



跳躍眼球運動時の視野の安定

石田 泰一郎

京都大学工学部建築学教室 〒606-01 京都市左京区吉田本町

(1993年9月10日受理)

Visual Stability Associated with Saccadic Eye Movements

Taiichiro ISHIDA

School of Architecture, Faculty of Engineering, Kyoto University,
Yoshidahonmachi, Sakyo-ku, Kyoto 606-01

1. はじめに

われわれを取り囲む外界は多様な視覚情報で満ちている。ただし人間は一目でこの視覚世界全体をその詳細に至るまで認識できるわけではない。人間の視覚系で高い情報処理能力を有する領域は、視点を中心とする狭い領域に限られるため、眼球、あるいは頭部を動かすことによって視点を興味の対象に向ける必要がある。このとき発生する眼球運動は跳躍眼球運動 (saccadic eye movements) と呼ばれ、その名の通り跳躍的に視点を新たな対象に移動させるものである。眼球は跳躍した後、新たな位置でいったん停止する。この眼球が停止している状態を注視 (fixation) と呼ぶ。われわれの視覚認識は注視と跳躍の繰返して成り立っているのである。

さて、ここで一つ疑問が生じる。眼球が跳躍を繰返しているならば、網膜上では外界の像がその動きに応じて激しく変化しているはずである。跳躍中は網膜上で像が急速に流れ、跳躍後に形成させる像は跳躍前とは異なった領域の像に置き替えられていることになる。この網膜像の変化がわれわれの知覚する視覚世界に直接反映されるとすれば、眼球を動かすたびに外界のちらつきや動揺を知覚するはずである。しかし、われわれが知覚する視覚世界は連続で安定している。眼球を盛んに動かしていることすら意識されない。この現象は跳躍眼球運動時の視野の安定性と呼ばれ、長年、視覚研究者の興味を引き付けてきた問題である。

跳躍時の視野の安定を実現するためには、視覚系は機能的に大別して二つの処理を行う必要があると、筆者は

考える。まず第一に、跳躍中の急速な網膜像の変化が知覚されないように視覚的に抑制する処理である。そして第二に、跳躍前後の網膜像の変化の一つの安定した視野として整合的に統合する処理が必要となるだろう。本稿では、跳躍中の視覚的抑制と跳躍前後の視覚情報の統合という二つの処理に関するこれまでの研究を概観し、跳躍眼球運動時の視野の安定機構について考えてみたい。

2. 跳躍時の視覚的抑制

跳躍的な眼球運動が生じても像のおれを知覚しない現象は、すでに今世紀の初頭に実験心理学者によって研究対象とされており、そこでは今日にまで至る問題点がすでに議論されている。Holt は、跳躍中には眼筋からの信号に源を発する“Anæsthesia” (知覚麻痺) が発生し、視覚入力をブロックするという考えを提案している¹⁾。それに対して、Dodgeはこの現象は視覚系の中枢および末梢の要因によって規定されていると述べ、跳躍時のおれ像を無視する抑制の存在と、跳躍時の網膜像の平均化および相互干渉を指摘している^{2,3)}。さらに、Woodworthは跳躍中の視覚は眼が静止しているときと本質的には同じであるとし、この現象の説明に跳躍に特有な機構は必要ないと考えた⁴⁾。今世紀初頭に行われたこれらの論争に結論を出すには、眼球運動の検出、眼球運動に応じた刺激の呈示などの実験技術の発展を待たねばならなかった。

この問題に関して定量的な研究が始められたのは、1960年代に入ってからである^{5,6)}。まず研究者の関心を集めたのは、跳躍中の視覚をブロックするような中枢で

の抑制機構の存在である。この問題を検討するため Volkman らはターゲット光の呈示時間をごく短い時間 (6 または 20 μ s) に設定し、跳躍中の網膜像の流れを最小限に抑えた条件で実験を行い、跳躍中およびその直前直後にわたって、視覚系の感度が低下していることを明らかにした^{6,7)}。跳躍時の網膜像の劣化をなくした条件での感度低下は、跳躍時に特有な抑制効果の存在を支持している。しかし、ここで測定された感度低下は約 0.5 log 程度であり、通常の視環境を考えると、この感度低下だけで跳躍時のふれ像を知覚しない現象を説明するのは不十分であるとの指摘もなされた。

跳躍に伴う視覚系の感度低下は、跳躍時抑制 (saccadic suppression) と呼ばれるようになり⁸⁾、以後、盛んに研究が行われるようになった。その経過については詳細な解説^{9,10)}がなされているので、ここではいくつかの研究を取り上げ跳躍時の視覚的抑制の機構を検討するとともに、実際の視覚認識時において跳躍時の視覚情報が抑制されていることを示した、筆者らによる実験を紹介する。跳躍時の視覚的抑制の機構として検討された主要因は、跳躍時に特有な中枢性の抑制効果と、跳躍時の網膜像の変化に起因する抑制効果に大別できる。

2.1 跳躍時に特有な抑制効果

跳躍時に特異的に機能する中枢性の抑制効果の存在を厳密に証明するためには、跳躍中の網膜像の劣化や、不均一な背景による網膜像の変化などを排除した実験を計画しなくてはならない。つまり、跳躍中と注視中の刺激呈示において、異なるのは眼球運動の有無だけという条件にする必要がある。たとえ暗黒中の小さな固視点であっても、結果にその影響がでないとは断言できないのである。さらに Volkman らの実験結果^{6,7)}からは、このタイプの抑制は存在したとしても、その効果は弱いことが予想される。この問題に挑んだ研究者たちには細心の注意とアイデアが必要とされたのである。

Riggs らはこれらの問題に解答を出すべく、次のような実験を行った¹¹⁾。まず、背景は完全な暗黒とする。そして電気刺激によって誘発される閃光 (phosphenes) をテスト刺激に採用することで、網膜上での光学的な変化を排除した。電流パルスによって、被験者はあいまいで色彩のない閃光を視野の周辺領域に知覚する。この閃光の知覚閾を厳密に測定した結果、跳躍中に 0.4 log 程度の有意な感度低下が確認された。

さらに Riggs らは次のような実験も行っている¹²⁾。被験者の両眼をそれぞれ半透明の拡散板でびったりと覆い、さらに被験者は均一に照明された球状の ganzfeld

の中心に位置する。これで被験者には鼻の輪郭なども含めてすべての境界が取り除かれ、完全に一様に照明された視野が与えられることになる。テスト刺激は視野全体の輝度の 10 ms 間の減分である。この実験でも跳躍時に 0.7~1.1 log 程度の感度低下が測定された。

これらの実験結果から、跳躍眼球運動に特有な中枢性と考えられる抑制が存在することは動かし難い事実となった。ただし、この抑制効果自体は弱く、通常の視環境下において跳躍時のふれ像を抑制するためにどれだけの貢献をなしているのか、その機能的な意義については明確ではない。

2.2 網膜像の変化に起因する抑制効果

跳躍時抑制の網膜像の変化に起因する効果としては、まず、跳躍中の網膜像の流れが考えられる。例えば、日常的に高い頻度で発生している 7° 程度の大きさの跳躍を考えると、その所要時間は 35 ms 程度であり、平均速度はおおよそ 200 deg/s となる¹³⁾。網膜上でこれだけの移動速度があると、細かいものは全く見分けることができない (コントラスト感度のカットオフ周波数は 1 cyc/deg 以下¹⁴⁾)。しかし、もし跳躍中だけ外界が照明されたとすれば、急速に流れた網膜像は、ふれた外界として知覚される¹⁵⁾。跳躍が短時間であり、しかも網膜像が流れるというだけでは、その像が知覚から消し去られることにはならない。では、跳躍中のふれを知覚しないようにしている要因は何か、研究者の関心はその点に集まった。

この疑問に明解に答えたのは、Campbell と Wurtz の実験である¹⁵⁾。彼らは跳躍中のふれ像の見えそのものを測定対象にした。最初の実験では、測定器が並んでいる研究室を被験者の跳躍に合わせてある時間だけ照明する。被験者の仕事は固視点間で眼を動かし、部屋がふれて見えたか、はっきりと見えたか答えることである。まず、跳躍中に 5 ms という短時間だけ照明してみる。この時被験者は、はっきりとした研究室の光景を見た。つぎに、跳躍が発生している間 (50~70 ms) 照明光を点灯する。この条件では被験者はためらうことなく部屋がふれて見えると答え、いわゆる“grey-out”が知覚された。ここまでは、網膜像の物理的な変化が知覚に反映されていたことになる。また、跳躍に伴って発生する中枢性の抑制では、このふれ像の知覚を抑えることはできないことも意味している。さて、次に跳躍後も照明光の点灯を続け、その時間を徐々に長くしていく。その結果、跳躍終了後の点灯時間が 40 ms 以上になると、被験者は跳躍中のふれ像を知覚しなくなり、鮮明な像のみを見

るようになった。物理的には網膜上に依然として跳躍中のぶれ像が存在しているが、その見えは知覚から完全に消し去られたことになる。前の条件と異なるのは跳躍直後の鮮明な像の有無だけである。彼らはこれらの結果から、跳躍時のぶれ像を知覚しない現象の主な要因は、跳躍前後に存在する鮮明な像であり、それが跳躍中のgrey-outを消去すると説明し、この機構をsaccadic omissionと名付けた。

ある視覚刺激の知覚がその前後に呈示された視覚刺激によって妨げられる、これは一般に視覚的マスクングとしてよく知られた現象である。視覚的マスクングといっても、それはさらに細分化することができる幅広い現象を指している^{16,17)}。跳躍時の抑制について重要な意味をもつのは、時間的なforwardおよびbackwardマスクングであろう¹⁹⁾。跳躍時の視覚刺激(ぶれ)が跳躍前後の視覚刺激(鮮明)によって、“マスク”されるのである。跳躍時の視覚的抑制現象について、視覚マスクングがその要因ではないかと考えたのは、CampbellとWurtzが最初ではなく、Dodge²⁾の論文にその原型を見ることができる。そして、多くの研究者が視覚的マスクングが跳躍時抑制に果たす役割を検討している¹⁹⁻²¹⁾。

ところで、跳躍時抑制が視覚的マスクングの機構によるものであるならば、眼が静止した状態であっても、跳躍時に生じる網膜像の変化を再現することによって、跳躍時抑制と同様な現象が観測されるはずである。実際、背景刺激を高速度で移動させることによって、静止している眼に“跳躍”的な変化を与えた場合、実際の跳躍時に測定された抑制効果と同様な効果が得られることが示されている^{18,21,22)}。この意味において、視覚的マスクングによる抑制機構は跳躍眼球運動時に特異的な抑制ではない。ただし、視覚マスクング機構は、跳躍眼球運動の代償として生じた網膜像のぶれという視覚認識にとって不都合な情報を、選択的に排除するために視覚系に組み込まれた機構であるように思われる。

多くの研究が、跳躍中のぶれ像を知覚しない現象をめぐって行われてきた。最近においても、例えば、跳躍時に輝度応答が選択的に強く抑制されることを増分閾分光感度の測定によって示した実験や²³⁾、跳躍中の網膜像が抑制効果に与える影響についての検討²⁴⁾など、跳躍時抑制機構のさらなる解明に向けて研究が行われている。これまでの研究による跳躍時の視覚抑制機構についての合意点は、第一に、跳躍時には中枢性の抑制が存在するが、その効果は小さく機能的な意義は明確でない、第二に、通常の視環境下においては、実質的に視覚的マスク

ング機構によって“跳躍”的な網膜像の変化が消去されている、とまとめることができるだろう。

2.3 読書時の跳躍抑制と情報の取入れ

われわれが日常的に行っている視覚認識の際に、跳躍時の視覚情報は本当に除去され、なんら利用されていないのだろうか。また視覚情報は注視時のどの時間帯に効率よく取り入れられるのだろうか。これらの問題は一度検討してみる価値がある。そこで、筆者らは文章読み取り時の跳躍と注視における情報取入れの特性を調べた²⁵⁾。

被験者はスクリーン上に呈示された文章を自由に読み進む。この時、被験者が眼を動かすたびに、跳躍中、または注視中のある決まった時間 t に、読んでいる文章をノイズ刺激と入れ替えてしまう。ノイズ刺激の呈示はある時間 τ だけ持続した後、再び画面は元の文章に戻る。視覚系がこの間の情報を取り入れているかどうかによってノイズ呈示の影響に違いがでるはずである。ノイズ刺激としては、呈示された文章とは関係のない文章の上下表裏を逆にしたものを用いた。

はじめに、ノイズ刺激の知覚閾を測定した実験の結果を図1に示す。横軸が注視の開始時を0msとしたノイズ刺激の呈示時間 t であり、SACは跳躍開始時を示している。縦軸はノイズ刺激の知覚に要した持続時間 τ の閾値である。まず、ノイズ刺激が跳躍の開始時に呈示された場合、その知覚閾は35ms程度である。これはノイズ刺激が跳躍中から注視開始直後にまで及んでも、被験者はノイズ刺激に気付かず文章を読み進めていたことを示している。注視時にノイズ刺激を呈示する条件で

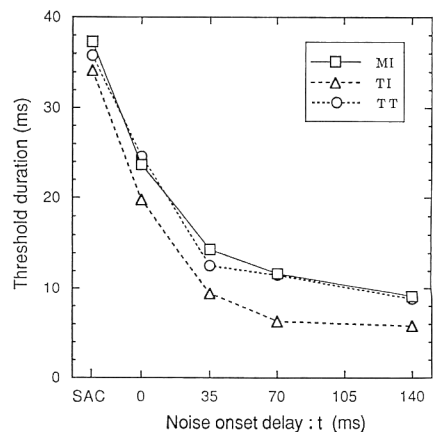


図1 ノイズ刺激呈示を知覚する持続時間の閾値。横軸は注視開始時を0msとしたノイズ刺激呈示時間、SACは跳躍開始時(被験者、MI, TI, TT)。

は、それよりも短い持続時間でノイズ刺激が知覚されるようになり、注視開始から 70 ms 後には、ノイズ刺激の知覚閾はほぼ 10 ms 程度で一定となる。つまり注視開始後 70~100 ms の間に、視覚系の情報取り入れ効率は最高に達することが考えられる。

ノイズ刺激が実際の文章読み取りに与える影響は読み取り時間を測定することによって検討した。図 2 はその結果を示したグラフである。横軸はノイズ刺激の呈示持続時間 τ 、縦軸には一文字当りに換算した読み取り時間を取っている。ノイズ呈示が跳躍の開始時 (SAC)、および注視開始後 140 ms に行われた二つの条件の結果を示した。SAC の条件ではノイズの持続時間が 30 ms 程度までは読み取り時間に増大は見られない。一方、FIX 140 の条件ではノイズ刺激の呈示が同じ 30 ms であっても、読み取り時間の増大がみられ、文章読み取り処理が妨害されたことを示している。

この実験から、文章を読み取る際、跳躍時の視覚情報は知覚されることはなく、また、その間の視覚情報は文章読み取りの処理に影響を及ぼさないことが明らかとなった。また、注視時の視覚情報の獲得効率は、注視開始後 70~100 ms 経過後に最高となることが示された。

3. 跳躍前後の視覚情報の統合

跳躍時の視野の安定を実現するためには、跳躍中のぶれ像を抑えるだけでは不十分である。跳躍前後では外界

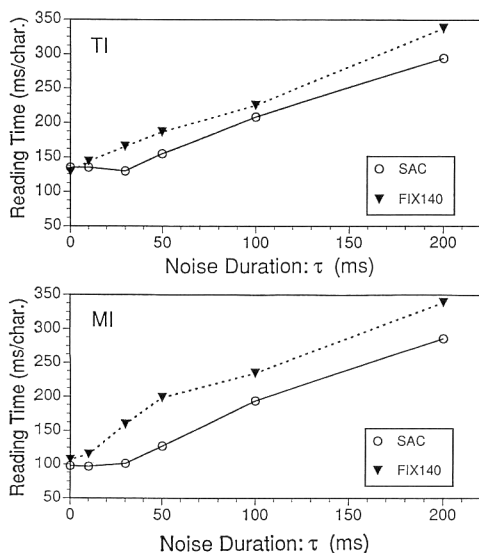


図 2 ノイズ刺激の呈示持続時間に対する読み取り時間の変化。ノイズ刺激呈示の時間条件；跳躍の開始時：SAC，注視開始後 140 ms：FIX 140 (被験者，TI，MI)。

の異なった領域の像が網膜上に形成されており、このような網膜像の変位が注視時に少しでも生じたら、外界が瞬時に移動して見える²⁶⁾。したがって、跳躍時の視野の安定を実現するためには、視覚系は眼球運動前後の網膜像変化を眼球運動によるものと判断し、それらを整合的に統合する処理が必要であると考えられる。

3.1 補正説と評価説

この現象を説明する説として、眼球位置信号によって跳躍に伴う網膜情報の変位を“補正”し、跳躍前後の視野の安定性を維持する、という考えが古くから提案されている^{27,28)}。眼球位置信号がどのような性質(フィードフォワード的に作用する遠心性信号、フィードバック的に作用する求心性信号)のものであれ、その信号が網膜座標上の視覚情報を、自己を中心とする空間座標上に変換するための基準値となるところがポイントである。

しかし、この補正理論に対して近年では疑問が投げかけられている。第一には、眼球位置の信号の精度は良くないという実験結果である。例えば、跳躍時に呈示されたフラッシュ光の空間定位実験の結果は、眼球位置信号は眼球の動きに比べて遅く不正確であることを示唆している^{29,30)}。第二には、跳躍中に視覚刺激を変位させても、その変位がある大きさ(跳躍の大きさに対して 10~30% 程度)以下であれば、その動きは知覚されないという実験結果である^{26,31-36)}。もし網膜情報が眼球位置信号によって空間座標上に正確に変換されているとすれば、跳躍中に付加された刺激の変位は空間座標上での動きとして残るはずである。図 3 に筆者らが行った実験の結果

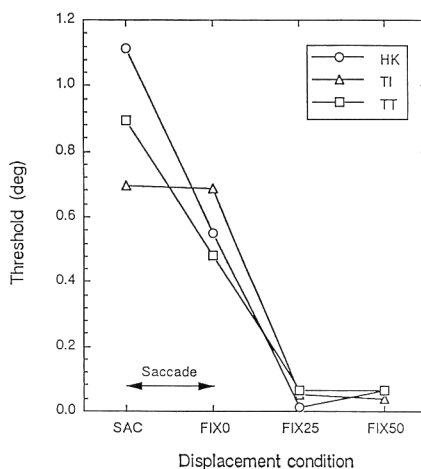


図 3 刺激変位による変化を知覚する変位量の閾値。横軸は変位の時間条件；跳躍開始時：SAC，注視開始後 t ms 後：FIX t ， $t=0, 25, 50$ (被験者，HK，TI，TT)。

を示す²⁶⁾。刺激はスライド写真として呈示された現実光景であり、観察中に被験者の跳躍眼球運動が発生するたびに、光景を水平方向に左右交互に変位させた。横軸はスライドを変位させた時間、縦軸はその動きを知覚した変位量の閾値である。この結果より注視時においては、わずかな刺激変位も動きとして知覚されるが、跳躍時の変位に対しては 1° に及ぶ閾値があり、かなり大きな変位であっても光景の動きとして知覚されないことがわかる。さらに、跳躍時のターゲットの定位²⁹⁾や刺激変位の検出閾³⁷⁾が、視覚的な参照物の有無などの視覚情報によって影響されることも示されており、視野統合が眼球位置信号のみによる座標変換では説明できないことを示唆している。

一方、MacKay³⁸⁾は触覚による外界の認識との比較を例にとり、静止した世界において意思的な眼球運動に伴った網膜像の変化は、補正したり抑制する必要はなく、“評価”すべきものであると主張した。その理論によると視覚系内には外界を表現する内部表現が形成されており、動眼系の信号の役割は、内部表現の修正の基準を定めることにある。つまり、意思的な眼球運動の信号は、網膜像の変化が生じたときに、それが外界の変化によるものか眼球の動きによるものかについての評価基準となるのである。前者の場合は内部表現を更新し、後者の場合は内部表現を維持する。視野の安定性はいわば帰無仮説であり、外界が変化するという正当な評価がなされない限り、棄却されることはないとした。また、眼球位置の信号は座標変換の基準値ではないので、それほど高い精度は必要とされない。この説は視野安定の現象について理論的に優れた観点を提供していると思われる。ただし、内部表現の更新に関わる具体的な機構などは明らかでない。

3.2 跳躍前後の空間メモリーと統合過程

跳躍前後の視覚情報の統合は、具体的にどのような仕組みで行われるのだろうか。跳躍前後の視野安定の機構を解明するためには、統合に関与する視覚情報と空間メモリーの特性を検討する必要がある。

跳躍前後の網膜情報の統合過程として、継続する注視の視覚情報が一点一点画像的な形で一時的に保持され、空間的に同じ位置を占める要素が融合するという、一種の空間的な視覚持続過程が考えられた³⁹⁻⁴¹⁾。網膜情報を空間的に正しく配置するための手がかりとしては、眼球運動の信号、および視覚要素の類似性によるマッチングが挙げられている。このような統合過程の存在を示すために、多くの試みがなされたが結果は否定的であっ

た⁴¹⁻⁴⁴⁾。例えば、Irwin ら⁴²⁾はマトリクス状に配置された点列が、跳躍を挟んで、半数ずつ空間的に同じ位置に呈示されたとき、被験者はその配列の中から欠けているドットの位置を見出すことはできず、跳躍前後の画像の空間的な融合に否定的な結果を報告した。また、空間的な融合過程の存在を示唆する結果がいくつか報告されているが^{45,46)}、その後の追試では確認されていない^{44,47)}。

跳躍前後で統合される情報は、画像的な低次の形態情報ではなく、抽象化された情報であるとする説も提案されている。その根拠として、例えば、視点を移す直前に周辺で見ていた絵の形態の類似性や概念的な情報が、その絵に対するネーミングを促進する実験結果⁴⁸⁾などが挙げられている。ただし、このような対象物の同定の促進効果に関与する情報と、跳躍前後の視野安定に関与する情報の関連については一考を要するだろう。

Irwin らは一連の研究で、なんらかの抽象化された情報が統合に関与することを示している^{44,47,49,50)}。跳躍時には空間的なメモリーが機能しているが、ここでは画像的な情報を融合させるのではなく、符号化された位置や特徴などの情報が保持されており、対象物の位置はそれぞれの相対的な位置関係で決められていると指摘している。

跳躍前後の統合過程が、画像情報と抽象化情報のどちらか一方だけに媒介される必然性はないと考え、その中間的な統合過程の可能性を調べた研究もなされている。Hayhoe と Lachter⁵¹⁾は3回の継続する注視時に呈示された光点が形成する形状を判断する実験を行い、形状判断に十分な精度を有する空間的な表象が跳躍時に機能していることを示唆している。

一方、跳躍時には動き知覚の機構が抑制されていることから、座標変換などの処理を考えなくとも、視野の安定性が説明可能であるとの考えが提案されている^{52,53)}。Shioiri と Cavanagh は位置情報の影響を排除するために、ランダムドットパターンを刺激として跳躍中の刺激変位実験を行ったが、このような条件では刺激にはどのような変化も知覚されなかったことを報告している。

さらに、最近では、跳躍時の統合を媒介する情報は、輝度チャンネルによるものか、あるいは色チャンネルによるものかという検討もなされている^{54,55)}。

3.3 跳躍時の位置情報の許容度

前節では跳躍前後の統合過程に関する研究を検討してきたが、具体的な機構を納得いくかたちで説明するまでには至っていない。もう一度、跳躍前後の視野統合の特

性を十分検討した上で、妥当性のある機構を考える必要があるように思える。

そこで筆者らは、跳躍前後の視覚情報を安定した視野として統合する際、視覚刺激の位置情報に関してどのくらいの精度を必要とするのかという問題について実験を行った^{26,36)}。被験者は呈示された刺激を自由に観察する。そのとき、跳躍が生じるたびに刺激の位置を、各々の跳躍と同じ方向に、跳躍の大きさに対してある比率で変位させる。刺激は現実の光景写真である。現実の光景を刺激とすることによって、構造化された視覚情報が豊富に存在する日常的な環境において、視覚系がどのような特性を示すか調べることが意図したものである。

被験者3人の実験結果を図4に示す。横軸は跳躍の大きさに対する光景変位量の比率である。縦軸は光景中になんらかの動きや形の歪みなどを知覚した確率である。この結果より、光景中になんらかの変化を知覚する変位量の閾値は、跳躍に対して20%前後であることがわかる。通常の視環境においても、跳躍時の統合過程には対象物の位置情報にかなりの許容度があることが示されたことになる。この実験での光景変化の見え方は興味深い。変位の比率が小さいときには被験者は光景を静止したものとして知覚する。変位比が閾値に近くなると、光景中のある対象物の動きや形の歪みなどの変化を知覚するようになる。このとき光景全体が動いて見えるのではなく、その中の一部分が初めに揺らぎ出す。それは多くの場合、光景中で目立つ対象であったり、明確な境界であったりする。このような現象は画像情報の単純な座標変換では説明できないと思われ、高次の機構の関与が予想される³⁴⁾。

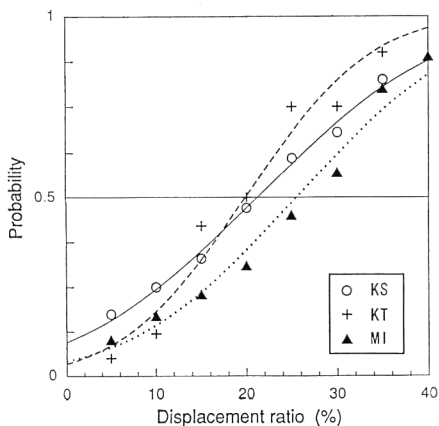


図4 跳躍眼球運動の大きさに対する光景変位の比率(%)と、その変位による変化の知覚確率(被験者, KS, KT, MI)。

ここで、筆者が現時点で思い描いている跳躍時の視野統合の仕組みを簡単に説明し、跳躍時に示される位置情報の許容度について考えてみたい。まず、われわれの視覚系内には外界を表現する視空間が形成されていると考える。そしてこの視空間全体の座標系は、能動的な跳躍眼球運動によっては変更されないとする。ここまでは仮定であるが、少なくとも知覚の最終的段階において、この種の表現系を仮定するのは自然な考えだと思える。また、この仮定は MacKay³⁸⁾の提案した説と相通じるものがある。この前提を受け入れれば、跳躍時の視野の統合過程は、個々の注視で得られた視覚情報によって、視空間内の視覚情報を整合的に更新する過程に帰着する。

今、テーブルの上にリンゴとバナナが置いてある光景を想像しよう。あなたはバナナを見ている。リンゴはテーブルの端の方にある。このとき、視空間におけるこのテーブル上の事物の表現は、もちろん、このテーブルを写真にとったようなものではない。視覚系の中心視と周辺視の特性を考えると、バナナは表面のきめやその色合いまで精度よく表現されており、リンゴは何か丸い形をして赤っぽいもの程度にしか表現されていないかも知れない。次に、リンゴに眼を移してみる。視点移動が完了すると、視空間にはリンゴが位置していた領域を中心として、新たな注視による視覚情報が入力されてくる。その結果はどうか。今度はリンゴがはっきり見えるようになり、バナナはぼけてしまう。視空間上では、あいまいだったリンゴは精度の高いリンゴによって更新され、鮮明だったバナナはぼけたバナナによって更新される。視点移動によって変化するのは視空間内の視覚情報の精度の分布である。このように跳躍時の視覚情報の更新は、中心視による精度の高い情報と、周辺視でのあいまいな情報の間で起こる。したがって、その更新過程には視覚情報のいくつかの項目について許容度があるはずである。例えば、リンゴの位置が跳躍中に少し変位したとしても、そのずれが跳躍前に表現されていたリンゴの位置のあいまいさの範囲内であれば、リンゴは整合的に更新され変化は知覚されない。リンゴが移動したとする正当な情報はないのである。しかし、跳躍中のリンゴの変位が大きくなり、もはや跳躍前のリンゴの位置のあいまいさの範囲に収まらないと判断されたときには、リンゴは動いたと解釈される。このように考えると、跳躍中に光景を変位させたときに、まず、光景中で高い位置精度を有すると思われる明確な対象物から動きが知覚されるようになる結果も理解できる。中心視と周辺視の情報の相互更新には、情報精度にある程度の許容度が必然的に存

在すると考えられる。そして、この許容度があることによって、頭部や体の動き、眼球運動の不正確さなど、網膜像のさまざまな変動要因が存在する日常において、跳躍眼球運動に伴う視野安定機構の頑強性が高められていると解釈することもできるのではないだろうか。

4. おわりに

視野安定の現象は視覚研究の最も古くから検討されてきたテーマのひとつであり、その研究は量的にもかなりの積み重ねがあり、またアプローチの方法も多岐にわたる。ここで解説を試みた研究は、主に心理物理学、実験心理学的な研究であるが、それでも十分な解説を行うことは筆者の力量を越えるものがある。最近なされたこの分野に関する解説^{56,57)}も参照していただきたいと思う。

本稿では、跳躍時の視野の安定性について、跳躍中の視覚的抑制、跳躍前後の視覚情報の統合という二つの機能に分けて考えてきた。実際に跳躍時の視野安定が維持されるためには、これらの共同的な働きが必要となると思われる。跳躍眼球運動に伴う視野安定の機構についてはまだまだ不明な点が多く、これからも活発な研究を続けていく必要があるだろう。それと同時に、眼球を動かしても外の世界は動いて見えないという、日頃当り前に経験している現象の意味を、いま一度考えてみる価値があるように思える。

文 献

- 1) E. B. Holt: "Eye-movement and central anaesthesia," *Psychol. Monogr.*, **4** (1903) 3-45.
- 2) R. Dodge: "Visual perception during eye movement," *Psychol. Rev.*, **7** (1900) 454-465.
- 3) R. Dodge: "The illusion of clear vision during eye movement," *Psychol. Bull.*, **2** (1905) 193-199.
- 4) R. S. Woodworth: "Vision and localization during eye movements," *Psychol. Bull.*, **3** (1906) 68-70.
- 5) P. L. Latour: "Visual thresholds during eye movements," *Vision Res.*, **2** (1962) 261-262.
- 6) F. C. Volkman: "Vision during voluntary saccadic eye movements," *J. Opt. Soc. Am.*, **52** (1962) 571-578.
- 7) F. C. Volkman, A. M. L. Schick and L. A. Riggs: "Time course of visual inhibition during voluntary saccades," *J. Opt. Soc. Am.*, **58** (1968) 562-569.
- 8) B. L. Zuber and L. Stark: "Saccadic suppression: elevation of visual threshold associated with saccadic eye movements," *Exp. Neurol.*, **16** (1966) 65-79.
- 9) E. Matin: "Saccadic suppression: A review and an analysis," *Psychol. Bull.*, **81** (1974) 899-917.
- 10) F. C. Volkman: "Human visual suppression," *Vision Res.*, **26** (1986) 1401-1416.
- 11) L. A. Riggs, P. A. Merton and H. B. Morton: "Suppression of visual phosphenes during saccadic eye movements," *Vision Res.*, **14** (1974) 997-1011.
- 12) L. A. Riggs and K. A. Manning: "Saccadic suppression under conditions of whiteout," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **23** (1982) 138-143.
- 13) R. H. S. Carpenter: *Movements of the Eyes*, 2nd ed. (Pion, London, 1988) pp. 71-72.
- 14) D. C. Burr and J. Ross: "Contrast sensitivity at high velocities," *Vision Res.*, **22** (1982) 479-484.
- 15) F. W. Campbell and R. H. Wurtz: "Saccadic omission: Why we do not see a grey-out during a saccadic eye movement," *Vision Res.*, **18** (1978) 1297-1303.
- 16) D. Kahneman: "Method, findings and theory in studies of visual masking," *Psychol. Bull.*, **70** (1968) 404-425.
- 17) B. G. Breitmeyer: *Visual Masking: An Integrative Approach* (Clarendon Press, Oxford, 1984).
- 18) B. A. Brooks, D. M. K. Impelman and J. T. Lum: "Backward and forward masking associated with saccadic eye movement," *Percept. Psychophys.*, **30** (1981) 62-70.
- 19) L. Mitrani, S. Mateeff and N. Yakimoff: "Is saccadic suppression really saccadic?," *Vision Res.*, **11** (1971) 1157-1161.
- 20) E. Matin, A. B. Clymer and L. Matin: "Metacontrast and saccadic suppression," *Science*, **178** (1972) 179-181.
- 21) B. A. Brooks and A. F. Fuchs: "Influence of stimulus parameters on visual sensitivity during saccadic eye movement," *Vision Res.*, **15** (1975) 1389-1398.
- 22) D. M. MacKay: "Elevation of visual threshold by displacement of retinal image," *Nature*, **225** (1970) 90-92.
- 23) 佐藤雅之, 内川恵二: "サックードに伴う増分閾分光感度の変化", *光学*, **21** (1992) 477-480.
- 24) E. Chekaluk and K. R. Llewellyn: "Visual stimulus input, saccadic suppression, and detection of information from the postsacade scene," *Percept. Psychophys.*, **48** (1990) 135-142.
- 25) T. Ishida and M. Ikeda: "Temporal properties of information extraction in reading studied by a text-mask replacement technique," *J. Opt. Soc. Am. A*, **6** (1989) 1624-1632.
- 26) 石田泰一郎, 池田光男: "サックード前後の視野統合可能変位量", *光学*, **19** (1990) 673-681.
- 27) E. Von Holst: "Relations between the central nervous system and the peripheral organs," *Br. J. Anim. Behav.*, **2** (1954) 89-94.
- 28) R. W. Sperry: "Neural basis of the spontaneous optokinetic response produced by visual inversion," *J. Comp. Physiol. Psychol.*, **43** (1950) 482-489.
- 29) L. Matin: "Saccades and extraretinal signal for visual direction," *Eye Movements and Psychological Processes*, eds. R. A. Monty and J. W. Senders (Lawrence Erlbaum, Hillsdale, 1976) pp. 205-219.
- 30) H. Honda: "Perceptual localization of visual stimuli flashed during saccades," *Percept. Psychophys.*, **45** (1989) 162-174.
- 31) A. Mack: "An investigation of the relationship between eye and retinal image movement in the perception of movement," *Percept. Psychophys.*, **8** (1970) 291-298.
- 32) B. Bridgeman, D. Hendry and L. Stark: "Failure to detect displacement of the visual world during

- saccadic eye movements," *Vision Res.*, **15** (1975) 719-722.
- 33) W. R. Whipple and H. Wallach: "Direction-specific motion thresholds for abnormal image shifts during saccadic eye movement," *Percept. Psychophys.*, **24** (1978) 349-355.
- 34) B. Bridgeman: "Cognitive factors in subjective stabilization of the visual world," *Acta Psychol.*, **48** (1981) 111-121.
- 35) W. Li and L. Matin: "The influence of saccade length on the saccadic suppression of displacement detection," *Percept. Psychophys.*, **48** (1990) 453-458.
- 36) 石田泰一郎, 池田光男: "跳躍眼球運動時の視野統合過程における位置情報の許容度", *光学*, **22** (1993) 610-617.
- 37) 後藤敏行, 池田光男: "跳躍眼球運動時の視野安定機構", *光学*, **10** (1981) 35-40.
- 38) D. M. MacKay: "Visual stability," *Invest. Ophthalmol.*, **11** (1972) 518-524.
- 39) B. G. Breitmeyer, W. Kropfl and B. Julesz: "The existence and role of retinotopic and spatiotopic forms of visual persistence," *Acta Psychol.*, **52** (1982) 175-196.
- 40) J. Jonides, D. E. Irwin and S. Yantis: "Integrating visual information from successive fixations," *Science*, **215** (1982) 192-194.
- 41) K. Rayner and A. Pollatsek: "Is visual information integrated across saccades?," *Percept. Psychophys.*, **34** (1983) 39-48.
- 42) D. E. Irwin, S. Yantis and J. Jonides: "Evidence against visual integration across saccadic eye movements," *Percept. Psychophys.*, **34** (1983) 49-57.
- 43) J. K. O'Regan and A. L. Schoen: "Integrating visual information from successive fixations: Dose trans-saccadic fusion exist?," *Vision Res.*, **23** (1983) 765-768.
- 44) D. E. Irwin, J. S. Brown and J. S. Sun: "Visual masking and visual integration across saccadic eye movements," *J. Exp. Psychol. Gen.*, **117** (1988) 276-287.
- 45) M. L. Davidson, M. J. Fox and A. O. Dick: "Effect of eye movements on backward masking and perceived location," *Percept. Psychophys.*, **14** (1973) 110-116.
- 46) W. Wolf, G. Hauske and U. Lupp: "Interaction of pre- and postsaccadic patterns having the same coordinates in space," *Vision Res.*, **20** (1980) 117-125.
- 47) D. E. Irwin, J. L. Zacks and J. S. Brown: "Visual memory and the perception of a stable visual environment," *Percept. Psychophys.*, **47** (1990) 35-46.
- 48) A. Pollatsek, K. Rayner and W. E. Collins: "Integrating pictorial information across eye movements," *J. Exp. Psychol. Gen.*, **113** (1984) 426-442.
- 49) D. E. Irwin: "Information integration across saccadic eye movements," *Cognitive Psychol.*, **23** (1991) 420-456.
- 50) D. E. Irwin: "Memory for position and identity across eye movements," *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cog.*, **18** (1992) 307-317.
- 51) M. Hayhoe and J. Lachter: "Integration of form across saccadic eye movements," *Perception*, **20** (1991) 393-402.
- 52) S. Shioiri and P. Cavanagh: "Saccadic suppression of low-level motion," *Vision Res.*, **29** (1989) 915-928.
- 53) 中村博久, 塩入 論, 久保走一: "位置変化および速度変化の検出に対するサッカードの影響", *光学*, **22** (1993) 366-370.
- 54) 石田泰一郎, 篠田博之, 池田光男: "跳躍眼球運動時の等輝度刺激の変位検出閾", *光学*, **22** (1993) 27-32.
- 55) S. L. Macknik, B. Bridgeman and E. Switkes: "Saccadic suppression of displacement at isoluminance," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci. Suppl.*, **32** (1991) 899.
- 56) 塩入 論: "サッカード抑制, 視野安定およびサッカード統合", *眼球運動の実験心理学*, 菅阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男編 (名古屋大学出版会, 1993) pp. 101-122.
- 57) 本田仁視: "眼球運動と空間定位", *眼球運動の実験心理学*, 菅阪良二, 中溝幸夫, 古賀一男編 (名古屋大学出版会, 1993) pp. 123-142.