

自動車運転者の適性基準判定指針の検討に関する研究*

——視覚機能に関する実験的研究——

A Proposal for Judgment of Motor Driver's Aptitude
—— Experimental Study on the Function of the Sense of Sight ——

金 住 順 二	岡 本 征四郎	宮 本 芳 文
Junji KANAZUMI	Seishiro OKAMOTO	Yoshifumi MIYAMOTO
宮 井 義 裕	岩 佐 哲 夫	
Yoshihiro MIYAI	Tetsuo IWASA	

Abstract

When it gets dark suddenly, we can't see for a moment, but in a minute we can see again. If we meet this phenomenon while driving a car, we can't judge quickly whether it is safe or not, because there is a lag when our eyesight can adapt to the dark condition, in other words, there is a blank of time before our eyesight can function. Therefore, it is important to understand this phenomenon well from the viewpoint of the safety while driving. This problem is studied from the experimental aspects. From this result, the followings are found out. The pupil Responses of the subjects vary largely with the intensity level of the change of the brightness (that is, with the intensity level of the stimulus of the light). At the identical level of the stimulus of the light, the characteristics of the pupil responses are almost the same, but the sensitivities of the subjects' pupils vary greatly. The lag mentioned above is effected largely according to the intensity level of the stimulus of the light. The more heightened the level is, the longer the lag becomes.

On the condition that the intensity level of the stimulus of the light is low, the corrected eyesight is more effective both on the speed of the pupil responses and on shortening the lag. On the other hand, on the condition that the intensity level of the stimulus of the light is heightened, the corrected eyesight has little effect on neither of them.

1. はじめに

人間は身体に種々の感覚器官を持ち、それぞれの感覚器官で計測される計測対象、あるいは計測対象の計測変数を把握することによって日常、種々安全に行動し生活を営んでいる。種々の行動の中の一つである自動車の運転操作においても感覚器官の一つである眼によって運転時に眼に映る走行中の自動車、歩行者をはじめとしてあらゆる事物・事象の情報をすばやく、正

*平成7年5月 原稿受理
大阪産業大学 工学部

確に得ることによって、安全に運転が行われている。しかし、これらの視覚による情報はいつも瞬時に得られるとは限らない。車で走行中にトンネルに入った時のように、急激に暗い状況に環境が変化すると、そこでの視覚による事物・事象の情報が得られるまで若干の時間を要することを経験する。これは明るい状況から急激に暗い状況に環境が変わるため暗い状況下に眼が慣れる（暗順応）のに若干の時間を要するためである。近年、増加し続ける自動車の事故を、道路形状別、昼夜別に見た場合、トンネル、橋といった場所での事故件数は昼夜を問わず大きな比率を占めている。特に、トンネルなどでの事故原因の中には、急激な明るさの変化（光刺激）によって生じる事物・事象の認識、識別の遅れ、比較的暗い状況下での視機能そのものの低下などと言ったことが原因となる事故も考えられる。本報告では、明るい状況から急激に暗い状況に光量に変化した場合（光刺激を与えた場合）、光刺激後に事象、事物が確認できるまでにどの程度の時間を要するのかと言った視覚機能の特性の一端を光刺激の観点から実験的に調べるものである。

2. 実験装置及び実験方法

図1は明るい状況から急に暗い状況に変わる環境（光量の瞬時的な変化）を作り出すために制作した実験装置（暗箱）である。この暗箱の内部の壁面には明と暗のそれぞれの状況を作り出すため蛍光灯及び白熱灯を配置している。それぞれ輝度の異なる暗の環境（暗順応状態）は白熱灯の明るさを変える（スライダックを使って電圧を調整する）ことによって作り出す。明の状況（明順応状態）は蛍光灯と白熱灯の双方の点灯によって作り出す。そして、明から暗の状況への光の瞬時的な変化は蛍光灯の灯のみを瞬時に切ることによって作り出す（先に白熱灯で設定された輝度の暗の状況が作り出される）。

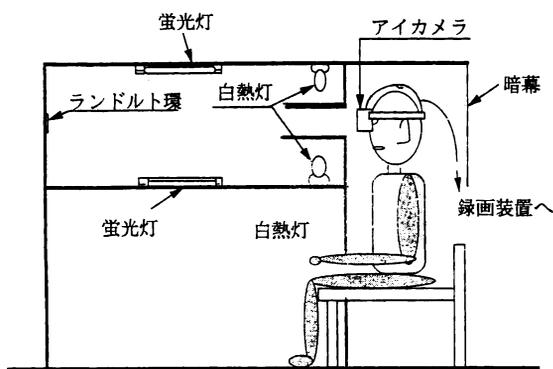


図1 実験装置

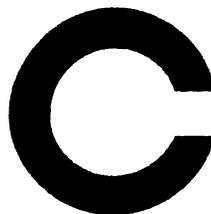


図2 ランドルト環

実験方法としては、まず、アイカメラを装着した被験者が暗箱内の目標物のランドルト環(図2)の認識が可能な輝度の暗順応状況を白熱灯のみで作ります。その後、蛍光灯を点灯し明の状況を作り出す。そして、被験者の眼が明の状況に順応(明順応)した後、蛍光灯のみを瞬時に消し暗の状況を作り出す。この明から暗への光り刺激にともなって動く瞳孔の様子をアイカメラを介してビデオテープに録画する。また、同時にこの光り刺激に対し目標物のランドルト環が再度確認できるまでに要する時間を調べる。光り刺激後にランドルト環が確認できるまでの時間の測定は、蛍光灯の消灯と同時に瞳孔の動きを録画している画面上に映像としてクロスバーを表示し、目標物のランドルト環の再度確認の合図と同時にクロスバーの映像を消す。これによってクロスバーの映像が表示されている時間を調べ、光り刺激後の目標物の確認するのに要する時間を求める。このような手法によって明から暗への光の急激な変化(光刺激)に対し、瞳孔がどのような動きをするのか、光刺激(光量変化)の強さが暗の状況下の物事、事象の確認に要する時間にどのような影響を及ぼすか等を調べる。

3. 実験結果とその検討

瞳孔は明るい状況から突然に暗い状況に光量を変化させると図3のように明の状況で小さかった瞳孔は時間の経過と共に拡大し、やがて、ある一定の拡大した状態で安定する。このような明から暗への急激な光量の変化に対する瞳孔の動きを解析する。瞳孔の動き¹⁾は瞳孔径の変化量、瞳孔面積の変化量等で捕らえることができるが、ここでは瞳

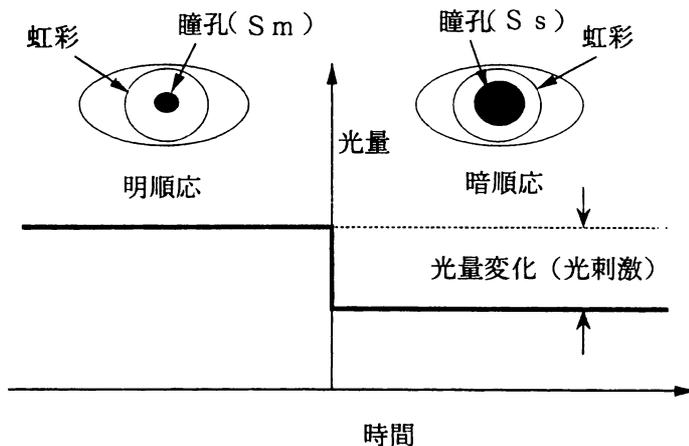


図3 光量の変化とそれに伴う瞳孔変化の概略

孔面積の変化量でその動きを調べる。そこで、各状況での瞳孔面積を次のように定めるものとする。明順応下での瞳孔面積を S_m 、暗順応下での瞳孔面積を S_s 、明から暗へと順応する過程での任意の時間の瞳孔面積を S_n とする。また、与える光り刺激は同図のようなステップ状に光量を変化させる。そして、光量の変化の大きさ(光刺激の大きさ)は光量の比 M ($=$ (暗の光量/明の光量)) で表すものとする。なお、以下においては光量の比 M が大きい場合を光刺激が小さいと呼び、光量の比 M が小さい場合を光刺激が大きいと呼ぶ。

3. 1 光量の変化（光刺激）と瞳孔の動き

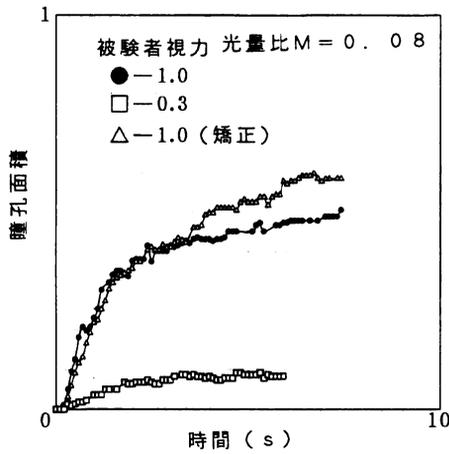


図4 光り刺激に対する瞳孔の動き

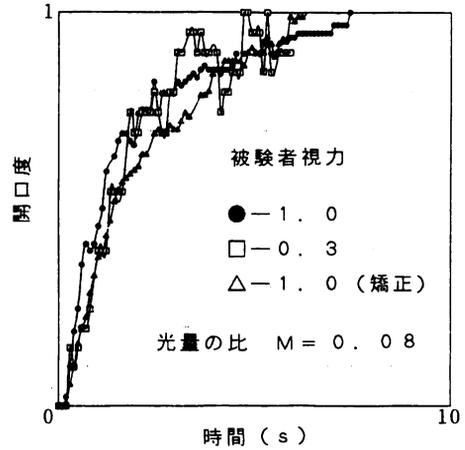


図5 光り刺激に対する瞳孔の動き

上述のようなステップ状の光量の変化（光刺激）に対して瞳孔が時間の経過と共にどのような動きをし暗順応状態になるかを調べる。図4は光刺激の大きさ（光量の比）が0.08の場合の各被験者の瞳孔の動きを瞳孔面積の変化量（ただし、瞳孔面積の変化量 $(S_n - S_m)$ を S_s で無次元化）で示したものである。図5は光刺激の大きさ0.08における各被験者毎の暗順応に至るまでの瞳孔面積の変化量 $(S_n - S_m)$ を、その最大値 $(S_n - S_m)_{\text{max}}$ で無次元化したものである（以下このようにして求めた瞳孔面積の変化量を開口度と呼ぶ）。同一の光刺激において明から暗への順応に至るまでの瞳孔の動きを、瞳孔面積の変化量でとらえた場合その動きは被験者毎に大きく違ったものとなっている。一方、各被験者の瞳孔の動きを、開口度でとらえた場合は大きな違いは見られない。この光刺激に対する瞳孔の反応が瞳孔面積の変化量の面でとらえた場合に大きく違ってくるのは、瞳孔を動かすための光を感知する網膜の感度が各被験者によって異なることを指差したものと見える。

3. 2 光量の変化（光刺激）の強さと瞳孔運動

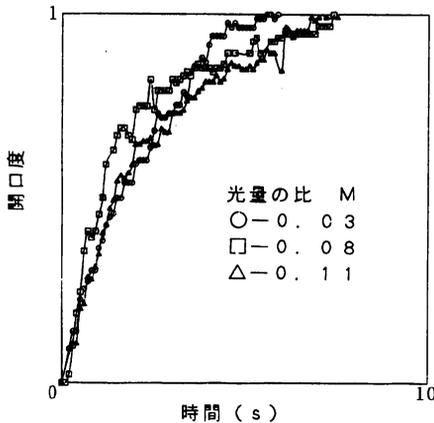


図6 光り刺激の強さの違いと瞳孔の動き
(裸眼視力1.0)

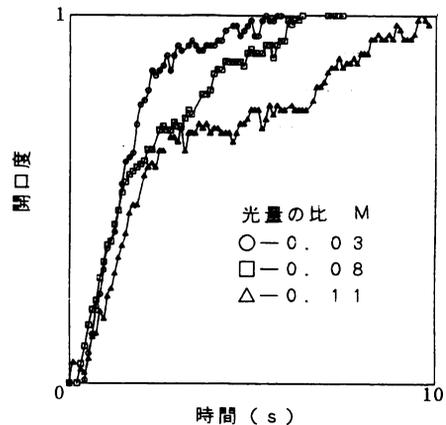


図7 光り刺激の強さの違いと瞳孔の動き
(矯正視力1.0)

光量の変化（光刺激）の強さによって瞳孔の反応がどのように変わってくるかを調べる。図6、7は光り刺激の強さを変えた場合の瞳孔の反応を開口度で示したものである。また、図8は光刺激の強さと瞳孔の動きを、瞳孔が暗順応状態に到達する時間で示したものである。光刺激の強さの瞳孔反応への影響は、光り刺激が小さい場合は瞳孔の暗順応に到達する反応は遅く、光刺激が大きくなるにしたがって瞳孔の暗順応に到達する反応は速くなるといった状況が見られる。また、これらの結果において同一の光刺激・同一の視力の条件のもとで、裸眼と矯正視力の両被験者の瞳孔の動きを比べると、大きな光刺激の場合には瞳孔の反応には両者に大きな違いは見られないが、光刺激が小さい状況では大きな違いが生じている。この光刺激が小さい状況での両者の違いは、視力を矯正した被験者の方が暗順応に至る瞳孔の動きは遅いものとなって現れている。この裸眼と矯正時の瞳孔の反応の違いについては後の章の視力矯正の効果の中で検討する。

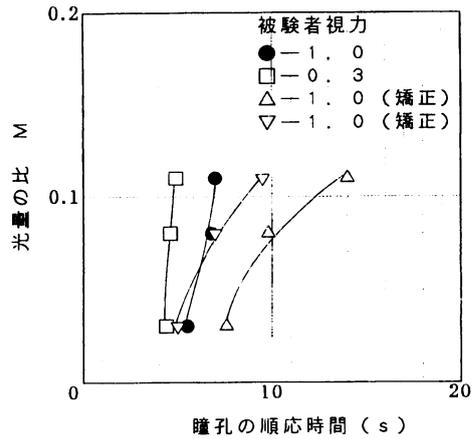


図8 光り刺激の強さと瞳孔の順応時間

3. 3 光刺激の強さと事物・事象の確認に要する時間

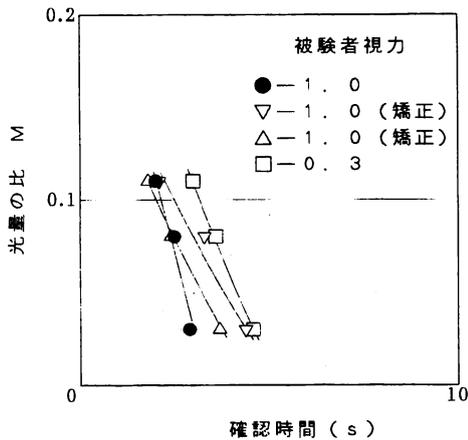


図9 光り刺激の強さとランドルト環の確認に要する時間

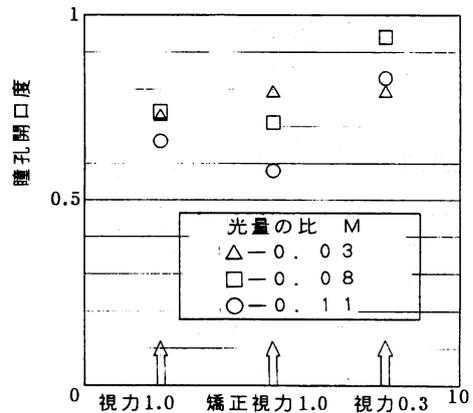


図10 被験者毎のランドルト環確認時の瞳孔の開口度

明から暗の状況に急激に光量に変化した場合、光刺激後、暗の状況下において事物・事象が確認できるまでにどの程度の時間を要するかを光刺激の強さとの関係で調べる。図9は一例として4人の被験者の明の状況下で見えていたランドルト環が光刺激後の暗の状況下において再びそのランドルト環が確認できるまでに要する時間を求め、光刺激の強さとの関係で示したも

のである。ここでのランドルト環が確認できるまでに要する時間とは、ランドルト環の切れ目（図2参照）が確認できるまでの時間である。この結果、各被験者とも光刺激が大きいほどランドルト環の確認に要する時間は長くなっていることが判る。また、被験者の視力の観点から光刺激の強さとランドルト環の確認に要する時間の関係を見ると、視力の良い被験者の方が相対的に確認に要する時間は短い傾向にあることが判る。

つぎに、光刺激により瞳孔が暗順応に至る動きの過程で、瞳孔がどの程度の開口度に達した時、ランドルト環の確認ができるかについて調べる。図10は各被験者の光刺激後にランドルト環が確認できた時点の瞳孔の開口度を示したものである。この結果からは、視力0.3の被験者がランドルト環を確認できる瞳孔の開口度は他の被験者（視力1.0（裸眼および矯正））が確認できる開口度に比べ大きい傾向にあることがわかる。図9における視力0.3（弱視力）の被験者が視力の良い被験者に比べてランドルト環の確認に時間がかかるのは、瞳孔の開口度を視力の良い被験者に比べて大きく開けなければならず、必然的に開口度を大きく開く時間だけ要する時間が長くなると考えられる。

3. 4 瞳孔の反応および事物・事象の確認時間に見る視力矯正の効果

3. 4. 1 瞳孔の反応に見る視力の矯正効果

先の図6、7で、同じ視力を持つ裸眼の被験者の瞳孔の動きと矯正視力の被験者の瞳孔の動きの比較において、光り刺激の大きい状況では瞳孔の反応に大きな違いは見られないが、光刺激が小さい場合は裸眼と矯正の被験者で瞳孔の反応は大きく違ってくことを述べた。そこで、この光刺激が小さい場合に起こる裸眼と矯正時の瞳孔の反応の違いを詳しく調べ、瞳孔の反応への視力矯正の効果を検討することにする。図11は同じ被験者の裸眼時と矯正時の双方に同じ大きさの光刺激を与えた時の、瞳孔の反応を比較したものである。これから判るように矯正

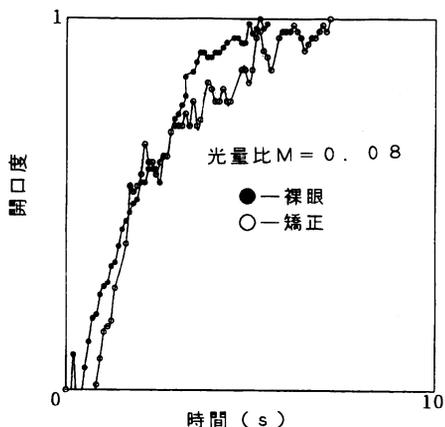


図11 同じ光り刺激に対する裸眼時と矯正時の瞳孔の動き（矯正視力1.0）

時の瞳孔の反応は初期の段階では裸眼時の反応とほとんど変わらないが、その後の反応は時間の経過と共に違いをみせ裸眼時の瞳孔の反応に比べ遅いものとなっている。このように同じ大きさの光刺激を与えた場合に裸眼と矯正では、瞳孔の反応に大きな違いが現れてくることがわかる。この同じ大きさの光り刺激を与えた場合の矯正時と裸眼時の瞳孔の反応の違いの様子は、先の図6、7に示した光刺激の強さを変えた時の瞳孔の反応の違いに見られる傾向と類似したのものとなっている。このことから、視力矯正は光り刺激を減じさせるような効果があると思われる。これは裸眼（弱視力）の場合は瞳孔から入る平行光線が網膜の前で像を結ぶ状況にあり、

光の受光器である網膜が受ける光量は拡散した形となっている²⁾。それに対し、眼鏡等によって視力が矯正された場合は平行光線は網膜の中心部に集束される。網膜の明るさの弁別閾値が網膜の中心部で小さく、周辺部で大きいと言われている¹⁾ことからすると、視力の矯正は網膜の最も明るさを感じる所にしかも光を集めることになり、網膜としては裸眼の時に比べ明るい状況を感じする形となる。すなわち、裸眼時よりも光刺激が小さいとして感知し反応するためと思われる。

3. 4. 2 光刺激後の事物・事象の確認時間に見る視力矯正の効果

視力の矯正が光り刺激後の暗の状況下での事物・事象の確認に要する時間にいかなる効果が見られるかについて調べる。先の図9の光刺激の強さと事物・事象の確認（ランドルト環）に要する時間の関係で、視力を矯正した被験者は光刺激が小さい場合には同裸眼視力の被験者とはほぼ同じ確認時間が示されているが、光刺激が大きくなるにしたがって同視力の裸眼被験者の確認時間に比べて長くなる傾向を示している。そして、光刺激がより大きい状況になると確認に要する時間はむしろ裸眼の弱視力者の確認時間とほとんど変わらなくなっている。このようなことから、視力の矯正は光り刺激後の暗の状況下の事物・事象の確認において比較的光刺激の小さい場合には効果は大きい光刺激が強い場合には効果は少ないと考えられる。

3. 4. 3 定常的な明るさと視力の関係に見る視力矯正の効果

上述のような光り刺激といった過渡現象での視力矯正の効果でなく、明から暗といった広範囲での定常的な明るさのもとで視力の矯正の効果はどのように現れるかについて調べる。図12は各被験者に対し明るさの違いによって視力がどのように変わってくるかを示したものである。これから判るように、いずれの被験者もほぼ80Lxを境として照度の減少と共に視力は著しく低下してくる。特に、矯正視力時の照度の減少にともなう視力低下傾向は、裸眼時に比べて大きくなっている。このことは、眼鏡によって視力を矯正することで全般的には視力は向上するが、明るさ(照度)

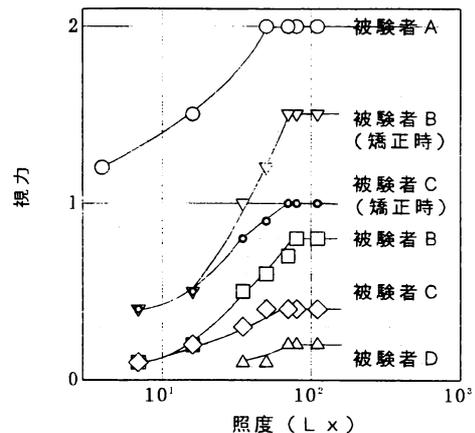


図12 照度と視力の関係

によって視力向上の程度は大きく異なるといえる。照度の大きい領域では矯正による視力の向上は大きい、照度の減少と共に矯正による視力の向上の程度は低くなっていく。先の光り刺激を与えた過渡現象での事物・事象の確認時間に見られる視力矯正の効果は光刺激が小さいには視力矯正の効果は大きく、光刺激が大きい場合には効果は少ない等の結果と、ここでの定常的な照度と視力関係に見られる効果とが類似した傾向を示している。このようなことから、光り刺激を与えた時の瞳孔の動き、事物事象の認識時間といった過渡的な状況に見られる

傾向は定常時の視力の性質・傾向から推測できるように思われる。

4. おわりに

以上、明るい状況から急激に暗い状況に環境が変わるような光刺激の観点から視覚機能の特性を実験的に調べた。その結果つぎのようなことが判明した。

光刺激を与えた場合の瞳孔の反応は被験者によってほとんど差異がないが、光刺激に対する網膜の感度は被験者によって大きく違ってくる。光刺激の強さは瞳孔の反応に大きく影響し、光刺激が大きいほど瞳孔はすばやく反応する。一方、光刺激の強さに対する光刺激後の事物・事象の確認に要する時間は光刺激の強さが大きいほど長くなる。視力矯正の効果は瞳孔の反応においては光刺激の大きさを減ずる方向に効果が現れる。また、視力矯正の光刺激後の事物・事象等の確認に要する時間に対する効果は、光刺激の強さが大きい場合には効果は期待できないが光刺激の強さが小さい場合には視力矯正の効果が見られる。

参考文献

- 1) 瞳孔運動の心理学 松永勝也著 ナカニシヤ出版
- 2) めがね工学 小瀬輝次監修 大頭仁、一色真幸、その他著 共立出版