

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：82404

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2020

課題番号：19K21824

研究課題名（和文）ヒト・チンパンジー・サルの描画における階層構造構築

研究課題名（英文）hierarchical structure building in drawing by humans, chimpanzees and monkeys

研究代表者

幕内 充（Makuuchi, Michiru）

国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所 脳機能系障害研究部・研究室長

研究者番号：70334232

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：成人で模写における描き順や筆画の時間情報を分析するためのデータ整形プロシージャを構築し、データをクラスター分析した。殆どの絵においてパーツごとに描いていく階層性が認められた。タイ語話者成人の描画データについても調べ、描き順・階層構造がほぼ同じことがわかった。脳損傷患者ではReyの複雑図形のどの部分から描き始めたのかで特徴を分類し、タイプ分類を提案した。チンパンジーを対象として、デジタルペンと専用紙による描画行動の記録を試み、1個体では描線のデジタルデータを得ることができた。サルでは画面に水平に表示される線分上の分割点の再生課題を行った。1/4点・3/4点は学習できたが中点は学習できなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

階層構造はヒト言語の重要な特徴であり、数学・音楽・道具作成等のヒト特有とされる認知機能の中にも認められる。本研究はヒトが絵を描く時、意味のあるまとまりごとに描いていくという階層構造を持つことを示した。発達や脳損傷における描画の階層構造を検討し、知見を得た。チンパンジーやサルなどにおける描画能力の萌芽を調べ、ヒトとの比較が行えるよう試みた。

研究成果の概要（英文）：We constructed a data formatting procedure to analyze the order of drawing and the time information of brush strokes in human adults, and clustered the data. A hierarchy of drawing by parts was observed in most of the drawings. We also examined the drawing data of Thai-speaking adults and found that the drawing order and hierarchical structure were almost the same. In the case of brain-injured patients, we proposed a typology by classifying the characteristics of Rey's complex figures according to which part of the figure they started drawing. In chimpanzees, we attempted to record drawing behavior using a digital pen and special paper, and in one individual, we were able to obtain digital data of the stroke. The monkeys were able to learn 1/4 point and 3/4 point, but not the middle point.

研究分野：認知神経科学

キーワード：描画 模写 なぞり描き 幼児 脳損傷 サル チンパンジー 眼球運動計測

1. 研究開始当初の背景

階層構造(図1)はヒト言語の重要な特徴であり、数学・音楽・道具作成等の他のヒト特有とされる認知機能の中にも認められる(図2)。代表者である幕内充は文処理における階層構造構築の神経基盤をfMRIを用いてドイツ語・日本語で調べ、大脳言語野ブローカ野の詳細な下位構造を同定してきた(Makuuchi et al., 2009 PNAS)。さらに算術計算(自然数の加減乗除)における階層構造構築においてもブローカ野が活動することを見出した(Makuuchi et al., 2012 Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci)。また、描画でブローカ野が活動することも2003年に世界に先駆けて幕内が報告している(Makuuchi et al., 2003 Brain Res Cogn Brain Res)。

ネアンデルタール人とホモ・サピエンスは欧州で共存していた時もあるが(Higham et al., 2014) 壁画を残しているのはサピエンスだけである(Slimak et al., 2018)。ヒト特有の高い文化は言語が知識の伝達・集積を可能にしたことによってもたらされたと考えられているが、描画もヒトのみが持つ技術であり、知識の伝達・集積に必須なものである。言語と描画はともにヒトの記号運用能力の表れであり、言語と描画のような記号系列処理能力こそがサピエンスにおいて新しく獲得された能力であるかもしれない。描画における階層構造の存在は、ハーバート・サイモン著「システムの科学」(1996)に言及が見られる程度で、実証研究は殆どない(発達分野ではBeagles-Roos et al., 1979がある)。しかし描画でブローカ野が活動することは既に2003年に世界に先がけて幕内が報告している(Makuuchi et al., 2003 Brain Res Cogn Brain Res)。描画においても言語と同様に階層構造があり、それがブローカ野の活動をもたらしたと考えられる。描画に階層構造があることの実証が求められる所以である。

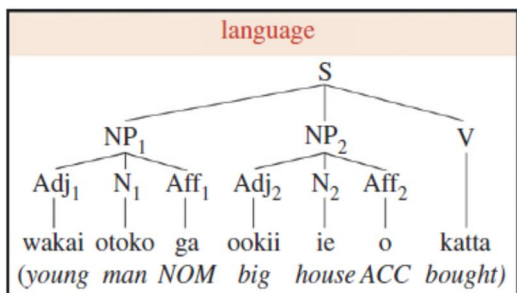


図1 文の階層構造

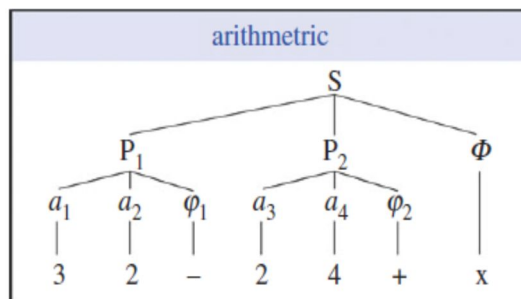
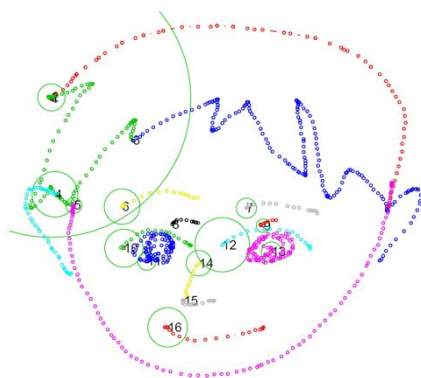


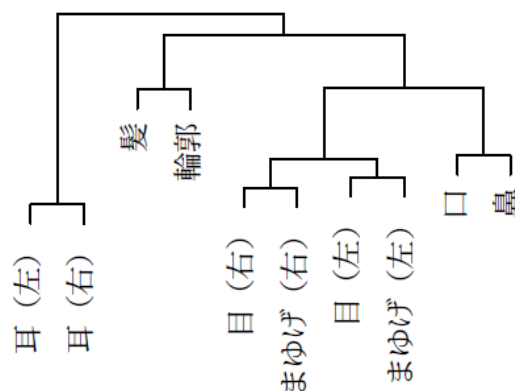
図2 計算の階層構造

2. 研究の目的

絵を描く時、ヒトは意味のあるまとまりごとに描いていくと予想される。例えば顔を書く時には輪郭、髪、目、眉、鼻、口、耳という順序で描いていく(図3左)。一般的な「顔」の視覚記憶は階層的に表象されており、筆記具で表現する際にそれが顕在化するのだろう。本研究では成人の描画における描き順に、パーツごとのまとまり、即ち階層構造(図3右)があることを実証する。さらに子供の発達やサル・チンパンジーでの描画能力の限界などと比較することで階層的描画がヒト特有の技能であることを示す。



顔の描順



画順の階層構造

図3 顔の描画における描き順の階層性

3. 研究の方法

ヒト成人 アノトペンを使って描画・模写・なぞり描きなどのデータを取得し、描き順や描画時間をクラスタ分析し、ブートストラップ法でそれを評価する。

ヒト子供 3歳から15歳までを対象とし、成人同様アノトペンを使って描画データを取得する。階層構造や再帰的な描画が出現する年齢を明らかにする。

ヒト脳損傷患者 健常成人と同様の描画をアノトペンを使って行う。描画障害のパターンと損傷領域の対応を検討する。

チンパンジー ヒトと同じ描画課題を課し、どこまで出来るかを検討する。

サル 平面構成能力の前提となる単純な打点や線分描画刺激に対するタッチ反応などの、手動作に基づく単純動作課題を実施し、平面構成運動に存在する諸特徴を検討する。描画の基礎となる、もっとも単純化された認知運動過程として、見本の線分と点の関係を記憶して、その見本に合わせて線分を任意の場所に分割する線分割記憶課題を考案し、それをニホンザル6頭に対して訓練・学習させ、その成績を検討して、線分と点の関係を記憶して分割する能力が確認できるかを調べた。

4. 研究成果

ヒト成人：30人から20種の手本絵の模写・なぞり描きデータを取得した。描き順や時間情報を分析するためのデータ整形プロシージャを構築し、データを分析した。殆どの絵においてパーツごとに描いていく階層性が認められ、本研究の主たる仮説が支持された。結果をまとめた論文は投稿中である。

ヒト子供：言語の階層構造の理解（左右枝分かれ多義性を持つ構文の処理）と、描画における階層構造の扱い（下位構造単位の扱いや全体構造のとらえ方、描き順など）を調べた。日本語話者とタイ語話者の成人の描画データについて、パーツ分け分析からクラスター分析までを行った。また同被験者群の、言語刺激を用いた視線計測実験のデータ分析も進めている。より揺れや逸脱の大きいと考えられる子供のデータ（日本語話者、タイ語話者）にも着手し、最終的には、言語的に対照的（枝分かれ構造における語順）である両言語の、話者の発達段階による変化を加味した言語間比較に結びつける予定である。

ヒト脳損傷患者：脳損傷患者の描画における階層構造を検討するため、Reyの複雑図形を用いて、脳腫瘍患者の描画の描き順を分析した。リアルタイムで把握することができるアノトペンを使用して、描画過程の質的評価を行った。Reyの複雑図形のどの部分から描き始めたのかで特徴を分類し、タイプ分類を提案した。描き出しの特徴と神経心理学的検査結果との関連を分析することで、描き出しの特徴から認知機能活動を予測できる可能性が示唆された。

チンパンジー：飼育下のチンパンジーとヒト幼児を対象としておこなった、二次元平面上への色と形による物体の自由配置課題について、研究成果を英語論文として公表した。チンパンジーにも、色や形によって物を分類的に配置する行動が見られた。自発的・内発的なルールにもとづいて物の操作をするというのは、描画にも必要とされる認知能力であり、それがチンパンジーとヒト幼児に共通して見られることが明らかになった。また、飼育下のチンパンジーを対象として、デジタルペンと専用紙による描画行動の記録を試みた。2個体のチンパンジーが、デジタルペンによる描画をおこない、うち1個体では描線のデジタルデータを得ることができた。さらに、チンパンジーとヒト幼児を対象とした既存のビデオデータと、描線結果のデータを組み合わせることで、時系列情報を含む描画行動のデジタル分析を試みた。既存データにもとづくデジタル分析において、チンパンジーの顔線画の下絵の上で、実際におこなわれた描画の順番と描線について、一部の被験者についてはかなりの確度でデジタルデータ化が可能であることが分かった。すでにおこなったシンプルな図形の模写課題についても、ビデオと描線結果にもとづいて同様のデジタル分析を行う予定である。

サル： 2 実験実施した。実験 1 では、一定の長さ(405 ピクセル)の固定長線分を、タッチパネル画面(縦 1920 x 横 1080 ピクセル 22 インチ)に水平に表示し、その線分上の場所に「分割点」を表示した。「分割点」は、線分の左端点から $1/2$ (中点)・ $1/4$ ・ $3/4$ の三箇所の位置のいずれかに表示した。まずサルはこの線分を触ることが求められた(見本分割線分確認)。見本分割線分をサルが触ったら直ちにその分割線分は画面から消え、速やかに見本線分上方の位置(水平相対位置関係は変わらない)に、分割点の表示されていない、線分のみが回答線分が提示された。サルは、この回答線分上で、直前に提示されていた見本分割線分で分割されていた点と同じ相対位置の場所で、線分を触ることを求められた。正しい相対位置で回答できた場合は、報酬が得られ、強化された。正しい相対位置でさわれなかった場合は、ブザーとともに報酬が得られず画面は暗転した(弱い負の強化)。1 セッションごとに成績を計算し、8 割以上の正答率が 2 セッション連続した場合、訓練が十分にできたと判断した。6 頭のうち、5 頭が達成した。その後、般化テストに移行した。般化テストでは、回答線分の位置が、上方に配置されるが、水平位置が見本分割線分に対して、100 ピクセル分左右にスライドされた。もしサルは相対的位置関係に基づいて線分位置を洗濯していたのであれば、サルはスライドしてもなお、線分の相対的關係に基づいた位置を選ぶことが期待されたが、実験の結果は、相対的な位置を選ぶことなく(般化せず)期待された位置からおおよそ 100 ピクセル左右にずらした場所を触ることが多かった。この結果から、サルは訓練の間、線分位置関係を理解して回答線分の位置を回答していたのではなく、正確に垂直方向に腕をずらし運動させることで、正解を導いていたと考えられた。線分位置関係を記憶する過程が不十分であると考え、実験 2 を実施した。実験 2 では、実験 1 の般化テストで般化が起きなかったことから、回答線分を見本分割線分と比べ水平方向にスライドさせた場所に提示し、正解できるようになるまで事前に訓練をした。さらに、実験 1 では分割点の提示場所候補は 3 種類だったが、線分上に無作為の位置に提示されるようにして、訓練を実施した。つまり、サルは、見本分割線分の分割点位置を記憶し、別場所に提示された線分の分割場所を回答することが求められた。水平のスライド量は、10 ピクセルから訓練を開始し、80%の正答率を二回以上記録すると 10 ピクセルスライド量を増やす段階的訓練手続きを経過させた。10 ピクセルの水平移動から開始し、最終的に 80 ピクセルのスライド量になるまで訓練を継続した。計画期間内で、1 頭のみが訓練基準に達したため、実験 2 で般化テストに移行した。実験 2 での般化テストは、実験 1 の般化テストと同一として、100 ピクセル水平方向に移動させた。実験 2 の般化テストでは、正しい位置を回答することができるようになり、実験 1 で見られなかった般化が確認することができた。さらに、分析を進めると、興味深いことに、 $1/4$ と $3/4$ 位置での成績がより正確であり、 $1/2$ (中点)での成績が有意に悪かった。 $1/2$ (中点)の分割点に対しては、中点を再現するのではなく、 $1/4$ か $3/4$ の付近のどちらかを選択することが極めて多かった。この結果は、サルは線分の相対的位置関係について右か左のどちらかの方に分割点があるかどうかを認知・記憶した上で、回答ではその記憶に基づき、右か左に偏った場所について触ろうとする方略で回答しているのではないかと推定された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsubara, R.	4. 巻 19
2. 論文標題 Japanese Learners' Preference for CV/C Segmentation and Vulnerability to CV Overlap during L2 English Sentence Processing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The processing of subject-predicate dependency in Japanese: Evidence from self-paced reading experiments	6. 最初と最後の頁 19-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsumura, S.	4. 巻 19
2. 論文標題 The processing of subject-predicate dependency in Japanese: Evidence from self-paced reading experiments	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Language and Information Sciences	6. 最初と最後の頁 55-70
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hayashi M, Takeshita H	4. 巻 62
2. 論文標題 Object sorting into a two-dimensional array in humans and chimpanzees	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Primates	6. 最初と最後の頁 29-39
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10329-020-00850-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 2件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 依光美幸、塚田賢信、天野京子、長尾卯乃、幕内充、廣瀬翔平、矢藤優子、山田良治
2. 発表標題 ROCF描画過程の8タイプ分類の有用性
3. 学会等名 第43回日本高次脳機能障害学会学術総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 依光美幸、塚田賢信、天野京子、長尾卯乃、幕内充、廣瀬翔平、矢藤優子、山田良治
2. 発表標題 Rey複雑図形の描き順に影響する損傷部位と認知機能の探索
3. 学会等名 日本心理学会第84回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 峰見一輝・広瀬友紀・伊藤たかね
2. 発表標題 日本語wh疑問文における文法性の錯覚と記憶処理：文読解中の視線計測実験
3. 学会等名 日本言語学会第160回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 有賀照道・津村早紀・曹瑞・福田建・広瀬友紀
2. 発表標題 コントロール構造の文処理をコントロールする要因について
3. 学会等名 日本言語学会第160回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田建
2. 発表標題 接続助詞による統語構造の予測
3. 学会等名 日本言語学会第160回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hirose, Y., Y. Kobayashi, T. Chen, A. Ito, and T. Ito.
2. 発表標題 ERP Responses to Different Types of Pitch Accent Violation in Tokyo Japanese: Rule Application or Lexical Memory?
3. 学会等名 Japanese and Korean Linguistics 28 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsumura, S., T. Ariga, R. Cao, T. Fukuda and Y. Hirose
2. 発表標題 A revisit to the processing of control sentences in Japanese
3. 学会等名 Japanese and Korean Linguistics 28 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 磯野真之介・広瀬友紀
2. 発表標題 動詞依存部の保持に伴う処理負荷
3. 学会等名 電子方法通信学会 基礎境界ソサエティ 思考と言語研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岸山 健
2. 発表標題 母音の錯覚から見る並列処理の心理的実在性
3. 学会等名 第91回 人工知能学会 言語・音声理解と対話処理研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広瀬友紀
2. 発表標題 統語的多義性と韻律情報の理解：大人と子供の比較
3. 学会等名 第247回自然言語処理研究会 (NL247)シンポジウム「他分野からの自然言語処理への期待(第247回自然言語処理研究会)」(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 広瀬友紀
2. 発表標題 NLPが目指すこと, 心理言語学が目指すこと
3. 学会等名 言語処理学会第27回年次大会 (NLP2021) チュートリアル(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 陳姿因、黄竹佑、広瀬友紀、伊藤たかね
2. 発表標題 台湾語変調違反ERP実験：ADJUSTによるノイズの検知と除去について
3. 学会等名 第6回坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 磯野真之介・広瀬友紀
2. 発表標題 文処理における依存部の記憶表象の維持について
3. 学会等名 第6回坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 有賀照道
2. 発表標題 日本語の同音異アクセント語の音声単語認知と感覚交差意味プライミング実験
3. 学会等名 第6回坂本勉記念神経科学研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 広瀬友紀	4. 発行年 2021年
2. 出版社 開拓社	5. 総ページ数 536
3. 書名 言語研究の楽しさと楽しみ：伊藤たかね先生退職記念論文集	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋藤 亜矢 (Saito Aya) (10571432)	京都芸術大学・文明哲学研究所・准教授 (34319)	
研究分担者	依光 美幸 (Yorimitsu Miyuki) (30836721)	東京都立駒込病院(臨床研究室)・リハビリテーション科・主事 (82685)	
研究分担者	酒井 弘 (Sakai Hiromu) (50274030)	早稲田大学・理工学術院・教授 (32689)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	広瀬 友紀 (Hirose Yuki) (50322095)	東京大学・大学院総合文化研究科・教授 (12601)	
研究分担者	林 美里 (Hayashi Misato) (50444493)	京都大学・霊長類研究所・助教 (14301)	
研究分担者	香田 啓貴 (Koda Hiroki) (70418763)	京都大学・霊長類研究所・特定研究員 (14301)	
研究分担者	中谷 健太郎 (Nakatani Kentaro) (80388751)	甲南大学・文学部・教授 (34506)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計1件

国際研究集会 The 5th NTU-UT Linguistics Festa	開催年 2020年～2020年
--	--------------------

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
タイ	タマサート大学		