

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K12013

研究課題名(和文) アクティブタッチ技能の獲得過程の解明：身体の触運動ダイナミクスからの検討

研究課題名(英文) Developmental changes in the dynamics of exploratory behavior: The case of active touch

研究代表者

野中 哲士 (NONAKA, TETSUSHI)

神戸大学・人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：20520133

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：我々が手を動かして物体を触知する場合、同じものを触っても、触る動きに応じて無数の感覚パターンの変化が生じる。爆発的な感覚パターンの変化を生むアクティブタッチの動きがいかんして創発し、触れている対象の識別に寄与し得るのかという問いに対して、明解な答えを与えることはこれまで困難だった。本研究では、点字を学ぶ児童が点字を識別する際の指の動きの一年間の発達的变化を計測し、その時間構造を詳細に分析した。分析の結果、点字の触読能力と関連する指の動きの特徴として、点字をスキャンする指の速度のゆらぎの多重時間構造と、点字紙面に対する指の接触姿勢の不変性という2つの定量的な指標を同定することに初めて成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アクティブタッチにおける「動き方」がいかんして創発し、触れている対象の識別に寄与し得るのかという問題に対して、点字を探索する指の動きが要素の和に還元できないような多重時間ダイナミクスをもつという本研究が示した事実は、アクティブタッチが従来考えられていたような「運動指令と感覚入力との照合プロセス」には還元できず、むしろ皮膚その他の身体組織の摂動状態における、外部の対象と対応する「不変量」を分離することに向けた調整プロセスであるという新たな理解の可能性を示唆している。点字触読技能の熟達に関する新たな事実を示した本研究の結果は、習得が難しいとされる点字指導の教育現場に対して大きな示唆をもつものである。

研究成果の概要(英文)：Among children learning to read braille, we asked whether the quantitative kinematics of scanning movements of the reading finger would be related to the proficiency of braille reading. Over a period of 12 months, we recorded the position and orientation of the reading fingers of children. We found that the strength of long-range power-law temporal correlations in the velocity fluctuations increased with performance in braille reading. In addition, we found that the variability of the angular orientation of the reading finger was negatively related to braille reading performance. These results confirm that the kinematics of finger scanning movements were related to functional performance in braille reading. The results add to the growing body of evidence that long-range temporal correlations in exploratory behavior support perceptual performance, and that scanning movements that center important tactile information on the sensitive area contribute to the pickup of information.

研究分野：認知科学

キーワード：アクティブタッチ ハプティクス 探索行動 知覚学習 発達

1. 研究開始当初の背景

ヒトの手は物体を操作する遂行的な機能をもつ操作器官であると同時に、環境内の対象を知覚するきわめて高度な探索的な機能をもつ探索器官である。「探索器官としての手」は、自発的に動いて環境に働きかける。自発的動作を伴うアクティブタッチにおいては受動的に触れられるパッシブタッチと感覚受容器の応答は類似しているのにもかかわらず、知覚の精度ははるかに高いことが知られる。だが、「探索器官としての手」が自発的に動いて物体に触れる場合、皮膚の各層や、深部の筋肉、腱に埋め込まれた多数の受容器群は興奮し、同じものを触っても、触る動きに応じて無数のパターンの変化が生じる。このように「探索する手」の動きが、爆発的な感覚パターンの変化を生み出しつつも、恒常的に「触られるもの」の不変な特性を知覚する原理は解明されていない（Nonaka, 2020）。

視覚障害者の生活においては、身体技能としてのアクティブタッチの獲得は社会的自立に影響する。アクティブタッチによって文字を読む点字の触読に熟練した視覚障害者は減少しているが、米国では就職を果たした視覚障害者の大半は点字使用者であるという報告がある。しかし、点字の触読技能は長期に渡る訓練が必要であり、大人になってからの習得は難しく、中途失明者はその能力を十分に開花させることが難しいと言われてきた。

このような現状において、必要とされているのは、生活の中で役割を担う、生きた技能としてのアクティブタッチの獲得過程に関する理解である。とりわけ、複雑な日常環境の中で目的に向けて探索運動を調整する身体技能がどのように技能の習得と関わっているかを解明できれば、アクティブタッチ技能の円滑な習得を可能にする新たな介入方法の開発に寄与する道が開ける可能性がある。

2. 研究の目的

本研究は、アクティブタッチ技能の獲得が生活の質に大きく影響する視覚障害児を対象とし、習得が難しいとされる点字の触読技能の獲得プロセスを縦断的に検討することを通して、探索的な身体運動がアクティブタッチ技能の獲得に果たす役割について、非線形時系列解析手法等を用いて定量的に明らかにすることを目的とした。

具体的に、本研究で検討した問いは、以下の問いである。

- (1) （統制実験環境の刺激弁別ではなく）実際にアクティブタッチが機能する生活の現場において、外界を探索する手の動きにはどのような特徴が見られるのだろうか？
- (2) 点字の触読などの技能は大人になってから獲得するのが難しいとされるが、子どもが実際に技能を獲得するプロセスにおいて、外界を探索する身体の運動はいったいどのような変化をたどり、それはこれらのアクティブタッチ技能を獲得する上でいったいどのような役割を果たしているのだろうか？
- (3) 複数の参加者の発達的变化を縦断的に検討することによって、アクティブタッチ技能の獲得を促進する探索的身体運動ダイナミクスの特徴を見いだすことはできないだろうか？

3. 研究の方法

本研究では、柔軟なワイヤー型センサーと、複雑な時系列変化の特徴抽出を可能にする非線形解析という道具立てを用いて、視覚特別支援学校で点字を学ぶ児童が、点字の触読技能の訓練の過程で、触読をする指の動きがどのような変化の経過を辿るのかを一年間に渡って縦断的に計測し、定量的に検討した。さらに、高い触読技能をもつ群と、初心者の群の触読運動の特徴の比較などを通して、探索的な指の運動のいかなる特徴が技能の獲得に寄与しているのかを解明することを目指した。

(1) 参加者および手順

視覚特別支援学校に通う視覚に障害をもつ8名の児童(女児2人,男児6人,年齢7~12歳,点字経験1~6年)を対象として、点字課題を朗読する際の読字指の動きを3ヵ月ごとに縦断的に計測し、1年間に渡る発達的变化を追った。点字課題には小学校低学年用の国語の教科書から抜き出した散文を点字でタイプしたものを使用した。各計測回につき同一課題を読む2試行が計測され、各計測回間では異なる点字課題が用いられた。

児童には両手の人差し指の爪に1グラムに満たない小さな位置・角度センサーを貼り付けてもらい、動作計測システムによって指の3次元空間の位置および姿勢を120Hzで計測した。また、あわせて頭上に設置したカメラで点字紙面上の指の動きを撮影した。

(2) データの分析

点字の一行ごとに、読字指の左右方向の位置変化、三つの回転軸の姿勢データを用いて、①左右方向の平均スキャン速度、②加速度の正負の転換回数、③指の逆行回数、④トレンド除去ゆらぎ解析(DFA)指数、⑤読字指の3軸まわりの角度標準偏差を算出した。

また、ビデオデータから一行ごとの音読速度を算出するとともに、児童の触読スタイルを、①片手で読む、②片手で位置取り、もう一方の手で読む、③両手で並行して同じ箇所を読む、④行の終わり付近まで両手で読み、行の終わりで左手が次の行の頭出しをする、⑤左手で行の途中まで読み、そこから行の最後までを右手で読む、の5つに分類した。

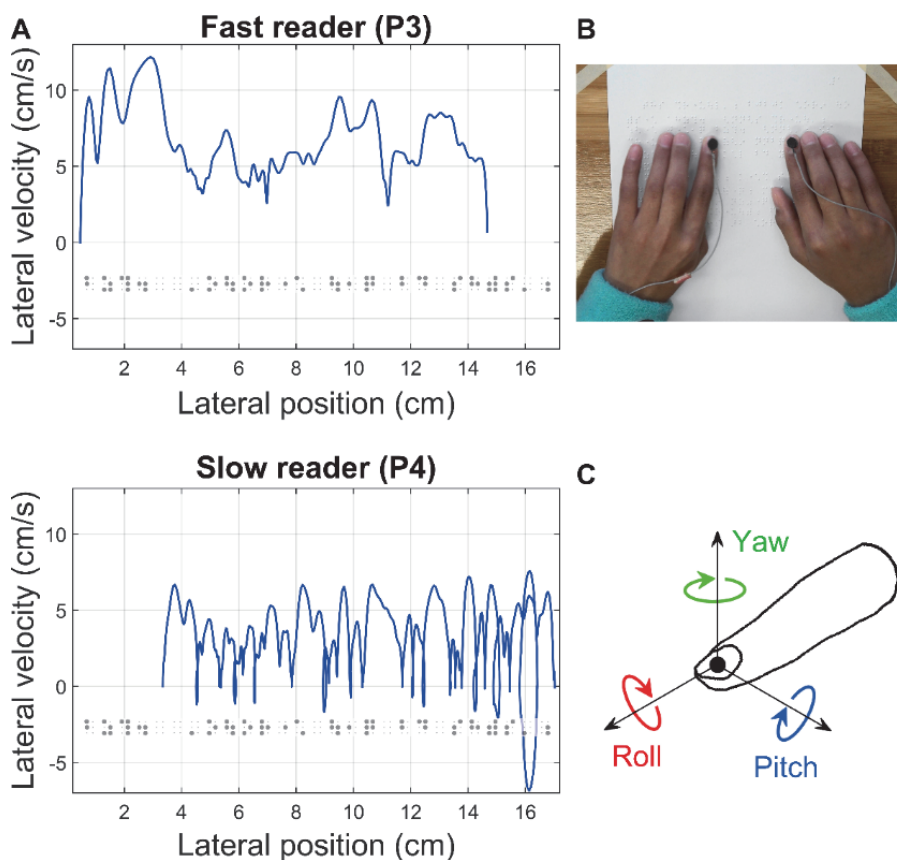
上記の変数を点字の音読速度と照らし合わせることで、児童が点字を読む速度およびその発達的变化にどのような指の動きの特性が寄与しているのかを定量的に検討した。

4. 研究成果

点字を学ぶ児童の指の動きの一年間の発達的变化を計測したデータを詳細に分析した結果、点字の触読能力と関連する指の動きの特徴として、点字をスキャンする指の速度のゆらぎの多重時間構造と、点字紙面に対する指の接触姿勢の不変性という2つの定量的な指標を初めて同定することに成功した(Nonaka, Ito, & Stoffregen, 2021)。具体的には、定量的データの分析からは、点字の触読の熟達にともなって、児童の指の動きに、短期的なゆらぎと長期的なゆらぎが強く相関する長時間相関の特徴が現れること、また、点字触読のパフォーマンスには、指が点字に触れる領域を比較的一定に保つ指の姿勢の不変性が貢献するという事実が、はっきりと浮かび上がってきた。

テキストを目で読む時、視線は文字の上で停留する動きと、文字間をジャンプする動きを連続して繰り返し、テキスト情報は視線の停留時に抽出される。しかし、点字の触読においては視線の「停留」にあたるものがないため、指を「動かす」ことによって、はじめてテキスト情報の識別が可能になる。つまり、すべてのテキスト情報は、指の「動き」の最中に現れることになる。

従来、点字の触読の研究においては、点字をスキャンする指の速度を一定に保ち、皮膚刺激の時間的な間隔と凹凸の空間的な間隔を対応づけることによって、点字の空間的な凹凸パターンの識別が可能になると考えられていた (Bertelson, 1995)。しかし、今回の研究では、この仮説を根底から覆す結果が得られた。実際に計測してみると、一見スムーズに見える点字を読む指の動きは、大小の間欠的な速度のゆらぎを伴っていた。点字をスラスラと上手に読む子どもにおいても、点字をスキャンする指の動きは、等速とは程遠いものだった。さらに、複数の時間スケールで指の速度のゆらぎ量を算出したところ、点字を早くスラスラと読むことの出来る子どもたちの指の動きには、短期的なゆらぎと長期的なゆらぎとの間に強い相関が生じる長時間相関（フラクタルゆらぎ）と呼ばれる特徴が見られたのに対し、点字の経験が浅く読むのが遅い子どもたちの指の動きには、長時間相関のない、ランダムに近いゆらぎの時間構造が見られることがわかった。また、点字初心者子どもたちにおいては、学校で点字の学習を重ねる一年間のうちに、徐々にゆらぎの長時間相関が強くなる方向に指の動きが発達変化していくというはっきりとした傾向が浮かび上がってきた。



(A) 点字を読む指の左右方向の位置（横軸）と速度（縦軸）の軌道。上：点字上級者，下：点字初心者。(B) センサーを装着した実際の計測場面。(C) 計測した指の姿勢。上級者になるにつれて、点字触読中の Roll 軸と Pitch 軸まわりの角度のばらつきが小さくなる。

しばしば知覚は「入力」として考えられているが、実際は能動的に探索する「活動」という一側面を持つ。その代表例が、点字の触読のように、身体が触れているものについて識別するために手を動かすアクティブタッチである。アクティブタッチはきわめて複雑で、皮膚を受動的な受容器のモザイクと見なす従来の触覚理論では、アクティブタッチにおける「動き方」がいかにして創発し、発達し、それが触れている対象の識別に寄与し得るのかという問いに対して、明解な答えを与えることは困難だった。点字を探索する指の動きが、要素の和に還元できないような多重時間ダイナミクスを示すという本研究の結果は、アクティブタッチが従来考えられていたような「運動指令と感覚入力の照合プロセス」には還元できず、むしろ皮膚その他の身体組織の摂動状態における、外部の対象（点字の凹凸パターン）と対応する「不変量」を分離することに向けた調整プロセスであるという新たな理解の可能性を指し示すように思われる。また、点字触読技能の熟達に関する新たな事実を示した本研究の結果は、習得が難しいとされる点字指導の教育現場に対して大きな示唆をもつものである。

本研究の成果として、2019年にオランダで開催された国際学会 International Conference of Perception and Action にて計測途上のデータをもとにした予備的報告を行った (Nonaka, 2019a)。この学会で意見を交わした University of Minnesota の Thomas A. Stoffregen 教授との国際共同研究に同研究は展開し、最終的に得られた結果を 2021 年に国際学術雑誌 *Scientific Reports* に査読付国際共著研究論文としてまとめて公刊した。あわせて、研究を通して浮かび上がってきた理論的な問題について、Routledge から公刊された書籍の一章 (Nonaka, 2019b)、国内学術雑誌『科学哲学』の招待論文 (野中, 2020a)、および国際学術雑誌 *Frontiers in Psychology* の査読付論文としてまとめ (Nonaka, 2020)、それぞれ公刊した。さらに、アクティブタッチが関与する道具使用の技能発達に関する複数の論文を公刊した (Nonaka & Stoffregen, 2020; 野中, 2020b)。

<引用文献>

- Bertelson, P. (1995). Language by touch: the case of braille reading. In *Speech and Reading: A Comparative Approach* (eds de Gelder, B. & Morais, J.) 91-108, Taylor & Francis.
- Nonaka, T., & Ito, K. (2019a). Perception by scanning: Development of finger movement in braille reading. *International Conference on Perception and Action 2019*.
- Nonaka, T. (2019b). The Triad of Medium, Substance, and Surfaces for the Theory of Further Scrutiny. In J. Wagman & J. Blau (Eds.) *Perception as Information Detection: Reflections on Gibson's Ecological Approach to Visual Perception*. Routledge. <http://dx.doi.org/10.4324/9780429316128-3>
- Nonaka, T. (2020). Locating the inexhaustible: Material, medium, and ambient information. *Frontiers in Psychology*, 11:447. <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00447>
- 野中哲士 (2020a) 知覚を可能にするマテリアル 『科学哲学』 52(2), 21-40.
- 野中哲士 (2020b) 書字技能の発達: 字を書く身体と環境 『バイオメカニズム学会誌』 44(4), 203-210.
- Nonaka, T., & Stoffregen, T. A. (2020). Social interaction in the emergence of toddler's mealtime spoon use. *Developmental Psychobiology*, 62(8), 1124-1133.
- Nonaka, T., Ito, K., & Stoffregen, T. A. (2021). Structure of variability in scanning movement predicts braille reading performance in children. *Scientific Reports*, 11:7182. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86674-5>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 3件）

| | |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名 Nonaka Tetsushi、Ito Kiyohide、Stoffregen Thomas A. | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Structure of variability in scanning movement predicts braille reading performance in children | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports | 6. 最初と最後の頁 1-12 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-021-86674-5 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 該当する |
| 1. 著者名 Tetsushi Nonaka | 4. 巻 11:447 |
| 2. 論文標題 Locating the Inexhaustible: Material, Medium, and Ambient Information | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Frontiers in Psychology | 6. 最初と最後の頁 1-11 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fpsyg.2020.00447 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 野中哲士 | 4. 巻 52 |
| 2. 論文標題 知覚を可能にするマテリアル | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 科学哲学 | 6. 最初と最後の頁 21-40 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4216/jpssj.52.2_21 | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 野中哲士 | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 書字技能の発達：字を書く身体と環境 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 バイオメカニズム学会誌 | 6. 最初と最後の頁 203-210 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Nonaka Tetsushi、Stoffregen Thomas A. | 4. 巻 62 |
| 2. 論文標題 Social interaction in the emergence of toddler's mealtime spoon use | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Developmental Psychobiology | 6. 最初と最後の頁 1124 ~ 1133 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/dev.21978 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tetsushi Nonaka |
| 2. 発表標題 How do we control the encounters with the environment? |
| 3. 学会等名 What's Next!? - Embodiment and the Future (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 青井郁美, 野中哲士 |
| 2. 発表標題 座位獲得以前の乳児が日常場面において自発的に手を動かして触れた環境内の対象 |
| 3. 学会等名 日本発達心理学会第32回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 青井郁美, 野中哲士 |
| 2. 発表標題 座位獲得以前の乳児が日常場面において自発的に手を動かして触れた環境内の対象 |
| 3. 学会等名 日本生態心理学会第8回大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 木崎圭介, 野中哲士 |
| 2. 発表標題 正確さが必要とされる熟練伝統技能における視覚運動協調 : 扇子づくりの目もみ技能の検討 |
| 3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Tetsushi Nonaka, Kiyohide Ito |
| 2. 発表標題 Perception by scanning: Development of finger movement in braille reading |
| 3. 学会等名 International Conference on Perception and Action 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 野中哲士 |
| 2. 発表標題 身体技法：群棲環境とのエンカウンター |
| 3. 学会等名 日本認知科学会研究分科会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Nonaka, T., & Ito, K. |
| 2. 発表標題 Perception by scanning: Development of finger movement in braille reading |
| 3. 学会等名 The International Conference on Perception and Action 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------|
| 1. 発表者名 野中哲士 |
| 2. 発表標題 媒質としての身体観 |
| 3. 学会等名 日本科学哲学学会第51回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--------------------------|
| 1. 発表者名 野中哲士 |
| 2. 発表標題 素材に分け入る知覚と行為 |
| 3. 学会等名 日本生態心理学会第7回大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

〔図書〕 計3件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Jeffrey B. Wagman, Julia J. C. Blau, Anthony Chemero, Tetsushi Nonaka, Christopher C. Pagano, Claudia Carello, Michael T. Turvey, William M. Mace, Robert Shaw, Audrey L. H. van der Meer, William H. Warren, Harry Heft, Karen E. Adolph, Michael A. Riley, Thomas A. Stoffregen | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 Routledge | 5. 総ページ数 354 |
| 3. 書名 Perception as Information Detection: Reflections on Gibson's Ecological Approach to Visual Perception | |

| | |
|-----------------------|-----------------|
| 1. 著者名 野中哲士 (分担執筆) | 4. 発行年 2019年 |
| 2. 出版社 新曜社 | 5. 総ページ数 272 |
| 3. 書名 質的研究法マッピング | |

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 染谷昌義・細田直哉・野中哲士・佐々木正人 | 4. 発行年 2018年 |
| 2. 出版社 金子書房 | 5. 総ページ数 220 |
| 3. 書名 身体とアフォーダンス: ギブソン『生態学的知覚システム』から読み解く (新・身体とシステム) | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------------------|---|--|----|
| 研究 分 担 者 | 伊藤 精英 (ITO KIYOHIDE) (90325895) | 公立はこだて未来大学・システム情報科学部・教授 (20103) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 | | | |
|---------|-------------------------|--|--|--|
| 米国 | University of Minnesota | | | |