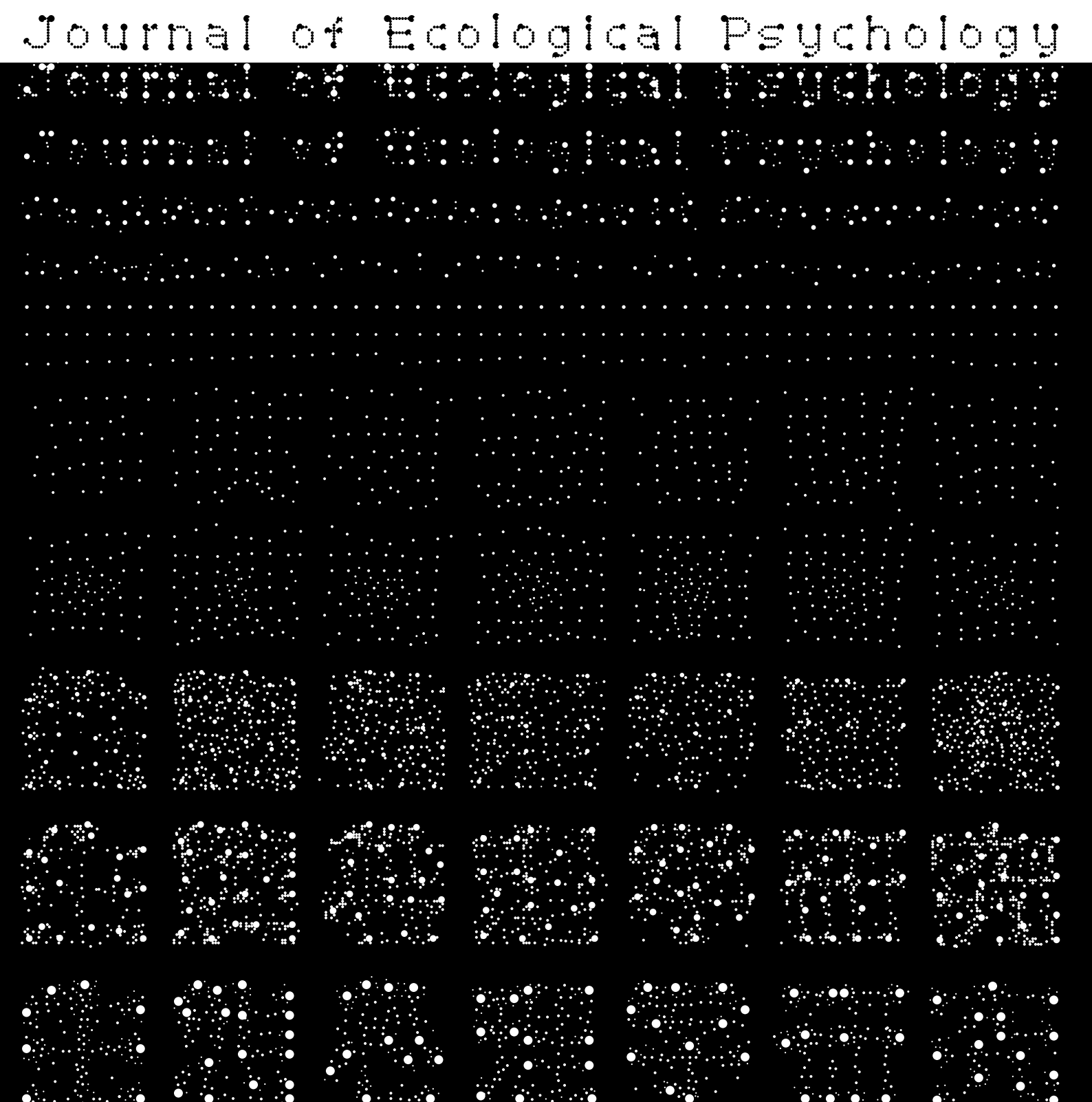


Volume 17, Number 1, June 1, 2025

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ることが求められる。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。

投稿規程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。

著作権とライセンシング

2025年（17巻）以後に“生態心理学研究”に掲載される論文の著作権は著者に帰属します。また、2025年（17巻）以後に掲載される論文にクリエイティブ・コモンズCC BY国際ライセンス（CC BY 4.0）の再利用ライセンスを適用します。CC BY 4.0に従って、論文をご利用ください。

なお、2024年（16巻）以前に掲載された論文の著作権は日本生態心理学会に帰属します。

ショートノート

小学校入門期における具体物を利用した子どもの数的活動で見られる「行為の淀み」 石井康博	3
--	---

特 集 1

特集：テクノロジーとセルフ 青山 慶・西尾千尋・児玉謙太郎	25
やわらかいロボットから考える生態心理学 新山龍馬	27
環境－身体の相互作用とリハビリテーション： 感覚情報を補完するインタフェースを生態心理学から再考する 安田和弘・岩田浩康	35
バーチャルリアリティ映像に対する知覚と行為 樋口貴広	49
変容する自己の記述のために：技術の影響の理解への生態学的アプローチ 柴田 崇	61
A Preliminary List of Postulates for an Ecological Psychology J. J. Gibson	75
生態心理学の基本原則の予備的なリスト（Gibson, 1971） 訳：野中哲士	79
変化に浮かび上がるセルフ－生態心理学の基本原則の予備的なリスト－ 野中哲士	83

特 集 2

特集：生態心理学ことはじめ

友野貴之・児玉謙太郎・青山 慶・関 博紀・牧野遼作 95

アフォーダンス知覚研究のススメ：先ず π より始めよ

友野貴之 97

ダイナミック・タッチの基礎

伊藤万利子 109

体肢間協応研究の実践的解説

－ Bernstein の動作構築理論と力学系アプローチを中心に

谷貝祐介 127

同期研究への誘い：機能・仕組み・方法・発展的課題

岡野真裕・向井香瑛 141

生態心理学的発達研究の方法：ボトムアップのアプローチ

西尾千尋 169

報 告

第 22 回「知覚と行為の国際会議」

(The 22nd International Conference on Perception and Action) 報告

西尾千尋・児玉謙太郎 189

Thomas A. Stoffregen 先生講演会 “Higher Order Affordance” の報告

野中哲士・西尾千尋・児玉謙太郎・青山 慶 193

会 報

Newsletter 197

会計報告

(2024 年度収支報告, 2025 年度予算案)

訂正のお知らせ

編集後記

ショートノート

小学校入門期における具体物を利用した子どもの数的活動で見られる「行為の淀み」

石井 康博（関西大学）¹

小学校入門期の子どもの数的活動を，Ginsburg et al.(1999) による5つのカテゴリーで分類した結果，5つのカテゴリーに含まれない「その他」が確認され，その割合が51.8%であることが示唆された（石井，2013）。

研究1では，5つのカテゴリーに「その他」を加えた6つのカテゴリーを子どもがどう利用しているか，マトリックスによる表示の結果，「その他」が5つのカテゴリーとつながりを持ち，「その他」とのつながりのパターンが3つに区分されることが示された。

研究2では，「その他」が5つのカテゴリーと関連してどういった特徴および機能を有しているかを検討するため事例解釈を行った。その結果，具体物を利用した子どもの数的活動においていくつかの制約の中で，「行為の淀み」（佐々木ら，1992）が置く，移動，といった行為の前段階さらにそれら行為の間で生起していることが示唆された。

キーワード：算数科，数的活動，具体物，「行為の淀み」

How "Stagnation of Action" Are Occurred in Children's Mathematical Activities Using Objects at Grade1 of Elementary School

Yasuhiro Ishii (*Kansai University*)

The mathematical activities of early elementary school children were classified according to the five categories presented by Ginsburg et al. (1999). Activities that did not fit into any of these five categories were classified as “other”; in total, 51.8% of the activities were classified as “other” (Ishii, 2013).

In Study1, a matrix display of children’s activities organized according to these six categories (i.e., the original five categories and the new “other” category) showed that the “other” category was connected to the five categories in three main patterns.

In Study 2, case studies were interpreted to examine the characteristics and functions of the “other” category in relation to the five categories. The results suggested that when certain restrictions are placed on them for activities using objects, and that “stagnation of action” (Sasaki et al., 1992) occurs in the preliminary stages of activities while children are placing and moving objects or between these actions.

Keywords: mathematics, mathematical activities, objects, “stagnation of action”

¹ E-mail: yishii@kansai-u.ac.jp

1 はじめに

小学校学習指導要領では、具体物を用いた活動により子どもがモノの数に着目して数の数え方や計算の仕方を考える力に結びつけることを1学年の目標に掲げている（文部科学省，2018）。一方、幼稚園教育要領では幼児の自発的な活動としての遊びの中で数量や図形などに親しむ体験を重ねるために、幼児と人やモノとの関わりを重視し、環境を構成させることが目指されている（文部科学省，2017）。

算数科の学びおよび幼児期の遊びを通した活動では、具体物そしてモノが目的をもった位置づけとなっていることがわかるが、なぜ、具体物すなわちモノであるのか。

中沢（1981）は乳幼児期に観察された詳細な事例をもとに、子どもを取り巻く環境の中でモノを操作することによって、数量の大小比較、数詞といった数量を表すことば、それぞれが密接して関係づけられることを示唆している。また、自発的な子どもの行動を起こさせるには、手頃なモノを用意すべきであり、幼児期の遊びを通した自主的活動において、モノや遊具が用意された環境が活動を生みだしていると指摘している。

それでは幼児期に子どもがモノを利用する環境で身につけられるものは何であるのか。

EME プロジェクト（1989）は、幼児が日常生活の中から、数学に関して素地となる経験を観察による方法で記述および分類している。経験の内容は、連続量、分離量、平面図形、立体図形等、広範囲な内容を含む。子どもが習得している数学的概念と子どもが経験を通して習得した数学的概念との確認は難しいと考えられている。しかし、日常生活の中で、子どもはモノを利用した諸活動の中から数学的な意味を読み取り、広範囲にわたり幼児の経験に含有すると想定される数学的概念を明確に分類したこと、そして将来概念として発展しうる、獲得できる数学的概念を幼児の活動から同定した点で EME プロジェクトの研究としての意義は大きい。

これらの先行研究から、子どもの数的活動は幼児期には包括的な諸活動の中に見られ、これらの活動にモノの介在を通して、将来に結びつく数学的概念の素地となる要素が存在しているということがわかる。子どもは幼児期の教育を経て小学校に入学し、算数科の学びが始められる。吉田・ディコルテ（2009）は算数科の教育内容というのは数学という論理体系がもつ内容を子どもが理解できるように教科書に示されていて、小学校教育の基本は「教科の論理」が中核となっていると指摘している。小学校の入門期である1学年においては、幼児期における遊びを通した学びから、教科の論理に合致した教育内容に対して具体物すなわちモノの利用を通して遊びの側面をいかにうまく学びに活かすことが求められると考えられる。

これまで、幼児期においてモノが利用され、遊びを通した数的活動が観察され検討されてきた。

Ginsburg et al.（1999）はグループでの幼児の自由遊びの場面で観察される数量にかかわる行動を対象として質的分析およびカテゴリー分析によって子どもが潜在的にもつ数学的概念の素地となる要素が幼児のこういった活動に存在するのかを検討している。その結果、数学的な活動（Mathematical activity）の頻度が全活動頻度の44.6%を占め、その内訳は「パターン・

形 (Patterns and shapes)」が 36%，足したり引いたりという，数量の変化や変換のプロセスを吟味する「ダイナミクス (Dynamics)」の活動の割合が 22%で，以下，「関係性 (Relations)」，「分類 (Classification)」，「数える (Enumeration)」と続いている．そして「数える」より「パターンや形」に関わる活動が頻繁に観察されたことを特徴として示している．

榊原 (2002) は幼稚園における日常の保育場面を観察し，幼児の種々の数的活動を，Ginsburg et al. (1999) のカテゴリーをもとに分類しているが，計数や数詞の使用といった，「数える (Enumeration)」ことに関わる活動の割合が大きいことを明らかにしている．

石井 (2013) は Ginsburg et al. (1999) における 5 つの同一のカテゴリーを援用して小学 1 学年の子どもの数的活動を分類した．その結果，5 つのカテゴリーに該当しない「その他」の割合が 51.8%であった．「その他」をどう捉えたらよいだろうか．Ginsburg et al. (1999) では，数学的活動 (Mathematical activity) として認められない活動 (No mathematical activity) は 55.4%となる．また榊原 (2002) では数量行動が認められた割合が 69%と示されているため，数量行動が認められない割合は 31%となる．これらの先行研究では日々の活動 (everyday activity) における自由遊び，保育の中での自由遊びそれぞれにおいて数学的活動や数量行動に該当しない活動の割合が 55.4%および 31%であると捉えられる．石井 (2013) の場合，算数科授業において観察されている．幼児期での遊びの要素が含まれた活動が小学校入学 1 年間でなくなるとは考えにくい．算数科における数的活動を通した学習の解決過程において遊びの要素が含まれた活動が石井 (2013) の「その他」で観察されたと考えられる．

さらに石井 (2020) は 5 つのカテゴリーとのつながりの様相から「その他」の特徴が浮かび上がると考え事例の解釈を試みた．その結果，課題解決の過程において，子どもが具体物を移動させたり，置いたりする，といった 5 つのカテゴリーの活動を支える，いわば，下位的な活動と判断できる行為が観察された．さらに，計算場面における子どもの操作活動の場面では「行為の淀み」(佐々木ら，1998) とは同一とはいえないが，「行為の淀み」にある側面に関係があると考えられる活動が観察された．

次に本研究で取り上げた事例の分析および解釈のために，依拠する先行研究について述べていく．

まず，「下位タスク」といった枠組みである．

鈴木・佐々木 (2001) は行為を分析するために必要な分析ユニットの必要性を指摘したうえで，ギブソン (2000) が提示する観察される行動における「タスク」といった機能的分節を分析ユニットとして提示している．「タスク」は長い持続時間をもつ包括的な行動に埋め込められ，さらにその中により持続の短い「下位タスク」が含まれているとする．

「下位タスク」の枠組みに依拠すれば，一つのまとまりのある活動が「タスク」に重なり，タスクを構成する部分としての「下位タスク」は最小単位の活動と捉えられる．例えば，置く，並べる，取る，移動するといった石井 (2013) における「その他」は一連の活動に含まれるつながりの中での機能はプリミティブな一つの活動として数えるといった目的をもつ具体物に対する操作活動を構成する下位の行為とみなすことができる．さらに，5 つのカテゴリーでは

包括的であったために、数えることのために、置くや並べるといった「その他」という下位のレベルとしての行為が必要であったともいえる。

「その他」の割合が 51.8%となった背景として、5つのカテゴリーにおける活動とは異なる「下位タスク」としての行為が観察されたのではないだろうか。

次は「行為の淀み」である。「行為の淀み」は「マイクロスリップ」といわれ、アフォーダンス研究において議論されている (Reed et al., 2009)。

佐々木ら (1998) は行為が推移するなかでマイクロスリップとよばれる微小な行為の欠片があり、下位タスクの推移に生まれているマイクロスリップが行為における小さな淀みを分析している。日常的な行為はわずかに淀みながら進行し、行為の淀みとは錯誤ほどは行為の進行を妨げずに、行為の過程で内在している微小な運動成分のことで規定している。さらに、佐々木 (1996) は行為の系列が多様である場合、「最短の系列」で行為をつなぐより、まず、何かをいろいろやってみて行為をつないでいるという。

子どもは与えられた具体物に対する種々の操作によって、具体物の見えの変化に対して、「最短の系列」で行為をつなぐよりも具体物をいろいろ試しながら、少しずつ行為を変えていくと考えられる。佐々木ら (1998) は「日常的な行為はわずかに淀みながら進行している。」(p.57) として、小学校低学年児童から高齢者までを対象としてインスタントコーヒー（あるいはココア）を2杯入れるといった課題を単純および複雑な環境条件で観察し、手の淀みの現れを確認している。石井 (2020) における計算の解決過程に見られる具体物への移動等の操作は淀みと同一とは言えないが、解決の過程で選択可能な場面において「行為の淀み」が生起していることが想定される。

これまでの議論より、本稿では石井 (2013, 2020) における事例をデータとして、第一に「その他」と「その他」以外の5つのカテゴリーがどうつながりをもち一つのまとまった活動を構成しているのか、カテゴリー同士のつながりの様相を検討していく。

第二に、事例の質的解釈を試みる。まず一まとまりとして観察された数的活動において、「その他」がどう関わって「行為の淀み」が生起しているのか否か判断基準を定めて吟味する。つぎに「行為の淀み」の生起が確認された場合、「行為の淀み」にかかわる行為のもつ特徴を考察し、さらに「行為の淀み」が生起する仕組みを検討していく。

2 研究1 数的活動同士のつながりについて

2.1 目的

先行研究に依拠したカテゴリーに「その他」を含めた6つのカテゴリー同士のつながりの様相を検討して、「その他」と「その他」以外の5つのカテゴリー同士がどうつながりをもって一つのまとまった活動を構成しているのか、カテゴリー同士のつながりの様相を検討していく。

Table 1 数的活動の内訳および頻度 (石井,2013)

数的活動の内訳	数的活動数 (一まとまりの活動)	最小単位の 数的活動	連続した 数的活動数
頻度	2 3 6	4 5 9	1 0 6

2. 2 方法

2. 2. 1 石井 (2013) における方法

石井 (2013) における方法のうち (1) 対象児, (2) 実施期間, (3) 手続きおよび (4) 分析対象それぞれを付録で示した (付録 1). ここでは新たな分析と関わる (5) 分析単位とした子どもの数的活動および (6) 分類の手立てを示す.

(5) 分析単位とした子どもの数的活動

数的活動は, 大きく「最小単位の数的活動」と「連続した数的活動」, および「一まとまりの活動」に区分されているが, 「一まとまりの活動」は単数および複数の「最小単位の数的活動」で構成されている (Table 1). 分析の対象は「子どもの具体物を対象とした操作活動」とした. 例えば, “色板” (対象となる具体物) を“横一列に” (どのように) “並べる” (操作する) 活動における「並べる」を最小の分析単位の活動とした.

特に, 具体物を「置いた」たあとに「並べ」さらに「数えた」といった最小分析単位の活動が連続して続いた場合, 子どもにとって意図のある連続した活動であると判断し, 「一まとまりの活動」のうちの「連続した数的活動」としてカウントした.

(6) 分類の手立て

抽出された数的活動は Ginsburg et al. (1999) のカテゴリーを援用し Ginsburg et al. (1999) のカテゴリーに対する榊原 (2002) の定義に倣い分類を行った (Table 2). 「分類」では, 具体物を分類する, あるいは区分けする, 「関係性」では, 具体物を同じ数ずつ並べる, 「数える」では, 具体物を数える, 「ダイナミクス」では, 具体物同士を付けるあるいは分離させる, 「パターン・形」では, 具体物で形を作る, といった活動がそれぞれ観察された. 具体物を利用した活動では複数のカテゴリーに重複して分類される活動が見られた. その場合には, 活動の文脈で判断した. 「置く」は何のためにどういった文脈で「置く」に至ったのか判断した. 例えば, 「置く」ことで形が作られた場合は「パターン・形」とし, 置いた後, 数える活動では, 「置く」は「その他」とした. また, 具体物を移動する活動は, 「ダイナミクス」および「その他」に該当するが, 活動の内容が計算に関与して, 結果として数量の加減に結びついた活動は「ダイナミクス」と判断した.

2. 2. 2 観察された子どもの活動内訳

これより筆者の研究におけるデータ (石井, 2013) に対して新たな分析を示し, 得られた結

Table 2 数的活動のカテゴリー

Ginsburg, Inoue, & Seo (1999)	榊原 (2002) による定義および石井 (2013) における例	頻度(n=459)(割合) 石井 (2013)
分類 (Classification)	人やモノを適切な集団に入れる 例: 具体物を分類する, 具体物を区分けする	51 (11.1%)
関係性 (Relations)	量の大小についての比較・評価をする 例: 具体物を同じ数ずつ並べる	5 (1.1%)
数える (Enumeration)	数的な判断や数量化をおこなう 例: 具体物を数える	50 (10.9%)
ダイナミクス (Dynamics)	数量の変化ないし変換のプロセスを吟味する 例: 具体物同士を付ける, 具体物を分離する	88 (19.2%)
パターン・形 (Pattern and Shapes)	パターンや形を見つける, 予測する, 創作する 例: 具体物で形を作る	27 (5.9%)
その他	上記に該当しない活動 例: 具体物を置く, 具体物を並べる	238 (51.8%)

果に考察を加えていく。

「その他」は幼児教育における先行研究でのカテゴリーにどのようなつながりと関わりをもつて付随しているのか, その全体像を可視化する手立てが必要となる。

そこで, 観察された具体物を利用した子どもの数的活動を俯瞰して表現する方法として, マトリックスの構造に表示する方法に倣い採用した(佐藤, 2008)。抽出された最小単位の数的活動同士のつながりの様相が活動の全体像になると考えたからである。さらに, 2つの視点(軸)から観察できることから, 横に見ることで一まとまりの数的活動を構成する連続したカテゴリー同士がつながりの様相の関係として捉えられ, 縦に見ることでつながりのパターンを相互に比較して俯瞰できると考えた。

マトリックスでは, 「その他」を含めた6つのカテゴリーにおいて一まとまりの活動におけるゴールとなる最終カテゴリーを右端に位置づけ, さらに同一パターンの活動数を示した。そして, スタートにあたるカテゴリー, 最終カテゴリー, さらにスタートから最終カテゴリーに至る中途にあたるカテゴリーをプロセスとして, それらカテゴリーすべてを布置し, あわせて最小単位の数的活動の頻度を()内に記し, つながりとして示した(Figure 1)。

マトリックスにおける最小単位の数的活動の総数は図の右下()内に記した。また一まとまりの活動数(同一パターンの活動数)はマトリックス右端に付した。それぞれの総数は「数的活動の内訳および頻度」(Table 1)における数値と整合している。

2. 2. 3 一まとまりの数的活動におけるつながり

一まとまりの数的活動において「その他」を含めた6つのカテゴリーに対して, スタートにあたるカテゴリーには○, 最終にあたるカテゴリーには◎を, スタートおよび最終カテゴリーを除く中途にあたるカテゴリーにはプロセスとして△をそれぞれ表示した, さらに, 「その他」をはじめ6つのカテゴリーの利用頻度を()内に示したが(Figure 1), カテゴリー同士の相互のつながりの全体的な様相が俯瞰できると考えたためである。

2. 2. 4 連続した一まとまりの数的活動のパターンと割合

Figure 1 では最小単位の活動の布置とともに利用頻度をそれぞれ示しているが、連続したつながりの順序は示すことはできない。そこでマトリックスで示された活動の布置から見られる特徴に対応させて、それぞれのつながりの順序の特徴にあわせ、パターンに分類し、それぞれのパターンの頻度をもとに割合を表示した (Table 3)。

例えば、数的活動の事例記録より具体物をすべて横に置いた後、移動させ、数えた場合、○→△→◎と表記できるが、特に「その他」の利用を通して6つの最終カテゴリーに至るパターンの結果を表示した。意図は、最終カテゴリーまでに「その他」がプロセスに位置づけられる有無、および「その他」と最終カテゴリー同士とのつながりにおけるカテゴリーがもつ機能の様相が把握できると考えたからである。

2. 3 結果と考察

2. 3. 1 一まとまりの数的活動におけるつながりのパターン

459 の最小単位の数的活動、236 の数的活動 (一まとまりの活動)、そして6つのカテゴリーそれぞれをつながりの様相を頻度とともに一覧に示した (Figure 1)。

一まとまりの数的活動では、単一のカテゴリーで構成される場合 (◎のみ)、スタート (○) から、いくつかの単数および複数のプロセス (△) を経て最終カテゴリーの活動 (◎) に至る場合、さらにプロセス (△) を経ずに至る場合 (○および◎) に区分できた。

「分類」、「関係」、「数える」、「ダイナミクス」、「パターンと形」のうちで、「分類」、「数える」、「ダイナミクス」、「パターンと形」それぞれで「その他」とのつながりを有していた。「関係」では「その他」とのつながりは見られなかった。次に、「その他」が「分類」、「数える」、「ダイナミクス」、「パターンと形」という4つのカテゴリーの前後に位置し、それぞれに該当する活動とのつながりを持って、一まとまりの活動を成立させているといえる。特に、「数える」および「ダイナミクス」それぞれのカテゴリーが最終となる場合、最終に至る前に「その他」が利用される割合が大きいことから、置くことや移動させることがもつ働きにより「その他」が数えること (「数える」) や計算すること (「ダイナミクス」) に結びついたり、数えることや計算することといった活動が生まれたりしている、ということがいえる。

2. 3. 2 数的活動 (一まとまりの活動) でのつながりのパターンとその割合

数的活動において最終的に6つのカテゴリーに至るプロセスにおいて、6つのカテゴリーのつながりの様相、「その他」が利用される有無、および「その他」と最終カテゴリー同士とのつながり方により3つのパターン (パターンⅠ、パターンⅡ、パターンⅢ) に区分された (Table 3)。表内でパターンⅠの結果には太線で囲み、パターンⅡには網掛けをし、パターンⅢには破線で囲み、それぞれ Figure 1 においても同一のパターンに対応させて表示した。

一まとまりの活動における最終カテゴリ							同一パターンの活動数
分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	分類	
						◎(17)	17
						◎(3)◎(3)	3
					○(1)	◎(1)	1
				○(4)		◎(4)	4
				○(2)		△(2)◎(2)	2
			△(2)		○(1)△(1)	△(1)◎(1)	1
		○(1)	△(3)		△(4)	◎(1)	1
合計		(1)	(5)	(6)	(7)	(35)	29
分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	関係	同一パターンの活動数
						◎(5)	5
合計						(5)	5
分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	数える	同一パターンの活動数
						◎(9)	9
						○(2)△(3)◎(2)	2
					○(10)	◎(10)	10
					○(3)△(3)	◎(3)	3
					△(4)	○(2)◎(2)	2
					○(2)△(5)	△(1)◎(2)	2
					○(1)	△(1)◎(1)	1
				○(1)	△(2)	◎(1)	1
				○(1)	△(4)	△(1)◎(1)	1
			○(2)△(3)		△(3)	◎(2)	2
			○(1)△(3)		△(2)	◎(1)	1
			△(1)		○(1)△(1)	◎(1)	1
			○(1)△(1)		△(1)	◎(1)	1
合計		(5)	(12)	(2)	(42)	(46)	36
分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	ダイナミクス	同一パターンの活動数
						◎(13)	13
						◎(8)	8
					○(1)	△(1)◎(1)	1
					○(2)△(2)	◎(2)	2
					△(2)	○(2)◎(2)	2
					△(2)	○(1)△(6)◎(1)	1
					○(1)△(5)	△(2)◎(1)	1
					△(1)	○(1)△(2)◎(1)	1
						◎(1)	1
					△(2)	◎(2)	2
					○(1)△(3)	△(4)◎(1)	1
合計		(3)	(1)		(30)	(52)	33
分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	パターンと形	同一パターンの活動数
						◎(12)	12
						◎(4)	4
合計					(4)	(16)	16
分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	その他	同一パターンの活動数
						◎(74)	74
						○(18)◎(18)	18
						○(1)△(2)◎(1)	1
						○(2)△(2)◎(2)	2
						△(2)◎(1)	1
				○(1)		◎(1)	1
				○(5)		◎(5)	5
				○(2)△(5)		△(3)◎(2)	2
				○(2)		△(2)◎(2)	2
				△(1)		○(1)△(1)◎(1)	1
						◎(2)	2
						◎(5)	5
						△(2)◎(2)	2
						△(2)◎(1)	1
合計		(8)	(2)	(19)	(3)	(155)	117
最小単位の 数的活動	分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他	一まとまりの活動数(同 一パターンの活動数)
総数(n=459)	(51)	(5)	(50)	(88)	(27)	(238)	総数(n=236)

記号について：○スタートにあたるカテゴリ，◎最終にあたるカテゴリ，△スタートおよび最終カテゴリを除く中途にあたるカテゴリ，単一のカテゴリで構成される場合は◎のみ

Figure 1 一まとまりの数的活動におけるつながりのパターン

これら3つのパターン（3）に対する活動の最終に該当する6カテゴリ（6）で直接確率検定（Fisher's exact test）を実施した結果，頻度の偏りに有意差が認められた（ $p=7.9996e-07$ ）。また，残差分析の結果，「その他」がスタート（○）に利用され，プロセスに「その他」

Table 3 「その他」 カテゴリーと 6 つのカテゴリーとのつながり (パターン)

パターンの定義			6つの該当カテゴリーそれぞれが最終となった場合におけるパターンの頻度および割合								合計		
「その他」活動 のパターン		「その他」が利用される 際の特徴	分類	関係	数える	ダイナミクス	パターンと形	その他					
パターンⅠ	○→	「その他」がスタートに利用され6つの最終カテゴリーに至る。活動のプロセスに「その他」が利用されていない。	1	▽	0	11	▲	9	4	18	43		
			[2.3]		[0]	[25.6]		[20.9]	[9.3]	[41.9]	[100]		
			【3.5】		【0】	【30.6】		【27.3】	【25.0】	【15.4】	【18.2】		
パターンⅡ	○→△→	「その他」がスタートおよび活動のプロセスに利用されている。	2		0	14	▲	10	▲	0	12	▽	38
	○→△→△→		[5.3]		[0]	[36.8]		[26.3]	[0]		[31.6]		[100]
	→△→		[6.9]		[0]	[38.8]		[30.3]	[0]		[10.2]		[16.1]
	→△→△→												
パターンⅢ	◎	単一で利用される。または「その他」が5つのカテゴリーとのつながりにおいて最終カテゴリーとなる。	26	▲	5	11	▽	14	▽	12	87	▲	155
	→◎		[16.8]		[3.2]	[7.1]		[9.0]	[7.7]		[56.1]		[100]
			【89.6】		【100】	【30.6】		【42.4】	【75.0】		【74.4】		【65.7】
			29		5	36		33		16	117		236
		合計	[12.3]		[2.1]	[15.3]		[13.9]		[6.8]	[49.6]		[100]
			【100】		【100】	【100】		【100】		【100】	【100】		【100】

* 表内数値はパターンの頻度数

* [] 内数値は3つのパターンそれぞれの頻度に占める最終になった場合に利用されたカテゴリーの割合

* 【 】 内数値は各パターンにおける頻度に占める該当する最終になった場合に利用されたカテゴリーの割合

* ▲は残差分析の結果、他カテゴリーよりも1%水準で有意に多い項目

* ▽は残差分析の結果、他カテゴリーよりも1%水準で有意に少ない項目

が利用されていないパターンⅠでは、最終カテゴリーが「数える」の場合にプラスに有意であり、「その他」がスタート (○) およびプロセス (△) に利用されたパターンⅡでは、最終カテゴリーが「数える」および「ダイナミクス」の場合にプラスに有意であった。さらに、パターンⅢでは、カテゴリーが単一あるいは複数利用された「分類」において、および「その他」が5つのカテゴリーとのつながりにおいて最終カテゴリーとなる場合にプラスに有意であった。

これらの結果より、まず、置く、並べる、移動する等の活動が最終カテゴリーとしての「ダイナミクス」および「数える」の前段階で子どもが利用しているといえる。

第二に、パターンⅢでは最終カテゴリーが「分類」および「その他」においてプラスに有意ということは「その他」を利用せずに「分類」が完遂されているといえる。また「その他」が単一での活動によって完遂されているといえる。

第三に、「その他」ではパターンⅢでの利用が多いことから、「その他」のみの構成で一まとまりの活動が成立され、子どもには「その他」を単独で利用しているということがわかる。

「その他」の他カテゴリーとのつながり方にどういった意味があるのか考えていきたい。なぜ「数える」や「ダイナミクス」が最終カテゴリーの際、移動や置く、といった「その他」に該当する活動が前段階に布置されているのか。マトリックスにより、並列として配置させることで「その他」の中には「その他」を除く5つのカテゴリーに至るための予備的、あるいは下位的な行為として観察されたといえる。例えば、数えるための予備的性格となれば、下位の行為として、置くことや移動することは数えることに何らかの役割を持つといえよう。そのため「その他」は活動の括りではなく行為としての位置づけが適切であると考えられる。

2. 4 研究1のまとめ

一まとまりの連続した活動を構成する最小単位を時系列に並べ、つながりの様相をマトリックスによって示したことで、数的活動のパターンと一まとまりの活動内におけるカテゴリー同士の関係が明示された。特に活動内における「その他」の位置づけが見える結果となったが、それは最小単位の活動同士のつながり（Figure 1）およびつながり方のパターン（Table 3）の結果からいえることである。

3 研究2 数的活動で見られる「行為の淀み」について

3.1 目的

まず、一まとまりとして観察された数的活動において、「その他」がどう関わって「行為の淀み」が生起しているのか否か、判断基準を設定して吟味する。つぎに「行為の淀み」の生起が確認された場合、「行為の淀み」にかかわる行為のもつ特徴および「行為の淀み」が生起する仕組みを検討していく。

3.2 方法

研究1と同一のデータを検討の対象とした。またデータに対する手続き等は付録1の（1）から（4）、2.2.1における方法の（5）、（6）と同一である。

事例をどのように表現し、分類し解釈していったらよいか、ここで理論的な枠組みを示していく。

3.2.1 事例の表現

一つの包括的な活動に含まれるいくつか区分されている活動は複数つながりそして連続して構成されて成り立っている（Barker, 1963）。

Barker (1963) は一つの包括的な活動となる「行動場面」(setting) を参与観察によって発見している。具体物に働きかける最初の数的活動から始まるまとまりをもった活動の表現はBarker (1963) における「行動場面」(setting) と重なると筆者は捉え、本稿における事例の表現に援用した。

3.2.2 「行為の淀み」の生起にかかわる判断基準

佐々木ら (1998, 2001) および鈴木・佐々木 (2001) は Reed et al. (2009) による「躊躇」、「軌道の変化」、「接触」、「手の形の変化」の4つの分類を採用して、マイクロスリップを分析している。

本稿の事例に対しては「躊躇」および「接触」を採用して、「行為の淀み」の抽出を試みる。取り入れた理由は以下の通りである。

佐々木ら（1998, 2001）および鈴木・佐々木（2001）の先行研究ではコーヒーを入れる課題場面における分析である。複数の材料および器具が提示され、自由にそれら対象を選択できる条件とは異なり、本稿における事例においては、子どもの操作対象は授業者の提示する具体物一種である。さらに動きのある手の操作活動に焦点があてられる。佐々木ら（2001）はマイクロスリップを「微小な停止のタイプ」および「停止しないタイプ」に区分しているが、「躊躇」および「接触」を「微小な停止のタイプ」として規定している。石井（2020）では「行為の淀み」ではないかと観察された事例においては移動や置くといった行為は「微小停止のある」場面の前後で起こっている可能性がある。

「躊躇」は具体物を持った手がある対象に向かう際に微小な停止が認められ、再び操作に向かう行為と捉えられる。具体物（ブロックやおはじき）を移動しようとする際に微小な停止があり再び移動させる場面が該当すると考えられる。「接触」は操作のなかで一旦わずかな接触があり次の操作がつづく行為と捉えられる。数えたあとに具体物（ブロックやおはじき）に一度触れた後に再度数えることがおこる場面が該当すると考えられる。

検討の対象はつながりのある一まとまりの数的活動のなかで、研究1のTable3において有意差が認められたパターン（最終カテゴリーが「数える」、「ダイナミクス」、「その他」）に絞った。その際、最終カテゴリーの「その他」87活動のうちつながりが無い単一の行為にあたる74を除く13の活動を対象とした。検討の対象とするパターンにはA,B,C,Dの記号を付した（Figure1）。

3. 3 結果と考察

3. 3. 1 事例から観察された「行為の淀み」

最終カテゴリーが「数える」（パターンⅠ）記号Aの11活動においては「躊躇」の頻度は2、「接触」は0、最終カテゴリーが「数える」（パターンⅡ）記号Bの14活動においては「躊躇」の頻度は7、「接触」は1、最終カテゴリーが「ダイナミクス」（パターンⅡ）記号Cの10活動においては「躊躇」の頻度は3、「接触」は0、最終カテゴリーが「その他」（パターンⅢ）記号Dの13活動においては「躊躇」の頻度は2、「接触」は1であった。

「躊躇」は最終カテゴリーが「数える」（パターンⅠおよびⅡ）、「ダイナミクス」（パターンⅡ）、「その他」（パターンⅢ）で確認され、48活動において頻度の合計は14であった。「接触」は最終カテゴリーが「数える」（パターンⅡ）、「その他」（パターンⅢ）で確認され、48活動において頻度の合計は2であった。

そこで次に頻度が多くすべてのパターンで確認された「躊躇」を対象として、「躊躇」が確認された事例さらに確認されなかった事例それぞれにおける「行為の淀み」について検討していく。理由は「行為の淀み」が生起される、生起されない場合の比較検討ができると考えたからである。

事例は最終カテゴリーが「数える」および「ダイナミクス」において「躊躇」が確認された

活動のうち頻度が多い（それぞれ 14 活動の中で 7, 10 活動の中で 3）パターンⅡ（記号 B, C）の活動の中から選択し、最終カテゴリーが「その他」において「躊躇」が確認された活動に対して頻度が少ない（13 活動の中で 2）パターンⅢ（記号 D）の活動の中から選択した。

3. 3. 2 事例の検討

「数える」にいたるプロセス

【事例 1】（Figure2）について（括弧内は子どもの名前のイニシャル）

（I.M）は 1 個 1 個、間をあけてハート型に並べたが、授業者が近づくときずしてしまった。こだわりの形状に並べたことに対して授業者から遊んでいると判断されて注意されるであろうと考え、自らくずしてしまったと推測される。

次に、基石を一旦くずした後に今度は基石 5 個を並べて花柄の形状にした。

花柄の形状となった 5 個の基石を 1 個ずつ数えた方法に対して授業者が「I さん、それだと早く数える数え方ある」という質問をしている。授業者の質問には、5 ずつ数える方法のため

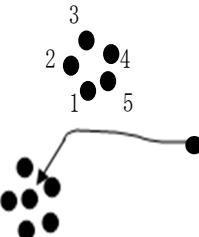
一まとまりの数的活動	教師の働きかけと それに対する子どもの反応	具体物の形状 見えの変化
○（I.M）1 個 1 個、間をあけてハート型に <u>並べる</u> （全部で 13 個）。 [その他]	授業者が（I.M）に近づくとき、くずしてしまった。	
△ 5 個ずつ <u>並べて</u> , [その他]		黒基石で花柄の形にして、それを配置していった。〈5 こずつ〉
△ <u>花柄をつくる</u> . [パターンと形]		
△ 1 個ずつ <u>数える</u> . [数える]	T「I さん、おもしろいね」 ただ、授業者が話した後、1 ずつ数えた。 T「I さん、それだと早く数える数え方ある」 I は 6 個目を中央に入れ込もうとした。 C「5 個ずつ」	
↓ <躊躇>		
△ 基石で作った花びらをくずして、机の縁に長方形の形に <u>並べた</u> . [その他]		
△ 一旦すべてを中央に <u>集める</u> . [その他]		
↓		
◎ 集めた基石を 1 個ずつ <u>数えた</u> . [数える]		

Figure2 【事例 1】「基石ならべ」（授業No.19）のトランスクリプト

一まとまりの数的活動	教師の働きかけと それに対する子どもの反応	具体物の形状 見えの変化
○ (Y.M) 4本(左)の間をつけて束ねる. [その他]	T「合わせ方を工夫して」	
↓	T「4まとめて」	
△ 4本(左)に7本(右)のうちの2本を移動させ、4本の束に付ける. [その他] [ダイナミクス]	T「2本」	
↓		
△ 11本を数える. [数える]		
↓		
△ (7本から5本になった) 5本(右)のうち2本を分けて, [ダイナミクス]		
↓		
△ 移動させて, [その他]		
↓		
△ 6本(左)に2本付ける. [ダイナミクス]		
↓		
△ もう1本(右)を移動させ, [その他]		
↓		
△ 上に付ける. [ダイナミクス]		
↓		
△ さらに残りの2本(右)も移動させ [その他]	T「2本そこに持ってったの？」 T「説明して、どうして11本になるの」	
↓		
△ 上に付ける. [ダイナミクス]	C「これが8で、これが3で」といいながら3本を8本の束の左に移動させる.	
↓		
△ 上に付けた3本を左下に移動させる. [その他]		
↓		
△ 8本全体を、離して移動させる. [その他]	C「それで3を入れると11になる」	
↓		
△ 左にできた3本を、8本の数え棒の集合に移動させる. [その他]		
↓ <躊躇>		
△ 左の3本を1本ずつ移動させて, [その他]		
↓		
◎ 1本ずつ8本の上に付ける. [ダイナミクス]		

Figure3 【事例2】「くり上がりのたし算 (4+7, 7+4)」(授業No.13)のトランスクリプト

に適した付置となった花柄を (I.M) に利用させたい意図があった。授業者の質問に対して (I.M) は 1 個の碁石を花柄の中心に置こうとした置く寸前に微小の停止が認められた（結局は置くことはしなかった）。5 個の碁石でできた花柄の集まりの中心に、右手の小指を指さすように置き、即座に 6 個目を入れ込もうとしたが、中央には置かずに右手で握りしめていた。そのあと「5 個ずつ」と答えた。

数え方に対して「5 個ずつ」と発言はしているものの、花柄の形状にこだわりがあったとしたら、授業者の 5 個ずつといった効率的な数え方は制約になっていると判断できる。

さらに、(I.M) にとっては、こだわりあるいは遊びのなかで、様々な形状にできる条件があるなかで、机の縁に沿って並べること、さらに 1 個ずつ数えることにつながったと考えられる。

「ダイナミクス」にいたるプロセス

【事例 2】(Figure 3) について（括弧内は子どもの名前のイニシャル）具体物として数え棒を提示した。4 本を緑、7 本を赤とした。図 (Figure 3) では緑 4 本を網掛けとした。

授業者は「合わせ方を工夫して」と指示している。7 本にまず 3 本を付けて 10 を作るといった 10 構造の演算に結びつくような数量の分離および結合を子どもたちに操作してもらいたいという意図のためである。

(Y.M) の移動の過程ではいずれも束ねること、数えることが組み入れられて移動がなされていた。最終的には、赤 4 本と緑 4 本が横並びに 8 本が並び、8 本の上に赤 3 本が布置された。束ね合わせることや数えることが確認され、同一色同士で同数に並べることが意識されたとも推測できる。総数は 11 本と変化はないが、数え棒の数量変化に対して数えることで数量を確認している。時間をかけて数量の確認や部分的に数量を移動している。そのたびに具体物の形状および見えは変化している。

そのプロセスで、「それで 3 を入れると 11 になる」という授業者の発言のあとに、左にできた 3 本を、8 本の数え棒の集合に移動させたが、移動の前に微小の停止が認められた。

(Y.M) の操作には 10 にする、という意識は感じ取られない。寧ろ、同一の色に数量を合わせることや、残りをどの場所に布置させると見た目が落ち着くか、それらが子どものこだわりであると推測される。

「その他」にいたるプロセス

【事例 3】(Figure 4) について（括弧内は子どもの名前のイニシャル）

授業者には加算に対して減算の演算の相違を子どもに説明を求める意図があった。

(A.M) は枠内の動物が柵から逃げ出すという課題場面は子どもには逃げるのが、数量が減じることに結びついていて、減算の演算に結びつけていたと推測できる。逃げ出す状況は子どもの言葉「逃げる」といった説明となり、(A.M) は黒板に動物（羊）に見たてた 4 個のブロックのうち、1 個を持ち、左のほうに移動させ、3 に 1 加えられた状況を説明した。その後、子どもは授業の目的「のこり」を具現化するという問題解決という制約をもって減算の演算を操作させる際、「逃げる」文言で説明することで課題を解決していたといえる。

【事例 1】では授業者の指示という制約と子どものこだわりのなかで躊躇と判断できる微小

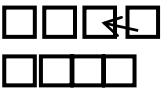
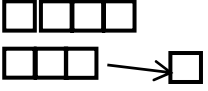
一まとまりの数的活動	教師の働きかけと それに対する子どもの反応	具体物の形状 見えの変化
○ (A.M) 黒板に貼り付けてある ブロック (4 個横一列) の右端の 1 個を移動させる。 [その他]		
↓		↓
◎ (A.M) 黒板に貼り付けてある ブロック (4 個横一列) の 1 個を 取り, 右に移動させる。 [その他]	T「ブロックの動かし方, なにが ちがうの」 C「たし算だと 3 匹いて, 4 匹になる けど」 「ひき算だと 4 匹いて, 1 匹逃げる の」	

Figure 4 【事例 3】「のこりはいくつ」(授業No.8) のトランスクリプト

の停止が生起されたと判断できる。

【事例 2】では課題の遂行および授業者の発言が子どもにとっては制約となっていたと考えられるが, 移動先が自由に選択できる中でどこに移動させるかという際に躊躇と判断できる微小の停止が生起されたと判断できる。

【事例 3】では「行為の淀み」と判断できる行為は見られなかった。おそらく子どもの自由度が確保されているために子どもには制約が感じられなかったことが一つの要因と考えられる。子どもはともに演算を説明する場面では, 躊躇や, 接触等の「行為の淀み」は認められなかったといえる。学級全体に向けて, あるいは教師に対しての説明の場面においては自由度がある部分確保されており, 子どものこだわりの表現「逃げる」が生まれていると考えられる。

3. 4 研究 2 のまとめ

三嶋 (2000) は「行為の淀み」すなわち「マイクロスリップ」は探索のプロセスとして位置づけている。また「環境の多様さ」との関係において下位の課題の「つなぎ目」で多く発生していることを実験観察から明らかにしている。数的活動のなかで行為者としての子どもは自らのこだわりをもち自由のゆるされる範囲内で多様な選択をしていることが推測される。本稿における事例では「行為の淀み」はカテゴリー同士の「つなぎ目」において生起しているといえる。

具体物を利用した数的活動では, 子どもは操作対象である具体物の形状および教師の指示や発問等といった制約をもって課題を解決している。これらは鈴木・佐々木 (2001) が指摘する「行為者や環境条件の変化という制約」にあたるものと考えられる。

事例 2 では (Y.M) は左にできた 3 本を 8 本の数え棒の集合に移動させ, 次の移動までに微小な停止が生じている。その時, 「環境条件の変化」である見えの変化とともに自由に操作しながら移動先を選択できる中で新たな行為である移動を生み出すまでの探索のプロセスにおいて「行為の淀み」が生起したものと捉えられる。つまり子どもの探索を目的とした行動の中で「行為の淀み」は数的活動における自由度と制約との関係の中で生起しているといえる。

(Figure 5) . Figure 5では、置くおよび移動を「その他」における行為の例として示した. 数的活動で生まれる子どもにとっての制約および子どもにとっての自由度を破線で囲み, それらの関係の中で生起している「行為の淀み」の様相に対して太字枠および網掛けで強調した.

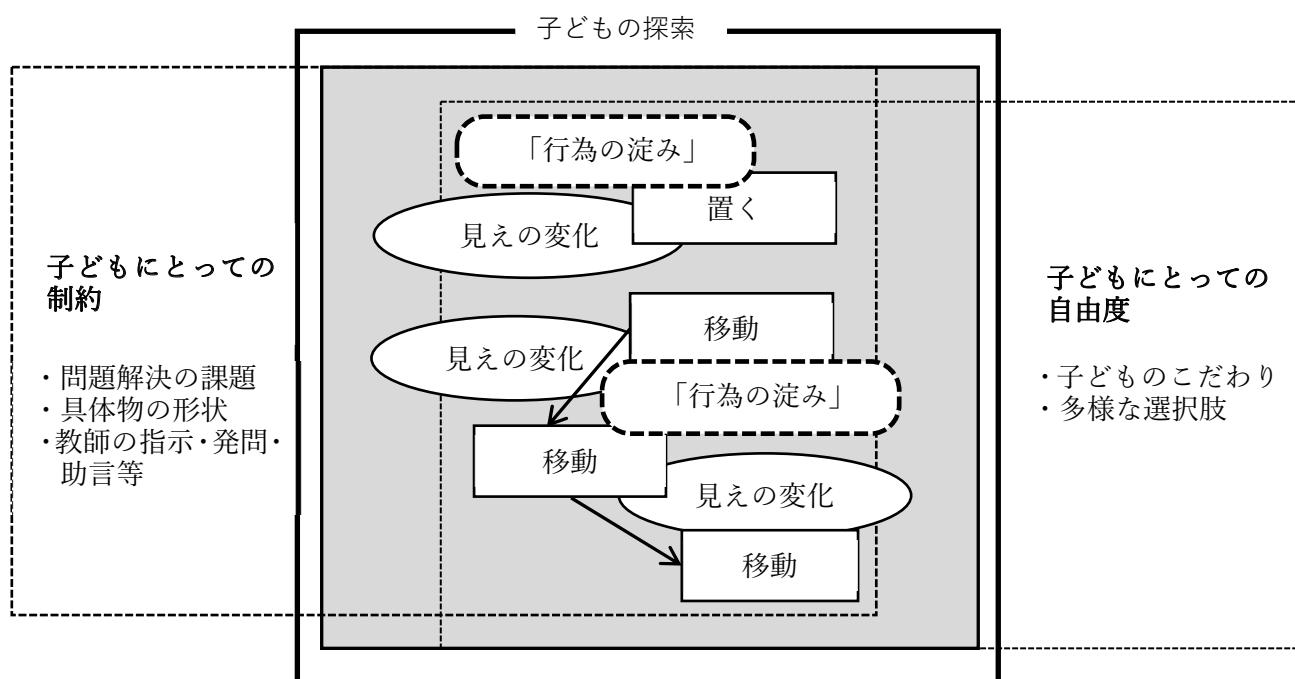


Figure 5 子ども探索において自由度と制約との関係の中で生起する「行為の淀み」

4 おわりに

最後に入門期の子どもの数的活動において観察された「その他」の二つの意義について考えていく.

4. 1 算数学習の制約および多様性と「その他」の意義

「その他」に付随する「遊び」および活動に含まれるカテゴリーの多義性について検討したい. 「その他」は幼児期での先行研究ではカテゴリーに位置づけられなかった活動と考えられる. 単に「置く」, 「並べる」の中に子どもの独創が含まれている. このことから, 教師の細かな指示は子どもの自由度を制約する可能性を持つものとする.

教師の働きかけから「その他」が生起されるが, 5つのカテゴリーとの多様な橋渡しの役割も併せ持つともいえる. 子どもはただ「置いて」いるわけではなく, 数的活動が重複していると推測できる. つまり, 置きながら数える, 数えて置く, といった一体化した行動となっているのではないだろうか. 遊びは幼児期における中心的な学びに位置付けられているが(文部科学省, 2017), 「その他」はその遊びに含まれる意義ある活動となっているのではないだろうか.

したがって、授業者が「右にこのように並べて、左はこう…」や「ブロックで遊ばない」といった規制は、子どもが個性的な並べ方に制約を与えてしまうという解釈が生まれる。子どもにとってはこれまでの幼児期における遊びの感覚で「こう、並べたらおもしろい、」等の発想から数量の大きさの特定や規則性を結びつけるのではないか。よって「数える」前過程に位置づく「その他」に該当する活動には意味があるものとする。

4. 2 「その他」の分析から見えた 10 構造計算の危うさ

算数科教科書²においては、繰り上がり加算は、10 の補数を加数から加えることでまず 10 をつくり、残りの加数を 10 に加え合計を求める方法 ($8+4=12 \rightarrow (8+2)+2=12$) が、導入されている。そしてこの方法は 10 構造計算といわれ、日本においては数詞の特徴から有利であり (Miura,1987) 、計算の効果も指摘されている (Hatano,1982) 。

小学 1 学年における具体物を利用した操作活動では、具体物の置き方、並べ方、移動のさせ方等が子どもにとって自由であれば多種の組み合わせ生まれるであろう。【事例 2】(Figure 3) において、数え棒 4 本と 7 本が合わされる場合に、7 本のうち 2 本と 5 本に分けられ、分けられた 2 本が 6 本に 1 本ずつ付けられた、その際、具体物の移動が生じたが、そこからすべてを数えることを手立てとして、最終的に合計 11 本が計算によって導き出されて解決に至ることであっても、それを子どものこだわりが生かされた解決方法の一つと捉えることが必要であると考える。

最終的には数え棒 7 本に 3 本を付けさせて 10 本を作るという 10 構造の計算が子どもの解決方法となってもよいと考える。しかし、Figure 5 で示したように子どもがこだわりをもって置く、移動を手だてとして計算がなされ、「行為の淀み」が生起されて課題解決に至るとしたら、10 構造による計算方法が画一的に教授された場合、10 構造計算は子どもがこだわる計算に対する制約となることが想定される。

引用文献

- Barker, R.G. (1963). *The Stream of Behavior: Explorations of Its Structure & Content*. New York: Appleton-Century-Crofts Division of Meredith Publishing Company.
- EME プロジェクト編著 角尾稔・永野重史訳 (1989). 生活の中で身につく幼児期の数体験 チャイルド本社
- ギブソン, E. J. 堀口裕美訳 (2000) 知覚の発達のための生態心理学者のプロレゴメナー機能的アプローチ 現代思想, 28(5), 128-141.
- Ginsburg, H.P., Inoue, N. and Seo, K. (1999). Young children doing mathematics: Observations of everyday activities. In J.V. Copley (Ed.), *Mathematics in the early years* (pp. 88-99). The National Council of Teachers

² 国内において令和 2 年発行された全 6 出版社 (啓林館, 大日本図書, 東京書籍, 学校図書, 教育出版, 日本文教出版) の算数科教科書において確認される。

- of Mathematics, Reston, Virginia.
- Hatano, G. (1982). Learning to Add and Subtract: A Japanese Perspective. *ADDITION and SUBTRACTION: A Cognitive Perspective* (pp. 211-223). Thomas P. Carpenter, James M. Moser, Thomas A. Romberg (Ed.), Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Publishers.
- 石井康博 (2013). 小学校算数科で利用されてきた具体物—子どものインフォーマルな知識および方略に与える影響— 関西大学出版部
- 石井康博 (2020). 小学校算数科における具体物を利用した子どもの操作活動 日本科学教育学会研究会研究報告, 34(6), 15-18.
- 三嶋博之 (2000). エコロジカル・マインド 日本放送出版協会
- Miura, I.T. (1987). Mathematical achievement as a function of language. *Journal of Educational Psychology*, 79, 79-82.
- 文部科学省 (2017). 幼稚園教育要領平成 29 年告示 フレーベル館
- 文部科学省 (2018). 小学校学習指導要領平成 29 年告示解説算数編 日本文教出版
- 中沢和子 (1981). 幼児の数と量の教育 国土社
- Reed, E.S., Palmer, C.F. & Schoenherr, D. (2009). *On the Nature and Significance of Microslips in Everyday Activities*. 生態心理学研究, 4(1), 51-66.
- 榊原知美 (2002). 保育活動における幼児の数量学習—幼稚園教師からの支援を通じて— 保育学研究, 40(2), 227-236.
- 佐々木正人 (1996). 知性はどこに生まれるか—ダーウィンとアフォーダンス— 講談社
- 佐々木正人・鈴木健太郎・三嶋博之・篠原香織・半谷実香 (1998). 行為の淀みと発達—アフォーダンスの制約— BME, 12(7), 57-68.
- 佐々木正人・三嶋博之・宮本英美・鈴木健太郎・黄倉雅広 (2001). アフォーダンスと行為 (身体とシステム) 金子書房
- 佐藤郁也 (2008). 質的データ分析法 原理・方法・実践 新曜社
- 鈴木健太郎・佐々木正人 (2001). 行為の潜在的なユニット選択に働くタスク制約—日常タスクに観察されるマイクロスリップの分析— 認知科学, 8(2), 121-138.
- 吉田甫・ディコルテ, E. (2009). 子どもの論理を活かす授業づくり—デザイン実験の教育実践心理学— 北大路書房

(2023 年 2 月 14 日受稿, 2024 年 4 月 25 日受理)

付記

本研究の一部は, 2019 年度第 6 回日本科学教育学会研究会において発表された。

付録 1

石井 (2013) における方法の一部

(1) 対象児

東京都内公立小学校 1 学年の 1 学級 (男子 13 名女子 13 名計 26 名) の児童.

(2) 実施期間

2000 年 4 月より 2001 年 3 月までの算数科授業を観察対象とした. 観察授業の対象は, 小学校算数科学習指導要領での「数と計算」領域とした.

(3) 手続き

授業者は筆者である. VTR カメラを利用し, 録画したテープを再生し観察記録を実施した. 授業者による一斉指導中には VTR カメラは教室の後方 1 定点に設置した. 机間巡視の際は適宜カメラを移動させ, それ以外の時は後方に固定していた. 記録した映像および音声から直接観察できる子どもの活動をトランスクリプトとして記録した.

(4) 分析対象

小学 1 学年算数科の 21 の授業で観察された数的活動を分析対象とした (下記表内の一覧).

授業内容の一覧 (【】 括弧内は授業実施年月日)

No.	授業内容	No.	授業内容	No.	授業内容	No.	授業内容
1	仲間分け 【2000.04.12】	7	いくつといくつ (たし算のお話づくり) 【2000.06.21】	12	くり上がりのたし算 ($8+4$) 【2000.10.26】	17	くり下がりのひき算 ($15-7$) (図を利用して) 【2000.11.29】
2	3をつくろう 【2000.05.02】	8	のこりはいくつ 【2000.07.11】	13	くり上がりのたし算 ($4+7, 7+4$) 【2000.11.02】	18	10 ずつまとめる 【2001.01.11】
3	順序数 【2000.05.25】	9	ちがいはいくつ 【2000.07.13】	14	くり下がりのひき算 (図を利用して) 【2000.11.16】	19	基石を数える(1) 【2001.01.17】
4	いくつといくつ (おはじきを使って) 【2000.06.06】	10	くり上がりのたし算 (いくつかの具体物を使って) (1) 【2000.10.24】	15	くり下がりのひき算 (卵・カードンを使って) 【2000.11.21】	20	基石を数える(2) 【2001.01.18】
5	あわせていくつ (さいころを使って) 【2000.06.07】	11	くり上がりのたし算 (いくつかの具体物を使って) (2) 【2000.10.25】	16	くり下がりのひき算 (タイルを使って) 【2000.11.22】	21	2 桁の数の表し方 【2001.01.30】
6	ふえたらいくつ 【2000.06.14】						

付録 2

付録 2 観察された「その他」の活動一覧

授業および観察された「その他」	授業1「仲間分け」	授業2「3をつくらう」	授業3「順序数」	授業4「1つと1つ(おはじきを履って)」	授業5「あわていぐつ(おはじきを履って)」	授業6「ふえたらいぐつ」	授業7「いぐつと1つ」	授業8「のこりは1つ」	授業9「ちがいは1つ」	授業10「(Y)上がりのたし算(1つづつか、具体物を使って(1))」	授業11「(Y)上がりのたし算(1つづつか、具体物を使って(2))」	授業12「(Y)上がりのたし算(8+4)」	授業13「(Y)上がりのたし算(4+7、7+4)」	授業14「(Y)下がりのひき算(図を利用して)」	授業15「(Y)下がりのひき算(部・カードを使って)」	授業16「(Y)下がりのひき算(タイムを使って)」	授業17「(Y)下がりのひき算(15-7)(図を利用して)」	授業18「10ずつまとめる」	授業19「6の基数を数える(1)」	授業20「6の基数を数える(2)」	授業21「2の基数の表し方」	21の授業において観察された頻度の合計
具体物を並べる				4			1			3	11								12	6	1	38
具体物の中の一部を並べ直す											1											1
具体物を具体物で隠す				4																		4
具体物に色を塗る					2																	2
具体物をふる					3																	3
具体物同士を置き換える(交換する)			3								1											4
具体物と具体物の間隔をあける(離す)			1																			1
具体物同士の間隔を一定にする			1																			1
具体物を切り取る												1				5						6
具体物の上に具体物を置く	1					1				1		1				1						5
具体物の横に具体物を置く								3				1										4
具体物の上に具体物を重ねる	1	1										1				1						4
具体物を貼り付ける									1													1
具体物を置く			2						1	2	3			1			2		5		1	17
具体物同士を重ねる																1						1
具体物に具体物を付ける									1		1		2			4						8
具体物を付ける																2						2
数字の横に具体物を付ける		1																				1
具体物を押さえる					2			1			1	1		3	2	5			2			17
具体物をたたく															1							1
具体物をなぞる																4						4
具体物を折る												1				2						3
具体物を切り取る												1										1
具体物を等しい数に区分する(分離する)												1										1
具体物同士を近づける									1				1									2
具体物の一部を移動する													5							1		6
具体物を移動する				2	2			4		2	4	16	21			5		1	2			59
一方の具体物ともう一方の具体物を同時に移動させる										1			1									2
具体物を回転させる												2										2
具体物の一部を具体物に敷せる											1											1
具体物の一部を具体物に置く											1											1
具体物を取る								1			2	2			2							7
具体物を具体物に置く												1										1
具体物の一部を具体物に敷せる												1	2									3
具体物を取り上げる	3	1	3						2						1							10
具体物を取り出す																	1	2	1			4
具体物を集める																			3			3
具体物を具体物の中に入れる								2														2
具体物を具体物(容器)の中に入れる															1							1
具体物を容器に10つつ入れる																	1					1
折り曲げた具体物を広げる																2						2
具体物を消す															1							1

特集 1

特集：テクノロジーとセルフ

青山 慶（岩手大学）¹ 西尾 千尋（甲南大学）

児玉 謙太郎（東京都立大学）

1 はじめに

AI に代表されるように相変わらず目まぐるしい技術革新が叫ばれるが、技術はいったい私たちに何をもたらし、そして何をもたらさないのか。これまでも技術哲学だけではなく様々な領域を横断し論じられてきた問題ではあるが、生態心理学の観点を援用しつつ技術にまつわる変化と不変について考えるための立脚点をさぐるのが本特集の趣旨である。

本特集の企画は、2024 年 3 月 14 日に開催されたシンポジウム「やわらかいロボットから考える身体」と、同日併催された研究会の議論を端緒としている。当日の発表では、ロボティクスや VR といった最先端の科学技術に限らず、描画や木工など、様々な技術に関わる幅広い発表が行われた。その中で、環境の知覚と自己の知覚をめぐる問題が、入れ子状に繰り返し議論されたことで、本特集のテーマが輪郭を帯びて浮かび上がってきたことを付記しておきたい。

2 特集掲載論文について

本特集では、4 編の論文、1 篇の J.J. Gibson による覚え書きとその翻訳および解説論文を収録している。

新山論文では、ソフトロボティクスの発展において、生態心理学が提示する「直接知覚」の概念が重要であること、さらには近年急速に進化している AI 技術においても、生態心理学の立場が情報処理モデルよりむしろ親和的であるという示唆に富んだ議論がなされている。

樋口論文では、近年その応用範囲が急速に拡大している VR 技術について、Baggs ら（2024）の議論に基づき、没入感と相互作用性という観点から検討を加えている。また、移動行動研究における VR 映像活用の現状を概観し、今後 VR が、現実に近い知覚・行為の研究ツールとしてのみならず、知覚や自己を構成論的に論じる基盤を提供しうる可能性を示唆している。

安田論文では、感覚代行の研究史を概観するとともに、著者らが取り組んできた体性感覚型バイオフィードバックシステムの研究経緯が紹介されている。生態心理学的観点から、この技術の意義とリスクが検討されており、患者による能動的な環境探索の促進や、環境との

¹ E-mail: aoyama@iwate-u.ac.jp

相互作用を通じた運動学習の支援が期待される一方で、過度な機械依存や自然な知覚行為循環の損失といった懸念も指摘されている。これらを踏まえ、テクノロジーとリハビリテーションの今後の方向性が示されている。

柴田論文では、「アフォーダンス」の概念を手がかりに、技術が人間にもたらす影響を「拡張論」と「延長論」という二つの立場から検討している。両論の思想的背景を丁寧に読み解き、それぞれの主張の対比と潜在する問題点を明確にしたうえで、両者を接続することでより包括的な議論が可能であることを提案している。

Gibson の覚え書きでは、1971 年という“The Ecological Approach to Visual Perception”の執筆を本格的にスタートした年に記された貴重な資料を目にすることができる。Gibson 自身の手書きにその思考の痕跡を垣間見る興奮と同時に、タイプしたバージョンを読むことができ大変ありがたい気持ちを覚える。野中氏には、貴重な資料をご提供いただいた。また続く野中論文では、“The Ecological Approach to Visual Perception”執筆の経緯や、「刺激エネルギーが流動する海」というアイディア、そしてホムンクルス論法とは異なる情報と自己の関係の説明について解題的に概説している。

本特集が、これからさらなる技術革新がもたらされる未来において、領域横断的な議論のきっかけとなれば幸いである。

やわらかいロボットから考える生態心理学

新山龍馬（明治大学）¹

ソフトロボティクスと呼ばれる新しい分野では、ロボットのやわらかい身体を探索している。やわらかいロボットは、新しい身体論・知覚論を必要としており、生態心理学との接点がある。ロボットにおける直接知覚の実践に向けて、かたいロボットとやわらかいロボットのちがいを、ロボットの身体構造や自己受容感覚の観点から論じた。環境とのインタラクションを可能にする新たな身体様式として、インフレータブルと呼ばれる空気膜構造がある。これを採用した人型インフレータブルロボットの研究例を紹介した。さらに、試行錯誤を通じて感覚-運動ループを学習する深層強化学習と生態心理学の接点について簡単に述べた。

キーワード：ソフトロボティクス，自己受容感覚，直接知覚，深層強化学習

Ecological Psychology Explored Through Soft Robotics

Ryuma Niiyama (*Meiji University*)

1 ロボティクスと生態心理学

やわらかいロボットを研究するソフトロボティクスという研究分野がある（新山, 2018）。ソフトロボティクスは2010年頃にロボット研究者の間で広く知られるようになり、派生してソフトロボットやソフトアクチュエータというキーワードも広く使われるようになった。初期には、シリコンゴム製のボディで這って移動する軟体ロボットや、シリコンゴムで製作されたソフトなロボットハンドが典型的な研究対象であったが、現在ではより学際的な研究分野として研究対象も研究者も多様化している（鈴森他, 2023）。

ロボティクス研究は、大きく分ければ「ロボット工学」と呼ばれるように工学的問題解決の手段としての自動機械・自動制御の研究と、「ロボット学」と呼ぶべき人間科学・認知科学・生物学に貢献する研究の方向性がある。生態心理学に近いのは後者だろう。また、ソフトロボティクスは生物に似た機械を作ろうとする試みが源流のひとつなので、やはり後者のロボット・サイエンスに近い。

ロボットは、コンピュータシステムとちがって物理的な身体を備え、実空間の中で物体や他者と直接関わりをもって動き回る。ロボットの運動を生成する仕組みはさまざまなものが考えられるが、人間が頭で考えた「こういうときには、こうしなさい」というルールをコンピュータプログラムとして実装してもうまくいかない。また、貧弱なセンサー信号から環境や物体の

¹ E-mail: niiyama@meiji.ac.jp

モデルを構築し、それに基づいて行動しようとしてもうまくいかない。そのような記号的なルール群や単純化されたモデルだけでは、時事刻々と変化する現実の状況にはうまく対応できないことが知られている (Pfeifer & Scheier, 2001)。動物がしなやかに、したたかに、実環境の中で行動する様子に比べて、ロボットの動きは鈍重で、プログラミングは手間がかかりすぎる。感覚と運動に関する従来の枠組みのどこかがまちがっているのではないかと薄々感じているロボット研究者にとって、生態心理学が提示する直接知覚の概念は希望にみえる。ここで直接知覚とはギブソンによる知覚論の中心概念のひとつで、環境にはすでに行為に関する情報が実在し、身体を通じてそれを持続的に探索しピックアップすることが知覚であるという考えである (Gibson, 1986)。これは、感覚入力をあらかじめ用意した「意味の鋳型」に流し込んで意味を作り出す過程を知覚と呼んでいたこととはまったく異なる。

ロボットは実物として作る必要があるので、工学的に生態心理学の実践を行うことは容易ではない。ロボットのプログラミングは依然として必須の作業であり、ロボットにセンサーを載せ、ロボットに内部状態を与え、ロボットの駆動源に運動指令を送らなければならない。大事なことは、アフォーダンスを説明するためのロボットシステムを作ることではなく、合理的な選択の帰結としてロボットのための知覚システムが生態心理学に根ざしていることではないだろうか。生態心理学の観点からロボット設計をするならば、まずは視覚や聴覚などの外界センサーや関節角度や力などを知る内界センサーを個別に扱わず、それらが埋め込まれた身体を丸ごと知覚システムとして再定義する必要がある。次に、人間があらかじめ設計していた運動を、ロボットを取り囲む環境から情報を探索し利用する行為で置き換えることになるだろう。直接知覚は、それが時間のかからない簡単な行為であることを含意しない。ロボットは探索と情報のピックアップの洗練のためにもがき、その過程そのものが人を楽しませるものになるかもしれない。

2 ロボットの自己受容感覚

世界中の工場で産業用ロボットアームが働いており、その合計は何百万台にもなる。ヒト型ロボットの腕や脚も、産業用ロボットアームと同じような作りになっている。産業用ロボットは電磁モータを駆動源とする「かたい」ロボットの代表格だ。電磁モータは、人間の腕でいえば筋肉に対応する。ただし、人間の身体とロボットの身体は、見かけが似ていてもかなり違っている。例えば、かたいロボットは力強く正確に動けるが、鈍感である。なぜなら、関節がかたいからだ。関節がかたいと力強く動けるが、一方でなにかに衝突してもそのまま動き続けてしまうことがある。また、人間がぐいぐい押しても姿勢を変えてくれない。人間であれば、力を抜いて腕をだらりと垂らすことができるが、かたいロボットにはそのような脱力が難しい。高級なロボットアームであれば関節に力覚センサーが入っており、その情報を使ってソフトウェアの機能としてやわらかさを演出することはできるが、電源を切ると重く硬くなる。

ロボットの関節がかたいのは、電磁モータと関節をつないでいる歯車減速機に原因がある。電磁モータは高速で力が小さいという特徴があり、歯車を使って速度を落とし、力を増幅する。歯車はてこの原理に基づいているので、出ていく力は増幅されるが、外から入ってくる力は逆に縮小され、モータに伝わらない。一方、筋肉は低速で力が大きいという特徴があり、歯車な

しに直接関節を動かすことができる。関節に加わった力は、そのまま筋肉に伝わる。つまり、人間は筋肉や腱に埋め込まれたゴルジ腱器官や筋紡錘といった自己受容感覚を通じて身体の状態ばかりでなく、身体と環境の関係を知覚できるのである。関節がかたく、鈍感であることはロボットが状況に応じて知的に振る舞うことを困難にしている。例えるなら、ロボットの動作はパントマイムのようなものだ。物体をつかむ場合も、そのつかむ動きを演じているだけなので、物体をつかみ損ねても物体がそこになくても動作を続けてしまう。その原因は皮膚感覚がないという表面的なことではない。身体がかたいという根本的な課題が根底にある。

かたいロボットアームは、関節の角度をプログラムに書けば、関節の角度がその通りになる。一方、ゾウの鼻のようなやわらかいロボットアームは、ある部分を曲げることをプログラムで指令できるかもしれないが、実際にどれだけ曲がるかは成り行き次第である。プログラムを書く代わりにできることは、素材を選び形態を設計することだ。やわらかいロボットでは、動きの主導権が身体側あるいは環境側にある。ハードロボティクスにおいては、ソフトウェアに従順で自己主張をしない身体が使われ、ロボットの身体は透明化されていたことがあらためて意識される。人間の体も、本来はままならないものである。生まれてから今までの長年の経験を通じて私たちは体をほぼ思い通りに動かせるが、そう思えるのは日常動作の範囲だけであって、新しい動作を習得しようとするれば体と環境は新しい対話を始める必要がある。

ソフトロボティクスが志向するやわらかい身体は、環境や他者との相互作用に敏感なロボットの実現に貢献するだろう。ただし、自発的な運動と外界からの作用による運動が重なり合うとき、それらをうまく調停しなければならない点が難しい。例えば、ボートのかたいプロペラと魚のやわらかい尾びれを考えてみよう。かたいプロペラは指令回転数に応じて忠実に推進力を発生するが、水の流れはお構いなしで、しかも触れたものを切り刻んでしまう。魚の尾びれは力強く動いて推進力を発生するが、同時に水の流れに巻き込まれて受動的にも動いている（Liao, 2004）。岩などにぶつかっても平気である。省エネルギーという観点では、魚は受動的な動きを基本としているように見える。身体運動とは、実は身体と環境の関係からつむがれるものであり、身体設計および身体への指令だけでは完結しないということになる。運動を直接設計しないことを旨とするロボット設計はソフトロボティクスの挑戦である。

この数年、新しいヒト型ロボットや4脚ロボットの開発が活発化しており、その中で関節をやわらかくしようとする設計トレンドがある（Wensing *et al.*, 2017）。電磁モータの性能が向上したおかげでもあるが、歯車減速機のでこの比率を小さくできるようになってきた。例えば、従来は100:1だった比率が、10:1くらいになり、ガチガチに硬かった関節が、押せば動く程度に改善された。減速機が不要になればこの比率は1:1になり、それはダイレクトドライブ方式と呼ばれている。人間の体で、筋肉が腱を通じて直接関節を動かしているのはダイレクトドライブと言える。身体に埋め込まれた自己受容感覚を通じて環境を知ることができる新たなロボットシステムの実現に近いかもしれない。

3 ハードとソフト

身の回りにある汎用コンピュータは、実はすべてノイマン型と呼ばれるただ一種である。量子コンピュータやアナログコンピュータのような特殊なアーキテクチャ（様式）を備えた計算

機は、研究機関に少数しかない。ノイマン型計算機の特徴のひとつは、計算機の動作を指示するプログラムがメモリーに格納されていて、容易に書き換えできることだ。プログラムが、自身を書き換えることさえ可能である。ノイマン型のコンピュータ・アーキテクチャがもたらしたのは、ハードウェアという変化しづらい目に見える装置と、ソフトウェアといういつでも書き換えられる目に見えない電気的狀態をまったく別に扱うことができるという二元論である。

ハードウェアとソフトウェアというものの見方は安易に流用され、身体観を毒しているように思われる。認知や心の働きがまるでソフトウェアのように複製でき、それを脳という共通ハードウェアに「インストール」や「アップロード」できるという観念はSF映画の中だけのことで、誤りである。脳で実行される何らかのソフトウェアが手足というハードウェアを一方的にコントロールしているといった身体観もまた誤りである。まず、脳はノイマン型計算機ではないのでプログラムを内蔵していない。さらに、脳神経系は手先足先の隅々にまで埋めこまれた身体の一部で、ゆえに個性的であり、その多層的な形態・構造そのものが機能を体現している。手が動きを発見し、脳がそれを調整しているという場合もあるだろうから、脳が身体的主人であるとは言えない。もちろん、大脳や小脳なしに人間が人間らしくふるまうことはできないのは明白である。大脳が複雑な構造とダイナミクスをもった小宇宙であることに疑いはないのだが、身体という文脈の重要性はいつでも強調する必要がある。

ソフトロボティクスは従来のロボティクスをハードロボティクスと位置づけて対比している（新山, 2018）。ソフトロボティクスの「ソフト」は柔軟性（softness）の意味で、ソフトウェアのことではない。ロボットのハードウェア＝身体をソフトにすることがソフトロボティクスの挑戦である。ハードウェアとソフトウェアはそれぞれ別の概念であるが、やわらかさとかたさは同じ物理量の別の側面だ。外力に対して「容易に」変形することがやわらかさだが、これは主観的・相対的な表現である。硬い鉄も薄くすれば紙のようにやわらかくなるし、やわらかい豆腐も赤ちゃんのほっぺよりは硬い。食べ物をかたいと感じるか柔らかいと感じるかは、顎の筋肉の強さによって変わるだろう。

やわらかい身体とかたい身体を行き来したい、という目標はソフトロボティクスの分野の中で広く共有されている。実際、人間は脱力もできるが、姿勢を変えたり力んだりすることで身体をかためることもできる。ロボットでも、そのような柔剛調節メカニズムがさまざまに考案されている（日本ロボット学会, 2023）。

4 インフレーターブルロボット

生物のあるグループに共通する身体構造の形式をボディプラン（体制）という。ボディプランは進化と発生に深く関係している。初期の多細胞生物は左右対称の身体をもっていなかったが、脊椎動物は左右対称の身体をもっている。そのメンバーである私たち人間にとって、海綿やクラゲのような人間とはまったく異なる身体をもって環境と向かい合うのはどういう感覚なのか想像もつかない。身体がちがえば、知覚も運動も根本的に変わる。ボディプランは知覚の基底にちがいない。人間にとって、身体は生まれたときからの所与のものということになるが、ロボットであれば身体はいかようにもデザインできる。つまり、ロボット作りではボディプランをどうするかという課題が発生する。ところが、世の中のコンピュータの大半がノイマ

ン型コンピュータであるように、ロボットの大半が産業用ロボットのようなかたいロボットなので、ボディプランは陽に意識されてこなかったように思われる。ソフトロボティクスの功績のひとつは、ロボットにも多様なボディプランがあると示したことではないだろうか。

産業用ロボットアームは硬質で強力である。対してソフトロボットは軟質で非力である。しかし軟弱であることで環境や他者とよくなじみ、また、安全・安心につながる。我々が注目しているのは、インフレータブルロボットと呼ばれる空気膜構造のソフトロボットである。大ざっぱに言えば、風船を身体の主構造に採用した骨のない皮膚だけのロボットである。布やフィルムで作られ、軟弱で軽薄、その上に中身がないという、悪口のような形容が当てはまる特殊なボディプランを備える。空気を抜くと張りを失うので、平たく折りたたむこともできる。シリコーンゴムで作るソフトロボットは、サイズを大きくしていくと自重を支えきれなくなって動けなくなってしまうが、インフレータブルロボットはサイズを大きくしても中身が詰まっていないので軽い。つまり、大型のソフトロボットに適した構造である（新山, 2024）。

研究例のひとつは、ヒト型インフレータブルロボットである（Fig. 1）。これは物理的な接触を伴う human-robot interaction (HRI) 研究のプラットフォームとして製作されたもので、ハードロボットとちがって接触しても人間が傷つくおそれがなく、また、ロボットが壊れることもない。

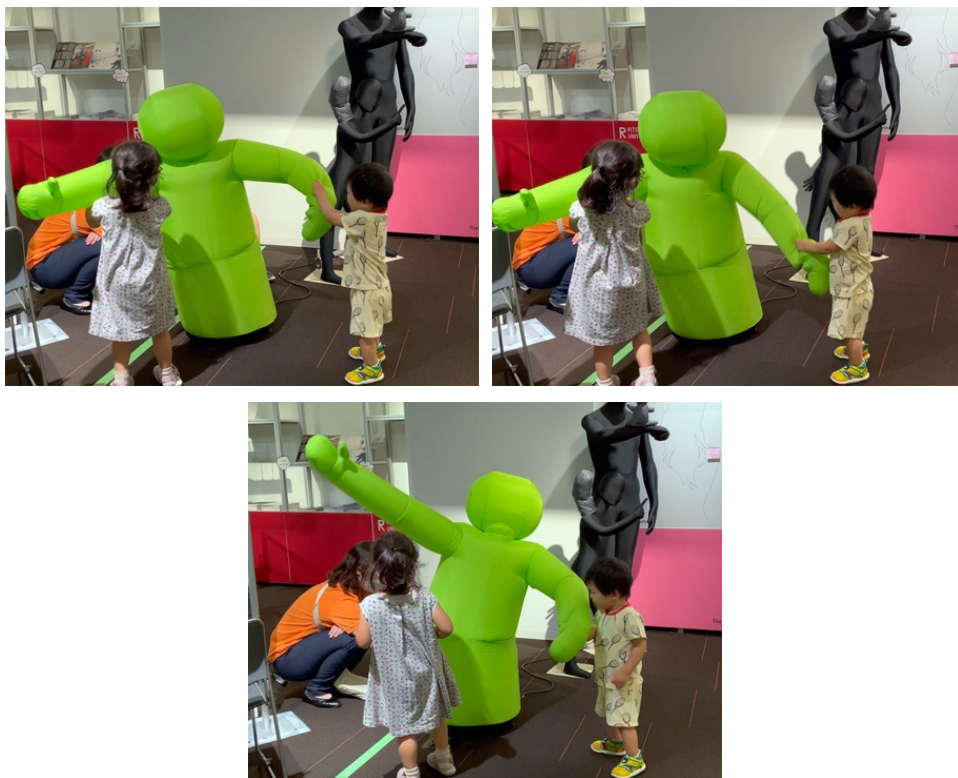


Figure 1 ヒト型インフレータブルロボットの受動的な変形を引き出す子供の働きかけ

ヒト型インフレータブルロボットを実現している基礎技術として、折れ曲がる構造を設けて内側からワイヤで制御する関節メカニズムや、膜上に埋め込んだ視覚センサーや触力覚センサーの利用などがある（Niiyama *et al.*, 2021）。現状では無地でのっぺらぼうだが、模様を印刷

することもできるだろう。そうすると、ロボットはある種の立体キャンバスになり、表面に衣服や顔や凹凸を感じさせるテクスチャなどを重ねることができる。ロボットは物体でありながらバイオリジカルな運動を行う不自然な人工物である。だからこそ人々はロボットの姿や動きに興味をひかれるのかもしれない。生物ではないのに生物のような動きを宿し、固有の形状・表面をもちながらそこに写真や映像を印刷・投影できるとしたら、ロボットは二重・三重の知覚を迫る特異な存在といえるだろう。

5 AI と生態心理学

最後に、ここ十年で劇的に進化し社会を変えつつある AI（人工知能）技術についても触れておきたい。初期には画像に写っている物体を探し出したり言い当てたりすることに使われた深層ニューラルネットワークは、今やロボットの制御にも広く使われるようになった。深層強化学習はその代表格である。強化学習では、設計者はロボットの動きを直接プログラムすることなく、「速く走る」や「高く跳ぶ」といった指標を与えるだけで、ロボットが試行錯誤を通じて自ら運動探索・運動生成を行う。以前であれば「物体の大きさ」「足先の位置」「床の平面」などの項目を人間が洞察に基づいて選び、それを計算するモジュールを手動で作っていたが、深層強化学習ではもはや人間がその作業を手放しつつある点が興味深い。外界の情報も体内の情報も、ロボットが得られる情報はすべてまとめてシステムに入力され、システムは運動指令を直接出力し、適切な感覚-運動ループが学習される。そのような枠組みの中では、人間がむやみに情報を整形しないおかげで、情報の束の中にこそある豊かな構造がそのまま保たれ、利用されているようである。生態心理学が見抜いた直接知覚が、そこに実現されているのかもしれない。ただし、残念ながら学習後のニューラルネットワークを人間が見ても、解釈や説明は難しい。大規模データに基づく現代の人工知能のアプローチは、知覚の原理を情報処理の単位で説明することを拒んでいるようだ。だからこそ、生態心理学の思想が光明となるように私は感じるのである。

引用文献

- Gibson, J. J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (Original work published 1979)
- Liao, J. C. (2004). Neuromuscular control of trout swimming in a vortex street: implications for energy economy during the Karman gait. *Journal of Experimental Biology*, 207(20), 3495–3506.
- 日本ロボット学会 (編) (2023). ロボット工学ハンドブック (第3版) コロナ社
- 新山 龍馬 (2018). やわらかいロボット (シリーズ 新・身体とシステム) 金子書房
- Niiyama, R., Seong, Y. ah, Kawahara, Y., & Kuniyoshi, Y. (2021). Blower-Powered Soft Inflatable Joints for Physical Human-Robot Interaction. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, 1–12.
- 参考動画：<https://www.youtube.com/watch?v=0KIPnnxMIPw>

- 新山 龍馬 (2024). インフレータブル構造を用いたロボットと電動モビリティ 日本設計工学会誌『設計工学』, 59(11), 518-523.
- Pfeifer, R., & Scheier, C. (1999). *Understanding Intelligence*. MIT Press. (ファイファー, R., シャイアー, C., 石黒 章夫・小林 宏・細田 耕 (監訳) (2001). 知の創成 ―身体性認知科学への招待― 共立出版)
- 鈴木 康一・中嶋 浩平・新山 龍馬・舩屋 賢 (編) (2023). ソフトロボット学入門 基本構成と柔軟物体の数理 オーム社
- Wensing, P. M., Wang, A., Seok, S., Otten, D., Lang, J., & Kim, S. (2017). Proprioceptive Actuator Design in the MIT Cheetah: Impact Mitigation and High-Bandwidth Physical Interaction for Dynamic Legged Robots. *IEEE Transactions on Robotics*, 33(3), 509–522.

(2025 年 1 月 23 日受稿, 2025 年 3 月 11 日受理)

環境－身体の相互作用とリハビリテーション： 感覚情報を補完するインタフェースを生態心理学から再考する

安田 和弘（東京保健医療専門職大学¹・早稲田大学）

岩田 浩康（早稲田大学）

本稿では、著者らが開発している体性感覚型バイオフィードバック（BF）システムの研究経緯を概観するとともに、生態心理学的観点からその意義やリスクについて再考した。感覚代行技術は、失われた感覚を補うためにテクノロジーを活用するものである。特に、著者らが開発した体性感覚型 BF は、脳損傷患者の身体感覚の減衰を人工的な振動刺激で補完し、姿勢制御や歩行能力の改善を図ろうとするものである。工学的な意味での感覚代行は、入力された物理的な情報を異なる形式に符号化し呈示するため、身体内部の情報処理過程として扱われることが多い。しかしながら、ダイナミックな運動行動を対象とした本システムは、知覚行為循環を通して環境との関係性を再構築するという側面を持つ。そこで本稿では、感覚代行の研究史およびこれまでの研究開発の経緯について概説するとともに、患者と環境との相互作用を改善するための手段として本技術を捉えなおし、生態心理学的観点からその意義やリスクについて再考した。

キーワード：脳卒中、感覚補完・代行、生態心理学、リハビリテーション、姿勢・歩行制御

Environment-Body Interaction and Rehabilitation: Reconsidering the Sensory Supplementation System based on Ecological Psychology

Kazuhiro Yasuda (*Tokyo Professional University of Health Sciences, Waseda University*)

Hiroyasu Iwata (*Waseda University*)

1 はじめに

リハビリテーションは、身体機能の回復や社会復帰を目指す重要なプロセスである。脳卒中

¹ E-mail: k-yasuda@tpu.ac.jp

後には、運動麻痺や感覚障害、認知機能の低下といったさまざまな後遺症が現れ、日常生活における環境との関わりが大きく変容する。患者は、失われた機能を補うために身体的・心理的な再適応を迫られると同時に、新たな環境の中で自立的に生活する能力を獲得する必要がある。一般的なりハビリテーションでは、主に身体機能の回復を主目標としているが、りハビリテーションの成否は単に個人の身体的回復能力に依存するものではなく、環境への適応力を高める視点が重要となる。この考え方は、ICF（International Classification of Functioning, Disability and Health; 国際生活機能分類）の枠組みとも整合性がある。ICFでは、健康状態や機能障害を単に身体的な問題として捉えるのではなく、「心身機能・構造」「活動」「参加」という3つの視点から包括的に評価し、さらに「環境因子」や「個人因子」を考慮することを重視している（Leonardi et al, 2022）。「身体的・心理的な再適応」や「環境への適応力を高める視点」は、ICFの理念と一致しており、このような包括的なアプローチにより、患者の社会参加や自立生活の可能性をより広げることが求められる。

運動障害を持つ患者へのりハビリテーションは運動制御理論と並行して変遷してきた。反射理論、階層理論、運動プログラム理論、システム論、生態学的理論の科学的な仮説が提唱されるたびに評価や介入法も変化している（Levin & Demers, 2020）。りハビリテーションの目的の1つは、患者が環境に適応する能力を回復させることであり、この視点は効果的な学習と回復を促進する上で重要である。神経学的障害を持つ患者の運動制御障害に関する理論的説明は、反射・階層理論から始まり、運動が中枢神経系にあらかじめ記憶されたプログラムによって制御されるとする運動プログラム理論へと発展してきた（Levin & Demers, 2020）。従来の運動制御理論では、個体を情報処理の主体として捉えてきたが、生態心理学の登場により、運動は環境の中で情報を見つけ出す「知覚」によって導かれるという視点が強調されるようになった。この観点からは、人間の行動や適応は、個体と環境とのダイナミックな関係性によって形成されると考えられている（Lobo et al, 2018）。実際、現代的なりハビリテーションの中核をなす「課題指向型アプローチ」では、運動は個体（運動を行う人）、運動課題（どのような運動を行うか）、環境（運動を行う状況）の相互作用によって生じると明示されている。このような環境と身体との相互作用を重視する視点は、生態心理学の知見に基づいて説明されており、りハビリテーションにおける運動制御と学習の理解に重要な示唆を与えている（Shumway-Cook & Woollacott, 2007）。また、生態心理学の実践面における貢献としては、患者を環境に対する能動的な探索者と位置付けたことにある。この視点に立つと、患者は運動課題と実行される環境への能動的探索によって、さまざまな動作の仕方（例えば、歩き方、立ち方や物品の操作方法等）を発見することになる。すなわち、患者は正常な運動パターンを習得するというよりは、課題に対して固有の問題解決法を積極的に発見し、より自律的に回復を遂げるための働きかけが要求される。

著者らは脳卒中後の片麻痺患者を対象とした体性感覚型バイオフィードバック（BF）システムの開発を行ってきた（5. 脳卒中患者に対する体性感覚型バイオフィードバックシステムの開発で詳述）。このシステムは、脳損傷により低下または消失した体性感覚情報を小型振動

子により生成した刺激を通じて補完し、患者の回復を促進することを目的としている。障害を起因として感覚器官や神経伝導路が損傷を受けた場合でも、別の感覚入力を通じて情報を補填する能力を人間は有している。この仕組みは感覚代行と呼ばれ、特定の感覚入力を別の入力を用いて代替することを意味する(Bach-y-Rita, 1969)。例えば、全盲者が指先の触覚を用いて点字を読み取ることは、感覚代行の古典的な例として広く知られている。他にも全盲者がエコーロケーション（反響定位）を活用して周囲の環境を認識する能力等が挙げられる(Kolarik et al, 2014)。著者らが開発したシステムは、麻痺により減衰あるいは失われた体性感覚（足底感覚）を振動刺激に変換して感知するものであり、感覚補完（sensory supplementation）に類するが、技術的には感覚代行（sensory substitution）から発想を得ている²。感覚代行技術では、他の感覚経路を使用して情報提供するため、工学的には間接知覚論の枠組み内でモデル化されることが多い(Ward & Wright, 2012)。しかしながら、歩行等のダイナミックな運動を対象とする場合、知覚と行動が一体となって環境との相互作用を調整するという意味で、直接知覚論の枠組みにも合致する。つまり、身体と環境とがダイナミックに相互作用する歩行などの全身運動においては、中枢における感覚情報の処理といった認知プロセスを介さずとも、不変項という情報を抽出しやすく直接知覚として捉えやすいと考えられる。

このような背景を踏まえ、体性感覚型 BF システムのような新しいテクノロジーがリハビリテーションに導入されるなかで、本稿では生態心理学的側面からその有効性や意義、リスクを再考する。生態心理学の視点では、個体（患者）と環境との相互作用が運動学習や適応の中心であり、新技術の導入がこの相互作用にどのような影響を与えるのかを理解することは機器開発や実践面からも重要となる。さらに BF 技術が、患者の能動的な探索行動や環境適応能力を促進する可能性がある一方で、過度な機械依存や環境からのフィードバックの質の変化といったリスクや課題も想定される。本稿では、開発に関わる研究史を全体として概観するとともに、新しい技術の利点と潜在的なリスクの両面を掘り下げ、現代のリハビリテーションにおける生態心理学的アプローチの意義を再確認するとともに、今後の臨床応用に向けた示唆を提供したい。

2 感覚代行の研究史

感覚を補完・代行するための技術が実現した背景には、近年の科学技術の進展が大きく寄与している。工学的観点から言えば、代行を試みる情報を信号として変換し、生体へ接触させるための変換器を構築することが求められる（図 1）(Ward & Wright, 2012)。この感覚代行装置の基盤は、1960 年代に開発された視触覚代行技術（TVSS; tactile vision substitution system）に遡ることができる。この技術では、カメラで外界の情報を撮像し、映像の濃淡を 60Hz 程度の振動子配列に変換して呈示する手法が採られた（図 2）(Bach-y-Rita, 1969)。当時は歯科用

² この技術は、対象の特性に応じて「代行」「補完」または「増幅」に分類できるが、脳卒中患者には「補完」を適用した。

シートの背面に配置した振動子を用いて刺激を提示していたが、この類のシステムは実用化には至らなかった。しかし、このような検証を通じて、感覚代行の特性を理解するための多くの知見が得られた。

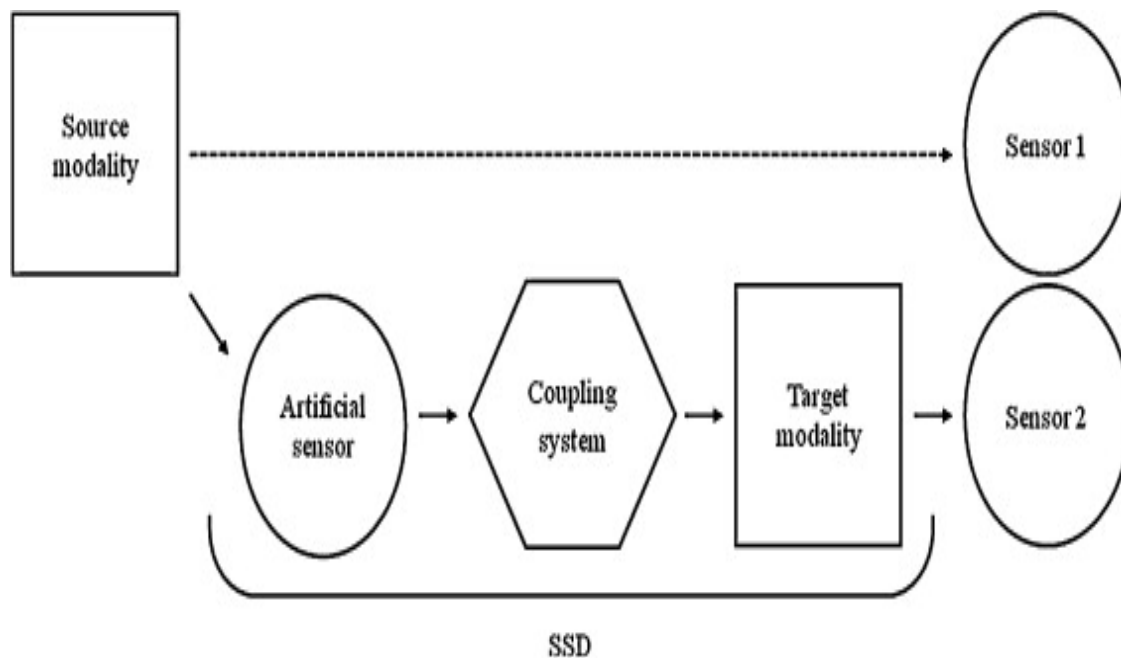


図1 感覚代行技術の概念 (Ward&Wright, 2012)

通常、生体では感覚情報は感覚器へ直接入力されるが、センサによる情報取得からソフトウェアによる特徴の抽出、ハードウェアから異なる感覚器への信号出力をすることで、情報の持つ意味の対応付けが可能となる。

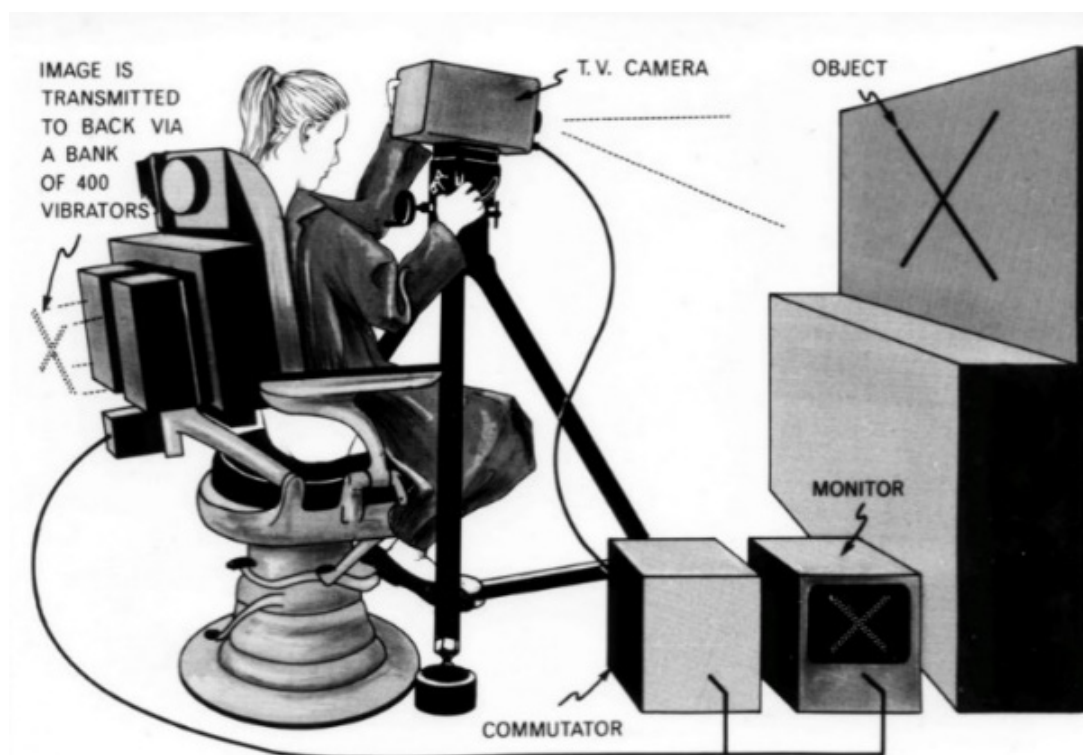


図2 古典的な感覚代行装置 (Bach-y-Rita, 1969)

歯科用シートに配列された小型振動子で撮像した物体の形状特性を呈示する。

近年、装置の小型化が著しく進み、全盲者が電気信号を用いて「見る」ことを可能にする装置として“BrainPort V100”が実装されている。この装置は、サングラスに装着された小型カメラ、制御装置、そして舌に設置する刺激提示ユニットで構成されている（図 3）。カメラで撮影した映像は制御装置に送られ、モノクロ画像に変換された後、電気刺激として舌上の提示ユニットへ伝えられる。提示ユニットは電極アレイで構成され、映像内の白色部分に対応する箇所では電気刺激が発生する仕組みである。使用者は舌上で電気刺激を感知し、それを基に物体情報を認識することが可能となる。舌上で捉えられる情報は、静的な文字や数字・記号に留まらず、転がってくるボール等の動的情報も含む（BrainPort V100³の動画サイトでは、全盲者がロッククライミングやゴルフのパターに挑戦する動画など、成果を示す事例が公開されている）。



図 3 BrainportV100® (Wicab 社より許可を得て掲載)

サングラスに取り付けた小型カメラの映像を親機に送り特徴を抽出、環境や物体の形状を舌上に電気刺激として呈示する。

3 感覚間の対応付け (cross-modal matching)

脳機能イメージング技術の進展により、感覚代行装置の利用時における神経活動の一部が解明されつつある。これまでの研究は、中枢神経による感覚情報の処理が、感覚器ごとに独立したものではないことを示唆している。具体的には、全盲者を対象に音を通じて形状を認識させる研究が行われ、脳機能イメージングを用いた分析が進められている（Poirier et al, 2007; Arno et al, 2001）。実験に用いる装置では、眼鏡に装着した小型カメラで撮影した画像を基に音を生成する仕組みが採用されている（例：モノクロ画像の白色部分を検知し、その上下位置を音の高低で、コントラストを音量で表現するなど）。fMRI(functional Magnetic Resonance

³ BrainPortV100 の動画リンク：<https://www.youtube.com/@brainporttechnologies6278>

Imaging; 機能的磁気共鳴画像法)や PET(Positron Emission Tomography; 陽電子放射断層撮影法)を用いて、音に置き換えられたパターンを聴取している際の脳活動を調べたところ、聴覚受容野だけでなく、1次視覚野(17野)、2次視覚野(18野)、さらには視覚連合野(19野)までが活性化していることが明らかとなった(Poirier et al, 2007; Arno et al, 2001; Renier et al, 2005)。この現象は、感覚間の対応付け(cross-modal matching)が成立すると、視覚入力がない状態でも音刺激を通じて視覚関連領域が活性化し、情報を処理できる可能性を示している。リハビリテーションの分野では、このような概念はあまり浸透していないが、異なる感覚器を用いた cross-modal matching によって運動行動を学習できる可能性があり示唆に富んでいる。

4 リハビリテーションへの応用

2000年代中頃より複数の研究グループが基礎研究の知見をよりダイナミックな姿勢や歩行障害に応用しようとする研究を進めている。その代表例として、前庭機能障害患者を対象とした感覚代行装置の開発が挙げられる(図4)(Tyler et al, 2007; Vuillerme et al, 2008)。

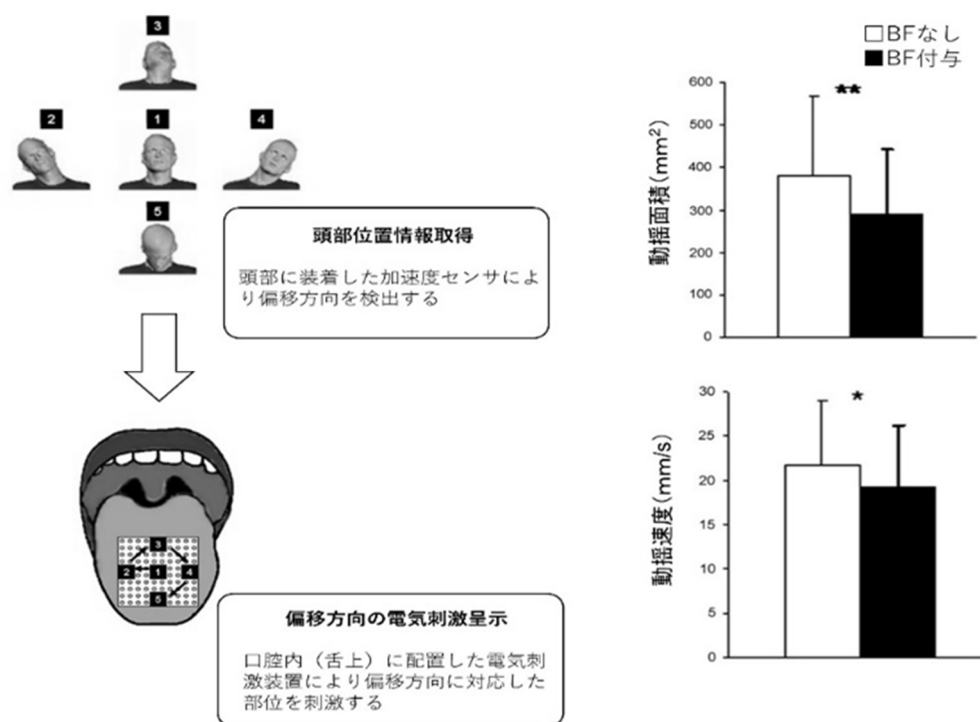


図4 前庭機能障害者に対する感覚代行実験 (Vuillerme et al, 2008)

この装置は、身体の傾きに関する情報を電気信号に変換し、舌の触覚経路を介して提示するものである。具体的には、両側前庭神経炎によって平衡機能が低下した患者に対し、頭部の加速度や傾斜の情報を舌上の電気刺激として提示し、その効果を評価した。結果として、被験者28名全員が装置を利用することで平衡機能を補完できたことが示され、一部の患者では装置の使用を中止した後も最大6時間にわたり効果が持続した。また、身体の動揺方向を音刺激と

して提示する別の装置においても、平衡機能を補完する効果が確認されている (Dozza et al, 2007). これらの研究成果は、感覚代行技術が姿勢や歩行制御の改善に寄与する可能性を示唆している. これらの取り組みを基に、先述した Wicab 社はバランス能力の改善を目的とした「BrainPort Balance Plus」も実用化している⁴. 現在、この装置はカナダで販売されており、リハビリテーション分野において患者の姿勢制御やバランス能力の改善に活用されている (図 5).



図 5 BrainPort Balance Plus® (Wicab 社より許可を得て掲載)

口腔内の端子に取り付けた加速度センサで頭部 (身体) の動揺を検出、加速度センサの裏面に配置した小型電極で動揺方向を呈示する。

5 脳卒中患者に対する体性感覚型バイオフィードバック(BF)システムの開発

前庭機能障害を有する患者において、機械による運動パターンの提示が平衡能力の改善に寄与することが示されている. 一方で、感覚麻痺を伴う脳卒中患者に対する適用可能性は十分に検証されていなかった. そこで著者らは、感覚麻痺患者でも身体の偏移が認識可能な体性感覚型 BF システムを試作し、足圧中心 (COP) の偏移方向を振動刺激として提示することが姿勢制御に与える影響を検証した. 本システムは、振動刺激を発生させる骨盤ベルト、床反力計 (Wii Balance Board, 任天堂), および PC から構成されており、COP 位置情報を基に設定された閾値面積 (身体動揺面積) を超えた場合に振動刺激で移動方向を提示する仕組みである (図 6). 骨盤部に振動刺激を呈示することで、患者は身体重心位置に近い部位で偏移情報を得ることができ、その後の重心補正もおこない易い仕様になっている.

本システムの実行可能性を検討するため、左側頭部開頭術後に左基底核および左側頭葉に広範な破壊性変化を認める重度の深部感覚障害を有する患者を対象に適用した. 結果として、装置装着直後には姿勢動揺が顕著に増加したが、数回の適応フェーズを経ることで動揺面積が約 50%低減することが確認された (安田 他, 2014). この結果から、脳卒中患者において比

⁴ BrainPort Balance Plus の詳細については、『脳はいかに治癒をもたらすか』第 7 章「脳のリセットする装置」, 紀伊国屋書店, ノーマン・ドイジ著]に詳しい.

較的短期間の練習によって十分な適応が可能であることが示唆された。さらに、脳卒中片麻痺患者を対象とした予備的研究を実施したところ、身体動揺面積および特に片麻痺患者で顕著であった左右方向の身体動揺距離の低減が確認され、効果の再現性が示された(Yasuda et al, 2013)。

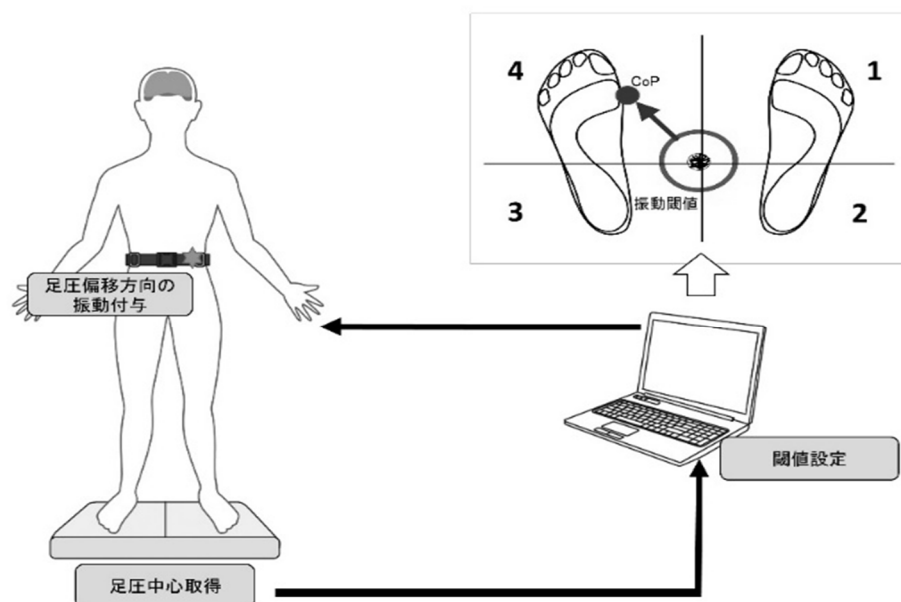


図6 姿勢制御用体性感覚型 BF システム(Yasuda et al, 2013)

ごく最近、同じ原理を脳卒中患者の歩行運動に適応した。歩行用のシステムでは、床面との接地面である足底に圧力センサを設置し、踵とつま先の接地状況を骨盤前後面で感知できる仕様とした(図7)。実行可能性検証として、感覚伝導路である視床の出血により重度の感覚障害を有する脳卒中患者を対象に体性感覚型 BF システムの影響を検証した。研究デザインとして ABA'法を採用し、ベースライン期(A)およびフォローアップ期(A')では歩行のみを実施し、介入期(B)ではシステムを用いた歩行トレーニングを実施した。評価指標として、歩行速度、歩行の運動学的パラメータ(TLA: Trailing limb angle; 立脚後期の股関節伸展角度)、および下腿筋(TA: 前脛骨筋, MG: 内側腓腹筋)の筋活動を測定した。その結果、歩行速度に関しては、ベースライン期と比較して介入期において有意な向上が認められた。一方で、感覚機能には有意な変化が見られなかったが、TLA はベースライン期と比較して介入期で顕著に改善した。また、内側腓腹筋の活動は立脚初期においてベースライン期と比較して介入期で低下が確認された。これらの結果は、脳卒中後の感覚障害に対する体性感覚型 BF の使用が、歩行速度の向上に寄与し、さらに運動学的パラメータや筋活動においてもポジティブな影響を及ぼす可能性を示唆している(Yamamoto et al., in preparation)。

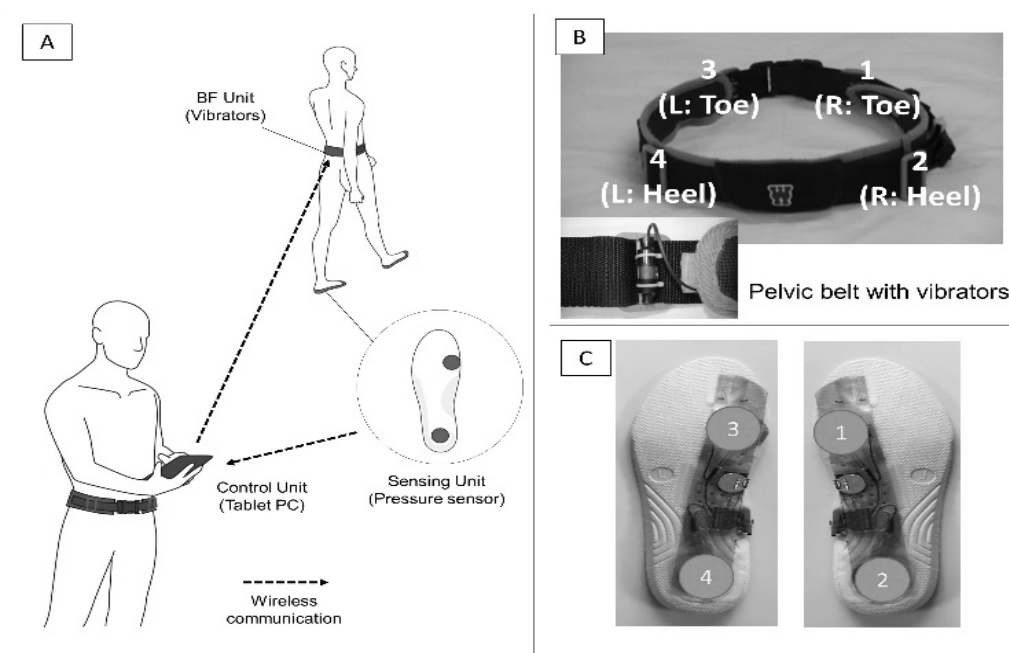


図7 歩行用体性感覚型 BF システム

6 対人間インタラクションを促進する共感型 BF システムの設計

体性感覚型 BF では運動動態をデバイスを介して提示できるため、身体動揺や歩行動態を他者が感知することもできる。われわれは、この感覚情報を他者へ拡張できる特性を「共感型 BF システム」と呼称した(Yasuda et al, 2018) (図 8)。本システムでは、目標達成状況をセラピストと患者の双方が共有することが可能となり、共有された身体情報を基に適切なフィードバックや教示を提供することができる。

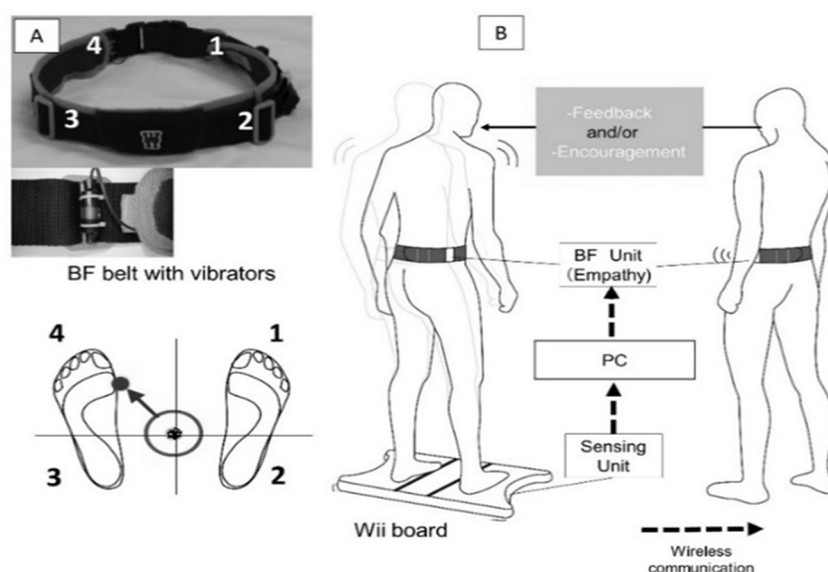


図8 共感型バイオフィードバックシステム(Yasuda et al, 2018)

著者らは、図 8 に示された共感型 BF システムを用い、脳卒中患者における臨床的有効性を検証した(Yasuda et al, 2018). 本研究では、発症から 6 か月以上が経過した慢性期脳卒中患者(時期的に回復が困難とされる患者)を対象とし、足圧中心(COP)の挙動と臨床的なバランス評価スケールを用いて前後比較を行った。週 2 回、4 週間のトレーニングを実施した結果、患者の姿勢動揺(95%信頼楕円面積)はわずかな減少を示し、臨床的なバランススケールでは統計的に有意な改善が認められた。さらに、Functional Reach Test (FRT; 前方に手を伸ばすことができる距離)と Timed Up and Go Test (TUG; 3m の往復歩行に要する時間)の結果は、最小検出可能変化(MCID; 臨床的に意義のある変化)を上回る改善が見られた。一方で、Berg Balance Scale (BBS; 物を拾う、360 度回転や片足立ち等の動的課題を含む包括的なバランステスト)の変化は、臨床的に意義のある範囲には達しなかった(Yasuda et al, 2018). これらの結果は、動的課題に対して一定の制約があるものの、基礎的なバランス能力の向上において本システムが効果を発揮する可能性を示している。

これまでに示した予備検証では患者側の動態を送る意味での拡張であったが、われわれはセラピスト側の動きを患者に拡張して感知させることの影響にも関心を持っている。今後、このように双方の身体情報がやり取り可能なデバイスの影響を包括的に検証することで、脳卒中患者のリハビリテーション支援において新たな切り口からのアプローチが可能になるかもしれない。

7 考察

感覚代行技術では、失われた感覚を補うために他の感覚情報を付与することが一般的であるため、このプロセスは間接知覚論の枠組み内で理解されることが多い(Ward & Wright, 2012). しかしながら、歩行等のダイナミックな動きに適応する体性感覚型 BF では、知覚と運動が一体となって環境との相互作用を調整するという意味で、直接知覚論の枠組みにも合致する。すなわち、BF システムによって足圧から環境および自己の運動のダイナミックな相互作用プロセスを通じ、不変項が直接的に知覚される可能性がある。知覚行為循環(Perception-Action Cycle)は、生態心理学の重要な概念であり、知覚と運動が相互に連携して動的に進行するプロセスを示している(Wade & Jones, 1997)。この循環的なモデルは、知覚と運動が切り離せないものであり、環境との相互作用によって進行するという考え方に基づいている。体性感覚型 BF は、足圧情報を振動に変換する技術として、知覚行為循環を促進するために有用である。足圧情報を振動に変換することで、患者は自分の足元の状態を認識し、歩行動作を調整できるようになる。また、生態心理学におけるアクティブタッチ(Active Touch)では、単に皮膚に触れる刺激を受動的に感じ取るのではなく、手や指を能動的に動かしながら環境を探索することで、物体や表面の特性を知覚する。この過程では触覚と運動の統合的な働きが重要であり、自己の運動と得られる感覚情報の相互作用を通じて対象の特性を知覚する(Gibson,

1962)．足圧センサから得られる情報は、歩行などの運動中に足元の接地圧力をリアルタイムで計測し、足の位置や重心移動、踏み込み具合を伝達する．そのため、患者は身体動作のフィードバック情報を利用することで、より能動的な接地面への探索が可能となる．この新しい経路による探索行為により、自己の運動特性や姿勢を客観的に理解しやすくなる．アクティブタッチを体性感覚型 BF により促進することで、異なる経路からの動的触知覚を可能にし、身体の調整力および自己知覚・環境知覚を向上させる新たな手段を提供できるかもしれない．

生態心理学における不変項 (invariant) とは、環境の中で変化しない情報を指し、知覚の安定性を支える重要な概念である (Lobo, 2018)．不変項は、観察者が移動したり環境が変化したりしても、一定して存在する情報であり、生物が環境の特性を正確に知覚するための手掛かりとなる．不変項は、身体と環境が相互作用する中で、感覚器官を介して得られる情報 (視覚、触覚、聴覚など) から抽出される．これにより、環境の特性が正確に把握される．重度の感覚障害を持つ患者では、制約を受けた身体による探索行為から不変項を抽出する必要があるが、運動麻痺が合併している患者では探索行為そのものが困難な事例も少なくない．現状では体性感覚型 BF から得られる不変項の特定まではできないが、例えば、装置を利用することで足部の動きが感知しやすくなり、不変項を抽出するための探索行為が促進される、立位や歩行時に視線が上向きになることで視覚的不変項が得られやすく等の変化が期待される．また定性的ではあるものの、装置を使用しはじめた患者は振動と自身の身体の揺れ方の関係性を理解するために、能動的にさまざまな方向に体を揺らす、麻痺足を何度も床に付けて振動位置を確認するなどの挙動が見受けられた．もし体性感覚型 BF を利用することで、自分の身体と環境間の不変項を新たに抽出できれば、障害を受けた生身の身体とは異なる形で環境適応することが可能になるかもしれない．

また、生態心理学では個体間のコミュニケーションの基盤も環境に実在する知覚情報 (つまり、不変項) に求める (Gibson, 1966)．この視点に立つと、知覚が単なる個人の経験だけではなく、環境全体、特に他者との相互作用によっても創発するプロセスであることが理解できる．体性感覚型 BF は、運動動態を機械的に提示することで、通常は直接的に感知できない他者の身体動揺や歩行動態を認識する手段を提供する．そのため、共感型 BF システムは他者との共有感覚の拡張を可能にし、二者間協調を多角的に促進する可能性を持つ．例えば、患者が歩行中に感じる身体動揺や重心移動をセラピストがリアルタイムで感知することで、患者の状態に即した適切なフィードバックや指導が可能となる．このような情報共有は、運動の精度を高めるだけでなく、他者の障害理解を深める機会も提供する．患者が経験する運動困難をセラピストがシステムにより追体験することは、二者間で障害の実像を理解しあうことにも貢献する．

体性感覚型 BF がもたらす身体-環境間の相互作用の活性化は、自己 (セルフ) の新たな可能性を拓く契機となる．本システムを用いることで、患者は自己の身体的能力を補完・拡張し、環境との相互作用を再構築することが可能となる．これは、単に失われた感覚を補完するだけではなく、新たな身体性を獲得する過程でもある．具体的には、BF 技術を介して足圧情報が振動刺激として提示されることで、患者は自己の身体の動きや重心移動をリアルタイムで認識

し、自身の運動や姿勢を精緻に調整できるようになる。このような動的なフィードバックは、知覚行為循環を促進するだけでなく、患者の環境に対する能動的な適応を支える。また、感覚代行や感覚補完のプロセスを通じて、自己の身体を新たな視点から捉え直し、失われた感覚の代替手段として振動刺激を自己の一部として再組織化していく。この統合過程において、患者は身体的能力をテクノロジーを介して拡張するだけでなく、新しい自己（セルフ）が創発される可能性がある。さらに、共感型 BF システムが提供する身体情報の共有は、個人間での心理的なつながりを深化させる手段にもなり得る。他者の身体的体験をリアルタイムで追体験することで、共感が促進され、患者とセラピストの間で新たな協働関係が構築される。このような協調的な相互作用は、患者の心理的な回復をも支援する。また、自己という概念が、個別的な存在に留まらず、他者との協働やコミュニケーションを通じて拡張されることを示唆している。例えば、患者とセラピストが同一の目標を共有しながらリハビリテーションに取り組むことで、単独では到達し得ない成果を共同で実現できる。このように、身体－環境－他者との相互作用を基盤とする自己の拡張は、リハビリテーションの枠組みを超え、個人や社会全体に対する新たな可能性を示している。

一方で、感覚代行技術には自然な知覚行為循環を阻害するリスクもある。このリスクの一つは、感覚情報の変換過程における時間的遅延や情報処理の認知的負荷が、能動的な知覚行為循環を損なう可能性である。例えば、足圧情報を腰部に振動として変換提示する場合、その情報が身体感覚として適切に統合されるまでに時間がかかる場合がある。この遅延や情報処理の複雑さが増すと、利用者が環境への能動的な関与を抑制される可能性があり、結果として自然な知覚行為循環を妨げる恐れがある。このようなシステムによる制約が一定以上になると、あるべき能動的な知覚行為循環を弱める危険性がある。また、患者が機械を介して単純化されたフィードバックに依存しすぎると、環境を自ら探索する能力が低下する可能性がある。本来はさまざまな探索行為を通して図られる適応過程が、特定のモダリティに過度に依存してしまうと身体全体を通しておこなわれる探索行為が損なわれるリスクがある。これを防ぐためには、感覚代行技術が自然な知覚行為循環を促進する形で設計される必要がある。すなわち、技術が知覚行為循環の代替手段ではなく、むしろそれを強化し、身体が環境との相互作用を通じて自然に適応できる支援ツールとなるべきである。このアプローチが、患者が単に身体的な機能を回復するだけでなく、環境に適応しながら自立した生活を営む力を育むことにつながると考えられる。

本稿ではリハビリテーション分野における生態心理学の理論的、実践的な枠組みを踏まえ、新しいテクノロジーの導入がもたらす意義やリスクについて再考した。従来、リハビリテーションは身体機能の回復を主眼としてきたが、生態心理学の登場により個体と環境の相互作用を重視する視点が導入され、課題指向型アプローチに大きな影響を与えた。この考え方では、患者は能動的な探索者として位置付けられ、環境との関わりを通じた運動学習や適応が強調される。本稿で紹介した体性感覚型 BF システムは生態心理学的視点に基づくと、知覚行為循環やアクティブタッチを促進し、患者の身体知覚や環境知覚を補完・拡張する可能性を有して

いる。また、共感型 BF システムによる対人間インタラクションの促進は、従来のリハビリテーションとは異なる新たな相互作用をもたらさう。一方で、本技術の導入に伴う課題やリスク、特に過度な機械依存の可能性も指摘し、自然な知覚行為循環を損なわない技術設計の重要性を論じた。今後、テクノロジーとリハビリテーションを考えるうえでは、患者に代替手段を与えるだけでなく、その回復過程における主体的な関与を促し、より効果的かつ自律的な回復を支援するものでなければならない。

謝辞

本研究の一部は日本学術振興会の科学研究補助金（科研費）を受けて実施されました（研究課題番号: 17K01875, 15K21446）。また、臨床試験にご協力頂きました患者および共同研究機関スタッフに厚く御礼申し上げます。

引用文献

- Auvray, M., & Myin, E. (2009). Perception with compensatory devices: From sensory substitution to sensorimotor extension. *Cognitive Science*, 33(6), 1036–1058. <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2009.01048.x>
- Bach-y-Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B., & Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, 221(5184), 963–964. <https://doi.org/10.1038/221963a0>
- Dozza, M., Horak, F. B., & Chiari, L. (2007). Auditory biofeedback substitutes for loss of sensory information in maintaining stance. *Experimental Brain Research*, 178(1), 37–48. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0719-y>
- Galea, J. M., Mallia, E., Rothwell, J., & Diedrichsen, J. (2015). The dissociable effects of punishment and reward on motor learning. *Nature Neuroscience*, 18(4), 597–602. <https://doi.org/10.1038/nn.3956>
- Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, 69(6), 477–491. <https://doi.org/10.1037/h0046962>
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Praeger.
- Kolarik, A. J., Cirstea, S., Pardhan, S., & Moore, B. C. (2014). A summary of research investigating echolocation abilities of blind and sighted humans. *Hearing Research*, 310, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2014.01.010>
- Leonardi, M., Lee, H., Kostanjsek, N., Fornari, A., Raggi, A., Martinuzzi, A., Yáñez, M., Almborg, A. H., Fresk, M., Besstrashnova, Y., Shoshmin, A., Castro, S. S., Cordeiro, E. S., Cuenot, M., Haas, C., Maart, S., Maribo, T., Miller, J., Mukaino, M., ... Kraus de Camargo, O. (2022). 20 years of ICF-International classification of functioning, disability and health: Uses and applications around the world. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(18), 11321. <https://doi.org/10.3390/ijerph191811321>
- Levin, M. F., & Demers, M. (2021). Motor learning in neurological rehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, 43(24), 3445–3453. <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1752317>

- Lobo, L., Heras-Escribano, M., & Travieso, D. (2018). The history and philosophy of ecological psychology. *Frontiers in Psychology*, 9, 2228. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02228>
- Poirier, C., De Volder, A., Tranduy, D., & Scheiber, C. (2007). Pattern recognition using a device substituting audition for vision in blindfolded sighted subjects. *Neuropsychologia*, 45(5), 1108–1121. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.09.009>
- Renier, L., Laloyaux, C., Collignon, O., Tranduy, D., Vanlierde, A., Bruyer, R., & De Volder, A. G. (2005). The Ponzo illusion with auditory substitution of vision in sighted and early-blind subjects. *Perception*, 34(7), 857–867. <https://doi.org/10.1068/p5326>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2007). *Motor control: Translating research into clinical practice* (3rd ed.). Lippincott Williams & Wilkins.
- Sugawara, S. K., Tanaka, S., Okazaki, S., Watanabe, K., & Sadato, N. (2012). Social rewards enhance offline improvements in motor skill. *PLoS One*, 7(11), e48174. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048174>
- Tyler, M., Danilov, Y., & Bach-y-Rita, P. (2003). Closing an open-loop control system: Vestibular substitution through the tongue. *Journal of Integrative Neuroscience*, 2(2), 159–164. <https://doi.org/10.1142/S0219635203000264>
- Vuillerme, N., Pinsault, N., Fleury, A., Chenu, O., Demongeot, J., Payan, Y., & Pavan, P. (2008). Effectiveness of an electro-tactile vestibular substitution system in improving upright postural control in unilateral vestibular-defective patients. *Gait & Posture*, 28(4), 711–715. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.05.009>
- Wade, M. G., & Jones, G. (1997). The role of vision and spatial orientation in the maintenance of posture. *Physical Therapy*, 77(6), 619–628. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.6.619>
- Ward, J., & Wright, T. (2012). Sensory substitution as an artificially acquired synaesthesia. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 41, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.02.014>
- Yasuda, K., Hayashi, Y., Tawara, A., & Iwata, H. (2019). Using a vibrotactile biofeedback device to augment foot pressure during walking in healthy older adults: A brief report. *Frontiers in Psychology*, 10, 1008. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01008>
- Yasuda, K., Saichi, K., & Iwata, H. (2018). Haptic-based perception-empathy biofeedback enhances postural motor learning during high-cognitive load task in healthy older adults. *Frontiers in Medicine*, 5, 149. <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00149>
- Yasuda, K., Saichi, K., Kaibuki, N., Harashima, H., & Iwata, H. (2018). Haptic-based perception-empathy biofeedback system for balance rehabilitation in patients with chronic stroke: Concepts and initial feasibility study. *Gait & Posture*, 62, 484–489. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.009>
- 安田和弘, 佐藤勇起, 貝吹奈緒美, 原島宏明, 新見昌央, & 岩田浩康. (2014). 脳卒中による重度深部覚障害例に対する体感型バイオフィードバック装置の使用経験. *脳科学とリハビリテーション*, 14, 9–17.

(2025 年 2 月 11 日受稿, 2025 年 3 月 10 日受理)

バーチャルリアリティ映像に対する知覚と行為

樋口貴広（東京都立大学）¹

バーチャルリアリティ（VR）環境は、まるで映像の中に自分が存在するかのような高い没入感を提供する。しかしながら、VR 映像を三次元的に知覚するために寄与する感覚情報は、実環境での感覚情報とは一部異なる。果たして人工的に作られた VR 環境においても、知覚と行為を成立させる情報は創発されるのかという問いは、生態心理学において重要な問いである。本稿ではこの問いについて考える一助となるべく、2 つのトピックを紹介する。第 1 に、2024 年に雑誌 *Ecological Psychology* に発表された Baggs et al. の主張を概観し、彼らが論じた、VR 映像がもつ没入感と相互作用性についてまとめる。第 2 に、移動行動に関する知覚と行為の研究において、VR 映像がどのように活用されているのかについて概観する。これらの知見に基づき、VR 映像がもつ没入感と相互作用性について私見を述べる。

キーワード：バーチャルリアリティ、視覚情報、アフォーダンス知覚、没入感、相互作用

Perception and Action for Virtual reality Images

Takahiro Higuchi (*Tokyo Metropolitan University*)

Virtual reality (VR) environments provide a high level of immersion, as if one were present in the image. However, the sensory information that contributes to the three-dimensional perception of VR images differs in part from that in real environments. The question of whether information that enables perception and action emerges even in an artificially created VR environment is fundamental in ecological psychology. In this paper, I introduce two topics to help consider this question. First, I provide an overview of the claims made by Baggs et al., published in *Ecological Psychology* in 2024, and summarize the immersion and interaction of VR images that they discussed. Second, I provide an overview of how VR images are used in research on perception and action related to locomotion. Based on these findings, I present an opinion about the immersion and interaction for VR images.

Keywords: virtual reality, visual information, affordance perception, immersion, interaction

1 はじめに

知覚と行為に関する研究では、以前からバーチャルリアリティ（virtual reality; 以下 VR）映像、もしくはゲーム映像のような 3 次元的な映像が用いられてきた。なかでも特に衝突（collision）や捕捉（interception）に関する研究では、こうした映像が積極的に活用されている

¹ E-mail: higuchit@tmu.ac.jp

(Diaz et al., 2018; Fath & Fajen, 2011; Steinmetz et al., 2020). 筆者は歩行などの移動行動 (locomotion) の研究を専門としているが、そこでもやはり、VR 映像やゲーム映像は大変有益なツールである (Aravind et al., 2015; Bachmann et al., 2019; Buhler & Lamontagne, 2019; Hakamata et al., 2024; Lynch et al., 2020). 生態心理学研究では、実験室的に統制された環境ではなく、自然界の環境 (natural environment) で成立する知覚や行為にこそ、その本質が見いだせるというスタンスをとる。そうした生態心理学研究において、人工的に作られた VR 映像やゲーム映像が利用されているという事実は大変興味深く、その意義については様々な議論が可能である。

こうした議論に貢献すべく、本稿では、VR 映像に対する知覚と行為の問題について論じる。初めに、VR 映像の特性についてまとめる。そこでは、2024 年に雑誌 *Ecological Psychology* に発表された Baggs らの論文 (Baggs et al., 2024) を概観し、彼らが重視した、VR 映像の没入感と相互作用性について解説する。次に、筆者が専門とする移動行動における知覚と行為の研究において VR 映像やゲーム映像がどのように活用されているのかを説明する。これらの知見に基づき、Baggs et al. が主張した、VR 映像がもつ没入感と相互作用性について私見を述べる。

2 VR 映像の特性：Baggs et al. (2024) の見解

2.1 VR の定義

日本バーチャルリアリティ学会 (2012) によれば、バーチャルが「みかけや形は原物そのものではないが、本質的あるいは効果としては現実であり原物であること」を意味しており、それがそのまま VR の定義とされている (日本バーチャルリアリティ学会, 2012). また館ら (2011) は VR を、「表層的には異なるが、本質的には現実と同じ感じ」と表現している (館 et al., 2011). この“本質的に現実と同じ”という理解に基づき、専門領域では VR を、一般的に使われる「仮想現実」（つまり、リアルだがあくまで仮想）ではなく、「人工現実」（つまり、人工物ではあるが本質的には現実と同じ）と表現するという (北崎充晃, 2024). 英語の Virtual という言葉には、「実質的な」という意味がある。VR の専門領域では、バーチャルをこの意味として捉えている。すなわち、物理的には存在しないものの、機能としては現実と同等であること、また VR 空間上の体験が幻想ではなく、リアルな主観的体験であることを重視し、人工現実と表現している。この人工現実という考え方に沿えば、機能としては現実と同等の VR 空間では、現実空間と同様、「不変項」が存在し、アフォーダンスの知覚や、知覚と行為の循環的關係が成立しても、不思議ではないことになる。

2.2 Baggs et al. (2024) の見解

デンマークの Edward Baggs らは、2024 年に “The visual information available in virtual reality” という論文を、*Ecological Psychology* にて発表し、VR 環境下における情報・アフォーダンスの知覚について論じている (Baggs et al., 2024). この論文で Baggs らは、VR 映像を描写 (depiction) の 1 つと位置づけ、静止画・動画・ゲーム映像という他の 3 つの描写と対比することで、VR 映像を特徴づけた。彼らがこうした対比のスタイルを取った背景には、

Gibson(Gibson, 1979/2015)による著書「The ecological approach to visual perception」の第15章と16章において、静止画(static images)と動画(motion pictures)が論じていたことがある。彼らはGibsonの議論を念頭に置きつつ、4つの描写の中でのVR映像の特徴が、“没入感(immersion)”と“相互作用性(interaction)”にあるとした(原文では、それぞれimmersive, interactiveと形容詞表現されている)。またBaggsらは、この2つの特徴に基づき、VR映像からアフォーダンスを知覚することは、制限付きながら可能だと結論づけた。

2.3 没入感と相互作用性

Baggsら(2024)が注目した、没入感と相互作用性と理解するためには、VR映像の提示装置として一般的な、ヘッドマウントディスプレイ(head-mounted display; 以下HMD)のトラッキング機能を理解する必要がある。HMDにはその位置を把握するためのセンサと、方位を把握するためのセンサが搭載されている。これらのセンサからの情報に基づき、HMD使用者が頭部や身体的位置や向きを変えれば、それに応じて見える映像が常に変わる(Figure 1)。さらに、手で操作するコントローラからの情報に基づき、HMD使用者が何を操作しようとしているのかを把握し、それをVR映像上に投影することもできる。HMDがもつこうしたトラッキングの機能が、没入感と相互作用性の創生に不可欠である。



Figure 1 HMDを装着し、両手にコントローラをもって操作しながらVR映像を観察している様子。実験者は映像をディスプレイに同時出力させることで、観察者が何を見ているかを確認できる。HMDやコントローラの形状や特徴はメーカーや時代により大きく異なる。写真はHTC VIVE pro eye。

没入感とは、VRの世界に自分がいるような感覚を意味し、臨場感(presence)とも表現される。Baggsらは、VR映像と他の3つの描写の間には、描写物と自己との位置関係が異なり、これが臨場感に決定的な違いをもたらすとした。彼らによれば、静止画・動画・ゲーム映像に

おける描写では、描かれた環境が画像表面の“後ろ”に現れる（“behind” the image surface）。つまり、これらの3つの描写では、描かれている世界はキャンバスやスクリーン上にあり、観察者と描写物の間には一定の距離がある。言い換えればそれは、キャンバスやスクリーンの向こう側にその情景が広がっていることを意味しており、観察者はキャンバスやスクリーンの小窓からその一部を観察していることになる。

これに対して VR 映像の場合、HMD の位置と方位をモニタリングする機能の恩恵により、自分を取り囲むように映像を提示することができる。360 度どこを向いても、環境の映像が自分を取り囲むように存在する。Baggs らは、この臨場感ある画像提示により、HMD を通して VR 映像を観察している者は、人工ではあるが本質的には現実と同じように、情報に満ちた包囲光に覆い囲まれ、アフォーダンスが知覚できると主張した。VR 映像とゲーム映像を区別すべきなのかについては、様々な議論があるだろう。しかしここでは、テレビや大型スクリーンに映っているリアルな映像を見て楽しむゲーム映像は、情報に満ちた包囲光という観点からは VR 映像と決定的に異なるとしている。

相互作用性とは文字通り、自己・身体と環境との相互作用をさす。頭を動かして周囲を見渡せば、その見えが変わることや、コントローラを通して VR 映像上の物体を操作することが、主たる相互作用である。こうした相互作用は、一部のゲーム映像でも実現されており、その意味ではゲーム映像との差異はない。しかし Baggs らは、ゲーム映像の場合には通常、自身の位置や方位をトラッキングしていないため、時に両者に差異が生じると説明した。例えば Fortnite（フォートナイト）のように複数のプレイヤーが同時にプレイするような際に、映像上の自分は既定の位置にあり、複数のプレイヤーはゲームのクリエイターが決めた位置から映像を観察することになる。これに対して VR 映像の場合、映像上の自分の位置は HMD の位置によって変わるため、固定的ではない。Baggs らは VR 映像がもつこの特性を重視し、VR 映像における情報は、HMD というハードウェアの製作者、VR 映像というソフトウェアの製作者、ならびに観察者の行為によって生み出されるのだと主張している。たとえゲーム映像であっても、コントローラで自分の位置を操作できるため、この観点に基づく VR 映像との違いはやや分かりづらさがある。しかし、VR 映像の場合は HMD 内のセンサによって頭部位置をトラッキングできる恩恵により、何かを見るために頭部を動かせば、それに対応する形で瞬時に VR 映像が変わるなど、ゲーム映像と比べて大きなアドバンテージがあると解釈している。

このように、Baggs ら（2024）の主張に基づけば、VR 環境においてもアフォーダンスの知覚や、知覚と行為の循環的関係の成立は可能だといえる。なお、Baggs らはそれらが決して、実環境と完全に同じだと主張しているわけではない。実際、Baggs らは VR 映像に対するアフォーダンスの知覚に関して3つの懸念をしている（身体性の曖昧さ、ステレオタイプな行為、物質的な実態を持たないオブジェクト）。紙面の都合上、詳細は割愛するが、例えばステレオタイプな行為については、コントローラを使った物体操作でできる行為が限定的なことや、あくまでクリエイターがあらかじめ設計した行為に限定されることが指摘されている。より詳細な議論に関心がある読者諸氏は、ぜひ原文をご覧ください。

3 実例：移動行動における知覚と行為の研究

3.1 移動行動研究における VR 映像の位置づけ

ここからは、移動行動に関する研究の実例を根拠として、Baggs ら (2024) の見解に対して私見を述べたい。まず、ゲーム映像の扱いについて述べる。Baggs らにおいては、ゲーム映像は複数の理由から VR 映像と区別されてきた。しかし、少なくとも最近までの移動行動研究においては、両者を明確に区別せず、VR 映像として扱っている場合が少なくない(de Rooij et al., 2016; Levin & Demers, 2021; Morel et al., 2015; Steinmetz et al., 2020)。移動行動以外の研究においても、同様の傾向がある(Cavalcante Neto et al., 2019; Christ & Reiner, 2014)。前述のように、研究として VR 映像に求めるものが相互作用性であるならば、ゲーム映像であっても遜色ないものも多いため、特に区別をしていないものと考えられる。

3.2 衝突・捕捉

物体の動き、あるいは自らの動きによって自身と物体との距離が近づくとき、衝突・捕捉の有無やそのタイミングは、網膜上の物体の拡大率の情報に基づいて判断できる。この拡大率を操作する研究においては、ゲーム映像で十分な場合が多い。Steinmetz ら(Steinmetz et al., 2020)は、27 インチのディスプレイにゲーム映像を投影するシステムを利用して、移動する物体が捕捉できるかどうかを判断させる課題を作った (Figure2 を参照)。この研究の目的は、捕捉の判断が、Fajen が主張した Affordance-based model で説明可能であることを示すことに

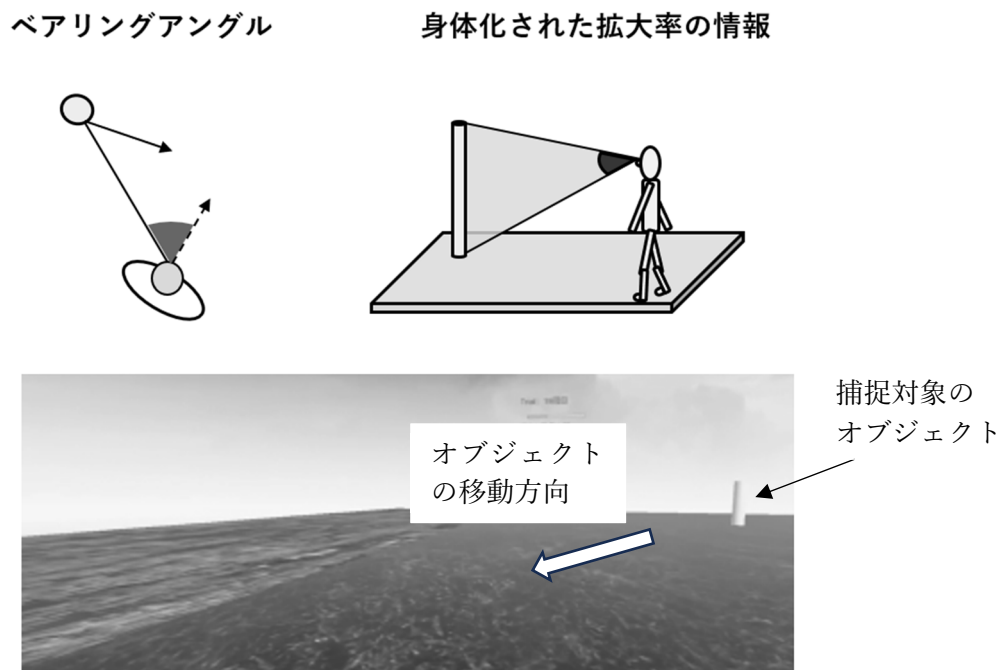


Figure 2 (上) Fajen(2013)に示された Affordance-based model で示された、捕捉のための情報。実際にはもう 1 種類の情報が含まれているがここでは割愛している。(下) Steinmetz ら (2020) ならびに Sato ら (2024) で使用された VR (ゲーム) 映像実験 (映像は Sato らのもの)

に捕捉できない距離にあると判断したときは、いち早く捕捉を断念することであった。

こうした捕捉の判断には、互いに移動する対象者と自身との間にできる角度（ベアリングアングル）の情報が有益であることが、従来から知られていた。Steinmetz らは、Affordance-based model の考え方にに基づき、捕捉の判断にはベアリングアングルだけでなく、網膜上に投影される他の歩行者の拡大率が重要であることを実験的に示した。Steinmetz らは、この拡大率の情報が、目線の高さの情報（eye-height information）という形で身体化されていることを証明するために、映像上で床の情報を提示しないことにより、目線の高さの情報が利用できない条件を設定した。その結果、床の情報が提示されないと、捕捉判断の正確性が低下することがわかった。この結果は、目線の高さの情報という身体化された拡大率の情報が、捕捉の判断に有益であることを示唆する。

筆者らは映像をディスプレイ提示から HMD 提示に変更し、没入感を高めた状態で、加齢が捕捉判断にもたらす影響について検討した(Sato et al., 2024)。この実験の途中で、物体の拡大率の情報、もしくはベアリングアングルの情報に“うその情報（外乱情報）”を加えた。捕捉判断に重要な情報に対して、外乱が混入すれば、その判断がおかしくなるはずである。逆に言えば、高齢者が加齢によって利用できなくなった情報は、たとえ外乱情報が入っていても捕捉判断に影響しないといえる。実験の結果、身体化された拡大率の情報に外乱が与えられても、高齢者の成績は低下しないことがわかった。この結果から、加齢に脆弱なのは身体化された拡大率の情報の知覚だということが示唆された。

なお Sato らの研究では、没入感を高めるなどの理由から HMD を用いたが、研究の鍵となる拡大率の操作や外乱の追加それ自体は、ゲーム映像でも可能である。このように、研究目的によっては、ゲーム映像でも知覚と行為の研究が成立するといえる。

3.3 スクリーン提示による映像の没入感

VR 映像を HMD から提示する場合と比べて、スクリーンから提示すると、映像の没入感が低下する。しかしながら、稀に HMD 装着による研究が困難な場合がある。例えば Meta 社の Quest シリーズでは、推奨使用年齢が 10 歳以上となっており、児童を対象とした研究で原則として使用できない。2023 年秋までは 13 歳以上であったため、年齢制限が緩和の傾向にはある。しかしながら、幼児期における過度の HMD 使用によって、現実での立体視に支障が出るといった懸念を現状排除できないことから、推奨年齢の提示が今後も続くと思われる。

成人を対象とした場合でも、HMD は一定の重量感があるため、長時間の使用で装着負担感を感じる場合がある。また観察中に頭部からずれないようにしっかりと固定する必要があることから、頭部の締め付けに対する違和感を訴える人や、体質によって顔の装着部に違和感を持つ人もいる。このように、実質的な面で万能でない側面もある。

こうした問題を回避する方法として、大型スクリーンを通した映像提示の方法がある。スクリーンによる映像提示の場合、HMD による映像提示と違い、映像が自分を取り囲むように存在するわけではない。しかし、ディズニーランドのアトラクションなどでも体験できるように、たとえ平面的なスクリーンであっても、スクリーンが大型で、かつ音や振動など別の感覚情報

との同時提示により、高い没入感・臨場感を与えることができる。また高額なシステムではあるが、非常に大型の曲面スクリーンを配置するシステム（GRAIL, MotekForceLink 社製, <https://www.motekmedical.com/solution/grail/>）や、平面型ディスプレイを立方体上にして身体を囲むように構成するシステム（CAVE, Mechdyne 社製ほか, <https://www.mechdyne.com/av-vr-solutions/immersive-virtual-augmented-reality/cave/>）を使えば、スクリーンによる映像提示でも、映像が自分を取り囲むような状況を一定レベルまで作ることができる。

さらに、たとえスクリーン提示であっても、使用者の頭部位置と方位をトラッキングして映像に反映できれば、没入感をある程度高めることができる。筆者らは、三次元動作解析装置を用いて頭部を含めた全身の位置をトラッキングし、その情報を VR 映像に反映させるシステムを利用することで、たとえスクリーンであっても、比較的高い没入感と相互作用性を実現させるシステムを確立している（Figure 3）。このシステムでは、映像を三次元的に投影できる特殊なプロジェクタ（Sight 3D, Solidray 社製）を用いている。対象者は液晶シャッター眼鏡を装着することで、本来は平面的な映像から 3 次元的な映像を観察することができる。この眼鏡の位置を三次元動作遺跡装置でトラッキングすることで、対象者の頭部の動きに応じて映像を変化させることができる。また、歩行速度程度のスピードで動く映像に合わせて足踏みをするすることで、歩行をしているような感覚を生起させ、狭い隙間や段差における衝突を回避してもらう実験を行っている（Kondo et al., 2021; Suda et al., 2022）。

このように、確かに HMD による VR 映像の提示は没入感を高める上で非常に有益であるものの、工夫次第では、スクリーンを通した映像提示でも十分な没入感を与え、知覚と行為の研究に有益なツールとなりうる（樋口, 2024）。

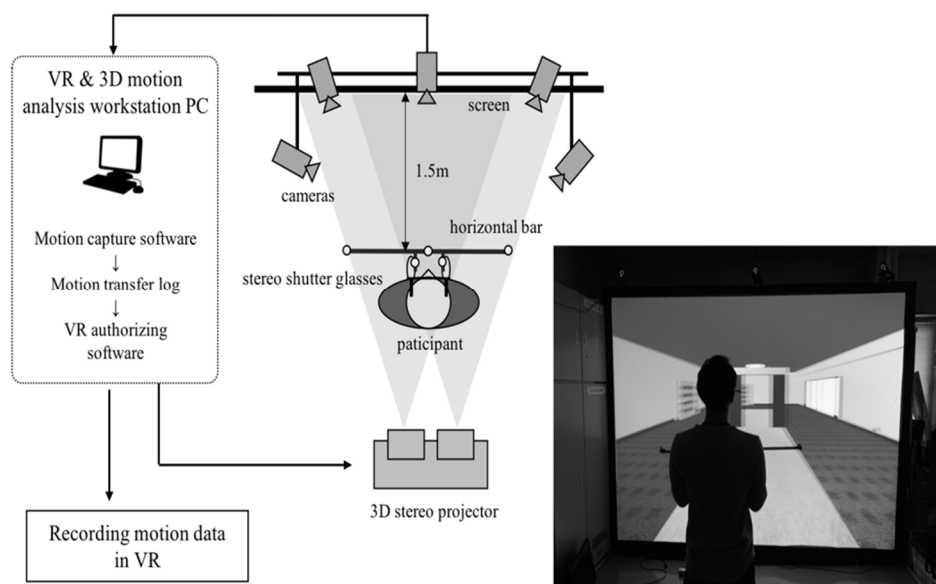


Figure3 筆者の研究室で使用している三次元プロジェクタと三次元動作解析を連動させたシステム（図は Kondo et al. より転載）。

3.4 技術発展に伴うステレオタイプな行為脱却の期待

最後に、Baggs ら (2024) が懸念として示した、VR 映像におけるステレオタイプな行為の問題に触れたい。セクション 2.3 で述べたように、現状は VR 空間における行為は、コントローラを使って操作するため、その行為は極めて限定的であり、Baggs はそれをステレオタイプな行為の特徴の一つとした。最近の技術発展に伴い、この問題が劇的に改善されつつある。最近では VR 映像上の物体を、コントローラを使わずに手の操作ができるものがある (Figure4)。Meta 社の Quest シリーズ (<https://www.meta.com/jp/quest/>) のように、手の動きをモニタリングして映像に反映させる機能を有する HMD が、比較的安価で市販されている。この HMD では、下部のカメラから手の位置や状態をモニタリングしている。これにより、HMD 使用者は、VR 映像上の物体をつかんだり、指でつついたりすることができる。また従来は手の動きだけを映像に反映させていたが、PICO 社製の PICO4 では、身体の主要な部位にモーションセンサを取り付けることで、全身の動きを映像に反映させることができる (<https://www.vr-japan.co.jp/pico-4-enterprise/>)。研究目的としてどこまでの精度を有するかについては今後の検証が必要であるものの、ハードウェア上の制約がもたらすステレオタイプな行為からは、脱却されつつある。

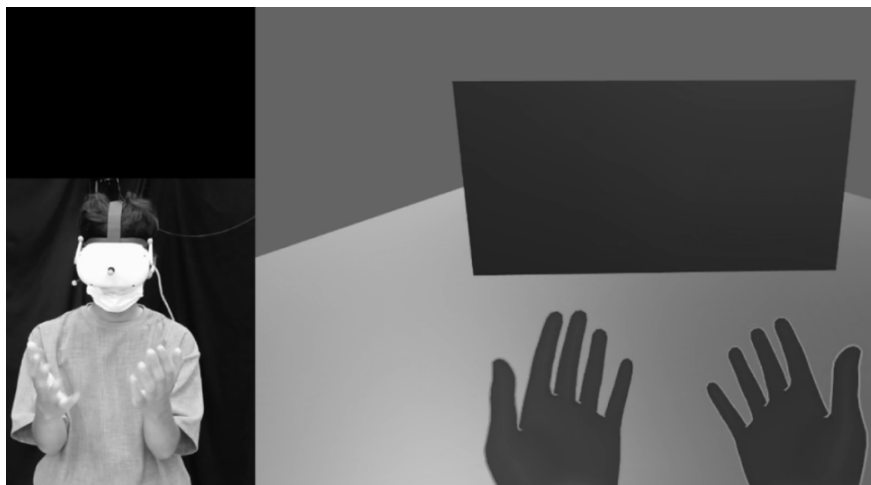


Figure 4 ハンドトラッキング機能を利用することで、コントローラを持たずに手の動きを VR 映像上に投影させることができる (Meta 社の Quest3 を使用)

さらに、Baggs らが指摘した、あくまでクリエイターがあらかじめ設計した行為に限定されるというソフトウェア上の制約についても、生成系 AI の発展に伴って将来的に解消されるかもしれない。セクション 2.3 において“ステレオタイプな行為”として説明したように、従来の VR 空間上で起こる様々な体験や相互作用は、クリエイターがあらかじめプログラムした内容が忠実に再現されているに過ぎない。しかしながら、生成系 AI の急速な発展の結果として、VR 映像の全てをクリエイターが作るのではなく、一部の制作を生成系 AI に任せることで、VR 空間上で起こる様々な体験や相互作用に、「創発性」が加わるという未来が期待されてい

る(櫻井, 2024)。これは専門領域ではVRの自律性 (autonomy) として専門領域で議論されている問題である。生成系 AI の導入によって VR に創発性が加われば、VR 空間における知覚と行為は、より現実と実質的に等しくなるものと予想される。

4 結びに代えて

本稿では、VR 映像に対する知覚と行為の問題について論じた。VR 映像がもつ没入感と相互作用性に基けば、VR は人工現実として、アフォーダンスの知覚や、知覚と行為の循環的關係が成立しうる環境といえる。VR に関するハードウェア・ソフトウェア上の目覚ましい発展を考えれば、さらに現実に近い形で知覚と行為の研究ができるのも、そう遠くないのかもしれない。

認知科学の領域では、VR 空間における身体であるアバターの特性が、行為者の感覚、行為、思考に与える影響について検討している(鳴海, 2024)。一般に VR 空間上での相互作用では、モノに触ったり操作したりする際に生じる体性感覚情報を、そのまま忠実に再現することが難しい。これが時に、アバターが自分の身体である感じることの障壁になることもある。しかしながら、自分の身体の動きに応じてアバターが忠実に動くことを一定期間体験することで、こうした障壁を超えて、あたかもアバターが自分の身体であるように感じるができる。さらに、あえてアバターの身体特性を現実の身体とはかけ離れた特性とすることで、自身に対する認識を変容させ、コミュニケーションが苦手な人の支援などに生かせるといった報告もある(Yee & Bailenson, 2007)。このように VR は、本特集のテーマである「テクノロジーとセルフ」について学術的に議論していくうえで、欠くことのできないツールの一つと言える。現状、VR を利用した自己(セルフ)研究と言え、身体所有感 (Sense of Ownership: これは自分の体だと感じる感覚) や、行為主体感 (Sense of Agency: 自分が自らの行動をコントロールしているという感覚) に関する研究が多い印象をもつ。しかし Baggs (2024) の啓発に象徴されるように、今後は VR 空間における不変項の存在の実証など、生態心理学独自の研究も多く登場することが期待される。

引用文献

- Aravind, G., Darekar, A., Fung, J., & Lamontagne, A. (2015). Virtual reality-based navigation task to reveal obstacle avoidance performance in individuals with visuospatial neglect. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 23(2), 179-188. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2014.2369812>
- Bachmann, E. R., Hodgson, E., Hoffbauer, C., & Messinger, J. (2019). Multi-User Redirected Walking and Resetting Using Artificial Potential Fields. *IEEE Trans Vis Comput Graph*, 25(5), 2022-2031. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2898764>
- Baggs, E., Grabarczyk, P., & Rucińska, Z. (2024). The Visual Information Available in Virtual Reality. *Ecological Psychology*, 36(1), 24-38. <https://doi.org/10.1080/10407413.2024.2322992>

- Buhler, M. A., & Lamontagne, A. (2019). Locomotor circumvention strategies in response to static pedestrians in a virtual and physical environment. *Gait and Posture*, 68, 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.10.004>
- Cavalcante Neto, J. L., de Oliveira, C. C., Greco, A. L., Zamuner, A. R., Moreira, R. C., & Tudella, E. (2019). Is virtual reality effective in improving the motor performance of children with developmental coordination disorder? A systematic review. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 55(2), 291-300. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.18.05427-8>
- Christ, O., & Reiner, M. (2014). Perspectives and possible applications of the rubber hand and virtual hand illusion in non-invasive rehabilitation: technological improvements and their consequences. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 33-44. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.02.013>
- de Rooij, I. J., van de Port, I. G., & Meijer, J. G. (2016). Effect of Virtual Reality Training on Balance and Gait Ability in Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*, 96(12), 1905-1918. <https://doi.org/10.2522/ptj.20160054>
- Diaz, G. J., Parade, M. S., Barton, S. L., & Fajen, B. R. (2018). The pickup of visual information about size and location during approach to an obstacle. *PloS One*, 13(2), e0192044. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192044>
- Fajen, B. R. (2013). Guiding locomotion in complex, dynamic environments. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7, 85. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00085>
- Fath, A. J., & Fajen, B. R. (2011). Static and dynamic visual information about the size and passability of an aperture. *Perception*, 40(8), 887-904. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0671-8>
- Gibson, J. J. (1979/2015). *The ecological approach to visual perception*. Houghton Mifflin.
- Hakamata, T., Sakazaki, J., & Higuchi, T. (2024). Placing the leading limb closer to an obstacle reduces collision of the trailing limb: an investigation in a virtual environment. *Frontiers in Sports and Active Living*, 6, 1411037. <https://doi.org/10.3389/fspor.2024.1411037>
- Kondo, Y., Fukuhara, K., Suda, Y., & Higuchi, T. (2021). Training older adults with virtual reality use to improve collision-avoidance behavior when walking through an aperture. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 92, 104265. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2020.104265>
- Levin, M. F., & Demers, M. (2021). Motor learning in neurological rehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, 43(24), 3445-3453. <https://doi.org/10.1080/09638288.2020.1752317>
- Lynch, S. D., Kulpa, R., Meerhoff, L. A., Sorel, A., Pettre, J., & Olivier, A. H. (2020). Influence of path curvature on collision avoidance behaviour between two walkers. *Experimental Brain Research*. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05980-y>
- Morel, M., Bideau, B., Lardy, J., & Kulpa, R. (2015). Advantages and limitations of virtual reality for balance assessment and rehabilitation. *Neurophysiologie Clinique*, 45(4-5), 315-326. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2015.09.007>
- Sato, K., Fukuhara, K., & Higuchi, T. (2024). Age-Related Changes in the Utilization of Visual Information for Collision Prediction: A Study Using an Affordance-Based Model. *Experimental Aging Research*, 50, 800-816. <https://doi.org/10.1080/0361073X.2023.2278985>
- Steinmetz, S. T., Layton, O. W., Powell, N. V., & Fajen, B. R. (2020). Affordance-based versus current-future accounts of choosing whether to pursue or abandon the chase of a moving

- target. *J Vis*, 20(3), 8. <https://doi.org/10.1167/jov.20.3.8>
- Suda, Y., Fukuhara, K., Sato, K., & Higuchi, T. (2022). Improved Walking Through an Aperture in a Virtual Environment Transfers to a Real Environment: Introduction of Enriched Feedback and Gradual Increase in Task Difficulty. *Front Sports Act Living*, 4, 844436. <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.844436>
- Yee, N., & Bailenson, J. (2007). The Proteus effect: the effect of transformed self-representation on behavior *Human Communication Research*, 33(3), 271–290. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2958.2007.00299.x>
- 舘, 暲., 佐藤, 誠., & 廣瀬, 通. (2011). バーチャルリアリティ学. オーム社.
- 日本バーチャルリアリティ学会. (2012). バーチャルリアリティとは. <https://vrsj.org/about/virtualreality/>
- 樋口貴広. (2024). バーチャルリアリティーを用いた歩行の理解と支援. *光学*, 53(11), 470-474.
- 北崎充晃. (2024). バーチャルリアリティーを用いた視覚・認知研究. *光学*, 53(11), 446-454.
- 鳴海拓志. (2024). バーチャルリアリティーによる知覚・行動の編集とウェルビーイング. *光学*, 53(9), 370-376.
- 櫻井研三. (2024). 自律性を獲得するバーチャルリアリティー. *光学*, 53(11), 445.

(2024 年 12 月 10 日受稿, 2025 年 2 月 25 日受理)

変容する自己の記述のために： 技術の影響の理解への生態学的アプローチ

柴田 崇（北海学園大学）¹

本稿は、技術の理解に関する標準的な理論との比較考察を通じて、アフォーダンスの概念で技術の影響を理解する可能性と限界とを確認することを目的とする。標準理論と言い得る技術の拡張論には、技術に関する論点を開拓し、派生的理論の基礎となってきた実績がある一方、効果を判別するための作業を省略し、拡張的效果を前提に議論を進めるという瑕疵が認められる。技術による自己の変容を記述できるアフォーダンスの技術論は、判別の作業に貢献する形で拡張論と接合することができるが、この接合は片務的なものではない。二つの技術論の差異を明らかにするところから両者の接点を特定し、アフォーダンスの技術論にも接合のメリットがあること、すなわち両者に相補的な関係があることを明らかにする。

キーワード：道具使用，拡張／延長，身体化，越境する心，サイボーグ，『パイドロス』

For the description of the transforming self: An ecological approach to understanding the influence of technology

Takashi Shibata (*Hokkai-Gakuen University*)

This paper aims to confirm the possibilities and limitations of understanding the impact of technology by "affordance" through a comparative study with the standard theory of understanding technology. While the theory of technology extension, which can be called the standard theory, has a track record of pioneering issues related to technology and becoming the basis for derivative theories, it is also recognized as having the defect of omitting the work of determining effects and proceeding with the discussion based on the premise of extensional effects. The affordance theories of technology, which can describe the transformation of the self through technology, can be combined with the extension theory in a way that contributes to the process of discernment, but this combination is not one-sided. Rather, it identifies the points of contact between the two theories, and shows that the affordance theory of technology also has the benefit of being combined, that is, it clarifies the complementary relationship between the two.

Keywords: tool-use, extension, embodiment, extended mind, cyborg, *Phaedrus*

¹ E-mail: shibata_ta@hgu.jp

1 はじめに

筆者が参加した技術哲学の国際会議（The Society for Philosophy and Technology, 2023）では、人工物のデザインを「アフォーダンス」で語るセッションが活況を呈していた。しかし、出典はほぼ例外なくノーマン（D.A. Norman）だった。ギブソン（J.J. Gibson）の名前を聞くのは日本人による発表に限られており、外国の参加者からギブソンについて誰何されることも一度ではなかった。

後述するように、ギブソンの著書（Gibson, 1986(1979)）にはハサミの使用を記述した箇所があり、そのキャリアの最初期には自動車に関する共著論文（Gibson & Crooks, 1938）がある。いわゆるギブソニアンの間ではそれぞれの後継となる派生的な研究も進んでいる（E.g. Smitsman, 1997; Inou, et al., 2009; 三嶋, 2013）。他方、技術哲学では、派生的な研究を含めて、ギブソンの技術論が看過される傾向が見られる。もっとも、この看過は必ずしも悪意によるものではない。結論を先に述べれば、技術哲学の依拠する理論に内在する瑕疵が、ギブソンの技術論の受容が妨げているのである。

技術哲学における標準的な理論とギブソンの技術論とは、技術に対するアプローチの違いに注目すれば異質なものと言って間違いない。しかし、両者は、技術による自己の変容を語り、さらに、この論点に身体に着目する視座で取り組む点では共通している。本稿は、瑕疵の在処を梃子に二つの理論の接点を探り、両者の接合が可能であること、および、接合によってもたらされる双方への利益を論証することを目的とする。

以下、第二節で、ギブソンのテキストに依りながら、その技術論の概要を確認する。第三節では、ギブソンの技術論の特長を理解するために、技術哲学における標準的な理論を紹介する。そして、標準理論の瑕疵の在処を特定するところから両者の接点を模索する。ギブソンの技術論は、技術哲学にとってユニークであるという以上に、必須であることが明らかになるだろう。第四節では、以上の成果を踏まえてインターフェイス論や分散知能論など、技術による自己の変容を語る諸議論を再考するとともに、標準理論、および技術哲学の成果がギブソンの技術論の発達に与える利益についても言及する。

2 ギブソンによる技術の考察：延長の技術論

2.1 ハサミの考察：身体化の「現象」

まず、ギブソンの技術論のうち、著書に載るものを確認しよう。ギブソンは、生涯に公刊した三冊の著書のうち、後年の二冊（Gibson, 1983(1966), 1986(1979)）で、ともにハサミを例に道具使用に伴う自己の変容を記述している。いずれも、道具を使用するときに、触覚が握りの部分から先端に移動する「現象」を記述するものだ。最後の著作から該当箇所を引用しよう。

使用時の道具は一種の手の extension であり、手の付着物、または使用者自身の身体の一部になっている。したがって、道具はもはや環境の一部ではない。しかし、一旦使用を離れると、道具は環境中の単なる遊離物になる。このとき、確かに掴むことも運ぶこともできるが、道具は観察者の外に存在するものでしかない。身体に何物かを付着させる能力

は、生物と環境の境界 boundary が皮膚の表面で固定されてはおらず、移動し得るということを物語る。より一般的に言えば、この事態は『主観』と『客観』の絶対的二元論が間違っていることを示唆するのである (Gibson, 1986(1979), p. 41)。

道具は、使用されていないときには環境の一部を構成する遊離物にすぎない。しかし、使用されるときには身体に付着して使用者の身体の一部になる。このとき、皮膚の表面にあると考えられてきた身体の境界は、道具の先端へと移動する。自己の範囲が道具の先まで伸長した、と言い換えてもよいだろう。道具の使用時に見られる「現象」については、ヤスパース (K. Jaspers)²やメルロ＝ポンティ (M. Merleau-Ponty)³も報告している。ギブソンの道具論の特異性の第一は、「現象」を記述する際に「extension」の概念を使ったことに加え、この概念の「起源」を示唆したところにある。結論を言えば、「起源」は、デカルト (R. Descartes) の存在論にある。ギブソンの道具論は、デカルトの正確な読解に基づきつつ、デカルト流の「絶対的二元論」を批判し、それを乗り越えた点で特筆すべきなのである。

2.2 デカルトの絶対的二元論：身一物の分離

デカルトは、神なる無限の実体と精神および物体からなる有限の実体とを区別した後、思惟的存在たる精神と延長的存在たる物体を分離した。後者の絶対的二元論、つまり精神としての心と物体としての身体との心一身二元論は、「思惟するもの」である精神が存在のためにいかなる空間的场所も必要としないのに対し、「延長するもの」である物体が端的に空間的な存在であるという、存在の資格の二元性を意味する。これら二つの存在の属性が、それぞれ「思惟 (cogitatio)」と「延長 (extensio)」である。この段階では、精神ならざる身体は当然、「延長」の属性を有するものに分類される。心一身二元論で問題になったのが、単なる精神でも単なる身体でもない、心身を兼ね備えた人間の存在だった。デカルトは、精神が身体と結合する場所を松果体に定め、心と物とを分離する理論哲学の立場と併設的に、第三の実在としての「人間」を認めるという実践的立場を構えることで、この問題に対処した (所, 1996, 282-283 頁)。このような構制の結果、デカルトの存在論は、「延長」の属性を有するいわゆる物体と、物体の属性を備えつつその他の物体とは異なる身体という、二つの異なる物体を並存させることになったのである。

² 「我々は闇の中で道を探るとき、杖の先で感ずる。自己空間、即ち我々の解剖的身体空間は拡大して、杖と自分が一体であるという感覚となる。従って自分が操縦する自動車は、私が思い通りに使いこなせる時には自己の空間に属し、拡大した身体 *erweiterter Körper* のようなもので、この拡大身体の中に、私は自分の感覚を具えつつ至るところ居合わせているわけである。自分のものでない別の空間は、私が自己の感覚を以って他空間から来る対象に突きあたるその境界から始まる」 (ヤスパース, 内村ほか訳, 1953, 135-136 頁 / Jaspers, 1913, p. 75)。

³ 「盲人の杖も、彼にとって一対象であることをやめ、もはやそれ自体としては知覚されず、杖の尖きは感性帯へと変貌した。杖は〔盲人の〕触覚の広さと行動半径を増したのであり、視覚の類同物となったのである」 (メルロ＝ポンティ, 竹内・小木訳, 1991, 240 頁 / Merleau-Ponty, 1945, p. 167)。ちなみに、デカルトは、光を伝える透明な媒質を説明する際の比喻に「盲人の杖」を用いている (デカルト, 青木・水野訳, 1973, 115 頁)。

「延長」の属性を備えたものが *extensum* であることから、便宜的に、いわゆる物体を *extensum e* (=environment), 身体を *extensum b* (=body) に置き換えてみると、ギブソンの記述の意義が鮮明になる。『主観』と『客観』の絶対的二元論では、身体と環境の境界は、皮膚の表面で固定されていて決して移動しない。この場合、道具は、使用されるときにも、環境を構成する物体、つまり *extensum e* と考えられなければならない。これに対し、ギブソンは、使用に供されているときの道具を単なる物体と考えるべきでない、と主張したのである。「環境に属する延長したもの *extensum e*」と考えられてきた道具は、使用時には「身体(手)の延長 *extension of the hand*」, すなわち「身体に属する延長したもの *extensum b*」になり、身体と道具の間にあったはずの境界は、道具の先に移動する。

以上から、ギブソンの言う「主観」と「客観」は、デカルトの存在論から論理的に導かれる身一物の二元論、すなわち、*extensum b* と *extensum e* の二元論を指すと結論できる。ギブソンの「現象」の記述は、道具の使用時にこの絶対的な二元論がゆらぐことを指摘するものだったのである(柴田, 2004, 2013, 2022a)。以下、この意味での *extension* を含意する技術論を延長論と呼ぶことにする。

2.3 延長論の展開：自動車の考察(1938)

ギブソンは、最後の著作における道具の考察を次のように締め括った。

もっと語るべきことがあったかもしれないが、ともあれ、今後、道具を考えるための導入にはなってくれるだろう。ここでは議論を比較的小さくて持ち運びのできる道具に限定してしまっただが、技術的存在である人間は、もっと大きな、切断、掘削、粉碎、圧搾のための道具と機械や、土木機械、建設機械、そしてもちろん移動のための機械もつくってきた(Gibson, 1986(1979), p. 41)。

ギブソンは、道具よりも大掛かりで複雑な機構を持つ機械類にも延長論を適用できることに言及し、論考を終えた。

上記の引用は、今後の考察の一切が後進に委ねられたかの印象を与えるが、実は同書が発表される40年近く前、ギブソン自身が自動車に対して延長論を適用していた。ギブソンの道具論の特異性の第二は、延長論を道具から機械類に敷衍しつつ、人工物の使用による自己の変容を記述する道を切り拓いていたところにある。

1938年に公刊された共著論文(Gibson & Crooks, 1938)には、自動車の移動とともに生起し、行為を促進する「安全運転の場(field of safe travel)」や、自動車の速度、道路状況、およびブレーキ性能が決定する「最低停止領域(minimum stopping zone)」のアイデアが登場する。これらは、自動車の計器に表示される数字や、ドライバーの主観的な経験に還元できない知覚情報であり、いずれの知覚情報も環境中にあることが明言されている。知覚と行為の循環の中で立ち現れる情報である点を勘案すれば、アフォーダンスの概念の先駆けとさえ言える(柴田, 2012, 2022a)。これらのアイデアをもとに、ギブソンは、運転技術の熟練について次のように書いている。

高度な運転技術を身に付けるには、自動車の場について十分な感受性と制御能力が必要である。それらの要件が満たされるならば、道具を活用し、使いこなすときと同じように、自動車はドライバーの身体の一種の延長 extension になる (Gibson & Crooks, 1938, p. 135)。

ギブソンは、自動車のような複雑な機械でも道具と同様に身体の延長になることに加え、熟練の度合いが、自動車の場の情報への感受性、すなわち知覚の能力と、それに基づき自動車を制御する能力、すなわち行為の能力の差として記述できることを述べている。「現象」の報告に留まらず、「使用」をつぶさに観察して「延長」の内実を描き分けている点で、ギブソンの延長論はその他の議論と一線を画す地点に到達していると言える。

さて、ギブソンの延長論で三つの界面が俎上に載っているのに気づいただろうか。第一の界面は手と人工物の間にある。自動車ならば、手とハンドル、背中とシート、足とペダルなどの間の界面である。第二の界面は、身体の一部になった人工物の先端にある。ドライバーは自動車のタイヤを通じて路面の状況を随時知覚し、異物を踏めばその硬さや大きさを即座に経験している。一般的な拡張論が報告するのは、第一の界面から第二の界面への移行である。ここで注意すべきは、第二の界面は対象と直接接しており、それ故、得られる情報も媒質を介さない感覚様相、つまり、対象と直接触れることで得られる触覚的なものや味覚的なものに限定される点である。これに対し、第三の界面から得られる情報は、媒質を介した感覚様相に対応している。「安全運転の場」や「最低停止領域」の視覚情報は、自動車の場の限界で生起している。媒質の先の、知覚が遮られる対象の面、つまり、媒質と対象との境界に第三の界面がある。自動車の場の研究の特異性は、第三の界面の存在を指摘し、そこで生起する環境の情報を記述したところにある、と言ってよい。

40 年前に第三の界面に注目する人工物論を展開していたギブソンが、最後の著作で第二の界面に限定されるハサミの例でこの種の議論を打ち切ったことは、その後の議論に必ずしもよい影響を与えたとは思われない。翻って、初期の研究を知れば、第三の界面の発見を起点に、より複雑な機械の使用から仮想空間での活動までをアフォーダンスの概念で記述する道筋が見えてくる (柴田, 2022b)。

アフォーダンスに基づく技術論では、第三の界面に注目した研究が主流となるべきである。確かに、取り扱い説明書に書かれた効能を得るには速やかな身体化が必要である。その限りで、第一の界面から第二の界面への円滑な移行を主題とする研究の意義は否定されるべきではない。実際、ノーマンによるアフォーダンスの援用はこの主題に特化することで一定の成果をあげた (E.g. Norman, 1993, 2013)。しかし、人工物が及ぼす影響を理解するという根本的な問いに対峙したとき、取扱説明書は役に立たず、ノーマン流のアフォーダンスの議論では太刀打ちできない。人工物の影響を理解しようとするれば、まずは、当該人工物が自己と環境とに与える変容を記述しなければならない。第三の界面に注目する延長論が求められるのは、まさにこの時なのである。

以下、ギブソンの延長論を人工物への「エコロジカル・アプローチ」と呼び、その他の延長論と区別する。人工物の社会的な影響を理解する際にエコロジカル・アプローチが理論と実践の両面で如何に役立つかを理解するため、次の第二節では、人口に膾炙する標準的な技術論を

概説する。

3 技術の標準理論：拡張の問題系

3.1 拡張の技術論：「代行」と「拡張」のロジック

標準的な技術論の主題も以下に見る通り，“extension of the body”の文節で形成された命題に集約できる。一見すると前節の延長論の命題と変わらないが、実は、二つの命題における extension は含意を異にし、異なる系譜の思想的背景を持つ概念なのである。標準的な技術論では、技術とは人間の機能を拡張するものである、との前提で議論が始まる。以下、この種の技術論を拡張論と呼ぼう。

拡張論の用例は枚挙に暇がないが、それらには共通のロジックが見られる。例えば、国際労働機関（ILO）は、生成 AI が人間に代替する未来を否定しつつ、人間との補完的な関係が築かれるとの見通しを立てた（Gmyrek et.al, 2023）。もちろんこの見通しは、生成 AI が人間の能力を拡張するという前提の上に成り立っている。コンピュータの歴史を紐解けば、当初から知的活動や記憶を代行する「知能増幅機械（intelligence amplifier）」や「記憶拡張機械（memex: memory extender）」として構想されていた（Bush, 1945）のが分かる。その後も、「機械、そして情報処理における人間と機械のパートナーシップによる人間の知性の大規模な拡張 extension」（Ramo, 1969(1965)）や、「人間の知能向上のための概念的枠組み（A Conceptual framework for the augmentation of men’s intellect）」（Engelbart, 1963）が語られたが、いずれも技術による「代行」の結果として機能の「拡張」がもたらされるというロジックに依拠している。

人工物を身体に侵襲的に組み込むものを極北とする、身体化の技術についても、拡張論の存在感は絶大である。サイボーグを造語した二人の技術者は、それが「有機体の持つ自己調節的制御機能を拡張する extending ために外来の部品を意図的に組み込んだ存在」（Clynes & Kline, 1960）だと説明した。昨今のエンハンスメント論も、拡張論のヴァリエーションと言ってよい（柴田 2022a, chap. 1）。拡張論とは、侵襲的か否か、使用時に身体と一体化するか否かを問わず、人間とともに一つのシステムを形成することを以って「拡張」的な効果を保証する、汎用的な立場である。

延長論における extension が身体の伸長を意味する空間的な概念であったのに対し、拡張論の extension は、第一義的に、技術による機能、そして効果の「拡張」、あるいは「増幅」や「向上」を含意する。ギブソンの extension の用例から拡張の意味を抽出できないように、純粋な拡張論の extension から延長の意味を引き出すことはできない。にもかかわらず、extension に二つの意味を含ませた用例が技術論において多く見られるのは、それらが二つの概念、そして異なる主題を持つ二つの技術観を混同しているからに他ならない（柴田 2022a, chap. 2）。混同の誤りを避け、異なる系譜を持つ二つの技術観の適切な接合を目指すには、拡張論の起源に遡り、この系譜の射程を明らかにしておくことが必須の作業となる。

3.2 拡張論の起源：プラトン『パイドロス』

延長論がデカルトに由来したのに対し、拡張論の起源はプラトン（Plato）に求められる。プ

ラトンは『パイドロス』の中で、ソクラテスにエジプトのナウクラティス地方を舞台にしたある説話を語らせている。ソクラテスが言うには、発明神のテウトは新しい技術を発明するたびにエジプト王のタモスに披露し、エジプト人に伝えることを進言した。タモスはそれぞれの技術がどのように役立つかをテウトに尋ね、良い点を褒め、悪い点を咎めた。テウトが文字を携えてタモスのもとを訪れるところから神と王との対話が始まる。テウト曰く、「王様、この文字というものを学べば、エジプト人たちの知恵はたかまり、もの覚えはよくなるでしょう。私の発見したのは、記憶と知恵の秘訣なのですから」（プラトン、藤沢訳、1993a, 163 頁）。テウトは、文字が記憶力と知恵を高める有益な技術であることを自慢気に説明する。テウトの言からは、工作人的欲望と技術に対する厚い信頼とともに、文字が生来の記憶の機能を「代行」することで記憶力が「拡張」する、とのロジックが読み取れる。文字とは、「忘却に対する薬」である以上に、記憶力を拡張する技術なのである。このテウトこそが拡張論の始祖である。

テウトから文字の説明を受けたタモスは次のように応答する。「たぐいなき技術の主テウトよ、技術の事柄を生み出す力をもった人と、生み出された技術がそれを使う人にどのような害をあたえ、どのような益をもたらすかを判別する力をもった人とは、別の者なのだ」（プラトン、藤沢訳、1993a, 163 頁）。発明者と判別者とが異なることを断った上で、タモスは、文字に負の効果があることを指摘する。曰く、(文字を使うことで人は)「書いたものを信頼して、ものを思い出すのに自分以外のものに彫りつけられたしるしによって外から思い出すようになり、自分で自分の力によって内から思い出すことをしないようになる」(同書、164 頁)、(また、その場合の)「知恵は、知恵の外見であって、真実の知恵ではない」(同)。タモスは、文字に記憶力を「衰退」させる負の効果があることを指摘するのに加え、知恵を高める効果があることを否定し、テウトの興奮を冷まそうと努める。『パイドロス』は、拡張論とともに、これに対抗する議論、すなわち衰退論の始まりでもあったのだ。

拡張論の誕生の瞬間に衰退論が双子の兄弟として生まれていたことに思いを馳せれば、前者のみが席卷する言論状況が如何に歪なものかが分かるだろう。では、双子を再び出会わせ、両論の併記を心がければ問題は解決するのだろうか。否、話はそれほど簡単ではない。対話を表示することで見えてくる、隠れた主題を理解することこそ肝要である。

Table 1 は両者の発話の対応関係をもとに、文字を考察する過程を三つの工程に分けて表示したものである。

Table 1 : 「拡張の問題系」⁴

	1	2	3
テウト	「代行」：人工物との「融合」 → 能力の「拡張」：正の効果	YES	YES
	↓	↑	↑
タモス	YES	「依存」：訓練がお座なりに → 能力の「衰退」：潜在的に醸成される負の効果	「分離」：「融合」の解除 → 「衰退」の露呈

⁴ 対話の対応関係をまとめる作業は柴田（2022a, 2022b）で行った、後述するように工程は5までであるが、本稿では論述に関わる3までの工程を表示するにとどめた。Table 1 は、柴田（2025）より転載。

Table 1 の工程の 1 から分かるように、タモスは、文字が記憶を代行し、文字と人間が一体になる＝融合することで記憶力が拡張する、というテウトの主張（1 上）を否定していない（1 下）。ここから、衰退論は、拡張論とともに拡張の効果を前提にした問題系（「拡張の問題系」）を形成する部分とすることができる。

拡張の問題系は、衰退を皮切りに、技術の負の側面についてのその他の論点も生み出してきた。例えば、ケインズ（J. M. Keynes）が「技術的失業」で概念化した問題、すなわち労働の現場に新たな機器が導入されることで人の仕事が奪われる事態（「分業の不調」）や、原子炉や AI などの暴走が象徴する、人工物の制御にかかる懸念事項（「暴走」）も、拡張の問題系の枠内で提起された論点と考えられる（柴田, 2025）。この意味で、拡張の問題系は多産であり、現在も豊かな土壌を技術論に提供している。他方、テウト、そしてタモスがそうであったように、この問題系に依拠する論者の多くが、技術の拡張的效果を前提に議論を進めるという伝統を創り出した。この悪しき伝統主義者は、前提への批判的な姿勢を欠く以前に、前提の存在を自覚すらしていない点で批判されるべきなのである。

3.3 拡張の問題系の隠れた主題：判別者の資格とは？

対話を開始するにあたってタモスは、制作者と判別者が異なることに加え、制作者は生みの親としての情にほだされるため、判別者になるのが困難であることも指摘した（プラトン、藤沢訳, 1993a, 163-164 頁）。「判別者の資格」、より正確に言えば、「効果を判別する者の資格」こそ、『パイドロス』の技術論の隠れた、そして核心的な主題なのだ。にもかかわらず、テウトのみならずタモスさえも、文字に記憶力の拡張的效果があることを疑うことなく、議論を先に進めている。判別のためには賛否を論じる双方が効果を測定するための基準を共有していなければならないはずだが、議論の出発点においてあるべき基準の考察が見事に看過されているのである。問題系の内でいかに多くの言葉が交わされようとも、それらを現実に着地させ、相対する説を調停する術がなければ、議論が出口に向かうことは叶わない。拡張の効果の先取りを、拡張の問題系に内在する瑕疵と言い得る所以である。

『パイドロス』を直接、間接に参照した者たちは代々、出口のない思弁と議論の迷宮に誘い込まれてきたのだ。このような「プラトンの呪い」（柴田, 2022a, chap. 1）を解き、技術についての正負の議論を適正な軌道に載せる鍵となるのが、エコロジカル・アプローチなのである。

「プラトンの呪い」を解き、迷宮から脱出するには、「判別者の資格」について考えなければならない。実はプラトンの別の著作には、『パイドロス』で積み残した課題に答えるかのよう、判別者に関する記述が見つかる。中期の代表作の『国家』には、製作者⁵よりも使用者が、単なる使用者よりも熟達した使用者が当該技術について知っていることが書かれている（プラトン、藤沢訳, 1993b, 319-322 頁。cf. Yuni, 2011, pp. 227-228）。

『国家』においてプラトンは、馬具の善し悪しを判別する能力は、馬具職人よりも馬具を使う者に、単に馬具を使う者よりも馬具の使用に熟達した者にこそ備わる、と言った。使用こそ

⁵ この文脈では「製作者」と「制作者」を同一視しても問題ない（柴田, 2025）。

が効果を判別する最初の一步になる、との指摘には確かに肯ける。翻って、製作者ではなく、実際に使用する者に人工物の効果を判別する資格があるとすれば、エジプトの人々に広める前に、使用に通じることはおろか、使用した痕跡さえない者たちが発明について語る様をどう理解すべきだろうか。『パイドロス』は、語る資格のない者が語ることを許容する素地を形成しはしなかったか。もちろん、神や王であることで特別な能力が備わり、使用を経ずに人工物の効果が判別できるのであれば、このような批判はあたるまい。実際、プラトンは、このような抜け道を迷宮から脱する王道と考えていたようなのである。

村田(2023)は、プラトンの技術論に二つのヒエラルキーがあることを指摘する。第一のヒエラルキーでは、使用の技術に関する知が、製作の技術に関する知に優位する。『国家』における馬具の考察以外にも、『クラテュロス』に杼(シャトル)を例にした同様の主張が見つかる。第二のヒエラルキーでは、技術のアイデアに善のアイデアが優位する。馬具の善さは、アイデア界の馬具のアイデアに関する知に基づいて評価されるが、馬具などの個々の物のアイデアは、すべてのアイデアの中で最高位にある善のアイデアに従属する。二つのヒエラルキーの入れ子関係、すなわち第一のそれが第二のそれに包摂される関係にあることを理解すれば、善のアイデアを知れば自ずと物のアイデアを知り、そして物の善し悪しを判別できることになる。善のアイデアを知る真の知者であれば、文字を使用せずともその善し悪しを判別できる、というわけである。

敢えて言おう、判別者になるための方法は少なくとも二つある。一つ目は、人工物を使用する現場を放棄し、観照によるアイデアの探求と帰還の旅に出ることである。プラトんに付き従って真の知者たることを目指すのが一つ目の選択だとすれば、二つ目は、アイデア論を放棄して、人工物の使用という実践の現場に議論を差し戻すことである。より具体的には、人工物が実際に使われる状況に身を置き、そこで生起する事象を記述する作業と言えるだろう。一つ目の選択が上空に飛び立つことで迷宮を脱する試みだとすれば、二つ目の選択は、地面を伝うような地道な作業の積み重ねに活路を見出す試みと言えよう。ギブソンが推奨するのはもちろん、第二の選択に違いない。ギブソンに倣い、使用によって生起する事象を記述するために工程表(Table 1)の工程1の前に工程0を書き加えよう。そうすれば、エコロジカル・アプローチが、二つ目の選択をした者たちの導きの糸となってくれるはずである。

拡張論へのエコロジカル・アプローチの貢献は、思弁に傾斜した議論を矯めるための、経験的な理論を提供するところにある。経験的な理論の必要性は、技術哲学におけるいくつかの概念にも該当する。タモスは、制作者と判別者が異なることを指摘していた。事実、文字であれ、印刷術であれ、コンピュータであれ、発明の用途が発明者によって決定された例は歴史上皆無である。技術の用途は使用を通じて発見され、社会的に容認できるものだけが「適切な」用途として暫定的に認知されているに過ぎない。アイディ(D. Ihde)の「複数安定性(multi-stability)」(Ihde, 2002)や「設計者の誤謬(designer fallacy)」(Ihde, 2006; アイディ, 中村訳, 2001; 直江, 2023)などは、この公理を表現したものだが、もちろん、未知のものも含め、技術の用途が無限に存在するわけではない。ハンマーで高速道路を移動することはできず、自動車で日本刀を鍛えることはできない。エコロジカル・アプローチは、技術の用途が当該技術と環境との相互作用の中で自ずと収束することを説明する理論としても技術哲学で参照されるべきなのである。

次の第四節では、技術哲学と隣接する領域へのエコロジカル・アプローチの貢献を概説し、さらに、接合によってエコロジカル・アプローチが得る利益にも言及する。

4 二つの技術論の相補性：技術に対するエコロジカル・アプローチの展望

4.1 インターフェイス論再考：第三の界面の意義から

技術哲学と工学にまたがる領域に、インターフェイス論がある。この領域でしばしば引用されるノーマンのアフォーダンス論の主題が第一の界面から第二の界面への円滑な移行に特化するものであることは、既に述べた通りである。ノーマン流のインターフェイス論は、取扱説明書の能書きを効果と同一視するという意味での「マニュアル主義」に陥っている。ここでは、観察に先立って効果を論じるマニュアル主義と拡張論とが親和性を持つことに注意を喚起したい。そもそも、人工物の機能を最大限に引き出す研究であっても、人工物の機能に関する理解を前提とする以上、第三の界面で得られる効果の観察が先行していなければならない。この関係を転倒させることは、取扱説明書に書くべき内容を知らないにもかかわらず取扱説明書を書くような、奇妙な事態であることを知るべきである。エコロジカル・アプローチには、インターフェイス論における第一義的な主題を想起させる権利と義務があると言えよう。

4.2 分散知能論の陥穽：拡張の誘惑

インターフェイス論の場合と同じく、拡張論との親和性によって技術の効果の理解から遠ざかるおそれがある議論に、いわゆる分散知能論がある。クラーク (A. Clark) のサイボーグ論を検証すると、分散知能論が拡張論に容易に取り込まれる理由が分かる。逆に、クラークの議論を手掛かりにすれば、分散知能論のあるべき姿を確認することもできる。

クラークによれば、人類はことばを発して以来、サイボーグだった。人類史＝サイボーグ史とは、身体の外につくりだしたもののとの融合を繰り返し、問題解決能力を高めてきた歴史である。人工物は、省力化と効率化を図るために人間が機能を代行させる外界のものとして生まれ、使われてきた。このような歴史観、そして人工物観に問題はないだろうか。クラークによる怪異なサイボーグのイメージの本質を暴き、エコロジカル・アプローチとの相違点を明らかにするには、クラークの心、および身体の理解から説き起こすのが王道である。

クラークらによる有名な“extended mind” (Clark & Chalmers, 1998) の概念は、頭蓋骨に閉じ込められず、外に漏れ出すことから“leaky organ” (Clark, 1997, pp. 53-69) とも言い換えられている。“extended mind”の“extension”には空間的な含意が認められる。しかし、デカルトに由来する“extension”が心以外の存在、つまり物体に固有の属性だったことを想起すれば、「延長する心」の訳をこれに充てるわけにはいかない。他方、外部の人工物との融合で心の問題解決能力を高まることから、「拡張」の訳語を充てる蓋然性はある。しかしそれでは、第一義的な空間的広がり含意が抜け落ちてしまう。

クラークは、問題解決に最適な人工物を嵌入接合できる脳の特徴を「可塑性 (plasticity)」 (Clark, 2003) と呼ぶ。脳の可塑性と学習期間の長さが人間をその他の生物と分け隔て、人間のみを「生まれながらにサイボーグ」にした。可塑的な脳だけが、発明した人工物を環境中に

適切に配置し、嵌入接合によって人工物にタスクの負担を分散しつつ、より高度な問題解決を実行できるからである。そして、問題を解決するとき、脳を拠点としていた心は頭蓋骨を漏れ出てシステム全体に広がる。頭蓋骨から漏れ出た心は、システム全体に広がる際に、いくつもの境界を通過することになるのだが、ここでの境界は、身体的エージェントが環境と出会う境界、すなわち第三の界面ではなく、問題解決システムの一部になった部分と部分の間の「インターフェイス」を指す。サイborgの心は、脳と頭蓋骨を含めた身体、人工物の順に外側に広がる各部分のつなぎ目を行き来しながら、問題解決に取り組む存在なのである。

問題解決のシステムという閉じたループに、脳と身体と人工物とで形成された世界を押し込め、心にのみにそれらの部分を往来する自由を与えたクラークは、心を「内容」に、それ以外の構成部分を越境する心のための乗り物（「越境のヴィークル extended vehicle」）に見立ててもいる（Clark, 2011, p. 77）。サイborgの身体は、環境と相互に作用し、情報を生成するという主体的役割を期待されていない。クラーク流の分散知能論では、身体は、左右脳を橋渡しする「脳梁」（op. cit., p. 206）のように、内的リソース（例えば、脳内の記憶）と外的リソース（例えば、PC に貯蔵されたデータ）を架橋する経路に切り詰められてしまうのである。

身体を問題解決システムにおける経路に還元し、第三の界面の意義を認めないクラークのサイborg論に、エコロジカル・アプローチとの接点は見つけられない。人類規模での拡張を語る歴史観を基礎に据えることで拡張の効果の先取りを正当化した先に開花したクラーク流のサイborg論には、負の効果の議論を封じ込めるだけでなく、工程表（Table 1）に0番の工程を書き入れさせないための仕掛けが縦横無尽に張り巡らされている。

クラーク流の拡張論を「問題解決モデル」と呼ぶならば、エコロジカル・アプローチが提起するのは、環境中を動き回り、第三の界面での事象により変化し続ける身体に基づく「探索モデル」と名付けられよう（柴田, 2020, 2022a）。人工物は問題解決のために生まれるわけではないが、問題解決に利用されてきたことは間違いない。環境中の人工物が、人の知覚や思考の一部を代行していることも確かである。脳が中央制御を担う身体観を排したギブソンが、真正な分散知能論を否定するとは考えられないが、それでも、拡張の効果から説き起こし、人工物の発明がスマートな世界を保証するとの言説に囚われることで、分散知能論はあっけなく拡張論の一ヴァリエーションに身を落とす。クラークのサイborg論はそのことを教えてくれる好例なのである。

4.3 接合の相補性：技術論におけるエコロジカル・アプローチの立ち位置

最後に、拡張論との接合によってエコロジカル・アプローチが受ける利益について考えよう。エコロジカル・アプローチが受け取る利益は、拡張の問題系の諸々の論点の継承である。紙幅の都合で省略したが、拡張論の全容を示せば、Table 1 に示した工程の3に留まらず、工程の5に至り、技術についての主要な論点を包摂していることが分かる（柴田, 2022a, 2022b, 2025）。この網羅的な工程表に依拠すれば、技術がもたらす正の効果のみならず、負の効果をも議論の俎上の載せ、少なくとも六つに分類された負の効果から技術を考察することができる（柴田, 2025）。拡張論の列に加わることは、拡張論が提起した論点を引き継ぎ、それらを体系的に論じる権利を得ることを意味するのである。

翻って、拡張論にとっては、工程表に0を立て、エコロジカル・アプローチを取り込むことで、効果の先取りの弊を正し、判別のための経験的な知見を得られるという利益が見込めるが、工程表の0におけるエコロジカル・アプローチの役割をより明確にするため、ここで技術哲学の成果の一つを紹介したい。

直江（2013）は、「多層的な人工物の機能」論を唱え、いかなる人工物にも物理的構造があり、人工物の機能は、この物理的構造を基礎に、技術的機能、固有機能、象徴機能の順に多層化していることを指摘する。まず、機能の基底を成す技術的機能は物理的構造に条件づけられている。技術的に可能な機能と言い換えてもよい。技術的機能の上に、設計者が想定しつつ実際の使用法に基づいて定まる固有機能が載る。使用者の心理学的・生態学的な特性は、固有機能と技術的機能の境界付近において、機能を制約し、あるいは開放する契機となる。そして、固有機能の上に、例えば、安楽椅子とパイプ椅子の使用において使用者、および使用状況の適否が変わるように（安楽椅子に平社員が座りながら、社長をパイプ椅子に座らせるのが「不適切」とされるように）、人間同士の関係を表象し、また逆にそれに影響する象徴機能が載る（上杉, 2023, 66-67 頁）。

「多層的な人工物の機能」論を参照すれば、エコロジカル・アプローチには、「使用者の心理学的・生態学的な特性」とともに、使用において制約され、あるいは逆に開放しうる環境の特性を説明する理論として、つまり、固有機能と技術的機能の境界領域の課題を解決する理論として、人工物の機能の議論に参加する道が開ける。加えて、その他の機能、特に象徴機能の議論への参与への可否や、参与できる場合には如何に参加できるかが課題として浮上する。他方、エコロジカル・アプローチを参照すれば、「多層的な人工物の機能」論には、効果の判別、そして効果にもとづく社会的な影響の理解に資する議論であったとの自覚が生じるに違いない。さらに、エコロジカル・アプローチを梃子に拡張論と繋がれば、それが生み出してきた多くの論点を継承することも叶う。ともあれ、相互の参照により、拡張の問題系の工程表（Table 1）の0番目には、エコロジカル・アプローチ単体ではなく、これを収容する四階建ての「多層的な人工物の機能」論を建て付けることが可能になる⁶。

以上をまとめると、拡張論との接合によってエコロジカル・アプローチが受け取る利益の第一は、拡張の問題系の諸々の論点の継承である。加えて、「多層的な人工物の機能」論を試金石にすることで自らの適用範囲に関する新たな議論の端緒が得られたことも、利益の一つに数え上げられよう。

技術に関する正・負の論点を引き継ぎ、判別の作業において求められるところを知り、自らの地位への自覚を促された先には、ギブソンが為しえなかった、技術に対するエコロジカル・アプローチの十全な姿を描くことができる。

⁶ 人工物の影響を測る際の多層性については、村田（2006）も言及している。村田は、哲学者が繰り広げる議論のレベルと、日々わたしたちが出会っている技術をめぐるさまざまな「出来事」がおかれたレベルを分け、前者をマクロなスケールとした上で、両者を架橋する社会構成主義がミクロな考察を担うと説明した（16-17 頁）。加えて、技術のアフォーダンスを分析するレベルを「よりミクロ」（7 頁）と呼ぶことから、合計すると、技術の影響に対するアプローチには少なくともマクロ、ミクロ、よりミクロの三層があることになる。

本研究は科研費（22K00104）の助成を受けたものである。

引用文献

- Bush, V. (1945). As we may think, *The Atlantic monthly*, Vol.176, No.1, 641-649.
- Clynes, M., & Kline, N. (1960). Cyborgs and space, *Astronautics*, September, 1960, Columbia University Press, 26-27/ 74-76.
- Clark, A. (1997). *Being there : Putting brain, body, and world together again*, The MIT Press.
- Clark, A. (2003). *Natural-born cyborgs : Minds, technologies, and the future of human intelligence*, Oxford University Press.
- Clark, A. (2011). *Supersizing the mind : Embodiment, action, and cognitive extension*, Oxford University Press.
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). The Extended mind, *Analysis*, 58, 10-23.
- Descartes, R. (1637). *La dioptrique*. (デカルト, 青木 靖三・水野 和久 (訳) (1973). 屈折光学 デカルト著作集 (第一巻) (pp. 113-222) 白水社)
- Engelbart, D. C. (1963). A Conceptual framework for the augmentation of man's intellect, Howerton, D. W., Weeks, D. C. (Eds.), *Vistas in information handling*, Spartan Books, 1-29.
- Gibson, J. J. (1983). *The Senses considered as perceptual systems*, Greenwood Press (original work published 1966.).
- Gibson, J. J. (1986). *The Ecological approach to visual perception*, Lawrence Erlbaum (original work published 1979.).
- Gibson, J. J., & Crooks, L. (1938). A Theoretical field-analysis of automobile driving, *American journal of psychology*, 51, 453-471.
- Gmyrek, P., Berg, J., & Bescond, D. (2023). Generative AI and jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality, *ILO Working Paper 96*.
- アイディ, D. 中村 雅之 (訳) (2001). 技術と予測が陥る困難 思想 926 (pp. 145-156) 岩波書店
- Ihde, D. (2002). *Bodies in technology*, University of Minnesota Press.
- Ihde, D. (2006). The Designer fallacy and technological imagination, Dakers, J. R., (Ed.), *Defining technological literacy*, 121-131.
- Inou, H., Sawada, M., & Mishima, H. (2009). Gaze coordination between car drivers and passengers: An observation. In Wagman J. B. & Pagano, C. C. (Eds.), *Studies in perception and action X*, Psychology Press, 48-51.
- Jaspers, K. (1948). *Allgemeine Psychopathologie* (original work published 1913.). (ヤスパーズ, K. 内村 祐之・西丸 四方・島崎 敏樹・岡田 敬蔵 (訳) (1953). 精神病理学総論 (上) 岩波書店)
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*, Gallimard, Paris. (メルロー＝ポンティ, M. 竹内 芳郎・小木 貞孝 (訳) (1991). 知覚の現象学 (一) みすず書房)
- 三嶋 博之 (2013). 人とクルマの知覚論 佐々木正人 (編) 知の生態学的転回 (一) 身体——環境とのエンカウンター—— (pp. 113-146) 東京大学出版会
- 村田 純一 (2006). はじめに/ 序章 共生のための技術哲学——「ユニバーサルデザイン」という思想—— 村田純一 (編) 共生のための技術哲学 (pp. 7-14) / (pp. 15-28) 未来社
- 村田 純一 (2023). 技術の哲学——古代ギリシャから現代まで—— 講談社

- 直江 清隆 (2013) . 技術の哲学と〈人間中心的〉デザイン 村田 純一 (編) 知の生態学的転回 (二) 技術 : 身体を取り囲む人工環境 (pp. 259-285) 東京大学出版会
- 直江 清隆 (2023) . 技術と政治——人工物と人間との関わりを考える—— 金光 秀和・吉永 明弘 (編) 技術哲学 (pp. 27-42) 昭和堂
- Norman, D. A. (1993). *Things that make us smart*, Basic Books.
- Norman, D. A. (2013). *The Design of everyday things: Revised and expanded edition*, Basic Books.
- プラトン, 藤沢 令夫 (訳) (1993a) . パイドロス 岩波書店
- プラトン, 藤沢 令夫 (訳) (1993b) 国家 (下) 岩波書店
- Plato, *Phaedrus*. In Yunis H. (Ed.), (2011). *Cambridge Greek and Latin classics*, Cambridge University Press.
- Ramo, S. (1969). The Computer as an intellectual tool, *Beyond left & right*, Kostelanetz, R., (Ed.), William Morrow and Company, 47-51 (Reprinted with the permission of the American Federation of Information Processing Society, 1965.).
- 柴田 崇 (2004) . D・カッツのメデイウム論 生態心理学研究 1 (pp. 25-32) 日本生態心理学会
- 柴田 崇 (2012) . ハイダーとギブソンのメデイウム概念 生態心理学研究 5 (pp. 15-28) 日本生態心理学会
- 柴田 崇 (2013) . マクルーハンとメディア論——身体論の集合—— 勁草書房
- 柴田 崇 (2020) . メディア研究と心理学の接点——「探索モデル」 新人文学 17 (pp. 50-67) 北海学園大学大学院文学研究科
- 柴田 崇 (2022a) . サイボーグ——人工物を理解するための鍵—— 東京大学出版会
- 柴田 崇 (2022b) . メタバース 新人文学 19 (pp. 108-141) 北海学園大学大学院文学研究科
- 柴田 崇 (2025) . 身体拡張思想の系譜学——テクノロジーの正・負の効果に関する覚書—— 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 30-1 (pp. 23-32) 日本バーチャルリアリティ学会
- Smitsman, A. W. (1997). The Development of tool use : Changing boundaries between organism and environment, Dent-Reed, C./ Zukow-Golding P. (eds.), *Evolving Explanations of Development*, 301-329.
- 所 雄章 (1996) . デカルト (二) 勁草書房
- 上杉 繁 (2023) . 技術とデザイン——デザインの論理・不完全性・可能性—— 金光 秀和・吉永 明弘 (編) 技術哲学 (pp. 61-80) 昭和堂

(2024 年 12 月 26 日受稿, 2025 年 2 月 24 日受理)

A Preliminary List of Postulates for an Ecological Psychology

J. J. Gibson (*Cornell University*), June 1971

I. *Peripheral Stimulation and Stimulus Information*

- Stimulation is to be distinguished from stimulus

specification
information

Stimulation is proximal stimulus energy exciting receptors, while stimulus information is the variations and invariants of stimulus energy that are “picked up” by perceptual systems. (Stimuli are usually *imposed*; information is usually *obtained*.)

- Ambient stimulation comes in an *array* (not as a stimulus *prod*, or even as a constellation of prods) and the array is normally *changing* instead of *frozen*. (Stimulation is to be conceived ecologically as a flowing sea of stimulus energy in which the animal is immersed)
- Changing stimulation may arise from either the activity of the animal or the course of events in his environment (non-change requires both a wholly passive animal and a wholly frozen environment). The *propriospecific* component of stimulus transformation and the *exterospecific* component can be distinguished, however, by the fact: the former change can be nullified whenever the animal reverses his action while the latter cannot.
- Invariants under changing stimulation (whether self-produced or environment-produced) are specific to the permanent environment and they constitute stimulus-information about it. (But these invariants cannot be detected by a wholly passive animal)

II. *The Environment*

- An organism lives in an environment. Animate organisms can get about in the environment.
- An environment consists of a *medium* in which animals can move about, (substances) and *surfaces* through which they cannot move.
- The *layout* of these surfaces is basically permanent (e.g., the substratum) but in part changeable (e.g., motions and events).
- Radiant, acoustic, and chemical energy are “propagated” through the medium (light, sound, and odor, the latter by diffusions).
- The solid and liquid substances of the environment have various compositions (chemical compounds and mixtures). The composition of a substance is ordinarily specified by two properties of its surface, its reflectance (“color”) and its texture. (No, there is color texture and layout texture). If the substance is volatile, it is also specified by odor.

- Different substances and different surface-layouts afford the animal different behaviors, e.g., support, locomotion, eating, shelter, injury, manipulation.
- An environmental “niche” for a species of animal consists of the affordances of the environment for that species.
- What we call the “places” and the “objects” of the environment can be described in terms of the composition of substances and the layout of their surfaces (both large-scale and small-scale). The “events” of the environment can be described in terms of *changing* layout (Only mechanical events are here considered, not chemical, thermal, or electromagnetic events)

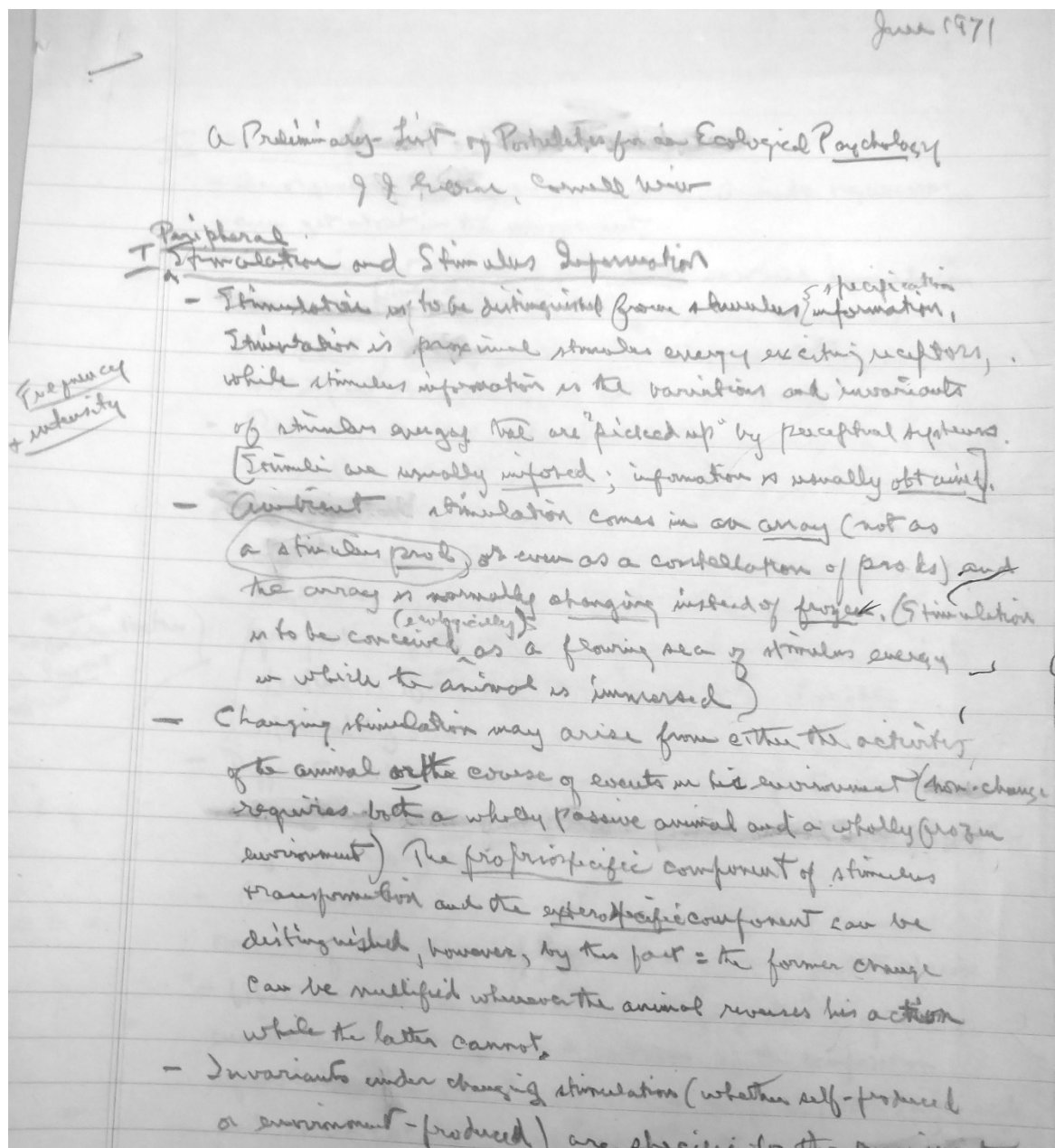


Figure 1 Gibson(1971)の自筆メモ (I. Peripheral Stimulation and Stimulus Information の冒頭部分).

III. Behavior

- Behavior is defined as the *performatory* activity of an animal as distinguished from its purely *exploratory* activity which, as a limit, may elicit perception without behavior. But the two kinds of activity are not mutually exclusive; ordinarily both go on at once.
- The activity of an animal consists of acts, not of responses to “stimuli” (as defined above). Performatory acts are not *elicited* by stimuli but are *controlled* by stimulus-information over time.
- The control of performance by proprioception (“feedback”) must be distinguished from the control of performance by the perception of the environment. (But this does *not* imply a distinction between different “senses” or anatomical channels of sensory input). Propriospecific stimulus information is different from exterospecific information (as described above).
- Performatory acts are appropriate to places and objects and events of the environment only insofar as the *affordances* of these things are perceived. Behavior is adaptive when these sources of stimulus information are discriminated and identified.
- The action system of an animal (the so-called “response repertory”) is coordinate with its ability to perceive affordances and its environmental niche.

IV. Perception

- Perception is an activity. It consists of acts that orient the perceptual organs, sample the possibilities of ambient stimulation, elicit transformations of the array, and isolate the invariants under transformation. Perceptual systems are modes of attention to stimulus information (as contrasted with modalities of sensation).
- Perception is *of* the environment, but it is always accompanied by an awareness of being *in* the environment.
- The composition and surface-layout of substances in the environment, together with change of layout, need to be detected by an individual because they determine the *affordances* of places, enclosures, objects, and events. (This postulate is a substitute for the odd idea that an observer has to perceive color, form, size, position, motion and space).
- Other animals (the animate environment), other persons (the social environment) and the artifacts of other persons (the pictorial and symbolic environment) are constituted in the last analysis of substances, surfaces, their shapes, and their changes of shape. The higher-order affordances of animals, persons, and artifacts still depend on stimulus information for their perceptibility.
- Composition, layout, and deformation are specified in the optic array. Composition, layout, and change are also specified in mechanical stimulation (“Touch”). Mechanical events are specified in sound. Composition is specified by odor at a distance and by taste

at no distance. The perceptual systems overlap in the pickup of information.

- The perceptual systems of a given species of animal, like its action systems, are adapted to register what the affordances of the environment are for that species. Consider locomotion. A medium of water affords locomotion by swimming whereas the medium of air affords locomotion by flying. A water surface-of-support-affords paddling; a solid and level surface of support affords crawling and walking on feet. A vertical surface affords collision and stops locomotion. A particular layout may afford climbing; tree-branches of the right size afford locomotion for primates. The perception of stand-on-able, fall-off-able, jump-down-able, step-over-able, leap-over-able, and climb-on-able all depend on the perception of surface-layout and composition.
- The apprehension of empty space (the geometrical concept) is an abstraction from the perception of surface-layout instead of the perception of the world being an interpretation of depthless sensations in terms of conceptual space.

生態心理学の基本原則の予備的なリスト (Gibson, 1971)

訳：野中 哲士（神戸大学）¹

I. 末梢への刺激と刺激情報

- 刺激を受けることと、刺激  がなにかを特定すること，は区別すべきである。
前者は末梢の刺激エネルギーが感覚受容器を発火させることであり，後者の刺激情報は，知覚システムが「ピックアップ」する刺激エネルギーの変化および不変である（刺激は加えられるものであり，通常，情報は得るものである）。
- 動物を包囲する刺激は配列を伴っており（刺激の一突きや，一突きの集まりですらない），通常，配列は「静的」ではなく「動的」なものである（刺激とは，生態学的に見ると，動物が浸されている刺激エネルギーが流動する海である）。
- 動的な刺激の変化は，動物自身の活動か，あるいは動物のまわりの環境における一連の事象によって生じ得る（まったく変化がないという状態は，完全に受動的な動物と完全に静止した環境という二者が合わさることなしには生じ得ない）。だが，自己を特定する刺激の変換と，外部の環境を特定する刺激の成分は，次の事実によって区別され得る。それは，前者の変化は，動物が逆向きに動くことを通して戻すことができるが，後者はそうではないという事実である。
- （みずからの動きもしくは環境に由来する）刺激の変化の下での不変量は，持続する環境を特定し，不変量は持続する環境についての刺激情報となる（しかし，これらの不変量は，完全に受動的な動物によっては検知することができない）。

II. 環境

- 生物は環境のなかに生きている。みずから動く生物は，環境内を動きまわることができる。
- 環境は，生物がその中を動きまわることができる「メディウム」と，その中を動くことのできない（サブスタンス）および「サーフェス」から成っている。
- これらのサーフェスのレイアウトは，基本的に持続する（e.g., 基礎）が，部分的には変化し得る（e.g., 運動と出来事）。
- 放射光，音響，および化学的なエネルギーはメディウム中を「伝播する」（光や音，匂い，後者は拡散による）。
- 環境における固体および液体のサブスタンスはさまざまな組成をもつ（化合物や混合

¹ E-mail: tetsushi@people.kobe-u.ac.jp

物)．サブスタンスの組成は，サーフェスの次の二つの特性によってたいいていの場合特定される．その二つの特性とは，サーフェスによる反射（「色」）とサーフェスの肌理である（いや，一口にサーフェスの肌理といっても，色の肌理もあれば，レイアウトの肌理もある）．揮発性のサブスタンスであれば，それは匂いによっても特定される．

- 異なるサブスタンスと異なるサーフェスのレイアウトは，動物の異なる行動の可能性をもたらす．たとえば，支持されること，移動すること，食べること，シェルター，負傷すること，操作することなど．
- ある動物種における環境の「ニッチ」は，当の動物種にとっての環境のアフォーダンスから成る．
- 私たちが環境の「場所」や「モノ」と呼んでいるものは，サブスタンスの組成と，そのサーフェスのレイアウト（大きなスケールから小さなスケールまで）によって記述され得る．環境の「事象」は，レイアウトの「変化」によって記述され得る（ただし，ここでは機械的な事象のみ想定していて，化学的，熱的，電磁的事象は考慮していない）．

III. 行動

- 行動は，動物による「遂行的な」活動として定義する．純粹に「探索的な」活動は，究極的には，行動なしの知覚を生じさせるかもしれない．ただし，これらの二種類の活動は，互いに排他的なものではない．ふつう，両者は同時に起こっている．
- 動物の活動は行為から成り立っていて，（先に定義したところの）「刺激」に対する反応から成り立っているわけではない．遂行的な行為は，刺激によって「引き起こされる」ものではなく，時間変化をとまなう「刺激情報」によってコントロールされるものである．
- 自己知覚（「フィードバック」）によるパフォーマンスのコントロールは，環境の知覚によるパフォーマンスのコントロールとは区別すべきである（ただし，この区別は，「感覚」あるいは感覚入力 of 解剖学的経路の区別を意味するものではない）．（先述の通り）自己特定の刺激情報は，環境特定の知覚情報とは異なる．
- 遂行的行為は，環境の場所やモノや事象にかなったものとなるのは，これらの「アフォーダンス」が知覚されるときである．刺激情報が特定するところのこれらのアフォーダンスが識別され，同定されるとき，行動は適応的なものとなる．
- 動物の行為システム（いわゆる「反応のレパートリー」）は，アフォーダンスおよびその動物の環境のニッチを知覚する能力と結びついている．

IV. 知覚

- 知覚は活動である．知覚は，知覚器官を差し向け，包囲する潜在的な刺激を拾い上げ，刺激配列を変換し，変換の下での不変量を分離する．一群の知覚システムは，（感覚モダリティとは対照的に）刺激情報に対する注意の一群のモードである．
- 知覚は環境「について」のものである．しかし，知覚は常に，環境「内に」みずからが

いることについての気づきをとまなう。

- 環境内のサブスタンスの組成とサーフェスのレイアウト、ならびにレイアウトの変化は、個体によって検知される必要がある。なぜなら、これらが場所や部屋、モノ、事象のアフォーダンスを規定するからである（これは、観察者が色、形、大きさ、位置、運動と空間を知覚しなければならないという不可解な想定の代案である）。
- 他の動物（動物のいる環境）、他者（社会環境）と他者が作った人工物（図像やシンボリックな環境）は、サブスタンス、サーフェスとそのかたち、およびかたちの変化の分析の最後に来るべきものである。ただし、動物、他者、人工物の高次のアフォーダンスについても、その知覚可能性は、依然として刺激情報に依拠している。
- 組成、レイアウト、変形は光の配列によって特定される。組成、レイアウトと変化は、機械的刺激（「タッチ」）によっても特定される。機械的事象は音によっても特定される。組成は離れたところでは匂いによって、接していれば味によって特定される。複数の知覚システムのあいだには、情報のピックアップにおける、冗長なオーバーラップがある。
- ある動物種の知覚システムは、行為システムと同じく、当の動物種に環境が何をアフォードするかを検知することに適応している。水というメディウムは泳ぐことの可能性をもたらし、空気というメディウムは飛ぶことの可能性をもたらす。水面という支持面は、漕いで進む可能性をもたらし、固体で水平な地面は這ったり、足で歩くことを可能にする。垂直な壁は衝突の可能性をもたらし、移動を阻む。立つことができるか、落下しかねないこと、ジャンプして降りられるか、またげるか、飛び越えられるか、登れるかどうかの知覚は、すべて、サーフェスのレイアウトとその組成の知覚に依拠している。
- 空き容器としての空間（幾何学的概念）の把握というものは、サーフェスのレイアウトを知覚することから引き出される抽象に過ぎない。世界の知覚は、奥行きのない感覚を空間という概念によって解釈したものではない。

引用文献

- Gibson, J. J. (1971). *A Preliminary List of Postulates for an Ecological Psychology*. Unpublished manuscript, James J. Gibson papers, #14-23-1832. Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library.

変化に浮かび上がるセルフ —生態心理学の基本原則の予備的なリスト—

野中 哲士（神戸大学）¹

1 1971 年の James Gibson

James J. Gibson が 1949 年から 1979 年まで在籍したコーネル大学の Carl A. Kroch 図書館の地下にある Rare and Manuscript Collections には、Gibson の研究室や書斎にあったメモや草稿、講義資料、手紙などが 18 個の箱にまとめて保管されている。それぞれの箱の中には、さらに内容や年代ごとに分類されたいくつものフォルダがあり、草稿類が各フォルダに入ってまとめられている。セミナーのレジュメ（Purple Perils）や、書籍、論文など、すべての原稿は黄色い横罫紙にまず手書きで書かれたのち、秘書がタイプするという流れで執筆されていたらしい。そのため、同じ内容が手書きとタイプされたものの両方存在するものが多い。その一方で、タイプされなかった手書きの覚え書きやメモも相当数存在する。

Gibson は “The Senses Considered Perceptual Systems” (Gibson, 1966) 公刊とほぼ同時に、“The Perception of the Visual World” (Gibson, 1950) の改訂作業に着手していた。視知覚の教科書として多くの大学で採用されていた 1950 年の著作を、従来の視覚の心理学とは基礎的前提から根本的に異なる 1966 年の知覚システムの理論を含めるかたちで改訂することが出来ないか、Gibson はしばらくのあいだ試行錯誤を重ねていたようだ。改訂作業に取り組んでおよそ半年が経過した 1967 年 3 月 21 日に、Gibson (1967) が出版社 Houghton Mifflin の編集者に送った手紙には、次のような記述がある。

ご存じのとおり、この 6 ヶ月間のうちに、“The Perception of the Visual World” の改訂として始まったプロジェクトは、新しい本の執筆へと様変わりしつつあります。この新しい本に向けたメモ、新しい構成案、批評をもらうための断片的な草稿などが、すでになりにたまっています。もちろん、当初のアイデアは、“The Perception of the Visual World” にこれらを含めることで、新しく改訂しようというものでした。

しかし、新しいアプローチはあまりにも根本的に異なっているので、この本は、教科書というよりは、新しい知覚の理論についてのものにならざるを得ないように、今は思われます。

ただし、この時点ではまだ、1950 年の著作の改訂を行う計画は完全に放棄されたわけではなかったようだ。というのも、Gibson は同じ手紙の中で、教科書として使えるような改訂を

¹ E-mail: tetsushi@people.kobe-u.ac.jp

短期間で行ったのちに、「学部生の目を気にせずに」、時間をかけて「新しい知覚の理論」についての本を書くという案を、編集者に対して打診しているからだ。二つの計画の併走を裏付けるかのように、コーネル大学の Gibson の草稿アーカイブには、“Notes for Revision of Visual World”と、“Notes for an Ecological Approach to Visual Perception”という二つのフォルダが存在する。前者のフォルダに入っているのは、多くがこの手紙の時期、1967 年に書かれたメモである。

しかしその後、このプロジェクトは、新しい知覚の理論の本の執筆へと一本化されていく。1971 年の 1 月 12 日に Houghton Mifflin の同じ編集者に宛てられた Gibson (1971a) の手紙には、新しい本の構成案が同封されるとともに (Figure 1)、次のような記述が含まれている。

この本は、“The Perception of the Visual World”の改訂や代替物ではなくて、続編にあたるものになるでしょう。この本では新しい理論的なアプローチを展開して、古い理論を新しいアプローチによって置き換えたいと私は思っています。(中略)

この本の執筆は、本の素材を書きためるという方法で継続していくつもりです。それらのいくつかについては、目を通した大学院生から批評やコメントをもらっています。すでに部分的な草稿の類はかなりの量になりますが、まだまとめるには至っていません。

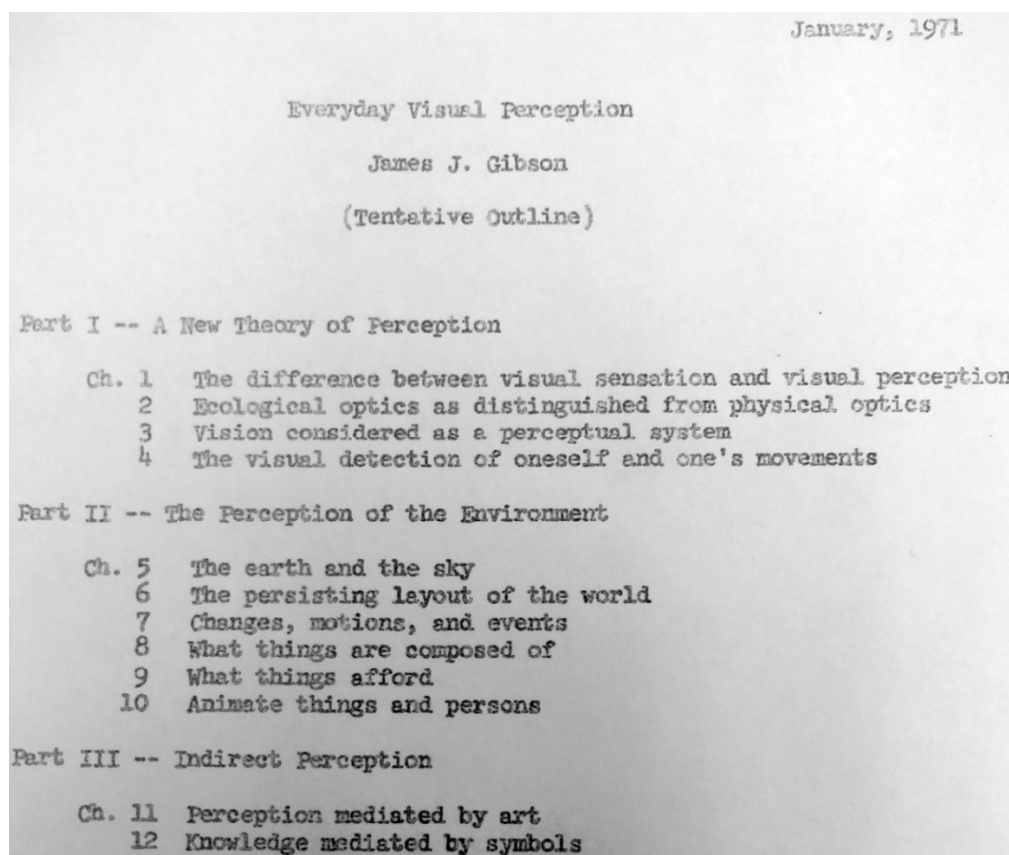


Figure 1 Gibson が 1971 年 1 月 12 日に編集者に送った手紙に同封されていた「新しい本」の構成案 (Gibson, 1971b)。この本は当初、“Everyday Visual Perception”と題されていた。

Gibson にとって、また“The Ecological Approach to Visual Perception”(Gibson, 1979/2015)の成立にとって、1971 年がきわめて重要な年だったことを示唆するいくつかの証拠が存在する (Nonaka, 2020) . Gibson は、1971 年の新年早々にこの手紙を編集者に送ったあと、一連のアフォーダンスに関する覚え書き (Gibson, 1982a) , “Do We Ever See Light?” (Gibson, 1971c) など、のちに 1979 年の著作の中できわめて重要な位置を占めることになるメモや草稿を立て続けに執筆している。さらに、“An ecological approach to visual perception”というタイトルが生まれたのもこの年のことである (当初のタイトルの頭には“The”ではなく“An”という不定冠詞がついていた) (Nonaka, 2020) .

手紙に同封されている当初の構成案では、本の第一部はオーソドックスな知覚理論と新しい理論の対比から始まっている。しかし、同じ年のうちに、新しい本は第一部“The environment surrounding us”からはじまる構成へと変更される。先述の 1971 年の手紙には、「視覚心理学の主流の理論を、批判することのためだけに含めるべきかどうか迷っています。(中略)(視覚心理学のドグマの大半は誤りなのですが) 誤ったことについて書くよりも、できるだけ事実を記すことに本の大部分を費したいと思っています」という記述もあり、おそらく構成の変更の背景には、こうした試行錯誤があったのかもしれない。そして、同じ年の 11 月までには、1979 年の著作の第一部とほとんど変わらない内容の草稿が一気に書き上げられている (Gibson, 1971d) .

本号に掲載されている、“A Preliminary List of Postulates for an Ecological Psychology” (Gibson, 1971e) は、1979 年の著作の全貌が姿をあらわすことになった 1971 年の 6 月に書かれた。このメモは、先述のコネル大学図書館の Gibson の草稿コレクションのうち、“Notes for an Ecological Approach to Visual Perception”と題されたフォルダにおさめられていたものである。黄色の横罫紙に手書きの草稿は、タイプされておらず、おそらく、上の手紙で言及されている、既存の理論とは根本から異なる「新しい理論的なアプローチ」の基本原則をあらためて整理し、自分で確認するための、覚え書きのようなものであつただろうと推察される。

2 刺激エネルギーの海

1979 年に公刊された著作の構成とは異なり、このメモにおいては、「刺激情報」、「環境」、「行動」、「知覚」という四つの切り口から、生態心理学の基本原則が整理されている。ただし、四つの項目に分かれてはいても、それぞれの項目に挙げられている内容は単体で独立したものというよりは、他の項目の内容と有機的に関連しており、互いに参照しあうことではじめて意味をなすようなものとなっている。

「I. 末梢への刺激と刺激情報」の各項目の内容は、「II. 環境」に記されている記述を前提としている。環境の世界の記述の仕方はひとつではない。「II. 環境」についての覚え書きは、次の記述からはじまる。「生物は環境のなかに生きている。みずから動く生物は、環境内を動きまわることができる」 (Gibson, 1971e) .

「動かないもの」と「みずから動きまわるもの」の区別から、世界の記述をはじめとするならば、いったいどのような水準で世界をとらえるのが適切だろうか。「みずから動きまわるもの」のまわりにあるものは、何もない「空間」ではない。「IV. 知覚」の最後の項目に Gibson

が触れているように、「空間」は人間が発明した抽象概念である。陸生動物が動きまわることを可能にしているのは、生物身体の移動に対する抵抗が比較的小さい、独特な特性をもつ空気であり、水生動物が泳ぎまわることを可能にしているのは、固有の粘性や密度をもつ周囲の水である。細胞が移動することを可能にするのは、細胞を包囲する細胞外液と細胞外基質である。

生物学では、その内部を生活系が移動するところの「生活系の外周を包囲し、その表面と直接の接触を保ち、いわばその系の生活の場となる物質」（八杉ら, 1996）をメディウム（媒質）と呼ぶ。「みずから動きまわるもの」と「動かないもの」との区別からはじめるとき、その対になる環境として、「II. 環境」の二つ目の項目に記されているとおり、「生物がその中を動きまわるができる「メディウム」と、その中を動くことができないような（サブスタンス）および「サーフェス」から成る」（Gibson, 1971e）という記述の水準がおのずと浮かび上がってくる。

「みずから動く生物が動きまわっているところ」を何もない「空間」として抽象化せずに、動きまわる機会を与える特性や状態をもつ物質を考慮する環境の記述は、さらにこのメモの「II. 環境」の3項目に続けて挙げられている、次の事実に光をあてることになる。「放射光、音響、および化学的なエネルギーはメディウム中を「伝播する」（光や音、匂い、後者は拡散による）」（Gibson, 1971e）。

生物学とは異なる用語の使い方が、物理的作用が伝播する物質を、物理学では「メディウム（媒質）」と定義する。「たとえば弾性体内で応力やひずみが伝わる弾性波については、弾性体が媒質である」（玉虫ら, 1971）。環境において、生物学で言うところの、動物がその中を動きまわるメディウムは、同時に、物理学で言うところの、さまざまな物理的パターンが浮かび上がる舞台としてのメディウムとなっている。Gibson (1971e)はこの点を見逃さず、「I. 末梢への刺激と刺激情報」の二つ目の項目に、「刺激とは、生態学的に見ると、動物が浸されている刺激エネルギーが流動する海である」と書き留めている。

このメモからは少し脱線するが、生物のまわりの「動物が浸されている刺激エネルギーが流動する海」については、物理学者 Feynman (1983) が「見ることにについて」語る中で挙げている次の例がたいへんわかりやすい。

プールにたくさんの人が飛び込んだとき、水面はチャプチャプと波打つ。ひょっとすると、これらの波が、プールで起こっていることの知らせになるということはないだろうか。プールの隅っこで水面に浮かんで、波に揺られながら、当の波の特徴とそのゆらぎ方から、誰がプールのどこにいつ飛び込んだか、プールの全体で何が起こっているかを知ることができる虫か何かがいるとでも想像してみてほしい。それが、私たちがなにかを「見る」時にしていることだ (Feynman, 1983)。

人が飛び込むことによって、仮想の生物を包む水に生じる波や渦のパターンは、ランダムなものではない。それは、流体力学で記述されるような自然の法則性にしがたって、起こった出来事を反映すると同時に、当の出来事がなかったら生じ得ないような固有の特徴をもつ (Hanke, 2014)。それゆえに、波はプール内の出来事についての「情報」となり得る。

ただし、ここで言う「情報」は、通信理論で定義される「情報」とは異なる。Weaver (1953, p. 265) は「通信理論においては、情報という言葉は特別な意味で用いられており、それを日常的な用法と混同してはならない。特に、情報を意味と混同してはならない」と述べた。通信理論の情報とは、「何についての」情報かという側面を括弧に入れることで、定量可能なものとなった。しかし、Gibson の情報は、まさに通信理論が捨象した、事象がそれ自身以外の何か「について」(aboutness) 特定する関係に宿るものである。

Feynman の例で言えば、水中では、プランクトンのような生物が泳動するときに生じる微小な渦構造から、風などによって生じる水面の波、人が飛び込んだときに生じる大きな波など、水生動物が移動する水中には、さまざまな出来事「について」特定する配列がマルチスケールで生じている。さらに、こうした関係が現れる配列は水流だけではなく、電場や、化学的放散など、動物が注意を向けていないものや、検知できないものも含めて、無尽蔵に存在するだろう。生物のまわりは、このような潜在的な情報であふれている。

ここに、Gibson がこの覚え書きの冒頭に挙げている、刺激がなにかを特定すること（つまり、刺激がなにかについての情報になること）と、刺激を受けることとのあいだの区別が生じる。「刺激は加えられるものであり、通常、情報は得るものである」(Gibson, 1971e)。そこに刺激を受ける生物がいようとまいと、水中の波と出来事とのあいだの関係は無数のスケールで生じている。ゆえに、通常、情報は得るものであり、知覚は無尽蔵の情報が潜在するまわりに注意を向け、有用な情報を選択的に検知する活動として理解される。

Feynman (1983) はさらに、波の動きからそれをもたらした出来事を知ることと、環境の物質の表面によって構造化された光の配列に、当の表面を「見る」ことは、本質的に変わりはないと述べた。生物は、Gibson が言うところの「刺激エネルギーが流動する海」に包まれており、知覚とその進化は、この逃れようのない事実と分かちがたく縫い合わさっている。この点について、「IV. 知覚」の冒頭で、Gibson はあらためて次のように確認する。「知覚は活動である。知覚は、知覚器官を差し向け、包囲する潜在的な刺激を拾い上げ、刺激配列を変換し、変換の下での不変量を分離する。一群の知覚システムは、(感覚モダリティとは対照的に) 刺激情報に対する一群の注意のモードである」(Gibson, 1971e)。

3 変化に浮かび上がるセルフ

フランスの劇作家モリエールは、1673 年発表の戯曲『病は気から』の第三幕の幕間劇で、当時の医師が使っていたラテン語もどきの記述で、医学生の実験を次のようにからかっている(c.f., Bateson, 1972/2000)。

試験官：アヘンを服用するとなぜ眠くなるのか、その理由を説明せよ。

医学生：それはアヘンが、誘眠成分 (*virtus dormitiva*) を含むからです。

試験官：お見事お見事、お見事な回答じゃ (Molière, 2020)。

アヘンという物質が人を眠くする理由は、その中に人を眠くする物質を含むからであるという説明は、もちろん、ある物質のはたらきをその物質に含まれる成分へと転嫁しただけにすぎ

ず、人が眠くなることの説明にはなっていない。生物や物が、その周囲の環境との関係においてはじめて示すはたらきの原因を、当の物や生物の内部に局在する成分、機構、経路、領域、部位やモジュールなどに転嫁することで、説明したことになってしまう論法を Deacon (2011) は「ホムンクルス論法」と呼んだ。

Gibson は、環境と切り結ぶ生物のはたらきを、生物内部の機構へと転嫁して済ませるホムンクルス論法を、注意深く回避する。そのためか、Gibson の生態心理学は、知覚に貢献する主体を軽視しているとしばしば批判される。だが、Reed (1988) が指摘するように、これはおかしい話である。というのも、Gibson は、ホムンクルス論法とは異なる仕方、セルフについて説明する理論を手に行っているからである。

Gibson は、身体内部に局在するセルフの対応物を探すかわりに、動物が包まれている環境の側に目をむける。そして、動物が環境の中のセルフに気づくことの可能性をもたらす「情報」として、いったいどのような aboutness の関係があるのかを問いかける。

「I. 末梢への刺激と刺激情報」の二つ目の項目で、「動物を包囲する刺激は配列を伴っており（刺激の一突きや、一突きの集まりですらない）、通常、配列は「静的」ではなく「動的」なものである」ことを Gibson (1971e) はまず確認する。さらに、こうした動的な変化は、「動物自身の活動か、あるいは動物のまわりの環境における一連の事象によって生じ得る（まったく変化がないという状態は、完全に受動的な動物と完全に静止した環境という二者が合わさることなしには生じ得ない）」という事実に向けられる。

ある観察点を包囲する光、音、匂いなどの配列は、絶えず移ろうものであり、流動しつづけるものである。動物を包囲する光や音の配列がまったく変わらないという状態は、Gibson が言う通り、まったく動かない環境とまったく動かない動物の二つの条件が揃わないと生じることがない。ひとたび動物が動くと、新しい視界が開け、顔に風を感じ、音、匂いなど、すべてが変化する。他方、自分が動かなくても、環境がすべての側面において不変であることはあり得ず、木の葉は風に舞い、川は流れ、虫が飛び、野焼きの火から煙がたちのぼり、他者の表情は変化する。環境内の表面の変化と不変は、空気中の観察点を包囲する光や音、化学的配列を構造化する。

では、このように絶えず移ろう光や音の配列に包まれている動物において、セルフの知覚と環境の知覚の区別は、どのように生じるのだろうか。「IV. 知覚」の二つ目の項目には、「知覚は環境「について」のものである。しかし、知覚は常に、環境「内に」みずからがいることについての気づきをとまなう」とあるが、このような区別を可能にするような aboutness をもつ情報とは、いったいいかなるものだろうか。

この問いに対して、Gibson (1971e) は「I. 末梢への刺激と刺激情報」のなかで、次のように答える。「自己を特定する刺激の変換と、外部の環境を特定する刺激の成分は、次の事実によって区別され得る。それは、前者の変化は、動物が逆向きに動くことを通して戻すことができるが、後者はそうではないという事実である」。動物は動きまわることによって、観察点を包囲する光や音の配列を変換することができる。このような「変換」は、環境内でみずからが占める観察点の変化を特定しており、環境内を動くセルフ「について」の情報となる。

たとえば、立ち上がった赤ちゃんは、みずからを包む光の配列構造に、ハイハイとは大きく

異なる視点をとるセルフを見るとともに、全体的な光の配列の不規則な揺れに不安定な姿勢のセルフを見る。お母さんに向かって歩くとき、子どもは自分に微笑むお母さんを見るとともに、お母さんに対応する光の配列構造の拡大の仕方に、お母さんに近づきつつあるセルフを見る。一歩足を後退させると、今度はお母さんに対応する光の配列構造は縮小し、配列の変換の仕方を逆転することができる。とは言え、自分が動くことで、見えるものすべてが変化してしまうわけではない。自分が占める観察点が変化するとき、観察点を包囲する光の配列には、変化する側面と変化しない側面が存在する。

動物が観察点を動かすとき、観察点の変化に依存する変化と、「観察点の変化と独立したなにか（不変量）」を選り分ける機会がそこには生まれる。この点について、Gibson (1971e) は次のように慎重に述べる。「（みずからの動きもしくは環境に由来する）刺激の変化の下での不変量は、持続する環境を特定し、不変量は持続する環境についての刺激情報となる。（しかし、これらの不変量は、完全に受動的な動物によっては検知することができない）」。セルフを特定する aboutness は、観察点の変化にともなう刺激配列の変換を通して、はじめて環境を特定する aboutness から分離可能なものとなる。

環境を特定する情報を、セルフを特定する情報から分離する機会が存在することは、環境と切り結ぶ行動の調整において大きな意味をもつ。海に飛び込むカツオドリは、飛び込むことをアフォードする水面を地面などの固い表面から識別する必要があるのと同時に、水面に迫りつつあるみずからの飛行の速度や姿勢を調整する必要がある (Lee & Reddish, 1981)。花の蜜を集めるハチは、とまることのできる花を同定し、その花がどのような仕方ととまることをアフォードするのかを知覚する必要があるのと同時に、みずからを包囲する光の配列の流動に、環境の中を前進し通り抜けているセルフを見て、ふわりと花に着地するようにその飛行をコントロールする必要がある (Gibson, 1982b)。Gibson (1971e) はこの区別について、「Ⅲ. 行動」のなかで次のように言及している「自己知覚（「フィードバック」）によるパフォーマンスのコントロールは、環境の知覚によるパフォーマンスのコントロールとは区別すべきである。

（ただし、この区別は、「感覚」あるいは感覚入力の解剖学的経路の区別を意味するものではない）。（先述の通り）自己特定の刺激情報は、環境特定の知覚情報とは異なる」。ただしもちろん、こうした区別は、動物内部にその対応物としての解剖学的経路の区別が局在することを意味するものではない。

4 まとめ

本稿では、Gibson が記した生態心理学の基本原則をめぐる予備的なリストについて、特に情報とセルフをめぐる問題に注目して概観した。この覚え書きが記された 1971 年は、Gibson がまったく新しいアプローチを世に問う独立した著作として、“The Ecological Approach to Visual Perception”の執筆を本格的にスタートした年である。ここに記されている内容は、ほぼすべて、1979 年の著作の中で、丁寧に論じられているものだが、このように列挙すると、そのラディカルさは一層きわだって見える。心理学の教科書的な教義を気にすることをさっぱりとやめにして、身軽になって、新しい視座に向かって歩を進めるやや高揚した Gibson の息づかいが、この覚え書きの行間からは垣間見えるような気がする。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21KK0182, JP23K22259, JP24K21323 の助成を受けたものである。

引用文献

- Bateson, G. (1972/2000). *Steps to an ecology of mind: Collected essays in anthropology, psychiatry, evolution, and epistemology*. University of Chicago press. (Original work published 1972)
- Deacon, T. W. (2011). *Incomplete Nature: How Mind Emerged from Matter*. W. W. Norton & Company.
- Feynman, R. P. (1983). *Seeing things*. <https://youtu.be/1qQQXTMih1A>
- Gibson, J. J. (1950). *The perception of the visual world*. Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Houghton Mifflin.
- Gibson, J. J. (1967). *Houghton Mifflin Co. Correspondence*. James J. Gibson papers, #14-23-1832. Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library.
- Gibson, J. J. (1971a). *Houghton Mifflin Co. Correspondence*. James J. Gibson papers, #14-23-1832. Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library.
- Gibson, J. J. (1971b). *Everyday Visual Perception (Tentative Outline)*. Unpublished manuscript, James J. Gibson papers, #14-23-1832. Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library.
- Gibson, J. J. (1971c). *Do We Ever See Light?* Unpublished manuscript, retrieved from <http://www.trincoll.edu/depts/ecopsyc/perils/>
- Gibson, J. J. (1971d). *The Environment to be Perceived: Part I of An Ecological Approach to Visual Perception*. Unpublished manuscript, James J. Gibson papers, #14-23-1832. Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library.
- Gibson, J. J. (1971e). *A Preliminary List of Postulates for an Ecological Psychology*. Unpublished manuscript, James J. Gibson papers, #14-23-1832. Division of Rare and Manuscript Collections, Cornell University Library.
- Gibson, J. J. (1982a). Notes on affordances. In E. Reed & R. Jones (Eds.), *Reasons for Realism: Selected Essays of James J. Gibson* (pp. 401-418). Lawrence Erlbaum Associates.
- Gibson, J. J. (1982b). Notes on action. In E. Reed & R. Jones (Eds.), *Reasons for Realism: Selected Essays of James J. Gibson* (pp. 385-392). Lawrence Erlbaum Associates.
- Hanke, W. (2014). Natural Hydrodynamic Stimuli. In H. Bleckmann et al. (Eds.), *Flow Sensing in Air and Water* (pp. 3-29). Springer-Verlag.
- Lee, D. N., & Reddish, P. E. (1981). Plummeting gannets: A paradigm of ecological optics. *Nature*, 293(5830), 293-294.
- Molière. (2020). *Le malade imaginaire*. Hatier Litterature generale.
- Nonaka, T. (2020). The triad of medium, substance, and surfaces for the theory of further scrutiny. In J. B. Wagman & J. J. C. Blau (Eds.), *Perception as Information detection: Reflections on Gibson's Ecological Approach to Visual Perception* (pp. 21-36). Routledge. <http://doi.org/10.4324/9780429316128-3>

Reed, E. S. (1988). *James J. Gibson and the Psychology of Perception*. Yale University Press.

玉虫文一ほか（編）（1971）. 岩波理化学事典第3版 岩波書店

八杉龍一ほか（編）（1996）. 岩波生物学事典第4版 岩波書店

Weaver, W. (1953). Recent contributions to the mathematical theory of communication. *ETC: a Review of General Semantics*, 261-281.

（2025 年 1 月 29 日受稿，2025 年 2 月 20 日受理）

特集 2

特集：生態心理学ことはじめ

友野 貴之（札幌学院大学）¹ 児玉 謙太郎（東京都立大学）

青山 慶（岩手大学） 関 博紀（東京都市大学） 牧野 遼作（早稲田大学）

1 はじめに

本特集は、研究の対象（What）だけでなく方法（How）に焦点を当てた、生態心理学ことはじめである。

本特集では、生態心理学的な研究をはじめするための「フレームワーク（e.g. 間隙通過実験、 π 数、ダイナミック・タッチ）」や他の研究領域と合わせて援用可能な「概念（e.g. アフォーダンス、知覚-行為循環、シナジー、発達）」が、実際の研究の中でどのように使われているかを紹介する。

生態心理学は、我々の日常生活に寄り添った現象や概念を研究対象とすることが多い。しかし、生態心理学を学びたいと思ったとしても、研究方法に焦点を当てた特集や書籍が少ない、そのため、どのように研究を始めればよいのか初学者は戸惑ってしまい、研究自体を開始できないこともある。生態心理学の方法論（How）が分かれば、初学者や他の領域の研究者も生態心理学的な研究に着手しやすくなるだろう。本特集では、生態心理学で用いられるフレームワークや概念がどのように研究で使われているのかを各領域の研究者から紹介してもらう。

2 特集掲載論文

以下の6名の著者に執筆を依頼した。

友野論文「アフォーダンス知覚研究のススメ：まず π より始めよ」では、実験によるアフォーダンス知覚研究の進め方や実例が紹介されている。伊藤論文「ダイナミック・タッチの基礎」では、ダイナミック・タッチ研究の詳細とそのメカニズム、研究の実例が紹介されている。谷貝論文「体肢間協応研究の実践的解説－Bernsteinの動作構築理論と力学系アプローチを中心に」では、Bernsteinの運動制御理論についての概説と、力学系アプローチによる研究デザインが提示されている。岡野・向井論文「同期研究への誘い：機能・仕組み・方法・発展的課題」では、なぜ行動は同期するのか、どのようにして同期を捉えるのかについて具体的な研究事例をもとに解説がされている。西尾論文「生態心理学的発達研究の方法：ボトムアップのアプローチ」では、アフォーダンス知覚をベースとした発達研究について述べられ、観察による研究の進め方と実例が紹介されている。

本特集が生態心理学の研究を始めるきっかけになれば幸いである。

¹ E-mail: tomono@sgu.ac.jp

アフォーダンス知覚研究のススメ：先ず π より始めよ

友野 貴之（札幌学院大学）¹

本稿では、アフォーダンス知覚とは何か、アフォーダンス知覚の研究をするためには何をどうしたらよいか、についてこれまでのアフォーダンス知覚に関する研究や著者らの研究を紹介しながら解説するとともにこれからのアフォーダンス知覚研究の展望について述べる。アフォーダンス知覚とは行為の可能性ないしは機会であるアフォーダンスを知覚することである。言い換えれば、アフォーダンス知覚とは環境の特性と行為者の特性の関係性ないしは適合性を知覚することとも言える。例えば、ガードレールに腰掛ける若者や花壇の縁に座る子どもは、ガードレールや花壇の縁の特性（この場合は高さや素材など）と彼（彼女）らの特性（この場合は足の長さや柔軟性など）の関係性ないしは適合性を知覚することで“座る”という行為を達成している。そのような意味では、アフォーダンス知覚の例、研究の萌芽は、私たちが暮らす生活環境を見渡せばそこかしこに広がっている。アフォーダンス知覚の機序を紐解くことで、私たち人間を含む動物の知覚と行為の関係性について明らかにすることができるだろう。

キーワード：アフォーダンス知覚, 間隙通過, π 数

Recommendations for Affordance Perception Research: Start from pi-number

Takayuki Tomono (*Sapporo Gakuin University*)

This study explains what affordance perception is and what should be done to study it, while introducing extant research and future research prospects. Affordance perception refers to the perception of affordances, which are possibilities or opportunities for actions. That is, it is the perception of the relationship or compatibility between the properties of the environment and those of the actors. For example, a young person sitting on a guardrail or child sitting on the edge of a flowerbed achieves the act of “sitting” by perceiving the relationship or compatibility between the properties of the guardrail or edge of the flowerbed (height, material, etc.), and their properties (, leg length and flexibility, etc.). In this sense, the examples of affordance perception and the seeds of its study can be found everywhere in our living environment. By unraveling the mechanism of affordance perception, this study seeks to clarify the relationship between perception and action in animals, including among humans.

Keywords: affordance perception, aperture passability, pi number

¹ E-mail: tomono@sgu.ac.jp

1 はじめに

本稿では、生態心理学に関心を持ち始めた初学者や大学学部生を対象に、生態心理学研究の進め方について、とりわけ、アフォーダンス知覚研究の進め方についての解説をおこなう。まずアフォーダンスとは、環境が人を含む動物に与える行為の可能性ないしは機会であり（Gibson, 1979）、アフォーダンス知覚とは、その行為の可能性ないしは機会を知覚することである。その行為の可能性ないしは機会を知覚するためには、すなわち、アフォーダンスを知覚するためには、環境の特性を知覚するだけでなく、行為をしようとする行為者自身の特性をも知覚する必要がある。例えば、ある人が狭いすき間を通り抜けようとする際、通り抜けられるか、もしくは、通り抜けられないかという行為の可能性を知覚するためには、すき間の幅（環境の特性）と通り抜けようとする自身の身体幅（行為者の特性）との関係性あるいは適合性を知覚する必要がある。肩幅が広い人と狭い人では、同じ幅のすき間であっても、そのすき間を通り抜けられるか通り抜けられないかの知覚は異なる。そのため、行為を達成するためには環境の特性のみを知覚するだけでは不十分であり、行為者自らの身体を知覚するだけでも不十分である。両者の関係性あるいは適合性を知覚することで、行為は達成されるのである。その際、環境の特性と行為者の特性を無次元の単位のない比率として示すことができる。この比率は π 数（pi-number もしくは pi value）と呼ばれる（Warren, 1984）。先ほどの例の場合であれば、すき間の幅と通過者の身体幅の比率が π 数となる。当然ながら、それぞれの幅の値（同じ単位系）で除するため π 数には単位はない。 π 数は、環境の特性（E: Environment）と行為者の特性（A: Actor）との関係性あるいは適合性を式として表し（ $\pi = E/A$ ）、アフォーダンス知覚研究の分析単位として使用することができる（Warren, 1984; Warren & Whang, 1987）。例えば、Warren & Whang（1987）の実験研究では、肩幅が 40 cm の人が目の前にあるすき間に対して肩を回さずに通り抜けるよう教示された際、すき間の幅が 52 cm を下回れば肩を回して通り抜けるが、すき間の幅が 52 cm を上回れば肩を回さずに通り抜けたことを報告している。この場合、 $\pi = \text{すき間の幅} / \text{肩幅} = 52 \text{ cm} / 40 \text{ cm} = 1.3$ となる。肩を回さずにすき間を通り抜けるという行為を達成するためには、すき間の幅が通過者の肩幅の 1.3 倍以上必要であると言い換えることができる。別の言い方をすれば、すき間を通り抜けられるか通り抜けられないかの行為の転換点は通過者の肩幅の 1.3 倍付近にあるとも言える。もちろん、1 人のデータだけで結論づけるのではなく、複数の通過者から π 数を割り出す必要がある。仮にどのような肩幅の人であっても肩を回さずに通過できるすき間の幅が肩幅の 1.3 倍であったならば、通過者は自らの身体の特性とすき間である環境の特性の関係性ないしは適合性を知覚している、もしくは、知覚できていることになる。繰り返しになるが、この関係性ないしは適合性を示す指標が π 数なのである。上記のことから、アフォーダンス知覚研究を進めるためには、この π 数の特定が重要なキーとなってくることがわかるだろう。そこで、本稿では π 数の特定を足がかりにアフォーダンス知覚研究をはじめてみることを読者に提案する。なお、アフォーダンス知覚研究には観察や解釈をベースにした実践もあり得るが、本稿では実験を用

いた研究例を中心に紹介することを付記する。また、アフォーダンス知覚に関する研究の多くが、Warren & Whang (1987) のようなすき間を通り抜ける（間隙通過）場面に着目しているため、本稿ではすき間の通り抜け行為に関するアフォーダンス知覚研究に多くの紙幅を割いている。

本稿の構成は以下のとおりとした。続く第2章では、これまでのアフォーダンス知覚研究をいくつか紹介し、第3章では、アフォーダンス知覚研究の問いの立て方・仮説の立て方・分析の仕方について解説する。第4章では著者らの研究を紹介し、第5章においてアフォーダンス知覚研究の展望について述べる。

2 これまでのアフォーダンス知覚研究

本章では、これまでのアフォーダンス知覚に関する重要な研究をいくつか取り上げ、紹介する。アフォーダンス知覚研究の詳細なレビューについては、廣瀬 (2006) や友野・山本・古山・三嶋 (2020) を参照されたい。アフォーダンスの知覚についてはこれまでも述べられているが（例えば、Gibson(1979), Gibson & Walk(1960)）、実験によってアフォーダンス知覚を π 数で定式化したのは1984年に行われたWarrenの一連の研究である（廣瀬, 2006; Warren, 1984）。

Warren (1984) は、手を使わずに登ることができると知覚する階段の一段の高さはどれくらいであるのかを実験により明らかにした。言い換えると、手を使わずに階段に登ることができるという行為の可能性（アフォーダンス）の知覚を、行為者の特性と環境の特性の関係性ないしは適合性の知覚である π 数で示すことができるのか実験により明らかにしたのである。実験の結果、身長や足の長さに関係なく、すなわち、足の長い（平均 91.33 cm）実験参加者群と足の短い（平均 76.00 cm）実験参加者群ともに、手を使わずに登ることができる階段の一段は足の長さの 0.88 倍付近であると視覚的に判断した。つまり、 $\pi = 0.88$ となる。また、力学的に昇段可能であるのかを表すバイオメカニクスモデルによる予測においても、手を使わずに昇段可能な高さは足の長さの 0.88 倍と算出されており、アフォーダンスの知覚とバイオメカニクスモデルが対応していることを示した。このことから、人は行為可能性を“適切に”知覚していることがわかる。

続いて紹介するのは Warren & Whang(1987)の研究である。Warren & Whang(1987)は、肩を回さずに通過可能なすき間の幅はどれくらいであるのかを実験により明らかにした。実験の結果、身長や身体幅（実験では肩幅）に関わらず、すなわち、肩幅の広い（平均 48.4 cm）実験参加者群と肩幅の狭い（平均 40.4 cm）実験参加者群ともに、通過者の肩幅の 1.30 倍付近を下回ると肩を回旋してすき間を通過することが明らかとなった。このことから、すき間を通り抜けられるか通り抜けられないかの行為の転換点である π 数（すき間の幅/肩幅）は 1.30 であることが示された。このことは、行為は、環境特性のみの絶対的な指標によって達成されるのではなく、環境特性と身体特性との相対的な指標によって達成されていると言える。つまり、すき間を通り抜けられる幅は行為者特性の知覚抜きで絶対的に決定されるのではなく、行為

者特性と環境特性の関係性ないしは適合性の知覚による相対的な指標によって決定されるのである。言い換えれば、すき間の幅が 50 cm であれば誰でもがすき間を通り抜けられるわけではないのである。また, Warren & Whang (1987) は, 実験参加者がすき間を実際に通過する実験だけでなく, 実験参加者が一定の距離から視覚的にすき間を通り抜けられるか通り抜けられないかを判断する実験もおこなった。実験の結果, 身長や身体幅(実験では肩幅)に関わらず, すなわち, 肩幅の広い(平均 47.7 cm) 実験参加者群と肩幅の狭い(平均 41.4 cm) 実験参加者群ともに, 観察者の肩幅の 1.16 倍付近を下回ると肩の回旋無しではすき間を通過できないと判断した。このことから視覚的な判断によるすき間の通過可否の行為の転換点である π 数(すき間の幅/肩幅)は 1.16 であることが示された。一方で, すき間を実際に歩いて通り抜ける場合の π 数(1.30)と, すき間の通過可否を知覚的な判断する場合の π 数(1.16)にズレが見られた。このズレが何を起因とするものなのかについては議論の余地があるが, 歩行に伴う身体の揺れによってすき間を構成する仕切り等に腕がぶつからないよう“セーフティー・マージン”(Flascher, 1998)を確保するため, 一定の距離からによる知覚的な判断よりも, 実際の歩行では広いすき間の幅が必要になるのではないかというのが 1 つの考えである(友野・古山・三嶋, 2017)。すき間を構成する仕切りから尖った釘先が大量に飛び出している条件を設定した実験では, 釘が飛び出していない通常の仕切りの条件よりも通過者が広くすき間の幅をとることを明らかにした(Flascher, 1998)。このことから, すき間の通過可否の判断は常に一定ではなく, 状況に応じて柔軟に変化することがわかる。Warren & Whang (1987) の実験に限らず, 行為と知覚において π 数にズレがみられることはしばしばあり, 廣瀬(2006)はそのズレが生じる可能性について考察している。

上記の研究以外にも, 提示された高さのバーをまたぐかくぐるに関する研究(三嶋, 1994)や, 人と人の間の通過可否に関する研究(Hackney, Cinelli & Frank, 2015; 友野ら, 2017; Tomono, Makino, Furuyama & Mishima, 2019)など, さまざまな研究がこれまでになされてきている。

3 アフォーダンス知覚研究の進め方

3.1 問いの立て方

研究を始めるためには, まず研究の問いを立てなければならない。一見, 難しそうに見えるかもしれないが, アフォーダンス知覚の例は日常生活の至る所で観察することができる。ガードレールに腰掛ける若者や, キャリーケースを引いて自動改札機の間を通る旅行者, 水たまりを跨ぎ越える子どもたち, スクランブル交差点を行き交う人たちなどは, 外的環境と行為者の身体サイズや運動能力との関係性ないしは適合性を知覚することで行為を達成しているという意味において, まさにアフォーダンスを知覚して行為している人たちの例である。普段, 私たちが何気なくおこなっている行為にこそ, 問いが立てられる余地が残っている。アフォーダンス知覚研究の問いを立てる場合は, まず, 街に出て人々を観察してみたい。そこに研究

の問いは隠されている。

3.2 仮説・デザイン

研究の問いを立てたならば、次に仮説を立てる。例えば、ガードレールに腰をかける人や花壇の縁に腰を下ろす人は、何を情報として“座ることができる（もしくは腰をかけることができる）”と知覚しているのかという問いを立てたとする。そして、足の長さや腰をかける物体の高さの比率から求められる π 数の知覚なのではないかと仮説を立てる。この仮説を検証するために、腰掛ける物体の高さを独立変数（例えば、実験参加者の足の長さの 0.7 倍から 0.1 倍刻みで 1.2 倍までの 6 条件）、座ることができると判断した物体の高さの値を従属変数とするなどが考えられる。また、花壇の縁の材質や行為者の足の柔軟性も独立変数として考えられるだろう。花壇の縁がレンガで作られている場合と柵で作られている場合や、膝が曲がらないよう固定されていれば、座るというアフォーダンスを知覚しないかもしれない。

その他にも、キャリーケースを引いている人は、キャリーケースのどのような特性を情報として知覚し、自動改札機の間を“通り抜けられる”と知覚しているのだろうかという問いも立てることができるだろう。この場合、キャリーケースの特性として、大きさや重さ、キャスターの自由度などが独立変数として挙げられる。そして、通過可能と判断したすき間の幅もしくは実際に通過したすき間の幅を従属変数とすることが考えられる。また、キャリーケースのような物体を操作する場合には、ダイナミック・タッチの観点からも実験のデザインが立てられるかもしれない。ダイナミック・タッチの詳細については伊藤（印刷中）に詳しい。実験参加者にさまざまなキャリーケースを引かせ、その際のキャリーケースの大きさがどれくらいであると知覚したかを問うても良い。そのようにすれば、キャリーケースのどのような特性がキャリーケースの大きさの知覚に関わり、知覚した大きさに応じてすき間を通過できると判断するのか、もしくは実際に通り抜けるのかが明らかになるだろう。

もしくは、水たまりを跨ぎこえるような状況を想定した実験をおこなうとしよう。その場合、水たまりのような平たい物体を地面におき、物体の奥行きを独立変数とする。物体の奥行きの長さがどれくらいの長さになれば“跨ぎ越える”という判断と動作から“飛び越える”という判断と動作になるのかという行為の転換点を観測することができる。そして、選択される行為が実験参加者の身体との関係性で決定されるのかどうかを実験で検証することが可能となる。この場合、実験参加者の足の長さや物体の奥行きの長さとの関係性から導き出される π 数（物体の奥行き／足の長さ）が算出できる。その際、行為者の特性として、実験参加者が履く靴の特性を変更したり、跨ぎ越える物体の特性を変化させたりすることで、多角的な研究デザインが考えられるだろう。物体の跨ぎ越えに関するアフォーダンス知覚の先行研究として、Cornus, Montagne & Laurent (1999) がある。興味のある読者は参照されたい。

3.3 実験の進め方

実験の問い・仮説を立てたなら、次に仮説を検証するための実験方法を考える。通過可能と判断する、もしくは実際に通過するすき間の幅を従属変数として設定する場合、どのようにすき間を実験参加者に提示するのが良いかが課題となる。例えば、知覚的にすき間を通り抜けられるか通り抜けられないかを実験参加者が判断する実験では、実験参加者にとって非常に広いもしくは狭いすき間(例えば、広い場合は実験参加者の肩幅の 2.0 倍、狭い場合は肩幅の 0.5 倍など)を提示した後、すき間の幅を徐々に狭くもしくは広くしていき、実験参加者が通過可能と判断したところで合図をしてもらい、その際のすき間の幅を計測し、従属変数とする方法が 1 つ考えられる。その他にも、すき間の幅を独立変数とし、提示するすき間の幅をあらかじめ実験参加者の 0.5 倍、0.6 倍、0.7 倍…1.9 倍、2.0 倍(もしくは、35 cm、40 cm などの絶対値でも良い)などと設定しておき、提示したすき間の幅に対して条件ごとに通過可否を問うのも良い。実際にすき間を通過する実験を実施する場合は、肩の回旋角度が従属変数となることが多い。また、すき間の通過可否に関する確信度を問うこともある。提示されたすき間に対してどの程度自信を持って通過可能と判断しているのかについてのデータを取得し、独立変数の各条件に応じて比較することもできる。

すき間を通過するなど実際に行為をおこなってもらう場合には、3 次元動作解析装置、いわゆる、モーションキャプチャシステムを使用することをお勧めする。例えば、実験参加者が歩いてすき間を通り抜ける実験を実施した場合、モーションキャプチャシステムを使用することで、肩の回旋角度、肩の回旋開始地点と肩の回旋の終了地点、歩行速度や歩行の軌跡といったデータを取得することができ、それらは従属変数として位置付けることができる。独立変数に応じてそれらの従属変数が異なれば、どのように身体動作を調整しながら行為を達成しているのかを明らかにすることができる。その他にも、視線計測装置を使用して、通過者の視線をフェーズごとに分析することも可能である。Higuchi, Cinelli & Patla (2009) は、実験参加者が歩行を開始してからすき間を通過するまでの間の実験参加者の視線を計測し、視線の遷移について報告している。実験により、通常歩行においては、すき間に近づくにつれてすき間の中心に視線が収束することを見出した。一方で、車椅子に乗ってすき間を通過するなどの不慣れな状態では、すき間に近づいたとしてもすき間を構成する左右の仕切りに視線が停留してしまうことを報告した (Higuchi, Cinelli & Patla, 2009)。また、昨今では、VR 環境内においてすき間を通り抜ける実験を実施する例もみられる。VR 環境を利用することで、実環境では設定の難しい実験をおこなうことができたり、実験環境を容易に統制しておこなうことができたりするなどのメリットがある。ただし、VR 環境ですき間の通過実験をおこなった場合、自由に環境を設定できるという利点がある一方で通過者自らの身体の情報参照しづらいという課題もある。ヘッドマウントディスプレイを装着していると自分の身体が見えないことや、VR 上の仮想の身体と実際の身体が一致していないなどが原因として考えられる。そのため、実環境でのすき間の通過行動における π 数と VR 環境でのすき間の通過行動の π 数に乖離が生じるという報告もある (Hackney, Cinelli, Warren & Frank, 2020)。こうした、VR 環境での π 数と実環境の π 数にズレがあることはアフォーダンス知覚を理解する上で重要な観点でも

ある。つまり、行為者が自らの身体とその身体に基づく運動能力をなんらかの形で知覚できなければ、行為を適切に達成することができないのである。そのため、VR環境などの仮想的な環境で実験をおこなう場合には、行為者が自らの身体とその身体に基づく運動能力を知覚できるような工夫をおこなう必要がある。例えば、AR環境のような拡張現実であれば、自らの身体を視野内に入れながら行為をおこなうことが可能なため、上記の問題を解決できるかもしれないが、議論の余地があるだろう。

3.4 分析の仕方

提示されたすき間を通過可能か問う実験であれば、各実験参加者が通過可能と判断したすき間の幅がデータとなり、そのデータを元に独立変数の条件に応じて比較するのが良い。分散分析と多重比較を用いて独立変数の条件間の違いを検証することが多い。実際に行為をおこなう実験も同様に、従属変数で得られたデータを元に独立変数の条件間の違いを統計的に検証していくこととなる。

4 実際の研究例

本章では友野ら（2017）の研究を紹介する。友野ら（2017）の研究では、人はいかにして人と人の間を通り抜けられると判断しているのかについて実験を用いて検証している。このことから、友野ら（2017）の研究は、すき間の通り抜け行為に着目した“間隙通過”におけるアフォーダンス知覚研究である。人混みの中を通り抜ける場合、物と物の間を通り抜ける場合と同じなのであろうかという疑問を抱いたのがこの研究の始まりである。環境（すき間の幅）と行為者のサイズ（身体幅）の関係性ないしは適合性を知覚することで行為が達成されていると説明したが、環境がただの物体で構成されているのではなく、人で構成されている場合には通過可能と判断する幅が異なるのか、すなわち、アフォーダンス知覚が異なるのかを明らかにするのがこの研究の目的である。

この研究では、2つの実験を実施した。それぞれの実験の概要は以下の通りである。実験はともにすき間を通り抜けられるか通り抜けられないかの判断を問うものとした。

実験1では、人と人を通り抜ける際のアフォーダンス知覚について検討した。また、ただ人と人を通り抜けられるか判断するのではなく、すき間を構成する2人の向きの違いについても検討した。具体的には、実験参加者（観察者）に対してすき間を構成する2人が正面を向いている条件、後ろを向いている条件、向かい合わせになっている条件、背中合わせになっている条件と、統制群として2つの箱型パネルの条件を独立変数の1つとして設定して実験をおこなった。従属変数は、肩を回さずに通過可能と判断したすき間の幅とした。すき間は徐々に狭くなる、もしくは広くなるように観察者に提示し、観察者が通過可能と判断したら合図をするよう教示した。通過可能と判断したすき間の幅を観察者の肩幅で除すことで各条件の π 数を算出し、条件間の違いを統計的に比較した。この実験のベースには、人が持つ他者

に侵入されると不快に感じる領域であるパーソナルスペース (Hall, 1966; Sommer, 1959) がある。パーソナルスペースは異方的な構造を持つとされ (田中, 1973), 人の向きに応じて不快に感じる対人距離の長さが異なるとされている。そして, パーソナルスペースは不可視であるが知覚可能な領域とされている。具体的には, 正面に長く, 次いで左右方向に長く, 後ろ方向が最も短い。このことから, 人と人を通り抜ける場合は, すき間を構成する 2 人のパーソナルスペースの影響を受けることで, 物と物を通り抜ける場合よりも広い空間, すなわち, 広いすき間が必要となるのではないかと考えた。仮説として, すき間を構成する 2 人のパーソナルスペースが最もすき間に干渉する向かい合わせの条件は, 他の条件と比較して広いすき間幅でないと通過可能とは判断しないのではないかと考えた。実験の結果, すき間を構成する 2 人が向かい合わせになっている条件は, 他の条件と比較して有意に π 数が大きい, すなわち, 通り抜けにくいと判断していることが明らかとなった。このことから, 環境の特性に応じて自身の行為可能性を調整していることがわかる。そして, この調整は, 人が持つ特性 (例えば, パーソナルスペース) に応じてなされていることがわかる。これまでの研究では, パーソナルスペースの研究とアフォーダンス知覚に関する研究が個別になされていたが, π 数を分析単位として用いることで, パーソナルスペースの研究に生態心理学的な視点を加味することが可能となったと同時に, アフォーダンス知覚の研究に社会的な要因を持ち込むことが可能となった。

実験 2 では, 人と人を通り抜ける可能性の知覚と, 人の形をしたパネルの間の通過可能性の知覚が異なるのかについて検討した。これは, 実験 1 の結果を踏まえている。実験 1 の結果では, 2 つの箱型のパネルの間の π 数と, 向かい合わせになっている 2 人の間の π 数に違いがあることが明らかになった一方で, そもそも両者の形が全く異なっているという課題が残った。つまり, すき間を構成する面が直線的である箱型パネルとすき間を構成する面が曲線的である人を比較した際に, その差異はパーソナルスペースの有無から生じているのか, それとも, すき間を構成する面の違いから生じているのかまでは明らかにできていないのである。そこで, 上記の問題を明らかにするため, すき間を構成する人のかたどって作成した人型パネルを用いて実験を実施した。実験で使用した人型パネルの写真については友野ら (2017) に掲載されているため, 参照されたい。仮説としては, 人型のパネルは実際の人とは異なる“物”であり, 観察者は人型のパネルからはパーソナルスペースを知覚せず, 人型のパネルで構成されるすき間は人で構成されるすき間よりも狭いすき間を通過可能と判断すると考えた。そこで, 人もしくは人型のパネルの向きを独立変数の 1 つとして設定し (ただし, 人型パネルの場合は, 正面を向いている条件と後ろを向いている条件が区別できないため, 並列する条件として実験参加者に提示した), 従属変数は, 肩を回さずに通過可能と判断したすき間の幅とした。加えて, すき間の構成物が人か人型のパネルかという構成物に関する独立変数も設定した。つまり, 実験計画は, 2 要因参加者内計画でおこなわれた。実験 1 と同様に, すき間は徐々に狭くなるもしくは広くなるように観察者に提示し, 観察者が通過可能と判断したら合図をするよう教示した。実験の結果, すき間の構成物 (人もしくは人型のパネル) の向きの違いによって通過

可能と判断するすき間の幅（ π 数）が有意に異なった。これは実験1の結果とも関連する。一方で、すき間の構成物が人か人型のパネルかによる通過可否判断の違いに差は認められなかった。すなわち、すき間の構成物が人であるのか人型のパネルであるのかに関わらず、すき間の通過可否を判断していると言える。このことから、実験参加者は、実際の人であるかに関わらず、すき間の構成物の“人らしさ”に基づいて、パーソナルスペースを知覚していることが示唆された。

5 展望

5.1 アフォーダンス知覚研究の射程範囲とその応用

アフォーダンス知覚研究の萌芽は生活全般の中にある。そのような意味ではアフォーダンス知覚研究の射程範囲は日常生活全てと言える。前述した通り、ガードレールに腰掛ける若者や、キャリーケースを引いて自動改札機の間を通る旅行客、水たまりを跨ぎ越える子どもたち、スクランブル交差点を行き交う人たちなどは、外的環境と行為者の身体サイズや運動能力との関係性ないしは適合性を知覚することで行為を達成しているという意味において、まさにアフォーダンスを知覚して行為している人たちの例である。彼ら（彼女ら）の行動を観察し、実験に落とし込むことで、アフォーダンス知覚の研究をすることができるだろう。それどころか、日常生活に限らず、宇宙ステーションの中での生活もまた射程範囲かもしれない。例えば、Bourrelly, McIntyre, Morio, Despretz & Luyat (2016) は、無重力状態におけるすき間の通過可否の判断に関する研究を報告している。また、人の営みに関わらず、動物の振る舞いもアフォーダンス知覚研究からアプローチすることができる。例えば、カサガイ（傘貝）の仲間は、天敵であるバイ（貝）から逃げるか、もしくは逆に攻撃するかは、カサガイと天敵との体長比に応じて選択される (Branch, 1979)。また、カエルは、すき間の幅を識別する際、自身とすき間の幅との距離に関係なく、自身とすき間の仕切りとで作る視野角によって通過可否を選択することが報告されている (Ingle & Cook, 1977)。その他にも、ハチはすき間を通り抜ける際に自身の身体幅とすき間幅の関係性ないしは適合性から通過可能性を知覚していることが報告されている (Ravi, Siesenop, Bertrand, Li, Doussot, Warren, Combes & Egelhaaf, 2020)。

アフォーダンス知覚の研究は、生態心理学分野にとどまらず、さまざまな分野に応用・接続することが可能である。リハビリテーションの分野やスポーツ分野、自動車の運転技術や安全に関する分野、さらには、空間設計などの建築分野にも応用・接続することが可能である。実際、さまざまな分野においてアフォーダンス知覚をベースとしたアプローチがとられている。詳細は友野ら (2020) を参照されたい。

5.2 これからのアフォーダンス知覚研究において求められることの1つ

アフォーダンス知覚研究において検討すべきことの1つとして、“できる”か“できない”かを分かつ行為の転換点としての π 数だけでなく、“する”か“しない”か、もしくは“したい”か“し

たくない”かを分かち行為の転換点としての π 数についても検討すべきであると考える。Warren (1984) は、上記の2つの π 数を臨界 π 数 (critical pi value) と最適 π 数 (optimal pi value) に区別して先駆的に言及している。Warren (1984) の研究において、観察者が手を使わずに登ることができると判断した階段一段の高さは足の長さの0.88倍付近であったが、これは登ることができかできないかの行為の転換点としての π 数を示している。そのため、Warren (1984) はこの π 数を臨界 π 数と呼んだ。一方で、観察者が最小のエネルギーで登ることができると判断した階段一段の高さは足の長さの0.25倍付近になることが報告されている (Warren, 1984)。このことは登れるか登れないかは異なる行為の転換点を示しており、この転換点は最適 π 数と定義された (Warren, 1984)。一方、Warren (1984) 以降のアフォーダンス知覚に関する研究は、臨界 π 数と最適 π 数が混合されているか、もしくは、臨界 π 数についてのみ検討していることが多い。このことは廣瀬 (2006) においても言及されている。

最適 π 数について検討した研究事例はいくつかある。例えば、Hackney, Cinelli, & Frank (2018)は、すき間が複数ある状況を実験場面として設定し、実験参加者 (通過者) はすき間を通過してもよいしすき間を通過せずに迂回してもよいという課題を実施した。これはこれまでの通過できるかできないかという行為の転換点とは異なり、どこを通過したいのかという最適 π 数についての検討であると言えるだろう。牧野・児玉・友野・渡邊 (2022) においても、観察者に複数のすき間から通過したいと思うすき間を1つ選択させる課題を実施している。通過の選好を問うているという点からも、牧野ら (2022) の研究もまた最適 π 数によるアプローチと考えられる。

アフォーダンス知覚についての理解を深めるためには、臨界 π 数を指標としたアプローチだけでなく、“する”か“しない”か、もしくは、“したい”か“したくない”かを分かち行為の転換点を指標としたアプローチ、すなわち、最適 π 数からのアプローチもまた必要になるだろう。生活場面では、“できる”が“しない”、もしくは“できる”が“したくない”という場面は多く存在する。そのような場合、これまでの臨界 π 数によるアフォーダンス知覚研究の知見だけでは十分とは言い難い。すき間の幅が通過者の肩幅の1.3倍を上回れば、肩を回さずに通りぬけ“られる”のであって、実際に通り抜け“る”か通り抜け“たい”かどうかという観点とは別だと言える。特に人混みの中を通り抜ける際などは、物理的に人と人の間を通り抜けることができるとしても、通り抜けない場合もあるだろう。“できる”か“できない”の観点から考えることはあくまでアフォーダンス知覚の一側面にすぎない。臨界 π 数と最適 π 数の両方の分析単位を用いてアフォーダンス知覚研究をすることで、環境と行為者の関係性ないしは適合性の知覚について多角的に検討することが可能となり、人の知覚と行為の研究にさらなる貢献ができるようになるだろう。

引用文献

- Bourrelly, A., McIntyre, J., Morio, C., Desprez p., & Luyat, M. (2016). Perception of Affordance during Short-Term Exposure to Weightlessness in Parabolic Flight. *PLOS ONE*, e0153598.
- Branch, G. M. (1979). Aggression by limpets against invertebrate predators. *Animal Behavior*, 27, 408-410.
- Cornus, S., Montagne, G., & Laurent, R. (1999). Perception of a Stepping-Across Affordance. *Ecological Psychology*, 11, 249-267.
- Flascher, M. O. (1998). Dimensions of perceptual scaling of passability. Doctoral dissertation. Connecticut: University of Connecticut.
- Gibson, J. J. (1979). The ecological approach to visual perception. Massachusetts: Houghton Mifflin Company.
- Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The "Visual Cliff." *Scientific American*, 202, 64-71.
- Hackney, A. L., Cinelli, M. E., Denomme, L. T., & Frank, J. S. (2015). The effects of narrow and elevated path walking on aperture crossing. *Human Movement Science*, 41, 295-306.
- Hackney, A. L., Cinelli, M. E., & Frank, J. S. (2018). Action strategies for walking through multiple , misaligned apertures. *Acta Psychologica*, 182, 100-106.
- Hackney A. L., Cinelli, M. E., Warren, W. H., & Frank S. F. (2020). Are avatars treated like human obstacles during aperture crossing in virtual environments? *Gait & Posture*, 80, 74-76.
- Hall, T. E. (1966). The hidden dimension. New York: Double day.
- Higuchi, T., Cinelli, M. E., & Patla, A. E. (2009). Gaze behavior during locomotion through apertures: The effect of locomotion forms. *Human Movement Science*, 28, 760-771.
- 廣瀬 直哉 (2006) . アフォーダンスとその知覚の測定 梶山女学園大学研究論集, 37, 1-9.
- Ingle, D., & Cook, J. (1977). The effect of viewing distance upon size preference of frogs for prey. *Vision Research*, 17, 1009-1013.
- 伊藤 万利子 (印刷中). ダイナミック・タッチの基礎 生態心理学研究.
- 牧野 遼作・児玉 謙太郎・友野 貴之・渡邊 克巳 (2022). 仮想空間内での人型オブジェクトの向きが間隙通過選択に与える影響 信学技法, 122, 7-11.
- 三嶋 博之 (1994). “またぎ”と“くぐり”のアフォーダンス知覚 心理学研究, 64, 469-475.
- Ravi, S., Siesenop, T., Bertrand, O., Li, L., Doussot, C., Warren, W. H., Combes, S. A., & Egelhaaf, M. (2020). Bumblebees perceive the spatial layout of their environment in relation to their body size and form to minimize inflight collisions. *PANS*, 117, 31494-31499.
- Sommer, R. (1959). Studies in personal space. *Sociometry*, 22, 247-260.
- 田中 政子 (1973). Personal Space の異方的構造について 教育心理学研究, 21, 223-232.
- 友野 貴之・古山 宣洋・三嶋 博之 (2017). 人はいかにして人と人の間を通り抜けられると判断するのか？ - 間隙アフォーダンス知覚の新たな展開 認知科学, 24, 435-449.
- Tomono, T., Makino, R., Furuyama, N., & Mishima, H. (2019). How does a walker pass between two people standing in different configurations? Influence of personal space on aperture passing methods. *Frontiers in Psychology*, 10:2651.

友野 貴之・山本 敦・古山 宣洋・三嶋 博之 (2020). すき間を通り抜けること: 間隙通過研究の動向と課題 (1987~2019 年) 認知科学, 27, 386-399.

Warren, W.H. (1984). Perceiving affordances: visual guidance of stair climbing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 683-703.

Warren, 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, 371-383.

(2025 年 1 月 14 日受稿, 2025 年 3 月 21 日受理)

著者紹介

友野 貴之

2021 年早稲田大学大学院人間科学研究科博士後期課程修了。博士 (人間科学)。早稲田大学人間科学学術院助手, 同学術院助教, 札幌学院大学心理学部講師を経て, 2024 年より現在まで同学部准教授。人の知覚と行為について生態心理学的なアプローチを用いて研究している。大学院修士課程のときに混み合った駅の自動改札付近の様子を観察したことをきっかけにして「すき間の通り抜け行為」について関心を抱き, 現在まで「すき間の通り抜け行為」に関するアフォーダンス知覚の研究を続けている。

ダイナミック・タッチの基礎

伊藤 万利子(札幌学院大学)¹

ダイナミック・タッチは生態心理学における主要な研究領域の一つである。本論文では、ダイナミック・タッチ研究の理論的基礎として、(1)ダイナミック・タッチで利用される力学的情報、(2)身体はマルチフラクタル・テンセグリティを有する媒質であり、かつ、全身が連続的な触知覚システムを構成するという仮説、を概説し、それらの理論的基礎にもとづく実験研究を紹介する。加えて、ダイナミック・タッチの研究方法を解説する。最後にダイナミック・タッチ研究の現状と課題、そしてその研究の実施方法の展望を述べて締めくくる。

キーワード：ダイナミック・タッチ、不変量、テンセグリティ、アフォーダンス、生態学的触知覚

The Fundamentals of Dynamic Touch

Mariko Ito (*Sapporo Gakuin University*)

Dynamic touch is a key research focus within ecological psychology. This paper outlines its theoretical foundations by discussing (1) the mechanical invariants involved in dynamic touch, and (2) the hypothesis that the body serves as a haptic medium, organized as a multifractal tensegrity structure, with the entire body functioning as a unified perceptual system for touch. The paper also reviews experimental studies grounded in these theoretical foundations. In addition, it discusses the methodologies employed in dynamic touch research. The paper concludes by presenting additional relevant studies on dynamic touch, identifying its challenges, and proposing directions for future research methodologies.

Keywords: dynamic touch, invariant, tensegrity, affordance, ecological haptics

1 はじめに：持つことで対象全体を知る

突然だが、まずは簡単な実験を試みてほしい。利き手の親指と人差し指でペンの端を持ち、目を閉じた状態で手首の関節を軸に手を動かし、ペンを振ってみてほしい。…ペンを振った際、どのような感覚を得ただろうか。ペンを振ったとき、ペンの一部分しか手とは接触していないにもかかわらず、ペンの広がり——ペンの長さ、厚み、向きなどのペンの特性が一つにまとまったようなもの——を感じとることができたのではないだろうか。いまペンを振ってもらった方法では、ペンを持つときにペンそのものを見てしまったであろうが、もし自分からは見えないところでペンを手渡されて振るとしても、振ることによってペンの複数

¹ E-mail: itomarik@sgu.ac.jp

の特性を同時に知覚することができるだろう。

ペンを振ってその特性を感じるときに利用された知覚は、ダイナミック・タッチと呼ばれる。ダイナミック・タッチ²とは、触知覚システムのサブシステムの一つであり(Gibson, 1966 佐々木他監訳 2011), 筋肉や筋肉に関連する結合組織の変形にともなう触知覚である(Turvey & Carello, 2011)。私たちは物体あるいは四肢の大きさや向きなどをダイナミック・タッチによって知覚する。ダイナミック・タッチはペンを振る(持つ)ときだけではなく、持ち上げる、運ぶ、押す、引く、突く、手探りする、曲げる、伸ばす、引っ張る、折りたたむ、ねじる、絞る、噛む、歩くなど多種類の行為で働く(Turvey & Carello, 2011)。ダイナミック・タッチ研究は、Gibson(1966 佐々木他監訳 2011; 1986 古崎他訳 1985)のエコロジカル・アプローチ——法則にもとづくという意味での情報が、知覚と行為の結びつきのなかで利用されるという考え方——を背景として展開されてきた。これまでの実験研究により、ダイナミック・タッチによって、物体の特性(物体の長さ、幅、方向など)、身体の特性(腕がどちらの方向を向いているのかなど)、身体に対する物体の特性(物体を把持している手の前後のその物体の部分的な長さなど)、物体に対する身体の特性(物体を把持している手が物体に対してどこにあるかなど)を知覚できる(Carello & Turvey, 2017)という知見が蓄積されてきた。

ダイナミック・タッチは生態心理学領域における主要な研究の一つであり、日常的にも身近な知覚であることから、ダイナミック・タッチに興味をもつ読者は少なくないだろう。ダイナミック・タッチ研究の実施を希望する読者も存在するかもしれない。本論文は、ダイナミック・タッチやその研究の実施に関心を寄せる初学者向けに執筆したものである。本論文では、まずダイナミック・タッチの基本的な考え方とそれにもとづく代表的な研究を概説する。続いて、ダイナミック・タッチ研究の実験パラダイムを説明する。最後にまとめとして、ダイナミック・タッチ研究の現状と課題、そしてその研究の実施方法の展望を述べて締めくくる。

2 ダイナミック・タッチの理論と研究

2.1 エコロジカル・アプローチにおける情報

ダイナミック・タッチに関する研究は、前述のとおり、Gibson(1966 佐々木他監訳 2011; 1986 古崎他訳 1985)のエコロジカル・アプローチを理論的基盤として展開されてきた。エコロジカル・アプローチとは、知覚と行為の緊密さを重視するものである。少し複雑な表現をするならば、知覚と行為の循環プロセスにおいて利用される情報、ならびにその情報によって特定されるアフォーダンスの観点から、動物がどのように環境に適応するのかを説明する理論である。

² Gibson(1966)は、ダイナミック・タッチを dynamic touching と表記している。ダイナミック・タッチはエフォートフル・タッチ(effortful touch)と呼ばれることもある。

知覚と行為の循環プロセスを説明するために、自転車走行時の例を挙げる。自転車に乗るときには、走行速度に応じて景色の流れが変化する。もし景色の流れがあまりに速すぎると感じたのなら、ペダルをこぐ速度を調整し、速度を落とすだろう。この場合、知覚した景色の流れという情報によって自転車をこぐ行為が調整されている。一方で、走行中に目を引くものがあるとき、その目標物の周辺では、目標物を観察できるように自転車の速度を落とし、目標物を詳細に見ようとするだろう。この場合、自転車をこぐ行為を調整することで、目標物を見ることを達成している。このように知覚と行為は相互に影響しあう(三嶋, 2000)。知覚から行為へ、行為から知覚へという双方向の流れは繰り返される。私たちが環境で適応的にふるまうには、行為のために知覚することと、知覚のために行為することの両方が必要で、これらは循環的に作用している。これが知覚と行為の循環プロセスである。

さらに、自転車走行時には、自転車の速度を上げると景色の流れが速くなり、右に方向転換すると景色は左側に流れる。このように、私たちの行為とそれに伴う環境の変化とのあいだには、1 対 1 の対応関係が存在する。このような対応関係は法則的であるとされる(三嶋, 2000)。ここで重要なのは、知覚と行為の循環プロセスにおいて、動物は、動物と環境の関係を法則的に反映する情報を利用しているということだ。

エコロジカル・アプローチでは、知覚と行為の循環プロセスで利用される情報を、不変量 *invariant* と呼ぶ。不変量は、動物と環境の変化のなかで持続する性質である。Gibson(1966 佐々木他監訳 2011)は、ダイナミック・タッチで利用される情報について次のように述べている。「物体の質量は、実際には、物体を投げてキャッチする、左右に揺すって動かすなどの様々な方法で物体を振ることによって判断できる。この判断は、感覚ではなく、情報にもとづいているとしか結論できない。物体を振ることで得られる刺激情報は、筋肉や腱での変化する刺激作用の流れにおける不変量であり、この力の作用のなかで外部を特定する不変量以外にはあり得ない。物体の質量を特定するものは、おそらく変化から切り離すことができ、物体を振ることは、変化から永続的な成分を分離する機能をもっている (Gibson, 1966, p. 127)」。ここでは、振る対象の特性の一つである質量の例で記述されているが、対象を振ったときに、筋肉や腱での刺激作用の流動のなかで、不変量、つまり情報が検知され、対象の特性が知覚されるというアイディアが提示されている。このアイディアにもとづき、ダイナミック・タッチ研究では、ものを振って「投げられる」のか、「打てる」のかなどを知覚するとき、どのような情報が検知されるのかということが主要な問いとされてきた。

2.2 ダイナミック・タッチで利用される情報

ダイナミック・タッチにおいて検知される情報とは何だろうか。アメリカのコネチカット大学の研究者たちは、物体の質量分布のモーメントがダイナミック・タッチによる知覚に利用される情報であると仮定してきた。なぜなら、人の腕や脚の運動は基本的に回転運動であり、物体の質量分布のモーメントは動作の速度や大きさの変化、筋肉や筋膜の変形に対して不変量であるためである。物体の質量分布のモーメントには 0 次モーメント(質量)、1 次モーメント(静モーメント)、2 次モーメント(慣性モーメント)がある。このうち 2 次モーメント

である慣性モーメントがダイナミック・タッチで利用される情報の有力な候補とされ、多くの研究が慣性モーメントに焦点を当ててきた(Carello & Turvey, 2017).

慣性モーメントとは、止まっている物体を回転させようとしたり、回転中の物体の速度を変化させようとしたりするときに生じる物体の抵抗を定量化したものである。私たちにとっては、慣性モーメントは回転に対する動かしにくさとして知覚される。慣性モーメントは、手(回転中心)から質点までの距離を 2 乗し、それに質量を掛け、全ての質点に対して同様に計算し、合計することで求められる。この値は 1 つの回転軸に対して決まるが、実際に物体を振るときには 1 つの回転軸ではなく、3 つの回転軸が考慮される。3 つの回転軸で考える場合、各軸に対応して、回転軸の正接方向の抵抗として慣性モーメントが 3 つ定義される。さらに、慣性乗積という法線・半径方向の抵抗が 3 つ定義される(Turvey, 1996 三嶋訳 2001)。慣性乗積は、例えば質量に偏りがある物体を回転させた場合に生じる x-y 平面, y-z 平面, x-z 平面の引っ張りのようなものであり、質量分布の非対称性が慣性乗積に反映される(Carello, 2005 廣瀬訳 2005; Carello & Turvey, 2017)。これらの慣性モーメントと慣性乗積の値は、以下のように 3×3 の行列で表され、慣性テンソルと呼ばれる (Turvey, 1996 三嶋訳 2001)。

$$\begin{bmatrix} I_{XX} & I_{XY} & I_{XZ} \\ I_{YX} & I_{YY} & I_{YZ} \\ I_{ZX} & I_{ZY} & I_{ZZ} \end{bmatrix}$$

行列の左上から右下の対角線上に位置する 3 つの値が慣性モーメントであり、その他の 6 つの値が慣性乗積である。さらに、この行列は対称性を持ち、慣性乗積の 6 つの値のうち 3 つは重複しているため、慣性テンソルは 6 つの独立した値によって定義される(Turvey, 1996 三嶋訳 2001)。慣性テンソルは、ある対象のある点まわりの回転に対する抵抗を定量化しており、ある対象を動かすのがどれほど簡単か、あるいは困難であるかを示す(Carello, 2005)。

慣性テンソルはダイナミック・タッチで利用される情報である可能性があるが、不変量として用いるには問題がある。なぜなら、慣性テンソルの値は回転中心(たとえば手首)の座標系の取り方によって変化するからである。実際に物体を振るとき、把持位置の違いによって慣性テンソルの値が変わるため、座標系に依存しない特性として適当とは言えない。この点は、ある物体を振るときに座標系にかかわらず決まる一組の軸を選ぶことで解決される。その一組の軸は、手—物体システムの対称軸である。この対象軸を選択すると、慣性乗積はゼロになり、慣性モーメントのみが残る。このように定義された慣性モーメントは、固有値または主慣性モーメントと呼ばれる。このときの軸は固有ベクトルと呼ばれる。固有値と固有ベクトルを使った幾何学的表現が慣性楕円体(Figure 1)である(Carello, 2005 廣瀬訳 2005; Turvey & Carello, 2011)。慣性楕円体は、物体の質量分布を幾何学的に示すものであり、ダイナミック・タッチにおいて物体が「どのように見えるか」を表す。慣性楕円体の軸は固有ベクトルに対応している。楕円体の形状は、物体をさまざまな方向に移動させるために必要な力の相対的な量を示しており、慣性楕円体の長さや幅は固有値によって変化する(Blau & Wagman, 2023)。この慣性楕円体からは次の予測が成り立つ: もし、ダイナミック・タッチにおいて固有値と固有ベクトルが情報として利用されるのならば、対象の大きさの知覚は固有

値にもとづき、対象の方向の知覚は固有ベクトルにもとづく (Carello, 2005 廣瀬 2005)。

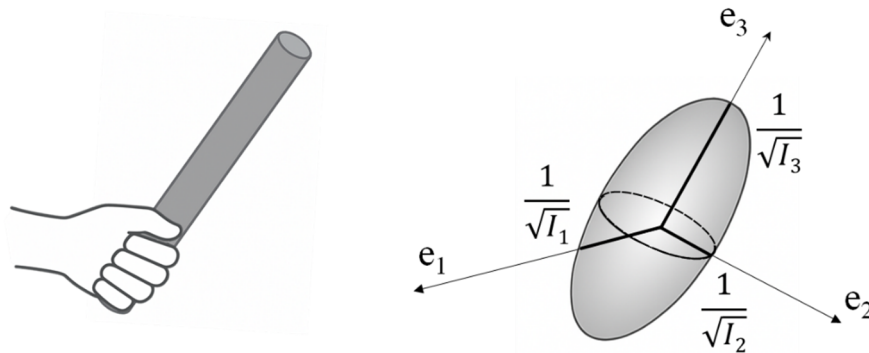


Figure 1 手と棒、および棒に対応する慣性楕円体 (三嶋(2000), Turvey(1996)を参考に作成). e_1 , e_2 , e_3 は慣性テンソルの固有ベクトルを, I_1 , I_2 , I_3 はその固有値を表す. 慣性楕円体の中心から楕円体の表面への軸に沿った距離は, 対応する軸の固有値の平方根の逆数に比例する (Turvey, 1996 三嶋 2001).

コネチカット大学の研究者たちは、慣性テンソルの固有値と固有ベクトルをダイナミック・タッチで利用される情報として提案している (Carello & Turvey, 2017 など). これまでの研究によって、固有値と固有ベクトルが物体や身体の特性をどのように特定しているのかが明らかにされてきた. 知覚される物体の大きさ(長さ, 幅, 重さ³など)は固有値にもとづくものであり (Amazeen and Turvey, 1996; Fitzpatrick et al., 1994; Turvey et al., 1998), 知覚される方向(物体の向き, 身体の向きなど)は固有ベクトルにもとづくものである (Pagano & Turvey, 1992; Pagano et al., 1996 など). さらに, 知覚される方向の大きさ(たとえば, 棒を把持しているときの把持位置より前方の棒の長さなど)は固有値と固有ベクトルの両方にもとづいている (Carello et al., 1996 など).

しかしながら, 物体や身体の方きを特定する情報に関しては, 質量分布の 1 次モーメントによるものであり, 固有ベクトルにもとづかないという実験結果も報告されている (van de Langenberg et al., 2007; van de Langenberg et al., 2008; Silva & Turvey, 2012). これらの結果は, 慣性テンソルにもとづく情報の理論に対して異議を唱えるものである (Carello & Turvey, 2015).

³ ダイナミック・タッチによる重さ知覚の研究は, 「大きさ—重さ錯覚」として知られている現象が固有値にもとづくことを明らかにしている (Amazeen & Turvey, 1996). つまり, 「大きさ—重さ錯覚」は錯覚というよりも, 固有値の知覚として説明され得ることを意味する (三嶋, 2000). また, 慣性テンソルは物体をさまざまな方向に動かしやすいか, 動かしにくいを表すことから, 重さの知覚は, 物理的な特性としての「重さ」の知覚というより, 動物と環境の双方の特性が関与する動かしやすさの知覚として特徴づけることができる (Shockley et al., 2004).

2.3 情報を支える身体構成：媒質としてのテンセグリティ構造

エコロジカル・アプローチにおける情報とは、光や音などが構造化されたエネルギーのパターンである。光・音など、動物にとって利用可能なエネルギーが構造化される際に重要な役割を果たすものの一つが媒質である。媒質とは、ヒトにとっては通常、空気をさす。媒質にはいくつかの特徴があるが、情報との関連では、媒質には均質性があるということをおさえておくべきだろう。環境内で音が発生するなどして空気中で密度勾配が生じたとする。そのとき、空気中に一時的に密度勾配が生じたとしても、その勾配は散逸し、空気は均質になる傾向がある。媒質のこのような性質に支えられ、光・音などは発生源から進み、環境内で満ちて、私たちは見たり、聞いたりすることができるのである (Gibson, 1986 古崎他訳 1985)。ここで触知覚のことを考えてみると、他の知覚とは異なり、媒質がないように思われる。力学的なエネルギーの伝搬を可能にする媒質は、触知覚には存在しないのだろうか？

この問いに対して、Turvey & Fonseca (2014)は、身体の骨格・筋肉・結合組織の結びつきに注目し、テンセグリティ構造をもつ身体が触知覚の媒質であると提案している。テンセグリティ構造⁴とは、張力と圧縮力の相互作用により全体のバランスが保たれ、統合性が維持される構造のことである。Figure 2 は、テンセグリティ構造をもつ模型である。この模型は正 20 面体を基本にした構造をもつが、正 20 面体以外のテンセグリティ構造も存在する。この模型は伸縮性のある紐と木の棒とから構成されている。伸縮性のある紐同士は接続するところがある。一方、木の棒同士は触れ合っていないのだが、伸縮性のある紐の張力によって支えられ形状を保っている。この模型を押すと形が変わるものの壊れない。一般にテンセグリティ構造では、外力が働かないときでも構造体に作用する張力と圧縮が全体を安定させている。外力が働く場合には、張力と圧縮が構造に強度・弾力性・柔軟性を与える (Ingber, 1993)。テンセグリティ構造のある部分に外力が働くと、その力は即座にシステム全体に分配され、形状は変化するが構造全体としての平衡は維持される。つまり、局所的な力が加わると、それが大域的な力のパターンとして現れると言える (Wagman et al., 2023)。

⁴ テンセグリティ構造は、一般に、彫刻家・写真家の Kenneth Snelson が考案し、建築家・デザイナー・思想家など複数の肩書をもつ R. Buckminster Fuller によって概念化されたとされている。ただし、この構造とその原理の起源をめぐる解釈には、複数の見解が存在する。テンセグリティは張力(tension)と統合性・完全性(integrity)を組み合わせた言葉である。

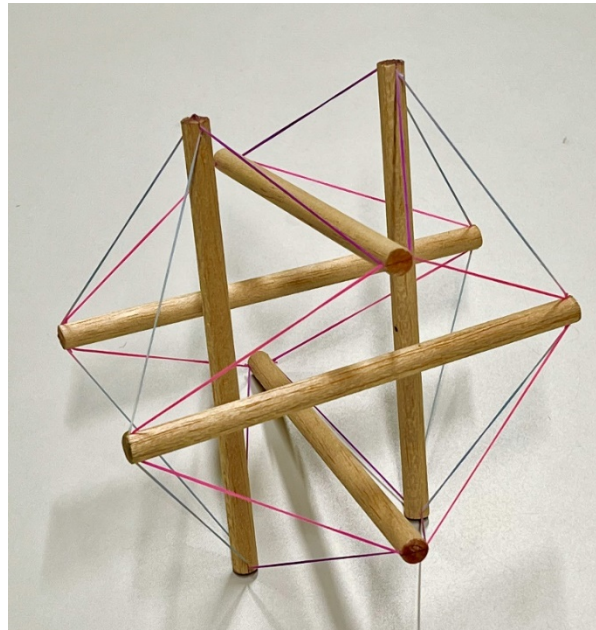


Figure 2 テンセグリティ構造の模型。(写真提供: 三嶋博之先生)

Turvey & Fonseca (2014)は、テンセグリティ構造が身体のあらゆるスケールで入れ子になった、マルチフラクタル・テンセグリティとして身体を特徴づけており、これが触知覚の媒質であると仮定している。例えば、身体レベルでは、骨が圧縮材に、緊密かつ相互に結びついた軟部組織(筋膜)ネットワークが張力材に相当する。受容体を含む細胞レベルでは、内部の微小管の支柱および細胞外マトリックスの接着部位がそれぞれ圧縮材として、緊密かつ相互に結びついた細胞骨格のマイクロフィラメント(アクチンフィラメント)と中間径フィラメントのネットワークが張力材として考えられる(Turvey & Carello, 2011)。マルチフラクタル・テンセグリティ構造をもつ身体は、外部から力が加えられるときもそうではないときも、常に力のバランスをとっている。各スケールの張力材と圧縮材は、外力がない状態でも身体全体を安定させ、構造を維持する。身体のある部分に外力が加えられた場合やその部分から力が発生した場合には、その力は即座に入れ子状になった構造全体に分配され、局所的に加えられた力が大域的で多次元的な力のパターンを形成する。このとき、一時的に勾配のある力学的エネルギーが全体に配分されるという点で、マルチフラクタル・テンセグリティ構造に均質性のようなふるまいが現れることがわかる。ダイナミック・タッチには筋力が必要であり、筋力は筋肉や結合組織の時間的に変化する変形を伴う(Turvey & Carello, 2011)。これらを併せて考えると、例えば手で持った棒の長さをダイナミック・タッチで知覚するとき、手という特定の部位で発生した力は、ダイナミック・タッチに伴う筋肉や結合組織の変形を通じて、入れ子状になったテンセグリティ構造をもつ身体全体に分配され、大域的かつ多次元的な力のパターンが形成されると言える。

Turvey & Fonseca(2014)は、身体がマルチフラクタル・テンセグリティ構造をもつことを前提に、この構造が単なる媒質としての役割をもつにとどまらず、力の受容と調整を行う多

層的な器官としても機能すると示唆している。従来の知覚理論において触知覚は、他の知覚システムとは異なり、触知覚に特化した器官が明確に定義されていない。加えて、触知覚の受容器は全身に分布し、局所的かつ独立的に働くものと考えられてきた。しかし、身体がマルチフラクタル・テンセグリティ構造をもつと仮定することで、全身に受容器をもつ連続的なシステムとして触知覚を理解することが可能になる。また、物体を手で振る際に局所的に発生した力の受容と調整が身体全体に波及することから、たとえ手という特定の器官で物体を振っていたとしても、ダイナミック・タッチは全身が関与する活動であると言えるだろう。

2.4 全身に受容器をもつ連続的なシステム

マルチフラクタル・テンセグリティ構造の身体を前提とすると、触知覚システムは全身に受容器をもつ連続的なシステムであると考えられる。この仮定にもとづくと、Gibson(1966 佐々木他監訳 2011)が触知覚の章で指摘したように、ダイナミック・タッチによる知覚は手に限定されるものではなく、他の解剖学的器官においても可能であると予測される。さらに、どの解剖学的器官でダイナミック・タッチをしても、筋肉や結合組織の変形によって全身に埋め込まれた機械受容器が活性化することから、特定の器官の分解能が特別際立つわけではないことも予測される(Turvey & Carello, 2011)。

実際に、ダイナミック・タッチの実験研究においてこれらの点は検証されている。例えば、足(Hajnal, Fonseca, Harrison et al., 2007; Hajnal, Fonseca, Kinsella-Shaw et al., 2007)、胴体(Palatinus et al., 2011)、および頭部(Wagman et al., 2017)によって棒の長さを知覚できることが示されている。これらの研究では、手と他の身体部位を比較しており、手以外の部位も手と同等の精度で棒の長さを知覚できることを報告している。注目すべきは、手と他の身体部位は、解剖学的形態の違い、受容器の数の違い、日常的に物の操作に使用される頻度(経験)の違いがある(Hajnal, Fonseca, Kinsella-Shaw, et al., 2007)にもかかわらず、手とその他の部位で物の長さの知覚が同様の精度でできたことである。このことは、ダイナミック・タッチの能力が特定の解剖学的部位に強く依存しないことを示唆する。

触知覚が連続的かつ全身のシステムであることを支持する他の研究も存在する。Carello et al. (2006) は、背側柱系の損傷によって手から肩まで無感覚な左腕をもつ参加者を対象に、物体の長さを知覚する実験を行った。参加者は左手で物体を識別したり、物体が手にあることを感知したりすることはできなかったが、物体をしっかりと握り、振ることは可能だった。実験の結果、参加者は左手で物体の長さを知覚できることが示された。Carello et al. (2008) は、糖尿病によって両足から膝までの感覚を失っている参加者が、利き足に物体を固定された状態で、その物体の長さを知覚することができたことを報告している。これらの研究結果は、触知覚システムが、離散的かつ独立したシステムではなく、全身にわたる連続的なシステムであるという主張と一致する。加えて、このような構造をもつ触知覚システムが、身体の柔軟性を支えていることも示唆される(Wagman et al., 2023)。

2.5 アフォーダンス知覚

ダイナミック・タッチ研究では、長さ、幅、形状、向き、重さなど、特定の特性の知覚が数多く検討されてきた。これらの研究は、主としてダイナミック・タッチで利用される情報の解明を目的として行われてきた(cf. Carello & Turvey, 2017)。一見すると、ダイナミック・タッチによるこれらの特性の知覚は日常生活での行動とは直接結びつかないように思えるかもしれない。物体の長さの知覚ができたからといって、それが私たちの行動にとって意味や価値をもつとは限らないように思えるかもしれない。しかし、例えば、冷蔵庫の下の際間に転がり込んだブドウの粒を取り出すために適した道具を選ぶ場面を考えてみよう。この場合、選ぶべき道具には、ブドウの粒まで届く長さ、冷蔵庫と床の際間に入る幅、さらにブドウの粒を押し出せるのに十分な重さが求められる。このように、長さの知覚は、その物体を使って目標とするところに到達するかどうかという知覚に、幅の知覚は、その物体を隙間に入れられるかどうかという知覚に、重さの知覚はその物体を使って別の物体を動かすことができるかどうかという知覚に結び付いている。つまり、ダイナミック・タッチによる特性の知覚は、ひいては、アフォーダンスの知覚と密接に結びついているのだ。実際、ダイナミック・タッチ研究の基盤となっている Solomon & Turvey (1988)の論文のタイトルが“Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects”であることから、ダイナミック・タッチ研究では、単に特性を知覚することというより、アフォーダンスの知覚に焦点があることがわかる。

さらに、物体の特性の知覚は、その物体がどのような用途に適しているのかを知覚する際にも重要である。ダイナミック・タッチ研究の文脈では、道具の使用という観点からアフォーダンスの知覚が検討されてきた。Wagman & Carello(2001)は、手に持った物体の質量分布を操作することで、その物体がハンマーのように打ち付ける用途に適しているのか、ビリヤードのキューのように突く用途に適しているのかを調べた。その結果、打ち付ける場合には質量が遠くに偏った物体が、突く場合には質量が中心に近い物体が選ばれることが示された。また、Wagman & Carello(2003)は、物体を力強く打つ場合と精密に打つ場合で、最適とされる把持位置が異なることを明らかにした。具体的には、力強く打つ場合には質量が遠くに集中するように持つ傾向があり、精密に打つ場合には質量が近くに集中するように持つ傾向があった。同様の結果は、ホッケーのスティックを用いた実験でも確認されている(Hove et al., 2006)。Hove et al. (2006)の実験において、参加者は、162cmの長さのスティックの先端から 5.5 cm のところを左手で、59.0 cm のところを右手で握ったのだが、ホッケーのノービスは、力強く打つ条件では質量が遠位に集中した(底部に重りがついている)スティックを、精密に打つ条件では質量が近位に集中した(上部に重りがついている)スティックを選好した。しかしながら、エキスパートのアイスホッケー選手は、両条件で上部に重りのあるスティックを選好した。実験に参加したアイスホッケー選手は、スティックが「軽い」ことを重視し、バックに最大の力を伝達するのに適しているかどうかを決める上ではスティックの底部が「重い」ことよりも、スティックシャフトのしなりが重要であると述べていた。このことから、エキスパートのアイスホッケー選手の選好は、ダイナミック・タッチにもとづくアフォーダンス知覚研究で注目されてきた力学的情報のみでは説明が難しいが、自分のスキ

ルやタスク特性に応じてより適切な情報を選択していることが示唆される。以上の研究および他の関連研究(Wagman & Taylor, 2004 など)は、ダイナミック・タッチによって特定のタスクに適したアフォーダンスが知覚されること、道具使用時における道具の質量分布、すなわちアフォーダンスに関する力学的情報が知覚に影響を与えること、さらに、使用される力学的情報はスキルによって異なる可能性があること、を示している(Carello & Wagman, 2009)。

3 ダイナミック・タッチ実験の方法論

3.1 Solomon & Turvey (1988)の実験

ここまで、ダイナミック・タッチの理論的基礎とそれに関連する研究を紹介してきた。次に、ダイナミック・タッチの研究がどのような方法で行われるのかを説明する。まずは、一連のダイナミック・タッチ研究の基礎となった Solomon & Turvey (1988)の実験を紹介する。

Solomon & Turvey (1988)は、手に持った棒が届く距離、すなわち長さをダイナミック・タッチで知覚するときに利用される情報が何かを調べた研究である。この論文では9つの実験が報告されており、情報の候補となる変数(棒の重さ、棒を振る方向、棒を振る周期、慣性モーメント)を独立変数とし、知覚量(手に持った棒が届く距離)を従属変数として、ダイナミック・タッチにおける情報が何であることを検証した。彼らの実験では、参加者に見ないで手に持った棒を振ってもらい、棒の先端がどこに到達するのかを判断してもらった。その際、参加者には、棒の先端部分の位置を可動式の板の位置を調整することによって報告してもらった⁵。このときの報告値が従属変数として記録された。なお、実験によって棒を振る周期をメートルノームで設定したり、棒に重りを付けたりするなどして独立変数の操作が行われた。実験により得られたデータに対しては、分散分析が行われ、独立変数と従属変数の因果関係が明らかにされた。加えて、慣性モーメントを独立変数としている実験では、慣性モーメントと知覚量のあいだに成立する関数関係を調べており、それらの関係が一つのべき乗関数に適合することが示された。

3.2 ダイナミック・タッチ実験一般

上記の Solomon & Turvey (1988)の方法は、ダイナミック・タッチ研究の標準的な実験パラダイムである。本節では、ダイナミック・タッチ研究の目的、方法、分析について補足する。

目的：ダイナミック・タッチ研究の大枠の目的は、参加者が視覚を用いずに、ある物体の特性あるいはその物体のアフォーダンスをダイナミック・タッチによってどのように知覚するのかを調べることである。ただし、各研究によって研究上の問いは異なる。Solomon & Turvey (1988)の場合、ダイナミック・タッチによって手に持った物体の到達可能な距離を知

⁵ 実験の模式図は Solomon & Turvey (1988)や Turvey(1996)を参照されたい。

覚するときの触知覚サブシステムの法則的な基盤，すなわちダイナミック・タッチで利用される情報の理解を目指していた．そのほかのダイナミック・タッチ研究の研究上の問いは，「足と手のダイナミック・タッチの知覚能力を調べ，比較する(Hajnal, Fonseca, Kinsella-Shaw et al., 2007)」 「参加者がホッケースティックのアフォーダンスを感知できるかどうか，さらに知覚運動経験がアフォーダンス知覚に与える影響を調べる(Hove et al., 2006)」 「棒を動かさずに手で持つという探索運動が制限された条件下で，ダイナミック・タッチによってどの程度棒の長さを知覚できるのか(Burton & Turvey, 1990)」 「手に持った棒(プローブ棒)で別の棒(ターゲット棒)の長さを知覚するとき，知覚されたターゲット棒の長さは，慣性モーメントにもとづくものなのか(Peck et al., 1996)」 「物体を振るときの運動パターンは意図の違い(高さの知覚あるいは幅の知覚，棒を握った位置の知覚あるいはその前方の長さ)によって異なるのか(Riley et al., 2002)」 「静止立位で肩に取り付けられた棒の長さをダイナミック・タッチで知覚するとき，棒の部分長あるいは全長を知覚するという意図によって，姿勢の変動は区別されるのか(Palatinus et al., 2014)」 など多岐にわたる．これらの研究は，それぞれ異なる研究上の問いにもとづいて進められている．

方法：ダイナミック・タッチ研究では，通常，心理学研究法における実験法が用いられる．具体的には，参加者はある物体の一部，あるいは物体に取り付けられたハンドルを把持し，視覚を遮断された状態で物体を振る．そして参加者は，知覚した物体の長さなどの知覚量を報告する．このときに注意点がいくつかある．まず，実験で使用する物体は，実験によって異なるが，その物体の質量分布を操作できるものが選ばれることが多い．例えば，Solomon & Turvey (1988)の実験では，質量分布を操作できるように棒に重りを取り付けた物体が使用された．また，ダイナミック・タッチの実験では，「テンソル・オブジェクト」(Amazeen and Turvey, 1996)と呼ばれる物体が使用されることもある．テンソル・オブジェクトは，複数の棒がジョイントで連結されて構成され，棒に重りを取り付けることもできる装置である．テンソル・オブジェクトのジョイントと重りの位置を調整することで，長さ・幅・質量が同じでありながら，固有値が異なる物体を作ることができる．ダイナミック・タッチの実験では，視覚の影響を除外するため，参加者が持つ物体が視野に入らないよう，衝立などの遮蔽物が用いられる．さらに，知覚量の報告には，マグニチュード産出法がよく用いられる．この方法では，参加者は，知覚した刺激強度を基準として，同じ強度や異なる強度(2倍や半分など)を再現するように求められる．ダイナミック・タッチの実験では，知覚量の報告にマーカー(知覚量の報告器具で，Solomon & Turvey (1988)の実験では可動式の板)がよく用いられる．ダイナミック・タッチ実験では，長さ，高さ，幅，向きなどの知覚量の報告にマグニチュード産出法が使われることが多いが，マグニチュード推定法が用いられることもある．マグニチュード推定法は，ある刺激強度に対する感覚を基準とし，異なる刺激を与えられたときにその刺激強度が基準刺激に対する感覚の何倍に相当するかを参加者に数値で回答させる方法である．例えば，標準物体に 100 の値を割り当てたとすると，標準物体の半分の重さに感じられる物体には 50，標準物体の 2 倍の重さに感じられる物体には 200 を割り当てて回答するということになる．これは重さ知覚の実験で使われる．さらに，アフォーダンス知覚のような，ある物体が環境内でどのように使えるか，またどのような働きをする

かという機能的な特性を知覚する研究の場合、その物体が特定の課題にどの程度適しているのかを 1 から 7 までの尺度を用いて評価する。この評価方法では、参加者は、その課題を行うのに最も適していると知覚したときには 7、最も適していないと知覚したときには 1 で回答する(Carello & Turvey, 2017)。

分析：データ分析では、独立変数と従属変数の因果関係を分散分析で評価することが多い。例えば、Solomon & Turvey(1988)の実験の一つでは、棒の長さとしりを取り付けた位置を独立変数、知覚された長さを従属変数として分散分析が実施された。さらに、ダイナミック・タッチで利用される情報と知覚量との関係が、べき乗関数に適合するのか調べられることがある。また、重回帰分析によって知覚に寄与する情報の候補変数を特定する研究もある。加えて、知覚の一貫性・信頼性の指標として average deviation (AD)が、知覚の精確さの指標として Mean root square (MRS) error が算出されることもある。AD が高いほど信頼性が低く、MRS が高いほど精度が低いことを示す(Carello et al., 2008)。

4 展望

4.1 生態学的触知覚への道

本論文では、ダイナミック・タッチの理論的な基礎とその関連研究を述べた。そのため、本論文で紹介したダイナミック・タッチ研究は限定的である。本論文では、ダイナミック・タッチで利用される情報、テンセグリティの仮説にもとづくもの(ダイナミック・タッチは特定の解剖学的器官に特化していない)、アフォーダンスの知覚に関する研究を中心に挙げた。しかしながらそれらのほかにも多数の研究事例がある。例えば、これまでのダイナミック・タッチ研究により、把持位置に関係なく、ダイナミック・タッチで長さを知覚可能であること(Cooper et al., 2000; Pagano et al., 1994)、全長だけではなく部分的な長さを知覚できること(Cooper et al., 2000; Hajnal, Fonseca, Harrison et al., 2007; Hajnal, Fonseca, Kinsella-Shaw et al., 2007; Palatinus et al., 2011; Solomon et al., 1989; Wagman et al., 2017)、振るという探索行為が制限されていても物体の長さを知覚できること(Burton & Turvey, 1990; Carello et al., 1992)がわかっている。そのほかの研究には、振るときの空気あるいは水の影響を調べた研究(Mangalam et al., 2017; Pagano & Cabe, 2003; Pagano & Donahue, 1999)や、ダイナミック・タッチは運動にもとづいていることから、筋肉の働きに影響を与える温度を操作した研究(Mangalam, Wagman & Newell, 2018)がある。ダイナミック・タッチへの加齢の影響を調べた研究(Carello et al., 2000)も存在する。柔軟体である紐の長さ知覚とそれに伴う探索運動(三嶋, 2000)、棒を振るときの意図と探索運動パターン(Riley et al., 2002)、長さ知覚時の意図と姿勢のフラクタル性(Palatinus et al., 2014)、探索運動のフラクタル性(Stephen et al., 2010)のように、ダイナミック・タッチと運動・姿勢に注目する研究もある。また、棒を用いて別の棒の長さを知覚する(Peck et al., 1996)、触知覚シミュレーターを用いた実験で、腹腔鏡手術用のハサミ型グリップハンドルがついた鉗子ツールを使用し、柔軟な表面に力を加え、材料が破損する場所を知覚する(Altenhoff et al., 2017; Hartman et al., 2016)など、拡張された身体(あるいは拡張された触知覚)の研究もある。ダイナミック・タッチの知覚学習の研究(Arzamarski, et al., 2010; Mangalam et al., 2019; Wagman et al., 2001; Withagen et al.,

2009), さらに, ヒトのオドメーター(移動距離計)としての機能が歩行によるダイナミック・タッチにもとづくと考えられることから, ダイナミック・タッチをナビゲーションに拡張した研究(Harrison & Turvey, 2010; Harrison et al., 2020)も行われている。

これまでに述べてきたダイナミック・タッチ研究は, 単に手で物体を振る行為にとどまるものではない。身体各部位でのダイナミック・タッチや, 拡張された身体によるダイナミック・タッチ, さらに振る行為を超えた検証も行われている。したがって, これまでのダイナミック・タッチ研究は, 日常的な現象を網羅しているわけではないが, ある程度の広い範囲をカバーしており, 日常生活におけるダイナミック・タッチ現象と関連するものを含んでいると考えられる。しかしながら, 本論文で最初に述べたように, ダイナミック・タッチは触知覚システムのサブシステムの一つである。Gibson(1966, 佐々木他監訳 2011)は, 他の触知覚サブシステムとして, 皮膚接触, 触運動的接触⁶, 接触—温度, さわることに伴う痛みを挙げている。エコロジカル・アプローチにもとづいて, 情報やアフォーダンスの観点から触知覚システムの統一的な説明が可能かどうかを検証することは, 今後の課題の一つであろう。

触知覚システムには, (1)運動と切り離すことができず, 入力と出力の区別があいまいである, (2)全身に広がるシステムであり, 能動的に力学的エネルギーを獲得する。このため, 網膜像に相当するものは存在せず, 触覚表象やその位置は不明確である, という特徴がある(Wagman et al., 2023)。このような特徴をもつ触知覚システムの統一的な枠組みは, 情報にもとづく知覚—行為論に立脚した生態学的視知覚・聴覚の枠組みと同様に, 従来の知覚理論—受動的で, 入力と出力が切り離され, 直線的な因果関係の連鎖にもとづくもの—に対して, 新たな転回をもたらす可能性を秘めている。

4.2 エコロジカルな方法

本論文では, ダイナミック・タッチの研究方法を述べた。ダイナミック・タッチ研究の実施に関しては, 特定のダイナミック・タッチ研究に関心をもつ読者は, 既存の先行研究にもとづいて行えばよいだろう。しかし, 日常のダイナミック・タッチ現象に関心を抱く読者や, ダイナミック・タッチ研究の文脈のなかの問いというよりは, その現象における問いを検証したいと考えている読者にとっては, ここで紹介した研究の一定の抽象化が物足りなさを感じさせるかもしれない。

この点に関連して, Reed(1996 細田訳 2000)は次のように述べている。「科学的心理学者の大部分は, 日常生活に関するエセ心理学者たちの不適切な説明をきちんと批判しているわけではない。たんに, 自己の立場を正当化してくれる神話, 『科学』=『実験的統制』=『現実世界の複雑さの回避』という神話のなかに逃げ込んでいるだけだ。このような生ぬるい状

⁶ 触運動的接触とは, アクティブ・タッチのことである。なお, Gibson(1962)のアクティブ・タッチの実験は Harre(2011, 小出訳 1984)の著書において世界を変えた 20 の科学実験の 1 つとして紹介されている。

況からの脱出口を示すこと、そして、リアルで生きた、〈サイコロジカル〉な問題を研究するための適切な基盤に基づいた科学的方法(そこには実験的方法も含まれる)をあたえること——それができたなら、生態心理学は成功である(Reed, 1996 細田訳 2000, p. 12)」。

ダイナミック・タッチ研究そのものは、先に述べたとおり、根底にはアフォーダンスの知覚に焦点がある。ダイナミック・タッチ研究の基本的な研究方法を、特定の現象にそのまま適用することは難しいかもしれない。しかし、現行のダイナミック・タッチ研究には、日常の現象と接続可能なものが含まれていると考えられる。そのため、日常のダイナミック・タッチ現象に関心を抱く読者であっても、まずは先行研究にあたる必要があるだろう。

Reed(1996 細田訳 2000)にもとづけば、エコロジカル・アプローチは、現象の豊かさを維持しながら〈サイコロジカル〉な問いを検証できる科学的方法と言える。情報とそれにもとづくアフォーダンスを中心に据えるとしても、〈サイコロジカル〉な問いに回答していくためのダイナミック・タッチの研究方法が確立されているとは言い難い。このことはダイナミック・タッチ研究、ひいてはエコロジカル・アプローチにおける重要な課題の一つであると考えられる。

4.3 読書案内

本論文は、初学者向けに執筆したつもりではあるが、言葉が足りない部分があるかもしれない。そのような点は、Blau & Wagman(2023)や三嶋(2000)を参照し、補完してほしい。これらの文献では、ダイナミック・タッチについて平易な言葉で説明がなされている。日本語に翻訳されている文献には、Carello(2005 廣瀬訳 2005)や Turvey(1996 三嶋訳 2001)がある。ダイナミック・タッチのより詳細な内容に関心のある読者には、Carello & Turvey (2015, 2017), Turvey & Fonseca(2014), Turvey & Carello(2011), Wagman et al. (2023)を推奨する。

謝辞

本論文の執筆の機会をくださいました特集担当編集委員の先生方、ならびに査読をしてくださった先生方に心より御礼申し上げます。また、テンセグリティの写真をご提供いただいた三嶋博之先生に深く感謝いたします。三嶋先生には、論文執筆の最終段階において、私のまとまりのない話を丁寧に聞いていただきました。いつも温かいご助言と励ましをありがとうございます。

引用文献

- Altenhoff, B. M., Pagano, C. C., Kil, I., & Burg, T. C. (2017). Learning to perceive haptic distance-to-break in the presence of friction. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 43, 231–244. <https://doi.org/10.1037/xhp0000298>
- Amazeen, E. L., & Turvey, M. T. (1996). Weight perception and the haptic size—weight illusion are functions

- of the inertia tensor. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(1), 213–232. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.22.1.213>
- Arzamarski, R., Isenhower, R. W., Kay, B. A., Turvey, M. T., & Michaels, C. F. (2010). Effects of intention and learning on attention to information in dynamic touch. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 721–735. <https://doi.org/10.3758/APP.72.3.721>
- Blau, J. J. C., & Wagman, J. B. (2023). *Introduction to Ecological Psychology: A Lawful Approach to Perceiving, Acting, and Cognizing*. New York and London: Routledge.
- Burton, G. & Turvey, M.T. (1990). Perceiving the Lengths of Rods That are Held But Not Wielded. *Ecological Psychology*, 2(4), 295-324, DOI: 10.1207/s15326969eco0204_1
- Carello, C. (2005). 筋感覚の物理学と心理学—Claudia Carello 教授講演—生態心理学研究, 2(1), 57-67. (キャレロ, C. 廣瀬 直哉 (訳) (2005). 筋感覚の物理学と心理学—Claudia Carello 教授講演—生態心理学研究, 2(1), 57-67.)
- Carello, C., Fitzpatrick, P., Domaniewicz, I., Chan, T.-C., & Turvey, M. T. (1992). Effortful touch with minimal movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(1), 290–302. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.1.290>
- Carello, C., Kinsella-Shaw, J., Amazeen, E. L., & Turvey, M. T. (2006). Peripheral neuropathy and object length perception by effortful (dynamic) touch: A case study. *Neuroscience Letters*, 405, 159–163.
- Carello, C., Santana, M. V. & Burton, G. (1996). Selective perception by dynamic touch. *Perception & Psychophysics*, 58, 1177–1190. <https://doi.org/10.3758/BF03207551>
- Carello, C., Silva, P. L., Kinsella-Shaw, J. M., & Turvey, M. T. (2008). Muscle-based perception: theory, research and implications for rehabilitation. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 12, 339–350.
- Carello, C., Thuot, S., & Turvey, M. T. (2000). Aging and the perception of a racket's sweet spot. *Human Movement Science*, 19, 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0167-9457\(99\)00044-5](https://doi.org/10.1016/S0167-9457(99)00044-5)
- Carello, C., & Turvey, M. T. (2015). Dynamic (effortful) touch. In T. J. Prescott, E. Ahissar, & E. Izhikevich (Eds.), *Scholarpedia of touch* (pp. 229–242). Paris, France: Atlantis Press.
- Carello, C., & Turvey, M. T. (2017). Useful dimensions of haptic perception: 50 years after the senses considered as perceptual systems. *Ecological Psychology*, 29(2), 95–121. <https://doi.org/10.1080/10407413.2017.1297188>
- Carello, C., & Wagman, J. B. (2009). Mutuality in the perception of affordances and the control of movement. In D. Sternad (Ed.), *Progress in motor control* (pp. 273–292). New York, NY: Springer Verlag.
- Cooper, M. M., Carello, C., & Turvey, M. T. (2000). Perceptual independence of whole length, partial length, and hand position in wielding a rod. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(1), 74–85. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.26.1.74>
- Fitzpatrick, P., Carello, C., & Turvey, M. T. (1994). Eigenvalues of the inertia tensor and exteroception by the “muscle sense.” *Neuroscience*, 60, 551–568.
- Gibson, J. J. (1962). Observations on active touch. *Psychological Review*, 69, 477–490.
- Gibson, J. J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton Mifflin (ギブソン, J. J. 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 東京大学出版会)

- Gibson, J. J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: LEA (Originally published in 1979). (古崎 敬・古崎 愛子・辻 敬一郎・村瀬 旻 (訳) (1985). 生態学的知覚論 ヒトの知覚世界を探る サイエンス社)
- Hajnal, A., Fonseca, S. T., Harrison, S., Kinsella-Shaw, J. M., & Carello, C. (2007). Comparison of dynamic (effortful) touch by hand and foot. *Journal of Motor Behavior*, 39, 82–88.
- Hajnal, A., Fonseca, S., Kinsella-Shaw, J. M., Silva, P., Carello, C., & Turvey, M. T. (2007). Haptic selective attention by foot and by hand. *Neuroscience Letters*, 419, 5–9.
- Harre, R. (2011). *Great scientific experiments: Twenty experiments that changed our view of the world*. New York, NY: Dover (Originally published in 1981). (ハレ, R. 小出 昭一郎 (訳) (1984). 世界を変えた 20 の科学実験 産業図書)
- Harrison, S. J., Bonnette, S., & Malone, M. (2020). For humans navigating without vision, navigation depends upon the layout of mechanically contacted ground surfaces. *Experimental Brain Research*, 238, 917–930.
- Harrison, S. J., & Turvey, M. T. (2010). Place learning by mechanical contact. *Journal of Experimental Biology*, 213, 1436–1442.
- Hartman, L. S., Kil, I., Pagano, C. C., & Burg, T. (2016). Investigating haptic distance-to-break using linear and nonlinear materials in a simulated minimally invasive surgery task. *Ergonomics*, 59, 1171–1181. <https://doi.org/10.1080/00140139.2015.1127429>
- Hove, P., Riley, M. A., & Shockley, K. (2006). Perceiving affordances of hockey sticks by dynamic touch. *Ecological Psychology*, 18, 163–189.
- Ingber, D.E. (1993). Cellular tensegrity: defining new rules of biological design that govern the cytoskeleton. *Journal of Cell Science*, 104, 613–627.
- Mangalam, M., Barton, S. A., Wagman, J. B., Frigaszy, D. M., & Newell, K. M. (2017). Perception of the length of an object through dynamic touch is invariant across changes in the medium. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 79, 2499–2509. <https://doi.org/10.3758/s13414-017-1403-9>
- Mangalam, M., Pacheco, M. M., Frigaszy, D. M., & Newell, K. M. (2019). Perceptual learning of tooling affordances of a jointed object via dynamic touch. *Ecological Psychology*, 31(1), 14–29.
- Mangalam, M., Wagman, J. B., & Newell, K. M. (2018). Temperature influences perception of the length of a wielded object via effortful touch. *Experimental Brain Research*, 236, 505–516. <https://doi.org/10.1007/s00221-017-5148-4>
- 三嶋 博之(2000). エコロジカル・マインド：知性と環境をつなぐ心理学 NHK ブックス
- Pagano, C. C., & Cabe, P. A. (2003). Constancy in dynamic touch: Length perceived by dynamic touch is invariant over changes in media. *Ecological Psychology*, 15(1), 1–17. doi:10.1207/S15326969ECO1501_01
- Pagano, C. C., & Donahue, K. G. (1999). Perceiving the lengths of rods wielded in different media. *Perception & Psychophysics*, 61(7), 1336–1344. doi:10.3758/BF03206184
- Pagano, C., Garrett, S., & Turvey, M. T. (1996). Is limb proprioception a function of the limbs' inertial eigenvectors? *Ecological Psychology*, 8, 43–69.
- Pagano, C. C., Kinsella-Shaw, J. M., Cassidy, P. E., & Turvey, M. T. (1994). Role of the inertia tensor in haptically perceiving where an object is grasped. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(2), 276–285. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.20.2.276>

- Pagano, C. C., & Turvey, M. T. (1992). Eigenvectors of the inertia tensor and perceiving the orientation of a hand-held object by dynamic touch. *Perception & Psychophysics*, 52(6), 617–624.
<https://doi.org/10.3758/bf03211699>
- Palatinus, Z., Carello, C., & Turvey, M. T. (2011). Principles of part-whole selective perception by dynamic touch extend to the torso. *Journal of Motor Behavior*, 43, 87–94.
- Palatinus, Z., Kelty-Stephen, D., Kinsella-Shaw, J. M., Carello, C., & Turvey, M. T. (2014). Haptic intent in quiet standing affects multifractal scaling of postural fluctuations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40, 1808–1818.
- Peck, A. J., Jeffers, R. G., Carello, C., & Turvey, M. T. (1996). Haptically perceiving the length of one rod by means of another. *Ecological Psychology*, 8, 237–258. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0803_3
- Riley, M. A., Wagman, J. B., Santana, M. V., Carello, C., & Turvey, M. T. (2002). Perceptual behavior: Recurrence analysis of a haptic exploratory procedure. *Perception*, 31, 481–510.
- Reed, E.S. (1996). *Encountering the World: Toward an Ecological Psychology*. Oxford University Press, Oxford, New York. (リード, E. S. 細田 直哉 (訳) (2000). アフォーダンスの心理学 生態心理学への道 新曜社)
- Shockley, K., Carello, C., & Turvey, M. T. (2004). Metamers in the haptic perception of heaviness and moveable-ness. *Perception & Psychophysics*, 66, 731–742.
- Silva, P. L., & Turvey, M. T. (2012). The role of haptic information in shaping coordination dynamics: Inertial frame of reference hypothesis. *Human Movement Science*, 31, 1014–1036.
- Solomon, H. Y., & Turvey, M. T. (1988). Haptically perceiving the distances reachable with hand-held objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14(3), 404–427.
<https://doi.org/10.1037//0096-1523.14.3.404>
- Solomon, H. Y., Turvey, M. T. & Burton, G. (1989). Perceiving rod extents by wielding: haptic diagonalization and decomposition of the inertia tensor. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 58–68. doi:10.1037/00961523.15.1.58
- Stephen, D. G., Arzamarski, R., & Michaels, C. F. (2010). The role of fractality in perceptual learning: Exploration in dynamic touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(5), 1161–1173. <https://doi.org/10.1037/a0019219>
- Turvey, M. T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, 51, 1134–1152. (ターベイ, M. T. 三嶋 博之(訳) (2001). ダイナミック・タッチ 佐々木正人・三嶋博之(編) アフォーダンスの構想：知覚研究の生態心理学的デザイン 東京大学出版会)
- Turvey, M. T., Burton, G., Amazeen, E. L., Butwill, M., & Carello, C. (1998). Perceiving the width and height of a hand-held object by dynamic touch. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 35–48.
- Turvey, M. T., & Carello, C. (2011). Obtaining information by dynamic (effortful) touching. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 366, 3123–3132.
- Turvey, M. T., & Fonseca, S. T. (2014). The medium of haptic perception: A tensegrity hypothesis. *Journal of Motor Behavior*, 46, 143–187.
- van de Langenberg, R., Kingma, I., & Beek, P. J. (2007). Perception of limb orientation in the vertical plane depends on center of mass rather than inertial eigenvectors. *Experimental Brain Research*, 180, 595–607.

- van de Langenberg, R., Kingma, I., & Beek, P. J. (2008). The perception of limb orientation depends on the center of mass. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34, 624–639.
- Wagman, J. B., Blau, J. J. C., & Duffrin, T. (2023). Perception by effortful touch and a lawful approach to (the evolution of) perceiving and acting. In E. Bruner (Ed.), *Cognitive Archaeology, Body Cognition, and the Evolution of Visuospatial Perception*. Elsevier Publishing.
- Wagman, J. B. & Carello, C. (2001). Inertial constraints on affordances of tools. *Ecological Psychology*, 13, 173–195.
- Wagman, J. B. & Carello, C. (2003). Haptically creating affordances: The user-tool interface. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 9, 175–186.
- Wagman, J.B., Langley, M.D., & Higuchi, T. (2017). Turning perception on its head: cephalic perception of whole and partial length of a wielded object. *Experimental Brain Research*, 235, 153-167.
- Wagman, J. B., Shockley, K., Riley, M. A., & Turvey, M. T. (2001). Attunement, calibration, and exploration in fast haptic perceptual learning. *Journal of Motor Behavior*, 33, 323–327. doi: 10.1080/00222890109601917.
- Wagman, J. B., & Taylor, K. R. (2004). Chosen striking location and the user-tool-environment system. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 10, 267–280.
- Withagen R., & van Wermeskerken M. (2009). Individual differences in learning to perceive length by dynamic touch: evidence for variation in perceptual learning capacities. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(1), 64-75. doi: 10.3758/APP.71.1.64. PMID: 19304597.

(2025 年 1 月 23 日受稿, 2025 年 3 月 31 日受理)

著者紹介

伊藤 万利子

2006 年早稲田大学人間科学部人間基礎科学科卒業。専門は生態心理学。学部 3 年次に「生態心理学」の講義を受講し、現実の現象の豊かさと実験的な方法が両立した研究に関心を持ち、その実現を目標としてきた。修士論文のテーマ選定時に、「ダイナミック・タッチによってけん玉を知っていくことが、けん玉の学習プロセスに関与しているのではないか」と着想したことをきっかけに、けん玉の研究を開始した。現在はエコロジカル・アプローチにもとづき「けん玉の dexterity」「姿勢制御と自己身体の知覚」などの研究を行っている。けん玉研究の成果の一部は「伊藤 万利子・三嶋 博之(2020). けん玉の膝の運動はなぜ重要なのか. バイオメカニズム学会誌, 44(4), 223-228.」にまとめられている。

体肢間協応研究の実践的解説 －Bernstein の動作構築理論と力学系アプローチを中心に

谷貝 祐介（厚生労働大臣指定法人・一般社団法人いのち支える自殺対策推進センター）¹

本稿では、体肢間協応を対象とした研究について、具体的な方法論を含めて解説した。人間の身体は、多数の骨と筋肉、関節から構成された複雑なシステムである。体肢間協応研究では、この複雑な構成要素を持つ身体システムが、どのように互いに連動し、運動を生み出すか、その規則性に注目した研究が数多く蓄積されている。本稿では、まず Bernstein によって提唱された協応の概念と動作構築理論について整理した。次に、体肢間協応研究において重要な役割を果たしてきた力学系アプローチについて概説した。また、体肢間協応研究における代表的な実験課題、計測方法、分析方法について解説した。最後に、方法論の実践例として著者らの研究を紹介し、体肢間協応研究の今後の展望について議論した。

キーワード：体肢間協応，力学系アプローチ，協応構造，Bernstein

A Practical Guide to Interlimb Coordination Research – Focusing on Bernstein's Theory of Movement Construction and the Dynamical Systems Approach

Yusuke Yagai (*Japan Suicide Countermeasures Promotion Center*)

This paper provides an overview of research on interlimb coordination, including specific methodologies. The human body is a complex system composed of numerous bones, muscles, and joints. Research on interlimb coordination has accumulated a wealth of studies focusing on how these complex components interact and produce movement. This paper begins by summarizing the concept of coordination and the motor control theory proposed by Bernstein (1967). Next, it provides an overview of the dynamical systems approach, which has played an important role in interlimb coordination research. It then provides a concrete explanation of experimental tasks, measurement methods, and analysis methods in interlimb coordination research. Finally, to illustrate the practical implications of the reviewed methodologies, this paper introduces the authors' own research and offers perspectives on future research trajectories in interlimb coordination.

Keywords: interlimb coordination, dynamical systems approach, coordinative structures, Bernstein

1 はじめに

本稿の目的は、体肢間協応を対象とした研究を、その実践的な方法論に焦点を当てて概観す

¹ E-mail: yagai.yusuke@gmail.com

ることで、これから同領域の研究に着手する研究者にとって有益な整理を行うことである。ヒトの身体は、多数の骨と筋肉、関節から構成された複雑なシステムである。体肢間協応研究では、この複雑な構成要素を持つ身体システムが、どのように互いに連動し、運動を生み出すか、その規則性に注目した研究が数多く蓄積されてきた。体肢間協応研究の成果とその方法論を理解することは、ヒトの運動制御メカニズムの本質に迫るために必要不可欠だけでなく、スポーツや楽器演奏、リハビリテーションなどの領域での研究の発展にも大きな恩恵をもたらすはずである。

続く2章では、これまでの主要な研究成果を簡潔に概説し、3章では、具体的な方法論に着目した整理を行う。4章では、3章で紹介した手法を活用した実践的な研究として著者らの研究を解説し、5章で今後の研究を展望する。

2 研究概説

2.1 協応する身体

生物は、異種間/同種内の闘争に打ち勝つために進化を重ねてきた。ヒトは、系統発生的な進化過程を経て、複雑な脳と、無数の動かし方が可能な多自由度の身体を手に入れた。一方、進化の過程で、解決すべき運動課題もより複雑に、多様化していった。Bernstein(1996)は、このような多自由度の身体を持つヒトが、複雑な環境の中で運動ができる仕組みを説明する上で、まず、身体運動にまつわる性質を整理した。第一の性質は、身体の高自由度性についてである。“全身で独立に動かせる身体部位の可能な動かし方の数”(野中, 2016)のことを、身体の高自由度と呼ぶ。我々の身体は、関節・筋・神経レベルに至るまで、様々な粒度のシステムが入れ子構造をなしており、一つの動作を数多くの仕方で達成することができる冗長な高自由度を持っている。第二の性質は、文脈依存性である。これには、運動開始位置への依存性と、環境条件への依存性があり、目的遂行のために必要な運動が、行為者がその時対峙している状況の影響を受ける、ということである。第三の性質は、横紋筋が弾性特性を持つことである。生物は進化の過程で横紋筋と呼ばれる力強く、素早く収縮する筋繊維を手に入れた。これにより、運動はより多様で適応的となった。一方、横紋筋は弾性特性を持つため、たとえ運動指令が同一であっても、同一の実行結果が返されるとは限らず、反対に異なる運動指令によって、同一の実行結果が返される可能性もある(野中, 2016)。

Bernstein(1996)は、上記の性質があるとすれば、神経筋骨格系のすべての高自由度を、事前に指定した運動プログラムによって個別制御するような不経済な方略を、生物が取り入れているはずがないと考えた(Bernstein 問題については、佐々木(2015)や三嶋(2000)で詳細な解説がなされている)。その代わりに、「協応(coordination)」という単位から動作の仕組みが説明できると考えた。協応とは、目的的动作の性質に応じて、“高自由度間が機能的に結合することで、少数の高自由度で制御できるシステムに変換されるようになること”(Bernstein, 1996(工藤訳, 2003))である。例えば、ある地点に向けてボールを投げる場合には、目的的动作の遂行にとって主要な部分は顕在的に制御されるが(目標地点を見定め、ボールを放つ)、それを背景で支える動作には、多くの場合特別な注意は払われない(筋肉や関節の連動、立位を

維持することなど)。このように我々の身体運動では、すべてを個別制御するような方略は取られておらず、目的に応じた主要な制御(後述の先導レベル)と、それを支える自律的で柔軟な組織化(後述の背景レベル)によって成立していると考えられる。この時身体で観測される秩序のことを「協応構造」と呼ぶ。状況に応じた要素間の自律的な結合(すなわち、協応)を支えるのは「感覚による調整」である。我々の感覚器には、動作遂行に伴って時々刻々と変化する視覚や触覚、筋-関節感覚などの感覚情報が入力されるが、それらを組み合わせ統合することによって、はじめて動作の連続的な調整が可能となる。その意味で、協応とは、“動くことと感ずること、運動と感覚を同時に行い続ける能力”(佐々木, 2003)である。Bernstein は、運動/知覚の不可分な性質およびその発達の理論的整理に成功したと言え、その意味で Gibson の知覚理論と結びついている部分が大きいと考えられる。

2.2 Bernstein の運動制御理論

Bernstein は、ヒトの動作が 4 つの機能(A,B,C,D)の階層構造から説明可能であることを主張した(Bernstein, 1996)。レベル A は、筋の緊張/弛緩を制御し、重力の作用のない環境で平衡状態を保つことなどに使われる。レベル B は、筋や関節の滑らかな連鎖(シナジー)を生み出すために使われる。レベル C は、空間場での移動や運動を制御し、何らかの時空間的目標に向けてタイミングよく身体を動かすことに使われる。レベル D は、複数動作の組み合わせからなる行為を制御するために使われる。この機能は、ヒトを含む類人猿に見られ、火起こしや料理など、いくつかの動作を組み合わせることで課題を解決する場合などに使われる。

Bernstein(1996)は、上記機能の体系的な整理を行った上で、動作の主軸となる機能を「先導レベル」、動作遂行を背後から自律的に支える機能を「背景レベル」として階層的に表現することで、すべての動作の発達を説明可能にした。例えば、成人健常者における歩行では、目標となる地点に向かう(レベル C)際に、特に明確な注意を身体に向けずとも四肢と体幹部の動きが連動するほか、身体の前後方向の動き(前額面上の)は交互のパターンが創発するはずである(レベル A-B)。より細かく見ていくと、首・体幹部は姿勢を維持するために緊張/弛緩を断続的に繰り返しながら(レベル A)、下肢を交互に動かすためには、大腿部の主働拮抗筋を交互に収縮させる必要があるが(レベル B)、多くの場合、こちらにも特別な注意を向けることはなく歩行は成立している。空間的な機能の先導によって、下位にある機能が自律的に動作遂行を支えていることがわかる。一方、歩行が未熟な幼児では、先導-背景の関係が上記のようにはならず、発達の段階に応じて、先導させるべき(注意を向けるべき)レベルが異なる。まず、身体を安定化させる上で重点的な制御が必要なレベル(例えば、首-体幹部の安定性が保たれていない場合にはレベル A、四肢とのシナジーがスムーズに行えていない場合にはレベル B)を先導レベルとし、反復によって徐々に動作が自動化される中で、より高次の機能が先導レベルとして機能し始めるようになる。こうして成人健常者のような形で、レベル A や B は背景化していく。このように、ヒトの身体運動では脳の各機能が階層構造をなし、その構造は動作の熟達過程によって組み変わるといえる。

2.3 力学系アプローチから見る体肢間協応研究

上記の Bernstein が行った整理のうち、主としてレベル B にあたる体肢間シナジーの研究については、Kelso らの研究を中心に力学系アプローチ (Dynamical system approach) として発展してきた。力学系アプローチは、身体を自己組織化するシステムとみなすことで、身体運動を内在的・外在的制約に依存してふるまいを変える自己組織化現象として扱うことを可能にした。同アプローチの導入により、中枢神経系からのトップダウンの制御ではなく、システム構成要素 (自由度) 同士の相互作用によるボトムアップの運動の創発として身体運動を捉えることが可能となった。現在の枠組みの発端となったのは、Kelso(1984)の研究であるといえる。同研究では、メトロノームのビープ音に合わせて両示指を同期させる課題における運動パターンが、物理学領域における自己組織化現象と類似したふるまいを示すことが報告された。具体的には、安定性の低い協調パターン (例えば、左右の手足の相対位相²が 180 度すなわち逆位相) は、ある課題周波数³を超えると、より安定した協調パターン (例えば、0 度すなわち同位相) に自発的に相転移することが示された。また、相転移した状態から課題周波数を減少させたとしても転移前のパターンには戻らないこと (この現象のことはヒステリシスと呼ばれている) なども報告されている (Kelso, 1995)。このように、自己組織化現象として振る舞いがよく理解されたリズム運動に数理モデル化が可能となる。Haken, Kelso & Bunz (1985) は、上記の分析結果を、力学的な用語で説明し予測可能にした数理モデルを提唱した。このモデルは、彼らの頭文字をとって HKB モデルと呼ばれる。同モデルは、体肢を物理学的な振動子に見立てることにより、2 つの振動子の結合関係を数理モデルで表現したものである。同モデルについては、新たな項を追加することで、より実際の身体運動との近似が高められることも示されている (詳細は Fujii et al.(2010)を詳細されたい)。また、その後の研究により、対称性を持った要素間の協応に限らず、幅広い対象に拡張できることも確認されており、腕-脚 (Jeka & Kelso, 1995)、足首-股関節 (Bardy et al., 2002)、個人間協応 (Richardson et al., 2007; Schmidt et al., 1994) などへの応用可能性が示唆されている。

近年、上記の単純なリズム運動研究の課題設定を踏襲する形で、ダンスや楽器演奏などへの応用も進められている。例えば、Fujii et al. (2010) では、ドラム演奏を対象として、スティックを用いた両手協応課題に HKB モデルを応用することに成功している。同研究では、HKB モデルに対し、両手の最速タップ差項 (左右それぞれで最速タップを計測し、その差分を取った指標に基づく) を導入することで、実際のドラミング課題で得られた結果を予測できることを示した。実験結果は次の通りであった。まず、ドラム演奏熟練者と非熟練者を対象に、両手で交互に打面を叩く課題を課し、その位相安定性を評価した。位相安定性は、交互 (位相差 180 度) に叩くという課題をどれだけ安定して維持できているかを評価するための指標である (詳細は 4.4.3 を参照されたい)。その結果、非熟練者群では、位相動揺 (phase wandering) という現象が確認された。次に、ここで観察されたふるまいを、HKB ダイナミクスとして表現す

² 周期運動の 1 周期を 360 度とした場合の、ある瞬間の運動の状態を位相と呼び、2 つの周期運動の位相差、時間的なずれを相対位相と呼ぶ (詳細は 3.3.2 を参照されたい)

³ 周期運動課題を遂行する際のテンポやペースのことを示す

るため、安定固定点を 180 度に設定し、新たに左右の最速タップ差項を導入した HKB モデルの修正式を作成した。この最速タップ差項をモデルのインプットとして追加することで、モデルの予測結果が、実験から得られたデータと近似することが示された。これらの検討を経て、左右の最速タップ差が両手協応課題のふるまいに影響を与える制御変数として機能していることが示唆され、速く正確に打を繰り返せるようにするためには、左右のタップ差をなくするような形で練習を積み重ねることが重要であることが示唆された。

3 研究方法

本章では、体肢間協応研究における代表的な研究対象、研究方法、分析手法について解説する。特に、力学系アプローチの文脈での研究デザインに特化した整理を行う。

3.1 問い・仮説・研究デザイン

中心的な問いは、課題設定上の周波数や位相モード（同位相・逆位相・90 度位相など）、振り子⁴の長さや重量などの物理学的特性の違いに応じて、体肢の運動安定性や協応構造がどのように変化するかである。したがって、独立変数の例として、課題周波数や位相モード、振り子の長さや重量、従属変数の例として、身体部位間の運動安定性、身体部位間の協応構造などが想定される。実験課題の例として、指振り課題、振り子運動課題、タッピング課題などが採用される。

3.2 計測手法

体肢の運動を計測するための主な装置を Table 1 に整理した。実験課題や比較検討したい従属変数に応じて、適切な計測装置を選択することが重要である。また、一度に複数の装置を同期計測することも有効である。異なるシステム間で同期計測を行う場合には、トリガー信号を入出力することで同期計測できることが多い。例えば、著者の研究では（谷貝・古山・三嶋, 2019）、モーションキャプチャシステムと、床反力中心計、圧力センサの同期計測を行うことで、演奏時の圧力データと運動の対応関係を分析可能にしている。

⁴ HKB モデルで想定される振動子を実験的に扱う際、体肢や振り子が用いられる (Kugler & Turvey, 1987)

Table 1 代表的な計測手法

計測装置名	概要
圧力センサ	タッピング時の圧力変化を時系列信号データとして記録できる
ゴニオメータ	タッピングや指振り課題，振り子運動課題時において，関節をまたぐ形で装着すると，関節の屈曲-伸展の変位データが記録できる
モーションキャプチャ	身体各部に光学式マーカーを貼付し，高精度の赤外線カメラで撮影することにより，3次元空間における身体の位置変化を記録できる
床反力中心計	床面にかかる反力を記録することで，全身運動を集合変数として記録できる．立位時の床反力中心データは，身体重心（center of mass）の振る舞いと対応していることが知られており，重心の近似値としてみなすことができる

3.3 分析手法

上記の計測装置から得られたデータは，様々な分析に活用可能である．以下に体肢間協応研究で採用されることの多い分析手法について解説する．

3.3.1 タップ間間隔（Inter-tap interval）

タップ間間隔（Inter-tap interval: ITI）は，タッピング課題において，2回のタップ間の時間間隔を指す．ITIは，タッピングのリズムやタイミングの安定性を評価するために用いられる．ITIは，通常，ミリ秒（ms）で表され，ITIが短いほど，タッピングのリズムが速く，ITIが長いほど，タッピングのリズムが遅いことを表す．また，ITIのばらつきが小さいほど，タッピングのタイミングが安定していることを示す．ITIは，タッピング課題における運動パフォーマンスを評価するための指標として，広く用いられている（Fujii & Oda, 2009）．

3.3.2 相対位相（Relative phase）

相対位相は，2つの周期的な運動の位相差を定量的に表す指標であり，2つの運動のタイミングのずれを，角度（度）として表現することで，体肢間協応における運動データ間の時間的関係を分析することを可能にするものである．具体的には，各運動の周期における特定の時点

を基準とし(例えば, 振り子運動であれば最下点), 2つの運動の基準点間の時間差を, 周期全体に対する割合として算出し, それを角度で表すことができる。

相対位相は, 歩行運動における左右の足の動きや, 指振り課題における左右の指の動きなど, 体肢間協調の研究で広く用いられている。例えば, 指振り課題では, 運動の速度や難易度によって, 相対位相が変化することが報告されている (Kelso, 1995)。

3.3.3 相互相関 (Cross correlation)

相互相関は, 2つの時系列データ間の類似性を評価するための指標である。2つの時系列データが, 時間的にどれだけずれて類似しているか(時間遅れ τ で表現される)を調べるために用いられる (小森, 2022)。相互相関は, 体肢間協応研究において, 2つの体肢の運動の類似性を評価するために用いることができる。例えば, 左右肢の運動の相互相関を調べることで, 左右肢の運動が時間的にどれだけ同期しているかを評価することができる。なお, 相互相関関数は, 時間遅れ τ の関数であるため, 2つの時系列データ間の類似性を, 様々な時間遅れで評価することができる。これにより, 部位間の運動の先行性を評価することが可能である。また, 相互相関関数の値は, -1 から 1 の範囲で変化し, 1 に近いほど正の相関が強く, -1 に近いほど負の相関が強いことを示す。ただし, 相互相関は, 2つの時系列データ間の線形な関係しか捉えることができないため, 非線形な関係を調べるためには, 他手法を用いることも視野に入れる必要がある。

3.3.4 周波数解析 (Frequency analysis)

周波数解析は, 時系列データに含まれる周波数成分を分析する手法である。ある時系列データに, どの周波数の振動成分が, どの程度含まれているかを調べるために用いられる (小森, 2022)。体肢間協応研究の文脈では, 運動データや生理指標に含まれる周波数成分を分析することで, 例えば, 歩行運動や指振り課題などの運動課題において, 運動のリズムや周期性を明らかにすることができる。より具体的には, 運動データに含まれる主要な周波数成分を特定し, 各周波数成分の強度を調べることで, どの周波数の振動成分が運動に大きく貢献しているかを明らかにすることが可能である。また, 時間経過に伴う周波数成分の変化を調べることで, 身体の状態遷移を可視化することも可能である。

3.3.5 再帰定量化分析 (Recurrence quantification analysis)

再帰定量化分析 (Recurrence Quantification Analysis: RQA) は, 非線形時系列データの反復的なパターンや動的安定性を定量化するための非線形時系列解析手法である (Marwan et al., 2007)。その数学的基礎は, 位相空間における軌跡の再帰性にある。RQA は, 時系列データを位相空間に埋め込み, その軌跡の再帰性を定量化することで, 時系列データの隠れた特徴を

抽出することができる。RQA は、従来の線形解析手法では捉えきれない複雑な時系列データのダイナミクスを明らかにする上で有用である。具体的には、時系列データに非線形性が存在する場合にそれを検出し、時系列データがカオスである場合にそれを検出することができる。さらに、RQA は時系列データの動的安定性を評価することができる。近年、体肢間協調研究では、RQA を用いて身体協応の安定性、複雑さを評価する試みが行われてきた。指振り課題や振り子課題などの体肢間協応課題で得られた運動の時系列データに対して RQA を適用することで、協応の安定性や協応構造の変化を分析できる。

RQA は、従来の線形解析手法では捉えきれない複雑な協調運動のダイナミクスを明らかにする上で有用なツールとなりうるが、一方で、パラメータ設定や解釈に注意が必要な手法でもある。今後の研究では、RQA の適切な適用方法や解釈方法の確立が重要となる。

4 実際の研究例

4.1 研究の概要

本章では、著者の研究である Yagai et al.(2022)を、具体的な分析例として紹介する。同研究は、体肢間協応における全身レベルの協応構造を重視した研究であり、3章で示した手法のいくつかを実践的に使用している。

力学系アプローチを拠り所とした体肢間協応研究では、2つの身体部位間の関係性を、2つの振動子のふるまいとして単純化するため、データに不要なノイズが混入しないようにする必要があった。そのため実験では、例えば前腕を固定した状態で、手首以下で課題を遂行する等の実験的な制約条件を設け、他の身体部位との機械的相互作用が起きないような状況を作ることが主流であるといえる。しかし、こうしたフレームワークでは、体幹や頭部などの動きが制限され、より現実的な場面での体肢間協応の理解からは離れてしまう可能性がある。そこで同研究では、身体の一部を固定する条件（前腕固定条件）と、固定しない条件（非固定条件）を導入することで、体肢間協応において体幹部や頭部がどのように参与しているのか、その役割を明らかにしようと試みた。より具体的には、左右の手に持った振り子を動かす「振り子運動課題」を採用し、前腕を固定する条件と、非固定の条件で課題遂行時の全身の協応構造を比較検討した(Yagai et al., 2022)。

4.2 課題設定

前腕固定条件および非固定条件それぞれで、左右の位相モード（同位相、逆位相の2水準）、課題周波数（1.5Hz から 0.2Hz ずつ 2.5Hz まで、計 6 水準）の組み合わせ（ $2 \times 2 \times 6$ で 24 通り）で課題を遂行した。各条件の持続時間は、振り子運動の 30 周期分に相当するものであった（1.5Hz 条件では 20 秒間、2.5Hz では 12 秒間）。開始直後の身体の動乱を考慮し、各試行において、スイング動作が 10 サイクルに達した後から計測を開始した。

参加者は、提示されたメトロノームのビープ音に対して、なるべく正確に、連続的に振り子

を動かすことを教示された。その際、同位相モードでは、ビープ音に対し、両振り子を最も身体に近い位置で合わせるように、逆位相モードでは、ビープ音に対し、右振り子が身体に最も近い位置で、左振り子が最も遠い位置で合わせるように動かすことを教示された。前腕固定の有無にかかわらず、前腕を地面と水平に保つよう教示され、指示されたとおりにすべての条件下で課題をこなせるようになるまで練習を行った。また、参加者間の姿勢統制のため、課題遂行中には壁に貼付された注視点（姿勢を正した状態の目線の高さに相当する）を注視するよう教示された。

4.3 計測方法

参加者はモーションキャプチャスーツを着用したのち (OptiTrack, Natural Point Inc.), 身体各部 (C7, 両肩峰, 肘関節 (両尺骨の肘頭), 手関節 (両尺骨の骨頭)) に反射マーカを装着された。それらのマーカをモーションキャプチャシステムによって計測することで、課題遂行時の 3 次元的な運動データを記録した。なお、ビープ音とのずれの程度を分析可能とするため、ビープ音の時系列波形も同期計測している。

4.4 データ分析のステップ

4.4.1 前処理

得られたデータには、次に示す 3 つのステップで前処理を施した。第一のステップは次元選択である。同研究では、3 次元データのうち、最も実験課題を代表する軸を検討し、振り子の周期性が最もよくあらわれる前後方向の軸を分析用データとして採用した。なお、同研究では振り子運動が前後的な運動に限られたため、軸を 1 つのみ選択したが、より実践的な運動課題においては様々な軸への運動が観測されるはずである。その場合には、主成分分析を用いて、3 次元データを次元縮約したのちに分析する方法も存在するため、課題設定に応じて手法を選択することが重要である。第二のステップは、データクリーニングである。同研究では、試行開始時の動乱の影響を排除するため、計測した 30 周期分のうち、最初の 10 周期のデータを除いた 20 周期を分析対象とした。その後、計測上の細かなノイズを除去するため、バンドパスフィルタ (Butterworth 特性, 0.1Hz-10Hz, 双方向) を適用した。第 3 のステップは、信号の正規化である。同研究では、部位間の運動の類似性や位相に着目するため、z 得点化によって振幅を正規化することにした。これらの処理を、左右の振り子および、すべての身体部位に対して施し、後続の分析を行った。

4.4.2 振り子を含む全身の協応構造の可視化

振り子の動きに対する身体各部の関係性を評価するため、振り子を基点とした位相差 (相対位相) および運動類似度 (相互相関) を評価指標として算出した。まず、位相差 (相対位相)

について、まず各部位の位置データから、ヒルベルト変換⁵によって位相情報を抽出し、その逆正接を求めることで位相角に変換した。その後、左右振り子の位相角 (θ_{right} , θ_{left}) から、その他の部位の位相角を減算し、相対位相 ($\phi = \theta_1 - \theta_2$) を求めた。

次に、運動類似度 (相互相関) は、部位間の相互相関の First peak value (振り子運動の前後 1 周期分を計算範囲とし、その範囲内での相関の最大値) を採用した。

4.4.3 課題達成度の評価

同研究では、課題達成度の評価として、左右振り子の位相安定性を分析した。左右振り子の相対位相 (計算方法は前述の通りである) を求めたのち、位相シフト、位相シフトの絶対値、標準偏差 ($SD \phi$) を求めた。位相シフト、位相シフトの絶対値は、課題で求められた位相モード (同位相=0 度、逆位相=180 度) からの逸脱度を表しており、 $SD \phi$ は位相差のばらつき (標準偏差) であり、運動の不安定性を表す。左右振り子の相対位相 (ϕ) は、4.4.2 と同じ方法で計算された ($\phi = \theta_{\text{right}} - \theta_{\text{left}}$)。位相シフトと位相シフトの絶対値は、角度統計 (Batschelet, 1981; Berens, 2009) を用いて計算した。位相シフトは、相対位相の平均値 (平均 ϕ) と所定の相対位相モード (同相=0 度、逆相=0 度) の差である。

4.4.4 統計的検定

本研究では、角度統計値 (位相シフト、位相シフトの絶対値、 $SD \phi$ 、および身体部位間の相対位相) について二要因 (課題周波数×位相モード) の主効果・交互作用を統計的に評価した (統計的検定手法の詳細については、論文を参照されたい)。なお、本研究では、位相モードは、統計的検定の要因には含めなかった。これは、同位相・逆位相では、目的とする動作が質的に異なるため、差が生じることを前提とした研究デザインであったためである。交互作用が有意であった場合、単純主効果検定を実施した。また、主効果のみが有意であった場合は、t 検定 (角度統計値については Watson-Williams 検定) を行い、条件間に差があるかどうか調べた。統計的検定時の多重性を考慮し、p 値を holm 法で補正し、補正済み p 値に基づいて 5% 水準で判定した。

4.5 分析結果・考察

上記の分析から得られた結果は次の通りであった (詳細は論文を参照されたい)。第一に、運動類似度は、振り子-肩の組み合わせを除き、固定条件の方が高いことが明らかとなった。第二に、位相差は、固定・非固定条件におけるパターンが質的に異なっており、非固定条件では、課題周波数・位相モードによる大局的な構造の変化が顕著に表れることが明らかとなった

⁵ 時系列データの解析においては、データの性質や用途に応じて、適切な手法を選択する必要がある。同手法を含む時系列データの扱いについては、小森 (2022) に体系的かつ有益な整理がなされているため、参照されたい。

(振り子に対して遠隔の部位である両肩と振り子との関係性の変化が顕著)。第三に、左右の振り子の安定性を示す $SD \phi$ については、固定・非固定条件間に大きな違いは認められなかった(同位相条件のみ、非固定条件の課題達成度が有意に高かった)。第四に、位相シフト(左右の位相差が理想的な位相モード(0度, 180度)からどれだけ乖離したか)の個人差が、固定条件の高速条件において顕著となった。

上記結果をまとめると、固定・非固定条件では、支持面の数が異なる(固定:5点, 非固定:3点)など、参加者が解決すべき運動課題自体に差異がある状況であったが、参加者は状況に応じた協応構造を適応的に選択することによって、いずれの条件においても課題達成度を大きく損なわずに運動を遂行できていたといえる。具体的には、振り子運動によって生じる物理的な衝撃に対して、固定条件では、前腕の固定部を支持面として身体を固定化させ、他部位に衝撃を分散させるような方略(運動類似度の高さに表れていた)がとられた一方、非固定条件においては、他部位との物理的な関係性を調整するような方略(位相差の変化に表れていた)がとられていた。また、固定条件では高速条件での位相シフトの個人差が大きかった点について、身体に備わる左右差の表出として考察した。非固定条件では、支持面が少なく柔軟性が高い分、他部位の自由度を動員した協応構造によって、身体に備わる左右差を解消していた可能性が示唆された。

5 展望

5.1 当該トピックの課題・限界

体肢間協応研究では、基礎的なリズム運動(例:音に合わせて手指を振る)について、主として力学系アプローチを拠り所とすることで、体肢のふるまいを数理モデルとして一般化することに成功してきた。当該トピックの課題と限界を示すために、ここで、上記研究が成立するために必要な運動の単純化およびそこから生じる問題について述べておきたい。体肢間協応研究の枠組みで採用されてきた逆さ振り子課題の実験では、前腕を固定することにより手首-振り子システム(Kugler & Turvey, 1987)に限定することで、他の身体部位との機械的相互作用が起きないような状況下で実験が行われてきた。こうした運動の単純化により、手首と振り子による合成振り子の性質から、その振る舞いの予測が可能となり、この範囲において、リズム運動の一側面の定式化が可能となった。しかし、より実践的な水準でのリズム運動で求められる、状況に応じた適応の側面を扱う場合、ないし、現行の枠組みをより広い範囲の行為(例:楽器演奏)へ応用することを視野に入れた場合には、このような運動の限定性は課題となると考えられる。

5.2 今後の可能性・期待

5.1で指摘した課題をクリアし、体肢間協応研究を次のステップに進めるためには、今後課題設定と分析手法、それぞれで考慮すべき点があると考えられる。

課題設定としては、自由度の冗長性を過度に制限せず、多様な状況の中からパターンが組織化されるような課題設定が有用であるかもしれない。これは言い換えれば、基礎研究を基礎だけに閉じたものとして扱うのではなく、実践的な運動との連続性を考慮したデザインで課題設定を行うべきという主張である。

また、分析手法としては、全身の平衡状態と体肢間協応の直接的な関係を評価できるような分析を行うことが必要である。具体的には、ネットワーク科学のフレームワークを導入することが有用であると考えている。例えば、Yagai et al. (2022) では、振り子-前腕-体幹-頭部の構造を位相差や類似度を指標に持つネットワーク構造として可視化し、定性・定量的な分析を行った。近年、ネットワーク科学（メンツァーら、2023）の枠組みにおいて、要素間の有機的な関係を定量化する試みが始まっている。例えば、ネットワーク指標の一つである媒介中心性を用いることで、あるノードが情報流通の中心として機能しているかどうかを指標化できる。これを身体運動に置き換えて考えると、特定の身体運動の中で中心的な役割を担う身体部位を定量的に可視化できる可能性があるということである。また、次数中心性という指標を用いることで、あるノードが他ノードとどれだけ接点をもっているかを指標化できる。これにより、身体部位同士の連動性を可視化できる可能性がある。これらを、身体全体の協応構造を表す指標として用い、課題達成度との有機的な関係を評価することで、身体運動の実態に即した可視化および、新たな定式化の可能性が開けるかもしれない。

5.3 生態心理学との関連・貢献

体肢間協応は、生態心理学の主要な研究テーマの一つであり、環境特性と身体運動の不可分な関係を可視化できる、良質な研究対象であるといえる。これまでの研究では、複雑な構成要素を持つヒトの運動パターンを、HKB モデルをはじめとしたシンプルな定式化によって表現することに成功してきた。しかしながら、定式化のために運動を単純化しすぎてしまうと、データからリアリティが失われてしまう。体肢の運動が分析対象であったとしても、体幹部や頭部は課題達成に向けて、常に揺れ動き、微細な調整をしている。このある種のありきたりな事実を、あらためて体肢間協応研究に取り戻すことができれば、スポーツや楽器演奏など、より複雑で高次の運動課題の理解も、加速度的に促進されるはずと期待している。

引用文献

- Bardy, B. G., Oullier, O., Bootsma, R. J., & Stoffregen, T. A. (2002). Dynamics of Human Postural Transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(3), 499–514. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.28.3.499>
- Batschelet, E. (1981). *Circular Statistics in Biology*. New York: Academic Press Inc.
- Bernstein, N. A. (1996). *Dexterity and its development*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (ベルンシュタイン, N.A. 工藤和俊訳 (2003) . デクステリティー巧みさとその発達—金子書房) .

- Berens, P. (2009). CircStat: A MATLAB Toolbox for Circular Statistics. *J. Stat. Softw.*, 31(10), 1–21. <https://doi.org/10.18637/jss.v031.i10>
- Fujii, S., & Oda, S. (2009). Effect of Stick Use on Rapid Unimanual Tapping in Drummers. *Perceptual and Motor Skills*, 108(3), 962–970. <https://doi.org/10.2466/pms.108.3.962-970>
- Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2010). Intrinsic Constraint of Asymmetry Acting as a Control Parameter on Rapid, Rhythmic Bimanual Coordination: A Study of Professional Drummers and Nondrummers. *Journal of Neurophysiology*, 104(4), 2178–2186. <https://doi.org/10.1152/jn.00882.2009>
- Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51(5), 347–356. <https://doi.org/10.1007/BF00336922>
- Jeka, J. J., & Kelso, J. (1995). Manipulating Symmetry in the Coordination Dynamics of Human Movement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(2), 360–374. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.21.2.360>
- Kelso, J. S. (1995). *Dynamic Patterns: The Self-Organization of Brain and Behavior*. MIT press.
- 小森政嗣. (2022). R と Stan ではじめる心理学のための時系列分析入門. 講談社.
- Kugler, P. N., & Turvey, M. T. (1987). Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement. (pp. xxxi, 481). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Marwan, N., Carmenromano, M., Thiel, M., & Kurths, J. (2007). Recurrence plots for the analysis of complex systems. *Physics Reports*, 438(5–6), 237–329. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2006.11.001>
- Menczer, F., Fortunato, S., & Davis, C. A. (2023). ネットワーク科学入門: Python で学ぶデータ分析とモデリング (笹原 和俊 監訳). 丸善出版. (原書: A First Course in Network Science)
- 三嶋 博之(2000). エコロジカル・マインド 知性と環境をつなぐ心理学 (初版). 日本放送出版会.
- 三浦 哲都・向井 香瑛・横山 梓・恵谷 隆英・工藤 和俊 (2019). 身体運動と環境情報の相互作用. バイオメカニズム学会誌, 43(3), 161–166. https://doi.org/10.3951/sobim.43.3_161
- 野中 哲士(2016). 具体の知能 (初版). 金子書房.
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Goodman, J. R. L., & Schmidt, R. C. (2007). Rocking together: Dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26(6), 867–891. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.07.002>
- 佐々木 正人 (2003). [解題] 運動はどのようにして環境に出会うのか——ベルンシュタインの三つの発見. In デクステリティ 巧みさとその発達.
- 佐々木正人 (2015). 新版 アフォーダンス. 岩波科学ライブラリー.
- Schmidt, R. C., Christianson, N., Carello, C., & Baron, R. (1994). Effects of Social and Physical Variables on Between-Person Visual Coordination. *Ecological Psychology*, 6(3), 159–183. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0603_1
- 谷貝祐介, 古山宣洋, & 三嶋博之. (2019). ドラムセット演奏を支える姿勢制御—打圧データと床反力中心データを用いた熟練者と初心者の比較—. 認知科学, 26(2), 197–218.
- Yagai, Y., Miura, A., Mishima, H., & Furuyama, N. (2022). Involvement of global coordinative structure in achieving the local pendulum swinging task. *PLOS ONE*, 17(2), e0262525.

(2025 年 1 月 5 日受稿, 2025 年 3 月 6 日受理)

著者紹介

谷貝 祐介

2021 年，早稲田大学大学院人間科学研究科博士後期課程，単位取得退学．博士（人間科学）．
2021 年より株式会社 ARISE analytics データアナリスト職．2023 年 12 月より，厚生労働大臣
指定法人・一般社団法人いのち支える自殺対策推進センター分析官．ドラムセット演奏をはじ
めとする巧みなリズム運動の熟達化への関心から研究を開始し，そこで得られた知見から，体
肢間協応研究を身体全体の協応構造から捉えなおす研究を着想．2024 年，一連の研究成果を
まとめ博士号を取得した．現職では，自殺で亡くなる方を少しでも減らすべく，多様な手法を
駆使した要因分析および分析結果を活用した啓発活動等を行っている．

同期研究への誘い：機能・仕組み・方法・発展的課題

岡野 真裕 (神戸大学)¹ 向井 香瑛 (名古屋大学)

本稿では、人々の行動でしばしば観察される行動の同期について解説した。ヒトの行動の同期の研究は遅くとも 1960 年代には始まり、同期がラポートの確認や形成といった適応的機能を持つことが明らかにされてきた。同期が生じる仕組みについては、知覚情報を通じた結合と自己組織化の原理により創発する安定なパターンだからという説明ができる。本稿では初学者に向け、同期の研究で用いられる方法や道具立てについても解説した。また、一例として筆者の過去の研究を取り上げ、どのように実験系を設計したかについても解説した。最後に、同期やそれを包含する上位概念(協調)の研究に関する展望として、スキルサイエンスとの関係や、発展的な課題について論じた。

キーワード：同期，力学系アプローチ，インタラクション，協調，スキル

Invitation to Synchronization Research: Functions, Structures, Methods, and Prospects

Masahiro Okano (*Kobe University*) Kae Mukai (*Nagoya University*)

This tutorial explains behavioral synchrony, a phenomenon often observed in human interactions. Research on this subject emerged as late as the 1960s, revealing its adaptive functions including facilitation and confirmation of rapport and social cohesion. Behavioral synchrony is further conceptualized as a self-organizing stable pattern arising from the coupling between an individual and environment through perceptual information. Additionally, for beginners in the field, this paper introduces fundamental methodologies and analytical tools for studying synchrony. It also describes the experimental design employed in one of the author's previous studies, offering an example of synchrony research. Finally, as a perspective on research concerning behavioral synchrony and related higher-level concepts (coordination), this paper discusses its relationship with skill science and future challenges.

Keywords: synchronization, dynamical systems approach, interaction, coordination, skill

1 はじめに

同期現象 (synchronization) とは、リズムカルに動く 2 つ以上の物体や生物が、そのリズムを一致させる現象である。同期現象に魅了された研究者は数多い。初期の研究としては、17 世紀の物理学者ホイヘンスが報告した、同じ梁にかけられた複数の時計の振り子が同期するという例がしばしば挙げられる他、ロウソクの炎、ホタルの発光、人々の歩調、観衆の拍手など、

¹ E-mail: mshrokn@boar.kobe-u.ac.jp

人間も含む様々な場面で同期現象が報告されている(Strogatz, 2003/2005; 蔵本, 2007, 2014). 同期現象に興味を持つ人々の中には心理学者もいる. 後で紹介するように, ヒトの行動や生理学的反応の同期は, 人々の環境との相互作用やコミュニケーションを理解する上での重要なプロブの 1 つであると考えられている.

本稿では, まずこれまでの身体同期研究を簡単に概観する. 続いて, 仮説を立て, データを取得・分析し, 結果を解釈するといった実践的な部分に関するチュートリアルを提供する. さらに, 具体的な実践例として著者らの研究について, 条件設定などでこだわった部分などの裏話的な内容を交えながら紹介する. 最後に, 身体同期研究の今後の展望について, 筆者らの視点からの解説を試みる. なお, 大局的な概観や展望, そして比較的新しく高度な解析手法については, 詳細な解説・展望論文が近年にもいくつか出版されている(児玉他, 2021; 工藤他, 2023; 清水他, 2024). そこで, 本稿はターゲット読者を初学者や学部の卒業研究などでこの領域の研究に取り組もうとする学生を想定して, 基本的・実践的な知識や道具立てを重視した解説を提供する.

2 なぜ行動が同期するのか

人々の行動はなぜ同期するのだろうか. まずはこの問いに, 同期が持つ適応的機能と, 同期が起こる仕組み(次項)という 2 つの観点から答えていく.

2.1 行動の同期の適応的機能

行動の同期が持つ適応的機能とは, 簡単に言うとラポート(信頼関係)の確認や形成であると考えられている. この観点からの研究は遅くとも 1960 年代後半に, 話者と聞き手の間でしばしば生じる身体動作の同期(interactional synchrony)から始まった. 初期の重要な研究としては, 健常者同士の会話では身体動作の同期が生じた一方, 統合失調症患者は非同期的なふるまいをしたことが報告されている(Condon & Ogston, 1966). その後も様々な属性や関係性の参加者に対する実験や観察を通して, 行動の同期が参加者間のインタラクションや, さらには共感やラポートと関係するというアイデアが生まれ, 実証されてきた(Bernieri, 1988; Bernieri et al., 1994, 1988; Condon & Sander, 1974; Kendon, 1970).

これら初期の研究では「ラポートや共感があるときは行動が同期する」という説が実証されてきた. 一方, 2000 年代以降には「同期するとラポートや共感が生まれる」という説や, さらには「同期すると向社会的行動が増えたり, 協力し合っただけの問題解決能力が向上する」といった説も唱えられるようになり, 実際にそのような研究結果も報告されるようになった(Cirelli et al., 2014; Fujiwara et al., 2020; Hove & Risen, 2009; Lumsden et al., 2014; Miles et al., 2017; Wiltermuth & Heath, 2009).

余談だが, 近年にはこうした流れが音楽やダンスの進化的意義(適応的機能)をめぐる研究とも合流している. その中で生まれた音楽やダンスの進化的意義に関する仮説としては, たとえ

ば「音楽は大集団の行動同期(ダンスはその典型例の1つといえる)を引き起こすことができ、それが生物としてのヒトの特徴と言える集団の社会的つながりを強めた」と主張する social bonding 仮説(Savage et al., 2020)や、「音楽やダンスのような協調的・同調的なリズムを生成・受信できる能力は、他者と協力する能力の高さを示すシグナルとなる」と主張する credible signaling 仮説(Mehr et al., 2020)などがある。

このように、「なぜ同期するのか」という問いに対する答えの1つは、「ラポート・共感・協力といった適応的機能を持つから」ということになる。

2.2 行動の同期が生じる仕組み

続いて本項では、仕組みの観点から「なぜ行動が同期するのか」という問いに答える。行動の動機が生じる仕組みとは、簡単に言うと「知覚情報を通して当事者と刺激の間、あるいは当事者同士の間で結合が生じているから」ということになる。知覚情報を通じた結合に関わる仕組みを説明する上で重要な概念として、アンカリング、そしてミラーニューロンとコモンコーディング仮説が挙げられる。

アンカリングとは、リズムカルな身体運動が周期の中の特定のポイントや領域を基準として行われるようなふるまい(そこに錨が下ろしてあるかのように)である。特定のポイントや領域とは多くの場合、視覚や聴覚、筋感覚などに顕著な入力が生じる時点・時区間である。たとえば周期的に動く標的の運動方向が切り替わるタイミング、メトロノームのビート、関節の最大屈曲位などが挙げられる(Byblow et al., 1994; Fink et al., 2000; Kudo et al., 2006; Miyata et al., 2021; Roerdink et al., 2008)。このような効果により、リズムカルな知覚刺激との間に結合が生じる。

ミラーニューロンとコモンコーディング仮説はヒト同士が行動を同期させる際の神経基盤を認知神経科学の観点から説明してくれる(児玉他, 2021)。ミラーニューロンとは、1990年代にサル脳の運動野(運動を実行する際の司令の出元となる領域)で発見された、他の個体の運動を観察するだけで活動する神経細胞のことである(di Pellegrino et al., 1992)。その後の研究でヒトの脳でも同じような神経細胞が存在する可能性が示唆され、ヒトのコミュニケーションにおける重要な神経基盤であると考えられるようになった(Iacoboni, 2008/2009; Sebanz & Knoblich, 2008)。一方コモンコーディング仮説とは、知覚表象と行動表象は共通の神経基盤を持っているとする説である。つまり、ある事象を知覚するときにはそれと関連した行為の表象も活性化され、同様に、ある行為を遂行するときにはそれと関連した事象の知覚の表象も活性化されるという、いわば知覚と行為が神経活動レベルでリンクしているというアイディアである(Prinz, 1990, 1997)。これらの仕組みが基盤となって、他者の行為の理解・予測・シミュレーションが可能となり、共同動作や行動の同期が達成される(Knoblich et al., 2011; Knoblich & Sebanz, 2006; Sebanz & Knoblich, 2008)。

もっとも、上記は同期が実現されるための基盤についての説明に留まっている。「様々な協

調の仕方がある中で、なぜ同期なのか」という問いに答えるには、もう一つ新たなアイデアを取り入れる必要がある。それが自己組織化である。自己組織化とは、複雑なシステムにおいて、一見ほとんどランダムに振る舞っているかのような構成要素同士が相互作用することにより、システム全体が秩序だったふるまいやパターンを示し出すという現象である(都甲他, 1999)。同期現象はその典型例の1つとして位置づけられる(蔵本, 2007, 2014)。

複数あるリズミカルな運動をする物体(振動子)が相互作用により同期に至るプロセスの数学的な説明には、しばしば「蔵本モデル」と呼ばれる数理モデルが用いられる²。蔵本モデルでは振動子の運動を円周上の運動になぞらえ、振動子間の相互作用は引力もしくは斥力をもたらすと考える(Kuramoto, 1975)。引力の場合には、円周上の振動子同士が互いに引き込み合うため、十分な時間が経てば最終的にすべての振動子が同期して動くようになる。逆に斥力の場合には、振動子同士が反発し合うため、円の中心を挟んで反対側に位置しながら動くようになる(逆相同期)。このように考えると、「同期」という状態は、リズミカルなふるまいをするシステム同士が相互作用し合う系における安定状態(時間とともにその状態に近づいていき、一度達成されれば外力無しには脱出できない状態)であることがわかる。なお、このような数理モデルに基づいて生物の行動を考察する方法論は、サイバネティクスと呼ばれ、現在では複雑系科学や非線形科学と呼ばれる分野の一領域となっている。心理学や認知科学の中では、力学系アプローチとも呼ばれる。

生態心理学の分野でも、体肢間や対人間のリズム協調において、(逆相を含む)同期した状態が自然と生じ、しばしば維持されることが多数報告されている(Bardy et al., 1999; Felsberg & Rhea, 2021; Haken et al., 1985; Kelso, 1984; Kugler & Turvey, 2015; Richardson et al., 2007, 2005; Schmidt et al., 1990; Schmidt & O'Brien, 1997; Varlet & Richardson, 2011, 2015)。アンカリングやミラーニューロンやコモンコーディングといった説を仮定すると、たしかに知覚情報は振動子間に引力をもたらしそうに思える。まとめると、「なぜ同期するのか」という問いへの仕組みの観点からの答えは、「知覚情報を通じた結合と自己組織化の原理により、同期という安定なパターンが生じやすくなっているから」という説明になる。

3 同期研究の方法

「なぜ行動が同期するのか」という問いの背景に様々な興味深いトピックが広がっていることを理解していただけたと思う。続いて、本節では「どのようにして同期をとらえるか」につ

² 相互作用しあう振動子は結合振動子とも呼ばれる。また、行動同期の領域で多く出会う他の結合振動子モデルとしては、Haken-Kelso-Bunz モデル(HKB モデル: Haken, Kelso & Bunz, 1985)も挙げられる。蔵本モデルが多数の振動子が同期するプロセスを記述しているのに対し、HKB モデルは特に2つの振動子の系のふるまいを記述している。その特徴的なふるまいとしては、安定な状態が、低い周波数では同相同期と逆相同期の2種類であるのが、高い周波数では同相同期のみになる(そのため動きのスピードを上げると逆相同期から同相同期への「相転移」が生じやすい: Haken et al., 1985; Miura et al., 2011)という現象が挙げられる。

いて説明する。

3.1 問いや仮説とデザインの設計

「条件によって同期が生じたり生じなかったりするか」や、「条件によって同期の度合いや頻度が高まったり低まったりするか」という問いが最も基本的なパターンと言えるだろう。条件の違いによる同期の有無や程度の違いを、 t 検定や分散分析による比較に持ち込むのが1つのセオリーである。

具体的な条件設定の例としては、互いの動きを見ているか見ていないか(Schmidt & O'Brien, 1997; Varlet et al., 2011), 周辺視野で見るか中心視で見るか(Richardson et al., 2007), 視線が双方向的か一方通行か(Okazaki et al., 2015), 男性同士のペアか女性同士のペアか(Fujiwara et al., 2019), 当事者が社会性に関わる障害や疾患(特に自閉症, 統合失調症)を持っているかどうか(Dean et al., 2021; McNaughton & Redcay, 2020; Pan et al., 2023), などが先行研究の例として挙げられる。一緒に同期運動課題を行うパートナーが遅刻してきたら, という状況を検討したユーモラスな例もある(Miles et al., 2010)。

その他, 「条件」が連続的な変数として捉えられるような概念なら(たとえば相手とのラポートの度合い: Bernieri, 1988), 相関分析や回帰分析, 統計モデリングを検討してもいいだろう。また, 以上は同期を従属変数の側に置いているが, 逆に同期を独立変数の側に置いた, 「同期するかしないかで相手に対する親密感などが変化するか」のようなパターンも考えられる(Bamford et al., 2023; Cirelli et al., 2014; Hove & Risen, 2009; Lumsden et al., 2014; Tarr et al., 2016)。

3.2 同期を計測する方法

では, 肝心の同期はどのように計測すればいいだろうか。原始的な方法としては, 実験や観察の状況を記録したビデオや音声を見聞きしながら, 地道な手作業でコーディング(データの中の着目すべき箇所にラベルを付けること。アノテーションとも言う)するという手段がある。つまり, 研究者が主観で「同期した」と感じた瞬間や音が鳴った瞬間などにラベルを付けていき, その頻度や時刻を集計するという手段である。1人の主観だけでは再現性に疑問符が付くので, このような場合には複数の研究者でコーディングを行うなどして, 信頼性・妥当性を担保する。詳しくは質的研究の教科書などを参照するとよい(たとえば Richards, 2005/2009 など)。

テクニカルな方法は, 何かしらのセンサで行動に関わる時系列信号を計測し, 信号処理を行って, 位相や位相差(相対位相とも言う)を計算することである。位相とは, 一連の周期的な動きの中のどの局面かの指標で, 角度で表される。時計の針の動きで言えば, 時刻に相当するのが位相である。位相差とは, 二者間での位相の差, つまり時計の時刻がどれだけずれているかの指標である。0度の位相差は完全に同期した状態を表す。180度の位相差は, 音楽で言う「裏

拍」のように、互い違い・交互に動いている状態(逆相同期)を表す。時系列信号の例としては、位置座標や加速度、関節角度などが代表的だろう(信号計測に用いる機材については次項で改めて述べる)。これらの時系列信号を MATLAB や Python などの科学計算ソフトに取り込み、様々な信号処理の計算(平滑化、ピークやオンセットの検出、ヒルベルト変換など)を施し、位相や位相差を算出する(Fujii et al., 2010; Lamb & Stöckl, 2014; Varlet & Richardson, 2011)。

なお、位相という変数の取扱いにはしばしば注意が必要である。位相は角度、つまり 360 度で 0 度に戻ってくるという特殊な性質を持った数なので、平均値や分散などを通常の方法で計算すると、角度を考える範囲や分布によっては実態と大きくずれた値が得られてしまう。たとえば 10 度、20 度、350 度、340 度という 4 つのデータがあったとしたとき、これらの平均は何度だろうか。通常の方法で計算すると $(10 + 20 + 350 + 340) \div 4 = 180$ 度となるが、円周上で確かめれば明らかにおかしいことがわかる。このように、角度データの集計には特別な取扱いが必要である。詳しい方法については Mardia & Jupp (2000)や、「角度統計」「方位統計」などのキーワードで検索するなどして学習されたい。まとまった情報が読める日本語文献としては新井 (2011)や清水 (2018)がある。

3.3 同期を取り扱うための道具

ここでは同期を取り扱うために用いられる代表的な道具を紹介する。

3.3.1 ビデオカメラ、マイク

コーディングで済ませる場合はビデオカメラとマイクがあれば十分である。1 試行の時間が短く、音量や音質にも問題が無いなら、スマートフォンだけで事足りる場合もある。録画・録音した動画と音声のコーディングには、ELAN や Praat といったソフトウェアを用いると便利である(Boersma & van Heuven, 2001; 細馬・菊地, 2019; 北原他, 2017; Wittenburg et al., 2006)。

3.3.2 モーションキャプチャ

動きを計測するための装置である。大きく分けて、反射マーカを身体各部に貼り付けて赤外線カメラで撮影する光学式、慣性センサを身体各部に取り付ける慣性式、磁気マーカを身体各部に取り付ける磁気式、普通のビデオカメラで撮影した映像を用いる画像式がある。それぞれ長所と短所があるので、対象に適した方式を選ぶのが重要である。たとえば光学式は精確だが遮蔽に弱い。慣性式は比較的安価で遮蔽にも強いが、小さな動きを捉えるのが難しく長時間計測にも向かない。磁気式は精確で遮蔽にも強いが金属が近くにあるとノイズになる。画像式は導入は最も安価だが、上手く使うには準備や前処理が大変な場合があり正確性も劣る場合がある、などである。余談だが、近年は画像式の発展が著しく、工夫すればスマートフォンの動画を無料のプログラムで分析することも出来るようになっている。便利な時代である。そのようなソフトとしては、たとえば Kinovea (<https://www.kinovea.org/>), OpenPose (Cao et al.,

2017), DeepLabCut (Mathis et al., 2018)などがある。

もっとも、どの方式でも出力されるデータはマーカーの数×次元の数(1~3 次元)×サンプリング回数(スマートフォンの動画でも 1 秒当たり 30 コマ、専門的な機材なら 100 コマ~1000 コマに上ることもある)という中々の量の位置座標の数値行列データなので、せっかく予備実験でデータを取得しても、それを見た瞬間に挫折してしまう人もいる。Excel の初歩的な機能で扱うのも困難なので、専用の分析ソフト、または科学計算ソフトでの取扱いが前提になる。モーションキャプチャの学習には、Winter (2009/2011)を推薦する。バイオメカニクスの定番教科書の 1 つであり、次項で取り上げる筋活動計の使用法についても詳しく書かれている。概論や実験室での手順などについては、加藤他(2006)や内山他(2001), 「計測と制御」誌 59 巻 10 号(計測自動制御学会, 2020)なども参考になるだろう。

3.3.3 慣性センサ・ひずみゲージ・床反力計・生体信号センサなど

手拍子の計測など、1 箇所だけからデータが取れば十分な場合は慣性センサやひずみゲージなどのセンサを単品で用いるのも便利である。パッケージ化されている製品を用いてもよいし、安く済ませたいならネット通販や電気街で電子工作用の部品が 1 個数百円程度から手に入るの、それを購入してケーブルをはんだ付けして AD コンバータに入力するのも一興である。その気になれば AD コンバータも Arduino などのマイコンで代用できる。投稿論文用のデータとしては査読対応などで苦勞するかもしれないが、限られた資金で実験を行わざるを得ないときなどには悪くない選択肢と思われる。このあたりの情報としては、後閑(2015)や神崎(2012), Interface 誌 2017 年 9 月号(CQ 出版社, 2017)などが参考になる。

姿勢のゆらぎの同期を簡易的に計測したい場合は、床反力計も有力な候補になる。高性能な体重計のようなもので、鉛直方向の力の他に前後方向・左右方向の力や、各軸周りのモーメントなどを測ることができる。これらの情報から、てこの原理に則って足圧中心位置の時系列変化を計算する。床反力計も 6~10 チャンネル程度×サンプリング回数(1 秒あたり 100~1000 回)の数値行列を出力してくるので、この計算にも科学計算ソフトを用いる。

他にも、特定の筋肉の活動や顔の表情の同期を捉えたい場合などでは、筋電計が用いられることもある(Lin et al., 2024; Riehle et al., 2017)。呼吸の同期を捉えるために腹部や胸部にひずみゲージを装着する場合もある(Codrons et al., 2014)。さらに、行動の同期とは少し異なるが、心拍数の変動(ゆらぎ)も環境や社会的関係の影響を受けながら同期することがあることが知られており、それを捉えるために心拍計を装着することもある(Konvalinka et al., 2011; Shimizu et al., 2024)。近年は脳波や脳磁図、近赤外線分光法(near infrared spectroscopy: NIRS)、機能的磁気共鳴画像(functional magnetic resonance imaging: fMRI)といった脳機能計測機器での計測を 2 人同時に行い、脳活動の同期を捉えるという試み(ハイパースキャニングと呼ばれる)も行われている(定藤, 2016; 小池, 2019, 2020; 川崎, 2024)。

これらの場合も使用チャンネル数×サンプリング回数(1 秒あたり 100~2000 回程度)の数

値行列データが得られるので、専用の解析ソフトがない限り、取扱いには科学計算ソフトが必要である。心拍計に関しては、ピーク検出まで自動で行ってピーク間隔の形で出力してくれるデバイスも多い。この場合は 1 秒あたり 1~3 回程度のサンプリング回数に抑えられるので、何時間も計測を続けるのでなければ、平均値や分散の計算程度なら Excel でも可能である。それでも、自律神経バランスの推定などの心拍変動解析を行いたいなら、やはり科学計算ソフトが必要である(UNIONTOOL 社の myBeat など、心拍変動に関する指標を自動で計算して出力してくれるデバイスもある)。これら生体信号の計測については、加藤他(2006)や内山他(2001)が参考になる。

3.3.4 電子楽器

課題によっては電子楽器を用いるのも便利である。ヘッドホンや LINE 出力の端子から録音すれば雑音がほとんど入らないし、musical instrument digital interface (MIDI)に対応した楽器であれば、発音タイミングについては MIDI のシステム上でオンセット検出が行われるので、科学計算ソフトを利用した信号処理を一段階スキップできる。

MIDI を用いた収録では、MIDI シーケンサソフトや digital audio workstation (DAW)ソフトを用いる。MIDI シーケンサは MIDI 機器の入力受付と制御に特化しているので、初心者でも比較的扱いやすい。第一著者は Domino (<https://takabosoft.com/domino>)や世界樹 (<https://openmidiproject.opal.ne.jp/Sekaiju.html>)といったソフトを利用している。DAW は設定や操作が複雑になるが、音声ファイルを同じソフトから提示したりマイクや LINE 入力と同期して収録したりできるので、使用できると対応出来る課題の幅が広がる。Cakewalk (<https://www.bandlab.com/products/cakewalk>)というソフトが高機能にもかかわらず無料で利用するため便利だが、執筆時点では日本語の書籍が無いため少し使いづらいかもしれない。Cubase LE や Cubase AI は簡易版の DAW ソフトだが、オーディオインターフェイス(マイクやオーディオ機器をパソコンに接続するための機器)にバンドルされていることがあり、日本語の解説書も多いので、入門に適していると思われる。

楽器以外に追加で必要な機材としては、オーディオインターフェイスと外部 MIDI 音源モジュールが挙げられる。どちらもパソコンに内蔵のものは入力遅延が大きく、使用に堪えない場合があるためである。オーディオインターフェイスは、ASIO というオーディオドライバに対応したものが遅延が小さいとされ、望ましい。外部 MIDI 音源モジュールは、楽器に内蔵されている場合もあるので(パソコンにとっての「外部」)、不要なこともある。

MIDI ファイルには、いつ・何の音がどのぐらいの強さで鳴ったのかなどといった、楽譜に相当するような情報が記録されている。MIDI ファイルの情報は、世界樹などのシーケンサを用いれば Excel で表示できる csv ファイルとして書き出すことができる。MATLAB や Python でも midi toolbox (Eerola & Toiviainen, 2004), Mido (<https://mido.readthedocs.io/en/stable/>)といったライブラリを用いれば、主要な情報を取り出すことが出来る。

なお、MIDI を用いた演奏の記録や聴覚刺激の提示では、トリガーの受付と発音の間に情報処理がはさまっているため、タイミングに一定の遅延やばらつきが生じてしまう。MIDI の規格が提案されたのが 1983 年とかなり昔なこともあり、使用機材や検討したい現象などによっては、この遅延やばらつきが無視できないレベルになる場合があることが指摘されている(三浦, 2008)。そのようなおそれのある場合には、トリガー信号を分岐させて AD コンバータで記録したデータから発音間隔を求めたものと突き合わせるなどして、手持ちの環境の時間精度を確かめてから使った方がよい。ちなみに、2020 年には MIDI 2.0 という新しい規格が提案されたが、2025 年 2 月現在に至ってもまだあまり普及していない。Google Scholar で「“MIDI 2.0” psychology」「“MIDI 2.0” “sensorimotor synchronization”」などと検索した限りでは、心理学・行動科学の実験に利用している例も見つけられなかった。MIDI 2.0 に対応したキーボードが初めて発売されたのも 2023 年末のようである(藤本, 2023)。MIDI 2.0 は従来の MIDI との互換性を確保しながら、タイミングも含む様々なスペックが向上しうる規格となっているようなので(音楽電子事業協会, 2020)、今後の開発の進展が期待される。MIDI の基礎知識(楽器と PC や音源のつなぎ方も含む)については高橋(2005)、MATLAB や Python での MIDI ファイルの取り扱いについては Eerola & Toiviainen (2004)および日向(2023)が参考になる。

3.4 同期の周辺を支える道具

ここでは、前項の道具で計測したデータの処理や意味づけに用いる代表的な道具を紹介する。

3.4.1 質問紙・心理尺度

行動の同期と一緒に社会心理学的な変数についても検討したい場合は、心理尺度の質問紙などを用いて測ることがある。Google Scholar や CiNii などのデータベースで「(欲しい概念) 尺度」などと検索すれば様々な心理尺度が見つかる。「心理測定尺度集」という、様々な心理尺度の質問項目や概略をまとめた書籍もサイエンス社から出版されている(堀, 松井, 2001; 堀, 松井, 宮本, 2011; 堀, 櫻井, 松井, 2007; 堀, 山本, 2001; 堀, 吉田, 2001; 堀, 吉田, 宮本, 2011)。

なお、心理尺度にも様々な使用上の注意があるので、使用にあたっては質問紙調査に関する教科書などをあらかじめ読んでおいてほしい(三浦・大竹, 2017; 高橋他, 2023)。たとえば、著者や学会によっては使用にあたって原著者に連絡して許可を得る必要があるというルールを設定している場合がある。商品化されている心理尺度の中には、公認心理師などの資格を持っていないと購入できないものもある。海外で作成された質問紙を自ら翻訳して使うのにも注意が必要である。翻訳のクオリティが回答に影響しうだけでなく、文化差などによって因子構造が変化する場合もある(Kenny, 2023)。そのため、学術誌への投稿を目指す研究で用いる場合には、少なくとも翻訳版を作成する際の指針に則って、通常の翻訳に加えて第三者による確

認やプロによるバックトランスレーションを行う(稲田, 2015; 三浦・大竹, 2017)など, 慎重に翻訳してから用いるべきである. 可能であればついでに(と言うには大変な手間だが), 原著者に許可を取って翻訳版のバリデーションまで行い, 雑誌や紀要などで論文として公開してくれれば, 後続の研究者も用いることが出来るので大変ありがたい.

3.4.2 科学計算ソフト(プログラミング言語)

科学計算ソフトにも触れておこう. ここまで紹介してきたとおり, 手作業のコーディングで済ませる場合以外は基本的に科学計算ソフトが必要になる. 状況によっては Excel で対応出来ることもあるかもしれないが, 科学計算ソフトの方が動作が軽快である. 機材に対応した専用の解析ソフトがあればそれで代用できる場合もあるが, 科学計算ソフトで自力で計算できるようになれば解析ソフトの購入代金を節約できるし, 指標の仕組みや性質に対する理解も深まる. 何より科学計算ソフトはプログラミング言語でもあるので, 同じ処理のくり返しを自動化できる. 複数人からデータを計測すれば必ずくり返し処理が必要なので, このメリットは非常に大きい.

筆者の周囲では MATLAB を利用している人が多い. 個人的には初学者やプログラミングの経験があまり無い人には MATLAB を勧める. 有料ではあるが, 学生版であれば, よく使われるオプションライブラリ(ツールボックス)も多数セットになって 1 万円ほどで購入できる(2024 年末現在. 教員や企業は本体だけで年間数万円から). 有料だけあって公式サポートが手厚く日本語にも対応しており, 環境構築も簡単で, 年 2 回のアップデートが継続的に行われながらも高いバージョン間互換性が維持されている. Python は無料のためユーザーや書籍などの情報は MATLAB よりずっと多いが, 公式の情報がほとんど英語で, 環境構築も選択肢が多すぎてプログラミング初心者にはわかりづらい. 本体もオプションライブラリもバージョンが乱立しているため, 書籍や web などからコピーしてきたコードがエラーを吐き出すことも珍しくない. これらのトラブルシューティングで溶ける時間と受けるストレスを考えれば, MATLAB の 1 万円は破格である. だれかに Python を教えてもらえる環境でなければ, まず MATLAB で本質的な部分に慣れておいて, 学生でなくなっても類似の作業をするなら Python に乗り換える, という運用でよいと思う. あるいは MATLAB との高い互換性を意識して開発されている無料のプログラミング言語として GNU Octave などもあるので, それらを利用するという選択肢もある(MATLAB や Python と比べると情報が少なくはなるが). MATLAB の学習の教科書としては, 基本的な内容については北村(2016)や奥野・中島(2017), 生体信号処理については小野(2018)などがわかりやすい.

3.4.3 物理学と数学

「行動の同期が生じる仕組み」の後半で触れたように, この領域に深入りすると自己組織化や数理モデル, 力学系といった, やや高度な物理学の概念に遭遇する. そのため, 特に大学院

以降も引き続き同期の研究を希望する学生には、数学や物理学もある程度身につけてもらえたら非常に心強い。

このように言うとも構えてしまうかもしれないが、重要なのは難関大学の入試のような凝った問題を解く能力ではなく、概念や操作の基本的な定義や性質を丁寧に理解することである。数理モデルの自作や理論解析をしたいなら別だが、数式の「気持ち」の理解だけなら、三角関数と微分・積分を直感的に理解しているだけで十分なこともしばしばある。学習にあたっては、高等専門学校(高専)の教科書を手に入れるのが個人的にはおすすめである。高校数学の教科書と似たテイストで微分方程式まで学べるので、高校数学と大学数学のギャップ問題に苦しむリスクを避けながら、数理モデルに対応出来る(数理モデルは微分方程式で記述されることが多い)。具体的な教科書を挙げるとすれば、大日本図書のもの(高遠他, 2022; 高遠他, 2023)が、オンライン書店で容易に手に入れられる。同社は中学校や高等学校の教科書も出版しているだけあり、それらと読み比べたときの違和感も少ないようにも思う。

物理学に関しても、高校の教科書などのように広い分野の問題を解けるようになるべきという話ではないので安心してほしい。同期の領域で用いられる専門的な用語や概念の中には、非線形科学あるいは複雑系科学などと呼ばれる物理の領域に由来するものがしばしばある。ひとまずは、これらの領域の読み物をいくつか読んでおけば、難解な論文を理解する助けになることがある、という程度の話である。個人的におすすめの書籍としては、Strogatz (2003/2005; 1994/2015), 蔵本 (2007; 2014), 都甲他(1999)を挙げておく。

4 著者らの研究の紹介

ここでは著者らが行ってきた研究を例に挙げ、どのようなことを考えながら研究を設計したかについて解説する。

4.1 2人組での同期タッピング課題

岡野の代表的な研究として、Okano et al. (2017)を紹介する。本研究では、メトロノームで指示した基準テンポを維持しようとしながら 200 秒間の指タッピング課題を、単独で行う条件(ソロ)と、2人組で互いの同期も維持しながら行う条件(ペア)とで実施してもらい、テンポが逸脱していく様子を条件間で比較した。その結果、ソロ条件では遅くなる場合と速くなる場合が大きく偏らずに出現した一方、ペア条件では、速くなる逸脱の仕方が偏って出現した。本論文の範囲ではさらに、ペアで速くなりやすかった仕組みについての仮説を得るべく、「2人のうちどちらかが速くなりやすい人で、その人が引っ張っていった」という仮説と、「2人の相互タイミング調節が加速をもたらした」という仮説を立て、両者の妥当性を比較した。その結果、後者の方が妥当そうであるという結論を得た。その後の研究では心拍数を測りながらの同様な実験も追加で行い、心拍数は関係なさそうであるという結果も得た(岡野, 2017)。

実を言うとこの研究は偶然の産物である。元々は「息が合うってどういうこと？」という素

朴な疑問から様々な同期課題の予備実験を試していたのだが、その過程で 2 人組になると速くなるパターンばかりが出現することにたまたま気づいたのだった。当初はソロとペアでテンポが変わってしまったら実験が成立しないのでは？と絶望したものだったが、ゼミで話すと「いや、おもしろいやん」「これを狙った実験を組み立てよう」ということになり、この研究に繋がった。思い出話は置いておいて、この発見を確実なものとするため、様々なバイアスや想定質問への対策を考え、実験の方法に反映させた。

4.1.1 テンポ

テンポは結果に影響すると考えられたため、慎重に設定した。本研究のソロ条件のような課題を実施していた先行研究から、タップ間隔にしておよそ 250 ms, 413 ms, 513 ms, 748 ms あたりが境目となり、速くなりやすいテンポ帯と遅くなりやすいテンポ帯が交互に存在することが示唆されていたのである (Collyer et al., 1992)。また、およそ 1000 ms 前後の時間間隔を境として、タイミングをコントロールする神経基盤が異なる可能性も指摘されていた (Buhusi & Meck, 2005)。そこで、ソロでは遅くなりやすいと予想されるテンポ、半々ぐらいになると予想されるテンポ、速くなりやすいと予想されるテンポとしてキリの良い数字ということで、それぞれ 800, 500, 300 ms というテンポの条件を設定した。

4.1.2 順序効果

順序効果とは、順番が結果に及ぼす影響である。たとえば、全員がソロを先にやってからペアをやる、という順番になっていたなら、「それはソロ・ペアの差ではなく前・後の差のでは？」と言われるおそれがある。そこで研究者はよく、半分の参加者はソロを先にやり、残りの参加者はペアを先にやる、というような工夫をする。テンポのように条件が 3 つあるなら、その順列の $3! = 6$ 通りの順番を考え、6 通りの順番に同じ数の参加者を割り当てていく(したがって総参加者数が 6 の倍数になる)。これにより、標本全体として順序効果を相殺(カウンターバランス)するという工夫である。ただし条件数が多いと必要な参加者数も劇的に増えていくので、その場合は単に条件の実施順をランダムにする。

ただこの研究の場合は、「半分はソロが先、残りはペアが先」とすると、「残り」の人が常に「半分」の人の後に課題を実施することになるので、それも避けたかった。そこで結局、再現性の確認も兼ねてソロ 1→ペア 1→ソロ 2→ペア 2→ソロ 3、というふうに、ソロのブロックとペアのブロックを交互にそれぞれ 3 回・2 回ずつ測定することにした。これで 2 人の参加者 (P1, P2 とする)のうち P1 がソロ 1 とソロ 3 で先、P2 がソロ 2 で先というふうに、「常に同じ人が先に課題を行う」ということにならないようにできた。さらに、最後のソロも 1 回目・2 回目と同様であることが示せれば、「時間の経過とともに(飽きなどで)速くなったり遅くなったりしたわけではない」とも主張できるようにも仕上げた。また、テンポに関してはソロ・ペアのブロック内に 3 条件すべてを入れ、テンポの順番をペア間でカウンターバランスする

ことにした。

4.1.3 長周期のゆらぎ

これは「速くなったあと、戻って来はしないのか」という疑問に答えるための対策であった。ソロで長時間タッピングしてもらったという先行研究(Torre et al., 2011)で示されていたタップ間隔時系列に、50～100 秒周期のゆらぎが見られたため、2 周期分入るようにということで 200 秒に設定した。また、この研究のデータのゆらぎ方を後でフラクタル解析にかけたかったため、800 ms 間隔の条件でもフラクタル解析の精度が十分になるだけの長さが欲しかったという事情もある(フラクタル解析の結果は Okano et al. (2019)で報告している)。

4.1.4 その他

その他、「参加者は耳で合わせたのか目で合わせたのか」という想定質問への対応として、目で合わせられないよう 2 人の間にはついたてを置いた。「速くなる」という現象は実は音楽演奏の現場では若いアマチュアが陥りやすい症状として知られている(Colson, 2012)。そこで、楽譜にかじりついているアマチュアを想定して、目ではなく耳で合わせる状況になるようにした。また同様の理由で、参加者も学校の授業以外で音楽を習った経験のない人を中心に集めた。あとは楽器の音色も影響しそうな気はしたが、テンポとソロ・ペアと 200 秒の時点ですでに 1 ペアあたり 80 分程度かかることが予想されたため、音色の違いは「今後の課題」ということにし、手元にあった電子ドラムの中で最もよく聞こえかつグルーヴィーな音色と思ったものを選んだ。参加者に無心になって欲しかったためそのような選び方をしたのだが、ここはもう少しロジカルな決め方をした方がよかったかもしれないという思いはある。

5 展望

最後に、行動の同期の研究に関する展望について、筆者らの専門領域からの視点を中心に簡単に述べる。

5.1 同期とスキルサイエンス

生態心理学という分野にとっての行動同期の位置づけは、まずは背景で紹介したような社会心理学・認知神経科学・非線形科学が重なる領域である。さらに、背景で触れなかった他の領域(そして筆者らの専門領域)として、スキルサイエンスも挙げられる。スキルサイエンスが生態心理学と関わりの深い領域であることは、「生態心理学研究」誌の J-STAGE に収録されている 188 本の記事のうち、39 本が「スキル or 技能 or 熟達」という検索ワードでレコメンドされることから伺える(2025 年 1 月 14 日時点での検索結果)。コミュニケーションや身体運動のスキルサイエンスでは、認知神経科学的手法で神経基盤が追究されるとともに、現象の

記述や区別、法則性の追究といった側面には非線形科学の知見が取り入れられている(児玉他, 2021; 工藤他, 2023; 中込, 伊藤 & 山本, 2012). そのため, 非線形科学の典型的な現象の 1 つである同期や, その上位概念として後述する協調には, スキルを研究するための切り口としても有用な側面がある.

たとえば, 背景で述べたように同期はラポートを促進するという点で, コミュニケーションスキルの一端をなすと考えられる. また, 音楽やダンスが典型的なように, 同期は外部環境に応じた動きの最も基礎的な形の 1 つである. したがって, 同期の程度に影響する要因や, 同期が実現される仕組みについては, 非常に多くの研究の蓄積がある(Repp, 2005; Repp & Su, 2013). さらに, 後述するようにスポーツ場面でも選手間のおそらく意図しない同期が報告されている(Furukawa et al., 2024; Varlet & Richardson, 2015).

逆に, 巧みな動作の実現においては同期しないことが重要な場合もある. たとえば音楽やダンスには「裏拍」「裏打ち」などと呼ばれる, オフビートのタイミングに音や動作が置かれる局面がある. スポーツの応援などでも, 観客が同期せず少しずつ位相差をつけながら上下動することで, 観客席が波打っているかのような視覚効果が演出されることがある. 餅つきのつき手と返し手が餅に触れるタイミングが同期すれば, 返し手の手はつぶれてしまいかねない. 1 人の身体の中での筋間協調や関節間協調においては, ますます同期しないことが重要である. 主動筋と拮抗筋の活動が同期すると, 反対方向のトルクが打ち消し合う形になり, 関節運動は起こらないものになる(もしくは固まって動かない). 野球のピッチャーが速球を投げるために体幹から末端に向けて運動エネルギーを伝える過程でも, 関節運動や筋活動の絶妙な時間差が重要である(Hirashima et al., 2002). こうした例を考えると, 同期が生じる仕組みは, 身体を思い通りに動かすことを妨げる仕組みにもなりうる. 先述の 2 人組同期タッピングの例(Okano et al., 2017)では, 意図しない加速という副産物までついてくる. このように, 同期はスキルサイエンスにとっても重要な現象と言える.

5.2 スキルサイエンスにおける同期研究の課題

行動の同期に関するこれまでの研究は, どちらかという同期のポジティブな側面や, それを前提として, 同期を促進する条件に着目したものが多かった. 一方, 少なくともスキルサイエンスにおいては, 上で述べたように同期しないことも重要である. さらに, ある程度の同期を前提としながらも, 「同期しすぎない」ことが重要な場合も考えられる.

たとえば音楽演奏の研究ではグルーブ(音楽を聴いて感じる, 音楽に合わせて動き出したくなるような快い衝動: Janata et al., 2012)と, 「マイクロタイミング」と呼ばれる, 譜面には表されない生演奏特有の微小なタイミングのずれと関係が注目されている(Davies et al., 2012; 恵谷他, 2023; Etani et al., 2024; Frühauf et al., 2013; 河瀬, 2023; 宮丸他, 2017; 中谷他, 2022). また, 歩調の同期はトップクラスの短距離走選手の全力疾走という, 一種の極限状態でも報告されている(Furukawa et al., 2024; Varlet & Richardson, 2015). 興味深いことに, Varlet and

Richardson (2015)と Furukawa et al. (2024)が着目したのはそれぞれ別のレースだが、歩調が同期した2人ずつの選手は共通して、世界記録や日本記録および自己ベストを更新していた。したがってこれらの研究は同期のポジティブな側面の報告とも捉えられる。しかし、もし長距離走でも意図しない同期が生じるとすれば、選手にとってうれしい帰結になるとは限らない可能性もある。意図しない同期や加速は歩調の乱れと見なすことができるため、長距離走の終盤にもなると悪影響となるかもしれない。この点について実際に検証した研究を筆者らは知らないが、少なくとも隣接するランナーの足音が聞こえると、訓練されたランナーでも歩調への影響は免れないようである(Furukawa et al., 2023)。さらに、少し話が逸れる上に極論かもしれないが、背景で説明したような良好な社会的関係と同期の関係においても、集団としてのまとまりが強くなりすぎて反対意見を出しにくくなるような事態が生じるとすると、集団の機能性や健全性がかえって損なわれることにもつながりかねない(Mehr et al., 2020)。これらのような「同期しないことの重要性」や「ほどよい同期・非同期」といったトピックについては、研究の余地が多く残されているように思う。

他にも、先だって自閉症や統合失調症について、社会性に関わる障害や疾患が、同期を抑制するという文脈で引き合いに出したが、こうした人々が能力を発揮できる環境を考察する、という福祉やエンパワメントの観点においても、同期とスキルの研究は役割を担える可能性がある。Mukai et al. (2018)は、2人組でレバーを左右にリズムカルに動かす動作を、1/4周期だけ互いの位相をずらしながら行えるよう運動学習してもらう課題(同位相になってしまいやすく、なかなか難しい)を実施した。その結果、2人の自閉症傾向(統合失調症者も平均的に健常者より強いことが知られている: De Crescenzo et al., 2019)の差が大きいペアほど、学習が早く進んだ。課題中のふるまいをより詳しく観察すると、自閉症傾向の差が大きいペアでは、自閉症傾向の高い参加者(相手の意図を想像するのが苦手である可能性が高い)が先行して動き、低い参加者が追従するという役割分担が早期に生じていたこともわかった。ただし、Mukai et al. (2018)の参加者の自閉症傾向スコア(Baron-Cohen et al., 2001; Wakabayashi et al., 2006)は高くても境界領域程度であったため、それ以上の対象者であっても同じ結果が得られるかは現在不明である。しかし、もし同じ結果が得られるとすれば、その知見は強い自閉症傾向を持つ人々が能力を発揮しやすい環境について考えるための足がかりになる可能性がある。そうでないとしても、共同動作のパートナーや役割分担をどのように組むと生産性が高まるのか、といった問題を考えるヒントになる可能性がある。

5.3 「行動」と「同期」のさらに先へ

最後に、行動のレベルに留まらない同期現象や、同期を包含する上位概念に関して簡単に紹介する。「道具」の項でも少し触れたが、近年の新しいトピックとして、生体信号の同期への注目も高まってきている。たとえば心拍変動の同期に着目した研究として、Konvalinka et al. (2011)がある。Konvalinka et al. (2011)は、宗教的儀式として火の上を歩く行為(火渡り)を行

う人と、それを見守る人々の心拍数の変動を計測した。その結果、火渡りを行う人と、その親類や友人といった近しい関係の観客の間では心拍変動の同期が認められた一方、それ以外の人々との間には同期は認められなかった。Shimizu et al. (2024)も、ダンスバトル場面において類似の現象(ダンサーと近しい関係の観客との間での心拍同期)を報告している。Mitkidis et al. (2015)も、「公共財ゲーム」と呼ばれる、協力行動のダイナミクスについて検討する経済学の実験パラダイムにおいて参加者の心拍数を計測し、参加者間の信頼関係と心拍数の同期とが関係していることを明らかにした。これらのことから、目に見える行動のレベルに留まらず、目に見えない生体信号のレベルにおいてもラポートと同期が関連していることが示唆される。ハイパースキャニングでも、2者の行動の同期と対応するかのように同期して活動する脳部位の存在や、脳の同期がコミュニケーションの成功と相関することが報告されている(川崎, 2024)。

また、協調(coordination: 協応と呼ばれることもある)という現象も、同期を包含する上位概念として挙げられ、広く研究されている。類似の概念としてシナジー(synergy)という用語もある。個人間同期という表現は位相差が 0° (同相同期)の場合か、広義でも 180° (逆相同期)の場合しか通常含まない一方、協調という表現は、それらに限らない位相差での安定した関係や、音楽のポリリズムのような、異なる周期の振動子同士の安定した時間的關係も含む。スキルサイエンスの項で言及した Mukai et al., (2018)や Hirashima et al. (2002)は、協調研究の例と言える。複数人の行動を対象とした系は個人間協調または対人間協調、1人の動きを対象とした系は体肢間協調または身体協応などと呼ばれている。児玉他 (2021)は個人間同期を主題とした解説だが、個人間協調についても扱っている。体肢間協調や身体協応については、Blau and Wagman (2022)にコンパクトな解説が掲載されている。日本語で読める文献としては、多賀 (2002)や Bernstein (1996/2003)に、生態心理学としてこの問題を扱う際の基礎知識が豊富に収録されている。

2010 年頃からはさらに、「グローバルな協調」などと呼ばれる新しい現象の研究も活発になってきている。通常の同期や協調が位相差という局所的な変数の一致や安定を指すのに対し、グローバルな協調は、ゆらぎの動的な性質(しばしば複雑性と呼ばれる)が一致することを指す。Complexity matching という用語も多く用いられる(Abney et al., 2014, 2021; Almurad et al., 2017; Coey et al., 2016; Delignières et al., 2016; Delignières & Marmelat, 2014; Den Hartigh et al., 2017; Fine et al., 2015; Marmelat & Delignières, 2012; Okano et al., 2019; Stephen & Dixon, 2011; Stephen et al., 2008; Stepp & Turvey, 2010; Torre et al., 2013; West et al., 2008)。同期と同じく、complexity matching も良好なコミュニケーションと関係することが理論的・実験的に示唆されている(Abney et al., 2014, 2021; West et al., 2008)。興味を持たれた方は近年出版された簡単な解説として工藤他 (2023)や、この領域で用いられる解析手法の解説として清水他 (2024)があるので、これらを参照して欲しい。

6 まとめ

以上、行動の同期に関して、社会的機能と仕組み、研究方法、著者の研究の紹介、そして展望について解説した。おわかりいただけたと思うが、同期や協調の研究は一見単なるちょっとした面白現象のように見える一方で、かなりの学際的な広がりを持っている。自由意志を持つと考えられてきた人間の行動に、非線形物理の法則に支配されている側面があるというややSF 的でもある世界観をダイレクトに感じることが出来る上、スキルサイエンスや福祉・エンパワメントのような、社会的意義の大きな領域にも接近している。本稿が同期や協調の研究への関心を高め、卒業研究のテーマに選んだり、大学院に進んだりする人が増えるきっかけになれば大変うれしい。

引用文献

- Abney, D. H., Paxton, A., Dale, R., & Kello, C. T. (2014). Complexity matching in dyadic conversation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(6), 2304–2315. <https://doi.org/10.1037/xge0000021>
- Abney, D. H., Paxton, A., Dale, R., & Kello, C. T. (2021). Cooperation in sound and motion: Complexity matching in collaborative interaction. *Journal of Experimental Psychology: General*, 150(9), 1760–1771. <https://doi.org/10.1037/xge0001018>
- Almurad, Z. M. H., Roume, C., & Delignières, D. (2017). Complexity matching in side-by-side walking. *Human Movement Science*, 54, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.04.008>
- 新井宏嘉 (2011). 地質学における方向データ解析法：円周データの統計学. *地質学雑誌*, 117(10), 547–564.
- Bamford, J. S., Burger, B., & Toiviainen, P. (2023). Turning heads on the dance floor: Synchrony and social interaction using a silent disco paradigm. *Music & Science*, 6. <https://doi.org/10.1177/20592043231155416>
- Bardy, B. G., Marin, L., Stoffregen, T. A., & Bootsma, R. J. (1999). Postural coordination modes considered as emergent phenomena. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(5), 1284–1301. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.5.1284>
- Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., Skinner, R., Martin, J., & Clubley, E. (2001). The autism-spectrum quotient (AQ): evidence from Asperger syndrome/high-functioning autism, males and females, scientists and mathematicians. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 31(1), 5–17. <https://doi.org/10.1023/a:1005653411471>
- Bernieri, F. J. (1988). Coordinated movement and rapport in teacher-student interactions. *Journal of Nonverbal Behavior*, 12(2), 120–138. <https://doi.org/10.1007/BF00986930>
- Bernieri, F. J., Davis, J. M., Rosenthal, R., & Knee, C. R. (1994). Interactional Synchrony and Rapport: Measuring Synchrony in Displays Devoid of Sound and Facial Affect. *Personality & Social Psychology Bulletin*, 20(3), 303–311. <https://doi.org/10.1177/0146167294203008>
- Bernieri, F. J., Reznick, J. S., & Rosenthal, R. (1988). Synchrony, pseudosynchrony, and dissynchrony: Measuring the entrainment process in mother-infant interactions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(2), 243–253. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.54.2.243>

- Blau, J. J. C., & Wagman, J. B. (2022). *Introduction to ecological psychology: A lawful approach to perceiving, acting, and cognizing*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003145691>
- Boersma, P., & van Heuven, V. (2001). Speak and unSpeak with PRAAT. *Glott International*, 5(9/10), 341–347. https://www.researchgate.net/profile/Paul-Boersma-2/publication/259810776_PRAAT_Doing_phonetics_by_computer_Version_5351/links/00b4953a530af84dc3000000/PRAAT-Doing-phonetics-by-computer-Version-5351.pdf
- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews. Neuroscience*, 6(10), 755–765. <https://doi.org/10.1038/nrn1764>
- Byblow, W., Carson, R., & Goodman, D. (1994). Expressions of asymmetries and anchoring in bimanual coordination. *Human Movement Science*, 13, 3–28. [https://doi.org/10.1016/0167-9457\(94\)90027-2](https://doi.org/10.1016/0167-9457(94)90027-2)
- Cao, Z., Simon, T., Wei, S.-E., & Sheikh, Y. (2017). Realtime multi-person 2D pose estimation using part affinity fields. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 7291–7299. <https://doi.org/10.1109/cvpr.2017.143>
- Cirelli, L. K., Einarson, K. M., & Trainor, L. J. (2014). Interpersonal synchrony increases prosocial behavior in infants. *Developmental Science*, 17(6), 1003–1011. <https://doi.org/10.1111/desc.12193>
- Codrons, E., Bernardi, N. F., Vandoni, M., & Bernardi, L. (2014). Spontaneous Group Synchronization of Movements and Respiratory Rhythms. *PLoS ONE*, 9(9), e107538. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107538>
- Coey, C. A., Washburn, A., Hassebrock, J., & Richardson, M. J. (2016). Complexity matching effects in bimanual and interpersonal syncopated finger tapping. *Neuroscience Letters*, 616, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.01.066>
- Collyer, C. E., Broadbent, H. a., & Church, R. M. (1992). Categorical time production: Evidence for discrete timing in motor control. *Perception & Psychophysics*, 51(2), 134–144. <https://doi.org/10.3758/BF03212238>
- Colson, J. F. (2012). *Conducting and Rehearsing the Instrumental Music Ensemble*. Scarecrow Press.
- Condon, W. S., & Ogston, W. (1966). Sound film analysis of normal and pathological behavior patterns. *The Journal of Nervous and Mental Disease*, 143(4), 338–347. <https://doi.org/10.1097/00005053-196610000-00005>
- Condon, W. S., & Sander, L. W. (1974). Synchrony Demonstrated between Movements of the Neonate and Adult Speech. *Child Development*, 45(2), 456–462. <https://doi.org/10.2307/1127968>
- CQ 出版社 (2017). IoT のヒント満載！ センサ時点 256. *Interface*, 43(9), 13-106.
- Davies, M., Madison, G., Silva, P., & Gouyon, F. (2012). The effect of microtiming deviations on the perception of groove in short rhythms. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 30(5), 497-510. <https://doi.org/10.1525/mp.2013.30.5.497>
- De Crescenzo, F., Postorino, V., Siracusano, M., Riccioni, A., Armando, M., Curatolo, P., & Mazzone, L. (2019). Autistic symptoms in schizophrenia spectrum disorders: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 10, 78. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2019.00078>
- Dean, D. J., Scott, J., & Park, S. (2021). Interpersonal coordination in schizophrenia: a scoping review of the literature. *Schizophrenia bulletin*, 47(6), 1544-1556. <https://doi.org/10.1093/schbul/sbab072>
- Delignières, D., Almurad, Z. M. H., Roume, C., & Marmelat, V. (2016). Multifractal signatures of complexity

- matching. *Experimental Brain Research*, 234(10), 2773–2785. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4679-4>
- Delignières, D., & Marmelat, V. (2014). Strong anticipation and long-range cross-correlation: Application of detrended cross-correlation analysis to human behavioral data. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 394, 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2013.09.037>
- Den Hartigh, R. J. R., Marmelat, V., & Cox, R. F. A. (2017). Multiscale coordination between athletes: Complexity matching in ergometer rowing. *Human Movement Science*, 57, 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.10.006>
- di Pellegrino, G., Fadiga, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Rizzolatti, G. (1992). Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research*, 91(1), 176–180. <https://doi.org/10.1007/BF00230027>
- Eerola, T., & Toiviainen, P. (2004). MIDI toolbox: MATLAB tools for music research. *Department of Music, University of Jyväskylä*. <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/49277/1/951-39-1795-9.pdf>
- 恵谷隆英・三浦哲都・河瀬諭・工藤和俊・藤井進也 (2023). マイクロタイミングに着目したグルーブ研究の展望. *心理学評論*, 66(1), 37–49. https://doi.org/10.24602/sjpr.66.1_37
- Etani, T., Miura, A., Kawase, S., Fujii, S., Keller, P. E., Vuust, P., & Kudo, K. (2024). A review of psychological and neuroscientific research on musical groove. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 158, 105522. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2023.105522>
- Felsberg, D. T., & Rhea, C. K. (2021). Spontaneous interpersonal synchronization of gait: A systematic review. *Archives of Rehabilitation Research and Clinical Translation*, 3(1), 100097. <https://doi.org/10.1016/j.arrct.2020.100097>
- Fine, J. M., Likens, A. D., Amazeen, E. L., & Amazeen, P. G. (2015). Emergent Complexity Matching in Interpersonal Coordination : Local Dynamics and Global Variability. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 41(2), 1–15. <https://doi.org/10.1037/xhp0000046>
- Fink, P. W., Foo, P., Jirsa, V. K., & Kelso, J. A. (2000). Local and global stabilization of coordination by sensory information. *Experimental Brain Research*, 134(1), 9–20. <https://doi.org/10.1007/s002210000439>
- Frühauf, J., Kopiez, R., & Platz, F. (2013). Music on the timing grid: The influence of microtiming on the perceived groove quality of a simple drum pattern performance. *Musicae scientiae*, 17(2), 246–260. <https://doi.org/10.1177/1029864913486793>
- Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2010). Intrinsic constraint of asymmetry acting as a control parameter on rapid, rhythmic bimanual coordination: a study of professional drummers and nondrummers. *Journal of Neurophysiology*, 104(4), 2178–2186. <https://doi.org/10.1152/jn.00882.2009>
- 藤本健 (2023). 世界初, MIDI2.0 プロパティエクステンション対応の最先端キーボード, KORG Keystage 誕生. DTM ステーション. Retrieved February 19, 2025, from <https://www.dtmstation.com/archives/63339.html>
- Fujiwara, K., Kimura, M., & Daibo, I. (2019). Gender differences in synchrony: Females in sync during unstructured dyadic conversation. *European Journal of Social Psychology*, 49(5), 1042–1054. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2587>
- Fujiwara, K., Kimura, M., & Daibo, I. (2020). Rhythmic features of movement synchrony for bonding individuals in dyadic interaction. *Journal of Nonverbal Behavior*, 44(1), 173–193. <https://doi.org/10.1007/s10919-019-00315-0>

- Furukawa, H., Kudo, K., Kubo, K., Ding, J., & Saito, A. (2023). Auditory interaction between runners: Does footstep sound affect step frequency of neighboring runners? *PloS One*, 18(1), e0280147. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0280147>
- Furukawa, H., Miyata, K., Richardson, M. J., Varlet, M., & Kudo, K. (2024). Could spontaneous interpersonal synchronization enhance athletes' performance? A case report on the Japanese 100-m record race. *Research Square*, <https://www.researchsquare.com/article/rs-4623922/latest>
- 後閑哲也 (2015). 電子工作入門以前. 技術評論社.
- Haken, H., Kelso, J. A. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics*, 51(5), 347–356. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3978150>
- Hirashima, M., Kadota, H., Sakurai, S., Kudo, K., & Ohtsuki, T. (2002). Sequential muscle activity and its functional role in the upper extremity and trunk during overarm throwing. *Journal of Sports Sciences*, 20(4), 301–310. <https://doi.org/10.1080/026404102753576071>
- 細馬宏通, & 菊地康平 (編) (2019). ELAN 入門 言語学・行動学からメディア研究まで. ひつじ書房.
- 堀洋道 (監修) 松井豊 (編) (2001). 心理測定尺度集 III 心の健康をはかる<適応・臨床>. サイエンス社
- 堀洋道 (監修) 松井豊・宮本聡介 (編) (2011). 心理測定尺度集 VI 現実社会とかわる<集団・組織・適応>. サイエンス社
- 堀洋道 (監修) 櫻井茂男・松井豊 (編) (2007). 心理測定尺度集 IV 子どもの発達を支える<対人関係・適応>. サイエンス社
- 堀洋道 (監修) 山本眞理子 (編) (2001). 心理測定尺度集 I 人間の内面を探る<自己・個人内過程>. サイエンス社
- 堀洋道 (監修) 吉田富二雄 (編) (2001). 心理測定尺度集 II 人間と社会のつながりをとらえる<対人関係・価値観>. サイエンス社
- 堀洋道 (監修) 吉田富二雄・宮本聡介 (編) (2011). 心理測定尺度集 V 個人から社会へ<自己・対人関係・価値観>. サイエンス社
- Hove, M. J., & Risen, J. L. (2009). It's All in the Timing: Interpersonal Synchrony Increases Affiliation. *Social Cognition*, 27(6), 949–960. <https://doi.org/10.1521/soco.2009.27.6.949>
- 日向俊二 (2023). Python サウンド・オーディオプログラミング MIDI と WAVE サウンドのプログラミング. カットシステム.
- Iacoboni, M. (2008). *Mirroring People: New Science of How We Connect with Others*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- (塩原通緒 (訳) (2009). ミラーニューロンの発見 「物まね細胞」が明かす驚きの脳科学 ハヤカワ書房)
- 稲田尚子 (2015). 尺度翻訳に関する基本指針(「行動療法研究」における研究報告に関するガイドライン). 行動療法研究, 41(2), 117–125. https://doi.org/10.24468/jjbt.41.2_117
- Janata, P., Tomic, S. T., & Haberman, J. M. (2012). Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *Journal of Experimental Psychology. General*, 141(1), 54–75. <https://doi.org/10.1037/a0024208>

- 加藤象二郎・大久保堯夫 (編著) (2006). 初学者のための生体機能の測り方 第2版. 日本出版サービス.
- 川崎真弘 (2024). ヒトとヒトのコミュニケーションに見られる脳波リズムの脳間同期. 日本神経回路学会誌, 31(2), 63–70. <https://doi.org/10.3902/jnns.31.63>
- 河瀬諭 (2023). 合奏の同期. 日本音響学会誌, 80(1), 48–54. https://doi.org/10.20697/jasj.80.1_48
- 神崎康宏 (2015). Arduino で計る, 測る, 量る. CQ 出版社.
- 計測自動制御学会 (2020). 特集 スポーツパフォーマンスに貢献する三次元計測技術. 計測と制御, 59(10), 695–747.
- Kelso, J. A. S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *The American Journal of Physiology*, 246(6), R1000–R1004. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=6742155
- Kendon, A. (1970). Movement coordination in social interaction: some examples described. *Acta Psychologica*, 32(2), 100–125. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(70\)90094-6](https://doi.org/10.1016/0001-6918(70)90094-6)
- Kenny, D. T. (2023). The Kenny music performance anxiety inventory (K-MPAI): Scale construction, cross-cultural validation, theoretical underpinnings, and diagnostic and therapeutic utility. *Frontiers in Psychology*, 14, 1143359. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1143359>
- 北原真冬・田嶋圭一・田中邦佳 (2017). 音声分析を学ぶ人のための Praat 入門. ひつじ書房.
- 北村達也 (2016). はじめての MATLAB. 近代科学社.
- Knoblich, G., Butterfill, S., & Sebanz, N. (2011). Psychological Research on Joint Action. *The Psychology of Learning and Motivation*, 54, 59–101. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385527-5.00003-6>
- Knoblich, G., & Sebanz, N. (2006). The Social Nature of Perception and Action. *Current Directions in Psychological Science*, 15(3), 99–104. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2006.00415.x>
- 児玉謙太郎・岡崎俊太郎・藤原健・清水大地 (2021). シンクロする人々: 個人間の身体的同期に関するレビュー. 認知科学, 28(4), 593–608. <https://doi.org/10.11225/cs.2021.040>
- 小池耕彦 (2019). ハイパースキャニング脳機能イメージング. バイオメカニズム学会誌, 43(3), 179–187. https://doi.org/10.3951/sobim.43.3_179
- 小池耕彦 (2020). ハイパースキャニングを用いたコミュニケーションの神経基盤の検討. 基礎心理学研究, 39(1), 96–102. <https://doi.org/10.14947/psychono.39.16>
- Konvalinka, I., Xygalatas, D., Bulbulia, J., Schjødt, U., Jegindø, E. M., Wallot, S., Van Orden, G., & Roepstorff, A. (2011). Synchronized arousal between performers and related spectators in a fire-walking ritual. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(20), 8514–8519. <https://doi.org/10.1073/pnas.1016955108>
- 工藤和俊・岡野真裕・紅林亘 (2023). 非線形力学系としての身体. 日本物理学会誌, 78(7), 390–398. https://doi.org/10.11316/butsuri.78.7_390
- Kudo, K., Park, H., Kay, B. a., & Turvey, M. T. (2006). Environmental coupling modulates the attractors of rhythmic coordination. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 32(3),

- 599–609. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.3.599>
- Kugler, P. N., & Turvey, M. T. (2015). *Information, natural law, and the self-assembly of rhythmic movement*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315648460>
- Kuramoto, Y. (1975). Self-entrainment of a population of coupled non-linear oscillators. In *International Symposium on Mathematical Problems in Theoretical Physics* (pp. 420–422). Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/bfb0013365>
- 蔵本由紀 (2007). 非線形科学. 集英社.
- 蔵本由紀 (2014). 非線形科学 同期する世界. 集英社.
- Lamb, P. F., & Stöckl, M. (2014). On the use of continuous relative phase: Review of current approaches and outline for a new standard. *Clinical Biomechanics*, 29(5), 484–493. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2014.03.008>
- Latash, M. L., and Turvey, M. T., (eds.) (1996). *Dexterity and Its Development*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
(工藤和俊(訳) 佐々木正人(監訳)(2003). デクステリティ 巧みさとその発達 金子書房)
- Lin, D., Zhu, T., & Wang, Y. (2024). Emotion contagion and physiological synchrony: The more intimate relationships, the more contagion of positive emotions. *Physiology & Behavior*, 275, 114434. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2023.114434>
- Lumsden, J., Miles, L. K., & Macrae, C. N. (2014). Sync or sink? Interpersonal synchrony impacts self-esteem. *Frontiers in Psychology*, 5, 1064. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01064>
- Mardia, K. V., & Jupp, P. E. (2000). *Directional Statistics*. Wiley.
- Marmelat, V., & Delignières, D. (2012). Strong anticipation: complexity matching in interpersonal coordination. *Experimental Brain Research*, 222(1–2), 137–148. <https://doi.org/10.1007/s00221-012-3202-9>
- Mathis, A., Mamidanna, P., Cury, K. M., Abe, T., Murthy, V. N., Mathis, M. W., & Bethge, M. (2018). DeepLabCut: markerless pose estimation of user-defined body parts with deep learning. *Nature Neuroscience*, 21(9), 1281–1289. <https://www.nature.com/articles/s41593-018-0209-y>
- McNaughton, K. A., & Redcay, E. (2020). Interpersonal synchrony in autism. *Current Psychiatry Reports*, 22(3), 12. <https://doi.org/10.1007/s11920-020-1135-8>
- Mehr, S. A., Krasnow, M. M., Bryant, G. A., & Hagen, E. H. (2020). Origins of music in credible signaling [Review of Origins of music in credible signaling]. *The Behavioral and Brain Sciences*, 44(e60), e60. Cambridge University Press (CUP). <https://doi.org/10.1017/S0140525X20000345>
- Miles, L. K., Griffiths, J. L., Richardson, M. J., & Macrae, C. N. (2010). Too late to coordinate: Contextual influences on behavioral synchrony. *European Journal of Social Psychology*, 40(1), 52–60. <https://doi.org/10.1002/ejsp.721>
- Miles, L. K., Lumsden, J., Flannigan, N., Allsop, J. S., & Marie, D. (2017). Coordination matters: Interpersonal synchrony influences collaborative problem-solving. *Psychology*, 8, 1857–1878. <https://doi.org/10.4236/PSYCH.2017.811121>
- Mitkidis, P., McGraw, J. J., Roepstorff, A., & Wallot, S. (2015). Building trust: Heart rate synchrony and arousal during joint action increased by public goods game. *Physiology & Behavior*, 149, 101–106. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.05.033>

- Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Kanehisa, H. (2011). Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: a study of street dancers and non-dancers. *Human movement science*, 30(6), 1260-1271. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2010.08.006>
- 三浦麻子（監修）大竹恵子（編著）（2017）. なるほど！心理学調査法. 北大路書房.
- 三浦雅展（2008）. MIDI 規格の問題点と今後の展望. 日本音響学会誌, 64(3), 171-176. https://doi.org/10.20697/jasj.64.3_171
- 宮丸友輔・江村伯夫・山田真司（2017）. ポピュラ音楽のドラムス演奏におけるグルーブ感の研究. 日本音響学会誌, 73(10), 625-637. https://doi.org/10.20697/jasj.73.10_625
- Miyata, K., Varlet, M., Miura, A., Kudo, K., & Keller, P. E. (2021). Vocal interaction during rhythmic joint action stabilizes interpersonal coordination and individual movement timing. *Journal of Experimental Psychology. General*, 150(2), 385-394. <https://doi.org/10.1037/xge0000835>
- Mukai, K., Miura, A., Kudo, K., & Tsutsui, S. (2018). The effect of pairing individuals with different social skills on interpersonal motor coordination. *Frontiers in Psychology*, 9, 1-8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01708>
- 中込四郎・伊藤豊彦・山本裕二（編）. (2012). よくわかるスポーツ心理学. ミネルヴァ書房.
- 中谷真輝・田和辻可昌・松居辰則（2022）. 複数人の協調的演奏における奏者の groove 感形成過程のモデル化. 日本感性工学会論文誌, 21(3), 369-378. <https://doi.org/10.5057/jjske.TJSKE-D-22-00015>
- 岡野真裕（2017）. リズム同期課題における対人間協調のダイナミクス. 東京大学大学院総合文化研究科博士論文.
- Okano, M., Kurebayashi, W., Shinya, M., & Kudo, K. (2019). Hybrid dynamics in a paired rhythmic synchronization-continuation task. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 524, 625-638. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.102>
- Okano, M., Shinya, M., & Kudo, K. (2017). Paired Synchronous Rhythmic Finger Tapping without an External Timing Cue Shows Greater Speed Increases Relative to Those for Solo Tapping. *Scientific Reports*, 7, 43987. <https://doi.org/10.1038/srep43987>
- Okazaki, S., Hirotani, M., Koike, T., Bosch-Bayard, J., Takahashi, H. K., Hashiguchi, M., & Sadato, N. (2015). Unintentional interpersonal synchronization represented as a reciprocal visuo-postural feedback system: A multivariate autoregressive modeling approach. *PLoS One*, 10(9), e0137126. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0137126>
- 奥野貴俊・中島弘史（2017）. MATLAB ではじめるプログラミング教室. コロナ社.
- 音楽電子事業協会（2020）. MIDI 2.0 規格について. 一般社団法人音楽電子事業協会 MIDI 規格委員会. Retrieved February 19, 2025, from <https://amei.or.jp/midistandardcommittee/MIDI2.0/MIDIspcj2.html>
- 小野弓絵（2018）. MATLAB で学ぶ生体信号処理. コロナ社.
- Pan, Y., Wen, Y., Wang, Y., Schilbach, L., & Chen, J. (2023). Interpersonal coordination in schizophrenia: a concise update on paradigms, computations, and neuroimaging findings. *Psychoradiology*, 3. <https://doi.org/10.1093/psyrad/kkad002>

- Prinz, W. (1990). A common coding approach to perception and action. In *Relationships Between Perception and Action* (pp. 167–201). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-75348-0_7
- Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *The European Journal of Cognitive Psychology*, 9(2), 129–154. <https://doi.org/10.1080/713752551>
- Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(6), 969–992. <https://doi.org/10.3758/BF03206433>
- Repp, B. H., & Su, Y.-H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(3), 403–452. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>
- Richards, L. (2005). *Handling qualitative data*. SAGE Publications.
(大谷順子・大杉卓三 (訳) (2009). 質的データの取り扱い 北大路書房)
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., Isenhower, R. W., Goodman, J. R. L., & Schmidt, R. C. (2007). Rocking together: dynamics of intentional and unintentional interpersonal coordination. *Human Movement Science*, 26(6), 867–891. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.07.002>
- Richardson, M. J., Marsh, K. L., & Schmidt, R. C. (2005). Effects of visual and verbal interaction on unintentional interpersonal coordination. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 31(1), 62–79. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.31.1.62>
- Riehle, M., Kempkensteffen, J., & Lincoln, T. M. (2017). Quantifying facial expression synchrony in face-to-face dyadic interactions: Temporal dynamics of simultaneously recorded facial EMG signals. *Journal of Nonverbal Behavior*, 41(2), 85–102. <https://doi.org/10.1007/s10919-016-0246-8>
- Roerdink, M., Ophoff, E. D., Lieke E Peper, C., & Beek, P. J. (2008). Visual and musculoskeletal underpinnings of anchoring in rhythmic visuo-motor tracking. *Experimental Brain Research*, 184(2), 143–156. <https://doi.org/10.1007/s00221-007-1085-y>
- 定藤規弘 (2016). We-mode neuroscience に向けて 2 個体同時計測 fMRI を用いた相互主体性へのアプローチ. *心理学評論*, 59(3). <https://doi.org/10.7887/jcns.25.421>
- Savage, P. E., Loui, P., Tarr, B., Schachner, A., Glowacki, L., Mithen, S., & Fitch, W. T. (2020). Music as a coevolved system for social bonding. *The Behavioral and Brain Sciences*, 44(e59), e59. <https://doi.org/S0140525X20000333>
- Schmidt, R. C., Carello, C., & Turvey, M. T. (1990). Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 16(2), 227–247. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2142196>
- Schmidt, R. C., & O'Brien, B. (1997). Evaluating the Dynamics of Unintended Interpersonal Coordination. *Ecological Psychology*, 9(3), 189–206. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0903_2
- Sebanz, G. N., & Knoblich, G. (2008). The role of the mirror system in embodied communication. In *Embodied Communication in Humans and Machines*, 129–149. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199231751.003.0007>
- 清水大地・児玉謙太郎・岡崎俊太郎・藤原健 (2024). シンクロする人々：個人間の身体的同期に関する解析手法のレビュー. *認知科学*, 31(2), 2023.063. <https://doi.org/10.11225/cs.2023.063>
- Shimizu, D., Tsuchida, S., Ohnishi, A., Terada, T., & Tsukamoto, M. (2024). Dynamics and sociality of synchronized arousal between dancer and audience in breakdance battle scenes. *Proceedings of the Annual*

- Meeting of the Cognitive Science Society*, 46. <https://escholarship.org/uc/item/6vb772z8>
- 清水邦夫 (2018). 角度データのモデリング. 近代科学社.
- Stephen, D. G., & Dixon, J. A. (2011). Strong anticipation: Multifractal cascade dynamics modulate scaling in synchronization behaviors. *Chaos, Solitons & Fractals*, 44(1–3), 160–168.
<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2011.01.005>
- Stephen, D. G., Stepp, N., Dixon, J. A., & Turvey, M. T. (2008). Strong anticipation: Sensitivity to long-range correlations in synchronization behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 387(21), 5271–5278. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.05.015>
- Stepp, N., & Turvey, M. T. (2010). On Strong Anticipation. *Cognitive Systems Research*, 11(2), 148–164.
<https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2009.03.003>
- Strogatz, S. H. (2003). *SYNC: The Emerging Science of Spontaneous Order*. Hyperion Books.
(蔵本由紀・長尾力 (訳)(2005). SYNC: なぜ自然はシンクロしたがるのか 早川書房)
- Strogatz, S. H. (1994). *Nonlinear dynamics and chaos with applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. Perseus Books, Inc.
(田中久陽・中尾裕也・千葉逸人 (訳)(2015). ストロガッツ 非線形ダイナミクスとカオス: 数学的基礎から物理・生物・化学・工学への応用まで 丸善出版)
- 多賀巖太郎 (2002). 脳と身体の動的デザイン 運動・知覚の非線形力学と発達. 金子書房.
- 高橋尚也・宇井美代子・宮本聡介 (編) (2023). 心理調査と心理測定尺度 計画から実施・解析まで. サイエンス社.
- 高橋信之 (2007). コンプリート MIDI ブック. リットーミュージック.
- 高遠節夫 (監修) 赤池祐次・阿部孝之・中川英則・濱口直樹・松宮篤・山下哲 (執筆) (2022). 新微分積分 I 改訂版. 大日本図書
- 高遠節夫 (監修) 小谷泰介・篠原知子・高橋正郎・拜田稔・濱口直樹・山下哲 (執筆) (2023). 新微分積分 II 改訂版. 大日本図書
- Tarr, B., Launay, J., & Dunbar, R. I. M. (2016). Silent disco: dancing in synchrony leads to elevated pain thresholds and social closeness. *Evolution and Human Behavior*, 37(5), 343–349.
<https://doi.org/10.1016/j.evolhumbehav.2016.02.004>
- 都甲潔・江崎秀・林健司 (1999). 自己組織化とは何か 生物の形やリズムが生まれる原理を探る. 講談社.
- Torre, K., Balasubramaniam, R., Rheaume, N., Lemoine, L., & Zelaznik, H. N. (2011). Long-range correlation properties in motor timing are individual and task specific. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(2), 339–346. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0049-1>
- Torre, K., Varlet, M., & Marmelat, V. (2013). Predicting the biological variability of environmental rhythms: weak or strong anticipation for sensorimotor synchronization? *Brain and Cognition*, 83(3), 342–350.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.10.002>
- 内山靖・小林武・間瀬教史 (編). (2001). 計測法入門 測り方, 測る意味. 協同医書出版社.

- Varlet, M., Marin, L., Lagarde, J., & Bardy, B. G. (2011). Social postural coordination. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 37(2), 473–483. <https://doi.org/10.1037/a0020552>
- Varlet, M., & Richardson, M. J. (2011). Computation of continuous relative phase and modulation of frequency of human movement. *Journal of Biomechanics*, 44(6), 1200–1204. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.02.001>
- Varlet, M., & Richardson, M. J. (2015). What would be Usain Bolt's 100-meter sprint world record without Tyson Gay? Unintentional interpersonal synchronization between the two sprinters. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 41(1), 36–41. <https://doi.org/10.1037/a0038640>
- Wakabayashi, A., Baron-Cohen, S., Wheelwright, S., & Tojo, Y. (2006). The Autism-Spectrum Quotient (AQ) in Japan: A cross-cultural comparison. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 36(2), 263–270. <https://doi.org/10.1007/s10803-005-0061-2>
- West, B. J., Geneston, E. L., & Grigolini, P. (2008). Maximizing information exchange between complex networks. *Physics Reports*, 468(1–3), 1–99. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2008.06.003>
- Wiltermuth, S. S., & Heath, C. (2009). Synchrony and cooperation. *Psychological Science*, 20(1), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2008.02253.x>
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4th edition*. John Wiley & Sons, Inc.
(長野明紀・吉岡伸輔(訳) (2011). バイオメカニクス 人体運動の力学と制御 [原著第4版] ラウンドフラット)
- Wittenburg, P., Brugman, H., Russel, A., Klassmann, A., & Sloetjes, H. (2006). ELAN: A professional framework for multimodality research. *International Conference on Language Resources and Evaluation*, 1556–1559. https://pure.mpg.de/pubman/faces/ViewItemOverviewPage.jsp?itemId=item_60436

(2025 年 1 月 31 日受稿, 2025 年 3 月 3 日受理)

著者紹介

岡野真裕

2017 年東京大学大学院総合文化研究科博士後期課程修了。立命館大学研究員、日本学術振興会特別研究員を経て、2021 年神戸大学大学院人間発達環境学研究科助教。ヒトの身体と環境の相互作用の中で、特に音楽と関連する領域（引き込み、協調、スキル、熟達化など）の研究に従事。これらの研究を始めたきっかけは、20 代の頃に合唱サークルで「どうすれば・どういう環境なら上手く歌えるのか」「『息が合う』とはどういうことか」といった疑問を抱いたことから、スキル・熟達化の対象としては、上級者よりむしろ、中級者や特に初心者の振舞いや乗り越えるべき課題に対する関心が強い（音楽以外にも様々な趣味をしたがる性格のため）。

向井香瑛

2020 年東京大学大学院総合文化研究科博士後期課程修了。博士（学術）。日本学術振興会特別研究員（PD）を経て、2025 年より名古屋大学高等研究院 YLC 特任助教。対人インタラクション中に生じる身体同期に関する研究に従事している。研究を始めたきっかけは、長年取り組んできた陸上競技経験から、他者と一緒に走る際に“相性”のようなものを感じ、不思議に思ったことである。これまで主にキネマティクスに着目してきたが、近年はインタラクション中に生じる生理的变化にも関心を広げている。また、そうした変化の発達・加齢的側面に関する研究にも取り組み、身体協調をキーワードに、社会性の発達の解明にも挑んでいる。

生態心理学的発達研究の方法：ボトムアップのアプローチ

西尾 千尋（甲南大学）¹

一般的に心理学で「発達」と言う時には身体や精神、行動が子どもから成人へ、成人から老人へ、段階的あるいは直線的に変化していくという見方が強い。しかし、個々の人が変化していく様子は教科書的な記述に必ずしも当てはまるものではないし、あらかじめの計画書のようなものに従って淡々と展開するものでもない。ヒトに共通する普遍性がある一方で、個人にとってはそれぞれユニークな初めてのプロセスを経て、その人らしさのようなものを形作ってゆく。生態心理学はその際のヒトと環境の相互作用に焦点を当てる。本稿では、まず Eleanor Gibson と Adolph の移動の発達研究を通して、アフォーダンス知覚の発達について説明する。次に、「赤ちゃん事典」を紹介し、日常の環境で観察によって研究することで分かることについて考える。最後に、データ取得と分析の方法を紹介し、ボトムアップ的な問いの立て方について議論する。

キーワード：アフォーダンス、日常環境、自然観察、乳幼児の発達、発達研究の方法

Developmental Studies from the Ecological Perspective: A Bottom-Up Approach

Chihiro Nishio (*KonanUniversity*)

In psychology, "development" is often viewed as a stage-like or linear progression of physical, mental, and behavioral changes from childhood to adulthood. However, the changes that individuals undergo do not always align with textbook descriptions, nor do they unfold in a straightforward manner as if following a predetermined plan. While there are universal elements common to humans, each person experiences a unique and unprecedented process, shaping their own individuality. Ecological psychology focuses on the interaction between animals and their environment during this process. This paper first explains the development of affordance perception through Gibson and Adolph's research on locomotor development. Next, it introduces The Baby Movie Database to explore insights gained through observational studies in everyday environments. Finally, the paper presents methods for data collection and analysis and discusses the importance of bottom-up approach.

Keywords: affordance, daily environment, natural observation, infant development, research methods in developmental studies

1 はじめに

本稿は、生態心理学に馴染みのない読者に向けて、生態心理学の観点から発達という現象

¹ E-mail: c-nishio@konan-u.ac.jp

を知るための方法を大きく分けて二通り紹介する．ひとつはアフォーダンス知覚について実験的に検討するもので，もうひとつは日常環境で観察を行うものである．それぞれの考え方と特徴について概説し，日常環境での乳幼児を対象にしたデータ収集や分析方法と問いの立て方について説明する．

一般的な発達心理学の教科書を開くと，発達段階という概念や，ある年代の特徴などが説明されている．こうした説明は，身体や精神，行動が子どもから成人へ，成人から老人へ，段階的あるいは直線的に変化していくイメージを抱かせる．しかし，個々の人が変化していく様子は教科書的な記述に必ずしも当てはまるものではないし，あらかじめの計画書のようなものに従って淡々と展開するものでもない．ヒトに共通する普遍性がある一方で，個人にとってはそれぞれユニークな初めてのプロセスを経て，その人らしさのようなものを形作ってゆく．生態心理学はその際のヒトと環境の相互作用に焦点を当てる．2章では，生態心理学の理論を築いた James Gibson のパートナーである Eleanor Gibson の実験的な移動の発達研究を通して，アフォーダンス知覚の発達について説明する．3章では，日常の環境に焦点を当てた研究について紹介し，日常の環境で観察によって発達を研究することの意義について考察する．4章ではデータ収集と分析の手順を紹介し，ボトムアップ的な問いの立て方について議論する．

2 アフォーダンス知覚の発達

熟達したトレイルランナーは岩や植物で覆われた凸凹な山道をかなりの速度で走る (Figure 1)．その様子を見てみると，岩場の中で比較的平らな面に，まるで足があらかじめその場所に触れることが決められていたかのように，吸い寄せられるように滑らかに着地する．そうした熟達者の中には，高山の稜線の崖っぷちのごく狭い水平な面に足を乗せ，何てことがないような様子で歩くことができる人もいる．普通の人にとって凸凹の山道は走ることを「アフォード」しない．稜線の崖は走るどころか，通常は歩くこともできない．歩くという行為は，ある程度硬く，それなりの広がりがある環境で可能になるということがこうした例を見るとよく分かる．そして，その環境でどのような行為ができるのか，どのような意味を見出すのかは，その人の身体のサイズやどの程度そのスキルに熟達しているかによって異なる．何ができるか，どのような意味があるのかは，生き物の能力だけでも，環境の性質だけでも決まらない．その両方の関係の中で現れる意味や価値のことを，James Gibson (1986) は英語の動詞アフォード (afford) からとって，アフォーダンスと呼んだ．トレイルランナーが山道を駆け降りる時，足元の地面の見えや流れる景色から，今の身体の状態と，次に出すべき一步の位置の情報を得る．情報には良い・悪いといった価値はないが，アフォーダンスには行為者にとってポジティブなものと，ネガティブなものがある．ここでのポジティブなアフォーダンスは移動を可能にするもので，ネガティブなアフォーダンスは転倒や足を挫いたり，落下したりするものだ．アフォーダンスは行為する生き物にとっての意味や価値に焦点を当てた概念である．



Figure 1 山道の凸凹

J. Gibson 自身は発達に関しては一部を除いてほとんど議論を行っていない一方で、パートナーである Eleanor Gibson はアフォーダンス知覚の発達をテーマとして乳幼児の発達研究を中心に行っていた。

2.1 視覚的断崖から移動のアフォーダンス研究へ

一般的な発達心理学の教科書に紹介されている E. Gibson の最も有名な研究は視覚的断崖を使用した研究だろう。視覚的断崖は、展望台などによくある足元がガラスで透けて見える面に似たもので、大きな段差のある台の上にガラス板を乗せた、見かけ上の崖である (E. Gibson & Walk, 1960)。台の一方は布を貼った板がすぐガラスの下にある浅い側で、浅い側に乗せた乳児を崖の深い側から呼んだ時に、視覚的な崖の上に乳児が乗るかどうかを調べるものだった。これは、ある物までの距離といった奥行きの知覚が生まれつき備わっている能力であるか、移動の経験を積まないと崖側を回避しないのか、言い換えると発達において経験による学習はどのような役割を持つのか、という問いの検証のために生まれた。この実験の結果は必ずしも一貫したものが得られなかった (Adolph, Kaplan, & Kretch, 2021 のレビューを参照)。E. Gibson は発達において経験がどのような機能を持つのか、その問いをアフォーダンスと絡めて検討し始めた。

E. Gibson は移動の発達におけるアフォーダンス知覚の変化を検証するために、地面の硬さを変えることにした (E. Gibson et al., 1987)。一つは板で出来た地面で、もう一つはウォーターベッドで出来ている。それらを同じ布で覆い、一見すると地面の硬さがわからないようにした。ハイハイをしている乳児と、歩くことができる乳児にその上を移動するように促すと、ハイハイ児はためらわずにウォーターベッドの不安定な地面を渡って行った。一方で、歩行児は板の面はスタスタと歩くものの、ウォーターベッドの通路では足元が不安定であることがわかると手で触って慎重に探索し、その上に立とうとしなかった。これらのことから、ハイハイ児と歩行児では、自分がこの上を移動できる、と知覚する面の性質が異なることが分かる。さらに、直立での移動である歩行を経験すると、立った姿勢のまま移動できるかどうかをより慎重に確かめることが分かった。直立で移動する経験を積むことで、移動

を支える地面に対する知覚が発達したと考えることができる。

ハイハイと歩行とでは、乳児が知覚する、その地面の上を移動ができるかどうかに関するアフォーダンスが異なる。E. Gibson の弟子の Adolph はこのテーマをさらに追求した。視覚的断崖の装置だと深い側のガラス上に乗るか、乗らないかの 2 択になるが、角度を変えられる坂道を作れば、乳児が行けるかどうか微妙な時にどうするのか、といった振る舞いを見ることもできる。また、崖の上に乗っても落ちないことは手で触れば分かるので、断崖からガラスを取り除き、高さも調整できる装置を作った。こうした装置を使った実験では、ハイハイでも歩行でも、その移動方法での経験を積むことで、自分が降りられる斜面かどうかを正確に判断できるようになることがわかった (Adolph, 1997)。移動の経験が浅い乳児は、ほとんど落下になってしまうような急な斜面にも突っ込んで行こうとした。また、十分に経験を積んだハイハイでは高い断崖の淵で止まるが、同じ乳児が歩き始めてすぐの時には、再び断崖に突っ込んで行こうとしてしまうことも分かった (Kretch & Adolph, 2013)。

2.2 まとめ

E. Gibson や Adolph の研究からは、乳児の姿勢や移動方法が変わっていくことで、またそこで多くの経験を積み学習が進むことで、その状況で自分は何ができるのか、という意味が変わっていくことが示された。姿勢や移動方法によるアフォーダンスの違いは、普段歩いている人が車椅子に乗った場合などを考えてみると分かりやすい。そういった場合では、いつもよく知っている道がアフォードする行為は大きく異なるだろう。また、経験によって知覚されるアフォーダンスが変化していくことは、段差や坂道だけに限られた話ではない。日常行為の多くは知覚運動学習であり、書くことや描くこと、料理をすること、運転をすることなどの多くのスキルに言えることである。例えば、文字を読むといった、一見すると身体とは関わりが薄い認知的に思われるスキルでも、文字を覚え始めた幼児と、多くの文字を読んできた大人とでは、文字という線の形状から知覚されるアフォーダンスが異なる (Figure 2)。全く知らない言語の文字を見ても、それは読むという行為をアフォードしない。人の行為は身体とその姿勢、動き方、スキル、それを取り囲む環境と切り離せないもので、それらが複雑に関連しあって生じる。幼い子どもは繰り返し行為することで、ハイハイなら四つ脚の姿勢での、立位なら二本の脚での姿勢や、移動方法に熟達し、それと共に自分がその環境で何ができるのか、をより正確に、そして柔軟に知覚するようになる。



Figure 2 新聞は乳児に「読む」ことをアフォードしない

3 日常の環境における観察研究

乳児は生まれてすぐから、あるいは生まれる前から身体を動かして自分の周囲を能動的に探索している。個人差は大きいですが、生後 11～16 ヶ月頃には歩き始める乳児が多い。Adolph et al., (2012) はプレイルームで歩き始めの乳児の観察を行い、よちよち歩きの乳児でもかなりの距離を歩くことを発見した。ただしそれはずっと歩き続けるのではなく、数歩歩いては立ち止まり、また数歩歩くといった散発的なものだった。親やおもちゃといった目的地で止まるわけではなく、何みなさそうな場所でもよく立ち止まった (Cole et al., 2016)。こうしたことから、乳児の移動の中でも歩行は特に探索的な性質が強いと考えられる。では、幼い子どもが普段生活する中で環境を探索することは、発達にとってどのような意味があるのだろうか。

前章で紹介した E. Gibson や Adolph の研究は基本的に実験研究である。実験研究は、例えば、「ハイハイの経験を積むことで視覚的断崖を回避する」といった仮説をたて、その仮説が支持されるかどうかを検証する。この時に、実験者が操作することができるものが独立変数、それによって変化するものが従属変数と呼ばれる。この場合、独立変数は乳児のハイハイ開始からの期間で、断崖上に乗るかどうか従属変数となる。実験研究では実験結果に影響を与えてしまう余計な要素であるノイズを少なくする。毎回違う視覚的断崖装置を使ったりはしないし、なるべく気温や赤ちゃんの覚醒度、着ている服なども揃えた方が望ましい。E. Gibson や Adolph が集中的に調べたのは、移動を支える表面に対する知覚の発達だった。そこでは、乳児が実験設備から抜け出したり、違うものに興味を示してしまったら、知りたかったことが検証できないだろう。日常の複雑さは研究向きではないので、日常環境からは切り離された場所で、能力を測った方が良いと考えられてきたとも言える。

しかし、ヒトの中でも特に乳幼児は周囲のさまざまな物や出来事に興味を示し、探索を始める。実験には不向きな日常のごちゃごちゃした環境は、実際に幼い子どもが色々なことを

学ぶ豊かな資源を含んでいる。家の中にいても、ずり這いができるようになったら乳児は行ける場所には行ってみて、容器や袋に入っている物は一通り出してみる。抱っこされて家の近所を散歩するだけでも、光や温度は毎日違うし、すれ違う散歩中の犬に出会うこともあれば、出会わなかったりする。このような日常の出来事の中で、ポジティブなアフォーダンスを見つけ（例えば、かまってくれる養育者や、美味しい食べ物、触って面白いものなど）、ネガティブなアフォーダンスを遠ざけること（ひどい落下をした階段や吠えてくる犬など）を学習する。以下では、日常環境と乳幼児の発達に関わりを調べるための観察的な方法を紹介する。

3.1 赤ちゃん事典

佐々木他（2008）は、2名の乳児について誕生から3歳までの間、養育者に定期的に日常の出来事を撮影してもらった。動画は940個の数十秒から数分のシーンに分割されて、900個のキーワードがつけられている。この動画集は通称「赤ちゃん事典」と呼ばれている。本稿執筆時点の2025年には、スマートフォンで撮影した身の回りの出来事をYouTube、Instagram、TikTokなどのSNSで共有することは一般的になっており、リアルな子育ての様子を動画に残すのはそれほど珍しい事ではないかもしれない。この研究が行われた当時では、発表会や運動会といったイベントではなく、些細な日常のシーンを撮影し続けるライフログ的なアプローチは珍しかった。それだけ先駆的な試みでもあったが、残念ながら最新版のWindowsではサポートされておらず、再販の予定もされていない。つけられたキーワードは「水と液体」のような対象の性質を表す言葉や、「アサリ」といった食べ物、「スプーン」や「フォーク」などの食具などバラバラの階層でつけられている。これらのキーワードでシーンを検索すると、キーワードが紐づけられた2名の乳児の複数のシーンが現れる。

この「赤ちゃん事典」で「段差」と検索すると、ベッドによじ登って降りたり、ソファから滑り降りたりするシーンが抽出される。佐々木（2011）は家の中のベビー布団のヘリや、敷居などの小さな段差からソファや椅子などの大きな段差まで、そこでどのような行為が起こっているのか、このデータに基づいて調べた。ベビー布団と床の間の数センチの段差は柔らかく、横たわった乳児が滑るようにして寝返りが起こった。ベッドでは、ハイハイで登り降りを何度も繰り返した。歩き始めた頃にはわずかに数センチの敷居の前で立ち止まり、ハイハイに変えて乗り越えた。ソファでは座位で体を揺らして、滑り台を降りるように落下を繰り返して遊んだ。日常の環境にある段差は高さだけではなく、柔らかさも広さも異なる。ベッドやソファなどの比較的高い段差では落下を伴う色々な遊びが起こっていたが、転倒や完全な落下にはならない程度の、自分の身体的能力でできる範囲の制御された落下だった。Adolphの研究では、ある姿勢や移動方法で経験を積むことが知覚と行為の発達に影響を与えることが示されたが、その経験は日常生活の中で起こる非常に多様なものだった。姿勢と動きのさまざまなバリエーションが、硬さと高さの異なる段差と一体になって生じていることがこの研究から分かった。

「赤ちゃん事典」を使った研究の中でもユニークなものの一つに「痕跡」研究がある。西

崎 (2008) は、乳児が溢れたジュースを机に広げたり、せんべいをつぶして変形させたりする様子を「痕跡を残す行為」として定義して研究した。乳児は 1 歳半頃からクレヨンなどを持ってなぐりがきを始めることが多いが、自分の行為の痕跡を残す行為は、紙とクレヨンだけではなく、様々な行為と対象で起こる。上に挙げた例の他にも、ソファの前に立ってソファカバーのシワを両手で寄せたり伸ばしたりするなど、すぐに形が変わる布の性質の探索の中で痕跡を生む行為が起こった。スプーンからこぼれたヨーグルトが偶然服についたのをじっと見て、さらにスプーンでヨーグルトをすくって服に塗りつけ始めるなど、描画できる面を偶然発見した事例もあった。また、壁にシールをはり、それを剥がして床に貼り替えるシーンでは、隣に貼ったり、はがしたり、貼る位置を周囲のシールとのバランスで決めていることが見受けられる事例もあった。これらに関連する痕跡に関する研究として、J. Gibson & Yonas (1967) の実験がある。この実験では、本物のペンと、本物によく似せてあるが色がつかない偽物のペンを 1 歳半から 3 歳の幼児に渡して絵を描いてもらう。その結果、幼児は偽物のペンを持った時にはすぐに描画をやめてしまった。痕跡が残ることがさらなる行為につながることで、自分が行ったことの跡が残り、それを見ることによって知覚が発達すると J. Gibson は考えた (J. Gibson, 1986)。周囲を探索する中で、自分が起こした形や表面の変化を見ることが、対象の性質と自分の動きの両方について学ぶ機会となる、とこの研究から考えることができる。

3.2 保育環境の研究

乳幼児が過ごす環境の一つに保育環境がある。保育環境は家とは異なり、複数の子どもと過ごし、ケアする大人も複数人いる環境である。家はそこで暮らす人の多様な活動の拠点であるので、多様なもので溢れている。一方で、保育環境は家と同じような活動の場ではなく、複数の子どもの保育にふさわしい場として構成される。生態心理学的な観点で行われた保育環境の研究は、保育室や園庭がどのような行為を可能にする環境であるのかを調査している。

Yamazaki et al., (2024) は 3, 4, 5 歳児クラスが仕切りのないフロアでゆるやかにつながるオープンスペースのこども園の観察を行った。この研究では、実際に生活を行う中で、どのようなひとまとまりの場所が生じているのか、それがどういった構造上の特徴をもつのかを、子どもの目線程度の高さ 90cm から撮影した写真を使って検討した。撮影された写真は、似た配置の要素があるかどうかによっていくつかのカテゴリーに分類された。その結果、子どもが柵や壁際に寄り添ったり、2 名の子どもが並んで座ったり、床でゴロゴロするといった行為が現れる場所があった。そうした場所は保育者によって計画的に作られるものだけではなく、子ども自身の活動が反映されて、生活空間が変わっていくことが示唆された。

炭谷 (2020) は、大きな傾斜のある砂場がある保育施設の観察を行い、そこでどのような遊びが起こっているのかを調べた (Figure 3)。砂場はひな壇上に傾斜がつけられており、高さは 2 メートル程度ある。傾斜の下から水を運び、上部から流すことで偶発的な流れが生

じる。観察では、繰り返し流した水をただ見ている、穴を掘って水を貯めようとする、堰き止める、砂を削るなどの子どもの様子などが記録されている。傾斜があることで自然と流れ落ちる水の流れが複数の子どもの関与に繋がった。水と砂という形状が変化しやすいものが傾斜面と組み合わせられること、水場が遠く運搬が必要であることが、そこで展開する遊びのバリエーションの豊富さの背景にあると考えられる。

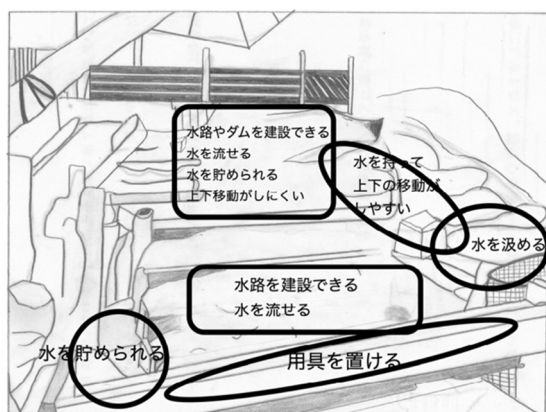


Figure 3 傾斜付き砂場で起こる行為 (炭谷, 2020 より転載)

3.3 まとめ

そこで暮らしている人には当たり前の環境であっても、乳児が会える家という環境は彼らにとって「新鮮さに満ちた周囲」(佐々木, 2008, p.11)である。家の中の凸凹にも多様な意味があり、表面に痕跡を残す行為は、描画や造形の学習の根底にある経験であると言える。乳児が日常の環境にどのような意味を見つけるのか、どのような経験が何の学習に繋がっているのか、理論的に考えて予測することは難しい。現実に関わったことから、「段差」や「痕跡を残す行為」のようなフレームワークを持って、つぶさに見ることから分かってくることがある。

保育環境は保育に特化しつつも、子どもにとって新鮮さと発見に満ちた環境であると良いと考えられている。環境構成は保育実践の中でも重要だとされる領域で、広さや設備に基準があるだけでなく、評価スケールなども考案されている (Archer & Siraj, 2017 秋田監訳 2018)。しかし、ある環境に子どもが見出す意味を、予め全て把握して提供することは不可能だろう。実際に存在する場所で、どのような出来事が起こっているのか、その環境が何を可能にしているのか、まずは記述することで、行為と環境の不可分な関係について考察することができる。

4 観察研究入門

4.1 心理学研究における観察法

心理学研究法には一般的に実験法、観察法、質問紙を使った調査法、面接法があるとされる。2章で挙げた研究は実験法、3章で挙げた研究は観察法にあたる。これらの研究方法は質的な研究と量的な研究に分けることができる。通常、実験研究や調査法は主に量的研究、面

接法は質的な研究と考えられる。観察は質的、量的な方法、その両方が含まれる。質的な研究は文章や画像等を使用して、数に置き換えられない性質のものを扱う。例えば、小学一年生の時に朝顔が育つ様子を絵で描き、文章で描写した観察日記のようなものを思い浮かべてもらえば良い。一方で、量的な研究は行為の回数を数えて頻度を出したり、考えなどを数値に置き換えて検討する。発達研究には量的な観察もよく使われる。例えば、ハイハイ児と歩行児で運搬の頻度が違うのか、といった問いを検証するためには、まず観察を行って運搬の回数を数え、単位時間あたりでハイハイ児と歩行児の頻度を比較する。しかし、研究実践のレベルでは観察法だからといって決まった型があるわけではない。質的な方法と量的な方法を組み合わせて使うこともある。

以下では、実際に読者が観察をする際の手助けとなるよう、例を挙げて順を追って実施方法を説明する。筆者は乳幼児の観察研究を主に行っているため、ここであげる例も乳幼児に関する例とするが、成人の観察にも応用可能である。

4.1.1 見る出来事を決める（場面見本法、事象見本法）

朝起きてから夜寝るまでの 1 日を思い浮かべてみると、洗顔、食事、着替え、通学などある程度のシーンに分割できる。そうしたシーンの中で、例えばスプーンやフォークといった食具の使用などの、特に見たい行動が起きやすい場面、この場合で言えば食事場面などに着目することは場面見本法と呼ばれている。大きな違いはないが、例えば段差と関わったり、痕跡を残したりなど、出来事・事象の流れに焦点を当てるのは事象見本法と呼ばれているようである。ここでは歩き始めたばかりの乳児を対象に、保育園や家の近所での散歩のシーンを観察する想定で研究の進め方を説明する。どのようなテーマで研究に臨み、そこで起こることをどう観察・分析すれば良いのだろうか。すでに述べたように Adolph et al., (2012) によるとよちよち歩きの乳児でもたくさん歩き、その歩行の性質は探索的なものである。では、乳児は何をどのように探索するのだろうか。それを実際の生活の中でとったデータで検証するにはどうしたら良いだろうか。

4.1.2 データの収集と管理

観察法では、観察を行うその場でメモをとる「フィールドメモ」を整理して分析を行う方法もあるが、動画撮影が可能な場合はその方が後から見返すことも可能で分析が容易である。保育施設や知人などに研究目的を説明して許可をもらい、乳児と保育者や保護者が一緒に散歩するシーンを撮影させてもらう (Figure 4)。保育施設で観察を行う場合は、テーマによって異なるが、散歩で考えた場合、1 人の子どもを追う個体追跡法のほうが、複数人を追いかけるよりも前後の出来事との関係などが理解しやすいため適している。1 事例の 1 回の観察で過度の一般化はできないが、ある人のある日の出来事は、その時にしかない個性とともに、誰にでも共通するような普遍性もあると考えられる。なお、保育施設での乳児の散歩は歩行ではなく、バギーに乗せて行う場合もあるので、乳児が降りて自由に歩くシーンを撮影する。撮影した動画について、エクセルなどで撮影日時、撮影の合計時間、その日の

散歩に参加した人数や行き先などの概要を書いておく。



Figure 4 乳児と養育者の散歩に同行して撮影する

4.1.3 自由記述と事例の抽出

まずは、出来事の流れを把握するために自由記述を作成する。これは日記を書くことに近い。日記というと、1日の出来事について自分が嬉しかったことや印象に残ったことを書くイメージがあるかもしれないが、観察においては起きている出来事それ自体に注目する。対象の子どもについて楽しそう、嬉しそうといった様子を書いても良いが、あくまで後で思い返す際の補助的な内容である。研究目的に沿うと、ここで記述しておくべきことは「何を探索しているのか」に関連した出来事である。

自由記述を行った結果、乳児は「立ち止まった時」に特に一方向をじっと見たり、落ちていたものを拾ったり、ものを触ったりするようであった（Figure 5）。そこで、「立ち止まった時」に限定してそのシーンを抽出する。動画のタイムコードで何分何秒から始まり、何分何秒に終わるのかをエクセルに一覧として記録する。何に注意を払ったのか、触ったのかなどの行為の対象やどのような姿勢だったか、どのような動きだったかの行為に注目してさらに記述を行う。



Figure 5 急に方向転換して立ち止まった乳児

4.1.4 量的な分析

この場合、量的なデータとして示すことができるのは、立ち止まった回数と立ち止まった時間である。立ち止まった時間の合計を回数で割ることで 1 回の平均立ち止まり時間を出す。立ち止まった回数を散歩時間全体で割ることで、単位時間あたりの立ち止まり頻度を出す。

4.1.5 事例の分類

質的な研究の方法の一つとして、具体的な事例や語りから、共通性があるものをまとめ、分類していくものがある。その方法はGTAなどの抽象化、体系化の方法や、文化人類学を背景に生まれたKJ法などがあるが、ここでは詳細に立ち入らない。「立ち止まった時」の事例から、共通する要素があるものをまとめる。データによって異なるが、分類は例えば「ものを拾う・触る」、「振り返って見る」、「柵の向こうを見る」、「保育者や保護者の手をほどく」、「段差で止まる」、「ただ立ち止まる」などがあり得る。自身のデータに沿って分類を行う。

4.1.6 考察する

得られた結果から考察を行う。立ち止まりの頻度は、「乳児の歩行は探索的である」という主張を裏付けられそうなものだったか。探索的である、というのはどのようなことだったのか。また、「乳児の歩行には目立った目的地は特になく、ランダムな性質が強い」(Hoch et al., 2019) という研究結果に対して、データから補足、あるいは反論できることはないか、など、これまでに行われた先行研究と自分の研究の結果を比較しながら、研究のオリジナルな意義について考察する。

4.1.7 応用編

このような観察方法は異なる対象、テーマで行うことも可能である。同じ散歩というシーンであっても、対象を4, 5歳の幼児とすると、乳児とは異なる環境の性質を発見していることが分かるかもしれない。あるいは、縦断的な変化を検討する方法もある。縦断的とは同じ個体やグループについて複数回データを取り、数週間、数ヶ月、あるいは数年での変化を検討するものである。どのような頻度でデータをとるのかは、テーマによって異なる。本稿で例に挙げた乳児の散歩であれば、歩き初めの頃と6ヶ月経過した頃を比較すると、運動としての歩き方も変化しており、探索行為の性質も異なることが予測される。実際の縦断的な研究の例を挙げると、Nonaka & Sasaki (2009) は「赤ちゃん事典」のデータより、1名の乳児について生後14ヶ月から24ヶ月までに撮影された、ブロック遊びの終わりにブロックを集めて容器に入れる全10個のシーンにおける行為の発達を分析した。姿勢のバリエーションが増えるとともに、ブロックを容器の蓋に乗せて運搬するといった行為も現れ、ブロックと容器、容器の蓋、自分の関係をより柔軟に調整するようになることがわかった。

量的な方法として評定法を用いることもできる。上述の手順で自由記述を行った後に、評定したい項目の一覧（例えば、「停止」、「拾う」、「触る」、「運搬」など）を作成する。その際は、「停止」は3秒以上立ち止まった時、「運搬」はものを持って3歩以上歩いた時、など評定項目の定義を明確にする必要がある。評定は15秒や30秒などの時間枠の中にその項目が生起するかどうかを調べるワン・ゼロ法がよく知られているが、生起回数全てをカウントすることもできる。また、対象の姿勢や、どこにいるかなどの状態が知りたい時には、時間サンプリング法と言われる、15秒ごとなど決まった時間が経った瞬間に、どの状態に当てはまるかを記録する方法もある。評定法を使用した研究の例として、西尾・石井・外山（2021）では、保育園の0歳児クラスの乳児の縦断的な観察を行い、保育室にあった薄手の布と関わる行為がどのように変化するかを調べた。評定法を用い、布と関わる行為を「そのものの探索」、「他のものとの組み合わせ」、「運搬」などの評定項目に分け、そのクラスにいた乳児8名について、それぞれ生起した対象とする行為全てについて評定を行い、歩行開始前後での違いについて検討した。その結果、「運搬」と「他のものとの組み合わせ」は歩行開始後に増加し、布を渡して頭に巻いてもらうなどの他者をコミュニケーションに巻き込む新たな行為も現れた。評定法については中澤・大野木・南（1997）などに詳しく紹介されているので参照されたい。

また、一般的なことであるが研究対象に対して、倫理的に十分な配慮が必要である。日常環境での観察は、対象者のプライバシーと肖像権に配慮する必要性が高い。学会誌への論文投稿を行う前提であれば、所属機関の研究倫理審査を受ける必要がある。学部生、大学院生が観察を行う場合には指導教員の指示に従うようにしてほしい。

4.2 ボトムアップ的な問いの立て方

以下では筆者が行った観察を用いた研究について説明しつつ、問いの立て方について検討する。研究を行うのには問いを立てることが重要である。実験研究では先行研究から理論的に導き出された仮説を立てる。観察研究でも、上述の例では、先行研究で分かっていることについて、生態心理学的な観点から日常での経験に焦点を当てて詳細化した。しかし、日常の環境で行う自然観察では、そこで起こる複雑に絡み合った出来事を見るうちに、新たな問いが生じることも多い。理論から問いを導き出してトップダウン的に行うのが仮説検証型の研究であり、事実としてこうであった、ということからボトムアップ的に理論を導くのは仮説生成型の研究であると言える。

4.2.1 ものの出し入れ

Nishio et al., (2023) は、1名の子どもについて0歳から2歳半までの縦断的な観察を行い、ものの出し入れ遊びが、準備や片付けといった組織だった行動に発達する過程を調べた。分析したのは、広角のカメラを家庭のリビングに設置して、乳児の日常の様子を1週間に1回1時間程度撮影してもらった動画である。その中から、対象の子どもが箱、引き出し、棚、容器などにおもちゃや絵本、日用品などを出し入れするシーンを抽出した。結果を

簡単に説明すると、ずり這いが始まった生後 9 ヶ月頃から容器へのものの出し入れは見られ、生後 12 ヶ月頃にはものを出せるだけ出す、というような遊びが成立していた。生後 13 ヶ月頃に歩き出すと、ものの出し入れは袋や容器などにもものを入れた状態での運搬に伴って起こるようになった。生後 16 ヶ月頃にはバッグにおもちゃを入れ、部屋の中で歩き回って立ち止まって全て出し、また入れて歩き回り、また別の場所を出す、といった様子が見られた。その頃には遊びに先立ってブロックの箱を持ってくる、お絵かきの紙を目の前にしてクレヨンの箱を出す、などの系列的な行為が見られるようになった。生後 20 ヶ月頃には、遊び終わった後にブロックを箱に入れて、元の場所に自ら運ぶといった行為が成立した。

発達心理学では、片付けなどの日常生活のスムーズな遂行に必要な行為について、ルールの理解や指示に対して従うかどうかなどの観点から研究してきた。一方で、この研究はそうしたオーソドックスな論点には基づかず、乳児期において順序や系列のある行為はどのように発達するのか、という認知発達の関心のもとに始まった。乳児は歩き始めるとそれよりも遥かに頻繁にものを運搬する、という先行研究があり (Karasik et al., 2012)、ものを持って歩くことが何につながるのか、という大きな問いから観察を続け、「ものを容器に出し入れする」という事例に着目するに至った。したがって、観察を始めた当初から「容器などへの出し入れ」が系列的な行為の発達を説明することにつながる、という確信を持って始めたわけではない。観察の結果から、ものと、容器や収納などの「窪み」のアフォーダンスを探索すること、歩き始めてものを色々な場所へ持ち歩き、そこで出し入れすることが、系列的な行為の発達に関わる、という仮説を提示した。

4.2.2 描画研究

西尾・青山 (2023) では、1 名の子どもについて 2 歳から 3 歳までの約 1 年間、家庭で描画するシーンの縦断的な観察を行った。この研究のテーマは J. Gibson (1986) が議論した表面の二重性の知覚であった。私たちは文字や絵を見るときに、それが記されている紙や板などそれ自体の表面と、そこに描かれている文字の意味や画像の両方を同時に知覚する。初期の描画行為を観察することで、その二重性の知覚の発達プロセスを知ることができるのではないか、と考えた研究である。その結果、ツルツルの面には描くことができないためやめる、描ける面を探すなど、描く面の探索が行われていたり、画面からはみ出た際にはいったん描画を止めるなど (Figure 6)、描く面の性質と広がりに対する意識があることがわかった。また、描いた線を引いて見る行為もしばしば見られ、面に対する意識と、描いた線に対する意識は同時に発達していくことが示唆された。

この研究も、当初から二重性知覚だけに焦点を絞って観察を始めたわけではない。養育者には、日常の中で描画しているシーンをなるべく撮影してほしいと依頼した。撮影された動画を見ると、画用紙ばかりではなくティッシュケースや絵本、ホワイトボードに描いていることもあり、画材もまちまちだった。観察を始めた時の大きな問いは、子どもが描いた線に意味を見出すとはどういうことなのか、だった。J. Gibson は、なぐりがきなどの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」に気が付き始める、と主張している。そのため、描いたものの中にある特徴、「不変項」に気がつくとは何か、を検討することを目的に観察を始めた。観察を行う中で、まずは面に対する意識があること、面に対する意識と同時に描いた線を意識するという二重性の議論が最初に必要なのではないかと考えるに至った。



Figure 6 画面の下からはみ出して描画を止める（西尾・青山，2023 より転載）

4.3 まとめ

本章は、生態心理学的な観点からの観察研究を行う手引きとして、乳児の散歩を観察する例を挙げて研究方法を説明した。また、大きな問いから具体的な事例に絞り込み、観察結果から仮説を導くプロセスについて概説した。

5 おわりに

本稿では、生態心理学的な発達研究について、E. Gibson と Adolph の実験的研究、佐々木他（2008）による「赤ちゃん事典」などの観察研究を中心に説明し、実際に観察を行う想定で研究方法を紹介した。さらに、ボトムアップ的な問いの立て方について、実際の研究を紹介し検討した。知りたいことと研究方法は切り離すことができない。研究を行う上では、何を知ろうとするのか、つまり問いの設定が重要であるが、実際に研究を進める上では現実の出来事をよく観察するうちに分かってくることもある。これはボトムアップ的な方法である。理論から問いを導き出してトップダウン的に検討するのは仮説検証型の研究である。事実としてこうであった、ということから理論を導くのは仮説生成型の研究であり、通常は仮説検証型よりも難易度が高いと考えられている。

観察的な方法は、発達を知ろうとする流れの中でこれまでになかったわけではない。進化論で知られるダーウィンは自分の子どもの観察を行っていたし（Darwin, 1877）、ピアジェは自分の子どもの観察に基づいて認知発達のグランドセオリーである発達段階を作った（Piaget, 1936 谷村・浜田訳 1978）。1960 年代以降に、選好注視法や期待背反法などに代表

される洗練された実験的手法が開発され、乳児の能力についての研究が進んだ（板倉，2007を参照）。そうした研究は、乳児の能力が大人に比べて劣ったものであるという前提を覆そうとしたものであるが、一方では成人の能力を基準として乳児がどれだけそれに近いのかを検証するパラダイムであるとも言える。そうした予め知りたいことを知る方法だけでは、乳児や若い子どもにとって、環境がどのような意味を持つのか、といった、予測し得ないものを知ることはできない。それを知るためには、ごちゃごちゃとした現実を分析的に見るスキルが必要である。

引用文献

- Adolph, K. E. (1997). Learning in the development of infant locomotion. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62, <https://doi.org/10.2307/1166199>
- Adolph, K. E., Cole, W. G., Komati, M., Garciaguirre, J. S., Badaly, D., Lingeman, J. M., Chan, G. L. Y., & Sotsky, R. B. (2012). How do you learn to walk? Thousands of steps and dozens of falls per day. *Psychological Science*, 23, 1387–1394. <https://doi.org/10.1177/0956797612446346>
- Adolph, K. E., Kaplan, B. E., & Kretch, K. S. (2021). Infants on the edge: Beyond the visual cliff. In A. Slater & P. Quinn (Eds.), *Developmental Psychology: Revisiting the classic studies* (2nd ed.) (pp.51–72). Sage Publications
- Archer, C., & Siraj, I. (2017) . *Movement environment rating scale (MOVERS) for 2-6-year-olds provision: Improving physical development through movement and physical activity*. Stoke-on-Trent, Staffordshire: Trentham Books Ltd. (アーチャー, C., シラージ, I. 秋田喜代美 (監訳) 淀川裕美・辻谷真知子・宮本雄太 (訳) (2018) 「体を動かす遊びのための環境の質」評価スケール——保育における乳幼児の運動発達を支えるために—— 明石書店)
- Cole, W. G., Robinson, S. R., & Adolph, K. E. (2016). Bouts of steps: The organization of infant exploration. *Developmental Psychobiology*, 58, 341–354. <https://doi.org/10.1002/dev.21374>
- Darwin, C. R. (1877) . A biographical sketch of an infant. *Mind*, 2, 285-294.
- Gibson, E. J., Riccio, G., Schmuckler, M. A., Stoffregen, T. A., Rosenberg, D., & Taormina, J. (1987). Detection of the traversability of surfaces by crawling and walking infants. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 533–544. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.13.4.533>
- Gibson, E. J., & Walk, R. D. (1960). The “Visual Cliff.” *Scientific American*, 202(4), 64–71. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0460-64>
- Gibson, J. J. (1986). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. (Original work published 1979)
- 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 December 30, 2024 from <https://commons.trincoll.edu/purpleperils/1965-1967/the-development-of-graphic-activity-in-the-child-a-theory-and-a-first-experiment/>
- Hoch, J. E., O’Grady, S. M., & Adolph, K. E. (2019). It’s the journey, not the destination: Locomotor exploration in infants. *Developmental Science*, 22, e12740. <https://doi.org/10.1111/desc.12740>
- 板倉昭二 (2007) . 心を発見する心の発達 京都大学学術出版会

- Karasik, L. B., Adolph, K. E., Tamis-LeMonda, C. S., & Zuckerman, A. L. (2012). Carry on: Spontaneous object carrying in 13-month-old crawling and walking infants. *Developmental Psychology*, *48*, 389–397. <https://doi.org/10.1037/a0026040>
- Kretch, K. S., & Adolph, K. E. (2013). Cliff or Step? Posture-Specific Learning at the Edge of a Drop-Off. *Child Development*, *84*, 226–240. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01842.x>
- 西尾千尋・青山 慶 (2023) .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—— 生態心理学研究, *15*, 47-66, https://doi.org/10.24807/jep.15.1_47
- 西尾千尋・石井千夏・外山紀子 (2021). 歩行開始期において乳児が物と関わる行動の発達——保育室での縦断的観察に基づく検討—— 認知科学, *28*, 578-592. <https://doi.org/10.11225/cs.2021.048>
- Nishio, C., Nozawa, H., Yamazaki, H., & Kudo, K. (2023) Putting things in and taking them out of containers: a young child's interaction with objects. *Frontiers in Psychology*, *14*, 1120605. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1120605>
- Nonaka, T., & Sasaki, M. (2009). When a toddler starts handling multiple detached objects: Descriptions of a toddler's niche through everyday actions. *Ecological Psychology*, *21*, 155–183. <https://doi.org/10.1080/10407410902877207>
- Piaget, J. (1936) . La naissance de l'intelligence chez l'enfant. Delachaux et Niestlé. (ピアジェ, J. 谷村寛・浜田寿美男 (訳) (1978) 知能の誕生 ミネルヴァ書房)
- 佐々木正人 (編著) (2008) . アフォーダンスの視点から乳幼児の育ちを考察 小学館
- 佐々木正人 (2011). 包囲する段差と行為の発達 発達心理学研究, *22*, 357-368.
- 炭谷将史 (2020) . 保育所園庭の傾斜付砂場が園児に与える遊びの機会 生態心理学研究, *12*, 3-13, https://doi.org/10.24807/jep.12.1_3
- 西崎実穂 (2008) . 乳幼児の行為が残す「痕跡」——表現以前の「表現」—— 佐々木正人 (編著) アフォーダンスの視点から乳幼児の育ちを考察 (pp. 72-83) 小学館
- Yamazaki, H., Gyobu, I., Utsumi, S., Sugiyama, S., & Miyasato, A. (2024). A Phototypological Approach to Understanding the Nursery Room as a Habitat Based on Children's Awareness. Poster presented at the *International Conference on Pacific Early Childhood Education Research Association*, Tokyo

(2025 年 1 月 10 日受稿, 2025 年 3 月 12 日受理)

著者紹介

西尾 千尋

2006 年，東京藝術大学音楽環境創造科卒業，同科教育研究助手を経て，東京大学大学院学際情報学府博士課程修了．2019 年，博士（学際情報学）．知覚と身体に焦点を当てたアートの研究を目指して入った大学院で，乳児の発達研究に出会う．それ以来，乳児の運動と行為の発達，発達を取り巻く環境をテーマとして研究．家や保育園等でのフィールドワークを行っている．現在，甲南大学文学部人間科学科講師．

報告

第 22 回「知覚と行為の国際会議」 (The 22nd International Conference on Perception and Action) 報告

西尾 千尋（甲南大学） 児玉 謙太郎（東京都立大学）

2024 年 6 月 25 日から 28 日までの 4 日間、トロンハイム（ノルウェー）のニデルバ川沿いにある Dokkhuset という施設で、第 22 回「知覚と行為の国際会議」（The 22nd International Conference on Perception and Action: ICPA）が開催された（Figure 1）¹。6 月のノルウェーは、日中は涼しく、深夜まで日が沈まないほぼ白夜の季節であった。かつてノルウェーの首都であったトロンハイムには歴史的な建造物などの遺産も残されており、参加者はフィヨルドが入り組んだ美しい街並みを楽しみながら学会に参加した。

今回ホストを務めたのはノルウェー科学技術大学の Audrey van der Meer 氏らで、初日に同大学のノーベル賞受賞者 Edvard Moser 氏と Christine Lykken 氏による基調講演が行われた。その他、会場には William H. Warren 氏、Claudia Carello 氏、Tom Stoffregen 氏といった著名な生態心理学者の顔ぶれがあった。発表件数は口頭 48 件、ポスター 70 件であったが、本稿ではその一部を紹介し、国際生態心理学会の動向を報告したい。



Figure 1 会場の Dokkhuset の様子

26 日午前中の Ecological Neuroscience をテーマとしたシンポジウムでは、Vicente Raja 氏が座長を務め、生態心理学と認知神経科学の間にある溝を埋めるための重要な概念やアイデアの紹介から実験データの報告まで幅広い内容の発表が行われた。例えば、Gibson が 1966 年

¹ 学会の様子をおさめた動画や写真が [ICPA2024 のサイト](#) にアップされている。

の著書で神経系について言及した際に用いた“resonance”（共鳴）という概念を、Dynamical system 理論の枠組みで捉え直し、中枢神経系を脳-身体-環境システムのひとつの要素（resonator：共鳴器）として捉えるアイデアなどが紹介された。

また、同じく午前中の Open Talk では、Brett Fajen 氏による Information-based control 理論に基づく VR 環境内での操縦実験の報告や、Ed Baggs 氏による VR 環境における社会的相互作用に関する発表が行われ、VR 環境を用いた研究の可能性が議論された。

その他、Zsolt Palatinus 氏による自動車実験の報告や、Alen Hajnal 氏によるアフォーダンス知覚における探索に関する発表では、Gottlieb の蓋然的後成説や Biotensegrity 仮説への言及、マルチフラクタル解析の応用など、Turvey 氏が中心となって展開してきた新しい研究のアイデアやツールが、様々な形で発展している様子を窺うことができた。

26 日午後の motor abundance（運動の豊かさ）をテーマとしたシンポジウムでは、Bernstein 以降の運動研究、特に、Uncontrolled Manifold（UCM）の考え方に基づく仮説や解析を応用した発表が多い印象を受けた。例えば、Andrew D. Wilson 氏の発表では、投球動作を対象に、Affordance-based control 理論と UCM 解析をつなぐ試みが紹介された。その他、スポーツに関する事例だけではなく、脳卒中患者の運動の柔軟性に関する発表などリハビリテーションに関する研究事例の報告もあった。

27 日午前中のスポーツをテーマとしたシンポジウムでは、James A. Dixon 氏らのサッカーのパスに関するアフォーダンス研究、Gray F. Thomas 氏らによるバスケットボールのフリースローの熟達研究などの発表が行われた。それらの研究においても、UCM 仮説や Constraints-led Approach といった Bernstein 以降の運動の学習や熟達に関する様々な研究のアプローチが紹介され、前日のシンポジウムと合わせ、運動研究自体の豊かさを感じられる内容であった。

27 日午前中の behavior settings をテーマとしたシンポジウムでは、Harry Heft 氏を含む 4 つの発表が行われた。Roger Barker の理論的検討のほか、日常でのコミュニケーション場面の実践的研究や、社会的規範に合わせた振る舞いの実験的研究などの発表があり、実証研究としての広がりを感じられた。Heft 氏は一貫して個人のアフォーダンス知覚と社会的な場における集団での行為の相互作用について議論を行っている。Barker の behavior settings の考え方を Gibson の生態心理学への理論に取り入れることによって可能になる、ある生息地における集団行動の理解について議論した。フロアからもこのような議論が生態心理学の将来にどのような意義をもたらすのか、といった質問があったが、個人の行為と社会性の議論にはまだ実証・理論両面で研究を深める余地があると感じた。

27 日午後には発達をテーマとしたシンポジウムが催され、Catherine Read 氏は生涯を通して変化する自己の知覚に関する発達のアプローチの理論について議論を行った。Edison de Jesus Manoel 氏は親子が促進行為場を作る場面について、Reed(1988)の社会的アフォーダンスを引用しつつ、ブラジルの日常場面における観察研究を紹介した。発達をテーマとしたシンポジウムは 28 日にも行われ、初期の社会性、運動、言語の発達に関し知覚・運動発達からの理解が目指された。David I. Anderson 氏は新生児をスケートボード状の板に乗せることで自力での移動を可能にするユニークな方法で、新生児が母親の匂いや声に対して運動を変化させるという知見について紹介した。

28 日には他に, reading, learning, thinking と題したシンポジウムがあり, Sarah Bro Trasmundi 氏は読むことの身体性について日常の事例を上げつつ議論した. また, 神戸大学の野中哲士氏が, 3つの異なる文化のコミュニティにおける陶芸の創作過程について発表を行った. Tom Stoffregen 氏は Gibson と Bergson について比較し理論的検討を行った. 学習, 思考, 文化的実践など広範なテーマにわたる充実した発表であった.

以上が ICPA2024 の報告である. 次回の ICPA (2026 年) は, アメリカ・ネブラスカ大学で開催が予定されている. また, 今回は ICPA2024 後に参加者による報告会も開催したので, 以下, その概要について報告する.

2024 年 9 月 20 日に甲南大学東京キャンパスにて ICPA2024 の参加者による報告会が行われた. 報告者は青山慶 (岩手大学), 児玉謙太郎 (東京都立大学), 西尾千尋 (甲南大学), 野中哲士 (神戸大学), 山崎寛恵 (東京学芸大学) であった. 西尾から企画説明を行い, それぞれが ICPA2024 で関心を持った発表について報告を行った. 青山氏はサッカーにおけるパスのアフォードンスの研究 (Thomas ほか), 児玉は身体運動に Affordance-based control 理論と UCM 解析を応用した研究 (Wilson ほか), 野中氏は複数の目的地を通過する経路調整モデルの研究 (Fajen ほか), 山崎氏は behavior settings の研究 (Heft) について報告を行った. また, 野中氏からは Turvey 氏の追悼会の様子の報告もあった. これら主要なテーマについて振り返ることで, 生態心理学の国際的な動向について検討することができた.



Figure 2 Turvey 氏の追悼会の様子

参考文献

- Raja, V. (2024). The motifs of radical embodied neuroscience. *European Journal of Neuroscience*, 60(5), 4738-4755.
- Fajen, B., & Jansen, A. J. (2023). Steering through multiple waypoints without model-based trajectory planning. *Journal of Vision*, 23(9), 5019-5019.
- Baggs, E., Grabarczyk, P., & Rucińska, Z. (2024). The visual information available in virtual reality. *Ecological Psychology*, 36(1), 24-38.
- Palatinus, Z., Volosin, M., Dudás, Z., Lukovics, M., Majó-Petri, Z., Prónay, S., ... & Szalay, Z. (2023). Physiological measurements of passengers in self-driving cars encountering unexpected road events. [preprint]
- Hajnal, A. (2024). The Role of Exploratory Activity in Affordance Perception. *The Modern Legacy of Gibson's Affordances for the Sciences of Organisms*, 161-175.
- Bennett, T., Thomas, L., & Wilson, A. D. (2024). Affordances for throwing: An uncontrolled manifold analysis. *Plos one*, 19(4), e0301320.
- Heft, H. (2020). Ecological psychology as social psychology?. *Theory & psychology*, 30(6), 813-826.
- Graciosa, M. D., Ferronato, P. A. M., Drezner, R., & de Jesus Manoel, E. (2024). Emergence of locomotor behaviors: Associations with infant characteristics, developmental status, parental beliefs, and practices in typically developing Brazilian infants aged 5 to 15 months. *Infant Behavior and Development*, 76, 101965.
- Hym, C., Dumuids, M. V., Anderson, D. I., Forma, V., Provasi, J., Brière - Dollat, C., ... & Barbu - Roth, M. (2023). Newborns modulate their crawling in response to their native language but not another language. *Developmental Science*, 26(1), e13248.
- Trasmundi, S. B., & Toro, J. (2023). Mind wandering in reading: An embodied approach. *Frontiers in human neuroscience*, 17, 1061437.
- Nonaka, T., Gandon, E., Endler, J. A., Coyle, T., & Bootsma, R. J. (2024). Cultural attraction in pottery practice: Group-specific shape transformations by potters from three communities. *PNAS nexus*, 3(2), pgae055.

Thomas A. Stoffregen 先生講演会 “Higher Order Affordance”の報告

野中 哲士（神戸大学） 西尾 千尋（甲南大学）
児玉 謙太郎（東京都立大学） 青山 慶（岩手大学）

2025 年 3 月 7 日，甲南大学東京キャンパスにて，Thomas A. Stoffregen 教授の講演会イベントが開催された。同イベントは野中（神戸大学）が中心となり，西尾（甲南大学），児玉（東京都立大学），青山（岩手大学）らによって企画された¹。当日は，はじめに Stoffregen 教授から“Higher Order Affordance”という演題の講演が行われた後，ポスター発表（計 6 件），樋口貴広氏（東京都立大学）による指定討論が行われた。なお，同イベントは対面，および，オンラインのハイブリッド形式で開催され，それぞれ約 20 名ずつの聴衆が参加した。

Thomas A. Stoffregen 教授は James Gibson がこの世を去った直後の 1980 年にコーネル大学の大学院に進学し，Ulrich Neisser と Eleanor Gibson の指導のもとで実験心理学の学位を取得した。Stoffregen 教授は，タスクに入れ子となった姿勢調整をめぐる一連の実証的な研究（Stoffregen et al., 1999, 2000）や，単一のエネルギー配列を越えた複数のエネルギー配列（e.g., 光学的，音響的，慣性的配列）間の高次の配列（global array）における情報をめぐる研究（Stoffregen & Bardy, 2001; Mantel et al., 2015），乗り物酔いの生態学的研究（Munafo et al., 2017; Mayo et al., 2011）などで世界をリードする生態心理学者の一人である。親日家でもある Stoffregen 教授は，1990 年代後半からしばしば日本を訪れ，日本の生態心理学者たちと密な研究交流を長きにわたって続けてきた。このたび，2025 年 1 月にミネソタ大学を退官したタイミングで，日本（神戸大学）に研究滞在するために来日した Stoffregen 教授が，3 月 7 日に甲南大学ネットワークキャンパスで講演会を行った。

今回の講演“Higher Order Affordance”は，Stoffregen 教授が Jeffery Wagman 氏（イリノイ州立大学）と共著で発表された論文（Stoffregen & Wagman, 2024）をもとにした内容である。Stoffregen 教授らは，higher order affordance という概念を用いることで，単一のアフォーダンスの知覚が暗黙のうちに想定されていた従来の実験では問うことが難しかった，複数のアフォーダンス間の関係の知覚に関する実証的研究の道が開けるとともに，文化的なアフォーダンスの選択といった現象についても新たな見通しが得られると主張している。講演後の質疑においては，higher order affordance と Gibson のイベント（知覚）や課題，文脈との関係についての質問や，直接知覚が意味するところについての活発な議論が行われた。

¹ 主催：日本生態心理学会

共催：神戸大学異分野共創研究ユニット「適応的な行動の発現をめぐる学際共創研究」

神戸大学大学院人間発達環境学研究科戦略的事業「適応的スキル発達をめぐる異分野共創拠点の形成」
科学研究費補助金「探索器官としての手の創発：能動的探索が生み出す情報の解明(JP21KK0182)」

ポスター発表では、平井百香氏（国立障害者リハビリテーションセンター研究所）、山崎寛恵氏（東京学芸大学）、韓亜由美氏（STUDIO HAN DESIGN）、畑美緒氏（早稲田大学）、児玉、西尾による発表が行われた。

指定討論においては、樋口氏より主に2つの観点からの質問が行われた。1つ目は「higher order affordance と“complex particular”(c.f., Turvey, 2018)の関係」について、2つ目は「加齢(aging)が higher order affordance の知覚に及ぼす影響」についての質疑が行われた。続く、総合議論のなかでは会場からも様々な質疑が飛び交い盛況となった。



Figure 1 講演（左上）、ポスター発表（右上）、指定討論（左下）の風景と参加者（右下）の写真。

参考文献

- Mantel, B., Stoffregen, T. A., Campbell, A., & Bardy, B. G. (2015). Exploratory movement generates higher-order information that is sufficient for accurate perception of scaled egocentric distance. *PloS One*, 10(4), e0120025.
- Mayo, A. M., Wade, M. G., & Stoffregen, T. A. (2011). Postural effects of the horizon on land and at sea. *Psychological Science*, 22(1), 118-124.
- Munafo, J., Diedrick, M., & Stoffregen, T. A. (2017). The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental Brain Research*, 235, 889-901.
- Stoffregen, T. A., Smart, L. J., Bardy, B. G., & Pagulayan, R. J. (1999). Postural stabilization of looking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(6), 1641-1658.
- Stoffregen, T. A., Pagulayan, R. J., Bardy, B. G., & Hettinger, L. J. (2000). Modulating postural control to facilitate visual performance. *Human Movement Science*, 19(2), 203-220.
- Stoffregen, T. A., & Bardy, B. G. (2001). On specification and the senses. *Behavioral and Brain Sciences*, 24(2), 195-213.
- Stoffregen, T. A., & Wagman, J. B. (2024). Higher order affordances. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1-30.
- Turvey, M. T. (2018). *Lectures on perception: An ecological perspective*. Routledge.

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 理事選挙

2025 年 2 月に本学会の理事選挙が行われました。

- 選挙管理委員：炭谷 将史，牧野 遼作
- 理事選挙に関して、選挙公示，立候補・推薦，立候補・推薦に基づく被選挙人名簿による投票が行われました。選挙管理委員会による開票手続きが行われ，その結果，被選挙人名簿の 10 名全員が当選となりました。

青山 慶	伊藤 万利子	奥野 真之	児玉 謙太郎	佐藤 由紀
柴田 崇	染谷 昌義	友野 貴之	西尾 千尋	野中 哲士

3 理事会

2024 年 5 月 31 日～6 月 6 日（メール審議）

- 会員よりイベント企画の提案があり，審議のうえ承認した。

2024 年 7 月 8 日～7 月 12 日（メール審議）

- 会員より『生態心理学研究』での特集企画の提案について承認した。

2024 年 9 月 18 日～9 月 27 日（メール審議）

- J-STAGE の PDF 作成指針の改訂に伴い、『生態心理学研究』ではセキュリティ設定を廃止することを承認した。

2024 年 11 月 1 日（オンライン）

- 次期理事会の構成について協議した。
- 理事選挙の実施方法および選挙管理委員の候補者について協議した。
- 2025 年度開催予定の大会について準備の進捗を確認した。

- Thomas A. Stoffregen 氏来日に伴う講演会の開催について承認した。

2025 年 3 月 17 日（オンライン）

- 理事選挙の結果を受け、新理事により議論が行われ、代表及び担当理事を決定した。

代表 野中 哲士

代表補佐（兼任）柴田 崇

編集 青山 慶 児玉 謙太郎 西尾 千尋

企画・広報 佐藤 由紀 友野 貴之 染谷 昌義

会計 奥野 真之

庶務 柴田 崇

事務局幹事 伊藤 万利子 友野 貴之

- 「専任の職にない正会員の年会費の減額措置」の申請 3 件について承認した。

4 イベント報告

- ICPA2024 報告会

2024 年 9 月 20 日に、本学会主催のイベント「ICPA2024 報告会」を開催しました。内容の詳細は、「報告」をご覧ください。

- 国際シンポジウム「Adaptive behavior and its ecological foundations（適応的行為とその生態学的基盤）」

2025 年 2 月 21 日に、本学会協賛の国際シンポジウム「Adaptive behavior and its ecological foundations（適応的行為とその生態学的基盤）」を開催しました（主催：神戸大学異分野共創研究ユニット「適応的な行動の発現をめぐる学際共創研究」、神戸大学大学院人間発達環境学研究科戦略的事業「適応的スキル発達をめぐる異分野共創拠点の形成」）。

- Thomas A. Stoffregen 先生講演会 "Higher order affordances"

2025 年 3 月 7 日に、本学会主催のイベント「Thomas A. Stoffregen 先生講演会 "Higher order affordances"」を開催しました（共催：神戸大学異分野共創研究ユニット「適応的な行動の発現をめぐる学際共創研究」、神戸大学大学院人間発達環境学研究科戦略的事業「適応的スキル発達をめぐる異分野共創拠点の形成」、科学研究費補助金「探索器官としての手の創発：能動的探索が生み出す情報の解明(JP21KK0182)」）。内容の詳細は、「報告」をご覧ください。

5 査読者一覧（2021 年～2024 年）

以下の方々に査読を担当いただきました。ここに記して感謝申し上げます（現編集委員を除く、敬称略、五十音順）。

和泉 謙二 栗原 勇人 後安 美紀 河野 哲也 佐々木 正人

渋谷 友紀 炭谷 将史 関 博紀 園田 耕平 高梨 克也

仲本 康一郎 樋口 貴広 平倉 圭 廣瀬 直哉 古山 宣洋

堀内 隆仁 牧野 遼作 右田 正夫 三嶋 博之 宮原 克典

山崎 寛恵 山本 尚樹

6 収支報告および予算

2024 年度収支報告および 2025 年度予算案については以下を参照ください.

2024年度 日本生態心理学会収支報告書(監査前)

2025年3月31日

収入の部					
費目	内容	単価	数量	金額	計
会費					
	過年度(2023年度以前分)				25,000
	正会員	5,000	5	25,000	
	学生会員	2,000	0	0	
	賛助会員	10,000	0	0	
	当年度(2024年度分)				379,000
	正会員	5,000	71	355,000	
	減額措置	3,000	4	12,000	
	学生会員	2,000	6	12,000	
	賛助会員	10,000	0	0	
	当年度前受会費(2024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	
その他					
当期収入合計					404,000
前年度繰越金					2,880,859
	一般会計分			2,330,859	
	国際交流特別補助基金			550,000	
収入総計					3,284,859

(次ページにつづく)

支出の部

費目	内容	単価	数量	金額	計
機関誌発行費					66,165
	生態心理学研究 vol. 15発行費 (PDF版) I-Stageセット代含め	66,000	1	66,000	
	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(毎日学術フォーラム)					276,030
	会員業務費用(24年4月～24年9月)	87,000	1	87,000	
	事務局窓口業務費用	30,000	1	30,000	
	コピー代	940	1	940	
	年会費領収書作成費用	100	3	300	
	請求書送付費用	7,896	1	7,896	
	消費税			11,804	
	払い出し料金(送金にかかる費用)	165	1	165	
	会員業務費用(23年10月～24年3月)	87,000	1	87,000	
	事務局窓口業務	30,000	1	30,000	
	コピー代	940	1	940	
	年会費領収書作成費用	100	1	100	
	請求書送付費用	7,896	1	7,896	
	消費税			11,824	
	払い出し料金(送金にかかる費用)	165	1	165	
企画実施費用					5,105
	Thomas A. Stoffregen先生講演会(2025年3月7日)				
事務局経費					16,610
	学会HP用サーバーレンタル代	13,200	1	13,200	
	ドメインレンタル代	3,102	1	3,102	
	払出手数料	154	2	308	
理事選挙実施費用(MEC)					83,864
		83,699	1	83,699	
	払い出し料金(送金にかかる費用)	165	1	165	
当期支出合計					447,774
繰越金	収入総計-当期支出合計				2,837,085
	一般会計分(前受会費含)			2,287,085	
	国際交流特別補助基金			550,000	
支出総計					3,284,859

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

2025年度 日本生態心理学会 予算案

(2025年3月10日作成)

収入の部

費目	内容	予算	
会費			430,000
	過年度(2024年度以前分)	30,000	
	当年度(2025年度分)	400,000	
	前年度前受(2024年度内振込の2025年度分)	0	
	次年度(2026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			430,000
前年度繰越金			2,827,085
	一般会計分	2,277,085	
	国際交流特別補助基金	550,000	
収入総計			3,257,085

支出の部

費目	内容	予算	
編集			100,000
機関誌発行	vol.17発行費	100,000	
会員企画への補助			120,000
	一件につき40000円×3件	120,000	
	(理事企画1、募集企画2)		
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	
事務経費			299,000
	外部(毎日学術フォーラム)委託費用	280,000	
	事務局の備品購入費等	0	
	学会HP用サーバーレンタル費	16,000	
	文具・郵便・送金手数料等	3,000	
理事選挙費用			0
	インターネット選挙システム	0	
国際交流特別補助費			0
		0	
当期支出合計			611,000
繰越金			2,646,085
	一般会計分	2,096,085	
	国際交流特別補助基金	550,000	
支出総計			3,257,085

訂正のお知らせ

掲載頁：生態心理学研究，第 16 巻，第 1 号，51-73 頁

論文名：解かれる謎をつくる：ミステリ小説 70 作品の分析と作家へのインタビューを通じた
トリックと解明方法の関係

Creating Mysteries: A Study on the Relationships Between Tricks and How to Unravel
Them in Mystery Novels

著 者：齊藤 有希，田内 優花，滝 りりか，関 博紀

Yuki Saito, Yuka Tauchi, Ririka Taki, Hiroki Seki

	訂正箇所					誤 (Error)	正 (Correction)
1	56 頁	Table2	No.1	作品名		厄災の街	厄災の町
2	56 頁	Table2	No.2	作品名		寝ぼけ所長	中央銀行三十万円紛失事件
3	56 頁	Table2	No.6	作品名		妖異金瓶海	赤い靴
4	56 頁	Table2	No.15	作品名		猫の舌に釘を打て	猫の舌に釘をうて
5	56 頁	Table2	No.16	作品名		夜の終わるとき	夜の終る時
6	56 頁	Table2	No.20	作品名		伯林 - 一八八八	伯林 - 一八八八年
7	56 頁	Table2	No.25	作品名		亜・愛一郎の狼狽	曲った部屋
8	56 頁	Table2	No.29	作品名		バイバイエンジェル	バイバイ、エンジェル
9	56 頁	Table2	No.44	作品名		パスワードはひみつ	パスワードは、ひ・み・つ
10	56 頁	Table2	No.48	作品名		ボーンコレクター	ボーン・コレクター
11	56 頁	Table2	No.51	作品名		アヒルと鴨	アヒルと鴨のコインロッカー
12	56 頁	Table2	No.52	作品名		ダヴィンチコード	ダ・ヴィンチ・コード
13	56 頁	Table2	No.55	作品名		ひまわりの咲かない夏	向日葵の咲かない夏
14	56 頁	Table2	No.56	作品名		チームバチスタの栄光	チーム・バチスタの栄光
15	56 頁	Table2	No.62	作品名		謎解きはディナーのあとで	殺人現場では靴をお脱ぎください
16	56 頁	Table2	No.65	作品名		楽園のカンヴァス	夢をみた J'ai rêvé (楽園のカンヴァス)
17	56 頁	Table2	No.67	作品名		ミスターメルセデス	ミスター・メルセデス
18	56 頁	Table2	No.13	作者		D・カー	J・D・カー
19	56 頁	Table2	No.15	作者		都築道夫	都筑道夫
20	56 頁	Table2	No.31	作者		竹本健司	竹本健治
21	56 頁	Table2	No.33	作者		島田宗司	島田荘司
22	56 頁	Table2	No.58	作者		米沢穂信	米澤穂信
23	56 頁	Table2	No.68	作者		青崎雄吾	青崎有吾
24	56 頁	Table2	No.01	出版年		1940	1942
25	56 頁	Table2	No.06	出版年		1954	1953
26	56 頁	Table2	No.13	出版年		1960	1944
27	56 頁	Table2	No.24	出版年		1974	1973
28	56 頁	Table2	No.26	出版年		1976	1953

29	56 頁	Table2	No.36	出版年	1983	1980
30	56 頁	Table2	No.50	出版年	1998	1996
31	56 頁	Table2	No.54	出版年	2003	1999
32	56 頁	Table2	No.57	出版年	2007	2006
33	56 頁	Table2	No.60	出版年	2008	2007
34	56 頁	Table2	No.61	出版年	2010	2008
35	56 頁	Table2	No.62	出版年	2010	2007
36	56 頁	Table2	No.63	出版年	2012	2013
37	56 頁	Table2	No.65	出版年	2012	2010
38	56 頁	Table2	No.68	出版年	2015	2012
39	56 頁	Table2	No.70	出版年	2018	2016
40	56 頁	Table2	No.11	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
41	56 頁	Table2	No.12	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
42	56 頁	Table2	No.15	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
43	56 頁	Table2	No.16	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
44	56 頁	Table2	No.22	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
45	56 頁	Table2	No.28	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
46	56 頁	Table2	No.33	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
47	56 頁	Table2	No.36	選書理由	このミステリーがすごい！	代表作
48	56 頁	Table2	No.37	選書理由	江戸川乱歩賞	代表作
49	56 頁	Table2	No.42	選書理由	このミステリーがすごい！	代表作
50	56 頁	Table2	No.48	選書理由	代表作	このミステリーがすごい！
51	56 頁	Table2	No.49	選書理由	このミステリーがすごい！	代表作
52	56 頁	Table2	No.53	選書理由	本格ミステリベスト 10	このミステリーがすごい！・ 本格ミステリベスト 10
53	56 頁	Table2	No.54	選書理由	このミステリーがすごい！	このミステリーがすごい！・ 本格ミステリベスト 10
54	56 頁	Table2	No.56	選書理由	このミステリーがすごい！	代表作
55	56 頁	Table2	No.58	選書理由	本格ミステリベスト 10	このミステリーがすごい！・ 本格ミステリベスト 10
56	56 頁	Table2	No.60	選書理由	本格ミステリベスト 10	代表作
57	56 頁	Table2	No.63	選書理由	本格ミステリベスト 10	このミステリーがすごい！・ 本格ミステリベスト 10
58	56 頁	Table2	No.64	選書理由	このミステリーがすごい！	代表作
59	56 頁	Table2	No.66	選書理由	このミステリーがすごい！	代表作
60	56 頁	Table2	No.69	選書理由	本格ミステリベスト 10	このミステリーがすごい！・ 本格ミステリベスト 10
61	56 頁	Table2	No.70	選書理由	本格ミステリベスト 10	このミステリーがすごい！・ 本格ミステリベスト 10
62	55 頁	下から 3 行目			『このミステリーがすごい！』 大賞	『このミステリーがすごい！』
63	55 頁	下から 2 行目			基準とし (48 作品)	基準とし (34 作品)
64	55 頁	下から 1 行目			追加した (22 作品)	追加した (36 作品)

65	55 頁 脚注 7	江戸川乱歩賞は日本推理作家協会が、『このミステリーがすごい!』大賞は宝島社が主催する文学賞である。	江戸川乱歩賞は日本推理作家協会が主催する文学賞、『このミステリーがすごい!』は宝島社が出版する書籍上で行われるランキングである。
----	-----------	---	--

編集後記

『生態心理学研究』第17巻をお届けします。

本誌は本巻より、オープンアクセス化され、Creative Commons Attribution (CC BY) ライセンスのもとで公開されることとなりました。より広く多くの方々に読まれ、活用されることを期待しております。

また、本号より編集体制が変更となりました。これまで長きにわたり編集に尽力くださった廣瀬直哉氏、野中哲士氏に深く感謝申し上げます。お二人のご尽力のおかげで、上記のオープンアクセス化や編集実務をはじめとする様々な体制が整い、円滑な運営基盤が築かれました。今後も本誌が、活発な議論の場としてさらなる発展を遂げられるよう、新体制でも一同力を尽くしてまいります。

本巻には、1本のショートノートに加え、2つの特集が掲載されており、大変充実した内容となっております。これらの特集の編集には、編集理事に加え、友野貴之氏、牧野遼作氏、関博紀氏にもエディターとしてご協力いただきました。この場を借りて、あらためて感謝申し上げます。

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。2024年4月より投稿規程が改定され、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い申し上げます。

editor@jsep-home.jp

生態心理学研究編集委員会

編集理事 青山慶 児玉謙太郎 西尾千尋

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

青山 慶（岩手大学）

編集副委員長

児玉 謙太郎（東京都立大学）

西尾 千尋（甲南大学）

伊藤 万利子（札幌学院大学）

奥野 真之（駒沢女子大学）

佐藤 由紀（玉川大学）

柴田 崇（北海学園大学）

染谷 昌義（北海道大学）

友野 貴之（札幌学院大学）

野中 哲士（神戸大学）

生態心理学研究 第17巻 第1号

Print ISSN 1349-0443

Online ISSN 2434-012X

2025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 野中 哲士

編集委員長 青山 慶

〒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

Kei AOYAMA (Iwate University)

Associate Editors

Kentaro KODAMA (Tokyo Metropolitan University)

Chihiro NISHIO (Konan University)

Consulting Editors

Mariko ITO (Sapporo Gakuin University)

Masayuki OKUNO (Komazawa Women's University)

Yuki SATO (Tamagawa University)

Takashi SHIBATA (Hokkai-Gakuen University)

Masayoshi SOMEYA (Hokkaido University)

Takayuki TOMONO (Sapporo Gakuin University)

Tetsushi NONAKA (Kobe University)

Japanese Journal of Ecological Psychology, vol. 17, No. 1

Print ISSN 1349-0443

Online ISSN 2434-012X

©2025 The Japanese Society for Ecological Psychology Printed in Japan

The Japanese Society for Ecological Psychology

President Tetsushi NONAKA

Editor Kei AOYAMA

**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