

仰角および俯角の知覚

松田 隆夫

An Essay on the Perception of Angles of Elevation and Depression

Takao Matsuda

When we look up at rooftops, treetops, mountain tops and other visual target in tall positions, we often tend to overestimate the angles of elevation between the direction of our eyes and the front-horizontal plane. In like wise, when we take a bird's-eye view of something below our eyes, the angles of depression are also overestimated. Regarding to these tendencies in the angle perception, results of two experiments were briefly presented, one being obtained from the outdoor experiment and the other from the indoor experiment. Roughly speaking, the results showed that the degree of overestimation was much higher in the large-space outdoor experiment than in the small-space indoor experiment, and the estimated angles of elevation were nearly equal to those of depression in either experiment. Although two experiments mentioned above did not deal with not only the perception of distances to visual targets but also the perception of the height or the depth, their relation to the angle perception seemed to be critically important.

I

本稿は、表題のような実験報告にかこつけた「随想」である。思いつきを述べるだけでなく実験結果についても略述するので、何かの参考になれば幸甚と考えて、この場を借りることにした。

さて、数百メートル程度の比較的大きな空間スケールでの話であるが、仰視する山の頂が高くそびえて見えるように、日常、比較的遠方にある視対象の仰角が過大視されがちであることは、その実測値に対して疑いを抱きたくなるほど顕著である。例えば、立命館大学構内の中央広場から衣笠山の山頂を眺望したとき、水平正中線からの仰角は $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ の範囲にあると答える人が大部分であるが、実際に計測してみると約 15° であるに過ぎない。高所から鳥瞰するときの見えの俯角も同様に過大視されがちである。神護寺境内の地藏院の庭から錦雲溪に向けて投げる“かわらけ”は、下方の清滝川で遊ぶ人に当たるのではないかと危惧されるが、“かわらけ”はすぐ手前の樹木の中に吸い込まれていく。このような危惧を生むのは、多分、石を投げても届くはずのない俯角の先に位置する清滝川が、俯角の過大視によってずっと足元の側に近寄って知覚されるからであろう。

今、観察者の眼、眺める視対象、視対象を通る鉛直線が観察者の前額水平面と交わる1点を作る

直角三角形を仮想し、仰角または俯角を θ 、前額水平面上の距離を a 、高さ（深さ）を b 、視対象までの距離（斜辺）を c で表すと、幾何学的には、 θ 、 a 、 b 、 c のうちのいずれか 2 つの値が決まれば他の値は決まる。つまり、いずれの 1 つも他の 2 つと相互規定的な関係にある。だから、仰角や俯角の知覚の場合で言えば、理屈の上での可能性として、 a 、 b 、 c のうちの 2 つまたは 1 つがその客観的距離と等しく知覚されないとき、 θ もまた客観的角度と違って知覚されると考えられる（もちろん、距離が実際と等しく知覚されたとしても、 θ が正しく知覚されるという保証はない）。しかし、冒頭に記した衣笠山の仰角や神護寺の俯角の事例では、上述した直角三角形の 3 辺のうち、前額水平面上の距離 a が観察者に意識されることは減多になく、したがって、 θ 、 b 、 c の 3 者の関係が重要であると思われる。ただし、視界が妨げられることなく、地上に建つ超高層ビルや大電波塔の全貌が眺められるとき、あるいは高所から真下の地上が見下ろせるときは、 a が深く関わってくるに違いない。いずれにしても、当然のことかもしれないが、仰角や俯角の知覚は距離の知覚と相互依存的な関係にあるということである。

以上は、比較的大きな空間スケールでの話であったが、視対象が布置する日常の空間は、小は眼前のセンチメートル単位の近距離から、大はキロメートル単位の遠大な空間スケールにまで広がっている。もっとも、キロメートル単位の空間といったのは物理的空間のことであって、視空間は有限で非均質で非等方向的な性質にある。そして、この性質は空間スケールが大きくなるにつれて一層顕著に現れてくる。センチメートル単位で記述される眼前の小スケール空間では、視空間は物理的空間と同程度に等質で等方向的であるかもしれないが、空間の拡がりとともに遠方の距離は次第に圧縮され（客観的距離軸上での主観的等間隔目盛は遠方になるほど拡大され）、視対象までの見えの距離は過小に見積もられるようになる。視対象までの距離の弁別が可能な空間は、大きく見積もっても 2～3 キロメートルが限界だという説もある。空間スケールが大きくなると仰角や俯角の知覚にも錯誤は現れてくるはずで、天体の錯視（月の錯視）に多くの業績を残している苧阪良二（視空間構造論 (7) 一空間論と斜下方向の異方性の実験一。愛知学院大学文学部紀要, 1989, 19, 11-19.）によれば、18 世紀前半、イギリスの研究者が天空形状の量的測定のため、天頂と地平を結ぶ 1/4 の円弧を想定して、その主観的中点を調べたところ、物理的には 45° であるべきところ平均 23° を得たという。仰角には 2 倍に近い過大視が認められたことになる。苧阪が、これも巨大空間の話であるが、過去に発生した航空機の着陸事故を 1970 年代後半の時点で調査したところ、overlanding より underlanding 事故が極めて多かったという。これは俯角の過大視を示す事例であろう。

II

巨大空間はともかくとして、冒頭で、比較的遠方にある視対象の仰角や俯角は過大視されがちであると述べた。本当にそうであるのか、もう少し丁寧に確かめておく必要がある。そこで最初に、メートル単位で記述できる中距離程度の空間スケールで、主観的な仰角と俯角を観測した実験結果について述べる。この実験に参加した観察者（被験者）は大学生 40 名（男女同数）であり、各人に対して個別に、大学構内の建物や周囲の景色が広く見渡せる以学館前の広場で仰角の観測が、また、以学館の屋上で俯角の観測が行われた。

観測の方法であるが、実験者は試行ごとに特定の仰角または俯角をランダム順序で観察者に口頭

で指示し、その角度に相当する周囲の任意の視対象（方位と距離は自由）を観察者に指摘させた上で、ハンドレベル（金指測器製作所，No.4350）による当該視対象の焦点視を当人に求め、実験者が客観的水平からの角度をハンドレベルの目盛で読み取るという、いささか手間のかかる方法を用いた。指示した仰角（+記号で表記）と俯角（-記号で表記）は、 $\pm 10^\circ$ 、 $\pm 20^\circ$ 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 40^\circ$ 、 $\pm 50^\circ$ であった。付記すれば、データ入手の簡便な方法としては、実験者があらかじめ所定の角度にある視対象を選定してその角度を独立変数として設定しておき、その視対象を観察者に教えて見えの角度を報告させるという、通常よく使われる方法もある。しかし、この手順を本実験で採用しなかったのは、観察者の予断（ 5° あるいは 10° ステップの“きりのよい角度”の視対象が選ばれているのではないかという予期）によるバイアスを避けるためであった。

観測結果は、仰角および俯角の知覚には著しい過大視があることを裏付けるものであった。図1に「メートル単位の空間スケール」と付記して示した結果がそれで、上半分に仰角の結果を、下半分に俯角の結果を、いずれも指示した角度（横軸）と観察者がその角度にあると判断した視対象の実測角度（縦軸）との関係で示した。仰角と俯角のほか、すべての観察者で主観的水平（ $\pm 0^\circ$ ）を調べたが、客観的水平からのズレの平均は男女とも僅少（順に、 $+0.1^\circ$ と -0.8° ）であったので、図1の結果には主観的水平に基づく補正を加えていない。図1の結果の解釈を仰角の条件例で具体

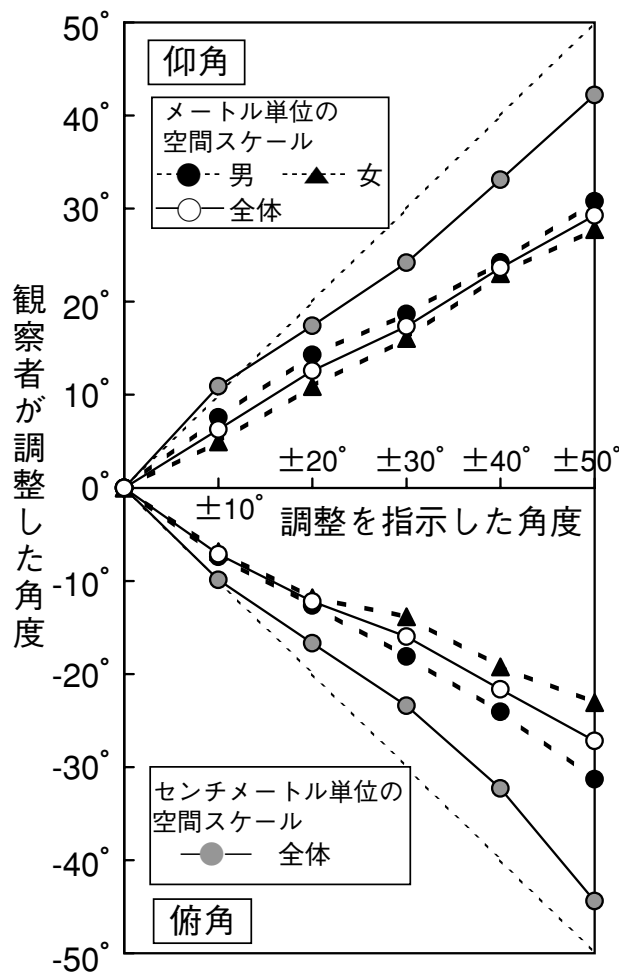


図1. 実験者が観察者に調整するよう指示した角度（指示角度）と観察者が実際に調整した角度（調整角度）との関係。観察者は調整角度を指示角度に等しいと知覚したのであるから、意味的には、調整角度を客観的角度、指示角度を見えの角度と見なしてよい。

的に説明すると、例えば女性群は+30°を指示されたとき平均+16.1°の仰角にある視対象をそれと判断したのだから、意味的には横軸が主観的仰角、縦軸が客観的仰角であると見なしてよい。この観点から仰角に関する結果を目視すると、仰角の知覚には、おおむね客観的角度の1.5倍から2倍の過大視傾向が認められ、この傾向は男性より女性で著しいと要約できる。俯角については、客観的俯角が大きくなると女性群での過大視傾向は2倍以上になることを示しているが、総じて男女とも、俯角の過大視傾向は仰角の場合とほぼ同等だと考えてよいだろう。なお、図1には平均値しか示していないが、それぞれの角度条件での観察者による実測角度のばらつき (SD) は、仰角では男性で6.1°~8.1°、女性で2.7°~8.6°、俯角では男性で5.5°~12.4°、女性で4.7°~10.3°の範囲にあった。

なぜ過大視が起こるのだろうか？ きっと距離の知覚と深く関わっていると思われるが、この実験では、観察者が所定の仰角あるいは俯角 (θ) に位置すると判断した視対象が観察者によって自由に決められ、しかも、その視対象までの距離 (c) および高さ・深さ (b) も測定していないので、距離の知覚が仰角や俯角の過大視とどのような関係にあったのか、まったく不明である。後日、この実験に参加していない数名の大学生に、4階の研究室から仰視できる数十メートル先の戸外の視対象 (建物屋上の避雷針の先端) までの見えの仰角と見えの距離を報告させた上で、ハンドレベルで実際の仰角を、レンジング (ブッシュネル社, 420型) で実際の距離を測定し、報告された値とつき合わせたところ、一致して仰角 (θ) は過大に、見えの距離 (c) は過小に知覚されていた。しかし、データをとったわけではない遊びのようなこの試みから言えることは、ある高さの視対象が客観的距離よりも近くにあると判断されるから、見えの仰角に過大視傾向が現れてくるのではないかという、極めて単純な予想だけである。これに関連して少しだけ付け加えておくと、観察者から報告された見えの θ と c に基づいて直角三角形の高さ (b) を推定すると、 b は前額水平面からの客観的高さと近似していた。表現の仕方を変えれば、仰視対象の見えの高さ (b) は実際の高さと等しく知覚されたと仮定し、視対象までの見えの距離に基づいて見えの仰角を計算すると、観察者が報告した仰角と近似した値になったということである。日常、見えの仰角や俯角に影響する要因は、第一義的なものから付随的なものまで多々あろうが、やはり基本的に重要であるのは、この場合、視対象までの見えの距離ではないかと思われる。

III

最初の項で、“センチメートル単位で記述される眼前の小スケール空間では、視空間は物理的空間と同程度に等質で等方向的であるかもしれない”と書いた。仮にそうであれば、実験室内の狭い空間では視対象までの距離は正確に知覚され、戸外で観測されるような仰角や俯角の過大視傾向は現れてこないのだろうか。たまたま実験室に大昔の半円弧式の視野計 (perimeter) が保存されていたので、これを利用して実験を試みることにした。この装置は、周知のとおり、視標を呈示する半円弧の帯状の金具が観察者の片眼を30cmの等距離で囲み、視野測定のために適うよう正中線の周りを360°回転できるようになっている。

そこで、この実験では、正中線から真上方向 (0°) の仰角と真下方向 (180°) の俯角だけではなく、正中線の周囲360°に放射状に広がる8方向 (時計回りに、0°から45°ステップで315°までの8

条件)に関して、正中線からの見えの偏角(10°から10°ステップで50°までの5条件)を、利き目による片眼観察で測定することにした。実験参加者(被験者)は大学生16名(男10名、女6名)で、測定には実験者調整法を用いた。具体的には、試行の都度、被験者に特定の偏角を指示し、実験者が円弧上で直径5mmの白色視標をゆっくり移動させ、被験者の発言によって白色視標の位置を微調整しながら、白色視標と正中線視標(円弧中央の小さな鏡)との間の見えの偏角を求めた。被験者の顔面は顎台に支えられており、二つの視標を見るときは顔面を静止したまま眼球だけを動かすように教示した。試行の順序は、正中線からの方向(8条件)×偏角(5条件)×視標の移動方向(上昇系列と下降系列)に関して十分考慮されている。また、半円弧の帯と視標以外は被験者の目に入らないよう、視野計の周囲は黒布と紙で覆われていた。

さて、実験の結果であるが、先に述べた仰角と俯角に関する大学構内での実験結果(図1の「メートル単位の空間スケール」と比較するため、2方向(0°と180°)の結果だけを同じ図1の中に「センチメートル単位の空間スケール」と付記して示した(被験者が少数なので男女をこみにし全体の平均で示した)。目視して分かるように、総じて、仰角と俯角の双方ともに過大視傾向が認められたとはいえ、その程度は僅少であり、逆に仰角10°の場合だけは僅かな過小視(0.92倍)が認められた。大学構内では1.5倍から2倍の過大視があったと先に記したので、同様の表現を使うと、実験室内での過大視の程度は、仰角20°~50°では1.15倍から1.24倍の範囲、俯角10°~50°では1.01倍から1.28倍の範囲にあった。実測角度のばらつき(個人差)も僅少で、SDは、偏角10°のとき仰角と俯角の双方とも0.7°、偏角50°のときは仰角で2.1°、俯角で2.4°であった。

このように、「センチメートル単位の空間スケール」での結果は、先の項(Ⅱ)で述べた「メートル単位の空間スケール」の場合とくらべて、仰角および俯角の過大視傾向は相対的に小さく、その個人差も僅少であった。この違いをもたらした理由は、眼前の僅か30cmという極小の空間で、しかも被験者は視標が一定距離の円弧上を移動すると承知していたからであろうか。それでもこの場合、相対的に僅少とはいえ過大視傾向が現れたのはどうしてだろうか。この実験では、正中線視標と白色視標の双方を見ることができたので、両視標の間の見えの距離が関わっていたのかもしれない。観察は片眼で行われたので、仮に視標までの距離定位が曖昧であったとすれば、いずれか一方の視標を通る前額平行面上で両視標が定位されたときの垂直距離であった可能性もある。この実験だけではよく分からないとしか言いようがない。

先に述べたとおり、この実験では仰角と俯角に対応する真上と真下の方向だけでなく、正中線の周囲360°に放射状に拡がる8方向に関して、正中線からの見えの偏角を測定した。図2にはその結果が、見えの偏角の平均実測値を実線で結んだかたちの等値線で示されている。図1で説明したように、観察者は、実験者に指示された偏角の位置に視標を調整したのであり、意味的には等値線が客観的偏角、点線で示した円形が主観的偏角であると逆の関係に見なしてよいから、等値線が、対応する偏角の点線の内側にあるとき、偏角が過大視されたことを表している。この観点から図2を目視すると、正中線から上下左右に拡がるすべての方位で、偏角10°の場合を除いておおむね偏角は若干の過大視傾向にあった。過大視の程度は、正中線の真上(0°)と真下(180°)の方向で相対的にやや大きく、偏角0°、20°、50°条件では方向による有意差が認められたので、等値線は上下に扁平な楕円といえなくもないが、多重比較の結果、真上または真下と有意に異なるのは偏角0°と20°の条件で1方向、50°条件で2方向だけであったから、等値線は総体的に楕円よりも円形に近かったと見なしてよいのではないか。つまり、眼前の小スケールの視空間は物理的空間とほぼ同程度

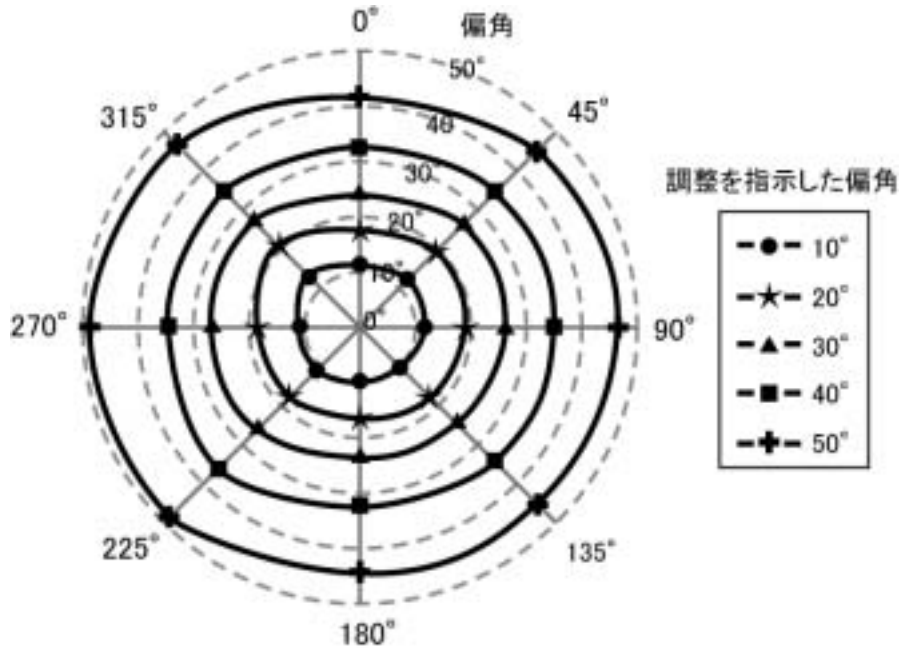


図2. 正中線から360°方向の偏角に対する指示角度と調整角度との関係. 等値線のかたちで示した実線(調整角度)が点線で表示の円(指示角度)よりも内側にあるとき, 偏角が過大に知覚されたことを意味する.

に等質で等方向的であったと考えられる。標準偏差は図示されていないが、その値は、偏角が同じであれば放射状の8方向(0°~315°)による違いはそれほど大きくはなく、同時に、いずれの方位においても、偏角が10°から10°ステップで50°まで大きくなるにつれて漸増した。ちなみに、偏角10°のときの標準偏差は0.7°から0.9°の範囲、偏角50°のときの標準偏差は2.0°から3.0°の範囲にあった。

IV

かつて筆者は、山の展望台から街並みを見下ろしたときと街中から展望台を見上げたときの実感や、スキー場のゲレンデが初心者には急勾配すぎてすくみがちになったという素朴な経験を想起して、仰角と俯角ではその知覚判断にかなりの差があるとの予想を拙著『視知覚』(1995, p.157)の中で公言したことがある。空間知覚における異方性(非等方向性)の問題であり、直立の体位では眼の位置が足元より上方にくることを勘案しても、なお上下方向の間に異方性は現れると考えていたのである。しかし、以上に述べたように、眼前の小空間はもとより、比較的大きいメートル単位の空間に関しても、この予想は実証されなかった。仰角および俯角の知覚に多かれ少なかれ過大視傾向があることは確かであったが、両者の間に差があるとは言えなかった。知覚的距離との関係も全く手付かずである。可能であれば今後、極小から巨大までのさまざまな空間スケールで、仰角と俯角を含む360°方向の見えの角度と距離について精査したいのは山々であるが、馬齢のみ重ねて先行き短い私にはもはや無理だと思われる。誰か、この問題に関心を示す人はいないだろうか。

「随想」だと断りながらも雑文を綴り過ぎた。仰角と俯角の知覚に限らず、三次元的に拡がる視空間の非等方向性については、形の知覚、大きさの知覚、距離の知覚、運動速度の知覚、等々に関

して、大昔から今日までたくさんの知見が諸先達によって蓄積されてきた。大部分は今や古典に属する素朴な研究課題であるかもしれないが、すべてが合意的に解明されているわけではないし、今なお課題として色褪せてもいない。日常の経験こそ知識の源泉であり確認の場であるから、諸先達の研究成果に学びつつ“視空間の異方性”をキイ概念に日常的な経験を科学する目で改めて探検すれば、何か新たな問題が身近なところで発見できるかもしれない。本稿の結語は、この雑文が何事に限らず若干なりとも若い人々の研究意欲を触発することになれば大変うれしいということに尽きる。

末筆ながら、このたび本学を定年退職される高木和子教授には、今後一層のご発展を心から祈念申し上げるとともに、老学徒である小職に『高木和子教授退職記念論集』に寄稿の機会を与えてくださった編集者に感謝申し上げる次第である。

(本学文学部特任教授)