

資 料

視標のコントラストが視力に及ぼす効果 —弱視シミュレーション下における見え方の特性の視点から—

渡邊 正人*・佐島 毅**・柿澤 敏文**

視力検査視標のコントラストが視力に及ぼす効果を明らかにすることを目的として、弱視シミュレーションレンズを用いて晴眼者20名に視力検査を実施した。弱視シミュレーションとして、屈折異常条件と混濁条件を設定した。視力検査は、コントラストポラリティが異なる視力検査表と対比視力表を用いて実施した。その結果、屈折異常条件と混濁条件について、コントラストポラリティが黒背景に白文字条件の方が白背景に黒文字条件よりlogMAR値が有意に低いことが明らかとなった。対比視力表についてのlogMAR値は、屈折異常条件ではコントラストレベルが51.6%と31.6%の間ならびに17.8%と10%の間に、また、混濁条件では51.6%、31.5%、17.8%、10%の間にそれぞれ5%水準で有意差が認められた。以上より、弱視シミュレーション下の見え方は、コントラストポラリティでは白黒反転効果があり、コントラストレベルではコントラスト感度に影響を受けることが示唆された。

キー・ワード：コントラスト 視力 弱視シミュレーション

I. はじめに

視力や視野等の視機能の評価は、弱視者一人ひとりの見え方を把握し個に応じた指導を行う上で基本的な実態把握の領域となる。特に視力は、どの程度の細かいものが見えるかを表す指標として、見え方を把握する上で最も基本となる視機能である(所・山下, 2000)。

ところで、視力は高コントラスト視標における高空間周波数の検出限界と定義できる(高橋, 2004)。しかし、日常生活においては視対象のコントラストは必ずしも高いものばかりではなく、視力は見え方の特性の一部を表す指標といえよう。見え方の特性を包括的に示す指標の一つに、コントラスト感度関数(Contrast Sensitivity Function; CSF)がある。CSFはコントラ

スト感度¹⁾を空間周波数ごとに調べたもので、視空間処理特性を表している。

原田(1990)は、白内障におけるCSFを測定し、すべての空間周波数領域においてコントラスト感度が低下することから、まぶしさが感じられる環境下では想像もつかないほどの見えにくさがあると指摘している。さらに、大脳皮質など中枢の異常では高い空間周波数領域の感度が低下すること、視神経萎縮、緑内障では中間の空間周波数領域の感度が低下すること、黄斑変性や屈折異常では低い空間周波数領域の感度が低下することから、眼疾患によって特定の周波数領域でCSFが低下していることも指摘している。また、小田・橋本・池谷・谷村(1991)は、弱視者15名のCSFを測定したところ、緑内障の対象者では中・低空間周波数帯域でCSFが低下するなど、眼疾患に特徴的な感度低下のプロファイルをみることができたとしている。

* 千葉県立千葉盲学校

** 筑波大学大学院人間総合科学研究科

CSFは視力だけでなく読書速度にも影響を与え、透光体混濁では読材料のコントラストの強調が読書速度の維持に効果的であることが明らかになっている (Rubin and Legge, 1989)。

このように、弱視者は視対象のコントラストレベル²⁾が見え方に及ぼす影響が大きいだけでなく、個々の眼疾患によってその影響が異なっている。すなわち、高コントラスト視標による通常の視力が同じであっても、視対象のコントラストレベルが変化すると眼疾患固有の特性によって見え方が大きく違ってくるのである。

また、コントラストレベルだけでなくコントラストポラリティ³⁾の変化が弱視者の見え方に影響を及ぼすことも指摘されている。すなわち、透光体に混濁のある弱視者は白黒反転 (黒い背景に白文字) で文章を提示すると、反転をしない場合に比して読書速度が有意に向上すること (中野, 1991)、視力に及ぼす白黒反転の効果は眼疾患によって異なること (中野・千田・大城・木塚・小田, 1991) が明らかになっている。

このように、視対象のコントラストレベルおよびコントラストポラリティの変化は、弱視者の見え方に影響を及ぼすと同時にその影響は眼疾患固有の特性により異なる。以上の点から、眼疾患の特性ごとにコントラストと見え方の関係を明らかにすることは、見やすい学習環境や教材・教具の作成などの教育環境の整備において重要である。一方、これまでの研究においては眼疾患の特性によってコントラストの変化の影響が異なることは明らかにされているものの、対象者の眼疾患や視力の程度が多様であるため、眼疾患の特性とコントラストポラリティとコントラストレベルの変化が視力に及ぼす影響について、統制された条件下における検討は十分にされていない。

そこで本研究では、視標のコントラストが視力に及ぼす効果について、弱視シミュレーション条件下における見え方の特性の視点から明らかにすることとした。具体的には、透光体混濁と屈折異常の弱視シミュレーション下においてコントラストポラリティとコントラストレベルが視力に及ぼす効果を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は知的障害を伴わない成人の晴眼者20名を対象とした。被験者の年齢は、平均37.1歳 (28歳～52歳) であった。

2. 弱視シミュレーションの方法

本研究では、シミュレーションレンズトリアルを用いて透光体混濁および屈折異常の2条件の弱視シミュレーション下で行った (Table 1)。測定は片眼で行い、他方の眼は遮蔽した。また、シミュレーションレンズを装着しない通常視条件の状態でも測定を行った。日常的に眼鏡やコンタクトレンズを装着している被験者については、測定時も眼鏡やコンタクトレンズを装着した上で弱視シミュレーションを行った。被験者全員を視力1.0に正視化することについては、矯正の有無にかかわらずレンズの調整・変更と疲労度の点から行わないこととした。

屈折異常条件では、弱視シミュレーションレンズトリアル (アサクラメガネ製) の凹レンズ (-5 D) を装着し、+5 Dの遠視状態とした。凹レンズの装着は、焦点が網膜上に結ばれにくいため、明瞭な像が写らないという屈折異常と類似した特性がある。測定中に被験者が調節して焦点を結ぶことで視力値が向上する可能性があるため、視力検査の測定時間と同様に5分間の休憩時間をとった。その後、B/Wの0.1

Table 1 弱視シミュレーション

	通常視条件	屈折異常条件	混濁条件
シミュレーションレンズの設定	装着なし	-5D	<0.1
対象者数	20名	20名	20名

視標にて再検査を行い、検査開始前の視力値が一定となるように必要に応じて凹レンズ（-7 D）を装着した。透光体混濁条件では、弱視治療用眼鏡箱（＜0.1：リイサー社製）をレンズに貼り付けて使用した。弱視シミュレーションを装着しない通常視条件では、レンズを装着しないままゴーグルをつけるようにした。

3. 弱視シミュレーション研究の位置づけ

弱視シミュレーションは、晴眼者を人工的に低視力状態にしたものであり、実験結果を弱視者の特性の視点から解釈することには留意が必要である。一般に、読書効率や図形認知の効率においては知的能力や学力・学習経験への依存が高いため、弱視シミュレーションによる実験結果と弱視者の視覚特性との関連性に乖離がおきやすいと考えられる。一方、視力などの閾値や生理学的視標の測定においてはシミュレーションをした視覚特性が反映されやすいと考えられる。また、実験条件の統制という点においては弱視者の見え方の状態は個々に異なり同じ眼疾患であっても多様であるため、弱視者を対象として見え方の状態をコントロールすることには限界がある。

以上のようなことから本研究は、人工的な低視力状態という研究の限界を前提とした上で、知的能力や学力・学習経験に依存しない視力という閾値を測定し、弱視者を対象とする場合には実験条件の統制に限界のある見え方、シミュレーションにより統制して行う実験として位置づけて行った。

4. 提示視標

1) コントラストポラリティが異なる視標

中野ら（1991）が作成した以下のランドルト環視標を用いた。なお、デジタル輝度計（コニカミノルタ製，LS-100）を用いて実測したところ、視標のコントラストは88.4%であった。

①通常の白背景・黒文字ランドルト環視標（black on white；以下B/Wと略す，Fig. 1）

②黒背景・白文字ランドルト環視標（white on black；以下W/Bと略す，Fig. 2）

2) ランドルト環対比視力表

ランドルト環対比視力表（はんだや社製，Fig. 3）の視標のコントラストレベルは、100%、56.2%、31.5%、17.8%、10.0%の5種類であり、コントラストレベルの変化は0.25logステップとなっている（2.0→1.75→1.5→1.25→1.0）。

5. 手続き

通常視条件、混濁条件、屈折異常条件の3条件について、以下の測定を行った。

①コントラストポラリティが異なる視力標（B/W,W/B）における遠見視力（5 m）

②コントラストレベルが異なる視標における遠見視力（5 m）

弱視シミュレーション条件の実施順序は、被験者1～10人目は通常視条件、屈折異常条件、混濁条件、11～20人目は混濁条件、屈折異常条件、通常視条件の順で実施した。なお、各視力検査視標の表面照度をデジタル照度計（トプコンテクノハウス製，IM-2D）によって測定し、

0.05

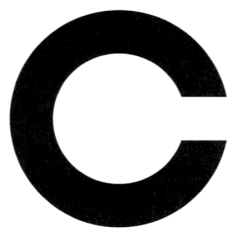


Fig. 1 コントラストポラリティが B/Wの視力検査視標

0.05

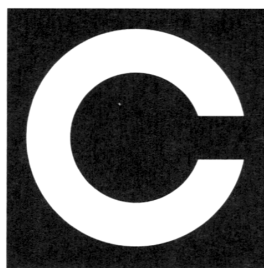


Fig. 2 コントラストポラリティが W/Bの視力検査視標

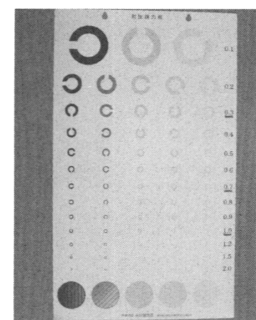


Fig. 3 対比視力表

500~700lxの範囲となるように暗幕およびデスクスタンド（松下電器産業製，SQ810H）によって調整した。視力検査の視標の表面照度は60回の測定の結果、平均549lx（範囲：480~758lx）であった。

6. 分析の方法

各被験者の通常視における視力値に違いがあるため、屈折異常条件および混濁条件のシミュレーション下における視力値は異なる。分析にあたっては通常視条件、屈折異常条件、混濁条件を比較し各条件の見え方の特徴を明らかにするために、弱視シミュレーション条件とコントラストポラリティあるいはコントラストレベルを要因とした2要因の分散分析を行った。

III 結果

1. コントラストポラリティの変化が視力に及ぼす効果

コントラストポラリティが異なる視標による

視力検査のlogMAR値の平均および標準偏差をTable 2に示した。通常視条件、屈折異常条件、混濁条件下におけるlogMAR値を小数視力に換算した値を（ ）内に示した。

通常視条件のlogMAR値は、B/W条件では平均0.07（小数視力値：0.81、以下同じ）、W/B条件では平均0.04（0.88）であった。屈折異常のlogMAR値は、B/W条件では平均0.39（0.25）、W/B条件では平均0.31（0.31）であった。また、混濁条件のlogMAR値はB/W条件では平均1.02（0.09）、W/B条件では平均0.90（0.12）であった。

Fig. 4は、各シミュレーション条件におけるコントラストポラリティ別のlogMAR値の平均を示したものである。シミュレーション条件とコントラストポラリティ条件の2要因の分散分析を行った結果、交互作用が有意であった（ $F(2,38) = 3.74, p < .05$ ）。そこで、各要因の単純主効果を分析した結果、弱視シミュレーション条

Table 2 弱視シミュレーションにおけるコントラストポラリティ別のlogMAR値の平均と標準偏差（N=20）

通常視条件		屈折異常条件		混濁条件	
B/W条件	W/B条件	B/W条件	W/B条件	B/W条件	W/B条件
\bar{X} 0.07	0.04	0.39	0.31	1.02	0.9
(0.81)	(0.88)	(0.25)	(0.31)	(0.09)	(0.12)
SD 0.14	0.12	0.39	0.38	0.12	0.16

※（ ）は小数視力

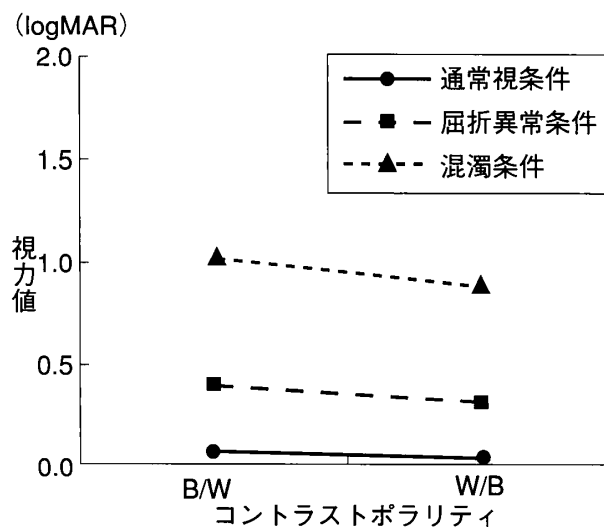


Fig. 4 通常視条件、屈折異常条件、混濁条件におけるコントラストポラリティ別のlogMAR値の平均

視標のコントラストが視力に及ぼす効果

件 ($F(2,38) = 81.66, p < .01$)、コントラストポラリティ条件 ($F(1,19) = 20.62, p < .01$) において有意であった。なお、弱視シミュレーション条件における単純主効果についてはLSD法による多重比較の結果、B/W条件では通常視条件、屈折異常条件、混濁条件の順にlogMAR値が有意に高く ($Mse = 0.06, 5\%$ 水準)、W/B条件では通常視条件、屈折異常条件、混濁条件の順にlogMAR値が有意に高かった ($MSe = 0.05, 5\%$ 水準)。コントラストポラリティにおける単純主効果については、通常視条件でW/Bの方がB/WよりlogMAR値が有意に低い傾向にあり ($MSe = 0.003, 10\%$ 水準)、屈折異常条件と混濁条件でW/B条件の方がB/WよりlogMAR値が有意に低いことが示された (屈折異常条件: $MSe = 0.009, 1\%$ 水準)、(混濁条件: $MSe = 0.006, 1\%$ 水準)。

2. コントラストレベルの変化が視力に及ぼす効果

各シミュレーション条件におけるコントラストレベル別のlogMAR値の平均と標準偏差をTable 3, 4, 5に示した。

通常視条件のコントラストが100%の視標では、平均0.03 (0.88)、56.2%の視標では平均0.10 (0.75)、31.5%の視標では平均0.36 (0.52)、17.8%の視標では平均0.42 (0.35)、10.0%の視標では平均0.63 (0.20)であった。屈折異常条件では、コントラストが100%の視標では平均0.37 (0.28)、56.2%の視標では平均0.36 (0.33)、31.5%の視標では平均0.57 (0.19)、17.8%の視標では平均0.63 (0.17)、10.0%の視標では平均0.87 (0.09)であった。混濁条件のコントラストが100%の視標では平均1.04 (0.09)、56.2%の視標では平均1.10 (0.07)、31.5%の視標では

Table 3 通常視条件におけるコントラストレベル別のlogMAR値の平均と標準偏差 (N=20)

	100.0%	56.2%	31.5%	17.8%	10.0%
\bar{X}	0.03 (0.88)	0.10 (0.75)	0.36 (0.52)	0.42 (0.35)	0.63 (0.20)
SD	0.16	0.14	0.23	0.19	0.25

※ ()は小数視力

Table 4 屈折異常条件におけるコントラストレベル別のlogMAR値の平均と標準偏差 (N=20)

	100.0%	56.2%	31.5%	17.8%	10.0%
\bar{X}	0.37 (0.28)	0.36 (0.33)	0.57 (0.19)	0.63 (0.17)	0.87 (0.09)
SD	0.37	0.32	0.37	0.31	0.46

※ ()は小数視力

Table 5 混濁条件におけるコントラストレベル別のlogMAR値の平均と標準偏差 (N=20)

	100.0%	56.2%	31.5%	17.8%	10.0%
\bar{X}	1.04 (0.09)	1.10 (0.07)	1.40 (0.04)	1.66 (0.02)	1.99 (0.01)
SD	0.12	0.19	0.20	0.20	0.25

※ ()は小数視力

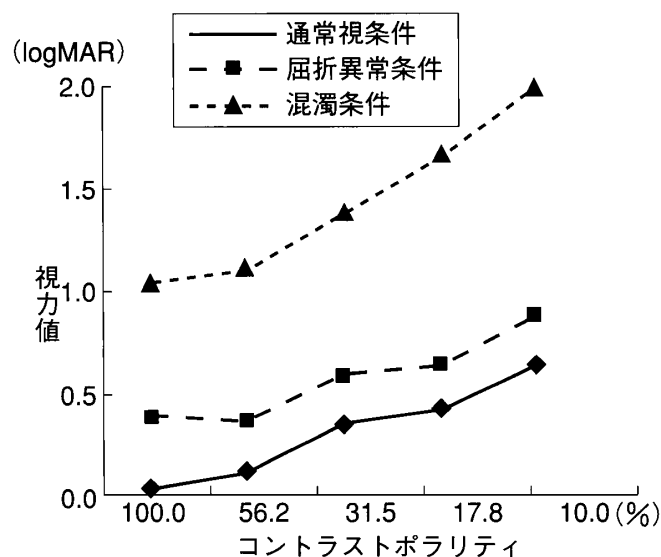


Fig. 5 通常視条件、屈折条件、混濁条件におけるコントラストレベル別のlogMAR値の平均

平均1.40 (0.04)、17.8%の視標では平均1.66 (0.02)、10.0%の視標では平均1.99 (0.01)であった。

Fig. 5は、通常視条件、屈折異常条件、混濁条件別にコントラストレベル別のlogMAR値の平均を示したものである。弱視シミュレーションとコントラストレベルを要因とした2要因の分散分析を行った結果、交互作用が有意であった ($F(8,152) = 7.40, p < .01$)。そこで、各要因の単純主効果を分析した結果、弱視シミュレーション要因 ($F(2,38) = 157.73, p < .01$)、コントラストレベル要因 ($F(4,76) = 209.67, p < .01$)において有意であった。なお、弱視シミュレーションにおける単純主効果については、LSD法による多重比較の結果、各コントラストレベル条件とも通常視条件、屈折異常条件、混濁条件の順にlogMAR値が有意に高いことが示された (100% : $Mse = 0.06, 5\%$ 水準), (56.2% : $Mse = 0.05, 5\%$ 水準), (31.5% : $Mse = 0.06, 5\%$ 水準), (17.8% : $Mse = 0.06, 5\%$ 水準), (10.0% : $Mse = 0.12, 5\%$ 水準)。また、コントラストレベルにおける単純主効果については、LSD法による多重比較の結果、通常視条件および屈折異常条件の平均の大小関係は、100% = 51.6% < 31.5% = 17.8% < 10%であった (通常視条件 : $MSe = 0.02, 5\%$ 水準)、(屈折異常条件 :

$MSe = 0.04, 5\%$ 水準)。混濁条件の平均の大小関係は、100% = 51.6% < 31.5% < 17.8% < 10%であった ($MSe = 0.02, 5\%$ 水準)。

3. 弱視シミュレーションとコントラストの比較

コントラストポラリティのlogMAR値の比較については、通常視条件、屈折異常条件、混濁条件について、W/Bの方がB/WよりlogMAR値が有意に低いことが明らかとなった。また、B/W条件とW/B条件とも、通常視条件、屈折異常条件、混濁条件の順にlogMAR値が有意に高いことが明らかになった。一方、コントラストレベルのlogMAR値の比較については、通常視条件と屈折異常条件ではコントラストレベルが51.6%と31.6%の間ならびに17.8%と10%の間に、混濁条件では51.6%、31.5%、17.8%、10%の間にそれぞれ5%水準で有意差が認められた。

IV 考察

各シミュレーション条件におけるコントラストポラリティおよびコントラストレベルと視力の全体的な関係をTable 6に示した。それによると、通常視条件ではコントラストレベル (高コントラストの視標) が、屈折異常条件と混濁条件ではコントラストポラリティ (W/B条件の

視標のコントラストが視力に及ぼす効果

Table 6 弱視シミュレーション条件におけるコントラストポラリティおよびコントラストレベルと視力の関係

	コントラストポラリティ	コントラストレベル (%)
通常視条件	B/W視標<W/B視標	100=51.6<<31.5=17.8<<10
屈折異常条件	B/W視標<<<W/B視標	100=51.6<<31.5=17.8<<10
混濁条件	B/W視標<<<W/B視標	100=51.6<<31.5<<17.8<<10

※<<<は1%水準、<<は5%、<は10%水準、<の向きは視力値の関係を示した。

視標) およびコントラストレベル (高コントラストの視標) において、視力に及ぼす効果が大きいことが明らかになった。

コントラストポラリティの効果については、混濁条件において白黒反転視力が向上し、Legge, Rubin, Pelli, and Schleske (1985a)、古田・青木 (1989)、中野ら (1991) らの結果を支持するものであった。

一方、コントラストレベルの影響については、通常視条件、屈折異常条件、混濁条件の順にlogMAR値が有意に高く、混濁条件ではコントラストが低くなるにつれて著しい視力低下を示した。また、屈折異常条件では低空間周波数領域に、混濁条件ではすべての空間周波数領域においてCSFの影響を受ける特性をもつ。視力検査は、高コントラスト・高空間周波数の検出限界であるため、混濁条件が最も影響を受けていると考えられる。このため混濁条件では、鵜飼 (1992) の報告と同様に、高空間周波数ほどCSFが低下し視力に影響を受けやすい結果となった。このことは、弱視シミュレーションの混濁条件により被験者のCSFが低下した状況で、コントラストレベルが低下している視標をそれぞれ見たことで視力に大きな影響を与えたと考えられる。

以上のことから、屈折異常条件、混濁条件においてはW/B条件の視標の視力が高いことから、白黒反転を有効に活用することが重要と考える。コントラストレベル別の対比視力表では、CSFに大きく影響を受けるため、高空間周波数 (より小さい視標) ほどコントラストを高める必要があると示唆された。

本研究では、同一被験者によってコントラ

ストポラリティとコントラストレベルが視力に及ぼす効果を検証した。その結果、通常視条件よりも弱視シミュレーション条件の方が影響が大きく、さらに混濁条件においてはその影響が大きいことがあらためて確認された。したがって、単に視力からのみ弱視者の見え方を把握するのではなく、コントラストの視点から実態を把握することが重要であるとともに、眼疾患の特性に応じた学習環境や教材・教具の工夫の必要性が示唆された。

一方、視力のような閾値に対するコントラストポラリティやコントラストレベルの影響と、高度な認知過程としての読書速度や視覚作業課題に及ぼす影響とは異なることが予想される。今後は、この点についてさらに検証していきたい。

謝 辞

弱視シミュレーションによる視力検査の実験を快く引き受けてくださった方々に、御礼申し上げます。

註

1) コントラスト感度関数 (Contrast Sensitivity Function; CSF)

コントラスト感度関数 (CSF) は、高周波数領域から低周波数領域の間における幅広い周波数領域におけるコントラスト識別能力を測定するものである。空間周波数は通常CPD (Cycles Per Degree) という単位で表す。CPDは視角1度 (degree) に黒と白の縦縞の組 (pair) が存在するかを意味する。

2) コントラストレベル

コントラストとは、刺激の濃淡の程度を表す

指標である。De Valois, R.L. and De Valois, K.K. (1988)によると、コントラスト比を表す方法は、Michelsonの定義 $(L_{max} - L_{min}) \div (L_{max} + L_{min})$ をもとに求める。実際には輝度計を用いて実測してパーセンテージで表す。

コントラスト(%) = (最大輝度 - 最小輝度) ÷ (最大輝度 + 最小輝度) × 100

コントラストレベルの値が大きいほど刺激の濃淡がはっきりしている(高コントラスト)ことになる。

3) コントラストポラリティ

Legge, Pelli, Rubin, and Schleske (1985)によるとコントラストポラリティ(contrast polarity)とは、コントラストの極性のことである。高輝度(白)の背景に低輝度(黒)のパターン(black on white; B/W)を提示する条件と低輝度(黒)の背景に高輝度(白)のパターン(white on black; W/B)を提示する条件の違いのことをいう。古田・青木(1989)は、白黒の関係が反転するという意味で白黒反転と呼んでいる。

文 献

- De Valois, R.L. and De Valois, K.K. (1988): *Spatial Vision*. Oxford University Press, 147-175.
- 古田信子・青木成美 (1989): 弱視児の見え方に及ぼす白黒反転の効果. *弱視教育*, 27(2), 6-8.
- 原田政美 (1990): 眼疾患と指導上の配慮 (4) - 先天白内障 - . *弱視教育*, 27(4), 16-23.
- 勝海 修 (2001): 視力について. *東京都眼科医会報*, 175, 3-12.
- Legge, G.E., Rubin, G.S., Pelli, D.G., and Schleske, M.M. (1985): *Psychophysics of Reading. II: Low Vision*. *Vision Research*, 25(2), 253-266.
- Legge, G.E., Pelli, D.G., Rubin, G.S., and Schleske, M.M. (1985): *Psychophysics of Reading. I: Normal Vision*. *Vision Research*, 25(2), 239-252.
- 中野泰志 (1991): 弱視者の視認性を考慮した文字の効果的提示方法 (1) - コンピュータディスプレイでの白黒反転効果 - . *電子情報通信学会技術研究報告*, 91, 15-22.
- 中野泰志・千田耕基・大城英名・木塚泰弘・小田浩一 (1991): 視力に及ぼす白黒反転の効果 - 白黒反転の好みと視力検査の結果の比較 - . *日本特殊教育学会第29回大会発表論文集*, 24-25.
- 小田浩一・橋本千賀子・池谷尚剛・谷村 裕 (1991): 低視力者のコントラスト感度 (CFS) の測定. *第17回感覚代行シンポジウム発表論文集*, 71-74.
- Rubin, G.S. and Legge, G.E. (1989): *Psychophysics of Reading. IV. The Role of Contrast in Low Vision*. *Vision Research*, 29(1), 79-91.
- 所敬・山下牧子 (2000): 目でみる視力・屈折検査の進め方. 金原出版, 37.
- 鶴飼一彦・波呂栄子 (1992): バンガーターフィルターによるコントラスト感度の低下. *VISION*, Vol.4, 71-72.

— 2007.9.5 受稿、2008.10.6 受理 —

The Effect of Chart Contrast on Visual Acuity.
– Characteristics of Two Types of Low Vision Simulation: Blur and Cloudy Media –

Masato WATANABE* , Tsuyoshi SASHIMA and Toshibumi KAKIZAWA****

The study was aimed to clarify the effect that the contrast of the visually acuity test gave to visual acuity. A visual acuity test was carried out to 20 persons (normal vision) with low vision simulation lens. The low vision simulation was set in a blur condition and a cloudy condition. The visual acuity test was performed using two types of visual acuity charts which varied in contrast polarity (white-on-black VS black-on-white chart). As a result, it became clear that in both, blur condition and cloudy media conditions, logMAR value was intentionally lower in the white on black than in the black on white. As for logMAR value of the contrast sensitivity test, a significant difference was recognized at 5% standard between 17.8% to 10% and 51.6% to 31.6% level in the blur condition, and 51.6%, 31.5%, 17.8% and 10% level cloudy media condition. Based upon the foregoing, vanity under the low vision simulation had a monochrome inversion effect on the contrast level, and that the study suggested that sensitivity was effected by the contrast level.

Key Words: contrast, visual acuity, low vision simulation lens

* Chiba Prefectural School for the Visually Impaired

** Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba