

# 順応条件が急変した時の有効視野の変化

交通システム研究領域

塚田 由紀

豊福 芳典

青木 義郎

## 1. はじめに

人間の網膜は機能的、解剖学的に一様ではない。通常人間が何かを良く見ようとする時、かならず目や体を動かして、対象物がちょうど視野の真中にくるようにしている。これは、網膜の中心における分解能が最も高く、対象物をより鮮明に見ることができるからである。一方、網膜周辺では、弱い光に対する感度が高くなっている。つまり、視野周辺でとらえた弱い光に対し、体や頭を動かして目の中心で詳細に見よう機能を分化している。

また、細かい作業中に、見ているものに集中する余り、周りのものが見えず、周辺環境の変化に全く気がつかない経験をした人は多いだろう。このように、作業の負荷によって見える範囲が変わることも知られている。

視野のどの範囲までが有効であるか(有効視野範囲)は、網膜視細胞の感度、機能と大脳中枢で行なわれる高次の視覚情報処理とによって決まるため、その時々によって変化しており、簡単に予測することはできない。しかし、被験者が効率良く作業を行うためには、この有効視野範囲を予め把握しておく必要がある。

順応条件が急変するような緊急の場合にも、有効視野範囲が変化すると考えられる。運転席や操縦席における最適な情報の呈示位置を検討するためにも、この有効視野範囲の把握は重要な課題である。

そこで本研究では、順応条件が急変する時の有効視野範囲を測定し、どの程度の明るさの光であれば、視野のどの位置まで認識することができるのかを明らかにすることを目的とする。これより、順応条件急変時にも視認性確保に有効な計器類の位置、強度を検討するための基礎資料となると考えられる。

## 2. 実験

### 2.1. 実験装置

実験装置の概略図を図2-1に示す。暗幕で覆われたブース内に半径70cmの半球状のドーム(均一視野半球)が固定されている。ドーム底面には観察用の開口があり被験者は中をのぞくことができる。ドーム内は艶消し白で塗られ、底面側からの照明により、昼光下と等しい50,000lxのほぼ均一な視野を被験者に呈示することができる(4500K)。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

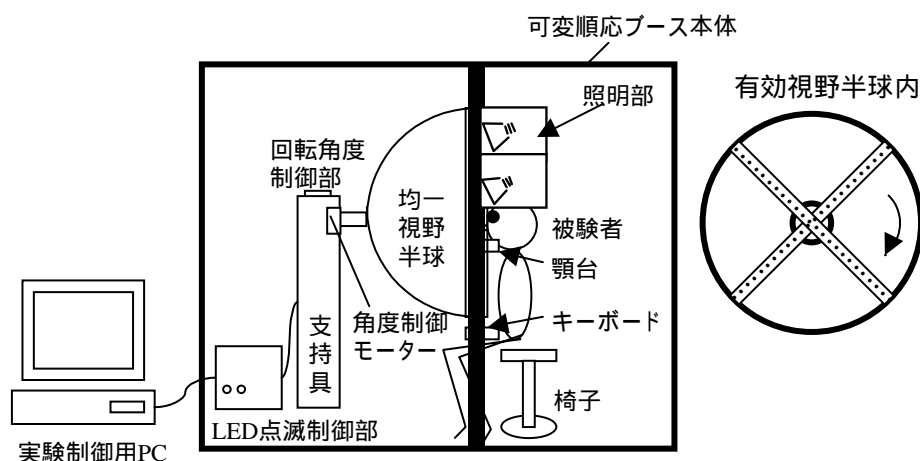


図2-1 実験装置設置概略図

PCからの制御信号を受けて開閉することによって順応条件を急変させる。

均一視野半球の内面の任意の位置に赤色光点を呈示することができるよう、図2-2に示す有効視野範囲測定装置を均一視野半球内に設置した。中心から上下左右4方向にのびたLED取付腕上には直径5mmの赤色LEDが隙間なく設置されている。このLED取付腕は均一視野半球の中心軸上に設置される回転中心軸によって保持されている。回転中心軸は角度制御モーターと接続され、PCからの制御信号を受けて任意に回転させることができる。LEDは調光可能であり、点滅制御も基本的にPCを用いて行う。刺激となる赤色LED素子のピーク波長は630nmとした。

被験者の応答は、すべてPCに接続されたマウスで回収した。



図2-2 有効視野範囲測定装置 LED取付腕

## 2.2. 実験方法

刺激は、有効視野範囲測定装置によって呈示されるLED素子からの光である。

実験手順は次の通りである。まず被験者は顎台にあごを固定してドームを覗き込み、50,000lxに照明された均一視野半球内に5分間順応した。このとき、被験者にはLED(非点灯)等が見えているため、視野内は均一とはいえない。順応後、照明前面のシャッターが閉じドーム内を暗黒に急変させた。同時に上下左右4本のLED取付腕のうちの1本の腕の外側のLED素子から順に中心に向かって点灯消灯をくり返した。すなわち、1個の赤色刺激光が周辺部から中心に向かって移動するように見える。被験者は、ドーム中心に呈示された固視点を固視したまま、視野内にLED素子の点灯が確認できたら、マウスをクリックしてもらった。応答を受けるとLED素子は消灯し、再び暗順応が継続さ

れた。予め設定された時間の経過後、PCから測定開始のピープ音が鳴ってから1秒後に、再び上記の測定が繰り返された。この1秒は、被験者が固視点の注視をはじめめるために必要かつ十分な時間である。

1個のLEDの点灯時間は0.2secである。LEDの光度は $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$ 、 $5.2 \times 10^{-5} \text{cd}$ の2種類とした。輝度計の測定視野がLED光点内におさまるようにして輝度を測定すると、これらの刺激はそれぞれ $3.0 \text{cd/m}^2$ 、 $10 \text{cd/m}^2$ であった。この刺激強度は暗順応中、中心窩で十分検出可能な明るさである。また、上下左右の測定方向の順番はランダムとし、被験者は試行ごとにどの方向のLED素子が点灯するか知らされていなかった。

被験者は、視力1.0以上の色覚正常な3名(女、28~31歳)であった。その内1名は著者であるが、他の2名は心理物理学実験未経験者で、実験目的等に十分に説明してから実験を行った。

## 3. 結果

図3-1、2は心理物理学実験の経験のない被験者K0の実験結果である。他の2名も同様の傾向がみられたため、ここでは被験者K0の結果のみ示す。図3-1には、順応条件が急変した時の有効視野範囲で、急変直後とその後20分経過した時の結果を併せて示してある。(1)は刺激光点の光度が $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$ 、(2)は $5.2 \times 10^{-5} \text{cd}$ の時の結果である。図の縦軸、横軸は視野の上下左右を表し、軸の交点は中心 $0^\circ$ (固視点)に対応している。各シンボルは、が順応条件急変直後、が暗順応開始後20分の結果を示している。3名の被験者とも、光度が $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$ の刺激に対する順応条件急変直後の有効視野範囲は極端に減少した。どの被験者も視野の上下左右方向における減少の度合いは一定ではなく、左右方向より上下方向の減少の方が著しい傾向がみられた。特に視野の下側での減少が激しかった。

一方、 $5.2 \times 10^{-5} \text{cd}$ の刺激に対しては、順応条件急変時には上下方向の有効視野範囲の減少はみられるものの、左右方向にはほとんど減少がみられなかった。視野の下側での急激な減少も、光度が $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$ の結果に比べて大きくはなかった。

図3-2は、被験者K0における順応条件急変後の有効視野範囲の時間的推移を表している。(1)、(2)の違いは図3-1と同様である。横軸は時間を

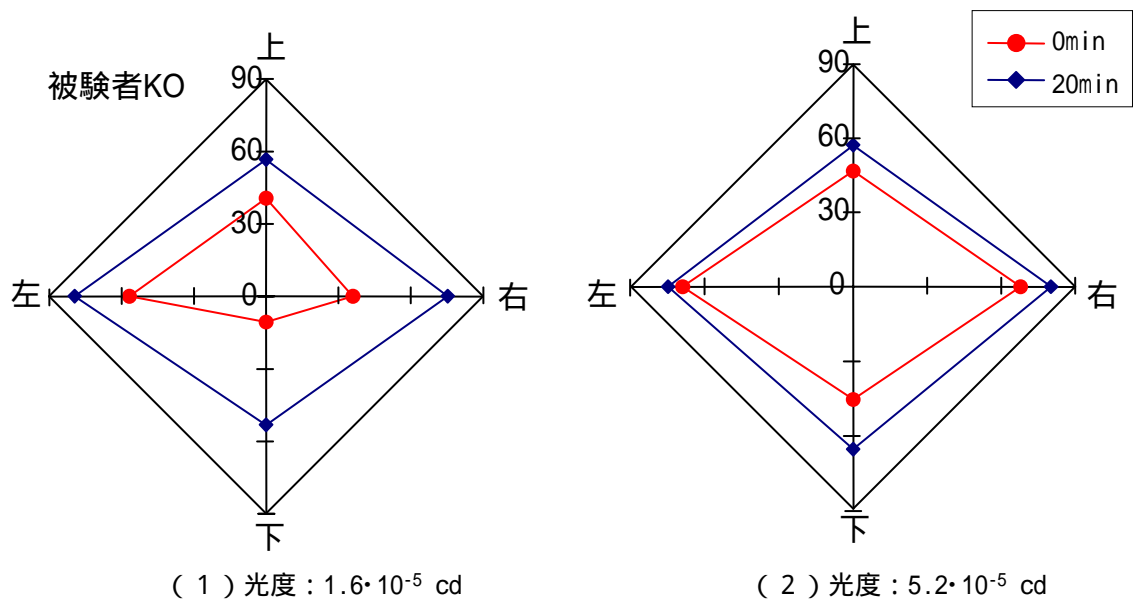


図3 - 1 順応条件が急変したときの有効視野範囲

表しており、順応条件が急変したときを0としている。シンボルの違いは視野の方向の違いを表している。LED素子の光度が  $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$  の場合には、左右方向へは順応条件急変後ほぼ1分で有効視野範囲は安定に達している。一方、急激な減少がみられた視野の下側の結果は、はじめ急激に回復していくが3分後には回復の速度が緩まり、徐々に有効視野範囲が広がっていく傾向がみられた。しかし、視野の上側での結果は、一定の割合で徐々に有効視野範囲が拡大していくようであった。

もともと視野の減少が少なかったLED素子の光度が

$5.2 \times 10^{-5} \text{cd}$  の場合には、視野の左右方向に関して、順応条件急変直後から1分程度で回復し、この傾向は光度が  $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$  の結果と一致している。有効視野範囲の著しい減少が起きなければ、刺激光強度の違いによる回復過程の差はほとんどないことを示している。

#### 4. 考察

順応条件急変直後の有効視野範囲の面積は、20分の暗順応後に比べ、刺激光強度  $1.6 \times 10^{-5} \text{cd}$  のとき28%、 $5.2 \times 10^{-5} \text{cd}$  では66%まで減少した。他の2名の被験

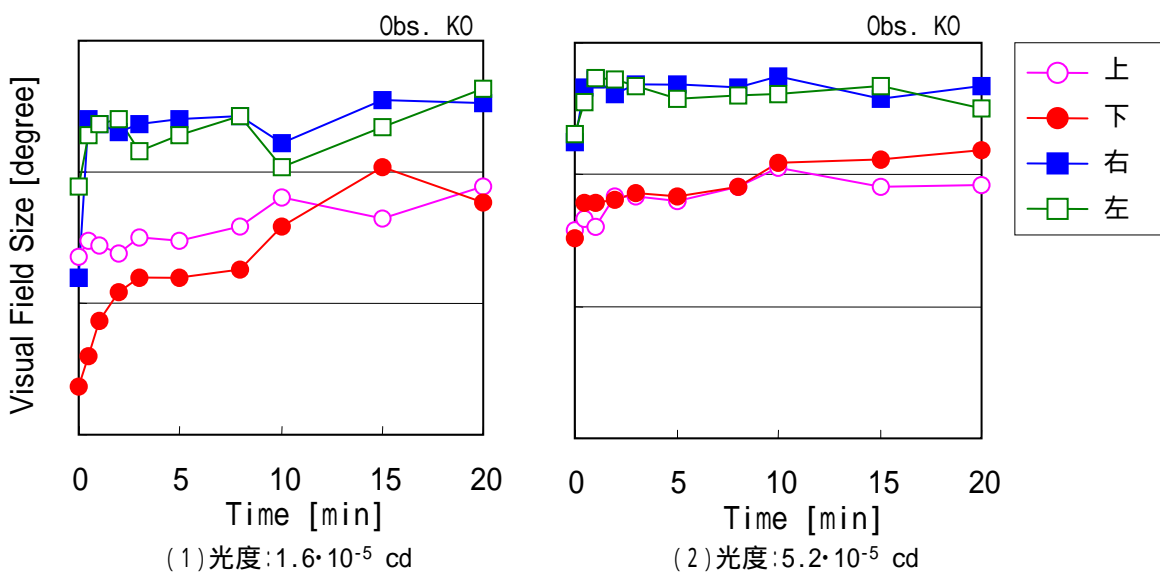


図3 - 2 順応条件急変後の有効視野範囲の推移

者も、それぞれの刺激光強度に対し、16、56%、63、69%に減少した。これより安全を考慮すると、対象の光度が  $1.6 \times 10^{-5}$ cd (ここでは、輝度  $3.0\text{cd}/\text{m}^2$ ) の場合には、視野の中央で全視野の約 25%の領域を有効視野範囲とすることができる。また、対象物が  $5.2 \times 10^{-5}$ cd (ここでは、輝度  $10\text{cd}/\text{m}^2$ ) であれば、全視野の約 65%の領域が順応条件急変時の有効視野範囲であることが分かった。

上下左右方向で有効視野範囲の低下率が異なる結果から、生理学的には2つの仮説が考えられる。1つは、網膜上に分布する錐体、桿体の密度が上下左右方向で異なっているという仮説である。もう1つは、上下方向と左右方向で細胞の密度に違いはないが、網膜上の位置によって錐体、桿体の暗順応過程が異なる、という仮説である。しかし、後者の仮説を生理学的な立場で説明しようとする、細胞中の視物質であるロドプシンの光化学反応速度が網膜上の位置によって異なることを仮定しなければならないが、これは科学的根拠が薄い。前者の仮説に対しても、網膜上の左右方向と上下方向で視細胞の密度分布が異なるという生理学的なデータはない。むしろほぼ同じとされている。ただし、過去の心理物理学の実験結果では、上下方向と左右方向で光刺激の検出閾値が異なるデータが示されているが<sup>2)</sup>、本実験結果ほどの異なる傾向は見受けられない。

しかし、視覚系全体で考えると、上下方向より左右方向の情報を優先的に処理する機能がある、ということは人間の眼の進化の過程からも推測できる。人間は空を飛べない動物であるから、生活環境は基本的に視野の左右(水平)方向へ広がっており、外敵から身を守るためにも水平方向へしか逃げることが出来ない。このため、左右方向の情報がより重要であったと考えられる。人間の眼の外観形状も上下に比べ左右方向へ大きく開き、眼球の動き方を見ても左右方向の情報をより取り込もうとする構造となっている。順応条件が急変するとき上下方向より左右方向の情報を優先的に処理する機能が脳中枢に近い高次レベルにあったとしても不思議ではない。

最後に、明順応時の有効視野範囲について述べておく。本実験における明順応は 50,000lx という極めて明るい照明下で行われた。よって被験者は、明順応中は明るすぎて目を大きく見開くことはできなかった。被験者の報告により明順応時の視野を求

めると、視野の下方方向と左右方向では、20分の暗順応後の結果よりもわずかに外側まで見えていたが、上側では暗順応時よりもむしろ狭い範囲しか見えていなかった。視野の上側において、明順応時にまぶたで隠れていたために、網膜上の細胞が十分に明順応されないまま測定が行われたと考えられる。もし、明順応時にも目を大きく開けることができるなら、結果はまた異なったものとなるに違いない。ただ、このことから、視野の上側への情報呈示は、視環境が太陽直下ほどの明るい場合には適さないことが考察できる。

#### 4. まとめ

実験の結果、順応条件急変直後の有効視野範囲は、暗順応時に比べて減少することが分かった。その減少の割合は、視野の上下左右方向で一定ではなく、特に視野の下側における有効視野範囲の減少が著しい傾向が示された。順応条件急変直後の有効視野範囲の面積は、暗順応時に対し、刺激光強度  $1.6 \times 10^{-5}$ cd のとき約 25%、 $5.2 \times 10^{-5}$ cd では約 65% まで減少した。

本研究結果より、順応条件が急変するような緊急時に対応するため、警告などの重要な視覚信号は視野の上側や下側での呈示は避け、左右方向に呈示する方が有効であることが示された。

#### 参考

- 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) W.S. Stiles and B. H. Crawford: The effect of glaring light source on extrafoveal vision, Proc. Roy. Soc., 122B, 255-280, 1937