

文字構造の複雑さが視知覚しやすい線幅に及ぼす影響 — 白濁フィルタを用いたロービジョンシミュレーションによる検討 —

The effect of structure of character on visibility of line width
— in low vision simulation at blur —

氏 間 和 仁

Kazuhito UJIMA

障害児教育講座

(平成19年10月1日受理)

本研究は漢字を認識できる識別サイズと漢字の構造を確認できる確認サイズを従属変数として、文字構造の混み合い度要因(3水準:単純, 中間, 複雑)と線幅要因(3水準: w_2 , w_3 , w_4)の効果を暗眼状態と白濁フィルタ状態と比較し、特に漢字学習と関係が深いと考えられる確認サイズについて検討した。識別サイズと確認サイズは極限法の上昇系列で求められ5名の実験協力者の平均値で定義された。結果、白濁フィルタ条件下で交互作用がみられた。文字の混み合い度によって識別しやすい線幅が異なることが明らかになった。このことは特にロービジョン児の漢字学習の際に提示する見本の作成に示唆を与えると考えられる。

キーワード: 漢字, 弱視, 構造確認サイズ

1. はじめに

小林ら(2004)は、中ゴシック体で印刷された26漢字を用いて、漢字を識別できる識別距離と、構造を確認できる構造確認距離を調べ、画数が多い漢字ほど識別距離に対する構造確認距離の伸びが高くなることを明らかにした。ここでいう距離はサイズに置き換えることができることから、何の漢字であるか分かる識別サイズと、構造を捉えることのできる構造確認サイズに置き換えることができる。さらに同研究では4種類の線幅のゴシック体で「見」という漢字を印刷し、構造確認距離を調べ、線幅と線分間の幅の d/W 比が1.0の関係が最も構造を確認しやすいことを示した。構造を確認できるサイズは線幅によって規定されることを示した結果である。

種村ら(2006)は、文字の可読性に影響する要因として黒みに着目し、主観的に得られた黒みデータを推定する変数として文字の面積と空間周波数が役立つことを指摘した。ここでいう空間周波数は、文字を構成する線分の混み合い具合(以下、

混み合い度)であり、黒みは混み合い度と面積の両変数で規定されるということになる。

書体を変えて提示したとき、同じ文字では混み合い度がほぼ同等だと仮定すると、同一漢字の線幅の増減は面積や黒みの増減を意味することになる。何種類かの線幅で文字が描かれているとき、黒みが異なり、判読性に影響を与えるが、中でも d/W 比が1.0に最も近い線幅の書体で提示された文字の構造確認サイズは最も小さくなるはずである。また、黒みは面積と混み合い度で規定されるのであれば、混み合い度が異なると構造確認サイズが最小になる線幅も異なることが考えられる。例えば、構造確認サイズが最小になる線幅は、混み合い度が小さい文字では太くなり、混み合い度が大きい文字では細くなるような、混み合い度に規定される最適線幅が存在することが仮定できる。

一方、識別サイズは輪郭情報(小沢, 1983)や、文章中であればプライミング効果(川口, 1985)などが文字の同定に貢献するため、構造確認サイズにおける混み合い度と線幅の関係とは様相を異にすると考えられる。

さらに、白内障や硝子体混濁のように視界が白濁した状態は、ローパスフィルター越しに外界を捉えている状態になり、漢字を知覚の様子が晴眼状態とは異なることが考えられる。先行研究でもカットオフ周波数、漢字サイズ、書体の3つを要因とした研究があり(小田ら, 1993), カットオフ周波数が高いと書体の効果がみられやすいことを明らかにしている。しかし、漢字識別の研究であり、漢字学習と関連が深いと考えられる構造確認については触れられていない。

本研究では混み合い度と線幅を要因とし識別サイズと構造確認サイズを従属変数として混み合い度と線幅の関係を明らかにすることと、これらの関係を晴眼状態と白濁フィルター状態で比較し、白濁状態での特性を明らかにすることを目的としている。このことが支持されれば漢字学習時には混み合い度に応じた線幅や文字サイズを検討する必要性が示されることになる。また、白濁状態で何らかの特徴がみられれば、それを弱視教育に生かすことができると考えている。

2. 実験

2.1 実験協力者

書面で同意を得た 20 から 22 歳の大学生 5 名であった。

2.2 刺激

用いた書体は、学習場面で利用される教科書体(モトヤ製)で線幅が細い方から w2, w3, w4 の 3 通りであった(以下, w2, w3, w4 とする。)。混み合い度は伝統的に画数が用いられるが、1 画は点 1 つから「口」の 2 画目のような 2 ストロークに及ぶものまであり、物理量において幅が大きい。それ以外にも Line Frequency (Najib et al, 2002) や、線分と交点で捉える方法(河井, 1966)などがあるが、前者は測定場所による誤差が大きいし、後者は画数との相関が $r=.93$ であり、画数で代用できると結論されている。本研究では文字を構成するドット数により混み合い度を統制した。線幅が同一のフォントファミリー内の文字であれば面積は空間周波数とも相関が高いことは推測できる。

教育漢字 1,006 字、教科書体 w2, w3, w4 の 3 書体、100 ポイントの漢字を文字別に画像化し、ドット数で降順にランキングした。上位 50 位(複雑群)、下位 50 位(単純群)、300 から 800 位(中間群)に含まれる漢字 10 文字ずつを選び出し、刺激にした。選び出した漢字は、単純群は「七子

Table 1 線幅要因と混み合い度要因別の 10dot² 当たりのドット数の平均値

	K2	K3	K4
単純(N=10)	8	11	15
中間(N=10)	14	19	25
複雑(N=10)	20	27	35

夕士小寸心戸仁穴」、中間群は「色好村表若炭紅栄員章」、複雑群は「構輪鋼輪職観題難臓願」の 30 文字であった。ドット数を Table1 に示した。

漢字は画数が偏らないようにした。空間周波数をドット数で規定したことが妥当であるならば、混み合い度の要因の効果が有意差をもって現れるはずである。用いた書体の例を Fig.1 に示した。

2.3 白濁フィルター

晴眼条件ではゴーグルにガラス板を挿入し、白濁フィルター条件ではそのガラス板にバンガーターフィルター(0.1 の Occlusion Foil フィルター)を貼付した。両条件でゴーグルをかけたのは視野の影響を排除するためである。

バンガーターフィルターの本来の目的は弱視治療であり、数字は統制する小数視力値を示している。同フィルターはロービジョン状態をシミュレーションするのに有効であることが示されていることから(鶴飼ら, 1992), 同フィルターを使用した。シミュレーション下での読書は、ロービジョンの状態で生活してきた人の状態や個々の視覚特性を正確に反映できない点で問題があるが、視覚の状態を統制するための有効な手段の 1 つである。

2.4 手続き

暗順応がおきにくく、通常の学習状況に近い環境である明室で実験を行った。実験協力者の目線の高さの照度は 450 から 500lx であった。実験協力者は顎台で額と顎を固定され、視距離はフィルター無し条件で 3,940mm, フィルター条件で 380

	w2	w3	w4
単純	七	七	七
中間	色	色	色
複雑	臓	臓	臓

Fig. 1 刺激で用いた書体の例
(モトヤKK教科書体 Std)

Table 2 識別サイズの結果（フィルタなし）（単位：分）

	単純			中間			複雑		
	w2	w3	w4	w2	w3	w4	w2	w3	w4
N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
平均値	9.6	8.4	9.5	11.1	10.5	11.9	14.8	13.7	15.7
標準偏差	0.9	0.7	0.3	0.8	0.8	1.8	1.4	1.2	1.6

Table 3 識別サイズの結果（フィルタあり）（単位：分）

	単純			中間			複雑		
	w2	w3	w4	w2	w3	w4	w2	w3	w4
N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
平均値	52.0	46.5	47.1	58.4	53.5	52.1	70.1	69.7	72.1
標準偏差	3.8	5.8	4.6	3.8	5.8	4.6	7.8	6.6	9.1

Table 4 識別サイズの混み合い度×線幅の交互作用の分析表（フィルターあり）

要因	SS(平方和)	df(自由度)	MS(平均平方)	F値
混み合い度 at w2	1678.2127	2	839.1064	22.80 **
(S at w2	993.8610	27	36.8097)
混み合い度 at w3	2840.1527	2	1420.0764	45.46 **
(S at w3	843.3810	27	31.2363)
混み合い度 at w4	3510.0087	2	1755.0044	39.69 **
(S at w4	1193.8810	27	44.2178)
線幅 at 単純	181.7807	2	90.8904	4.24 **
線幅 at 中間	220.3627	2	110.1814	5.14 **
線幅 at 複雑	34.0287	2	17.0144	0.79ns
(S × 線幅	1156.6480	54	21.4194)

+p <.10, *p <.05, **p <.01

Table 5 確認サイズの結果（フィルタなし）（単位：分）

	単純			中間			複雑		
	w2	w3	w4	w2	w3	w4	w2	w3	w4
N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
平均値	13.0	10.9	12.3	16.8	15.9	17.8	22.1	21.1	23.0
標準偏差	1.1	0.9	0.9	1.7	1.4	3.0	2.0	1.7	1.7

Table 6 確認サイズの結果（フィルタあり）（単位：分）

	単純			中間			複雑		
	w2	w3	w4	w2	w3	w4	w2	w3	w4
N	10	10	10	10	10	10	10	10	10
平均値	71.4	61.4	64.7	89.1	74.7	90.5	107.8	108.5	123.7
標準偏差	7.4	5.8	5.2	9.6	10.1	15.3	10.7	11.8	11.3

mmであり、20.1inchTFT液晶に1文字ずつ表示される文字を見た。ディスプレイの解像度は1,600×1,200ドット、96dpiで、ドットピッチは0.255mmであった。背景の平均輝度は158.4cd/

m²、文字の平均輝度は1.9cd/m²であった。文字サイズはフィルター条件は46.1分から、フィルター無し条件は4.5分から始まり、毎秒0.05logUNITで拡大された。文字サイズは「国」の字の

Table 7 確認サイズの混み合い度×線幅の交互作用の分析表（フィルターあり）

要因	SS(平方和)	df(自由度)	MS(平均平方)	F値
混み合い度 at w2 (S at w2	6648.5307 2603.1760	2 27	3324.2654 96.4139	34.48 **
混み合い度 at w3 (S at w3	11795.1287 2742.5010	2 27	5897.5644 101.5741	
混み合い度 at w4 (S at w4	17530.7007 3901.8540	2 27	8765.3504 144.5131	60.65 **
線幅 at 単純	516.4247	2	258.2124	5.38 **
線幅 at 中間	1520.0987	2	760.0494	15.84 **
線幅 at 複雑	1609.2180	2	804.6090	16.77 **
(S × 線幅	2590.6787	54	47.9755)

** p < .01

Table 8 混み合い度における線幅の多重比較の結果（Tukey's HSD test）

単純水準		中間水準		複雑水準	
w2	>	w3	w2	>	w3
w2	=	w4	w2	=	w4
w3	=	w4	w3	<	w4

不等号 p < .05, 等号 n.s.

高さに張る視角で補正された。

実験協力者は、徐々に大きくなる1文字の漢字を見て、何という文字か分かったら、マウスを左クリックし、さらに大きくなる漢字の中で最も複雑な部分の構造がはっきりと分かれて見えたらもう一度マウスを左クリックするように教示された。クリックされた時の視角が極限法の上昇系列で測定され、記録された。使用する書体と漢字は偏らないように割り振られた。

3. 結果

結果は5人分のデータを文字毎に平均し、各文字の識別サイズと、構造確認サイズとした。

フィルターなし条件の識別サイズの結果をTable 2に示した。フィルターなし条件では全ての文字の複雑さにおいてw3条件が最も小さい値になっている。フィルターあり条件(Table 3)はそのような一貫性は認められなかった。

線幅要因（被験者内）×混み合い度要因（被験者間）の2要因の分散分析の結果、フィルターなし条件では交互作用は認められなかった($F(4, 54) = 1.574, p < .194$)。混み合い度の主効果($F(2, 27) = 74.194, p < .001$)と、線幅要因の主効果($F(2, 54) = 29.949, p < .001$)はみられた。

フィルターあり条件の分散分析の結果、混み合い度要因×線幅要因の交互作用は有意傾向であった($F(4, 54) = 2.472, p < .055$)。各要因の単純

主効果を分析した結果、Table 4に示すとおりとなった。つまり、線幅要因の各水準における混み合い度要因の効果は有意であり(1%水準)、単純水準、中間水準における線幅要因の効果は有意であった(5%水準)。Tukey's HSD testによる多重比較の結果、w2とw3、w2とw4の平均の差のみ有意であった(5%水準)。

漢字の細部構造を確認できる、確認サイズの結果をTable 5とTable 6に示した。フィルターなし条件(Table 5)においては、全ての混み合い度においてw3の値が最小値になっているが、フィルターあり条件(Table 6)においては、そのような一貫性は認められなかった。

混み合い度要因（被験者間）×線幅要因（被験者内）の2要因の分散分析の結果、フィルターなし条件では交互作用は認められなかった($F(4, 54) = 2.055, p < .100$)。3種類の線幅の間で、識別サイズの変化のパターンには差がないことを示している。混み合い度の主効果($F(2, 27) = 99.372, p < .001$)と線幅の主効果($F(2, 54) = 22.155, p < .001$)はみられた。

フィルターあり条件における2要因の分散分析の結果、要因間の交互作用がみられた($F(4, 54) = 8.365, p < .001$)。そこで各要因の単純主効果について分析した結果、Table 7のようになった。混み合い度における線幅が確認サイズに及ぼす影響を比較するためにTukey's HSD testによる多重比較を行った結果をTable 8に示した。

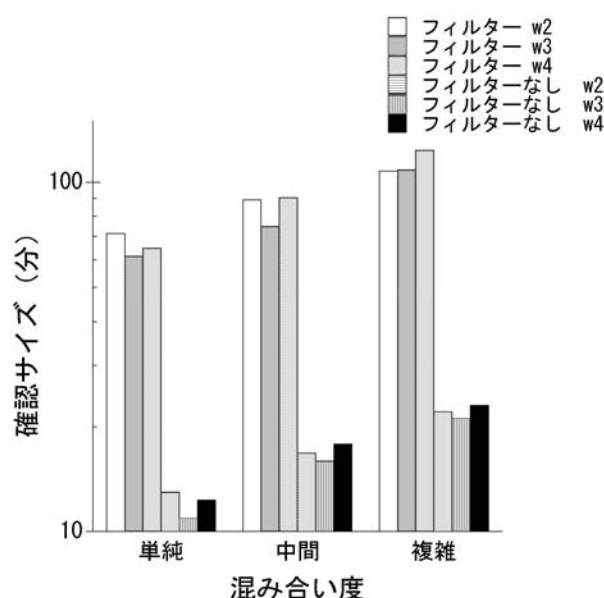


Fig.2 混み合い度要因における線幅水準別の確認サイズ

線幅水準の大小関係を分かりやすくするために Fig. 2 にグラフを示した。確認サイズの大小関係はフィルタなしでは、混み合い度によらず $w2 > w3$, $w4 > w3$ で一貫しているが、フィルタ条件では、単純水準では $w2 > w3$, 中間水準では $w2 > w3$, $w4 > w3$, 複雑水準では $w2 = w3$, $w2 < w4$, $w3 < w4$ となっていた。フィルタ条件では3種類の線幅の間で、識別サイズの変化のパターンには差があることがうかがえた。

4. 考察

フィルタなし条件の識別サイズは、混み合い度要因と線幅要因の間に交互作用はみられなかった。このことは、確認サイズも同様であった。

線幅要因についてみると、晴眼状態の場合、 $w3$ 程度の線幅が他の線幅よりも小さいサイズで、漢字の識別や、漢字構造の確認が可能であったことを示している。今回用いたモトヤ教科書体では $w3$ の d/W 比が 1.0 に最も近い構造をしていたと考えられる。教科書体の場合、ゴシック体のように線幅が安定していないため線幅を規定しにくいですが、本研究では現象面から間接的に d/W 比 1.0 に最近の線幅を確認できたといえよう。

複雑さ要因についてみると、識別サイズ、確認サイズともに複雑さが高まるほどに値が上昇していた。このことから漢字学習の際は構造が複雑な漢字ほど大きめに提示する必要性がうかがえ

る。

フィルタあり条件、つまり白濁シミュレーションでは識別サイズと確認サイズで、混み合い度要因と線幅要因の間に交互作用がみられた。

識別サイズは、漢字の構造が単純、中間では線幅の主効果がみられた。つまり $w3$ や $w4$ がより小さい文字で識別できていた。しかし、構造が複雑な漢字は線幅の主効果がみられなかった。フィルタ下では線分がある程度以上混み合うと、つまり空間周波数が高くなると、漢字を識別するのに線幅の効果が無くなることを示している。逆に構造が単純な漢字は線幅が太めの方が識別しやすい結果であった。白濁状態で、白文字に黒地と黒文字に白地の最小可読閾を比較すると、黒文字に白地の方が大きくなることが分かっている(中野ら 1990)。これは白濁状態では乱反射により明るい光が暗い部分を侵食することが原因と考えられている。今回のフィルタ条件もこの状況と同じである。つまり細い線では周囲の明るい光に侵食され本来の太さよりも細く見えてしまう。この点、太い線はその影響は細い線よりも小さい。このことが作用したためと考えられる。しかし、構造が複雑になり混み合い度が増すとこの効果は表れにくいという結果になった。漢字の構造が複雑なほどぼやけに弱いのだが(小田, 1990), 同時に識別に際してゴシック体, 明朝体, 教科書体の書体の影響を受けにくくなることも知られている(小田ら, 1993)。本研究においても構造が複雑な漢字

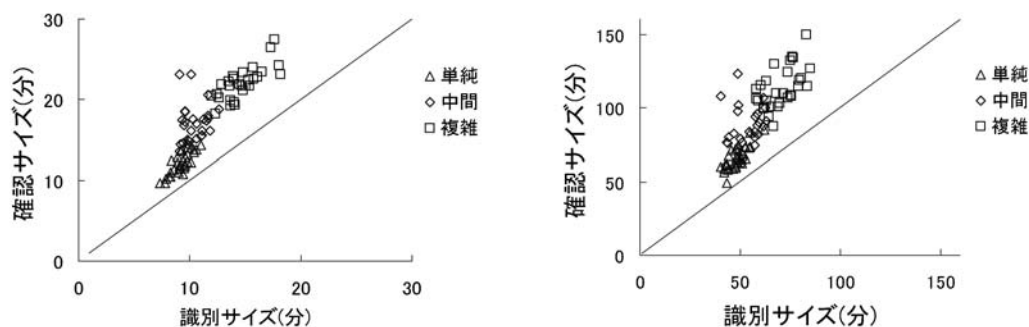


Fig. 3 確認サイズと識別サイズの散布図
左：フィルターなし条件，右：フィルターあり条件

は識別サイズが大きくなり（混み合い度の主効果がみられ）、同時に線幅の主効果が複雑水準でみられなかったことはこれらの先行研究と一致していると解釈できる。

フィルター条件の確認サイズでも交互作用がみられた。つまり、単純水準ではw3の確認サイズがw2よりも有意に小さく、w2とw4、w3とw4の差は有意でなく、中間水準ではw3がw2とw4よりも有意に小さく、複雑水準ではw2とw3がw4よりも有意に小さい結果であった。構造確認サイズなので、線分同士が分離して見える必要がある。この条件が混み合い度で異なったことが反映したと考えられる。つまり、単純構造の漢字ではw2ほどの線幅では周りの明るい光に侵食されやすいため、w3よりも大きいサイズでないと線分を確認できにくいと考えられる。漢字構造が複雑だと、線幅がw4ほど太いとd/W比が小さくなり、明るい光の侵食が起りにくくなるためw2やw3よりも大きいサイズでないと線分同士を分離できなかったことが考えられる。つまり白濁を伴ったロービジョン（教育的弱視）の場合、漢字構造の複雑さに応じて線幅を調整することで漢字の構造を確認しやすくなることを示した結果になったと考えられる。

先行研究と比較するために、識別サイズと確認サイズの散布図を示す(Fig. 3)。小林(2005)によれば、漢字の構造が複雑になると識別サイズに比して確認サイズの伸びが高くなることを観察している。Fig.3に示すとおり、本研究でも複雑さの増加に伴って識別サイズにしろ確認サイズの伸びが高くなっていることが観察できる。この点で小林の結果と一貫していることは、小林が視距離を操作して測定した漢字の識別や確認の現象を、

サイズを操作した本研究でも測定できていると考えられる。

白濁を伴うロービジョンの子どもに漢字を指導する場合、漢字の構造が単純であれば、線幅を太めに設定し、構造が複雑になると線幅を細めに設定することで構造を捉えやすくなることを示唆した結果となった。

参考文献

- 川口潤（1985）漢字知覚における意味的プライミング効果. 教育心理学研究, 56(5), 296-299.
- 河井芳文（1966）漢字の物理的複雑性と読みの学習. 教育心理学研究, 14, 129-138.
- 小林富士男他（2004）視覚特性と漢字識別. 日本産業科学研究所研究報告, 12, 35-39.
- Najib J. et al. (2002) The role of spatial frequency channels in letter identification. Vision Research, 42(9), 1165-1184.
- 中野泰志他（1990）角膜混濁及び白内障を伴う弱視児におけるコントラストポラリティ効果. 日本特殊教育学会 第28回大会発表論文集, 8-9.
- 小田浩一（1990）弱視のシミュレーション(1)－視野のぼけによる文字認識の障害－. 日本特殊教育学会 第28回大会発表論文集, 6-7.
- 小田浩一他（1993）フォントの見やすさ-視力低下がある場合、標準的な3つの書体はどれが一番読みやすいか?. 第2回視覚障害リハビリテーション研究発表大会論文集, 50-53.
- 小沢一雅（1983）漢字の視覚的認識過程における輪郭知覚に関する考察. 交通科学, 12(2), 19-26.
- 種村嘉高他（2006）視覚特性を考慮した文字の黒み推定に関する一検討. 電子情報通信学会技術

研究報告, 106(374), 69-74.

鵜飼一彦他 (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, 4, 71-72.

謝辞

本研究は文部科学省, 平成 18・19 年度科学研究補助金 (若手 (スタートアップ) 課題番号: 18830050) の助成を受けた。

