

解説

輻輳運動と両眼ステレオプシス

下野 孝一

東京商船大学商船学部社会科学教室 〒135 東京都江東区越中島 2-1-6

(1993年9月16日受理)

Effects of Vergence Eye Movements on Binocular Stereopsis

Koichi SHIMONO

Social Sciences Laboratory, Tokyo University of Mercantile Marine,
2-1-6, Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135

1. はじめに

われわれは水平方向に 6 cm 程離れた二つの眼を持っている。このために奥行きを持った対象を観察したとき、左右の網膜に写った像の網膜位置は“ずれ”ている。このずれは、同一対象を、同じ高さの異なる二つの水平位置で 1 枚ずつ写真に撮った場合を考えれば理解しやすいだろう。2 枚の写真を重ねあわせると、お互いにずれている部分がある。このようなずれが両眼網膜像差 (binocular retinal disparity, 以下網膜像差) と呼ばれ、奥行き感 (ステレオプシス, stereopsis) を生じさせ¹⁻⁶⁾、両眼が同量、反対方向に動く眼球運動 (輻輳性眼球運動, vergence eye movements) を引き起こす⁷⁻¹²⁾ 刺激としている。視覚系 (visual system) は、網膜像差を処理することで知られてことによって 3 次元知覚を行い、輻輳性眼球運動を行っているのである。本論文では、輻輳性眼球運動がステレオプシスに及ぼす影響を中心に解説する。

2. 両眼網膜像差

最近, Collewijn^{11,12)} らは網膜像差を、絶対網膜像差 (absolute disparity, 以下 AD) と相対網膜像差 (relative disparity, 以下 RD) に区別して考えるべきだと主張している。彼らの用語法によれば、絶対網膜像差とは凝視点 (両眼視軸の交点) とそれぞれの眼の回旋点 (回旋中心, center of rotation) のなす角度 (angular vergence, 眼球輻輳角, 以下輻輳角) と、対象とそれぞれの眼の節点 (nodal point) のなす角度 (target vergence, ターゲット輻輳角) の差である。(視軸とは対象とそれ

ぞれの眼の節点とを結ぶ線分のことである。回旋点と節点の差は非常に小さいので、ここでは無視して考える。) 例えば、奥行方向に離れた二つの対象の場合 (図 1)、凝視点よりも遠い対象 (F) の絶対網膜像差は

$$AD_f = \alpha F - \alpha f$$

で、近い対象 (N) の絶対網膜像差は

$$AD_n = \alpha f - \alpha N$$

で表現される。この表現からわかるように、絶対網膜像差の大きさは凝視位置、つまり眼球位置に規定される。AD_n, AD_f をそれぞれ交差性 (crossed), 非交差性 (uncrossed) 絶対網膜像差と呼ぶ。一方、相対網膜像差は絶対網膜像差の差として定義され、図 1 では N と F の相対網膜像差は

$$RD_c = \alpha F - \alpha N$$

あるいは

$$RD_u = \alpha N - \alpha F$$

である。この表現からわかるように、相対網膜像差は眼球位置には規定されない。RD_c と RD_u は、それぞれ、N が F より“前”に、F が N より“後ろ”にあることを意味し、F が N に対して交差性相対網膜像差を、N が F に対して非交差性相対網膜像差を持っていることを表している。

また、一般に両眼で刺激を凝視する場合、両眼視軸の交点は凝視刺激を含む面上では交差しない。つまり、輻輳角はターゲット輻輳角と一致しない。この輻輳角とターゲット輻輳角の差は凝視網膜像差 (fixation disparity) とも呼ばれる。

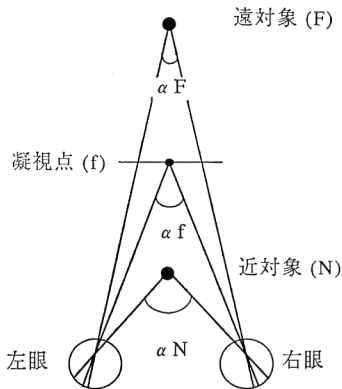


図1 相対網膜像差と絶対網膜像差. F, f, N はそれぞれ、凝視点より遠くにある対象、凝視点、凝視点より近くの対象を、また $\alpha F, \alpha f, \alpha N$ は F, f, N がそれぞれの眼の節点となる角を表現している。

3. 網膜像差検出の指標としてのステレオプシスと輻輳運動

3.1 ステレオプシス

相対網膜像差によって引き起こされた奥行印象はステレオプシス、あるいは立体視と呼ばれることが多い。本解説でもそれにならうが、運動視差 (motion parallax) によって引き起こされた単眼ステレオプシス (monocular stereopsis)^{13,14)} と区別する意味では、相対網膜像差で引き起こされた奥行印象は両眼ステレオプシス (binocular stereopsis) と呼ぶのがより適当であろう。

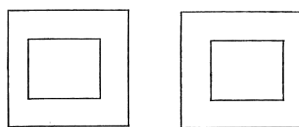
ステレオプシスの研究は 19 世紀 Wheatstone¹⁾ によるステレオスコープ (stereoscope) の発明に端を発している。彼は相対網膜像差を持った輪郭線刺激 (図 2 a) を両眼分離提示 (dichoptic presentation) すると奥行印象が得られることを報告した。さらに、Julesz²⁾ は、ランダムドットステレオグラム (random-dots stereogram, 以下 RDS, 図 2 b) を用いて輪郭線や形状を含まない

“純粋な” 網膜像差を提示した。以来、多くの研究によって、視覚系が網膜像差を検出し奥行きに変換すること、つまり、ステレオプシスが網膜像差検出の指標 (index) であることが確認されている。

ステレオプシスに関しては非常に多岐にわたって知見が蓄積されているが、ここでは以下の議論に必要な事柄に関して言及する。比較的小さい相対網膜像差の場合、刺激は融合 (fusion) し、単一に見える。つまり、単一視 (single vision) が生じる。単一視を生む領域は Panum の融合域 (Panum's fusional area) と呼ばれる。この領域の大きさは刺激特性によって一定ではなく、数分から 2 度程度まで報告されている⁴⁻⁶⁾。この領域では、奥行量と網膜像差量は一致する、つまりヴェリディカル (veridical) である。さらに網膜像差が大きくなると刺激は融合せず、複視 (double vision, あるいは diplopia) が生じる。複視が生じて、網膜像差が 1 度程度までなら奥行量は幾何学的な予測と一致する^{15,16)}。また、網膜像差が最大 10 度程度までは奥行方向の弁別は正しい^{16,17)} (図 3)。また、逆に、奥行きをもたらさる最小の相対網膜像差 (ステレオプシスの閾値、あるいは立体視力, stereoacuity) は、刺激の特性や個人差等によって異なるが、中心窩 (fovea, 網膜の中で最も解像度の高い領域。凝視した場合に対象の像が結像する領域) 付近では数秒から 10 数秒とされている¹⁸⁾。

3.2 輻輳性眼球運動

先述したように、両眼が同量、反対方向に動く眼球運動は輻輳性眼球運動 (以下輻輳運動) と呼ばれる。例えば、図 1 で f を凝視している時、対象 N あるいは F が提示されると両眼はその対象を中心窩で補足するように運動する。網膜像差によって引き起こされたこのような輻輳運動は網膜像差性輻輳運動 (disparity vergence) と呼ばれる¹⁹⁾。輻輳運動を引き起こす刺激は網膜像差だけではなく、調節、遠近感等も輻輳運動を引き起こすし、随意に輻輳を変化させることもできる^{8,12)}。網膜像



a) 輪郭線ステレオグラム (Wheatstone-type stereogram)



b) ランダムドット ステレオグラム (Julesz' type random-dots stereogram)

図 2 輪郭線をもつステレオグラム, Wheatstone-type stereogram (a) と輪郭線をもたないステレオグラム, Julesz' type random-dots stereogram (b). それぞれのステレオグラムを融合させると, (a) の場合は内側の矩形が, (b) の場合は菱形が奥行きを持って知覚される。

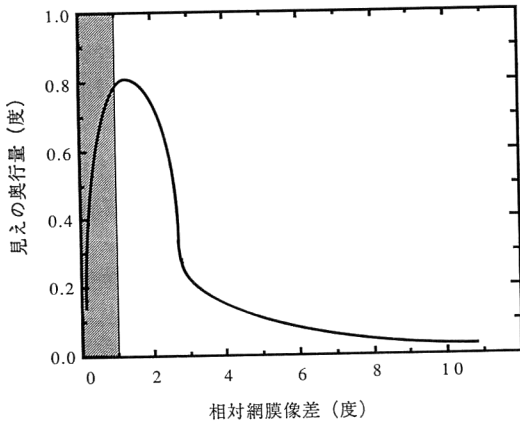


図 3 相対網膜像差の大きさと見えの奥行きとの関係の模式的表現。■で被われた部分は、Panum の融合域を表す (縦軸に示した見えの奥行きは凝視刺激の輻輳角に依存しているので、網膜像差量として表現した)。

差性輻輳運動の測定例は図 4 に示してある。初期凝視位置より輻輳角が増加する方向 (輻輳方向) の運動をコンバーゼンス、減少する方向 (開散方向) の運動をダイバーゼンスと呼ぶ。コンバーゼンス、ダイバーゼンスはそれぞれ、交差性、非交差性絶対網膜像差によって引き起こされる。

ステレオプシス同様、網膜像差性輻輳運動に関しても非常に多岐にわたって知見が蓄積されている。ここでは以下の議論に必要な事柄に関して言及する。輻輳運動の潜時 (latency, 刺激が提示されてから輻輳運動が生じるまでの時間) は、150 ms から 200 ms 程度であり^{7,20-23)}、運動は網膜像差提示後約 2 秒で完了する^{7,23)}。輻輳運動の量は網膜像差の提示時間と量の関数である^{20,21)}。輻輳運動を引き起こす最小の網膜像差については、2 分程度と

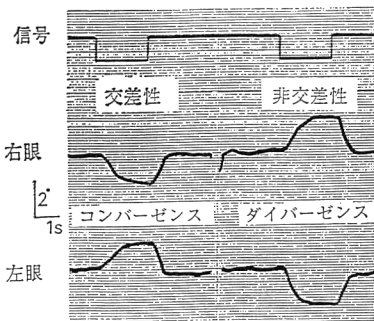


図 4 4 度の交差性、非交差性網膜像差を 2 秒間提示した時の輻輳運動の測定例。網膜像差の提示後、一定の潜時を経て、両眼が 2 度ずつ反対方向に動いている。

する研究²⁴⁾もあるが、明白な結論はまだでない¹²⁾。凝視を続けるよう教示しても、輻輳角は 10 分程度は変化するという報告や²⁵⁾、Panum の融合域内で輻輳角を変化させる時は、輻輳運動というよりむしろ非等値サッカド (unequal saccade, 両眼で量の異なるサッカド・量が異なると輻輳角が変化する) を使っているだろうというわれわれの非公式な観察結果からも、輻輳運動を引き起こす絶対網膜像差は 10 分以上と考えるのが妥当であろう。一方、輻輳運動を引き起こす最大の網膜像差は 10 度程度であり²²⁾、この値はステレオプシスを引き起こす最大の相対網膜像差の値と類似している。

4. 輻輳運動とステレオプシスの相互作用

4.1 相対網膜像差が小さい場合

輻輳運動が立体視力に影響しないということは、だいたい認められている^{12,18)}。というのは、輻輳運動の潜時よりも短い時間刺激を提示しても、あるいは輻輳運動が生じる時間刺激を提示しても、立体視力に変化はないからである。また、弁別されるべき二つの対象が網膜上を運動しても、対象の速度が 2 度/秒までは立体視力に影響しないことも報告されている²⁶⁾。これらの事実は立体視力は輻輳運動に影響を受けないことを示唆している。

さらに、弁別刺激が継時的に提示された場合には、立体視力 (継時的立体視力) が低下する (分のオーダーになる)^{27,28)} ことも報告されている。Collewijn ら¹²⁾はこの結果の違いを、刺激が同時に二つ以上存在する時には相対網膜像差が処理され、継時的に存在する時には、絶対網膜像差が継時的に処理されるためであると主張している。彼らのこの主張は、ステレオプシスに新しい下位機構を提案している点で興味深い。従来のステレオプシス (“同時的”ステレオプシスとでも呼んでおく) と継時的ステレオプシス (sequential stereopsis²⁹⁾) である。継時的立体視力と輻輳運動を引き起こすであろう最小の網膜像差の大きさが類似していることを考えると、輻輳運動と継時的ステレオプシスは絶対網膜像差検出の二つの指標であるかもしれない。継時的ステレオプシスがどのような特性を持つかは今後の研究に待ちたい。

立体視力に対してと同様、網膜像差が比較的小さい時にも、輻輳運動は一般的にステレオプシスに影響しないようである。例えば、図 2 に示したステレオグラムを融合し、奥行きを知覚した後、二つの奥行き面で凝視を変化させても奥行き印象に変化はない。もちろん輻輳運動が複視が生じる程大きければ奥行きは見えなくなるが、融合

が保たれる範囲の眼球運動は見えの奥行きには影響を与えない。実験的には、数分の相対網膜像差をもつ刺激を融合させた後、視軸を開散させると1~2度の絶対網膜像差でも、融合は保たれ奥行きに影響がないことが示唆されている³⁰⁾。

また、刺激を輻輳運動の潜時より短い時間提示しても、1度以下までは網膜像差の大きさに対応した奥行きを示す^{15, 16, 31)}。ただし、刺激を輻輳運動の潜時より短く提示するという事は、輻輳運動自体が生じないということではない。刺激提示時間内には運動が生じないというだけである。刺激が消えた後に、提示された網膜像差に対応する輻輳運動量より減衰しているが、運動は生じる。その意味では輻輳運動の効果は完全には排除できない。

奥行量が網膜像差の大きさに対応しているのは、図2 aに示されるような輪郭をもったステレオグラムの場合であり、図2 bに示されるようなRDSの場合は、短時間提示すると網膜像差に対応した奥行きは報告されない³¹⁾。この研究結果は、RDSの場合には相対網膜像差を検出するために輻輳運動が生じると主張する研究結果と一致する^{32, 33)}。おそらく、RDSの場合、相対網膜像差をもつ領域を探すために輻輳運動が起こるが、ひとたび融合が起き、ステレオプシスが生じた後は、輻輳運動は奥行きには影響を与えないのであろう。

以上の議論から考えると、相対網膜像差が小さい場合(1度以下)、輻輳運動はステレオプシスにはほとんど影響を与えないようである。このことは何を意味するだろうか。もし、両者が共通の処理機構の指標であるとしたら、両者の特性に類似性があり、見えの奥行きが輻輳運動に影響を受けると予測される。一方、もし、輻輳運動とステレオプシスがそれぞれ絶対網膜像差、相対網膜像差検出の独立した指標であれば、両者の間に相互作用はないと予測される。つまり、輻輳運動によって見えの奥行きは影響を受けないか、あるいはその影響は非常に少ないだろう。相対網膜像差が小さい場合の従来の研究結果は、輻輳運動とステレオプシスはそれぞれ絶対網膜像差、相対網膜像差検出の独立した指標であることを示唆しており、Collewijnら^{11, 12)}あるいは中溝ら²¹⁾の主張に沿うものである。

従来、輻輳運動とステレオプシスは同一の網膜像差検出の指標であると考えられてきた^{22, 23)}。というのは網膜像差性輻輳運動を引き起こす水平、垂直網膜像差の限界や形態の非類似性の限界と、ステレオプシスを引き起こす水平垂直網膜像差の限界に類似性があったからであ

る²³⁾。この主張は比較的大きな網膜像差(1度以上)を用いた実験結果にもとづくものである。網膜像差が大きい場合、輻輳運動とステレオプシスは何らかの相互作用を示すかもしれない。

4.2 相対網膜像差が大きい場合

大きい相対網膜像差を持った刺激に対する輻輳運動の効果測定した研究はほとんどないが、Foleyらの行った研究が参考になる³⁴⁾。彼らによれば、奥行きを持つ二つの対象を交互に凝視させる課題において、見かけの奥行量は、測定した範囲内では(最大10度程度の相対網膜像差)、網膜像差の大きさに対応して増加した。一方、対象を短時間提示する課題では、見えの奥行量が網膜像差の大きさに対応するのは1度までで、それ以上の網膜像差に対しては次第に減少した(図3参照)。ただし、この課題では輻輳運動が随意性であるので随意性輻輳運動の影響もありえる。また、刺激は実際に奥行きを持っていたので、調節も輻輳運動の手がかりとなり得る。したがって、絶対網膜像差にもとづく輻輳運動のみが見えの奥行きに影響したとはいえない。しかしながら、この結果は、少なくとも輻輳運動が見かけの奥行きに影響したことを示している。この結果に対する一つの説明は、輻輳角が絶対距離(観察者からの距離)の手がかりであり、視覚系が輻輳角の差を相対距離(奥行き)に変換したと考えるものである。ただし、この説明は輻輳角は観察距離が2m以上の場合距離手がかりとしては正確ではないという難点がある(この実験では、眼球位置が測定されていず、輻輳角はターゲット輻輳角の変化に対応していると仮定されている)。

上記の研究は、見えの奥行きに及ぼす絶対網膜像差の効果分を分離できていないけれども、Kaufmanによる輻輳誤差仮説によれば、絶対網膜像差にもとづく輻輳運動が見えの奥行きに直接影響すると予測される³⁵⁾。網膜像差が大きい場合、凝視されている刺激は融合しているが、凝視されていない刺激は融合せず、複視が生じる。この仮説はステレオプシスを説明するために提案されたものではないが、一つの仮定を加えれば、複視の奥行きを説明できる。仮説はまず、三つの仮定にもとづいて。1) 視覚系は、融合しない刺激を“単眼性”刺激として扱う、2) 単眼性刺激は輻輳面(両眼の視軸が交差する面)に定位される、3) 融合している凝視刺激は、凝視網膜像差(あるいは絶対網膜像差)の方向によって、輻輳位置より後ろか前に定位される(図5)。この仮説では見えの奥行き、方向は絶対網膜像差に依存する。したがって、もし、絶対網膜像差の方向(交差性か非交差性か)

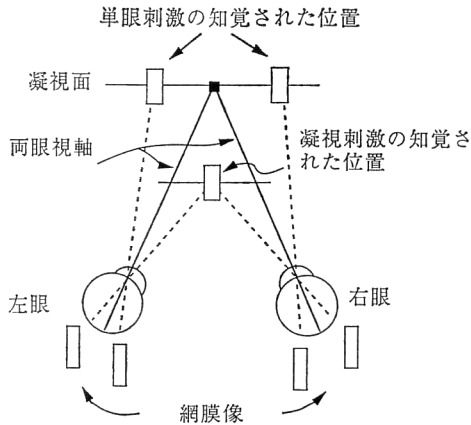


図 5 輻輳誤差仮説. 相対網膜像差が大きい場合、知覚された奥行きは絶対網膜像差によって決定される。

が相対網膜像差の方向（交差性か非交差性か）と一致すると仮定すれば、奥行方向の正しい弁別ができることになる。刺激が複視された時の奥行きについて、この仮説は従来のステレオプシスの理論^{2-6,19)}とまったく異なっており、検証に値する。しかし、ステレオプシスから輻輳運動の効果を完全に排除できないので、複視された刺激の奥行印象が、相対網膜像差によるものなのか、絶対網膜像差によるものなのかをテストすることは困難である。この仮説を支持する実験結果は、大きい相対網膜像差を持った RDS の場合、あるいは“単眼性”刺激の場合には得られている^{36,37)}が、輪郭線を使ったステレオグラムの場合はまだ得られていない。

5. 輻輳角とステレオプシスの相互作用

相対網膜像差の大きさが、輻輳運動とステレオプシスの相互作用を考える上で重要な要因であることを議論してきたが、輻輳角の大きさも見えの奥行量と相互作用がある。このことは、立体視的奥行恒常性 (stereoscopic depth constancy) の研究から伺える。幾何学的には、相対網膜像差が一定なら、奥行量は観察距離の約 2 乗倍で増加する^{38,39)}。もし、輻輳角が距離の手がかりで、視覚系はその情報を使っているとすれば、見えの奥行量は輻輳角の変化に依存するはずである。Foley によれば、見かけの奥行量は輻輳角の減少（観察距離の増加）とともに線形に増加した⁴⁰⁾。ただし、幾何学的予測よりも過少評価している。このことは視覚系にとって輻輳角が距離手がかりとしては弱いことを示唆しているが、輻輳角は確かに見えの奥行量、ステレオプシスに影響している。ただし、輻輳角が見えの奥行量に影響するのは観察距離

2メートル以内である（立体視的奥行恒常性の研究では眼球位置は測定されていない、輻輳角はターゲット輻輳角に対応すると仮定されている）。

6. おわりに

相対網膜像差が小さい時、輻輳運動はステレオプシスに影響しない。相対網膜像差が大きい場合、輻輳運動はステレオプシスに影響する。このことは、相対網膜像差の大きさが輻輳運動とステレオプシスの相互作用には重要な要因であることを示している。さらに、相対網膜像差が一定ならば見えの奥行量は輻輳角に影響を受ける。

本論文では輻輳運動とステレオプシスの相互作用について解説した。両者に関する研究は非常に多岐にわたっており、本解説は狭い範囲の問題しか扱っていない。その欠点を補うために基本的な文献を極力多く引用した。本研究で扱った相互作用は、頭も刺激も静止した場合のそれであり、刺激、あるいは刺激および頭が運動した場合は取り扱っていない。刺激運動時、あるいは頭運動時の両者の問題については最近研究が増えており、文献の12)を参照していただきたい。

本解説を作成するにあたり、貴重な助言をいただいた福岡教育大学中溝幸夫教授と北九州大学近藤倫明助教授に、また本解説を書く機会を与えていただいた千葉大学塩入諭助手に感謝いたします。

文 献

- 1) C. Wheatstone: "Contribution to the physiology of Vision—Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of the binocular vision," *Phil. Trans. R. Soc.*, **128** (1838) 371-374.
- 2) B. Julesz: *Foundations of Cyclopean Perception* (University of Chicago Press, Chicago, 1971).
- 3) B. Julesz: "Global stereopsis: cooperative phenomena is stereoscopic depth perception," *Handbook of Sensory Physiology, Vol. 8, Perception*, eds. R. Held, H. W. Leibowitz and H. Teuber (Springer-Verlag, Berlin, 1978) pp. 215-256.
- 4) C. W. Tyler: "Sensory processing of binocular disparity," *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects*, eds. C. M. Schor and K. J. Ciuffreda (Butterworths, Boston, 1983) pp. 199-295.
- 5) C. W. Tyler and A. B. Scott: "Binocular vision," *Physiology of the Human Eye and Visual System*, ed. R. E. Records (Harper and Row, Hagerstown, 1979) pp. 643-671.
- 6) P. O. Bishop: "Binocular vision," *Adler's Physiology of the Eyes*, ed. R. A. Mores (C. V. Mosby, St. Louis, 1981) pp. 576-649.
- 7) G. Westheimer and A. M. Mitchell: "Eye movement responses to convergent stimuli," *A. M. A. Arch. Ophthalmol.*, **55** (1956) 848-856.
- 8) M. Alpern: "Eye movements," *Handbook of Sensory*

- Physiology, Vol. 12, Visual Psychophysics*, eds. D. Jameson and L. M. Hurvich (Springer, Berlin, 1972) pp. 303-330.
- 9) C. Schor and K. J. Ciuffreda: *Vergence Eye Movements: Basic and Clinical Aspects* (Butterworths, Boston, 1983).
 - 10) F. M. Toates: "Vergence eye movements," *Doc. Ophthalmol.*, **37** (1974) 153-214.
 - 11) H. Collewijn, C. J. Erkelens and D. Regan: "Absolute and relative disparity: a re-evaluation of their significance in perception and oculomotor control," *Adaptive Processes in Visual and Oculomotor Systems*, eds. E. L. Keller and D. S. Zee (Pergamon Press, Oxford, 1986) pp. 177-184.
 - 12) H. Collewijn and C. J. Erkelens: "Binocular eye movements and the perception of depth," *Eye Movements and Their Role in Visual and Cognitive Processes*, ed. E. Kower (Elsevier, Amsterdam, 1991) pp. 213-261.
 - 13) H. Ono and M. J. Steinbach: "Monocular stereopsis with and without head movement," *Percept. Psychophys.*, **48** (1990) 179-187.
 - 14) 中溝幸夫, 斎田真也: "運動視差: 研究史と最近の研究動向", *福岡教育大学紀要*, **39** (1990) 239-264.
 - 15) W. Richards: "Anomalous stereoscopic depth perception," *J. Opt. Soc. Am.*, **61** (1971) 410-414.
 - 16) W. Richards and M. G. Kaye: "Local versus global stereopsis: two mechanisms?," *Vision Res.*, **14** (1974) 1345-1347.
 - 17) G. Westheimer and J. J. Tanzman: "Qualitative depth localization with diplopic images," *J. Opt. Soc. Am.*, **46** (1956) 116-117.
 - 18) A. Arditi: "Binocular vision," *Handbook of Perception and Human Performance, Vol. 1, Sensory Process and Perception*, eds. K. R. Boff, L. Kaufman and J. P. Thomas (A John Wiley and Sons, New York, 1986) pp. 23.1-23.40.
 - 19) L. Stark, R. V. Kenyon, V. V. Krishman and K. J. Ciuffreda: "Disparity vergence: a proposed name for a dominant component of binocular vergence eye movements," *Am. J. Optom. Physiol. Opt.*, **57** (1980) 606-609.
 - 20) 中溝幸夫, 近藤倫明, 下野孝一, 渋谷幸一: "網膜像差パージンズとステレオアノマリーの眼球運動", *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. 145-166.
 - 21) 下野孝一, 近藤倫明, 渋谷幸一, 中溝幸夫: "両眼網膜視差にもとづく奥行弁別判断と輻輳反応", *心理学研究*, **53** (1982) 136-143.
 - 22) D. E. Mitchell: "Properties of stimuli eliciting vergence eye movements and stereopsis," *Vision Res.*, **10** (1970) 145-162.
 - 23) G. Westheimer and D. E. Mitchell: "The sensory stimulus for disjunctive eye movements," *Vision Res.*, **9** (1969) 749-755.
 - 24) L. A. Riggs and E. W. Niehl: "Eye movements recorded during convergence and divergence," *J. Opt. Soc. Am.*, **50** (1960) 913-920.
 - 25) G. J. St.-Cyr and D. H. Fender: "The interplay of drifts and flicks in binocular vision," *Vision Res.*, **9** (1969) 245-265.
 - 26) G. Westheimer and S. P. McKee: "Stereoscopic acuity for moving retinal images," *J. Opt. Soc. Am.*, **68** (1978) 450-455.
 - 27) J. M. Foley: "Successive stereo and vernier position discrimination as a function of dark interval duration," *Vision Res.*, **16** (1976) 1269-1273.
 - 28) G. Westheimer: "Cooperative neural processes involved in stereoscopic acuity," *Exp. Brain Res.*, **36** (1979) 585-597.
 - 29) J. T. Enright: "Exploring the third dimension with eye movements: better than stereopsis," *Vision Res.*, **31** (1991) 1549-1562.
 - 30) M. T. Hyson, B. Julesz and D. H. Fender: "Eye movements and neural remapping during fusion of misaligned random-dot stereograms," *J. Opt. Soc. Am.*, **73** (1983) 1665-1673.
 - 31) W. Richards: "Stereopsis with and without monocular contour," *Vision Res.*, **17** (1977) 967-969.
 - 32) A. Kidd, J. Frisby and J. Mayhew: "Texture contours can facilitate stereopsis by initiating vergence eye movements," *Nature*, **280** (1979) 829-832.
 - 33) J. Frisby and J. Mayhew: "The role of spacial frequency tuned channels in vergence control," *Vision Res.*, **20** (1980) 727-732.
 - 34) J. M. Foley and W. Richards: "Effects of voluntary eye movements and convergence on the binocular appreciation of depth," *Percept. Psychophys.*, **11** (1972) 423-427.
 - 35) L. Kaufman: "On stereopsis with double images," *Psychologia*, **19** (1976) 224-233.
 - 36) R. P. O'Shea and R. Blake: "Depth without disparity in random-dot stereograms," *Percept. Psychophys.*, **42** (1987) 205-214.
 - 37) J. D. Krol and W. A. van de Grind: "Depth from dichoptic edges depends on vergence tuning," *Perception*, **12** (1983) 425-438.
 - 38) H. Ono and J. Comerford: "Stereoscopic depth constancy," *Stability and Constancy in Visual Perception: Mechanisms and Processes*, ed. W. Epstein (Wiley, New York, 1977) pp. 91-128.
 - 39) 下野孝一, 中溝幸夫, 土田明美: "両眼網膜像差にもとづく見えの奥行量と絶対距離", *福岡教育大学紀要*, **39** (1990) 265-271.
 - 40) J. M. Foley: "Primary distance perception," *Handbook of Sensory Physiology, Vol. 8, Perception*, eds. R. Held, H. Leibowitz and H. L. Teuber (Springer, Berlin, 1978) pp. 181-213.