

野外における垂直・水平距離の知覚

東山 篤規

立命館大学 文学部 哲学科 心理学専攻

〒603-77 京都市北区等持院北町56-1

1. はじめに

ビルディングのように地上に垂直に立っている対象を観察したとき、われわれは、観察者から対象までの距離（自己中心的距離）、対象の垂直方向の大きさ（垂直距離）、対象の横幅の大きさ（水平距離）の3距離を区別することができる。この論考の目的は、垂直距離あるいは水平距離を標準距離として、被験者自身が、この標準距離に等しくなるように自己中心的距離を調整することによって、垂直距離と水平距離の関係を明らかにすることにある。

垂直距離と水平距離の関係は、ふるくより「垂直水平錯視（horizontal-vertical illusion）」として研究されてきたので、はじめに、垂直水平錯視に関する古典的な理論とそれを支持する実証的なデータを概括する。ついで、筆者が最近行った8実験を紹介し¹⁾、その結果が、旧説のどれを用いても完全には解釈できないが、「3方向不一致説」とでも名づけるべき説によって説明されることを明らかにする。

2. 古典的理論

垂直水平錯視とは、客観的に等しい長さの2線分が与えられたとき、垂直方向の線分が水平方向の線分よりも長く見える現象である。この錯視に関してはいくつかの説がある。第1の説は、網膜の神経解剖学、角膜の曲率、大脳の検出器、眼球運動などに基づいた説である。Ritter²⁾は、網膜受容器が、網膜

の垂直子午線よりも水平子午線において高密度に分布していると仮定して、垂直水平錯視における垂直線分を過大に推定する傾向を説明しようとした。Valentine³⁾、Pearce and Matin⁴⁾は、角膜の非点収差(astigmatism)によって、この錯視を説明しようとした。すなわち、かれらは、視軸の周辺では角膜は球面を形成し歪んでいないが、角膜面が鞏膜に近づくほど、眼の垂直子午線方向が、水平子午線方向よりも大きく湾曲し、角膜曲率のこの相違が、垂直水平錯視の原因になると考えた。Caelli⁵⁾は、大脳において選択的に反応する検出器の相互作用という観点から、垂直水平錯視が予想できると考えた。また、Wundt (1858, Boring⁶⁾、Luckiesh⁷⁾に引用)は、眼筋の配列状態から推測して、眼球を垂直方向に運動させるために必要とされる筋力は、水平方向の筋力よりも大きいと仮定した。もし、われわれが、眼球運動に必要とされる筋力に比例するように、距離や大きさを評価しているとするれば、垂直方向の距離の方が大きく知覚されることになる。

これらの生理学的な説明に共通した特徴は、眼球の垂直子午線に沿った距離が、水平子午線に沿った距離よりも拡大して知覚されるというものである。網膜受容器の密度、角膜の曲率、大脳の方向検出器の相互作用、眼球運動など、網膜から大脳のあいだで得られる各成分が、垂直子午線方向の過大視に与える効果は小さいかもしれないが、その累積効果は垂直水平錯視を説明するのに十分なもの

であると仮定する。

もうひとつの説明⁸⁻¹⁰⁾では、視野の形状に基づいて垂直水平錯視を説明する。所与の対象の大きさは、それを取り囲む枠組みの影響を受け、枠組みの近くにある対象ほど大きく見えるという事実¹¹⁻¹³⁾に基づいて、この説では、垂直水平錯視は、水平方向に伸びた楕円状の視野の形によって生じると考える。単眼による視野は、垂直方向で 135° 、水平方向で 160° 、また、両眼視による視野は、水平方向では、単眼視野の重なり部分があるので、全体として 200° 、垂直方向では単眼視の場合と同じく 135° である¹⁴⁾。したがって、単眼、両眼のいずれで観察しても、視野の中央に与えられた垂直線分は、水平線分よりも、いっそう枠組みに接近しており、その結果として、大きく知覚されることになる。

第3の説明は¹⁵⁻²²⁾、2次元の絵画的平面に表わされた奥行きの手がかりに基づいたものである。この説では、絵画的平面における水平線は、奥行きを示さないが、垂直線は、奥行き方向にのびた線をあらわすことが多く、この線分の頂点が基点よりも観察者から遠くにあると仮定される。もし、この意図された奥行きを斟酌し、網膜に映じた線分を見かけの線分に変換する機構があるとすれば、垂直線分は水平線分よりも長くみえるであろう。要するに、この説では、垂直線は、奥行き方向に伸びた線が短縮化して表わされ、水平線は視線に対して直交する線を表わしているのである。奥行き説では、絵画平面だけでなく、自然環境において直立した対象（たとえば、樹木やビルディング）にも、垂直線分に対する奥行きの補正化と同一の機構がはたらくと仮定する。

ここで、奥行き説における「垂直」についてひとつ。論文によっては、垂直の定義がいつも明示しているわけではないが、もし、奥行き説における垂直が、網膜の垂直子午線を表わすのであれば、奥行き説は生理学説とまったく同じ結果を予想するので、あらため

てひとつの別説として考察する必要はない。

いっぽう、奥行き説における垂直を、視覚的垂直 (visual vertical) として定義すると、絵画的な文脈のなかで視覚的垂直方向に一致した対象は、そうでないものに比べて、いつも大きく知覚されることになる。つまり、観察者の身体の方角や観察される絵画平面の方角がどのように変化しても、絵画的なかで地面から垂直に立っている対象（たとえば、樹木）は、地面のうえに横たわった等長の対象（たとえば、枯木）よりも長く見えることになる。ここでは、生理学説と区別するために、奥行き説の垂直を、視覚的垂直として定義することにする。

第4の説明は、重力にもとづく。この説では、重力に平行に置かれた線分が、重力に直交する等長の線分よりも大きく見えると仮定する。この説明は、身体の移動 (locomotion) に必要とされる筋力に関する証拠にもとづいている。地面を水平に移動するとき比べて、坂や階段を登るときに、多くの筋力を必要とするが、もしこの筋力が、見かけの距離に変換されるとすれば、垂直方向の移動距離は、水平方向の移動距離よりも大きく知覚される。知覚の研究者のなかでこの説を唱導する者は少ないが、知覚における重力系の作用を軽視することはできない²³⁾。

3. 方法

戸外の3階建てビルディング（高さ12.7 m、横幅30.0 m）をターゲットとして用いた8実験を報告する。これらの実験では、被験者は、ビルの前の広場にいて、ビルの前壁のうえに指定された、標準距離に一致するように、被験者自身がビルまでの自己中心的距離を調整した。

標準距離として、垂直方向と水平方向にそれぞれ4距離を設けた。垂直標準距離は、ビルの立っている地面から、各階の窓の上框までの距離（1階2.7 m、2階6.7 m、3階10.5 m）および屋上までの距離（12.7 m）とした。

水平標準距離は、被験者の正中面の右方向2, 6, 9, 14 m の距離とした。

被験者は、各標準距離に等しくなるように、ビルに近づいたり（接近系列）遠ざかったり（遠隔系列）することによって、自己中心的距離の調整を行なった。被験者が調整した自己中心的距離を、実験者は、10 cm の精度で、地面に敷いていた巻尺の値から読みとった。

各実験の被験者は14人の大学生。どの被験者も1実験しか参加しなかった。各実験の半数の被験者は、最初に垂直標準距離に対する調整を行ない、それから水平標準距離に対する調整を行なった。残りの被験者は、その反対の順序で調整した。垂直あるいは水平標準距離に対して、4標準距離と2系列の組み合わせは被験者ごとにランダムに決定された。

実験1-3では、被験者は、自然視のもとで、標準距離を観察し自己中心的距離の調整を行なった。ただし、被験者の身体は、正立（実験1）、横臥（実験2）、腹臥（実験3）の状態に維持された。正立条件のもとでは、被験者は自ら前後に移動することによって、自己中心的距離の調整を行なったが、横臥条件と腹臥条件のもとでは、台車の上に、それぞれ体を横たえたり腹ばいになって、自己中心的距離の調整を行なった。台車の移動は実験者が行ない、被験者がストップといったところでビルから台車までの距離を巻尺の値から読みとった。

実験4, 5では、被験者は、紙製の円筒（直径4 cm, 長さ15 cm）を通して、単眼で標準距離を観察し自己中心的距離の調整を行なった。円筒は右眼あるいは左眼に取りつけられ、もう一方の眼は、外科用のテープでふさがれた。被験者の姿勢は、正立（実験4）と横臥（実験5）であった。

実験6, 7では、被験者は、右あるいは左方向へ90°の視野の回転を与える両眼用プリズムめがねを装着し、正立して地面に立ち（実験6）、あるいは台車に横臥して乗り

（実験7）、それぞれ自己中心的距離の調整を行なった。いずれの実験でも半数の被験者には右回転の視野、残りの半数には左回転の視野が与えられた。

実験8では、被験者は、右あるいは左方向へ180°の視野の回転を与える両眼用プリズムめがねを装着し、正立してみずから自己中心的距離の調整を行なった。半数の被験者には右回転の視野、残りの半数には左回転の視野が与えられた。

4. 結果

8実験の結果を図1に示す。横軸は標準距離(m)、縦軸は、被験者が調整した自己中心的距離(m)を示す。パラメータは標準距離の方向（垂直、水平）である。各実験における垂直あるいは水平の標準距離に対して得られたデータに、最小自乗法を用いて、原点を通る直線を回帰させた。あてはめた直線の勾配が1に等しいときは、距離の正確なマッチングが得られたことになり、勾配が1より大きい（あるいは小さい）ときには、過大（あるいは過小）マッチングが得られたことになる。また、各実験において、水平標準距離から得た勾配に対する垂直標準距離から得た勾配の比を、垂直水平錯視の量と定義した。

表1は、実験1, 2, 3の錯視量と伝統的な4学説からの予想を示したものである。どの学説もここで報告した錯視量を説明していない。

表2は、実験4, 5の錯視量と伝統的な4学説の予想を示したものである。どの学説もこの2実験の錯視量を説明していない。

表3は、実験6, 7, 8の錯視量と伝統的な4学説の予想を示したものである。ここでも、3実験の錯視量を完全に説明する学説を見いだすことができなかった。

5. 3方向不一致説

1) 奥行き方向の距離の短縮化とその補

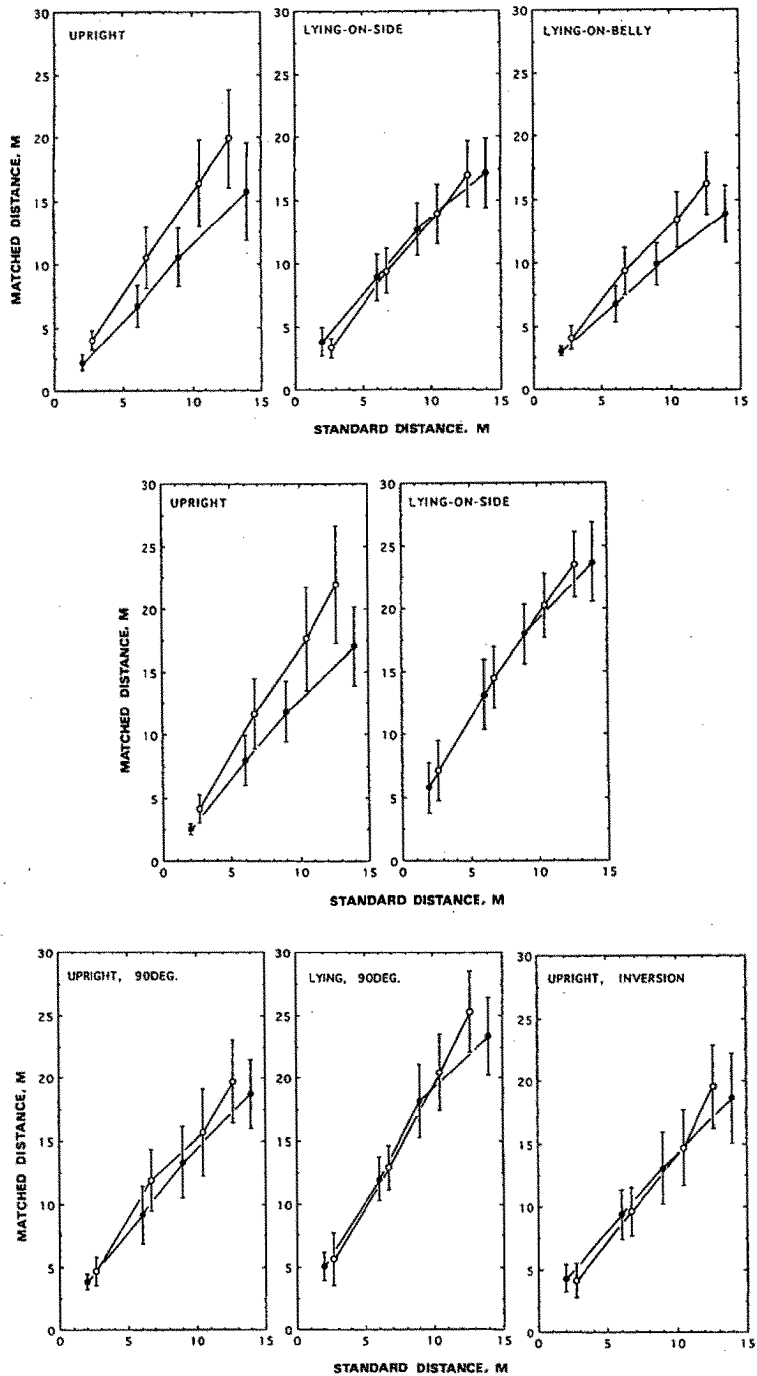


図1 実験1-8の結果。横軸は前額面(壁面)の上与えられた標準距離(m)、縦軸は被験者が調整した平均の自己中心的距離(m)。パラメータは標準距離の方向(垂直, 白丸; 水平, 黒丸)。各データ点に付けた線分は、標準偏差を表す。上段パネルは自然視条件で左から右にかけて実験1, 2, 3, 中段パネルは円筒視条件で左が実験4, 右が実験5, 下段パネルはプリズム条件で左から右にかけて実験6, 7, 8。

正。我々は地上でくらしているので、地面（あるいは床面）の上に置かれた対象の大きさや奥行きを知覚することが多い。ある対象（たとえば、正方形）を、地面や机のうえに置いた場合と、視軸に直交するように前額面に置いたときでは、それぞれの対象が形成する網膜像の大きさは異なる。すなわち、客観

的に同じ大きさの対象が、奥行き方向に置かれたときは、前額面に置かれたときよりも、網膜像は短縮して形成される。

しかしながら、奥行き方向の距離が、幾何光学的に著しく短縮していることに、われわれは、ふつうは、気づかない。むしろ、対象が、奥行き方向に置かれても、前額面に置か

表1 自然視（実験1, 2, 3）のもとでの垂直水平錯視（「はい」は、垂直標準距離が水平標準距離よりも大きく調整されるケース、「反対」は、水平標準距離が垂直標準距離よりも大きく調整されるケース、「いいえ」は、垂直標準距離が水平標準距離に等しく調整されるケース）。

モデル	身体正立（実験1）	身体横臥（実験2）	身体伏臥（実験3）
生理学説	はい	反対	はい
枠組み説	はい	反対	はい
奥行き説	はい	はい	はい
重力説	はい	はい	はい
実験結果	はい (1.38)	いいえ (1.03)	はい (1.25)

表2 円筒視（実験4, 5）のもとでの垂直水平錯視（「はい」「反対」「いいえ」の意味については表1を参照）。

モデル	身体正立（実験4）	身体横臥（実験5）
生理学説	はい	反対
枠組み説	いいえ	いいえ
奥行き説	はい	はい
重力説	はい	はい
実験結果	はい (1.37)	いいえ (1.05)

表3 プリズム視（実験6, 7, 8）のもとでの垂直水平錯視（「はい」「反対」「いいえ」の意味については表1を参照）。

モデル	身体正立（実験6）	身体横臥（実験7）	身体伏臥（実験8）
生理学説	反対	はい	はい
枠組み説	反対	はい	はい
奥行き説	はい	はい	はい
重力説	反対	反対	はい
実験結果	はい (1.12)	はい (1.09)	いいえ (1.05)

れた場合とほぼ等しく見え、客観的な大きさの関係が維持されるように知覚される。たとえば、正方形を、地面に垂直に立てたり、地上に横たえたりすると、その都度、網膜像の形は、正方形になったり台形になったりして著しく変化するが、それにもかかわらず、依然として「正方形」に知覚される。このことを、視覚系の側から表現すれば、奥行き方向に置かれた正方形によって短縮化した台形の網膜像が与えられたとき、その網膜像を、正方形を表わすものとして、自動的に補正する機構があるといえよであろう。あるいは、正方形の網膜像が与えられたとき、網膜の垂直子午線に沿った次元を、網膜の水平子午線に沿った次元よりも大きく補正する反応傾向が、生得的に、あるいは、獲得的に備わっていると仮定される。

2) 網膜の垂直子午線が、視環境軸と重力軸に一致したときにもっとも強い距離の補正が生じると仮定する(仮説1)。なぜ、このときに、距離の補正がもっとも強く生じるのかといえば、正立した状態で地上の対象を見る機会がもっとも多いからである。すなわち、観察者の網膜垂直子午線が、視環境軸や重力軸にほぼ平行し、その状態を維持しながら対象を観察し、垂直距離の補正を行なう機会が多いからである。このように3軸が一致している状況を「通常の観察事態」とよぶことにする。もちろん、身体を横にしたり、首を傾けて対象を観察することもあるし(網膜の垂直子午線が、視環境軸および重力軸と一致しない条件)、また、催し物の会場などで傾いた部屋を正立して観察する機会をもったりするが(網膜の垂直子午線が、視環境軸と一致しないが、重力軸と一致する条件)、3軸が一致しない状況は、むしろ、ふつうの生活ではまれなことといえる。

もちろん、網膜の垂直子午線が、視環境軸や重力軸にいつも一致しているわけではない。網膜の垂直子午線が、視環境軸と重力軸のどちらとも一致しないときがある。この場

合、距離の補正がほとんど生じないと仮定する(仮説2)。同様に、網膜の垂直子午線が、視環境軸と重力軸の一方のみと一致して他方と一致しないときには、距離の補正は弱まると仮定する(仮説3)。要するに、網膜の垂直子午線を基軸と考えて、この軸と一致する軸が減少するのに伴って、距離の補正傾向が弱まり、垂直水平錯視が減少すると考えるのである。

6. 3方向不一致説による8実験の結果の説明

うえで述べた3方向不一致説による説明が、8実験の結果とどのように一致しているのかをつぎに検討する。仮説1より、実験1, 3, 4では、3軸の方向が一致しているので、最大の錯視量が得られると予想される。実際この3実験で得られた平均錯視量は1.33であり、この実験系列のなかでは最大の量である。

仮説2より、網膜の垂直子午線が視環境軸および重力軸に直交しているから、実験2, 5では、錯視が生じないと予想される。実際、この2実験で得られた平均錯視量は1.04であり、きわめてわずかなものであった。

仮説3より、実験6, 7での錯視量は、実験1, 3, 4で得られた錯視量よりも小さいが、錯視が消失するほど大きく縮減しないと予想される。なぜなら、実験6での網膜の垂直子午線は、重力軸と同じ向きであるが、視環境軸と直交しており、たほう、実験7での網膜の垂直子午線は、視環境軸と同じ向きであるが、重力軸と直交しているからである。実際、実験6, 7において得られた平均錯視量は1.11であり、中程度の錯視が生じたことを示している。

実験8の結果は、3方向不一致説から直接的に予想されないが、実験8は、実験6よりも「通常の観察事態」がいつそう崩された事態であり、しかも通常の観察事態から遠ざかる事態では距離の補正がいつそう生じにくい

考えられるので、実験8では、実験6よりも錯視がもっと低減すると予想される。じつさい、実験8で得られた錯視量は1.05であり、この実験では、実質的に錯視が生じなかったと考えられる。

7. 3方向不一致説による仮想実験の予測

1) 視環境軸の乏しい事態。これは、暗やみのなかで正立した被験者に、垂直あるいは水平に2光点のみを提示して、その光点間の距離を比較する事態である。とくに、視環境軸を示唆するような対象をできるだけ排除し、光点までの観察距離をじゅうぶん大きくとれば、光点の視覚的定位は不安定になり、視環境軸の乏しい事態をつくることができる。この事態では、網膜の垂直子午線が重力軸のみと一致し、視環境軸に関する情報が与えられないので、錯視は低減すると考えられる(仮説4)。暗い実験室のなかで比較的短い観察距離のもとで垂直水平錯視の量を測定した研究は多いが、巨大空間のなかで、この仮説の検証を試みた研究は、はなはだ少ないように思われる(関連研究に古賀他²⁴⁾)。

2) 重力軸のない事態。これは、無重力状態において、通常の視環境を観察する事態である。網膜の垂直子午線が視環境軸のみと一致し、重力軸が与えられないので、錯視は低減すると考えられる(仮説5)。このような状態を地上でつくることは困難であるが、宇宙空間では可能であろう。しかし、この仮説を検証した研究はまだないように思われる。

8. おわりに

一連の実験を通じて、距離知覚における網膜子午線、視環境軸、重力軸の相互作用について論じた。このような軸の効果については、これまで形の知覚においてしばしば言及されてきたが^{25, 26)}、距離の知覚においても大きな効果をもつことが確認された。ここで述べた3軸不一致説の骨子は、3軸が完全に一致したときに距離の補正作用がはたらき、

その結果として、垂直距離が水平距離よりも大きく見えるが、網膜の垂直子午線が他の2軸と一致しなかったときには、距離の補正作用が弱まり、その結果として、網膜に映じた長さの関係を反映するように距離が知覚されるというものであった。

距離の補正作用のこのような減衰化に類似したはたらきが、「股のぞき」や「逆さ眼鏡」によって風景を見るときにも生じるように思われる。このような事態では、通常の正立視のときに比べて、距離の遠近法的な見え方が強調され、大きさの恒常性が失われるといわれる。これは、網膜子午線の上下が逆転したり、視環境軸の上下が逆転しているために、視覚系が距離情報をじゅうぶん利用できず、網膜に与えられた近刺激の関係に基づいて、距離や大きさを知覚しがちになることを物語っている。いずれにしても、3軸の一致あるいは不一致の効果は、垂直水平錯視にとどまらず視空間の体制化の問題に大きく関与しているように思われる。

文 献

- 1) A. Higashiyama: Horizontal and vertical distance perception: The discorded-orientation theory. *Perception and Psychophysics*, 58, 259-270.
- 2) S. M. Ritter: The vertical-horizontal illusion. *Psychological Monographs (Whole No. 101)*, 1917.
- 3) C. W. Valentine: The effect of astigmatism on the horizontal-vertical illusion, and a suggested theory of the illusion. *British Journal of Psychology*, 5, 308-330, 1912.
- 4) D. Pearce and L. Matin: Variation of the magnitude of the horizontal-vertical illusion with retinal eccentricity. *Perception and Psychophysics*, 6, 241-243, 1969.
- 5) T. Caelli: Is perceived length affected by interactions between orientation detectors? *Vision Research*, 17, 837-841, 1977.
- 6) E. G. Boring: *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. Appleton-Century-Crofts, New York, 1942.
- 7) M. Luckiesh: *Visual illusion*. Dover, New York, 1965.
- 8) T. M. Künnapas: Interocular differences in the vertical-horizontal illusion. *Acta Psychologica*, 13, 253-259,

- 1957.
- 9) T. M. Künnapas: Vertical-horizontal illusion and the surrounding field. *Acta Psychologica*, 13, 35-42 1957.
 - 10) T. M. Künnapas: The vertical-horizontal illusion and the visual field. *Journal of Experimental Psychology*, 53, 405-407, 1957.
 - 11) T. M. Künnapas: Influence of frame size on apparent length of a line. *Journal of Experimental Psychology*, 50, 168-170, 1955.
 - 12) F. Restle: Moon illusion explained on the basis of relative size. *Science*, 167, 1092-1096, 1970.
 - 13) F. Restle and C. Merryman: Distance and an illusion of length of line. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 297-302, 1969.
 - 14) D. V. Henson: Visual field. Oxford University press, 1993.
 - 15) G. von Collani: The horizontal-vertical illusion on photographs of concrete scenes with and without depth information. *Perceptual and Motor Skills*, 61, 523-531, 1985.
 - 16) S. Coren and J. S. Girgus: Illusions and constancies. *W. Epstein (ed): Stability and constancy in visual perception: Mechanisms and processes*. Wiley, New York, 255-283, 1977.
 - 17) S. Coren and J. S. Girgus: Seeing is deceiving: The psychology of visual illusion. Erlbaum, Hillsdale, 1978.
 - 18) E. O. Cormack and R. H. Cormack: Stimulus configuration and line orientation in the horizontal-vertical illusion. *Perception and Psychophysics*, 16, 208-212, 1974.
 - 19) J. S. Girgus and S. Coren: Depth cues and constancy scaling on the horizontal-vertical illusion: The bisection error. *Canadian Journal of Psychology*, 29, 59-65, 1975.
 - 20) R. L. Gregory: Distortion of visual space as in appropriate constancy scaling, *Nature*, 199, 678-680.
 - 21) R. L. Gregory: Eye and Brain (2nd ed). McGraw-Hill, New York, 1972.
 - 22) H. R. Schiffman and J. G. Thompson: The role of figure orientation and apparent depth in the perception of the horizontal-vertical illusion. *Perception*, 4, 79-83, 1975.
 - 23) I. P. Howard and W. B. Templeton: Human spatial orientation. Wiley, New York, 1966.
 - 24) 古賀一男, 苧阪良二, 木田光郎, 三輪武次, 谷口正子, 鈴木初江, 野間聖明, 中野美雅: 巨大空間における視覚的判断 (2) 斜方向からみた水平, 垂直錯視の測定 (野外の場合). *名古屋大学環境医学研究書年報*, 30, 80-82, 1979.
 - 25) I. Rock: Orientation and Form. Academic Press, New York, 1973.
 - 26) W. Köhler: Dynamics in psychology. Liveright, New York, 1940 (相良守次 (訳): 心理学における力学説. 岩波現代叢書).