

# 順応条件が急変する時の色覚特性

交通システム部

塚田 由紀

豊福 芳典

青木 義郎

## 1. はじめに

戸外の明るい所からトンネルや映画館などの暗い所へ急に入ると、真っ暗でしばらくは何も見えない。しばらくすると、目が慣れて周りのものが見えるようになる。太陽直下を飛行している航空機が突然雲中に入るとき等にも、同様の現象が起き、操縦士が視界を失う場合がある。このとき、計器類を誤認し事故につながったケースが過去に報告されている<sup>1)</sup>。周囲の明るさ(順応条件)の急激な変化による一時的な視覚機能の低下は、事故の原因となる可能性もあるため、その対応策を検討する必要がある。

我々の視覚系には順応という機能が備わっており、瞳孔の大きさや網膜から大脳中枢に至る視覚系そのものの感度を変化させて、順応条件の変化に対応している。周囲の明るさは、真夏の太陽の下から星空の下まで、照度によると  $10^5\text{lx} \sim 10^{-3}\text{lx}$  まで  $10^8$  ほどのレンジで変化しているため、順応の機能なくして対象物を知覚することはできない。しかし、トンネルや映画館に入った時のように明るさが急に变化したときには、順応が追いつかず視覚機能が一時的に大幅に低下する現象がみられる。しばらくすると周囲の明るさに順応し、ほとんどの視覚機能は回復する。

過去の研究では、明るい環境から暗い環境へ移行したときに知覚できる刺激光の閾値が経時的に測定され、暗順応曲線として知られている<sup>2,3)</sup>。最初の環境の明るさにも依存するが、およそ1~3分程度で閾値が急激に低下し、やがて徐々に低下していく。そして20~30分で閾値は最低となり、弱い光でも知覚できるようになる。閾値が低下していく途中、10分程度で暗順応曲線の形状が変化する点が見られる。これは網膜上に2種類の視細胞があり、明るい環境と暗い環境では主に反応する細胞の種類が入れ替わるためである。暗い環境で応答する細胞には色変化に対する反応がないことも知られている。色覚につい

ても明るい環境、暗い環境のそれぞれにおける研究は古くから多く行われている<sup>4,5)</sup>。

しかし、順応条件が急変する時、さらにその後の経時的な視覚機能の変化については、刺激光に対する検出閾値の測定にとどまっており、具体的な視界の変化の様子を推測することはできない。前述の航空機事故に対応できる具体的な策を検討するためには、順応条件の急変時におきる様々な視覚機能の変化について明らかにしておく必要がある。

これまで物体の形状認識に関わるコントラスト感度について測定し、順応条件急変時には、物体の輪郭がぼやけて認識されることを明らかにした<sup>6)</sup>。そこで、本研究では、順応条件が急変する時の白色の識別範囲を測定し、色覚特性について考察する。

## 2. 実験

### 2.1. 実験装置

半径70cmの半球状のドーム内面を照明(ネオアークビーム MR150/N, 4500K, 東芝ライテック、7個)することにより、日光下と等しい  $50,000\text{lx}$  のほぼ均一な視野を被験者に呈示した。照明の前面にはエア駆動式のシャッターが取り付けられており、これがPC(Macintosh G4)の入力を受けて開閉し、順応条件を急変させることができるようになっている。ドームは暗

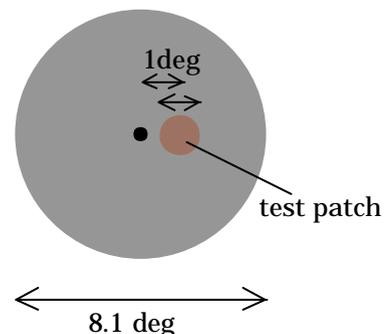


図1 刺激

幕で覆われたブース内に設置されており、照明用シャッターが閉じた状態では被験者の視界は暗黒となる。また、ドーム頂点にはシャッター付きの開口（直径10cm）があり、測定中のみ背面に置かれたモニタ上の刺激が見えるようになっている。

被験者の観察位置には顎台が取り付けられ、頭の位置が固定できるようになっている。手元には応答用のキーボードが設置されている。

## 2.2. 刺激・手順

実験には、試行ごとに固視点を挟んで左右のどちらかにテストパッチが呈示される刺激を用いた（図1）。被験者には、左右のどちらかにテストパッチが呈示されたかを応答させ、その正誤から、テストパッチの色度をどれだけ変化させれば、背景と識別して色を知覚することができるかを測定した。刺激はPCで作成し、均一視野半球の背面に設置されたCRT(SONY GDM)に呈示した。背景の色度は等エネルギー白色(CIE1931xy色度図、 $x=0.333$ ,  $y=0.333$ )、輝度は $10\text{cd/m}^2$ で、テストパッチも共に常に等輝度とした。

識別閾の測定のために白色から変化させた色方向（テストパッチの色度変化の方向）を図2に示す。図中の三角で囲まれた領域は、実験で使ったCRTにおける色再現領域を示している。背景の等エネルギー白色を中心にユニーク赤(497c)、ユニーク緑(500nm)、

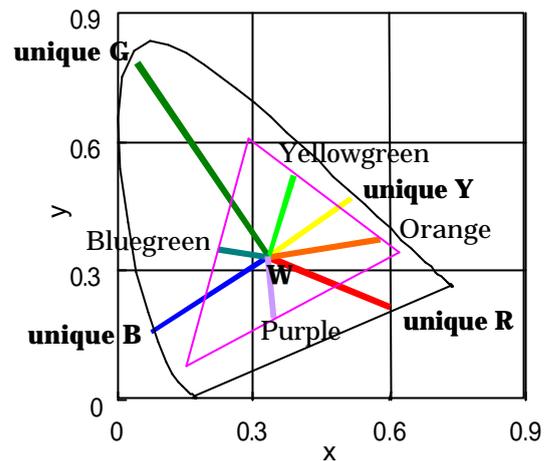


図2 テストパッチの色度変化

ユニーク青(472nm)、ユニーク黄(577)<sup>2)</sup>とその間の黄緑、青緑、紫、橙の8方向とした。

実験手順は図3に示すとおりで、まず被験者は顎台にあごを固定してドームを覗き込み、 $50,000\text{lx}$ に照明された均一な視野に5分間順応する。順応後、ドーム内が暗黒に急変し、2秒間の暗順応に続きドーム頂点の開口から刺激が呈示される。刺激は始め背景の中央に固視点のみが呈示されている(200msec)。このとき、被験者は固視点を凝視するよう指示される。その後、固視点の左右どちらかにテスト刺激が250msec呈示され、続いて背景のみの刺激が200msec呈示され、刺激用シャッターが閉じて暗順応が再開する。被験者はテストパッチが左右どちらに呈示されたかをキー

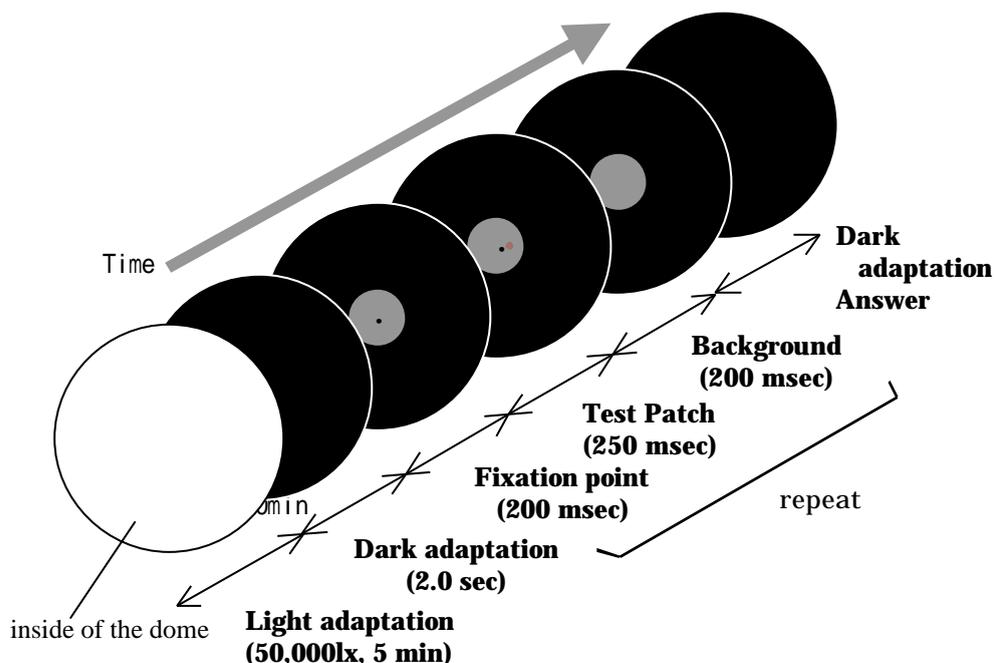


図3 実験手順

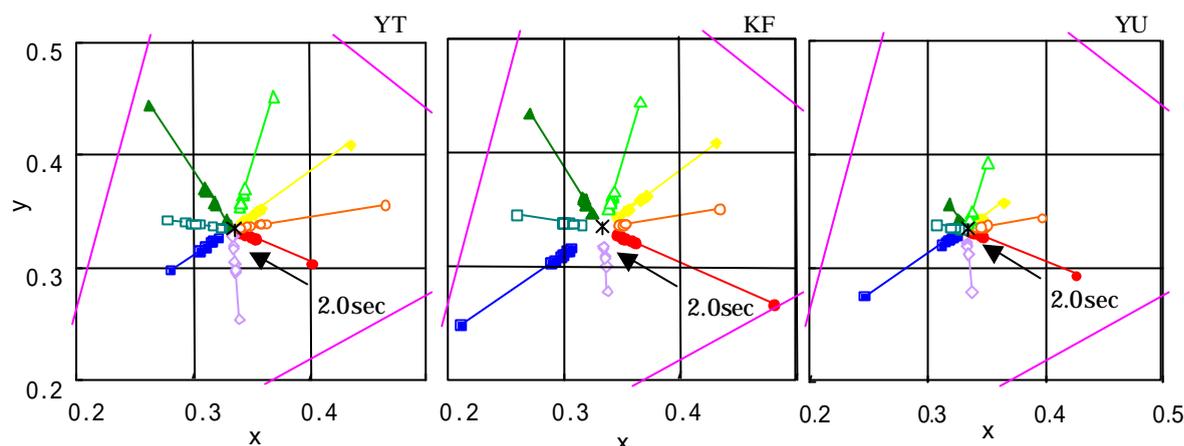


図4 実験結果

ボードで応答する。暗順応開始後 2 sec, 15 sec, 30 sec, 1 min, 1.5 min, 2 min, 3 min, 4min, 5 min, 10 min のタイミングで測定開始のピープ音が鳴り、次の刺激が呈示され、上記の測定を繰り返した。

閾値は階段法で求めた。予め調整法による予備実験を行い、階段法による測定の最初の色度を決定したため、どの色方向にも 6 ~ 8 回の試行で閾値を算出することができた。

被験者は、色覚正常な 3 名(21~30)で、YT は著者であるが、他の 2 名は視覚実験の経験がまったく無い者であった。

### 3 . 結果

図 4 は、順応条件急変後の白色(背景)との識別閾値を CIE1931xy 色度図上に示したものである。パネルの違いは被験者の違いを表している。図中最も外側の点が順応条件急変 2 秒後の識別閾値を示し、暗順応が進むにしたがって、図中中央の白色点(\*)に近づき、閾

値が下がっていった。測定開始後 15 秒まで急激に閾値が減少していることが分かる。

ある測定時間の各色方向における識別閾を結んだ領域内の色度は、白色と区別できないことを意味している。従って順応条件急変後には、図 4 の一番外側の点を結んだ領域内の色度をもつ色を呈示しても白色と識別できないことになる。被験者 YT、KF においては CRT で再現できる色範囲の半分以上の色度点の色を、被験者 YU でも 3 分の 1 程度の色度点の色を背景白色と識別できていないことが分かった。

図 5 は、色方向における識別閾の違いを比較するため、順応条件急変 2 秒後に背景と識別できる色度差(識別閾)を 10 分間の暗順応後に測定した識別閾で割ったものである。色度差の計算は錐体応答色空間<sup>7)</sup>における色度点間の距離を用いて計算した。パネルの違いは被験者の違いである。被験者 KF は、他の 2 名の被験者に比べて順応条件急変後の閾値の上昇率は全体的に小さかった。しかし、どの被験者も暗順応時

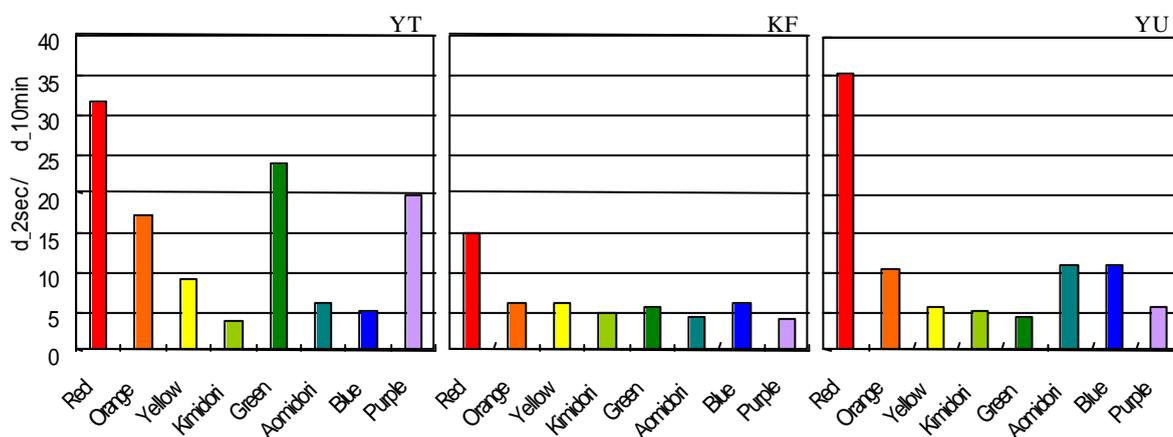


図5 順応条件急変後の閾値の比較

と比べると順応条件急変 2 秒後には赤方向への閾値の上昇が最も大きくなっている。次いでオレンジ方向も閾値の上昇が大きく、赤成分が多く含まれる色の識別閾値が増加する傾向がみられた。被験者 YT では緑方向へも大きな閾値の上昇がみられたが、他の KF, YU ではむしろ青方向への閾値の増加傾向が強かった。

#### 4. 考察

順応条件急変直後の白色の識別閾値の測定を試みたが、CRT 上に再現できる最も彩度の高い色を呈示しても、背景と識別することはできなかった。これは、背景刺激が 10cd/m<sup>2</sup> と順応光に比べて極端に低いいため、そもそも CRT 上の色を知覚しにくい条件であったためでもある。2 秒経ってからの測定でも、刺激の背景はほぼ黒く知覚され、ドーム内面と区別しにくかった。その中に色のついたテストパッチが浮かんで見える印象であった。ここでは、順応条件急変直後の測定が実施できなかった原因が、用いた実験装置の限界なのか、視覚系が全く処理を行わないようになっているのか区別することができないため、順応条件急変直後の識別閾の推定を行っていない。

図 4 は順応条件急変 2 秒後のデータであるが、2 秒後でも色覚の低下は著しく、CRT 上に再現できる色度範囲の半分程度しか白色と識別して色を知覚することができないことが分かった。自然界に存在する色は、ガラスフィルタも含め様々な波長で構成されているため、CRT の色再現領域を越えた彩度の高い色(色度図の外側の色)はそう多くはない。よって、昼光下(ほぼ白色)に順応した操縦席のパイロットが視界を誤認する確率は高いと考えられる。順応条件急変時にも識別できるよう、計器類、昼間障害標識等の色は、なるべく彩度の高い色を用いる必要があることが示された。

図 5 より、全ての被験者において赤方向への識別閾値が増加する傾向がみられた。被験者 YT, YU では暗順応時の値の 30 倍以上にもなっている。これは、順応光に 4500K の光を用いたことが影響している可能性も考えられる。順応していた環境が測定値もわずかに赤方向にずれた色光であったために、順応条件急変直後には赤方向への識別閾値が上昇したとも考えられる。しかし、被験者 YT は同時に緑方向への弁別閾値も大きく増加しており、視覚系の反対色過程である赤/緑処理過程への選択的な出力抑制効果があ

ることも示唆された。

#### 5. まとめ

順応条件が急変すると、色覚機能は著しく低下することが実験により示された。2 秒後でも、暗順応時と比較し、色方向によって 5~30 倍程度の閾値の増加がみられ、CRT 上に再現できる色度範囲の半分程度の色を白色と識別できないことが分かった。特に、赤方向への閾値の増加(感度の低下)が著しい傾向がみられた。

#### 参考文献

- 1) 視覚ガイダンスシステム, 運輸省航空局監修, 財団法人航空振興財団発行, 172-174, 1999
- 2) 池田光男: 視覚の心理物理学, 森北出版, 1975
- 3) K. Nordby, B. Stabell and U. Stabell: Dark-adaptation of the human rod system, *Vision Research*, **24**, 841-849, 1984
- 4) W. R. J. Brown: The influence of luminance level on visual sensitivity to color differences, *J. of the Optical Society of America*, **41**, 684-688, 1951
- 5) D. L. MacAdam: Visual sensitivities to color differences in daylight, *J. of the Optical Society of America*, **32**, 247-274, 1967
- 6) 塚田、豊福、青木: 順応条件が急変する時の視覚の空間特性、第 1 回交通安全環境研究所研究発表会講演概要 167-170, 2001
- 7) D. L. MacAdam: Visual sensitivities to color differences in daylight, *J. of the Optical Society of America*, **57**, 401-406, 1967