輪郭線形状の両眼立体視形成への影響*

塩 入 諭[†], 正社員 佐 藤 隆 夫^{††}

Influence of Depth from Contour Shape on Binocular Stereopsis

Satoshi Shioiri[†] and Takao Sato^{††}

Abstract We investigated cue interactions between binocular stereopsis and contour shapes for depth perception. We used random-dot stereograms of corrugated surfaces, where the upper and lower sides were shaped like sinusoidal waves to provide pictorial depth cues. The depth information of contour shapes was either coherent or conflictive to that of binocular disparity. Observation of the conflict stimulus showed that two different depths are never seen simultaneously. When the observing duration was longer than several tenths of a second, a stable surface provided by binocular stereopsis was observed. However, measuring the time required for perceiving stereoscopic depth revealed the influence of the contour shape on time. Coherent depth from the contour shape speeded up the processing of stereoscopic depth in comparison with the conflictive depth cue (experiment 1). Since the effect of pictorial cues on the stereoscopic depth was found even when the contour was defined only by texture differences (experiment 2), it seems that depth based on contour shape is not restricted to the luminance pathway.

1. ま え が き

視覚の最も重要な処理のひとつとして、網膜に投影された2次元画像から3次元空間を再構築することが挙げられる。そのために、いくつかの異なる手掛かりを使っていると考えられるが、そのひとつは両網膜像のわずかな差異、すなわち両眼視差を用いる両眼立体視である。両眼立体視は、画像の特徴、形の認識などの高次の視覚処理に先行する処理であることが知られている。一方、写真やテレビを楽しむことは、有効

な両眼視差のない観察条件(両眼視差としては平面と知覚されるべき提示条件)においても自然な3次元知覚がなされることを意味する。対象が平面であっても、輪郭線の形状、陰影、テクスチャ勾配、図形の重なりなどの手掛かりが3次元の知覚をもたらしているわけである。これら手掛かりは、網膜上の画像情報に依存するため、画像性の奥行き手掛かりと呼ばれる。

このように奥行き手掛かりは複数存在するが、我々は通常1つの3次元世界を知覚している。つまり、異なる奥行き手掛かりは視覚処理過程のどこかで統合されていると考えられる。このような統合過程を考える

* この研究は ATR 視聴覚機構研究所で行った実験に基づいている。

キーワード：立体視、両眼視差、画像性奥行き手掛り

1990年12月11日、第21回画像工学コンファレンスで発表

1992年9月30日受付

† 千葉大学 工学部画像工学科 (〒263 千葉市稲毛区弥生町1-33, TEL 043-251-1111)

†† NTT 基礎研究所 情報科学研究部 (〒180 武蔵野市緑町3-9-11, TEL 0422-59-2806)

† Department of Image Science, Faculty of Engineering, Chiba University (1-33, Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263, Japan)

†† Information Research Laboratory, NTT Basic Research Institute (3-9-11, Midori-cho, Musashino-shi, Tokyo 180, Japan)

ことは視覚処理の機構を考えるうえで非常に重要な意味を持つ。視覚処理の初期においては、輝度、色、両眼視差、動きなどの異なる画像属性が、それぞれ独立経路により処理されているといわれ^{1)~5)}、両眼視差の奥行き情報と画像性の奥行き情報も独立な経路で処理されていると考えられる。両眼視差の奥行き情報と画像性の奥行き情報の統合過程の研究は、異なる経路を伝達された視覚情報の統合問題一般を考えるうえでも有益であろう。

この問題はまた、効率的な3次元表示装置などの設計のうえでも重要であると考えられる。3次元表示装置などにおいては両眼視差の奥行きと画像性奥行きが必ずしも一致せず、通常とは異なる視覚処理が要求されることがある。このような場合の奥行きの知覚を知ること、その設計に対する基礎的な知見を与えるであろう。

両眼視差と画像性の奥行き手掛かりの間に競合がある場合の奥行き知覚についての過去の研究によると、ある刺激条件では、両眼視差の持つ奥行きが優位となるが^{6)~8)}、別の刺激条件では、単眼の奥行きが優位となるなど、定見は得られていない^{9)~11)}。その理由として、系統的な実験が少なく詳細が不明であること、異なる奥行き手掛かりの間の相互作用を検討する手法が確立されていないこと等が挙げられる。

本研究では、これまで明確な議論がなされていない両眼視差の奥行きと画像性の奥行きとの相互作用の生じているレベルの検討を目的とする。そのために、画像性の奥行き手掛かりと両眼視差が混在する刺激において、刺激の呈示から両眼立体視が成立するまでの時間(両眼立体視形成時間)への画像性の奥行き手掛かりの影響を測定した。もし、画像性の奥行き情報が両眼立体視の形成時間に影響を与えないとすれば、両眼視差の奥行きと画像性の奥行きの間の相互作用(それが存在するとして)は、それぞれの奥行きが決められた後に生じると予測される。逆に、画像性の奥行きが整合的であるときに両眼立体視の形成時間が短くなるとすれば、両者の相互作用は、両眼立体視の形成過程に存在することになる。なお、画像性の奥行き情報として、最も重要な手掛かりのひとつと考えられる輪郭線の形状を取り上げた。

実験1では、両眼視差の持つ奥行き情報と輪郭線形状の持つ奥行きが一致する条件(整合刺激)と不一致である条件(不整合刺激)での両眼立体視の形成時間を比較した。その結果、整合条件において形成時間が短いことを示し、両眼立体視の形成過程に画像性の奥行き手掛かりが影響を与えていることが示唆された。

実験2では、テクスチャの差のみで形成された輪郭線を用い、整合刺激では不整合刺激に比べ両眼立体視の形成時間が短いという、実験1と同様の結果が得られた。この結果は、実験1で得られた輪郭線の効果が輝度差でできた輪郭に特有なものではなく、輝度以外の要因でできた輪郭でも同様の効果が存在するものであることを示している。

なお、実験に先立ち、整合条件と不整合条件での奥行き知覚の差異についての観察も行った。

2. 刺 激

刺激は、両眼視差の奥行き情報を他の手掛かりに依存しないで取り出すために、ランダムドットステレオグラムを用いた。そのランダムドットパターンは輪郭線形状を変化することで、両眼視差に基づく奥行きと輪郭線形状に基づく奥行きを混在させた。

刺激画像は、コンピュータに制御されたCRTディスプレイ上に形成された。そのステレオグラムの各ドットは、3次元空間で奥行き方向にサイン波状に変化する面(以後、サイン面)が知覚されるべく視差を持たされている。この段階でランダムドットパターンは長方形であるが、輪郭線形状による奥行きを持たせるために、パターンの上下がサイン波状に切り取られる(輪郭線サイン波)。輪郭線サイン波は、サイン面のCRT画面への正射影がサイン波になるようになされるため、左右画像の輪郭線は同一ではない。つまり輪郭線自体もランダムドットと同様に、サイン面を示す視差を持つことになる。この輪郭線の視差は輪郭線形状の奥行きとは独立であり、常にランダムドットパターンの奥行きと一致しており、両眼視差の奥行き情報の間での矛盾はない。

ランダムドットパターンは、サイン面が60 cm離れた距離から観察されたときの左右の網膜像を考慮し、それと同じ網膜像を与えるようにCRT上に作り出され、併置される。被験者は4枚の鏡を用いたステレオスコープによりこれを観察する。なお、垂直方向には視差は変化しない。

サイン面の奥行き方向のサイン波状変位は2周期であり、その振幅は1 cmとした。ステレオグラムの大きさは、視角にして横12.3°×縦6.5°(380ドット×200ドット)であり、サイン面の山の位置(手前に凸の部分)と谷の位置(凹の部分)との視差は、0.2°であった。ドットの大きさは2'×2'である。輪郭線サイン波も2周期であり、その振幅は7 mm(0.7°)である。この輪郭線は、長方形のサイン面を下方45°から眺めた時の網膜像に対応する。

(a)

(b)

写真1 使用されたランダムドットステレオグラムの例

両眼視差と輪郭線の奥行き手掛かりが整合的な例(a)と不整合的な例(b)

Examples of random-dot stereograms used. Depth cues from binocular disparity and contours are (a) coherent or (b) conflictive.

左右画像それぞれの中心には、固視点として直径 0.3° の円が、またランダムドットパターンの外側には、黒の領域を挟んで灰色の枠(外枠が $13.6^\circ \times 7.8^\circ$ 、幅は 0.3° で、輝度は 14.7 cd/m^2)が与えられている。白と黒のドットはそれぞれ50%の確率で発生され、 67.2 cd/m^2 と 0.01 cd/m^2 の輝度を持つ。

サイン面に対する輪郭線サイン波の位相を変えることは、輪郭線形状に基づく奥行きの水平位置の移動に対応する。この位相は、ドットの位置を固定したまま制御できるので、両眼視差の持つ奥行きと陰影の与える奥行き情報を独立に変化することが可能である。

刺激の例を写真1に示す。写真1(a)は、整合刺激の例であり、両眼視差により形成されたサイン面の手前に凸の部分が輪郭線の上に凸の部分と一致している。サイン面は、固視点を原点、手前方向を正とするとき、その奥行き変化は位相 0° のサイン波状である。ここで輪郭線サインの位相のみを変化させると上に凸の部分がサイン面の手前に凸の部分とずれることになる。写真1(b)は不整合刺激の例であり、写真1(a)と同じ視差を持つランダムドットステレオグラムに対し、輪郭線サイン波の位相を $3/4$ 周期(位相 270°)移動したものである(ここでは、輪郭線サイン波が右に移動する方向を正の位相としている)。

3. 観 察

写真1に例示した刺激を、後述の実験に参加した5名の被験者が観察し、以下の結果を得た。これらの結果は、その後、ATR視聴覚機構研究所の構成員および訪問者など多数によって確認されているが、写真1を両眼融合することでも確認できるであろう。

- (1) 奥行き手掛かりの整合、不整合にかかわらず、数秒から数十秒の観察により、両眼視差の持つ奥行きが安定して得られた(ただし、垂直方向の奥行きについては(3)を見よ)。
- (2) 不整合刺激に対し、両眼視差と輪郭線による異なる2つの奥行きが知覚されることはなかった。
- (3) 輪郭線サイン波の位相が 0° (輪郭線が上に凸の部分で両眼視差の奥行きが手前に凸となる)の場合は、奥行き方向に波打っている長方形の面を、下方から観察している面として(つまり、刺激の上部に行くほど遠方に見え、上向きの面として)知覚され、サイン波状の輪郭線は奥行き変化の結果として認識された。また、位相が 180° の場合は、同じ面を上から見下ろして観察するように(つまり、刺激の下部に行くほど遠方に見え、下向きの面として)知覚された。これは位相が 180° の場合も整合刺激と考える。

べきであることを意味する。

- (4) 不整合刺激に対しては、長方形の面が波打っているとは知覚されず、サイン波状のエッジを持つ図形であると知覚された(特に、位相が 90° 、 270° で顕著)。両眼視差による奥行き変化は正しく観察されるため、サイン波状のエッジを持つ帯状の面が奥行き方向に波打っているとの形状認識がなされた。
- (5) 不整合刺激においては、両眼立体視が形成されるまでの時間が、整合刺激におけるより長いとの内観が得られた。

これらの結果から以下のことが推察される。(1)は、ここで用いた刺激では、両眼視差が輪郭線の形状に比べ奥行きへの寄与が強い傾向があることを示す。これはランダムドット刺激に対する両眼立体視の奥行きの反転が、ほとんど不可能との報告と一致する⁹⁾。しかし、異なる手掛かりの間の奥行きへの寄与の強さを比較する場合、刺激条件の設定が大きく結果を左右するので、ここでの結果を安易に一般化することはできない。

(2)、(3)および(4)は、両眼視差の持つ奥行き情報と輪郭線の持つ奥行き情報が、整合的な視覚像を得るために相互に干渉しあっていることを意味する。特に(3)は視差が変化しない垂直方向に奥行き変化が知覚されていることから、輪郭線に依存した奥行きが両眼立体視よりも優位となることを示し、水平方向の変化が(最終的には)両眼視差によって決定されるのとの逆の結果となっている。

また、(5)からは画像性の奥行きが、両眼立体視の形成に影響することを示唆している。この点については、以下の実験で定量的に検討した。

4. 実験1 輪郭線形状と両眼立体視形成時間

上述の観察結果(5)から、両眼立体視の形成に要する時間は、輪郭線の形状の持つ奥行きと両眼視差の奥行きの間の整合性に影響されることが予想される。実験1では、輪郭線サイン波の位相を変え、両眼視差と輪郭線形状による奥行きの整合性を変化させ、各位相条件で両眼立体視形成に要する時間を測定した。

4.1 刺激および方法

刺激は、上述の輪郭線がサイン波状に変化するランダムドットステレオグラムである。両眼視差については、写真1に示すような奥行き方向にサイン波状に波打つ面(サイン面)と、すべてのドット対の視差がゼロである平面の2種類を用いた。各試行においていずれかの面が提示され、被験者はそれがサイン面であるか

平面であるかを判断した。判断は、コンピュータのマウスに付属する2つのボタンを押し分けることでなされ、刺激の提示開始から被験者がいずれかのボタンを押すまでの時間が応答時間として測定された。この判断は両眼視差による奥行きのみに依存するため、測定された応答時間は両眼立体視の形成時間を反映していることになる。

サイン面に対しては、立体視が形成される前にドットの二重像による不对応点が知覚されることもあるため、被験者には面の形状の知覚に基づく判断を求めた。このドットの不对応にかかわらず、形状の知覚に基づき応答することは容易であった。なお、判断が誤りであった場合は、コンピュータのビープ音によって被験者に警告され、その応答時間はデータから除かれた。

輪郭線サイン波の位相は、 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° の8条件であり、それに輪郭線が直線である条件を加えた9条件が設定された。これらの各条件に対しサイン面と平面の刺激があり、1セッションではこの18種類の刺激がそれぞれ4回ずつランダムに提示され、各被験者は4セッションの実験を行った。

被験者は、男性4名、女性1名であり、いずれも視

図1 輪郭線サイン波の位相にともなう5人の被験者の両眼立体視形成の応答時間の平均値(白丸はサイン面、黒丸は平面のデータを示す。横軸左端のNは輪郭線直線条件を示す)

Average response time for the perception of stereoscopic depth over all of the five observers as a function of phase of the sinusoidal wave of the contour. Open circles represent data for the sinusoidal wave surface, and filled circles represent data for the plane surface. The symbol N at the left end of the horizontal axis represents the condition in which the shape of sides was straight line.

力正常か眼鏡により正常に矯正されていた。被験者のうち2名は、著者らである。

4.2 実験結果

図1に、被験者5名の応答時間の平均値を示す。各データ点は各被験者の16判断の平均値についての平均であり、誤差棒は、被験者間の標準誤差を示す。白丸はサイン面に対する応答時間、黒丸は平面に対する応答時間である。横軸左端のNは、輪郭線直線条件を意味する。ここには、誤答時の応答時間は含まれていないが、誤答率は、平均で、サイン面に対し2.2%、平面に対して1.5%であった。

サイン面に対する応答時間は輪郭線の形状に影響されることがわかる。輪郭線サイン波の位相が0°と180°の近傍で応答時間が顕著に短くなっている。観察結果の(3)で述べたように180°の条件も整合刺激と考えられるので、刺激の整合性の両眼立体視形成時間への影響が明らかにされたことになる。応答時間は、最も短い位相0°と最も長い条件(位相135°)では1.5秒程度の差がある。

輪郭線直線条件(N)では、不整合刺激条件よりもやや長い応答時間となっている。この結果について、2つの要因が考えられる。ひとつは、輪郭線直線条件ではランダムドットパターンは長方形となり、画像性の奥行き手掛かりとしては平面となる点である。平面を示す奥行き手掛かりはサイン面の知覚に要する時間を長くするであろう。もうひとつは、輪郭線がサイン波状である場合は、輪郭線の視差情報のために輪郭線直線条件より両眼立体視に対しては有利になる点である(この輪郭の持つ視差の影響は、すべての位相に同一と考えられるため、位相条件の間の差には関与しない)。このいずれかあるいは両者の影響により、輪郭線直線条件で不整合刺激条件よりも長い応答時間となっていることを説明できる。

一方、平面刺激に対する応答時間は、位相によらずほぼ一定であり、輪郭線直線条件とも一致している。両眼視差が平面を示すとき、輪郭線形状は両眼立体視の形成時間にほとんど影響しないことになる。この理由は明らかではないが、平面ランダムドットステレオグラムを知覚が容易であるため、両眼立体視形成時間が非常に短く、輪郭線形状の影響が検出できなかったと考えられる。

4.3 考察

応答時間の測定から、輪郭線の形状は両眼立体視の形成時間に影響を及ぼすことが確認された。整合刺激(輪郭線に基づく3次元形状が両眼視差の示すものと一致する刺激)に対しては応答時間が短く、不整合性

が大きな条件ほど応答時間が長くなった。これは、両眼立体視は両眼視差のみに依存して形成されるのではなく、他の奥行き情報もその形成に関与していることを意味する。この結果は、輪郭線による奥行き情報は両眼視差から奥行きを検出するより早く処理され、両眼立体視の形成過程に影響を与えると考えることで説明ができる。両眼立体視の形成過程に、先だって処理される画像性の奥行き手掛かりが利用されていることが予想される。

サイン面の条件で、輪郭線サイン波の位相が0°と180°の条件を比較すると、0°条件の方が0.5秒程度短い応答時間を示している。両者とも整合条件であるが、いずれの刺激も、単眼で観察した場合には、上向きの面として知覚される傾向があり、0°の条件の方が整合性が強いといえる。これが位相0°での応答時間の短さの要因と考えられる。興味深いことに、ある被験者は、位相180°の条件では、両眼立体視が形成された瞬間に、それまで上向きに見えていた面が突然反転し下向きに変わると報告している。位相0°と180°の条件での結果の差との関連が推測される。

奥行き手掛かりの間の相互作用についての過去の研究は、知覚される奥行き量などを評価するものがほとんどであり、その結果は刺激条件に依存し、一意的な解釈は難しい。ここでは、そのような方法とは異なった見地に立ち、奥行き手掛かりの間の相互作用のレベルについて検討した。その結果、画像性の奥行き情報が両眼立体視の形成過程に影響することがみだされ、奥行き手掛かり間の相互作用のあり方についての新しい知見を得ることができた。

5. 実験2 輪郭線の輝度コントラストの影響

実験1で用いた刺激は背景が黒であり、輪郭線は図形部分との間の輝度差によって形成されていた。しかし輪郭線は、色差、テクスチャ差、速度の差など、他の視覚属性によっても形成することができる。近年、主観的輪郭、陰影、両眼立体視など多くの視機能が、輝度差がない刺激において大きく劣化することが明らかにされ、輝度を伝達する経路と他の経路の差異が指摘されている。このような見地から、ある視機能が輝度差に依存するか否かの検討は、その処理の経路やレベルを考えるうえで重要となる。実験2では、実験1で得られた輪郭線の形状の両眼立体視への影響が、輝度差の輪郭線に固有のものであるか、あるいは他の属性により形成された輪郭線においても同じ効果が得られるかを検討する。ここでは、背景の輝度差をランダムドットパターンの平均輝度と等しくし(33.6

図2 サイン面に対する背景輝度による応答時間の違い(等輝度背景条件と明背景条件は実験2の結果であるが、暗背景条件は実験1の結果である)

The same as Fig.1 but for the sinusoidal wave surface of three different background levels. The data for the isoluminant background (the texture contour condition) and the light background are the results of Exp. 2, while that for the dark background is from Exp. 1.

cd/m²), 輪郭線サイン波が, テクスチャの差で形成された条件(背景とランダムドットパターンの差は, ドットパターンの有無となる条件)に対する結果を実験1の結果と比較する.

5.1 刺激および方法

実験1と同一の刺激を用い, 背景輝度(ここで背景とは, 刺激を囲む灰色の枠内のみを指す)のみを33.6 cd/m²(等輝度背景)および67.2 cd/m²(明背景)とした. 前者で背景はランダムパターンの平均輝度と等しいため, テクスチャ輪郭の条件であり, 後者は背景が明ドットと等しく, 実験1と逆の輝度コントラストを与える条件であり, 参考のために行った. 手順は実験1と同一であり, 提示された面がサイン面であるか平面であるかの判断に要する時間が測定された. 実験1と同様に, 8位相条件と, 輪郭線直線条件が用いられた. 被験者は実験1に参加した5名であり, 2種類の背景輝度に対し4セッションずつ実験を行った.

5.2 実験結果と考察

図2に, 5名の被験者の応答時間の平均値を示す. 図1と同様に, 横軸左端のNは, 輪郭線直線条件を示す. サイン面に対する応答時間のみ3条件の背景輝度についてプロットしてある(暗背景, 0.01 cd/m²のデータは実験1の結果である). 誤答率は, 等輝度背景条件でサイン面に対し1.9%, 平面に対して1.0%,

明背景条件でサイン面に対し1.8%, 平面に対して0.4%であった.

図2に示されるように, 3種類の背景輝度すべてにおいてほぼ同様の結果が得られた. いずれの場合も位相が0°および180°付近で応答時間が短く, 90°, 270°付近で長くなっている. テクスチャのみで形成された輪郭線が, 両眼立体視の形成に影響を与えたことになる. ただし, その効果の大きさは背景の輝度に依存している. 位相条件間で最小と最大の応答時間の差をみると, 暗背景, 等輝度背景, 明背景各条件に対して, それぞれ1.56, 0.66, 0.99秒となっている.

等輝度条件で輪郭線の影響が最も小さいとの結果は, 等輝度条件においてCRTディスプレイ上で完全な等輝度が成立していなかったためとの疑念を生じさせる(事実, ここで等輝度としているものは, 計算上で予想される明ドットと暗ドットの平均値を背景に用いたものであり, CRTディスプレイ上で完全な等輝度であるとは限らない). しかし, 暗背景条件で30 cd/m²以上ある輝度差が, 等輝度条件では非常にゼロに近くなっていることは事実である. それにもかかわらず, 応答時間への影響は40%程度に低下するのみであることを考えると, 等輝度背景条件において, 制御外要因による小さな輝度差が両眼立体視の応答時間に影響しているとは考えにくい. むしろ, 等輝度テクスチャの輪郭線自体が輝度輪郭線より弱いための結果と考える方が妥当であろう.

テクスチャ輪郭線の効果については, 仮現運動や幾何学的錯視に対しても知られているが, 輝度輪郭に比べ効果が小さいと報告されており, ここで得られた結果と一致する. これらは, 輪郭形状による奥行きに対し, 仮現運動や幾何学的錯視に対するのと同様に, テクスチャ輪郭と輝度輪郭がその処理機構を共有するような高次の処理に依存することを示唆する.

6. む す び

本研究においては, 輪郭線形状に基づく奥行き情報と両眼視差の持つ奥行き情報が整合的である刺激と不整合的である刺激を用い, 3次元形状の知覚過程における輪郭線形状の奥行きの両眼視差の奥行き手掛かりへの影響を検討した. 両眼立体視の形成時間が, 輪郭線形状の奥行きと両眼視差の持つ奥行きの整合性に依存し, 整合刺激では, 不整合刺激より短時間で両眼立体視が形成されることが明らかとなった. さらにこの結果は, 輝度輪郭のみではなくテクスチャ輪郭でも得られたため, 形状知覚一般の特性と考えられる.

このような輪郭線形状の両眼立体視への影響は, 輪

郭線により奥行き情報が、両眼視差からの奥行きの検出より早く処理され、両眼立体視の形成過程に影響を与えると考えることで説明できる。また著者らは、陰影による奥行き情報も両眼立体視形成時間に同様の影響を与えることを確認しており¹⁵⁾、本研究で明らかにされた両眼立体視の形成過程への輪郭線形状の奥行きの影響は、画像性の奥行き一般の特性であると考えられる。

一方、観察結果(4)(図1の不整合刺激に対し、両眼立体視が形成された後では、輪郭線サイン波は、長方形の面が奥行き方向に波打った結果としてではなくエッジの形状として知覚される)を考えると、輪郭線形状の奥行き形成過程に対する両眼立体視からの影響も考えられる。おそらく、効率の良い、また信頼性の高い3次元の知覚のために、奥行き手掛かりの間に相互作用が存在するのであろう。奥行き知覚メカニズム解明、さらに視覚処理の統合過程一般の解明のためには、このような相互作用の研究を今後さらに進めていく必要があるだろう。

本研究を行う機会を与えてくださったATR視聴覚機構研究所の淀川英司社長に感謝する。

【参 考 文 献】

- 1) S. Zeki & S. Shipp: "The Functional Logic of Cortical Connections", *Nature*, 335, pp. 311-317(1988)
- 2) S. Zeki: "The Representation of Colours in the Cerebral Cortex", *Nature*, 284, pp. 412-418(1980)
- 3) S. M. Zeki: "Functional Specialisation in the Visual Cortex of the Rhesus Monkey", *Nature*, 274, pp. 423-428(1978)
- 4) P. Cavanagh: "Reconstructing the Third Dimension: Interactions between Color, Texture, Motion, Binocular Disparity, and Shape", *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 37, pp. 171-195(1987)
- 5) P. Cavanagh & Y. G. Leclerc: "Shape from Shadows", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, pp. 145-152(1989)
- 6) H. H. Bulthoff & A. Mallot: "Integration of Depth Modules: stereo and shading", *Journal of Optical Society of America*, A5, pp. 1749-1758(1988)
- 7) P. C. Smith & O. W. Smith: "Verical Perception of Cylindricity: a problem of depth discrimination and object identification", *Journal of Experimental Psychology*, 62, pp. 145-152(1961)
- 8) A. van den Enden & H. Spekrijse: "Binocular Depth Reversals Despite Familiarity Cues", *Science*, 244, pp. 959-961(1989)
- 9) J. I. Yellott & Jr. L. Kaiwi: "Depth Inversion Despite Stereopsis: the appearance of random-dot stereograms on surfaces seen in reverse perspective", *Perception*, 8, pp. 135-142(1979)
- 10) W. M. Youngs: "The Influence of Perspective and Disparity Cues on the Perception of Slant", *Vision Research*, 16, pp. 79-82(1976)
- 11) K. A. Stevens & A. Brookes: "Inregrating Stereopsis with Monocular Interpretations of Planer Surfaces", University of Oregon Technical Reort, CIS-TR-86-05(1986)
- 12) J. T. Todd & E. Mingolla: "Perception of Surface Curvature and Direction of Illumination from Patterns of Shading", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, pp. 583-595(1983)
- 13) J. T. Todd & F. D. Reichel: "Ordinal Structure in the Visual Perception and Cognition of Smoothly Curved Surfaces", *Psychological Review*, 96, pp. 643-657(1989)
- 14) S. Shioiri, P. Cavanagh: "Achromatic from Perception is Based on Luminance, not Brightness", *Journal of the Optical Society of America*, A28, p. 1672-1681(1992)
- 15) 塩入 諭, 佐藤隆夫: "陰影情報の両眼立体視形成への影響", *光学*, 22, pp. 33-41(1993)

しおいり さとし
塩入 諭 昭和61年、東京工業大学大学院博士過程修了。昭和61年～平成元年、モントリオール大学ポストドクトラル研究生、平成元年～2年、ATR視聴覚機構研究所滞在研究員、平成2年、千葉大学工学部助手。立体視、運動視、眼球運動を中心に人間の視覚情報処理機構の研究に従事。工学博士。

さとう たかお
佐藤 隆夫 昭和49年、東京大学文学部心理学科卒業。昭和51年、同修士過程修了。昭和57年、ブラウン大学大学院博士課程修了。昭和59年、NNT武蔵野電気通信研究所に入所。昭和61年4月～平成2年10月、ATR視聴覚機構研究所に勤務。現在、NNT基礎研究所において、人間の視覚に関する研究に従事。Ph. D. 正会員。