

点滅光による自動運動について

竹 内 由 則
荒 毛 将 史
福 崎 美 稔

Autokinetic Movement by Blinking Light

Yoshinori Takeuchi, Masashi Arake & Mitoshi Fukuzaki

Abstract

Pilots frequently experience autokinetic movement which can cause pilot vertigo in night flight. A short blinking cycle at approximately 0.1 seconds was used in the past experiments. This experiment showed that the appearance position at the time of lighting changed at random with longer cycle blinking light. Four male subjects were participated. We used an LED light and a joystick, and measured eye movements by EOG method. Three conditions were planned. First was continuous light (usual autokinetic movements) during 60 seconds. Second was 10 seconds turning on and 5 seconds turning off (long period), during 150 seconds. Third was 0.2 seconds turning on and 1.8 seconds turning off (short period), during 180 seconds. As a result of the experiment, the point of light displaced randomly at the time of lighting, in the blinking conditions. The movement of luminous point was observed to the subjects who did not recognize the autokinetic movement with continuous light. The directions of movements were mainly upper in continuous and long period condition, and at random in short period condition. The number of saccadic movements and eyebrinks were more observed in blinking condition than in continuous one, and the amplitude of fixation were bigger in blinking condition. However the eye movements might not be related in displacement of light because eye movements did not synchronized with autokinetic movement nor turning on and off of light.

I はじめに

自動運動とは、「暗室内で1個の静止光点を凝視しているときに、この光点がさまざまな方向へランダムに動いて見える現象」（『最新 心理学事典』, 平凡社 2013）である。古い辞典（『心理学事典』, 平凡社 1957）では「暗黒の中で」と表現されているが、人工照明の普及した現代において地上で自動運動を観察できる場所は心理学実験室くらいであろう。

一方、夜間飛行中のパイロットにとっては珍しい現象ではない。星、漁火、他機の機外灯などは容易に自動運動を引き起こす。空間識失調¹⁾の誘因の一つとなる現象であるため（黒田 1988, AFMAN 2005, 加藤 1981）、航空自衛隊ではフライトコースに入る前のパイロット候補者に暗室内で自動運動を

体験させ、注意を促している²⁾。このように自動運動は、航空心理学 aviation psychology 上も大変注目されている現象である (Bajjal, 2006)。

ところで、自動運動とは一般的に連続光を指すが、点滅光でも発生することはパイロットにはよく知られている。航空機胴体の上面・下面に取り付けられている衝突防止灯 anti-collision light は、毎分 40-90 回で点滅する (機種により異なる)。この光を見つめていると、同一箇所でも点滅しているのではなく、点滅のたびに出現位置が変わる、つまり、光点がランダムに飛び跳ねているように感じられる。

夜間の編隊飛行の際、先行機のライトにこの現象を感じ、消灯するよう後続機がリクエストすることがある。また、次のようなパイロットの体験談もあった。「(夜間、洋上を飛行中) 前方に 2 隻の船を発見、その間を通過しようとした。しかし、嫌な予感、レーダーをオンにしてみると、2 隻と思った船は、1 隻の大型船、上昇して回避する結果となった。(中略) 大型船の灯火の (点滅) 間隔は、1 隻が 2 隻いるように錯覚させる場合がある」(宮口 2000、() 内は引用者) -つまり、灯火を交互に点滅させながら前後に航行している船の上空を横切ろうと近づいたら、1 隻だったというのである。

過去に行われた点滅光による実験では、いずれも非常に短い周期が用いられ、点滅周期 10cps の CFF (Critical Fusion Frequency) 領域のちらつき光 flickering light は安定光 fused light よりも自動運動の発生の潜時が短くなる、との結果を得ている (Elfner 1963, Pearce et al.1967)。

本実験ではこれまでよりも長い点滅周期を対象とした。目的は以下の仮説を検証することである。自動運動中に眼球運動は現れないとされているが (今井他 2005, Levy 1972)、長周期の場合は眼球運動が関係している可能性がある。点灯中は光点が固視点となるため、眼球運動は発生しない。消灯中、視標のない環境で固視状態を維持することは困難であり、不随意的な眼球運動が現れるであろう。点灯と同時に視線が光点に向かい、その眼球運動が光点のランダムな出現位置として知覚されるのではないか。

また、本小論では光点のふるまいについても記述する。

II 実験

1 方法

被験者

被験者は男性 4 名 (29-44 歳)、1 名を除いて矯正眼鏡を着用していた。

装置

光源は直径 3mm の赤色 LED で、観察距離 750cm、高さ 150cm の位置に設置した。

速く、正確に点灯方向を指示できるよう、入力には指で摘んで操作する小型ジョイスティック (SparkFun 社 COM-09032+BOB-09110) を用いた。

眼球運動は EOG 法により測定した。電極を前額中央と右目じりに装着し、双極導出により垂直・水平方向の EOG をサンプリングレート 2kHz で、ミユキ技研 Polymate V にて記録した。

以上の機器をパーソナルコンピュータ Dell PRESSION M4700 に接続し、マイコンボード Arduino UNOr3 でコントロールした。

手続き

被験者は椅子に座り（眼高約 110cm）、机に置かれているジョイスティックを操作した。

3つの実験条件を各被験者とも同一の順で行い、条件の間は室内照明をやや明るく点灯した。椅子に座ったまま小休止を取った後、再び3条件を繰り返した。

条件

(1) 連続光

点灯し続ける連続光、観察時間は 60 秒間とした。

被験者は光点の運動が観察されたらその方向にジョイスティックを操作するよう求められた(光点の上昇時はスティックを前方に倒す)。

自動運動の基礎的なデータを収集すること、各被験者について自動運動の現れやすさを測定することが目的である。

(2) 長周期

10 秒間の点灯と 5 秒間の消灯を繰り返す。観察時間は 150 秒間。

被験者は点灯とほぼ同時に、(視野の中心ではなく)直前の点灯位置から移動した方向にジョイスティックを操作した。スティックを中立位置に戻し、その後、自動運動が観察された場合は運動を追跡した。

消灯ののち、再点灯した際の点灯位置のズレおよび点灯中・消灯中時の EOG の違いを検討した。

(3) 短周期

0.2 秒間の点灯と 1.8 秒間の消灯を繰り返す。観察時間は 120 秒間。

被験者は光点の出現位置に合わせてジョイスティックを操作するよう求められた。

短い点滅周期における、出現位置の変化と眼球運動を検討した。

2 結果

(1) 連続光条件

記録の例を図 1、図 2 に示す。図 1 によると点灯後、約 7-10 秒の間は左方向、11-24 秒の間は左上方向へと運動している。図 2 には 3 回の瞬目が認められる。

本条件の測定結果をまとめたものが表 1 である。S1・S2 は 2 回の試行の平均である。S3・S4 の第 1 回目の試行では自動運動が観察されなかったため、表からは除いた。

全体の平均潜時（点灯から自動運動が観察されるまでの時間）は 14.6 秒（SD 4.59 秒）であった。S1・S2 は 10 秒前後で運動し始めたが、S3・S4 は 20 秒近くかかっていた。

いったん自動運動が始まっても、点灯中に運動が停止することがある。潜時から消灯までの間、どの程度運動していたかの時間的割合を運動量 (%) として示した。S2 第 1 試行のように 100% 運動しているケースから、S3・S4 のようにほとんど運動が感じられないケースまでさまざまであった。

1 分間あたりの小飛越運動数 micro-saccade および瞬目数は、潜時・自動運動・停止の全ての段階、全ての被験者において低い値であった。

潜時と運動量とから、自動運動を観察しやすい S1・S2 とそうでない S3・S4 の 2 群に分けられた。

どの方向に運動していたかを図 3 に示す。各被験者、各試行において運動方向の割合を求め、集計したものである。上方への運動が圧倒的に多く、これに左右の動きが修飾的に加わっているよう

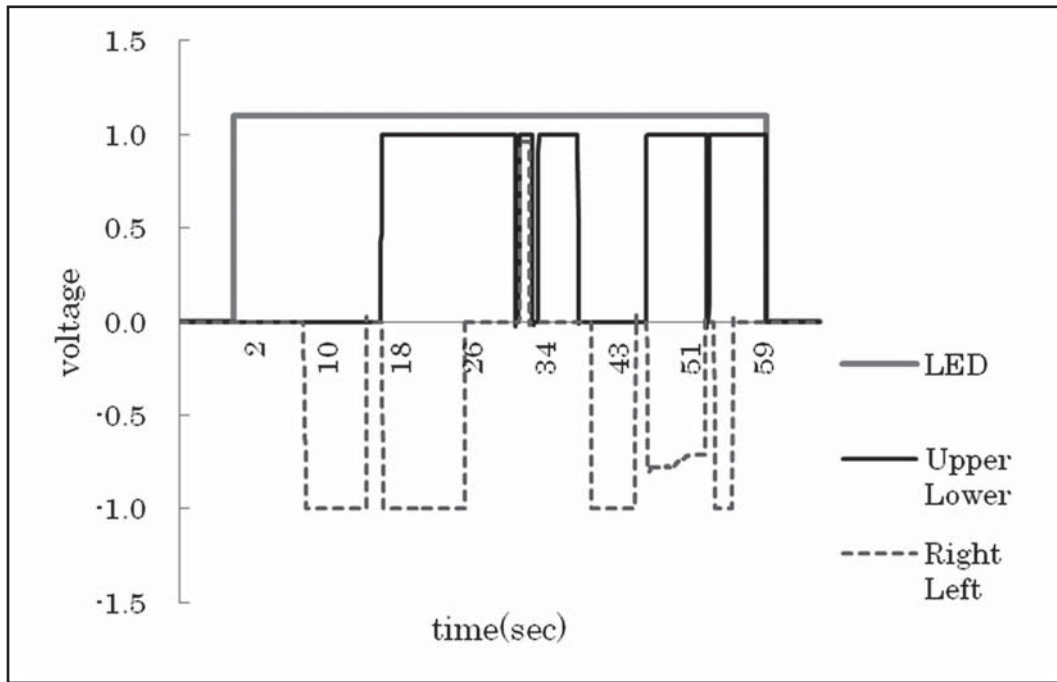


図1 LEDとジョイスティックの信号（連続光条件）

縦軸は補正した電圧、横軸は時間（秒）である。太い実線はLEDの点灯。

実線は+：上方向、-：下方向、破線は+：右方向、-：左方向の運動を表す。

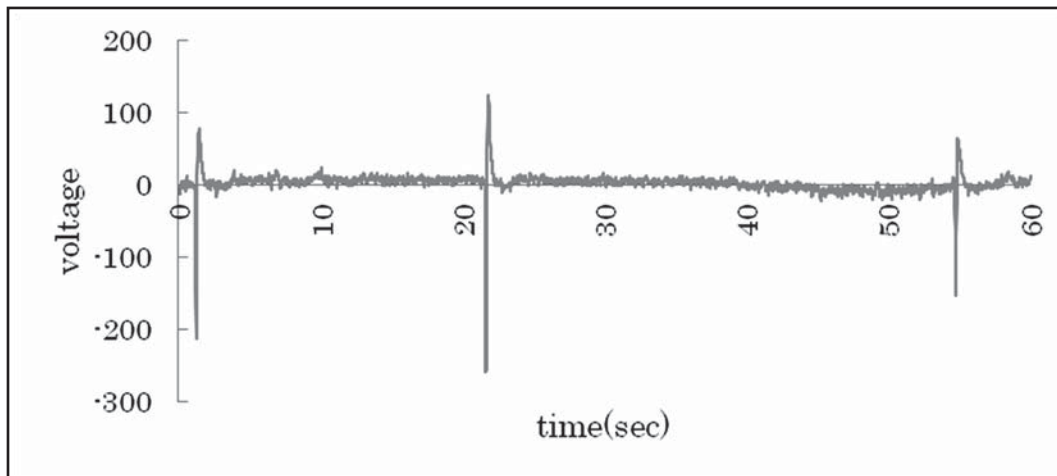


図2 EOG波形（連続光条件）

表1 連続光条件のまとめ

第1・2試行の平均、ただしS3・S4は自動運動の観察された第2試行のみ。

被験者	潜時	運動量	小飛越数			瞬目数		
			潜時	運動	停止	潜時	運動	停止
S1	8.6	78.7	0	0	0	1	1	0.5
S2	12.3	94.7	0	0	2	5	4	0
S3	18.6	3.3	1	0	1	0	2	4
S4	18.7	13.0	0	0	1	3	0	4
ave	14.6	47.4	0.3	0.0	1.0	2.3	1.8	2.1
S.D.	4.95	46.00	0.50	0.00	0.82	2.22	1.71	2.17

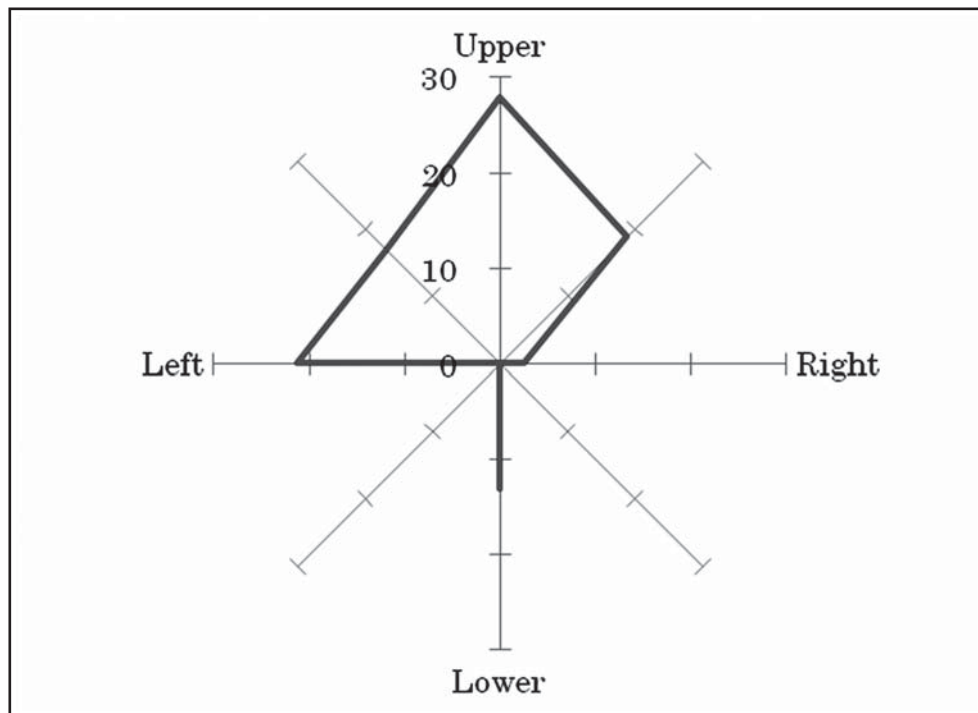


図3 連続光条件での自動運動方向

表2 長周期条件のまとめ

被験者	出現位置 移動率	自動運動		小飛越数		瞬目数	
		運動量	出現率	点灯時	消灯時	点灯時	消灯時
S1	88.9	76.0	100.0	1	0	1.5	1.5
S2	55.6	34.1	72.2	3.5	2	8.0	10.5
S3	61.1	0.0	0.0	5.5	1.5	14.5	8.0
S4	77.8	6.4	38.9	1	5	10.0	6.0
ave	70.9	29.1	52.8	2.8	2.1	8.5	6.5
S.D.	15.3	34.6	43.1	2.2	2.1	5.4	3.8

である。100%同一方向（左方向、S2第2試行）への移動を示した例もあった。

(2) 長周期条件

2試行の測定値の被験者ごとの平均値を表2にまとめた。

出現位置移動率とは、直前に点いていた位置とは別の所に点灯したと感じた割合である。全員が50%以上の点灯について、位置の移動を示していた。

自動運動の運動量とは全点灯時間に対する自動運動時間の割合である。S4は、連続条件での潜時が18.7秒であったにもかかわらず、点灯時間10秒間のこの条件で運動を感じている。S3に運動は発生しなかった。出現率とは、自動運動がいくつの点灯ブロックで発生したかを示すものである。出現率100%とは全てのブロックで運動が観察されたケースである。S4では運動量は少ないながらも観察されたブロックは少なくなかった。

点灯時の出現位置の移動方向、つまり直前の点灯位置からのズレの方向を示したものが図4である。左方向が多いのは偶然であろうが、自動運動にみられた上方向の優位性はなくなっていた。自

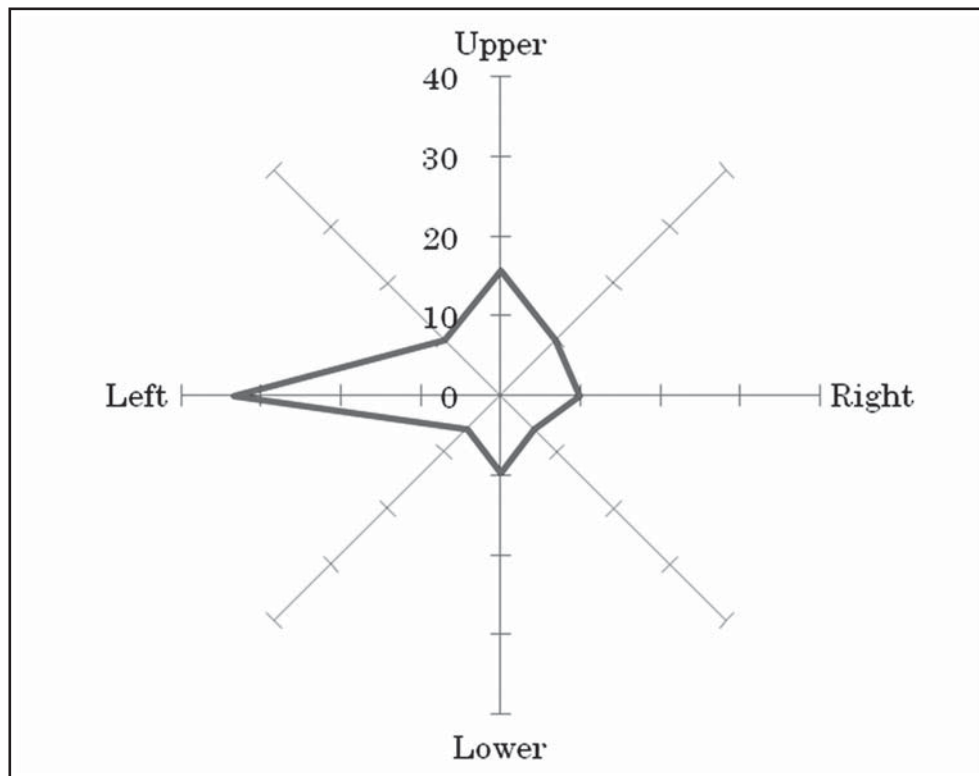


図4 長周期条件での出現位置の移動方向

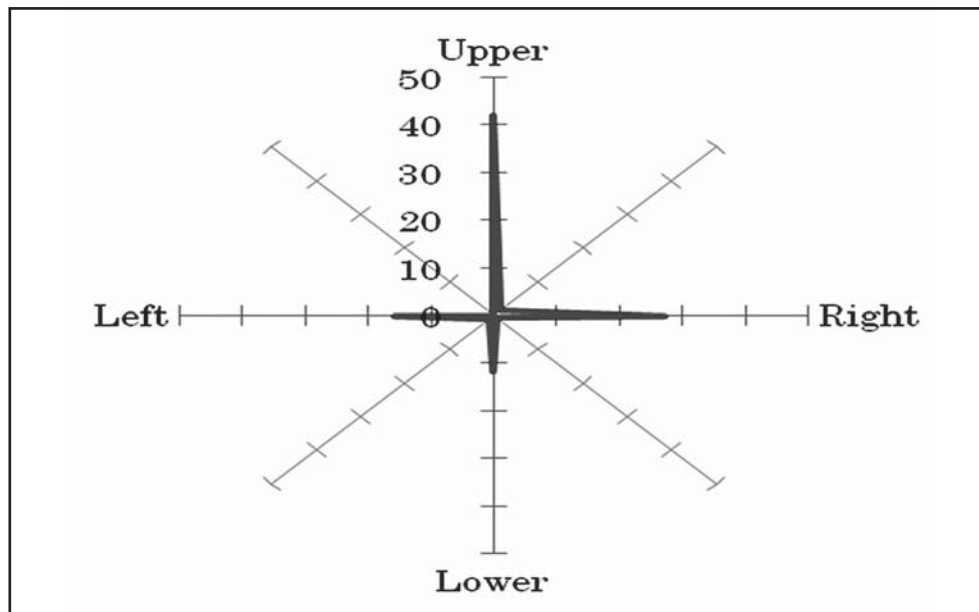


図5 長周期条件での自動運動の方向

動運動では、やはり上方向の運動が多くあらわれた(図5)。

小飛越・瞬目数については、点灯時と消灯時とに分けて1分間あたりの回数を集計した。小飛越・瞬目ともに連続条件と比較すると非常に多く出現していたが、点滅のタイミングに同期した出現、および点灯・消灯時の違いなどは認められなかった。

また、小飛越・瞬目を除いた固視微動波形の振幅は連続条件と比較して大きかった。この振幅も点灯時と消灯時とで違いはなかった。

(3) 短周期条件

表3に結果を示す。移動率とは、出現位置が直前の位置から移動した回数の割合である。S1の71.7%とは、60回の点滅中（2秒周期で120秒間）44回に移動がみられたことを示す。

S3・S4においてもS2と同等かそれ以上の移動率を示していた。

移動方向は上方向が多く、左右方向が続いた（図6）。斜め方向へは4方向合わせて3.23%であった。

小飛越・瞬目数は連続条件に比べると高い値であった。固視微動波形の振幅は長周期条件と同程度の大きさであった。

表3 短周期条件のまとめ

被験者	移動率	小飛越数	瞬目数
S1	71.7	3.5	3.5
S2	41.7	7.0	20.0
S3	40.0	6.0	18.0
S4	57.5	7.5	13.0
ave	52.7	6.0	13.6
S.D.	14.90	1.78	7.36

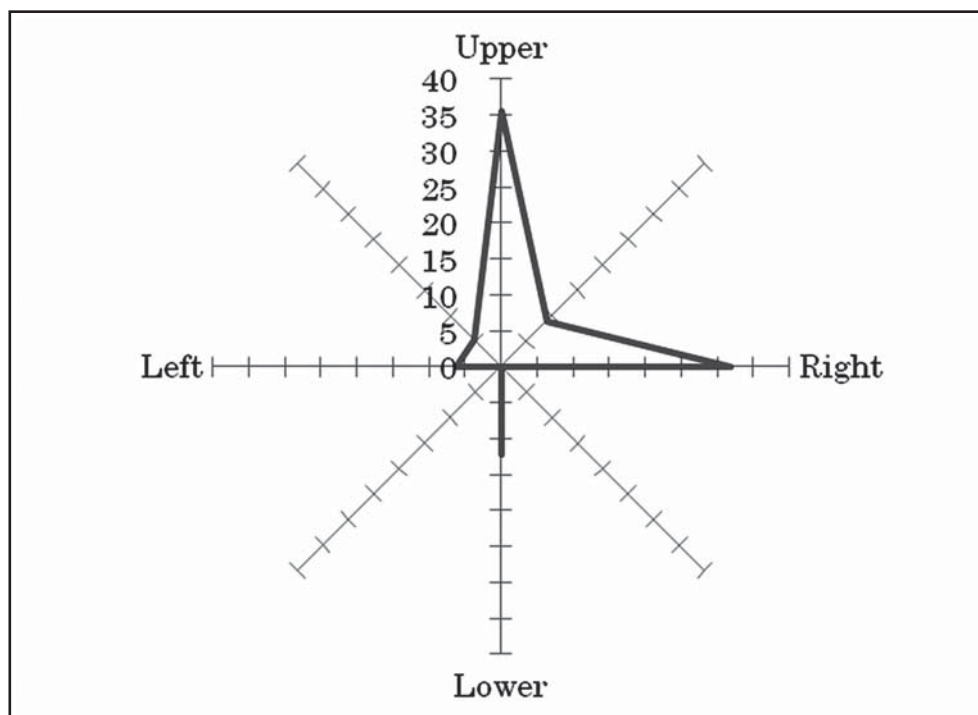


図6 短周期条件の出現位置の移動方向

3 考察

自動運動の実験では、LEDやディスプレイを使用することによって刺激提示は容易となった³⁾。しかし、自動運動実験の難しさは、被験者の反応を表出させることの困難さにある。「ずっと上昇し続ける」「ランダムに左右に揺れている」などと表現される主観的な印象を言語化したり、物理量によって換算することは容易ではない。

多くの実験では、運動中スイッチを押す、観察中（あるいは後に）ペンで軌跡を描画するなどの方

法が用いられている。しかし、Gilbert (1967) は Time-Event Recording と Drawing とは別ものであり、例えば「一定方向に運動し続ける」などは Drawing では不可能であるとしている。なお、この他に被験者の反応を得る方法としては、パソコンのマウス (松田 1995) やトラックボール (竹内他 1997) を使った例もある。

今回の実験においてジョイスティックは有用であった。しかし、ジョイスティックは $x \cdot y$ 軸にバネが付いており、斜め方向には細かい操作がしにくい構造となっている。短周期条件において光点の移動方向が上下左右の 4 方向にほぼ限られていたのは、この構造が関係していたのかもしれない。自動運動には暗示効果があることが知られているが (Roys et al. 1966)、反応方式が被験者の見え方や反応の仕方に影響を与えている可能性も考慮する必要がある。

今回、2 名の被験者では連続光条件第 1 試行で自動運動が観察されなかったが、机とイスで身体が固定されていたため、ある種の空間定位が形成されていたのではないかと考えられる。

小飛越数は、連続光条件に比べると点滅光条件で多く、また S1 は他の被験者よりも少なかった (図 7)。分散分析 (条件 \times 被験者) によると、条件間 ($F(2,6) = 19.61, p < 0.01$)、被験者間 ($F(3,6) = 6.87, p < 0.05$) で共に有意であった。

瞬目数も点滅光条件で増加していた。分散分析結果は、条件間 ($F(2,6) = 7.14, p < 0.05$)、被験者間 ($F(3,6) = 8.39, p < 0.05$) で共に有意であった。また点滅光条件では連続する瞬目 (瞬目群発) も認められた。しかし、通常の瞬目数は 20 回/分といわれており (田多 1991)、点滅光条件よりもさらに高い値である。VDT 作業における瞬目数を調べた難波ら (2006) の実験によると、作業前 16.2 回/分が 60 分間の作業後は 7.7 回/分に低下していたとのことである。したがって、点滅光条件で瞬目が増加したというよりも、連続光条件で瞬目が抑圧されていたといえよう。被験者は、点滅光条件よりも連続光条件において、光源を強く凝視していたためとも考えられる。

固視微動の振幅は点滅光条件の方が連続光条件よりも大きかった。固視微動によって眼球が動け

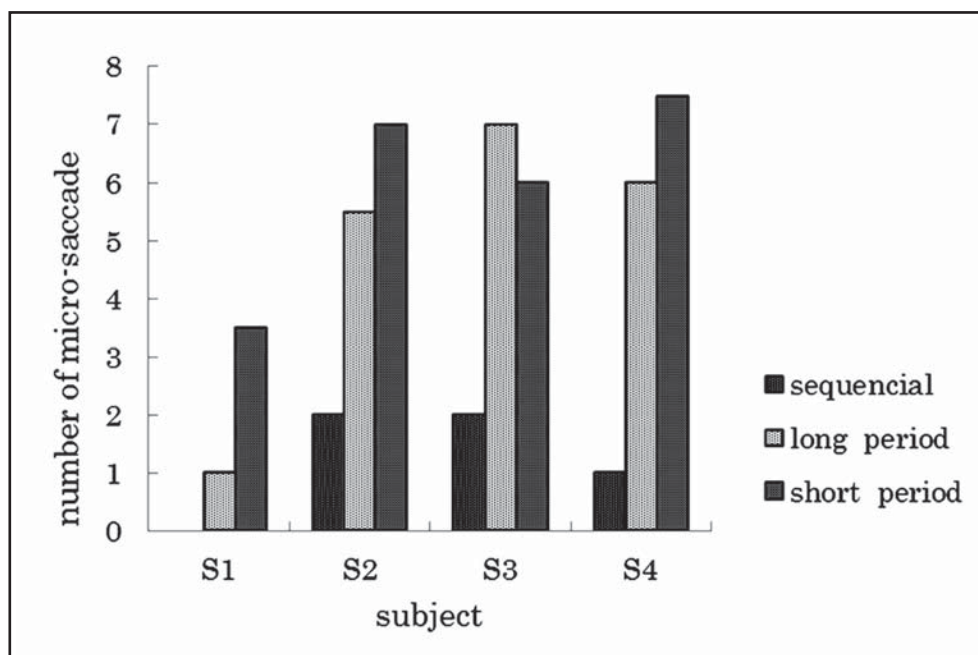


図 7 条件ごと的小飛越数

ば、光点が刺激する網膜上の感覚細胞が異なり、それが出現位置の変化をもたらしたとも考えられる。しかし、長周期条件において点灯時と消灯時とに違いはみられず、固視微動が原因である可能性は低い。点滅光条件で固視微動振幅が増幅した理由は不明である。

以上のことから、点滅光を観察している際には、跳躍 saccade や追従 pursuit の大きな眼球運動は認められないものの、固視微動の動きが活動的になるといえる。ただし、この動きが光点の出現位置の移動およびその後の自動運動と関係しているとは考えにくい。その理由は、①小飛越や瞬目が光源の点滅と同期していないこと、②眼球運動量と点灯位置の移動量との間に関連がないこと、③被験者間に一定の傾向が認められないことである。

長周期条件において、点灯・消灯中の眼球運動に違いが見られなかったことは、5秒間程度であれば固視点なしでも一点を凝視し続けることが可能であることを示しており、消灯時の眼球運動によって出現位置の移動が引き起こされるとの仮説は否定された。

主観的な運動印象の違いは、消灯時間によって、おおよそ次のように定性的に分類できるであろう。当然のことながら、自動運動は個人差の大きい現象であるため、時間は目安であり、「」内はあえて言語化した印象であって、観察者に共通のものではない。

- ①ちらつき光の自動運動 0.1秒 「通常の自動運動だが素早く点滅し、チラチラする光が動いている」
- ②規則的に消灯する自動運動 0.5秒 「光がスーと動き、消灯した後、同じ方向に動く。ホテルが飛んでいる感じ」
- ③点灯位置がランダムに移動し、仮現運動が感じられる 0.7秒 「光が狭い範囲内で不規則に跳躍する。チョウがヒラヒラと舞っているような感じ」
- ④完全にランダムな位置に現れる 1秒以上 「まったく予測がつかない位置に現れる。移動量は大きい」

点滅光の運動は周期によっては仮現運動のような動きをする場合もある。しかしこの現象は仮現運動ではなく、やはり自動運動のタイプとするべきであろう。刺激が単数が複数かとの物理的なちがいに加えて、仮現運動にみられる眼球運動との対応を欠いていること、連続光から点滅光まで一連の動きであり、明確に区分することが不可能であることがその理由である。

さらに、仮現運動との最も大きな違いは、自動運動の生起している場面では、視覚的枠組み visual framework が欠如していることである。高橋(2003)は自動運動の成立機序について過去の研究の概観したのち、「視空間の安定性の保持には、視覚的枠組みの効果を無視できないし、またそのことが自動運動現象の成立と密接な関連性をもつ」と、自動運動と視覚的枠組みとの関係を強調している。

「視空間の安定性」は、3次元の航空環境において夜間や雲中などのように、視覚的枠組みが失われた状態では容易に崩壊してしまう。そこに機体の運動や G (重力加速度) が加わればなおさらである。

自動運動と観察距離に関する実験は、なぜかほとんど見当たらない。多くの実験が 1m 程度の距離からの観察である。

Crask ら(1978)は、自動運動と輻輳との関係を調べるため、0.7、1.4、2.8、5.6m の距離を用い、観察距離が長くなると潜時が短縮されることを明らかにした。ただし彼らの実験では距離は鏡像によって調整されている。

Edwards (1954) は 1.15m と 2.93m とで実験を行い、予想に反して短い距離の方が潜時が短かったと述べている。

本実験で使用した暗室の広さは、幅 5.3m、奥行 8.7m である。前述のように 5、6 名のパイロット候補生に同時に自動運動を観察させるためにこの広さを必要としている。1978 年まで使用されていた立命館大学広小路校舎の心理学研究室には、長辺 12m、短辺 6m の L 字型をした「東洋一」(藤 1997) 広い暗室があった。

自動運動はもともと野外で観察された現象である。短い距離でも現象は生起するが、実験がコンパクトな実験室内でのみ終始しているとすれば、この現象の持つダイナミズムを見逃す恐れがないとは言えないであろう。

自動運動は上方への運動が優勢であるとは、多くの研究の一致するところである (Levy 1972)。この点に関して、将来的に期待したいことは、宇宙ステーション内での実験である。つまり、無重量状態で“上”とは頭部方向を指すのか、あるいは重力の逆方向かという問題である。頭部方向を指すならば体軸に沿った運動が多く現れ、重力の方向が関係しているならば無重量環境では四方に等しく現れるであろう⁴⁾。

自動運動現象は、知覚を成立させるメカニズムの研究対象として心理学研究者に、飛行安全の見地から航空関係者に注目されてきた。点滅光による自動運動という現象が加わることによって、この領域により豊かな研究成果が生まれることを期待したい。

Ⅲ まとめ

本実験の結果は以下のように総括される。

1. 点滅光の自動運動では、点灯時に出現位置の移動が観察された。
2. 連続光の自動運動は上方への動きが多いのに対し、点滅光の移動方向については、短周期では上方への動きが多く、長周期ではランダムであった。
3. 連続光で自動運動を観察しにくい被験者でも点滅光では容易に出現位置の移動が観察された。
4. 点滅光では眼球の小飛越・瞬目の回数は連続光よりも多く、固視微動の振幅も大きかったものの、出現位置の変化に眼球運動は関係していないと考えられる。

注

- 1) 空間識失調 spatial disorientation, vertigo とは、夜間、雲中など水平線の見えない状況で、自機の飛行姿勢や進行方向が感覚的に把握できなくなる状態である。計器によって感覚の誤りを修正しないと事故につながることもある。
- 2) 5名ほどのパイロット候補生を横に並ばせ、光源の色や大きさ、輝度、配置を変えながら約 10 分間の自動運動を観察させている。筆者の経験では、この条件で自動運動が最後まで観察されなかった者は数百名中約 3% である。
- 3) 実験で光や音のパルスを用いる場合、on-off のデューティ比の設定が問題となる。しかし、点滅光の自動運動実験で重要なのは、点灯時間ではなく、消灯時間である。例えば、0.7 秒間ずつの on-off を繰り返すと、「光が流れる」ように感じられることがある。この場合、自動運動による運動なのか、出現位置の移動なのかを区別することは困難である。そのため、点灯時間を短くして自動運動の発生を抑制する必要

がある。

- 4) 宇宙ステーション内は安全上、多くの照明が設置されており、暗黒状態とすることは規則的にも困難であろう。

参考文献

- Baijal, R., Jha, V. N., Sinha, A., & Sharma, S. K. 2006. Simulator based spatial disorientation training in the Indian Air Force. *Indian Journal of Aerospace Medicine*, 50 (2), 1-6.
- Craske, B. & Crawshaw, M. 1973. Latency of autokinesis and convergence of the eyes, *British Journal of Psychology*, 64 (2), 199-204.
- Edwards, W. 1954. Autokinetic movement of very large stimuli, *Journal of Experimental Psychology*, 48 (6), 493-495.
- Elfner, L. F. & Page, H. A. 1963. Autokinetic enhancement as a function of flicker, *Perceptual and Motor Skills*, 17, 299-301.
- 藤健一 1997. 立命館大学文学部心理学研究室の変遷 (広小路校舎, 1922-1978), *立命館文學*, 551, 650-618.
- Gilbert, D. C. 1967. A factor analytic study of autokinetic responses, *Journal of Experimental Psychology*, 75 (3), 354-357.
- 今井章, 山田一宣, 嶋崎裕志 2005. 自動運動と眼球活動との関係, *信州大学人文科学論集人間情報学科編*, 39, 1-9.
- 加藤象次郎 1981. 夜間編隊飛行中における空間識失調要因としての胴体灯 - 胴体灯の認知パターンについて -, *航空医学実験隊報告*, 22 (3), 125-142.
- 黒田勲 (監修) 1988. *飛行とところ*, 第4版, 鳳文書林.
- Levy, J. 1972. Autokinetic illusion : A systematic review of theories, measures, and independent variables, *Psychological Bulletin*, 78 (6), 457-474.
- 松田隆夫 1995. 自動運動の観測条件と暗示効果に関する若干の知見, *基礎心理学研究*, 14 (1), 35.
- 宮口研一 2000. 夜間飛行の体験談, *飛行と安全*, 524, 24-31.
- 難波哲子, 堀田咲子, 田淵昭雄 2006. Visual Display Terminal (VDT) 作業による瞬目回数・涙液量の変化と屈折矯正方法との関連, *川崎医療福祉学会誌*, 16 (2), 239-245.
- Pearce, D. G. & Abel, S. M. 1967. Autokinesis of an intermittent luminance, *Perceptual and Motor Skills*, 25, 278-280.
- Royce, I. R., Carran, A. B., Aftanas, M., Lehman, R. S. & Blumenthal, A. 1966. The autokinetic phenomenon : A critical review, *Psychological Bulletin*, 65 (4), 243-260.
- 田多英興, 福田恭介, 山田富美雄 1991. まばたきの心理学 - 瞬目行動の研究を総括する, 北大路書房.
- 高橋啓介 2003. 自動運動現象の成立機序に関する心理物理学的研究の展望, *愛知淑徳大学論集*, 3, 79-96.
- 竹内由則, 野見山武徳, 西修二 1997. 自動運動と眼球運動の関連について, *日本心理学会第61回大会発表論文集*, 551.
- United States Air Force Manual (AFMAN) 2005. 11-217, Volume 13.

竹内由則 (航空安全管理隊資料部長)

荒毛将史 (航空医学実験隊第1部人間工学科)

福崎美稔 (航空安全管理隊資料部資料処理科)