

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23530961

研究課題名(和文)物体運動に内在する因果構造の知覚の研究

研究課題名(英文)A study of perception of hierarchical structure embedded in object motion

研究代表者

薬師神 玲子 (YAKUSHIJIN, REIKO)

青山学院大学・教育人間科学部・准教授

研究者番号：30302441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では因果的階層性が形態変化の初発点(行為の最重要点)の検出にどのように関わるのかを検討した。階層性を内在する簡単な刺激として腕様の光点運動刺激を採用し、その形態変化の初発点、すなわち腕の運動起点検出に対する階層性の影響を検討した。心理物理学の実験とベイズ推定を用いたコンピュータシミュレーションを用いた研究により、形態変化の初発点を検出するにあたって、人間は階層情報のうち、順序情報のみを主として利用していることが示唆された。また、階層性の認知を助ける情報として要素運動の軌跡に着目した実験を行ったところ、円滑な軌跡は必ずしも階層性の認知を助け無い一方で、群化プロセスの関与が示唆された。

研究成果の概要(英文)：In this study, we investigated what aspect of hierarchical structure embedded in object motion is used to detect the critical point of shape change of object. The critical point of shape change is the point where the most important movement that causes the whole change of the object shape occurs. We used arm-like artificial point-light displays and conducted several psychophysical experiments and Bayesian simulations. The results show that human observers utilized hierarchical order information to detect the critical point, not the strict positioning of each point guided by the location of their ancestor. We also conducted experiments to examine whether the trajectory of points affects the determination of hierarchical structure (or the perceptual problem "which point was in the highest rank of the hierarchical structure"). The results suggests that smooth trajectory did not help the determination much, and that the grouping process might be important to solve this problem.

研究分野：認知心理学

キーワード：認知心理学 認知科学 運動知覚 形態知覚 行為知覚 ベイズモデル

1. 研究開始当初の背景

心理物理学的な視覚研究において「その物体が何であるかの認知(物体認知)」と、「それに対してどのようにアプローチすれば良いか(把握すべき場所と方法等の認知)」という二つの問題はほぼ独立に研究されてきた。脳内における情報処理経路が、物体認知は一次視覚野(後頭葉)から側頭葉へ向かう腹側経路、把握すべき場所と方法等の認知に関わる空間認知は一次視覚野から頭頂葉へ向かう背側経路で主に行われているということと照らし合わせても、この2つの問題を分けて考えるのは相応の根拠があることではある。しかしながら、上記2つの経路間には密接な相互作用があることも知られており、両問題をつなぐ研究もまた重要である。

本研究では、この二つを繋ぐ可能性のある課題として、バイオロジカル・モーションの知覚をはじめとする、因果関係を内在する関節構造からなる物体の運動刺激に着目する。バイオロジカル・モーションは人体をはじめとする生体の運動のことであるが、Johanson(1973)は人の主要な関節につけた光点の運動のみから人体の形状とその行為を知覚できることを示した。その後の研究では、その人物の性別や性格、感情状態なども光点の運動から検出可能であることが示されている。すなわち、バイオロジカル・モーションの刺激からは形態に関する情報と行為に関する情報の両方が抽出されていることがわかる。

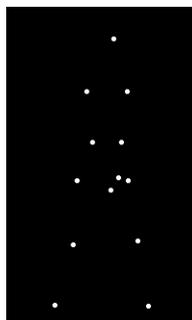


図1 バイオロジカル・モーションの光点ディスプレイ

バイオロジカル・モーション様の刺激の特徴である因果の階層については、Mather et al. (1992)がバイオロジカル・モーションの知覚には階層性は重要でないとの見解を示して以来、あまり着目されてこなかった。しかしながら、これまでのバイオロジカル・モーションの研究で用いられてきた課題は生体の運動方向や特性の抽出など、限定的な特徴の抽出に寄って可能な課題が多いように見受けられる。階層性の理解は、刺激全体の形態構造の把握に繋がるとともに、その運動形式の把握にも役立つと考えられる。本研究では、この階層性に着目をして、特に階層性が形態変化の初発点(行

為の最重要点)の検出にどのように関わることか、また階層性がどのように特定されることか、そこに関わる先験的な知識の役割を模索する。

2. 研究の目的

前項で述べたように、本研究では階層性が形態変化の初発点(行為の最重要点)の検出にどのように関わることかを検討する。具体的には、因果的階層性を内在する簡単な刺激として腕様の光点運動刺激を採用し、その形態変化の初発点、すなわち腕の運動起点検出に対する階層性の影響を検討する。その手段として、階層性の特徴の有無について三段階の刺激を作成し、これらを用いた心理物理学的実験の結果を比較するとともに、ベイズ推定を用いたコンピュータシミュレーションによって階層性を用いるモデルと用いないモデルの出力を計算し、これら人間課題遂行成績と比較する。

また階層性がどのように特定されることか、そこに関わる先験的な知識の役割を模索するために、階層性を持つ腕様刺激全体の運動軌跡が階層性の特定を必要とする課題の成績にどのように影響するかを実験的に検討する。

3. 研究の方法

(1) 腕様光点刺激の運動のクリティカルポイント検出と階層レベル関係についての心理物理学実験

コンピュータ上に5点からなる腕様の刺激を提示して、これを動かした(図1)。実験参加者は、関節に相当する1~4の光点のうち、どの関節で腕の間の角度が変化したかをキー押しによって答える。練習試行では、ターゲット関節でのみ想定上の腕の間の角度が変化し、その他の関節では角度は一定に保たれている。そのため、課題遂行は非常に簡単であり、成績はほぼ100%であった。本試行では、ターゲットおよびその他の関節すべてにおける腕の間の角度変化に、同じ標準偏差の正規角度ノイズがフレームごとに加えられる。これによって全ての関節において常に角度変化が生じていることになる為、課題の遂行は難しくなる。

なお、結果における刺激の特異性の影響について考察する為、ターゲット関節での運動が、低次の階層(例:“肩”に対して“肘”や“手首”は低次の階層になる)の関節位置に与える影響に関して2つの条件を設けた。一つは、ターゲット関節より低次の関節同士的位置関係が保存される運動(“contraction/straightening”)であり、もう一つは、これらがターゲット関節を中心に回転する運動(“bending/stretching”)である。各条件について、それぞれ三段階の大き

さの角度ノイズを加えた実験を行い、ターゲット関節の階層レベルによる成績の違いを検討した。

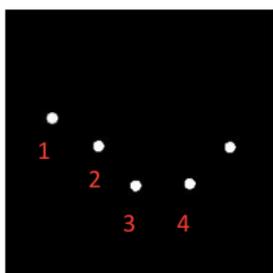


図2 (1)の実験の初期画面(赤い数字はキー押しの選択肢を示し、練習試行でのみ呈示される)

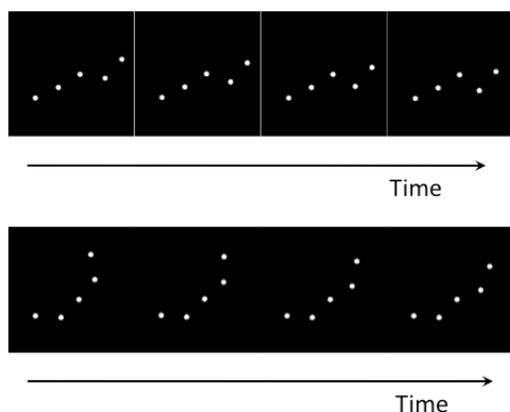


図3 上：“contraction/straightening”運動の例：左から右へ、アニメーションを構成するフレームを示している(ここでは4フレームを示しているが、実際の刺激は7フレームで構成される)下：“bending/stretching”運動の例。上下とも、角度ノイズを加える前の運動。

(2) (1)の実験結果における、階層情報の影響を調べるための比較実験

(1)の実験結果を検討するために、(1)の実験刺激から階層情報を取り除いた2種類の刺激を用いて実験を行った。階層情報には、階層順序と、階層の一段階上位関節に対する当該関節の可能な配置という2つの情報がある。一つ目の刺激では、この2種類とも取り去った。具体的には、階層の最も高い関節に相当する光点を除き、各光点の運動成分を保ったまま、全ての光点の初期位置をx座標y座標ともにランダムに再配置したものである(図4左)。2つ目の刺激では、初期位置を水平線上からジッターをかけた位置に変更することにより、順序情報は保存される一方で階層の上位関節に対する配置の情報は取り除かれている(図4右)。

このような刺激においては、ターゲット関節の位置の特定という課題の遂行は難しいため、対象者には、この課題と等価な課題として、移動した光点の数を検出する課題を行うことが求められた。なお、補足実験として

(1)と同じ刺激を用いた同課題の課題遂行成績を調べたところ、(1)の課題とほぼ等しい成績が得られているため、2つの課題の等価性は保証されているものと考えた。

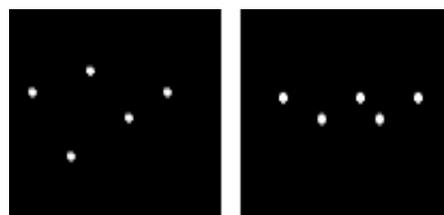


図4 (2)の実験刺激の初期画面。左：階層構造を全て取り去った刺激 右：階層的順序情報のみ保存されている刺激。

(3) (1)の課題遂行成績についてのシミュレーションによる検討

(1)の課題について、次の①～③の三種のモデルを用いたコンピュータシミュレーションを行い、その成績を(1)および(2)の心理物理学的実験の結果と比較した。

①局所的な運動の大きさに基づく決定を行うモデル：このモデルでは、階層構造を利用せずに、各光点について、連続するフレーム感の移動距離をサンプリングし、その分布の推定された平均を比較して決定が下される。②階層的順序情報と局所的運動の大きさに基づく決定を行うモデル：このモデルでは、局所的移動距離が大きく変化する位置を、順序情報を利用して検出し、これに基づいて決定が下される。③階層的順序情報と階層の上位要素の位置に対する相対的な運動の大きさに基づく決定を行うモデル：このモデルでは、階層の一段階上位の光点を基準として、各光点の移動角の平均を推定し、これを比較して決定が下される。

(4) 階層の方向性の決定に関わる要因

階層構造を利用するためには、階層の上位がどこに相当するか、すなわち、物体の中心位置がどこにあるのかを決定できなくてはならない。ところが、光点運動パターンでは、特に形態が直列状の場合、原理的にはどの点を階層の上位と考えても運動の伝播が説明できるため、階層の上位位置の決定には刺激とは別個の内的な仮説、あるいはトップダウン的な知識が必要と考えられる。この研究では、光点の軌跡に焦点を当て、最も規則的な軌跡を持つ光点を階層の最上位として想定され、他の光点の運動軌跡が解析されるといふ仮説の検証を試みた。

刺激は(1)の実験刺激と同様の腕様光点刺激である。腕の初期形態はランダムであるが、腕はその両端が左右に配置されるように置かれた。刺激を作成するにあたっては、階層の最上位(肩)に当たる光点は右端または左端にランダムに設定され、これらの光点は

①円弧状 または ②ランダムな軌跡を取って動くようにプログラムされた。(1)の刺激と同様に関節の内の一つで大きく腕間の角度が替わるのに加えて、各関節には(1)の刺激と同様に角度ノイズが導入されたため、階層最上位(肩)と想定された光点以外の動きは、階層最上位と想定された光点の動きに比べて(偶発的に特殊なノイズ系列が算出された場合を除き)複雑な軌跡を辿る。実験参加者は、階層最上位の光点(“肩”)に相当する光点)が右端か左端かをキー押しによって回答した。

なお、この実験には数学的な「正解」は無い。すなわち、どの光点を階層最上位と考へても、光点の移動は階層構造に従ったものとなっている。繰り返しになるが、研究の主眼は、人間が点の軌跡の規則性を階層構造の割り出しに利用するか否かを検討することである。もしも人間がこの情報を利用するのであれば、実験参加者の選択は左右で偏りが生じるが、利用しないのであれば左右ランダムと考えられる。

4. 研究成果

本研究の成果は、運動中の因果的階層構造に着目した点で他の研究に無い視点を提供するものである。未だ基礎的なデータの集積ではあるが、個々の形態についての知識が無い又は希薄である新奇の物体や生体の知覚を人がどのように行っているか、また行いうるかという問題や、新奇状況でそれらの物体や生体にどのようにアプローチをするのかという問題への解に繋がる可能性を秘めているものとする。以下に、得られた結果をまとめる。

(1) 腕様光点刺激の運動のクリティカルポイント検出と階層レベル関係についての心理物理学実験

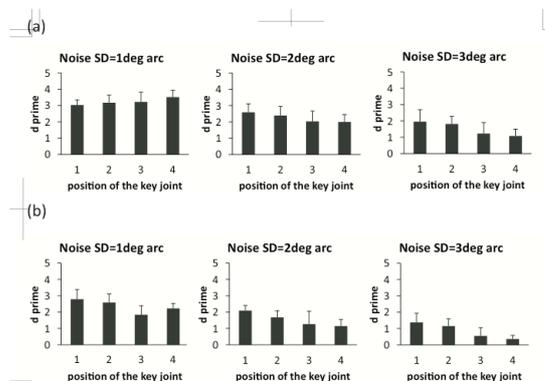


図5 (1)の実験の結果：上段は“contraction/straightening”運動の結果、下段は“bending/stretching”運動の結果を示している。

図5は、8名の実験参加者の結果をまとめたものである。横軸はターゲットの関節に相当する光点の位置(左端が階層最上位(肩))、縦軸はターゲット位置での識別成績である。この図からわかるように、成績は階層上位ほど良く、また運動パターンによってその成績低下率が異なる。ただし、成績の階層に従う低下という質的な特徴は2つの運動パターンに共通している。

(2) (1)の実験結果における、階層情報の影響を調べるための比較実験

図6は階層情報を全て取り去った刺激を用いた実験の結果(実験参加者は(1)の実験とは別の8名)、図7は階層的順序情報のみ保存されている実験の結果(実験参加者は(1)および上記の実験とは別の8名)である。図から読み取れるように、(1)の実験結果は、階層的順序情報のみ保存されている実験の結果と質的に共通するものであった。これによって、行為における重要な位置の検出には、階層的順序情報が重要であることが示唆された。

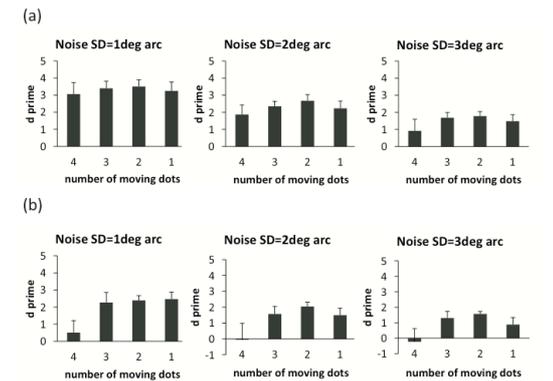


図6 階層情報を全て取り去った刺激を用いた実験の結果(上段：“contraction/straightening”、下段：“bending/stretching”)

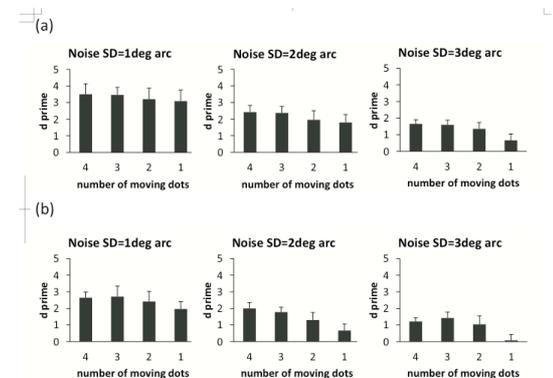


図7 階層的順序情報のみ保存されている実験の結果

(3) (1) の課題遂行成績についてのシミュレーションによる検討

図8は①局所的な運動の大きさに基づく決定を行うモデルによるシミュレーションの典型例を示している。図のように、特に階層上位にターゲット関節が置かれる条件に相当するとき(シミュレーションには、(2)で用いた動いたドットの数で特定する課題を想定しているため、図のラベルは(2)の実験結果と対応している)、モデルの出力では他の関節での局所的運動を大きく見積もる。このため、課題遂行成績は(1)や(2)の階層的順序情報が保存されている実験とは異なり、(2)の階層情報を全て取り去った刺激を用いた実験の結果した結果となる。

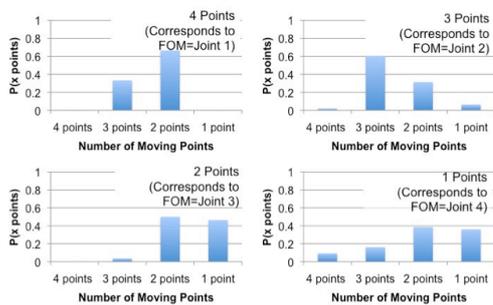


図8 ①局所的な運動の大きさに基づく決定を行うモデルによるシミュレーション結果(典型的な試行での各選択肢の選択確率)

これに対して、図9は②階層的順序情報と局所的運動の大きさに基づく決定を行うモデルのシミュレーション結果を示しているが、その成績は(1)や(2)の階層的順序情報のみ保存されている実験の結果に類似している。

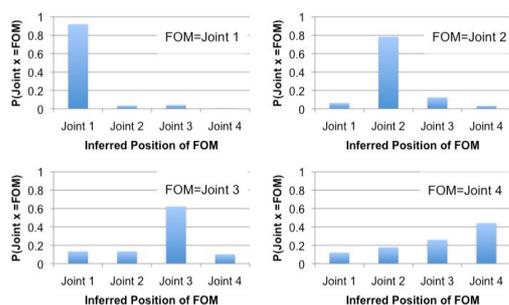


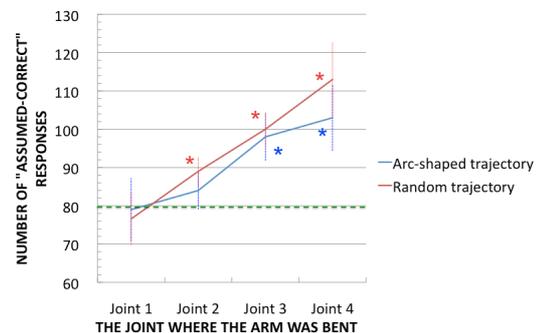
図9 ②階層的順序情報と局所的運動の大きさに基づく決定を行うモデルのシミュレーション結果

③階層的順序情報と階層の上位要素の位置に対する相対的な運動の大きさに基づく決定を行うモデルのシミュレーション結果の質的な特徴は②のモデルと類似しているが、階層構造に従う成績の低下が②に比べて少なく、人間と同じレベルのノイズを想定した結果で比較をすると、このモデルの出力は、

階層の低い位置において人間よりも格段に優れることが示された。これらのモデルと人間のパフォーマンスの比較により、人間は階層情報のうち、順序情報のみを主として利用していることが示唆された。

(4) 階層の方向性の決定に関わる要因

図11は、(4)の実験の結果を示したものである。横軸は腕が曲げられた位置、縦軸は刺激作成時に想定された包囲に階層最上位(肩)にあたる光点があるという回答の数である。緑の点線がチャンスレベル(1/2の確率で左右を選ぶ)の成績である。統計的検定を行った結果、最上位と想定された光点の軌跡(円弧状かランダムか)による選択率に有意な違いは見られなかった。また、図からわかるように、最上位と想定された光点が①円弧状の軌跡を描く場合でも②ランダムな軌跡を描く場合でも、肩関節から全体が回転する場合の選択はチャンスレベルであるのに対して、階層の下位の関節で曲がる場合には想定された向きの回答が有意に多い(図中*は5%水準でチャンスレベルと有意な差があることを示している)。この結果は、階層構造の特定に、少なくとも2つの運動集合(あるいは固まり)が必要であることを示しているとも考えられる。であるならば、要素間の群化のプロセスと階層構造の知覚との間に密接な関係性が想定されるが、群化の結果生じる集合の相対的な大きさがそのまま階層構造の特定に繋がるという単純なものではないことは、ランダム軌跡条件で最上位から2番目で曲がる刺激においても有意に想定された向きでの回答が多いことから推測される(この刺激においては、階層の下位の集合の方が大きい。より下位の階層で曲がる刺激においては、階層の上位の集合の方が大きい。)



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計4件)

① Yakushijin, R. & Ueda, S. Detection of focal points of hierarchical motion using

point light display. *Asia Pacific Conference of Vision 2012*, Incheon:Korea, 2012/7/15.

② Yakushijin, R. & Ueda, S. Perception of the focus of motion in point light display: the effect of hierarchical levels on performance. 54th annual meeting of psychonomic society, Toronto ON:Canada, 2013/11/15.

③ 薬師神玲子&上田祥代 階層的な運動刺激からの形状変化部位の同定：階層ベイズモデルの出力と実験結果の比較 日本基礎心理学会第32回大会、金沢市文化ホール（金沢 石川県）、2013年12月8日。

④ Yakushijin, R. & Ueda, S. Perception of the hierarchy in the arm-like point light display: the effect of embedded noise. 55th annual meeting of the psychonomic society, Long Beach CA:USA, 2013/11/15.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

薬師神 玲子 (YAKUSHIJIN, Reiko)
青山学院大学教育人間科学部心理学
科・准教授
研究者番号：30302441

(2) 研究協力者

上田 祥代 (UEDA, Sachiyo)