

## ロービジョン者・高齢者の眼球運動

柿澤敏文

### Eye Movements in Persons with Low Vision and Elderly People

Toshibumi KAKIZAWA

Previous studies have found declines in some measures of oculomotor function in people with low vision as well as elderly people compared to young sighted. The present paper is summarizing results of the studies on characteristics of saccadic eye movements, fixations, congenital nystagmus, smooth pursuit movements, and optokinetic nystagmus of both low-vision and elderly. Some findings of eye movements of people with low vision while reading and walking, these two main difficulties caused by low vision, are also described in order to be applied to preparations of designs for all.

**Key words:** eye movements, low vision, elderly

先天的なロービジョン児も正常な発育・発達を示す例は多く、視覚情報の欠損自体は発達の阻害要因に必ずしもならない<sup>1)</sup>。しかし、先天的なロービジョンに伴う視覚情報の不足は乳幼児期の行動を制限し、発達過程に変化をもたらすことが考えられる。ロービジョン児は、制限のある視機能・視覚情報のもとでその状態に適応するように身体機能の発達・獲得がなされている。これは眼球運動系についても当てはまる。

一方、中途ロービジョン者や高齢者の眼球運動は、正常発達を遂げた眼球運動系に、眼疾患や加齢等に伴う視機能低下が影響を及ぼしている状態である。こうしたことから、先天的なロービジョン児者の眼球運動と中途ロービジョン者・高齢者の眼球運動との間には質的な差異が存在することに留意が必要である。なお、中途ロービジョン者への眼球運動訓練の結果、制限のある視機能・視覚情報の状態に適応した眼球運動スキルを獲得することが報告されている<sup>2-5)</sup>。

小児のロービジョンの原因となるおもな眼疾患として、未熟児網膜症、レーベル先天黒内障、白子、先天無虹彩、小眼球、角膜混濁、家族性滲出性硝子体網膜症、視神経低

形成、先天緑内障、先天白内障、強度屈折異常、視神経萎縮がある<sup>6)</sup>。また、中途のロービジョンの原因となるおもな眼疾患として、緑内障、糖尿病網膜症、黄斑変性、網膜色素変性症、白内障がある<sup>7)</sup>。これらの多くは、視力低下とともに視野の障害や羞明、コントラスト感度低下を伴う場合が多い。高齢者一般に認められる加齢に伴う視機能の変化として、視力低下、コントラスト感度低下、時間解像度の低下、暗順応の遅延、周辺視野感度低下などがある<sup>8)</sup>。

これら視機能の変化は、ロービジョン児者においても高齢者においても一様に生じるわけではなく、例えば、眼疾患が異なれば異なる変化が生じ、同じ眼疾患でもその状態は多様である。また、眼疾患の発症時期によっても状態が異なるとともに、眼球運動系へ及ぼす影響も異なってくる。すなわち、ロービジョン児者・高齢者の状態には大きな個人差があり、その結果、おのおのの眼球運動も個人差が大きい。

このように、個人差の大きいロービジョン児者・高齢者の眼球運動であるが、ここでは、その大まかな特徴をまとめるとともに、ロービジョンに伴う2大困難<sup>9)</sup>である読書と移動における眼球運動の特徴を取り上げて概説する。

## 1. ロービジョンの眼球運動

眼球運動は、周辺網膜に映った対象をすばやく網膜中心窩でとらえるための衝動性眼球運動、中心窩でとらえた静止した対象をとらえ続けるための固視、中心窩でとらえた対象が移動してもとらえ続けるための滑動性追従眼球運動、網膜全体に映る一定方向に動く像のブレを減らすための視運動性眼振、頭部の動きが生じて空間内で視線を安定させるための前庭動眼反射、奥行き方向に動く対象を両眼の中心窩でとらえ続けるための輻輳・開散に分類される。

ここではこれらのうち、衝動性眼球運動、固視（先天眼振）、滑動性追従眼球運動、視運動性眼振を取り上げる。

### 1.1 衝動性眼球運動

柿沢ら<sup>10)</sup>は、盲学校に在籍するロービジョン者6名を対象に衝動性眼球運動の測定を行った。図1は、中心固視点の左側10度の位置の視覚刺激（赤色LED）に対する衝動性眼球運動10試行の記録を重ね書きしたものである。図中↑印の時点で視覚刺激が点灯した。ロービジョン者は、いずれも、晴眼者と比較して潜時が長く、そのばらつきが大きく、振幅のばらつきも顕著である。オーバーシュートやアンダーシュート、修正衝動性眼球運動が頻発している。この結果は、ロービジョン者が自分の見たい対象へ衝動性眼球運動を用いて視線を随意的に移動する際に相対的に長い時間を必要とし、視線を移動しても対象を適切に中心視でとらえきれずに視線方向の修正が必要であることを示している。このようにロービジョン者は眼球運動を伴う時間的・空間的な視覚情報のサンプリングに困難を有することから、視覚情報の呈示では相対的に長い時間の提供を心掛ける必要がある。なお、晴眼者とロービジョン者の衝動性眼球運動の潜時について、視覚刺激と聴覚刺激の同時呈示により短縮し、その短縮の割合がロービジョン者のほうが大きいことが報告されており<sup>11)</sup>、多感覚統合の効果が期待できる。

Whittakerら<sup>12)</sup>は、中心暗点のある中途ロービジョン者の衝動性眼球運動について検討している。後述の通り、黄斑変性などによる中心暗点のあるロービジョン者は中心窩以外の網膜部位を用いて注視（偏心固視, eccentric fixation）を行うとともに、中心暗点を回避し、見やすい網膜部位（preferred retinal locus: PRL）へ視覚対象を運ぶ眼球運動スキルを訓練等により獲得していることが多い。このPRLへ視覚対象を運ぶ衝動性眼球運動に注目したのである。衝動性眼球運動には、周辺視でとらえた対象を中心窩に運ぶfoveating saccadeと、必ずしも中心窩で対象をとらえる必要のない非視覚誘導性衝動性眼球運動などの

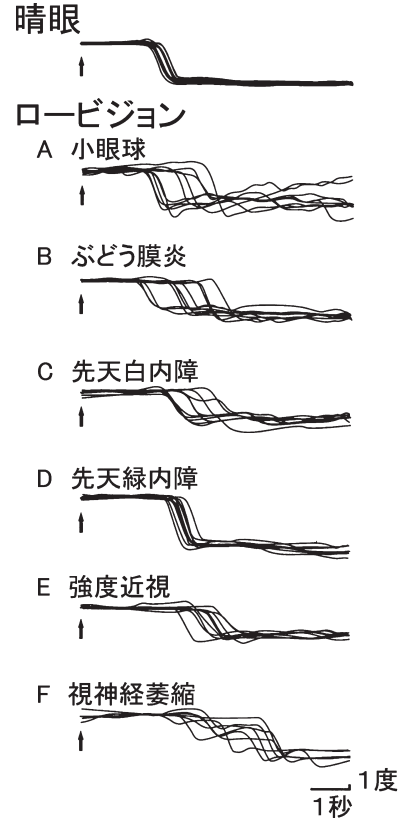


図1 正中線上の固視点から左側視角10度の位置の視標に対する晴眼者1名とロービジョン者6名(A~F)の眼球運動の記録(柿沢ら<sup>10)</sup>を改変)。図中↑印の時点で視標が点灯した。

non-foveating saccadeがある。non-foveating saccadeはfoveating saccadeと比較して潜時が長く、速度が低い特性を示す。分析の結果、中心暗点のある中途ロービジョン者では、見やすい網膜位置に対象を運ぶ衝動性眼球運動スキルを獲得していても、その潜時は長く、速度が遅い、non-foveating saccadeの特性を示すことが明らかとなった。さらに、その振幅は正確性が低く、ばらつきが大きいことが報告されている。同様に、中心暗点のあるロービジョン者に関して、衝動性眼球運動の潜時の延長<sup>13)</sup>や振幅の不正確性<sup>14)</sup>が報告されている。

### 1.2 先天眼振と固視

#### 1.2.1 先天眼振

先天的なロービジョンには、律動的に反復する眼球運動である眼振が視覚対象を注視している際にも認められることが多い。出生後まもなく認められる眼振は先天眼振とよばれ、手術や光学的矯正、視能矯正等の対応が行われるが、めまいや動揺視を伴わないことが特徴である<sup>15)</sup>。Janら<sup>16)</sup>は、ロービジョン児の先天眼振について、生後12~13か月以降の視覚障害、全盲、視力0.4以上、視野狭窄、単眼のみの疾患、中枢性視覚障害では発生頻度が低いこと

を報告し、生後早期の中心視の重要性を指摘している。

先天性眼振において大きな眼球動揺があるにもかかわらず比較的視力が保たれるのは、眼振の反復運動のうち、ゆっくりとした動きである緩徐相において眼球運動が停止ないしは低速度となる中心窩視時間 (foveation periods) が存在するためであると説明されている<sup>15)</sup>。

### 1.2.2 中心暗点における固視

晴眼者が視覚対象を固視する際には、網膜上で最も視力のすぐれている中心窩に視覚対象を結像させる。この中心窩付近に暗点が生じた場合の固視について、Timberlakeら<sup>17)</sup>は、中心暗点を有するロービジョン者3名(年齢36歳, 61歳, 73歳)を対象として、視覚対象(矩形:視角14 min×14 minあるいは28 min×28 min)を結像する網膜部位を求めた。3名のロービジョン者はいずれも発症後20か月以上経過しており、ロービジョンクリニックにおいて訓練を受けている。測定の結果、視覚対象を結像する網膜部位は中心暗点に隣接していたが、必ずしも中心窩に最も近い部位、すなわち視力の最も高い部位ではなかった。その部位はロービジョン者ごとに異なっていたが、個人内では網膜上のある部位(PRL)に定まっており、他の部位に視覚対象を結像することはなかった。そして、周辺視に呈示された視覚対象を注視するように口頭で求められると、ロービジョン者は中心窩ではなく、常にそのPRLに対象の像を運ぶ衝動性眼球運動を行った。

Whittakerら<sup>18)</sup>は、30名(39眼)の黄斑変性性による中心暗点を有するロービジョン者(発症後2年以上経過し、ロービジョンクリニックにおいて訓練を受けているもの)が視標(視力に対応した大きさの文字1字)を単眼で固視している状態について測定を行っている。その結果、晴眼者が中心視している際に生じるドリフト(速度が視角10 min/s程度)と比較して有意に速度の速いドリフトが認められ(視角13~55 min/s)、とくに暗点の大きさが20度以上では、ドリフトの速度が異常に速い傾向(最大視角186 min/s)が認められた。PRLは、Timberlakeら<sup>17)</sup>とは異なり、対象者の39%は網膜上に2つ以上認められ、見る対象や課題ごとに異なる部位を用いている可能性を指摘している。

PRLについて、中心暗点の近隣部<sup>13,19)</sup>、視野の下部<sup>20)</sup>、視野の左側<sup>21)</sup>に存在するとの報告があるが、中心暗点の形状や位置と位置の関連性などは把握されていない<sup>19)</sup>。一方、PRLの数について、Whittakerら<sup>18)</sup>と同様に複数存在する可能性があることが報告されている<sup>21)</sup>。

これらの研究は、中心暗点がある場合には中心窩以外の網膜部位を用いて固視を行うこと、また、中心暗点を回避

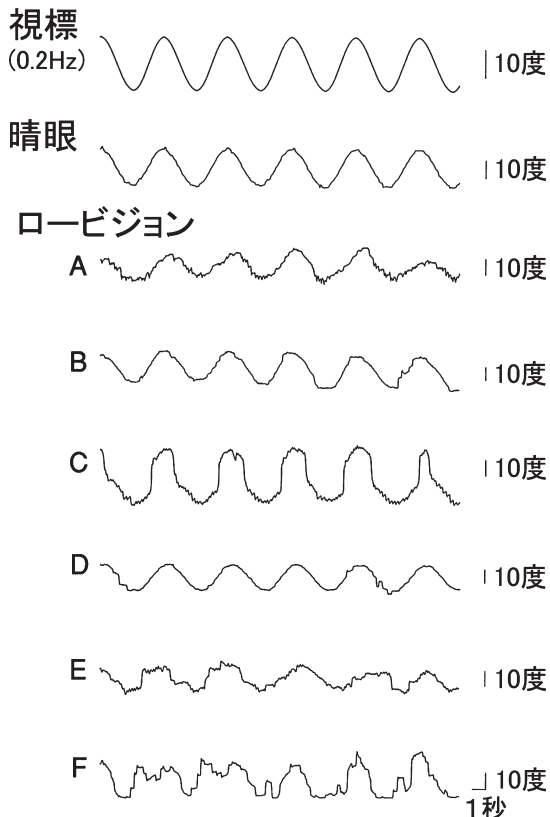


図2 周波数0.2 Hzの視標に対する晴眼者1名とロービジョン者6名(A~F)の眼球運動の記録(柿沢ら<sup>22)</sup>を改変)。

し、適切な網膜部位へ視覚対象を運ぶための眼球運動スキルをこれらのロービジョン者が訓練等により獲得することを示している。同様の眼球運動スキルの獲得が、検索や視放線、後頭葉の障害で起こる両眼の右側視野障害あるいは左側視野障害である同名半盲の対象者について報告されている<sup>2)</sup>。

### 1.3 滑動性追従眼球運動

柿沢ら<sup>22)</sup>は、水平方向に振幅10度で正弦波状に移動する縦3 mm、横7 mmの赤色LEDに対する滑動性追従眼球運動を、ロービジョン者6名を対象に測定した。図2は、周波数0.2 Hzの刺激に対する1名の晴眼者と6名のロービジョン者の眼球運動の記録である。ロービジョン者は、図1に示した対象者と同じである。ロービジョン者では、眼球運動が対象者ごとに異なるパターンを示し、刺激の追視に個人差が認められる。移動する刺激に対して、滑動性追従眼球運動による追視が可能なる者とともに、追従運動がほとんど不可能で衝動性眼球運動による追視を行う者も認められた。すなわち、ロービジョン者では滑動性追従運動系の機能は正常であるが飽和に達する視標速度が晴眼者より低い場合や、晴眼者と異なる追従スキルを獲得している場合があると考えられる。なお、柿沢<sup>23)</sup>は視標の移



図3 弱視レンズ.

動に関する情報, ならびに対象者自身の眼球位置に関するフィードバック情報を, いずれも振幅変調する純音で呈示した場合のロービジョン者の滑動性追従眼球運動を測定した結果, 視覚刺激のみの場合と比較して, 視標の移動に対する追視成績が向上した事例を報告している. 衝動性眼球運動と同様に滑動性追従眼球運動も, 多感覚統合の効果が期待できる.

#### 1.4 視運動性眼振

柿沢<sup>24)</sup>は, 縦縞の入ったドラムの回転を注視している際の眼球運動を, ロービジョン者7名(網膜色素変性症3名, 先天白内障, 網膜剝離, 白子, 強度近視(黄斑円孔)各1名)を対象に測定した. その結果, 晴眼者と同様にすべてのロービジョン者に視運動性眼振が誘発された. ロービジョン者の視運動性眼振は, 打数は晴眼者とほぼ等しいが, 振幅が小さく, 緩徐相のゲイン(視標の速度に対する眼球運動速度の比)が1.0未満を示した. 視野の大きさと振幅との間に関係が認められ, 網膜色素変性症で視野が狭い場合には振幅が相対的に小さくなり, 小刻みの眼振が生じた. 強度近視で黄斑円孔(中心暗点)のあるロービジョン者では, 周辺視の情報によって誘発される振幅が小さく打数の多い皮質下性の視運動性眼振<sup>25)</sup>の出現が予想されたが, 測定の結果, 中心視情報に基づく皮質性の視運動性眼振(打数が少なく振幅が大きい)と同様の性質を示す眼球運動が生じた. Chengら<sup>26)</sup>は, 中心視が欠如する場合にも周辺視へ注意を向けることによって皮質性の視運動性眼振が生じることを指摘しており, 中心視が欠如した場合にも保有する周辺視を利用することによって, 移動する視覚対象の追視が可能となることが示唆された.

なお, 緩徐相のゲインが1.0未満であることについて, 前述の通り, ロービジョンでは追従性眼球運動の飽和速度が晴眼者と比較して低く, 刺激の移動に眼球運動が追いつかない結果であると考えられる. 移動する視覚対象を視認

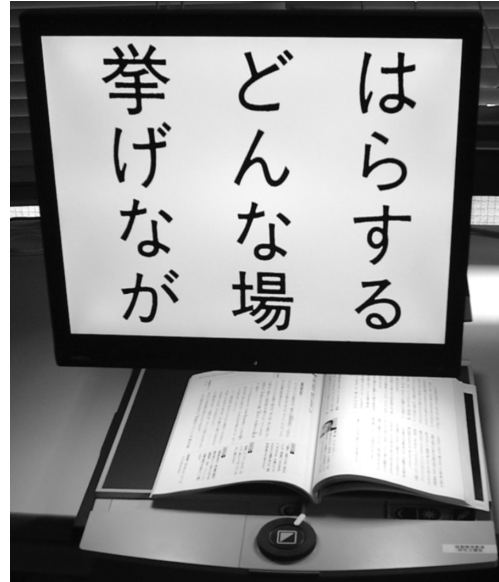


図4 拡大読書器.

する場合, ロービジョン者では, 網膜上の像のズレ(retinal slip)が大きくなり, 視覚情報の受容が困難になっていることが推察される.

ところで, ロービジョン者は, 視覚対象に極端に眼を近づけたり, 弱視レンズ(図3)や拡大読書器(図4)などの補助具を利用することが多い. いずれの場合も, ロービジョン者に対して視覚対象は動的な状態にあると考えられる. 眼を視覚対象に近づけて頭を移動しつつ観察する場合にも, 弱視レンズなどを用いてレンズを移動しながら視覚対象を観察する場合にも, 拡大読書器を用いて読材料を移動させつつ読みを行う場合のいずれにおいても, 眼球に対して視覚対象は静止しておらず, 常に移動する. その結果, ロービジョン者には視運動性眼振様の眼球運動が生じる.

図5上図は, 弱視レンズを用いて, 1行あたり20字からなる10行の横書きの文章(1文字が縦5mm, 横5mm)を読んだ際(レンズから眼までの距離は10cm)の眼球運動の記録である. 対象者は晴眼者である. 対象者は, 右手に持った弱視レンズを読書材料上で左から右へ移動しながら読みを行った. 図中下線を引いた部分は, 読書材料の2行目を対象者が読んだ際に認められた眼球運動の範囲を示している. 左から右へ向かう眼球の速い動きの急速相(衝動性眼球運動)と右から左に向かうゆっくりした動きの緩徐相からなる眼振様の眼球運動パターンが認められ, 眼球運動の停留を伴わない読みを行っていることがわかる. 衝動性眼球運動に注目し, 1行あたりの平均出現頻度と平均振幅を求めた結果, 13.78回( $SD=1.23$ 回)と4.20度(文字に換算すると1.7文字,  $SD=1.38$ 度)であった. 同じ読書材料を, 晴眼者が弱視レンズを用いずに読んだ場合の

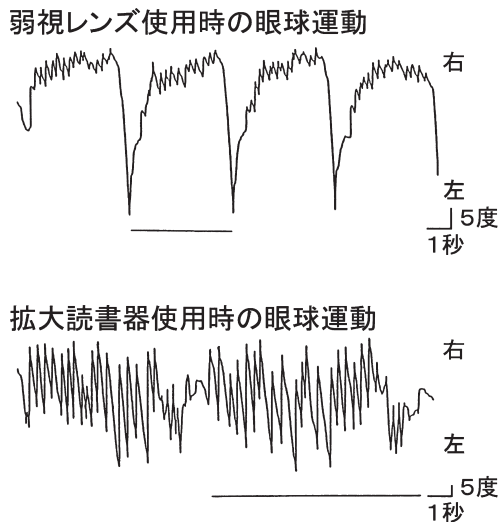


図5 ロービジョン用読書補助具を用いた読みにおける眼球運動の記録。図中の下線部はいずれも、読書材料の2行目を読んだ範囲を示している。上図：暗眼者が弱視レンズを用いて読みを行った際の眼球運動の記録。下図：ロービジョン者が拡大読書器を用いて読みを行った際の眼球運動の記録（中田ら<sup>29)</sup>を改変）。

衝動性眼球運動の1行あたりの平均出現頻度は、5.00回 ( $SD=0.94$  回)、平均振幅は3.48度（文字に換算すると3.9文字、 $SD=1.38$  度）であり、レンズの使用によって、衝動性眼球運動は約2.8倍出現し、振幅は1.2倍となった。振幅を文字に換算した値で比較すると0.44倍であり、弱視レンズの使用によって、知覚の範囲 (span of perception) が狭くなり、高頻度の衝動性眼球運動が生じることがわかる。弱視レンズを用いた際の眼球運動について、弱視レンズの倍率が高いほど、また、レンズ内に入る文字数が少ないほど、衝動性眼球運動の振幅（文字に換算した値）の低下（すなわち知覚の範囲の狭窄）とそれに伴う読書速度の低下が生じることが指摘されている<sup>27,28)</sup>。

拡大読書器を用いて文章を読んでいるロービジョン者の眼球運動について、中田ら<sup>29)</sup>は、中心暗点のあるロービジョン者を対象として測定している。対象者には自発性眼振はなかった。読書材料は1行あたり20字からなる10行の横書きの文章で、拡大読書器を用いて文字を10倍に拡大し、9 cmの読書距離から読みを行った（文字の大きさは縦が視角31度、横が視角33度）。読みの際に、対象者は資料台上の読書材料を右から左へ滑らかに移動したことから、画面上には読書材料の文字が右から左へ移動しながら提示された。この移動する読書材料を黙読した際に生じた眼球運動の測定記録が図5下図である。図は、読書材料を2行読んだ際の記録である。読みの際には、左から右へ向かう急速相と右から左へ向かう緩徐相からなる眼振様の眼球運動パターンが生じた。この眼振は、視野内を移動す

る文字を追視することによって生じたことから、視運動性眼振であると考えられる。拡大読書器利用のロービジョン者はこのように、視運動性眼振を伴いながら文字を知覚するという特異な読みの方略を用いているのである<sup>30)</sup>。

なお、弱視レンズや拡大読書器を用いた読書において、とくに拡大率が高くなると、疲れやすさや頭痛、読書器酔い<sup>31)</sup>を訴えるロービジョン者が多い。上述の通り、弱視レンズや拡大読書器を用いた読書では視運動性眼振が生じる。この視運動性眼振を伴う読みが、弱視レンズや拡大読書器を用いて読書をする際に生じる疲れやすさや頭痛、読書器酔いの原因のひとつであると考えられる。

## 2. 高齢者の眼球運動

高齢者の代表的な神経疾患に伴う眼球運動の異常について、パーキンソン病<sup>32)</sup>やアルツハイマー病<sup>33)</sup>の報告がある。これらの眼球運動異常と、加齢に伴う眼球運動の変化とは区別が必要である。

高齢者の眼球運動について、衝動性眼球運動の潜時の延長<sup>34,35)</sup>、滑動性追従運動のゲインの低下<sup>36)</sup>、視運動性眼振のゲインの低下<sup>36)</sup>、視覚-前庭系の関連<sup>36)</sup>、前庭動眼反射<sup>37)</sup>について報告がある。衝動性眼球運動については、年齢に伴う最大速度の低下の報告<sup>36)</sup>とともに速度変化が生じないことが報告<sup>34)</sup>されている。これらの研究は、いずれも横断研究であり、縦断研究は少ない。

ここでは、Kerberら<sup>38)</sup>の行った75歳以上の高齢者を対象とした9年間以上にわたる縦断研究の結果を紹介する。対象は前庭系障害、大脳基底核変性、発作、視覚障害、末梢神経障害の認められない53名の健康な高齢者（75歳以上）で、そのうち39名は9年間、14名は12年間にわたる縦断測定が行われた。結果は図6の通りである。図中、■は9年間のグループの結果であり、□は12年間のグループの結果である。また、\*は分散分析の結果、5%水準で年齢に伴う有意な変化が認められたことを示している。衝動性眼球運動の潜時、視運動性眼振のゲイン、視性-前庭動眼反射のゲイン、前庭動眼反射固視抑制のゲイン、前庭動眼反射のゲインならびに位相は加齢に伴う有意な変化が認められた。一方、衝動性眼球運動の最大速度と滑動性追従眼球運動のゲインは変化が認められず、高齢になっても機能が維持されることが示唆された。なお、この研究では、死去や転居等により9年間の縦断測定が不可能であった対象者や病気を発症した対象者のデータが除去されている点に留意が必要であり、この年代における健康な対象者の眼球運動能力としてとらえる必要がある。このほか、高齢者の眼球運動については山田<sup>39)</sup>が詳しい。

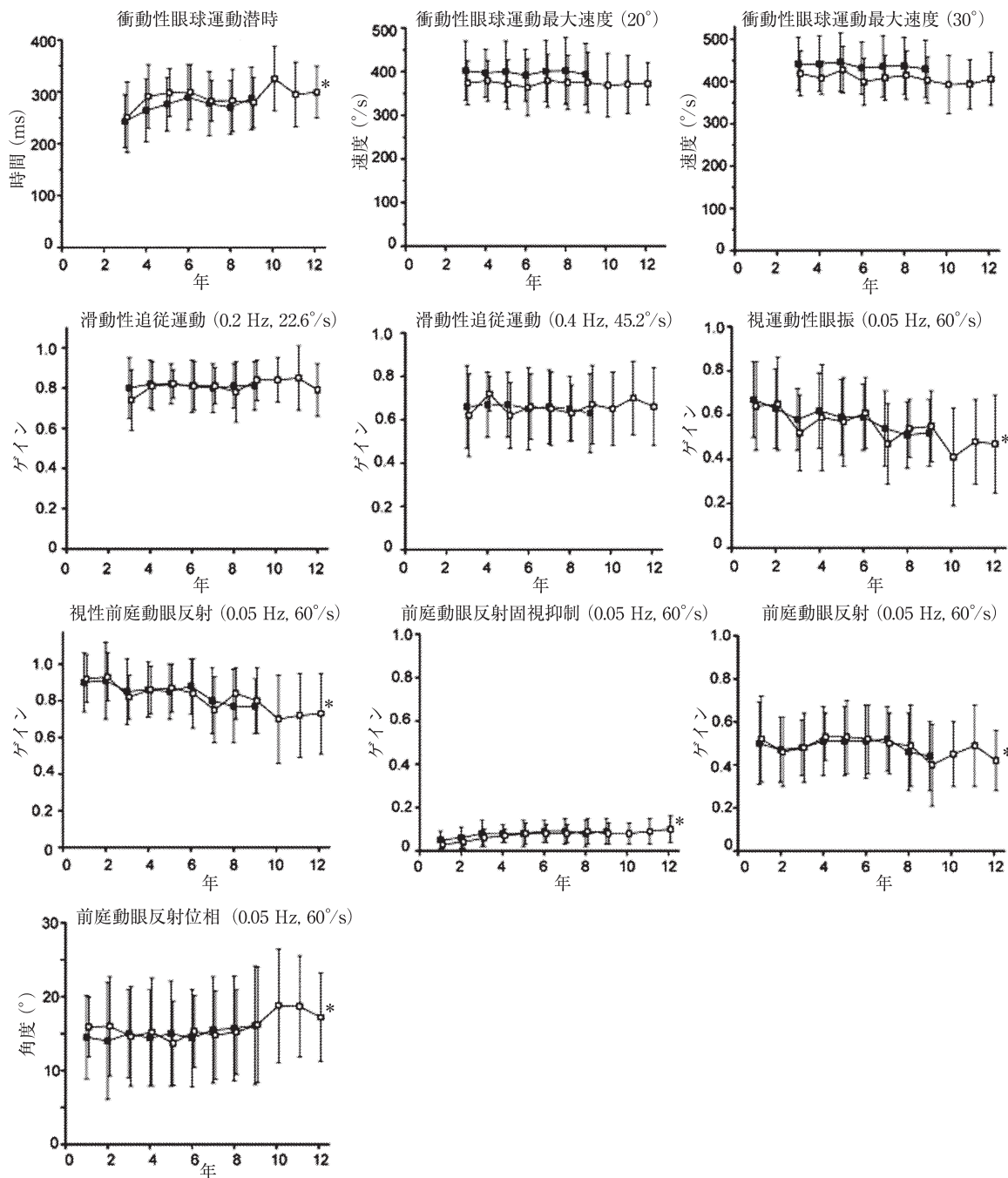


図6 75歳以上の高齢者の眼球運動の成績(平均 $\pm 1$ SD)の経年変化(Kerberら<sup>38)</sup>を改変。■:9年間縦断測定を行ったグループ(39名)の結果, □:12年間縦断測定を行ったグループ(14名)の結果,\*有意水準5%。

### 3. ロービジョンの読書時の眼球運動

読書材料の文字サイズがロービジョン者の読みにおける眼球運動の停留回数, 停留時間, 衝動性眼球運動の振幅に及ぼす影響について調べた高橋ら<sup>40)</sup>は, 視野狭窄があるが中心視を有するロービジョン者(網膜色素変性症, 網膜剝離)では, 視角1.7度の文字サイズと比較して5度の文字サイズでは読書時間が長くなり, 停留回数が有意に多く, 衝動性眼球運動の振幅が大きくなる傾向が認められる

こと, 停留時間には変化がないことを報告した。一方, 強度近視のロービジョン者は, 視角3.0度の文字においては, 停留回数が晴眼者の3倍生じ, 停留時間が約370msで晴眼者の+1SDより大きな値を示すが, それよりサイズが大きい視角5.0度の文字は読みやすく, 停留回数が晴眼者の2倍程度となり, 停留時間も約250msで晴眼者の+1SD以内となったと報告している。また, 永井<sup>41)</sup>や松岡ら<sup>42)</sup>は, ロービジョン者が読みにくいと判断した文

字サイズにおける眼球運動を分析し、読書時間ならびに停留時間の延長、振幅の縮小が生じることを報告している。これらの結果は、ロービジョン者が読みを行ううえで読みやすい文字サイズが存在し、その他の文字サイズでは読書時間の増加とともに衝動性眼球運動の振幅や停留時間に変化が現れることを示している。

さて、Legge ら<sup>43)</sup>は、ロービジョン者の視覚特性として眼疾患、M unit (文字サイズの単位、アルファベットでは8ポイントが相当)<sup>44)</sup>、スネレン表で測定された視力、透光体(角膜・水晶体・硝子体)の混濁の有無、視野の状態を取り上げ、それらの情報をもとに各ロービジョン者の最適文字サイズと読書速度の推測を行った。その結果、最適文字サイズの推測にはスネレン表で測定された視力は有効ではなく M unit が有効(説明率76%)であること、最大読書速度はおもに中心視野の状態(正常(1分間あたり66~180単語)・欠損(1分間あたり3~68単語))と透光体の混濁の有無で説明できる(説明率64%)ことを指摘している。

中心視野が欠損した黄斑変性のロービジョン者13名(年齢62~96歳)を対象に、Bullimore ら<sup>45)</sup>は読書中の眼球運動を測定している。晴眼者と比較して中心暗点のあるロービジョン者は読書速度が遅く、順行性衝動性眼球運動の振幅(文字換算)が短く、逆行運動の頻度が高かった。1秒間あたりの停留回数は、晴眼者と差異がなかった。これらの結果から、Bullimore ら<sup>45)</sup>は、中心暗点のあるロービジョン者の読書速度の低下は、周辺視を用いることによる①知覚の範囲の狭窄、②眼球運動制御の困難性、③停留時に受容する視覚情報の統合困難性によって説明できると考えた。知覚の範囲の狭窄については Crossland ら<sup>4)</sup>が、眼球運動制御については Seiple ら<sup>3)</sup>が、情報統合の困難性については Cheong ら<sup>46)</sup>が、それぞれ Bullimore ら<sup>45)</sup>の知見を支持する結果を報告している。

さて、Rubin ら<sup>47)</sup>は、衝動性眼球運動を伴わない読書法について研究をしている。衝動性眼球運動は周辺視でとらえた情報を中心視するために生じるが、視野の一定の場所に文章が次々と継時的に高速呈示されれば、衝動性眼球運動の必要はなくなる。眼球運動制御が難しいロービジョン者では、このような眼球運動を伴わない読書によってその速度が向上することが期待された。この呈示法は高速継時呈示法(rapid serial visual presentation<sup>48)</sup>: RSVP)とよばれ、Rubin ら<sup>47)</sup>は、晴眼者では1分間に1,000ワード以上、すなわち通常読書材料の3倍以上の速度で読書が可能となることを報告している。この呈示法を用いて、Rubin ら<sup>49)</sup>は、ロービジョン者23名(中心視野正常:9

名、中心暗点:14名)を対象に読書速度を測定し、中心視野が正常なロービジョン者では通常読書材料の2.1倍( $SD=0.38$ )、中心暗点のあるロービジョン者では1.5倍( $SD=0.41$ )の読書速度が得られることを報告した。中心暗点のあるロービジョン者では RSVP でも読書速度があまり向上しなかった点について、Rubin ら<sup>49)</sup>は、ロービジョン者の低い読書速度を説明する要因のうち眼球運動性制御の困難性が及ぼす影響は相対的に小さく、情報の統合困難の要因の影響が強いことが原因であると考えている。同時に、本来 RSVP では生じない衝動性眼球運動が中心暗点のあるロービジョン者では生じていたことを報告し、周辺視における知覚の範囲の狭さをその原因と考えている。

透光体の混濁によるロービジョンの読書困難について、透光体の混濁がもたらすコントラストの低下の見地から、Legge ら<sup>50)</sup>が眼球運動を測定して検証している。コントラストの低下とともに、知覚の範囲が狭くなり順行性衝動性眼球運動の振幅が短くなること、また、停留時間の延長が認められ、知覚に要する時間が延長することを報告している。

#### 4. ロービジョンの移動時の眼球運動

歩行などの移動の困難は、周辺視野が欠損した視野狭窄の状態が生じやすい。炭谷ら<sup>51)</sup>は、13.6mの直線歩行ならびに階段昇降時の眼球運動の測定を、網膜色素変性症で視野狭窄のあるロービジョン者5名(視力0.01~0.4、視野直径3度未満~10度)と晴眼者5名を対象に行った。直線歩行と階段昇降は日常的な歩行速度であった。直線歩行ではロービジョン者の固視回数は晴眼者の1.5倍、5m以内の近方固視回数が15倍認められた。階段昇降では、近方の階段ならびに両壁面や手すりへの頻繁な固視が特徴としてあげられた。同様に Turano ら<sup>52)</sup>は、障害物のないまっすぐな廊下(6.4m)を任意の速度で歩行している際の眼球運動の測定を、網膜色素変性症で視野狭窄のあるロービジョン者6名(視力0.07~0.5、視野直径9~30度)と晴眼者3名を対象に行った。対象者の課題は、廊下左手にあるドアまでまっすぐ歩き、ドアから入ることであった。ロービジョン者は平均9.4秒、晴眼者は平均5.4秒で歩ききり、その際の平均固視回数はそれぞれ44回と26.3回(4.7回/秒と4.8回/秒)で、単位時間あたりの固視回数に大きな違いはみられなかった。視線移動の面積はロービジョンでは晴眼者の3倍以上を示し、広範囲へ視線移動をしている様子が把握されている。固視位置(観察位置)を分析した結果、晴眼者では前方と目標物(ドア)へ

の固視の割合が高かったのに対して、視野狭窄のあるロービジョン者では下方（廊下床）や壁、廊下床と壁の境への固視の割合が高かった。とくに、廊下床への固視は視野の大きさと関係があり、視野が狭いほど下方に注意を向ける割合が高いことがわかった。また、目標物を探すために壁への固視が増えたと考えている。すなわち、晴眼者では周辺視を用いた障害物検出が可能であり、前方や目標物へ視線を固定した歩行が可能であるが、視野狭窄の状態では安全確保と歩行目標検出のために環境全体へ絶えず視線を移動し、歩行しているのである。

ところで、視線移動には眼球運動と頭部運動の要素が含まれる。前述の炭谷ら<sup>51)</sup>やTuranoら<sup>52)</sup>の研究は固視点分析であることから、この2つの要素の分離ができていない。Vargas-Martinら<sup>53)</sup>は、網膜色素変性症で視野狭窄のあるロービジョン者5名（視力0.4~1.0、視野直径7~15度）と晴眼者3名を対象に、それぞれ30分間程度の歩行時の眼球運動を測定した。分析の結果、視野狭窄のあるロービジョン者では上下方向の眼球運動（幅9.5度）は晴眼者（幅9.7度）と類似していたが、水平方向はおのおの幅9.4度と幅14.2度で、視野狭窄のあるロービジョン者のほうが眼球運動の広がりがむしろ狭いことを報告している。すなわち、視野狭窄のあるロービジョン者は頭部運動を伴いながら、小刻みに眼球を動かして水平方向の周囲を観察し、歩行しているのである。

以上、ロービジョン児者・高齢者の眼球運動について概説した。前述の通り、ここに示した特徴は最大公約数的なものであり、実は個々人によって眼球運動スキルも、必要な情報も、受容可能な情報特性も大きく異なっていることに留意が必要である。大きい文字でなければ読み取れない強度屈折異常のロービジョン者がいる一方で、小さい文字が見やすい視野狭窄のロービジョン者もいる。情報提供手段・形態における可変性の確保が必要と考える。

## 文 献

- 五十嵐信敬：視覚障害幼児の発達と指導（コレール社，1996）。
- O. Meienberg, W. H. Zangemeister, M. Rosenberg, W. F. Hoyt and L. Stark: "Saccadic eye movement strategies in patients with homonymous hemianopia," *Ann. Neurol.*, **9** (1981) 537-544.
- W. Seiple, J. P. Szlyk, T. McMahon, J. Pulido and G. A. Fishman: "Eye-movement training for reading in patients with age-related macular degeneration," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **46** (2005) 2886-2896.
- M. D. Crossland and G. S. Rubin: "Eye movements and reading in macular disease: Further support for the shrinking perceptual span hypothesis," *Vision Res.*, **46** (2006) 590-597.
- S. A. McDonald, G. Spitsyna, R. C. Shillcock, R. J. S. Wise and A. P. Leff: "Patients with hemianopic alewia adopt an inefficient eye movement strategy when reading text," *Brain*, **129** (2006) 158-167.
- 仁科幸子：“小児のロービジョンケア 1) 年齢別・疾患別ケア”，眼科プラクティス 14. ロービジョンケアガイド，樋田哲夫編（文光堂，2007）pp. 119-125.
- 高橋 広編：ロービジョンケアの実際—視覚障害者のQOL向上のために—（医学書院，2006）。
- 田中恵津子：“高齢者のロービジョンケア”，眼科プラクティス 14. ロービジョンケアガイド，樋田哲夫編（文光堂，2007）pp. 112-116.
- 小田浩一：“ここまで見えるロービジョン—低視力の視機能と読書—”，第23回感覚代行シンポジウム発表論文集（1997）pp. 33-37.
- 柿沢敏文，中田英雄，谷村 裕：“弱視者の衝動性眼球運動の特性”，特殊教育学研究，**25**（1987）31-39.
- 柿沢敏文：“聴覚予告刺激が弱視者の衝動性眼球運動潜時に及ぼす影響”，特殊教育学研究，**42**（2004）13-21.
- S. G. Whittaker, R. W. Cummings and L. R. Swieson: "Saccade control without a fovea," *Vision Res.*, **31** (1991) 2209-2218.
- J. M. White and H. E. Bedell: "The oculomotor reference in humans with bilateral macular disease," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **31** (1990) 1149-1161.
- T. T. McMahon, M. Hansen and M. Viana: "Fixation characteristics in macular disease," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **32** (1991) 567-574.
- L. F. Dell'Osso: "先天眼振および潜伏眼振”，眼科臨床医報，**89**（1995）57-60.
- J. E. Jan, K. Farrell, P. K. Wong and A. Q. McCormick: "Eye and head movements of visually impaired children," *Dev. Med. Child Neurol.*, **28** (1986) 285-293.
- G. T. Timberlake, M. A. Mainster, E. Peli, R. A. Augliere, E. A. Essock and L. E. Arend: "Reading with a macular scotoma. I. Retinal location of scotoma and fixation area," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **27** (1986) 1137-1147.
- S. G. Whittaker, J. Budd and R. W. Cummings: "Eccentric fixation with macular scotoma," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **29** (1988) 268-278.
- G. T. Timberlake, E. Peli, E. A. Essock and R. A. Augliere: "Reading with a macular scotoma. II. Retinal locus for scanning text," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **28** (1987) 1268-1274.
- F. Acosta, K. Lashkari, X. Reynaud, A. Jalkh, F. J. Van de Velde and N. Chedid: "Characterization of functional changes in macular holes and cysts," *Ophthalmology*, **98** (1991) 1820-1823.
- J. E. Guez, J. F. Le Gargasson, F. Rigaudiere and J. K. O'Regan: "Is there a systematic location for the pseudofovea in patients with central scotoma?" *Vision Res.*, **33** (1993) 1271-1279.
- 柿沢敏文，中田英雄，谷村 裕：“弱視者の滑動性眼球運動の特性”，特殊教育学研究，**26**（1989）11-19.
- 柿沢敏文：“弱視者の滑動性眼球運動に及ぼす音刺激の効果”，筑波大学リハビリテーション研究，**1**（1991）11-16.
- 柿沢敏文：“弱視者の視運動性眼振の特性”，視覚障害心理・教育研究，**9**（1992）9-15.
- J. D. Hood: "Observations upon the neurological mechanism of optokinetic nystagmus with especial reference to the contribution of peripheral vision," *Acta Oto-Laryngol.*, **63** (1967) 208-215.



- 26) M. Cheng and J. S. Outerbridge: "Optokinetic nystagmus during selective retinal stimulation," *Exp. Brain Res.*, **23** (1975) 129-139.
- 27) C. M. Dickinson and V. Fotinakis: "The limitations imposed on reading by low vision aids," *Optometry Vision Sci.*, **77** (2000) 364-372.
- 28) A. R. Bowers, J. E. Lovie-Kitchin and R. L. Woods: "Eye movements and reading with large print and optical magnifiers in macular disease," *Optometry Vision Sci.*, **78** (2001) 325-334.
- 29) 中田英雄, 柿沢敏文, 河西幸彦, 谷村 裕: "CCTV 注視時にみられる弱視者の Optokinetic Nystagmus", 第13回感覚代行シンポジウム発表論文集(1987) pp. 20-25.
- 30) 田淵昭雄, 平木泰典, 岡弓美子, 上吉川昌江, 中村隆子, 村上典子: "視覚障害者の眼球運動", *眼紀*, **49** (1998) 738-745.
- 31) 弱視者問題研究会: 見えない・見えにくい人の便利グッズカタログ(大活字, 1999).
- 32) C. Kennard and C. J. Lueck: "Oculomotor abnormalities in diseases of the basal ganglia," *Rev. Neurol.*, **145** (1989) 587-595.
- 33) W. A. Fletcher and J. A. Sharpe: "Smooth pursuit dysfunction in Alzheimer's disease," *Neurology*, **38** (1988) 272-277.
- 34) D. P. Munoz, J. R. Broughton, J. E. Goldring and I. T. Armstrong: "Age-related performance of human subjects on saccadic eye movement tasks," *Exp. Brain Res.*, **121** (1998) 391-400.
- 35) J. A. Sharpe and D. H. Zackon: "Senescent saccades. Effects of aging on their accuracy, latency and velocity," *Acta Oto-Laryngol.*, **104** (1987) 422-428.
- 36) G. D. Paige: "Senescence of human visual-vestibular interactions: Smooth pursuit, optokinetic, and vestibular control of eye movements with aging," *Exp. Brain Res.*, **98** (1994) 355-372.
- 37) G. D. Paige: "Senescence of human visual-vestibular interactions. I. Vestibular-ocular reflex and adaptive plasticity with aging," *J. Vestibul. Res.*, **2** (1992) 133-151.
- 38) K. A. Kerber, G. P. Ishiyama and R. W. Baloh: "A longitudinal study of oculomotor function in normal older people," *Neurobiol. Aging*, **27** (2006) 1346-1353.
- 39) 山田徹人: "眼球運動", 視覚情報処理ハンドブック, 日本視覚学会編(朝倉書店, 2000) pp. 543-545.
- 40) 高橋尚子, 池谷尚剛, 谷村 裕: "弱視者の読みのおよぼす文字サイズの影響—眼球運動を指標として—", 日本特殊教育学会第28回大会発表論文集(1990) p. 32.
- 41) 永井伸幸: "文字サイズを拡大した際の弱視者の読書中の眼球運動", *弱視教育*, **40** (2003) 12-15.
- 42) 松岡春菜, 柿沢敏文: "弱視者の読書方略に関する研究—眼球運動を指標として—", 日本特殊教育学会第45回大会発表論文集(2007) p. 857.
- 43) G. E. Legge, G. S. Rubin, D. G. Pelli and M. M. Schleske: "Psychophysics of reading. II. Low vision," *Vision Res.*, **25** (1985) 253-266.
- 44) L. L. Sloan and D. J. Brown: "Reading cards for selection of optical aids for the partially sighted," *Am. J. Ophthalmol.*, **55** (1963) 1187-1199.
- 45) M. A. Bullimore and I. L. Bailey: "Reading and eye movements in age-related maculopathy," *Optometry Vision Sci.*, **72** (1995) 125-138.
- 46) A. M. Y. Cheong, G. E. Legge, M. G. Lawrence, S.-H. Cheung and M. A. Ruff: "Relationship between slow visual processing and reading speed in people with macular degeneration," *Vision Res.*, **47** (2007) 2943-2955.
- 47) G. S. Rubin and K. Turano: "Reading without saccadic eye movements," *Vision Res.*, **32** (1992) 895-902.
- 48) L. C. Gilbert: "Speed of processing visual stimuli and its relation to reading," *J. Educ. Psychol.*, **55** (1959) 8-14.
- 49) G. S. Rubin and K. Turano: "Low vision reading with sequential word presentation," *Vision Res.*, **34** (1994) 1723-1733.
- 50) G. E. Legge, S. J. Ahn, T. S. Klitz and A. Luebker: "Psychophysics of reading. XVI. The visual span in normal and low vision," *Vision Res.*, **37** (1997) 1999-2010.
- 51) 炭谷長彦, 田淵昭雄, 菊入 昭: "視覚障害者における歩行時の固視運動", *日本眼科紀要*, **51** (2000) 1140-1147.
- 52) K. A. Turano, D. R. Gerasch, F. H. Baker, J. W. Stahl and M. D. Shapiro: "Direction of gaze while walking a simple route: Persons with normal vision and persons with retinitis pigmentosa," *Optometry Vision Sci.*, **78** (2001) 667-675.
- 53) F. Vargas-Martin and E. Peli: "Eye movements of patients with tunnel vision while walking," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **47** (2006) 5295-5302.

(2008年4月21日受理)