

自動車運転者の視覚情報処理

阿山みよし*・舟川 政美**

自動車運転中のドライバーは、視覚系、聴覚系、体性感覚系、平衡感覚系からの情報を統合・認識して道路状況を判断し、(一部の危険な人を除いては)その走行環境に適した運転操作を行っている。ここでは最も多くの情報収集を行っている視覚系に関して、有効視野と車載ディスプレイの視認性を取り上げて解説する。大雑把にいうと前者は車外の、後者は車内の視覚情報収集における視覚特性である。なお本稿では「運転」は「四輪自動車の運転」を指す。

1. 有効視野

1.1 有効視野に関する基礎研究

ある点を注視した条件において、標的の検出または形や位置の同定ができる視野範囲を有効視野 (functional visual field) という。有効視野研究の歴史は古く、固視点を注視しながら視野内または視野中に散在する多くの妨害刺激中の単一ターゲット検出という手法により測定された¹⁻³⁾。被験者に課す負荷や注意のかけ方および年齢によってそのサイズや形状が変化することが知られている¹⁻⁵⁾。

1.2 運転に関連する有効視野研究

運転中のドライバーは他の車両や歩行者の動き、信号や標識等を認識し、妨害物は速やかに発見して適切な運転操作をしなければならない。このためには広い有効視野が必要であり、その確保は安全運転の重要な課題である。そこで運転に関連する有効視野研究も活発に行われている。

1.2.1 実走行実験における有効視野測定

Miura は実走行中の運転者の眼球運動測定実験を行い、

フロントガラス上に貼り付けた豆電球のいずれかを点滅させたものをターゲットとし、注視点とターゲットの距離 (周辺反応距離=有効視野サイズを反映) を混雑度の異なる道路状況において測定した^{6,7)}。その結果、道路混雑度の増大に伴い有効視野が縮小することが示された。

1.2.2 Useful Field of View†

高齢者ドライバーの高い事故率が社会問題となっている米国では、Ball らが高齢者ドライバーの安全運転遂行能力の評価指標となりうる視覚特性検査開発という立場から有効視野研究に精力的に取り組んでいる^{4,5,8-12)}。彼女らは、視野サイズ $60^{\circ} \times 60^{\circ}$ の刺激呈示装置を用い、均一な静的視野内または妨害刺激存在中の視野内のどこかに短時間呈示される単一ターゲットの位置同定により測定される視野範囲を総称して UFOV (useful field of view) とよんでいる。UFOV は3種のテストから評価される。第1のテストは、周辺刺激なしで中心の固視ボックスに呈示されるターゲット (自家用車またはトラックのシルエット画、サイズは縦×横= $3^{\circ} \times 5^{\circ}$) を同定できる呈示持続時間を測定する。第2のテストは、1番目と同じ中心視タスクと同時に周辺部に呈示されるターゲットの呈示位置同定能を8方位からの選択で測定する。第3のテストは、第2と同様の中心および周辺視タスクを行うが、周辺部に $10^{\circ}, 20^{\circ}, 30^{\circ}$ の同心円上に配置された47個の妨害刺激 (ターゲットと同サイズの三角形) が存在する条件での測定となる。3種のテスト結果各々を0 (問題なし) から30 (きわめて困難) まで点数化して合計した値 (0~90) を最大視野 (半径ほぼ 30° の範囲) に対する UFOV の低下率としている⁸⁻¹²⁾。

多くの実験の結果、高齢者では、1. 若年者に比べての視覚情報処理時間の遅れ (若年者には周辺ターゲットの方

* 宇都宮大学工学部情報工学科 (〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2)

E-mail: nakatsue@is.utsunomiya-u.ac.jp

** (社)人間生活工学研究センター研究開発部 (〒305-8566 つくば市東 1-1-1 中央第6産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門内)

† UFOV (useful field of view) は Visual Resources Inc. 社の登録商標である。

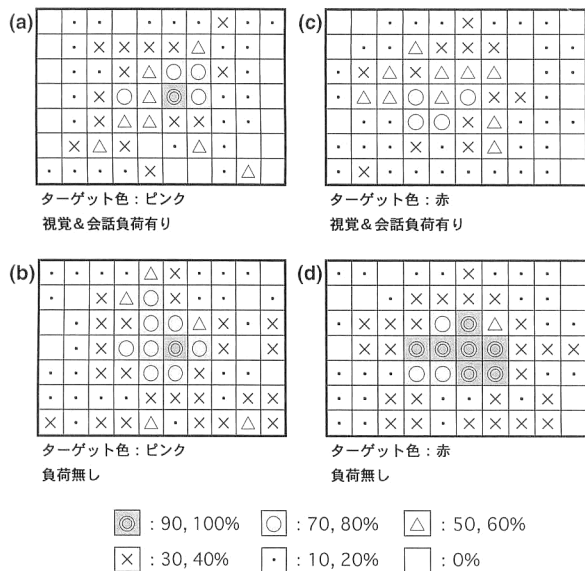


図1 ターゲット位置同定タスクの正答率による有効視野。

位同定が可能な刺激呈示持続時間において、それができない)、2. 周辺部への注意分配能力の低下(中心視タスクの難易度につれて周辺ターゲットの方位同定能が低下する)、3. 周辺部において選択的な注意をかける能力の低下(周辺ターゲットの方位同定能が周辺妨害刺激あり条件で低下する)、という特性があることが示された^{4,5,9)}。高齢者ドライバーの事故歴調査とUFOV測定の結果から、視力やコントラスト感度の低下に比べてUFOVの低下が交通事故発生に深く関与する要因であることが報告されており^{8,10,12)}、BallらはUFOVテストが眼科医やオプトメトリストによる視機能検査に組み込まれて広く普及されるよう主張している⁹⁾。

1.2.3 有効視野への視覚および会話負荷の影響

運転時の携帯電話利用は危険性が高いとして、平成11年秋には走行中の携帯電話等の使用を禁じる規定が施行されたが^{13,14)}、実際には運転中に携帯電話を使用している人は多い。運転時の携帯電話利用には端末操作等の行動的負荷と運転に無関係な会話という認知的負荷の側面がある。阿山らは後者の会話負荷に注目し、運転時有効視野への影響についての実験を行った¹⁵⁾。音声刺激なし、BGM、質問理解、質問への口答という4条件において、走行する自動車から撮影した映像を背景映像(視野サイズ:縦×横=約30°×40°)とし、複数の妨害刺激中の単一ターゲット呈示位置同定タスクにより有効視野を測定した。その結果、3名中2名の被験者で質問への口答条件において有効視野が縮小した。

さらに次の実験¹⁶⁾では、第1の実験で影響のあった質問への口答という会話負荷だけでなく、画面中心に呈示さ

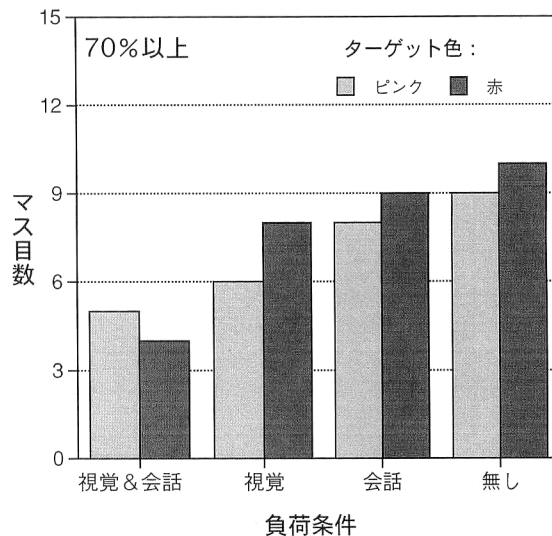


図2 8種の実験条件における正答率70%以上のマス目数。

れた文字を読み取る視覚負荷を加え、有効視野との関係を調べた。この実験では妨害刺激はなく、ほぼ画面全体をカバーする7行10列の仮想的なマス目のどこかにターゲットが呈示された。8種の実験条件(ターゲット色:赤とピンクの2種、会話負荷:有無、視覚負荷:有無の組み合わせ)において、道路走行映像上に短時間呈示されるターゲットの位置同定能を、同時刻の走行映像フレームが表示されている手元のノートパソコン上の該当位置をマウスクリックする方法で測定した。

半径2.0°以内の応答を正答とし、7行10列の各マス目において10試行中の正答率を異なるシンボルで示したのが図1である。ターゲット色赤とピンクにおいて、視覚および会話負荷条件と負荷なし条件の結果である。図2は8種の条件各々における正答率70%以上のマス目数をプロットしたものである。これらの結果から、高精度での位置同定が可能な有効視野は、負荷なし条件で最大、視覚または会話の単独負荷条件でやや狭まり、両方の負荷が同時に課せられる二重負荷条件で顕著に縮小する結果となった。

日常の運転において、携帯電話や同乗者との会話に気を取られ標識や案内板を見落としてしまったことは多くの人を経験しているであろう。上記の研究は運転操作のない実験室条件ではあるが、それを実験的に示した。マウスクリックでのターゲット呈示位置同定という手法は、さまざまなレベルの有効視野分析が可能という利点はある。しかし実走行中の運転者の有効視野測定には適用できない。実走行中の運転者の視覚特性として議論するためには、実走行中実験も含めて刺激呈示や測定手法を工夫した実験が必要である。

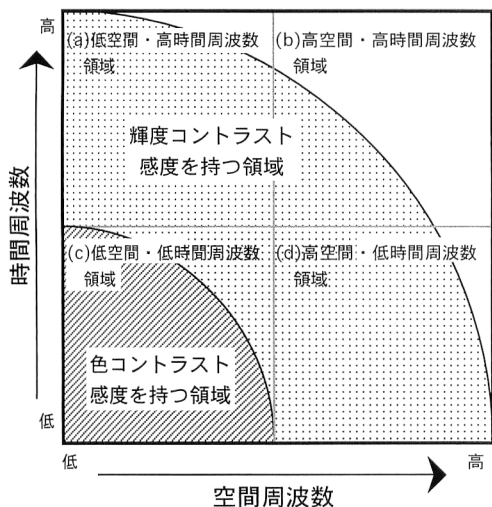


図3 周波数領域における視感度分布。

2. 車載ディスプレイの視認性

われわれの周囲にあるさまざまな製品の高機能化は、ユーザーへの情報提供や操作性向上のためのディスプレイ装置導入を促してきた。自動車搭載用品も例外ではなく、カーステレオやカーナビの高機能化に伴い車載ディスプレイは複数化・大型化し、スピードメーター等基本的な計器類に加えてドライバーに提供される情報量は増加するばかりである。あるシステムが有する機能のわかりやすさ・使いやすさは、ディスプレイの見やすさ（視認性）・理解しやすさに大きく左右される。肉体的負荷が軽減される代わりに、認知的負荷が増大したのでは、誰もその機能を利用しないだろう。高齢者やハンディキャップをもつ人々にも快適な社会生活を、という観点からも、各種情報表示の見やすさ、わかりやすさの向上は、社会的要請といえる。

視覚的な情報呈示の見やすさ・わかりやすさといっても、その意味するところは多様であり、見えやすさ（可視性）、見つけやすさ（誘目性）、読み取りやすさ（可読性）、さらに理解しやすさなど、視覚情報処理過程の階層構造において多層的である。この章では、車載ディスプレイの見やすさ・わかりやすさを実現するための基礎となる考え方を、視覚研究の立場から解説する。ただしディスプレイの設置位置や観察視距離に関しては、視線移動および焦点調節の観点から検討されているが、ここでは触れない。

2.1 周波数領域における視覚特性

われわれを取りまく各種の表示機器が伝える情報は、基本的に輝度コントラスト（明るさの差異）と色コントラスト（色の差異）によって表現されている。日常生活の中で色と明るさを区別することはまれであるが、輝度情報と色情報は視覚情報処理の生理学的な経路が異なり^{17,18)}、処理

経路が違えば処理の性質や視覚における役割は相互に異なってくる。

視覚情報を媒介する輝度コントラストと色コントラストの変化に対する人間の視感度を周波数領域において捉えると、空間分解能と時間分解能のトレード・オフから、図3に示すように高空間・高時間周波数帯域は視感度の範囲外であり、高空間周波数に感度があるのは低時間周波数帯域に、高時間周波数に感度があるのは低空間周波数帯域に限られる。輝度コントラストに対する感度に比べ、色コントラストに対する感度は、低時間・低空間周波数帯域に限られる。昼夜の変化など視野全体にわたるゆっくりとした明暗の変化、黄昏どきの太陽光の色の変化などに気付くのは、主に低空間・低時間周波数帯域における感度のためである。文庫本など印刷された小さな活字を時間の制約なしに読むことは、高空間・低時間周波数帯域における作業である。低視力者の補助として行われる文字の拡大とは、この作業を低空間・低時間周波数帯域でも可能にするための工夫である。また、車の運転時には、低空間・高時間周波数帯域における視覚作業である短時間での読み取りや周辺視での読み取りが要求される。高空間・高時間周波数帯域における感度の欠如は、新幹線の車窓から通過駅の駅名が読めないなどの経験から知ることができる。

2.2 読み取りやすさ（可読性）と見つけやすさ（誘目性）

視覚系には時空間周波数に選択的な複数のチャンネルが存在することが知られており、われわれがディスプレイ上にみる視覚パターンはそれらのチャンネルによって符号化されると考えられている¹⁹⁾。視覚パターンの存否に関係する見えやすさ（可視性）は、低空間周波数帯域における感度とみなすことができる。視覚パターンの形状の読み取りやすさ（可読性）は、中高空間周波数帯域における感度に基づくものであり、可視性と可読性はこの意味で連続している。したがって、視覚パターンを構成する空間周波数成分と観察者の空間周波数に対するコントラスト感度から、可視性と可読性は、ある程度予測可能である。他方、見つけやすさ（誘目性）は可視性・可読性と連続したものとして捉えることはできない。経験則として、色度や輝度、大きさや形状、時間的な変化など、視覚属性のできるだけ多くの次元で周囲と異なっていることが誘目性に関して重要であるが、誘目性を測る共通の尺度はない。

可視性および可読性が高い視覚パターンとはどのようなものか、以下のように考えることができる。視覚パターンを構成する空間周波数成分のうち、相対的に低い空間周波数成分のパワーが可視性を決める。低空間周波数帯域にお

けるパワーが大きいくほど、可視性は高い。文字やアイコンの同定にかかわる帯域は、可視性を決める帯域よりも高く、基本的に形状の複雑さによって文字やアイコンごとに異なっている。高空間周波数に対する観察者の感度は、加齢等に伴う視覚特性の低下²⁰⁾や観察条件の劣化の影響²¹⁻²³⁾を受けやすい。したがって、可読性を決めるのは文字やアイコンの同定にかかわる空間周波数帯域の高低である。ある文字が正しく同定されるために必要な形状の特徴を記述している帯域が低いほど、視覚特性の低下や観察条件の劣化の影響を受けにくいという意味で、可読性が高いと考えられる。言い換えると、低視力で読み取れるほど(すなわち短時間で読み取れるほど)可読性は高い。そして、それはそのまま車載ディスプレイに求められる要件である。

低空間周波数帯域において読み取れる、すなわち低視力でも読み取れる表示が可読性が高いと定義した。どれだけ低い視力で読み取れるかを尺度に、さまざまな条件で文字やアイコンの可読性を評価した実験から、以下の特性が明らかになっている^{24,25)}。

1. 中心視の範囲内で、視覚パターンのサイズ拡大は可読性を高める
2. 同一文字ならば、開口部が大きく開いたオープン書体の可読性が高い
3. 輝度コントラストが等しく輝度極性が異なる明背景暗文字と暗背景明文字では、後者のほうが可読性が高い
4. 可読性に関して文字の線幅には最適値が存在する(数字の場合、文字高の12~16%程度)
5. 背景と文字の輝度極性が同じなら、輝度コントラストの低下、背景輝度の低下は、可読性を低下させるが、輝度コントラストが0.9程度あれば、広範な背景輝度条件で安定した可読性が得られる

先に可読性と誘目性は別個の概念であると述べたが、実際のディスプレイ上の視覚パターンにおいて、誘目性を高める工夫がしばしば可読性を損なう場合がある。文字の太字化は誘目性を高めるが、前述したように可読性に関して文字の線幅には最適値がある。図4に示すように文字やアイコンを枠で囲む工夫も、確かに誘目性を高めるが、枠線を含めて他の輪郭線が近接することは可読性を低下させる。枠線など近接する輪郭線をマスク刺激とよぶと、マスク刺激と記号との距離が近いほど、マスク刺激のコントラストが高いほど、マスク効果は大きい。表示間の干渉においても、同様に考えることができる²⁶⁾。



図4 表示枠の使用例。

2.3 輝度コントラストと色コントラスト

輝度コントラストと色コントラストを十分に確保することは基本であるが、低視力でも短時間で読み取れる表示であるためには、両者をその性質によって使い分ける必要がある。形状の認識を必要とする可読性は、時空間分解能が相対的に高い輝度コントラストに負うところが大きい。表示を構成する文字やアイコン、針など、形状の認識が必須なデザイン要素は、まず第一に輝度コントラストを確保する必要がある。

視力に基礎をおく可読性に関して、低時空間分解能という色覚の性質から色コントラストに多くは期待できない。高い色コントラスト感度は、低時空間周波数帯域に限定されており、輝度コントラスト感度との機能分化を示唆している。ディスプレイ表示の色彩を扱う上で注意しなければならないことは、以下のようにまとめることができる。

1. 色覚の時空間分解能は相対的に低い²⁷⁾
2. 周辺視野において色覚機能は低下する²⁸⁾
3. 色覚異常や加齢に帰因する色弁別特性の低下がある(色覚障害の混同色線²⁹⁾、高齢者の低照明下での第3色覚異常に似た色弁別特性³⁰⁾)
4. 色覚異常や加齢に帰因する波長選択的な輝度知覚の低下がある(2色型第1色覚異常の長波長側、2色型第2色覚異常の短波長側での視感度低下³¹⁾、加齢による短波長域での視感度低下³²⁾)
5. 時空間分解能は赤緑に比べ黄青に対して低い³³⁾。また、輝度コントラストと異なり色コントラストを定量的に扱うための定義や共通の尺度がないことも問題である³⁴⁾

以上の特性を考慮すると、色コントラストと輝度コントラ

ストは相互に代用できないことがわかる。

しかし色コントラストは、視覚探索場面や視野の分節化(ゾーニング)、図と地を比べたときの図になりやすさなどにおいて輝度コントラスト以上の有効性が認められている³⁵⁾。ハザード・スイッチの場所を目立たせたり、ワーニング・アイコンの点灯を知らせたり、複数のスイッチや表示の機能的まとまりを示したりする場合に、色は重要な働きをする。また、危険・注意・安全・正常・異常といった曖昧だが直感的・情緒的な意味を伝え、伝達したい情報内容の理解しやすさの向上にも貢献できる。表示のデザイン作業の中で高視認性を達成するためには、輝度コントラストと色コントラストを、その性質を理解した上で、目的に応じて使い分ける必要がある。

文 献

- 1) F. L. Engel: "Visual conspicuity, directed attention and retinal locus," *Vision Res.*, **11** (1972) 563-576.
- 2) F. L. Engel: "Visual conspicuity and selective background interference in eccentric vision," *Vision Res.*, **14** (1974) 459-471.
- 3) M. Ikeda and T. Takeuchi: "Influence of foveal load on the functional visual field," *Percept. Psychophys.*, **18** (1975) 255-260.
- 4) R. Sekuler and K. Ball: "Visual localization: Age and practice," *J. Opt. Soc. Am. A*, **3** (1986) 864-867.
- 5) K. Ball, B. L. Beard, D. L. Roenker, R. L. Miller and D. S. Griggs: "Age and visual search: Expanding the useful field of view," *J. Opt. Soc. Am. A*, **5** (1988) 2210-2219.
- 6) T. Miura: "Visual search in intersections— An underlying mechanism—," *J. Int. Assoc. Traffic Safety Sci.*, **16** (1992) 42-49.
- 7) 三浦利章: "日常場面での視覚的認知", 認知科学のフロンティアIII, 箱田裕司編 (サイエンス社, 1993) pp. 102-136.
- 8) C. Owsley, K. Ball, M. E. Sloane, D. L. Roenker and J. R. Bruni: "Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in old drivers," *Psychol. Aging*, **6** (1991) 403-415.
- 9) K. Ball and C. Owsley: "The useful field of view test: A new technique for evaluating age-related declines in visual function," *J. Am. Opt. Assoc.*, **64** (1993) 71-79.
- 10) K. Ball, C. Owsley, M. E. Sloane, D. L. Roenker and J. R. Bruni: "Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **34** (1993) 3110-3123.
- 11) C. Owsley, K. Ball and D. M. Keeton: "Relationship between visual sensitivity and target localization in older adults," *Vision Res.*, **35** (1995) 579-587.
- 12) C. Owsley, K. Ball, G. McGwin, Jr., M. E. Sloane, D. L. Roenker, M. F. White and E. T. Overley: "Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults," *J. Am. Med. Assoc.*, **279** (1998) 1083-1088.
- 13) 安部久晃: "走行中の携帯電話等の使用等の禁止について", 月刊交通, 7月号 (1999) 17-25.
- 14) 矢代隆義: "平成11年道路交通法改正について", 月刊交通, 7月号 (1999) 1-2.
- 15) 阿山みよし, 松沢麻記, 目加田慶人, 春日正男: "動的背景上の有効視野に対する音声情報の影響", 照明学会誌, **85** (2001) 105-112.
- 16) M. Ayama, Y. Mekada and M. Kasuga: "Influences of visual and conversation loads upon a functional visual field while driving," *Kansei Eng. Int.*, **1** (2000) 33-38.
- 17) E. A. DeYoe and D. C. Van Essen: "Concurrent processing streams in monkey visual cortex," *Trends Neurosci.*, **11** (1988) 219-226.
- 18) P. Lennie, J. Pokorny and V. C. Smith: "Luminance," *J. Opt. Soc. Am. A*, **10** (1993) 1283-1293.
- 19) B. A. Wandell: *Foundation of Vision* (Sinauer Associates Inc., Massachusetts, 1995) pp. 195-245.
- 20) R. Sekuler, C. Owsley and L. Hutman: "Assessing spatial vision of older people," *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, **59** (1982) 961-968.
- 21) A. von Meeteren and J. J. Vos: "Resolution and contrast sensitivity at low luminance," *Vision Res.*, **12** (1972) 825-833.
- 22) J. G. Robson: "Spatial and temporal contrast sensitivity functions of the visual system," *J. Opt. Soc. Am.*, **56** (1966) 1141-1142.
- 23) M. S. Banks, A. B. Sekuler and S. J. Anderson: "Peripheral spatial vision: Limits imposed by optics, photoreceptors, and receptor pooling," *J. Opt. Soc. Am. A*, **8** (1991) 1775-1787.
- 24) 舟川政美, 小田浩一: "ローパス・フィルタリング法による形状の視認性評価", 照明学会誌, **81** (1997) 438-445.
- 25) 舟川政美: "文字の可読性に関する実験的研究", 照明学会誌, **84** (2000) 785-792.
- 26) 舟川政美: "可読性に影響を与える空間要因に関する実験研究", 照明学会誌, **84** (2000) 793-798.
- 27) K. T. Mullen: "The contrast sensitivity of human color vision to red-green and blue-yellow chromatic gratings," *J. Physiol.*, **359** (1985) 381-400.
- 28) 瀬川かおり, 内川恵二, 栗木一郎: "周辺視野におけるカテゴリカル色知覚", 照明学会誌, **83** (1999) 860-868.
- 29) G. Wyszecki and W. S. Stiles: *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulas* (John Wiley, New York, 1982).
- 30) K. Knoblauch, F. Saunders, M. Kusuda, R. Hynes, M. Podgor, K. E. Higgins and F. M. de Monasterio: "Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test," *Appl. Opt.*, **26** (1987) 1441-1448.
- 31) R. M. Copenhaver and R. D. Gunkel: "The spectral sensitivity of color defective subjects determined by electroretinography," *Arch. Ophthalmol.*, **62** (1959) 55-68.
- 32) J. M. Kraft and J. S. Werner: "Spectral efficiency across the life span: Flicker photometry and brightness matching," *J. Opt. Soc. Am. A*, **11** (1994) 1213-1221.
- 33) 舟川政美: "色コントラストと可読性に関する実験研究", 照明学会誌, **84** (2000) 799-808.
- 34) K. T. Mullen and F. A. A. Kingdom: "Colour contrast in form perception," *The Perception of Colour, Vision and Visual Dysfunction*, Vol. 6, ed. P. Gouras (Macmillan Press, London, 1991).
- 35) 神作 博: "色光の誘目性について", 照明学会誌, **51** (1967) 684-690.

(2001年3月7日受理)