

# 自動運動と眼球活動との関係

今井 章・山田一宣・嶋崎裕志

## 問 題

視覚的枠組みや対象の定位が不安定な環境、例えば、完全暗室などにおいて、提示された一つの小光点を凝視し続けると、小光点は物理的には静止しているにもかかわらず、観察者にはその小光点があたかも運動しているかのように見えることがある。この主観的な運動知覚は自動運動 (autokinetic movement, autokinetic illusion) と呼ばれ、Charpentier (1886) が最初の実験的検討を加えて以来、今日まで多くの研究者を引きつけてきた現象である。

自動運動を実験的に検討した研究では、主に、刺激属性、視覚的枠組み、眼球活動の影響、などの効果が採り上げられており、その生起メカニズムについては、これらの結果に基づき幾つかの仮説が提出されているが、いまだに統一的な理解には至っていない。自動運動は、錯覚 (illusion) ともいわれるように、物理的世界と知覚的な主観的世界との不一致を示す一つの事例であり、“知覚システム”の本質に関わる重要な現象と考えられる。現象自体は単純であるが、その背景メカニズムは複雑なものであることが予想され、その理解には知覚の統一理論が必要と考えられる。

この自動運動を説明するメカニズムとしては、小光点凝視中に生起する眼球運動の要因を重視する立場 (Barlow, 1952; Crone & Verduyn Lunel, 1969; Matin & MacKinnon, 1964) と、網膜情報と中枢からの動眼指令との比較相殺 (Helmholtz, 1962; Holst, 1954) を想定する立場とが区別される。比較相殺説には、流出説 (outflow theory) を支持する立場 (Matin & MacKinnon, 1964) と、再帰性求心入力 (reafference) を仮定する立場 (Gregory & Zangwill, 1963; Leibowitz, Shupert, Post, & Dichgans, 1983; Mack, 1986) とにさらに区別されうるが、いずれも中枢からの動眼指令と眼球からの位置情報との比較相殺を仮定している点で、両者は本質的に同じ考え方とみなしてよいであろう。

自動運動と眼球活動の方向や大きさとの関係を調べた初期の研究 (Guilford & Dallenbach, 1928) では、両者の間に関係を見いだせなかったが、その後の研究では、両者の関連を示唆するものもある。例えば、自動運動が目の生理学的安静位と関連づけることができるとの指摘 (Levy, 1972; Vaegan, 1976) や、視運動性の眼球振盪 (nystagmus) を誘発する回転性刺激が、同様な自動運動を誘発する (Skolnick, 1940) ことが明らかにされている。最近、Wade & Heller (2003) は、様々な運動知覚と眼球活動との関係を歴史的に評論し、自動運動には眼球活動の影響を少ないながらも考える余地がある、との結論を得ている。今日的には、比較相殺理論のほうがより柔軟な説明が可能と思われるが、自動運動と眼球活動との関係が完全に否定されているわけでない。自動運動生起中の眼球活動を詳細に測定して検討することは、主観的な見えの世界と客観的な指標としての眼球活動との対応を探るとい

う点で、運動知覚理解に対する何らかの手がかりを与えてくれるものと期待される。

以上のことから、本研究では、自動運動生起時にどのような眼球活動が中心的に生じているのかということ、時間解像度および空間解像度という点から詳細に調べ、自動運動の生起メカニズムに対する示唆を得ることを目的とした。

## 実 験

### 方法

**被験者** 成人男性および男女大学院生計4名(年齢22—42歳)が観察者であり、いずれも正常か矯正による正常視力と正常色覚を有していた。

**装置** 眼球活動の計測は、赤外線照射した瞳孔の中心を CCD カメラにより捕捉・追跡するシステム (SR Research 社製 EyeLink II) を用いた。被験者の頭部に、頭部運動補正センサー、両眼用 CCD カメラが取り付けられたヘッドマウントを装着し、データを眼球運動計測専用のソフトウェアをインストールしたパソコン (Dell OptiPlex GX260) にサンプリングレート 500Hz で取り込んだ。

**刺激** 刺激作成提示用パソコン (Dell Dimension 4500c) 上に計測システムと連動するソフトウェアを作成し、17インチカラー CRT ディスプレイ上に、視角 $0.2^\circ$ の白色小光点 ( $20 \text{ cd/m}^2$ ) を黒色背景 ( $0.02 \text{ cd/m}^2$ ) に提示した。

**解析** 眼球運動の解析には、やはり解析専用ソフトウェア (SR Research 社製 Data Viewer) を組み込んだパソコン (Dell Dimension 4500c) を使用し、固視、小飛越運動、および瞬目を同定しそれぞれの持続時間、生起回数を取得した。小飛越運動は、角速度閾  $22^\circ/\text{sec}$  以上、加速度閾  $4000^\circ/\text{sec}^2$  以上、移動閾  $0.1^\circ$  以上の眼球運動とし、それ以外の眼球活動は全て固視とした。瞬目は、CCD カメラが瞳孔の中心を補足できない場合として計測された。

**手続** ヘッドマウントを装着後、被験者は顎台に顎を乗せ、眼球運動計測システムの校正を行った。眼球運動の校正は、被験者の前方 57cm に置かれた CRT 上に、中心、上下左右、およびディスプレイ両対角線の合計 9 点に視角  $0.5^\circ$  の白色視標を提示して行った。その後、室内を暗室にして 5 分間の暗順応期間を設けた後、再度計測システムの校正を行って小光点をディスプレイ中央に 90 秒間提示した。被験者は左手に持ったストップウォッチのラップタイム計測機能により、自動運動が生起した時間と回数を計測した。同時に、右手で見えの運動を連続的に A 4 大の白紙に書記した。以上を 1 試行として、4 試行の繰り返しを行った。

**データの数量化** 同定された固視、小飛越運動、および瞬目の持続時間と生起頻度を、自動運動生起中と非生起中に分けて計測した。また、ストップウォッチによる自動運動の生起持続時間と生起頻度、および各試行の最初に生起した自動運動の潜時を測定した。

## 結 果

### 1. 自動運動の平均生起時間比、潜時、頻度、および持続時間

表 1 には、1 試行 90 秒の観察時間中に生じた、自動運動の平均総持続時間比、最初の自動

運動生起までの平均潜時，自動運動生起の平均頻度，および自動運動1回あたりの平均持続時間が各被験者別に示されている。自動運動の生起については，総観察時間90秒の50%を超えて自動運動を報告した被験者も1名みられたが，その他の観察者はおおむね40%前後の自動運動生起を報告しており，4名の平均時間比は50%以下であった。また，潜時については最も早い観察者で7秒前後であり，最長の20秒程度の被験者とは10秒以上の差が示された。平均頻度は，3名の被験者においては5回程度であったが，1名は約10回程度と倍の頻度が示された。さらに，平均持続時間は最長の被験者で15秒前後，最短では7秒程度となりここでも2倍程度ほどの差異が認められた。

表1 自動運動の平均総持続時間比，平均潜時（秒），平均生起頻度，および1回あたりの平均持続時間（秒）

被験者	総持続時間比	潜時	頻度	持続時間
AI	0.679	7.6	4.7	14.7
KY	0.377	20.2	5.0	7.0
WT	0.431	19.1	4.5	8.6
HM	0.450	13.8	9.8	7.5
平均	0.484	15.2	6.0	9.4
標準偏差	0.115	5.0	2.2	3.1

## 2. 自動運動生起時の眼球活動

図1は，自動運動が生起していた時間中の眼球活動持続時間を，固視，小飛越運動，および瞬目別に，観察総時間に対する時間比として示したものである。また図2は，やはり自動運動が生起していた時間中の各眼球活動の平均生起頻度を示したものである。

図1から，自動運動生起時のほぼすべての時間は固視に費やされていたことが明確に示されたといえる。一方，図2からは，各眼球活動の生起頻度は観察者によってやや差異が認められるものの，固視の頻度が相対的に多いことが示されているといえる。

## 3. 自動運動非生起時の眼球活動

図3は，自動運動が生起していない時間中の眼球活動持続時間を，固視，小飛越運動，および瞬目別に，図1と同様，非生起総時間に対する時間比として示したものである。また図4は，やはり図2と同様，自動運動非生起時の各眼球活動の平均生起頻度を示したものである。

図3から，自動運動非生起時の眼球活動のほとんど全てが固視であること，および，この傾向は，自動運動生起時とほぼ同様であることが図1との比較から示唆される。一方，図4から，自動運動非生起時の各眼球活動の生起頻度は，固視，小飛越運動，および瞬目でほぼ同じであることが示唆される。

## 4. 自動運動生起時と非生起時の眼球活動の比較

(1) 自動運動生起時と非生起時の持続時間比 自動運動生起時と非生起時において，固視，小飛越運動，および瞬目の各眼球活動の持続時間比に差異が認められるかどうかを，2要因

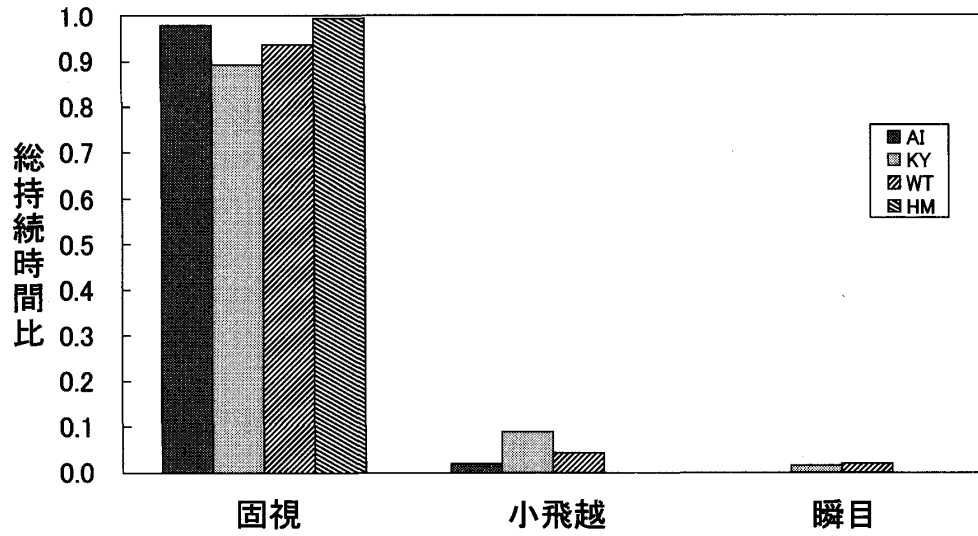


図1 自動運動生起時の眼球活動総持続時間比

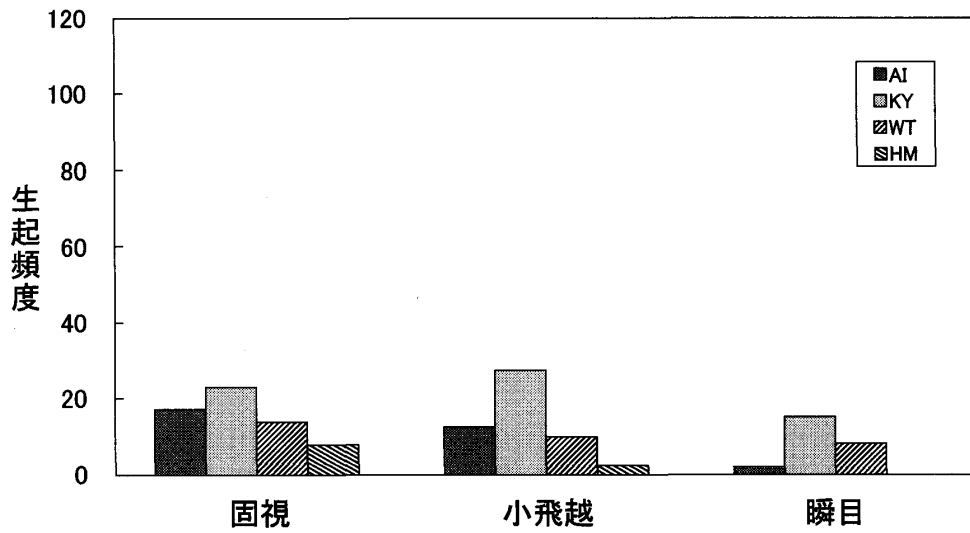


図2 自動運動生起時の眼球活動生起頻度

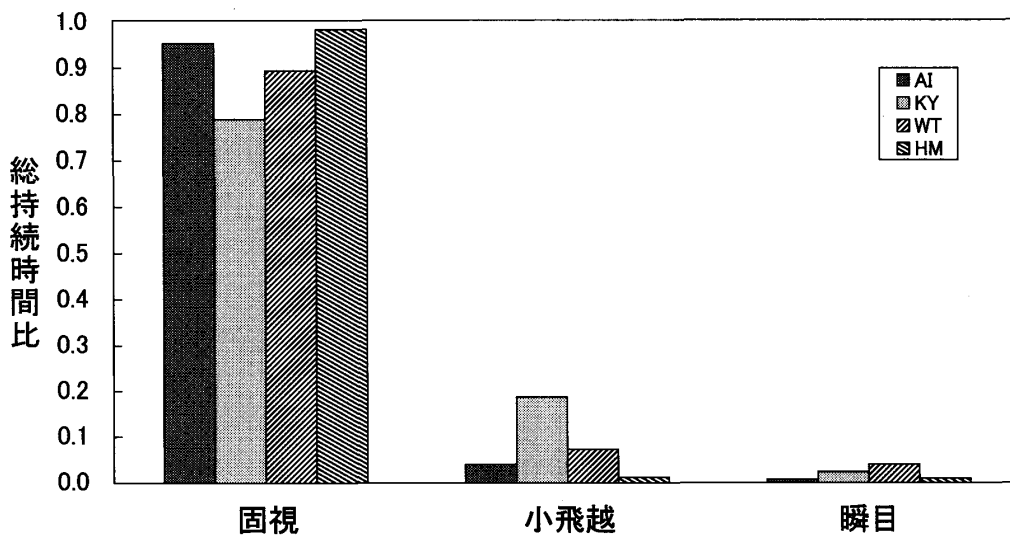


図3 自動運動非生起時の眼球活動総持続時間比

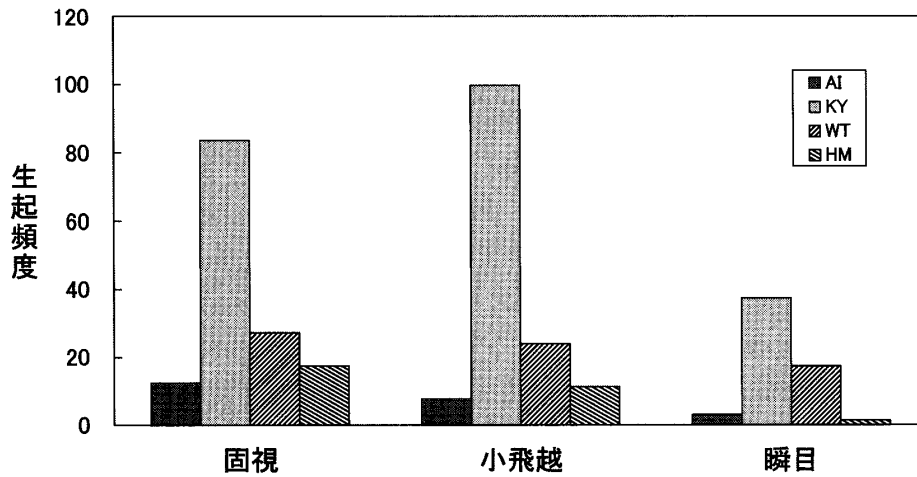


図4 自動運動非生起時の眼球活動生起頻度

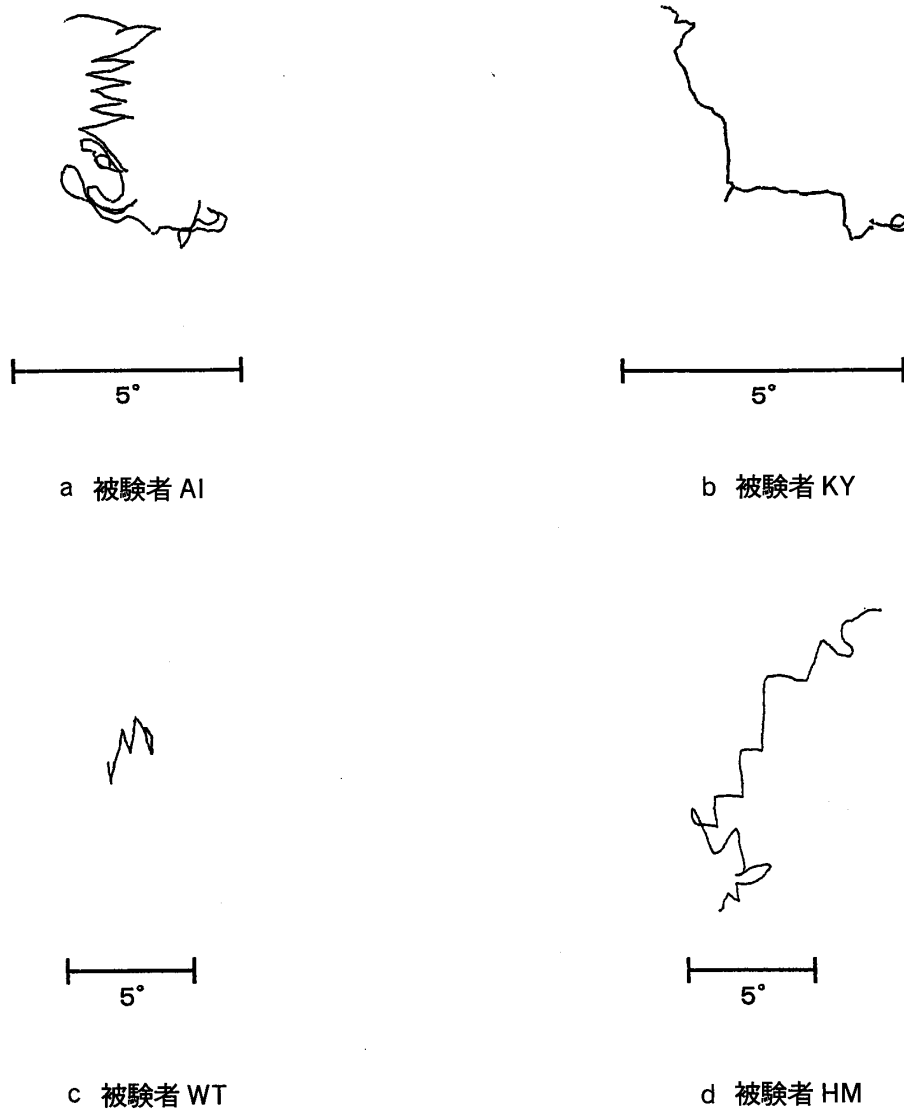


図5 各被験者の典型的な自動運動の軌跡 (校正値は視角)

分散分析（生起条件×眼球活動）によって検討した。その結果、生起条件の主効果 ( $F_{(1,3)}=40.94, p<.001$ )、眼球活動の主効果 ( $F_{(2,6)}=96.67, p<.001$ ) および生起条件と眼球活動の交互作用 ( $F_{(2,6)}=31.68, p<.001$ ) の全ての効果が有意となった。単純主効果の検定を行ったところ、固視、小飛越および瞬目の全ての眼球活動において両生起条件の単純主効果が有意（それぞれ、 $F_{(1,9)}=48.06, p<.001$ ； $F_{(1,9)}=40.12, p<.001$ ； $F_{(1,9)}=7.20, p<.03$ ）であり、固視の持続時間比は生起中において大きく、小飛越運動および瞬目は非生起中において持続時間比が大きくなっていた。さらに、両生起条件において、眼球活動の単純主効果がそれぞれ有意 ( $F_{(2,12)}=101.80, p<.001$ ； $F_{(2,12)}=77.90, p<.001$ ) であった。Ryan 法による多重比較を行ったところ、どちらの生起条件下においても、固視の持続時間比は小飛越運動、および瞬目に比較していずれも有意に大きくなっていたが（自動運動生起時、 $t_{(12)}=12.78$ ； $t_{(12)}=11.88, p<.001$ ；自動運動非生起時、 $t_{(12)}=11.45$ ； $t_{(12)}=10.04, p<.001$ ）、小飛越運動と瞬目の時間比には両生起条件下で差異が示されなかった。

(2) **自動運動生起時と非生起時の生起頻度** 自動運動生起時と非生起時において、固視、小飛越運動、および瞬目の各眼球活動の生起頻度に差異が認められるかどうかを、同様な2要因分散分析によって検討した。その結果、眼球活動の主効果のみに有意傾向 ( $F_{(2,6)}=5.92, p<.10$ ) が認められた。

## 5. 自動運動の軌跡

図5は、各被験者が書記した、代表的な自動運動軌跡をそれぞれ示したものである。

Takahashi (1990) は、自動運動観察期後に書記と内省報告された自動運動を、直線 (straight)、屈曲 (winding)、拍動 (pulsation)、振り子 (pendulum)、蠢動 (bobbing)、および3次元性 (3-dimensional) の6つの運動パターンに区別している。本研究において書記をされた各被験者の自動運動軌跡を、Takahashi に従って分類してみると、被験者 AI は、主観的な移動距離が視角約2—5°の、屈曲と振り子の入り交じった運動様相を呈していた。被験者 KY は移動距離が視角約5—6°程度に及ぶ直線的な動きが多く、自動運動とその静止の交代をきっかけとして、運動方向が直角的に変化するパターンが示された。被験者 WT では、移動距離が極めて少ない2—3°程度の蠢動が多く占められていた。被験者 HM は、屈曲パターンが比較的多く見られ、主観的移動は15°程度にまで及んでいた。

なお、自動運動の書記時と眼球活動を対応させたデータが取得できなかったことから、これらの各被験者の軌跡が、どのような眼球活動下において生じていたのかは特定することができなかった。

## 考 察

本研究では、自動運動生起中の詳細な眼球運動を計測し、自動運動生起のメカニズムとしての眼球活動説を再検討しようと試みた。その結果、被験者が自動運動を観察中であっても、非観察中であっても、いずれもその90%以上の時間が固視であり、飛越運動や瞬目などが自動運動におよぼす影響は非常に小さいことが示唆された。以下に本研究結果を考察し、自動運動生起のメカニズムについて検討してみる。

## 1. 自動運動生起時と非生起時の眼球活動の比較

自動運動生起時の眼球活動については、持続時間のほぼ全てが固視とみなしてよいと思われる結果が得られた。小飛越や瞬目が、自動運動を観察していた総時間に占める割合は1割にも達していなかったことから、自動運動は主に固視中に生起するといってもよいであろう。

一方、自動運動非生起時の固視、小飛越、および瞬目の持続時間も、ほぼ全てが固視であり、この傾向は、自動運動生起時の結果と同様であった。しかし、分散分析とその後の事後検定の結果から、自動運動生起時の固視は非生起時より長いことが示された。また、自動運動生起時の小飛越と瞬目は、逆に非生起時に比較して短かくなっていた。総時間に対する比の分析であったことから、固視に生じた時間比の差異の効果が、小飛越と瞬目に対する逆の効果として現れたものと考えられる。

いずれにしても、自動運動生起時の眼球活動は、固視がほぼ全ての時間を占めており、その時間的比率は、自動運動非生起時より長いことが示されたといえる。

また、自動運動生起中の各眼球活動の生起頻度については、やはり非生起中との比較において、生起条件や眼球活動の主効果が有意とはならず、両生起条件下では眼球活動パタンの大きな変化は示されなかった。全般に、自動運動非生起中に、各眼球活動の頻度が上昇する傾向が見られたが、いずれも有意な結果は示されなかった。

以上のことから、自動運動生起下と非生起下という両条件における眼球活動は、持続時間について差異が認められたといえる。すなわち、自動運動は、小光点を固視している間に生起すること、そしてその固視の持続時間は、非生起条件下よりも長いことが明確に示された。このことは、眼球活動を意識的に抑制する固視という行為そのものに、自動運動生起の原因の一端が求められうる (Levy, 1972; Post & Leibowitz, 1985) ことを意味している。固視中に眼球は、固視微動 (miniature eye movement) をしていることが知られており、眼震 (tremor)、浮動 (drift)、および微小飛越 (microsaccade) が区別されている (Barlow, 1952; Ratliff & Riggs, 1950)。今後は、固視中の眼球運動と自動運動との関係を、さらに詳細に検討する必要があるであろう。

## 2. 自動運動の軌跡と眼球活動

自動運動の軌跡については、各被験者による個人差が大きいものと思われる。Takahashi (1990) は、被験者の書記と内省報告により自動運動を、直線、屈曲、拍動、振り子、蠢動、および3次元性、の6つの運動パターンに区別している。本研究でも Takahashi に従って分類してみたところ、各被験者毎にそれぞれ運動出現パターンが大きく異なっていた。Takahashi では、小光点の観察期終了後に書記を求め、さらにそれぞれのパタンの主観的持続時間を算出しており、本研究のように自動運動観察中にリアルタイムで書記させたデータとは異なる可能性が指摘される。また本研究のように、暗室中での観察下において、同時に自動運動の軌跡を書記させることには信頼性を欠くという懸念も生じよう。しかし、上記で述べたように、自動運動は固視中に生ずることから、その軌跡を何らかの客観的指標と結びつけて考察することは困難であるように思われる。この点については、十分に訓練された被験者が自動運動を観察中、その軌跡を詳細に言語化する一方、同時に眼球活動やあるいは他の生理的指標などを取得する、といった方法などによって調べることが可能であろう。

## 付 記

本研究の一部は、2004年日本心理学会第68回大会（関西大学）で発表された。また、本研究を実施するにあたり、信州大学大学院人文科学研究科地域文化専攻修士1年の徳増和佳乃さんと水谷弘絵さんの協力を得た。記して謝意を表す。

## 文 献

- Barlow, H. B. 1952 Eye movements during fixation. *Journal of Physiology*, **116**, 290-306.
- Charpentier, A. 1886 Sur une illusion visuelle. *Comptes rendus*, **102**, 1155-1157.
- Crone, R. A., & Verduyn Lunel, H. F. E. 1969 Autokinesis and the perception of movement : The physiology of eccentric fixation. *Vision Research*, **9**, 89-101.
- Gregory, R. L., & Zangwill, D. L. 1963 The origin of autokinetic effect. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **15**, 252-261.
- Guilford, J. P., & Dallenbach, K. M. 1928 A study of the autokinetic sensation. *American Journal of Psychology*, **40**, 83-91.
- Helmholtz, H. von 1962 *Helmholtz's treatise on physiological optics*. [Translated from the third German Edition, ed. by J. P. C. Southall] New York : Optical Society of America.
- Holst, E. von 1954 Relations between the central nervous system and the peripheral organs. *The British Journal of Animal Behavior*, **2**, 89-94.
- Leibowitz, H. W., Shupert, C. L., Post, R. B., & Dichgans, J. 1983 Autokinetic drifts and gaze deviation. *Perception & Psychophysics*, **33**, 455-459.
- Levy, J. 1972 Autokinetic illusion : A systematic review of theories, measures and independent variables. *Psychological Bulletin*, **78**, 457-474.
- Mack, A. 1986 Perceptual aspects of motion in the frontal plane. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance. Sensory process and perception*. New York : Wiley. Vol. 1, Pp. 17-1-17-38.
- Matin, L., & MacKinnon, G. E. 1964 Autokinetic movement : Selective manipulation of directional components by image stabilization. *Science*, **143**, 147-148.
- Post, R. B., & Leibowitz, H. W. 1985 A revised analysis of the role of efference in motion perception. *Perception*, **14**, 631-643.
- Ratliff, F., & Riggs, L. A. 1950 Involuntary motions of the eye during monocular fixation. *Journal of Experimental Psychology*, **40**, 687-701.
- Skolnick, A. 1940 The role of eye movements in the autokinetic phenomenon. *Journal of Experimental Psychology*, **26**, 373-393.
- Takahashi, K. 1990 Effects of target-background luminance ratios upon the autokinetic illusion. *Perceptual and Motor Skills*, **71**, 435-445.
- Vaegan, U. 1976 The position of random autokinetic movement and the physiological position of rest are frequently stable and identical. *Perception and Psychophysics*, **19**, 240-245.
- Wade, N. J., & Heller, D. 2003 Visual motion illusions, eye movements, and the search for objectivity. *Journal of the History of the Neurosciences*, **12**, 376-395.



## THE RELATIONSHIPS BETWEEN AUTOKINETIC MOVEMENTS AND EYE ACTIVITIES

AKIRA IMAI\*, KAZUNORI YAMADA\*\*, & HIROSHI SHIMAZAKI\*

\*Department of Psychology, Faculty of Arts, Shinshu University

\*\*Graduate School of Arts, Shinshu University

### ABSTRACT

This study examined the relationships between autokinetic illusions and eye movements during the illusion was observed. During 90 sec observation period, four subjects were asked to report autokinetic illusions by pushing lap-time-button of a stopwatch while eye activities of the subjects were monitored. Three kinds of eye activities, fixation, saccadic eye movement, and eye blink were identified, and each duration and frequency was measured. Ninety percent of the observation period during reporting autokinetic illusions were the fixation, and time-ratio of the fixation to total observation period differed significantly from that observed under no-reporting of the illusion. In addition, durations of saccadic eye movement and eye blink during no-illusion were significantly longer than those during the illusions. Frequencies of three eye movements reported under the illusion observing period were not significantly different from those under the no-illusion. It is suggested that the most of autokinetic effects occur during fixation, and the illusion is related to some kind of eye movements, actual or suppressed.

**Key words**: autokinetic movements, eye movements, fixation, saccade, blink