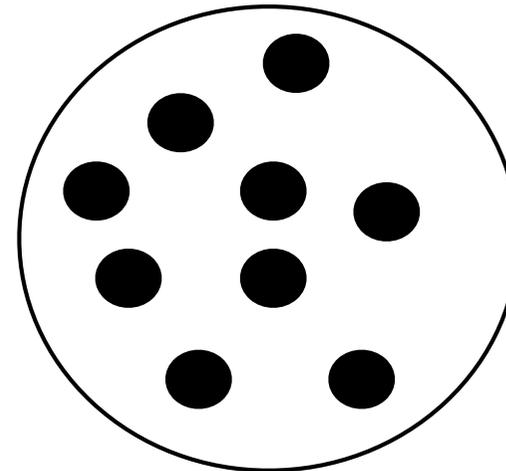
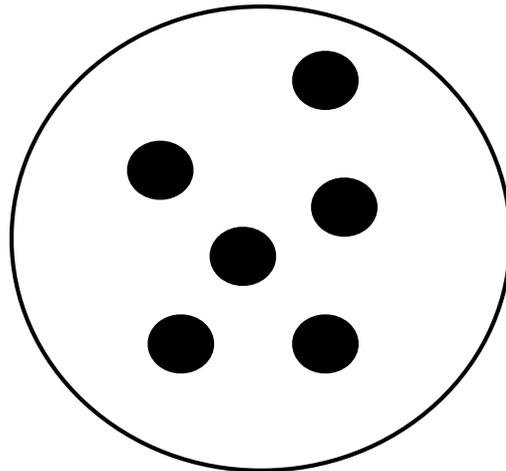
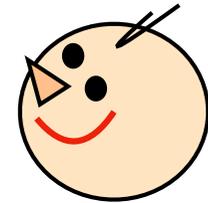
●の大きさ（量）の変化に気づくが2個と3個の違いがわからない

乳児の数の知覚



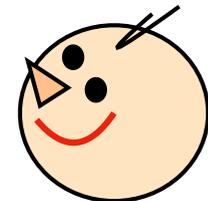
6ヶ月

1 : 2



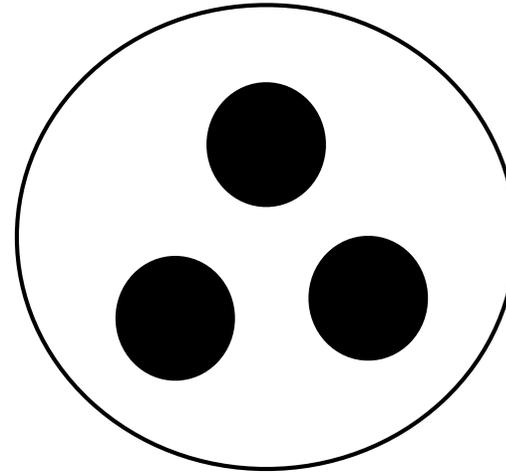
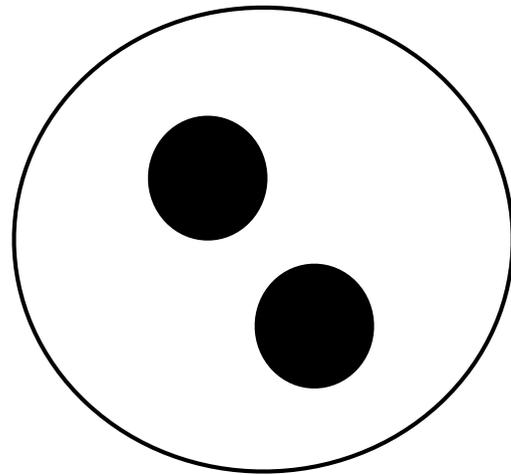
9ヶ月

2 : 3

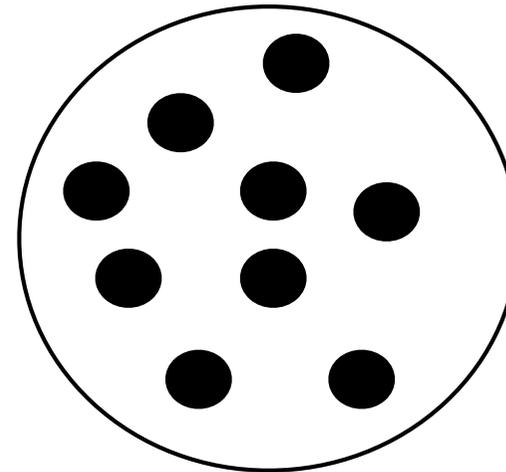
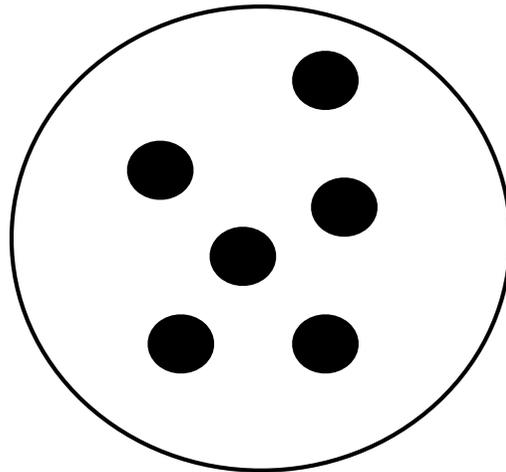
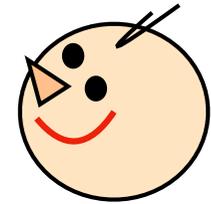


6ヶ月では1 : 2、9ヶ月で2 : 3の割合で●の数（量）がわかる

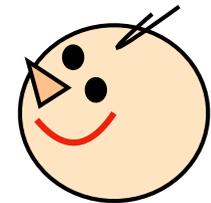
乳児の数の知覚



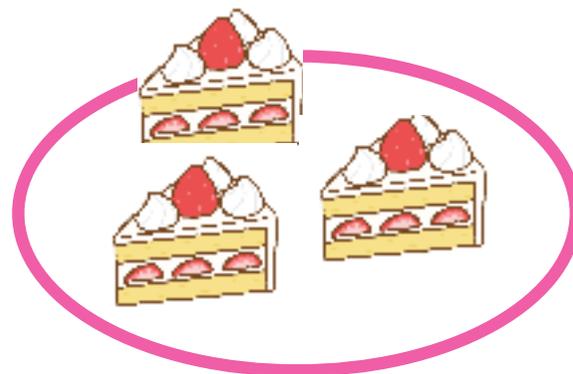
3までの
数の概念



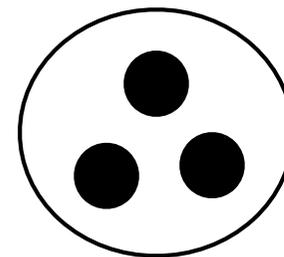
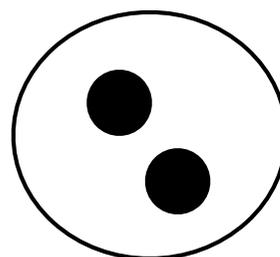
2 : 3など
量の概念



幼児期は乳児の数と量の概念を使う



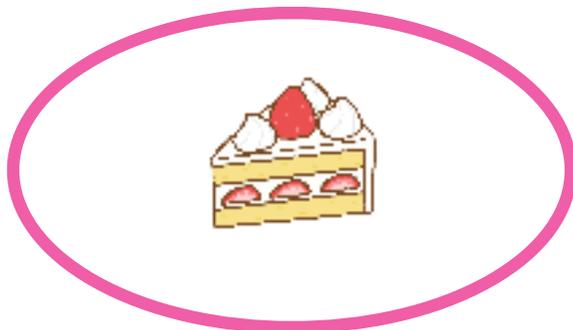
くまさんにケーキを2個あげましょう！



3までの
数の概念



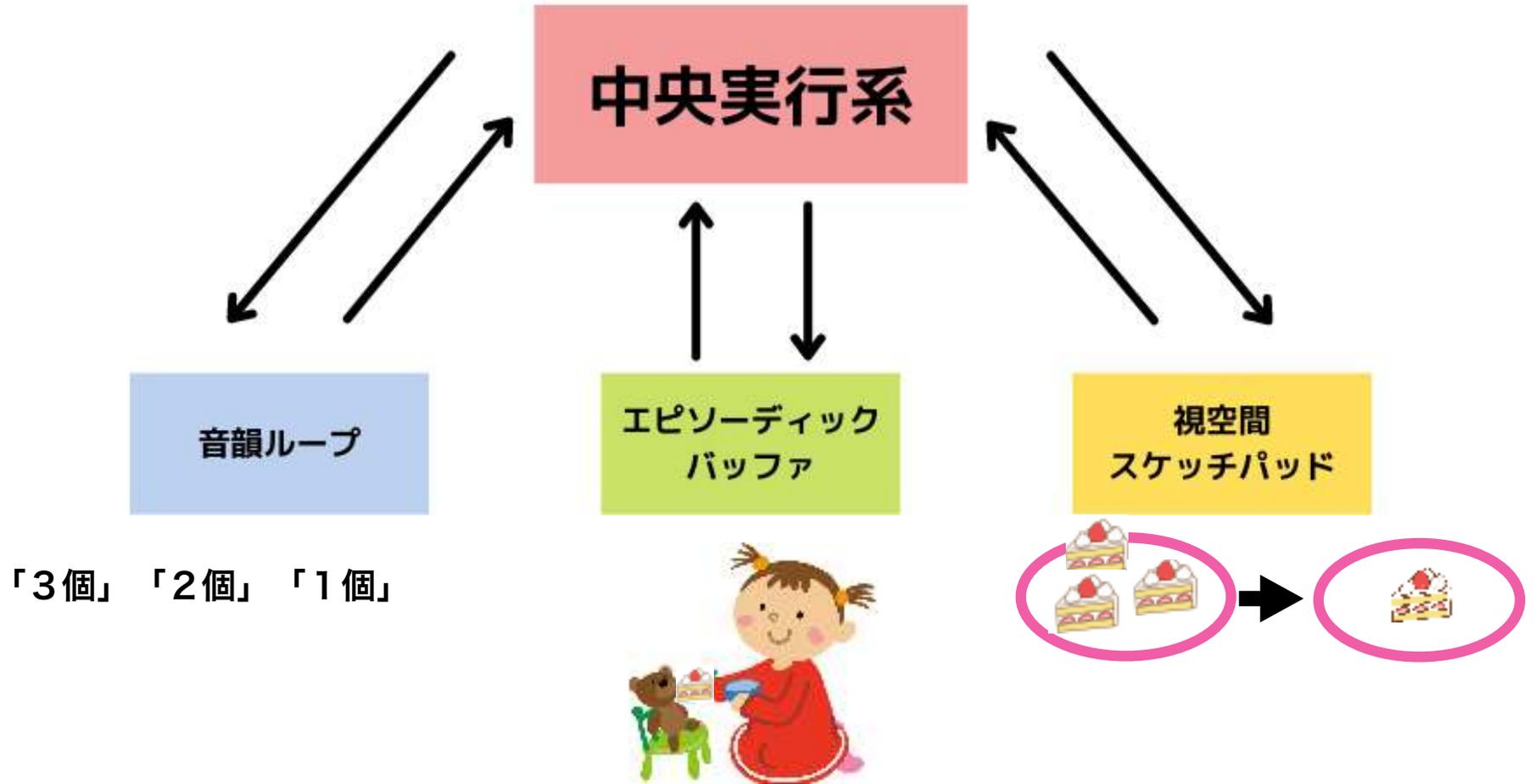
くまさんは何個食べたかな？



「2個」と答えられない場合は、
目の前にあるケーキを数えている可能性が高い
またケーキの数が3個以上になると難しくなることが多い

幼児期は乳児の数と量の概念を使う

Baddeleyら(2009)



ケーキの数が3個以上になると難しくなることが多い理由としては、ワーキングメモリの制約が影響していると考えられる

4～5個以上の数が理解できると数唱などを用いる

Condry & Spelke, 2008 ; Le Corre & Carey, 2007 ;
Le Corre et al., 2006 ;
Sarnecka & Carey, 2008 ; Sarnecka, & Lee, 2009

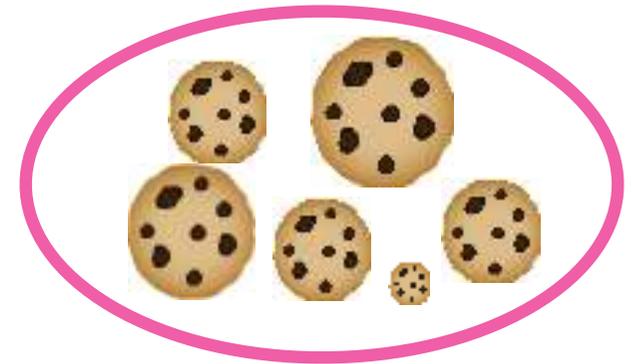
幼児期は乳児の数と量の概念を使う

クッキーモンスターがお腹いっぱいになるようにクッキーをあげましょう

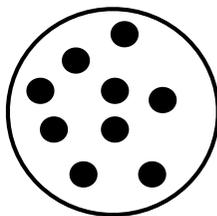
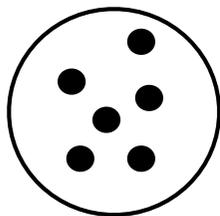


3~4歳

どっちが
お腹一杯になる？



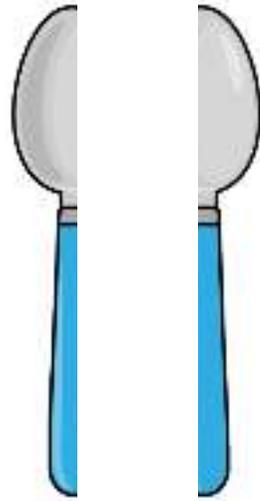
5歳



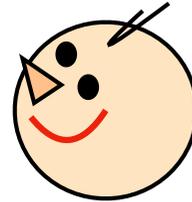
2 : 3など
量の概念



幼児期の数と量の概念変化

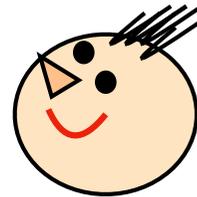


「何個ありますか？」



3~4歳

2個



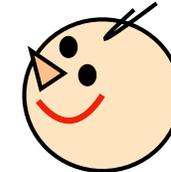
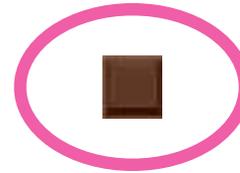
5歳

1個

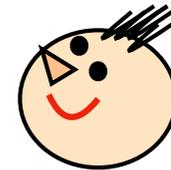
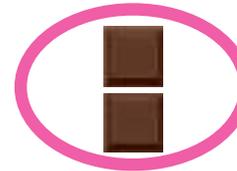
柔軟に構成し(2つの個体を1単位と見なすなど), 1単位量の同等性(1単位の量は常に同じでなければならない)に注目することが幼児期の課題である

幼児期の数と量の概念変化

「1個ずつチョコレートに分けてあげてね」



4歳



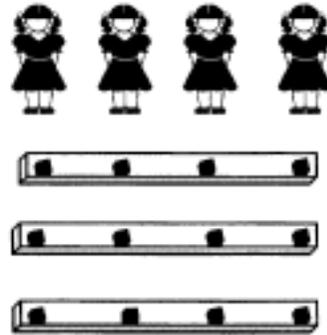
5歳

4歳児のほとんどは、適切な調節をせず、同数を分配したため、結果的に一方に倍の量を与えたが、5歳児は、ダブルのかけらに対して、2つのシングルのかげらに対応づけて与えるといった必要な調節を行い適切に分配することができた

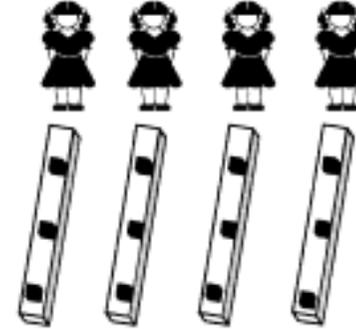
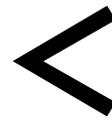
幼児期は乳児の数と量の概念を使う

配分先がある場合

Squir & Bryant, 2002.



商によるグルーピング

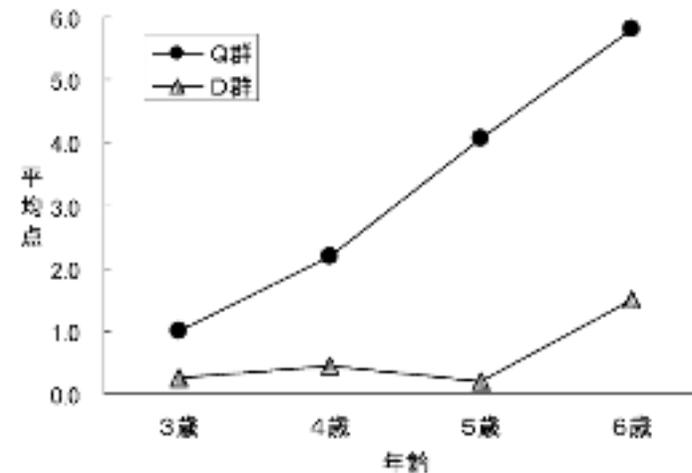


除数によるグルーピング

配分先がない場合には **■** つずつに分けての方がわかりやすい

Table 2
課題の種類

課題	手元のチップの数	Q群 (商)	D群 (被除数)
6/2	6個	2つずつ	3つに
8/2	8個	2つずつ	4つに
12/4	12個	4つずつ	3つに
12/6	12個	6つずつ	2つに
20/4	20個	4つずつ	5つに
24/6	24個	6つずつ	4つに



各教示における平均点

幼児期：量の認識における物の操作

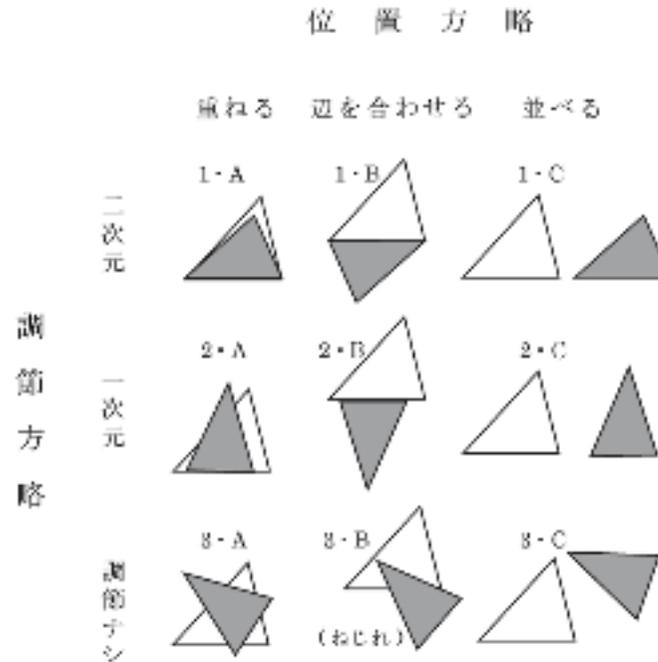
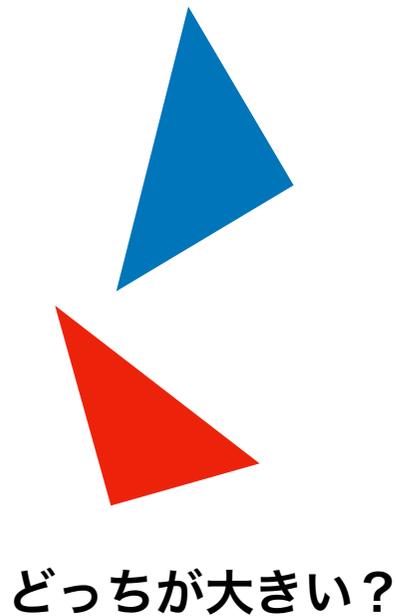


図1 図形の面積の比較方略

4歳1ヶ月：重ね合わさた物を見ても大小がわからない

4歳8ヶ月：重ね合わさた物を見ると大小がわかるが自ら重ねることはない

4歳11ヶ月：自ら図形を操作するが重ねることはない（他の二次元操作をする）

5歳2ヶ月：自ら図形を操作し重ねることで高確率で大小の判断ができる

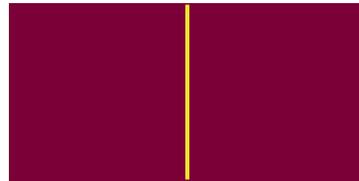
幼児期：量の認識における物の操作

チョコレートを二人に分けよう！

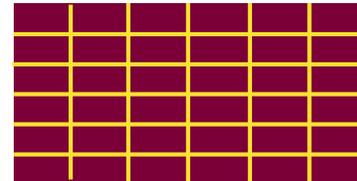
手がかりなし



二分手がかり



細分手がかり



誤手がかり



ハサミ ものさし えんぴつ などを使って分ける

年少：多分割の反応を示し、数えるや交互の分配といった数に関する訪路が多い

年中から年長：二分する（単位）反応が多く見られ年長にかけて重ねる訪路を用いる

4歳では自ら重ねることはないため誤手がかりにて不均衡になる傾向が見られた

5歳では自ら重ねることで高確率で均等に分割できた

算数における複数の脳機能

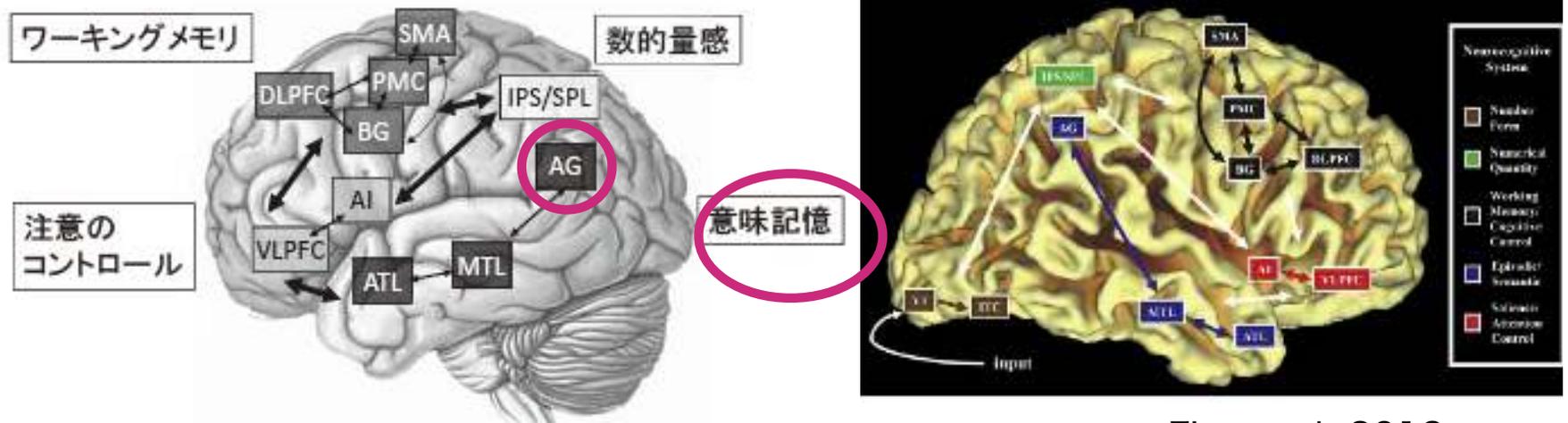


図4 計算に関わる脳領域

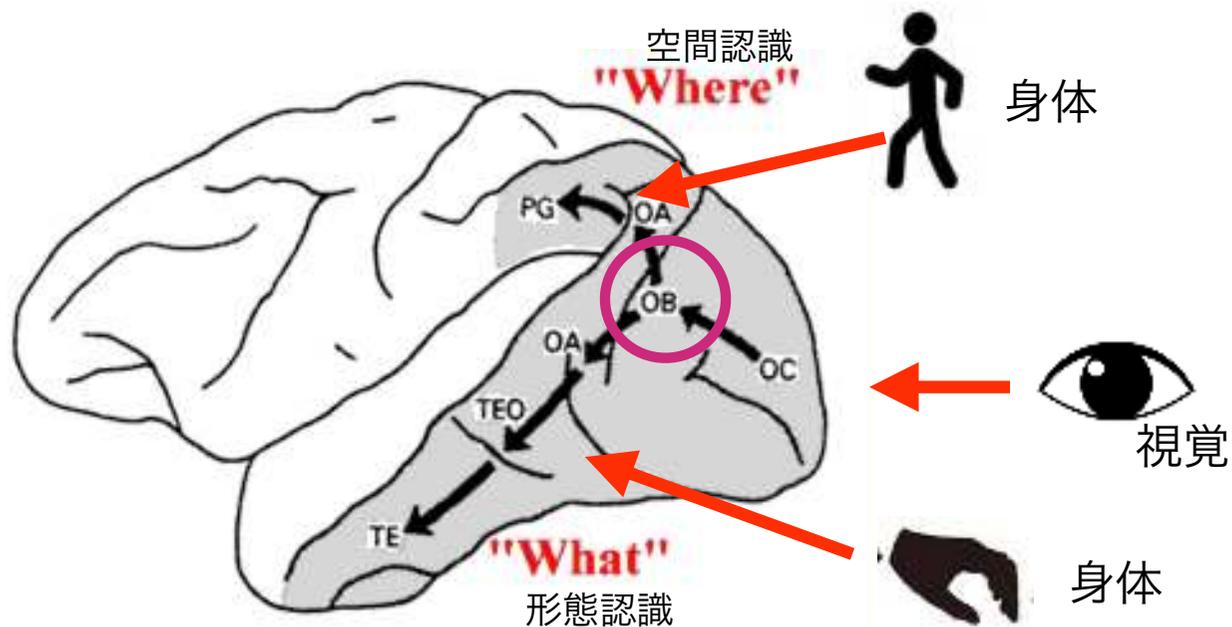
Fias.et.al 2013

Fias et al. (2013) をもとに作成, 関 (2016) より引用

IPS: 頭頂間溝, SPL: 上頭頂小葉, SMA: 補足運動野, PMC: 前運動皮質, BG: 基底核, DLPFC: 背外側前頭前野, AI: 島前部, VLPFC: 腹外側前頭前野, AG: 角回, MTL: 側頭葉内側部, ATL: 側頭葉前部

高次脳機能障害から算数を考える

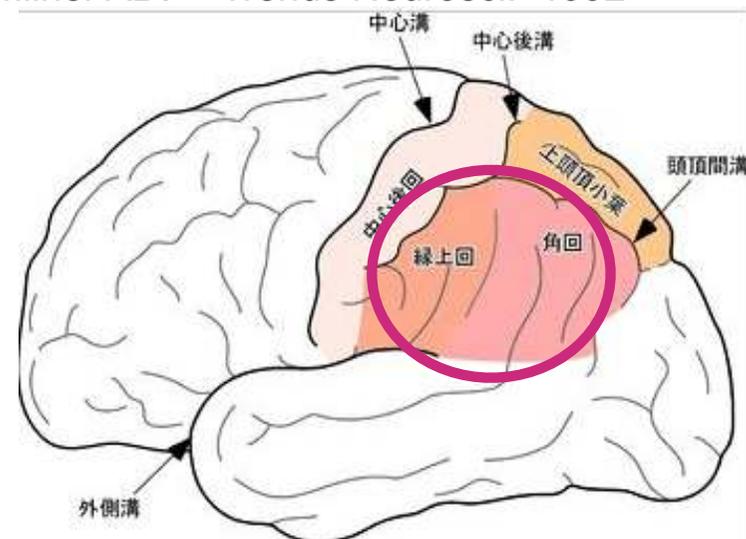
空間認識の経路の障害で起こる算数の障害



Separate visual pathways for perception and action.
Goodale MA1, Milner AD. Trends Neurosci. 1992

ゲルストマン症候群の4症状とは

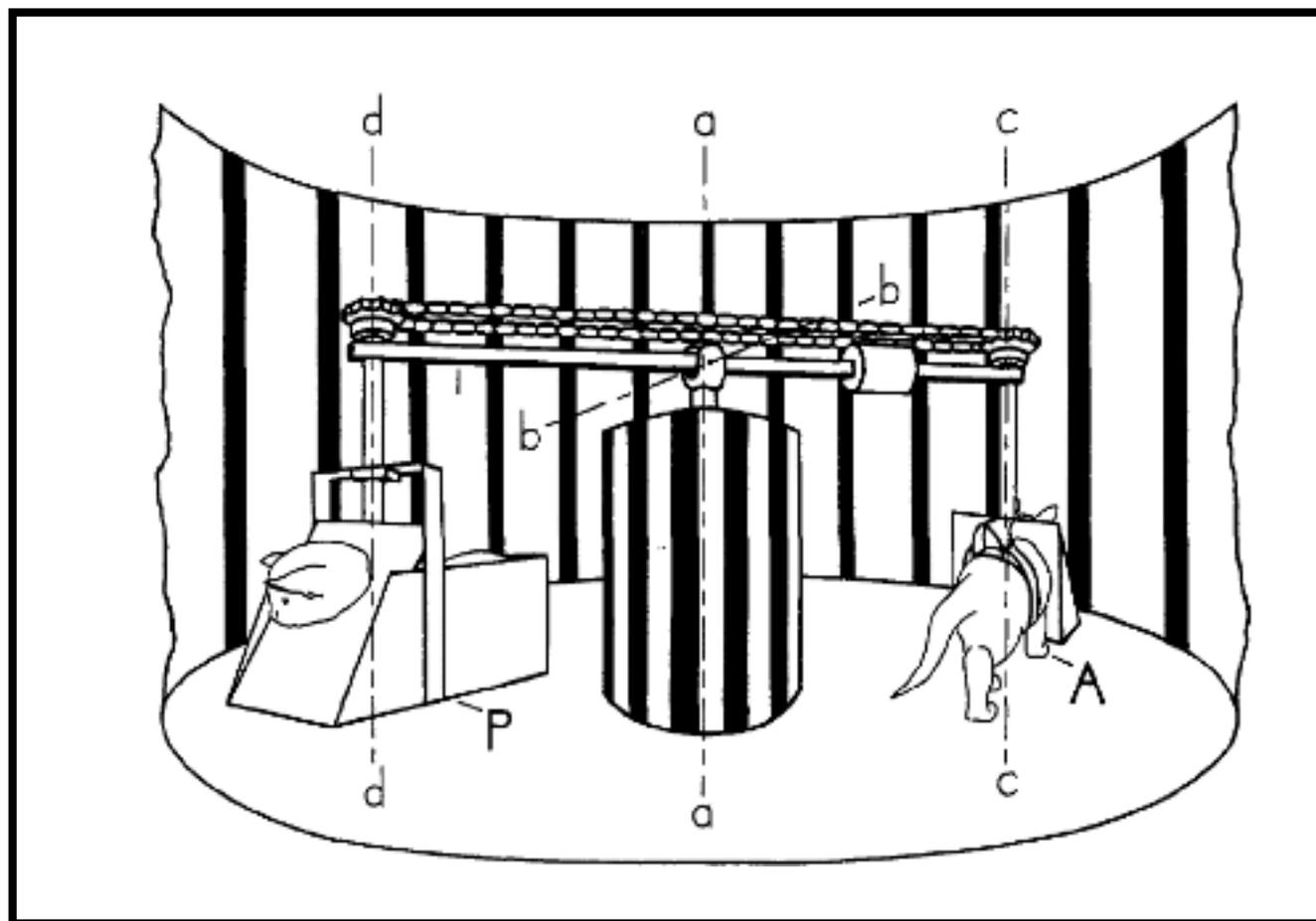
- ①手指失認・・・指定された指を示せない。
- ②左右失認・・・左右がわからない。
- ③失書・・・自発的に字を書くことも書き取りもできない。
- ④失算・・・暗算も筆算もできない。



自ら移動することで空間認知が発達する ～Visual Cliff～



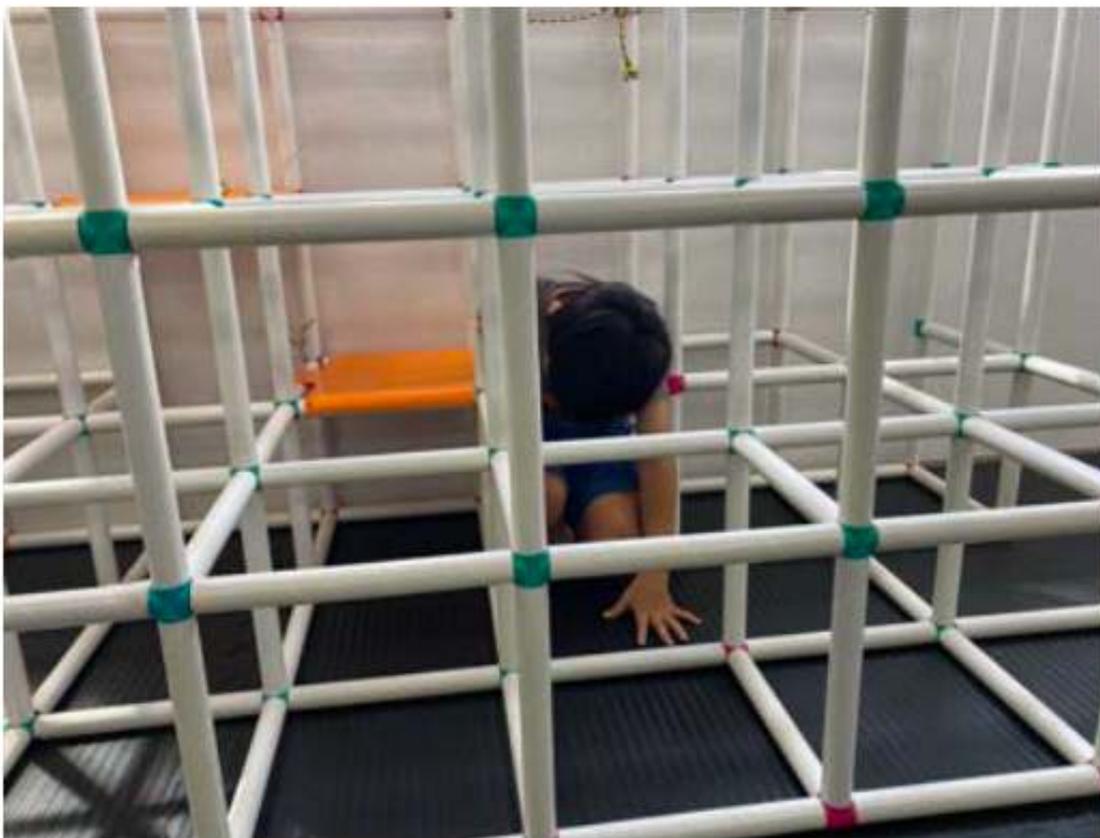
自ら移動しないと！？



Pは受動 Aは能動 視覚的環境は同じ

Held, R. & Hein, A. 1963

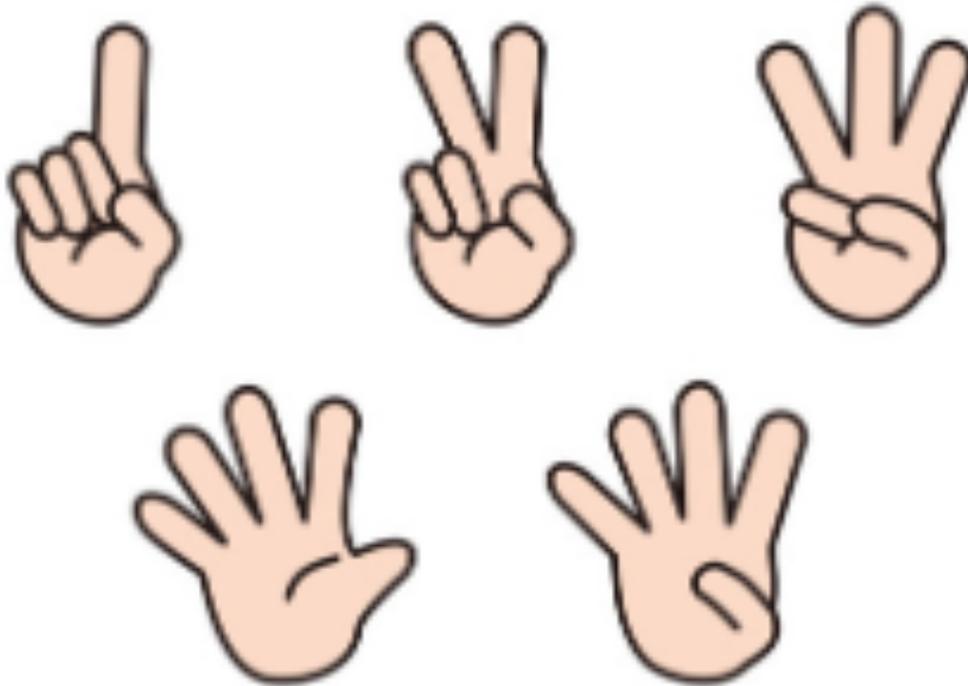
自ら移動する



実際の行動から観察する



計算の発達：指折り



計算の初期には指折りが必要であり、
指の位置を知ることも重要である

指折りの変化



見ないで指折り

指折りもしなくなる

計算の発達：指折り



計算の初期には指折りが必要であり、指の位置を知ることも重要である
指人形を使って各指を意識する
「お猿とペンギンがこんにちは」

計算の発達：指折り



指折りでは親指と他の指が対立する重要である

母指対立：粘土の中から探す

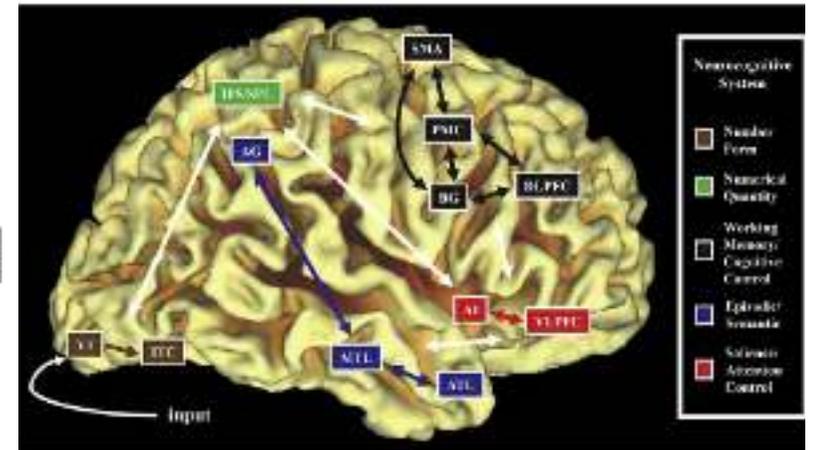
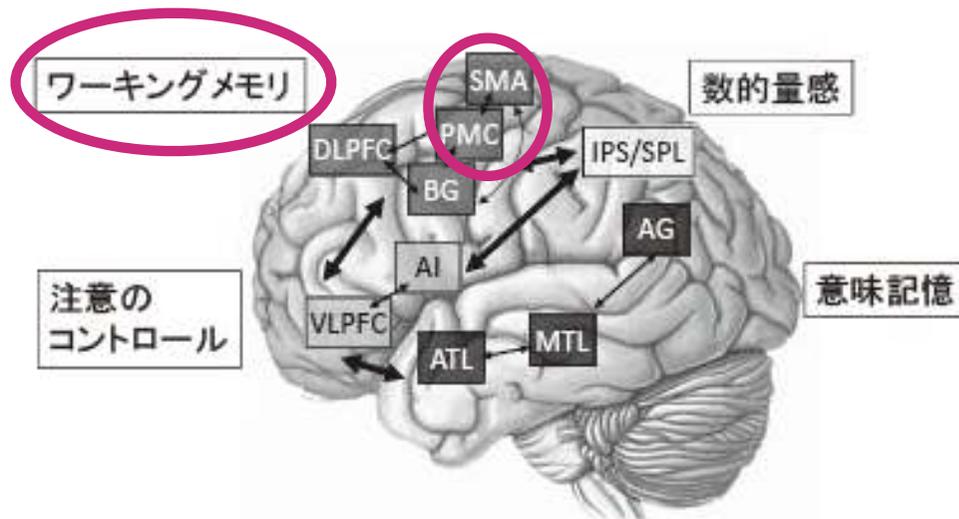


どっちが多い

1000

99

算数における複数の脳機能



Fias.et.al 2013

図4 計算に関わる脳領域

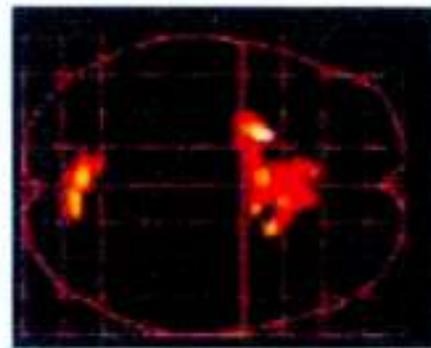
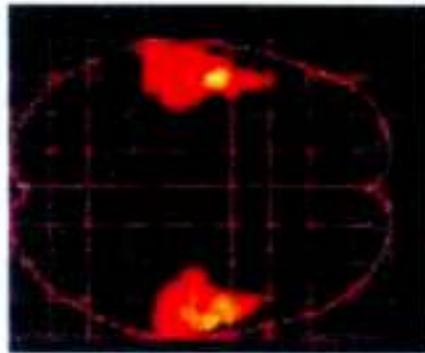
Fias et al. (2013) をもとに作成, 関 (2016) より引用

IPS: 頭頂間溝, SPL: 上頭頂小葉, SMA: 補足運動野, PMC: 前運動皮質, BG: 基底核, DLPFC: 背外側前頭前野, AI: 島前部, VLPFC: 腹外側前頭前野, AG: 角回, MTL: 側頭葉内側部, ATL: 側頭葉前部

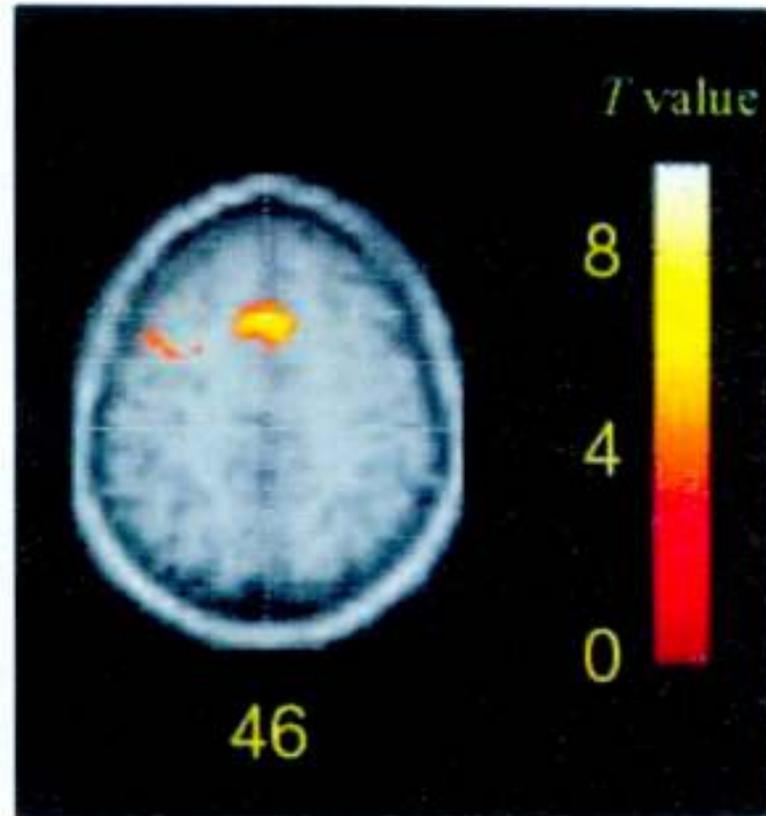
運動（経験）することが文章問題を解くことに関与する

擬態語は様々な情報からなる

Laughter



Pain



笑いの擬態語（ゲラゲラ・クスクスクス・ニコニコなど）

左下前頭回（前運動野と補足運動野） 両側の舌状回が活性化を示した

痛みの擬態語（チクチク・ズキズキ・キリキリなど）

前部帯状回活性化を示した

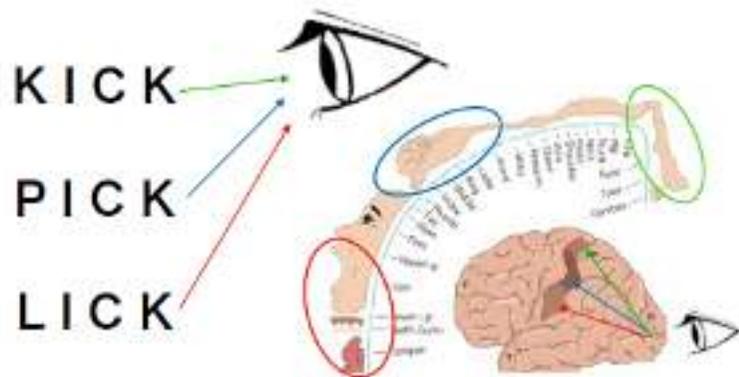
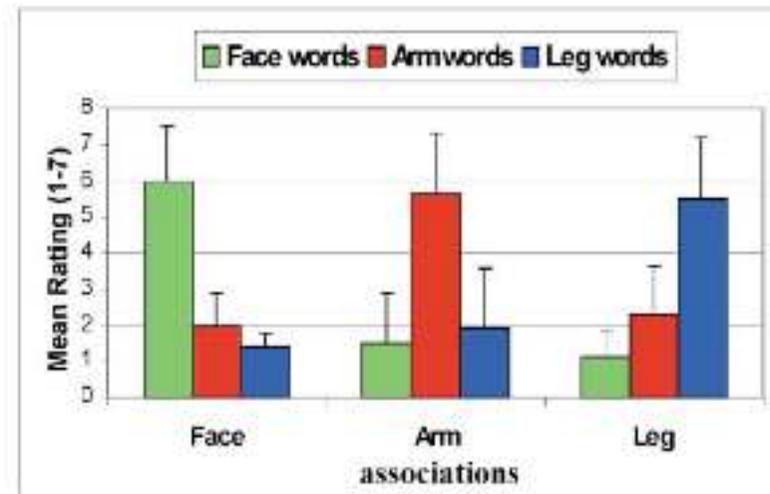
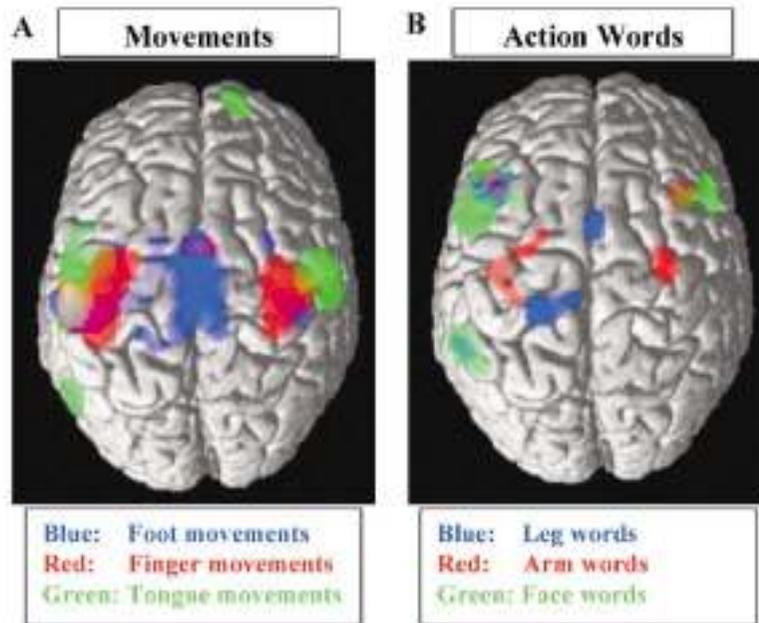
生理心理学と精神生理学23(1):5-10,2005

特集 ニューロイメージングによる「こころ」の神経基盤の探求

擬態語により創発される情動空間の脳内表現 fMRIによる笑いとお痛みのクオリアの検討1-

京都大学 大学院文学研究科 菅阪 直行 大阪外国語大学 菅阪 満里子

動詞をみたときに 働く脳内の身体部位



KICK. PICK. LICKのそれぞれの身体部位と関係ある動詞を受動的にみたときの脳の活動を測定すると、それぞれの動詞に対応した身体部位の活動がみられた。

絵カードよりも動画？

静止画と動画の動詞の処理の違い

静止画

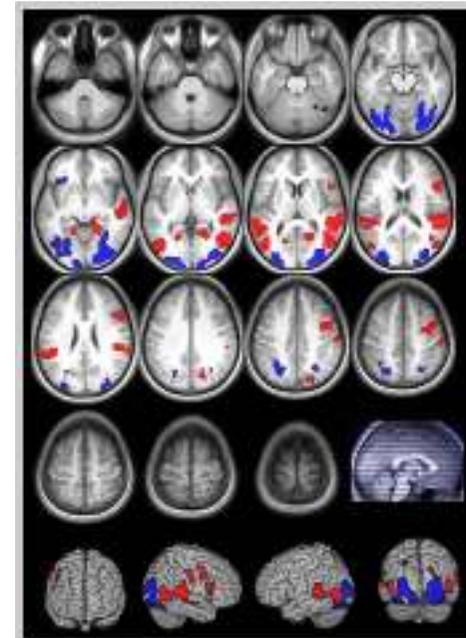


静止画：左右；上頭頂小葉、後頭葉、紡錘状回

動画



動画：左右；上頭頂小葉、後頭葉 紡錘状回、
上側頭葉 角回、縁上回・中前頭回 (BA6)



静止画 > 動画

静止画 < 動画

動画を見ている方が運動と言語に関係の深い部位が活動する

身体に負荷のかかる活動



左前頭神経膠腫によって引き起こされる 3つの構文関連ネットワーク

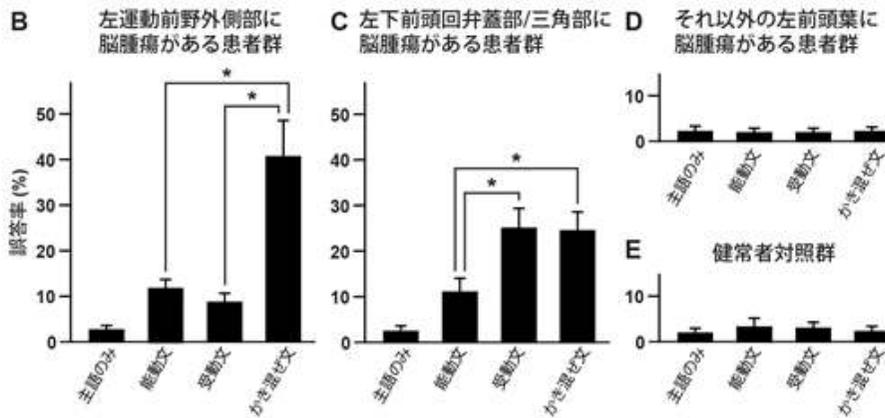
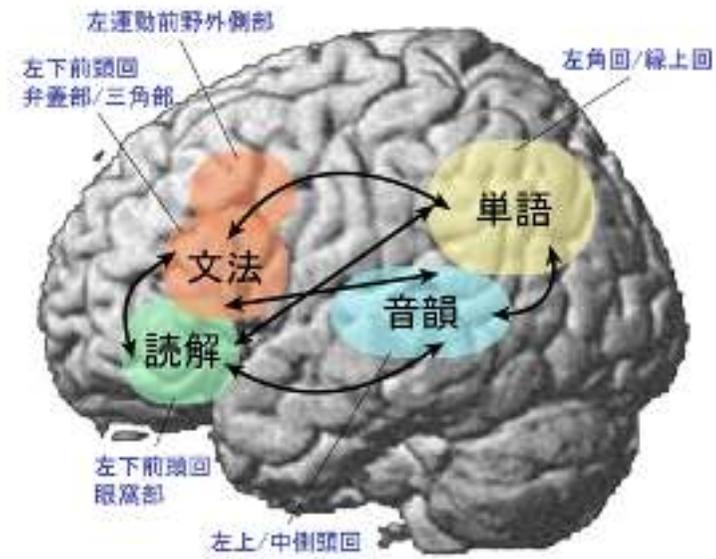
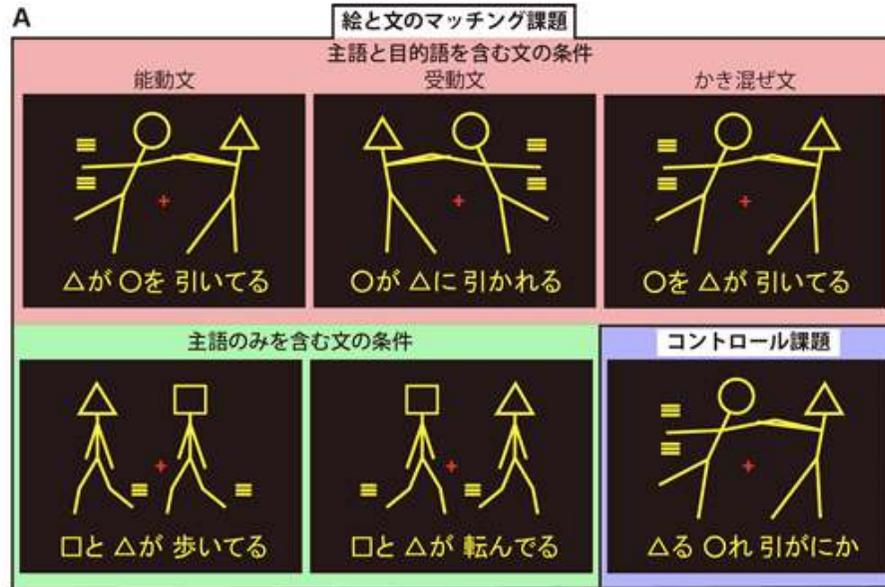


図2 文法課題とその誤答率

図1 2つの文法中枢

Differential reorganization of three syntax-related networks induced by a left frontal glioma
 Ryuta Kinno Shinri Ohta Yoshihiro Muragaki Takashi Maruyama Kuniyoshi L. Sakai

文の種類：かき混ぜ文

女の子がドアを押している

非可逆文

女の子がお父さんを押している

可逆文 基本語順文

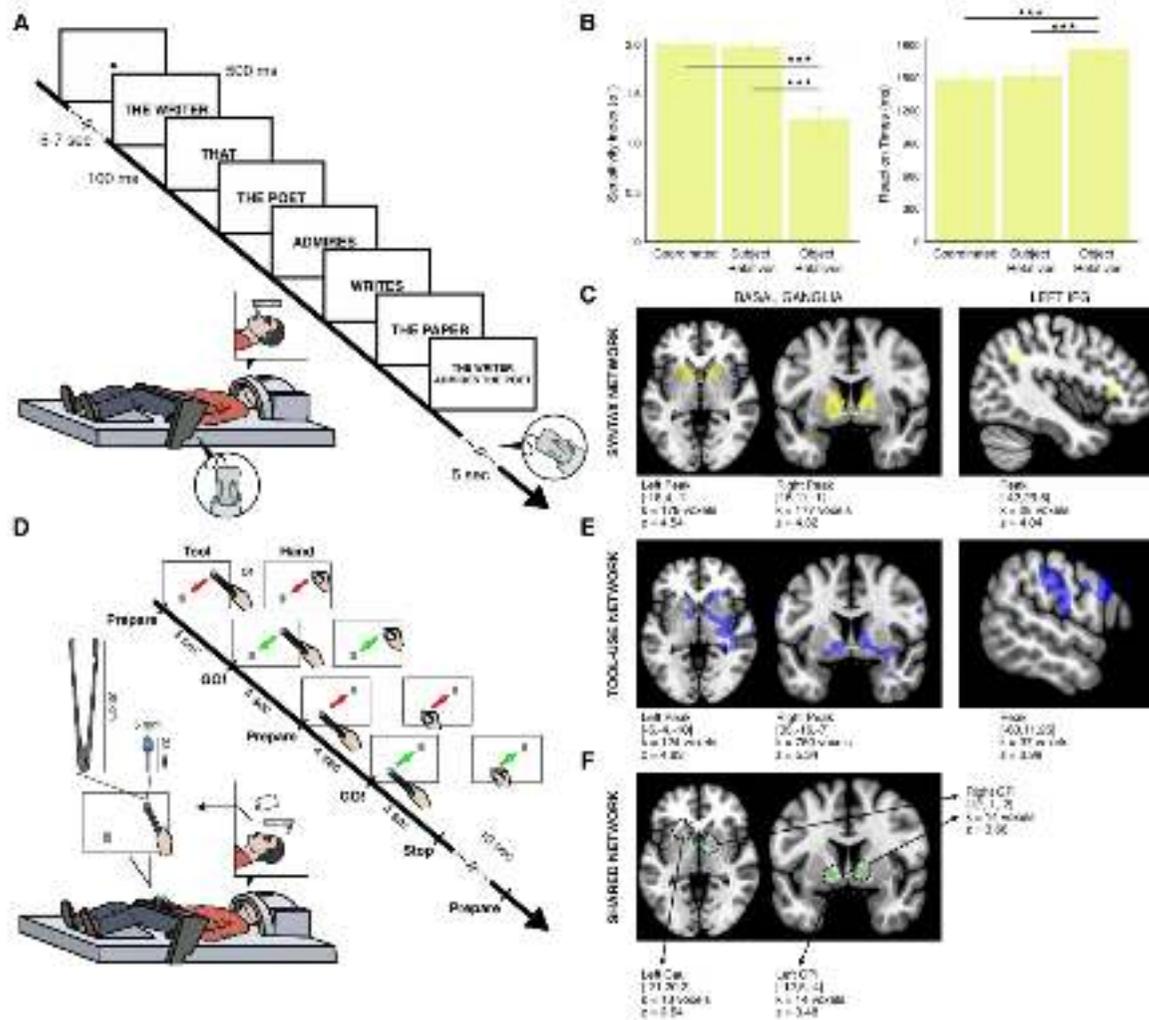
お父さんを女の子が押している

可逆文 かきませ語順文

女の子がお父さんに押されている

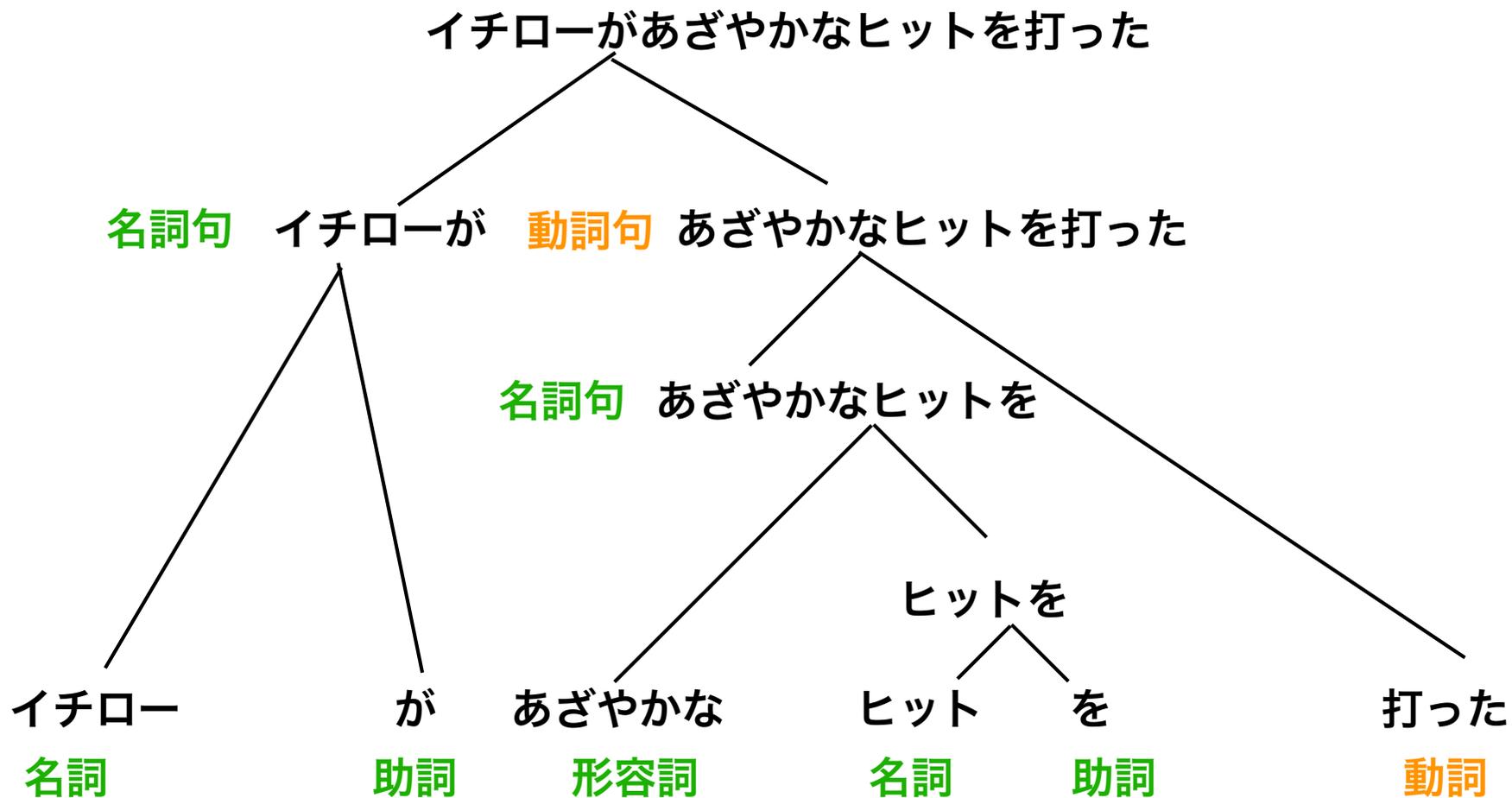
可逆文 受け身文

構文処理と道具の使用



道具の使用には階層レベルで運動を計画する
 構文の処理においても同様な面があり、共通の神経機能を持つ

樹形図



道具を使った手順のある遊び



ネジとドライバーを使った自動車の組み立て
組み立てる順番を間違えると一度、分解して組み直す

道具を使った手順のある遊び



入れ子のカップの積み上げ、もしくは収納
数字やアルファベットがあると組み立てのサポートには
なるが道具として使うには足りない



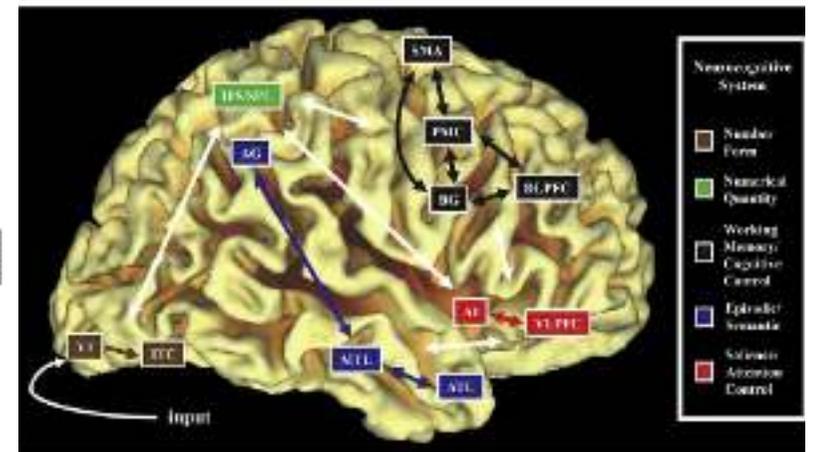
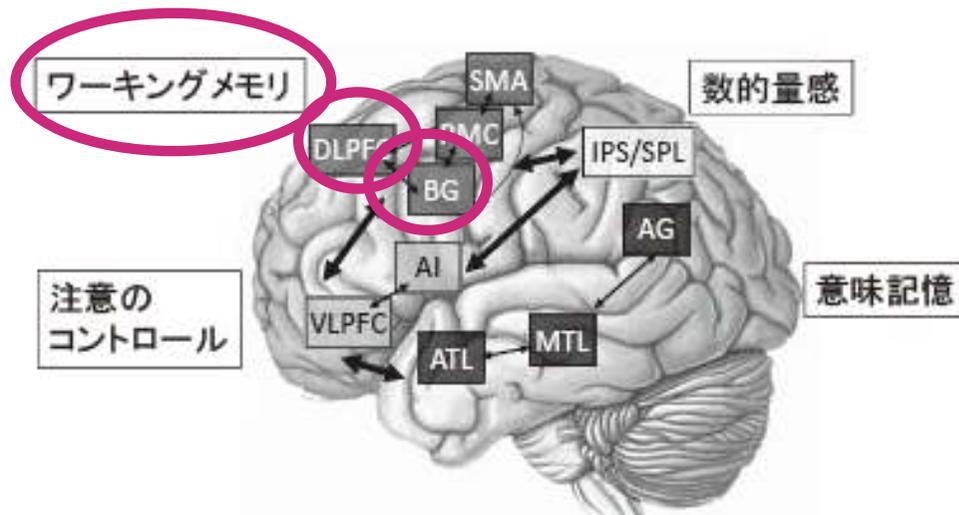
スピードスタッキング
公式ルールに従って行くと良い（順序立てのルールがある）
セルフタイマーがある方が持続して行える

実物を操作することによる 文章のイメージ



実際に二体の人形を使った数のやり取りを行う

算数における複数の脳機能



Fias.et.al 2013

図4 計算に関わる脳領域

Fias et al. (2013) をもとに作成, 関 (2016) より引用

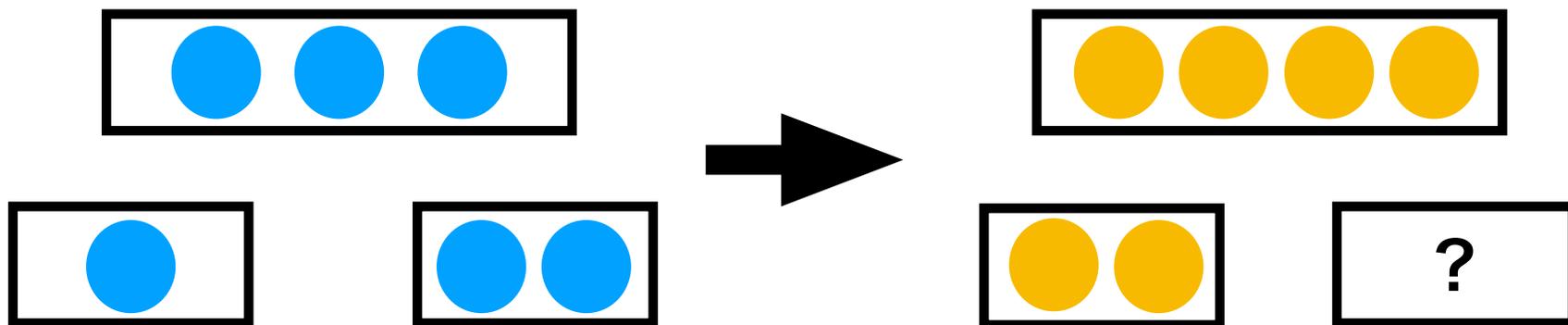
IPS: 頭頂間溝, SPL: 上頭頂小葉, SMA: 補足運動野, PMC: 前運動皮質, BG: 基底核, DLPCF: 背外側前頭前野, AI: 島前部, VLPFC: 腹外側前頭前野, AG: 角回, MTL: 側頭葉内側部, ATL: 側頭葉前部

類推する力も算数には必要

類推する能力：袋の中から探す



類推する能力

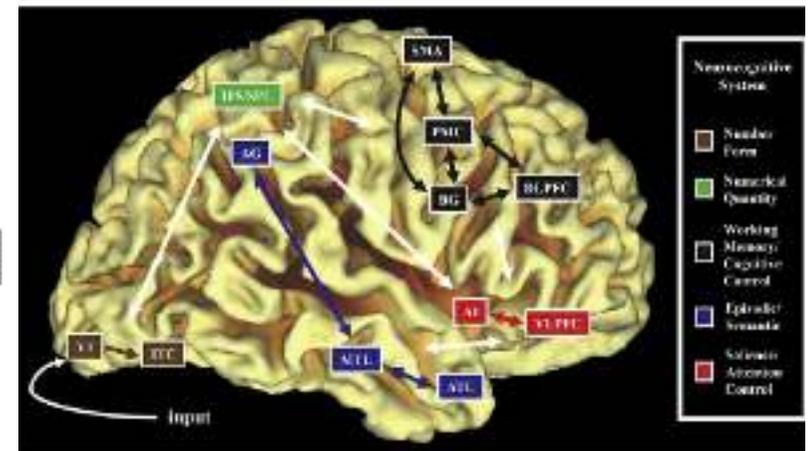
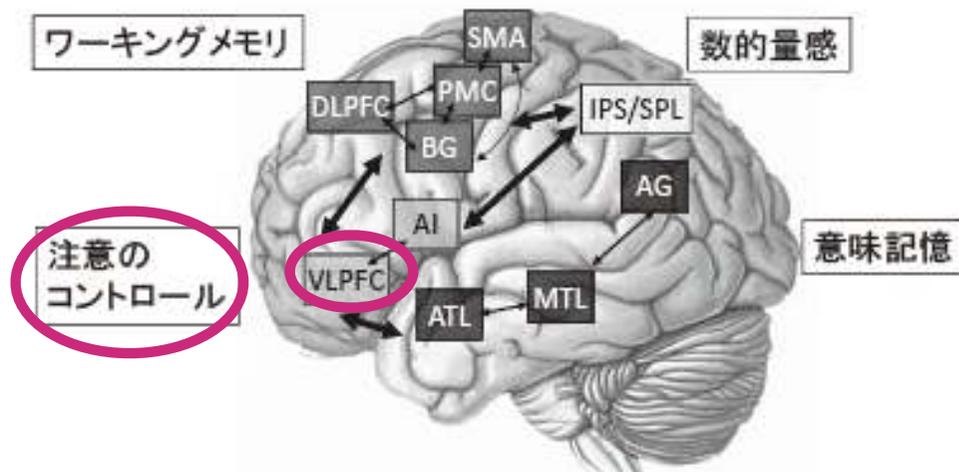


どっちがいい？

1000回 99回

ジャンプして！

算数における複数の脳機能



Fias.et.al 2013

図4 計算に関わる脳領域

Fias et al. (2013) をもとに作成, 関 (2016) より引用

IPS: 頭頂間溝, SPL: 上頭頂小葉, SMA: 補足運動野, PMC: 前運動皮質, BG: 基底核, DLPFC: 背外側前頭前野, AI: 島前部, VLPFC: 腹外側前頭前野, AG: 角回, MTL: 側頭葉内側部, ATL: 側頭葉前部

行動に切り替え動作が注意のコントロールに繋がる

身体活動における切り替え動作

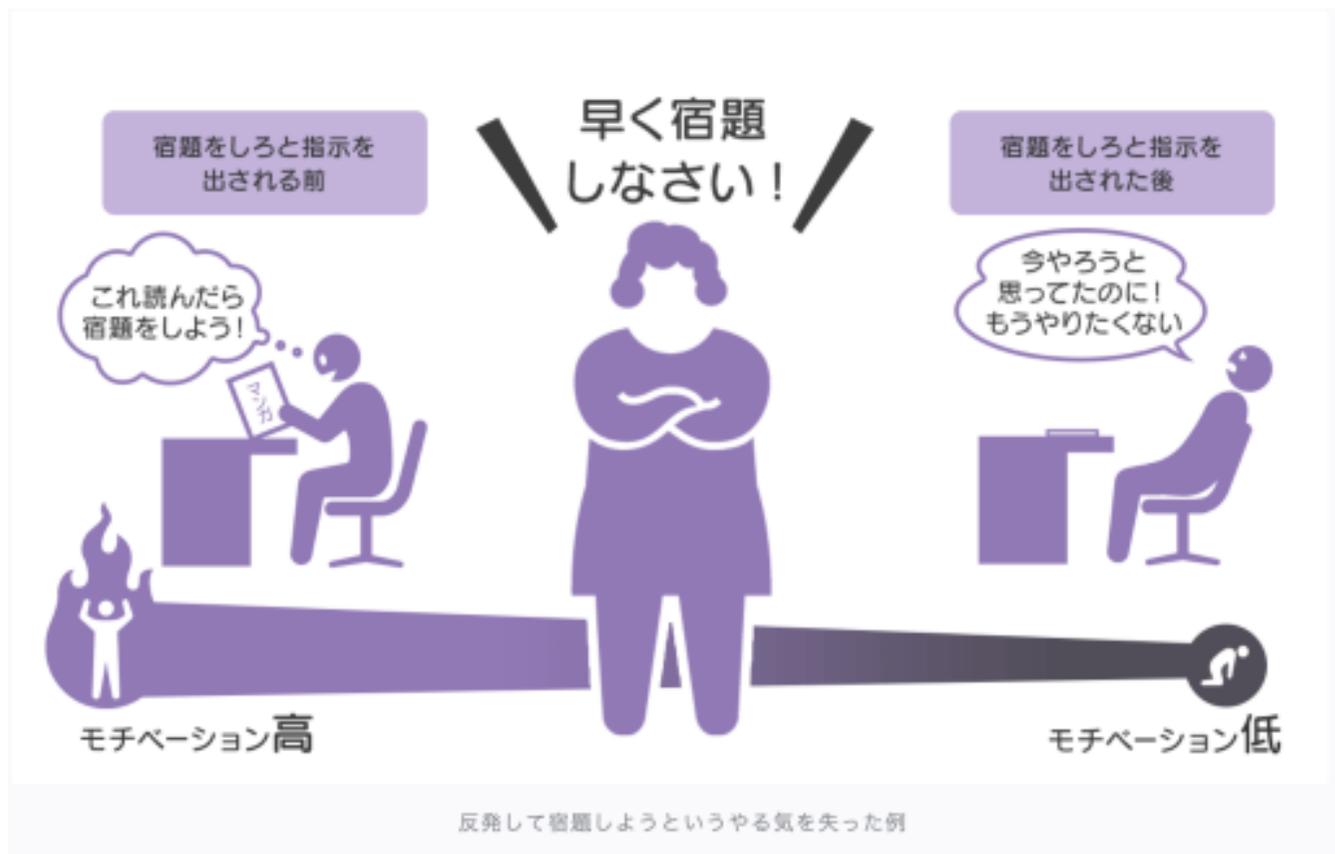


跨ぐ、潜るなどの動作の切り替えが重要

心理的リアクタンス

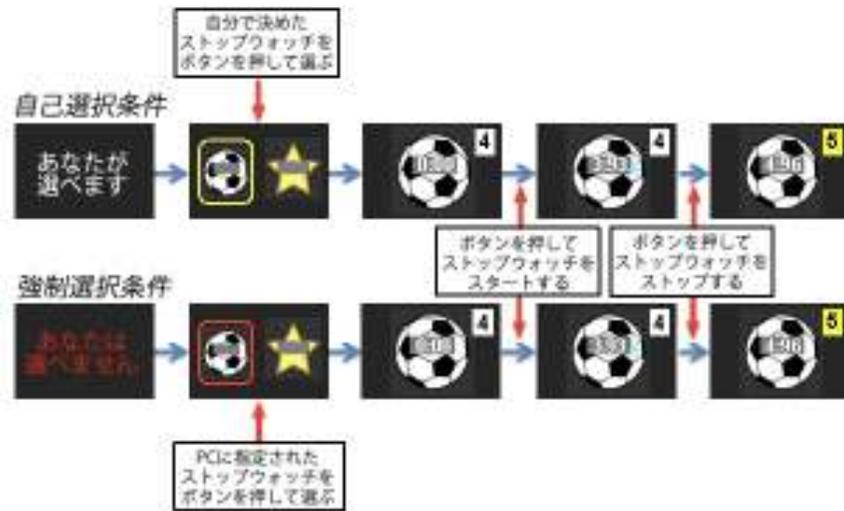
人は自由を侵害されると、その自由を回復させるように動機付けされている

「勉強しなさい！」の命令は、何故だめなの？



自己決定の脳機能

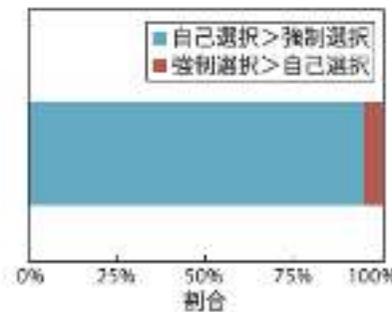
<図1> 実験に用いた課題の模式図



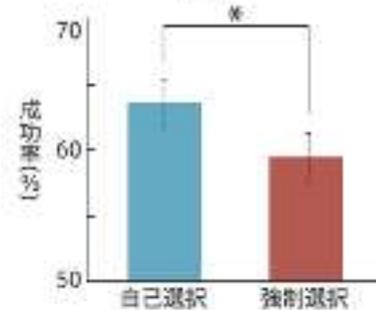
自己選択条件では自分で選んだストップウォッチを、強制選択条件ではコンピュータに指定されたストップウォッチを使用して、ゲーム課題を行なった。4.95~5.05秒の間で止めることができれば成功としてポイントを加算し、そうでなければ失敗としてポイントを加算しなかった。

PC上でストップウォッチを自ら選んだ群と
PCに強制的に選ばれた群の比較

<図2> やる気と成績への自己決定感の影響



実験終了後、各実験参加者に、自己選択条件と強制選択条件のどちらの方によりポジティブな気分を持ったかを尋ねたところ、90%以上の人が、自己選択条件を選んだ。

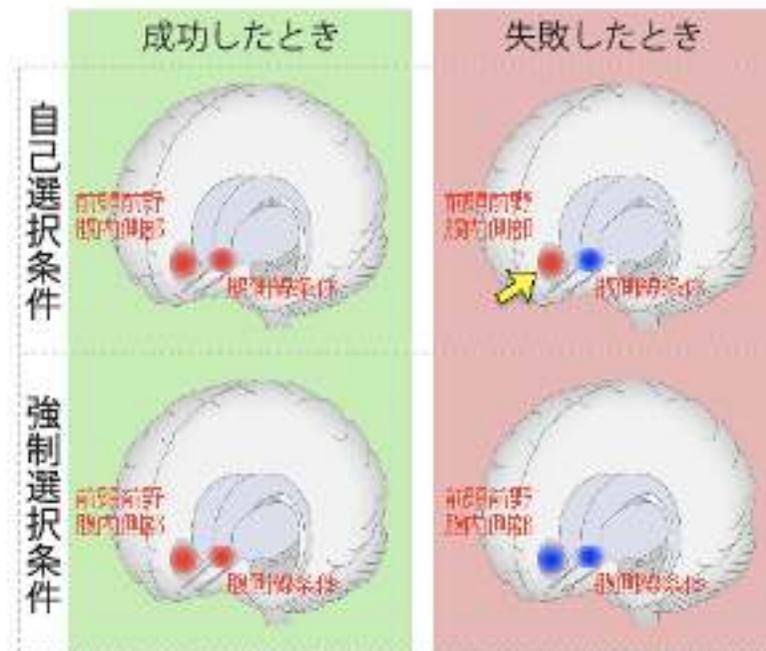


自己選択条件と強制選択条件で、ストップウォッチ課題の成功率を比較したところ、難易度はまったく同一であるにも関わらず、自己選択条件の方が、有意に成功率が高かった。

群の比較 自己選択群の90%以上がポジティブな気持ちになった
成功率も自己選択群で高かった

自己決定の脳機能

＜図3＞ 成功／失敗したときの脳活動への自己決定感の影響



使うストップウォッチを自分で選ぶことのできた自己選択条件では、腹側線条体の活動は失敗時に低下したが、前頭前野腹内側部にはそのような活動低下が見られなかった（黄矢印）。

悪いことがあると活動が低下する前頭前野腹内側部において、自己選択条件でのみ、失敗に対する活動低下が見られなくなった。

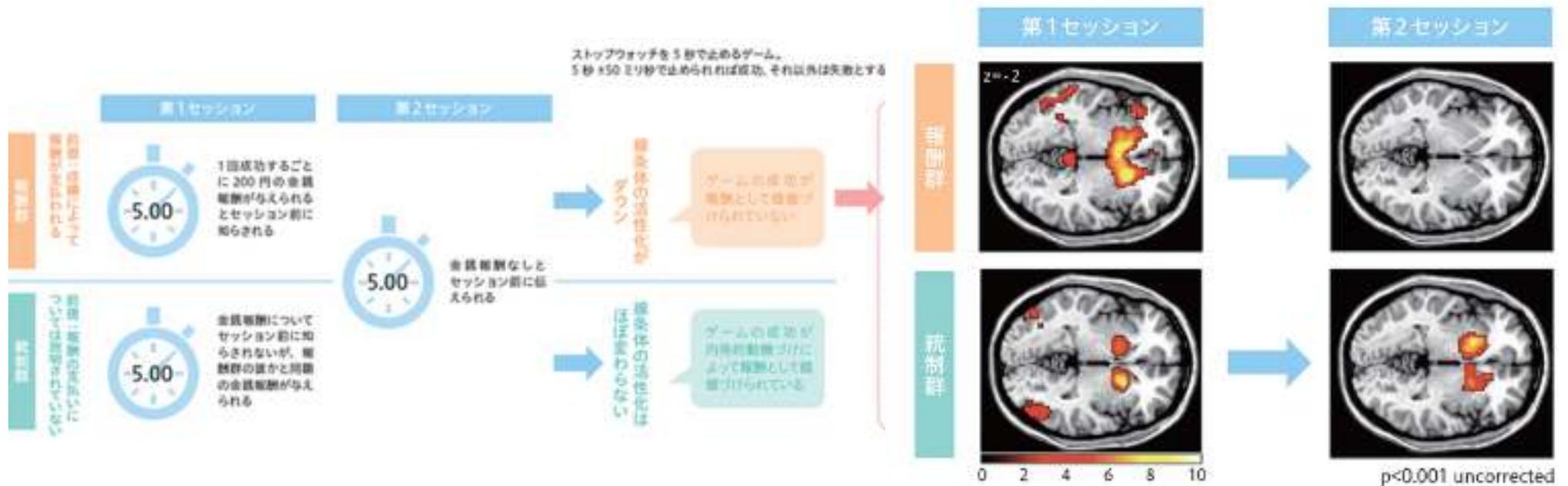
同じように悪いことがあると活動が低下する腹側線条体は、失敗時に自己選択条件と強制選択条件の両方で同じよう低下した。

How Self-Determined Choice Facilitates Performance: A Key Role of the Ventromedial Prefrontal Cortex

Kou Murayama

アンダーマイニング効果

内発的動機付けにより行動したことに対して、「報酬を与えられる」「圧力をかけられる」などの外発的動機付けにより、やる気が削がれてしまう心理現象



おもちゃなどの提示が報酬であることがわかると、やらなくなることがある
提示しないで自分で見つける設定を提供する
それでも無理ならやらない

家族への説明がPOINT

やる気と脳—価値と動機づけの脳機能イメージング 松元健二
(高次脳機能研究 34 (2) : 165 ~ 174, 2014)

バットマン効果

第三者視点を持つことで忍耐力が伸びる

キャラを演じると、さらに伸びる

楽しいゲームの入ったipadのある部屋（自由に使って良い）で
単純なgo-no.goテストを行い、飽きてきたら自分に頑張っているかを問う課題

条件1 「自分は一生懸命、頑張っているか」

条件2 「○○（自分の名前）は一生懸命、頑張っているか」

条件3 「バットマンは一生懸命、頑張っているか」

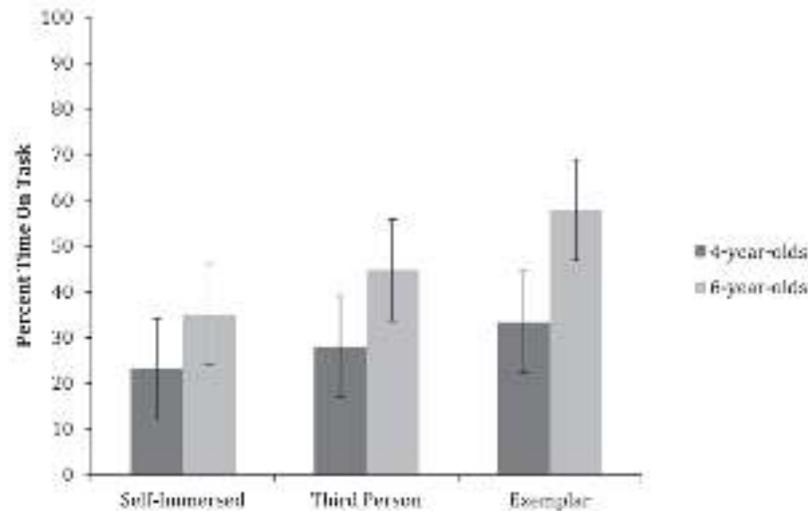


Figure 1. Percentage of time spent on work task by condition and age. Bars indicate 95% CI.

4歳と6歳の通常発達児 180名

4歳児 90名 (平均 47.77 か月、標準偏差 0.61、49% が女子)

6歳児 90名 (平均 71.70 か月、標準偏差 0.64、54% が女子)

3つの条件のそれぞれに 60名



The “Batman Effect”: Improving Perseverance in Young Children

Rachel E. White Child Development, September/October 2017, Volume 88, Number 5, Pages 1563–1571