

立体視における垂直視差の役割

金子 寛彦

ATR人間情報通信研究所

〒619-02 京都府相楽郡精華町光台 2-2

1. はじめに

近年、垂直視差が両眼立体視に寄与していることが明らかになってきた。垂直視差処理過程において、重要であり興味を引く点は、1) 垂直視差はある特定のパターンで大視野に広がっている場合に限り奥行き知覚に寄与すること、2) 垂直視差とそれから知覚される奥行きとの関係は、水平視差の場合のように視差と実際の対象物との幾何学的な関係とは対応が取れないことである。ここでは、立体視に寄与することがわかっている三種の垂直視差パターン—垂直大きさ視差 (vertical-size disparity)、垂直大きさ視差勾配 (the gradient of vertical-size disparity)、垂直剪断視差 (vertical-shear disparity)—それぞれに関して、それらの研究の経緯とともに、時空間的特性、奥行き知覚を

生み出す意味について述べたいと思う。

2. 垂直大きさ視差 (vertical-size disparity)

2.1 大きさ視差

大きさ視差とは、左右眼に呈示される二枚の画像の一方が、もう一方に対して、水平方向、垂直方向、あるいは全体的に圧縮されている場合にその刺激が持つ視差のパターンである。図1に、(a) 水平および(b) 垂直大きさ視差パターンを示す。水平大きさ視差は、鉛直軸の回りに傾いている実際の平面によって作り出される。水平大きさ視差と面の傾きの幾何学的な関係は以下に示すとおりである。

$$\tan(\theta) = 2D(R-1)/(R+1)$$

ここで、 θ は面の傾きの角度、 D は観察距離、 R は左右像の水平方向大きさの比 (水平大きさ

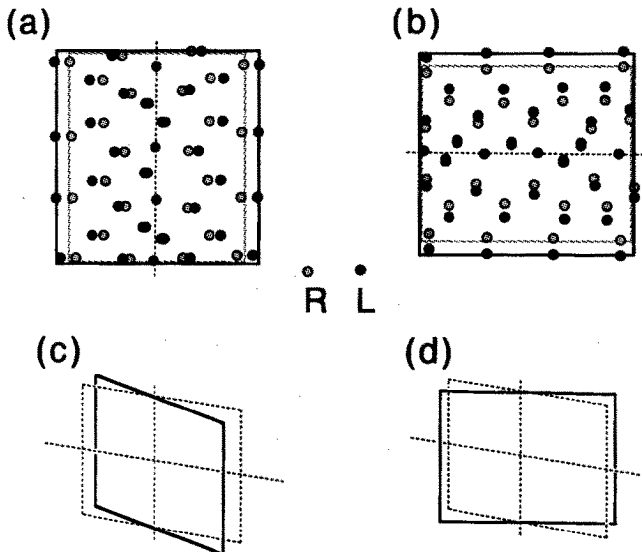


図1 (a) 水平大きさ視差パターン、(b) 垂直大きさ視差パターン、(c) 水平大きさ視差パターン(a)から得られる面の傾きの知覚、(d) 垂直大きさ視差パターン(b)から得られる面の傾きの知覚。

視差), I は両眼間の距離である。一方, 一樣な垂直大きさ視差は, まっすぐ前方にある実際の平面によっては作り出せない。

2.2 知覚現象

水平大きさ視差を持つ刺激を観察した場合, 被験者は鉛直軸回りに傾いた面を知覚する。例えば左眼像が右眼像よりも大きい場合, 左端が遠く右端が近い面を知覚する (図 1(a)(c))。この現象は, 両眼視差と実際の対象物との幾何学的な関係から予想される。

垂直大きさ視差を持つ刺激を観察した場合も, 被験者は鉛直軸回りに傾いた面を知覚する。この場合, 左眼像が右眼像よりも大きければ, 水平大きさ視差の場合とは逆方向, すなわち右端が遠く左端が近い面を知覚する (図 1(b)(d))。これは, 実際の対象物と両眼視差との間の幾何学的な関係とは対応していない。この現象を初めて報告したのは Lippincott¹⁾ であり, 初めて定量的に研究したのは Ogle^{2,3)} である。Ogle は, 水平大きさ視差の場合は左右像の大きさの違いが 10% になるまで面の傾きがリニアに増加するのに対し, 垂直大きさ視差の場合は, 視差量が小さいときは面の傾きは水平大きさ視差によるものと同じ割合で増加するが, 左右像の大きさの違いが 3% を越えると面の傾きが飽和する事を報告した。Gillam, Chambers and Lawergren⁴⁾ は, Ogle の研究と定性的には同様の結果を得たが, 水平大きさ視差による傾きが視距離に依存するのに対し, 垂直大きさ視差による傾きは視差量が同じであれば視距離によらず一定であることを報告した。しかし, 垂直大きさ視差によって面の傾きが生じることそれ自体を否定する報告もあった^{5,6)}。Kaneko and Howard⁷⁾ は, 垂直大きさ視差によって生み出される面の傾きは, 刺激サイズが小さくなることと視差を持たない周辺刺激が存在することによって減少することを示し, 過去の研究結果の矛盾が刺激の空間的形狀の違いによることを明らかにした。垂直大きさ視差は面の傾きの知覚には寄与しないと結論した Arditi ら⁸⁾ は視角約 3 deg の刺激を, 同様の結論を導いた

Westheimer⁹⁾ も視角 40 min の刺激を使っており, 一方, 垂直大きさ視差によって面の傾きが生じると結論した Ogle^{2,3)} と Gillam⁴⁾ の刺激は垂直大きさ視差が視野全体に広がっていた。また, 視差がゼロのドットと垂直大きさ視差を持つドットが混ざった刺激を観察した場合 (図 2), 一枚の傾いた面しか見えないことが報告されている^{7,9)}。この事実は, 垂直視差処理が個々の点でなされその点の奥行き位置を決めているのではなく, 視野の広い範囲から垂直視差の値が抽出され広い範囲の奥行き知覚に影響していることを示している。一方, 垂直視差処理が視野全体ではなされていないことも報告されている。Rogers and Koenderink¹⁰⁾ と Kaneko and Howard⁷⁾ は視野の左右または, 上下に反対の向きを持つ垂直大きさ視差を与え, それぞれの部分にその場所の視差に対応した面の傾きが観察されることを報告した。そこで Kaneko and Howard¹¹⁾ は, 垂直大きさ視差が水平方向にサイン波状に変化する刺激を用い, 視差の変化の周波数が 0.04 cycles/deg より粗い場合に傾きの知覚が生み出されることを見いだした。ちなみに水平視差の場合は, 視差の空間的変化が 3 cycles/degree の細かさまで奥行き知覚の変化が生み出されることが知られている¹²⁻¹⁵⁾。

以上の結果をまとめると, 垂直大きさ視差の場合は, 個々の点の視差がその奥行き位置を決めているのではなく, 広い範囲から抽出された大きさ視差が広い範囲の奥行き知覚に寄与しており, その統合範囲は, 垂直大きさ視差の空間

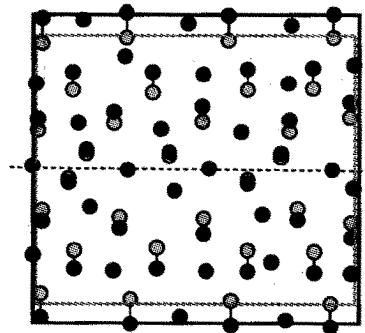


図2 垂直大きさ視差とゼロ視差を持つドットから成る刺激

周波数特性の結果から、20度前後であると考えられる。

2.3 現象の解釈

これまで、垂直大きさ視差による面の傾きの知覚を説明するための理論がいくつか提出されている。Arditiらは、視野の中心で交わる二本の線分からなる刺激を用いて、対応点の変化と水平視差のみによってこの現象を説明した^{5,16)}。

しかし、Gillam and Lawergren¹⁷⁾と Mayhew and Frisby¹⁸⁾は、その説明がすべての刺激には当てはまらないことを示し、垂直視差それ自身が奥行き知覚を生み出しているとして説明した。

Weinshall¹⁹⁾および Liu, Stevenson and Schor²⁰⁾は、水平視差と垂直視差を区別せずに、左右像を二次元極座標表示したときの方位角度差 (polar angle disparity) を導入し、面の傾きの知覚はその量によるとした。この理論は、水平大きさ視差のみならず垂直大きさ視差による面の傾きの知覚を一応説明できるが、個々の点に関しての視差処理を仮定しているため垂直大きさ視差のグローバルな空間的特性は説明できない。Koenderink and van Doorn²¹⁾は、両眼視による面の傾きの知覚が刺激視差中のディフォーメーション成分 (ある軸方向の拡大とそれに伴うその軸と垂直方向への同じ割合での縮小に対応する) に基づくとした。この理論も水平視差と垂直視差を区別していないため、それらの処理過程の性質の違いは予測ができない。

Mayhew and Longuet-Higgins²²⁾および Gillam and Lawergren¹⁷⁾は、垂直大きさ視差が絶対距離と視方向の関数になることを幾何学的な関係により示し、それによって生じる面の傾きは対象が異なる視方向にあると視覚系が解釈した結果であるとした。しかし、垂直大きさ視差を持つ対象が正面に呈示された場合に、それが異なった視方向にあるとは知覚されない。最後に、Kaneko and Howard⁷⁾は、いくつかの実験的な事実から、視角約20度の範囲から抽出される垂直大きさ視差と個々の点から抽出される水平視差との差が垂直軸回りの面の傾きを決定し

ているとした。この説は現在のところ全ての実験的事実を説明できる。面の傾きの知覚のために、視野の広い範囲から抽出される垂直大きさ視差を用いることには、いくつかの利点がある。第一に左右眼の像の大きさの違いを補正のために役立つ。網膜像の大きさは、左右眼の調節状態の不一致²³⁾、眼球の形状の不均一等の理由で変化してしまうことが考えられる。もし、奥行き感が網膜上の水平視差のみに依存しているとすると、眼球の状態に起因するわずかな視差も知覚に反映してしまう。そのため広い範囲から抽出される垂直視差によって左右像の大きさの違いを補正した後、水平視差を用いて外界の空間知覚を得るのである。水平大きさ視差は、対象物の奥行きと像の大きさの違いの両方に影響を受けるため、像の大きさの補正のために用いることはできない。第二の利点は、ある程度広い範囲から抽出する垂直大きさ視差によって、対象面の視距離と視方向による水平視差への影響を補正できる。同じ傾きを持った面でも、その視距離と視方向が異なると水平視差の値は異なるが、絶対距離と視方向の指標として垂直大きさ視差を用いることにより^{17,22)}、物理的に一定の面の傾きを常に一定に知覚させることが可能である。

3. 垂直大きさ視差勾配 (the gradient of vertical-size disparity)

ここでいう大きさ視差勾配は、いろいろな距離に呈示された額面平行面が作り出す大きさ視差の分布パターンを指す。この視差パターンは前節で述べた垂直大きさ視差の一条件とも考えられるが、これまでの研究の経緯から一応一様な垂直大きさ視差とは区別されており、絶対距離知覚に影響を及ぼす特別な場合である可能性があるため本節で個別に扱う。

3.1 大きさ視差勾配

大きさ視差勾配は額面平行面が作り出す水平および垂直大きさ視差の分布パターンであるため、実際の対象との幾何学的な対応関係があ

り、それらは以下の式で示される^{24,25)}。

$$R_h = (D^2 - D I \sin(e) + I^2/4) / (D^2 + D I \sin(e) + I^2/4)$$

$$R_v = ((D^2 - D I \sin(e) + I^2/4) / (D^2 + D I \sin(e) + I^2/4))^{1/2}$$

ここで、 R_h は左右像の水平方向の大きさ比、 R_v は左右像の垂直方向の大きさ比、 e は偏心度、 D は観察距離、 I は両眼間の距離である。図3に、(a) 遠距離と (b) 近距離に呈示された額面平行面による視差パターンを示す。視距離が近く画角の大きいディスプレイにおいて両眼視差を考える場合は、刺激が常にこのパターンの視差勾配を持っていることを意識しなければならない²⁶⁾。

3.2 知覚現象

Rogers and Bradshaw²⁵⁾は、画角 80×70 度のディスプレイを用いた実験により、画面上に広がる垂直大きさ視差勾配が視野の中心に呈示された対象刺激の大きさ知覚と水平視差による奥行き量の量に影響することを見いだした。そしてこれは、視差勾配によって絶対距離知覚が変化し、その結果大きさ知覚と奥行き知覚が補正されたためであると結論した。さらに彼らは、垂直大きさ視差勾配が絶対距離の応答それ自体にも影響を与えることを報告した。しかし、Cumming, Johnston and Parker²⁷⁾と Sobel and Collett²⁸⁾は、画角 30 度以下のディスプレイを用いた実験により、垂直大きさ視差勾配の絶対距

離知覚への影響を否定している。Rogers ら^{25,29)}は、垂直大きさ視差勾配の絶対距離知覚への効果と画角との関係をシステムティックに調べることにより、Cumming らと Sobel らの結果と Rogers らの結果の矛盾が刺激の画角によることを見いだした。

3.3 現象の解釈

2.3 節で述べたように、Mayhew and Longuet-Higgins²²⁾ および Gillam and Lawergren¹⁷⁾は、刺激中の垂直大きさ視差が、絶対距離と視方向の関数になることを幾何学的な関係により示した。このため、垂直大きさ視差勾配が絶対距離知覚それ自体に寄与することは可能性があり納得ができる。しかし現時点では、額面平行面を使った Rogers らの実験結果しかないので、垂直大きさ視差勾配と絶対距離知覚との関係を理解するためにはさらなる実験的データが必要であろう。また、大きさ知覚や奥行き量の補正に関しては、Rogers らの言うように必ずしも絶対距離知覚を仮定する必要はなく、刺激視差から直接的に決まっている可能性もある。ここで考えた垂直大きさ視差分布が、絶対距離知覚に影響を及ぼす特別な場合なのか、前節で述べた垂直大きさ視差処理過程の一条件にすぎないのか、今後の研究により明らかになるだろう。

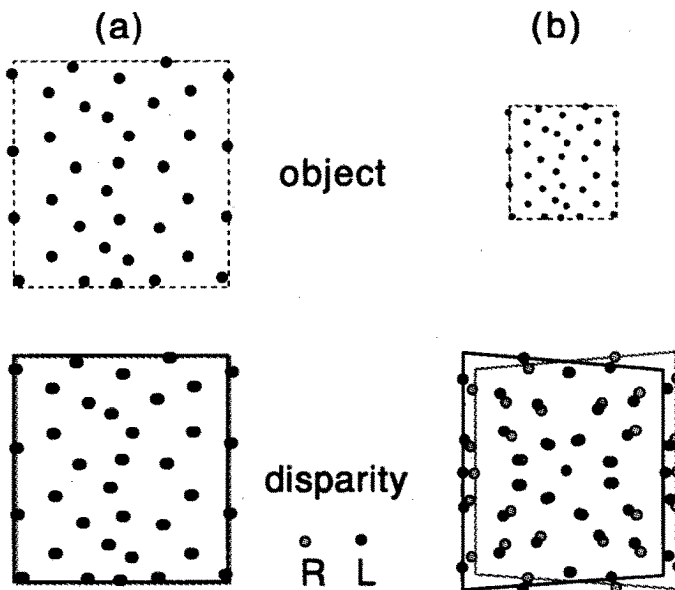


図3 (a) 遠距離にある額面平行面とそれを観察したときの視差分布 (視差はゼロ)、(b) 近距離にある額面平行面とそれを観察したときの視差分布 (水平および垂直大きさ視差勾配を持つ)。

4. 垂直剪断視差 (vertical-shear disparity)

4.1 剪断視差

剪断視差とは、左右像が、ある軸に沿ってその軸と垂直方向に徐々にずれている視差パターンである。例えば、垂直軸にそって水平視差が徐々に変わる視差のパターンを水平剪断視差、水平軸にそって垂直視差が徐々に変わる視差のパターンを垂直剪断視差と呼ぶ。図4に、(a) 水平および (b) 垂直剪断視差パターンを示す。水平剪断視差は、水平軸の回りに傾いている実際の平面によって作り出される。水平剪断視差と面の傾きの理論的な関係は以下に示すとおりである。

$$\tan(\theta) = D\varphi/I$$

ここで、 θ は面の傾きの角度、 D は観察距離、 φ は画面上の方位視差(orientation disparity)で表した水平剪断視差(図4参照)、 I は両眼間の距離である。一方、垂直剪断視差は、回旋眼球運動が生じない限り、実際の平面によっては作り出せない。

4.2 知覚現象

水平剪断視差を持つ刺激を観察した場合、被験者は水平軸回りに傾いた面を知覚する。例えば方位視差が正、すなわち右眼像が左眼像に対して、刺激の中央に関して時計回りの視差を持つ場合は、上端が遠く下端が近い面を知覚する(図4(a)(c))。これは、両眼視差と実際の対象物との幾何学的な関係から予想されるとおり

である。垂直剪断視差を持つ刺激を観察した場合にも、被験者は水平軸回りに傾いた面を知覚する。この場合、例えば方位視差が正の場合は、上端が近く下端が遠い面を知覚する(図4(b)(d))。この現象は、実際の対象物と両眼視差との間の幾何学的な関係とは対応していない。Howard and Zacher³⁰⁾ および Howard, Ohmi and Sun³¹⁾ は、左右眼に呈示する刺激を互いに反対方向に回転させたとき、刺激平面が常に垂直に知覚されることを発見した。その結果から、水平軸回りの面の傾きの知覚は、刺激の水平剪断視差成分だけによって決まっているのではなく、回転視差が持つもう一つの成分である垂直剪断視差にも基づいていることを示唆した。そして、Howard and Kaneko³²⁾ は視角 60 deg のディスプレイを用いて回転視差、水平剪断視差、垂直剪断視差と面の傾きの関係をシステムティックに調べ、垂直剪断視差によって水平軸回りの面の傾きの知覚が生み出されることを見いだした。水平剪断視差の場合は方位視差が 12 deg まで面の傾き量は増加し続けたのに対し、垂直剪断視差の場合は方位視差 5 deg 程度までは水平剪断視差と同じ割合で傾き量が増加したがそれ以後は減少した。また、Gillam and Rogers³³⁾ は、視角 10 deg の刺激を用いて、垂直剪断視差が面の傾きを生み出さないことを報告した。そのため、Howard ら³²⁾ および Ee and Erkelens³⁴⁾ は画角の大きさと視差がゼロに固定

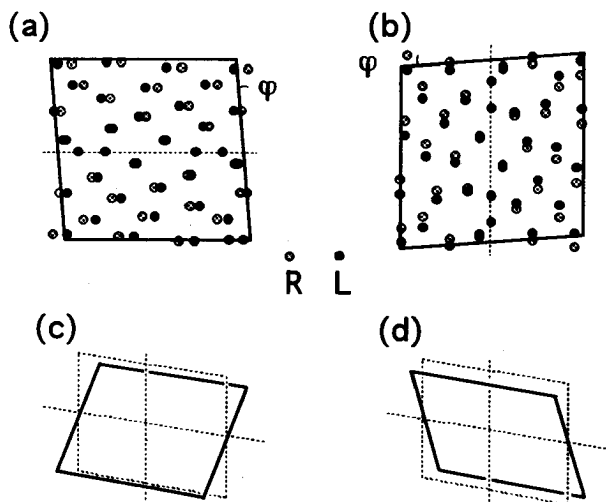


図4 (a) 水平剪断視差パターン、(b) 垂直剪断視差パターン、(c) 水平剪断視差パターン(a)から得られる面の傾きの知覚、(d)垂直剪断視差パターン(b)から得られる面の傾きの知覚。

されたリファレンス刺激の影響を調べ、垂直剪断視差が視野の広い範囲から抽出され面の傾きの知覚に寄与することを見いだした。さらに、Kaneko and Howard³⁹ は、視野の左右または周辺と中心に異なる値の垂直剪断視差を持つ刺激を用い、垂直剪断視差が全視野から抽出されること、また視野の周辺部にある垂直視差が面の傾きの知覚を決定するのにより強い影響力を持つことを報告した。

以上の結果をまとめると、垂直剪断視差は、垂直大きさ視差の場合と同様に、視野の広い範囲から抽出されて広い範囲の奥行き知覚に寄与しているが、その統合範囲は、垂直大きさ視差の場合とは異なり、視野全体であると考えられる。

4.3 現象の解釈

垂直剪断視差によって生み出される面の傾き

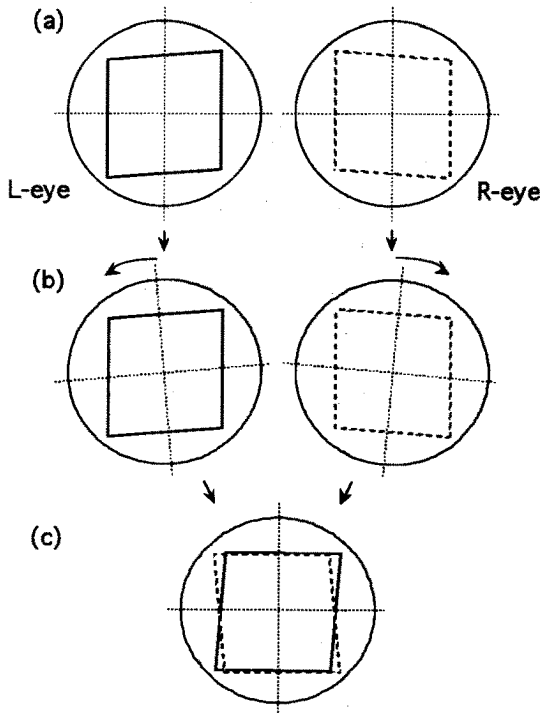


図5 垂直剪断視差と回旋眼球運動、水平剪断視差との関係。(a) 垂直剪断視差を持つ刺激が、水平軸が一致している左右の眼球に呈示され、(b) その視差を打ち消すように回旋眼球運動が起こると、(c) 網膜座標上での垂直剪断視差は水平剪断視差に変換される。

の知覚を説明する理論がいくつかある。2.3 節で述べた、Koenderink and van Doorn²¹⁾ のディフォーメーション理論は、水平および垂直剪断視差による面の傾き知覚を予測できるが、この理論は水平視差と垂直視差を区別していないため、大きさ視差の場合と同様に、水平および垂直剪断視差処理過程の空間的性質の違いを説明できない。つぎに考えられるのは回旋眼球運動と水平視差による説明である。垂直剪断視差による面の傾きは、垂直剪断視差がその視差を打ち消すような回旋眼球運動を引き起こし、それと同時に生じた水平剪断視差によって生み出されるという説明である。この回旋眼球運動と水平および垂直視差の関係は図5に示される。

Cagenello and Rogers³⁶⁾ と Swash, Rogers, Bradshaw and Cagenello³⁷⁾ は、垂直剪断視差による面の傾き知覚が刺激の呈示時間に影響を受けること、そして知覚的傾きの増加と回旋眼球運動の変化の時間特性が似ていることから、この回旋眼球運動説を支持した。しかし、Howard and Kaneko³⁸⁾ は、回旋眼球運動と水平視差だけでは、垂直剪断視差による知覚的傾きの量を説明するのは不十分であることを示した。回旋眼球運動は、ほとんどの被験者で非対称—内側(右眼が左側に、左眼が右側に回転する)に大きく、外側(右眼が右側に、左眼が左側に回転する)に小さい—であるにも関わらず、知覚される面の傾きにはこのような非対称は見られない。また、Howardら^{30,31)} は、回転視差を持つ刺激を観察した場合、視差角に対する回旋眼球運動の割合は1にはならないことを報告している。その後さらに、Bridge, Rogers and Bradshaw³⁸⁾ と Kaneko and Howard³⁹⁾ は、回旋眼球運動が起こるためには不十分な短時間の刺激呈示条件でも、垂直剪断視差が面の傾きを生み出すことを示した。しかし、垂直剪断視差が回旋眼球運動を生み出すのは確かであり、それが面の傾きの知覚とは無関係であるとなると、その存在理由が何であるか疑問となる。今のところ、その明確な説明はない。垂直剪断視差によって生み出される面の傾きの知覚を説明する

第三の説は, Howard and Kaneko³²⁾と Kaneko and Howard³⁵⁾によるものである。それは, 全視野から抽出される垂直剪断視差と個々の点から抽出される水平視差との差が水平軸回りの面の傾きを決定しているというものである。全視野から抽出される垂直剪断視差を用いて水平視差を校正するのは, 回旋眼球運動による眼球の軸のずれによる傾きの知覚への影響をなくす働きがある。もし, 奥行き感が網膜上の水平視差のみに依存しているとする, 眼球のわずかな回旋方向のずれによって面の傾きに変化が生じてしまう。そのため回旋方向のずれの指標となる垂直剪断視差によって左右像の位置を補正した後の水平視差, 言い換えると水平剪断視差と垂直剪断視差の差を用いて水平軸回りの面の傾きの知覚を得るのである。この説は現在のところ全ての実験的事実と矛盾がない。

5. 終わりに

ここ数年, 垂直視差に関する研究が目につくようになってきたが, 実はその歴史は古い。Ogle^{2,3)}が垂直視差に関する研究を始めたのは1930年代であるし, Nikara, Bishop and Pettigrew³⁹⁾と Barlow, Blakemore and Pettigrew⁴⁰⁾は1960年代に水平視差のみならず垂直視差に選択的に応答する細胞をネコの大脳皮質17野に発見している。それらの研究があるにもかかわらず, 近年になってようやく垂直視差処理過程の性質がわかり, その役割が認識され始めたのは, 広い視野中の視差をコントロールできる装置が手にはいるようになったためであろう。繰り返し述べているように, 垂直視差は特定のパターンが大視野に広がっている場合に限り奥行き知覚に寄与しているため, 画角の小さい刺激ではその性質は調べられない。

これまで, ステレオ画像中のある点の知覚的空間位置は, その点の水平視差から一意的に決まると一般に信じられてきたように思われる。これは, 眼球運動を考慮しなければ, 実際の対象の物理的位置から両眼視差の値が一意的に決まるからであろう。しかし, 本研究の結果

からも明らかのように, ある点の知覚的空間位置はその点の視差だけから決まるわけではない。今後の両眼立体視の研究では, 視野の広い範囲に分布する水平および垂直視差のパターンと知覚の関係を明らかにすることが重要である。

文 献

- 1) J. A. Lippincott: On the binocular metamorphopsia produced by correcting glasses. *AMA Archives of Ophthalmology*, 18, 18-30, 1889.
- 2) K. N. Ogle: Induced size effect. I: A new phenomenon in binocular vision associated with the relative sizes of the images in the two eyes. *AMA Archives of Ophthalmology*, 20, 604-623, 1938.
- 3) K. N. Ogle: Researches in binocular vision. Hafner, New York, 1964.
- 4) B. Gillam, D. Chambers and B. Lawergren: The role of vertical disparity in the scaling of stereoscopic depth perception: An empirical and theoretical study. *Perception and Psychophysics*, 44, 477-488, 1988.
- 5) A. Arditi, L. Kaufman and J. A. Movshon: A simple explanation of the induced size effect. *Vision Research*, 21, 755-764, 1981.
- 6) G. Westheimer: Vertical disparity detection: Is there an induced size effect? *Investigative Ophthalmology*, 17, 545-551, 1978.
- 7) H. Kaneko and I. P. Howard: Relative size disparities and the perception of surface slant. *Vision Research*, 36, 1919-1930, 1996.
- 8) S. P. Stenton, J. P. Frisby and J. E. W. Mayhew: Vertical disparity pooling and the induced effect. *Nature*, 309, 622-623, 1984.
- 9) W. Adams, J. P. Frisby, D. Buckley, J. Garding, S. D. Hippisley-Cox and J. Porrill: Pooling of vertical disparities by the human visual system. *Perception*, 25, 165-176, 1996.
- 10) B. J. Rogers and J. J. Koenderink: Monocular aniseikonia: A motion parallax analogue of the disparity-induced effect. *Nature*, 322, 62-63, 1986.
- 11) H. Kaneko and I. P. Howard: Spatial organization of vertical disparity pooling. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 36, S230, 1995.
- 12) C. W. Tyler: Stereoscopic vision: cortical limitations and a disparity scaling effect. *Science*, 181, 276-287,

- 1973.
- 13) C. W. Tyler: Depth perception in disparity gratings. *Nature*, 251, 140-142, 1974.
 - 14) C. W. Tyler: Spatial organization of binocular disparity sensitivity. *Vision Research*, 15, 583-590, 1975.
 - 15) B. J. Rogers and M. Graham: Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception. *Vision Research*, 22, 261-270, 1982.
 - 16) A. Arditi: The dependence of the induced effect on orientation and a hypothesis concerning disparity computation in general. *Vision Research*, 22, 247-256, 1982.
 - 17) B. Gillam and B. Lawergren: The induced effect, vertical disparity and stereoscopic theory. *Perception and Psychophysics*, 34, 121-130, 1983.
 - 18) J. E. W. Mayhew and J. P. Frisby: The induced effect: Arguments against the theory of Arditi, Kaufman and Movshon. *Vision Research*, 22, 1225-1228, 1982.
 - 19) D. Weinshall: Qualitative depth from stereo, with applications. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 49, 222-241, 1990.
 - 20) L. Liu, S. B. Stevenson and C. M. Schor: A polar coordinate system for describing binocular disparity. *Vision Research*, 34, 1205-1222, 1994.
 - 21) J. J. Koenderink and A. J. van Doorn: Geometry of binocular vision and a model for stereopsis. *Biological Cybernetics*, 21, 29-35, 1976.
 - 22) J. E. W. Mayhew and H. C. Longuet-Higgins: A computational model of binocular depth perception. *Nature*, 297, 376-378, 1982.
 - 23) L. Marran and C. M. Schor: Retinal and extraretinal cues to nonconjugate accommodation. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 35, 1736, 1994.
 - 24) B. J. Rogers and M. F. Bradshaw: Vertical disparity, differential perspective and binocular stereopsis. *Nature*, 361, 253-255, 1993.
 - 25) B. J. Rogers and M. F. Bradshaw: Disparity scaling and the perception of frontoparallel surfaces. *Perception*, 24, 155-179, 1995.
 - 26) I. P. Howard and B. J. Rogers: Binocular vision and stereopsis. Oxford University Press, New York, 1995.
 - 27) B. G. Cumming, E. B. Johnston and A. J. Parker: Vertical disparities and perception of three-dimensional shape. *Nature*, 349, 411-413, 1991.
 - 28) E. C. Sobel and T. S. Collett: Does vertical disparity scale the perception of stereoscopic depth? *Proceedings of the Royal Society of London B*, 244, 87-90, 1991.
 - 29) M. F. Bradshaw and B. J. Rogers: The effect of display size on disparity scaling from differential perspective and vergence cues. *Vision Research*, 36, 1255-1264, 1996.
 - 30) I. P. Howard and J. E. Zacher: Human cyclovergence as function of stimulus frequency and amplitude. *Experimental Brain Research*, 85, 445-450, 1991.
 - 31) I. P. Howard, M. Ohmi and L. Sun: Cyclovergence: a comparison of objective and psychophysical measurements. *Experimental Brain Research*, 97, 349-355, 1993.
 - 32) I. P. Howard and H. Kaneko: Relative shear disparities and the perception of surface inclination. *Vision Research*, 34, 2505-2517, 1994.
 - 33) B. Gillam and B. Rogers: Orientation disparity, deformation, and stereoscopic slant perception. *Perception*, 20, 441-446, 1991.
 - 34) R. van Ee and C. J. Erkelens: Binocular perception of slant about oblique axes relative to a visual frame of reference. *Perception*, 24, 299-314, 1995.
 - 35) H. Kaneko and I. P. Howard: Spatial properties of shear disparity processing. *Vision Research*, In press, 1996.
 - 36) R. Cagenello and B. J. Rogers: Orientation disparity, cyclotorsion, and the perception of surface slant. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 31 (Suppl), 97, 1990.
 - 37) S. Swash, B. J. Rogers, M. F. Bradshaw and R. B. Cagenello: The role of cyclovergence in the perceived slant of stereoscopic images related by vertical shear, rotation and deformation. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 36, 230, 1995.
 - 38) H. Bridge, B. J. Rogers and M. F. Bradshaw: Thresholds for detecting a change of inclination in stereoscopic surfaces as a function of temporal frequency. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 37, S285, 1996.
 - 39) T. Nikara, P. O. Bishop and J. D. Pettigrew: Analysis of retinal correspondence by studying receptive fields of binocular single units in cat striate cortex. *Experimental Brain Research*, 6, 353-372, 1968.
 - 40) H. B. Barlow, C. Blakemore and J. D. Pettigrew: The neural mechanisms of binocular depth discrimination. *Journal of Physiology*, 193, 327-342, 1967.