

立体透明視における見かけの奥行き：2面と3面の差

相田 紗織*・下野 孝一**

* 東京海洋大学 大学院海洋科学技術研究科

** 東京海洋大学 海洋工学部流通情報工学科

〒135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6

(受付：2009年7月7日；受理：2009年11月18日)

Difference in Perceived Depth between Two Stereo-overlapping and Three Stereo-overlapping Planes

Saori AIDA* and Koichi SHIMONO**

* Graduate School of Marine Science and Technology, Tokyo University of Marine Science and Technology

** Department of Logistics and Information Engineering, Tokyo University of Marine Science and Technology

2-1-6 Ettchujima Koto-ku, Tokyo 135-8533, Japan

(Received 7 July 2009; Accepted 8 November 2009)

We examined the perceived depth of stereo-overlapping planes and found that, when disparity of the outer two planes of three overlapping planes was the same as that of the two overlapping planes, its depth magnitude for the three planes differed from that for the two planes in some conditions. In Experiment 1, the perceived depth magnitude reproduced by 10 observers for the three planes was smaller than that for the two planes for each of the disparities used (6.28', 9.43', and 18.86'). In Experiment 2, the depth discrimination performed by 5 observers showed that the perceived depth of the two planes was smaller than that of the three planes for the smallest disparity used (6.28') and was the same as that of the three planes for the middle or largest disparity used (9.43' or 18.86'). Several theoretical implications of the results were discussed.

1. はじめに

両眼で3次元対象を観察した時、両眼に映った対象の網膜像は互いに同一ではなく、水平方向に“ずれ”がある。このずれは水平両眼視差 (horizontal binocular disparity, 以下両眼視差) と呼ばれており、対象の奥行きに関する手掛かりとして知られている。この両眼視差にもとづく奥行きは両眼立体視 (binocular stereopsis, 以下立体視) と呼ばれ、数多くの研究がなされてきた¹⁾。

立体視に関連する現象の一つに立体透明視と呼ばれる現象がある。一般に、透明視 (多重表

面知覚) とは、視野上の同一の領域に重なり合った複数の面を同時に知覚することである。たとえば立体視の場合、2種類以上の両眼視差を持ったランダムドットからなるステレオグラム (random dot stereogram, 以下 RDS) を提示すると、奥行きを持った面が分離し、より手前の面が透けて見える¹⁻¹¹⁾。図1に示すような RDS (図中、灰色の円と黒い矩形はそれぞれ等しい両眼視差を持つ) の場合、適切な条件下では、それぞれのドットは奥行き方向に分離し透明な手前の面を通して背景の面が見える。従来の研究によれば、両眼視差がおおよそ3~30'の範囲内にあるとき2面に分離する立体透明視が生

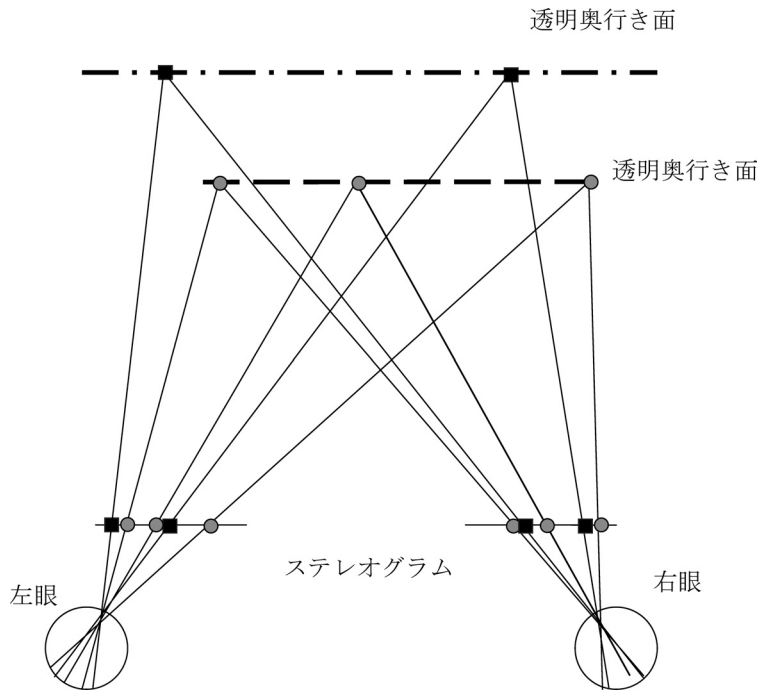


図1 立体透明視の模式図. たとえば, 構成する各要素が2種類の同じ両眼視差を持つRDSを観察した場合, 同じ両眼視差の要素は分離し, 透明で重なった奥行きのある2面が知覚される. この現象を立体透明視と呼ぶ. 図中, 見やすさのために, 等しい両眼視差をもったステレオグラムの要素を灰色の円と黒い矩形に区別して描いてあるが, 立体透明視は各要素が同じ色, 同じ形でも生じる.

じ³⁾, 類似の両眼視差で最大6面までの立体透明面を知覚できる⁴⁾ことがわかっている. また, 透明な奥行き面の知覚には各面でのドットの数⁴⁻⁶⁾, 色⁵⁾, 輝度⁷⁾なども影響することが報告されている. さらに, ドット間の視差勾配 (disparity gradient) が大きくても透明面の知覚には影響しないという研究報告もある⁸⁾.

上述したように, 従来の立体透明視研究は奥行き検出が可能な条件に関するものがほとんどであった. おそらく立体透明視は計算理論の観点から重要な現象と考えられてきたからであろう. 初期の計算理論¹²⁾によれば, 立体視のモデルの拘束条件の一つに“連続性”が考えられてきた. 連続性の拘束条件は, 外界において奥行きを持った対象の表面はその奥行きが連続的に変化している, という仮定にもとづいている. しかしながら, 立体透明視刺激は, その拘束条件を満たしていない. たとえば, 図1において, 前面を形成する要素 (ドット) と後面を形成す

るドット間の両眼視差量は同一であるが, ドット間の両眼視差量は連続的に変化していない. 初期のモデルでは, このような非連続性をもつ両眼視差から得られた奥行き (立体透明視) を説明することは困難であった^{4,5,9)}. そのために, 立体視をより一般性をもって説明するには, どのような条件で透明面が知覚可能かを詳しく調べる必要があった. と言うのは, 立体透明視過程を説明できる立体視モデルがより一般性があると考えられるからである.

しかしながら, 立体透明視過程を推定するのに奥行き検出という指標だけを用いるのは十分とは言えない. 従来, 立体視機構に関連する研究では, 検出という測度以外にも見かけの奥行き量が測度として使われてきた¹⁾. ところが, 立体透明視の見かけの奥行き量に関する研究は数えるほどである⁹⁻¹¹⁾. たとえば, Stevensonら¹⁰⁾は2面からなる立体透明視刺激 (RDS) を視野の下半分に提示し, 手前の透明面の奥行き

位置が上半分に提示された面の奥行き位置と一致するように、つまり両面が同じ前額平行面上に見えるように調整させた。その結果、重なりあった面の両眼視差が比較的小さいとき（3'以下）は、幾何学的に予測される面よりも観察者からより遠く（attraction：誘引）知覚され、両眼視差が6'から8'の間ではより近く（repulsion：反発）に知覚された。ただし、彼らの研究は、手前の透明面の自己中心距離が後ろの面からの影響を受けたことを示したものであり、2面間の見かけの奥行き量を調べたものではない。

そこでわれわれは、重なりあった面の間の奥行き知覚量について研究した。（本論文では見たと物理刺激を区別するために、理論的に2面を作り出す刺激を2面刺激、3面を作り出す刺激を3面刺激と呼ぶ。）われわれは、予備実験において2面刺激と3面刺激の両眼視差が幾何学的に等しくても、見かけの奥行き量が異なるという観察を得た。本実験の目的は2つの実験でこの観察を確認することであった。実験1では、被験者は同一の両眼視差を持つ2面刺激と3面刺激の重なり合った面間の奥行きを再生した。実験2では、3面の両眼視差を固定し、2面の両眼視差を変化させて、2面刺激と3面刺激のどちらの奥行きが深いかを答える奥行き弁別実験を行った。

2. 実験方法

2.1 実験装置と刺激

刺激はウィンドウズ PC（EPSON 社製 Endeavor MT7500）を用いて、ViSaGe（Cambridge Research System 社製）によって作成された。刺激は両眼視差を持った RDS であり、プロジェクター（IT 社製 InFocus DepthQ 3D）によってスクリーン上（IZUMI-COSMO 社製、SP-100）に提示された。RDS に使われた各ドットの大きさは $1.57' \times 1.57'$ であった。刺激の背景輝度は 0.22 cd/m^2 、各ランダムドットの輝度は 1.67 cd/m^2 であった。被験者は、暗室中で液晶シャッターメガネ（NuVision 社製、60GX）を用いた時分割立体方式により刺激を観察した。

フレームレートは 120 Hz であった。眼鏡の左右のシャッターは、刺激の右眼像と左眼像の描画と同期して 60 Hz で交互に開閉した。プロジェクターの空間解像度は 1024×512 ピクセルであり、被験者の後方、床から 120 cm の高さに設置された。刺激はその中央が床から 157 cm の高さになるように提示され、刺激までの観察距離は 380 cm であった（図 2）。被験者はイスに座って刺激を観察した。イスの高さは床から 40 cm であった。

実験 1 では刺激は縦 $20^\circ \times$ 横 13° （ $135 \text{ cm} \times 89 \text{ cm}$ ）の領域に提示された。刺激はそれぞれ 3 種類の異なる両眼視差を持つ 2 面刺激と 3 面刺激であった。2 面刺激と 3 面刺激のドット数はそれぞれ全体で 300 個であった。2 面刺激のうちの 1 面のドット数は 150 個であり、ドット密度は 0.65 dots/deg^2 であった。3 面刺激のうちの 1 面のドット数は 100 個であり、ドット密度は 0.43 dots/deg^2 であった。2 面刺激は、刺激提示画面に相対的にそれぞれ $-3.14'$ と $3.14'$ 、 $-4.71'$ と $4.71'$ 、あるいは $-9.43'$ と $9.43'$ の両眼視差を持っていた。3 面刺激はそれぞれの 2 面刺激に、刺激提示画面に相対的にゼロ視差を持った面を加えて作成した。両眼視差の符号は、提示面に対して刺激が交差性の両眼視差を持つ場合プラス、非交差性の両眼視差を持つ場合マイナスであった。したがって、それぞれの 2 面刺激の相対視差（以下、全体視差）と、それぞれの 3 面刺激のより遠くの面とより手前の面の相対視差（以下、全体視差）は、3 種類 [小 ($6.28'$)、中 ($9.43'$)、大 ($18.86'$)] であった。

実験 2 では実験 1 と同様、2 面刺激と 3 面刺激の 2 種類が使われたが、実験 1 とは異なり両刺激は画面の異なる位置に同時に提示された。左右の刺激は、正中面に対称的に提示され、右の刺激の左端と左の刺激の右端は 3.2° 離れていた。刺激は縦 $20^\circ \times$ 横 10° （ $135 \text{ cm} \times 66.8 \text{ cm}$ ）の領域に提示された。2 面刺激と 3 面刺激のドット数は実験 1 と同様それぞれ 300 個であった。2 面刺激のうちの 1 面のドット数は 150 個であり、ドット密度は 0.75 dots/deg^2 であった。

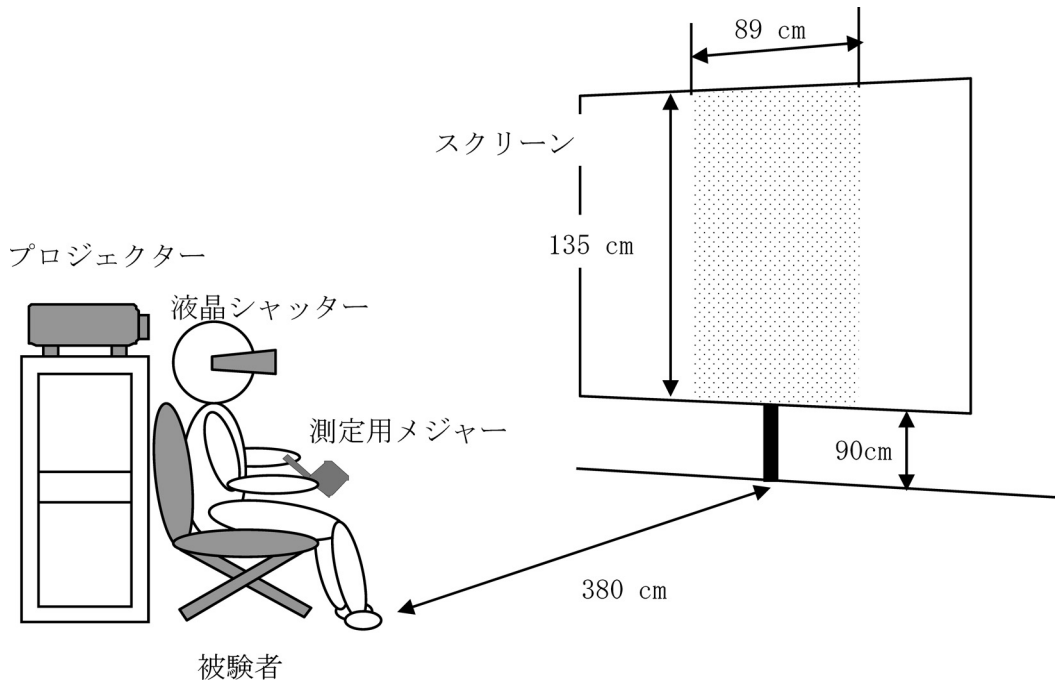


図2 実験1で使われた刺激提示装置の模式図。実験2でも同様の装置が使われたが、実験2では測定用メジャーは使用されなかった。さらに実験2では、刺激として2面刺激と3面刺激からなる一対のRDS（各ステレオプログラムの半視野の大きさは横67cm、縦135cm）が使われた。詳細は本文参照。

3面刺激のうち1面のドット数は100個であり、ドット密度は 0.5 dots/deg^2 であった。3面刺激には3種類あり、それぞれ刺激提示画面に相対的に、 $-3.14'$ と $0'$ と $3.14'$ 、 $-4.71'$ と $0'$ と $4.71'$ 、 $-9.43'$ と $0'$ と $9.43'$ の両眼視差を持っていた。つまり、3面刺激の一番手前の面と一番奥の面は3種類の全体視差[小($6.28'$)、中($9.43'$)、大($18.86'$)]を持っていた。2面刺激は5種類あり、同時に提示される3面刺激によりその両眼視差の大きさが異なった。 $6.28'$ の全体視差を持つ3面刺激と同時に提示された場合、2面刺激は提示画面に相対的にそれぞれ、 $-1.57'$ と $1.57'$ 、 $-1.57'$ と $3.14'$ 、 $-3.14'$ と $3.14'$ 、 $-3.14'$ と $4.71'$ 、 $-4.71'$ と $4.71'$ のいずれかの両眼視差を持っていた。つまり、2面刺激間には $3.14'$ から $9.43'$ の全体視差があった。また、 $9.43'$ の全体視差を持つ3面刺激と同時に提示された場合、2面刺激は提示画面に相対的にそれぞれ、 $-3.14'$ と $3.14'$ 、 $-3.14'$ と $4.71'$ 、 $-4.71'$ と $4.71'$ 、 $-4.71'$ と $6.28'$ 、 $-6.28'$ と

$6.28'$ のいずれかの両眼視差を持っていた。つまり、2面刺激には $6.28'$ から $12.58'$ の全体視差があった。さらに、 $18.86'$ の全体視差を持つ3面刺激と同時に提示された場合、2面刺激は提示画面に相対的にそれぞれ、 $-7.85'$ と $7.85'$ と $-7.85'$ と $9.43'$ 、 $-9.43'$ と $9.43'$ 、 $-9.43'$ と $11.00'$ 、 $-11.00'$ と $11.00'$ のいずれかの両眼視差を持っていた。つまり、2面刺激には $15.72'$ から $22.00'$ の全体視差があった。本実験で使われた両眼視差は融合領域内のものであった¹⁾。

2.2 手続き

被験者は液晶シャッターを着用し、スクリーンを観察した(図2)。被験者は各試行の前に、提示された刺激の重なりあった面の数を答えた。被験者にはいくつの面が提示されるかをあらかじめ伝えていなかった。刺激の観察時間に制限はなく、眼球位置も制限されなかった。被験者は目が疲れたときにはいつでも休憩できた。実験1と2はいずれも練習試行と本試行からなっていた。練習試行は被験者が課題を理解するま

で数回行った。練習試行で使われた刺激は本試行で使われた刺激からランダムに選ばれた。実験1の本試行は5回のセッションからなり、それぞれのセッションで6種類の刺激（それぞれ3種類の異なる全体視差を持つ2面と3面のRDS）がランダムな順序で提示された。被験者は全体で30試行（6×5）を行った。被験者の課題は、多重表面の一番奥の面と一番手前の面の間の奥行き量を再生することであった。被験者は、市販のメジャー（ネオロック社製、KDS）を使って再生した。その際、被験者は刺激画面から眼を離し、メジャーの目盛が描かれていない面を使って奥行きを再生した。実験は30分程度で終了した。

実験2の本試行は、3回のセッションからなり、それぞれのセッションでは3面刺激の全体視差は、6.28'、9.43'、あるいは18.86'のいずれかであった。各セッションは10回のブロックからなり、各ブロックでは異なる5種類の全体視差を持つ2面刺激が、2種類の刺激提示位置（正中面の左か右）で、それぞれ1回ずつランダムな順番で提示された。したがって、被験者の試行は各3面刺激に対して100回、計300試行であった。被験者は、2面刺激のより遠い面とより近い面の奥行きと3面の一番近い面と一番遠い面の奥行きを見比べ、どちらがより深いかを“右”か“左”で答えた。一回のセッションは60分程度で終了した。実験は1日から3日にわたって行われた。

2.3 被験者

実験1では10名の大学生が被験者として実験に参加した。実験2では5名の大学生が被験者として実験に参加した。被験者は裸眼または矯正された状態で、いずれも視力は正常であった。実験1と実験2のいずれの実験にも参加した被験者は4名であった。被験者DSはこの論文の著者であった。DS以外の被験者は実験の

目的を知らなかった。

3. 結果と議論

3.1 実験1

われわれはまず、被験者が答えた面の数を調べた。被験者は全ての2面刺激と3面刺激に対して、それぞれ正しい面の数を答えた。このことは、彼らが全ての条件で立体透明視を観察できたことを示唆している。次に、被験者の再生した奥行き量について分析した。われわれは、変換値が正規分布に従うことを期待して全ての試行の再生された奥行き量を対数変換した。その後、各被験者の各条件の変換値を平均した。図3Aは被験者（10人）ごとの平均を表している。図の縦軸は知覚された奥行きの平均の対数変換値を、再度指数変換した値を示している。横軸は各全体視差量を示している。

図3Aに示すように、必ずしも全ての被験者で同一の傾向を示すわけではないが、平均すると全ての両眼視差条件で2面の奥行き量が大きかった。このことは図3Bに示されている。図3Bは、図3Aで示した各被験者の指数変換値の平均と理論値¹³⁾を示している。両眼視差が6.28'の場合、2面刺激では平均33.4cm ($SD=9.0$)、3面刺激では30.9cm ($SD=7.0$)、両眼視差が9.42'の場合、2面刺激では平均47.9cm ($SD=10.0$)、3面刺激では44.1cm ($SD=9.9$)、両眼視差が18.86'の場合、2面刺激では平均74.4cm ($SD=18.6$)、3面刺激では平均69.4cm ($SD=17.7$)であった。全ての条件で知覚された奥行きは理論値よりも小さかった^{脚注1}。

これらの奥行き量の差は統計的分析結果とも一致する。われわれは、指数変換後の奥行き平均量に対して対応のある2要因の分散分析（2種類の面刺激×3種類の全体視差）を行った。その結果、面刺激 [$F(1, 9)=18.54, p<0.01$]、と全体視差 [$F(2, 18)=80.00, p<0.001$]、の主

脚注1：従来、暗室条件下のようなスクリーンまでの絶対奥行き手がかりが“貧弱”である場合、見かけの奥行き量は過小評価されることが知られている¹⁴⁾。本実験では、RDSは制御用のPCとプロジェクター以外に光源のない暗室条件下で提示された。この点から考えて、本実験で得られた見かけの奥行き量の過小評価は、絶対距離手がかりの貧弱さに帰することができる。

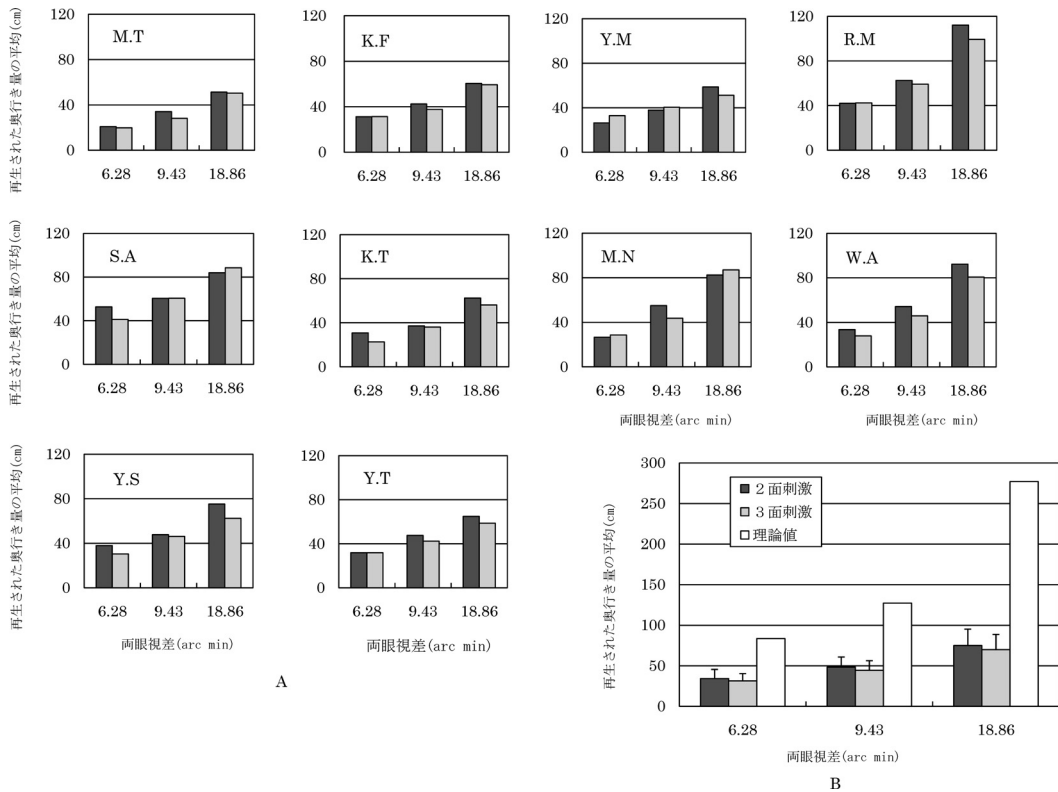


図3 3種類の両眼視差に対する見かけの奥行き量 (A: 各被験者の平均奥行き量, B: 全体の平均奥行き量と理論値)。

効果が有意であり、交互作用は有意ではなかった。つまり、少なくとも実験で使われた全体視差の場合、同じ大きさの全体視差に対して、2面刺激に対する奥行きが3面刺激に対する奥行きよりも大きく知覚された。

もちろん、本実験で使った2面刺激と3面刺激は厳密な意味で同じ刺激ではない。したがって、その差が結果に影響を及ぼした可能性は否定できない。たとえば、本実験では全体のドット密度は両者で同じ (1.30 dots/deg²) であるが、各面のドット密度はいくらか異なった (2面刺激で0.65 dots/deg², 3面刺激で0.43 dots/deg²)。

しかしながら、極端に密度が低い場合はともかく、本実験で使われた程度の密度の違いでRDSの見かけの奥行き量が異なるとは考えにくい^{脚注2}。また、立体透明視は極端に密度が高い場合や低い場合に生じないことも報告されているが⁵⁾、本実験では被験者は2面と3面を混乱なく区別しているので、立体透明視は生じていたと考えられる。

さらに、同じ両眼視差であっても、視差勾配が異なれば、見かけの奥行き量が異なりうる。Bulthoffら¹⁴⁾は、細い線分や点などの相対的に小さい刺激の場合、凝視刺激から離れると(視

脚注2: WallaceとMamassian⁶⁾によれば、ドットの密度は、奥行き弁別に影響しうる。ドットの密度が増加すれば、両眼に提示されたドット間の偽対応 (false projection) が増加すると予想される。さらに、偽対応が増加すれば両眼刺激間の融合がより困難となり、そのことにより見かけの奥行き量に影響がある可能性がある。しかしながら、WallaceとMamassian⁶⁾の実験に使われたドット密度の変化 (0.89~56.96 dot/deg²) は、われわれの使用したもの (0.43~0.65 dot/deg²) に比べて非常に大きい。もし、見かけの奥行き量に偽対応の効果があっても、本実験で使われた程度の変化では、その効果は極めて限定的だと考えられる。

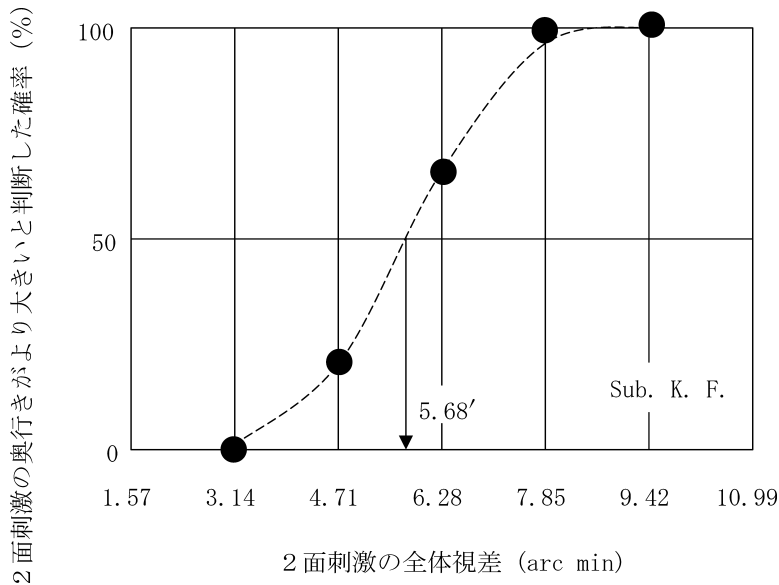


図4 対応視差の計算方法の説明. 2面刺激の全体視差 (x) の関数として, 「2面刺激が3面刺激より深い」という判断の頻度 (%) (y) をプロットし, そのデータに精神物理関数 [式(1)] を当てはめた. 式(1) が50%の反応頻度を予測する x の値が2面刺激の対応視差である. たとえば, 3面刺激の全体視差が $6.28'$ で一定のとき, 2面刺激の全体視差は $3.14'$ から $9.43'$ まで5種類あり, このとき, 被験者 K. F. の対応視差は $5.68'$ であった.

差勾配が0.3より高くなるにつれて) 見かけの奥行き量はより小さくなるが, 相対的に大きい刺激の場合それほどの変化はないことを報告している. われわれの刺激の場合, 平均視差勾配を計算する⁴⁾と, 全体視差がそれぞれ $6.28'$, $9.43'$, $18.86'$ のとき, 2面刺激は0.12, 0.19, 0.37となり, 3面刺激では0.08, 0.12, 0.25となった. 確かに3面刺激の視差勾配は2面刺激のそれに比べて小さいが, その差はきわめて小さいこと, また本実験で使われたような比較的大きな刺激の場合, 視差勾配は見かけの奥行き量に影響を与えないという事実¹⁴⁾を考えると, 本実験で視差勾配が見かけの奥行き量に影響をしたとは考えにくい. 後で述べるように実験2の結果もこの考えを支持するものであった.

3.2 実験2

実験1と同様, われわれはまず, 被験者が答えた面の数を調べた. 被験者は全ての2面刺激と3面刺激に対して, それぞれ正しい面の数を答えた. このことは, 彼らが全ての条件で立体透明視を観察できたことを示唆している. われ

われは次に, 3面刺激の全体視差それぞれに対して同じ奥行き量を生み出す, 2面刺激の視差量を計算した. われわれはこの視差量を対応両眼視差 (matched disparity, 以下対応視差) 量と呼んだ. 対応視差量は, 2面刺激の全体視差の関数として, “2面刺激の奥行きが3面刺激の奥行きより大きい”と答えた反応の心理物理関数から計算した. 本実験では2面刺激の提示位置 (正中面の右か左か) は実験変数としては扱われず, 2面刺激と3面刺激の一つの組み合わせに対して20回の反応が得られた. ここで図4を使って対応視差量の計算方法を説明する. 図4は, 小全体視差 ($6.28'$) を持つ3面刺激に対する被験者KFのデータをプロットしたものである. 横軸が3面刺激と同時に提示された2面刺激の全体視差を表しており, 縦軸は2面刺激が3面刺激より奥行きが深いと判断された反応のパーセンテージである. このデータに対して, 心理物理関数 (式1) を当てはめた.

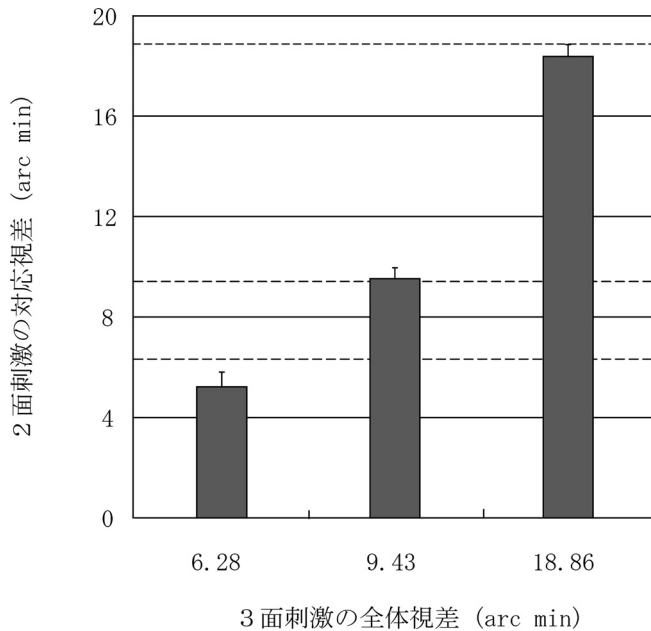


図5 3種類の全体視差(6.28', 9.43', 18.86')を持つ3面刺激に対する2面刺激の対応視差(5名の被験者の平均). 図中の破線は下から各3面刺激の全体視差, 6.28', 9.43', 18.86'を表している.

$$F_r(a)[\%] = \frac{100}{1 + e^{-k(x - x_{50\%})}} \dots\dots(1)$$

ここで F_r は, “2面刺激の奥行きが深い” という反応の百分率, $x_{50\%}$ は F_r が50%のときの2面刺激の全体視差量, k は $x_{50\%}$ のときの関数の傾き, そして e は自然対数の底である. われわれは, $x_{50\%}$ を3面刺激に対する奥行きと同じ量の奥行きをもたらす2面刺激の対応視差とみなした.

5人の全体視差の平均が図5に示してある. 図5の横軸は各3面刺激の全体視差を, 縦軸は2面刺激の対応視差を示している. 図中, 水平の点線は各3面刺激と同じ両眼視差を表している. 図から明らかなように, 使われた刺激の中で3面の全体視差の大きさが一番小さい(6.28')とき, 2面刺激の対応視差は3面刺激の全体視差よりも小さい値になった. このことは, 同じ全体視差を持つ2面刺激と3面刺激を比べると, 2面刺激の奥行き距離が長く感じられるということである. 一方, 使われた刺激の中で3面の全体視差の大きさが真ん中(9.43')と一番

大きい(18.86')のとき, 2面の対応視差は, ほぼ3面の全体視差と同じであった. このことは t 検定の結果とも一致する. 3面刺激のそれぞれの条件で, 理論値と対応視差を比べると, 3面刺激の全体視差に比べ, 6.28'のときに有意であり, $[t(4)=4.06, p<0.05]$, 9.43'と18.86'のときには有意ではなかった.

実験1と同様, 実験2でも同じ両眼視差であっても, 異なる奥行き量が得られることが示された. しかしながら, 異なる奥行き量が得られた刺激の全体視差は, 実験2は実験1に比べて比較的小さかった. これらの結果の詳しい議論は「全体的議論」で行うが, ここでは, 実験1と2の刺激特性の差が結果に影響した可能性のみ議論したい. 実験1に比べ実験2で使われたRDSの横幅は狭い(実験1では13°, 実験2では10°). そのために, ドット密度は, 実験2では, 2面刺激と3面刺激の密度はそれぞれ0.75 dots/deg²と0.5 dots/deg²となり, 実験1(2面刺激で0.65 dots/deg², 3面刺激で0.43 dots/deg²)よりも少し高い. しかしながら, この程度の差が奥行き量に影響するとは考えにく

い。また視差勾配を考えると、同じ両眼視差を持つ刺激の場合、実験1と2ではほぼ同じである(表1)。これらのことから、われわれはドット密度や視差勾配といった刺激のわずかな差は、実験1と2の結果の差には影響を及ぼさなかったか、あるいはあったとしてもわずかな影響しかなかったと考えている。

実験2の視差勾配はまた、実験1の結果が2面刺激と3面刺激の視差勾配の差では説明しにくいことを示唆している。全体視差が同じ場合、実験2でも実験1と同様に2面刺激が3面刺激よりわずかに大きい(表1)。もし本実験で使われた程度の視差勾配が奥行き量に影響するならば、実験1と2では類似の結果(同じ全体視差なら常に2面刺激が大きな奥行き量をもたらす)になるはずであるが、そうではなかった。このことは、実験1の結果が視差勾配の差からもたらされたものではないことを示唆している。

表1 実験2で使われた2面刺激と3面刺激の全体視差と平均視差勾配*

3面刺激		2面刺激	
全体視差	視差勾配	全体視差	視差勾配
6.28	0.09	3.14	0.07
		4.71	0.11
		6.28	0.14
		7.85	0.18
9.43	0.14	9.43	0.21
		6.28	0.14
		7.85	0.18
		9.43	0.21
18.86	0.28	11.00	0.25
		12.58	0.29
		15.72	0.36
		17.29	0.39
		18.86	0.43
		20.43	0.46
		22.00	0.50

* 平均視差勾配は実験1と同様 Tsirlin ら⁴⁾の方法で計算した。

4. 全体的議論

本実験では、立体透明視において同じ全体視差でも2面刺激と3面刺激の作り出す奥行き量が異なりうることを示した。実験1で行われた奥行き再生法の結果は、6.28'から18.86'の全体視差で、2面刺激が3面刺激より大きな奥行き量を生むことを示した。実験2で行われた奥行き弁別法の結果は、相対的に小さい全体視差(6.28')では2面刺激が3面刺激より大きな奥行き量を生むが、相対的に大きい全体視差(9.43'と18.86')では2面刺激と3面刺激では奥行き量に差がないことを示した。

全体視差が等しい場合でも2面刺激が3面刺激より奥行きを深く感じる場合があるという結果の、一番簡単な説明はおそらく、2面刺激に比べ3面刺激はゼロ視差を持った面があるために、被験者から一番近くに見える面と一番遠くに見える面の奥行きがゼロ視差面からの何らかの抑制を受けたと考えるものであろう^{5,7)}。

Stevenson ら¹⁰⁾の報告した誘引・分離現象(attraction/repulsion effect)はこのような考えと部分的には一致する。彼らは、2面刺激の両眼視差が6'以下の時は互いの面が実際より近づいて知覚され(誘引)、約6'~12'と相対的に大きい時は互いの面が実際より離れて知覚される(分離)と主張した。もし、Stevenson ら¹⁰⁾の報告した現象が3面刺激でも起こるとしたら、6.28'の全体視差を持つ3面刺激では、手前と真ん中の2面(3.14'の両眼視差を持つ)と真ん中と後ろの2面(3.14'の両眼視差を持つ)ではそれぞれ誘引現象が起こり、6.28'の2面刺激より、小さい奥行き量を生むことが予測される。一方、18.86'の全体視差を持つ3面刺激では手前と真ん中の2面(9.43'の両眼視差を持つ)と真ん中と後ろの2面(9.43'の両眼視差を持つ)ではそれぞれ分離現象が起こり、18.86'の全体視差を持つ2面刺激より、大きい奥行き量を生むことが予測される。しかしながら、われわれの実験では誘引現象に対応する現象は生じているが、分離現象は生じていない。誘引・分離現

象はわれわれの結果を部分的にしか説明できない。また、誘引・分離現象がさほど明白な現象ではないという報告もある¹¹⁾。

また、本実験結果は両眼視差の平均化^{1,15)}という概念でも説明できるかもしれない。HowardとRogers¹⁾によれば両眼視差が比較的小さい場合(2'以下)に、2つの異なる両眼視差を持つランダムドットは、あたかもそれらを加算平均したように1つの面上に見える。さらに、両眼視差が少し大きくなる(2'~6')¹⁵⁾と、各ドットはある厚みを持った範囲内で異なる奥行きを持って見える(圧縮立体視)。本実験では全体視差が最も小さい3面刺激では各面間のドットの両眼視差は3'程度であり、圧縮立体視の範囲内である。もし、圧縮立体視において不十分ながら視差の平均化が生じていると仮定すれば、見かけの奥行き量の減少という事実を説明できるかもしれない。しかしながら本実験では、被験者は見かけの奥行き面の数を教示されていないにもかかわらず、全ての3面刺激に対して、「3面に分離している」と答えており、この反応は圧縮立体視の特徴とは一致しない。また、全体視差の平均化という概念では、実験1で得られた比較的大きい両眼視差に対する結果を説明できない。

一方、本実験における奥行き再生と奥行き弁別の結果の差は、どのように説明できるだろうか。われわれは今のところ、2通りの説明が可能と考えている。一つの可能性は、立体視を媒介する下位の処理過程による説明である。本研究では実験1と2では被験者の課題が異なった。実験1の課題は両眼視差を検出し奥行き量を推定することであり、実験2の課題は奥行き量を比較することであった。もし立体視過程が奥行き検出・推定過程と奥行き弁別過程に分離可能であり、前者から後者へと処理が行われると仮定すると、実験1と実験2の結果はそれぞれの下位過程の特性を表すことになる。もう一つの可能性は、刺激配置の違いによって被験者の判断基準が実験1と実験2で異なったと考えるものである。実験1では刺激は単独で提示されて

いるが、実験2では並列に同時に提示されている。同時提示の場合、被験者の判断基準は2面刺激と3面刺激それぞれの奥行き量ではなく、左右の面間の相対距離であった可能性がある。たとえば、同じ両眼視差を持つ2面刺激と3面刺激が同時提示され、被験者がそれぞれの刺激の最も手前の面と最も後ろの面に注目したとしよう。この場合、それぞれの面は同一前額面上に見え、その結果、左右の刺激の奥行きは「同じ」と判断されるだろう。同様に他の条件でも、被験者の判断基準が面の相対距離であったと仮定すれば、実験2において3面刺激の対応視差が2面刺激の全体視差と一致した事実を説明できる。しかしながら、両眼視差が小さい場合には、実験1と2の結果は3面刺激に対する見かけの奥行き量と2面に対する見かけの奥行き量に差があることを示している。判断基準の違いのみで、実験1と2の結果の差を説明することは困難である。

立体視における奥行き知覚において、奥行き弁別と奥行き再生の結果は必ずしも一致しないということは、かつて、Foleyら¹⁶⁾によっても報告されている。ただし、彼らの使った両眼視差の大きさは我々の使ったものよりも大きく、複視が生じる程度の大きさであった。彼らによれば、弁別課題の成績は、両眼視差が2°程度から低下し始めたが、奥行き量が低下するのはそれよりも大きい両眼視差(個人差があるが、例えば4°程度)まで奥行き量が増加した。彼らはこの結果を説明するために、両眼検出機構からの出力が弁別と再生では異なる仕方と利用されると仮定した。彼らの説明はパナムの融合域(Panum's fusional area)外で生じる現象に対して行われたものであり、融合域内の現象である立体透明視にそのまま適用できるわけではない。しかしながら、彼らの説明は、立体視過程に下位過程を仮定している点で、われわれの考えと類似している。

本研究では、立体透明視において重なり合った面の数が2面から3面へ増すと、見かけの奥行き量が減少することを示した。ただし、2面

刺激と3面刺激のそれぞれに対して見かけの奥行き量を再生した場合と、2面刺激と3面刺激を同時提示し両者の奥行き量を比較した場合には結果が異なった。この結果の差が立体透明視機構によるものか刺激の提示方法によるものかに関しては、今後更なる研究が必要である。

文 献

- 1) I. P. Howard and B. Rogers: *Depth Perception, vol. II, Seeing in depth*. Porteous, Toronto, 2002.
- 2) B. Julesz and S. C. Johnson: Stereograms portraying ambiguous perceivable surfaces. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, **61**, 437-441, 1968.
- 3) S. B. Stevenson, L. K. Cormack and C. M. Schor: Hyperacuity, superresolution and gap resolution in human stereopsis, *Vision Research*, **29**, 1597-1605, 1989.
- 4) I. Tsirlin, R. S. Allison and L. M. Wilcox: Stereoscopic transparency: Constraints on the perception of multiple surfaces. *Journal of Vision*, **8**: 5, 1-10, 2008.
- 5) R. A. Akerstrom and J. T. Todd: The perception of stereoscopic transparency. *Perception & Psychophysics*, **44**, 421-432, 1988.
- 6) J. M. Wallace and P. Mamassian: The efficiency of depth discrimination for non-transparent and transparent stereoscopic surfaces. *Vision Research*, **44**, 2253-2267, 2004.
- 7) S. Gepshtein and A. Cooperman: Stereoscopic transparency: a test for binocular vision's disambiguating power. *Vision Research*, **38**, 2913-2932, 1998.
- 8) S. P. McKee and P. Verghese: Stereo transparency and the disparity gradient limit. *Vision Research*, **42**, 1963-1977, 2002.
- 9) 渡部修：多重表面の知覚と脳内表現。日本神経回路学会誌, **11**, 74-81, 2004.
- 10) S. B. Stevenson, L. K. Cormack and C. M. Schor: Depth attraction and repulsion in random dot stereograms. *Vision Research*, **31**, 805-813, 1991.
- 11) 浦崎友寛：Attraction/repulsion effectの発生メカニズムに関する研究。室蘭工業大学修士論文, 2006.
- 12) D. Marr: *Vision: A Computational investigation into the human representation and processing of visual information*, W. H. Freeman & Company, New York, 1982. D. マー (著), 乾敏郎・安藤広志 (訳): ビジョン—視覚の計算理論と脳内表現—。産業図書, 1987.
- 13) K. Shimono, W. J. Tam, L. Stelmach and E. Hildreth: Stereoilluory concomitant with lateral head movements. *Perception & Psychophysics*, **64**, 1218-1226, 2002.
- 14) H. Bulthoff, M. Fahle and M. Wegmann: Perceived depth scales with disparity gradient. *Perception*, **20**, 145-153, 1991.
- 15) S. B. Stevenson, L. K. Cormack and C. M. Schor: Hyperacuity, superresolution and gap resolution in human stereopsis. *Vision Research*, **29**, 1597-1605, 1989.
- 16) J. M. Foley, T. H. Applebaum and W. A. Richards: Stereopsis with large disparities: discrimination and depth magnitude. *Vision Research*, **15**, 417-421, 1975.
- 17) 中溝幸夫, 下野孝一: 視覚系による絶対距離情報を用いた奥行のスケーリング。 *Vision*, **13**, 163-180, 2001.