

両眼立体運動視における大きさの恒常性

—ミューラー・リエール 錯視図形を用いて—

Size constancy in stereoscopic depth motion when using the Müller-Lyer illusion figure as a test stimulus.

中 村 浩
Ko Nakamura

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate size constancy in stereoscopic space where the target was in motion in depth with continuous change in binocular disparity. In the experiment the Müller-Lyer illusion figure was adopted as a stimulus figure in order to prevent subjects from judging the length of the test stimulus only on the basis of the visual angle subtended by the object, and to induce subjects to judge the apparent size of the test stimulus at apparent distance in the stereoscopic apparent space. Ten subjects took part in the experiment. Although the variance of the judged apparent size between subjects was relatively high, the mean Z quotient by Thouless, which is the most commonly used parameter for size constancy, showed high constancy in comparison with those when a static stimulus was used.

Key Words: size constancy, stereoscope, motion-in-depth, Müller-Lyer illusion

序論

3次元空間内に生活している我々にとって、周りに存在するさまざまな対象は常に我々の身体との関係でその空間内に定位されている。従って我々は、それに向かって適切に手を伸ばしてつかむことができるし、適切な位置まで対象に近づいたり、飛んでくるボールをよけることもできる。ところが手を伸ばして自分の方へ対象を近くに引き寄せたり、自分が対象の方へ移動する、あるいは対象が自分に向かって接近してくると言ったとき、それらの網膜像（近刺激：proximal stimulus）は拡大するはずであるし、その逆の場合、網膜像は縮小するはずである。しかし対象と自分との距離が変わって近

刺激のサイズが変化しても、その対象のサイズが変わったように知覚されることはない。

このように観察距離の変化に伴って近刺激が変化しても、対象をその物理的大きさに近い大きさとして知覚することを「大きさの恒常性」と呼ぶ。この大きさの恒常性に関する代表的理論として、見えの大きさが見えの距離と視角（あるいは見えの視角）の関数であるという「大きさ-距離不変仮説」が挙げられるが（Foley, 1968; Gogel, 1971）、これは通常次の式によって表されている。

$$S'/D' = K\theta^n$$

（ただしS'、D'および θ は、それぞれ見えの大きさ、見えの距離、視角を表し、Kおよび

n はいずれも定数である。)

この理論に従うならば、大きさの恒常性に関与する要因として見えの距離が第1に挙げられるのであるが、この見えの距離、すなわち奥行き知覚に影響を与えている要因には多くのものがあり、従って大きさの恒常性は見えの奥行きを規定する要因に左右されていると言い換えることも可能である。

本研究では、主要な奥行き知覚要因とされる両眼視差の要因だけを抽出するために、視線方向の見えの距離（奥行き）が両眼視差のみに依存して生じるような両眼立体視を用いて、大きさの知覚が、両眼立体視によって生じた奥行きによってどの程度影響されるかを明らかにし、それを通して両眼視差だけが奥行き知覚の手がかりとして利用可能なときの大きさの恒常性について検討する。

すなわち、我々の両眼は左右に離れて位置するために、単一の物体を注視したとき、左右の網膜像にわずかなずれが生じる。このずれが両眼視差であり、これを利用して奥行きを知覚する機能が両眼立体視である。さらにこの両眼視差を連続的に変化させることによって奥行き運動が知覚されることになる。ところが、奥行きが変わるということは距離感が変化するということであり、通常観察距離が変わるとそれに伴って網膜像の大きさも変化するのであるが、両眼立体視の場合、視覚刺激は前額平行面上で左右に運動するだけであるから、網膜像の大きさはほとんど変化しない。例えば、単一物体が実際の空間内で観察者の方に向かって接近する場合、その網膜像は大きくなるが、両眼立体視においては対象が見えの上で接近してきてもその網膜像は大きくならないので、逆に大きさが縮小するように知覚される (Fig.1 参照)。反対に遠くへ離れていく場合にも網膜像は変化しないので、離れていくに従って対象が拡大していくような見えが生じることになる。このよう

に刺激の提示方法は異なるものの両眼立体視においても大きさの知覚と奥行きすなわち距離の知覚との間に一定の関係が成立することが予測されるのである。

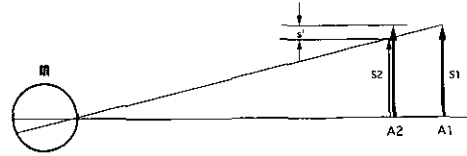


Fig. 1 両眼立体視における大きさの恒常性
A1 の位置に知覚された S1 が両眼立体視によって A2 の位置に移動すると、S1 に対する視角は変わらないので S2 のサイズに知覚される。そのために両眼立体視において手前に移動する時、対象が小さくなるように知覚されるのである。従って S1 と同じサイズの見えを A2 の位置で得るためには S2 を s' だけ大きくする必要がある。

Gogel & Da Silva (1987) は、大きさと距離に関する情報処理過程を1次過程と2次過程に分け、記憶を必要とせず、視覚刺激から直接的に与えられる情報を処理する過程を1次過程、記憶や過去経験による期待などを含んだ認知的な過程を2次過程としているが、両眼立体視の方法を用いることによって、上記の1次過程と2次過程を切り離して、1次過程における大きさの恒常現象について検討できるという利点を挙げることもできる。

ただし、両眼立体視を用いて2本の線分間に見かけの奥行き距離を産出し、実験操作として両者の長さを変えた場合、長さが異なる2線分によって構成される遠近法的奥行き感と両眼視差による奥行き感が互いに相殺し合うことになって、両眼視差要因だけを抽出することが困難になる〔中村,1996〕。例えばFig.2 のように、

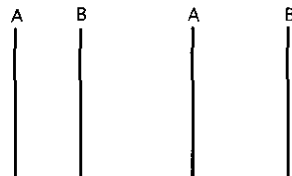


Fig. 2 垂直線の両眼立体視
上記垂線を交差法（右眼で左の2本の線分を、左眼で右の2本の線分を見る）で両眼立体視すると、線分Bが手前に浮き出て見えるはずであるが、線分Aに比べて短いことが確認できる。

両線分の長さが同じ場合、手前に浮き出て見える線分の長さは奥の方に位置する線分比べて短く見える。そして2本の線分の長さが異なって見える場合、van der Meer (1979) も指摘するように両要因間の加算効果が生じて、通常の遠近法によって短い方はより遠くに位置するように知覚され、両眼視差による奥行き関係とは全く逆の奥行き効果を生じさせるのである。このように、静止画像を用いた両眼立体視では両眼視差による奥行き要因だけを独立に抽出することが困難となるので、本実験では、一方の線分を左右に動かすことによって両眼視差を変化させて見かけの奥行き運動を生じさせ、それによって遠近法的奥行き感に比べて両眼視差による奥行き感の優位性を保つことを試みた。

しかし、Fig.2のような垂直線分による刺激を用いて、ナイーブな被験者を対象とした予備実験を行ったところ、被験者間に大きなばらつきが見られるという問題点が生じた。その理由として、被験者によっては、空間内での2線分の見えの長さを比較して判断したり、両線分の視角に注目して大きさ判断をするなど、手がかりのばらつきがあったことが考えられた。そこでもともと視角による判断が困難なミュラー・リエール錯視図形を用いることで、見えの長さだけを手がかりとして2線分の長さが比較されるような刺激条件を設定した。すなわち、あらかじめ同一前額平行面上に提示されたミュラー・リエール錯視図形における錯視量を求めておき、次に2本の線分の内一方を視線方向手前に両眼立体視上で奥行き運動をさせたときの錯視量を求め、両錯視量間の差が両眼立体視によって生じた大きさの恒常性効果だと考えたのである。

実験方法

被験者 : 札幌市内の専門学校に通う20~21歳の成人女子10名で、視力は矯正視力を含め

て全員正常範囲内である。過去に両眼立体視実験に関する経験はなく、本実験に対して全くナイーブな被験者である。

刺激 : ミュラー・リエール錯視の鋏辺が外側を向いている垂直線分(標準刺激)が左、鋏辺が内側を向いている垂直線分(比較刺激)が右に並ぶ図形を左眼、右眼それぞれに提示し、右眼に提示された図形の比較刺激(右図形)を左方向へ水平移動させることによって両眼立体視における手前への奥行き運動を生じさせた(Fig.3参照)。標準刺激線分の長さは6.8cm(視

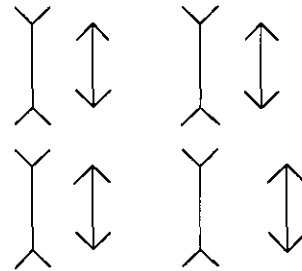


Fig. 3 実験で用いたMüller-Lyer錯視図形

図の上半分をFig.1同様交差法で両眼立体視すると2本の線分は同一前額平行面上に位置する。下半分を両眼立体視すると右線分が手前に浮き出て見える。実験では交差法ではなく平行法を用いたので右線分は左線分に接近するように移動するが、ここでは装置を用いずに交差法で立体視し易いように、実験とは逆方向へ右線分を変位させてある。(両垂直線分の物理的長さは同じである。)

角 $7^{\circ} 2'$)、鋏辺の長さは1.5cm(視角 $1^{\circ} 33'$)、鋏角は45度、標準刺激と比較刺激の間隔は3.8cm〔視角 $3^{\circ} 57'$ 〕であった。比較刺激の左方向への移動距離は0.63cm〔視角 $39'$ 〕の場合と1.26cm〔視角 $1^{\circ} 18'$ 〕の2条件を設定したが、観察距離は55cmであったため、両眼融合したときの最大奥行きを両眼視差をもとに計算すると、それぞれ5.2cmと9.5cmであった(Fig.4参照)。

比較刺激は標準刺激と同じ奥行きの位置から、4秒間で手前に移動し、最も手前に来た地点で2秒間静止、その後同じ速さで元の位置に戻るといった動作を繰り返す。比較刺激が手前に移動するとき、その長さを徐々に長くして最大

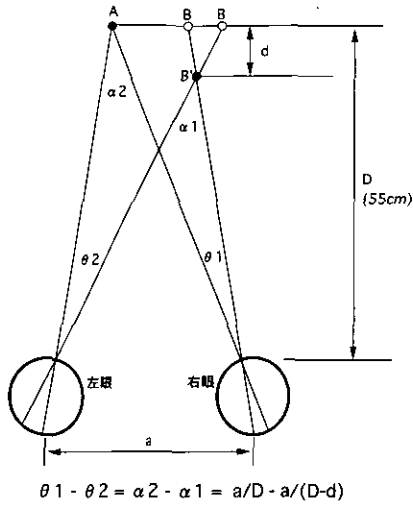


Fig. 4 両眼視差と奥行きの関係
 AおよびB'地点が両対象の結像位置となる
 D：観察距離 (55cm), a：両眼瞳孔間距離 (6 cm)
 d：対象AとBの見かけの奥行き距離

奥行きするとき最も長くなり、元の位置に戻るときは逆に徐々に短くなって、元の長さ（標準刺激と同じ6.8cm）に戻るよう設定した。そして条件ごとに、比較刺激の長さの最大変化量が0.16cmステップで異なる刺激を23刺激作成した。

両眼融合の補助具としてソキア株の反射実体鏡MS16を改造したものをを用いた。この装置を用いたときの両眼融合法は平行法となるが、被験者全員が両眼融合に成功した。

刺激作成方法： パーソナルコンピュータ用マルチメディア・オーサリング・ソフト Macromedia Director ver.4.0J のグラフィック機能およびアニメーション作成機能を用いて両眼立体奥行き運動視用の刺激を作成した。用いたパーソナルコンピュータはPower Macintosh G3で、17インチモニタ上に提示された。

実験手続： 実験は個別に実施したが、まず最初に、本実験装置による両眼融合の練習を別の刺激を用いて10分ほど実施すると同時に、提示刺激図形が両眼立体視空間内で奥行き運動した場合、手前に接近するときは縮小し、逆に

奥へ後退する場合は拡大することを確認させた。

実験試行では、最初に両線分間に奥行きの違いがない状態でミュラー・リエール錯視量を完全上下法 (ADDA法) 8試行によって求めた。この場合、比較刺激の長さを実験者が変化させ、両線分が同じ長さになったと判断したところで合図してもらい、それを主観的等価値 (PSE) とした。

比較刺激が奥行き運動をする条件におけるPSEは極限法によって求めた。すなわち最大奥行きが異なる条件ごとに、比較刺激の長さが徐々に長くなるが、最大のときの長さが異なる23種類の奥行き運動刺激を順次提示し、各刺激ごとに、比較刺激が最も手前の位置に来たときに「それが標準刺激よりも長い・短い・同じ」の3件法による判断を求めた。実験は両条件とも、ADDA法各2回、計8試行実施した。なお被験者は、各試行において3件法による判断をするまでの間、何回でも比較刺激線分の奥行き往復運動を観察することができた。最後に同じ奥行きにおけるミュラー・リエール錯視量をADDA法8試行によって再度測定し、本実験で基準となる錯視量に変化がないことを確認した。また奥行きが異なる2条件の実施順序は被験者間でカウンターバランスした。

観察距離は55cmで、被験者の頭部は顔面固定器によって固定したが、モニタ上に凝視点は設けず、自由に目を動かすことは可能であった。

結果

各被験者ごとに、奥行きが無い条件、奥行き移動量が小さい条件、奥行き移動量が大きい条件における錯視量を求め、各奥行き運動条件から奥行き運動が無い条件の錯視量を差し引いて恒常性データ、すなわち奥行き運動に伴う線分の縮小を補うために必要とした線分長さの増加量とした。そして各被験者の条件ごとの錯視量

および基準錯視量との差を示したものがTable 1 である。被験者間のばらつきは大きいものの10名の恒常性データを平均し、代表的な恒常性指数と考えられているThoulessのZ指数（脚注1）を求めたところ、奥行き移動量が少ない条件では1.02、奥行き移動量が大きい条件では0.89と恒常性の高い値が得られた。

考察

平均Z指数についてみると、恒常性の高い結果が得られたことから、両眼立体視空間内での大きさの恒常性が、通常の視空間内での恒常性同様あるいはそれ以上の値を示すことが明らかとなった。

高い恒常性が認められた一つの要因として、本実験において奥行き運動をする比較刺激を用いた点を挙げることができる。すなわちNoguchi & Taya (1981) と戸沢 (1988) は実際の空間の中で対象を動かしたときと静止させているときの大きさの恒常性について調べ、運動対象に対する恒常性のほうが高いことを示しているが、本実験では視差の連続的变化によるものとはいえ、見えの上では奥行き運動をしている対象を観察したのであるから、同様の効果が生じて高い恒常性が得られたものと思われる。ただし上記実際の空間における実験で得られたZ指数は0.7~0.8であり、本実験結果はそれよりもさらに高い値であった。Gogel & Da Silva (1987) は、大きさと距離に関する情報処理過程を1次過程と2次過程に分けて、1次

過程における大きさの処理は「大きさ-距離不変仮説」に一致すると述べているが、本実験では標準刺激と比較刺激が同一両眼立体視空間内に存在していたために、視覚刺激から直接的に与えられる情報を処理する1次過程での処理結果が現れていると考えられる。それに対してNoguchi & Taya (1981) および戸沢 (1988) の実験では、標準刺激と比較刺激が異なった空間に提示されたために、両者を比較する際に記憶の操作が必要となり、そのために2次過程における処理が必要となって、本実験結果に比べて低いZ指数が得られたのではないかと考えられる。

ただしTable 1 に示すように、本実験結果における被験者間のばらつきが大きいことは検討が必要な問題と言えよう。両眼立体視空間とは、パソコンモニタ上に提示された図形を両眼融合することによって作り上げられた架空の空間であって、周囲に奥行き手がかりがほとんど存在せず、両眼視差（それによって生じる両眼網膜像差）とわずかな両眼輻輳だけが奥行きの手がかりになるだけの見かけの空間である。そのためこの特殊な空間に対する奥行き情報があいまいとなって、標準刺激そのものの定位が被験者間で異なっていた可能性があることが結果のばらつきの一つの理由として考えられる。ただし、一旦標準刺激が定位されるとそれを基準とした見かけの空間が構成され、その空間内で大きさの判断をしていることは結果からも予測される。この点を検証するために、奥行き量

Table 1 被験者ごとの増加量および基準錯視量との差 (mm)

| 視差\被験者No | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 pixels | 7.0 | 7.0 | 12.1 | 11.5 | 17.6 | 7.1 | 13.9 | 18.1 | 19.3 | 19.0 |
| 20pixels (視角39') | 17.2 | 12.4 | 23.5 | 14.3 | 23.5 | 16.5 | 23.3 | 22.9 | 24.9 | 20.7 |
| 40pixels (視角1°18') | 21.1 | 14.2 | 29.1 | 17.7 | 26.1 | 25.0 | 24.6 | 25.0 | 28.6 | 26.2 |
| 錯視量との差 (20) | 10.2 | 5.5 | 11.4 | 2.8 | 5.8 | 9.5 | 9.4 | 4.8 | 5.6 | 1.7 |
| 錯視量との差 (40) | 14.1 | 7.2 | 17.0 | 6.2 | 8.4 | 18.0 | 10.7 | 6.9 | 9.3 | 7.2 |

が異なる二つの条件における恒常性データに一貫性が認められるか否かを調べてみた。すなわち、もし標準刺激を基準とした空間構成が各被験者内である程度堅固なものであるとするならば、奥行きが異なる2条件における増大量の間には高い相関が得られるはずである。そしてこの関係を示したものが Fig.5 であるが、この図から明らかなように、両条件間の増大量には高い相関が認められており、見えの上で構成した両眼立体視空間には被験者間のばらつきはあるものの、各被験者内ではある程度堅固な見かけの空間が構成されていることが考えられる。

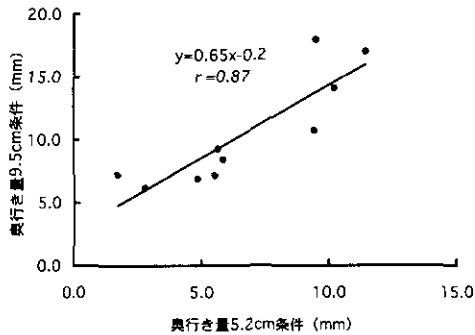


Fig. 5 奥行き条件間の増大量の関係

また、交差法を用いて両眼立体視における恒常性知覚実験を行った中村 (1996) は、2線分間の奥行きの距離が大きくなると恒常性指数も低下すると報告している。中村の報告では、奥行き距離が2cm程度までは本実験結果と同様高い恒常性指数が示されているが、奥行き距離が3cm程度になると0.5~0.6に低下しており、これは本実験結果とは異なる点である。この違いについては、交差法で両眼融合した場合、結像する地点の距離がかなり近くなる（およそ観察距離の半分）のに対して、平行法の場合はほぼ観察距離の地点に結像することから奥行きの幅が大きくなり、そのために奥行きが9.5cmの条件においても高いZ指数が得られたものと考えられる。ただし、本実験結果においても奥行き距離が大きい条件では小さい条件に比べてZ指

数が小さくなる傾向が認められており、奥行き距離がさらに大きくなった場合には恒常性がさらに低くなる可能性もあり、今後この点について検討する必要があると考えられる。

また本実験では、比較刺激が手前に接近する条件だけを用いたが、Toyama, Komatsu, Kasai, Fujii & Umetani (1985) によってネコの大脳皮質運動野 (Clare-Bishop野) に接近運動と後退運動に選択的に反応する細胞が存在することが確認されており、またヒトについて Regan & Bevery (1978, 1979) や Perrone (1986) は、大きさの拡大 (接近) と縮小 (後退) を処理するそれぞれ異なった系が存在することを示唆しており、今後は比較刺激が後退する条件を含めて両眼立体視における大きさの恒常性について検討を加える必要があろう。

脚注：

ThoulessのZ指数 = $(\log S - \log P) / (\log W - \log P)$

S：標準刺激と等しく見える比較刺激 (主観的等価値)

W：標準刺激

P：標準刺激と等しい近刺激を与える比較刺激

引用文献

- 1) Foley, J.M. 1968 Depth, size and distance in stereoscopic vision. *Perception & Psychophysics*, 3, 265-274.
- 2) Gogel, W.C. 1971 The validity of the size-distance invariance hypothesis with cue reduction. *Perception & Psychophysics*, 9, 92-94.
- 3) Gogel, W.C. & Da Silva, J.A. 1987 A two-process theory of the response to size and distance. *Perception & Psychophysics*, 41, 220-238.
- 4) Meer, H.C. van der 1979 Interrelation of

- effects of binocular disparity and perspective cues on judgments of depth and height. *Perception & Psychophysics*, **26**,481-494.
- 5) 中村 浩 1996 両眼立体運動刺激を用いた大きさの恒常性知覚研究—その予備的考察—. 杉山善朗教授退職記念論文集, 193-199.
 - 6) Noguchi,K. & Taya,K. 1981 A neglected problem: Kinetic size constancy. *Acta Psychologica*, **48**,187-194.
 - 7) Perrone,J.A. 1986 Anisotropic responses to motion toward and away from the eye. *Perception & Psychophysics*,**39**,1-8.
 - 8) Regan,D. & Beverly,K.I. 1978 Looming detection in the human visual pathway. *Vision Research*,**18**,415-421.
 - 9) Regan,D. & Beverly,K.I. 1979 Bino-cular and monocular stimuli for motion in depth : Changing-display and changin-size feed the same motion-in-depth. *Vision Research*, **19**,1131-1342.
 - 10) 戸沢純子 1988 視線方向に運動する対象の大きさの恒常性. 日本大学心理学研究, **9**,1-11.
 - 11) Toyama, K. , Komatsu,Y., Kasai,H., Fujii,K. & Umetani,K. 1985 Respon-siveness of Clare-Bishop neurons to visual cues associated with motion of stimulus in three-dimensional space. *Vision Research*,**25**,407-414.