



テスト刺激と周辺刺激の時間間隔による 色の見えのモード変化

松澤 伸子・池田 光男・石田泰一郎

京都大学工学部建築学教室 〒606-01 京都市左京区吉田本町

(1992年12月28日受付, 1993年5月17日受理)

Temporal Properties of Changing Color Appearance Mode Studied by Changing Stimulus Onset Asynchrony between a Test and Surrounding Stimuli

Nobuko MATSUZAWA, Mitsuo IKEDA and Taiichiro ISHIDA

School of Architecture, Kyoto University,
Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-01

(Received December 28, 1992; Accepted May 17, 1993)

Temporal properties of color appearance mode were investigated by changing stimulus onset asynchrony (SOA) of a central test stimulus and surrounding stimuli between -520 and 520 ms. The stimuli durations were fixed at 300 ms for both test and surround. The central test stimulus was a Munsell color chart, 5 YR 4/8, and the surrounding stimuli was made of eight different color charts. The percentage of responses for object color mode was measured for 3 illumination conditions and 5 spatial separations of the two stimuli. It was shown that the subjects perceived the test stimulus as the object color when both stimuli were presented simultaneously as well as with some onset asynchrony. Percentage of the object color mode response reached maximum at around $SOA = +100$ ms, at which the test preceded the surrounding by 100 ms. The effect of illuminance was found for SOA of negative region. Object color was seen at larger onset asynchronies with higher illuminance level for negative SOA, while no such effect of illuminance was found for positive SOA. The object mode was perceived with high percentage for small spatial separation of the two stimuli, but with low percentage for large separation.

1. はじめに

照明条件が変化すると物の色の見え方が変化する。人間には、もともと刻々と変化する太陽のような自然の照明条件の中でも、ある物を同じひとつのものであると知るための能力がそなわっている。しかし、さまざまな色や形の物体が造られるようになり、照明技術が進歩すると、いままで自然にはなかったような物の見えが生じて、時には人を混乱させるような現象も起こってくる。すなわち色の見えのモードの変化であり、その両極端が光源色モードと物体色モードである。

光源色は、反射体ではなく自己発光の光源があるように知覚する色である。物体色は、物体表面に属している

ように知覚する色のことである。このようなモードの知覚は、そのものが実際に光の色であるか物体表面の色であるかにかかわらず、呈示状態によって変化する得ることが知られている。岡嶋らは周辺刺激の形状などの空間条件、刺激の強度条件などの呈示条件によって表面色や光源色が生じる現象について定量的な研究を行っている^{1,2)}。また、モンドリアンパターンの一部を局所照明して光源色モードを作り出す実験もある³⁾。さらに、Blackwell らは、色誘導の効果が周辺刺激のサイズや刺激間距離によって変化することを示した⁴⁾。しかしこれらはみなスタティックな呈示条件で行われたものであり、時間的に変化する対象のモードの知覚がどうなるかについてはまだ明らかになっていない。例えば、もしあ

一つの色票の周辺に他の色が呈示されるとしても、それらの間に十分に長い時間的ずれがあれば色票は単独で呈示されたと同じことになり、光源色が見えるだろう。また同時に呈示すれば当然物体色が見えるだろう。それならば、同時呈示の状態から徐々に時間間隔を増大させていけばどこかで光源色に変わるはずだと考えられる。ではどの時間間隔で光源色に変化するだろうか。

本研究では、このように周辺刺激とテスト刺激の呈示に時間的なずれを与えるときに、テスト刺激の見えのモードがどのように変化するかという色の見えのモード変化の時間特性を測定した。その際、両刺激の照度条件、刺激間距離の影響もあわせて検討した。この実験手法そのものは従来から行われているメタコントラストの実験と同じである⁵⁾。しかし本研究ではテスト刺激に現れる見えの変化のうちでも色の見えのモードの変化を対象としているのが従来とは異なる点である。

2. 実験

2.1 装置

ある一つの色票をテスト刺激とし、これを取り囲むような周辺刺激を与える。これらを時間的にずらせて呈示し、その呈示時間のずれの大きさを変えてテスト刺激の見えのモードの変化を測定する。

Fig. 1 は実験装置の概略図である。テスト刺激 T と中抜ききの周辺刺激 S は暗幕で囲われた暗室の中にあり、後ろから 2 本の棒 L_T, L_S によって保持されている。これらをそれぞれプロジェクター P_T, P_S によって斜め前方から照明する。P_T および P_S の光路にはそれぞれマスク M_T, M_S が挿入されていて、プロジェクターからの光がテスト刺激のみ、周辺刺激のみを照明するようになっている。被験者は刺激を窓を通して観察するので刺激 T と S のみが暗黒の中に浮かんでいるように見える。

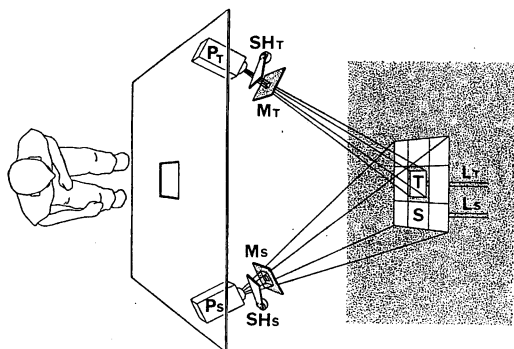


Fig. 1 Scheme of apparatus. See test for detail.

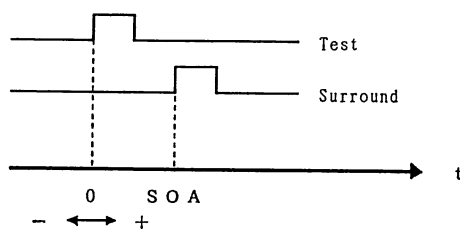


Fig. 2 Temporal relationship between the test and surround.

SH_T および SH_S はタイマーに接続されたソレノイドシャッターであり、これらの開閉によって刺激呈示持続時間と呈示開始時間のずれ (SOA) を制御する。Fig. 2 に示すように、SOA はテスト刺激の呈示開始時刻 (図では 0) を基準としたときの周辺刺激の呈示開始時刻であり、周辺刺激の呈示がテスト刺激に先行するときは負の値、テスト刺激より遅れるとき (図のような場合) は正の値とする。刺激面の照度は中性濃度フィルターで調節する。

被験者は椅子に座り 10 cm × 10 cm の窓から刺激を見る。頭は固定しないが視距離は約 1 m である。

2.2 刺激

刺激にはマンセル色票を使用した。Fig. 3 に刺激の形状を示す。中央の 5 cm 角 (視角 2.9 deg × 2.9 deg) の 5YR 4/8 がテスト刺激、周辺の 8 種類のマンセル色票を貼り合わせたものが周辺刺激である。周辺刺激のサイズは照度条件のみを変える実験 1 では一定とし、実験 2 では刺激の照度は一定として刺激間距離だけを変えた。

テスト刺激に使用した色の選択は、いろいろな色票で予備実験を行ってきた。その中で周辺刺激による光源色から物体色への見えの変化が最も大きく感じられた

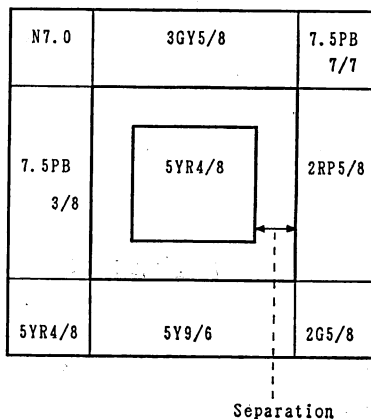


Fig. 3 Stimulus configuration.

Table 1 Specifications of colors of stimuli at illuminance 2200 lx.

Color chart No.	HVC	x	y	$Y(\text{cd}/\text{cm}^2)$	
Surround	1	5 YR 4/8	0.570	0.398	71
	2	5 Y 9/6	0.476	0.442	504
	3	2 G 5/8	0.356	0.514	136
	4	2 RP 5/8	0.482	0.343	151
	5	7.5 PB 7/7	0.380	0.365	213
	6	3 GY 5/8	0.469	0.498	104
	7	N 7.0	0.426	0.404	194
	8	7.5 PB 3/8	0.316	0.296	31
Test	9	5 YR 4/8	0.567	0.400	65

5 YR 4/8 の色票を最終的にテスト刺激に採用した。周辺刺激にはさまざまな色相、明度の色票を組み合わせたものを使用した。Table 1 は刺激に使用した色票のマンセル記号と、これらをプロジェクターで照明した時の色度座標 (x, y) および輝度値 (Y) である。測定にはミノルタ色彩色差計 CS-100 を使用した。プロジェクターの光源はハロゲンランプで、その光色は少し赤みがかかった白色である。テスト刺激の位置に標準白色板を置いてプロジェクターで照明した時の色度座標は (0.425, 0.406) であった。

実験1では、照度条件だけを変化させた。すなわち、テスト刺激の方が周辺刺激よりも照度の低い条件1 (テスト刺激, 900 lx; 周辺刺激, 2200 lx), 両刺激面の照度が等しい条件2 (2200 lx; 2200 lx), 周辺刺激の方が照度が低い条件3 (2200 lx; 900 lx) の3条件について検討した。周辺刺激の幅は 5 cm, 刺激間距離は 1 cm であった。

実験2では、照度条件は条件2 (テスト刺激, 2200 lx; 周辺刺激, 2200 lx) で一定とし、5段階の刺激間距離 (1.0 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.5 cm, 4.5 cm) について検討した。周辺刺激の幅は 3 cm であった。

2.3 手順

刺激の呈示持続時間は両刺激とも 300 ms で一定とした。この長さは予備実験において両刺激を同時に呈示し、呈示持続時間の長さを変えて観察してみて、物体色がはっきりと知覚されるのに十分な長さである。検討した SOA は -520 ms から +520 ms の範囲で 50 ms 間隔の 22 段階とした。実験ではこれらの SOA の中から実験者がランダムな順序で設定する。各 SOA に対し「物体色が見えた」という応答の得られた割合 (%) を計算し、分布を求める。実験では被験者が手元のボタンを

押すとある呈示開始時間のずれ (SOA) をもった刺激が呈示される。被験者はこれを観察して、テスト刺激が物体色に見えたかどうかを判断し、少しでも物体色に見えた場合は “Yes”, 光源色しか見えなかった場合は “No” で答える。1セッション内では照度と刺激間距離の条件は変えず、各 SOA の設定値ごとに計 10 回の刺激呈示がなされる。その所要時間はおおよそ 20 分であった。このようなセッションを各条件とも 5 回ずつ行う。

2.4 被験者

被験者は実験1では NM (23 歳, 女), MI (58 歳, 男), TI (29 歳, 男), HS (25 歳, 男), KM (23 歳, 女) の 5 名, 実験2では NM (23 歳, 女), MI (58 歳, 男), HH (24 歳, 男) の 3 名である。HS, TI, MI はこのような実験に十分な経験があるが, KM, NM, HH ははじめてである。

3. 実験結果

実験1の結果を Fig. 4 (a)~(e) に示す。5人の被験者ごとの3照度条件でのデータである。横軸は刺激呈示開始時間のずれ (SOA) である。縦軸は物体色が見えた確率で、各 SOA につき計 50 回ずつ測定を行ったうち、物体色が見えたと答えた割合である。SOA が正のときは周辺刺激がテスト刺激よりあとに呈示され、負のときは周辺刺激の呈示がテスト刺激に先行する。0は両刺激が全く同時に呈示された場合である。シンボルの違う3本のグラフは照度条件の違いを表しており、△はテスト刺激の方が照度が低い条件1、○は両刺激の照度が等しい条件2、□はテスト刺激の方が照度が高い条件3である。

どのグラフも立ち上がりは急激に上昇してピークに達し、また急激に下降する。このように知覚確率曲線が急激に変化するという事は、光源色に見えた時間領域と物体色に見えた時間領域とがはっきり分かれているということである。この境界は縦軸が 50% の値をとる点であると考えられる。物体色が見える領域はある幅をもった区間になっているので、両刺激が完全に同時に呈示されなくてもテスト刺激は物体色に見えることがわかる。この区間は照度条件や被験者によって差があるが、おおよそ -250 ms から +250 ms の範囲内にある。

被験者 MI(a), NM(b), HS(d) では照度条件による差が大きいものに対して、KM(e), TI(c) ではあまり差がない。しかしいずれの被験者もグラフの上昇側だけに差が現れており、条件 3, 2, 1 の順に物体色に見える範囲が広がるという点では一致している。すなわ

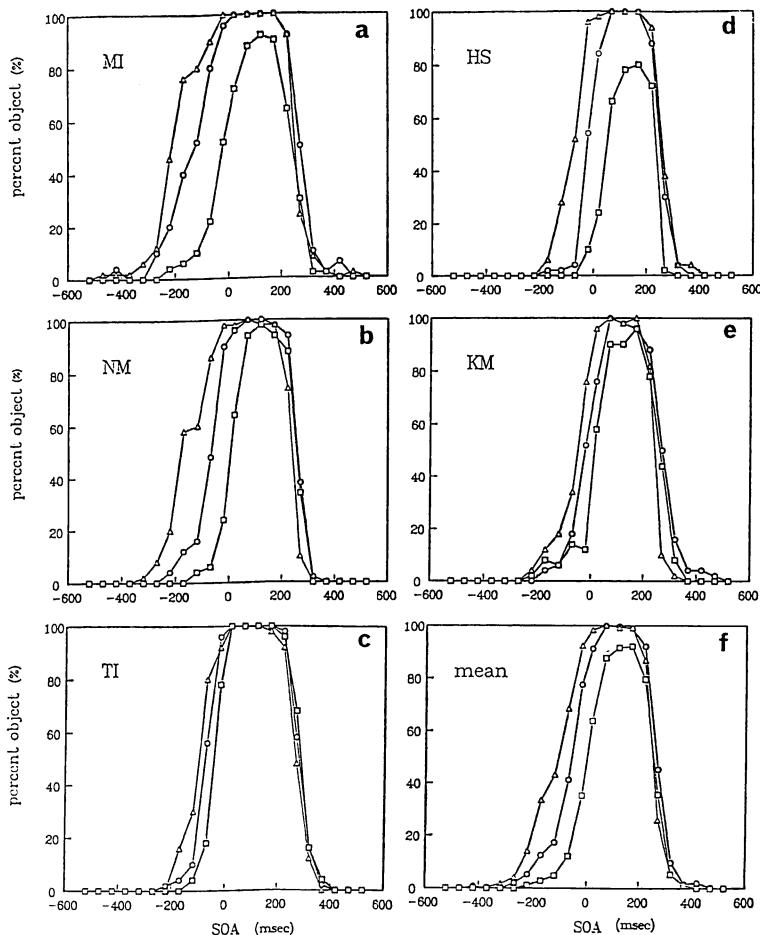


Fig. 4 Percent “object” as a function of SOA(ms) for three illuminance conditions: Δ , condition 1; \circ , condition 2; \square , condition 3. a, subject MI; b, NM; c, TI; d, HS; e, KM; f, mean of five subjects.

ち、テスト刺激に対する周辺刺激の照度が高くなるにつれて物体色に見える範囲が広がるということになる。このことは、テスト刺激に対する周辺刺激の輝度が増加すると周辺効果が増大して見えのモードが光源色から表面色に変わるという岡嶋ら^{1,2)}の結果と一致している。同一照度条件での被験者間の差についても、上昇側ではどの照度条件も 100~150 ms 程度のばらつきがあるのに対して、下降側は条件 3 で少しばらついているものの条件 1, 2 ではよく一致している。曲線のスロープは、下降側の傾きに比べて、上昇側はやや緩やかである。

Fig. 4 (f) は 3 照度条件での全被験者のデータの平均値である。ピーク値はおおよそ SOA が +100 ms にあり、このことは、両刺激が時間的に完全に重なる 0 ms の時よりも周辺刺激が少し遅れて呈示された時に最も物体色が見えやすいことを示している。照度条件による差は上

昇側にだけ現れ、下降側はよく一致している。

実験 2 の結果を Fig. 5 (a)~(c) に示す。3 人の被験者ごとの 5 種類の刺激間距離 (separation) の結果である。(d) は 3 人の平均値である。ここでもピーク値はやはり +100 ms 前後にある。刺激間距離による差はグラフの上昇側、下降側の両方に現れる。刺激間距離が大きくなると物体色に見える範囲は狭くなる。これは刺激が離れたために周辺刺激の効果が徐々に減少したことを示している。

4. 考 察

本実験の結果から、テスト刺激が物体色に見えるのは SOA がゼロの時だけではなく、ある程度の時間的ずれがあってもそれが可能だということが示された。実験 1 および 2 の結果から物体色に見える確率が 50% 以上に

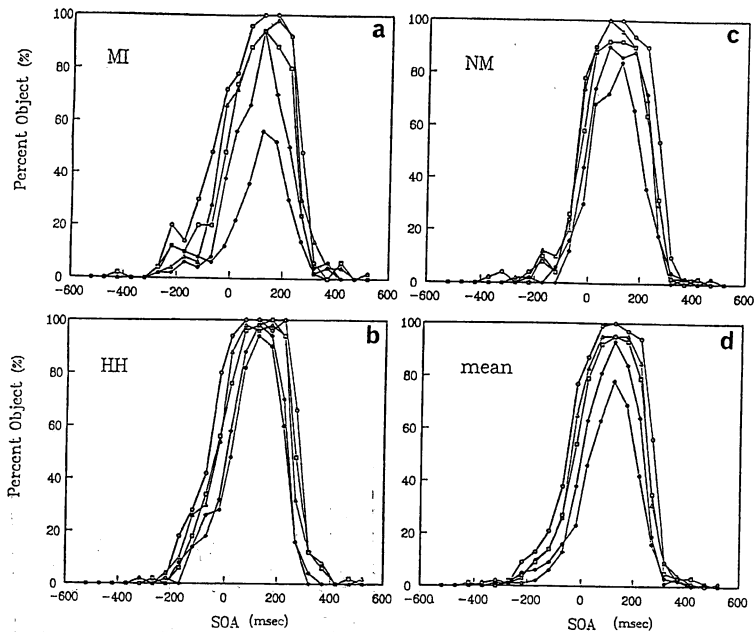


Fig. 5 Percent "object" vs SOA for 5 different separations: ○, 1.0 cm; △, 1.5 cm; □, 2.5 cm; ◇, 3.5 cm; ●, 4.5 cm. a, subject MI; b, HH; c, NM; d, mean of three subjects.

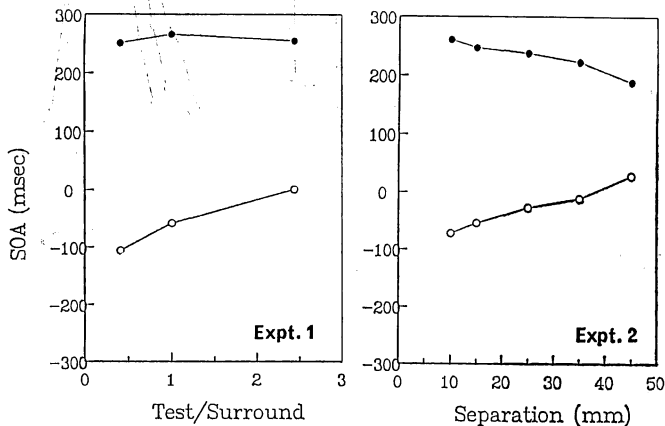


Fig. 6 SOA threshold for object color perception at negative SOA region (○) and at positive SOA region (●). Mean of five subjects (Expt. 1) and three subjects (Expt. 2).

なる SOA の範囲を求め、**Fig. 6** に示した。その境界は上昇側 (○) でおよそ $-100 \sim 0$ ms, 下降側 (●) でおよそ $+200 \sim 250$ ms である。したがって、この区間内の SOA ならば周辺刺激はテスト刺激の見えのモードに影響を及ぼし、テスト刺激を光源色から物体色に変えるのである。またいずれの条件でもモード変化が最大となるピーク値は $+100$ ms 前後にあり、SOA=0 の軸に関して前後非対称である。

モードの知覚のメカニズムが脳レベルのような高次の段階にあるとすれば、周辺刺激とテスト刺激の脳レベルへの伝達速度に差があると仮定すれば SOA がゼロでモード変化が最大にならないことを説明できる。すなわち周辺刺激の伝達速度のほうがテスト刺激の伝達速度よりも速いのであれば、伝達速度の差の分だけ周辺刺激の情報が早く脳へとどきその分早く呈示されたと同じことになるからである。

ターゲット刺激が短時間呈示され、続いてさまざまな時間間隔において空間的に近接したマスキング刺激が呈示されるメタコントラスト実験においても、ターゲットの見かけの明るさへのマスキング効果が +100 ms 前後で最大になるという結果が得られている。これらの研究では、応答が早いチャンネルがマスキング刺激によって活性化され、応答の遅いチャンネルが先行するターゲット刺激によって活性化されるときにこれらの相互作用によってマスキング効果が生じるという説明がなされている⁶⁻⁹⁾。メタコントラスト実験での刺激の輝度条件の影響については、マスキング刺激に対するターゲット刺激のコントラストが高くなるにつれてマスキング効果は減少するという結果が得られている^{5, 10-12)}。この傾向は、ターゲットの照度が相対的に高くなると物体色がみえる割合が減少するという本実験の結果と一致する。また、刺激間距離の影響については、刺激間距離が増大するとマスキング効果は減少するという報告があり本実験での実験結果と一致する一方、刺激間距離によって変化しないというものもある^{5, 13, 14)}。これらのことから、メタコントラスト実験における明るさ抑制効果と色の見えのモードの知覚は何らかの視覚メカニズムを共有しているのではないかと考えられる。あるいは、モードがテスト刺激と周辺刺激との輝度コントラストや明るさによって決まるとすれば、モード変化の時間特性も明るさ抑制効果の時間特性によって決まるのではないかとことも考えられる。しかし本実験では、被験者はあくまで光源色か物体色かというテスト刺激のモードを判定しているのであり、明るさそのものの変化については問題にしていなかった。したがって、モード変化の時間特性は明るさ抑制効果の時間特性と関連性はあるにしても、全く同じかどうかは何らかの方法で確かめられない限りいえないと思われる。

ただ、一つ指摘しておきたいことは、物体色知覚は SOA がゼロの軸に関して前後非対称ではあるが、Fig. 4 や Fig. 5 を見て気づくことは、両刺激に時間的重なりがある -300 ms から +300 ms の範囲内でしか物体色は見えていないということである。したがって物体色が少しでも見えるにはテスト刺激と周辺刺激にある時間以上の時間的重なりが必要なのではないかと考えられる。

被験者の内観で注目されるのは、周辺刺激が後に呈示された場合には観察中にモードが光源色から物体色へ変化するのがはっきりわかる時があったが、周辺刺激が先行した場合に逆の物体色から光源色への変化は全くみら

れなかったということである。このことは前後非対称性に何らかの関係があるのではないとも考えられる。また、被験者が物体色、光源色と判断した色の見え方には各実験条件によってかなりの差があったことにも注意しておきたい。周辺刺激よりテスト刺激の照度が高い条件 3 では、物体色に見えたときの色は明るい茶色であり、周辺刺激の方が照度の高い条件 1 では焦げ茶色の物体色であった。

文 献

- 1) 岡嶋克典, 阿山みよし, 内川恵二, 池田光男: “光源色モードと表面色モードにおける明るさ効率の比較”, 光学, **17** (1988) 582-592.
- 2) 岡嶋克典, 池田光男: “白色光における輝面色モードと表面色モードの見えの定式化”, 光学, **18** (1989) 558-564.
- 3) 池田光男, 本永, 松澤伸子, 石田泰一郎: “色パターンの照明認識視空間と局所照明認識閾”, 光学, **22** (1993) 289-298.
- 4) K. T. Blackwell and G. Bachsbaum: “The effect of spatial and chromatic parameters on chromatic induction,” *Color Res. Appl.*, **13** (1988) 166-173.
- 5) L. A. Lefton: “Metacontrast: a review,” *Percept. Psychophys.*, **13** (1973) 161-171.
- 6) B. G. Breitmeyer and M. Williams: “Effects of iso-luminant-background color on metacontrast and stroboscopic motion: interactions between sustained (p) and transient (M) channels,” *Vision Res.*, **30** (1990) 1069-1075.
- 7) M. C. Williams, B. G. Breitmeyer and W. J. Lovegrove: “Metacontrast with masks varying in spatial frequency and wavelength,” *Vision Res.*, **31** (1991) 2017-2023.
- 8) D. H. Foster: “Interactions between blue- and red-sensitive colour mechanisms in metacontrast masking,” *Vision Res.*, **19** (1979) 921-931.
- 9) R. W. Bowen, J. Pokorny and P. Cacciato: “Metacontrast masking demands on luminance transients,” *Vision Res.*, **17** (1977) 971-975.
- 10) H. H. Matteson: “Effects of surround size and luminance on metacontrast,” *J. Opt. Soc. Am.*, **59** (1969) 1461-1468.
- 11) B. E. Rogowitz: “Spatial/temporal interactions: backward and forward metacontrast masking with sine-wave gratings,” *Vision Res.*, **23** (1983) 1057-1073.
- 12) T. Bachmann: “Time course of the subjective contrast enhancement for a second stimulus in successively paired above-threshold transient forms: perceptual retouch instead of forward masking,” *Vision Res.*, **28** (1988) 1255-1261.
- 13) R. Growney and N. Weisstein: “Spatial characteristics of metacontrast,” *J. Opt. Soc. Am.*, **62** (1972) 690-696.
- 14) J. E. Saunders: “Foveal and spatial properties of brightness metacontrast,” *Vision Res.*, **17** (1977) 375-378.