

Journal of Ecological Psychology

Volume 15, Number 1, Jun 1, 2023

日本生態心理学会

The Japanese Society for Ecological Psychology

Print ISSN 1349-0443
Online ISSN 2434-012X

生態心理学研究について

刊行目的（2003年10月26日 理事会制定，2017年3月31日改訂）

“生態心理学研究”（Japanese Journal of Ecological Psychology）は、日本生態心理学会の発行する専門誌である。本誌の主題は、人間を含むあらゆる動物種が、自身の生態系（動物-環境系）で示す、知覚、行為、認知、言語的・非言語的コミュニケーションなどのあらゆる心理・行動的過程における変化と持続であり、その生態学的法則性である。

この主題に接近するために、生態心理学は、実験心理学、発達心理学、社会心理学、コミュニケーション諸科学、生物学、動物行動学、人類学、美術・芸術学、建築学、コンピュータ科学、システム科学、応用数学、複雑系科学、ロボティクス、哲学、運動学、ヒューマン・ファクター、理学療法、言語療法、作業療法、その他の多岐にわたる学問および実践的分野からの貢献で持続的に支えられなければならない。

多様な接近法にもかかわらず、生態心理学を一つの学問領域として成立させるのは、人間を含む動物と環境が全体としての一つの系をなしているという基本的な理解である。本誌に掲載される論文は、この観点について無批判であることではなく、むしろ、最大限に批判的であり、かつ建設的であり、真摯に取り組んでいくことが求められる。このような理念のもとに取り組まれる研究を世に問うことが、他にも心理学の専門誌が数多くあるにもかかわらず、ここに“生態心理学研究”を刊行する理由である。

生態心理学研究編集委員会

生態心理学研究編集委員会は、別途定める生態心理学研究編集委員会の規約（細則）に従って組織及び運営するものとする。

投稿規定ならびに投稿論文テンプレート

日本生態心理学会の学会誌Webページ（<https://www.jsep-home.jp/journal/>）をご覧ください。

研究論文

- 脳卒中片麻痺患者における鍵盤楽器訓練による手指リハビリテーションの
効果の指標としての客観評価と主観評価の検討 3
七原真紀・松井淑恵
- 二枚のぼけ画像を用いた通行可能性の知覚 21
伊藤一之・鉢嶺大治・高野翔吾・西山賛

特集

- 特集：アート / 表現の二重性 (duality) 45
佐藤由紀・青山慶・佐々木正人
- 子どもの描画行為における二重性知覚の発達：
なぐりがきにおける調整行為からの検討 47
西尾千尋・青山慶
- 文字造形に応じて動的に変化する書家の全身協調 67
野澤光
- アニメーションと生態心理学と「思想」 87
佐分利敏晴
- 最新の写真家の作品に見る画像の知覚における二重性 97
ホンマタカシ

博士論文紹介

- 神経現象学リハビリテーションの構想：
行為創発へのオートポイエーシスの活用方法 111
村部義哉

報 告

報告：ロックバランシング・ワークショップ	119
右田正夫・廣瀬直哉	

会 報

Newsletter	123
会計報告	
(2021, 2022 年度収支報告, 2023 年度予算案)	
編集後記	

研究論文

脳卒中片麻痺患者における鍵盤楽器訓練による手指リハビリテーションの効果の指標としての客観評価と主観評価の検討

七原 真紀 (豊橋技術科学大学)¹ 松井 淑恵 (豊橋技術科学大学)

脳卒中による患者群と統制群によって、手のリハビリテーションのために鍵盤楽器を訓練し、表面筋電図 (sEMG) と MIDI (musical instruments digital interface) ヴェロシティを客観評価として測定した。同時に打鍵の正確さとテンポ調整の訓練効果を音楽療法士が聴いて判定したものを主観評価として解析した。併せて、患者の心理的な行動変容についても検証した。客観評価と主観評価のどちらが鍵盤楽器の評価に使用できるか分析した結果、ヴェロシティは sEMG よりも指の動きの変化を捉えやすく、ff (とても強く) と pp (とても弱く) を弾き分ける指示をすることにより訓練効果を観察しやすいことがわかった。打鍵の正確さとテンポ調整の評価からは、既成曲を pp で演奏すると訓練の効果が表れやすいことが示唆された。脳卒中発症後に時間が経過した後も指の動きに改善が見られた。鍵盤楽器による訓練で、患者の手指のリハビリテーションに対する高いモチベーションの維持および向上が期待できる。

キーワード：脳卒中片麻痺, 鍵盤楽器訓練, 手指リハビリテーション, sEMG, MIDI ヴェロシティ

Efficacy of Objective and Subjective Evaluations for Hand Rehabilitation in Patients with Post-Stroke Hemiplegia Using Keyboard Instrument Training

Maki Nanahara (*Toyohashi University of Technology*)

Toshie Matsui (*Toyohashi University of Technology*)

In this study, keyboard instruments were used for hand rehabilitation. Participants were divided into a stroke group and a control group. Surface electromyography (sEMG) and musical instrument digital interface (MIDI) velocity were measured as objective data. Keystrokes accuracy and tempo control were measured as training effects and analyzed by a music therapist as subjective data. Changes in the psychological behavior of the patients were also analyzed. Result of the objective analysis revealed that it was easier to observe changes in finger movement with MIDI velocity than with sEMG. To observe the training effect, the patients were instructed to play ff (very loud) and pp (very quiet) separately. Results of the subjective analysis indicated that the training effect was more observable when the patients played a song with pp. The patients showed improvements in finger movements, although some time had passed since experienced stroke. Training using a keyboard instrument may maintain and improve patients' motivation for hand rehabilitation.

Keywords: post-stroke hemiplegic, keyboard instrument training, hand rehabilitation, surface electromyography (sEMG), musical instrument digital interface (MIDI) velocity

¹ E-mail: nanahara.maki.vm@tut.jp

1 はじめに

日本の脳卒中に罹患する患者数は年間約 30 万人（日本リハビリテーション医学会, 2021）で、55%から 75%は上肢機能障害（片麻痺）が遺残する（Feys, M. H., et al., 1998）。手指に麻痺が残った場合、日常生活動作（Activities of Daily Living: ADL）（上田, 1993）の低下により職場復帰の際に支障となる。また、心理的にも歩行能力より上肢能力に対する苦悩と落胆が大きいという調査結果が報告されている（岡本, 2013）。従来、急性期や回復期のリハビリテーション（以下、リハ）において、利き手交換の訓練から、近年では、早期に麻痺側へのリハを施すことにより、新たなシナプス結合と神経回路の発生の可塑性が期待できることが明らかになり（深谷, 2018; 久保田, 2015）、麻痺側への訓練が重要視されるようになった。しかしながら、一般的に上肢麻痺の機能回復は、下肢麻痺よりも困難であるにも関わらず、上肢麻痺の機能障害への訓練の方法や頻度が不十分であることが指摘されている（藤田, 2014）。よって、手指の巧緻動作の改善を目的にしたリハと、患者が充足感を得られるアプローチが必要となる。

機能回復を目的にした手指の分離運動を促すツールとして鍵盤楽器が挙げられる。鍵盤楽器をリハに用いる利点はいくつかある。まず、手指の押下動作の状態が「音」として即時にフィードバックされることである。この音から、音高、強弱、テンポ、リズム、メロディの組み合わせが正しいかどうかを聴覚で確認することができる。視覚においても、狭い面積の鍵盤を注意深く押すという動作から、目と手の協調動作を必要とする複雑な機能を訓練することができる。加えて、鍵盤を押下する際に力の加減を制御するための微細な調整力も必要とされ、これらの複数の知覚情報をインプットし、アウトプットを自発的にコントロールする訓練になる。さらに最も大きな利点として、楽器を演奏しているという楽しみも得られる。今のところ、国内の脳卒中患者のリハを目的にした鍵盤楽器演奏の報告は少ない。患者がリハをする上で、思いどおりに身体を動かせない辛さを抱え、痛みを伴いながらも機能を回復させるためには、モチベーションを維持・向上させ「楽しい」「挑戦したい」と感じる事が不可欠である。

鍵盤楽器を訓練に用いることで巧緻動作の汎化が生じることも期待できる。脳卒中患者を対象にした Villeneuve et al. (2014) の実験では、電子鍵盤楽器を用い手指動作の訓練をすることで指と腕の協調動作が改善し、3週間後も持続したことを示した。頭部外傷後遺症患者を対象にした Chong et al. (2014) の実験では、musical instrument digital interface (MIDI) キーボードを使用した指の訓練によって、ヴェロシティ（鍵盤押下の速度、強弱と関連する）と巧緻動作の改善の関係を調べ、訓練前後のヴェロシティで示指、中指、小指に有意差がみられた。示指と小指それぞれがヴェロシティと握力に強い相関関係が示され、全ての指のヴェロシティの値と巧緻動作検査の結果に強い相関関係があることを報告した。鍵盤楽器の操作により身体に生じる筋活動量に関する測定も行われている。健常者を対象に鍵盤操作中の表面筋電計測（sEMG）を行った Chong et al. (2015) の先行研究によると、隣り合った音の打鍵よりも離れた音の打鍵時に筋活動量が多いことが報告されている。

しかしながら、脳卒中患者を対象にした鍵盤楽器訓練で、どのように運動機能が改善されるのか、生理計測と MIDI 計測を同時に行って確認した例はほとんどない。運動機能の回復という観点からは、筋電位の計測が必要である。各指の運動の状況を細かく把握するには、指ごとの打鍵の正確さや強さを数値化できる MIDI 計測が必要かつ簡便である。MIDI 計測が筋電位

計測に代わるものとして利用できるかどうか、同時計測によって検討が可能となる。実験時間も短縮できるため、さまざまな演奏訓練を実施することができ、どの訓練内容が効果的かを見極めることも可能である。より効果的な訓練方法を見つけることができれば、ターゲットを絞った手指分離運動の訓練課題を患者に提供することができるであろう。

そこで本研究では、脳卒中患者を対象にした麻痺側の手指運動における筋活動量の計測と MIDI ヴェロシティの計測により、回復の度合いを客観的に検証した（客観評価）。加えて、ヒトが聴いて訓練効果を判定できるか検証するため、打鍵の正確さとテンポ調整の訓練効果を第一著者である音楽療法士が経験に基づき聴き、主観的に評価した（主観評価）。本論文の訓練方法によって、患者自身の行動や心理に変化があったかどうかを会話とアンケートより検証した。目的は、1) 鍵盤操作中の指の力のコントロールを強弱とし、その値をヴェロシティとした変化と sEMG の変化のどちらの測定結果を評価値として利用できるか。2) 訓練によって打鍵スコアの向上とテンポスコアの向上がみられるか。3) 演奏課題曲である単調な指練習曲と聴き馴染みのある既成曲ではどちらが訓練に効果的であるか。4) 母指、示指、中指、環指、小指の分離運動の訓練により、指ごとに変化があるか。5) 訓練過程において患者の心理的な行動変容があるか。以上の 5 点の検証とした。本研究では、これらの結果から音楽療法内のリハに導入できる可能性のある評価指標を提案する。

2 実験

2.1 被験者

統制群は鍵盤楽器訓練の経験のない、22 から 27 歳の健常者 7 名 ($M = 23$ 歳, $SD = 1.6$) であった。Table1 に示すとおり、患者群は脳血管障害後遺症の回復期と生活期（維持期および慢性期）の患者 3 名（診断名：被殻出血，脳底動脈解離による脳梗塞と右視床出血），それぞれの年齢は 39, 51, 70 歳で、発病から実験介入時までの日数は 79 日，282 日，716 日であった。いずれの被験者も鍵盤楽器訓練の経験がなかった。実験介入前の上肢手指麻痺度である Brunnstrom Recovery Stage 評価（以下，BRS）は実験介入前で IV から V であった。なお、本研究は、国立大学法人豊橋技術科学大学「人を対象とする研究倫理委員会」の承認を得て実施した。また、被験者に対して書面・口頭で研究に対する説明をした後、同意を得て実施した。なお、実験中、患者群に対する実験は医師の対応が可能な環境下で実施した。

2.2 計測機器

手指の動作に伴う筋活動を筋電計（BIOPAC Systems, MP150, EMG100C）で測定した。サンプリング周波数は 2000 Hz, 信号の利得は 2000 倍であった。筋電用電極は、ディスプレイ心電用電極（積水化成工業，エールローデ SMP（Ag/AgCl, 19×38mm））を使用した。演奏情報は電子キーボード（YAMAHA, NP-12B）の MIDI 形式で PC に送信し，DTM ソフトウェア（Alchemusica）を用いて記録した。筋電図の計測信号と MIDI 計測信号を同期させるために、実験に使用しない鍵盤に加速度センサを取り付け、鍵盤押下時に MIDI 信号として記

録すると同時にトリガー信号を筋電アンプに送る回路を Arduino を用いて作成した。

Table1. 患者群の個別情報

患者	P1	P2	P3
年齢	39	51	70
性別	女	男	男
疾患名	左被殻出血	脳底動脈解離による 脳梗塞	右視床出血
発症からの経過日数	716	282	79
病期	生活期	生活期	回復期
BRS 評価	右上肢Ⅲ 右手指Ⅳ	右上肢Ⅲ 右手指Ⅳ	左上肢Ⅴ 左手指Ⅴ

2.3 計測環境

統制群の被験者はシールドルーム内の電子キーボードの前に設置された椅子に座り実験に参加した。実験中、被験者はシールドルームの小窓から実験者が出す強弱記号 (ff: とても強く, pp: とても弱く, mf: やや強く) のカードを見て演奏を進めた。これらの力の強弱は、各被験者において3段階 (統制群), または2段階 (患者群) で個人内の感覚に従い、区別して弾くように指示をした。シールドルーム内には被験者の打鍵時の指の動作と音を記録するためのビデオカメラ (SONY, HDR-CX680) とアクションカメラ (Crosstour, CT9900) を設置した。シールドルームの外にはモニターと筋電計測用パソコンとヴェロシティ計測用のパソコンを設置し、実験者は被験者の手元を映し出した映像と打鍵音から実験の状況を確認しながら実験を進行した。

患者群の被験者は、病院内の雑音が入り難い音楽療法用の個室で、電子キーボードの前に設置された椅子に座り課題を行った。室内には筋電計測用とヴェロシティ計測用のパソコン2台と、ビデオカメラを設置した。実験者は室内に常駐し、患者に口頭で指示を出した (Figure 1)。

両群共、演奏時に鍵盤と手の位置を平行に維持するために、手首を乗せる台を使用した。電磁波による障害を受け難くするために、電子キーボードの下に電解シート (ニホンサンテック, ノイカットシート) を敷いた。また、実験者は、被験者が休憩したい時や質問したい時に即座に対応できるようにした。



Figure 1. 患者被験者の実験の様子

2.4 手続き

実験に使用した対象の手、テスト回数、実施場所、使用曲、押下の強弱、BPM (Beats Per Minute) について Table 2 に示す。統制群は非利き手、患者群は麻痺手を使用した。患者群 2 名は利き手が麻痺手、1 名は非利き手が麻痺手であった。

実験の実施日数と頻度は、1 日 1 試行とし、統制群は 5 試行、患者群は 10 試行実施した。統制群は、1 試行目に訓練前テストを実施し、2 から 4 試行まで 3 日以上空けずに実施した。5 試行目は 4 試行目から 1 週間後に訓練後テストとして実施した。患者群は、1 試行目に訓練前テストを実施し、9 試行目まで 3 日以上空けずに実施した。10 試行目は 9 試行目から 1 週間後に訓練後テストとして実施した。演奏課題曲は、統制群は指練習曲 4 曲と既成曲 3 曲の合計 7 曲実施し、患者群は指練習曲 2 曲と既成曲 2 曲の合計 4 曲実施した。なお、両群でテスト試行回数が異なった理由は、統制群は、多くの時間を要さず正しく弾けるようになり、早い段階で測定値が収束することが予備実験より予め想定されていたためである。一方、患者群は、訓練による麻痺側の手指動作の変化を観測するために、一定以上の試行回数を必要とすることが明らかであったため上記の回数を設定した。

計測対象とした演奏課題曲は、統制群は指練習曲 4 曲と既成曲 3 曲の合計 7 曲、患者群は指練習曲 2 曲と既成曲 2 曲の合計 4 曲であった。演奏課題曲の力の強弱 (ff, pp) については、統制群は各曲 1 回目に ff, 2 回目に pp, 3 回目に mf で弾くように、実験者が外からカードで呈示した。患者群は各曲 1 回目に ff, 2 回目に pp で弾くように口頭で呈示した。演奏の速さは、統制群は全 5 試行分を BPM60 で演奏した。患者群は速度の変化に徐々に慣れてもらうために、全 10 試行分の内、最初の 3 試行を BPM40 で、次の 3 試行を BPM50 で、後の 4 試行を BPM60 で実施した。なお、被験者群によって演奏課題が異なった理由は、両群で訓練効果を最大にすることを試みたためである。仮に両群間の条件を同じにした場合は、両群の筋活動量の変化を訓練前後で直接比較できるようになる。しかし、同じ楽曲を用いた場合、患者群には負荷が大きく、統制群にはやや容易な課題になり、被験者のモチベーションを損なう可能性が高かったため、上記のような措置を取った。

演奏課題曲を選定した理由として、指練習は上昇と下降パターン、2 度と 3 度の打鍵パターンを繰り返す構造とした。既成曲は、JASRAC (一般社団法人日本音楽著作権協会) の著作権に該当しない曲に限定し、ADL 動作に頻繁に使用する指とそうでない指を訓練できる曲とした。なお、両群とも鍵盤楽器未経験であったために、鍵盤操作初心者向けの訓練を想定した選曲およびアレンジをした。

鍵盤楽器演奏に慣れていない被験者のために、鍵盤と 5 本の指の爪に貼ったシールの 1 から 5 の番号と、楽譜上に記載された 1 から 5 の番号をマッチングさせ、かつメトロノーム音に合わせて打鍵するように実験者が指示をした。音符の長さについては、楽譜の四分音符をメトロノーム音一つ分に合わせて弾き、二分音符、付点二分音符は楽譜に記載された各数 (音符の長さ) の長さ分を伸ばすように指示した (Figure 2)。計測前には、練習の時間を 10 分間設

け、必要に応じて実験者が奏法について手本を示した。計測本番の所用時間は、統制群は 10 分間で、患者群は休憩を任意で挟み約 10 分間とした。

Table 2. 実験の頻度, 場所, 課題内容

	患者群	統制群
実験対象手	麻痺手	非利き手
試行回数	10 回	5 回
実施場所	病院内の静かな個室	大学内のシールドルーム
課題曲	指練習曲 2 曲(各 5 小節) 既成曲 2 曲 (各 8 小節) : 「メリーさんの羊」「歓喜の歌」	指練習曲 2 曲 (各 5 小節) 既成曲 3 曲: 「メリーさんの羊(8 小節)」「歓喜の歌(8 小節)」「ぶんぶんぶん (6 小節)」
押下の強弱	ff と pp	ff, mf, pp
BPM	40(3 試行), 50(3 試行), 60(4 試行)	60(5 試行)



Figure 2. sEMG 解析の対象曲にした右手用の楽譜.

赤色数字が指番号, 全音符の青色の数字は伸ばす数

2.5 sEMG の測定

統制群は非利き手, 患者群は麻痺側の手を計測対象とした。電極と皮膚の接触インピーダンスの低減のため除毛が必要な被験者は剃刀で除毛してもらい, 前腕の皮脂を石鹸と湯で落とした。計測部位は, 鍵盤押下時に必要な屈筋群である, 長母指屈筋 (FPL) と浅指屈筋 (FDS) の筋腹とした (Figure 3)。各筋群の筋腹を見つけるために, 被験者に母指と指の屈曲と伸展を繰り返してもらい, 実験者の触診により決定した。その箇所の皮脂を実験者が消毒脱脂綿で拭き取った上で, 筋線維方向に両筋腹を挟むように 4 チャンネル (ch) 分の電極パッドを貼付した (木塚ら, 2018)。全試行で同じ個所に電極パッドを貼付けるために, 1 試行目の電極パッドを貼付けた皮膚上に油性ペンで印をし, 次の計測まで洗い落とさないように指示した。アース電極は, 使用手指の手首の背側 (甲側) に貼付した。なお, 本研究では, 指先が鍵盤に接触する際の屈筋の筋活動量を観るために屈筋群のみを計測対象にした。伸筋群の一つである総指伸筋は隣接の筋の連動が起き各指の筋活動量を観察できないため, 打鍵時の従重力のみの筋の働きに限定した。また, 触診や電極装着など患者への負担を軽減する

ために計測条件を最小にする必要もあった。

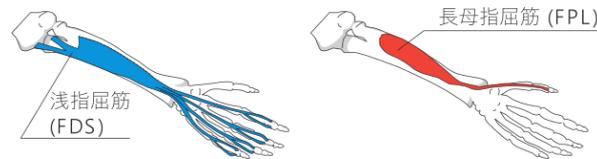


Figure 3. 測定に使用した左腕前面の浅指屈筋(FPL)と長母指屈筋(FDS).

FPL は FDS に覆われている。

2.6 sEMG の解析方法

計測値を正規化するために、実験前に握り拳を 3 秒間力一杯握ってもらい最大の力を生成し、これを最大随意収縮力の振幅の最大値 (MVC) とした。目的筋に力を入れないベースライン状態の波形を目視で確認し、4ch のうち交流ノイズの少ない 2ch の筋電信号を分析対象とした。波形は矩形窓 (窓長 50 ms, 25 ms のフレームシフト長) で窓掛けした上で RMS を算出した。なお、データの両端は 25 ms より小さい窓長で処理をし、12.5ms 以上の窓長で RMS を算出した。この RMS 値を MVC で正規化した値の平均を %MVC として使用した (小野, 2018)。

解析対象にした曲を Figure 2 に示す。先行研究から隣り合った音の演奏では、指の筋活動量にばらつきが少ないことが報告されているため (Chong et al., 2015), 両群共通の曲であり、隣り合った音で構成された指練習曲の 1 曲を用いた。解析には ff と pp の課題を使用し、統制群のみ課題にした mf の演奏は解析対象外とした。

2.7 ヴェロシティの測定方法

鍵盤を押下した際の速さと音の大きさに関連する値として、MIDI 信号のヴェロシティ (0 から 127 の範囲をとる) を指の押下の強さとして用いた。訓練前後、ff と pp、患者群/統制群の条件ごとに、1 曲の演奏分のヴェロシティ平均を算出した。統制群のみ課題にした mf は解析対象外とした。

2.8 打鍵スコアとテンポスコアの算出

実験中に記録したビデオカメラの映像と音から、音楽療法士 (MT である実験者 (第一著者)) が正しい音を打鍵できているか、テンポが正しく演奏できているか、の 2 点を音楽的観点から判断し採点した。判定した曲は、実験で演奏した全曲とした。被験者が正しく弾いた音の数を楽譜上の全ての音符数で除した数を打鍵スコア (%) とし、被験者がメトロノーム音に合わせて正しく弾いた音の数を全音符数で除した数をテンポスコア (%) とした。統制群のみに課題にした mf は対象外とした。

2.9 統計学的解析

統計検定ソフト (JASP 0.14.1.0) を使用, 1) sEMG に対して FPL と FDS, 訓練前後と ff と pp を要因とする 3 要因分散分析, 2) ヴェロシティに対して訓練前後と演奏の ff と pp を要因とする 2 要因分散分析, 3) 打鍵スコアとテンポスコアに対して, 訓練前後, ff と pp, 曲の種類 (指練習曲と既成曲) を要因とする 3 要因分散分析, さらに, 各指における訓練効果を観察するため, 4) 指ごとに分けて算出したヴェロシティの平均に対して, 訓練前後の差, ff と pp, 指の種類を要因とする 3 要因分散分析を行った (全て有意水準 5%).

3 結果

3.1 sEMG と MIDI による客観評価

3.1.1 FPL と FDS の%MVC の結果

各群の sEMG における%MVC の平均を示したものを Figure 4(a)(b) に示す. 各群の%MVC に対して, 有意水準 5% で 3 要因 (FPL と FDS, ff と pp, 訓練前後) 分散分析を行った結果, 患者群の%MVC は, いずれの要因の主効果も有意ではなかった.

一方, 統制群の%MVC は ff と pp 間の主効果が有意であった ($F(1, 6) = 24.543, p = 0.003, \eta^2 = 0.10$). FPL と FDS 条件と ff と pp 条件, FPL と FDS 条件と ff と pp 条件と訓練前後条件の交互作用に有意傾向であったが (FPL と FDS と ff と pp, $F(1, 6) = 4.374, p = 0.081, \eta^2 = 0.004$; FPL と FDS 条件と ff と pp 条件と訓練前後, $F(1, 6) = 5.684, p = 0.054, \eta^2 = 0.005$), 有意差は認められなかった. 単純主効果の検定を行ったところ, 統制群では FPL と訓練後のみに, ff と pp 間の sEMG に有意差がみられた ($p = 0.01$).

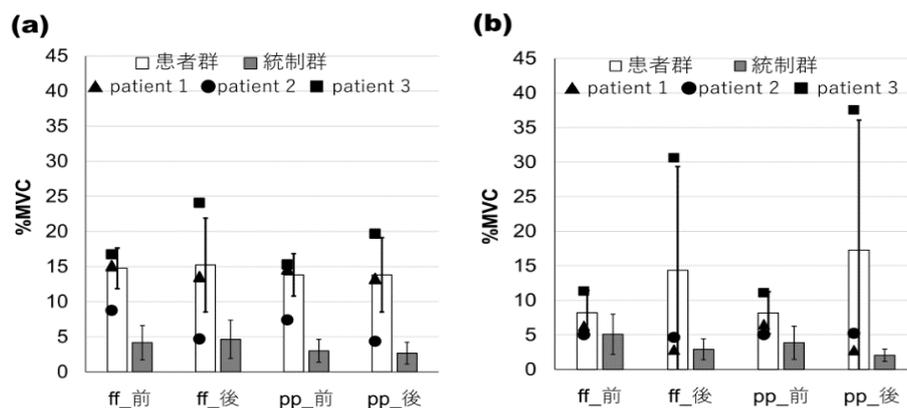


Figure 4. 患者群と統制群の訓練前後の FPL と FDS の%MVC. (a)FPL の%MVC 平均.

エラーバーは標準偏差. 各マーカーは患者個人の訓練前後の FPL の%MVC. ff_前は訓練前, ff_後は訓練後を示す. (b)FDS の%MVC と平均. エラーバーは標準偏差. 各マーカーは患者個人の訓練前後の FDS の%MVC.

3.1.2 ヴェロシティの結果

ヴェロシティにおける各群の条件ごとの平均を Figure 5 に示す。Figure 5 の結果について 2 要因 (ff と pp, 訓練前後) の分散分析を行った結果, 患者群では ff と pp 間の主効果が有意であるが ($F(1, 2) = 143.94, p = 0.007, \eta^2 = 0.195$), 効果量は小さかった。

統制群では, ff と pp 間の主効果が有意であり ($F(1, 6) = 40.41, p = 0.000724, \eta^2 = 0.80$), 大きい効果量を示した。訓練前後の主効果は有意傾向であった ($F(1, 6) = 4.01, p = 0.09, \eta^2 = 0.008$)。また, 訓練前後と ff と pp 条件に交互作用が認められたが ($F(1, 6) = 7.98, p = 0.03, \eta^2 = 0.03$), 効果量は小さかった。ff と pp の各水準における訓練前後の条件における単純主効果の検定を行った結果, ff で単純主効果が認められ (ff, $p = 0.006$), 訓練後でヴェロシティの平均値は上がったが, pp では単純主効果は認められず (pp, $p = 0.221$), ヴェロシティの平均値は下がった。

これらのことから, ヴェロシティにおいて, 患者群ならびに統制群の ff と pp 間の訓練前後で有意な差と効果量が認められたため, 鍵盤操作訓練において運動の差をつけるための指標として ff と pp を使用できる可能性が示唆された。

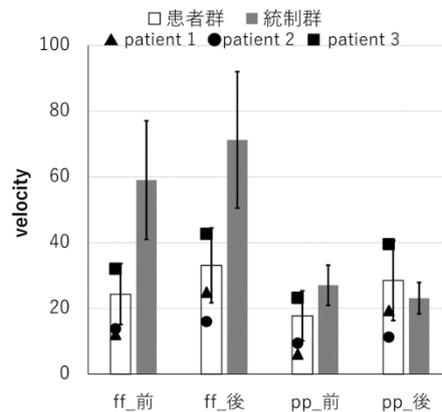


Figure 5. 患者群と統制群の訓練前後のヴェロシティ平均。

エラーバーは標準偏差。マーカーは患者個人の各条件のヴェロシティ。ff_前は訓練前, ff_後は訓練後を示す。

3.2 打鍵スコアとテンポスコアの主観評価

両群の打鍵スコアの結果を Figure 6 に示す。打鍵スコアに対して 3 要因 (指練習曲と既成曲, 訓練前後, ff と pp) で分散分析を行った結果, 患者群では, 打鍵スコアにおいて指練習曲と既成曲間で主効果が有意であった ($F(1, 2) = 320.74, p = 0.003, \eta^2 = 0.63$)。ff と pp 条件および訓練前後条件にはそれぞれ有意な主効果が認められなかったが (ff と pp, $F(1, 2) = 0.89, p = 0.45, \eta^2 = 0.02$; 訓練前後の条件, $F(1, 2) = 7.11, p = 0.12, \eta^2 = 0.56$), 指練習曲と既成曲の条件と ff と pp 条件に交互作用がみられた ($F(1, 2) = 141.53, p = 0.007, \eta^2 = 0.01$)。そこで, 単純主効果の検定を行った結果, 指練習曲の ff と既成曲の ff 間 ($p = 0.007$)

および、指練習曲の pp と既成曲の pp 間 ($p = 0.001$) に有意差が認められた。統制群の打鍵スコアは、いずれの要因においても主効果・交互作用は有意ではなく、特に成績の変化は示されなかった。

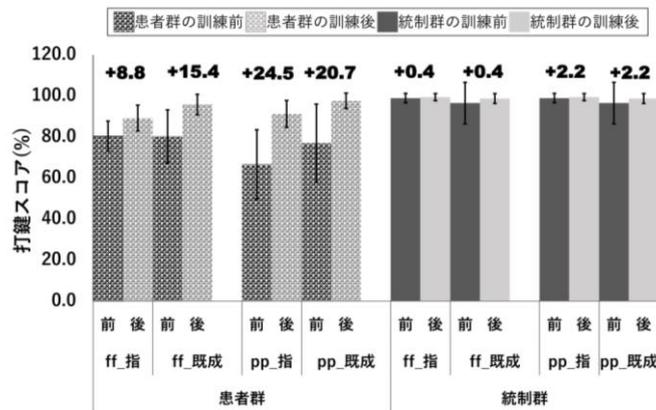


Figure 6. 両群の指練習曲/既成曲の打鍵スコアの平均。エラーバーは標準偏差。

グラフ上の数値は訓練前後での成績の変化をポイント数で示す。

両群のテンポスコアの結果を Figure 7 に示す。これらを 3 要因（指練習曲と既成曲，訓練前後，ff と pp）の分散分析を行った結果，患者群では主効果・交互作用に有意な差は認められなかったが，訓練前後の主効果に有意傾向がみられた ($F(1, 2) = 17.21, p = 0.053, \eta^2 = 0.73$)。統制群では，指練習曲と既成曲の主効果 ($F(1, 6) = 17.825, p = 0.006, \eta^2 = 0.23$)，および訓練前後の主効果に有意な差が認められ ($F(1, 6) = 14.557, p = 0.009, \eta^2 = 0.36$) 大きい効果量を示した。要因間の交互作用はいずれも認められなかった。

これらのことから，患者群においては，指練習曲と既成曲，ff と pp の組み合わせにおいて打鍵スコアが異なるものの，訓練によって成績が向上することが明らかになった。統制群における打鍵スコアでいずれの条件でも有意差が見られなかった原因として，打鍵スコアでは，正しい音を弾くという課題に対して楽曲の難易度が低かったため，大きな差が表れ難かったことが挙げられる。

患者群は全ての条件で訓練後に高い成績の変化のポイント数を示した。テンポスコアにおいては，患者群と統制群において，訓練後に改善したポイント数が確認された。これらの結果から，既成曲を pp で演奏することで訓練効果が表れやすいことがいえる。

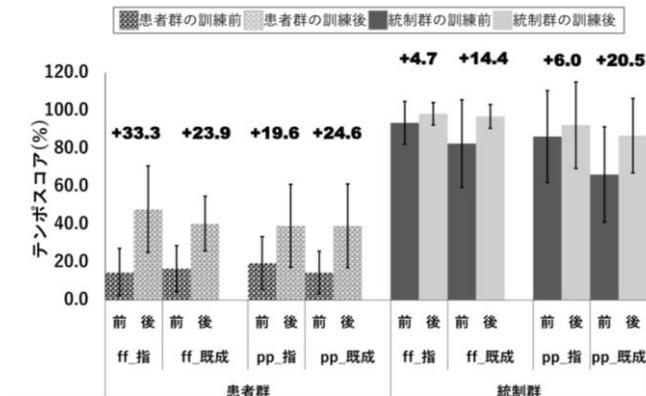


Figure 7. 両群の指練習曲/既成曲のテンポスコアの平均。

エラーバーは標準偏差。グラフ上の数値は訓練前後での成績の変化をポイントで示す。

3.3 指ごとのヴェロシティ評価

sEMG 計測による筋活動量だけでは、各指の運動の様子まで詳細に観察することが難しい。そこで、指の押下動作の強弱の値として明確であるヴェロシティの変化を指ごとに検証した。指ごとの平均に対し、3要因（指、訓練前後、ffとpp）の分散分析を実施した結果を Figure 8 (a) (b) に示す。Figure 8 (a) (b) の結果から、患者群は、ffとpp間で主効果が有意であり ($F(1, 2) = 49.683, p = 0.02, \eta^2 = 0.098$)、訓練前後に有意傾向があった ($F(1, 2) = 9.978, p = 0.087, \eta^2 = 0.375$)。指と訓練前後の条件に交互作用が認められた ($F(4, 8) = 4.363, p = 0.037, \eta^2 = 0.057$)。指と訓練前後の交互作用に対する単純主効果の検定を行った結果、母指 ($p = 0.046$)と小指 ($p = 0.008$)で有意差が認められ、環指 ($p = 0.07$)で有意傾向が見られた。各指のヴェロシティ平均の訓練前後をみると、母指、示指、中指は訓練前から強いヴェロシティであり、訓練後に大きな向上は示されなかった。一方、環指と小指は訓練前に他の指より弱いヴェロシティであったが、訓練後は他の指同等のヴェロシティに向上した。

統制群では、指の主効果が有意であった ($F(4, 24) = 3.126, p = 0.033, \eta^2 = 0.008$)。ffとpp間の主効果も有意であり ($F(1, 6) = 34.041, p = 0.001, \eta^2 = 0.722$)、大きい効果量が認められた。指およびffとpp条件に交互作用が認められ ($F(4, 24) = 4.363, p = 0.006, \eta^2 = 0.009$)、ffとpp条件と訓練前後の条件の交互作用に有意傾向が見られた ($F(1, 6) = 4.326, p = 0.083, \eta^2 = 0.019$)。指ごとにffとpp間の単純主効果の検定を行った結果、母指 ($p = 0.002$)、示指 ($p = 0.002$)、中指 ($p = 0.001$)、環指 ($p = 0.002$)、小指 ($p = 0.000284$)の全ての指でffとpp間の有意差が認められた。各指のヴェロシティ平均の訓練前後をみると、ffでは全ての指で向上し、示指と中指が強めのヴェロシティであり、環指と小指が弱いヴェロシティであった。一方、ppでは中指は訓練前に強めであったが、全体的に訓練前後で平均に近いヴェロシティを保っていた。

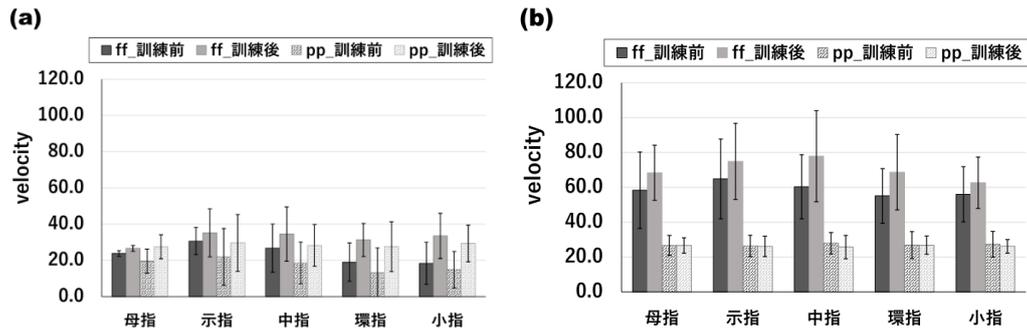


Figure 8. 患者群と統制群の指ごとのヴェロシティの平均.

(a) 患者群における指ごとの訓練前後と ff と pp のヴェロシティの平均. エラーバーは標準偏差. (b) 統制群における指ごとの訓練前後と ff と pp のヴェロシティの平均. エラーバーは標準偏差.

3.4 患者の感想

本実験に参加した3名の患者は、日々のリハに加えて鍵盤楽器訓練を実施した。鍵盤楽器訓練を加えることで、リハに対するモチベーションの維持および向上が可能かどうかも本研究の検討課題である。実験中の定量的な計測には表れない行動と会話による心理的な変化を実験前（訓練前）から実験終了（訓練後）にかけて各実験で記録した。実験終了後にはアンケートに記入してもらった。患者ごとに Table 3 に示す。

Table 3. 患者群の実験中の発言と行動の変化. P: patient.

	P1	P2	P3
モチベーション (訓練前)	「ピアノのリハを YouTube で観たことがあって興味がある。仕事に復帰したのもっと回復したい。」	復職を希望。担当リハの先生に勧められて参加された。「実験がリハビリになるなら試したい。」	担当リハの先生に勧められ実験に参加された。「上手くできるか心配。」
実験参加中の心理・精神面	「実験参加中は精神的に落ち着いていた、と家族に言われた。」「祖母とリハの先生の誕生日に『ハッピー・バースデー』を弾いてあげたい。」 「薬指と小指のいい練習になる。」実験者 (MT) から見て、常に落ち着いて参加された。	「眠剤 (睡眠薬) を服用しても、朝 4 時まで眠れなかったけど、(7 回目から) 早めに眠れるようになった。」MT から見て、常に落ち着いて参加された。	「リハのスケジュールがびっしりで疲れる、と妻に不満を言ったら、逆に妻に叱られた。」MT から見て、実験開始数回は笑顔で参加されたが、以降不機嫌であった。最後にはやる気を取り戻された。
モチベーション (訓練後)	「折角弾けるようになったので、他の曲も弾けるようになりたい。外来でも続けたい。」自宅で『ハッピー・バースデー』を練習し、祖母とリハの先生のために弾き、撮影した動画をリハの先生に見せた。楽譜ファイルを受け取り、実験中の曲も練習中。	「家族に弾いている姿を見せたい。」と自身の携帯で訓練後テストの練習の様子を撮影した。その映像を病棟看護師やリハ職員に見せては褒められ、嬉しそうであった、と職員から報告があった。「実験がもう終わりなんて、10 回では短い。」	「小学 1 年の孫がピアノ練習をしないから、おじいちゃんだって弾けるで、と競争するよ。」「弾けるようになって興味湧いてきた。」自宅練習を希望された。楽譜ファイルを「1 日遅れのクリスマスプレゼントだね」と言われ受け取られた。

4 考察

4.1 鍵盤操作中の ff と pp のコントロールによる sEMG とヴェロシティの変化と評価への適応

鍵盤操作中の sEMG とヴェロシティの値を比較すると、ヴェロシティを ff と pp で評価することが有効であることが示された。Figure 4 (a) (b) の sEMG と Figure 5 のヴェロシティをみると、変化の度合いは対象群によって異なっていた。ヴェロシティに関しては、患者群における変化は統制群の変化に比べて全体的に小さかったものの、ff と pp に応じた弾き方をしていることが明らかになった。sEMG に関しては、いずれの群・要因においても訓練による効果はみられなかった。患者群の筋活動量は、統制群に比べ全体的に大きいことに加え、pp においても %MVC が大きいことから、演奏の強弱による筋活動の差がつきにくかったと考えられる。これは患者の痙性麻痺が影響していると考えられるが、このような筋活動となるメカニズムは解明されていないことが多い。

患者群を個別にみると、Figure 4 (b) の P3 の %MVC は訓練前より訓練後で顕著な増幅を示した。テンポの設定が訓練前 (BPM40) より訓練後 (BPM60) で速かったために筋活動量が大きくなったことが先行研究 (Chong et al., 2015) から考えられる。テンポ設定を 3 から 4 試行ごとに変えた理由は、患者群に対し麻痺側の手指を対象にしたため初回より負荷をかけられなかったことや、訓練に対するモチベーションを維持させるためであったが、このことが群間比較を難しくさせた可能性もある。

その他の患者の個人のデータを比較すると、P3 のみが回復期にあり、BRS 評価が最も高かったにも関わらず、ff と pp のコントロールに困難を示した。加えて、%MVC とヴェロシティの値が常に大きく、ばらつきが最も大きかった。一方で、P1 と P2 は生活期にあり、%MVC は訓練前より訓練後で概ね低い値を示した。これは、操作に慣れることで余分な筋緊張がなくなっていたと考えられる。これら 2 名は %MVC の平均値において似た結果を示したことから、発症後の日数、年齢、BRS 評価の値が結果に影響していると考えられる。

一方、統制群の sEMG では、FPL と FDS の筋で効果の表れ方が異なった。FPL の ff 以外で、%MVC が訓練前より訓練後で低い値を示した。これらも操作に慣れることで余分な筋緊張がなくなっていたと考えられる。それでもなお、全体的に ff で弾いた時に %MVC が大きく、pp で弾いた時の %MVC は小さかった。つまり、強弱の指示が筋活動に反映されていた。ただし、FPL の %MVC (Figure 4 (a)) は、FDS の %MVC (Figure 4 (b)) に比べ、平均差が小さいため変化を観察し難い。また、解剖学的に FPL の筋腹は FDS に覆われているため (荒川, 2020)、FPL を計測したつもりでも FDS の信号を拾う可能性が高い。また、手指の屈筋群の内、FDS は 2 番目に体積が大きい (荒川, 2020)。これらの理由を鑑みると、健常者の手指の筋活動量を観るためには FDS を重視した計測で十分であると考えられる。また、統制群の sEMG 統計結果から、FPL と FDS の ff と pp の水準で有意差があったため、筋活動のコントロールとして ff と pp の演奏課題が使えることが示された。ヴェロシティの数値からも、ff

と pp で明確な力のコントロールがされていた。ただし, ff と pp は被験者個人の感覚による力のレベルであるため, 群間で強弱の効果の違いについて論ずることは難しい。しかしながら, ヴェロシティを測定した統計結果 (Figure 5) から, 統制群・患者群の両群とも ff と pp の水準で主効果が有意であったため, ff と pp を訓練の条件に入れることが有用であり, ヴェロシティを評価の指標として利用できる可能性が考えられる。

4.2 訓練による打鍵スコアとテンポスコアの向上

鍵盤訓練によって打鍵スコアとテンポスコアの成績ポイント数の向上がみられた (Figure 6 と Figure 7)。患者群では, 打鍵スコアにおける最低値 (平均) は, 指練習曲の訓練前の pp で 66.7%であったが, 訓練後は 91.2%に向上し, 最も大きい改善 (24.5 ポイント) を示した。統計結果からも, 打鍵スコアに指練習曲と既成曲と ff と pp の組み合わせによっては訓練効果があと言える。統制群ではいずれの要因においても統計的に有意な差は認められなかった。既成曲の訓練前の ff で既に 96.6%を得ていたためだと考えられる。訓練効果を観察するためには, 本実験で用いた以上の難しい曲を課題にする必要があったと考えられる。

テンポスコア全体の傾向としては, 両群ともメトロノーム音に一致させ, かつ pp で弾く課題が困難だったことがうかがえる。統計結果からも, 患者群でテンポスコアに対して訓練前後に有意傾向がみられ, 統制群では指練習曲と既成曲の主効果が有意および訓練前後の主効果が有意であった。打鍵スコアとテンポスコアを比較すると, 全体的にテンポスコアのポイント数の方が訓練後に成績の向上を示した。患者群のテンポスコアで最低値 (平均) は, 指練習の訓練前の ff で 14.7%であったが, 訓練後は 48.0%に向上 (33.3 ポイント) を示した。pp の既成曲の訓練前においても 14.7%であったが, 訓練後は 39.2%に向上 (24.6 ポイント) を示した。統制群のテンポスコアで最低値 (平均) は, 既成曲の訓練前の pp で 66.3%であったが, 訓練後は 86.8%に向上 (20.5 ポイント) を示し, 打鍵スコアよりも大きな成績の向上を示した。メトロノーム音に合わせてテンポ調整する必要のある手指運動のリハは, 指の押下動作における力のコントロールの訓練として利用できる可能性がある。

本研究では, 主観評価の方法に関して, 多数の聴取評価者による判定が実施できなかったが, 今後の実験では, 多数の音楽療法士による評価者で, κ 検定による検証を視野に入れた解析が考えられる。

4.3 指練習曲と既成曲の訓練効果の違い

鍵盤訓練の課題曲に使用した指練習曲と既成曲では, 既成曲を訓練に利用することで効果が表れやすいことが示された。指練習曲と既成曲の成績の向上を比べると, 打鍵スコアにおける患者群において既成曲の方が向上し, また, テンポスコアにおける患者群の ff の指練習曲以外で既成曲の方が向上した。統計結果からは, 患者群で打鍵スコアにおける指練習曲と既成曲の主効果が有意であり, 統制群ではテンポスコアにおいて指練習曲と既成曲の主効果が有意で

あった。アンケートからは両群とも「既成曲の方が弾きやすかった」と回答を得た。これらの結果から、リハに鍵盤訓練を取り入れる際、課題に聴き馴染みのある既成曲を使用することは、訓練効果を得やすい。また、曲を弾けるようになった喜びや達成感を得やすく、モチベーションを高めることが出来る。

4.4 分離運動による指ごとのヴェロシティの変化

指ごとのヴェロシティの結果から、患者群は母指、環指、小指に変化がみられ、統制群は全ての指に変化がみられた (Figure 8)。患者群においては、母指と小指には訓練前後で有意な差が認められ、環指に有意傾向が示されたことから、特にこれらの指への訓練効果が期待できると共に、手指のリハにおいて通常のリハでは訓練し難い環指と小指を鍵盤楽器により改善できる可能性が示された。統制群においては、全ての指に有意差が認められたため、健常者を対象にした訓練効果は表れやすいといえる。両群を総括すると、指ごとのヴェロシティは値として表れやすく、訓練効果を検証しやすいことから、ヴェロシティを指標に用いた評価は汎用性が高いと考えられる。

実際、我々の ADL 動作において、主に母指、示指、中指を使用していることから、つまみ、握り動作を中心にリハが行われているが、患者は現在の手指の痙縮の状態から拘縮の状態になることを懸念し、環指、小指を含めた 5 本の分離運動のリハを望んでいる。手指麻痺の回復過程において、共同運動から分離運動を促すために、手指の分離運動に特化した訓練は大きな意義を持つことが示唆された。

4.5 患者の心理的な行動変容

本研究に参加した患者群から、実験期間中に口頭による様々な感想とアンケートによる回答を得て、行動および心理の変化を観察した。これら 3 名の患者は、年齢、生活背景、発症からの日数が異なっていた。特に患者 P3 は、回復期病棟に入院中であったため、一日のリハのスケジュールが過密などの理由で不機嫌になった期間があった。これは、障害受容過程 (上田, 2020) における「混乱期」から「解決への努力期」への移行期間と重なっていたため、話を傾聴する、無理をさせないなどの精神的なサポートを必要とした。また、全員が共通して家族への思いを話されたことから、家族の存在が今回の訓練の大きな動機付けになっていた。実験終了後、全員が、実験後も自宅や外来での練習を希望され、楽譜のファイルを持ち帰られた。1 名は外来での理学療法または作業療法の訓練時に、音楽療法士による鍵盤訓練を受けることになった。本実験を介し、患者にとって鍵盤訓練に楽しみと目的を見出すことで、リハに対するモチベーションの維持・向上ならびに、精神的な安定にもつながったことが伺えた。

今後の課題として、患者群の被験者の増員と脳卒中発症からの時期、年齢層を統一した検証が必要である。本研究中に指の巧緻動作の検査を導入することが叶わなかったが、今後は更に、鍵盤訓練における巧緻動作の評価を行い手指動作の回復を検証する必要がある。

5 まとめ

本研究において、客観評価である sEMG では観察し難い手指の運動の変化をヴェロシティで捉えられる可能性が示唆された。また、ヴェロシティの結果に対し筋活動量を参照することが可能である。鍵盤訓練の評価に汎用できる指標として、ヴェロシティからは ff と pp で訓練効果を観やすく、打鍵とテンポの訓練からは指練習曲と既成曲と ff と pp が観やすいといえる。これらの結果から、訓練効果が得やすい指標として、既成曲を pp で訓練することが示された。併せて、主観評価によるデータと客観的評価によるデータを参考にして鍵盤訓練に適応することが可能であると考えられる。加えて、指ごとの訓練効果を検証する際、患者においては母指と環指と小指に訓練効果が表れやすいことが示された。主観評価である打鍵スコアとテンポスコアは、専門職の音楽療法士が聴いて訓練を評価できることが確認できた。

本研究より、発症から回復期が過ぎていても手指の分離運動の有効性が示されたため、麻痺側の手指全体へのアプローチの重要性が示唆された。これらのことから、鍵盤を用いた手指のリハは、患者のリハに対するモチベーションを維持・向上させ、延いては、患者の生活の質（QOL）の向上に繋がることを期待できる。

謝辞

実験にご協力頂いた医療法人鳳紀会可知病院リハビリテーション科スタッフと、貴重なご意見を頂きましたリハビリテーション医八木了先生に感謝申し上げます。実験にご参加頂いた患者様に心から感謝いたします。また、筋電計測に関するご助言を頂きました筑波大学体育系、木塚朝博教授に感謝いたします。本研究の一部は、JSPS 科学研究費補助金・基盤研究（A）19H01119 の助成を受けたものです。本研究の一部は Rehabilitation World Congress2021 と第 21 回日本音楽療法学会で発表されました。

引用文献

- 荒川 裕志 (2020). 筋肉のしくみ・はたらきパーフェクト事典 ナツメ社
- Chong, H. J., Cho, S., & Kim, S. J. (2014). Hand rehabilitation using MIDI keyboard playing in adolescents with brain damage: A preliminary study, *NeuroRehabilitation*, 34, 147-155.
<https://doi.org/10.3233/NRE-131026>
- Chong, H. J., Kim, S. J., & Yoo, G. E. (2015). Differential effects of type of keyboard playing task and tempo on surface EMG amplitudes of forearm muscles. *Frontiers in Psychology*, 6.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01277>
- Feys, H. M., De Weerd, W. J., Selz, B. E., Cox Steck, G. A., Spichiger, R., Vereeck, ... Van Hoydonck, G. A. (1998). Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: A single-blind, randomized, controlled multicenter trial. *Stroke*, 29, 785-792.
<https://doi.org/10.1161/01.STR.29.4.785>
- 藤田 貴昭 (2014). 重度上肢運動麻痺を呈した脳卒中患者に対するエビデンスに基づく治療法の選択と実

- 践効果 日本作業療法研究 1, 6-10.
- 深谷 親 (2018). 脳血管障害のリハビリテーション—現状と未来— 日大医誌 77 (6), 401-402.
https://doi.org/10.4264/numa.77.6_401
- 木塚 朝博・増田 正・木竜 徹・佐渡山 亜兵 (2018). 表面筋電図 東京電機大学出版局
- 久保田 競 (2015). 手と脳 紀伊国屋書店
- 日本リハビリテーション医学会 (2021) . Retrieved from <https://www.jam.or.jp/civic/> (2021年4月20日)
- 岡本 五十雄 (2013). 障害受容(克服)—脳卒中患者のこころのうち— リハビリテーション医学 50 (12), 951-956.
- 小野 弓絵 (2018). MATLAB で学ぶ生体信号処理 コロナ社
- Rojo, N., Amengual, J., Juncadella, M., Rubio, F., Camara, E., Marco-Pallares, J., ...Rodriguez-Fornells, A. (2011). Music-supported therapy induces plasticity in the sensorimotor cortex in chronic stroke: A single-case study using multimodal imaging (fMRI-TMS), *Brain Injury*, 25 (7-8), 787-793.
<https://doi.10.3109/02699052.2011.576305>
- 上田敏 (1993). 日常生活動作を再考する—「できるADL」, 「しているADL」から「するADL」へ—リハビリテーション医学 30(8), 539-549.
- 上田敏 (2020). 「障害の受容」再論—誤解を解き, 将来を考える— Japanese Journal of Rehabilitation Medicine, 57 (10), 890-897.
- Villeneuve, M., Penhune, V., & Lamontagne, A. (2014). A piano training program to improve manual dexterity and upper extremity function in chronic stroke survivors. *Frontiers in Neuroscience*, 8.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00662>

(2022年1月18日受稿, 2022年5月6日受理)

二枚のぼけ画像を用いた通行可能性の知覚

伊藤 一之 (法政大学理工学部)¹ 鉢嶺 大治 (日産自動車株式会社)

高野 翔吾 (株式会社京三製作所)

西山 賛 (法政大学大学院 理工学研究科)

ハエトリグモは障害物を避けながら落下することなく木の枝上を進むことができる。従来の説明では、このようなタスクを行うためには、移動可能な枝の認識（空間と枝の識別）、障害物の認識、ルーティングなど、高度な情報処理が必要とされる。しかし、処理能力の小さなハエトリグモの脳でこれらの処理が実現されているとは考えづらく、従来の説明とは異なる、なんらかの別の仕組みが用いられていると考えられる。

一方、生態心理学における直接知覚の考え方をいれれば、ハエトリグモは、枝や障害物の認識を行うことなく、移動可能な所（通行可能のアフォーダンス）を直接知覚していると説明することができる。この際に問題となるのは、その直接知覚を如何にして実現しているかという仕組みの解明である。

本研究ではハエトリグモの目の構造に注目し、ハエトリグモは二つのぼけ画像の差異によって通行の可否を判断しているとの仮説を提案し、小型ロボットを用いた実験により、その仮説の実現可能性を検証する

キーワード：アフォーダンス、障害物回避、画像処理

Perceiving of Passability Using Two Blurred Images

Kazuyuki Ito (*Hosei University*) Daiji Hachimine (*Nissan Motor Co., Ltd.*)

Shogo Takano (*Kyosan Electric Manufacturing Co., Ltd.*)

Susumu Nishiyama (*Hosei University*)

A jumping spider can move on branches of a tree without falling while avoiding obstacles. According to conventional explanations, it is required that the spider has to conduct complex information processing, such as recognition of branches and obstacles, and path planning. However, it is difficult for the small brain of the jumping spider, and it is considered that some other mechanisms are employed.

On the other hand, in ecological psychology, we consider that the jumping spider directly perceives an affordance of passage without recognizing branches or obstacles. However, the mechanism to perceive the passage is an open question. In this study, we focus on the mechanism of the eye of the jumping spider, and we make a hypothesis that the jumping spider perceive a passage using the difference between two blurred images, and we demonstrate it using a small mobile robot.

Keywords: affordance, obstacle avoidance, image processing

¹ E-mail: ito@hosei.ac.jp

1 はじめに

ハエトリグモは障害物を避けながら落下することなく木の枝上を進むことができる。従来の説明では、このようなタスクを行うためには、移動可能な枝の認識（空間と枝の識別）、障害物の認識、ルーティングなど、高度な情報処理が必要とされる。しかし、処理能力の小さなハエトリグモの脳(Heinze, 2014)でこれらの処理が実現されているとは考えづらく、従来の説明とは異なる、なんらかの仕組みが用いられていると考えられ、研究が続けられている(Tarsitano, 2006)。

一方、生態心理学(Gibson, 1979; Warren, 1978)における直接知覚の考え方をを用いれば、ハエトリグモは、枝や障害物の認識を行うことなく、移動可能な所（通行可能のアフォーダンス）を直接知覚していると説明することができる。この際に問題となるのは、その直接知覚を如何にして実現しているかという仕組みの解明である。

従来研究においては、ハエトリグモの目の構造に注目し、その仕組みの解明を試みた研究が行われており、解剖学的な知見から、ハエトリグモの主眼には4つの網膜が存在することが報告されている(Land, 1969)。また、Figure 1に示すように、レンズから各網膜への距離は異なっており、この構造により、ハエトリグモは、ピントの異なる複数の像を得ることができると考えられている(Nagata, 2012)。また、実際のハエトリグモを用いた実験から、ハエトリグモがピントの位置の違いを利用して奥行き知覚を行っていることを示唆する結果が報告されている(Nagata, 2012)。しかし、ハエトリグモが、複数の網膜に映る画像から、どのような情報処理を行い、奥行き知覚を行っているかについては、未だ確認されていない。

そこで、我々の従来研究において、「ハエトリグモは、異なるぼけ量を有する複数の画像の差分により通行の可否を判断している」との仮説を提唱し検証をおこなってきた(Hachimine, 2019)。しかし、従来研究では、その一具体例が示されているにすぎず、より詳細な検証が今後の課題となっていた。

本論文では、この従来研究における仮説を工学的に実現する方法ならびに、小型ロボットを用いた検証について、より詳細な検討および検証を行うことを目的とし、具体的には、地面レベルの設定方法の改善、障害物と接触する条件の導出、ロボットならびに制御方法の改善を行い、異なるぼけ量を有する複数の画像の差分により通行の可否を判断可能であることを示す。

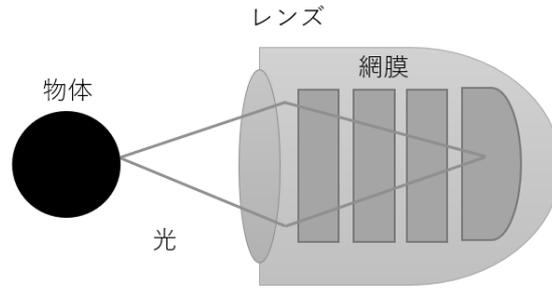
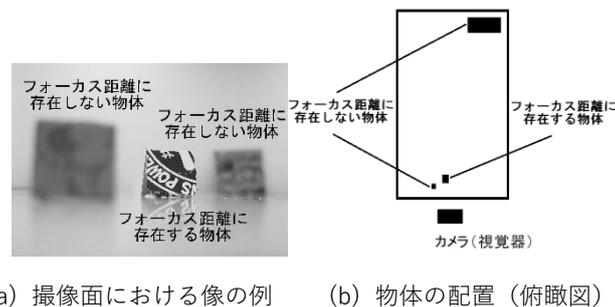


Figure 1. ハエトリグモの主眼の構造 (Nagata 2012, Koyanagi 2012)

2 基本原理：焦点距離とぼけ量の関係

2.1 物体までの距離とぼけの大きさの関係

一般に、物体が視覚器のピントの合う距離（以下フォーカス距離と呼ぶ）に存在する場合には物体は網膜に鮮明に写り、逆に物体がフォーカス距離から外れている場合には網膜にぼやけて写る（Figure 2）。



(a) 撮像面における像の例 (b) 物体の配置（俯瞰図）

Figure 2. フォーカス距離に存在する物体と存在しない物体

これはフォーカス距離に存在する物体から反射された光は網膜上の一点で収束することに対し、フォーカス距離に存在しない物体から反射された光は網膜上で拡散し一点で収束しないためである。この網膜上に拡散する光の円の直径を b とし、本研究ではこれをぼけ量の大きさとして用いる。 d をレンズの直径、 f をレンズの焦点距離、 l_o を物体からレンズまでの距離、 l_i をレンズから網膜までの距離とすると b はレンズの公式より式(1)で表すことができる（Figure 3）。また、この関係式のグラフの概形は Figure 4 の様になる。

$$b = \left| d \left(1 - \frac{l_o - f}{f l_o} \cdot l_i \right) \right| \tag{1}$$

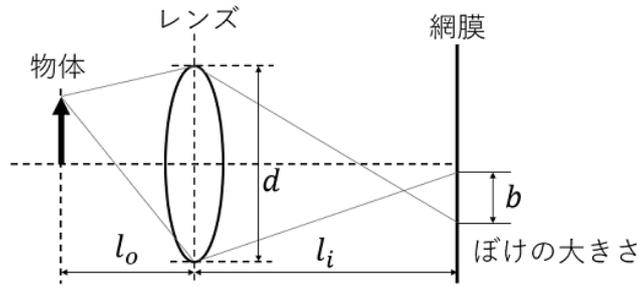


Figure 3. 網膜に到達する光

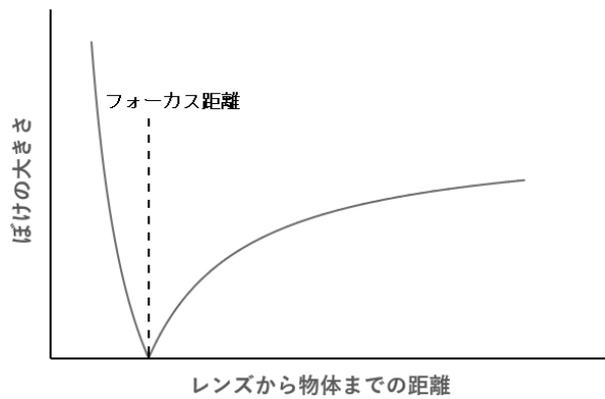


Figure 4. ぼけの大きさと物体までの距離の関係

一般に、このグラフから分かるように、ぼけの大きさ（縦軸）の値が求められたとしても、その大きさに対応する物体までの距離（横軸）は二通り存在するため、ぼけ量から物体までの距離を一意に求めることは不可能である。そこで、本研究では、焦点距離の異なる複数の画像を用いることで、計算量の比較的少ない簡単な方法でこの問題が解決可能であることを検証する。

3 仮説

3.1 フォーカス距離の異なる網膜像の利用

先に述べたように、一つのぼけ画像から物体までの距離を算出することは不可能である。しかし、フォーカス距離の異なる二つのぼけ画像を使うことにより、通行の可否のアフォーダンスの取得が可能となる。Figure 5 はフォーカス距離の異なる2つのぼけ画像 A および B における、物体までの距離と、ぼけの大きさの関係をグラフに表したものである。また、この A のぼけ量から B のぼけ量を引いた差分は、Figure 5 の A-B の様になる。

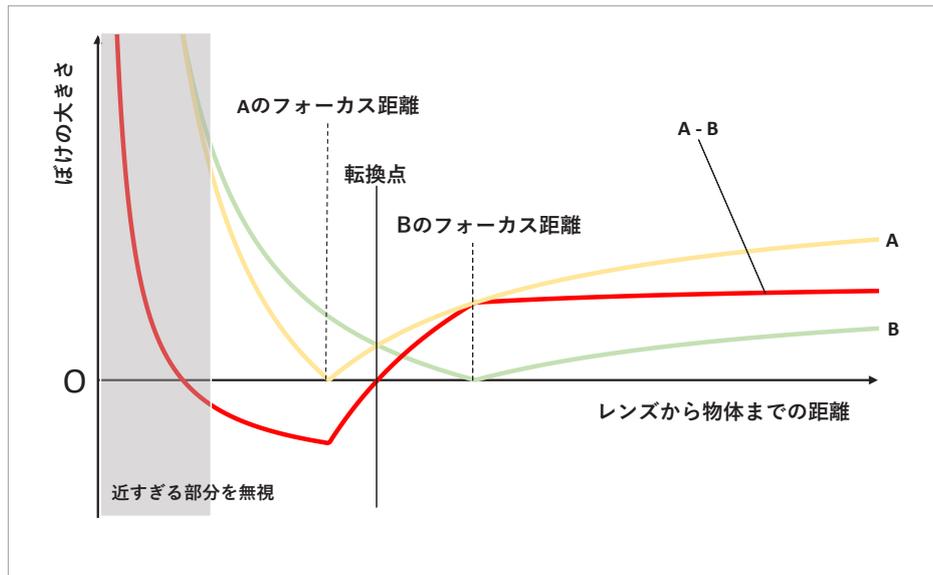


Figure 5. 物体までの距離とぼけ量の関係

この差分 (A-B) のグラフから読み取れるように、レンズに極めて近い部分を見捨てるならば、差分値は、横軸上のある一定の点（転換点）において、その正負が逆転する。グラフの横軸はレンズから物体までの距離を表すため、差分値が負の場合には、対象物が転換点よりも手前であることを意味し、逆に、正の場合には遠方であることを意味する。

Figure 5 は、視野内のある特定の点についてのぼけ量の変化についてのグラフであるので、これを、2次元平面状の視野に拡張すると、視野内に複数の物体が存在する場合には、転換点よりも手前にある物体の差分値は負となり、奥にある差分値は正となる。負の場合を0、正の場合を1とすれば、転換点を基準とした二値画像を得ることができる。

3.2 障害の有無による視野上の転換点の位置と通行可否のアフォーダンスの取得

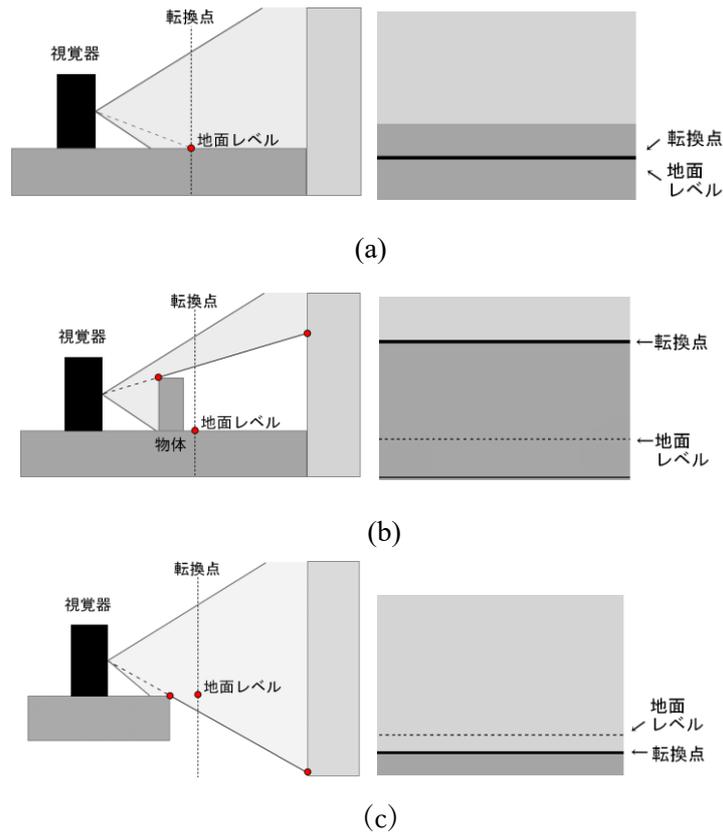


Figure 6. 転換点が地面レベルの場合(a)と転換点が地面レベルよりも高い場合(b)と転換点が地面レベルよりも低い場合(c)の視覚器の配置 (左)と視野内の情報 (右).

先に述べたように、二つの網膜によって環境を観測し、ぼけ量の差分値を用いることで、その符号が転換する位置 (転換点) よりも遠い領域と近い領域を判別し、それらの領域の境界を知覚することが可能となる。

本節では、視覚上の転換点の位置と、環境の地面、障害物、窪みとの関係について説明する。

Figure 6 (a)に示すように、環境が、障害物の存在しない平坦な地面の場合には、地面のうち、転換点よりも遠い部分の差分値が正、近い部分が負となり、その境目の転換点は、視野内の一定の高さの水平な直線として現れる。この一定の高さを地面レベルと呼ぶことにする。この地面レベルの位置 (視野画像内での高さ) と転換点の位置を基準に環境の状況を判断することができる。地面レベルは、本研究において通行可能な地面に現れる転換点となる。また、地面上を移動している場合は、地面レベルはほぼ一定であり、転換点の時間方向における平均値を地面レベルとみなすことができる。したがって、転換点の位置が大きく変わる部分が通行不可能な場所であり、転換点の位置が変化しない部分が通行可能な地面となる。

具体的には、Figure 6 (a)のように、地面レベルと転換点の高さが一致しているとき、環境は平坦であり通行可能であることが分かる。

次に、Figure 6 (b) に示すように、環境中の転換点よりも近い位置に障害物が存在する場合

について考える。このとき、障害物は転換点よりも手前にあるため、障害物の表面の差分値は負となる。一方、障害物の後方の壁は転換点よりも後方となるため、差分値は正となり、視野における転換点（正負が入れ替わる点）は、障害物の上端（障害物と後方の壁の境目）となる。このとき、視野上では、地面レベルよりも高い位置に転換点が写る(Figure 6 (b) 右図)。つまり、視野において、転換点が地面レベルより高い位置にあるときには、そこに障害物があることを意味する。

最後に、Figure 6 (c) に示すように、窪みなどにより地面が存在しない場合を考える。このとき、足元の地面の差分値は負となり、遠方の壁の差分値は正となるため、視野上での転換点は、地面の途切れる部分（視野における地面と遠方の壁の境界）となる。このとき、視野上では、地面レベルよりも低い位置に転換点が写る(Figure 6 (c) 右図)。つまり、視野において、転換点が地面レベルより低い位置にあるときには、そこに窪みがあることを意味する。

まとめると、視野画像上の各領域において、ぼけ量の差分を計算し、その正負が入れ替わる位置（画像上の高さ）をもとめ、それと地面レベル（地面が存在する場合の転換点の高さ）とを比べることで、障害物の有無、窪みの有無を判別することが可能となる。

3.3 通行可否のアフォーダンスの取得

Figure 7 に示す環境を用いて、通行可否のアフォーダンスについて説明する。なお、Figure 7 は著作権の関係で広告の部分をはかして掲載している。Figure 8 は異なるフォーカス距離のぼけ画像である。環境には、視野の右側に障害物が、中央に窪みがあり、通行可能な部分は、視野の左側の部分のみとなっている。Figure 9 は、二つのぼけ画像の差分から生成される二値画像の模式図であり、2つの画像のボケ量の差分が正の領域を黒、負の領域を白で表したものである。また、白い部分（負の領域）と黒い部分（正の領域）の垂直方向における境界が転換点である。

先に説明したように、この図において転換点の高さと地面レベルとを比較することで通行可否のアフォーダンスが得られ、転換点の高さと地面レベルが一致しているところ（図の(a)の部分）が通行可となる。

また、移動する場合には、転換点の高さと地面レベルが一致している方向に向かって進んでいくことで、結果的に障害物や窪みを避けながら移動することが可能となり、障害物や窪みなど3次元空間を知覚することなく、それらを避けた振る舞いを生成することができる。

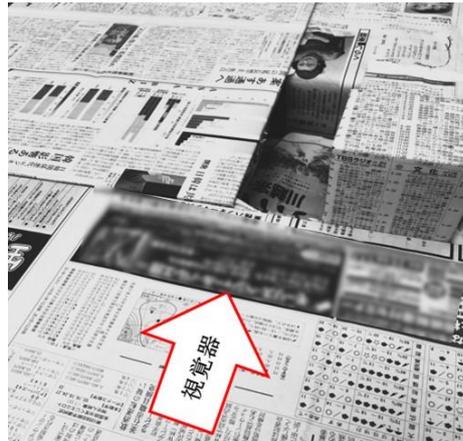


Figure 7. 障害物と窪みの存在する環境



Figure 8. 視野内の情報 (左: 手前焦点, 右: 奥焦点)

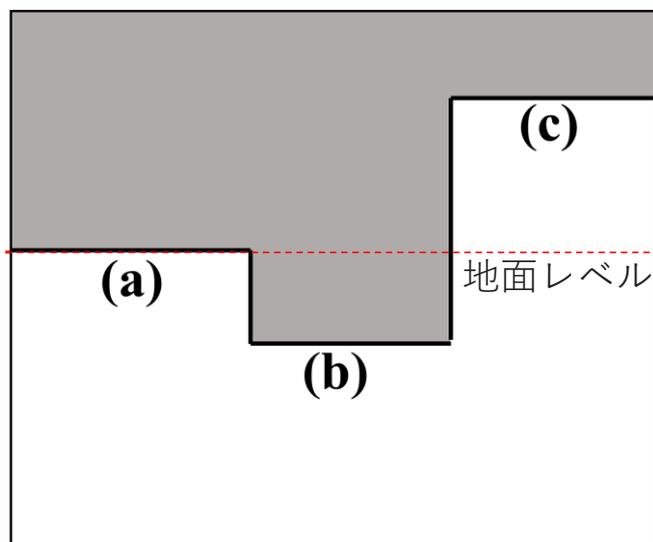


Figure 9. Figure 8 から得られたぼけ量の差分画像

(a): 転換点と地面レベルが一致している場合(通行可)

(b): 転換点が地面レベルより低い場合(窪み)

(c): 転換点が地面レベルより高い場合(障害物)

4 検証実験

4.1 実験装置

実験装置として、左右に取り付けた 2 つの DC モータによって走行することができる小型のロボットを用いる。ロボットの外観を Figure 10 に示す。ロボットにはフォーカス距離の異なる二台のカメラが前方に搭載されている。二台のカメラはハーフミラーを介して、同じ撮影角度の画像を取得できる設定となっている (Figure 11)。

環境は、障害物が設置された机とし、机と障害物には自然環境の複雑なテクスチャの代替として新聞紙を表面に貼り付けて用いる。

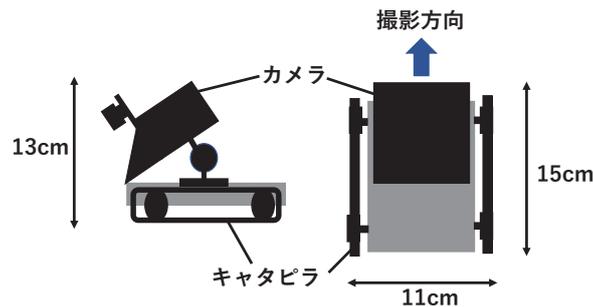


Figure 10. ロボットの側面図 (左) と上面図 (右)

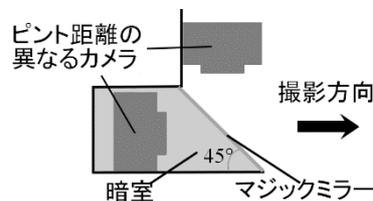


Figure 11. マジックミラーとカメラの固定位置

4.2 検出及び制御アルゴリズム

(a) 全体のフロー

Figure 12 に示すように、まずフォーカス距離の異なる二台のカメラによって進行方向を同時に撮影し 2 つの画像を取得する。取得した画像はそれぞれ設置角度のずれによる誤差を補正したのちにグリッド状に分割し、グリッドのセルごとにボケの大きさを算出する。

セルごとに算出されたボケ量を用いて、二枚の画像間で同じ場所に位置するセル同士で比較を行い、二値画像を得る。この二値画像において、値が逆転する境界を転換点として検出する。

過去に取得した画像の転換点の画面上での高さを時間方向に平均して地面レベルを求め、現時刻における転換点が地面レベルに近いほど通行できる可能性が高いと判定する。

ロボットの制御は、視野の中央部が通行可能と判断された場合は直進し、そうでない場合は視野の左右の中で通行できる可能性が高いほうへと旋回する。この行動を繰り返すことで

通行可能な場所のみを選んで進み続けるという振る舞いが生成される。

各演算の詳細については以下に述べる。

(b)ボケ量の推定

物体がフォーカスの合う位置に存在しない場合，物体上の点からの光はカメラの撮像面上に拡散することにより物体はぼけて写る．この拡散は点広がり関数によりモデル化され (Zhou & Sim, 2011)，これにより画像中のエッジ部では，ボケが大きいほど輝度勾配の絶対値が小さくなる。

本実験では，画像上の隣接する画素同士の輝度値の差分を計算することにより輝度勾配を求めその絶対値をボケ量の推定値として用いる．つまり，この指標値が大きいほどぼけが小さいといえる。

(c)地面レベルの設定

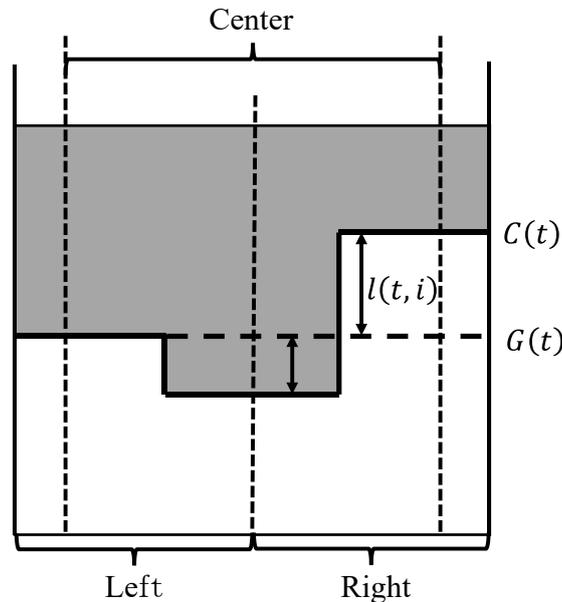


Figure 12. 各領域の評価値

Figure 12 に取得した二値画像の一例を示す．ぼけ量の差が正となる部分を黒で，負となる部分を白で示しており，黒い領域と白い領域の境界における垂直方向の座標（高さ）が転換点 $C(x, t)$ である．ここで， x は水平方向の位置（左端を 0 とした時のセルの位置）を， t は時刻（動画のコマに相当）を表す。

ロボットの初期位置は移動可能な水平面上にあることとし，時刻 t における転換点の平均値を $\bar{C}(t)$ で表す．地面レベル $G(t)$ は，(2) 式により求める．これは， N 時刻過去の画像を用いた $\bar{C}(t)$ の時間方向の移動平均を意味している。

$$\bar{C}(t) = \frac{1}{N_w} \sum_{i=1}^{N_w} C(i, t) \quad (N_w \text{は水平方向のセル数})$$

$$\begin{aligned} G(t) &= \frac{1}{N} \sum_{i=t-N-1}^t \bar{C}(i) \\ &\approx \frac{N-1}{N} G(t-1) + \frac{1}{N} \bar{C}(t) \end{aligned} \quad (2)$$

(d) 通行可能性の算出

Figure 13 にフローチャートを示す。Figure 13 に示すように、ぼけ量の異なる 2 枚の画像それぞれに対して、画像を $N_h \times N_w$ 個のセルにグリッド状に分割し、各セルのぼけ量を求める。次に、ぼけ量の異なる 2 枚の画像の、対応するセル間でぼけ量を比較して差分値を求める。さらに、上下に隣り合うセル間において差分値の符号が反転する場所を求め、これを転換点とする。

次に、求められた転換点をもとに通行可能性の判断を行う。まず、Figure 12 の Center に示すように、画像の中央部分に着目し、式(3)を用いて、中央領域内における地面レベルから転換点までの距離の二乗和を求め、この値が十分小さいとき、通行可と判断しロボットを前進させる。

$$E_C = \sum_{i \in \text{Center}} l(t, i)^2 = \sum_{i \in \text{Center}} \{C(t, i) - G(t)\}^2 \quad (3)$$

$$E_L = \sum_{i \in \text{Left}} l(t, i)^2 \quad (4)$$

$$E_R = \sum_{i \in \text{Right}} l(t, i)^2 \quad (5)$$

一方、中央領域において通行不可能と判断された場合には、画面を左右の二つに分け、式(4)および(5)を用いて双方の評価値を計算し、評価値の小さい方向へロボットを旋回させる。

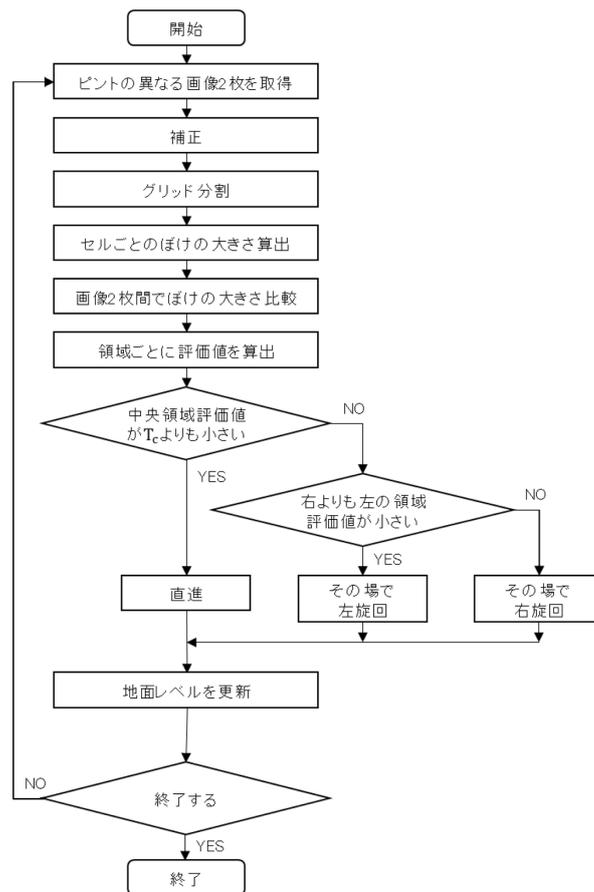


Figure 13. フローチャート

4.3 実験

カメラの取り付け角度は、ロボットが平坦な地面上に置かれた際に転換点が水平な線として画面の中央に位置するように設定した。カメラの横軸方向の解像度は 320 ピクセルとした。画角が 60° であるため、この分解能はハエトリグモの主眼と同程度の 1 ピクセルあたり $320 \div 60 = 0.19^\circ$ である (Land, 1969)。カメラで取得した画像の輝度は 1 画素あたり 8 ビットで量子化し、画像処理の際のグリッドの分割数は 10×10 とした。また、中央領域とする幅は 8 セルとした。アルゴリズム中で使用する通行可能を判断する閾値の値は $T_c = 20$ とした。

ロボットを障害物が設置された台の上に置き、動作を開始させた。台と障害物にはハエトリグモが行動する自然環境の複雑なテクスチャを再現するために新聞紙を表面に貼り付けた。

4.4 実験結果

様々な初期位置からロボットを走行させたところ、ロボットは、障害物や崖が目前に現れたとき、これらを避けて旋回する行動をとることが確認された。Figure 14 に実験で観測されたロボットの動きの一例を示す。また、Figure 15 に走行中にカメラで取得された画像と、それらを処理した結果の画像の例を示す。また、Figure 16 に時間経過に対する地面レベルの変

化を示す。これらの結果から、障害物を避けながら、落下することなく地面上を走行可能であることが確認できる。

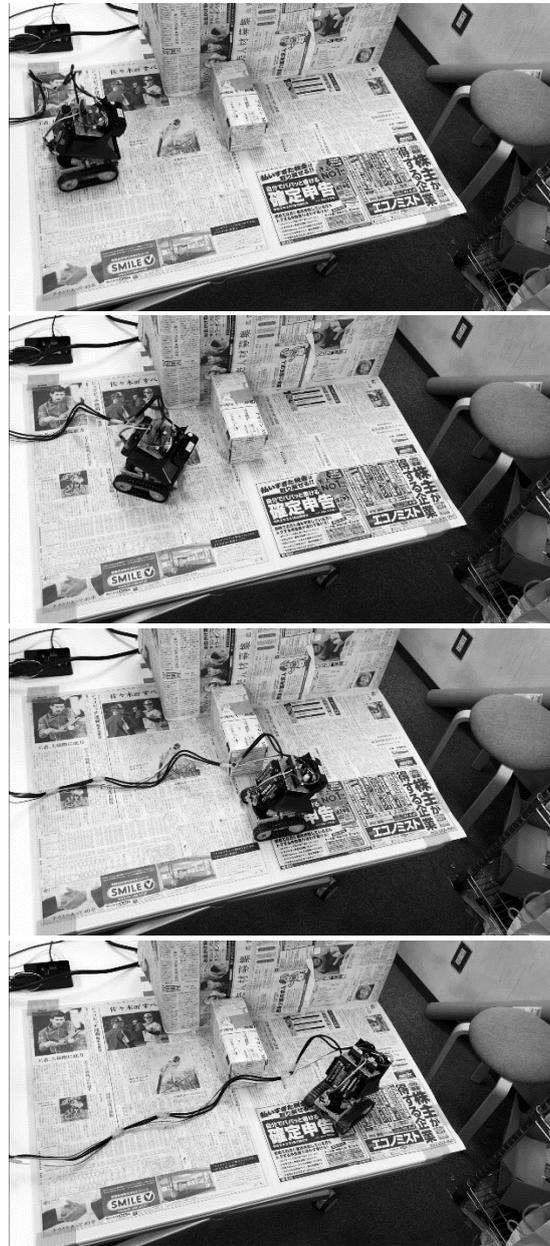


Figure 14. ロボットの動き



(a)

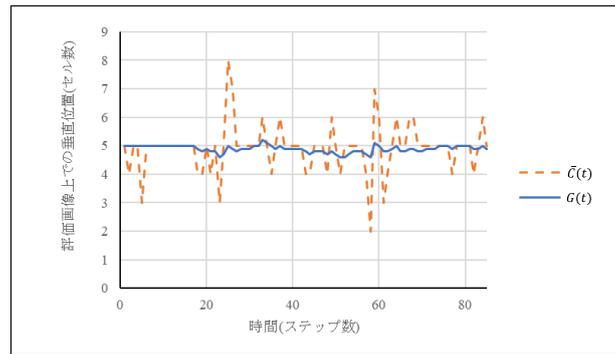


(b)



(c)

Figure 15. 取得画像(a)(b)と処理後の画像(c)

Figure 16. 時間経過に対する $\bar{C}(t)$ と $G(t)$ の変化

5 考察

5.1 間隙の通過について

実験結果から、2枚のボケ画像を比較するという演算処理の比較的少ない方法で、障害物や窪みを避けながら移動することが可能であることが確認された。ここでは、その結果を踏まえ、移動可能な地面が存在することに加え、間隙の通行判別に相当する「障害物との接触」について、その必要条件を幾何学的考察する。

Figure 17 に示すように、障害物 A と障害物 B の左端は、視野画像上では同一の場所に投影される。しかし、このままロボットを前進させた場合には、障害物 A には接触しないが、障害物 B には接触してしまい、一般に、通行可否の判断を正しく行うことが不可能である。

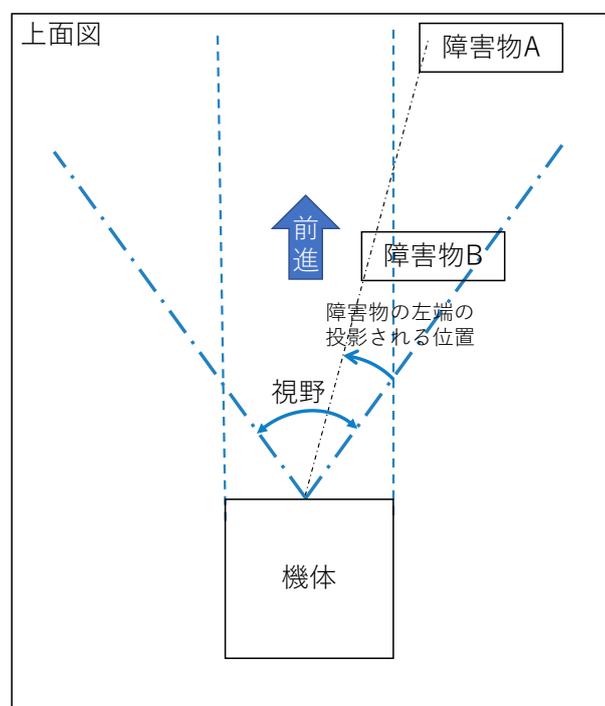


Figure 17. 間隙通過における通行可能性の判断

一方、提案した手法では、十分に短い間隔で環境認識を行えば、通過不可能な間隙を避け

ながら移動することが可能である。以下に間隙通過を可能とするための条件について述べる。

Figure 18 に、平面上を移動する際の、ロボットの車幅 w と間隙の幅との関係を示す。ここで、 θ_c は、通過可能か否かを判断する領域 (Figure 12 の Center の領域) を画角で表したものであり、 l_2 は、ロボットから転換点までの環境上での距離である。このとき、転換点における間隙の大きさを円弧を用いて近似すると、 $l_2 \cdot \theta_c$ となる。一方、車幅と円弧とがほぼ等しなるときの距離を l_1 と置くと $l_1 \cdot \theta_c \approx w$ より、間隙を通過可能な条件は、

$$l_2 \cdot \theta_c > l_1 \cdot \theta_c \Rightarrow l_2 > l_1 \tag{6}$$

もしくは、

$$l_2 \cdot \theta_c > w \Rightarrow \theta_c > w/l_2 \tag{7}$$

と表すことが出来る。ここで、(7)式を構成する3つのパラメータは、全てロボットに依存するパラメータであり、環境に依らない値であることから、(7)式を満たすようにロボットを設計することで間隙の通行可否の判断が可能となる。生物の観点では、(7)式を満たすように先天的に身体が構成されていれば、環境に依存せず、後得的な学習を必要とせず、間隙の通行可否の判断を行うことが可能となる。

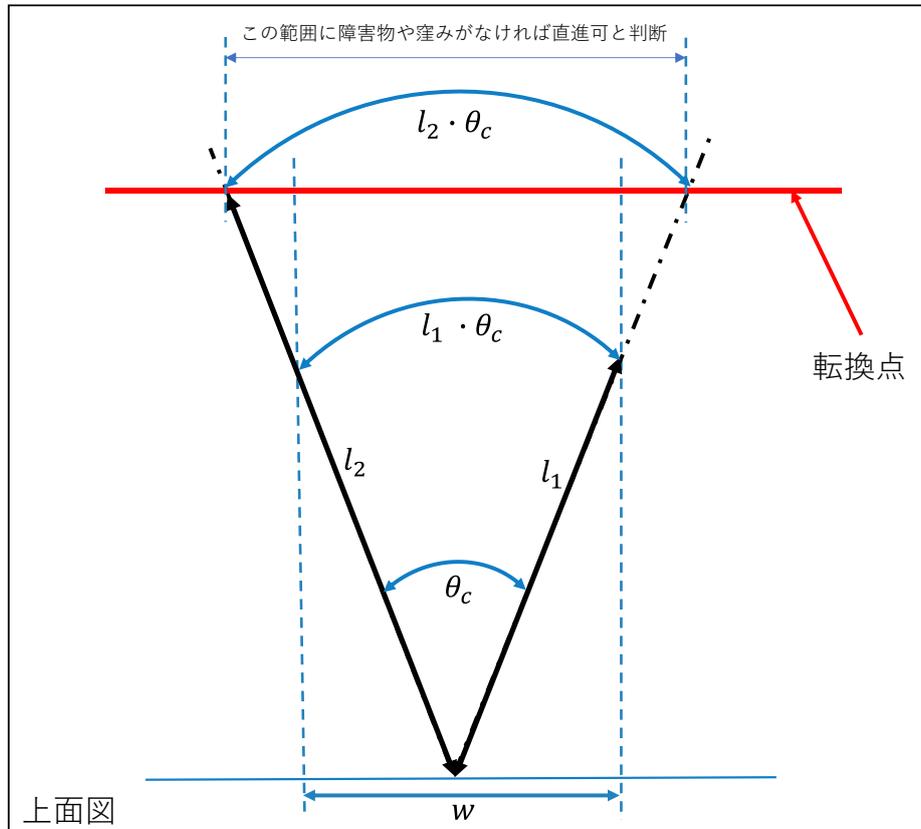


Figure 18. 間隙通過を行うための条件

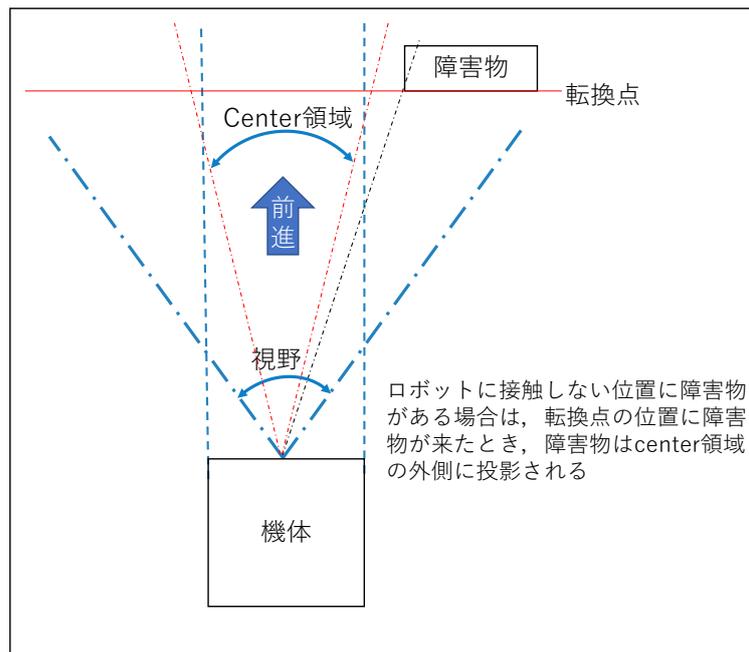


Figure 19. 直進可能な場合

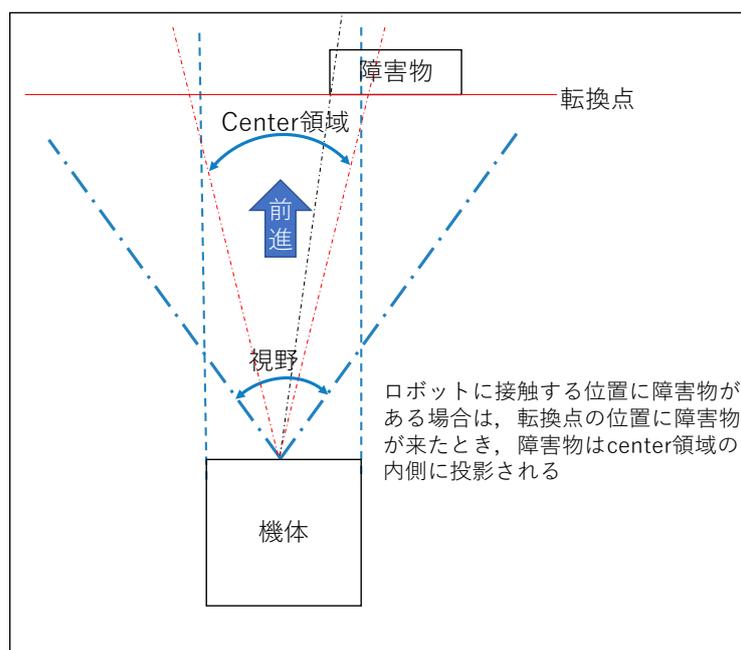


Figure 20. 直進不可能な場合

例えば、この条件を満たすとき、通行可能な場合と不可能な場合は、それぞれ Figure 19 および Figure 20 のようにそれぞれ適切に判断される。 Figure 17 の例では、障害物 B が、Figure 17 のような状況に至る前に、障害物 B が転換点に差し掛かった時点で Figure 20 の状態となり、回避行動が行なわれることとなる。

5.2 複数の画像による判別の可能性について

本研究では、ぼけ量の異なる 2 枚の画像から、その差分を表す転換点画像を作成し、通行可能な場所を知覚することが可能であることを確認した。また、その際に崖や障害物のエッジに表れる転換点（不連続に位置が変化）と地面上に現れる転換点（連続的に位置が変化）を区別するために地面レベルという概念を導入し、過去の情報を平滑化することで一定の地面レベルを求める方法を提案した。

一方、ピントの異なる 3 枚以上のぼけ画像を用いた場合には、より直接的に地面レベルを求めることが可能であると考えられ、ここでは、その可能性について論じる。

例として、異なる 5 つのフォーカス距離を持つ画像を用いて説明する。それぞれのぼけ量をグラフ化したものを Figure 21 に示す。また、フォーカス距離 20cm の画像におけるぼけ量を基準として他のぼけ量との差分を求めたものを Figure 22 に示す。Figure 22 より、フォーカス距離によって転換点の位置が変化していることが分かる。

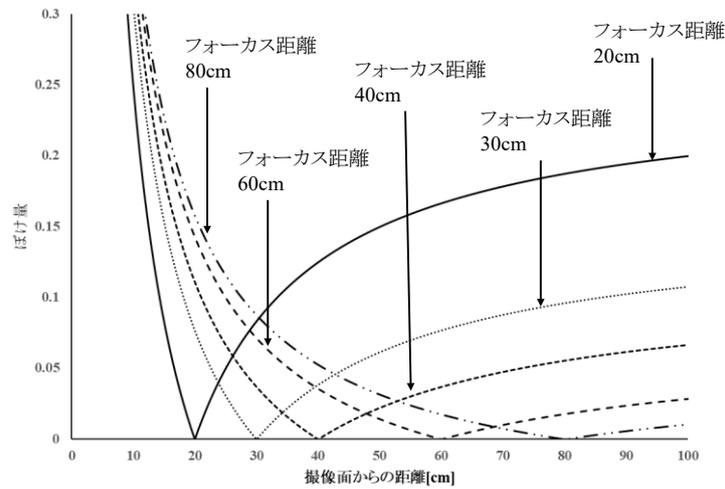


Figure 21. 5 つの異なるフォーカス距離の画像から得られるぼけ量の関係

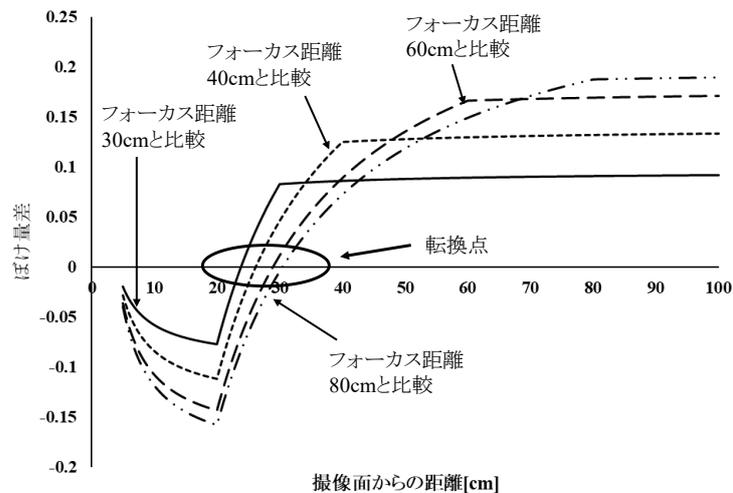


Figure 22. フォーカス距離 20cm のぼけ量との差分

ここで、滑らかで連続した水平面を撮影した場合について考えると、フォーカス距離の違

いによって転換点の位置は少しずつずれて行き、カメラから地面までの距離に応じて、Figure 23 に示すように、少しずつ異なる位置に転換点が現れる。

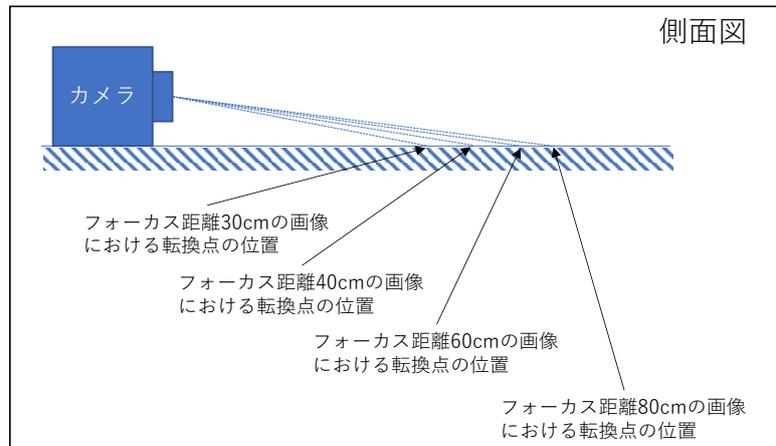


Figure 23. 滑らかで連続した水平面における転換点の位置

一方、地面上に凹凸が存在する場合の転換点の位置について考えると、窪みが存在する場合には Figure 24 のように、障害物が存在する場合には Figure 25 のようになり、どちらの場合も、フォーカス距離によらず、カメラからの距離が大きく変わる点に集中して転換点が現れる。

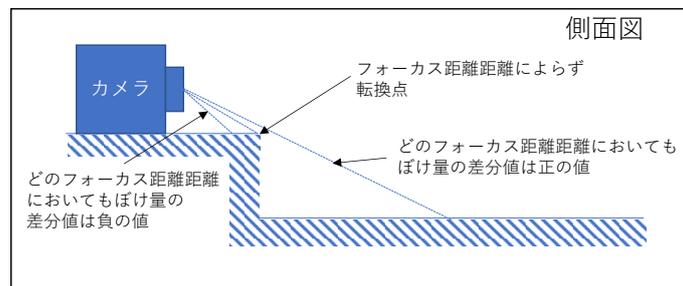


Figure 24. 窪みが存在する環境における転換点の位置

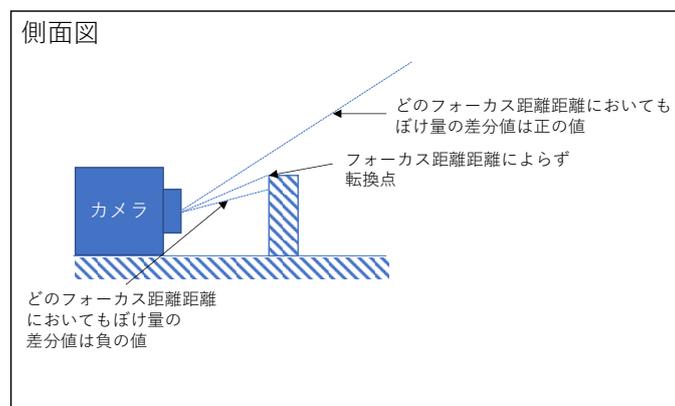


Figure 25. 障害物が存在する環境における転換点の位置

したがって、フォーカス距離の異なる画像を3枚以上用いることで、転換点の位置の変化から、その転換点が連続的な面上存在する転換点なのか、不連続な物体の境目に生じる転換

点なのかを判別することが出来き、ハエトリグモが持つ4重網膜構造においても同様のことが行われている可能性がある。

本研究では、ハーフミラーを用いて同一の画像を2つに分け、2台のカメラを用いてフォーカス距離の異なる画像を取得するという構造上、3枚以上の画像を取得することが出来ず、3枚以上の画像を用いた場合の有用性については、実験による検証には至っていない。今後は、ピントを調節可能なカメラを用いて、僅かな時間差を利用して複数の異なるフォーカス距離の画像を取得するなど、ロボットを改良し、3枚以上の画像を用いた場合の有用性についても検証を行う予定である。

5.3 結論

本研究では、ハエトリグモの目の構造に注目し、ハエトリグモは二つのぼけ画像の差異によって通行の可否を判断しているとの仮説を立て、小型ロボットを用いた実験により、その仮説の実現可能性を検証した。その結果、環境を3次元空間として認識することなく、また、障害物など、環境に存在する物体を個別に認識する必要もなく、単に2枚の画像のボケ量を比較するのみで通行の可否を判断して通行可能路を移動可能であることを確認した。今後は工学的応用など、実用化に向けた検討を行っていく予定である。

引用文献

- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston, MA: Houghton, Mifflin and Company.
- Heinze, S. (2014). Neurobiology: Jumping spiders getting on board. *Current Biology*, 24(21), 1042-1044.
- Land, M. F. (1969). Structure of the retinae of the principal eyes of jumping spiders (Salticidae: Dendryphantinae) in Relation to Visual Optics. *Journal of Experimental Biology*, 51(2), 443-470.
- Nagata, T., Koyanagi, M., Tsukamoto, H., Saeki, S., Isono, K., Shichida, Y.,... Terakita, A. (2012). Depth perception from image defocus in a jumping spider. *Science*, 335, 469-471.
- Tarsitano, M. (2006). Route selection by a jumping spider (*Portia labiata*) during the locomotory phase of a detour. *Animal Behavior*, 72(6), 1437-1442.
- Warren Jr, W. H., & Whang, S. (1987). Visual guidance of walking through apertures: Body-scaled information for affordances. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13(3), 371-383.
- Zhou, S., & Sim, T. (2011). Defocus map estimation from a single image. *Pattern Recognition*, 44(9), 1852-1858.
- Blest, A. D., Hardie, R. C., McIntyre, P., & Williams, D. S. (1981). The spectral sensitivities of identified receptors and the function of retinal tiering in the principal eyes of a jumping spider. *Journal of Comparative Physiology*, 145, 227-239.
- Koyanagi, M. (2012). ピンボケ度で距離を知るハエトリグモの目. *Nature ダイジェスト*, 9(6).
<https://www.doi.org/10.1038/ndigest.2012.120622>
- Hachimine, D., Takano, S., & Ito, K. (2019). How Do Jumping Spiders Perceive Passability: Experimental

Verification Using Small Mobile Robot. In L. Van Dijk & R. Withagen (Eds.), *Studies in Perception & Action XV*, pp.7-10.

(2021年2月14日受稿, 2023年1月3日受理)

特 集

特集：アート/表現の二重性 (duality)

佐藤 由紀 (玉川大学)¹ 青山 慶 (岩手大学)
佐々木正人 (多摩美術大学)

1 はじめに

J. J. Gibson はその生涯最後の本 (1979) の pictures and visual awareness と題された 14 章で ‘A picture can only be seen in a context of nonpictorial surfaces. (Gibson, 1979. p.272)’ と書いた。いわゆる画像視覚の「二重性 duality」の指摘である。

Gibson (1979) は、画像から得る知覚は包囲光から得る知覚よりも理解するのが難しいと前置きしたうえで、「画家にしても写真家にしても、自分が現実の場所やもの、人、出来事をまさに見ているという感じを、見る人に与えようとするべきではない。そんなことをする必要はないし、そうしようとしたところで、その努力は失敗に終わるに違いない」と指摘した。これは、画像がいかに精巧であったとしても、自然の不変項のすべてを提示することはできないためであり、また、環境の情報には限りがないからである。

開口視を強制されていない鑑賞者は、画像に提示されている何かについて知覚しながらその表面自体も知覚している。したがって画像は光景でもあり表面でもある。Gibson はこれを「二重性」と呼んだ。画家や写真家が「まかに見ているという感じを与えようとしている」のではないとすると、表現とは何に向かう活動なのか、また表現を鑑賞するものは何を体験しているのだろうか。これが本特集の中心となるテーマである。

2 生態心理学とアート/表現

日本における生態心理学のアートおよび表現に関連する文献として、2006 年に出版された『アート／表現する身体』（東京大学出版会）がある。ヒトはミーディアム（媒質）に露出した表面と身体を接続させることで知覚と行為を循環させ、例えば歩行といった行為を成立させている。佐々木 (2006) は、アートないし表現とよばれる活動は、ミーディアムに露出した表面と「新しい」身体の接続から生まれてくると指摘した。

ミーディアムに露出した表面と「新しい」身体の接続とはなんだろうか。「二重性」の観点から応えたとすれば、それは例えば、私たちが日常的におこなっている「歩行という行為」を洗い出し、それぞれのアートないし芸術が拠り所とする表面—例えば絵画であればキャンバスであり、写真であれば写真用紙やスマートフォン、映画であればスクリーンやテレビ、彫刻であ

¹ E-mail: yuki.satou@gmail.com

れば木や石、粘土や樹脂などのもつ表面の独自性を十全に理解して、鑑賞者にそれを差し出すことなのではないか。そこに「特殊性」や「熱気」は必要ない。ただ「表面自体」と「画像」があればよい。アートや表現は私たちの知覚と地続きであり、作家とは「表面自体」に収斂しつつ「画像」との同時性を知る者なのである。

佐々木(2006)に収められた研究を特徴づけるのは、アートや表現に深く魅了された者たちが「それを見続けること」によってはじめて立ち現れてくるような知覚経験があり、そのオリジナルな経験を捕獲するために「自前の方法」を作り出すことが相互に切り離せない形で成立している点である。生態心理学におけるアートないし表現の研究は、「知覚経験の終わらなさ」を根拠とする「見続けること」を動因とし、「方法を作り出す」という知覚行為循環に巻き込まれるようにして開始され、今も続いている。

3 特集掲載論文について

本特集では、「二重性」をキーワードとして、表現、アート、鑑賞、制作等を「見続けること(知覚し続けること)」で立ち現れる知覚経験の固有性に接近するような論文が投稿された。西尾・青山論文の「子どもの描画行為における二重性知覚の発達：なぐりがきにおける調整行為からの検討」は、幼児の家庭での描画行為を縦断的に観察し、画像の二重性にかんする知覚の発達について興味深い論を展開している。野澤論文の「文字造形に応じて動的に変化する書家の全身協調」は、書道熟達者の書字技能をコーディネーション(協調)の観点から検証をおこない、最終的には書字行為の発達システムを提示している。佐分利の研究ノート「アニメーションと生態心理学と『思想』」は、先に述べた『アート/表現する身体』における佐分利(2006)「アニメーションと自然の原理—アニメの風と自然の風」をさらに深め、アニメーションの作者や監督がこめた「意図」を「二重性」の観点から読み解こうとした挑戦的な論考となっている。ホンマの特別寄稿「最新の写真家の作品に見る画像の知覚における二重性」では、写真制作の現場でタブー視されてきた「画像の面のテクスチャーとそれを縁取る額装」について、Gibson(1979)の「二重性」や「不変項」といった生態心理学の単位を取り入れ、「あなたは何を見ているのか」という根源的問いに応える形で論を展開している。

アートないし表現の「意味」を、Gibsonの思想を礎にしながらヒトの動きや痕跡に求め、現場に居続けてきた者たちのつぶさな観察の報告をじっくりと読んでほしい。

引用文献

Gibson, J. J. (1979/1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (Original work published 1979)

佐分利敏晴(2006). アニメーションと自然の原理：アニメの風と自然の風 佐々木正人(編著) アート／表現する身体：アフォーダンスの現場 (pp.155-181) 東京大学出版会

佐々木正人(編著)(2006). アート／表現する身体：アフォーダンスの現場 東京大学出版会

子どもの描画行為における二重性知覚の発達： なぐりがきにおける調整行為からの検討

西尾 千尋（中京大学）¹ 青山 慶（岩手大学）

古典的な描画の発達研究は主に描かれた図像の形態の変化に着目し、意味のないなぐりがきからシンボルへ、単なる運動の痕跡から透視図法的なリアリズムへという図式を前提にしていた。本研究では描かれた形態やシンボルの現れを問題とせず、描画の発達に関わる根本的な問いとして、面の二重性の知覚がどのように進むのかを検討した。1名の幼児の家庭での描画行為を縦断的に観察し、痕跡を残す行為において、描画面の性質が行為の調整に影響を与える場面に焦点を当てた。描き始め、描画面のずれに対する調整、描画面からはみ出した時、描画を停止し引いて見る時、描画を停止し描画面にシールを貼る行動を観察した。事例に基づき、描画面それ自体、物としての知覚は、画具と面との接触によりもたらされること、それと同時に表示としての不変項も知覚され始めていることについて考察した。

キーワード：なぐりがき、描画行為の発達、画像知覚、二重性

The Development of Duality Perception in Children's Drawing: Adjusting Behavior in Scribbling

Chihiro Nishio (*Chukyo University*) Kei Aoyama (*Iwate University*)

Classical studies on the development of drawing, which have discussed this development as the transition from meaningless traces to symbols or as mere traces of movement to perspective realism, have focused mainly on changes in the form of the drawn image. The present study did not focus on these forms or symbols but examined how the perception of duality of the picture develops as a fundamental question in the development of drawing. We conducted a longitudinal study where we observed a child's drawing at home and focused on situations in which the nature of the surface affected the act of leaving traces. These situations included starting to draw, adjusting the surface position when it slipped, drawing tools running off from the surface edge, stopping and looking at the drawing, and adding stickers to the drawing. Based on the case studies, we discussed that the child perceived the invariant of the surface as drawable material, which was based on the contact between the surface and the drawing tool, and that she started perceiving the invariant of the display.

Keywords: scribble, drawing development, picture perception, duality

1 問題

描画行為の発達は古典的には一方向的な発達段階として捉えられてきた。発達段階説は自分

¹ 現在の所属は甲南大学. E-mail:c-nishio@konan-u.ac.jp

の子どもの描画行為の詳細な観察に基づく Luquet (1927 須賀監訳 1979), 記号的表現の現れに焦点を当てた Kellogg (1969 深田訳 1971), 教育との関連で論じた Lowenfeld (1947 竹内・堀内・武井訳 1963) など影響力を持ったものが多く存在するが、概ね類似した流れである。Luquet が自らの子どもの描画を中心に観察し、分類した研究は Piaget & Inhelder (1966 波多野・須賀・周郷訳 1969) が参照し、知能の発達段階と並行するものとして理解されている。これはそれ以降の描画の発達研究に影響を与えた。多くの描画の発達段階説は、なぐりがきから、初期の記号的・シンボリック表現へ、透視図法的な見えではなく、知っていることを描く知的リアリズムという段階を経て、ある観点からの見えを二次元に再現する透視図法を用いた再現的表現へという道筋を想定している。

人の最初期の描画行為はなぐりがきと呼ばれ、それは Piaget (1937 Cook 訳 1954) の理論で言えば感覚運動期にあたるもの、具体的な意味以前のものとして捉えられてきた。古典的な描画の発達段階説は意味のある表現、写実に至る前の段階としてなぐりがきを捉えている。なぐりがきそれ自体には運動感覚的な喜びがあり、自分が描いたものを見ることは子どもに自信をもたらすが、それ以降と比較して未熟でランダムなものであり (Lowenfeld, 1947 竹内・堀内・武井訳 1963), 上手く描かれていないリアリズムの失敗 (Luquet, 1977 須賀監訳 1979) である。一方で、そうした古典的な描画の発達理論を批判する研究も行われてきている。なぐりがきを全くランダムな無意味なものとして捉えず、初期のなぐりがきにもコミュニケーションの意図があったとした研究や (Longobardi, Quaglia, & Lotti, 2015), 乳幼児の知覚発達に注目し、なぐりがきもリーチングや物を触ることなどの探索的行動の延長に位置づけられるべきであると主張する研究も行われている (Matthews, 2003)。

なぐりがきと呼ばれている初期の描画行為は、Gibson の用語では基本的な描画行為 (fundamental graphic act) として捉えられる。Gibson (1966 佐々木・古山・三嶋監訳 2011, 1979 古崎・古崎・辻・村瀬訳 1985) は描画行為の基本に、面の上に痕跡を残すこと、trace-making を位置付けた。Gibson は trace-making を幅広く捉えており、線で痕跡を残すことを基本的な描画行為 (fundamental graphic act), 溝をつけたり掘ったりすることで痕跡を残すことを基本的な造形行為 (fundamental plastic act) と呼んだ。この2つには明確な区別はなく、基本的な描画行為から彫刻などの造形行為が分かれていくと考えられている。

Gibson の画像知覚理論において重要な点は、写真や絵画といった人の手が加えられた面は、知覚に二重性を生じるという主張である。痕跡は面の上に持続し、その面以上のものとしての情報を示す表示 (display) を生じる。人の手で残された痕跡は面そのものの知覚と同時に、変更された光の配列がもたらす知覚の二重性を持つ。写実的な絵画や写真があたかも本物であるように見える、という出来事においても、そこには必ず描かれた面と表示の二重の知覚が生じている²。Kepler や Helmholtz に端を発した古典的な心理学や絵画の理論では、リアルな絵画

² 若林はマチスのデッサンについて、「マチスのデッサンを見ると、マチスは紙の持っている白さの意味を非常によく知っていたのではないかと思う。一つの線によって、紙の白さがその白さではない、別のものに

の知覚を、三次元の外界のある点が二次元の画面上の点に一对一に対応する光学的なコピーで説明しようとしてきたが、Gibson はそれを批判した。Gibson によれば日常における環境の知覚も画像の知覚も同様に、二次元の形態からの三次元の再生ではなく、そこに含まれた光学的な配列の中の変化しない構造である不変項のピックアップである。基本的な描画行為で残される痕跡を繰り返し見ることで、子どもは線がまっすぐであったり、曲がっていたり、痕跡には始まりと終わりがあることなど、描いたものの中にある特徴、すなわち不変項に気付き始める (Gibson, 1979 古崎・古崎・辻・村瀬訳 1985)。

描画行為の基本には、表面に手を加えて痕跡を残すこと、そこに残った痕跡を見ることがある。Gibson & Yonas (1967) はなぐりがきにおける視覚的フィードバックの必要性を指摘した。乳幼児を対象に、色のつく画具と、それとそっくりな外見だが色がつかない画具を模したものを渡したところ、色のつく「描ける」画具に比べると色のつかない画具では描画時間が短かった。描画行為が継続されるには、運動感覚や触覚だけではなく、その画具が痕跡を残すことが必要である。西崎 (2015) は Gibson の理論に基づき、基本的な描画行為と造形行為の萌芽を日常の観察から示した。乳幼児が布のシワを伸ばしたり、液体を広げたりといった自発的に環境に痕跡をつける場面を観察し、その際に自らがつけた痕跡に対して変更行為を複数回行った場面を分析している。乳幼児が自分の行為の結果生じた表面の変化に対し、視覚的、触覚的に探索していることが示された。一方で、これらは、乳幼児のなぐりがきにおけるフィードバックの必要性や、表面の変更行為に焦点を当てているという点で二重性に関連するものではあるが、二重性の知覚について明示的に論じてはいない。

本研究では、これらの研究をふまえ、最初期の基本的な描画行為、いわゆるなぐりがきにおける二重性知覚の発達プロセスについて検討する。なお、Gibson & Yonas (1967) も指摘しているように、基本的な描画行為は特に表面の肌理の変更であり、造形行為とは異なる発達のプロセスを辿る可能性があるため、本研究では光学的な変化である基本的な描画行為のみを扱い、形の変形である基本的な造形行為は扱わない。

本研究の目的は、表現の二重性知覚の発達の基本に、表現する場所としての面の発見があることを明らかにすることである。二重性を知覚することが表現の基本にあり、その発達は描画行為の発達とともに起こると考えられる。そのために、本研究では、痕跡を残す行為において描画面の性質が行為の調整に影響を与える場面の観察を行う。痕跡を残すことと、それを見ることに関連し、描画行為の調整が動画で観察可能な幾つかの出来事に絞って観察する。

この目的のために本研究では 1 名の幼児の家庭での描画の縦断的な観察を行った。予備的な観察より、いくつかの調整行動に焦点を当てることとした。描画行為の調整行動としてはまず、画具を面に接触させる描き始めと、残した痕跡を描画を停止して見ることが挙げられる。

なっていく。(中略) マチスの場合、紙の白さというものが、一本の線を引いたことによって、紙のもつ白さではなくて、その白が表現の中に含まれてくる、と思える」(若林・前田, 2001 pp.132-133) と、紙の白さとそれとは別の白さという二重の知覚が生じる場面について述べた。このことは、線の形態だけではなく、線が描かれることで面の知覚に生じる変化の重要性を指摘している。

さらに、描画中に紙がずれてうまく描画できなかつたり、描画面からはみ出した時の行動を観察する。最後に、観察した幼児は描画を終えてその描画面にシールを貼るという行為を度々行った。この出来事も描画面の仕上げの調整として観察に含めることとした。

2 方法

2.1 対象児

1名の幼児（女児A）の2歳2ヶ月から3歳2ヶ月までの約13ヶ月間、自宅での描画シーンを分析の対象とした。3歳児健康診査では発達上の問題は指摘されず健康であった。対象児の養育者には研究の主旨を書面と口頭で説明し、研究参加の同意を得た。本研究は著者の所属大学の倫理審査と承認を受け実施された。

2.2 データ収集方法

Aの母親に、家庭で絵を描いて遊ぶ時にビデオ撮影を行ってもらうよう依頼した。絵を描いていることに気がついた時にもなるべく撮影するように依頼した。母親の働きかけについては研究者から特に指示を出さず、普段通りに接するよう伝えた。撮影された動画にはクレヨンやペンによる描画のほかに、手のひらに絵具を塗ってスタンプのように紙に押し付ける「ペッタン」と呼ばれる出来事も含まれていた。「ペッタン」の際には紙の面よりも手に色を塗ることに関心を示し、他の画具を使った描画とは性質が異なったため、本研究では画具を使った描画行為のみに限定して観察を行った。観察対象とした動画の撮影回数と撮影時間をTable 1に示す。同日に複数回撮影があった場合はそれぞれを1回とした。撮影合計時間は約7時間50分だった。

Table 1. 撮影回数と撮影合計時間

	年齢（撮影月）												
	2y2m (12月)	2y3m (1月)	2y4m (2月)	2y5m (3月)	2y6m (4月)	2y7m (5月)	2y8m (6月)	2y9m (7月)	2y10m (8月)	2y11m (9月)	3y0m (10月)	3y1m (11月)	3y2m (12月)
撮影回数（回）	13	13	12	8	3	1	3	1	2	1	6	7	6
撮影時間（h:mm:ss）	1:29:35	1:03:13	1:14:45	0:35:12	0:19:01	0:01:50	0:10:58	0:04:18	0:14:24	0:17:35	1:00:43	0:38:13	0:40:57

2.3 事例分析

痕跡を残すことと、それを見ることによる描画行為の調整が動画で観察可能な幾つかの出来事に絞って事例の記述を行った。具体的には、①画具を面に接触させる描き始め、②描画中の描画面のずれに対する調整、③描画面からはみ出し時の行動、④描画の停止時の描画面から距離をとって引いて見る行動、⑤描画を停止し描画面にシールを貼る行動、の5つの種類の痕跡を残すことに関する行動について、特徴的な事例をピックアップした。それぞれの行動の定義をTable 2に示す。

Table 2. 痕跡を残すことに関連して観察を行った行動

項目	内容
描き始め	紙などの面に一連の描画が始まる際、最初に表面にペンやクレヨンなどの画具が接触すること。
ずれる	描画中に描いている紙などの表面が腕の動きなどでずれること。
はみ出る	描画中に描いている紙などから、机や床などに画具による線がはみ出ること。
引いて見る	描画を停止し、離れて眺めたり、持ち上げて見ること。
シールを貼る	描画を停止し、描画面にシールを貼ること。

3 結果と考察

3.1 描き始め

紙などの面に一連の描画が始まる際、最初に表面にペンやクレヨンなどの画具が接触する前後の出来事を観察した。以下に特徴的な事例を時系列に示す。なお、事例番号の後には年齢(年齢, 月齢, 日齢)を示す。

3.1.1 描き始めの事例

【事例 1 (2y3m12d)】

机上の紙に、ペンでの描画。ペンの色がつくかが問題となる事例である。

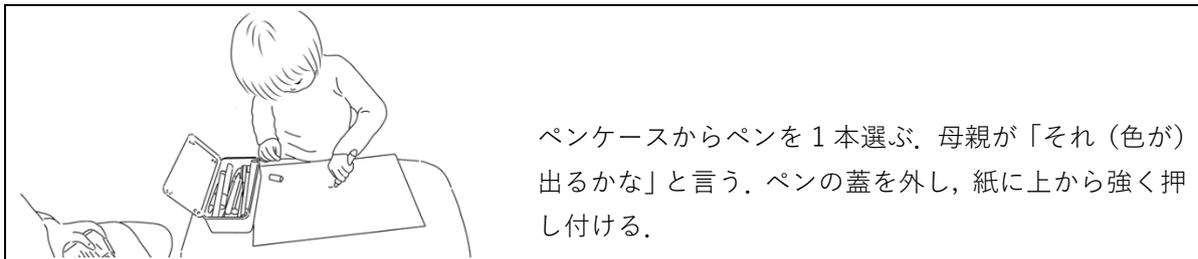


Figure 1 描き始めにペンの色を出そうと押し付ける

【事例 2 (2y3m14d)】

机上のティッシュケースに、ボールペンでの描画。事例 1 と同様に、ペンの色がつくかが問題となる事例である。

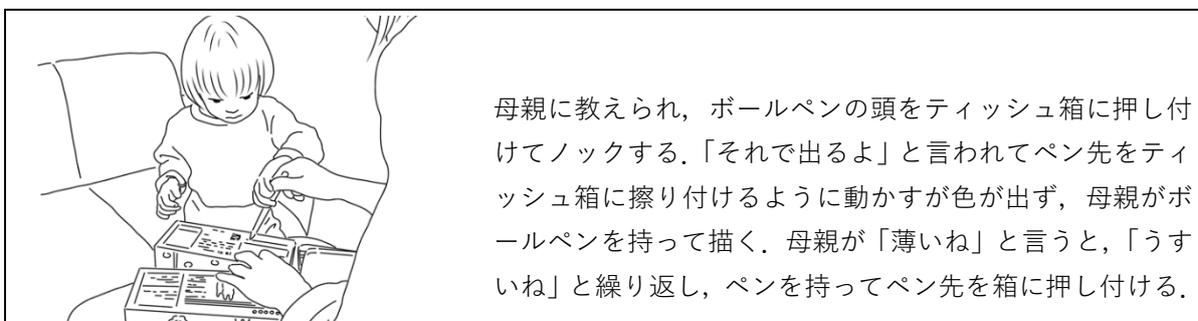


Figure 2 描き始めにペンの色を出そうと押し付ける

【事例 3 (2y8m2d)】

壁に貼られた紙に、クレヨンでの描画。すでに紙にある他者が描いた痕跡の周囲に描く事例である。

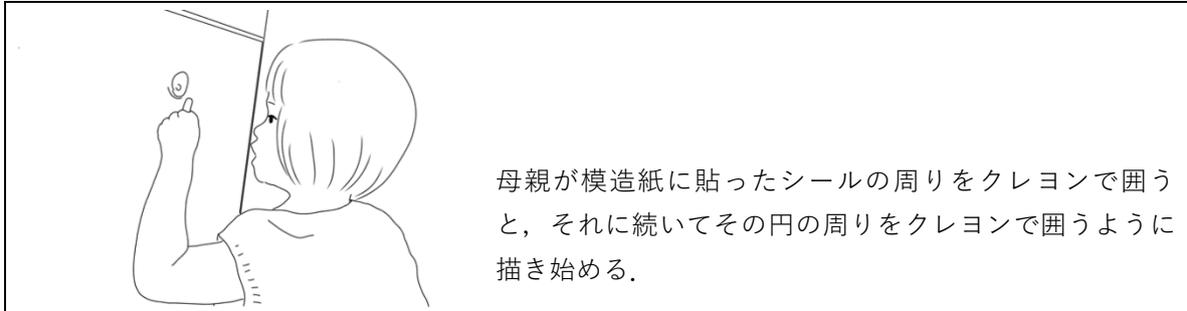


Figure 3 母親が描画した線を囲うように描画し始める

【事例 4 (2y11m1d)】

机上の紙に、クレヨンでの描画。事例 3 と類似し、すでに紙にある痕跡の上に描く事例であり、より痕跡を残しやすい持ち方にクレヨンを持ち変える行為が含まれていた。

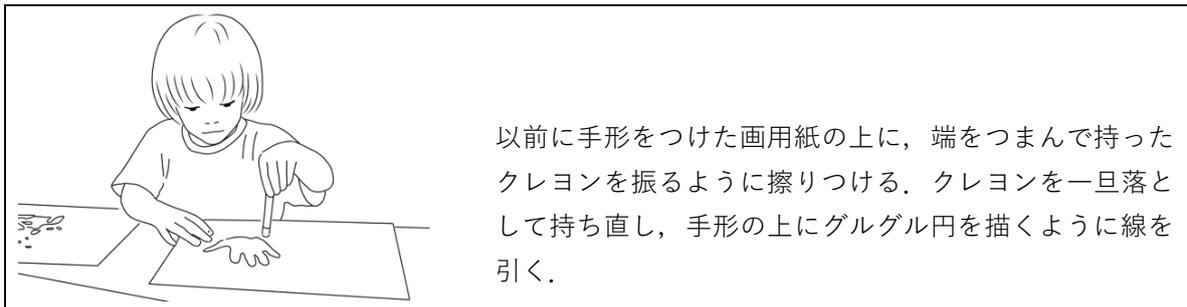


Figure 4 以前つけた痕跡の上に描画する

【事例 5 (2y11m25d)】

ガラスの机上の T シャツに、クレヨンでの描画。事例 1, 2 と類似した、画具の色がつくかが問題となる事例である。

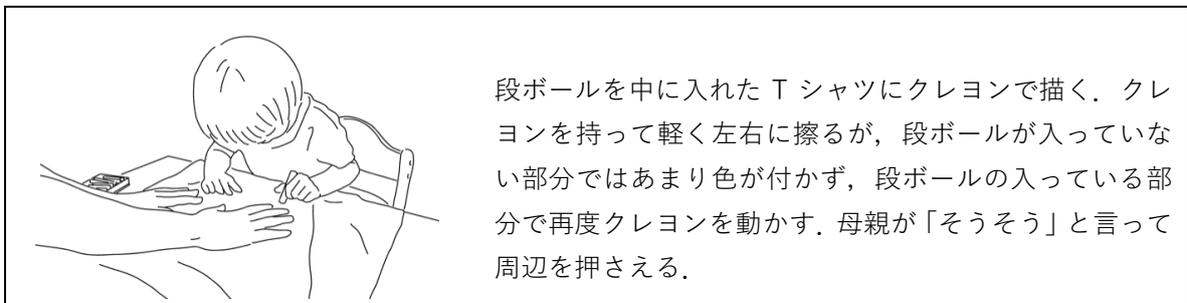


Figure 5 柔らかい布に描画する

【事例 6 (3y0m28d)】

机上の絵本に、クレヨンでの描画。事例 3, 4 と類似した、すでに描画面になんらかの痕跡や模様がある面への描画である。

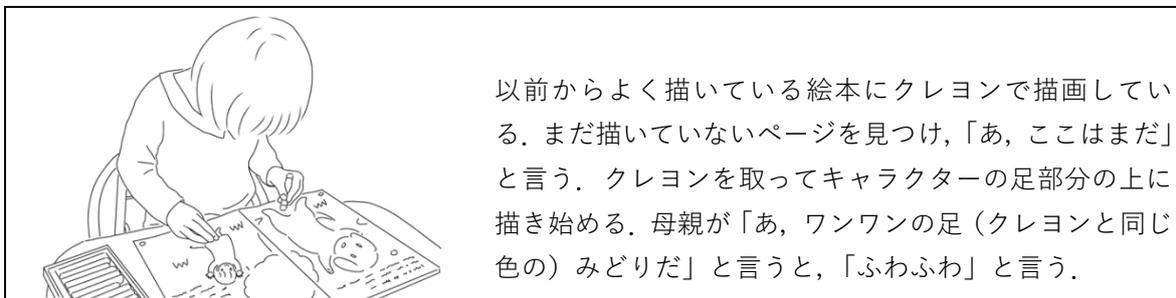


Figure 6 絵本に描画する

【事例 7 (3y1m19d)】

冷蔵庫のホワイトボードシートへの描画。事例 3, 4, 6 と類似するが、すでに表面にある物が立体であり、描画前に配置換えを行う事例である。

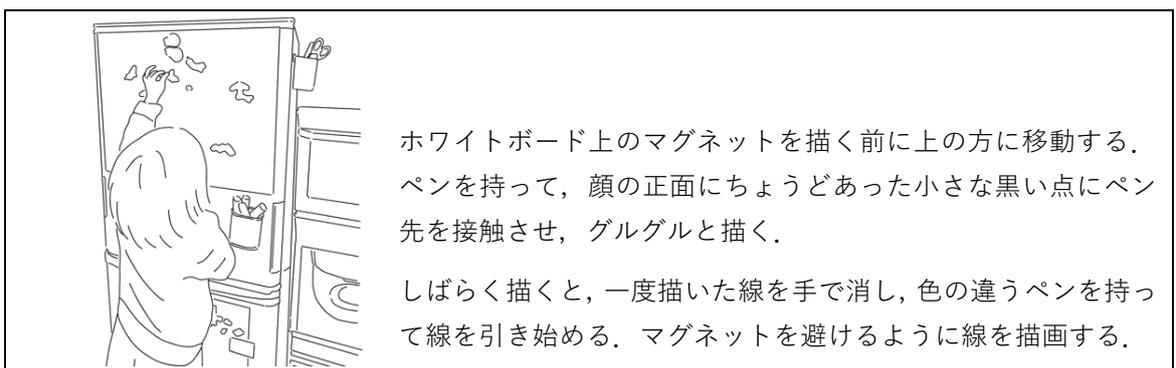


Figure 7 描画前に表面にあった物の配置換えをする

3.1.2 描き始め事例のまとめ

描き始めには、その画具が痕跡を残すかどうかを確かめる行動が含まれていた。事例 1, 2 では画具を強く押しつけ、事例 4 では画具を持ち直す行為が見られた。また、事例 5 では描画面とその下の面の硬さの関係で、より痕跡が残りやすい場所が探索されていた。

また、描き始める際にすでに他者の痕跡や模様がある面への描画が見られた。事例 3 の母親が描いた線や、事例 4 の自らが以前に手に絵具をつけてスタンプした手の跡、事例 6 の絵本の印刷、などがそれに当たる。事例 7 では、ホワイトボード上のマグネットを並べ替えるなど、事前に描く面のレイアウトを変えて描き始めることもあった。

3.2 ずれる

描画中に描いている紙などの表面がずれた際の出来事を観察した。以下に特徴的な事例を時系列に示す。

3.2.1 描画中に紙がずれる事例

【事例 8 (2y2m7d)】

ガラスの机上で、紙にクレヨンでの描画。紙がずれて描画できず、描画を停止する事例。

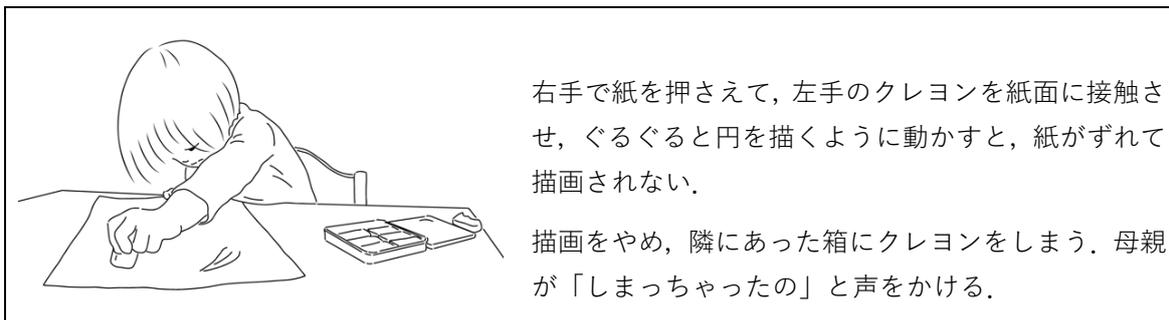


Figure 8 ぐるぐると円を描く動きで紙がずれる

【事例 9 (2y2m7d)】

ガラスの机上で、紙にクレヨンでの描画。事例 8 と同様に、紙がずれて描画できず、描画を停止する事例。

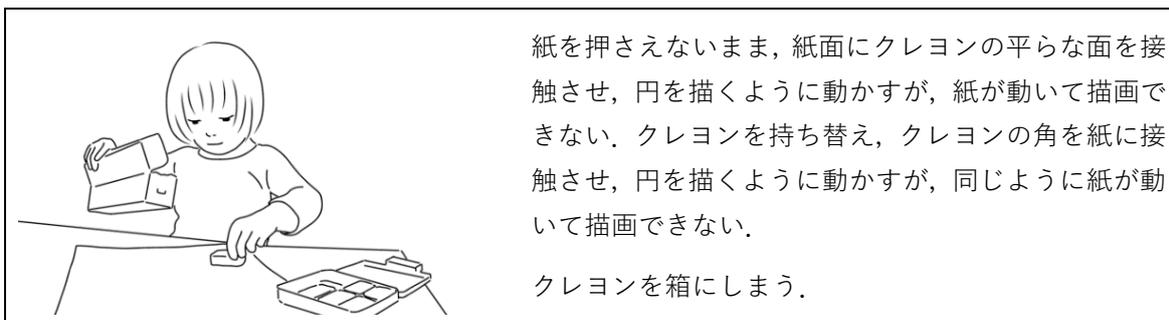


Figure 9 クレヨンを持ち替えるが紙がずれる

【事例 10 (2y2m8d)】

机上の紙に、筆ペンでの描画。事例 8,9 と同様に紙がずれて描画できず、紙を押さえる事例。

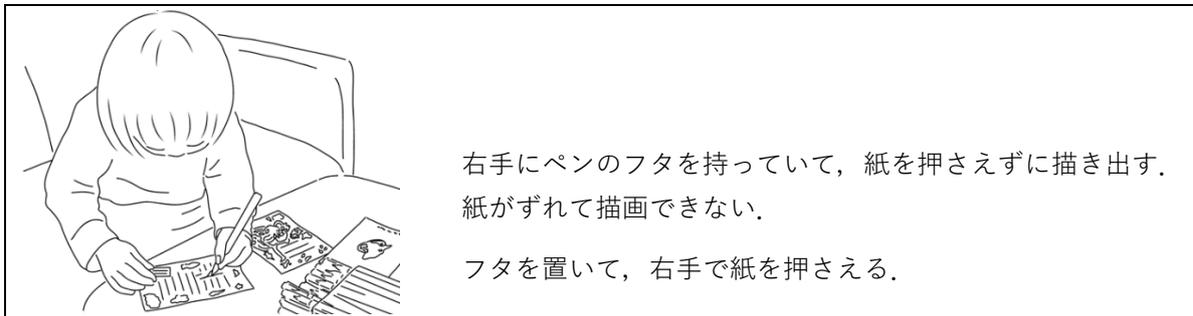


Figure 10 紙を押さえずに描き始めた後に紙を押さえる

【事例 11 (2y4m3d)】

ガラスの机上の紙に、筆ペンでの描画。事例 8,9,10 と同様に紙がずれて描画できず、母親が紙を押さえる事例。

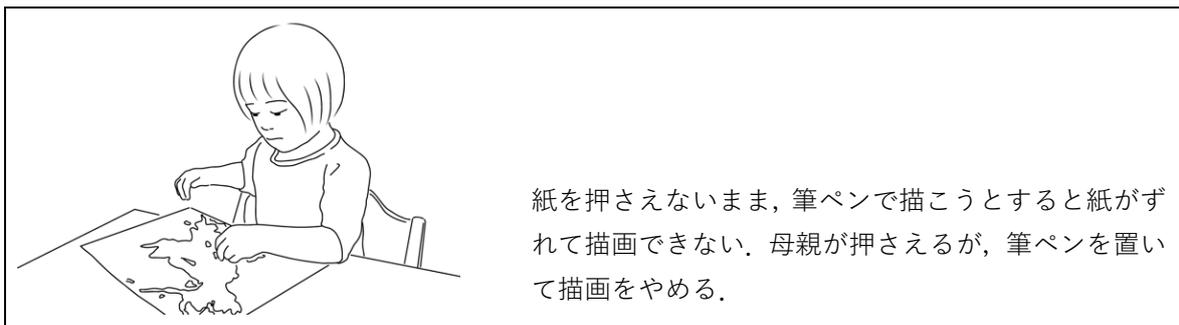


Figure 11 紙を押さえずに描き始めて母親が押さえる

【事例 12 (2y7m9d)】

机上の紙に、クレヨンでの描画。他の事例と同様に紙がずれて描画できず、押さえ方を変える事例である。

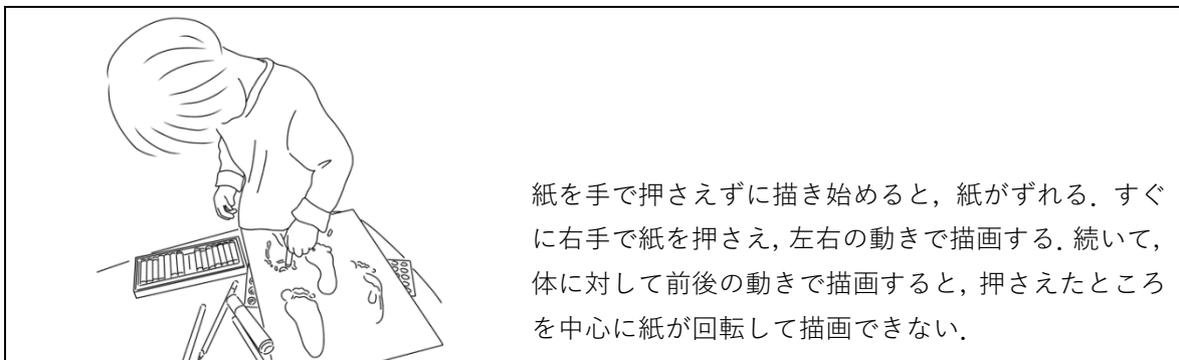


Figure 12 紙を押さえずに描き始めた後に紙を押さえ、押さえ方を変える

3.2.2 ずれる事例のまとめ

机上で描画を行う場合は、ガラスや木材のテーブルの上に紙が乗っていたため、画具を持って力を加える方向と、押さえる場所の関係では紙がずれて画具が痕跡を残さなかった。紙がずれて痕跡がつかなかった際、その後の展開は、事例 8, 9, 11に見られたように描画自体をやめる、事例 11, 12のように押さえる・押さえ方を変える、さらに事例 9, 事例 12に含まれるように画具の持ち方・描き方を変える、というバリエーションがあった。母親が押さえ方を変える時もあったが、それでも画具をしまい描画をやめることもあった。

3.3 はみ出る

描画面から画具がはみ出した際の出来事を観察した。以下に特徴的な事例を時系列に示す。

3.3.1 描画紙面からはみ出る事例

【事例 13 (2y2m7d)】

ドアに貼られたホワイトボードに、ペンでの描画。はみ出しを見ることが描画の停止と発声につながる事例である。

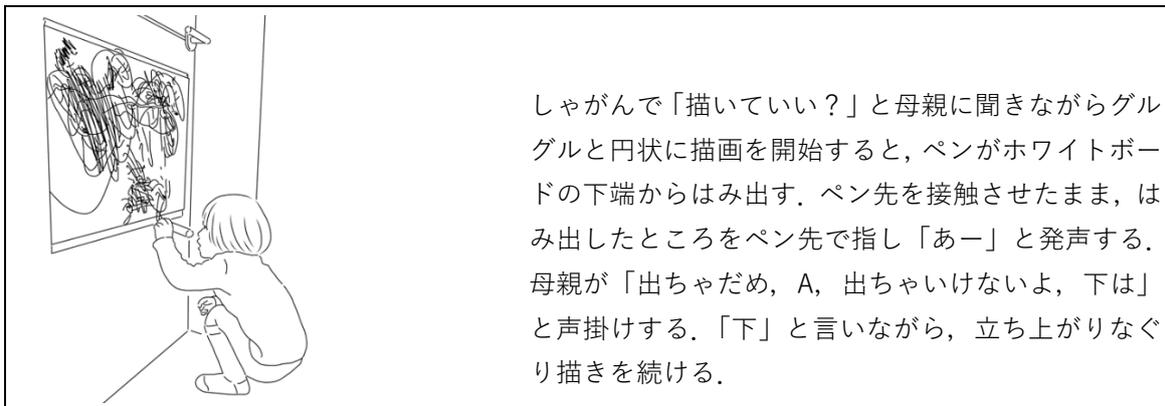


Figure 13 立位からしゃがみ位になって描画した際にはみ出す

【事例 14 (2y2m23d)】

ドアに紙を貼るために紙の隅に貼られたマスキングテープに、ボールペンでの描画。はみ出た際に母親に止められる事例。

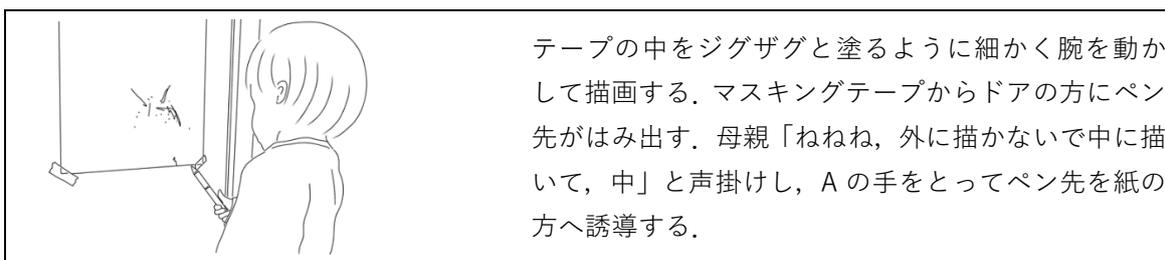


Figure 14 紙を壁に貼っている小さなテープに描画する

【事例 15 (2y2m28d)】

ドアに貼られたホワイトボードに、ペンでの描画。大きな動きの描画ではみ出て、事例 14 と同様に母親に止められる事例。



体を左右に大きく揺らしながらその動きで痕跡を残して描画していたところ、ホワイトボードの左端からペン先がはみ出す。母親が「はみでてるはみでてる。はみでちゃだめだよ」と声掛けしながら腕をおさえる。ホワイトボードの中心の方に移動して描画を続ける。

Figure 15 左右に大きく揺れながら描いてはみ出す

【事例 16 (2y3m7d)】

机上の段ボール紙に、クレヨンでの描画。事例 13 と同様に、はみ出たことについて発言する事例である。



紙面から机にクレヨンがはみ出す。机についたクレヨンを指さして「描いちゃった」と言う。

Figure 16 段ボールでの描画からその下の机にはみ出す

【事例 17 (2y11m21d)】

床上の絵本に、クレヨンでの描画。はみ出しが母親との遊びにつながる事例である。



グルグルと円を描いていると、クレヨンが絵本からはみ出し、床に痕跡が残る。はみ出したところを指さし、母親を見て笑う。再び、グルグルと円を描いていると、絵本の下端からクレヨンがはみ出す。しばらくしてから、はみ出した痕跡を指さして母親を見て「あっ」と笑う。

絵本は床の上から、段ボールシートの上に移動されるが、その後もクレヨンが絵本から段ボールにはみ出し、指差ししながら母親を見て笑う。

Figure 17 床の上の絵本に描画してはみ出し、指差して笑う

3.3.2 はみ出る事例のまとめ

描画の際に大きな動きであったり、描画面が極端に小さかったり、姿勢の関係で紙面の端に描いている際に、描画面から度々画具がはみ出して痕跡を残した。事例 13, 16, 17 のようにはみ出た際には描画を停止して発声したり指差ししたりと、はみ出たことに対して反応していた。一方、事例 14 のように小さな描画面からはみ出たり、事例 15 のように大きな動きの描画ではみ出て気づいていない時には母親に止められることもあった。事例 17 では、はみ出すことが母親との遊びになっていた。

3.4 引いて見る

描き始めから描き終わりまでの 1 回の描画には通常、複数回の描画の停止が含まれていた。その際に描画面から距離をとって引いて見た際の出来事を観察した。以下に特徴的な事例を時系列に示す。

3.4.1 引いて見る事例

【事例 18 (2y2m5d)】

机上の紙に、ペンでの描画。座位で紙面に顔を近づけて描いていた状態から、体を起こすことで距離をとって見る事例である。

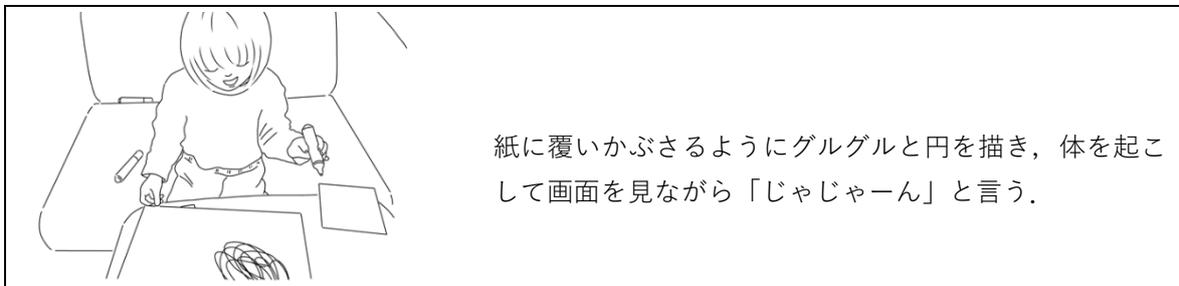


Figure 18 紙の上に覆いかぶさるように描画し体を起こして見る

【事例 19 (2y2m28d)】

壁に貼られた紙へ、ペンでの描画。垂直面への描画を停止し、歩いて紙面から遠ざかる事例である。

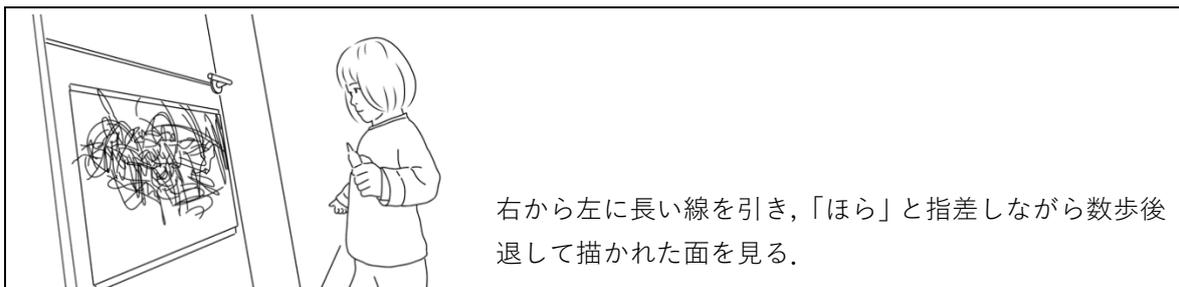


Figure 19 壁面の紙へ描画し、数歩離れて見る

【事例 20 (2y3m7d)】

壁に貼られた紙へ、ペンでの描画。事例 19 と同様の、垂直面への描画を停止し、歩いて紙面から遠ざかる事例である。

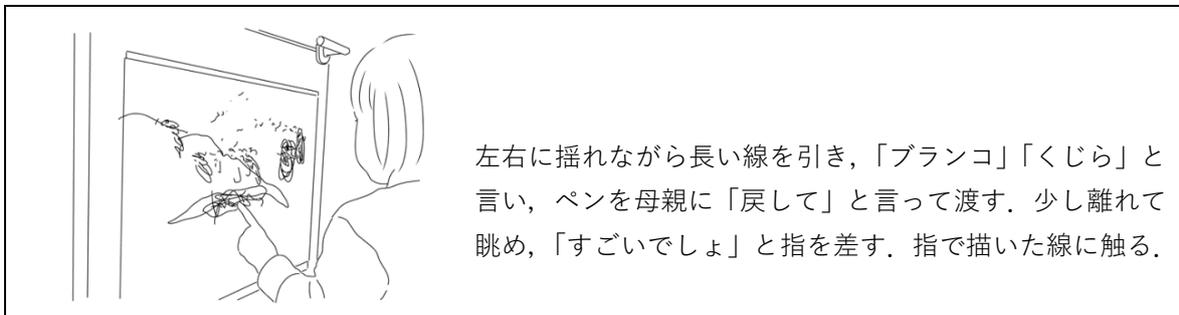


Figure 20 壁面の紙へ描画し、数歩離れて見る

【事例 21 (2y10m6d)】

座位で膝の上に置いた絵本への、クレヨンでの描画。事例 18 と同様の、座位で紙面に顔を近づけて描いていた状態から、体を起こすことで距離をとってみる事例である。

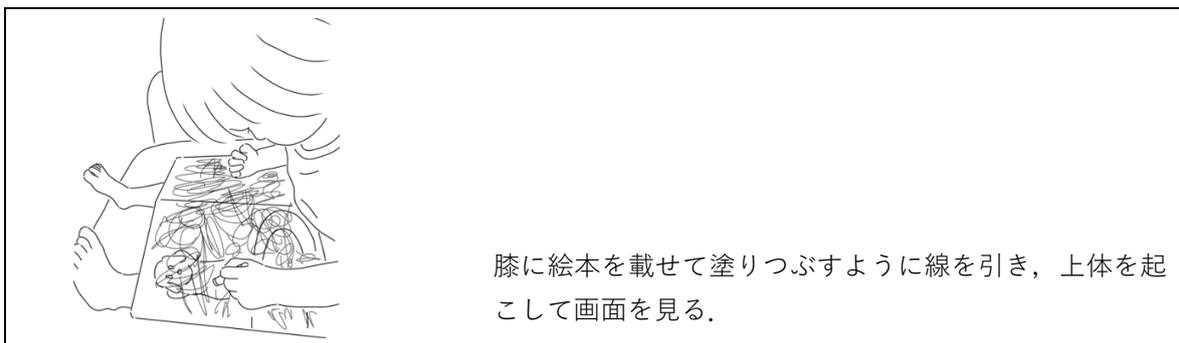


Figure 21 座位で膝の上に置いた絵本に描画して体を起こして見る

【事例 22 (3y0m9d)】

机上の折り紙へ、ペンでの描画。座位での描画を停止し、紙を持ち上げて距離をとって見る事例である。

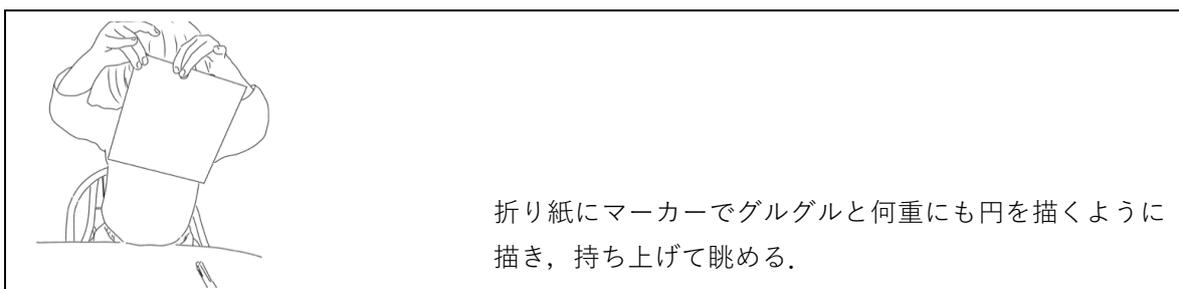


Figure 22 描画の後に紙を持ち上げて見る

3.4.2 引いて見る事例のまとめ

描画の停止した際に含まれる出来事には、画材の交換や母親との会話などの他に、距離をとってじっと描画面を見ることがあった。描画姿勢や紙の大きさによって描画面からの距離の取り方は異なった。事例 18, 21 のように座位の時は、覆いかぶさるように描いていた上体を起こして画面を見た。事例 22 のように小さい紙面であれば持ち上げて顔の高さで見ることがもあった。事例 19 や 20 のように立位で垂直面に描画していた時は数歩離れて眺め、その際には指差しや発語が伴った。

3.5 シールを貼る

描画を行った紙面にシールを貼る際の出来事を観察した。以下に特徴的な事例を時系列に示す。

3.5.1 シールを貼る事例

【事例 23 (2y3m25d)】

机上の便箋に、ペンでの描画。描画した線の上にシールを貼る事例である。

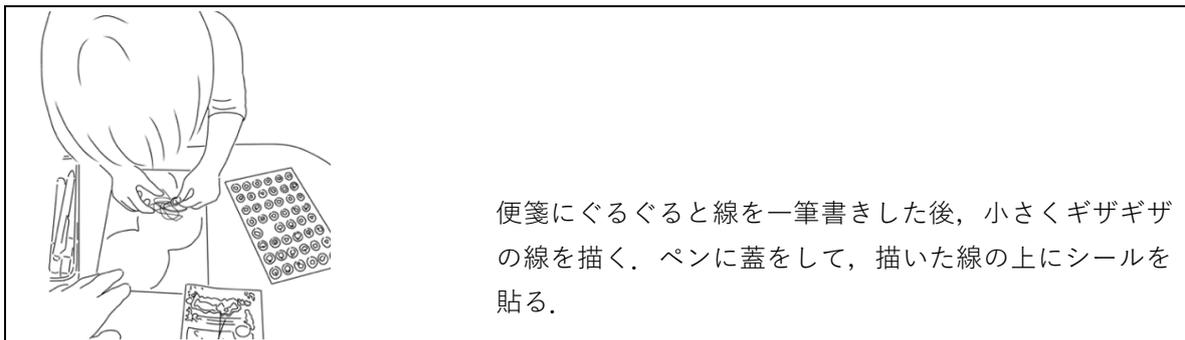


Figure 23 便箋に描画後シールを貼る

【事例 24 (2y3m25d)】

机上の便箋に、ペンでの描画。描画後に、線の上ではない場所にシールを貼る事例である。

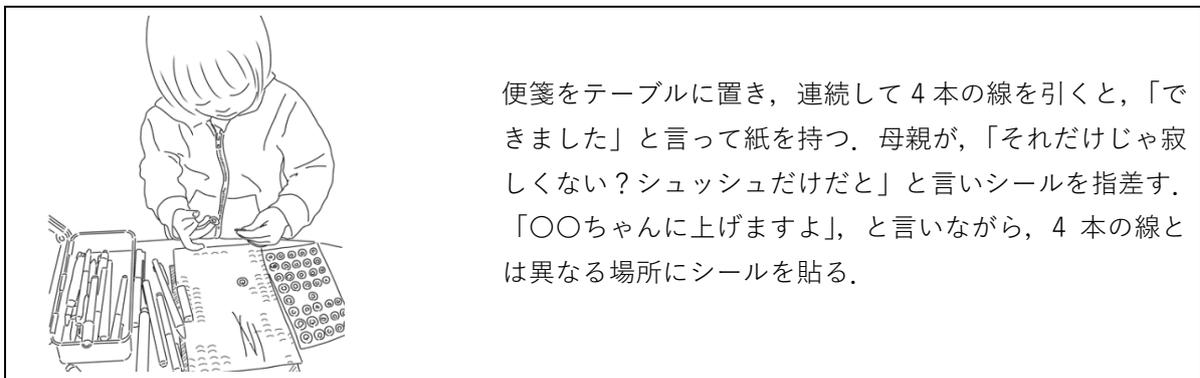


Figure 24 便箋に描画後シールを貼る

【事例 25 (3y0m5d)】

机上の便箋に、ペンでの描画。事例 24 と同様に、線を描いた後その上ではない場所にシールを貼る事例である。

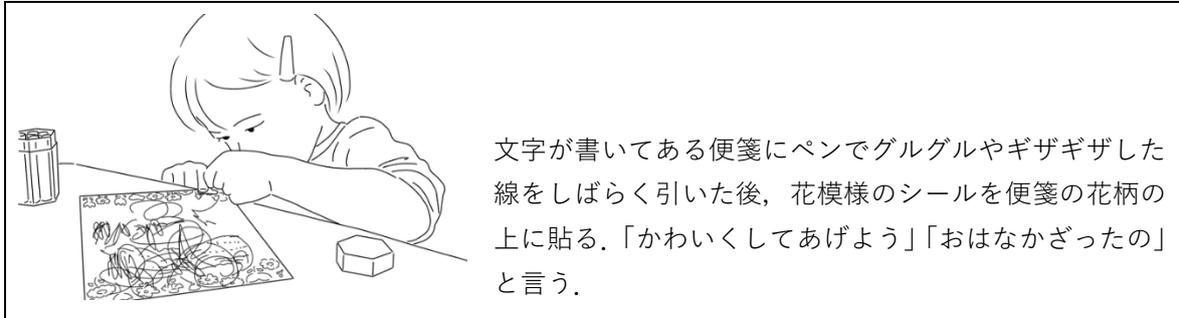


Figure 25 便箋に描画後シールを貼る

【事例 26 (3y0m12d)】

机上の画用紙に、ペンでの描画。それまでの事例と同様に線を描いた後にシールを貼るが、線を描いていない紙面にはシールを貼らない事例である。

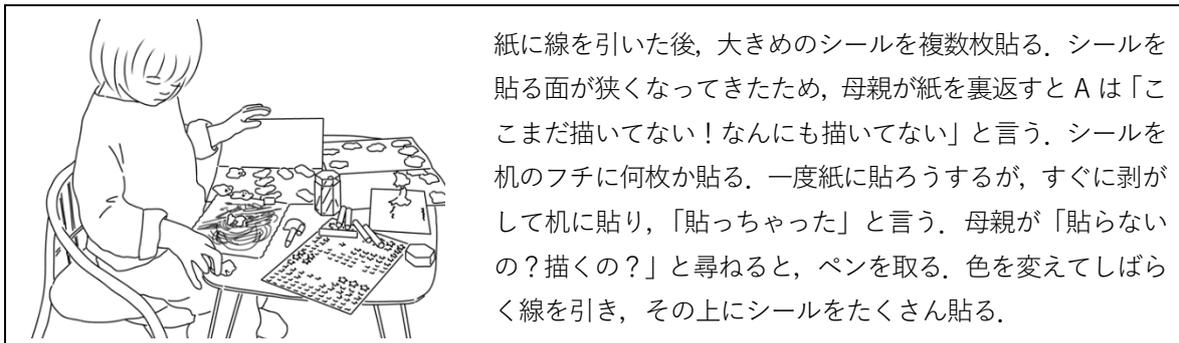


Figure 26 画用紙に描画後シールを貼り、裏返して描画後シールを貼る

【事例 27 (3y1m12d)】

机上の小さめの紙に、ペンでの描画。事例 23 と同様の、描画した線の上にシールを貼る事例である。

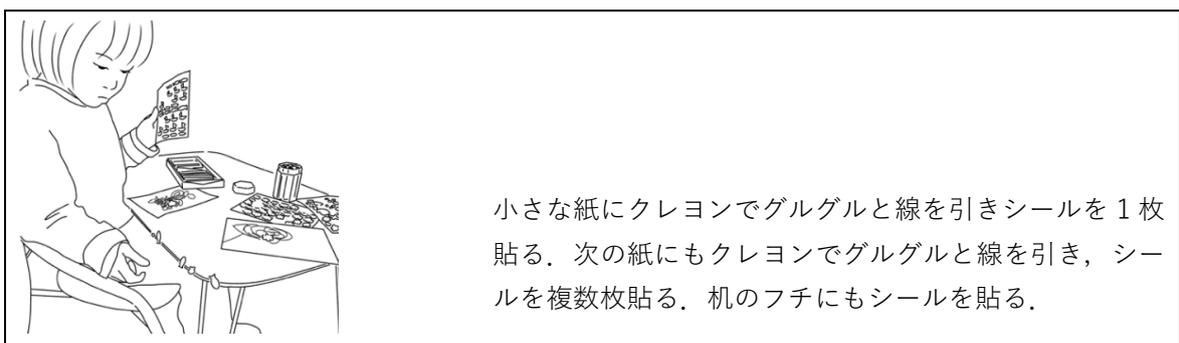


Figure 27 小さな紙に描画後シールを貼る

3.5.2 シールを貼る事例のまとめ

主に便箋などの小さな紙面への描画の後にシールを貼る行為が観察された。シールを貼る場所は事例 23, 26, 27 のように描いた線の上のこともあれば、事例 24, 25 のように線を隠すことなく他の場所に貼ることもあった。事例 26 に見られたように、面の上に痕跡を残す前にシールを貼ることはなかった。

3.6 総合考察

これまでの描画の発達研究は主に描かれた図像の形態の変化に着目し、意味のないなぐりがきからシンボルへ、単なる運動の痕跡から透視図法的なりアリズムへという図式を前提にしていた。本研究では描かれた形態やシンボルの現れを問題とせず、描画の発達に関わる根本的な問いとして、面の二重性の知覚がどのように進むのかを検討した。具体的には、痕跡を残す行為において、描画面の性質が行為の調整に影響を与える場面に焦点を当てた。描き始め、描画面のずれに対する調整、描画面からはみ出した時、描画を停止し引いて見る時、描画を停止し描画面にシールを貼る行動を観察した。

3.6.1 痕跡が残ることの重要性

観察の結果、画具が痕跡を残すかどうかことが重要であることを示唆する事例が、描き始めや、紙がずれるシーンに含まれていた。まず、A は事例 1 のように描き始めから使用している画具が痕跡を残すかどうかを探っていた。ペンやクレヨンの色が描画面に残る・残らないは、描かれる面の硬さや画材の組み合わせによって変化する。事例 2 のティッシュケースや事例 5 の布への描画は、紙面への描画に比べると痕跡を残しにくいものだった。A は画具を押し付けたり、描く場所を変えたり、画具の持ち方を変えて痕跡を残そうとしていた。

また、紙面がずれた際の行動は、痕跡がつくことが描画行為の継続に必要であることを示唆している。紙がずれた際には描画される場合と手の動きは同じでも、痕跡をうまく残すことができない。A はいったん描画を停止し、描き方や押さえ方を変えたが、それでもうまく描けないと事例 8, 9, 11 のように画具をしまうなどして描画自体をやめた。A の描画はぐるぐると腕を回したり、前後や左右に往復する描き方が多かったが、そうした動きが同じであっても痕跡がつかないと描画を続けなかった。これは Gibson & Yonas (1967) の知見と合致するものである。

3.6.2 描画面の発見

痕跡を残すことができる面は、描画が可能な面として知覚される。A が発見した描画面の性質を 3 つの点から考察する。

1 点目は、描画面と画具の接触で生じる摩擦の強さである。A は画具を持ってある表面と接

触することで、描画可能な面を発見した。痕跡を残すにはある程度の摩擦が生み出される必要がある。事例 2 のティッシュケースへの描画ではボールペンと表面を擦り合わせることで生じる摩擦は低かった。事例 8 や 9 などのずれる事例では紙自体が動いてしまうことで、画具と十分な摩擦が生み出されなかった。

2 点目は、描画面は他の面の上にあるという環境上の事実である。A が描画した面は、壁においてもテーブルにおいても、より広い面の上に載っている小さい面であった。壁にテープで貼ってあったり、母親が押さえたりしない限りは、描画面は描画の際に動いてしまう。事例 10 や 11 のように、描画するためには紙を押さえる必要がある。事例 12 では紙を押さえることで一旦描画できたが、描き方を変えると再び紙がずれてしまった。紙と画具が十分な摩擦を生み出すには、紙の押さえる場所と力をかける方向が噛み合う必要がある。

3 点目は、描画面は限られた広がりであり、へりがあるという点である。描画面 A が描画中にはみ出た際の行動は、A が描く面のへりを知覚しながら描いていることを示している。A の描画は基本的に画用紙やホワイトボードシートから大きくはみ出ることなく、制御されていた。そこからはみ出した際には、事例 13 のように描画を停止して発語したり、事例 16, 17 のように指さしをしたりした。痕跡がどこにでも残ればいいというわけではなく、どこに痕跡を残すのか、どの範囲に描くのが問題となっていた。描き始めの事例の中には、描く範囲が事前に調整される例があった。事例 7 ではマグネットを並べ替え、事前に描く面のレイアウトを変えた。避けなければならない物があることで、描画が進行できる方向に対する予期が起こった事例だと言える。描く範囲の知覚は表現の意図と関連する。

痕跡を残す行為はそれをどこにつけるかということと一体となっており、画具が痕跡を残しながら進行する際の、表面の広がりを知覚をもたらす。画具を持ってある広がりのある面を探索することで、痕跡を残すものとして描画面の知覚が進むことが示唆された。本研究では描画行為の時間的推移については検討しなかった。最初に痕跡がついたその周辺から線が展開し広がり、時々離れて見るといった描画行為の時間的構造を検討することで、今後この仮説を検証する必要がある。

3.6.3 原初的な二重性知覚

前項で挙げたとおり、描画面それ自体、物としての知覚は、画具と面との接触によりもたらされる。それと同時に、A は表示における不変項を知覚し始めていた。それは、自分が描いた線の何らかの特徴をピックアップしようとする行為に現れている。

表示は様々な距離から見られた。事例 18~22 のように、A は描画を停止して様々な距離で描画面を見た。A は描画中でもリアルタイムに変化する痕跡を見ているが、描画を停止した際にはその面に持続する痕跡を見ることになる。A は座位の場合には体を起こすことで、立位の場合には歩いて描画面から離れた。描画面が膝の上にあるか、壁に貼ってあるか、そのサイズが小さいか大きいかで、描画面の全体を見るのに必要な距離は異なる。紙に覆いかぶさるほど

近い距離で見ると、数歩離れたところから見るとでは異なる光学的な体験をもたらす。A が描くこと、見ることは必ずしも留まって起こらず、近づく、離れるといった移動を含んだ。画家のデッサン過程では、画面に近づく、離れる動作はモチーフと画面との間に共通する特徴的な不変項の情報の探索が行われていた（西崎，2015）。本研究で観察された幼児の近づく、離れるといった移動においても、画面の特徴的な不変項の情報の探索は行われていることが示唆された。

事例 3, 4, 6 の描き始めの事例を見ると、痕跡を残し始める際には、絵本の印刷や柄などすでに存在する表示も関係していた。A の家庭での描画シーンは紙やホワイトボードシートなど均一な肌理の平滑なものに描くことが多かったが、描くことができる面の多くは必ずしもまっさらではない。すでに表示がある面への描画の例としては、母親が描いた線や絵本の印刷、手の跡などがあり、いずれもその周辺や上に描き始めた。山形（1991）は 1, 2 歳児の絵本への落書きを収集し、顔や車、動物などへの落書きは印刷がない部分と比べて有意に頻度が高いことを示した。こうしたことから、描くことはその最初期から見ることと強く結びついていることが分かる。そうであれば、例えばまっさらな紙への描画であっても、自分で最初につけた痕跡を見ることが次の痕跡をつけることにつながるであろう。言い換えれば、描くことで描画面が発見されていくのだと考えられる。

A の描画行為においては、ある面に対してどの程度の痕跡を残すのかに関する意識があったと考えられる。その一つの根拠として、痕跡を残した後にシールを貼る行為が挙げられる。事例 26 の画用紙への描画シーンでは、描画面前にシールを貼ることを明確に拒否した。A はシールを自らが残した痕跡で現れた表示に添加する物として使用しており、完成の証として捉えられる。また、事例 6 では、すでに描画した面にはこれ以上描かない様子が観察された。どの程度の痕跡を表面に残して終わるのかは事例によって異なり、描画の終了は描ける余白がないほど表面を埋め尽くしたために終わる、といった性質のものではなかった。

A はこうした二重性を他者とも共有しようとしていた。引いて見る事例には、描画面から距離をとって眺めたり、発話することが含まれていた。特に、事例 19 や 20 のように描画面が壁の時には数歩下がって比較的大きい距離をとり、画面を見ながらの指差しや発話が起った。比較的大きく、壁面にある描画面では他者と一緒に見るという出来事が成立しやすかった。表示の意味を他者と共有することの萌芽的な発達が見られた。

Gibson（1979 古崎・古崎・辻・村瀬訳 1985）は自然の不変項のあるものが、描かれた不変項と結びつき始めると述べた。描画行為の発達と、表現 representation における不変項の知覚の発達は、今後検討していくべき課題である。

3.6.4 生活環境における描画

本研究では、家庭における養育者と子どもの描画シーンの観察を行った。生活環境での描画面は、常により大きい面の上にあった。家の中ではテーブル、床、壁などは子どもに描いて欲

しくない面であり、その上に紙などを載せる、貼るなどして描画面を設定していた。こうした環境の制約から、描画面からはみ出することは親子のコミュニケーションの中で遊びにもなっていた。

この制約は描く面の広がりや学習、描画における腕の制御の方略の学習にも影響を与える可能性があると考えられる。仮に地面に描く場合は、地球上で最大の絵が描ける可能性があるが、都市で生活する限り、全く周囲にへりがない環境は稀である。多くの描画行為は室内で行われており、へりの知覚とそれに対する動きの制御は痕跡を残すことの発達の基礎にある。どの程度の範囲に痕跡を残し、それをどう制御するのかは、描く面の広さに制約される。

従来の描画の発達研究は、子どもの描画がどこで行われるのかについてほとんど注意を払ってこなかった。どこで描くか、何を使って描くかは、子どもが痕跡を残そうとするときに意味があることである。生活環境では痕跡を残して良い場所と、残すべきではない場所がある。大きい紙と小さい紙では描ける範囲が異なる。いつ誰と描くのかも描画に影響を与える。本研究では観察期間の中頃に撮影された動画が少なかったが、その原因の一部として夏は外遊びが多くなり、家の中で絵を描いて遊ぶ頻度が減ったことが考えられる。今回の観察では取り上げなかったが、母親の声かけが二重性の知覚に影響を与えていることを示唆する事例もあった。周囲の大人による知覚的注意を引きつける働きかけも取り上げられる課題である。描画を取り巻く環境を含めて発達を捉える必要がある。

今後の描画の発達研究の展開に求められるのは、無秩序からシンボルへとという既に前提となった発達プロセスの理解ではなく、描画の発達をリアリティとの関連で捉えることである。描画の発達がどのような経験に基づき、描画面が環境の事実の何を反映しているのか。画具を持った時の面の探索は様々なスケールで環境の構造に埋め込まれている。表現の基礎にある二重性知覚の発達を、生活環境の事実から検討することは今後の描画発達研究に残された課題である。

謝辞

長期間にわたり観察にご協力いただいたご家庭に心より感謝致します。

引用文献

- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin Company. (佐々木 正人・古山 宣洋・三嶋 博之 (監訳) (2011). 生態学的知覚システム——感性をとらえなおす——東京: 東京大学出版会)
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin Company. (古崎 敬・古崎 愛子・辻 敬一郎・村瀬 旻 (訳) (1985). 生態学的視覚論——ヒトの知覚世界を探る——東京: サイエンス社)
- Gibson, J. J., & Yonas (1967). The development of graphic activity in the child: A theory and a first experiment. *Purple Perils: A selection of James Gibson's unpublished essays on the psychology of perception*. Retrieved

- September 20, 2022 from <https://commons.trincoll.edu/purpleperils/1965-1967/the-development-of-graphic-activity-in-the-child-a-theory-and-a-first-experiment/>
- Kellog, R. (1969). *Analyzing children's art*. Mountain View, Ca: Mayfield. (ケログ, R. 深田 尚彦(訳) (1998). 児童画の発達過程——なぐりがきからピクチュアへ—— 名古屋：黎明書房)
- Loewnfeld, V. (1947) *Creative and mental growth*. New York: Macmillan. (ローウェンフェルド, V. 竹内 清・堀内 敏・武井 勝雄 (共訳) (1963). 美術による人間形成 名古屋：黎明書房)
- Longobardi, C., Quaglia, R., & Iotti, N. O. (2015). Reconsidering the scribbling stage of drawing: A new perspective on toddlers' representational processes. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01227>
- Luquet, G. H. (1927). *Le dessin enfantin: Ouvrage illustre de 146 reproductions*. Paris: F. Alcan. (リュケ, G. H. 須賀 哲夫 (監訳) 吉田 博子・手塚 恵美子・五十嵐 佳子 (訳) (1979). 子どもの絵 東京：金子書房)
- Matthews, J. (2003). *Drawing and painting: Children and visual representation*. Sage.
- 西崎 実穂 (2015). 描画と痕跡——表面における表現の発生—— 東京：多賀出版
- Piaget, J. (1937). *La construction du réel chez l'enfant*. Delachaux & Niestle. (Piaget, J. M. Cook Trans. (1954). *The construction of reality in the child*. New York: Basic Books.)
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant*. Paris: Presses universitaires de France. (ピアジェ, J., & インヘルダー, B. 波多野 完治・須賀 哲夫・周郷 博 (訳) (1969). 新しい児童心理学. 東京：白水社)
- 山形 恭子 (1991). 絵本に対する 1, 2 歳児の落書きの研究——刺激図形法による描画のなぐり描き期検討のために—— 教育心理学研究, 39, 102-110. https://doi.org/10.5926/jjep1953.39.1_102
- 若林 奮・前田 英樹 (2001). 対論・彫刻空間——物質と思考—— 東京：書肆山田

(2022 年 11 月 13 日受稿, 2023 年 2 月 25 日受理)

文字造形に応じて動的に変化する書家の全身協調

野澤 光 (東京大学)¹

本稿の目的は、書道熟達者1名の書字技能を、全身協調という観点から検証することである。実験では、大型の紙面に複数の文字をかく臨書課題を熟達者に課した。臨書中の書家の筆先・頭部・体幹の3変数のうちの2変数同士の機能的な結合関係を、相互相関関数で評価した結果、書家は、筆先と体幹の速度を結合させており、なおかつ、その結合度合いは字画のかたちに応じて動的に変化していた。書家は、字画のかたちに応じて書字動作に体幹セグメントを参加させる、全身を用いた書字姿勢を発達させていた。

キーワード：書道, 臨書, 芸術, 姿勢制御, 書字

The Whole-Body Coordination of an Expert Calligrapher Actively Changes in Response to The Forms of Characters

Hikaru Nozawa (*The University of Tokyo*)

This study examines the writing skill of an expert Chinese calligrapher through an evaluation of whole-body coordination. The degree of functional connectivity between the brush tip, the head, and the trunk was evaluated using the cross-correlation function. The results showed that the calligrapher connected the velocity of the brush tip with the trunk. In addition, the degree of connectivity between the brush tip and the trunk dynamically changed depending on the form of a Chinese character. The calligrapher has developed whole-body coordination in which trunk segments were actively involved in the brush stroke, depending on the forms of Chinese characters.

Keywords: calligraphy, handwriting, creative processes, postural control

1 背景と目的

1.1 はじめに

本稿は、書道熟達者の臨書行為を、全身協調という観点から検証する。臨書とは、指導者がかいた²手本や、過去の古典を模倣する行為である。書を学ぶ過程の大部分は臨書によって達成される。また、優れた臨書は自立した作品として評価されうる。本稿の目的は、書家が、課題として提示された文字のかたちを大型の紙面に埋め込むために発達させていた、全身を用いた書字技能を明らかにすることである。

¹ E-mail: nozawa521@gmail.com

² 本研究は、石川 (1992)が甲骨、金文時代の「搔く」「欠く」行為と、毛筆による「書く」行為との連続性を強調していること、また、東アジアの書画一致の思想(張彦遠, 1996)を考慮し、「かく」と表記する。

1.2 問題の所在

書字動作の最も古典的な研究は、Lashley(1942)の書字研究にさかのぼる。この実験でLashleyは、利き手や、非利き手や、鏡映しや、歯をつかって文字をかく課題で、運動を出力する四肢の筋肉が異なっているにもかかわらず、どの条件においても個人の筆跡の特徴がおおまかに維持されることを見出した。Lashley(1942)とHebb(1949)は、異なる出力器で同じ軌道を再現できるこのような能力を運動等価性と呼んだ。運動等価性は、環境の変異や出力する効果器に依存しない、不変な運動パターンが中枢に存在することを示唆している(Kandel et al., 2000)。このためLashleyの知見は、書字動作を出力器と独立的に保存された運動プログラム(Generalized Motor Program)が出力される過程として捉える、現在の研究に直接的な影響を及ぼしている(Schmidt & Lee, 2014; Wing, 2000)。こうした情報処理アプローチの観点に立ったとき、書字タスクは運動プログラムの出力による精確で誤差のない遂行結果を目標とし、運動の変動は、動作の精確性を低下させるノイズと見做される。

一方、こうした情報処理アプローチが抱える理論的な難点を、早い段階で指摘したのがBernstein(1967)であった。第一にBernsteinは身体運動と神経系から筋へ至る運動指令のあいだに、一対一の関係が成立しないことを指摘した。筋がゴムのような弾性を持っていること、筋活動それ自体が身体運動に与える影響が各時点の身体部位の配置に依存すること、さらに、振動や摩擦といった外力が外部環境で生起していることによって、たとえ神経系が同一の運動指令を出力したとしても、運動結果はそのつど著しく異なる結果をもたらすことになる。第二にBernsteinが指摘したのが、人間の身体の冗長な自由度であった。そもそも、人間の身体には関節だけでも100以上の膨大な自由度が存在しており、原理的にはこれら変数の組み合わせによって目標に対して無限に多様な軌道を選択できる。しかし、つねに外乱にさらされている環境下で、すべての変数を逐次的に制御することは不可能である。Bernsteinは「自由度問題」として知られるこの問いを提起し、多自由度系である人間の身体運動を、要素還元的に制御することはできないと主張した。

Bernsteinがこの自由度問題を解決するために構想したのは「協応」——身体の冗長な自由度を機能的に関連付けて、運動系を制御可能なシステムに転換することであった。Bernsteinは鍛冶職人が、打撃動作にかかわる各関節の軌道がばらつきを含んでいて多様であるにもかかわらず、槌を必ず鑿の打点に打ち当てることができるのに着目した(Bernstein, 1967)。この事実は、人間が多数の関節の参入する変異の大きな運動を、協応構造として組織化することで、結果的に機能的に安定した柔軟な行為を実現していることを示している。このように、運動学的変数の共変関係に着目することによって、目的を安定的に遂行するために相補的に結びついた協応構造という観点から、人間の熟練行為を捉えることができるようになる。Bernsteinの発想に立ったとき、身体運動の変動を、ただちに精確性を低下させるノイズの発現と考える必要はない。身体システムがあくまで全体として組織化されていると考えたとき、動作の変動は、各変動を協応させることによって遂行結果を安定させる、柔軟な制御の結果生じたと考えるこ

ともできるからだ(工藤, 2004).

近年, 書字行為研究においても, 周囲の環境と身体が結ぶ関係に焦点を当てた生態学的アプローチによって, 環境の中で柔軟に組織された熟達者の技能が明らかにされている. たとえば, 口でくわえた毛筆で文字をかく書道熟達者の書字姿勢を構成する変数の協調関係を検証した研究では, 書家が, 筆先の書字・視覚探索・姿勢維持に関わる運動学的変数の間に共変関係を築き, 書字の機能的な出力結果とトレードオフにならないよう個々の変数の変動を相殺する, 補償的な協調パターンを発達させていたことが明らかになった(Nonaka, 2013). こうした観点に立ったとき, 熟達した書家のスキルの特質とは, 逐次的で個別的な筆先の軌道の制御にあるのではなく, むしろ, 紙-筆先-身体から成るシステム全体を周囲の環境に埋め込んで書字を調整することのできる柔軟性に存していると考えられる. 以上のように, Bernstein の身体システム理論を背景にした生態学的アプローチは, 変動を許容しながらも全体として柔軟に組織化された環境-身体システムとして, 熟達技能を理解することを可能にする.

1.3 体幹運動を含めた全身協調に焦点を当てる

以上の背景から, 本稿は, 書家に大型の臨書を制作する課題を課し, 全身協調という観点から書家の技能を検討する. 身体の周囲を紙面に囲まれて複数の文字をかき継ぐ大型の臨書課題において, 書家は, 文字をかき継ぐたびに身体を移動させて, 紙面に身体を定位しなおさなければならない. こうした大型の臨書制作プロセスは, 個々の体肢に限定された課題というより, まさに全身をつかう課題なのであり, 書家は, 用具である毛筆を一体として組織化された環境-身体システムを, 紙面上に埋め込み, そのつどの状況に応じて書字動作を調整しなければならないと推測される.

一方, 本稿に先行する研究(野澤, 2017, 2021)は, すでに今回の実験と同一の運動データ, 画像データを用いた, 臨書制作プロセスの分析を行っている. そこで本稿は, これらの先行研究を元に, 調査する変数を絞り込んだ分析方針を立て, また議論においても, これら先行研究を再び引用して, 書家の発達させていた身体技能について総合的な議論を行うことにする.

野澤(2017)においては, 臨書の画像データの試行間差分から, 文字の形態・配置の縦断的な調整プロセスが分析された. 検討された変数は, 文字の面積・位置・縦横比・文字間の 4 変数であった. 結果を要約すれば, 書家の臨書制作プロセスとは, 文字の面積・位置・縦横比・文字間の 4 変数に共変関係を築くことによって, 課題制約に対して特定の仕方で, 文字の形態・配置を, 16 試行を通じて漸次的に調整する過程であった. この研究ではまた, 臨書の見本に対する類似度の指標として, 画像の平均相互情報量(Mutual Information)も算出された(Figure 1)³が, 臨書と見本の平均相互情報量を試行数の要因で検討した 1 要因分散分析の結

³ ここで算出時の手続きを詳述すれば, 野澤(2017)は相互情報量算出時に, 紙面上の文字をバウンディングボックスで1文字ごとに切り離し, 文字の大きさと縦横比を, 原本と臨書が同一になるよう調整した. つまり, 紙面内での文字位置, 文字の大きさ, 文字の縦横比は捨象されている(Figure 1 上段参照).

果、有意な主効果は認められなかった。つまり、臨書は少なくとも見本に対する機械的な類似度を、直線的に上昇させる課題ではなかった。むしろ熟達者の臨書制作プロセスとは、周囲の制約を利用して文字の配置・形態を変形させる過程であった。

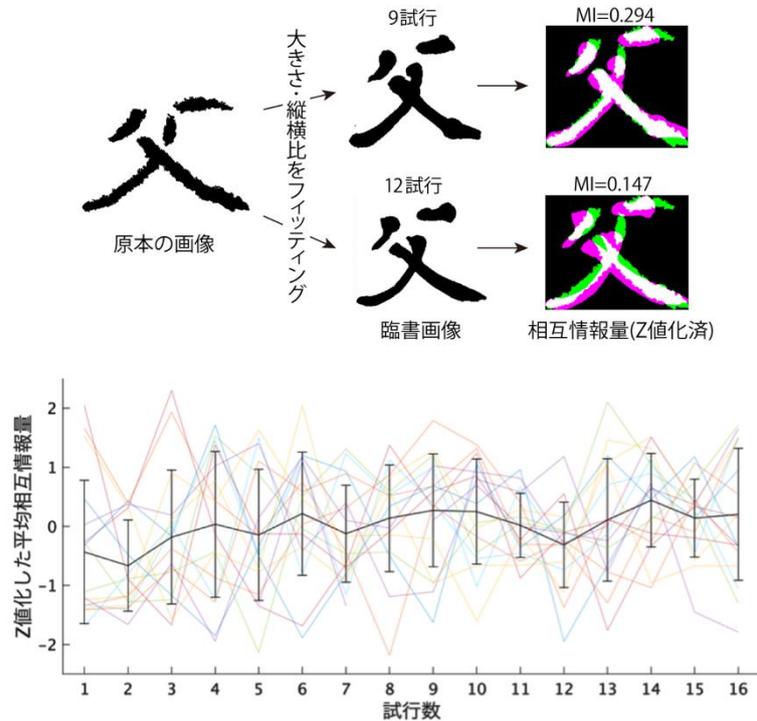


Figure 1. 上段: 原本画像と臨書画像のサイズ・縦横比をフィッティングする過程と、相互情報量の算出結果。2つの文字を重ね合わせるとき、重なり合った部分が白色、はみ出した臨書部分が赤色、はみ出した原本部分が緑色で示されている。最大値と最小値を示した文字を、それぞれ典型例として示した。下段: 文字種内でZ値化した相互情報量の16試行での平均とSD。薄い線は17種の文字ごとの相互情報量の推移を示す。上段は模式図として新たに作成し、下段は野澤(2017)を改変した。

野澤(2021)においては、大型の紙面に周囲を取り囲まれた書家が、どのような周囲の環境の知覚に支えられて、臨書を遂行していたのかに焦点が当てられた。分析では、周囲を見まわす書家の視覚探索に焦点を当て、書家の頭部高、文字ごとの頭部旋回の回数と頻度、周囲を見まわす頭部旋回方向分布を検討した。分析から明らかになったのは、書家の視覚探索が、周囲の環境の生態学的制約に対して、適応的な振る舞いを見せていたことだった。この適応の内実とは、そのつどの環境にかかわらない一貫した書字手順の側面と、そのつどの環境に対して柔軟に変化する側面から成り立っていた。環境に対して柔軟に変化する側面とは次の点であった。書家の視覚探索は、そのつどの紙面位置に応じて柔軟に変化しており、とりわけ行頭文字で、視覚探索方向分布は左右成分に偏る傾向にあった。これに対して、一貫した書字の手順とは次の点であった。書家は、周囲の環境を見まわす書字直前のインターバル時間帯と、臨書と見本を交互に観察する書字中の時間帯とのあいだで、視覚探索方向分布を分化させること

によって、臨書行為を遂行していた。インターバル時間帯の頭部旋回方向分布には周囲を見まわす上下成分が含まれていた一方、書字中の方向分布は、見本と臨書を交互に観察する双峰性の高い分布を示していた。野澤(2021)はこれらの結果から、熟達者においては、紙面に対して文字をかくために一貫して分化した書字手順が、周囲の環境に対する能動的な調整に埋め込まれたかたちで遂行されていた、と結論づけた。

以上のように、これまで先行研究は、書家が紙面の制約に対して適応的な仕方で文字の形態と配置を調整していること(野澤, 2017)、また書家が、周囲の環境の知覚と書字を一体化して自己の技能を発達させていたことを明らかにした(野澤, 2021)。しかしながら、大型の紙面にまたがった姿勢で前後左右を見まわしながら大振りの文字を紙面に埋め込むためには、筆先-頭部の協調のみならず、筆先での書字-頭部の旋回-体幹運動という、身体システム全体の構成要素が協調しなければならないと考えられる。そこで、体幹のレベルも含めた全身協調という観点から書家の臨書行為を再検証することで、書家のスキルを新たな角度から明らかにすることができると考えられる。したがって本稿は、大型の紙面に臨書する書家が、筆先-頭部-体幹から成る身体システムの構成要素間に、いかなる協調関係を築いていたかに焦点を当て、書家のスキルを検証することにする。具体的には、筆先-頭部-体幹の3変数のうち2変数同士の協調パターンに分析の焦点を当て、書家の書字姿勢を検証することにする。

2 機器と方法

2.1 実験

実験では、大型の紙面に古典作品を臨書する課題を課し、熟達者が臨書作品を作り上げる過程を運動データから分析した。具体的には典型例として「父」の文字を対象に、筆先⁴・頭部・体幹の3変数のうちの2変数同士の結合度合いを、相互相関関数を用いて評価した。

2.2 参加者

実験では、プロの書家1名が古典を臨書する過程の運動データを記録した。参加者は当時33歳の書道熟達者A氏。書道経験は27年以上あり、書道専攻で博士号(書道学)を取得し、免許皆伝を受けている。公募美術展で多くの入選経験を持ち、複数の書道団体の理事を務めるほか、大学で書道教育を行っている。実験にあたっては、事前に東京大学倫理審査委員会の審査と承認を受けた。

⁴ 鉛筆やペンなどの硬筆と異なり、柔らかい毛筆の筆先はモーションキャプチャーのマーカを添付することができないため、本稿は直接的には、毛筆の筆管の3点を計測して、この筆管から再構成した毛筆の先端部の位置座標時系列を「筆先」と呼んでいることを、ここに付言しておく。

2.3 作品の選択

実験課題は、臨書の対象作品から実験を通して学習が生じる程難度の高い課題であることを条件に選択した。臨書とは見本の文字のかたちを観察し、自己の運筆によって文字のかたちに含まれる運筆の運動ダイナミクスを再現する行為であるが、参加者自身にとって容易で馴染みのある作品を課した場合、見本の観察なしに実験以前に獲得した運動パターンが再現されるのみにとどまる可能性がある。以上の理由から、臨書の対象である古典作品は、参加者との打ち合わせのうえ選択した。打ち合わせの結果、碑文『鄭義下碑』（鄭道昭，A.C. 511）が選択された。『鄭義下碑』は、北魏の鄭道昭が父親の鄭義を称揚するために、西暦 511 年に刻した碑文であり、南北朝時代(A.C. 439-589)に残された、北碑と呼ばれる大振りで鋭いかたちの楷書の碑文群の代表的な作品である。オリジナルの文字は、山東省雲峯山の麓にある巨大な岩石に刻されている。実験では、A4 サイズ見開き(横幅 42×縦幅 29.7cm)の拓本の複製(鄭道昭, 1989)を使用した(Figure 2)。複製の縮尺は 100%であるものの、文字ごとに切り抜かれているため、字間はオリジナルとは異なっている。



Figure 2. 『鄭義下碑』の複製本 (A4 判 3 ページ分)

2.4 課題

実験では、拓本から抜き出した 17 文字「父官子寵才徳相承海内敬其榮也先假公」を、半切用紙(横幅 35 cm×縦幅 135 cm)に「形臨 (外形に忠実な臨書)」するよう、参加者に指示した。墨汁、筆、用紙 (雁皮紙)は、書家が普段つかっているものを使用した。実験時間は最大 8 時間、試行数の制限はなく、参加者が完成を申告した時点で実験終了とした(Figure 3)。



Figure 3. 実験風景

今回の実験条件は、作品展の出品に向けた古典作品の臨書研究という状況を想定した。書家は、壁面大の紙面に、碑文から抜き出した大振りな楷書 17 字を臨書しなければならない。また臨書対象の『鄭義下碑』は、近代日本において何度も臨書されてきた古典である。このように、原本と臨書の類似度を定量評価するために「形臨」を指示したものの、選択した古典とサイズは、展示レベルを想定している。複製本は、書の学習で通常使用される古典作品集(鄭道昭, 1989)を用いた。和様(仮名)や法帖(紙にかかれた中国の書蹟を書籍や巻物に仕立てたもの)と異なり、碑文はオリジナルの岩石が巨大であり文字間を切り離して掲載されるため、書家は文字の配置を紙面上で調整しなければならないが、この条件は、碑文から書を学ぶ際には一般的に生じるものである。また、最大 8 時間の実験時間も、日常的に臨書を重ねるプロの書家にとって珍しいものではない。たとえば書家の柿沼(2002)は、毎日必ず「スポーツ選手のトレーニングのように」古典を臨書すると述べている。そのトレーニングとは、たとえば空海の『風信帖』を 5 時間かけて臨書するというように、ひとつの作品に対する理解を数時間かけて深めてゆくものである。

2.5 機器

実験中の運動データは Vicon-460 system のカメラ 6 台で(Vicon Motion Systems, 60Hz)で計測した。モーションマーカーは筆管に 3 点、頭部に 3 点、第 7 頸椎に 1 点、第 4 腰椎に 1 点、両肩峰に 2 点、両肘の外側上顆に 2 点、両手の尺骨と橈骨の茎状突起に計 4 点、両手の第 3 中手骨の中手指節関節に 2 点、合計 18 点に添付した。このうち分析に使用したのは筆管と頭部のマーカーである。計測した各マーカーの位置座標時系列は、3 次スプライン補完で欠損値を補完し、バターワースローパスフィルタ (カットオフ周波数 = 2.25Hz, 次数 = 5) を用いて平滑化処理を行った。書字の過程は紙面裏側のガラス越しに設置した HD 画像(Sony, HDR-

CX180, 29.97Hz)で同時撮影し、書字時間の記録に用いた(Figure 5).

3 結果

3.1 基本統計量

野澤(2021)では、実験結果の基本統計量が算出されている。以下では野澤(2021)の結果を要約したかたちで引用する。なお、このうち Kendall 順位相関係数については、本稿において新たに算出されたものである。

実験の結果、書家の試行数の合計は 16 試行、試行時間は平均 17 分 53 秒($SD = 2$ 分 31 秒)であり、試行時間の合計は約 4 時間 46 分であった。実験前に課題の文字数を 17 文字と決めていたものの、書家は、2, 3, 4, 8 試行目では紙面に 16 文字しかかかず、7 試行においては 18 文字をかいた(Figure 4 上段)。書家は実験直後に 18 文字目を「配置調整のためにかいた」とコメントした。なお、この 18 文字目はすべての分析で除外している。

1 文字あたりの書字時間に対する、試行数、文字の画数の影響を検討した。各試行時間で見ると、試行時間は 1 試行目の 12 分 10 秒から 16 試行目の 20 分 54 秒まで、試行を重ねるにつれ増加する傾向にあった(Figure 4 中段)。しかし、各文字の書字時間について試行数を要因とする 1 要因分散分析を行った結果、有意な主効果は認められなかった($F(15, 252) = .72, p = .76$)(Figure 4 下段)。一方、文字の画数と書字時間の Kendall 順位相関係数は、強い正の相関($r_{\tau} = .79, p < .001$)を示していた。この結果は、各文字の書字時間が試行数より画数に依存していたことを示している。

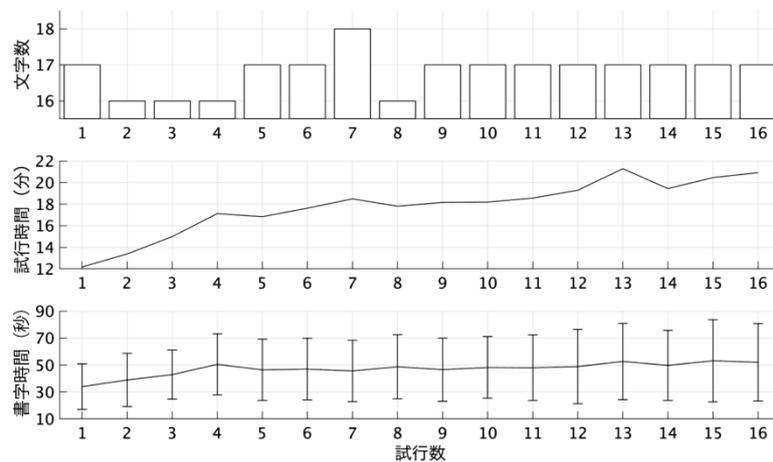


Figure 4. 上段: 16 試行を通じた紙面上の文字数の推移。中段: 試行時間の推移。下段: 各文字の書字時間の平均値と SD の推移。

3.2 臨書過程の定性的な報告

野澤(2021)では、書家の臨書行為がどのように進行したか、典型例のプロットを示しつつ、定性的に言葉で描写されている。以下では野澤(2021)を要約したかたちで引用する。

書家は、横幅 35 cm×縦幅 135 cmの半切紙面に対して 2 行にわたり 17 文字をかいた。書家は右膝を立て、左膝を床について紙面の上に跨り、左手で A4 サイズの原本をもち、右手に筆を持って文字をかいた(Figure 3)。書字は次のような手順で行われた。書家は筆に墨をふくませ、書字前の紙面と原本を何度か交互に見た後、紙面に筆を接地させて字面をかきついだ。この際、書家は 1 字面をかく最中にも、紙面に筆を接した状態で、原本と自己の文字をくりかえし交互に見た。たとえば Figure 5 は 1 試行目の「父」の書字過程を例示したプロットである。軌道は書字中の書家の頭部旋回（負方向 = 原本側，正方向 = 臨書側）であり、灰色の色面は筆先が紙に接地している字面描画の時間帯である。書家はこれらの字面描画中、1 画目に 1 回、2 画目に 1 回、3 画目に 2 回、4 画目に 3 回、原本側に頭部を旋回させていた。つまり、書家は一本の線をかく最中にも、自己の臨書の観察、原本の観察、書字動作を相互に噛み合わせていた。1 文字をかき終えると、書家は文字をかきおえた周囲の紙面を見た後、両膝をついて後退りし、次の文字の書字に入った。なお、書家は多くの場合、文字と文字の間のインターバルで筆に墨を付け足したが、画数の多い文字をかいている途中で墨の足りなくなった場合には、1 つの文字内での字面と字面間のインターバルでも、墨を付け足した。

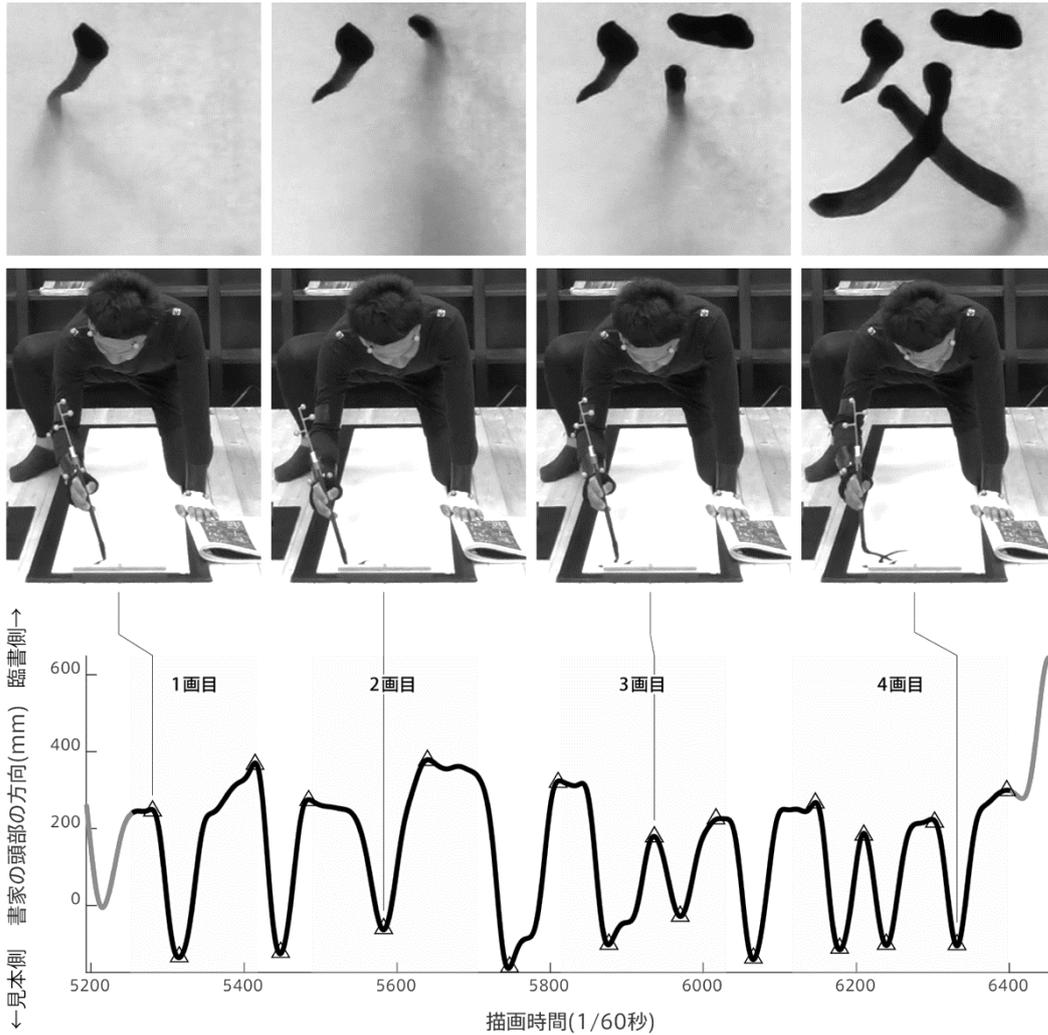


Figure 5. 書字中の頭部旋回の典型例(1 試行目 1 文字目「父」). 上段は紙面下のガラス越しに撮影した画像. 中段は書家の書字過程の画像. 下段は書家の頭部旋回の軌道. 軌道は、頭部 3 点のマーカから再構成した頭部の重心と額を結ぶ線分を、紙面高まで射影した x 座標を用いた. y 軸の負方向が原本側, 正方向が臨書側を示す. 図は野澤(2021)を改変した.

3.3 書家の書字姿勢の分析

書家の書字姿勢を、全身協調という観点から検証した. 分析では、書家の体幹・頭部・筆先がいかに共変していたのかに焦点を当て、相互相関解析を用いて軌道の結合の度合いを評価した. 相互相関関数とは、二つの時系列信号の結合の度合いを評価する関数である. 相関関数は 2 つの時系列信号 $x(n)$ と $y(n)$ のうち、一方の信号を時間 m だけずらして積を求めることで、信号間の相関を求める. 仮に、2 つの信号が完全に異なっているならば、遅れ値 m にかかわらず相互相関係数は 0 に近づく. 2 つの信号が遅延なしの結合関係にある場合は、 $m=0$ における相互相関係数は正の値を取る. また、2 つの信号が遅れて正相関/逆相関している場合は、遅れ値 m 付近で正/負の値を取る. このように相互相関関数は、2 つの信号の結合関係を、時

間遅れも含めて検証することができる。

相互相関関数は運動科学において、身体システムの制御方略を検証するためにしばしば用いられてきた。たとえばスキーのスラローム(左右に蛇行して障害物を避ける動作)の学習過程をシュミレーター上で計測した実験では、学習の初期段階において、参加者の下肢の関節は結合して共変することで自由度を削減し、制御負荷を軽減していることが示された(Vereijken et al., 1992)。学習が進行すると、この結合関係は低下し、関節運動の独立性が再び増加した。この現象は、一度制御を学習した参加者が、変数間の自由度をふたたび開放することによって、より課題に適した運動パターンを探索していた結果であると解釈できる。本稿もこの研究を踏襲して、筆先・頭部・体幹から成る身体システムの自由度が、いかに機能的な共変関係を構築していたのかを検証するために、相互相関関数を用いることにする。

また、今回の分析では、書家の頭部の方向を、視覚探索の指標として用いることにした。頭部の動きは眼球運動と厳密には対応しないものの、書家の身体を取り囲んでいる紙面のフレームを見回す、左側の見本と右側の臨書を交互に見るといった、マクロな環境の構造に対する知覚探索は一定程度反映していると考えた。分析では、頭部3点のマーカークから再構成した額の座標を用いた。

3.3.1 「父」の書字過程

まず、書家が紙面に対してどのように全身を定位していたのか大まかに把握するために、複数のプロットを示す。Figure 6 は、1 試行目「父」の筆先・頭部・体幹の軌道を、筆先が紙面に接して字画をかいている時間帯のみ、実線でプロットしたものである。書家の書字過程を把握するために、各軌道を定性的に言葉で描写する。筆先の軌道は、筆先がかく「父」の文字のかたちを反映している。頭部の軌道は、左右方向に転回を繰り返しているが、これは原本の文字と臨書を交互に観察する、視覚探索を示している。さらに、左右の肩峰マーカークから再構成した体幹の指標の軌道は、筆先の軌道と部分的に類似しているように見える。たとえば、4 画目における体幹の軌道は、筆先の右払い動作を再現しているように見える。

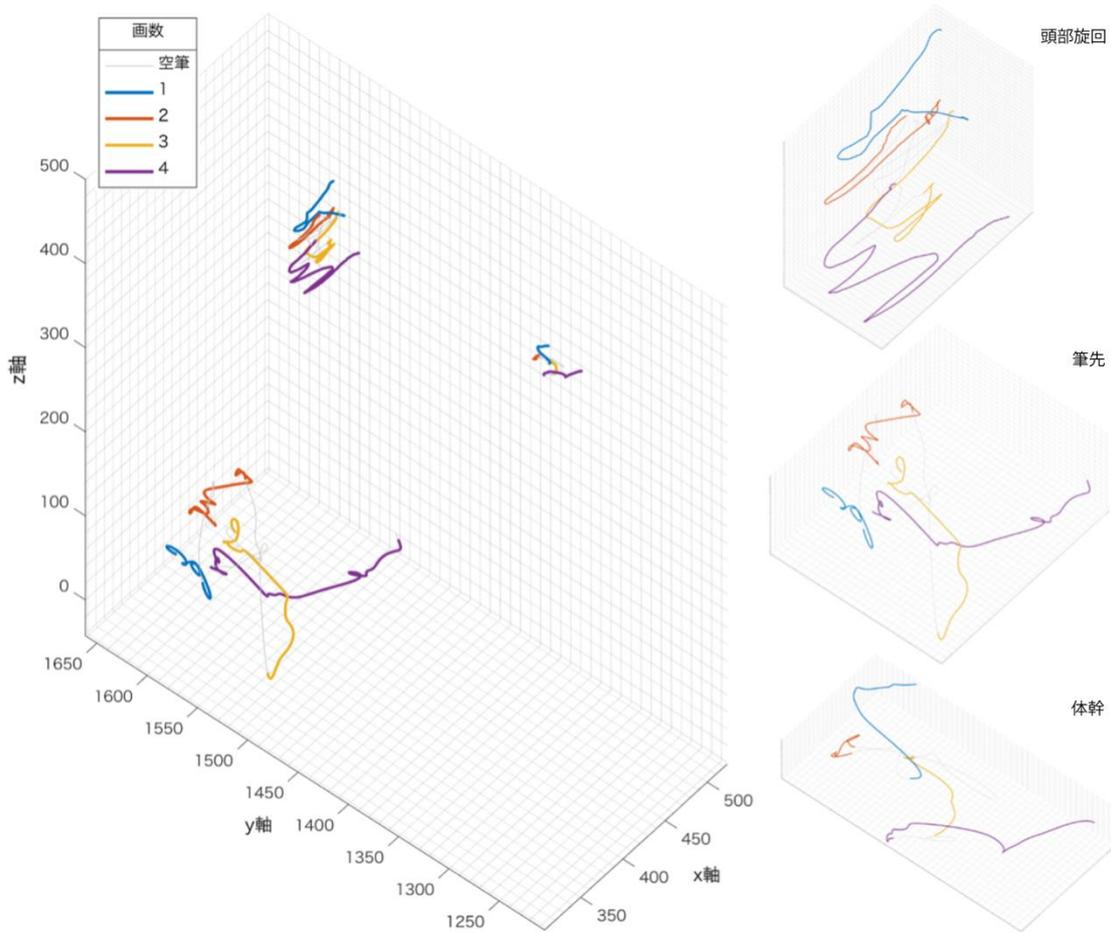


Figure 6. 1 試行目「父」の書字過程における筆先・体幹・頭部の3次元軌道。左: 全身での3次元軌道。右側上段: 頭部旋回。右側中段: 筆先運動。右側下段: 体幹運動。筆先の軌道は、筆管3点のマーカから再構成した。頭部軌道は、前頭部2点のマーカから再構成した額中央の位置を使用した。体幹の指標は、両肩峰のマーカの中点を使用した。

Figure 7 は、時間長を 100 に正規化した全 16 試行の筆先・頭部・体幹軌道の速度(単位時間あたりの 3 次元での位置変位の大きさ)を、4 つの字画をかく時間帯別に、平均値と SD でプロットしたものである。プロットからは、字画をかく特定の局面で SD の幅が減少していたことが観察される。ここでは具体例として 4 画目を詳述する。4 画目の頭部旋回は、描画初盤の 5%、描画中盤の 55%、描画終了直前の 95% 付近において、速度とばらつきが共に減少する振る舞いを示していた (Figure 7 ①~③)。また、4 画目の筆先と体幹は共に、速度が最大に達する 80%~100% (Figure 7 ⑤, ⑦) において、直前の 40%~80% (Figure 7 ④, ⑥) より SD の幅が小さくなる傾向にあった。

Figure 8 は、字画描画中の筆先・頭部・体幹の速度の周波数分布をプロットしたヒストグラムである。プロットからは、頭部軌道が 0.5Hz, 1.5Hz 付近に極大値を示す二峰性であったの

に対し、筆先と体幹の軌道は、0.5Hz 付近に極大値を示す一峰性であったことが読み取れる。つまり、筆先と体幹の速度が、おおよそ同じ周波数分布に収まっていた一方で、頭部回転には原本と臨書の文字を小刻みに観察する、高周波数成分が含まれていた。

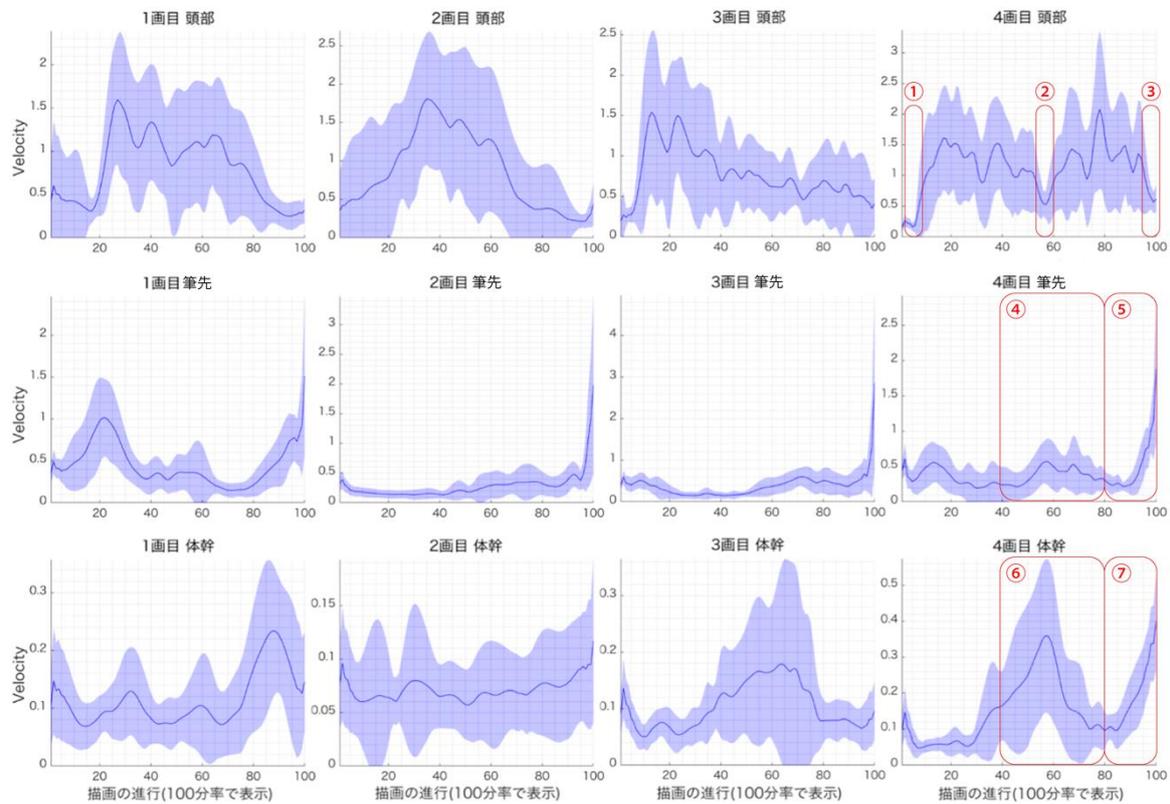


Figure 7. 「父」の書字過程の筆先・頭部・体幹軌道の速度遷移. 各字画別に時間長を 100 に正規化し, 16 試行での平均と SD をプロットした. 上段: 1 ~ 4 字画の頭部旋回 of 速度遷移. 中段: 1 ~ 4 字画の筆先運動 of 速度遷移. 下段: 1 ~ 4 字画の体幹運動 of 速度遷移.

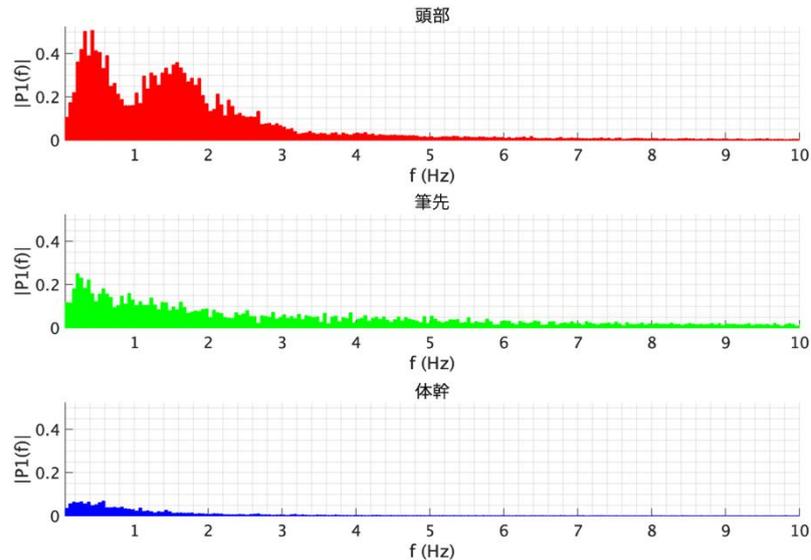


Figure 8. 全 16 試行の「父」の書字中の筆先・頭部・体幹軌道の速度(単位時間あたりの 3 次元での位置変位の大きさ)の周波数分布. x 軸は周波数, y 軸は振幅を示す.

3.3.2 相互相関解析

書家の全身協調を定量化するために, 筆先・頭部・体幹軌道の速度の結合度合いを, 相互相関関数を用いて評価した. 軌道の結合度合いは, 字画をかいている時間帯の中でも, 連続的に変化していることが予想されたため, 一定の時間幅の窓によってデータをトリミングし, 少しずつ窓を移動させながら, 連続的に指標を算出する手法を用いた. 幅 1 秒, ステップ 1/60 秒の窓を使用し, 最大遅れ値 1 秒で相互相関係数を算出した. なお, 相互相関係数の値は $-1 \sim 1$ の間を取ることに拘束されているため, 標本分布が対称ではなく歪んでいることが知られている (Fisher, 1950, pp.193-204). このため Fisher の z 変換を行うことによって正規分布に近似した後, 統計量を扱った. 頭部×筆先, 筆先×体幹の相互相関係数の平均値と SD をプロットした結果, 筆先×体幹の組み合わせについて, 遅れ値 0 付近に平均 0.5 以上の強い結合関係が確認できた (Figure 9).

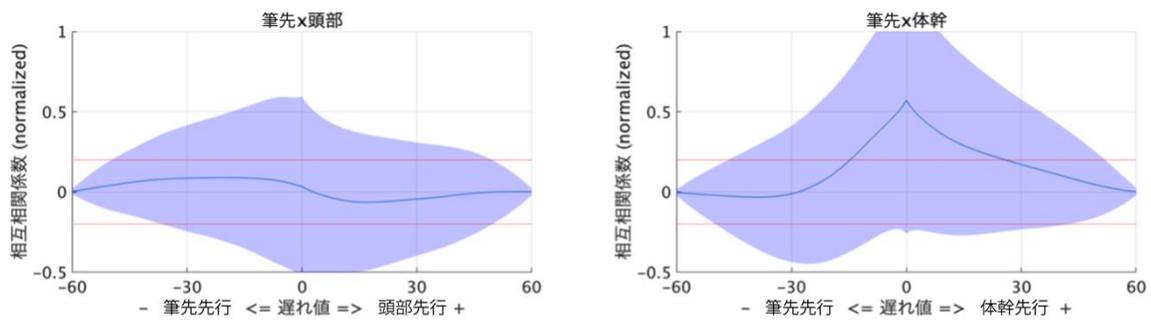


Figure 9. 左: 筆先×頭部の相互相関係数の平均値と SD. 右: 筆先×体幹の相互相関係数の平均値と SD.

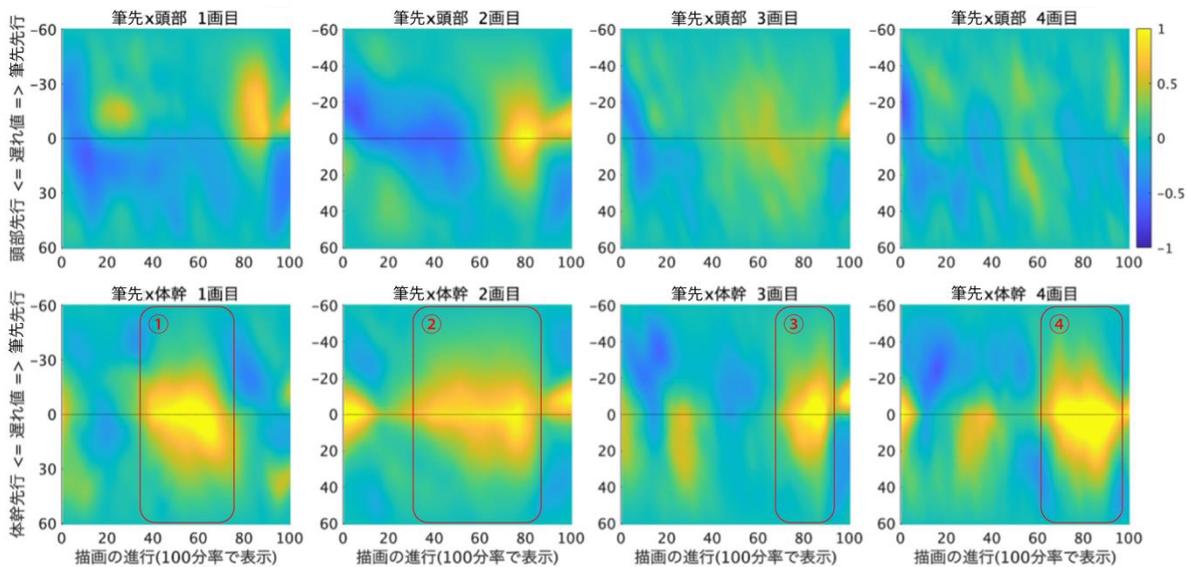


Figure 10. 「父」の書字過程における相互相関係数の時間遷移. 各字画別に時間長を 100 に正規化し, 16 試行での平均値をヒートマップで表示した. 上段: 1~4 字画の筆先×頭部の相互相関係数. 下段: 1~4 字画の筆先×体幹の相互相関係数.

次に、軌道の結合の度合いが、1 字画をかく描画時間内で、どのように時系列的に変化しているかを検討した。筆先×頭部、筆先×体幹の相互相関係数について、全 16 試行の字画描画時間を 100 に正規化して、全試行での平均値のヒートマップを作成した(Figure 10)。その結果、筆先と体幹は 1 字画をかく最中にも、描画局面に応じて動的に結合関係を変化させており、とりわけ 1,2 画目の「点」を打つ動作の中央部(Figure10 ①, ②)、3,4 画目の描画終盤の「払い」動作(Figure10 ③, ④)で強結合する振る舞いを示していた。

4 議論

今回の実験で臨書対象に選ばれた『鄭羲下碑』は、オリジナルが巨大な岩石に刻された、大振りで鋭いかたちの楷書であった。書家に課された課題とは、この石碑の拓本から抜き出した17文字を、大型の半切用紙に臨書することであった。書家は、身体大の紙面のフレームに前後を取り囲まれた状況で、見本と自己の文字を繰り返して観察することを通じて、この17文字を紙面に配置・描画しなければならなかった。本稿が典型例として分析したのは、紙面の右上に位置する「父」の1文字であった。書家のかいた文字の縦横幅は平均 11.6×13.6 cm であった。

議論においては、まず臨書中の書家の書字姿勢が制御方略上持っていた意義を考察する。その後、本稿と同一の実験データを分析した先行研究(野澤, 2017, 2021)と本稿の結果を比較し、大型の臨書制作という状況において、書家の書字姿勢が持っていた意義を考察することにする。

4.1 書字姿勢の制御方略上の意義

分析の結果明らかになったのは、書家が、「点」や「払い」という字画のかたちの制約に対して、全身の運動パターンを動的に変化させていたことであった。

第一に、時間長を100に正規化した各変数の速度遷移からは、ばらつきが小さくなるいくつかの局面が観察された。4画目の頭部旋回では、描画初盤・描画中盤・描画終盤において、速度とばらつきが共に著しく減少する場面が見られた(Figure7 ①~③)。このことは、文字を観察して頭部が旋回する局面が、初盤~中盤、中盤~終盤の2局面におおまかに分節化されていたことを、間接的に示唆している。また、4画目の筆先と体幹では共通して、速度が最大近くに達する描画終盤の「払い」動作の局面(Figure7 ⑤, ⑦)において、その直前の局面(Figure7 ④, ⑥)よりも、速度のばらつきが小さくなる傾向が見られた。このことは終盤の「払い」動作が、2つの変数にとって、より高速で、より精密な制御を要求する局面であったことを、間接的に示している。

第二に、書字中の筆先×体幹の相互相関係数からは、筆先と体幹が平均0.5以上の強い正の結合関係にあったことが示された。なおかつ、この結合関係は、字画の描画局面によって動的に変化した。筆先と体幹の軌道は、1,2画目の「点」を打つ動作(Figure10 ①, ②)、3,4画目の終盤の「払い」動作(Figure 10 ③, ④)で、結合パターンを動的に変化させ、強結合する振る舞いを示していた。

このように、各変数の速度と相互相関係数の時間遷移から見たとき、書家の字画描画動作は、おおまかにいくつかの局面に分節化されていたことが示唆された。また、速度を上昇させつつばらつきを抑えるといった、相対的に精密な制御を要求する場面があったことが示唆された。さらに、書家の身体の振る舞いは、筆先と体幹の協調パターンを動的に変化させることに特徴があった。

以上の書家の筆先-頭部-体幹の協調パターンについて、情報处理的な観点と、Bernstein の身体システム理論の双方から解釈を試みる。

すでに述べたように、書字の古典的研究は、さまざまな体肢によってかかれた文字が、個人の筆跡の特徴を維持していることを示した Lashley(1942)にはじまる。Lashley の知見は、書字動作を、出力器と独立的に保存された運動プログラム(Generalized Motor Program) が出力される過程として捉える、現在の研究に直接的な影響を及ぼしている。こうした情報处理的な観点から見たとき、書字は、筆先の軌道を精確に誤差なく再現するタスクと見做され、臨書の過程で書家の身体が環境と結んでいる関係は、あくまで二次的な問題となる。

仮に、書家の身体において、こうした情報处理的な発想にもとづく制御方略が取られていた場合、体幹セグメントは精密な筆先運動を安定させるために、できるかぎり静止状態を保ち、紙面上に土台として固定されると推測できる。したがって筆先の速度が上昇する「払い」の局面において、筆先運動と体幹運動の相対的な独立性は向上するだろう。

一方、本稿の分析は、こうした仮説とは異なる結果を示していた。筆先と体幹は 4 画目の「払い」の局面において、むしろ結合の度合いを強めていた。体幹動揺が精密な筆先運動にとって、外乱となる可能性があるにもかかわらず、とりわけ相対的に精密な制御が要求される「払い」の局面において、筆先と体幹の結合関係が強まっていたことは、書家の身体が、体幹を土台として固定するのではなく、むしろ体幹と筆先を積極的に協調して書字に参加させる制御方略を採っていたことを示唆している。

同じことを課題制約から見るならば、『鄭義下碑』に特有な、大振りなかたちの「点」や「払い」をかく場面において、書家は筆先を急速に動かさなければならならなかった。こうした課題制約に直面した書家が、敢えて筆先と体幹を協調させていたことは、文字のかたちをかくために、体幹が 1 つの機能的な自由度として書字に利用されていた可能性を示唆している。以上のように、本稿の結果は、書家の臨書行為が、個別的な腕運動を超えた、体幹を含む全身協調の上に成り立っていたことを示している。

4.2 先行研究との比較

次に、本稿の分析結果を、野澤(2017)の画像分析、野澤(2021)の視覚探索と比較することで、大型の臨書作品を制作するという状況において、書家の書字姿勢が持っていた意義を考察する。

野澤(2017)において、文字の面積・位置・縦横比・文字間の 4 変数は、16 試行を通じて共変関係を築き、紙面のフレームや周囲に隣接する文字といった課題制約に応じて、漸次的に調整される過程を辿っていた。書家の臨書制作プロセスは、周囲の生態学的制約を利用して、文字の配置・形態を変形させる過程であった。総じて、書家のかく文字の形態と配置は、常に周囲の紙面の制約に呼応するかたちで調整されつづけていた。

また、野澤(2021)においては、周囲の紙面を見まわす書家の視覚探索を検証した結果、紙面に対して文字をかくために一貫して分化した書字手順が、周囲の環境に対する能動的な調整に

埋め込まれたかたちで、遂行されていたことが明らかになった。総じて、書家は周囲の環境の制約を反映した視覚探索を不断に継続して、周囲の制約を書字動作の調整に反映させていた。

以上のように、2つの先行研究は、大型の臨書を制作する課題制約に直面した書家が、文字の形態・配置の調整と、周囲の環境の視覚探索とを、共に周囲の環境の制約に埋め込まれたかたちで遂行していたことを示している。こうした先行研究の結果と、書家の身体が体幹-筆先の協調パターンを動的に変化させていた事実は、整合的に理解することができるように思われる。

情報处理的な観点から見れば、環境内で身体を移動・定位させる体幹運動と、文字のかたちを調整する筆先の精緻運動とは、相互に外乱となりうる関係にある。一方で、本稿の結果は、書家の身体が、環境内に身体を定位させる全身運動と、精緻な制御が必要な書字動作を、一体化させて発達させていたことを示唆している。このように考えたとき、熟達書家の身体技能においては、まず第一に体幹を含めた全身協調があり、視覚探索(野澤, 2021)や、文字の形態・配置の調整(野澤, 2021)は、その体幹動揺とトレードオフにならないよう入れ子化されるかたちで、スキル化されていたと解釈することができるだろう。

4.3 今後の課題

本研究は、ケーススタディとして、「父」の1文字を対象に、書家が、筆先-頭部-体幹に築いていた協調関係を報告した。今後の課題としては、字面の描画局面の再分析と、非制御多様体解析(Uncontrolled manifold Analysis; UCM 解析)を用いた、より詳細な協調関係の分析が期待される。

第一に、書家の字画描画プロセスをさらに詳細に分析する必要性が挙げられる。今回の分析では各試行の字画描画時間を100分率で正規化して、速度の平均値とSDをプロットした上で、そのプロットの定性的な観察に基づいて描画局面の分節化を行なった。しかし、こうした本稿の分析手法は、紙面上の空間的な情報に基づいていないため、改めて紙面上の字画の形態の特徴点にもとづいた描画局面の分節化が期待される。

第二に、書家の身体システムが、紙面上への身体位置の定位と、精緻な書字動作を、いかにトレードオフにならないかたちで入れ子化していたのかについても、さらに詳細な運動解析が待たれる。具体的には、運動タスクにかかわる運動学的変数の変動成分を、タスクのパフォーマンスに影響する変動成分と、パフォーマンスに影響しない変動成分に分離する手法である、UCM解析(Scholz & Gregor, 1999)を用いることによって、筆先-頭部-体幹のみならず、前腕や肩も含めた関節セグメントが、タスクの機能的な遂行結果を安定させるために、補償的な協調関係を築いていたか否かを検証できると考えられる。

5 結論

本稿は、熟達者1名の臨書行為を、全身協調という観点から分析した。分析では、書字中の筆先・頭部・体幹の3変数のうち2変数同士の機能的結合の度合いを評価した。その結果、書家は、筆先と体幹の軌道を強く結合させており、なおかつこの結合関係は、文字のかたちの制約に応じてダイナミックに変化していた。書家の身体において、体幹と筆先は状況に応じて積極的に協調して書字に参加していた。総じて、本稿の結果は、書家の臨書行為が、個別的な腕運動を超えた、全身協調の上に成り立っていたことを示している。

謝辞

長時間の実験とインタビューを、快く承諾してくださった参加者の方に、最大限の感謝を表明いたします。多摩美術大学の佐々木正人先生には、修士論文の段階からご指導をいただきました。東京大学の工藤和俊先生からは、分析手法からディスカッションにいたるまで、貴重なご指導、ご助言をいただきました。最後に、未熟な筆者の原稿に辛抱強いアドバイスをいただいた査読者の方々と担当編集委員様にも、心より感謝しております。

引用文献

- Bernstein, N. A. (1967). *The Co-ordination and Regulation of Movements*. Pergamon Press.
- 張 彦遠 (1996). 歴代名画記 岩波文庫
- Fisher, R. A. (1950). *Statistical methods for research workers* (11th ed.). Edinburgh: Oliver and Boyd.
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior; a neuropsychological theory*. Wiley. (ヘップ, D. O. 鹿取 廣人・金城辰夫・鈴木 光太郎・鳥居 修晃・渡邊 正孝(訳) (2011). 行動の機構：脳メカニズムから心理学へ(上下巻) 岩波書店)
- 石川 九楊 (1992). 筆蝕の構造：書くことの現象学 筑摩書房
- 柿沼 康二 (2002). Borderless Life 第2回：信念に従って生きる 柿沼康二 *Find*, 20(2/3), 3-5.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2000). *Principles of neural science* (4th ed.). Health Professions Division.
- 工藤 和俊 (2000). 運動制御研究の課題 スポーツ心理学研究, 27, 10-18.
- 工藤 和俊 (2004). 運動スキル研究におけるダイナミカルシステムアプローチ 日本スポーツ心理学会(編) 最新スポーツ心理学:その軌跡と展望(pp. 175-184) 大修館書店
- Lashley, K. S. (1942). The problem of cerebral organization in vision. In H. Kluever (Ed.), *Biological symposia: Vol. 7, Visual mechanisms* (pp. 301-322). Jacques Cattell.
- Nonaka, T. (2013). Motor variability but functional specificity: The case of a C4 tetraplegic mouth calligrapher. *Ecological Psychology*, 25(2), 131-154. <https://doi.org/10.1080/10407413.2013.780492>
- 野澤 光 (2017). 書道熟達者の臨書制作プロセス:文字 配置の補償的な調整過程 情報学研究, 93, 35-52.

<http://doi.org/10.15083/00074075>

野澤 光 (2021). 行為が具現化する資源: 臨書行為を環境-身体システムとして記述する試み 認知科学, 28 (2), 255-270. <https://doi.org/10.11225/cs.2020.078>

Schmidt, R. A., & Lee, T. D. (2014). *Motor learning and performance: From principles to application* (5th ed). Human Kinetics.

Scholz, John & Schöner, Gregor. (1999). Scholz, J.P. & Schöner, G. The uncontrolled manifold concept: identifying control variables for a functional task. *Exp. Brain Res.* 126, 289–306. <https://doi.org/10.1007/s002210050738>

鄭 道昭 (1989). 鄭義下碑 中国法書選 22 二玄社

Vereijken, B., Van Emmerik, R. E., Whiting, H. T., & Newell, K. M. (1992). Free(z)ing degrees of freedom in skill acquisition. *Journal of Motor Behavior*, 24 (1), 133–142. <https://doi.org/10.1080/00222895.1992.9941608>

Wing, A. M. (2000). Motor control: Mechanisms of motor equivalence in handwriting. *Current Biology*, 10 (6), 245–248. [https://doi.org/10.1016/S0960-9822\(00\)00375-4](https://doi.org/10.1016/S0960-9822(00)00375-4)

(2022年2月23日受稿, 2022年10月10日受理)

アニメーションと生態心理学と「思想」

佐分利 敏晴(無職)¹

アニメーションに作者や監督が込めた意図を哲学や文学で論考すれば、「思想」と呼べるものとなる。それは、意図の傾向から現れる制作者自身の性格や特質であり、表現の動機である。しかしこれらに関する論考は、描かれた情報を臨床心理学における「箱庭療法」のように「解釈」したものである。一方、生態心理学で扱うのはあくまでも環境に埋め込まれた情報である。表現媒体に人間が付けた痕跡を心理士が「解釈」したものを「思想」と呼ぶのならば、それは生態心理学の枠組みで扱われるものではない。ギブソンが述べるところの「知覚の二重性」で想定されているような2つの「一次情報」、スクリーンそのものと、映し出されている光学的配列以上の意味があるわけではない。ただし、アニメーション制作者がこの表現方法について「何でも表現することができる」という確信については、これを否定すべきではない。

キーワード：アニメーション、アニメーションの思想、知覚の二重性

Animation, Ecological Psychology and “Thought”

Toshiharu Saburi

If the intentions of the creators and directors in animation are discussed in philosophy and literature, it can be called “thought.” It is the personality and characteristics of the creator himself, which emerges from the tendency of intent, and the motive of expression. However, these discussions are “interpretations” of the information depicted, like “box therapy” in clinical psychology. On the other hand, what ecological psychology deals with is information embedded in the environment. If the psychologist “interprets” the traces that humans have attached to the medium of expression is called “thought,” it is not something that is addressed within the framework of ecological psychology; it is not more meaningful than the two “primary information” envisaged in what Gibson describes as “perceptual duality,” the screen itself, and the optical arrangement projected. However, animators can “express anything” about this method of expression. As for the conviction, this should not be denied.

Keywords: animation, the thought of animation, the duality of perception

1 はじめに

多くのアニメーションの研究家、中でも文学や哲学の系譜に連なる学者はさまざまな作品を鑑賞し、そこに「思想」や「哲学」などを発見してきた（横田, 2006 など）

しかし、ここでいう「思想」とは何なのであろうか。それは映像が持っている何かなのだろうか。それとも、語られるセリフによって表現されるものなのであろうか。ここが生態心理学

¹ Email: rained_under_the_light@nifty.com

を専門とする筆者にはよくわからないところである。

世の中に対して、人に対して何か思うところがあり、それがある程度の体系を持って語られるのならば、それは「思想」と呼べるものではあろう。しかし、そうであるならば、表現手法・表現媒体であるアニメーションは他の表現方法、例えば文章や絵画、音楽、演劇などと同様に「思想を表現しうる方法」であることは間違いない。その上で、アニメーション演出家の高畑勲は、アニメーションという表現媒体について特に「思想を表現しうる方法である」ことを示唆している（高畑勲, 2007, p.10-11）このことは何を意味しているのだろうか。アニメーションは何かよほど特別な表現手段なのだろうか。生態心理学によって表現を観察・分析する上でも発見可能な、アニメーションの「思想を表現するための特性」というものがあるのだろうか。

残念ながら、その答えを明確に示した作家や思想家はいない。あるのは「思想を持っているとされる作品」と、「作品から思想を読み解いた読者が語った言葉」だけである（例；斎藤環, 2003）

アニメーションは、「思想」とどのような関係があるのだろうか。

2 アニメーションの持つ生態心理学的情報の二重性について

何か特別なことを表現しうるのがアニメーションであるとするならば、それには他の表現手段にはほとんどあり得ない表現方法があると考えてもよいだろう。出典は不明だが、おそらく何か「特別」であるから、それを捕まえて「アニメーションは特別だ」とする言説が生まれるのだと思われる。そうだとすると、アニメーションとは一体どのような表現手法だろうか。

線で塗り分け、2次元の絵の重ねによって環境や動物の配置と動きを表現するのが「セルアニメーション」とそれに準ずる「セルルックアニメーション」である。そのほか、絵画的な手法を用いて描かれた絵を動かすアニメーションは総じて「平面アニメーション」と呼ばれる。実際には生態心理学の観点から見れば、「線」は遮蔽縁や溝、糸状の物体などの対となっている、知覚可能な、実在する生態光学的情報である。だから、たとえ線として表現されうるものすべてを組み合わせて表現する絵画的手法を採用したとしても、アニメーションという表現方法に埋め込まれた情報はすべて生態光学的な情報に他ならない。生態光学的情報であるならば、描かれているものが特定する環境中の情報・性質はすべて生態心理学的情報であり、環境中に埋め込まれたさまざまな性質、プロパティである。さまざまな表現手法があるが、多様な作品群は突き詰めれば生態心理学的情報を何らかの手法を用いて「凍らせ」、すなわち変化し続ける環境および対象において、時間経過を物理学上理想的に変化しないように固定し、それを解析して得られた情報を理想的な情報として抽出し、上映媒体や表示媒体に「埋め込んだもの」、つまり表現媒体に何らかの手法を用いて定着させた情報である。そして、それは二重性を持つように創作される。絵画であればキャンバスが知覚可能である。映画であれば映し出されるスクリーンやディスプレイが知覚可能である。音楽であればそれぞれの楽器の音が知覚可能である。環境に埋め込まれた生態心理学的情報を「一次情報」とするならば、情報の奥行

きとしては一次情報止まりである。そして、一次情報の一部に入れ子になった、描画媒体上に「埋め込まれた」人工の生態心理学的情報を「二次情報（擬一次情報）」とするなら、「二次情報」もまた「一次情報」と同様に知覚可能であると同時に、「一次情報」とは明白に弁別可能な入れ子になった情報である。Gibson が言及した生態心理学的情報の二重性とは、これら「一次情報」と「二次情報」が入れ子になった重なりと弁別性を指す。

3 アニメーションを「箱庭」として解釈する「臨床心理学的方法」と「思想」

高畑勲は著書『アニメーション、折にふれて』（岩波現代文庫，2021，電子文庫版）において、以下のように述べる。

子供の頃本を読んだとき、不思議なその有様がありありと目に浮かび、胸をときめかせた思い出は忘れられない。巧みな語り口に導かれて脳裏に映し出されたあの鮮やかな映像をよみがえらせた。しかし、仕事を知った途端、そういう「不思議」実現への甘い夢想はいとも簡単に敗れ去った。セル・アニメーションの映像は陰影も神秘性もない。あまりにも説明的・外在的、身も蓋もなくあっけらかんと平明で、すべてがむき出しである。技法上そうならざるを得ないのだ。だから、セル・アニメーションは、そういうものだけを構成しながら、しかも表現として自立しうるものをやるべきである、たとえ「不思議」を描く場合でも。……ということに悟らざるをえなかった。（中略）この断念には、もう一つ、文章の呼び起こすイメージと映像とはまるで別のものなのだ、ということに強く自覚したことも大きかったのである。（中略）

言葉から個々人が思い描くのは、もし五人なら五人分の多様なイメージであるのに対し、映像は単一のイメージしか提出できない。（中略）その上、想像力によって頭の中に描かれたイメージは、必ずしも隅々まで具体的ではない。しばしば断片的であり、はっきり言っていたいへん漠としている。いや、漠としているからこそ、印象は実に鮮やかである。（高畑，2019/2021，pp.179-180）

このように高畑は、「脳裏に浮かぶ想像・印象(イメージ)」と「映像(イメージ)」をはっきりと峻別している。「アニメーションが思想を語りうる」という言葉とはかけ離れたような記述だが、高畑は一方で「アニメーションの力」を信じていた。特に「やぶにらみの暴君」の名を挙げ、心に訴えかける力を持つ作品を見たとき記述している。この、「脳のイメージ」と「映像」というイメージをまたぐような、矛盾したような「思想を語るアニメーション」の存在が高畑を勇気づけていたようである。

それでも映像と「脳裏に浮かぶイメージ」を峻別していたということは注目に値する。

それは、アニメーションが思想を表現しうるのは必然的なことではないということ、特にセルアニメーションは技法上「不思議」や思想を語るには適さないこと、その上でアニメーション

ンによって思想を表現するにはアニメーション制作のための卓越した技術や優れた方法を必要とすることを、高畑が思い知っていたことを意味していると思われる。

生態学的視覚論の立場から考えても、この「イメージ」の困難さ、表現の不可能性を指摘できる。アニメーションのような表現媒体に「三次情報」としての何らかの情報が必ず埋め込まれているとするならば、表現の媒体に埋め込まれ知覚可能となっている「二次情報」が、表現媒体そのものの情報すなわち「一次情報」同様に、対象の性質や表面、あるいは包囲光配列のような生態心理学で扱う知覚情報を描き込み埋め込む媒体として機能しなければならない。つまり、油彩画にとってのキャンバスや写真にとってのフィルムと印画紙のような、「三次情報」を埋め込むことができるメディアとしての機能を持っていることが必要である。しかし、この「二次情報」は生態心理学的情報、あるいはそれ以外の何らかの情報を埋め込むことが出来るようなものではない。

三次情報が思想や感情、哲学などであると主張するのだとしても、それらは二重性を持つ生態心理学的情報から「人文学的」「文学的」に、あるいは臨床心理学における「箱庭療法的」に「読み出された」三次情報であると言える。

最初から画像に「哲学」「思想」を特定する何かを埋め込もうとしても、それらは生態心理学的情報のレベルで埋め込むことはできない。それらの情報は必ず環境そのものや環境中にいる動物たちの動きとして表現されるのみである。そこから読み出される「哲学」や「思想」あるいは作者の「思い入れ」や「表現の癖」、臨床心理学的な「感情」や「エピソードの意味」などは、作品を「箱庭療法」的に見て様々な特徴を「解釈」した、知覚情報とは異なる表現上の三次情報であり、知覚できる情報ではない。アニメーションや絵画などの表現が「思想」などのレイヤーとして三次情報を持っているということは否定できよう。付け加えるなら、付け焼き刃のような「箱庭療法」的な表現の解釈は、作者の「込めたい思い」や「思想」とは的外れである場合も多い（斎藤環, 2003 など）。

4 アニメーションの技術とそれらが表現する情報について

セルルックアニメーション独自の動きの表現方法として、「オバケ」と呼ばれているものがある。これは従来の知覚心理学によれば「動きを表現するアニメーションの中で、ある一枚の絵ともう一枚の絵の間をつなぐための、意味を持たない不定型な絵」として定義されてきた。そしてアニメーションの作り手たちもそれを信じてきた。しかし、アニメーションを作る現場では常にこの定義を遥かに超える意味と内容を持つ「オバケ」が作られ続けてきたというのが実状である。それが誰の目にも明らかになったのは高畑勲監督作品「かぐや姫の物語」における、324枚に上る「オバケ」を用いた主人公「かぐや姫」の疾走の場面であろう (Figure1)。



Figure1. 「かぐや姫の物語」における「オバケ」による疾走表現の中の一枚の絵（高畑勲監督アニメーション映画作品「かぐや姫の物語」より引用。本作品はすでに許諾する責任者が亡くなっているため、許諾を出すことはできないとの制作側の意向を踏まえ、引用に留めるため、1枚のみをここに示す。

どの1枚をとっても同じではなく、そうかと言ってかぐや姫の姿を明確に描いた絵はその間存在せず、1枚だけ取り出してみても走っているかどうかわからない絵が324枚連続することによって、「かぐや姫」の「疾走」が現れるのである。

「オバケ」は「意味の無い繋ぎの絵」ではない。はっきりとは描き出されていない動きの不変項をピックアップできるように情報を埋め込み、視覚によって知覚させるために工夫され作り出された、意味と創意工夫にあふれた一連の絵によるアニメーションを作るための、時間的順序構造を作成した一連の絵が「オバケ」なのである（佐分利, 2021）。

他の技法について、「作品を作る上での思想」が結びついていると思われる例を挙げる。

2018年公開のアニメーション映画「リズと青い鳥」では、「会話が成り立つタイミングでお話ししてもらいたい」ということにチャレンジできた、という山田尚子監督の言葉がある。そして、この作品の主人公である二人の声を演じた役者である種崎敦美、東山奈央との対談の中において、山田ら(2018)はこのように発言している。

「他人から何かを言われて、その言われたことを自分の中で認識してから返すっていう『間』がとてもありがたかったです。(中略) モニターをしっかりと確認しなくても、気持ちのままに演じていて絵と声が合ったので、とてもありがたかったです。」（種崎）

「絵がすでにお芝居してくださっていて、これだけ細かく動いてくださっていたら、最初は絵に声を合わせられるかなって不安だったんです。でも、実際に演じてみると自然に合う絵になっていて驚きました。」（東山）

「今回は『映画の間を大事にする』をスローガンにしていた」「今回のような作品では、それくらいゆっくり尺をとってやっと自然な会話をさせることができるんだな、

と」(山田)

(山田ら, 2018, pp.14-15)

このことが示しているのは、様々なアニメーション、映画、演劇などでは最初に仕掛けておかないと自然な会話のペースよりもずっと早い言葉のやり取りが行われていることが多い、ということであり、そのためにセリフやストーリーの進行が早くなっていることを示している。それを「リズムと青い鳥」では、脚本作成の時点で自然な会話のテンポを考慮して短めのシナリオが作られ、それを「自然な会話の間」を落とし込んだアニメーションによって表現していたことが山田尚子監督の言葉から推察できる。そして実際にフィルムに声を録音するときに、その「自然な会話の間」が役者の「自然な会話の間」にフィットするように芝居ができた、ということである。

これは上手くいけば上手くいくほどに自然な会話、自然な芝居になるため、一見しただけではそのような「アニメーションの超絶技巧」が使われて、成功し、成立しているということが分からないという、ある種のジレンマを抱えた技術である。しかし、作品の実在感をしっかりと作り上げるという点においては、このような「隠れた技巧」は必要になってくるものであり、時にはそれは「アニメっぽくない印象」を鑑賞者に抱かせることにもなる。たとえ気付かれなないのだとしても、登場人物が実在して、実際に会話しているという「印象」、不変項を作ることによって、映画がより自然な「表現された環境」となり、そこに見る者を招き入れることを可能にしている。これは実際に作ってみると、間を取るための動画制作陣の不断の努力と練習が如何に大変なものであったかがわかる。ここに「セルアニメーションであっても自然な会話ができる」ひいては「彼女らはそこに実在する」ということを表現可能である、という信念がにじみ出している。

他の事例として、アニメーション映画『この世界の片隅に』の監督である片淵須直の佐分利(2018)での対談における発言を、ここに取りあげる。

「重さだとかそういった『絵には描けない尺度』が、目に見える形になって現れた説得力のある『絵』『動き』になっているかどうかを判断するのがアニメーションの演出家です。」(p.199)

「ふだん自分たちが感じている重力の感覚をそのまま表現できたら、それも面白い(中略)重力やレイノルズ数がリアルなものとして活着している動きにしたい。そういう尺度で作られる作品もあってよい。」(p.200)

「例えば机をバシンと叩いた感じを出す時に、実際の絵では音がないのに、『バン』とか音を付けるわけです。ところが、絵では『ふわっ』とやっているのに『バン』と音を付けてしまったら、絵が失敗しているのに誤魔化すことになる。(中略)音の無い絵から、叩いた音が聞こえてくるような絵がまず先にあること。それが大事だと思っています。」(pp.212-213)

(佐分利, 2018)

これらの発言には「アニメーションに埋め込まれた思想」ではなく、片渕の現実に即したりアリティの構築をセルルックアニメーションで行う、という制作方法に於ける、「アニメーションで表現するときの信念、思想」が語られている。片渕はリアリティに富んだ作品を作るとを志しているためにこのような発言が出るが、アニメーションならではの誇張された動きを大切にする方法や、現実にはあり得ない動きによって何かを表現したい、という場合にはここでの片渕の発言とは全く異なる「信条」を語るであろう。

ここで挙げてきたのは、様々なアニメーションの作り方に関する作り手たちの表現における思想・信条と言えるような制作方針である。これらの演出方針に従いアニメーションが作られていくが、アニメーション制作に慣れている動きや背景画の制作者は、これらの表現を「何となく」作り上げてしまう。しかし、そこには動きを観察する確かな目と、その動きをどのような技術・技法で表現すればよいかを知っている知覚と、それを実現する技術を持った手がある。それは鑑賞者にスクリーン上の生態心理学的情報を伝えるための表現方法を実現できる手なのである。

5 アニメーションの作画技術と制作上の思想

「かぐや姫の物語」の324枚の「オバケ」によって描かれた疾走にある思想とは、意図の傾向から現れる制作者自身の性格や特質であり、表現の動機である。この作品からは、この場面を筆頭に「脱出」「脱走不可能」という意味を受け取ることができる。これを思想と呼べるのであれば、確かにアニメーションは思想を表現しうるものである。ただし、そこにあるのは生態心理学的な意味そのものである。

もし、アニメーションに「思想」があるとするならば、それは、「形がなくても動きを表現しうるアニメーションがある」「形がなくても動きを表現するための絵を並べて見せれば、見ている者たちは確かにそこに動きを知覚できる」という、「動き主義」とでも呼べるかのような、固い決意のようなある種の信念、思想である。このような確信がなければこの「オバケ」を用いるような表現方法を採用することも実現することもできないだろう。

アニメーションが「思想を表現する手法」であるところの拠り所とは、このようなものなのかもしれない。それは、アニメーションが、生態心理学の見地から見ても「形がなくても動きの生態心理学的情報をピックアップし、何らかの方法で固定し、それを提示することによって見るもの、聞くものに知覚させることができる」という、生態学的知覚論の根幹を為す「発想」である。その発想は他の学問から見れば「信念」「思想」と呼べるものなのかもしれない。

生態心理学から見れば、これは理想ではあるが、媒体上の「二次情報」としての生態心理学的情報を、「一次情報」同様に、完全な知覚情報として鑑賞者に提供できるという信念、思想である。このような思想、信念に拠って立つからこそ、クリエイター、表現者たちは自分の人生や

生命さえかけて作品を創ることが可能になる。

実はこの決意のような信念は、特にアニメーションにおいては近年の3DCGの登場によって、ロストテクノロジーになりかねない危機に直面しているのではないかと、筆者は危惧している。3DCGでは、予算を投じなくてもある程度の動きをつけアニメーションを作成できるようになってきた。これを平面化したり、ある特定の処理を施すことによって平面のように、セルルックアニメーションのように動かしてみせたりできるようになっている。そのため、「オバケ」のような特殊な作画を必要とせず、安易に動きを作ることができるようになってしまっているのだ。「形がなくても動きを表現できる」というアニメーションの信念と、「視覚がとらえるのは形ではなく不変項である」という生態心理学の根幹は、守られるべきである。

6 展望—生態心理学からアニメーションを考察するときに必要なこと

本論で論じることができなかったが、ここで生態心理学からのアプローチでアニメーションを考察する際に必要なことについて述べる。

生態心理学は、アニメーションにおける動きそのものが持つ情報、すなわち動きの不変項に直接アプローチできる点で、アニメーションを制作し解析する上で他のアプローチにはない強力なツールである。その利点を発揮させるためにも、アニメーションの観察者は動きが持つ生態心理学的情報をできる限り精密で正確に記述する、科学的な観察眼を身につけておくことが推奨される。そして、ピックアップされた動きの不変項から作品の制作者が埋め込んだ意図を抽出する数学的な発想を扱うことができればさらによいと考えられる。

科学的観察眼と数学的な解析方法を駆使した上で、初めて様々な思想や哲学をツールとしてアニメーションについて論じることができないのではないかと、筆者は考える。

少なくとも、作品中に「作者が埋め込んだもの」をできる限り拾い上げ、何が描かれていて何が描かれていないかを見極めるだけの観察眼が、アニメーションの解析には必要である。描かれていないことにまで言及し論じるのであれば、それは制作者が埋め込んだ意図とは別のものになってしまい、ときに全く的外れな議論をすることになりかねない。もし作者が気付かずに「無意識の表現」を作品に込めてしまったとすれば、それを発見し提示することは重要であるが、このときに全く根拠がない情報をねつ造してしまうことは避けなければならない。また、「無意識の表現」における「無意識」は、表現において顕現されたものなのであれば、それは根拠がある実在する情報であって、全く何もないところから意味が生じるのではない。

このことはアニメーションに限った話ではなく、表現活動を観察し解析し論じる上で重要な注意事項である。少なくとも、埋め込まれていない情報をでっち上げてしまうことがないように、作品の徹底的な観察と、それに寄り添った記述が求められよう。作品の解題、読解、評論をする際には「論者の専門に引き寄せた内容」ではなく、「作品に根ざし、作品に寄り添う内容」でなければならない。このことは肝に銘じなければならない。

引用文献

- Gibson, J. J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (Original work published 1979)
- 斎藤環 (2003). アンダルシアの『空』. ユリイカ 2003 年 8 月号, Vol.35, No.11, pp.135-140.
- 佐分利奇士乃 (2018). 今日を生き延びるためにアニメーションが教えてくれること. 学芸みらい社 ※佐分利奇士乃は佐分利敏晴のペンネームである
- 佐分利敏晴 (2021). アニメーションにおける通称「オバケ」に関する一考察～数学的・物理学的理論の観点から～. アニメーション研究, Vol.21, No.2(2020 年版), pp.3-12.
- 高畑勲 (2007). 漫画映画 (アニメーション) の志 - 『やぶにらみの暴君』と『王と鳥』. 岩波書店.
- 高畑勲 (2019/2021). アニメーション、折にふれて. 岩波現代文庫(電子文庫版)
- 山田尚子他 (2018). リズと青い鳥 パンフレット
- 横田正夫 (2006). アニメーションの臨床心理学. 誠信書房.

引用作品

- かぐや姫の物語(2013) (アニメーション映画)
- この世界の片隅に(2018) (アニメーション映画)
- リズと青い鳥(2018) (アニメーション映画)
- やぶにらみの暴君(1953) (アニメーション映画) 日本での公開は 1955 年.

※この 1953 年にフランスで公開されたアニメーション映画『やぶにらみの暴君』は、権利問題などの理由から監督のポール・グリモーや脚本のジャック・ブレヴェールが正式な作品として認めず、公開後になってから権利を取り戻したグリモーが、未完成品だとしてこの作品のフィルムを回収したため、「いまはすでに廃棄されてこの世に存在してはいけないことになっている (高畑, 2007, p.15)」。現存するのは一部を作り直し、27 年後に公開されたアニメーション映画『王と鳥』(1980) である。筆者が確認したのはこの『王と鳥』を DVD ビデオ化したものである。『やぶにらみの暴君』が日本のアニメーションの作品制作およびアニメーション評論の言説に与えた影響と衝撃は極めて大きかった (高畑, 2007, p.3, pp.10-11, pp.12-13 など)。少なくとも高畑は、日本で公開された本作を観ていなければ、アニメーション制作を志すことはなかったことを示唆している (高畑, 2007, p.10)。

最新の写真家の作品に見る 画像の知覚における二重性 ホンマタカシ

ギブソンは一貫して、自然の知覚とは、写真でいうスナップショット＝断片視ではない、そこを混同してはいけない、そこをはっきり退けたうえで、やっと画像の知覚の話ができるとしている。

(このことは、大変重要なことだと思うが、きちんと了解されないまま、例えば美大の写真の授業では、未だに、見たままに写真を撮りなさい！と教えられている。はっきりと現実の見えと、写真は違うんだよ、という所から写真の授業を始めないといけないと思う。)

ギブソンは 1979 年の本の最終章でこう言っている。

絵描き達も、たとえかたちのうえでは実験とは言えないにしても、実際には心理学者達たちと同じように絶えず知覚についても実験を続けていたのである。p282

では写真ではどういう実験が行われてきたのか？写真が発明されて、まだたったの約 200 年しか経っていない。

写真家にとって、「画像の知覚の二重性」という問題はどのような事なのか？伝統的にはどうだったのか？そしてここ 20 年の新しい表現について紹介して検討してみたい。

壁にかけられた写真展示。通常の黒やシルバーの額縁に入れられた写真、手前にはガラスかアクリルの板がはまっている。



Robert Frank: The Americans, Sotheby's, New York, 2015

(https://media.gettyimages.com/id/501757376/photo/rare-robert-frank-prints-from-the-americans-auctioned-at-sothebys-in-new-york.jpg?s=2048x2048&w=gi&k=20&c=ZuTmQfgTny1GoFenZ3W58ejbfC1KRR_5i18B1rt3oHE=)

背景

長いこと写真制作、教育の現場で画像の面のテクスチャーとそれを縁取る額装が真剣に検討されることはなかった。どちらかというむしろ、そこを問題にすることは不純とされてきた(特に日本の写真教育現場では)。

なぜなら写真家たるもの、その画像自体の中に何がどう映っているのか？で勝負するべきであり、それしか問われることなかった。筆者はそのような写真を批判を込めて「純粋な写真」と呼んだ事がある。日本では元々、写真は印刷されるものという意識も大きかったのかもしれない。写真家の最終表現形体が印刷された写真集だった。どう展示するのか？という教育は、少なくとも筆者が美大に通った 1980 年代にはなかった。しかし 90 年代以降、写真は現代美術の一部になり、美術館、ギャラリーで展示される機会が増えた。もちろんそれ以前からギャラリーの展示はあった。しかしそれは、あくまで「純粋な写真」であり、どう額装されようが、サイズをどのくらいにするのかも、それほど検討されなかった。それが真剣に検討されるようになったのは、90 年代のドイツ、デュッセルドルフのベツヒャー夫妻の教え子達がいわゆる「ビクピクチャー」を展示し始めたことが大きな契機になったのは間違いないだろう。彼らは完全に写真を現代美術として捉えていた(そのころ日本では、まだ、これは写真なのか？美術なのか？というレベルの議論をしていた)。写真は現代美術になることによって、はじめて展示、インスタレーションという事が真剣に検討されるようになる。わずか 30 年くらい前の事である。



More than One Photography, The Museum of Modern Art, New York, 1992

(https://www.moma.org/calendar/exhibitions/367?installation_image_index=6)



Thomas Ruff Portraits, The National Portrait Gallery, London, 2017

(<https://www.anatomyfilms.com/wp-content/uploads/2017/07/Thomas-Ruff-7.jpg>)

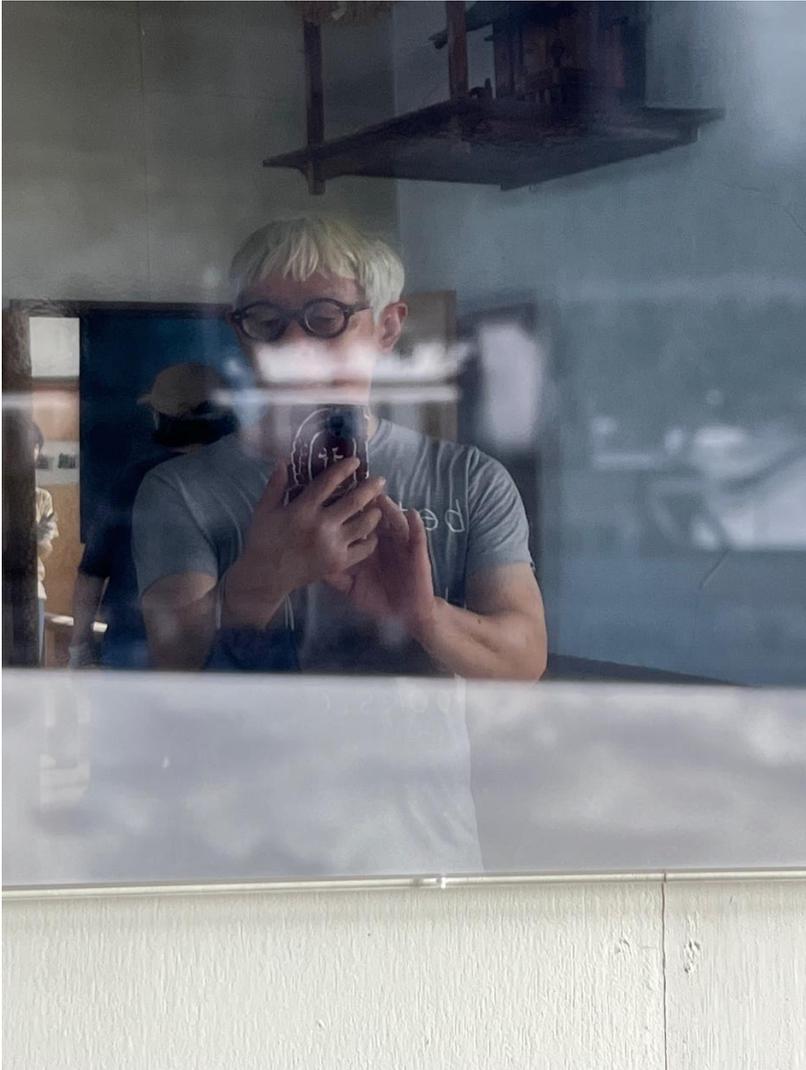
トーマス・ルフのビックピクチャーを鑑賞者が見るとき、(それ以前は自分よりかなり小さいプリントを安心して鑑賞できた)鑑賞者は初めて、ある種の不安を感じる、没入する=absorbed という体験をしたのだ(現在のVRの没入に比べれば、だいぶプリミティブだとしても)。

そしてそのとき初めて、その展示を鑑賞者がどう見るのか?という問題も浮き上がってくる。

What do you see?

いったい鑑賞者は何を見ているのだろうか、むろん写真、写っている画像そのものを見ているには違いない、

と同時に鑑賞者は、その写真が縁取られた額装を見て、ガラス表面のテクスチャー、そして、自分自身が映っている、その反射を見ている。



©Takashi Homma

「画像に表現された、面としての配置のもつ不変項の他に、同時に、画像の面そのものとしての不変項があるのである。その面は漆喰の壁であり、画布であり、パネル、スクリーン、そして紙であったりする。画像表面を被うガラス、その肌理、縁取り、額縁などは光の配列を作り、そしてそれらは知覚される。そこに表れている情報は二重のものである。画像は光景でもあり面でもあり、そして一見矛盾しているようだが、光景は面の背後にある。この二重性が「あなたは何を見ているのか What do you see?」という問いに観察者が自信を持って答えられない理由なのである。

画像は、それ自体として面であり、しかも他の何かについての情報を表示しているものである。画像を見る者は、これは1つのパラドックスなのだが、それら2つの面とも見ないわけにはゆかない。というのは、2つの視覚的経験=awareness は異なるものだからである。我々は画像の面と画像のなかの面とを区別する。」
p299

以下、2000年以降のアートとしての写真作品で画像の二重性に関連しているだろう、幾つかを紹介する。



Wolfgang Tillmans, *Lighter, blue convex III*, 2010

(<https://images.squarespace-cdn.com/content/v1/5702ab9d746fb9634796c9f9/1462206994169-HZN2LZKFUGBXAEGST0D2/image-asset.jpeg?format=1500w>)



Wolfgang Tillmans: *Freedom from the Known*, Museum of Modern Art, New York, 2006

(https://www.moma.org/calendar/exhibitions/4853?installation_image_index=12)

カラーチャートのような写真プリントが折り曲げられ、歪められてアクリルボックスの中に入っている。写真を見ているというか紙のオブジェがアクリルボックスにいれられているようである。しかしこれらはまさしく写真に他ならない。



Nerhol, *Misunderstanding Focus No.001*, 2012 (<https://imaonline.jp/imapedia/nerhol/>)



Nerhol, *Misunderstanding Focus*, limArt, Tokyo, 2012

(<https://www.yatzer.com/Misunderstanding-Focus-Nerhol/slideshow/17>)

何百枚とプリントされた人間の肖像の写真を重ね、彫刻刀で削り立体にする。間違いなく立体なのだが、重ねられた一枚一枚はそれこそ間違いのない平面の写真画像である。



Gerhard Richter, oil on photograph, Rural Landscapes 8. Sept. 04, 2004(<https://gerhard-richter.com/it/art/overpainted-photographs/rural-landscapes-75/8-sept-04-14244/?pg=109>)

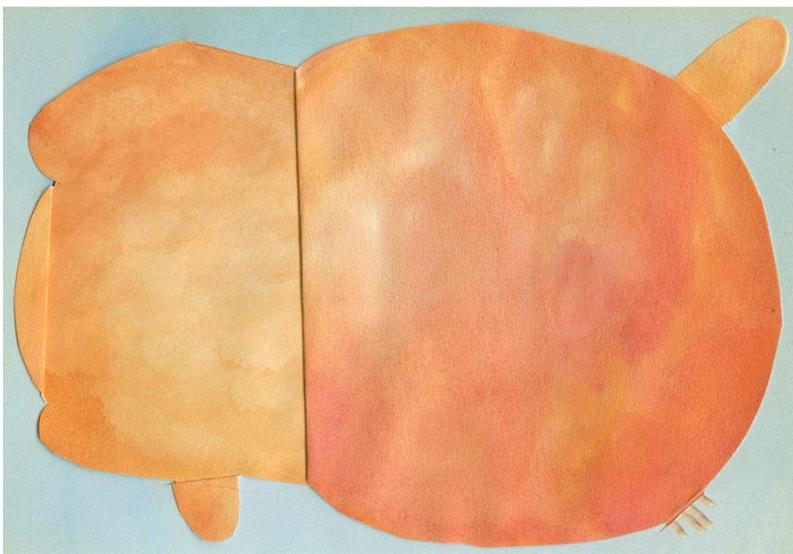


Gerhard Richter, oil on photograph, Urban Landscapes 1. April '05, 2005(<https://gerhard-richter.com/en/art/overpainted-photographs/urban-landscapes-76/1-april-05-14225?categoryid=19&p=1&sp=32&pg=3>)

現代の巨匠ゲルハルト・リヒターの作品。写真プリントの上に油絵具が刷毛でベッタリと塗られている。その隙間から見える写真画像と油絵具の乱暴に盛り上がったテクスチャーの二重の知覚。

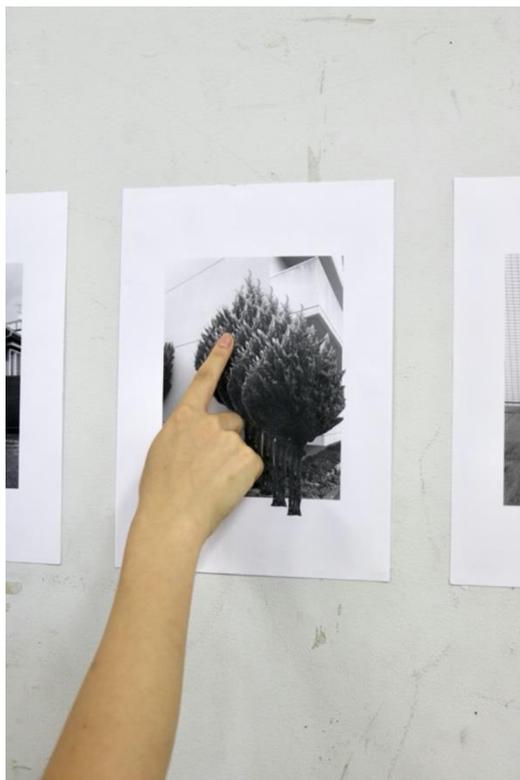


Ruth Van Beek, *Untitled (The Arrangement)*, 2012 (https://artlogic-res.cloudinary.com/w_1600,h_1600,c_limit,f_auto,fl_lossy,q_auto/artlogicstorage/theravestijngallery/images/view/0edd2003488114f7ecb8de6251aafd54j/theravestijngallery-ruth-van-beek-untitled-the-arrangement-2012.jpg)

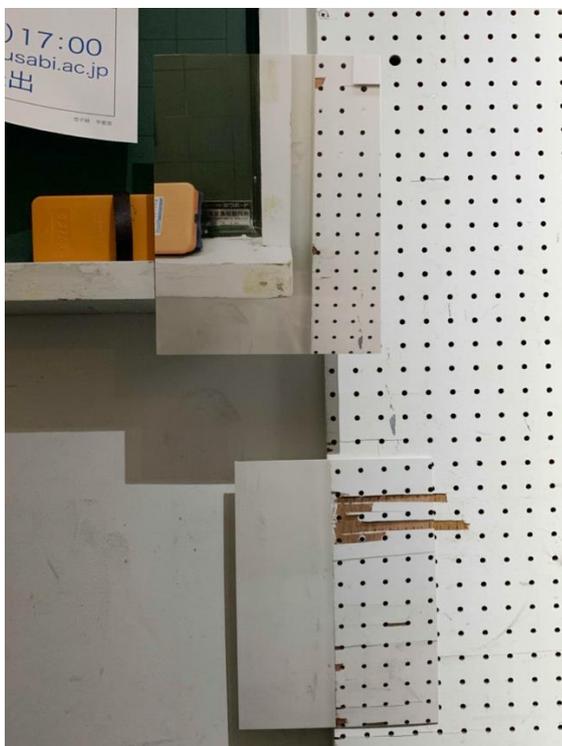


Ruth Van Beek, *Untitled (Figure 18)*, 2018
(<https://www.theravestijngallery.com/artists/ruth-van-beek/works/6004-ruth-van-beek-untitled-figure-18-2018/>)

写真イメージに色紙がコラージュされている、写真イメージの大半はその色紙で隠されている、隠されたイメージと色紙の薄い盛り上がりのテクスチャーの二重性。



フラットな写真画像に切り抜かれた別の画像が貼り付けられている。鑑賞者は実際に指で触ってそのテクスチャーを確かめることができる。



教室内の面のレイアウト(もちろん三次元)を写真撮影してプリントにし(二次元)、そのプリントを撮影した同じ場所に同じサイズで貼り直した。僕は二次元と三次元を同時に見ることになる。



一枚の写真画像プリントが短冊にカットされて、それが格子状に編み込まれている。イメージと編み込みのレイアウトのテクスチャーの二重性。

ギブソンの言う、画像の知覚の二重性は、極めて当たり前のことであって、実際に展示された絵画でも写真でも鑑賞している者は、誰でもその事に気がついている。しかしその事はないものとして長い間、制作者は制作し、鑑賞者は鑑賞してきた。

しかし 2000 年代に入ってから、写真を現代美術として考えている人達が、意識的か？どうかは特定できないが、画像の知覚の二重性について問題にし始め、むしろそれを逆手にとって作品を作り出しているように見える。しかしまだまだその数は全体から見れば少ないし、これらの作品群に対しての名称も特になく、せいぜい「立体化する写真」でしかない。世界中で数人の制作者がやっとその事に気づいてトライをし初めたに過ぎない。しかし長い間、画像の中だけしか問題にしてこなかったのに対し、知覚の二重性を意識し始めたのは、明らかに大きな飛躍だと思われる。

下の画像は誰かの作品ではない、筆者が 2022 年 6 月にスペインのゲチヨ=Getxo という海沿いの街で見つけた銅像についていた写真キャプションである。それを保護してあるガラスボックスの表面が湿気で結露して曇っていた。筆者は、この意図しない現象に知覚の二重性を感じるとともに、アートの表現の可能性はまだまだであると再確認した。



©Takashi Homma

言語についての科学は十分確立されているが、画像による表現についての科学は、それに類するものですら現れていない。(中略)画像とは何か、誰も知らないようである。p284

博士論文紹介

神経現象学リハビリテーションの構想： 行為創発へのオートポイエーシスの活用方法

村部 義哉（京都府立医科大学大学院医学研究科 医学生命倫理学研修員）¹

キーワード：オートポイエーシス，神経現象学，リハビリテーション，システム，意識

Conception of Neurophenomenological Rehabilitation: How to Use Autopoiesis for Action Emergence

Yoshiya Murabe (*Kyoto Prefectural University of Medicine*)

Keywords: autopoiesis, neurophenomenology, rehabilitation, system, consciousness

生態心理学的アプローチの批判的吟味

生態心理学は、多様な学問領域への応用が試みられており、近年では、リハビリテーション医学（以下：リハ医学）への積極的な導入が推進されている。「エコロジカルアプローチ」と呼称されるこうした治療理論は、患者にとって適切な環境を設定し、症状の改善に必要な知覚の探索を促進するものであり、ここでは患者の「知覚システム」の自己組織化的な最適化が症状の軽減として表在化する。リハ医学への生態心理学の導入は、身体への物理的介入を中心とした、要素還元のかつ機械論的な従来の治療理論からの脱却を可能としており、リハ医学における実践的治療方法の論理的展開にとって、新たな選択肢を提供している。しかし、エコロジカルアプローチとリハ医学との対応関係を批判的に吟味した場合、更なる論理的定式化が必要な点が幾つか想定される。例えば以下である。

- ①患者にとって最近接領域となる知覚内容の特定方法やその学習の促進方法
- ②患者の「個別性」への対応
- ③視知覚モデルを中心とする生態心理学的アプローチへの触覚性モデルの付与方法
- ④治療効果が認められない患者に対するプログラムの修正過程
- ⑤患者の身体システム（知覚システム）における構成素の産出過程

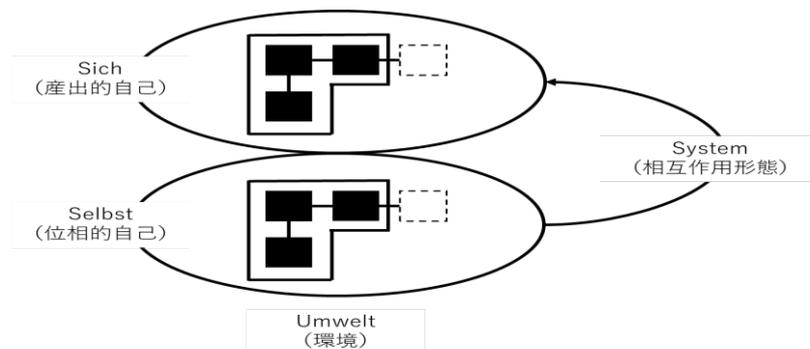
¹ E-mail: murabe0419@gmail.com

神経現象学リハビリテーション

生態心理学的アプローチと同様、身体のエコロジカルな特性を含意した治療理論の一つに、「認知神経リハビリテーション（旧：認知運動療法）」およびその発展形である「行為感比較」がある。また、これらの治療理論の中核には、最新の身体システム論である「オートポイエーシス」が設定されている。本研究の要点の一つは、これら各治療理論を踏襲しつつ、「神経現象学リハビリテーション」の治療理論を定式化し、前述の課題への対応策の設定を試みたことである。

生態心理学における知覚システムは、感覚→知覚→認知といった一方向性の感覚情報処理過程ではなく、それらの相補的關係性を前提としている。こうした知覚の捉え方は、「身体性認知科学」や「現象学」などの領域との類似性が認められる。そして、「神経現象学」は、こうした各種領域を内包した学際的概念であり、様々な学問分野の動員が求められるリハ医学の臨床実践にとって、高い応用可能性を持つものと考えられる。

オートポイエーシスは、生命体の有機構造を、産出的自己（Sich）と位相的自己（Selbst）による二重の自己と、各個体特有の外部環境（Umwelt）との相互作用形態（System）による「身体システム」として設定している（図）。システムとは、「その構成素の關係性によって部分の総和以上の全体性が創発される機構」である。基礎医学や薬学分野における身体システムとは、特定の身体部位や臓器、神経伝達物質、遺伝子や細胞などの生物学的要素を構成素とするが、リハ医学における身体システムの構成素とは、患者の知覚－行為循環の背景に存在する複数の感覚モダリティである。よって、「知覚探索による症状の軽減」といった現象をオートポイエティックに解釈するならば、「身体と環境の相互作用を介した Sich（認知過程、イメージ、思考などの非定量的要素）の領域における構成素（複数の感覚モダリティ）の關係性の最適化による Selbst（身体部位の生物学的構造、脳神経系の活性化パターン、解剖運動学特徴などの定量的要素）の位相的变化」と定義できる。つまり、セラピストは、患者の二重の自己（Sich－Selbst）と環境との相互作用（System－Umwelt）を介して、Sich における感覚モダリティの關係性を適正化し、病理の制御を可能とする固有領域を形成することによって、Selbst における生物学的構造の位相的变化を促進する役割を担うことになる。



オートポイエーシスの概略図
神経現象学リハビリテーションでは、二重の自己（Sich-Selbst）と各個体特有の環境（Umwelt）との相互作用（System）を「身体システム」として単位化し、その相互作用形態を治療対象とする。

神経現象学リハビリテーションの特異性

関節・筋肉・靭帯などの生物学的組織を直接の治療対象とする従来の治療介入（関節可動域練習や筋力強化，物理療法など）は，Selbst を主な対象としており，身体と環境との相互作用や，構成素の関係性の最適化およびその産出過程は考慮されていない。

エコロジカルアプローチは身体と環境との相互作用を考慮しつつも，Umwelt の活用を中心とした治療介入となっており，前述の①～⑤といった課題を残している。

認知神経リハビリテーションは，エコロジカルアプローチと同様，身体のエナクティブな特性を前提としているものの，その理論構想では Sich が重視されている。つまり，エコロジカルアプローチが身体と環境の相互作用における環境側を中心とした理論構想であることに対し，認知神経リハビリテーションは主体の認識過程に重点が置かれている。近年の認知神経科学の研究成果をリハビリテーション医学に応用した「ニューロリハビリテーション」もまた，Sich の領域を対象としている。しかし，ここでは，本来 Selbst の領域に属する脳神経系の活性化パターンが Sich の領域に設定されており，脳神経系の位相的变化を直接的治療対象としている点で，システム論的には一種の誤謬に陥る可能性がある。これらの治療理論もまた，前述の各課題への十分な対応策の獲得には至っていない。

「行為間比較」は，駆動する身体と環境の相互作用の最中に患者の認知過程を System として導入し，Sich において，受傷・発症の前後での固有領域の差異の類似化による Selbst の位相的变化を促進するものとなっている。こうしたオートポイエティックかつエコロジカルな特性を学際的に論理化したものが本研究で提唱する神経現象学リハビリテーションである。この治療理論の特徴の一つは，課題①～⑤への対応策を示したことである。

神経現象学リハビリテーションと各課題への対応

患者の身体システムをこのように捉えた場合，セラピストには，特定の環境化において，患者に対して漫然と知覚探索を求め，最適な固有領域の自己組織化を期待するといった受動的態度ではなく，患者の病理の軽減を可能とする感覚モダリティの関係性を特定し，最適な固有領域の形成へと患者の「意識」を方向付けるといった能動的態度が求められる。よって，セラピストは，各患者にとって最適な感覚モダリティの関係性を特定し，その知覚探索の最中での視診や触診，患者の記述の変化などから，身体システムの再組織化状況をリアルタイムに調整することによって，画一的な治療介入ではなく，各患者の特性を考慮した治療プログラムを実践することができる。結果，問題点①と②に対応可能となる。

問題点③に関しては，患者に固有領域に対応する主観的経験を「強度」として設定することによって対応可能となる。強度とは，行為に附帯する知覚内容の変化率であり，その持続的变化に伴う「なんとなく・・・な感じ」といった主観的経験である。運動学習とは，強度的差異の誤差学習を基本構造としている。そのため，セラピストは，「視知覚内容の変化率の認識」

に患者の意識を誘導するのではなく、視知覚内容の変化に対応する「行為の最中における強度の調整」を患者に経験させる必要がある。神経現象学リハビリテーションでは、こうした「触覚性モデル」の導入によって、視知覚モデルへの過剰な依存を制限し、より適切な運動学習の促進が可能となる。エコロジカルアプローチが視知覚と環境を、認知神経リハビリテーションが触覚と身体をそれぞれ重要視している理論構想となっていることに対して、神経現象学リハビリテーションは両者の統合的概念として構成されている。

リハ医学の臨床現場においては、即時的・永続的な治療効果が十分に認められないといった事態が頻発する。セラピストは、そうした状況下において、治療方法の修正に迫られる。ここで重要なのは、特定の治療理論やセラピストの治療技術にその原因を求めるのではなく、患者の身体システムの修正にとって最近接領域となる感覚モダリティの関係性の特定と、その認識に求められる難易度設定を継続する姿勢である。このように、神経現象学リハビリテーションは、治療効果が停滞した場合のプログラムの論理的修正が可能となるため、問題点④への対応が可能となる。

問題点⑤への対応がエコロジカルアプローチと神経現象学リハビリテーションの最大の相違点である。生態心理学的アプローチでは、知覚探索による患者の身体の自己組織化が試みられている。しかし、自己組織化は構成素の存在を前提とする概念であり、患者の身体システムに残存している構成素（感覚モダリティ）の関係性が最適化される範囲内での治療効果が得られるとしても、受傷や発症によって欠損した感覚モダリティの産出過程は十分に想定されていない。オートポイエーシスは自己言及的かつ自律的な構成素の産出過程を定式化したものであり、神経現象学リハビリテーションでは、駆動する身体システムの最中に認知過程を導入し、最近接領域の境界部分に該当する構成素の関係性の形成による構成素の創発が想定されている。つまり、リハ医学は、オートポイエーシスのシステム論の導入によって、自己組織化的アプローチでは論理化が困難であった患者への対応が可能となるのである。また、本研究では、こうした構成素の産出過程を「意識」として設定している。

統括

本博士論文は、オートポイエーシスのシステム論のリハビリテーション医学への導入と、リハビリテーション医学特有の「意識」の実践的活用方法の設定による神経現象学リハビリテーションの治療理論の定式化、およびその実践例の提示を中心に構成されている。加えて、神経現象学的リハビリテーションの理論構想が、リハビリテーション医学が症例報告を基盤としたリサーチプログラムであることや、臨床現場における様々な倫理的課題への対応方法として設定可能であることを提示している。

学位取得大学：東洋大学 指導教員：河本英夫 博士種別：文学

取得年月日：2021年3月25日

公開論文リスト

村部義哉 (2019) . 認知神経リハビリテーションの理論構想における各主要概念の体系化の試み — 行為間比較により改善を認めた慢性期脳卒中患者の自験例を介して — 神経現象学リハビリテーション研究, 5, 7-18.

村部義哉 (2021) . 神経現象学としての認知神経リハビリテーション — オートポイエーシス・モデルからの再定式化 — 認知神経リハビリテーション, 20, 91-100.

イベント報告

報告：ロックバランスング・ワークショップ

右田 正夫（滋賀大学）¹ 廣瀬 直哉（大和大学）

2022年10月16日、京都市左京区の鴨川畔において、ロックバランスング・アートのワークショップを日本生態心理学会のイベントとして開催した。講師は同区内で整体治療院を営まれる傍らロックバランスング・アーティストとして活躍されている池西大輔氏である²。ロックバランスングとは、「石を積み上げる遊び、あるいは、芸術表現」（英語版 Wikipedia）であるが、単純に積むのではなく、石の尖った方を下向きにして立てたり、複数の石を外見上左右のバランスが取れていないような配置で積んだり、といった積み方がしばしば行われる。ロックバランスング・アートでは、石の積み方の不可能に見える程度、つまり支持の視覚的アフォーダンスに反する程度が芸術性を測るうえで重要な要素になっている。

池西氏は、以前テレビでロックバランスング・アートを見たことがあり、約7年前のある日、河原を散歩している際に自分でもやってみたくなったということである。その後、独学で様々な積み方を体得され、日々、SNSなどに作品を発表されている。

ワークショップでは、事前に池西氏に作品を用意して頂き（Fig.1）、それらをどのように作るのか実演して頂いた（Fig.2）。尖った石を立てるためには、土台となる石にある小さな窪みや段差に上に乗せる石の角をかみ合わせるようにするのであるが、かみ合うように上の石を少しずつ回したり、時には土台の石を動かしたり、といった気長な操作が必要である。時には土台と乗せる石の2個だけでなく、他の石をそれらの上に乗せることによってバランスが取れることもある。アーチを作る際には、石同士の摩擦を利用しながら先に置いた石が崩れ落ちないように伸ばしていく。上に積み上げるにしてもアーチにしても、「アート」としては石の外見が重要であるが、ロックバランスングではバランスをとるために石同士の力の作用を手指で感じ取ることが最初の課題となる。



Fig.1 用意して頂いた作品



Fig.2 池西氏による実演

¹ E-mail: migita@edu.shiga-u.ac.jp

² 作品は https://www.instagram.com/daisuke__ism/

池西氏から石の積み方やアートらしく見せる方法などについて一通り説明して頂いた後、参加者は思い思いに作品作りに取り組んだ (Fig.3) . 普段の生活で石を真剣に選ぶことはまずないと思うが、視覚的または触覚的に石の性質を探索する経験自体が童心にかえったようで楽しい。また、一つの細長い石を「立てる」だけ、つまり、長軸が鉛直方向になるように置くだけでもかみ合うポイントを見つけるための試行錯誤が必要であり、土台と乗せる石をうまくかみ合わせて立たせることができるのかなりの達成感がある。

参加者がひとしきり取り組んだ後に、池西氏に改めて手の動きなどを見せて頂いた (Fig.4) . 写真では若干見えづらいが、指をやや広げて指先で石を軽く持ち石から伝わってくる力を感じ取ることに意識を集中しているように見えた。池西氏によれば、ロックバランスングが上達してから指先の感覚が鋭くなり、全体の施術中も患者の筋肉や骨の様子が分かりやすくなったとのことである。石に対する能動的探索の経験が、ヒトに対する整体治療にも活かされていることは、生態心理学的にも興味深い。池西氏による能動的探索については、今後、池西氏による石積みの様子の動画を公開する予定なので、そちらも参照されたい。動画の視聴方法については学会のメーリングリストを通じてお知らせする予定である。

今回のワークショップは新型コロナウイルスの感染対策にも配慮し屋外で実施できる内容にしたが、屋外のイベントは実施しやすい時期が春か秋に限定されてしまい、また、秋には用務で多忙な会員も多いため悩ましいところであった。今後、こうしたイベントを会員同士の交流の機会としてさらに有益なものにするため、会員の皆様からの企画提案やご意見を頂ければ幸いである。



Fig. 3 石を積む参加者



Fig.4 池西氏の手指の様子

会 報

Newsletter

1 「生態心理学研究」掲載論文の投稿受付

「生態心理学研究」掲載の論文投稿を随時受け付けます。査読を経て受理となりました論文から、順次、発行時期の近い巻に掲載させていただきます。会員の皆様には、ぜひ積極的に本誌への論文投稿をお願いいたします。投稿の詳細につきましては、本会 Web の「学会誌」(<https://www.jsep-home.jp/journal/>)をご覧ください。

2 臨時総会

2022年9月28～10月5日（メール審議）

会則および会則施行細則の変更（会および事務局の所在地、組織・運営にかかる事務局幹事の選出等に関する変更）について審議の結果、承認された。

3 理事会

2022年4月3日（メール審議）

「2021年度収支報告」について承認。

2022年7月28日～8月3日（メール審議）

「ロックバランシング・ワークショップ」の企画について承認。

2022年10月4日～10月7日（メール審議）

「専任の職にない正会員の年会費の減額措置」の申請1件について承認。

2022年10月11日～11月2日（メール審議）

「専任の職にない正会員の年会費の減額措置」の対象文言変更について承認。

2023年3月1日～3月11日（メール審議）

「専任の職にない正会員の年会費の減額措置」の申請3件について承認。

2023年3月11日～3月17日（メール審議）

「専任の職にない正会員の年会費の減額措置」の申請1件について承認。

2023年3月11日～3月31日（メール審議）

「2022年度収支報告」および「2023年度予算案」について承認。

4 イベント報告

2022年10月16日に、本学会主催のイベントを開催しました。内容の詳細は、「報告」を御覧ください。

企画：ロックバランシング・ワークショップ

講師：池西大輔 氏（高野整体院院長）

日時：2022年10月16日（日）10時～13時

場所：京都市左京区（出町柳駅付近）

5 収支報告および予算

2021年度、2022年度収支報告および2023年度予算案については以下を参照ください。

2021年度 日本生態心理学会収支報告書(監査前)

2022年4月3日

収入の部

費目	内容	単価	数量	金額	計
会費					
	過年度(2020年度以前分)				126,000
	正会員	5,000	24	120,000	
	学生会員	2,000	3	6,000	
	賛助会員	10,000	0	0	
	当年度(2021年度分)				444,000
	正会員	5,000	85	425,000	
	減額措置	3,000	1	3,000	
	学生会員	2,000	8	16,000	
	賛助会員	10,000	0	0	
	前年度前受(2020年度内振込の2021年度以降分)				25,000
	正会員	5,000	5	25,000	
	学生会員	3,000	0	0	
	賛助会員	10,000	0	0	
	当年度前受会費(2022年度以降分)				0
	正会員	5,000	0	0	
	学生会員	2,000	0	0	
	賛助会員	10,000	0	0	
機関誌					0
	機関誌頒布	2,000	0	0	
	機関誌広告料	5,000	0	0	
	大会論集頒布	1,000	0	0	
その他					0
当期収入合計					595,000
前年度繰越金					2,759,763
	一般会計分			2,209,763	
	国際交流特別補助基金			550,000	
収入総計					3,354,763

(次ページに続く)

支出の部

費目	内容	単価	数量	金額	計
機関誌発行費					299,930
	生態心理学研究 vol. 13発行費	979	166	162,514	
	冊子封入	44	142	6,248	
	発送費込	84	142	11,928	
	J-Stageセット代	13,200	9	118,800	
	払出料		1	440	
					130,165
	J-stage費用	130,000	1	130,000	
	振出し料金	165	1	165	
国際交流基金					0
	受給者への支出		0		
理事会開催費(旅費・宿泊費)			0		0
事務・会計業務委託費(MAF)					225,120
	202106~09 会員データ管理・事務局窓口業務等	86,194	1	86,194	
	202110~202203 同	138,926	1	138,926	
大会運営費					102,806
	第8回(202103)大会ZOOM料金(実績)	38,390	1	38,390	
	払出料	220	1	220	
	第9回大会(202203)準備金	40,000	1	40,000	
	第9回大会運営費	24,196	1	24,196	
文字起こし委託費					30,289
	佐々木会員分	20,763	1	20,763	
	佐分利会員分	9,361	1	9,361	
	振出し料金	165	1	165	
雑費					20,272
	学会HP用サーバーレンタル費	13,420	1	13,420	
	ドメイン料	3,102	1	3,102	
	ゆうパック代金			980	
	包装袋代			100	
	郵送料			2,340	
	振出し料金	165	1	165	
	過払い分返還の際の振出し料金	165	1	165	
前年度前受分					25,000
	前年度前受(2019年度内振込の2020年度分)				25,000
	正会員	5,000	5	25,000	
	学生会員	3,000	0	0	
	賛助会員	10000	0	0	
当期支出合計					833,582
繰越金	収入総計-当期支出合計				2,521,181
	一般会計分(前受会費含)			1,971,181	
	国際交流特別補助基金			550,000	
支出総計					3,354,763

記入者:柴田 崇

日本生態心理学会 会計担当理事

監査:

印
日本生態心理学会 会計監査委員
印

年 月 日

2022年度 日本生態心理学会収支報告書(監査前)

2023年4月2日

収入の部

費目	内容	単価	数量	金額	計
会費					
	過年度(2021年度以前分)				72,000
	正会員	5,000	14	70,000	
	学生会員	2,000	1	2,000	
	賛助会員	10,000	0	0	
	当年度(2022年度分)				420,000
	正会員	5,000	80	400,000	
	減額措置	3,000	2	6,000	
	学生会員	2,000	7	14,000	
	賛助会員	10,000	0	0	
	当年度前受会費(2023年度以降分)				10,000
	正会員	5,000	2	10,000	
	学生会員	2,000	0	0	
	賛助会員	10,000	0	0	
機関誌					0
	機関誌頒布	2,000	0	0	
	機関誌広告料	5,000	0	0	
	大会論集頒布	1,000	0	0	
その他					0
当期収入合計					502,000
前年度繰越金					2,521,181
	一般会計分			1,971,181	
	国際交流特別補助基金			550,000	
収入総計					3,023,181

支出の部

費目	内容	単価	数量	金額	計
機関誌発行費					128,073
	生態心理学研究 vol. 14発行費(PDF版)			127,908	
	(J-Stage含む)				
	振出し料金	165	1	165	
国際交流基金					0
	受給者への支出		0		
理事会開催費(旅費・宿泊費)					0
			0		
事務・会計業務委託費(MAF)					267,692
	会員業務費用(22年4月~9月)	128,700	1	128,700	
	9月郵便料金(切手代)			740	
	9月郵便料金(後納)			8,148	
	9月コピー代			1,089	
	会員業務費用(22年10月~23年3月)	95,700	1	95,700	
	事務局窓口業務	33,000	1	33,000	
	11月郵便料金(後納)			84	
	11月印刷代			11	
	領収書対応費用			220	
企画実施費用					31,200
	講師交通費	30,000	1	30,000	
	会場費	1,200	1	1,200	
雑費					18,117
	学会HP用サーバーレンタル費	16,302	1	16,302	
	振出し料金	165	1	165	
	学会メイン口座用トークン更新料	1,650	1	1,650	
当期支出合計					445,082
繰越金	収入総計-当期支出合計				2,578,099
	一般会計分(前受会費含)			2,028,099	
	国際交流特別補助基金			550,000	
支出総計					3,023,181

記入者: 柴田 崇

日本生態心理学会 会計担当理事

監査:

印
日本生態心理学会 会計監査委員
印

年 月 日

2023年度 日本生態心理学会 予算案

(2023年3月31日理事会承認)

収入の部

費目	内容	予算	
会費			480,000
	過年度(2022年度以前分)	70,000	
	当年度(2023年度分)	400,000	
	前年度前受(2022年度内振込の2023年度分)	10,000	
	次年度(2024年度分:前受会費)	0	
機関誌			0
	機関誌頒布	0	
	機関誌広告料	0	
当期収入合計			480,000
前年度繰越金			2,560,000
	一般会計分	2,010,000	
	国際交流特別補助基金	550,000	
収入総計			3,040,000

支出の部

費目	内容	予算	
編集			100,000
機関誌発行	vol.15発行費	100,000	
会員企画への補助			120,000
	一件につき40000円×3件 (理事企画1、募集企画2)	120,000	
理事会開催費用	地方在住の理事への旅費、宿泊費*		92,000
	旅費(1.5万円×4名)	60,000	
	宿泊費(8000円×4名) *9.2万円を上限に融通可	32,000	
事務局経費			248,000
	外部委託費用	230,000	
	事務局の備品購入費等	0	
	学会HP用サーバーレンタル費	15,000	
	文具・郵便・送金手数料等	3,000	
国際交流特別補助費			0
		0	
当期支出合計			560,000
繰越金			2,480,000
	一般会計分	1,930,000	
	国際交流特別補助基金	550,000	
支出総計			3,040,000

編集後記

「生態心理学研究」第15巻をお届けします。

本巻の特集は、「アート / 表現の二重性 (duality)」です。こちらは、編集理事の青山慶の他に、佐藤由紀氏、佐々木正人氏のお二人に特集エディタとして協力いただきました。ここに感謝の意を表します。いずれの記事も会員の皆様にとって興味深い内容であると思いますので、ぜひご一読ください。今後も随時特集などを組み、本誌の内容を充実させていきたいと考えています。

会誌についてのお問い合わせやお気づきの点、特集のアイデア等がございましたら、以下のアドレスまでご連絡ください。また「生態心理学研究」掲載の論文投稿は随時受け付けています。査読を経て受理となりました論文から、順次、発行時期の近い巻に掲載させていただきます。会員の皆様には、ぜひ積極的に本誌への論文投稿をお願いいたします。2021年4月より投稿規定が改正され、投稿テンプレートも新しくなりました。投稿の詳細につきましては、生態心理学会の「学会誌」のWebページ (<https://www.jsep-home.jp/journal/>) をご覧ください。今後ともよろしくお願ひ申し上げます。

editor@jsep-home.jp

生態心理学研究編集委員会

編集理事 廣瀬直哉 野中哲士 青山慶

生態心理学研究
日本生態心理学会会誌

編集委員会

編集委員長
廣瀬 直哉（大和大学）
編集副委員長
野中 哲士（神戸大学）
青山 慶（岩手大学）

佐藤 由紀（玉川大学）
柴田 崇（北海学園大学）
古山 宣洋（早稲田大学）
丸山 慎（駒沢女子大学）
右田 正夫（滋賀大学）
三嶋 博之（早稲田大学）

生態心理学研究 第15巻 第1号

Print ISSN 1349-0443

Online ISSN 2434-012X

2023年6月1日発行

編集 生態心理学研究編集委員会

発行 日本生態心理学会

代表 三嶋 博之

編集委員長 廣瀬 直哉

〒100-0003 東京都千代田区一ツ橋1-1-1

パレスサイドビル(株) 毎日学術フォーラム内

日本生態心理学会事務局

Phone 03-6267-4550

maf-jsep@mynavi.jp

<https://www.jsep-home.jp>

表紙デザイン 福間 祥乃

Japanese Journal of Ecological Psychology
A Journal of the Japanese Society for Ecological Psychology

Board of Editors

Editor

Naoya HIROSE (Yamato University)

Associate Editors

Tetsushi NONAKA (Kobe University)

Kei AOYAMA (Iwate University)

Consulting Editors

Yuki SATO (Tamagawa University)

Takashi SHIBATA (Hokkai-Gakuen University)

Nobuhiro FURUYAMA (Waseda University)

Shin MARUYAMA (Komazawa Women's University)

Masao MIGITA (Shiga University)

Hiroyuki MISHIMA (Waseda University)

Japanese Journal of Ecological Psychology, vol. 15, No. 1

Print ISSN 1349-0443

Online ISSN 2434-012X

©2023 The Japanese Society for Ecological Psychology Printed in Japan

The Japanese Society for Ecological Psychology

President Hiroyuki MISHIMA

Editor Naoya HIROSE

The Japanese Society for Ecological Psychology,

c/o Mainichi Academic Forum Inc., Palaceside Building, 1-1-1,

Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0003 Japan

Phone +81-3-6267-4550

maf-jsep@mynavi.jp

<https://www.jsep-home.jp>

Cover Design: Yoshino FUKUMA