

低酸素脳症の一症例における特異な色同時対比特性

栗木一郎*・仲泊 聡**.* **・北原健二***

* NTT コミュニケーション科学基礎研究所

〒243-0198 神奈川県厚木市森の里若宮 3-1

** 神奈川リハビリテーション病院

〒243-0121 厚木市七沢 516

*** 東京慈恵会医科大学 眼科学講座

〒105-8461 東京都港区西新橋 3-25-8

(受付：2003 年 3 月 31 日；改訂稿受付：2003 年 6 月 17 日；受理：2003 年 7 月 10 日)

A Case of Extreme Simultaneous Color-Contrast in a Patient with Hypoxic Encephalopathy

Ichiro KURIKI*, Satoshi NAKADOMARI**.* ** and Kenji KITAHARA***

* NTT Communication Science Laboratories

3-1 Morinosato-wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa, 243-0198, Japan.

** Kanagawa Rehabilitation Hospital

516 Nanasawa, Atsugi-shi, Kanagawa 243-0121, Japan.

*** Department of Ophthalmology, The Jikei University School of Medicine

3-25-8 Nishi-Shinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-8461, Japan.

(Received 31 March 2003; Received in revised form 17 June 2003; Accepted 10 July 2003)

We conducted a series of tests on color vision for a patient with simultaneous agnosia after cortical damage from cerebral anoxia (hypoxic encephalopathy). He suffered from shape perception in the wide range of visual area; he could perceive only a small part of an object at a time. He showed regular performance in color vision tests, such as panel D-15 test, or color naming tests under D_{65} simulating fluorescent lamp with and without colored glasses (color-constancy test). However, he showed extremely strong color-contrast effect. We conducted a precise psychophysical experiment to investigate the characteristics of his color-contrast effect. He made achromatic adjustments so that the center color patch had almost the same chromaticity as its surround. These results suggest that his regular performance in the color-constancy test could have been realized by the use of local chromatic-contrast signal between the edge of target and its surround, with higher priority than normal observers.

1. はじめに

視覚情報処理の一つの日常的なゴールとして、物体の認識ならびに同定という目的がある。一方、照明光のスペクトルが変化すると、物体の反射する光のスペクトルが変化する物理的な現象が生じる。物体の認識ならびに同定の目

的を達成するには、同一の物体から知覚される色が照明光によって様々に変化することは有害である。しかし、健常者は照明光のスペクトルが変化しても物体から安定した色を知覚することができる。この知覚現象を色恒常性という。

大脳の損傷によって色覚機能を選択的に障害されることが先行研究によって報告されている¹⁻³⁾。

Kennard らの研究によれば、大脳の障害によって一時的に失われた色覚機能は時間とともに回復しているが、20ヶ月を経て回復しなかった機能の一つが色恒常性であった^{1,2)}。これらの知見は2つのことを示している。一つは大脳皮質の限局した部位において色知覚に密接に関連する情報処理が行われていることで、もう一つは色恒常性に関連する情報処理に特化した皮質部位が存在することである。色恒常性に関連する視覚情報処理の部位が後頭葉腹側面において行われていることは、健常者における脳機能計測による研究からも示されている^{4,7)}。

一方で、大脳を損傷することによって形態知覚に障害が生じたにもかかわらず、色覚が影響を受けなかった症例も報告されている^{8,9)}。これらの症例は前述の色覚情報処理と形態の知覚を伝達する神経経路の独立性を別の形で示す知見であると考えられる。ただ、健常者は日常的に個々の物体から色知覚が得られるため、形態と色の情報処理が最後まで独立しているわけではなく、大脳における視覚情報処理の中で改めて統合されていることは明らかである。

今回我々が経験した患者は、低酸素脳症によって大脳損傷を被った結果、形態知覚の障害を訴えた¹⁰⁾。当初は色恒常性を含めた色覚特性に顕著な異常が認められず、先行研究^{8,9)}に類似した形態知覚と色覚の情報処理過程の独立性を示す症例だと考えられていた。ところが予備的な心理物理的色覚検査を行った結果、色同時対比現象の特性が正常被験者と大きく異なる傾向を見せた。

空間的に分布する色覚信号のコントラストによって生じる色同時対比現象は、特に瞬時的な照明光の変化に際して色恒常性を成立させる要因の一つと考えられている^{11,12)}。従って、この患者の症状を詳細に調べることにより、色知覚において空間的な情報の統合が果たす役割を明らかにすることができると考えられる。また、患者は何らかの方法で健常者とはほぼ同等の色恒常性を獲得していることから、患者の色覚特性を詳細に検討することによって、色恒常性の成立

要因について何らかの示唆を得ることができると考えられる。

本研究の第一の目的は、本患者の色覚特性に関する心理物理学的測定の結果を通して、本患者において生じている視覚障害の実態と原因を探ることである。第二の目的は、大脳における形態情報処理と色覚の関係について考察し、色恒常性の空間的な情報処理と色同時対比現象の関係について示唆を得ることである。

2. 医学的所見

2.1 患者および発症

患者は58歳の男性（右利き）であり、強い喘息の発作におそわれ、某大学病院の救急外来に運び込まれたが、心臓が13分間停止し脳が低酸素状態に陥った。その後蘇生したが、視覚的に特異な症状を訴えるようになった。

2.2 眼科的所見

以下の眼科的検査は神奈川県ハビリテーション病院の眼科外来において行われた。神奈川県ハビリテーション病院への紹介状には皮質盲の診断名があった。初診時の視力は、右眼が30 cm 指数弁で、左眼が20 cm 指数弁であった。眼球内には異常所見を認めず、対光反射も正常であった。視野検査をすると図1(a)で黒く塗りつぶした盲点を含む左右20度、上方10度、下方20度くらいの空豆型の見えにくい範囲があった。この範囲ではGoldmann 視野計の明るくて小さいI/4 視標が見えたり見えなかったりした。この範囲で物を見るときの見え方を、患者は「粉がふいたように見える」と表現した。

石原色覚検査表は全表読めなかった。数字をなぞるように指示しても同様であった。ただ、パネルD-15テストは問題なく遂行でき、色相の配列順にも全く誤りが無かった。石原表の第1表も読めないのは視力低下によるものと通常は判断されるが、0.01程度に視力が低下した場合、パネルD-15テストは遂行できても正解は得られない。そこで、十分に時間を掛けて視力を再検査したところ、右眼矯正0.7、左眼矯正1.0の視力を保持している事が判明した。Goldmann 視野検査

において、上方5度付近に空豆型のへこんだ領域が認められるが(図1(b)),この領域において最も良い視力を示したものと考えられる。

訴えの特徴的な点は、色は分かっても形が分からなかったことである。近くで行われた花火大会の花火を病院の窓から見た時の感想を「それまでに見たことのないきれいな花火だった。形がバラバラで色とりどりのすばらしいものであった」と語った。

2.3 画像所見

図1(c)に患者の頭部MRIの画像を示す。局所的な信号変化はみられず、全体的な脳の萎縮が認められる。

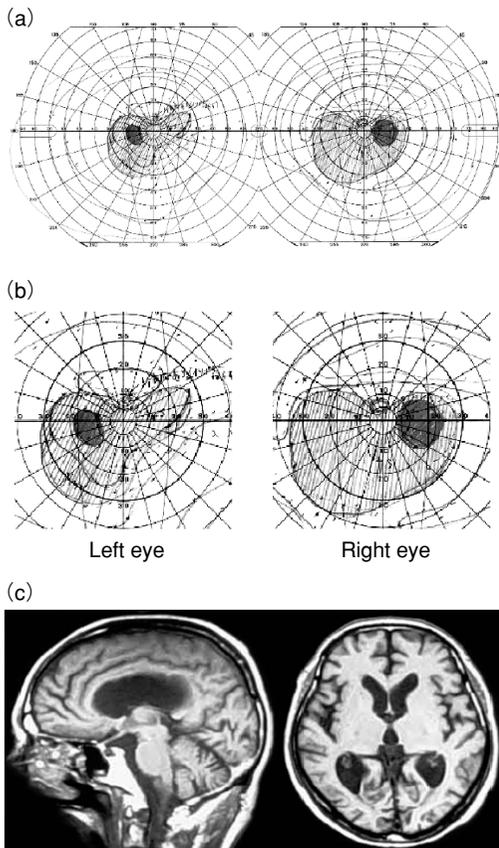


図1 (a) 患者の Goldmann 視野計による検査結果。黒い領域は V/4 視標が見えない視野領域を示し、その周辺の斜線で表した領域は I/4 視標が見えたり見えなかった領域を示している。(b) パネル(a)の中心視野部分の拡大図。中心上方5度付近に残存している視野がある。(c) MRIによる断層像。全体に萎縮がみられるが限局病巣はみられない。

2.4 総合的所見

図形を用いた模写課題、描画課題のいずれの検査についても、例えば魚やトンボの、目と胴体と尻尾をバラバラの位置に描くなど、複数の視対象を同時に認識できず、相対的な位置関係を正しく把握する事ができなかった(文献¹⁰⁾、図2および図3)。その他の検査所見と総合し、同時失認が主症状である、と診断された。

3. 心理物理学的検査(1): 予備的検査

以下の3つの予備検査は、いずれも D₆₅ 模擬蛍光灯 (Toshiba FLR40S-D-EDL-D65/M) 照明下の 神奈川リハビリテーション病院眼科外来診察室 (手元照度約 200 lx) において行われた。ただ、患者にとって刺激を観察しやすい視野位置をさぐりながら行われたため、照度等の条件が完全には統制できておらず、また結果の記録も健常者との比較でのみ記録されており、あくまで定性的な報告にとどまる。ただ、その中で発見された患者の色覚特性を代表していると思われる現象については、改めて暗室において心理物理学的な手順に従い、より詳細に調べた(4節)。

3.1 色名称呼

被験者において日常的に色覚の異常が認められないことを明確にするため、色票による色名称呼検査を行った。色票は灰色 (N5/) 背景上に

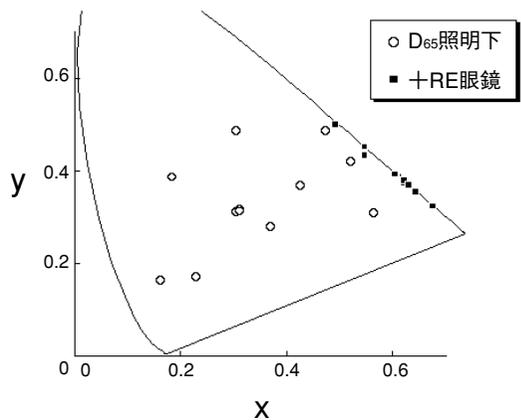


図2 色名称呼実験に用いたマンセル色票(12枚)の色度。○シンボルは、D65模擬蛍光灯照明下での色度(入射光45度、計測角度90度)。■シンボルは色付き眼鏡(HOYA Retinex RE)を通して測光したときの色度。

呈示され、5 cm×5 cm のマンセル色票 12 枚を視距離約 60 cm で呈示し、被験者に色名応答させた。マンセル色票の D₆₅ 照明下での色度を図 2 (○シンボル) に示す。その結果、被験者の回答した色名は健常者と全く変わらない結果を得た。

3.2 色恒常性検査

照明光のスペクトルが変化すると、色票からの反射光のスペクトルが変化すが、その現象を模擬するため、患者に色のついたメガネを装着してもらい、擬似的に瞬間的な照明光の変化を模擬した。メガネを装着した場合としない場合とで 3.1 節で用いたのと同じ色票に対する呼称が変化するかどうかを見ることにより、色恒常

性があるかどうかを確認した。メガネは網膜色素変性症用の遮光眼鏡 (HOYA, Retinex RE) であり、500 nm 以下の波長の光を大きく遮断する特性を持っている ($-3.0 \log_{10}$ unit) が、それ以外の帯域では広い透過特性を持っている。この眼鏡を通した時のマンセル色票の色度を図 2 (■シンボル) に示す。もしも色恒常性が失われていたら、被験者は色度の変化に対応した色名応答の変化を示し、図 2 の色度分布から黄-橙-赤の応答しか得られないことが予測される¹²⁾。健常者が装着すると赤-黄-緑の色味は知覚できるが、青みがほとんど知覚されない。また、視野全体が強いオレンジ色を帯び、メガネを掛けた

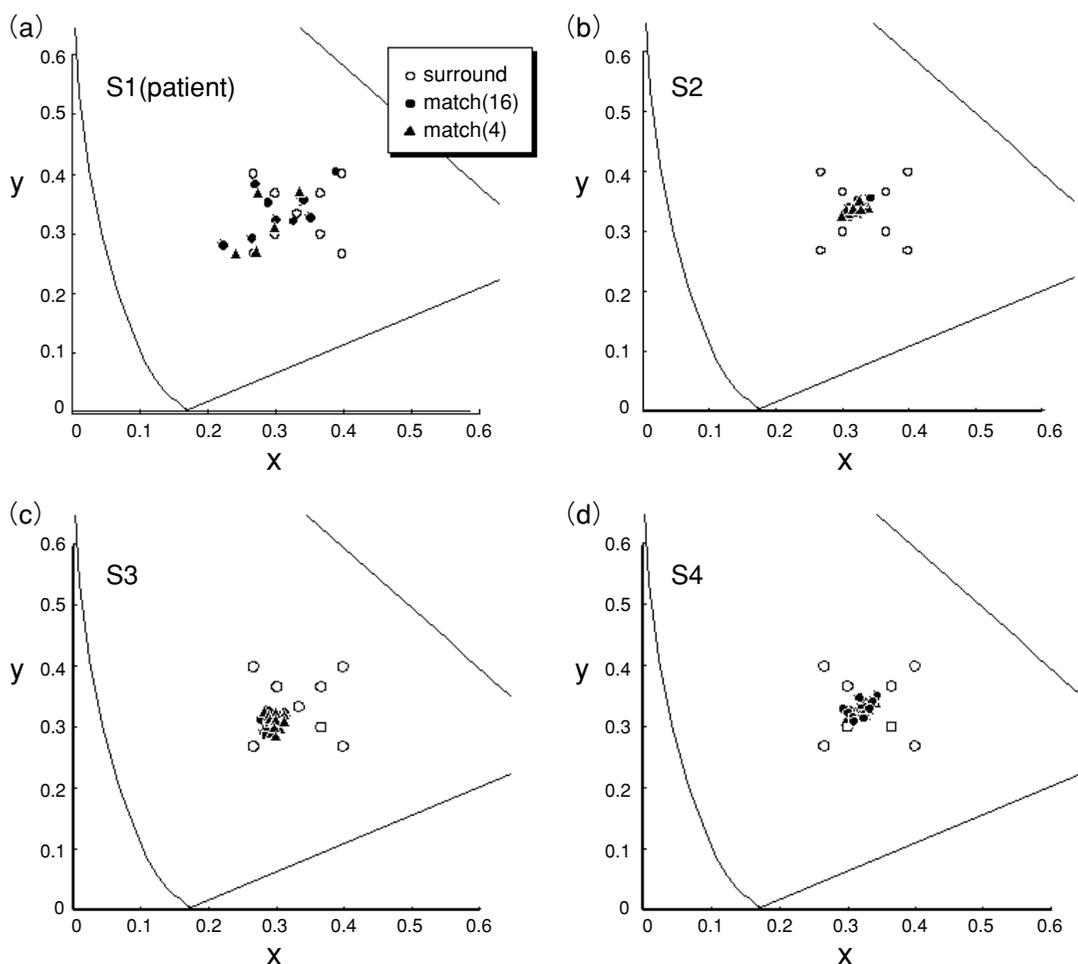


図3 無彩色点の CIE xy 色度。パネル (a) は患者の結果、パネル (b) ~ (d) は健常者の結果。白シンボルは周辺刺激の色度、黒シンボルは被験者の無彩色点 (マッチング結果) を表している。●シンボルは周辺刺激の一辺のサイズが 16 度、▲シンボルは 4 度の時の結果を示している。患者の結果はばらついているが、健常者の結果は一点に固まっている。背景刺激のサイズによる影響は、患者・健常者ともに顕著な傾向が見られなかった。

瞬間にそれまでの色のみえとの違いが非常に顕著になる。物体表面に固有の色知覚 (surface-color perception) と見かけの色知覚 (apparent-color perception)^{11, 12)} との間の乖離がはげしく、色名呼称の際に用いる surface-color 色知覚を報告するのに健常者は困難を要した。

本患者がメガネを装着した状態で 3.1 節と同じ方法による色名呼称の実験を行った結果、健常者と同じ色名を応答したことから、本患者には色恒常性があると考えられることができる。また、本患者がこのメガネをかけた時の行動の特徴として、メガネを掛けた直後から何の戸惑いもなく色の見えを報告した、という点がある。これは、surface-color と apparent-color の二種類の色知覚の間で、健常者のように強い乖離がおきていない可能性を示唆している。

3.3 色同時対比検査

色恒常性の成立要因の一つである同時対比について調べるため、中心-周辺型の刺激図形で、中心領域 (サイズ: 約 2 度 × 2 度) に灰色、周辺領域 (サイズ: 横 × 縦 = 約 8 度 × 6 度) に有彩色をつけて呈示した。

本患者の視力は 2.2 節で紹介した通り、視野の中央付近に比較的小さい視標を視認できる部分があるため、ノート型パソコン (PCG-505R, SONY) の画面に図形を呈示し、患者が自らノート型パソコンを手で持って動かし (視距離約 60 cm) 視野内で最もよく図形が見える部位で観察してもらった。周辺領域に緑色、中心領域に中明度のグレイを呈示したところ、患者は『中心領域は紫色に見える』と報告した。周辺領域の緑色は液晶ディスプレイの原色で、暗室での輝度は 10.1 cd/m^2 、色度は $x = 0.326$, $y = 0.550$ であった。また中心領域のグレイは R, G, B の原色が等デジタル値で、暗室での輝度は 4.09 cd/m^2 、色度は $x = 0.284$, $y = 0.285$ であった。同席した健常者 (SN, KA, IK) にとってはこのグレイの領域は中明度の灰色にしか見えず、顕著な色みは観測されなかった。患者の報告した色は健常者には見られない強い色同時対比を示しており、この特性が患者の色覚特性を代表するものであると考え、心理物理学

的な手順に従ってより詳細に特性を調べることにした。

4. 心理物理学的検査 (2): 色同時対比実験

4.1 装置・被験者

3.3 節における検査を正確に行うため、暗室の中に CRT モニタを設置し、調整法によって無彩色を調べる方法で色同時対比の効果を定量的に測定した。実験装置は Macintosh PowerBook G3/233 (Apple Computer, U.S.A.) と Rage 128 ビデオカード (ATI, Canada)、刺激呈示には GDM-F500 (SONY, Japan) を使用し、BM-5 (TOPCON, Japan) によって予めモニタの輝度/色度特性を校正した。刺激図形は Vision Shell (Micro ML inc, Canada) を用いて C 言語によって作成し、呈示した。R, G, B 各 8 ビットで色度の制御を行った。キーボード操作の 1 ステップは x, y 色度において 0.025 であった。

刺激図形は $80 \text{ pixel} \times 80 \text{ pixel}$ の中心刺激 ($2 \text{ deg} \times 2 \text{ deg}$) と $640 \text{ pixel} \times 640 \text{ pixel}$ ($16 \text{ deg} \times 16 \text{ deg}$) および $160 \text{ pixel} \times 160 \text{ pixel}$ ($4 \text{ deg} \times 4 \text{ deg}$) の 2 種類の周辺刺激である。周辺刺激と中心刺激の間には、1 pixel 幅の黒いギャップが存在する。周辺刺激の色度は xy 色度図上で等エネルギー白色の色度点 (0.333, 0.333) を含む中彩度 4 点と高彩度 4 点の合計 9 点である。健常者と患者のいずれも同一の刺激を提示した。

被験者は患者 1 名と健常者 3 名の合計 4 名である。

4.2 実験手順

健常者の実験を行う場合、被験者が自らキーボードを操作し、提示された図形の中心部にある四角形の色が見えが無彩色になるように調整した。あらかじめ 15 分以上 D_{65} 照明光の下で予備順応し、実験中は照明光を消した状態で各背景色度に対して 1 ~ 2 回の合計 15 回の調整を行った。各試行が終了すると、被験者が次の試行を開始するまで、全画面に D_{65} と同じ色度の四角形 ($16 \text{ deg} \times 16 \text{ deg}$) が提示された。各試行の調整は 1 ~ 2 分で終了したため、周辺視野に対する順応の影響は強くないものと考えられる。

健常被験者であっても、自分が望む色の見えを色度の調整で作り出すためにはある程度の訓練を要する。時間的な制約から、患者が実験を行う場合は実験者（第一著者）がキーボードを操作し、少しずつ色度を操作しては被験者に中心刺激の色名を報告させる方法で実験を行った。いずれの周辺色度条件においても、必ず、赤み、緑み、青み、黄色みを訴える色を1回以上提示し、色度の範囲を狭めながら色味を全く訴えない色度を探った。最終的に決定する前に、必ず、その色度点から少しでもずれると何らかの色味を訴える事を確認した。予備順応の条件は健常者と全く同じである。患者については時間的制約から、30分の検査において全部で15点の実験結果を得た。

5. 実験結果

図3は各被験者の実験結果をCIE xy色度図に示したものである。パネル(a)は本患者(S1)、(b)～(d)は健常者(S2, S3, S4)の実験結果である。それぞれのパネルにおいて●シンボルが背景サイズ16 deg.の場合の結果、▲シンボルが背景サイズ4 deg.の場合の結果を示している。○シンボルは周辺刺激の色度を示している。図3(a)は今回検査した患者の結果であるが、調整点のばらつきが非常に大きく、周辺刺激の色度のひろがりとはほぼ一致している。健常者の結果(図3(b)～(d))を見ると、被験者によって平均的な色度に違いはあるものの、調整点のばらつきが小さく、周辺刺激の色度やサイズの影響はほとんど見られない。

図3では患者の無彩色点と周辺刺激の色度との対応関係が明確ではないが、患者が無彩色点と報告した色度が周辺刺激の色度に近い傾向が見られたことから、患者は周辺刺激と中心刺激の間のコントラストに基づいて無彩色を判断していた可能性が考えられる。そこで無彩色点と周辺刺激の関係をより明瞭にするため、以下のような錐体応答に基づく解析を行った。まず、全被験者が無彩色の見えを報告した時の調整値について、錐体応答間のバランスを表す以下のよ

うな指標を算出した。視覚系の順応度の測定実験における相対錐体荷重^{13, 14)}と同じ原理で、L, M錐体間およびM, S錐体間の錐体応答の比を算出する。

$$k_{ML} = E_M/E_L$$

$$k_{MS} = E_M/E_S$$

$E_{(L, M, S)}$ はL, M, S錐体の応答を示す。錐体応答の算出にはJudd修正等色関数を用いた三刺激値とSmith-Pokorny cone fundamentals¹⁵⁾を用いた。錐体応答の絶対値の正規化は行っていない。背景刺激についても全く同じ手順で k_{ML} , k_{MS} を算出する。この指標は錐体応答間の活動度のバランスの変化を表すものである。この指標を周辺刺激に対する k_{ML} , k_{MS} を横軸に、被験者の調整値を縦軸にとってプロットしたものが図4である。パネル(a)は患者、(b)～(d)は健常者の実験結果である。○と●シンボルは、それぞれ k_{ML} , k_{MS} に対応している。

図4から明らかなように、健常者(S2, S3, S4)の結果は横軸の値に影響されず、シンボルがほぼ水平な軌跡を示すのに対し、本患者(S1)の結果は傾き1の直線に非常に近く分布する傾向を示した。これは、健常者においては周辺刺激の色度が無彩色点に及ぼす影響が小さいのに対し、患者にとって無彩色の見えを知覚する色度が周辺刺激の色度に強く影響されることを示している。図4で示した結果は、患者が無彩色調整の根拠としていた手がかりが周辺刺激と中心刺激の間の色コントラストである可能性を強く示唆していると考えられる。傾き1の直線から逸脱した点としてプロットされているのは、紫色の周辺刺激に対してシアンを無彩色点と報告した場合に相当する。これらの逸脱点については、サンプル数が少なく一定の傾向を読み取ることが不可能だったことから、今回はその因果関係を明らかにすることはできなかった。

6. 考察

6.1 色恒常性と色同時対比過剰との関連

今回検査を行った患者の色覚では、色同時対比実験の結果が明らかに健常者と異なる特性を

見せた。しかしむしろ、それ以外の実験結果では健常者とほとんど変わらない特性を示している点に興味深い。その中でも、色メガネを掛けた際に示した色恒常性と色同時対比実験の結果の関連について考察を試みる。

色恒常性の成立要因としては、色同時対比の起源となっていると考えられる中心一周辺刺激間の錐体応答のコントラストに基づく情報処理、照明環境の変化に対する色順応、予め記憶された色あるいは物体に固有の色といった先験的知識などが挙げられている。

今回実験に用いた色メガネの分光透過率の特性から、このメガネを通した時の色票の測色値はスペクトル軌跡上に分布した。図2に示したとおり、測色的には黄色から赤に掛けての色相しか応答できない色度である。従って、色恒常性が全く失われていたら「緑」という色名応答はあり得ない。しかし、患者はメガネを通して観察した時にも明るい緑の色票を『若草色』と呼んでいたことから、健常者と同じように明るい緑を知覚できていたことが分かる。これはあくまで定性的な傾向であり、用いた実験刺激と実験時間

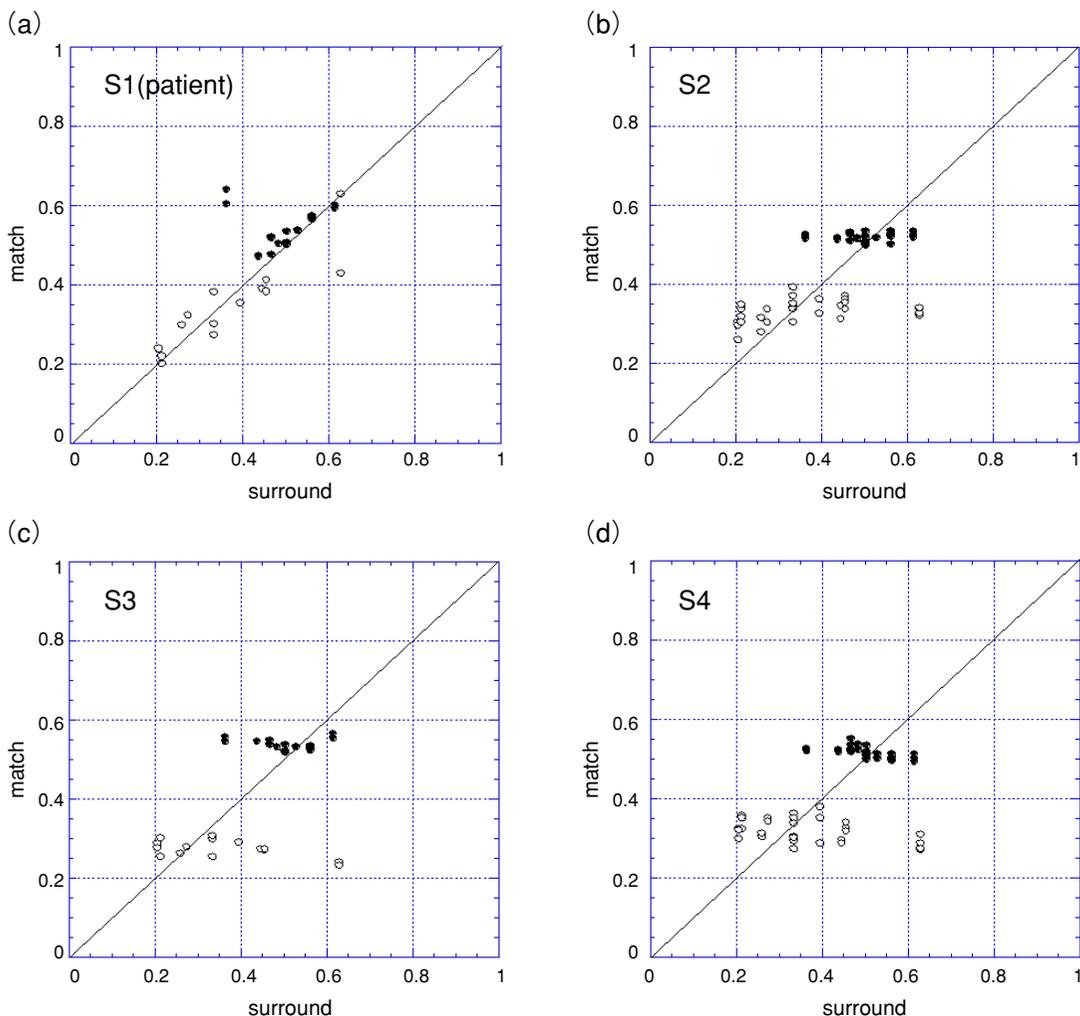


図4 無彩色点(図3)の結果を相対錐体荷重 (k_{ML} , k_{MS})^{11,12)} によって表したもの。パネル (a) は患者の結果、パネル (b) ~ (d) は健常者の結果。横軸は周辺刺激に対する相対錐体荷重、縦軸は被験者のマッチング結果に対する相対錐体荷重。○シンボルと●シンボルは、それぞれ k_{ML} , k_{MS} に対応。周辺刺激の色度に依存した無彩色点の変化がなければパネル (b) ~ (d) のようにシンボルが水平に分布するが、患者の結果はパネル (a) に示すとおりシンボルが傾き1の直線上に乗り、両者に強い正の相関があることを示している。

の制約から、どの程度健常者と同じような色恒常性を保持していたか、という定量的な評価ができなかった。しかし、少なくとも色恒常性が皆無なわけではなく、健常者と同程度の色恒常性を保持していることが示された。本患者と接している間、物体の色に関する通常の会話の中で違和感を覚えることはなかった。しかし、色対比実験を行うと健常者と全く異なる特性を見せた。色対比現象は、テスト視野(中心刺激)とそれを取囲む隣接領域(周辺刺激)との色度の関係から発生する現象であるため、今回の色同時対比実験の結果と色恒常性との関連において注目すべきポイントは中心刺激と周辺刺激との関係であると思われる。

照明光が帯域の広い光である場合、照明光が変化しても隣接する2つの領域間における錐体コントラストの変化は小さいため、中心刺激と周辺刺激の間の錐体コントラストを保持すれば色恒常性が得られることが知られている^{16,17)}。Landはレティネクス理論¹⁸⁾において「赤・緑・青チャンネルのそれぞれで、緩やかな信号変化を無視し、信号のギャップに隣接する領域間において信号強度比を個別に保持すれば色恒常性が成立する」という理論を提唱した。レティネクス理論は隣接する領域との間のコントラストを重要視する理論であるが、レティネクス理論は表面の属性としての色知覚(surface-color)に対応する情報を獲得する方法を提案する理論であり、見かけ上の色(apparent-color)がどのようなものかについては言及していない。したがって、レティネクス理論の結果は、健常者の apparent color の知覚には合致しない。

今回実験を行った患者は、図4に示したように色同時対比における無彩色点の測定で周辺刺激の色度に対して強い依存性を見せた。図4の解析において傾き1の上にシンボルが集中したことは、一部の例外を除いて、患者が無彩色点であると報告した時の中心刺激は、周辺刺激との間のコントラストがほぼ100%の関係にあったことを示している。このことから、本患者が色の見えを判断するにあたって、観察対象とそれに

隣接する領域との間のコントラスト信号を重要視していたことが推測できる。何らかの理由で健常者が日常的に用いている色恒常性処理系の一部を欠損すると同時に、精度の高い視覚情報が得られる視野が狭くなってしまった場合、観察対象物とその隣接領域との間のコントラスト信号に着目するという戦略をとれば、少なくとも surface color の知覚に関しては、健常者とはほぼ同じ色の見えを日常的に実現することができるようになるという示唆をレティネクス理論は与えている。しかし、患者は同時失認の症状を呈しており、空間的に分布する情報を統合する事が困難であったため、患者の視覚系においてレティネクス理論と同一のアルゴリズムが用いられていたとは考えにくい。むしろ、狭い視野範囲における局所コントラスト信号を何らかの方法で活用していたものと考えられる。

Surface-color 知覚と apparent-color 知覚の2種類の色知覚は、有彩色照明光の下における色恒常性を議論する上で重要な概念であることが知られている^{11,12)}。Surface-color 知覚は高い色恒常性を示し、順応の影響を受けず瞬時に成立する²¹⁾。この場合、空間的な物体表面の配置から照明光の手掛かりを得て、色恒常性を達成していると考えられている。一方、健常者の apparent-color 知覚は不完全な色恒常性を示し、順応の影響を受けやすい¹¹⁾。Apparent-color 知覚に変化を及ぼす順応は、照明光の変化から知覚が安定する平衡状態に達するまで5～数十秒掛かることも分かっている^{19,20)}。

健常者は、surface-color 知覚と apparent-color 知覚の間を意思によって切り替えることができるが^{11,12)}、物体の色名を答えるように指示された場合には通常 surface-color 知覚に基づく応答をする¹²⁾。今回検査を行った患者の色恒常性の特徴として、メガネを掛けた直後から色名を応答できたこと、健常者と同程度の色恒常性を示したことの2点が挙げられる。これらの特徴は surface-color 知覚と一致している。局所のコントラストを用いることによって、色恒常性を得ていたと考えれば、瞬時的に色恒常性を得ていた

ことが説明できる。

色メガネを用いた色恒常性実験(3.2節)において、健常者がメガネを掛けた直後に体験する surface-color 知覚と apparent-color 知覚の乖離¹²⁾に伴う戸惑いを患者はほとんど示すことが無く、surface-color 知覚が健常者とはほぼ同じであることが示された。これらのことから、色同時対比特性が健常者と患者とで大きく異なり、患者の結果が周辺刺激とのコントラストに強く依存する結果を示した理由の一つとして、患者の apparent-color 知覚が色知覚に及ぼす寄与が小さかったか、健常者と同様ではなかった可能性が考えられる。健常者の場合、無彩色点調整は apparent-color 知覚に基づいて行われるが、apparent-color 知覚は前述のように順応の影響を強く受ける。第4節の色同時対比実験において被験者の順応状態はできるだけ D₆₅ 照明下と同様に保たれるように統制されていた。健常者の無彩色点調整の実験結果において周辺色の影響が小さかったのは、視覚系の色順応状態が apparent-color 知覚の支配的な要因となっていて、しかも順応状態が D₆₅ 照明下と同様に保たれるように統制されていたことから、空間対比による影響が小さかったためと考えられる。

以上の考察をまとめると、本患者の色覚メカニズムにおける色恒常性検査と色同時対比実験の結果は以下のような関係にあると推察される。まず本患者の視覚系の状態について考察する。本患者は同時失認の症状を呈しているため、一度に局所的な手掛かりしか用いることができない。これはあくまでも推論にすぎないが、健常者が日常的に行っているような、視野全体に分布している情報を繋ぎ合わせて一つの「内的に矛盾のない視覚世界」を構築しているプロセスが本患者では機能していない可能性が考えられる。一方、患者の視覚系には順応状態によって決定される apparent-color 知覚が存在しないか、あるいは健常者と同じものが得られていない状態であったと考えられる。患者は日常的に健常者とはほぼ同じ色恒常性を要求され、これを達成するために狭い視野の中で得られる局所

的なコントラストを偏重し色の見えの評価に用いた。局所的なコントラストを用いることにより、レティネクス理論のように色恒常性を達成することができる。その結果、行動を観察している限りにおいては surface-color 知覚によって健常者と同程度の色恒常性が得られているものと考えられる。色同時対比実験では apparent-color 知覚に基づく応答を要求されるが、本患者は健常者と同様に順応状態によって定まる apparent-color 知覚を得ることができず、健常者と異なる特性を示したものと考えられる。同時失認によって無彩色の判断に必要な情報が中心窩付近の狭い視野領域に限られたため、患者の無彩色点は主に局所のコントラスト手掛かりに基づいて決定され、また無彩色の判断に有効な視野が狭いことから隣接領域である周辺刺激を照明環境の手掛かりを与える背景と無意識に認識し、健常者と比較して過剰な色同時対比を示したのではないかと考えられる。

6.2 脳損傷部位について

Wechsler の報告例⁸⁾では、形もその物体が何かも知覚できない脳損傷患者(一酸化炭素中毒)が的確にその物体の色を知覚できた、という報告を行っている。この報告に対して、Zeki & Bertels²²⁾は V1 の構造の中で色に対して選択的に反応する blob には、他の領域より多くの毛細血管が分布していること²³⁾を根拠として、blob にあるニューロンは血流量の低下に対して interblob にあるニューロンよりも頑健であるため、形態覚を失っても色覚の損失が少ないという現象が起きる、という考察を行っている。

Wechsler⁸⁾の例と比較して低酸素状態が本患者では軽度であったためか、比較的感度のよい部分が中心視野付近に残存していた(図1(b)および2.2節)。本患者の模写課題において顕著に見られたのは、部分的な情報は比較的正確に模写できるのに対し、部分の情報を統合して全体像を見るという作業を遂行することができなかったという現象である。この現象は書き写しだけではなく、患者の記憶の中にある物体を描くように指示した場合でも同様であった¹⁰⁾。こ

れは、空間的な情報を統合して一つの大きな物体を知覚する機能が損傷を受けていたことが本患者の形態覚異常の主要因であると考えられる。

図1(c)に示したとおり、本患者には全体的な脳萎縮がある以外、特に限局した損傷部位は見られなかった。視覚関連の皮質に血液を供給する大脳動脈からの血流量が低下すると、その末梢に近い部位においてまず先に血流量が低下し、細胞死を生じた結果、機能損傷へとつながることが予想される。すると、後大脳動脈と中大脳動脈の末梢血管が存在する境界にある大脳部位は損傷を受けやすいことになる。それは後頭葉と頭頂葉の境目付近から側頭葉外側部に掛けての領域に分布する。

Rüttigerら³⁾によって、側頭連合野の損傷に伴って色恒常性が選択的に失われた例が報告されている。彼らは、モンドリアン図形(20 deg×20 deg)をC光源と4つの有彩色照明下に置いたときの色票の色度をCRTモニタ上に模擬し、中央に呈示したテスト刺激(2 deg)で無彩色調整を行わせた。その結果、健常者が平均約50%の色恒常性を示したのに対し、脳損傷者は0~25%の色恒常性を示した、と報告した。健常者の色恒常性成立度が50%前後と低いのは、不完全順応に加え、CRTのみの刺激呈示では色恒常性効果が弱くなる事によるものと考えられる。

Rüttigerらの検査した患者ら(主に脳梗塞、外傷、腫瘍)の損傷部位を見ると、片側の側頭葉に集中しており、頭頂葉や後頭葉には顕著な損傷がある患者は少なかった。失語症が認められる患者はいたものの、視力や視野の障害は特に報告されていなかったため、今回の我々が検査した患者との関連を直接議論することは難しい。しかし、Rüttigerらの結果も、例えば空間的に分布する情報を統合するプロセスが欠如していれば、周辺刺激を無視してテスト刺激のみに注目し無彩色に調整していたことが起こり得る。その結果、CRT画面上で模擬した照明光の変化に全く関連なく無彩色を調整するために調整結果として得られた色度がほとんど変化せず、色恒

常性が0%付近という評価になっていた可能性も考えられる。

本研究において検査を行った患者は、石原式色覚検査表を1表も読むことができなかった。このことは同時失認によって空間的な情報の統合が妨げられたため、文字と背景の間を分離する、あるいはそれぞれの構成要素を文字や背景に統合することが不可能であったために生じた可能性が考えられる。石原表を同時失認のスクリーニングに用いることができるという指摘も存在する²⁴⁾。石原表を全く読むことができなくても同時失認を全く示さない症例も存在するが、本患者の場合には、この石原表の検査結果も色の情報を空間的に統合する機能が障害されていることを示唆していると考えられる。

頭頂葉の中で後頭葉との境界に接する領野(下頭頂小葉)では視覚情報の空間的な位置関係などに関連した情報処理が行われていると考えられている^{25,26)}。本患者の主症状が同時失認であることを考慮すると、本患者においては後頭葉と頭頂葉の境目付近から側頭葉外側部に掛けての領域に存在する空間情報処理関連の領野、あるいは側頭連合野の一部が損傷を受けたことによって今回のような症状が発生したと推測することができる。

7. 結論

今回検査を行った同時失認患者は、通常的眼科的な色覚検査において仮性同色表はfailであったが色相配列検査をpassした。そして、通常の色名称課題のみならず、着色メガネを装着した場合の色名称課題にも健常者と全く同じ色名を応答することができた。従って、健常者が経験している色の見えとほぼ同じ感覚を生じていると考えられる。しかしながら、色同時対比検査において健常者と大きく異なる結果を呈し、背景とほぼ同一色にならないと無彩色の見えが得られなかったことから、健常者と同様の色の見えを実現するに当たって、患者の視覚系が中心領域と周辺領域の間の対比を非常に重要視していたと推察される。

謝 辞

本研究を行うにあたり援助をして下さった、NTT 先端技術総合研究所長 東倉洋一博士、ならびに NTT コミュニケーション科学基礎研究所長 石井健一郎博士、同研究所人間情報研究部長 平原達也博士に深く感謝いたします。また、神奈川リハビリテーション病院病院長 山野内忠雄氏にも深く感謝いたします。

文 献

- 1) C. Kennard, M. Lawden, A. B. Morland and K. H. Ruddock: Colour identification and colour constancy are impaired in a patient with incomplete achromatopsia associated with prestriate cortical lesions. *Proceeding of the Royal Society of London B*, **260**, 169-175, 1995.
- 2) A. B. Morland, J. H. MacDonald, K. F. Middleton: Colour constancy in acquired and congenital colour vision deficiencies. *C. M. Dickinson, I. J. Murray and D. Carden (Eds.): John Dalton's Colour Vision Legacy*. Taylor & Francis, London, 463-468, 1997.
- 3) L. Rüttiger, D. I. Braun, K. R. Gegenfurtner, D. Petersen, P. Schönle and L. T. Sharpe: Selective color constancy deficits after circumscribed unilateral brain lesions. *Journal of Neuroscience*, **19**, 3094-3106, 1999.
- 4) D. J. McKeefry and S. Zeki: The position and topography of the human colour centre as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Brain*, **120**, 2229-2242, 1997.
- 5) S. Zeki and L. Marini: Three cortical stages of colour processing in the human brain. *Brain*, **121**, 1669-1685, 1998.
- 6) A. Bartels and S. Zeki: The architecture of the colour center in the human visual brain: new results and a review. *European Journal of Neuroscience*, **12**, 172-193, 2000.
- 7) 栗木一郎, 斎藤真広, 内川恵二, 宮内 哲, 仲泊聡, 武内弘明, 神立 敦, 北原健二: 実空間刺激による色恒常性の脳神経機構に関する研究. *VISION*, **12**, 79-84, 2000.
- 8) I. S. Wechsler: Partial cortical blindness with preservation of color vision. *Archives of Ophthalmology*, **9**, 957-965, 1933.
- 9) S. Zeki, S. Aglioti, D. McKeefry and G. Berlucchi: The neurological basis of conscious color perception in a blind patient. *Proceedings of the National Academy of Science*, **96**, 14124-14129, 1999.
- 10) 仲泊 聡: 形態知覚異常と最近の話題. *VISION*, **15**, 79-86, 2003.
- 11) L. Arend and A. Reeves: Simultaneous color constancy. *Journal of the Optical Society of America A*, **3**, 1743-1751, 1986.
- 12) I. Kuriki and K. Uchikawa: Limitations of surface- and apparent-color constancy. *Journal of the Optical Society of America A*, **13**, 1622-1636, 1996.
- 13) I. Kuriki and K. Uchikawa: Adaptive shift of visual sensitivity balance under ambient illuminant change. *Journal of the Optical Society of America A*, **15**, 2263-74, 1998.
- 14) I. Kuriki, Y. Oguma and K. Uchikawa: Dynamics of asymmetric color matching. *Optical Review*, **7**, 249-259, 2000.
- 15) V. C. Smith and J. Pokorny: Spectral sensitivity of the foveal cone photopigments between 400 and 500 nm. *Vision Research*, **15**, 161-171, 1975.
- 16) J. Walraven, T. L. Benzshawel, B. E. Rogowitz and M. P. Lucassen: Testing the contrast explanation of color constancy. *A. Valberg and B. B. Lee (Eds.): From pigments to perception*. Plenum Press, New York, 369-377, 1991.
- 17) M. P. Lucassen and J. Walraven: Quantifying color constancy: evidence for nonlinear processing of cone-specific contrast. *Vision Research*, **33**, 739-757, 1993.
- 18) E. H. Land and B. B. McCann: Lightness and retinex theory. *Journal of the Optical Society of America*, **61**, 1-11, 1971.
- 19) M. D. Fairchild and L. Reniff: Time course of chromatic adaptation for color-appearance judgments. *Journal of the Optical Society of America A*, **12**, 824-33,

- 1995.
- 20) I. Kuriki and D. I. A. MacLeod: Dynamics of chromatic adaptation aftereffect on luminance and chromatic channels. *C.M. Dickinson, I.J. Murray and D. Carden (Eds.): John Dalton's Colour Vision Legacy*. Taylor & Francis, London, 73-82, 1997.
- 21) D. H. Foster, B. J. Craven, and E. R. Sale: Immediate colour constancy. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **12**, 157-60, 1992.
- 22) S. Zeki and A. Bertels: The clinical and functional measurement of cortical (in) activity in the visual brain, with special reference to the two subdivisions (V4 and V4a) of the human colour center. *Philosophical Transactions Royal Society of London B*, **254**, 1371-1382, 1999.
- 23) D. Zheng, A. S. LaMantia and D. Purves: Specialized vascularization of the primate visual cortex. *Journal of Neuroscience*, **11**, 2622-2629, 1991.
- 24) P. W. Brazis, N. R. Graff-Radford, N. J. Newman and A. G. Lee: Ishihara color plates as a test for simultanagnosia. *American Journal of Ophthalmology*, **126**, 850-851, 1998.
- 25) M. A. Goodale and A. D. Milner: Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neuroscience*, **15**, 20-25, 1992.
- 26) H. Sakata, T. Taira, M. Kusunoki, A. Murata and T. Tanaka: The TINS Lecture. The parietal association cortex in depth perception and visual control of hand action. *Trends in Neuroscience*, **20**, 350-356, 1997.