

低視力者にとってピント合わせ課題はなぜ困難なのか？

田中 恵津子* · 小田 浩一**

* 東京女子大学大学院 心理学研究科

** 東京女子大学 現代文化学部 コミュニケーション学科

〒181 東京都三鷹市牟礼 4-3-1

1. はじめに

低視力者は、光学機器の焦点合わせを行う際に focusing error が大きいことが指摘されているが、それは何故だろうか？ 視覚情報は光学的な defocus によってコントラスト低下を生じることが知られている。低下の仕方は空間周波数によって異なり、defocus を増大させると、高周波は急に低周波は緩やかにコントラスト低下を起こす。Tucker らは、眼の光学系を通してその傾向は変わらないことを理想曲線によって示している。図1に、彼らの示した曲線を基にした模式図を示す。本研究は、この物理学的な知見を応用して、なぜ低視力者の focusing error が大きいのかを説明しようと試みるものである。

低視力者は、高空間周波数を利用できない。したがって、彼らが focusing に利用できるのは defocus に対してコントラスト低下の緩やかな刺激である。例えば、人間の focusing がそのとき利用できる最高の空間周波数に対する検出閾を手がかりにしていると仮定すると、図1に示したような defocus に対するコントラスト変化の特性がそのまま focusing error に影響するので、低周波しか利用できない低視力者では focusing error は大きくなると思われる。

そこで、実験1では、検出閾を各空間周波数について測定し、defocus してもその周波数が検出できる範囲を空間周波数間で比較した。また、上の仮定とは別に、晴眼者を人工的に低視力にし、低周波の視覚刺激しか利用できなくし

た場合に、実際にはどの程度 focusing error が広がるかを実験2で測定した。

2. 実験1

2.1 実験装置

屈折値と対応した目盛りのついた単眼鏡を使って屈折状態を変化させた。用いた単眼鏡は、Nikon 社製の Low Vision Aid #30821 で、拡大率は2倍、目盛りと屈折値にはほぼ直線的な対応関係があった(図2)。単眼鏡とは、低視

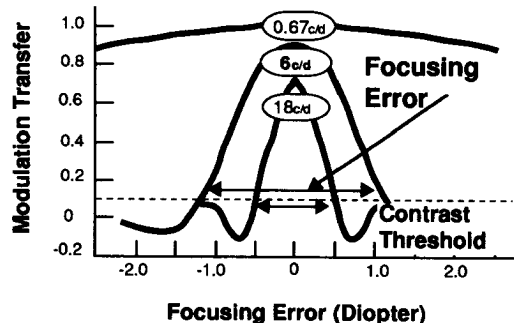


図1 各空間周波数の defocus ともなうコントラスト低下 (Tucker らを基に作成した模式図)

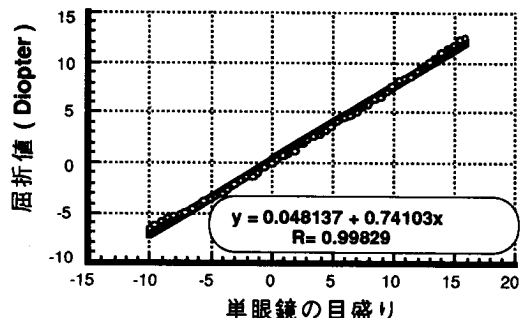


図2 単眼鏡の目盛りに対応する屈折値

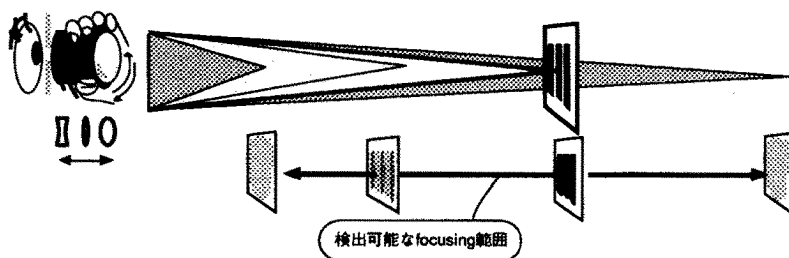


図3 実験1の模式図

力者が日常的に使う遠方視用の光学的エイドである²⁾。

2.2 刺激

呈示した刺激は、コントラスト 88 %の矩形波の縞視標で、空間周波数は、1.5, 3, 6, 15, 22, 30 cycles/degree の6種類であった。

2.3 被験者

年齢22歳から28歳の晴眼者の女性4名が被験者となった。

2.4 実験手続き

測定に先立ち、被験者には調節麻痺剤（塩酸シクロペントラート 1%）の点眼と、刺激の呈示された5 mの距離での屈折矯正が施された。

被験者は、屈折矯正レンズと3 mm径の人工瞳孔がセットされた眼鏡枠をかけ、単眼鏡を覗いて刺激を見た。このとき単眼鏡は、刺激縞を全く検出できないように焦点をずらしてあった。被験者は、ゆっくりつまみを調節して単眼鏡の屈折値を変化させ（図3）、刺激の縞の方向がかろうじて検出できるところまでを調節を止めるよう教示された。被験者が調節を止めたところで、実験者は被験者に縞の方向を伝えさせ、80%以上の確率で正答することを確認した上でそのときの屈折値を記録した。測定は常に検出不能状態から検出可能な方向へ単眼鏡の焦点を調節させる方向でのみ行った。全ての空間周波数条件において、遠方に defocus したときの閾値と近方に defocus したときの閾値の両方をそれぞれ10回測定した。

また、バンガータフィルタ³⁾によって人工的に低視力にした条件でも、同様の測定を行った。低視力条件は2種類で、2種類の別のフィルタを使って、視力値が約0.1と約0.4になる

ようにした。視力は、それぞれのフィルタと被験者について実測した。なお、低視力条件では、視力が低いために測定できない高周波刺激があった。

2.5 結果と考察

図4に、defocusしても縞が検出できる範囲を各周波数条件ごとに示した。図に明らかなように、検出可能な範囲は空間周波数に依存しており、低周波では高周波よりも検出可能な範囲が広いことがわかった。人工的に低視力にしてもその傾向は同じであった。

バンガータフィルタで人工的にコントラスト感度を下げた結果、検出可能な範囲が変化した。これは縞の検出範囲が観察者の視覚系の感度の違いによって異なることを示している。図1に示したように、defocusに対する周波数応答（物理特性）と、観察者のコントラスト閾（感度特性）が相互作用して検出範囲が決定することがわかる。物理特性は一定でも、人によってコントラスト感度が異なれば⁴⁾、それに

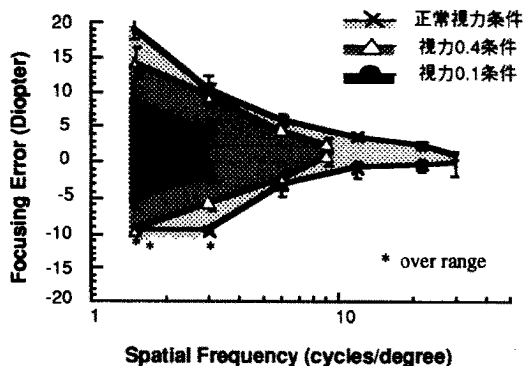


図4 各空間周波数の矩形波を検出できる focusing 範囲

ともなって検出範囲も異なり、感度が低ければ検出範囲は狭くなる関係にあることが分かる。低視力者のピント合わせは、利用できる空間周波数が低いために defocus しても検出できる範囲が広がるという側面と、コントラスト感度が下がるために逆に検出範囲がせばまるという、2つの拮抗する側面を持っていることが分かる。

3. 実験 2

3.1 実験装置

実験 1 に同じ。

3.2 被験者

実験 1 に参加した被験者のうち 3 名。

3.3 実験手続き

被験者は、実験 1 と同様の装置と手続きで刺激を見ながら、ピント合わせ課題を行い、実験者はその時の精度を被験者調整法に従って測定した。この実験でも実験 1 と同じ人工的低視力条件を設け、その影響を調べた。

3.4 実験と考察

図 5 に、各条件での focusing error の平均値と SD を、実験 1 で得られた各条件の検出範囲（灰色の領域）と合わせてプロットした。実際の focusing はかなり正確で、SD によって示されている error の範囲は、実験 1 で得られた検出可能範囲よりはるかに狭いものであった。この傾向は人工的低視力条件でも同様に見える。したがって、少なくとも人工的に低視力にした観察者の場合、縞の検出閾を手がかりにして focus しているとは考えにくいことが分かる。

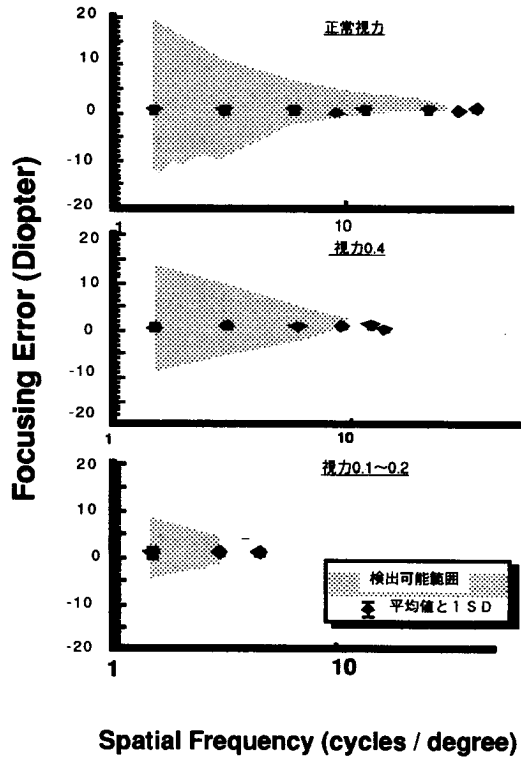


図 5 各空間周波数の矩形波を使ってピント合わせをしたときの focusing error —検出範囲との比較—

検出範囲と同じくらいの大きさの error を比べる図 5 では精度が低すぎるので、条件による error の違いを被験者別にプロットし直すと図 6 のようになる。SD の大きさを視力間で比較すると、視力が低いほど SD は大きくなる傾向がある（一元配置の分散分析、 $F(2,36)=9.61$, $p<0.01$ ）。この結果は、error の範囲が、観察者がどれだけ高い周波数まで利用できるかに依存することを示唆している。

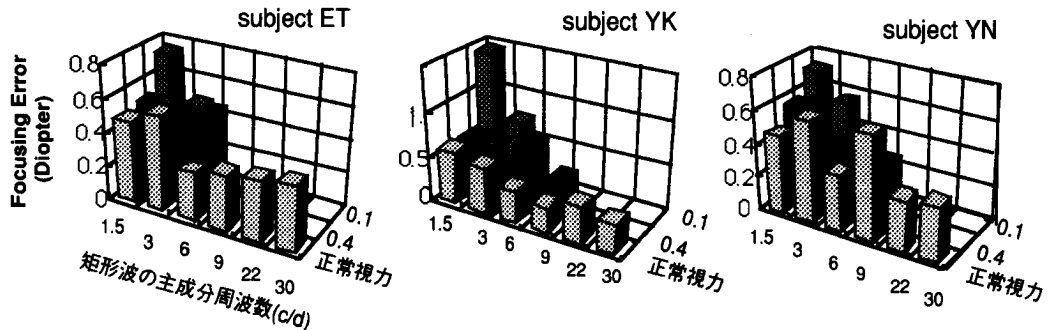


図 6 ピント合わせ課題をしたときの focusing error (SD) の大きさ

刺激の空間周波数による focusing error の違いの比較では、低周波ほど SD は広くなるという傾向は視力間の比較で見られたほど明らかではなかった。この理由として、刺激が矩形波であり、高周波成分を含む多種の周波数成分からなっていたことが挙げられる。同一視力条件内では情報として利用できる最も高い周波数が一定であったため、刺激稿の空間周波数の基本周波数にはあまり影響されなかったのではないかと考えられる。

4. 総合的考察

実験2では、ピント合わせが刺激の検出閾を手がかりにしているのではないことが分かった。これは、観察者が閾上のコントラスト弁別によってピント合わせを行っていることを示唆している。人間のコントラスト弁別の感度は検出感度と違い、空間周波数にそれほど影響を受けないことが知られている⁹⁾ので、ここで見られた空間周波数による focusing error の大きさの違いは、前述した defocus によるコントラストの低下特性の違い(図1)が直接反映していると考えられる。最初に立てた、focusing は検出閾を手がかりにしているという単純な仮定は否定されそうであるが、どちらにしても、低視力者は利用できる空間周波数が低いことで focusing 精度が落ちるのではないかと、という仮定は生き残る。

今後、結論を出すためには、刺激として呈示する視標の空間周波数をより正確に把握するために、視標を矩形波から、Gabor 刺激に改善する必要があると考えられる。また、ここで使った単眼鏡は、拡大効果を出すために2枚の強度レンズを組み合わせて作られている。そのため避けることができないレンズの球面収差が測定値に影響を及ぼしていた可能性が高い。実験結果から導かれた空間周波数間の相対的な比較には問題はなかったであろうが、絶対的な数値として取り扱うためには別の測定装置での確認が必要と思われる。

少なくとも晴眼者の場合、ピント合わせは、

コントラストの弁別感度をもとに行っていることが分かったが、低視力者のコントラスト弁別感度に関する記述は先行研究からは見つけることができなかった。晴眼者と低視力者の間には弁別感度に差があるのだろうか?この点についても今後知見を集める必要があるだろう。晴眼者のみを被験者にした実験からでは、最終的な結論付けは困難であるから、実際の低視力者を被験者にした観察が必須であると思われる。

文 献

- 1) J. Tucker, W. N. Charman and P. A. Ward: Modulation dependence of the accommodation response to sinusoidal gratings. *Vision Research*, 26, 1693-1707, 1986.
- 2) 東京都心身障害者福祉センター: 弱視レンズの選択と指導. 1992.
- 3) 鶴飼一彦, 波呂栄子: パンガータフィルタによるコントラスト感度の低下. *Vision*, 4, 71-72, 1992.
- 4) 小田浩一, 橋本千賀子, 池谷尚剛, 谷村裕: 低視力者のコントラスト感度(CSF)の測定. 第17回感覚代行シンポジウム発表論文集, 71-74, 1991.
- 5) M. A. Georgeson and G. D. Sullivan: Contrast constancy: deblurring in human vision by spatial frequency channels. *Journal of Physiology*, 252, 627-656, 1975.