

両眼立体視空間における単眼運動刺激の奥行き知覚

安江 慎祐*・下野 孝一*・近江 政雄**

* 東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科

〒 135-8533 東京都江東区越中島 2-1-6

** 金沢工業大学 人間情報システム研究所

〒 924-0838 石川県松任市八東穂 3-1

1. はじめに

立体視的仮想現実空間では、左右の眼に独立に2次元画像を提示すると、3次元印象を作り出すことができる。そして、この仮想現実空間を作り出す画像は一般的に両眼性でなければならないとされてきた。

しかし、Shimojo, Silverman & Nakayama¹⁾は、単眼性の刺激でも動的遮蔽によって奥行きが知覚されることを示した。彼らは単眼刺激が両眼刺激の後ろを通るかのような刺激条件（遮蔽条件）のみで奥行きが再現されると主張した（遮蔽仮説）。一方、Howard & Rogers²⁾は、単眼刺激が両眼刺激の前を通るかのような条件（カモフラージュ条件）でも、単眼刺激が両眼刺激より前に見えると主張した（カモフラージュ仮説）。また、Shimono, Tam & Nakamizo³⁾は、静止画像が眼球位置の面に定位するという「眼球位置仮説」を提唱した。この仮説は、運動刺激に関するものではないが、運動刺激の奥行き知覚に関する眼球位置の影響を示唆するものである。

以上、単眼運動刺激の奥行き知覚に関しては、いくつかの仮説が提出されている。しかし、まだ明白な結論が得られていない。そこで、本研究では、単眼運動刺激の奥行きをめぐる三つの仮説について調べた。実験1では、「遮蔽仮説」と「カモフラージュ仮説」について、実験2では、「眼球位置仮説」について調べた。

2. 実験 1

図1は、遮蔽仮説を示している。図1Aは、凝視している遮蔽面の後ろを物体が左から右へ通る場合の鳥瞰図である。それぞれの眼に提示される網膜像の位置は時間ごとに異なることになる。図1Bは、この時の網膜像を、図1Cは、単眼刺激の出現を示すタイムチャートである。図1では、右眼に物体が見える時（T1）には、左眼には物体が見えておらず、右眼の物体が消えたと同時に（T2）、左眼に物体が見え、消える（T3）。

もし視覚系が、このような幾何学を知っているとすると、図1Cに示すような時間的ずれで両眼刺激と単眼運動刺激を提示した場合、単眼刺激が両眼刺激より後ろに見えると考えられる（遮蔽仮説）。

同様に、もし単眼刺激が両眼刺激によってカモフラージュされるならば、図2に示すような

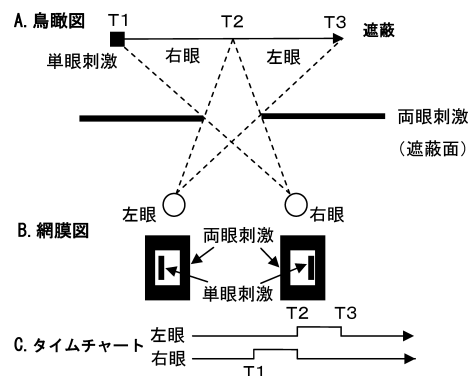


図1 遮蔽仮説の予測図。

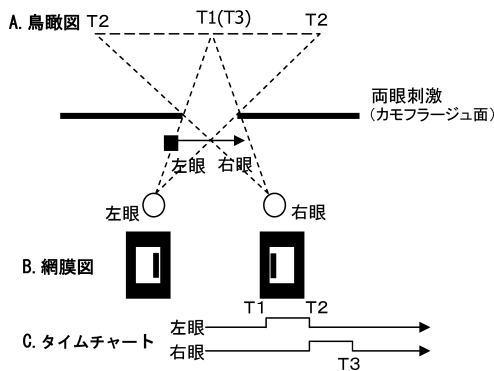


図2 カモフラージュ仮説の予測図.

時間的ずれで両眼刺激と単眼刺激を提示した場合、奥行きを前に生み出すと考えられる（カモフラージュ仮説）。

実験1では、単眼刺激の時間的ずれを制御し、「遮蔽仮説」と「カモフラージュ仮説」について調べた。

2.1 実験方法

装置 両眼刺激と単眼刺激は、立体鏡図であり、コンピューター（NEC PC9801VX）により制御され、ポラロイド式実体鏡を使ってディスプレイ（NEC PC-KD853）に提示した。立体鏡図の各半視野刺激はビジョントスター（Topcon社製）とポラロイドフィルターを使って、被験者の左右の眼に独立に入力された。被験者からディスプレイまでの距離は100cmであった（図3参照）。幅縁距離は40cmであり、 -1.5 ディオプターのレンズが幅縁と調節の誤差を調整するために置かれた。観察中に頭が移動しないように、それぞれの被験者の頭部はチンレストを用いて固定された。

刺激 本試行刺激は、図4に示すような立体鏡図であった。単眼刺激は棒状の刺激で、四角い枠（両眼刺激）の中を左から右へと移動した。本試行刺激は7種類あり、左右の眼に提示される順序の時間的ずれが異なっていた（ ± 60 ms, ± 50 ms, ± 25 ms, 0ms）（負の符号は、単眼刺激が右眼に先に提示されたことを、正の符号は単眼刺激が左眼に先に提示されたことを表している。完全な単眼刺激になるのは、 ± 50 ms, ± 60 msの時である）。本試行においては、明る

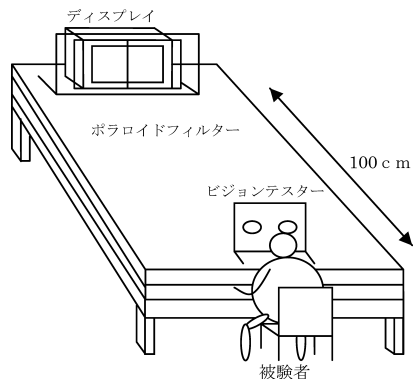


図3 実験装置図.

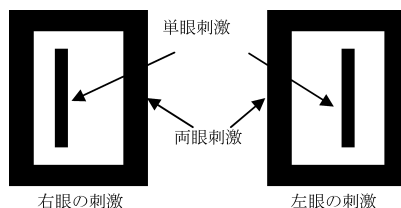


図4 本試行の刺激（白—背景条件）.

さ条件が2種類あり、白—背景条件では背景を白（ 12.22 cd/m^2 ）とし、単眼刺激、両眼刺激はともに黒（ 0.104 cd/m^2 ）であった。黒—背景条件では背景を黒、単眼刺激、両眼刺激ともに白であった（ちなみに図4は白—背景条件の時の図）。

手続き 実験には、2種類の試行（校正試行、本試行）があった。まず校正試行（2.2データ解析参照）を行い、次に本試行を行った。実験は、暗室で行われた。

本試行の刺激の種類は7種類、それぞれ6回ずつ提示された。被験者一人当たりの試行数は42試行（ $7 \times 6 = 42$ ）であり、提示順序はランダムであった。被験者の課題は、口答で奥行き方向（両眼刺激に比べて単眼刺激が前か、後ろか）と、奥行き量（何mm, 何cmなど）を答えることであった。

データ解析 被験者個々の報告する奥行き量には差がある。そのため、個人差を標準化するために校正試行を行った。刺激の種類は7種類（ $-7.8'$, $-5.2'$, $-2.6'$, $0'$, $2.6'$, $5.2'$, $7.8'$ ）で、それぞれ2回ずつ提示された。被験者一人当たりの試行数は全14試行（ $7 \times 2 = 14$ ）であっ

た。校正刺激の提示順序は、ランダムに提示した。被験者ごとの構成試行の5.2'のデータを用いて、本試行の実験で得られた値を割り、被験者個々の奥行き比を求めた。校正試行において奥行き弁別ができた被験者が次の本試行を行った。

被験者 学生10名、教員1名、計11名が校正試行に参加した。そのうち8名が本試行に参加した。被験者は正常な、あるいは矯正された視力を有していた。

2.2 結果と考察

被験者8名の奥行き比の平均を図5（黒一背景条件）に示す。図5の横軸は、刺激の時間的ずれを表し、正が遮蔽条件、負がカモフラージュ条件を表している。縦軸は奥行き比を表し、正の付号は単眼刺激が両眼刺激の後ろに知覚されたこと、負が前に知覚されたことを表している。白一背景条件も同じような結果となった。

図5に示されるように、どの時間的ずれ条件においても、単眼刺激は両眼刺激の後ろに知覚された。遮蔽条件では、単眼刺激は両眼刺激の後ろに見えており、結果は遮蔽仮説を支持している。一方、カモフラージュ条件でも、単眼刺激は両眼刺激の後ろに知覚されており、この結果はカモフラージュ仮説と矛盾する。

これらの結果を確認するために、われわれは3要因の分散分析（2種類の背景×2種類の刺激配置×6種類の時間的ずれ）を行った。分析の結果、刺激配置、 $F(1, 7)=9.29, p<0.019$ 、と時間的ずれ、 $F(2, 14)=7.81, p<0.005$ 、の主効果には有意な差があった。一方、背景の主効果とすべての交互作用には有意な差はなかった。刺激配置の主効果は、遮蔽条件とカモフラージュ条件では、奥行き量についての判断はできていたことを示している。しかしながら、図5から分かるように、遮蔽条件とカモフラージュ条件では、いずれの単眼刺激も同じ奥行き方向に見えている。このことは、視覚系は奥行き量に関しては両条件を弁別しているが、方向に関しては、弁別していないことを示唆している。

また、下位検定（Tukey HSD テスト）によれ

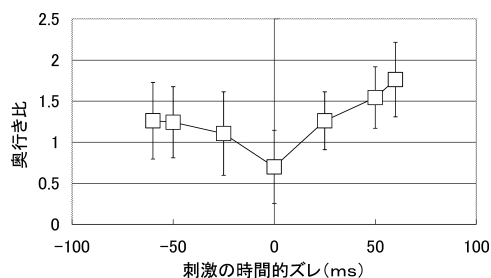


図5 実験1の平均奥行き比。

ば、25 ms と 50 ms, 25 ms と 60 ms では有意な差が見られた。しかし、50 ms と 60 ms の間では有意な差が見られなかった。この条件では、単眼刺激のみしか提示されない。

さらに、時間的ずれがない場合でも、両眼刺激と“単眼”刺激の間に奥行きがあった（図5参照）。本条件では、網膜像差がないにもかかわらず、奥行きが得られたことになる。

3. 実験 2

眼球位置仮説³⁾によれば、静止単眼刺激は両眼の眼球位置に依存する。この考えを運動刺激に拡張すると、眼球位置が両眼刺激の後ろにあれば、運動単眼刺激は両眼刺激の後ろに見えるし、眼球位置が両眼刺激の前であれば、運動単眼刺激は両眼刺激の眼に見えることになる。実験2では、これらの予測を調べた。実験では、ノニウス法を用いて、眼球位置を制御した。

3.1 実験方法

装置 実験装置、実験状況などは実験1と同様の条件で行った（図3参照）。

刺激 本試行の刺激は、図6に示すような立体鏡図であった。眼球位置を制御するためにノニウス刺激を用いた。本試行条件は、5種類の時間的ずれ（±60 ms, ±50 ms, 0 ms）と、2種類の眼球位置（±7.5'）（正が遮蔽面より後ろ、負が遮蔽面より前）、計10種類の組み合わせで行った。本実験では、黒一背景条件で行った（図6参照）。

手続き 実験には、2種類の試行（校正試行、本試行）があった。まず校正試行（データ解析参照）を行い、次に本試行を行った。データの

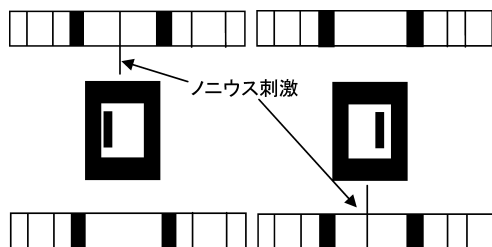


図6 本試行の刺激。

標準化は、実験1と同様であった。実験は、暗室で行われた。

本試行の刺激の種類は5種類、それぞれ5回ずつ提示された。眼球位置は2種類とし、被験者一人当たりの試行数は50試行 ($5 \times 2 \times 5 = 50$) であり、提示順序はランダムであった。被験者の課題は、実験1と同様であった。

被験者 矯正視力が正常な学生5名、教員1名、計6名が校正試行、本試行に参加した。

3.2 結果と考察

被験者6名の奥行き比の平均をまとめたものを図7に示す。図7に示されるように、被験者全体の平均から眼球位置 ($\pm 7.5^\circ$) による単眼遮蔽の奥行き比には、大きな差はなかった。

また、図から明らかのように、遮蔽条件においても、カモフラージュ条件においても、奥行きを両眼刺激の後ろに見ている。この結果は、実験1の結果と同じである。

これらの結果を確認するために、2要因の分散分析 (2種類の眼球位置 \times 4種類の時間的ずれ) を行った。分析の結果、時間的ずれ、 $F(3, 15) = 4.82, p < 0.02$ 、の主効果には有意な差があった。一方、眼球位置と時間的ずれとの交互作用には有意な差は無かった。また、時間的ずれがない場合には、両眼刺激と単眼刺激の間に奥行きがあり、下位検定 (Tukey HSD テスト) によれば -60 ms と 60 ms、 -50 ms と 60 ms との間には有意な差が見られた。しかし、実験1同様、 50 ms と 60 ms については、有意な差は見られなかった。

4. ま と め

実験1, 2の遮蔽条件において、被験者はすべ

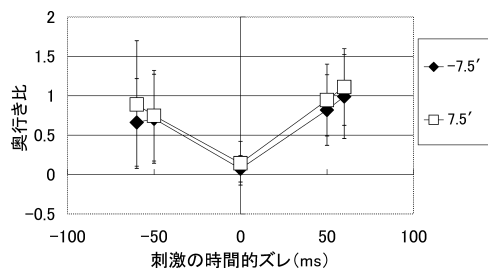


図7 実験2の平均奥行き比。

ての条件で奥行きを後ろに見た。このことは、仮説の予測と一致する。しかし、完全な単眼条件である 50 ms、 60 ms 条件では、奥行き比に差はなかった。全体的には、単眼運動刺激の奥行き知覚において、遮蔽仮説は支持された。一方、実験1, 2のカモフラージュ条件において、被験者はすべての条件で奥行きを後ろに見た。このことは、仮説の予測と一致しない。また、実験2によれば、全体として眼球位置に効果がないことが示された。したがって、本研究では、遮蔽仮説のみが支持されたことになる。

ただし、奥行きの方角を考えるならば、カモフラージュも遮蔽も同じ方向に知覚している。また、時間的ずれが 0 ms 条件においても、奥行きを両眼刺激より後ろに見ていた。これらのことは、幾何学に基づく遮蔽的な手がかりというよりはむしろ、両眼付近を通る単眼性の刺激は遮蔽であろうが、カモフラージュであろうが後ろに見るという、絵画的な手がかりが重要視されている可能性もある。

文 献

- 1) S. Shimojo, G. H. Silverman and K. Nakayama: An occlusion-related mechanism of depth perception based on motion and interocular sequence. *Nature*, **333**, 265–268, 1988.
- 2) I. P. Howard and B. Rogers: Seeing in Depth. Volume 2, *Depth Perception*. Toronto: University of Toronto Press, 2002.
- 3) K. Shimono, W. J. Tam and S. Nakamizo: Wheatstone-Panum limiting case: Binocular occlusion, binocular camouflage, and vergence-induced disparity cues. *Perception and Psychophysics*, **38**, 591–600, 1999.