

垂直視差処理過程の性質と機能

金子寛彦

人間は2つの眼に映る像の違いから、外界の奥行き構造を認識できる。そして、その2つの眼が左右にずれていることから、2つの像の違いは主に水平方向であり、奥行き知覚に寄与しているのは、水平視差だけであると一般に考えられてきた。しかし、左右の網膜像が垂直視差をもつ場合が実際にある。そして、その垂直視差が確かに奥行き知覚に寄与することが近年明らかになってきた。また、垂直視差は眼球運動にも影響を与える。

本解説では、垂直視差を2つのパターン—垂直大きさ視差 (vertical-size disparity) と垂直変位視差 (vertical-translation disparity) に分け、まずそれらが生じる原因を述べ、次にそれら垂直視差パターンとそれに対する動眼的反応および奥行き知覚との関係に関して概観し、さらに垂直視差処理過程に関する理論を紹介する。

各項目に話を進める前に、両眼視差の定義をしておく。ここで両眼視差とは、左右の網膜座標上における、ある1つの対象の、像の位置の違いとする。これは絶対視差と呼ばれる定義である。また、左右網膜上の幾何学的な対応点 (視差がゼロとなる点) を基準に視差を定義する。本来は左右網膜上の生理学的な対応点を基準とするのが正しいと思われるが、現在のところ網膜全域にわたって対応点を示すデータは提出されていない。両眼の対応点、座標のとり方に関しては、ここでは詳しく述べないが、興味がある読者は Tyler¹⁾、Howard ら²⁾ 等の文献を参考にいただきたい。

1. 垂直大きさ視差 (vertical-size disparity)

1.1 垂直大きさ視差

図1(a)に示されるように、垂直大きさ視差とは、左右の網膜像の一方がもう一方に対して垂直方向に圧縮または拡大されている場合に生じる視差である。このため、ある1点では垂直大きさ視差は定義されず、垂直方位が異なる少なくとも2点が必要である。一定の垂直大きさ視差が、視野全体に分布している場合、これを一様な垂直大きさ視差 (図1(b)) と呼ぶ。また、垂直大きさ視差が視野中で変化する場合、これを垂直大きさ視差の勾配をもつ視差パターンと呼ぶ (図1(c))。垂直大きさ視差の量を表すときには、左右像の垂直大きさ比 (VSR: vertical size ratio) がしばしば用いられる。

1.2 垂直大きさ視差の原因

1.2.1 眼球の光学的要因

眼球水晶体の屈折力が1 diopter 変化すると、網膜像の大きさは約0.3%変化するといわれている³⁾。このため、左右眼の屈折力が異なる場合に、同じ対象の左右の網膜像の大きさは異なり、水平および垂直視差が生じる。このときの垂直視差パターンは一様な垂直大きさ視差である (図1(b))。実際に、左右眼の屈折力が異なる例はよくみられる。また、左右眼に異なるぼけをもつ刺激を呈示した場合に、左右眼の調節の違いが1 diopter 程度まで広がることが報告されている⁴⁾。

1.2.2 距離と方向

図2(a), (b) に、近距離にある額面平行面と遠距離にある額面平行面を固視した場合の、左右の網膜像パターンをそれぞれ示す。この図からわかるように、額面平行面は、呈示される距離によって固有な両眼視差の分布パターンを作り出す。距離が遠い場合は、水平視差、垂直視差ともにゼロに近くなるが、距離が近い場合は、方位によって水平

ATR 人間情報通信研究所 (〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台2-2)
E-mail: kaneko@hip.atr.co.jp

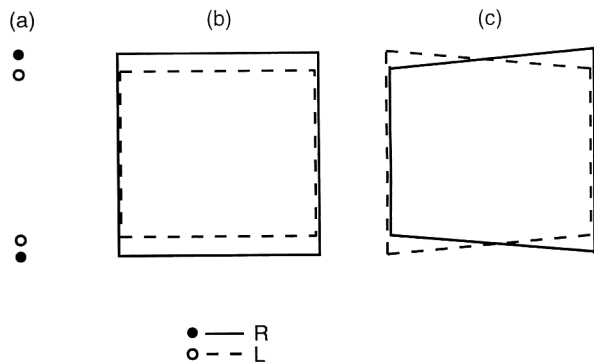


図1 垂直大きさ視差パターン。黒丸と実線は右眼像の位置，白丸と点線は左眼像の位置を示す。(a) 鉛直軸上の2点によって定義される垂直大きさ視差。(b) 一様な垂直大きさ視差。(c) 水平軸に沿って垂直大きさ視差勾配をもつパターン。

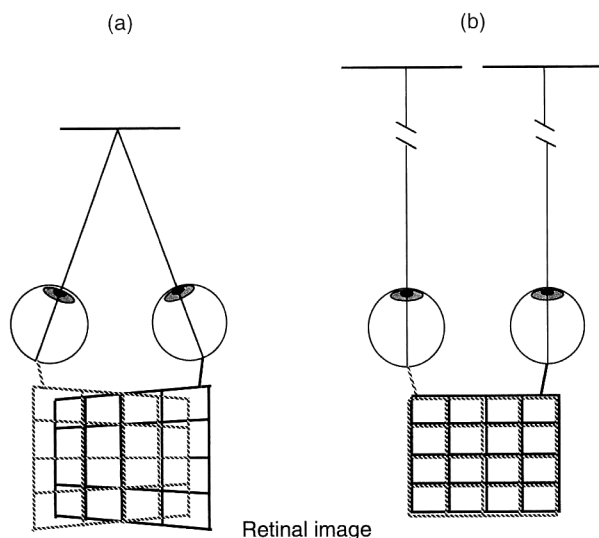


図2 (a) 近距離，(b) 遠距離にある額面平行面を観察した場合の左右眼網膜像パターンの概略図。

視差および垂直視差が異なる。額面平行面上のある垂直線分の生む水平視差は一定で，その値は水平軸に沿って変化する。また垂直視差に関しては，垂直大きさ視差が水平軸に沿って勾配をもつ。このように，方向によって垂直大きさ視差が変化するという事実は，視野の右側の対象は右目に近く左眼からは遠いため，右眼に張る視角が左眼に張る視角より大きくなる，と考えると直感的に理解できる³⁾。垂直視差と，距離，視方向のあいだの幾何学的な関係は，Mayhewら⁵⁾およびGillamら⁶⁾によって示されている。

1.3 垂直大きさ視差と動眼的反応

網膜上に垂直大きさ視差が生じた場合，それが上に述べた原因から生じたと解釈され，それを打ち消すように動眼的反応が生じる可能性がある。例えば，一様な垂直大きさ視差が生じた場合，調節の変化などによって機械的に左右の像の大きさが等しくなるように補正する機構が存在する

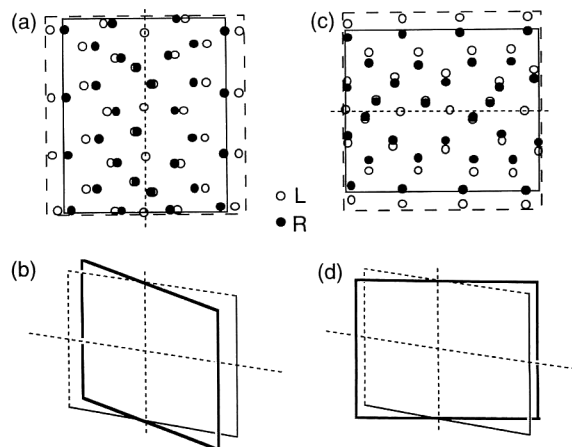


図3 大きさ視差を生む刺激と知覚。黒丸は右眼像，白丸は左眼像の位置をそれぞれ示す。(a) 水平大きさ視差を生むパターン。(b) 水平大きさ視差パターンを観察したときの知覚。(c) 垂直大きさ視差を生むパターン。(d) 垂直大きさ視差パターンを観察したときの知覚。

可能性がある。また，ある距離に対応した垂直大きさ視差勾配が生じた場合，その距離に応じた調節，輻輳反応が生じるかもしれない。しかし，これらの可能性は実験的には確かめられていない。ただ，一様な垂直大きさ視差を生むような刺激を観察した場合に，不快感があることが指摘されており⁷⁾，これが何らかの動眼的反応と関係しているのかもしれない。

1.4 垂直大きさ視差と知覚

1.4.1 垂直大きさ視差と面の傾き，面の形状

一様な水平大きさ視差を生む刺激を観察した場合，鉛直軸回りに傾いた面が知覚される。例えば，左眼像が右眼像よりも大きい場合(図3(a))，左端が遠く右端が近い面が知覚される(図3(b))。一様な垂直大きさ視差を生む刺激を観察した場合も，刺激サイズが大きければ，鉛直軸回りに傾いた面が知覚される。この場合，左眼像が右眼像よりも大きければ(図3(c))，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が知覚される(図3(d))。この現象は，Ogleによってthe induced effectと呼ばれ，定量的研究がなされた^{3,8)}。前節で述べたように，一様な垂直大きさ視差を生む刺激を観察した場合，動眼的反応によって，刺激呈示直後の垂直大きさ視差が減少する可能性はあるが，完全に打ち消されるとは考えにくい。それは，機械的に補正できる垂直大きさ視差の範囲は非常に小さい(VSR<1%)と予想されるからである。このことから，垂直大きさ視差自身が面の傾き知覚を生み出すと考えられる。

知覚応答における垂直大きさ視差処理の特性は，水平大きさ視差処理の特性と大きく異なる。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が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%を超えると面の傾き量が飽和する⁹⁾。また、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距離によらず一定である⁷⁾。そして、水平視差は局所的に処理されるのに対し、垂直大きさ視差は広域的に処理される。例えば、一様な水平大きさ視差をもつ点の一群と、視差がゼロの点の一群が混ざった刺激を観察した場合、それぞれの子群からなる2枚の面が知覚されるのに対し、一様な垂直大きさ視差をもつ点の一群と視差ゼロの点の一群が混ざった刺激からは、中間の傾きをもつ1枚の面が知覚される^{9,10)}。また、垂直大きさ視差による面の傾きは、刺激サイズが小さくなること、そして視差をもたない周辺刺激が存在することによって減少する⁹⁾。しかし、垂直大きさ視差処理が常に視野全体的ではないことも報告されている。視野の左右、または上下に反対の向きをもつ垂直大きさ視差を与えた場合、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^{9,11)}。さらに、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た実験によって、垂直大きさ視差の変化の周波数が0.04 c/degより粗い場合に傾きの知覚が生み出されることがわかった¹²⁾。一方、水平視差の場合は、視差の空間的变化が3 c/deg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¹³⁻¹⁶⁾。

1.4.2 垂直大きさ視差と距離知覚、距離スケールリング

1.2.2節で述べたように、ある平面の垂直大きさ視差勾配は、呈示される距離によって固有である。そこで、垂直大きさ視差勾配が、距離知覚、および奥行き知覚と大きさ知覚の距離スケールリング効果に与える影響を調べた実験が試みられた。

垂直大きさ視差勾配の距離スケールリング効果は、面角30°以下のディスプレイを用いた研究では、観察されなかったが^{17,18)}、面角約70°のディスプレイを用いた実験により、1枚の平面上の垂直大きさ視差勾配が、その面の中心に呈示された対象刺激の大きさと奥行きの知覚に影響を与えることが確認された¹⁹⁾。

大きさ視差勾配が絶対距離知覚に影響することは、水平、垂直大きさ視差勾配を併せもつ刺激を用いた実験により確認された²⁰⁾。しかしその後、水平および垂直大きさ視差を独立にコントロールした実験により、大きさ視差勾配が絶対距離知覚に与える影響の大部分は、その水平視差成分と視差の同時対比効果によって説明できることが報告さ

れた²¹⁾。垂直大きさ視差勾配が絶対距離知覚に与える影響に関しては、報告された研究も少なく、まだ明らかであるとはいえない。

1.5 垂直大きさ視差の理論

これまで、垂直大きさ視差を生む刺激を観察したと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。それらは、大きく2つのカテゴリーに分類できる。第1は、垂直大きさ視差の分布から距離、方向といった値が計算され、それらによって水平視差による面の傾き、形状がスケールリングされるという考えである。Mayhewら⁹⁾、Gårdingら²²⁾およびGillamら⁶⁾は、一様な垂直大きさ視差によって生じる面の傾きは、対象が正面にあるにもかかわらず、異なる視方向にあると視覚系が解釈して水平視差の補正をした結果であるとした。この考えは、垂直大きさ視差と距離、視方向の間には幾何学的な関係が成り立つため、理論的に妥当であり、垂直大きさ視差勾配の絶対距離知覚、距離スケールリングに与える影響を説明することが容易である。また、垂直大きさ視差が広域的に処理されるという性質にも合致する。しかし、現実にはあり得ない垂直大きさ視差の分布（例えば右眼像が左眼像より大きい刺激が、画面の左側に呈示される）を観察した場合にも面の傾きが知覚されるという事実^{9,11)}、また垂直大きさ視差をも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という事実を説明することが困難である。

第2のカテゴリーの理論は、水平および垂直大きさ視差の分布から直接的に知覚が決定されるという考えである。Koenderinkら²³⁾は、両眼視による面の傾きの知覚が、視差パターン中のdeformation成分（ある軸方向の大きさ視差とその軸と90°の軸方向の同じ量で逆向きの大きさ視差の差に対応する）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説明できない。しかし、Kanekoら¹²⁾は、多くの実験的な事実を考慮してdeformation理論を改良し、視角約20°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、垂直大きさ視差処理の広域的性質、垂直大きさ視差と知覚に関する多くの実験的事実を説明できる。さらに、この説において水平視差の重みを垂直視差に比べて大きくすることで、より多くの実験結果を説明できることも報告されている^{24,25)}。このように、広域的な垂直大きさ視差と局所的な水平視差の差から直接的に知覚が決定されるとする考えによって、垂直大きさ視差による面の傾き、面の形状の知覚現象のほとんどは説明できる。しかし、この理論は垂直大きさ視差勾配の絶対距離知

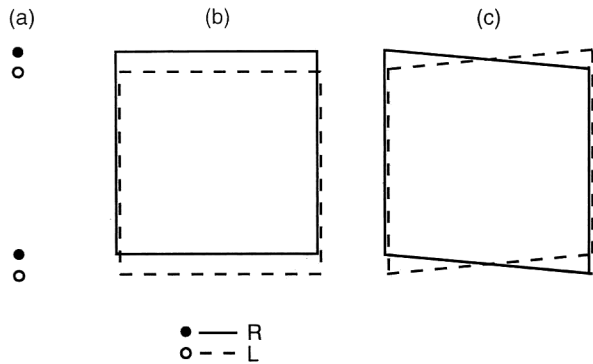


図4 垂直変位視差パターン。黒丸と実線は右眼像の位置、白丸と点線は左眼像の位置を示す。(a) 鉛直軸上の2点によって定義される垂直変位視差。(b) 一様な垂直変位視差。(c) 水平軸に沿って垂直変位視差勾配をもつパターン(垂直剪断視差)。

覚、距離スケージングに与える影響を説明することは困難である。

以上に述べたように、近年、多くの垂直大きさ視差処理に関する理論が提出され、かなり洗練されてきた感がある。しかし、すべての実験的事実を説明でき、垂直大きさ視差の原因との関係において妥当性のある理論を得るには、さらなる研究が必要であろう。

2. 垂直変位視差 (vertical-translation disparity)

2.1 垂直変位視差

垂直変位視差とは、左右の網膜像の一方がもう一方に対して垂直方向に平行移動している場合に生じる視差である(図4(a))。一定の垂直変位視差が、視野全体に分布している場合、これを一様な垂直変位視差(図4(b))と呼ぶ。また、垂直変位視差量が視野中で変化する場合、垂直変位視差の勾配をもつパターンと呼び、その勾配が水平軸に沿って一定である場合は垂直剪断視差(vertical-shear disparity)と呼ぶ(図4(c))。

2.2 垂直変位視差の原因

2.2.1 垂直輻輳 (vertical-vergence)

左右それぞれの眼の視線と水平面のなす2つの角度が等しくない場合、すなわち垂直輻輳が生じている場合、視野全体に一様な垂直変位視差(図4(b))が生じる。このとき、水平視差には変化がなく、ある鉛直軸上の点の垂直変位視差量は一定である。また、垂直変位視差量は垂直輻輳量に比例する。

2.2.2 回旋輻輳 (cyclo-vergence)

左右の眼がある1点を固視し、それぞれの視線を中心に逆方向に回転した場合、すなわち回旋輻輳が生じる場合、視野全体に一定のパターンの視差分布が生じる。そのパタ

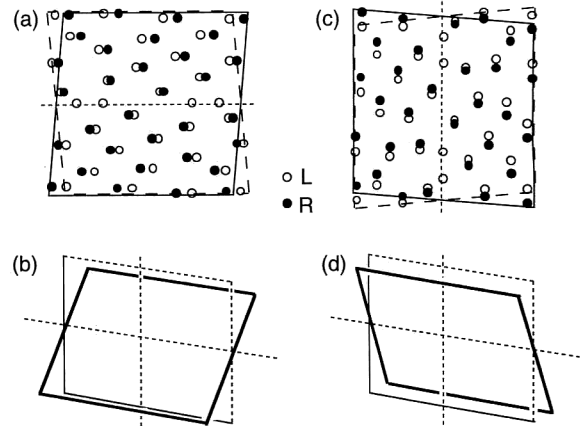


図5 剪断視差を生む刺激と知覚。黒丸は右眼像、白丸は左眼像の位置をそれぞれ示す。(a) 水平剪断視差を生むパターン。(b) 水平剪断視差パターンを観察したときの知覚。(c) 垂直剪断視差を生むパターン。(d) 垂直剪断視差パターンを観察したときの知覚。

ーンの水平視差成分は、ある水平線上で一定の変位視差をもち、その水平変位視差が鉛直軸に沿って徐々に変化している(水平剪断視差: horizontal-shear disparity)。また、垂直視差成分は、その水平剪断視差が90°回転したパターンで、垂直剪断視差(vertical-shear disparity)である(図4(c))。水平および垂直視差成分ベクトルの和ベクトルが固視点に対して張る角度は、回旋輻輳量に比例する。

2.3 垂直変位視差と動眼的反応

2.3.1 一様な垂直変位視差

網膜上に一様な垂直変位視差が生じた場合、すなわち左右の眼に呈示される画像が上下反対方向にずれているような刺激を観察した場合、それを打ち消す方向に垂直輻輳(vertical vergence)が生じる。刺激の大きさが57.6°の場合、5~7°までの垂直視差を単一視することができ、垂直輻輳量の垂直視差量に対するゲインは0.6~0.8であることが報告されている²⁶⁾。

2.3.2 垂直剪断視差 (vertical-shear disparity)

2.2.2節で述べたように、回旋輻輳が起こると垂直剪断視差が生じる。このため、垂直剪断視差を回旋輻輳によって打ち消すことができる。そして実際に、網膜上に垂直剪断視差が生じた場合、それを打ち消す方向に回旋輻輳(cyclo-vergence)が生じることが報告されている²⁷⁾。大きさが60°で、内側の回旋輻輳(in cyclo-vergence: 右眼が左側に、左眼が右側に回転する)に対応する垂直剪断視差を生む刺激を観察した場合、回旋輻輳のゲインは0.5~0.7である。また、外側の回旋輻輳(out cyclo-vergence: 右眼が右側に、左眼が左側に回転する)に対応する垂直剪断視差を生む刺激の場合、ゲインは0.1~0.4である。

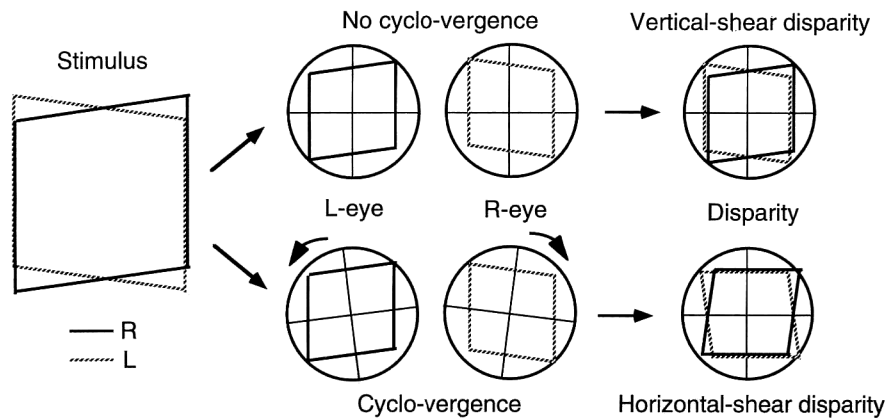


図6 垂直剪断視差を生む刺激, 回旋眼球運動, 両眼視差の関係を示す概略図. 回旋運動ゼロで図中左の刺激を観察した場合は網膜上に垂直剪断視差が生じるが(上段), 回旋眼球運動を伴って同じ刺激を観察した場合は網膜上に水平剪断視差が生じる(下段).

2.4 垂直変位視差と知覚

2.4.1 一様な垂直変位視差

一様な垂直変位視差を生み出すような刺激を観察した場合, 刺激の大きさがある程度大きく, 視差量がある範囲内であれば, 対象は単一視され(2.3.1節参照), それに対する知覚は一様な垂直変位視差がないときと変化しない. 例えば, 額面平行面として知覚される対象に一様な垂直変位視差を付加した場合, それは額面平行面のままに知覚される.

2.4.2 垂直剪断視差 (vertical-shear disparity)

水平剪断視差を生む刺激を観察した場合, 水平軸回りに傾いた面が知覚される. 例えば右眼像が左眼像に対して時計回りの視差をもつ場合(図5(a))は, 上端が遠く下端が近い面に知覚される(図5(b)). 垂直剪断視差を生む刺激を観察した場合にも, 刺激サイズが大きければ, 水平軸回りに傾いた面が知覚される. 右眼像が左眼像に対して時計回りの視差をもつ場合(図5(c))であれば, 上端が近く下端が遠い面が知覚される(図5(d))²⁷⁾. 前節で述べたように, 垂直剪断視差を生む刺激を観察した場合, 回旋輻輳によって刺激呈示直後の垂直剪断視差は減少するが, 完全に打ち消されはしない. そのため, 垂直剪断視差それ自身が知覚に寄与していると考えられる.

大きさ視差の場合と同様に, 知覚応答における垂直剪断視差処理の特性は, 水平剪断視差処理の特性と大きく異なる. 水平剪断視差の場合は, 角度視差(刺激中心からの視差角度)が 12° 近くまで面の傾き量が増加し続けるのに対し, 垂直剪断視差の場合は, 角度視差 5° 程度までは水平剪断視差と同じ割合で傾き量が増加するが, それ以後は減少する²⁷⁾. そして, 垂直大きさ視差の場合と同様に, 垂直剪断視差は広域的に処理される. 上に述べたように, 視角 60° の

刺激では垂直剪断視差が水平軸回りの面の傾きの知覚を生み出すのに対し, 視角 10° の刺激では, 垂直剪断視差は面の傾きを生み出さない²⁷⁻²⁹⁾. また, 一様な水平剪断視差をもつ点の一群と, 視差がゼロの点の一群が混ざった刺激を観察した場合, それぞれの一群からなる2枚の面が知覚されるのに対し, 一様な垂直剪断視差をもつ点の一群と視差ゼロの点の一群が混ざった刺激からは1枚の面が知覚される³⁰⁾. 視野の左と右あるいは周辺と中心に異なる値の垂直剪断視差をもつ刺激からも1枚の面が知覚される³⁰⁾. これらのことから, 視野全体あるいは垂直大きさ視差の場合よりも広い範囲から抽出された垂直剪断視差の値が, 奥行き知覚に寄与していると考えられる^{30,31)}.

2.5 垂直変位視差の理論

2.5.1 一様な垂直変位視差

一様な垂直変位視差は知覚に影響を与えないことから, 一様な垂直変位視差成分を奥行きの計算からは除外する機構があると考えられる. これと同様に, 一様な水平変位視差を奥行きの計算から除外する機構もあると考えられる¹²⁾. これは, 刺激が十分に大きければ, 一様な水平変位視差が奥行き感に影響を与えないからである^{32,33)}. これらの機構により垂直輻輳, 水平輻輳による知覚への影響を防ぐことができる¹²⁾.

2.5.2 垂直剪断視差 (vertical-shear disparity)

垂直剪断視差を生む刺激を観察したときの知覚を説明する理論がいくつかある. 1.5節で述べた Koenderink らの deformation 理論²³⁾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特性の違いを説明できない.

表1 垂直視差パターンの種類とそれらの原因, 機能のまとめ.

視差パターン	垂直大きさ視差 (Vertical-size disparity)		垂直変位視差 (Vertical-translation disparity)	
	一様	勾配 (Differential perspective)	一様	勾配 (Vertical-shear disparity)
原因	眼球光学的要因	刺激の距離, 方向	垂直輻輳	回旋輻輳
動眼的反応	?	?	垂直輻輳	回旋輻輳
知覚的応答	垂直軸回りの傾き	面の形状, 距離のスケーリング, 知覚距離への影響	無変化	水平軸回りの傾き

第2の理論は, 回旋眼球運動と水平視差によるものである。これは, 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。このときの回旋眼球運動と水平および垂直剪断視差の関係は図6に示される。しかし, Howardら²⁷⁾は, 垂直剪断視差角に対する回旋眼球運動角のゲインが1にならないこと, さらに回旋眼球運動が非対称(内側の回旋輻輳のときに大きく, 外側の回旋輻輳のときに小さい)であるにもかかわらず, 知覚される面の傾きはこのような非対称がないことを見いだした(2.3.2節参照)。さらに, 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も明らかになった³⁰⁾。これらの事実は回旋眼球運動理論に反する。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, それが知覚される面の傾きとは無関係であるとなると, その存在理由が何であるかが疑問となる。回旋輻輳が生じる理由のひとつとして, 左右眼の像を網膜上の対応点近くに移動して視差の検出を容易にすることが考えられる。

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3の理論は, 全視野あるいは視野の広範囲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^{27,30,31)}。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機構により, 回旋眼球運動によって生じる水平視差変化による傾き知覚変化を防ぐことができる。この説は現在のところほとんどの実験的事実と矛盾がない。

表1に, これまで述べてきた垂直視差パターンの種類と原因, 垂直視差処理過程の機能をまとめる。

垂直視差処理の特性で重要な点は, 広域的処理である。水平視差の場合は局所的処理, すなわち基本的にある対象の視差がその対象自身の奥行き位置を決めるのに対し, 垂直視差の場合は, 広い視野範囲の特定のパターンが広い範囲の奥行き感に影響する。

そして, 垂直視差処理過程の機能の特徴は, 外界の情報のみならず観察者側の情報としても働くことである。水平視差が外界の空間構造の情報となるのに対し, 垂直視差は外界の空間構造の情報だけでなく, 生体の眼球位置や視方向の情報となる。そもそも, 眼球をコントロールしているのは生体の脳自身のはずであるが, 脳は眼球の位置を知るために網膜像からの情報を用いていると考えられる。

本稿で述べてきたように, 近年, 垂直視差に関する研究が数多く発表され, その特性, 機能がかなり明らかになってきた。しかしまだ, 垂直視差に関して研究すべき点は数多くある。時間特性, 水平視差との相互作用, 眼球運動などの生体反応への影響等の解明, 生理学的な事実と合致するモデルの構築等が今後の課題であろう。

文 献

- 1) C. W. Tyler: "The horopter and binocular fusion," *Binocular Vision*, ed. D. Regan (CRC Press, Boca Raton, 1991) pp. 19-37.
- 2) I. P. Howard and B. J. Rogers: *Binocular Vision and Stereopsis* (Oxford University Press, New York, 1995) pp. 31-68.
- 3) K. N. Ogle: *Researches in Binocular Vision* (Hafner, New York, 1964).
- 4) L. Marran and C. M. Schor: "Retinal and extraretinal cues to nonconjugate accommodation," *Proc. ARVO Conf.*, Fort Lauderdale (1994), *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, **35**, Suppl. (1994) 1736.
- 5) J. E. W. Mayhew and H. C. Longuet-Higgins: "A computational model of binocular depth perception," *Nature*, **297** (1982) 376-378.
- 6) B. Gillam and B. Lawergren: "The induced effect, vertical disparity and stereoscopic theory," *Percept. Psychophys.*, **34** (1983) 121-130.
- 7) B. Gillam, D. Chambers and B. Lawergren: "The role of vertical disparity in the scaling of stereoscopic depth perception: An empirical and theoretical study," *Percept. Psychophys.*, **44** (1988) 477-488.
- 8) 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 Arch. Ophthalmol.*, **20** (1938) 604-623.
- 9) H. Kaneko and I. P. Howard: "Relative size disparities and the perception of surface slant," *Vision Res.*, **36** (1996) 1919-1930.

- 10) S. P. Stenton, J. P. Frisby and J. E. W. Mayhew: "Vertical disparity pooling and the induced effect," *Nature*, **309** (1984) 622-623.
- 11) B. J. Rogers and J. J. Koenderink: "Monocular aniseikonia: A motion parallax analogue of the disparity-induced effect," *Nature*, **322** (1986) 62-63.
- 12) H. Kaneko and I. P. Howard: "Spatial limitation of vertical-size disparity processing," *Vision Res.*, **37** (1997) 2871-2878.
- 13) C. W. Tyler: "Stereoscopic vision: Cortical limitations and a disparity scaling effect," *Science*, **181** (1973) 276-287.
- 14) C. W. Tyler: "Depth perception in disparity gratings," *Nature*, **251** (1974) 140-142.
- 15) C. W. Tyler: "Spatial organization of binocular disparity sensitivity," *Vision Res.*, **15** (1975) 583-590.
- 16) B. J. Rogers and M. Graham: "Similarities between motion parallax and stereopsis in human depth perception," *Vision Res.*, **22** (1982) 261-270.
- 17) B. G. Cumming, E. B. Johnston and A. J. Parker: "Vertical disparities and perception of three-dimensional shape," *Nature*, **349** (1991) 411-413.
- 18) E. C. Sobel and T. S. Collett: "Does vertical disparity scale the perception of stereoscopic depth?," *Proc. R. Soc. London B*, **244** (1991) 87-90.
- 19) B. J. Rogers and M. F. Bradshaw: "Vertical disparity, differential perspective and binocular stereopsis," *Nature*, **361** (1993) 253-255.
- 20) B. J. Rogers and M. F. Bradshaw: "Disparity scaling and the perception of frontoparallel surfaces," *Perception*, **24** (1995) 155-179.
- 21) 金子寛彦, 小阪朋也, 内川恵二: "周辺の両眼視差情報と絶対距離知覚," *Vision*, **10** (1998) 73-86.
- 22) J. Gårding, J. Porrill, J. E. W. Mayhew and J. P. Frisby: "Stereopsis, vertical disparity and relief transformations," *Vision Res.*, **35** (1995) 703-722.
- 23) J. J. Koenderink and A. J. van Doorn: "Geometry of binocular vision and a model for stereopsis," *Biol. Cybern.*, **21** (1976) 29-35.
- 24) B. J. Pierce and I. P. Howard: "Types of size disparity and the perception of surface slant," *Perception*, **26** (1997) 1503-1517.
- 25) R. van Ee and C. J. Erkelens: "Temporal aspects of stereoscopic slant estimation: An evaluation and extension of Howard and Kaneko's theory," *Vision Res.* (1998) in press.
- 26) A. E. Kertesz: "Effect of stimulus size on fusion and vergence," *J. Opt. Soc. Am.*, **71** (1981) 289-293.
- 27) I. P. Howard and H. Kaneko: "Relative shear disparities and the perception of surface inclination," *Vision Res.*, **34** (1994) 2505-2517.
- 28) B. Gillam and B. J. Rogers: "Orientation disparity, deformation, and stereoscopic slant perception," *Perception*, **20** (1991) 441-446.
- 29) R. van Ee and C. J. Erkelens: "Binocular perception of slant about oblique axes relative to a visual frame of reference," *Perception*, **24** (1995) 299-314.
- 30) H. Kaneko and I. P. Howard: "Spatial properties of shear disparity processing," *Vision Res.*, **37** (1996) 315-323.
- 31) B. J. Pierce, I. P. Howard and C. Feresin: "Depth interactions between inclined and slanted surfaces in vertical and horizontal orientations," *Perception*, **27** (1998) 87-103.
- 32) C. J. Erkelens and H. Collewijn: "Motion perception during dichoptic viewing of moving random-dot stereogram," *Vision Res.*, **25** (1985) 583-588.
- 33) D. Regan, C. J. Erkelens and H. Collewijn: "Necessary conditions for the perception of motion in depth," *Invest. Ophthalmol. Visual Sci.*, **27** (1986) 584-597.

(1998年5月9日受理)