

遮蔽された物体の輪郭線知覚を規定する
空間的および時間的条件

鶴 沼 秀 行・長谷川 桐・ケルマン, フィリップJ.

Spatial and Temporal Determinants of Contour Perception
of Occluded Objects

Hideyuki UNUMA, Hisa HASEGAWA, Philip J. KELLMAN

川村学園女子大学研究紀要抜刷 第21巻 第1号

2010年3月

Reprinted from

The Journal of Kawamura Gakuen Woman's University

Vol. 21 No. 1

遮蔽された物体の輪郭線知覚を規定する 空間的および時間的条件

鷗 沼 秀 行*・長谷川 桐**・ケルマン, フィリップJ.***

Spatial and Temporal Determinants of Contour Perception of Occluded Objects

Hideyuki UNUMA, Hisa HASEGAWA, Philip J. KELLMAN

Abstract

The authors review spatial and temporal conditions for integrating fragmental elements behind an occluding surface and for achieving perception of contour and objects. Models of middle vision to account for contour and surface perception are discussed. Specifically, critical experiments on spatiotemporal interpolation with motion and occlusion are reviewed. The authors also suggest a unified account for object perception, including contour and surface processes, and local and global processing.

Key Words: interpolation, contours, surfaces, occlusion, object perception

はじめに

われわれの日常の知覚には色や形などさまざまな属性が含まれるが、通常的环境のもとにおける知覚は、たとえば空間のなかの特定の対象についての意識のように、さまざまな属性が統合された単一または複数の対象に対して成立する。身の回りにおいて知覚されるのは、断片的

*教授 知覚・認知心理学

**青山学院大学大学院文学研究科博士後期課程

***カリフォルニア大学 (UCLA)

な色や形の寄せ集めではなく、たとえば「机の上の赤いリング」であり、「近づいてくる自動車」である。このような知覚のはたらきについて、物体知覚 (object perception) の観点から近年急速に新たな知見が集積され、また理論的にも初期視覚処理から、属性の統合、さらに物体の認知にいたる視覚情報処理の全体像についてのモデルが提案されてきた (Tarr & Vuong, 2002)。

本稿は、初期視覚 (early vision) における光学情報の初期処理から、面 (surface) と形 (shape) の成立にいたる中間視覚 (middle vision) までを取り上げ、特に遮蔽された (occluded) 物体の輪郭補間過程と表面処理の関係についての精神物理学的知見を整理し、それらの過程への入力と各段階での知覚的表現、各過程の空間的および時間的特性について検討する。さらにこれまでの研究をふまえた理論的展望を示す。

初期視覚から中間視覚にいたる情報処理過程

人間の視覚系における情報処理は、光学的な刺激の時空間的な配列に対して2つの異なる初期処理過程をもつと考えられてきた (Grossberg & Mingolla, 1985; Livingstone & Hubel, 1987; Kellman & Shipley, 1991)。輝度、色、テクスチャ、奥行き、運動などの属性は、可視表面の特性を表現する表面処理過程 (surface processing stream) へと入力される。一方、これらの属性の空間あるいは時間次元における不連続的变化 (discontinuities) は、縁 (エッジ edges) や接合 (ジャンクション junction) を形成し、さらに物体を記述する輪郭を形成する輪郭処理過程 (contour processing stream) へと入力される (Figure 1)。このような2つの過程の区別は、精神物理学的データ (Kellman & Shipley, 1991; Yin, Kellman, & Shipley, 1997, 2000)、ニューラルモデルによるシミュレーション (Grossberg & Mingolla, 1985)、さらには神経生理学的データ (Livingstone & Hubel, 1987, 1988; ただし、以下も参照のこと: Tootell, Hamilton, & Switkes, 1988; Schiller & Logothetis, 1990) によって支持されてきた。

すなわち、視覚皮質 (V1, V2) における輝度、色相、方位、両眼視差、運動などの基礎的な視覚特徴についての処理 (e.g., Hubel & Wiesel, 1968; Fischer & Poggio, 1979) は、それらの属性の処理とその不連続な変化の処理に分かれることが仮定される。これは、輝度の不連続な変化のみならず、色相、運動、テクスチャ、両眼視差などの不連続が同様にエッジとして検出され、輪郭を形成することによる (Gibson, Kaplan, Reynolds, & Wheeler, 1969; Julesz, 1971)。一方、輪郭線上でその方向が一義的に決定されない点は、ジャンクションとして定義される (Figure 2)。ジャンクションは2つ以上の輪郭が交差する点であり、これは

遮蔽された物体の輪郭線知覚を規定する空間的および時間的条件

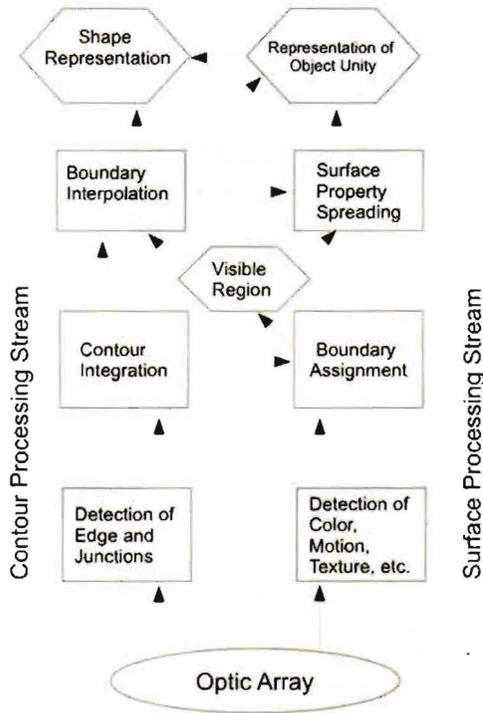


Figure 1 A framework of object perception based on Kellman, Guttman, and Shipley (2001). Rectangles indicate perceptual processing stages and hexagons indicate visual representations. Top-down processes, such as feedback from shape representation to boundary assignment, are not shown in the figure.

しばしば別個の物体の輪郭が交差している点であるが、単一物体の尖った角や透明視の場合も含む。Kellman & Shipley (1991) はこのようなジャンクションを接線不連続点 (tangent discontinuities: TDs) として一括した。

さて、輪郭処理過程においては特定の方位に選択的な局所的な処理機構 (orientation-sensitive unit) の活動が空間的な関係に依存しながら統合され、その結果、視覚的輪郭が形成される (Marr, 1982; Kellman & Shipley, 1991)。ただし、この輪郭がどの物体に属するかは、一般的に多義的である。しかしこれらの輪郭の一部は、しばしばジャンクションにもとづいて「遮蔽する縁 (occluding edges)」すなわちその背後にある物体を遮蔽する物体の輪郭として分類される (Figure 2)。この「遮蔽する縁」において、境界の割り当て (boundary assignment) の方向が決定され、輪郭は (遮蔽される物体ではなく) 遮蔽する側の物体に属す

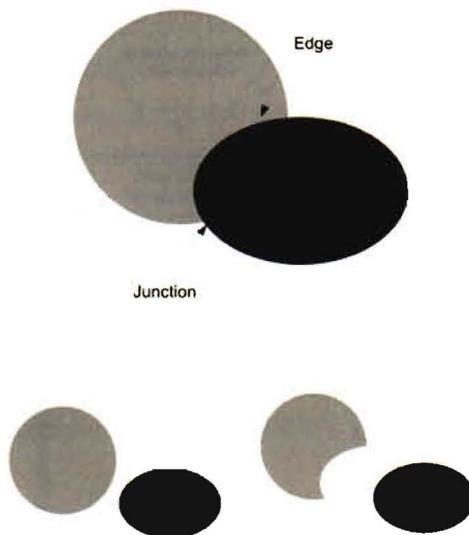


Figure 2 Edge and junctions. This display is seen as two objects: a gray circle and a black oval. The edge shown with an arrow is assigned to the oval. The junction in the figure provides information for boundary assignment.

ることになる。

表面処理過程においては明るさ、色、テクスチャ、奥行きなどの表面属性が、前述の輪郭過程が処理する「不連続」が存在しない範囲内で統合され、一様な、あるいは連続的に変化する表面特性の知覚が準備される。この可視領域（visible region）は、輪郭過程の出力と統合されて一様な表面特性と輪郭がどの領域に属するかを表現している（Figure 1）。たとえば、Figure 2において薄い灰色の領域は一様な明るさを持ち、4分の3の輪郭は円の一部を表現するが、右下の（欠けた凹部分の）輪郭がこの灰色領域には属するとは表現しない。この段階で、可視領域の表現は物体全体の表現ではない。すなわち Figure 2における灰色の「円」全体を表現するものではないことに注意したい。

Figure 2に見られるように、一般にわれわれの身の回りの生態学的環境においては、ある物体は他の物体によって部分的に遮蔽されている（occluded）ことがほとんどであるから、そのような場合に可視領域の表現のみでその物体の全体を表現することはできない。そこで、日常の物体知覚が成立するためには、可視領域を補間する過程（interpolation process）を仮定する必要がある（Grossberg & Mingolla, 1985; Kellman & Shipley, 1991）。いくつかの実験の結果が、2つの補間過程の存在を示唆してきた（Kellman & Shipley, 1991; Yin et al., 1997, 2000）。

境界補間過程 (*boundary interpolation process*; Figure 1 参照) は、一定の幾何学的制約にしたがって複数の輪郭を統合することでそれらの間を空間的あるいは時間的に補間する (Kellman & Shipley, 1991; Palmer, Kellman, & Shipley, 2006; Keane, Lu, & Kellman, 2007)。**表面補間過程** (*surface interpolation process*) は、境界補間過程と協調し、遮蔽物の背後で補間された境界の内部に表面特性を拡散させる (*surface property spreading*; Figure 1)。この結果、Figure 2 では灰色の円が黒い遮蔽物の背後に知覚される。

補間過程からの出力は物体の一体的な表現 (*representation of object unity*; Figure 1) を形成する。ただし、この表現は明確な輪郭をもたないことがある。Figure 3a では、2つの窓をもつ四角形の遮蔽物の背後に不規則な形の物体が知覚される。遮蔽物のひとつの窓からは、背後の物体の一部が見える。この知覚は、境界補間過程が許容する範囲で表面補間過程が遮蔽物で隔てられた2つの可視領域を結びつけるが、その遮蔽された輪郭は明確には表現されていないことによって生じている。これに対して、補間過程は幾何学的制約条件が満たされる条件下ではより明確な輪郭を表現し、その結果、形の表現 (*shape representation*; Figure 1) が形成される。Figure 3b では、境界補間過程が Figure 3a の場合よりも明確な輪郭を補間するために三角形が知覚される。この形の表現は、より高次の視覚処理 (*high level vision*) における物体の認知過程への入力となる。なお、Figure 1 には示されていないが、物体の親近性 (*familiarity*) や対称性 (*symmetry*) の効果のような高次過程からのフィードバックが境界の割り当てなどに影響をあたえることが知られていることを考慮すれば、形の表現や、より高次の視覚過程からのフィードバックがさらに仮定されることになる (Kellman, Guttman, & Wickens, 2001)。

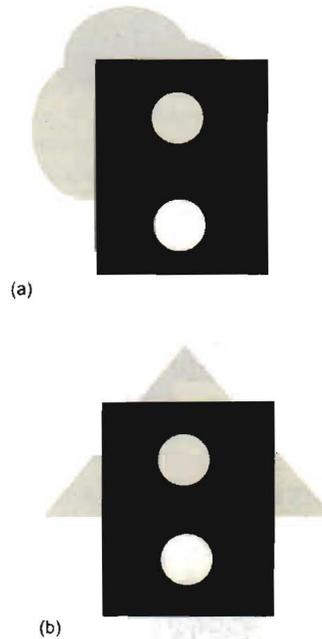


Figure 3 Unit and shape. In (a) we perceive a unitary gray surface despite an absence of complete shape. In (b) surface spreading and boundary interpolation gives a shape of gray triangle.

境界補間過程への入力と補間の空間的制約

以上のような物体知覚過程の初期から中間視覚において、境界補間過程は一般に前述のジャンクション、すなわち接線不連続点 (TD) で駆動される。ただし、すべての TD が補間過程を駆動させるわけではない。Figure 4a では物体の角にあたるジャンクションがそれ以上補間過程を駆動することはない (Yジャンクション)。これに対して Figure 4b では TD (Tジャンクション) から開始された補間によって、可視輪郭が遮蔽対象の背後まで延長されて知覚される (He & Nakayama, 1994; Kanizsa, 1979)。また、Xジャンクションは透明視を成立させる (Figure 4c)。

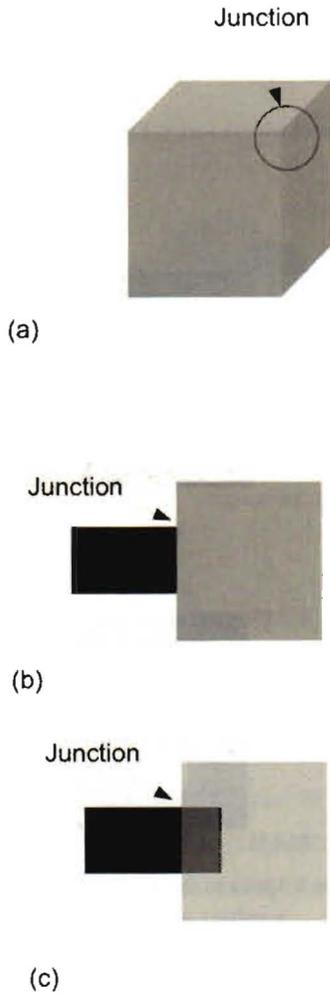


Figure 4 Types of junctions. The Y-junction (a) depicts an object corner, whereas the T-junctions (b) indicate the gray square is passing in front of the black rectangle. The X-junction (c) depicts transparency.

境界補間は、輪郭が遮蔽表面の背後に消失することで TD が成立し、さらに他の輪郭が遮蔽物の他の部分に存在すれば、これらを空間的に統合することによって成立する (Figure 5a) が、この補間過程は、これら輪郭 (あるいはエッジ) の間に一定の空間的すなわち幾何学的関係が存在する時のみ処理を進行させる (Figure 5ab)。Kellman と Shipley (1991) は、この幾何学的制約を「関係づけ可能性 (reliability)」とよんだ (鶴沼・Kellman・長谷川, 2005)。Figure 6において、E1 と E2 は空間的に隔たった2つのエッジをあらわし、Figure 5ab のそれぞれの2つの輪郭線に対応する。R と r はそれぞれの TD における法線であり、これらの法線は角度 ϕ で交わっている。関係づけ可能性の条件は、E1 の端点を始点とした曲線が終点の E2 まで 90° 以内の範囲で連続的で単調に変化するときに満たされる。それぞれの端点では、各エッジの傾きに一致するように曲線が補間される。関係づけ可能性は、以下の式で表現することができる。すなわち E1 と E2 関係づけは次の式が満たされる時に限り成立す

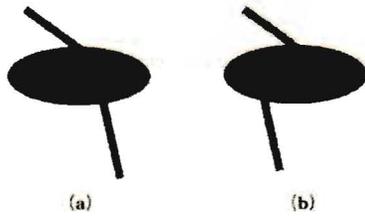


Figure 5 Visible edges and their “reliability”. In (a), the sticks or visible edges on either side of an occluding object can be seen as belonging together. In (b), two edges look separated. After Unuma, Kellman, and Hasegawa (2005).

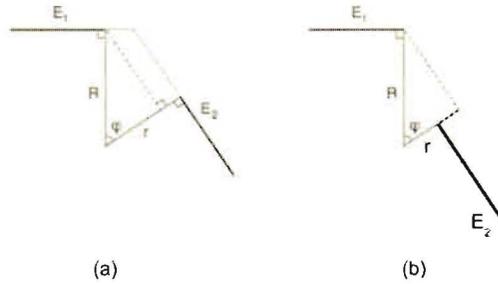


Figure 6 A construction defining “reliability” based on Kellman and Shipley (1991). Two edges (E_1 , E_2) are reliable if and only if $0 \leq R \cos \varphi < r$ where R and r are perpendiculars to the ends of the edges, assigned so that $R \leq r$. (a) Reprinted from *Cognitive Psychology*, 23, Kellman, P. J., & Shipley, T. F. A theory of visual interpolation in object perception, pp. 141–221, Copyright 1991, with permission from Elsevier Science. (b) After Unuma, Kellman, and Hasegawa (2005).

る (Kellman & Shipley, 1991)。

$$0 \leq R \cos \varphi < r$$

この式の左半分の不平等は、 E_1 と E_2 が 90° を超えない範囲で統合されることを表している。 φ が 90° を超えれば、 $\cos \varphi$ は負となる。また、右半分の不平等は R の r への射影が r の範囲を超えないことを示している。これが満たされないとき、 E_1 と E_2 を連続的で単調に結ぶことが困難となる。

ただし、関係づけ可能性の成立は悉無的には仮定されておらず、 φ が 0° から 90° まで変化するにつれて連続的に関係づけの「強さ」が減少することが示されている (Kellman & Shipley, 1992)。また、可視輪郭の曲線性 (Guttman, Sekuler, & Kellman, 2003; Takeichi, Nakazawa, Murakami, & Shimojo, 1995) も関係づけ可能性に促進的あるいは抑制的に働くことが指摘されてきた。

この関係づけ可能性という考え方は、2次元平面上における境界補間過程のモデルに止まらず、現在までに3次元空間 (Kellman, Garrigan, & Shipley, 2005)、および物体が遮蔽物の背後で運動 (移動) する動的事態の補間 (Palmer, Kellman, & Shipley, 2006) に拡張されてきた。また、同時に補間過程の時間的な特性、すなわちその生成過程と時間的制約についての検討が

進められてきた (Guttman et al., 2003)。以下では、特に時間的な制約に焦点をあてて、これまでの結果を物体知覚のモデルとの関係を含めて総合的に検討することにしよう。

境界補間過程の時間的制約

補間による輪郭の生成過程

境界補間過程が輪郭線を生成するために一定の処理時間が必要であることがこれまでの研究で明らかになっている。たとえば、境界補間による輪郭線の生成過程を物理的エッジと錯視的エッジ（いわゆる主観的輪郭）を用いて検討した Guttman & Kellman (2004) においては、物理的エッジによる補間過程では 80 ミリ秒で正確な輪郭が形成され、それ以上の長い処理時間でもその正確さは変化しなかった。これに対して錯視的エッジにより生成される輪郭は 120 ミリ秒で一定の正確さに達した。一方、この輪郭生成までの処理時間は、補間される空間的領域の大きさに依存して増大することが示されており (Guttman et al., 2003, 実験 1)、この事実は

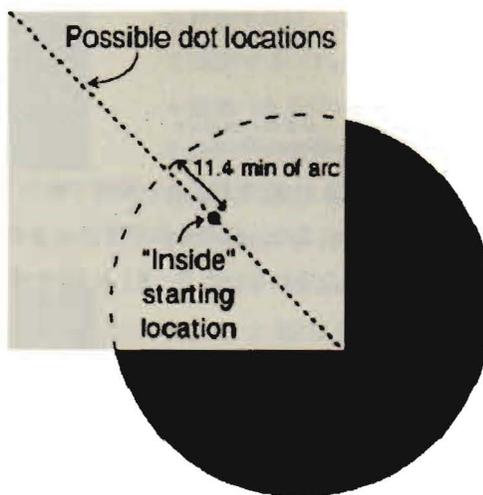


Figure 7 The dot localization task and the schematic diagram of dot placement in Guttman et al. (2003). The dotted line indicates other valid dot locations that could appear during the staircase procedure. Reprinted from *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, Guttman, S. E., Sekuler, A. B., & Kellman, P. J., Temporal variations in visual completion: A reflection of spatial limits? pp.1211–1227, Copyright 2003, with permission from American Psychological Association.

補間過程が時間の推移とともに空間的にその処理範囲を広げることを示唆している。

ここで、時間的に推移ともなう補間の空間的範囲についての実験事実から、すでに述べた関係づけ可能性モデル（“90°ルール”）の修正が必要となる点に注意が必要である。この点を実験の方法に即して詳しくみることにしよう。Figure 7は Guttman et al. (2003, 実験2および3)において用いられた刺激材料と課題を示している。観察者の課題は、知覚される輪郭の位置と刺激上の小さな点の位置関係を判断することであった。小点は遮蔽された輪郭上の理論的な位置（遮蔽された円周上）に対して垂直に変化し（変形上下法）、観察者は小点が知覚された輪郭の内側か外側かを反応するように求められた。知覚された輪郭の指標として、上弁別閾と下弁別閾の差から求められた不正確度（imprecision）、両弁別閾の平均である知覚された輪郭の位置（contour location）が検討された。実験条件として Figure 7で遮蔽されている円の面積の割合が操作された。その結果、遮蔽された部分の面積の割合が32.5%の条件（Figure 7）において、90°ルールがみだされなにもかかわらず、補間が成立した。すなわち、関係づけ可能性の空間的制約を超えて補間過程が作動し、さらに輪郭知覚の不正確度と位置という2つの指標の遮蔽面積割合の変化に伴う連続的变化から、その過程が前述の制約を超えた範囲においても同一の基礎的補間過程とみなすことができた。そこで、補間メカニズムの機能停止が90°ルールに必ずしも規定されず、エッジおよびジャンクションの空間的關係以外の刺激要因によっても変化すると考えられる。この刺激要因には、Figure 7のような対称性（Sekuler, Palmer, & Flynn, 1994）と（円、正方形といった）刺激の親近性（Kanizsa & Gerbino, 1982）が含まれる。

さらに、このように修正された「柔軟な90°ルール」では90°以内の空間的条件であっても、逆に全体的・文脈的要因が拮抗して働き、補間が抑制される可能性もある（Field, Hays, & Hess, 1993）。このように補間過程に促進的あるいは拮抗的に働きうる要因としては、対称性や親近性のほかに閉合性（Kovács & Julesz, 1993）、曲線性（Takeichi et al., 1995）、両眼の奥行き手がかり（Bruno, Bertamini, & Domini, 1997）をあげることができる。

「柔軟な90°ルール」による関係づけ可能性モデルでは、対称性、親近性といった高次の全体的過程からのフィードバックが考慮されることになったが、補間過程が時間の推移とともに空間的範囲を拡大する事実は、このルールの成立条件として検討されるべきもうひとつの刺激要因を示唆している。それは、柔軟な90°ルールが成立する時間範囲であり、さらには時間条件と空間条件あるいは刺激の全体的要因との相互作用である。

補間の時間範囲

複数の空間的に隔たったエッジが時間的に統合されることによる境界補間は、時間的に限

定された範囲で成立することがこれまでいくつかの実験結果から指摘されてきた (Shipley & Kellman, 1994; Unuma & Tozawa, 1994; Takemoto & Ejima, 1997; Unuma, Hasegawa, & Kellman, 2009a,b)。たとえば, Shipley & Kellman (1994) は, 空間的に隔たった刺激要素を時空間的に変換し (たとえば, 一定時間で白から黒へ変化させる), 観察者に形 (対称性をもつ幾何図形から不規則な図形までの 10 種) を同定させた (Figure 8)。その結果, 刺激画面の時間間隔 (SOA: stimulus-onset-asynchrony) が 165 ミリ秒以上では図形同定の成績が低く (実験 4), 要素の時空間的統合による境界補間が十分に働かないことが指摘された。Shipley & Kellman (1994) の刺激では, 刺激要素の時間空間的な不連続が前述のエッジとして補間過程に入力され統合される。これに対して, Unuma & Tozawa (1994) は空間的な錯視のエッジ, すなわち主観的輪郭図形の誘導図形 (Figure 9) を継時的に提示し, 知覚された輪郭, 明るさ, 奥行きを観察者に評定されることで時空間的なエッジの統合を検討した。その結果, すべての誘導図

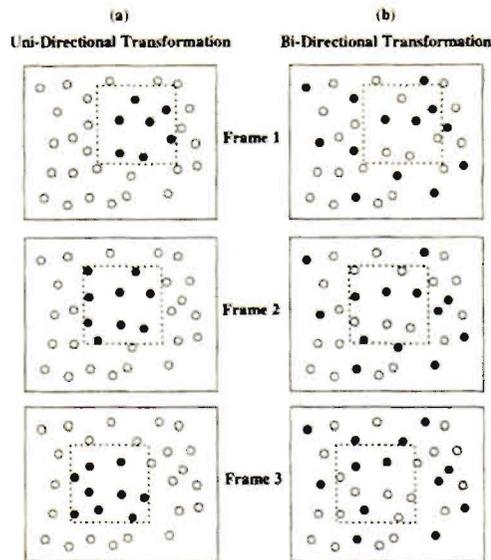


Figure 8 Types of element transformations in Shipley & Kellman (1994): (a) shows unidirectional transformation. Elements within a square region change from white to black. (b) shows bidirectional transformation. Reprinted from *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, Shipley, T. F., & Kellman, P. J. Spatiotemporal boundary formation: Boundary, form, and motion perception from transformations of surface elements, pp.3-20, Copyright 1994, with permission from American Psychological Association.

形が提示される時間範囲が260ミリ秒まで補間が成立すること、また輪郭と明るさの知覚が独立に刺激変数に規定されていることが示唆された。これは、用いられた刺激が時間的なエッジのみならず錯視的エッジを持つこと、全体として刺激が対称性と親近性を備えること、によって補間がより長い時間範囲まで可能であることを示していると考えられる。さらにこの結果は、すでに述べた境界補間過程と表面補間過程 (Figure 1) の区別の妥当性をも示唆している。

補間過程が機能する時間範囲の推定には、観察される知覚属性と、その測定に用いられる行動的指標を考慮に入れる必要がある。Takemoto & Ejima (1997) は、Unuma & Tozawa (1994) と同様に錯視的エッジを継時的に提示し (ただし、誘導図形は2つ)、観察者に知覚された輪郭図形と背景の明るさの対比を実輪郭図形と比較させた。その結果、知覚された対比は時間間隔 (SOA) とともに減少し、372ミリ秒以上ではみられなかった。この結果は、刺激条件の差異とともに、観察された属性が明るさという表面特性の場合に、補間過程、すなわち表面補間過程の時間特性が境界補間過程とは異なる可能性を示唆するものである。Ringach & Shapley (1996) は、同様の錯視的エッジによる主観的輪郭図形を用い、形の弁別成績を指標として補間の成立過程を提示時間の関数として検討した結果から、表面補間の成立までの時間が境界補間よりも長いことを指摘していた。両過程の時間的限界についても同様の差異を予想することができる。Unuma, Hasegawa, & Kellman (2009b) は、先の Guttman et al., (2003) と同様の小点定位課題 (Figure 7) を、錯視的エッジの継時提示事態に適用し、知覚された輪郭の位置と不正確度を指標として、補間過程の時間範囲を検討した。その結果、SOA 180ミリ秒を境として両指標の傾向が異なり、180ミリ秒以下では主観的輪郭線が明瞭に知覚されながらもその位置が物理的なエッジの位置から予測される位置よりも有意に図形の内側に変位していた。これに対して180ミリ秒以上では明瞭な輪郭をとまわらない補間が成立する可能性が指摘された。これは、Ringach & Shapley (1996) の指摘と矛盾しない。また、明るさなどの表面補間過程が境界補間過程よりも長い時間範囲で機能すると仮定すれば、Takemoto & Ejima (1997) の結果とも一致すると考えられる。

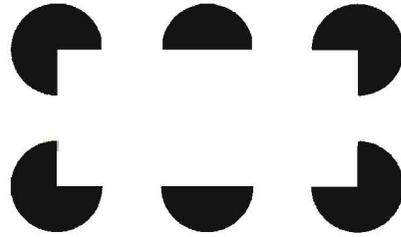


Figure 9 Illusory edges used in sequential presentation paradigm (Unuma & Tozawa, 1994). Each inducing figure or packman is presented one by one sequentially. After Unuma and Tozawa (1994).

遮蔽されたエッジの補間過程と運動

ここまで、一般にエッジやジャンクションが一定の時間範囲で（修正された）関係づけ可能性を満たせば、基礎的な境界補間過程が駆動することをみてきた。この補間過程は、より生態学的に高い妥当性を持つエッジやジャンクションである「可視表面による遮蔽」によって、さらに明瞭な補間表現を形成する。Figure 10 では、輝度が背景と異なる可視表面による遮蔽を伴わないエッジ (a) よりも、そのような遮蔽を伴う (b) で、補間によって遮蔽物の背後に「心」が明瞭に知覚される。本稿の以下では、このような可視表面による遮蔽とエッジの時空間的な変化、すなわち運動する物体と遮蔽物における補間を取り上げる。生態学的环境のもとでは、空間的および時間的エッジの検出が物体および遮蔽物の運動下で生じるからである (Gibson et al., 1969)。

Palmer et al., (2006) は遮蔽表面の背後で運動する物体のエッジが、関係づけ可能性を満たすときに統合されて、物体全体の表現を形成することを示した (Figure 11)。この事態では、時間および空間的に断片的に検出されるエッジが補間過程において一時的に保持されるとともに、運動情報をもとにその位置が更新される、と仮定された。更新された位置をもとに、関係づけ可能性がみたまれば複数のエッジが統合されて物体表現が完成すると説明された。彼らは、このような時空間的な統合を可能にするエッジ間の関係を「時空間的關係づけ可能性 (Spatiotemporal relatability)、そのメカニズムを動的視覚アイコン (Dynamic Visual Icon: DVI) と呼んだ。DVI はエッジ情報の維持 (persistence) と空間的位置の更新 (position updating) を可能にする」と仮定されている。

一方、Unuma, Hasegawa, & Kellman (2007, 2008, 2009a) は可視表面による遮蔽を取り上げながらも、物体が運動せず遮蔽物が運動する事態、すなわち DVI における位置更新が不要な事態で、エッジ情報の維持とその時間範囲を検討した (Figure 12)。Unuma et al., (2008) では、2種の錯視のエッジの組み合わせが用意された。Figure 12c では、黒と白の誘導図形が灰色の

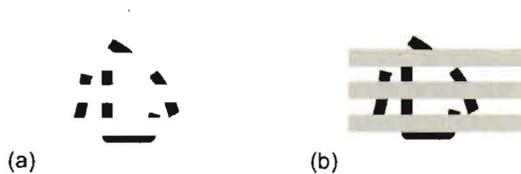


Figure 10 The array of fragments (a) does not reveal the organization, whereas the recognition of letter “心” which means “mind” in Japanese occurs with the same array and occluding surfaces (b).

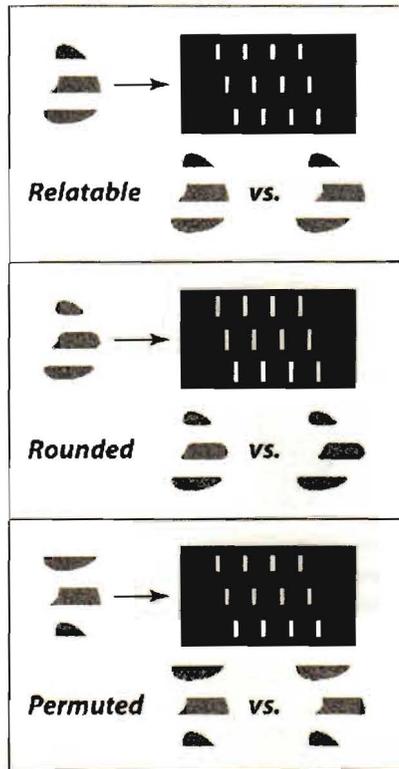


Figure 11 A schematic depiction of experiments in Palmer et al., (2006). Observers watched a shape move behind an occluder and tried to choose which of two configurations they had seen. Reprinted from *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, Palmer, E. M., Kellman, P. J., Shipley, T. F. A theory of dynamic occluded and illusory object perception, pp.513–541, Copyright 2006, with permission from American Psychological Association.

背景上に配置され、12dでは黒のみの誘導図形が配置されている。黒と白の組み合わせでは、明るさの対比の方向が逆になるため、一様な明るさの錯視的四角形を中央部分に知覚することが黒のみの誘導図形の場合よりも困難となるが、輪郭自体は知覚されると仮定された。観察者はこれらの錯視のエッジの上に遮蔽物が回転しながら提示される事態（Figure 12a）で、2種の形（Figure 12b）の弁別をおこなった。遮蔽可視表面の回転の速度（周波数：Hz）の関数としての弁別正答率から精神測定関数が求められ（恒常法）、これをもとに弁別閾がFigure 12cdの2条件間で比較された。その結果、輪郭と表面の両方を統合する条件（d）の弁別閾は輪郭のみ知覚条件（c）よりも周波数において高く、境界と表面の両方の統合が輪郭のみの統合よ

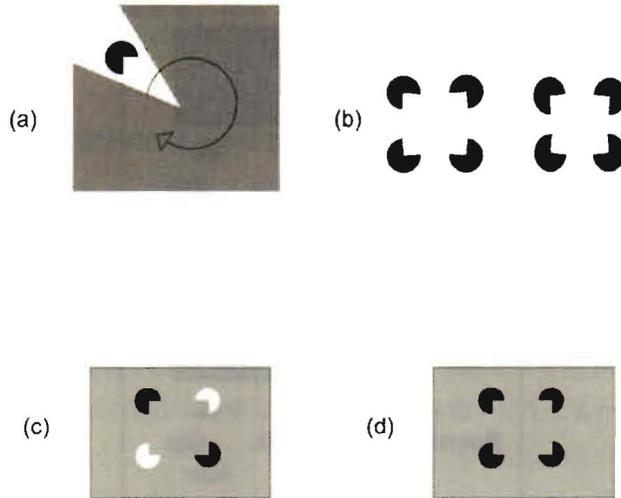


Figure 12 A schematic depiction of shape discrimination task behind rotating occluder (a). Observers were required to discriminate fat and thin shapes (b) under two conditions (c, d). After Unuma et al., (2008).

りも短い時間範囲に限定されることが示唆された。

これらの知見は、物体知覚の過程が境界補間過程と表面補間過程からなる補間に支えられ、この2つの過程がそれぞれ異なる空間的および時間的特性をもつことを示している。

残された問題と今後の展望

本稿は、2次元の平面事態から運動する物体および遮蔽物を観察する事態まで、境界補間過程と表面補間過程が視覚的エッジを統合して物体の輪郭表現を形成する中間視覚について、関係づけ可能性モデルを中心に整理してきた。このモデルは、対称性や親近性などの刺激の全体的あるいは高次の表現からのフィードバックを考慮しているが、一方で時間要因という物理的要因に規定されることが指摘された。これまで明らかになったこれらの要因の影響は、人間をとりまく生態学的環境において視覚的エッジが一定の規則性のもとで視覚系によって処理されていること示している。生態学的妥当性の高い環境下における物体知覚、特に面と形の表現に至る中間視覚の解明には、物体や遮蔽物の運動事態における境界補間過程と表面補間過程についての検討がさらに必要であろう。特に、これまで取り上げられてきた物体および遮蔽物

の運動は、空間内の視覚系をとりまく運動のうち、水平運動 (Palmer et al., 2005; Keane et al., 2007) や回転運動 (Unuma et al., 2007, 2008, 2009b) が中心であったが、今後、視野における拡大・縮小などの生体行動や物理的環境における変化の規則性と関係の深い運動事態において物体知覚の過程が検討されることが望まれる。

謝辞

本研究は第一筆者に対する平成 21 年度川村学園女子大学教育研究奨励「運動する物体の知覚に関する総合的研究と教育的応用」(研究代表者 鶴沼秀行) による補助を受けた。

引用文献

- Bruno, N., Bertamini, M., & Domini, F. (1997). Amodal completion of partly occluded surfaces: Is there a mosaic stage? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, pp.1412-1426.
- Field, D., Hayes, A., & Hess, R. F. (1993). Contour integration by the human visual system: Evidence for a local "association field". *Vision Research*, 33, pp.173-193.
- Fischer, B., & Poggio, G. F. (1979). Depth sensitivity of binocular cortical neurons of behaving monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London*, B, 1157, pp.409-414.
- Gibson, J. J., Kaplan, G. A., Reynolds, H. N., & Wheeler, K. (1969). The change from visible to invisible: A study of optical transitions. *Perception & Psychophysics*, 5, pp.113-116.
- Grossberg, S., & Mingolla, E. (1985). Neural dynamics of form perception: boundary completion, illusory figures, and neon color spreading. *Psychological Review*, 92, pp.173-211.
- Guttman, S. E., & Kellman, P. J. (2004). Contour interpolation revealed by a dot localization paradigm. *Vision Research*, 44, pp.1799-1815.
- Guttman, S. E., Sekuler, A. B., & Kellman, P. J. (2003). Temporal variations in visual completion: A reflection of spatial limits? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, pp.1211-1227.
- He, Z. J., & Nakayama, K. (1994). Perceived surface shape not features determines correspondence strength in apparent motion. *Vision Research*, 34, pp.2125-2135.
- Hubel, D. H., & Wiesel, T. N. (1968). Receptive fields and functional architecture of monkey striate cortex. *Journal of Physiology*, 195, pp.215-243.
- Julesz, B. (1971). *Foundations of cyclopean perception*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kanizsa, G. (1979). *Organization in vision*. New York: Praeger. (カニッツァ 野口 薫 監訳 (1985). 視覚の文法: ゲシュタルト知覚論 サイエンス社)
- Kanizsa, G., & Gerbino, W. (1982). Amodal completion: Seeing or thinking? In J. Beck (Ed.), *Organization and representation in perception*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, pp.167-190.
- Keane, B. P., Lu, H., & Kellman, P. J. (2007). Classification images reveals spatiotemporal contour interpolation. *Vision Research*, 47, pp.3460-3475.
- Kellman, P. J., Garrigan, P. B., & Shipley, T. F. (2005). Object interpolation in three dimensions. *Psychological*

- Review*, 112, pp.586-609.
- Kellman, P. J., Guttman, S. E., & Wickens, T. D. (2001). Geometric and neural models of object perception. In T. F. Shipley & P. J. Kellman (Eds.), *From fragments to objects: Segmentation and grouping in vision*. New York: Elsevier, pp.183-245.
- Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1991). A theory of visual interpolation in object perception. *Cognitive Psychology*, 23, pp.141-221.
- Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1992). Visual interpolation in object perception. *Current Directions in Psychological Science*, 1, pp.193-199.
- Kovács, I., & Julesz, B. (1993). A closed curve is much more than an incomplete one: Effect of closure in figure-ground segmentation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, pp.7495-7497.
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement, and depth. *Journal of Neuroscience*, 7, pp.3416-3468.
- Livingstone, M. S., & Hubel, D. H. (1988). Segregation of form, color, movement, and depth: anatomy, physiology, and perception. *Science*, 240(4853), pp.740-749.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: W. H. Freeman and Company. (マー. D. 乾敏郎・安藤広志 訳 (1987). *ビジョン—視覚の計算理論と脳内表現—* 産業図書)
- Palmer, E. M., Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (2006). A theory of dynamic occluded and illusory object perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135, pp.513-541.
- Ringach, D. L., & Shapley, R. (1996). Spatial and temporal properties of illusory contours and amodal boundary completion. *Vision Research*, 36, pp.3037-3050.
- Schiller, P. H., & Logothetis, N. K. (1990). The color-opponent and broad-band channels of the primate. *Trends in Neurosciences*, 13, pp.392-398.
- Sekuler, A. B., Palmer, S. E., & Flynn, C. (1994). Local and global processes in visual completion. *Psychological Science*, 5, pp.260-267.
- Shipley, T. F., & Kellman, P. J. (1994). Spatiotemporal boundary formation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, pp.3-20.
- Takeichi, H., Nakazawa, H., Murakami, I., & Shimojo, S. (1995). The theory of the curvature-constraint line for amodal completion. *Perception*, 24, pp.373-389.
- Takemoto, A., & Ejima, Y. (1997). Retention of local information in generation of subjective contours. *Vision Research*, 37, pp.1429-1439.
- Tarr, M. J., & Vuong, Q. C. 2002. Visual Object Recognition. In H. Pashler (Series Ed.) and S. Yantis (Ed.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology: Vol. 1. Sensation and Perception* (3rd ed., Vol. 1, pp.287-314). New York: John Wiley & Sons. pp. 287-314.
- Tootell, R. B., & Hamilton, S. L., & Switkes, E. (1988). Functional anatomy of macaque striate cortex. IV. Contrast and magno-parvo streams. *Journal of Neuroscience*, 8, pp.1594-1609.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. (2007). Spatiotemporal interpolation behind moving occluder [Abstract]. *Journal of Vision*, 7(9): 610, 610a, <http://journalofvision.org/7/9/610/>, doi:10.1167/7.9.610.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2008). Contour and surface integration behind moving occluder [Abstract]. *Journal of Vision*, 8(6): 588, 588a, <http://journalofvision.org/8/6/588/>, doi:10.1167/8.6.588.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P. J. (2009a). Strength of contour interpolation behind a

- moving occluder revealed by a dot localization task [Abstract]. *Journal of Vision*, 9(8), 907a, <http://journalofvision.org/9/8/907/>, doi:10.1167/9.8.907.
- Unuma, H., Hasegawa, H., & Kellman, P.J. (2009b). *Spatiotemporal Integration and Contour Interpolation Revealed by a Dot Localization Task with Serial Presentation Paradigm*. Manuscript submitted for publication.
- 鶴沼秀行・Kellman, P. J.・長谷川桐 (2005). 「視覚的補間の幾何学的・神経生理学的モデル」. 『川村学園女子大学研究紀要』. 16, pp.45-62.
- (Unuma, H., Kellman, P.J., & Hasegawa, H. (2005). Consideration of Geometric and Neurophysiological Models of Visual Interpolation. *The Journal of Kawamura Gakuen Woman's University*, 16, pp.45-62.)
- Unuma, H., & Tozawa, J. (1994). Perception of illusory contour and spatio-temporal integration in the visual system, *Japanese Psychological Research*, 36, pp.188-194.
- Yin, C., Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (1997). Surface completion complements boundary interpolation in the visual integration of partly occluded objects. *Perception*, 26, pp.1459-1479.
- Yin, C., Kellman, P. J., & Shipley, T. F. (2000). Surface integration influences depth discrimination. *Vision Research*, 40, pp.1969-1978.