

両眼立体視における視差情報の処理機構

視差連続図形と輻輳眼球運動の関係

大島 敦之・佐伯 諭・森 峰生*・大頭 仁

早稲田大学大学院 理工学研究科 物理学及応用物理学専攻

〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1

* 通信・放送機構 早稲田リサーチセンター

〒169-0051 東京都新宿区西早稲田1-21-1 早大西早稲田ビル 5階

1. はじめに

人間の両眼立体視において、左右眼に投影された外界情報が2つの像として見えずに、単一の像に見えるためには、両眼網膜像の対応関係が問題になる。理論的には、注視点を含む幾何学的なホロプター円上の物体のみが単一像として知覚されるが、それよりずれた位置にあるからといって2重像に見えるわけではない。このように、左右眼の網膜上における幾何学的対応位置より少しずれても、両眼情報が融合して、奥行き差のある単一像と見える許容範囲を Panum の融像領域と呼ぶ^{1,2)}。

例えばランダムドットステレオグラム（以下 RDS）によって、小さな正方形が飛び出すような場合を考える。この小さな正方形の、

背景の RDS に対する視差量をつけすぎると、Panum の融像領域を越え、観察者は当然その画像を融像できなくなる。ところが、この小さな正方形と背面の間に、視差量、大きさともに連続的に変化するような、補助的な面を挿入してやり、ちょうどピラミッドを上から見たような立体像にすると、観察者は Panum の融像領域外の奥行き差でも知覚できるようになる³⁾（図1）。

本研究では、補助図形を挿入することで、その画像の融像限界視差量が増加することに注目し、その両眼視差量を検出する際の特性を解析することを目的とした。また同時に、両眼情報融合の際の輻輳眼球運動（vergence）の影響についても検討した。

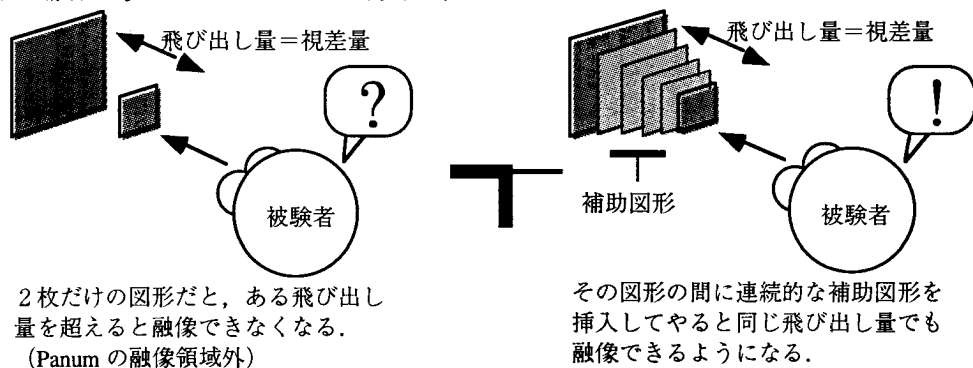


図1 補助図形を加えた場合の RDS の融像限界の変化

2. 実験方法

2.1 装置

被験者は暗室で、コンピュータディスプレイ (SONY Multiscan 17GS) 上に呈示された刺激を観察する。視距離は 100 cm, 呈示刺激は RDS, ディスプレイ上の 640×480 ピクセルのスクリーンに左右眼用映像が分けて表示され, 被験者は裸眼交差法でそれらを融像する。

2.2 刺激

左右眼用それぞれ, 背景として画角 3.5×3.5 deg の RDS (ドット密度 50 %) が呈示される (図 2)。平均輝度は 45 cd/m^2 とした。融像すると 0.87×0.87 deg の小正方形が手前に飛び出す (凸図形) か, または奥にくぼんで (凹図形) 見える様に視差をつけた。その視差量は 0.15 deg から約 1 deg まで, 様々に変化する。そしてこれを基本図形として, 視差量, 画角が背面と小正方形の間で連続的に変化する補助面を 2, 4, 6, 8, 14 枚ずつ加えたものを作成した。すなわち全部で 4, 6, 8, 10, 16 枚の面 (以下これをステップ数と呼ぶ) で構成されるピラミッド型の図形 (視差連続図形) が, 融像すると観察される。これに基本となるステップ数 2 (背面と小正方形のみ) の図形を加えた 6 種類 \times 凸凹方向 2 種類, 合計 12 種類の刺激をさまざまな視差量で呈示した。

2.3 手続きおよび被験者

被験者のタスクは, 呈示された刺激が融像可能かどうかを答えることである。ここで融像可能とは, ピラミッド型 RDS 全体がはっきりと知覚できることで, 一番手前の小正方形が見えなかったり, 背景がぼやけてしまったりしたときは融像不可と答える。また融像できているが, その判断があいまいな場合は, 融像しづらいと答える。すなわち, カテゴリとしては可能, 困難, 不可の 3 段階である。

実験手順としては, まずディスプレイ上に固視点 (RDS の背景と同じ視差量になっている) が表示され, 被験者がそれを融像した後キーを押す。キーを押してから 1 秒間その固視点が呈示され, その後 12 種類いずれかの刺激がランダムに呈示される。ここで今回, このような RDS を観察する場合, 輻輳眼球運動により, さまざまな奥行きを面を追従していく過程を考え, 刺激の呈示時間を変化させた。呈示時間はそれぞれ, 時間制限無 (自由視条件), 0.50, 0.67, 1.0 s (これらを短時間呈示と呼ぶ), 0.15, 0.20, 0.25 s (これらを超短時間呈示と呼ぶ), の合計 7 種類の条件で変化させて実験を行った。被験者は, 刺激が呈示された後に, 先ほどの基準で, その呈示刺激に対して融像可能, 融像困難, 融像不可の 3 段階で答える。自由視条件の場合のみ, 自由に輻輳眼球運動できるため, 判断基

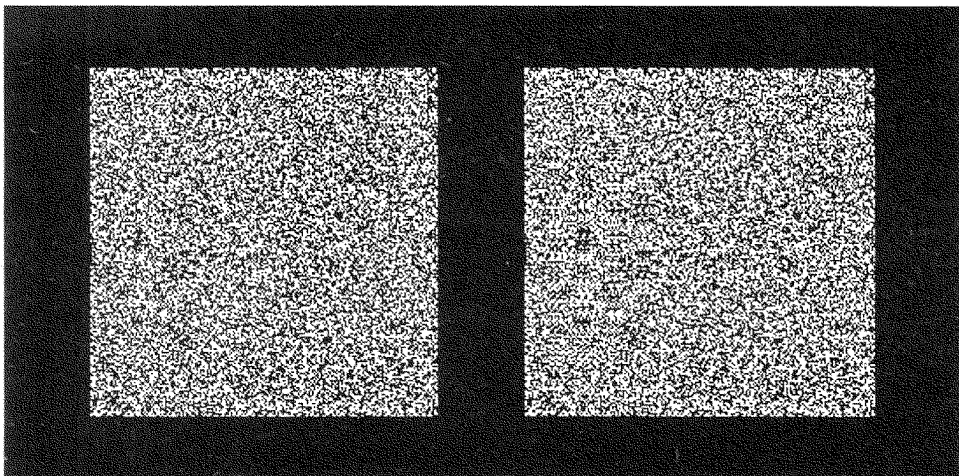


図 2 呈示刺激の一例 (ステップ数 6, 交差法で融像すると凸図形)

準は可能，不可の2通りで実験を行った。

評価方法は極限法で実験を行った。すなわち，はじめにあるステップ数の図形（凸 or 凹）を低い視差量（0.05 deg）で表示して行い，順に視差量を増やしていきながら試行を繰り返す。融像しづらい状態を経て，融像不可になったところで，その図形での融像限界視差量が決定する。

被験者は20歳代前半の男性2名。共に正常な立体視能力をもつ。一人は裸眼で，もう一人は眼鏡により視力を矯正し，実験を行った。

3. 結果

図3に各刺激呈示条件における測定結果を示す。グラフの縦軸は融像限界視差量（deg），横軸はステップ密度（steps/deg）である。ここでステップ密度とは，視角1 deg内に見えるステップ数を表した単位である。また，それぞれ正の値で表したものが凸図形，負の値で表したものが凹図形の結果に相当す

る。表1にステップ数とステップ密度の関係を示す。まず自由視条件の結果（図3(a)）では，ステップ数2の図形だと0.3 degあたりで融像不可になるのに対し，補助図形を挿入することにより，最高で0.8~1.0 degあたりまで融像限界視差量が増大した。空間周波数特性としては，飽和傾向となった。

短時間呈示，超短時間呈示条件の結果（図3(b)~(d)）について，全体的な特性は，自由視条件の場合と同じく，ステップ密度に応じて融像限界視差量が増す傾向だが，呈示時間が短くなるほど，相対的に融像限界視差量が低くなった。

全体的に見ると図4に示したように，ステップ数2の図形に関しては，呈示時間が変化しても，それほど差は見られなかったが，補助図形を挿入した場合，短時間呈示だと0.6~0.8 deg，超短時間呈示だと0.4~0.6 degあたりで融像限界になるという結果が得られた。

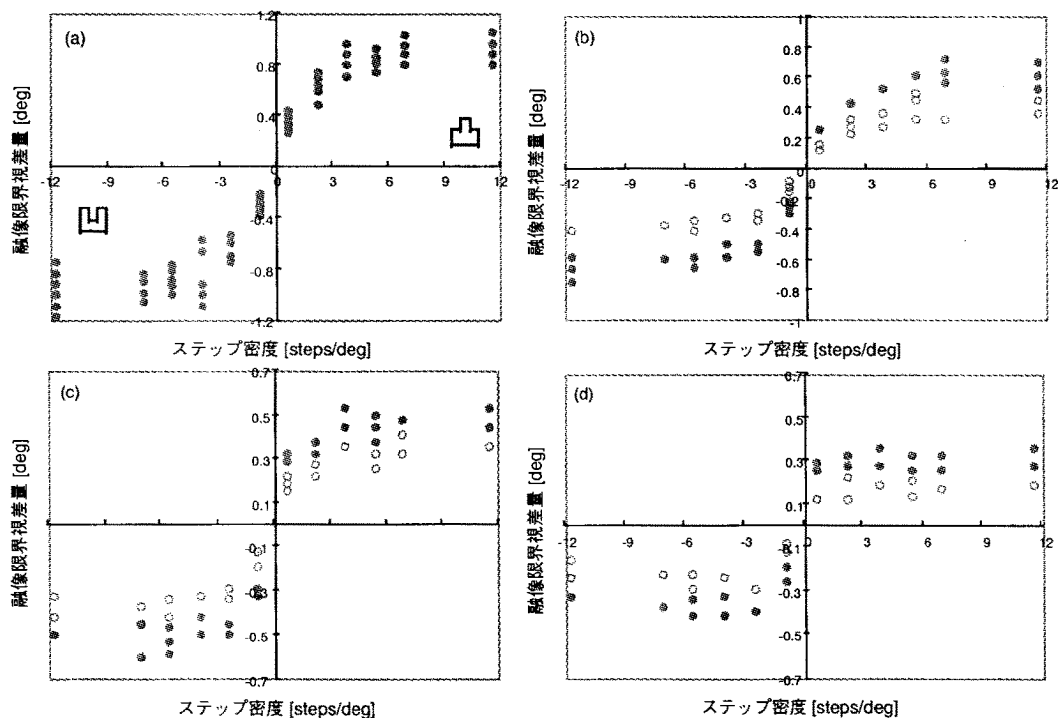


図3 実験結果/被験者 MO。(a)自由視条件（呈示時間を制限しない場合）の結果，(b)短時間呈示条件（0.67 s）の結果，(c)超短時間呈示条件（0.25 s）の結果，(d)超短時間呈示条件（0.15 s）の結果。○：融像困難と答えた視差量，●：融像不可と答えた視差量（融像限界視差量）。

表1 ステップ数とステップ密度の関係

| ステップ数 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 | 16 |
|-------------------|------|------|------|------|-----|-------|
| ステップ密度[steps/deg] | 0.78 | 2.33 | 3.89 | 5.47 | 7.0 | 11.67 |

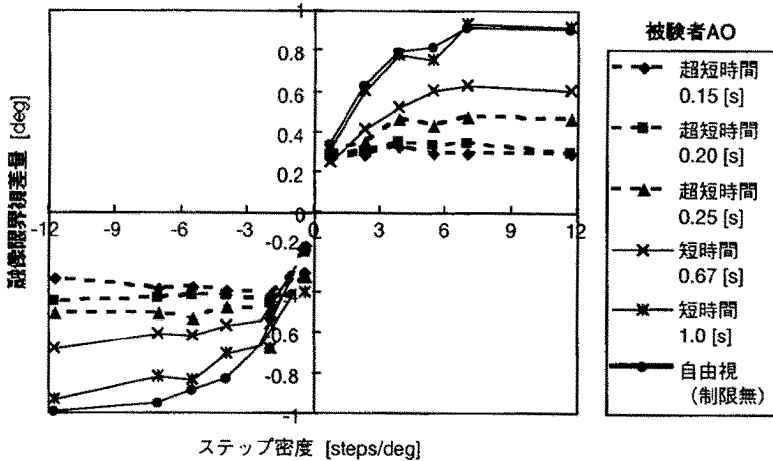


図4 それぞれの呈示時間における融像限界視差量の変化(平均値)

また特に超短時間呈示条件の結果(図3(c), (d))については, ステップ密度に対する融像限界視差量のふるまいは, バンドパス型に近い特性が得られた. そのピークは, ステップ密度で約 4.0~5.0 steps/deg の部分にあった.

4. 考察

以上の結果から, ステップ密度が増すと, 融像限界視差量が増加することが確認された. これは, 視差の連続性を持つ刺激, すなわち補助図形を挿入し視差変化を連続的にしたものは, 両眼立体視の融合特性の向上に大きく寄与すると言える. また同時に, 視差を連続的に与えることで, なめらかな輻輳眼球運動を誘発し, それにより視差情報の処理が容易になったと考えることもできる.

また, 呈示時間を短くして被験者の輻輳眼球運動を制限すると, 相対的に融像限界視差量の値が低くなった. このことから, 輻輳運動を行っているときには, 連続的, 時間的に注視点を変化させながら, 視差情報を処理して, 立体像として再生していると考えられる. そして呈示時間が短くなると, 視差連続

図形の様々な場所にある視差情報を追従しきれなくなり, 融像限界視差量が低くなると考えられる.

さらに超短時間呈示条件の場合については, この結果が輻輳眼球運動による影響がほとんど除かれた条件であると考えれば, その結果から, 視差情報の空間的な分布状態による影響, 言い換えると視差抽出機構の受容野特性が得られると考えられる. 今回の実験結果からは, それがバンドパス型の特性を持つことが示唆された. この特性については今後, 視差情報の空間的な分布状態を様々に変化させたより詳細な実験を行い, 立体情報処理機構の時空間的な特性として検討を行っていく予定である.

文 献

- 1) 大山 正, 今井吾吾, 和氣典二(編): 感覚・知覚ハンドブック. 誠信書房, 1994.
- 2) 畑田豊彦: 生理光学 13: 3次元画像と視覚特性. *Optus E*, 1985年8月号, 110-118, 1985.
- 3) 佐伯 諭, 大島敦之, 森 峰生, 大頭 仁: 両眼立体視における視差連続性についての解析. *VISION*, 10, 69, 1998.