

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 27 日現在

機関番号：32692

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500334

研究課題名(和文) 3次元物体の凹凸特徴の認知特性

研究課題名(英文) Characteristics of visual cognition for 3D object with convex/concave features

研究代表者

菊池 眞之 (KIKUCHI, Masayuki)

東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師

研究者番号：20291437

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：近年の3次元ディスプレイの普及に伴い、凹凸を有する3次元物体の認知特性を把握しておく必要性が高まっている。本研究では3次元物体の凹凸特徴の知覚について複数の心理物理実験によって調べた。凹凸のある2次元閉曲線を呈示した際に知覚される3次元物体表面構造を心理実験により求め、結果を閉曲線の幾何学的特徴から回帰した。また、特徴部が遮蔽された3次元物体の動きは、可視部が凸形状のほうが凹形状よりも知覚され易いことを明らかにした。さらに、3次元凹状/凸状局所折れ面パッチを刺激要素とする輪郭統合実験を通し、刺激要素の凹/凸属性が同種のもの同士の際に輪郭検出率が高まることを見出した。

研究成果の概要(英文)：Recent popularization of 3D display rises the necessity to comprehend the characteristics of cognition for 3D objects with convex/concave features. This study investigated the perception of convex/concave features in 3D objects through some psychophysical experiments. This study clarified 3D structure of objects perceived from the presented 2D closed contours having convexities and concavities, and obtained regression expression using geometric features of closed contours. In addition, this study found the phenomenon that motions of convex rather than concave visible parts of 3D objects whose features are masked can be easily integrated. This also study performed the path-paradigm based experiment using 3D convex/concave local folded patches as stimuli elements, and revealed that correct rate of path-detection become high when attribute of convexity/concavity of patches along the path are homogeneous.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・認知科学

キーワード：視覚情報処理 心理物理実験 神経情報処理 3次元物体 図地分離 凹凸

## 1. 研究開始当初の背景

テレビやコンピュータ、携帯情報機器等の情報ディスプレイの表示が2次元から3次元に進化し、3次元表示が可能な民生機も社会に普及しつつある。それに呼応し、3次元ディスプレイの表示を見る人間の3次元視覚認知特性について把握しておく必要性が高まっている。両眼立体視にまつわる基礎的な認知特性はランダムドットステレオグラム等を用いて表現される特殊な刺激を用いた研究により多々蓄積されてきてはいるが、実世界の3次元のシーンに含まれるものは多くの場合、凝集性のある塊としての「物体」であり、そのような3次元物体の認知特性についても把握しておくことが望まれる。しかし、物体認知に関わる知見の多くは20世紀初頭のゲシュタルト心理学以来、2次元刺激を用いた研究によるものであり、3次元の物体が脳内で主観的にどのように再構成されるかはあまり知られていない。このような観点での知見が蓄積されれば、効果的な3次元ディスプレイへの表示コンテンツの作成方法や、人間による描画入力が容易な2次元パターンから心理的に自然に感じられる3次元のオブジェクトを自動生成するツールの原理、さらには自動車等の運転者の認知状態の推定の方法などを編み出すことに繋がり、視覚科学の進展のみならず、社会に与える波及効果も広範に及ぶことが期待される。

## 2. 研究の目的

本研究では3次元凹凸の視覚認知特性について、下記のような複数の観点からの心理物理実験により解き明かすことを目指す。

### (1) 2次元閉曲線からの3次元構造知覚

我々は2次元紙媒体に印刷された物体像や2次元ディスプレイに表示される物体像を見たときにも3次元物体として解釈することが可能である。あるいは3次元物体を直接単眼で見たときの2次元網膜像からも3次元的な解釈をすることができる。一般的にはこれら2次元投影像には陰影やテクスチャーの空間周波数変化など物体の3次元構造を復元するための様々な奥行き手掛かりが含まれているが、一般的な物体の2次元投影像が有する、物体領域境界としての2次元閉曲線の幾何学的特徴からも3次元表面構造を知覚できる可能性がある。2次元に次元が低下した投影像から元の3次元構造を復元することは不良設定問題となる。視覚系は2次元閉曲線の情報のみ利用可能な場合、どのような幾何学的特徴を如何に拘束条件として用いて3次元構造を復元するのかを知る手掛かりを得るべく、2次元閉曲線から知覚される3次元構造を回答する心理物理実験を実施する。そしてデータ解析により輪郭幾何学特徴と3次元構造との関係を吟味する。

### (2) 3次元凹凸輪郭の統合

3次元空間中に物体が存在するとき、その2次元網膜への投影像には輪郭が含まれる。この投影像中の輪郭としては、物体領域の境界が挙げられ、その脳内情報表現や計算論的モデル、心理的知見についての様々な研究がある。一方、3次元物体の2次元投影像の輪郭には上記の他にも物体領域内部の輪郭もある。これは、物体表面の勾配が線状に不連続な箇所形成される。いわゆる面の折れ曲がりとして形成される線である。この折線には、観察者から見て、尾根状に面が折れ曲がった折線、谷状に折れ曲がった折線の2種類有り得る。物体境界輪郭が帰属する領域側次第で大きく知覚的な印象が異なるのみでなく、神経生理学的にも反応する細胞集団が相違するのと同様に、尾根状輪郭・谷状輪郭の両者が2次元表面上で同一の曲線であったとしても、それらの生起の源が異なることを反映し、脳内でのそれら輪郭を処理する細胞集団も異なるものである可能性がある。物体境界細胞に関しては、本課題代表者が以前取り組んだ研究で、滑らかな輪郭に沿った線分群の帰属物体領域側を同一にそろえた場合/互い違いにした場合、大域的輪郭知覚が容易/困難になることを見出している。これは同一物体境界側を表現する細胞集団間のみならず、促進的な作用が生じるからであると考えられた。同様に、折線状輪郭についても、尾根状/谷状の線分群の属性が統一された/互い違いに変化する場合には、それらの統合知覚が容易/困難になるか否か調べることで、処理する細胞集団が尾根状輪郭と谷状輪郭とで異なるか否かのヒントを得ることを目指す。

### (3) 凹凸特徴の運動統合

端点等の特徴を含まない1本の直線の運動を観察する場合、本来の直線の運動を正しく検出できないという窓問題と呼ばれる問題が生じる。物体を構成する輪郭の複数の方位箇所の動きを観察する場合にはそれぞれの運動情報の統合により物体の本来の運動を物理的にも知覚的にも特定できることが知られている。しかし以前の本課題代表者による研究で、観察する直線状運動輪郭の帰属する物体領域側を、穴状領域にしたり、互い違いに設定された不可能図形の設定にしたりすると本来の運動の検出が困難であることを見出した。これは、図地知覚の様相が運動知覚に影響を与えることを示すものである。一方、3次元における物体領域の認知について考える時、2次元における内側の要因(輪郭の彎曲や折れ曲がり箇所では、鋭角あるいは正曲率とみなせる基準領域側が図の領域として知覚され易いという性質)を3次元に拡張し、面の折れ曲がりがある箇所では山折とみなせるような基準側(山側)を内部領域とする傾向がある可能性が考えられる。そうした場合、物体の3次元表面が観察者にとって凹と凸の構造をしているときの間で物体

認知のされ方に差異がある可能性がある。そのことが運動知覚に与える影響について、3次元版窓問題実験を構成し、運動統合の知覚に違いが生じるかを調べる。

#### (4) 3次元凹凸特徴の知覚感度と知覚的位置変位

上記の(3)でも述べたように、3次元物体表面が凹/凸の場合で知覚に差異が生じる可能性がある。特に凹/凸特徴箇所において局所的認知のされ方にどのような差異があるかを解き明かす一環として、凹/凸部の付近の知覚的サイズの計測や、曲率の変化の知覚感度について心理物理実験により調べる。

### 3. 研究の方法

#### (1) 2次元閉曲線からの3次元構造知覚

滑らかなランダム閉曲線を基盤の目状に区分された領域状に配置する。各マス目において奥行座標が可変なプローブ(点)を呈示し、被験者は液晶シャッター眼鏡を通して観察する。閉曲線から知覚される主観的な3次元表面の奥行とプローブとの相対奥行関係を被験者に判断させ、階段法等で主観的奥行へプローブをフィッティングさせる。得られた全体的な3次元表面構造と元となる2次元輪郭との関係を重回帰分析により吟味する。

#### (2) 3次元凹凸輪郭の統合

局所的な面パターンを尾根/谷状に折り曲げ、それによって折れ線を作り出す。この折れ線を刺激要素とする path-paradigm (位置・方位がランダムに設定される線分群中に埋め込まれる、滑らかな大域的曲線に沿って位置・方位を設定し配置される線分群(path)の検出の課題の枠組み)の輪郭検出課題の実験を実施する。折れ曲がった局所面パターンとしてはランダムドットステレオグラムのような、テクスチャーのあるパターンを用いる。検出対象である path は、尾根状折れ線群、谷状折れ線群、両タイプを交互に配置した折れ線群、の3種類用意する。1試行は2画面で構成し、一方はランダムな折れ線群のみの画像、他方は path の含まれる画像とする。被験者のタスクは経時的に呈示される2画面のうちのどちらに path が含まれていたかを回答することである。3種類の path それぞれの検出率を求め、分散分析ならびに多重比較などにより、検出率の差について分析する。

#### (3) 凹凸特徴の運動統合

凹状/凸状にそれぞれ折れ曲がった2種類の面パターンを用意し、1つの刺激ではそれらのうちの一方のみが毎瞬間ドット構成要素の一新されるダイナミックランダムドットステレオグラムで表現する。ドットパターンのうち、時間的に位置が変化しない2つの局所的観察窓より、折れ曲がって形成される傾きの異なる2平面のそれぞれ中央部が観察

可能とする。折れ曲がり面の折線は垂直方位で、全額並行面上に置かれる。そして折れ面パターン全体が y 軸 (鉛直軸) を中心とし、x(水平)-z(奥行)平面上で時計回りないし反時計回りにランダムに方向が定まる並進回転運動を行う。被験者は2つの観察窓のうち的一方のみを見ても奥行き方向の往復運動のみしか知覚できないが、2つの観察窓を見て運動統合することで回転方向の向きが把握できる。被験者のタスクは呈示される運動刺激が時計回りか、それとも反時計回りであったかをボタンで回答することである。凹状/凸状構造の刺激間の正答率を比較することで物体凹/凸構造の運動知覚への影響の関与について判断する。

#### (4) 3次元凹凸特徴の知覚感度と知覚的位置変位

コンピュータで円錐状の窪み(凹)または円錐状突起(凸)のある3次元物体を作成し、ランダムドットステレオグラムで表現する。その物体を基準とし、凹/凸先端部分の曲率を微小量変化させた物体を生成し、オリジナルの物体と同様にランダムドットステレオグラムによって画面に表示する。2物体は経時的にランダムな順番で順次一定時間提示される。被験者は2物体パターンのうちどちらの物体の円錐状凹/凸先端部の曲率がより大きいのか判断し回答することをタスクとして課される。注意対象の領域を基準としたときの凸特徴が主観的に重要になるという2次元刺激を用いた先行研究の知見を踏まえ、注視点位置と被験者回答との関係性も吟味する。ランダムドットステレオグラムでは物体の観察者手前側の面のみならず奥側の面をも同時に表現できる。上記の実験で考慮する凹凸特徴を手前側の面のみならず奥側の面へも付与することを考えると、被験者に対する凹凸の向きが、手前側と奥側の面では逆になる。円錐先端部と物体中心との距離で定まる凹/凸と、円錐先端部と被験者との距離で定まる凹/凸のどちらが結果を良く説明し得るかを吟味する。さらに、物体の境界を含む周辺領域での各位置の点の物理的位置からの知覚的位置の変位を、点状プローブ刺激位置について判断させる課題を通して測定する。

### 4. 研究成果

#### (1) 2次元閉曲線からの3次元構造知覚

複数の被験者いずれも、2次元閉曲線内部の点における奥行きは、閉曲線から遠ざかるほど大きくなる(山状に突き出る)形状となることが明らかになった。重回帰分析により、2次元閉曲線の幾何情報より奥行き構造をある程度説明しうる事も明らかになった。また、2次元閉曲線を入力画像として階層ニューラルネットワークに呈示し、出力層部において被験者の回答した奥行きに基づく3次元物体表面を再現するよう学習させたところ、学習したパターンについて想起できるようにな

った。汎化能力を高めた後、ネットワークの獲得したルールを吟味することが今後の課題となる。

### (2) 3次元凹凸輪郭の統合

Path を構成する線分群の凹/凸属性が統一されている場合には輪郭検出率が高く、交互に属性を反転させた配置の場合には検出率が低くなることがわかった。これは尾根状/谷状各輪郭を別個の線分表現細胞群によって脳内表現されている可能性を示唆する。

### (3) 凹凸特徴の運動統合

運動物体表面構造が凹状である場合に比べ、凸状である場合に、被験者の物体の回転方向の正答率が有意に高まることが明らかになった。これは物体認知状態が運動の解釈に影響を与えること、ゲシュタルト要因の内側の要因が3次元に拡張され得ること、凹に対する凸の特徴の知覚的優位性などを示唆する結果である。

### (4) 3次元凹凸特徴の知覚感度と知覚的位置変位

本課題代表者による先行研究では屏風状の凹凸特徴のうち凸部分の変化知覚感度が高いことが示されていたが、物体の手前のみならず奥側の面も描画される今回の実験では、被験者の回答の傾向が複数通りに分かれる結果となった。刺激の可視性に改良の余地もあり、今後継続して実験を進めてゆく。また、物体領域境界付近での主観的な点の位置の移動については、2次元刺激で調べたところシステムティックな変化側が見出された。3次元版刺激に拡張して継続することが今後の課題である。

## 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 7 件)

- ① 菊池眞之，“凹凸の知覚について”，FSS2013(ファジィシステムシンポジウム)「ファジィ温故知新」ポスターセッション，大阪 (2013.09)
- ② 水崎龍太郎，菊池眞之，“ランダムな2次元閉曲線刺激から知覚される3次元物体表面構造についての検討”，FSS2012(第28回ファジィシステムシンポジウム)講演論文集，pp.1153-1156，名古屋 (2012.09)
- ③ Masayuki Kikuchi，Satoshi Kodama，“Dependence of 3D motion integration on convex/concave surface structure”，ECVP2012 (European Conference on Visual Perception), Alghero, Italy, in

Perception, vol.41 supplement, pp.79-80 (2012.09)

- ④ 菊池眞之，渡邊康世，“進化的計算による視覚系モデルの自動生成”，SCI'12(第56回システム制御情報学会研究発表講演会)講演論文集，pp.83-84，京都 (2012.05)
- ⑤ 児玉悟，菊池眞之，“奥行き方向成分を含む回転の運動統合について”，日本視覚学会2012年冬季大会，新宿，in Vision (The Journal of Vision Society of Japan), vol.24, no.1 p.41 (2012)
- ⑥ Masayuki Kikuchi & Kosei Watanabe，“Generation of Neural Network Models of the Brain by Evolutionary Computation”，INCF2011 (Neuroinformatics) Abstract Book, p.103, Boston, USA (2011.09)
- ⑦ Masayuki Kikuchi & Yoshiaki Kouno，“Psychophysical evidence for dissociate neural assemblies encoding three dimensional convex / concave structures”，ECVP2011 (European Conference on Visual Perception), Toulouse, France in Perception, vol.40 supplement, p.162 (2011.08)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

菊池 眞之 (KIKUCHI, Masayuki)  
東京工科大学・コンピュータサイエンス学部・講師

研究者番号：20291437