

# 両眼非対応の変化に伴う二種類の大きさ知覚変化

金子 寛彦・内川 恵二

## 研究

## 両眼非対応の変化に伴う二種類の大きさ知覚変化

金子 寛彦・内川 恵二

東京工業大学総合理工学研究科 〒227 横浜市緑区長津田町 4259

(1991年11月20日受付, 1992年2月5日受理)

## Two Kinds of Perceived Size as a Function of Binocular Disparity

Hirohiko KANEKO and Keiji UCHIKAWA

Department of Information Processing, Tokyo Institute of Technology Graduate School,  
4259, Nagatsuta, Midori-ku, Yokohama 227

(Received November 20, 1991; Accepted February 5, 1992)

The effects of binocular disparity on perceived size were investigated by simultaneous matching method using two size instructions. Clear differences were found between two instructions. The instruction of "perceived visual angle" yielded consistent results among three subjects that mainly depended on not absolute distance but physical visual angle and binocular disparity. Under the "objective size" instruction, results, which varied with the subjects, depended on not only visual angle and binocular disparity but also absolute distance and other depth cues. These findings suggest that perceived visual angle is directly determined by physical visual angle and binocular disparity, whereas the objective size is related to perceived depth.

## 1. はじめに

外界の対象物の知覚的大きさは、観察距離が変化し、それに応じてその物体が網膜上に張る視角が変化しても恒常を保つ。この現象は大きさの恒常性と呼ばれる。知覚的大きさに関する研究は古くから数多く行われているが、代表的な実験方法は、さまざまな距離に呈示されたテスト刺激を一定距離にある比較刺激と継時的に比べるというものである<sup>1-6</sup>。この方法による研究によって、奥行き手がかりが豊富なほど大きさの恒常性が増すことが知られている<sup>1,6</sup>。またステレオスコープ等を使った条件でも知覚的大きさに関する研究が行われている<sup>7-14</sup>。この場合、輻輳<sup>7-14</sup>、両眼非対応<sup>9,10</sup>、調節<sup>12,13</sup>といった手がかりのみの寄与を調べることが可能である。この場合でも、視角が一定なら、各手がかりから予想される理論的距離が小さくなるほど知覚的大きさは減少するという、恒常的な大きさの知覚をもたらず変化が得られている。

知覚的大きさの応答は、被験者に与えるインストラクションによって影響を受ける<sup>3-6,11,14-17</sup>ことが知られて

いる。インストラクションは、対象の実際の大きさ (objective size<sup>3-6,14,16,17</sup>, linear size<sup>11,15</sup>) と見かけの大きさ (apparent size<sup>3,4,6,16</sup>, angular size<sup>11,15</sup>, analytic<sup>14</sup>, phenomenal<sup>17</sup>) に対応する2種を用いる場合が多いが、さらに細かく分類する場合もある<sup>4-6</sup>。このような実験結果は、「大きさ」というものが単一の概念ではないということを示すものであろう。この2種の知覚的大きさは日常的にも無意識に区別されていると思われる。たとえば自分から異なる距離に立つ、身長の違いを観察した場合について考える。Aという身長2mの人間が10mの距離に、Bという身長1.5mの人間が5mの距離に立っているとすると、Aは視角11.3 deg、Bは視角16.7 degである。このときAの身長が大きいという応答ができる一方、Aの見かけが小さいという応答も可能であろう。前者が「実物の大きさ」の応答であり、後者が「見かけの大きさ」である。本研究では後者のことを、「見かけの視角」(perceived visual angle)と呼ぶことにする。

「大きさ」が二つあるいはそれ以上の感覚に分けられることは過去の研究でも示唆されている。しかしそれらの多くは単に現象を記述しているにすぎず、人間の視覚系

が外界を知覚するために使っている両眼非対応、輻輳といった種々の手がかりとそれらの大きさの知覚との関係を定量的に扱ったものは少ない。しかしこの二種類の知覚の大きさが存在するなら、両眼非対応によって生じたわずかな奥行きによっても、それらの間に違いが生じるはずである。知覚の大きさが2種に分けられるならば、それらを決定している要因が何であるか調べることは、視空間内の物体の大きさ知覚決定のメカニズムを考える上で重要であろう。2種の知覚の大きさは、それぞれ異なる要因によって別々に決まっているのか、または単に一つの知覚を別の基準で答えている結果なのか、ということも問題である。

そこで本研究では両眼非対応を変数とし、それとこの二種類の知覚の大きさとの関係を定量的に調べることを目的とする。両眼非対応または輻輳の手がかりのみをコントロールするために、刺激はステレオスコープにより呈示する。そして被験者は、テスト刺激と比較刺激の大きさを同時マッチングする。今回用いる方法により、わずかな知覚の大きさの差異が定量的に調べられると考えた。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験装置

装置としては三つの光路からなるステレオスコープを用いた (Fig. 1)。これらの光路は2枚のハーフミラーによって、光学的に重ね合わされている。

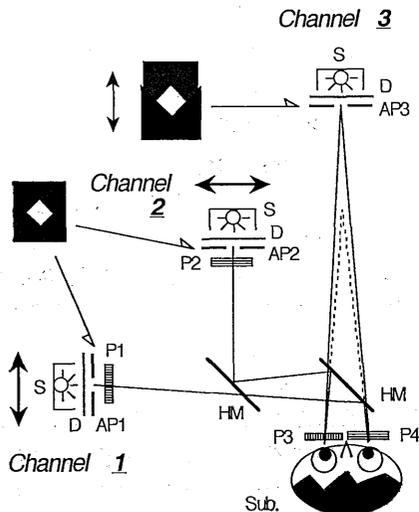


Fig. 1 Schematic top view of the apparatus. S: light source, D: defuser, P1-4: polarizing filter, AP 1-3: aperture, HM: half mirror, Sub.: subject.

光路1および2には、被験者の視軸に対して水平方向に移動する、刺激呈示ボックスがある。刺激呈示ボックス中の4Wの蛍光灯が側面にあるひし形のアパーチャー AP1, AP2 を裏面より照射する。刺激の大きさはアパーチャーを交換することにより、変えることができる。また刺激呈示ボックスの前と被験者の左右の眼前に偏光板 P1, P2 と P3, P4 が配置されて、光路1の刺激は右眼に、光路2の刺激は左眼に選択的に呈示される。被験者はこれらを融合し奥行きのある一つの刺激として観察する。この刺激をテスト刺激と呼ぶ。光路1, 2の刺激の水平位置はパルスモーターとマイクロコンピュータによりコントロールされ、任意の輻輳を定めることができる。テスト刺激の観察距離は1mである。

光路3の刺激も、光路1, 2と同様にひし形であり、アパーチャー AP3の背後から蛍光灯により照射されている。この刺激を比較刺激と呼ぶ。比較刺激は両眼で観察される。このアパーチャー AP3は、DCモーターにより逆方向に動く2枚のV字型のアパーチャーから作られている。被験者はスイッチによって、形状と中心位置を変えずに刺激の大きさを変えられる。比較刺激の観察距離は1.1, 2.0, 3.0mの3種類を用いた。

テスト刺激と比較刺激は同時に観察される。各刺激の輝度は約0.1 cd/m<sup>2</sup>である。ここでは、刺激の輝度を低くし、偏光板による左右眼への選択的照射呈示を完全にし、また刺激の周囲が見えないように特に注意した。低輝度のために立体視が劣化するようなことは観察されなかった。さらに刺激の周囲が見えてくることを防ぐために、被験者は明順応用のライトを刺激観察の合間に見るようにした。また刺激観察中の暗順応による見えの変化は観察されなかった。被験者の頭部位置は、あご台およびヘッドレストにより固定した。

### 2.2 実験条件および手順

実験は刺激を両眼で観察する両眼条件と、刺激を単眼で観察し両眼非対応の手がかりが得られない単眼条件とからなる。

テスト刺激のひし形の辺の長さ ( $S_t$ ; size of a test stimulus) は、20, 28, 36 mmの3種であり、両眼条件の場合左右の眼に入力される刺激は同一の大きさである。これらの刺激から被験者の眼までの距離 ( $D_t$ ; distance of a test stimulus) は1mであるので、その視角 ( $\theta_t$ ; visual angle ( $\theta$ ) of a test stimulus) はそれぞれ 1.15, 1.60, 2.06 degである。

比較刺激のひし形の辺の長さ ( $S_c$ ; size of a comparison stimulus) は、先に述べたように可変であり、

変化の範囲は 7~148 mm である。また被験者との距離 ( $D_c$ : distance of a comparison stimulus) は, 1.1, 2.0, 3.0 m の3種である。

両眼条件の場合, テスト刺激と比較刺激の間の両眼非対応 (disparity =  $V_t - V_c$ ;  $V_t$ : vergence angle of a test stimulus,  $V_c$ : vergence angle of a comparison stimulus) は, +2.0, +1.0, +0.5, 0.0, -0.5, -1.0, -2.0 deg の7種である。これらは, 3種の  $D_c$  に対してそれぞれ設定された。+符号は, テスト刺激が比較刺激に対して理論的に近距離 (交差視差) の場合, -符号は遠距離 (非交差視差) の場合である。またこれらの刺激の両眼非対応 0.0 deg は, 比較刺激に対しテスト刺激が等距離であると“知覚”される場合であると定義した。この位置を基準として他の6種の両眼非対応を作り出すように, 二つのテスト刺激の位置を左右に移動する。比較刺激の距離が 2.0, 3.0 m でテスト刺激の両眼非対応が -2.0 deg の場合は, テスト刺激を見たときの輻輳角が負の値であり実際には有り得ない。しかし, 各被験者はこのようなテスト刺激を融像して単一視することができ, 比較刺激に対して奥行きも知覚できた。単眼条件の場合は, 両眼で観察したとき両眼非対応が +2.0, 0.0, -2.0 deg となる刺激を左眼のみで観察した。

テスト刺激と比較刺激は同時に呈示されるが, 両眼条件の場合, これらは被験者から見て上下に並んで位置している。比較刺激の中心が被験者の眼の高さと同じであり, テスト刺激はその中心が比較刺激の下方 4 deg の方向になるように呈示される。このような上下の配置を用いたのは, テスト刺激および比較刺激各々の左右像の対応が容易になされるためである。単眼条件の場合の刺激の位置関係は, 両眼で観察したときに両眼非対応が +2.0 deg となる刺激では比較刺激に対してテスト刺激が右方に, 0.0 deg の場合は真下に, -2.0 deg の場合は左方にずれている。

実験では, まず両眼非対応 0.0 deg の位置を決める。左右のテスト刺激を動かすパルスモーターの動作性能が 1パルスあたり 0.4 mm であるので, この単位でテスト刺激の知覚を奥行き方向に動かし, これが比較刺激の真下で等距離に知覚されるように調整した。この調整は実験の各セッションごとに行った。その後テスト刺激と比較刺激が同時に呈示され, 被験者は両刺激の“実物の大きさ”または“見えの視覚”(これらのインストラクションについては, 後述する)を等しくするように, スイッチ操作によって比較刺激の実際の大きさを調整する。また被験者に, 左右眼に呈示されるテスト刺激が融合して単

一視されない場合は, 実験を行わず実験者に報告するようにインストラクションした。このとき眼球運動, および観察時間は制限していない。またこの調整の過程で, 被験者のスイッチ操作により, 比較刺激の大きさが変化している間は, この刺激の光は消えている。これは物理的な大きさの時間的な変化が, 相対的距離知覚の新たな手がかりになることを防ぐためである。比較刺激の可変範囲内でマッチングができない場合は, 被験者は比較刺激を最も大きく, または小さくした状態で観察し外挿して答える。また被験者は各トライアルの間, 刺激呈示窓の左方にある明順応用の光源を見る。

刺激条件の組み合わせは, 両眼条件では 63 種 ( $3 (D_c)$ ; 比較刺激の距離)  $\times 3 (S_t)$ ; テスト刺激の実際の大きさ)  $\times 7$  (disparity; テスト刺激と比較刺激の間の両眼視差) あり, 単眼条件は 27 種 ( $3 (D_c)$   $\times 3 (S_t)$   $\times 3$  (位置)) あり。それぞれの条件に対し 2 通りの大きさマッチングを行う。各被験者は各条件において 4 回の繰返しを行った。両眼 14 応答 ( $1 (D_c) \times 1 (S_t) \times 7$  (disparity)  $\times 2$  (応答)) と単眼 6 応答 ( $1 (D_c) \times 1 (S_t) \times 3$  (位置)  $\times 2$  (応答)) の合計 20 応答を 1 セットとし, この中で異なる刺激条件はランダムに呈示される。また  $S_t$  の異なる 3 セットを 1 セッションとし, 続けて実験を行った。 $S_t$  の順番はランダムである。各被験者は,  $D_c$  とインストラクションの異なるものを, 合計 12 セッション行った。各被験者は一方のインストラクションによる実験が終わった後, もう一方に移った。また  $D_c$  の順番は被験者間でバランスをとった。

### 2.3 インストラクション

大きさマッチングする際に被験者に与えた 2 通りのインストラクションを以下に示す。

#### “実物の大きさ” マッチング

「刺激それ自体の大きさを等しくする。たとえば, 一方の刺激をもう一方の刺激があると知覚される位置に移動すると, 正確に重なるという見え方に基づいた判断。または定規を使ってそれぞれの刺激の大きさを測ると同じになるだろうという判断をする。」

#### “見えの視角” マッチング

「刺激の見えたままの大きさを等しくする。たとえば, 二つの刺激のうち自分に近い方が, 日食の時の月のように, 後方の刺激を覆い隠すような見え方に基づいた判断。または, 二つの刺激を写真に撮ると, それらがフィルム上で同じ大きさで写っているだろうという判断をする。」

2.4 被験者

男性3名 (TY, IK, HK) を被験者として用いた. 全員心理物理学の実験の経験を有する. TY, HK の2名は視力矯正をして実験を行った. またステレオグラムにより, 被験者全員が通常の立体視機能を有していること (少なくとも, 2分の両眼非対応が検出可能) を確かめた.

3. 実験結果

Fig. 2~4 に, 被験者 TY, IK, HK の両眼および単

眼観察時の結果をそれぞれ示す. 各図中で, 円形シンボルは両眼条件, 四角シンボルは単眼条件の結果である. また上から比較刺激の距離  $D_c=1, 100, 2,000, 3,000$  mm の結果である.

両眼の結果では, 各グラフの横軸は比較刺激に対するテスト刺激の両眼非対応であり, プラスの符号は交差視差, マイナスは非交差視差である. 縦軸は大きさマッチングしたときの比較刺激の実際の大きさ ( $S_t$ ) である. 各グラフ中の黒シンボルは“実物の大きさ”マッチング, 白シンボルは“見えの視角”マッチングの結果を示す. シンボルの大きさの違いはテスト刺激の実際の大きさ ( $S_t$ ) の条件に対応し, 大きいものから順に  $S_t=36, 28, 20$  mm の結果である. 両眼の場合, 各点は4回の応答の平均であり, 外挿による応答を含むものには, \*印を付けた. 一方, 単眼の場合では, テスト刺激の横方向のずれの違いによる影響はなかったため, 各点は位置の違いを含めた12回の応答の平均である. また各グラフ中の3本の点線は, 3種の  $S_t$  が張る物理的な視角の値に相当する. また誤差棒は SD を示すが, 多くの場合

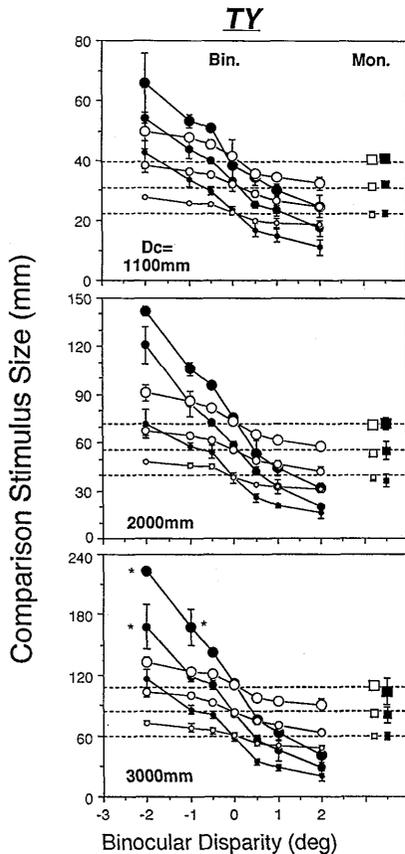


Fig. 2 Matched size of a comparison stimulus in the monocular viewing condition (square symbol) and in the binocular viewing condition (circle symbol) as a function of binocular disparity under two sets of instructions for three comparison stimuli distances ( $D_c$ ). The closed and open symbols show the results of “perceived visual angle” and “perceived objective size” instructions, respectively. Symbol sizes indicate the size of test stimuli ( $S_t$ ): 36 mm (large), 28 mm (middle) and 20 mm (small). Vertical bars represent standard deviations.

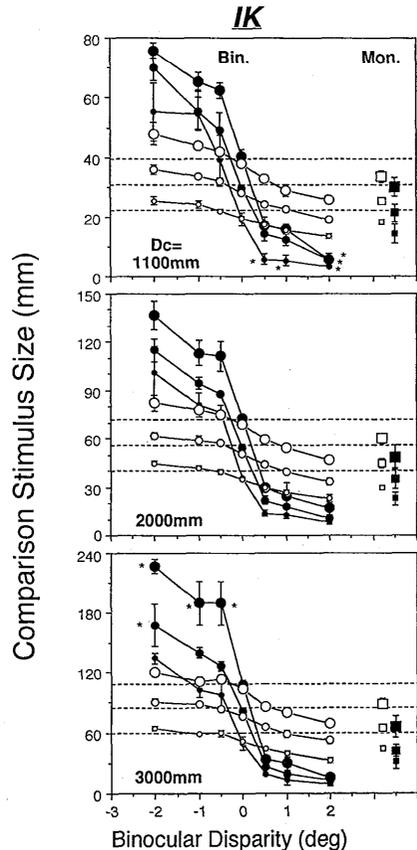


Fig. 3 Same as Fig. 1, but for the subject of IK.

(特に被験者 HK) の結果において SD はシンボルの大ききより小さい。

両眼条件の結果より、各被験者とも、すべての  $D_c$  条件、およびインストラクションの違いによらず、両眼非対応量が  $-2.0 \text{ deg}$  から  $+2.0 \text{ deg}$  に大きくなるに従って、大ききマッチングしたときの比較刺激の大ききが小さくなること確認された。これは、視角が一定なら近い刺激が相対的に小さき知覚されることを示している。この結果は大ききの恒常性から予想される方向であり、過去の研究<sup>7-14)</sup>と矛盾がない。またテスト刺激の物理的大きき (シンボルの大きき) が大ききなるにつれて、その知覚的大ききも大ききになっている。同一距離に知覚される刺激 (両眼非対応  $0.0 \text{ deg}$ ) において、被験者 TY, HK は、ほぼ物理的な視角どおりのマッチングを行ったが、被験者 IK の結果は、理論的な値よりもやや下回っている。また各被験者ともインストラクションによって、明らかに異なる結果を示した。

また Fig. 5 に Fig. 2~4 より  $D_c=2,000 \text{ mm}$ ,  $S_t=36 \text{ mm}$  の3人の被験者の結果を抜き出してリプロット

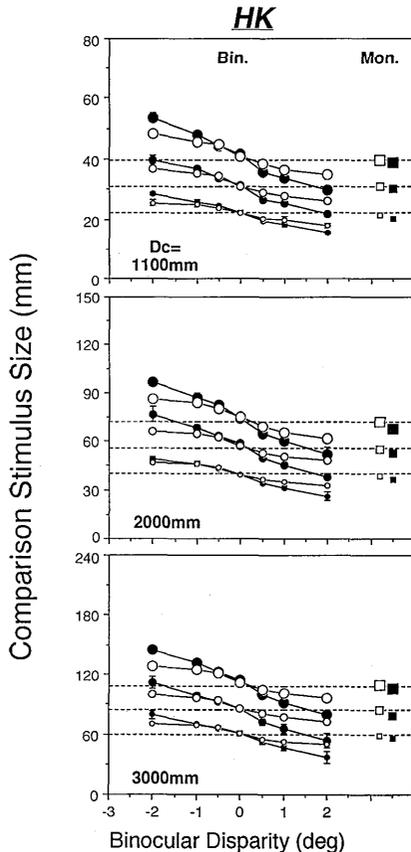


Fig. 4 Same as Fig. 1, but for the subject of HK.

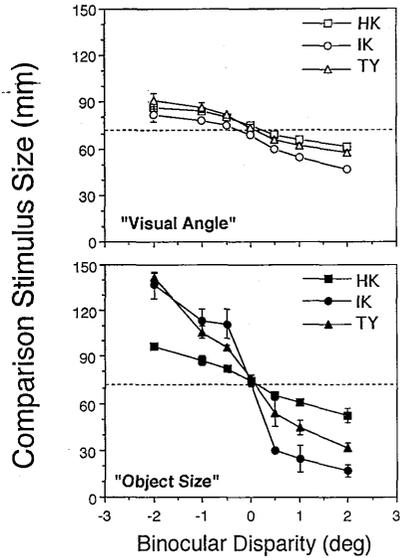


Fig. 5 Matched size of a comparison stimulus in the binocular viewing condition as a function of binocular disparity under “perceived visual angle” instruction (upper figure) and “perceived objective size” instruction (lower figure) for three subjects. Vertical bars represent standard deviations.  $S_t$ :  $36 \text{ mm}$ ,  $D_c$ :  $2,000 \text{ mm}$ .

したグラフを示す。上の図は“見えの視角”下は“実際の大きき”マッチングの結果である。これより“見えの視角”マッチングでは、3人の被験者が同様の形状の曲線を示したのに対し、“実際の大きき”マッチングでは個人差が大ききことが明らかである。この傾向は他の  $D_c$ ,  $S_t$  の条件でも同様である。

単眼条件では、被験者 TY, HK の場合にはインストラクションによる影響はあまり見られなかった。また彼らの場合、両マッチングは物理的な視角に基づいたものであった。一方被験者 IK の場合は、すべての場合において“実際の大きき”マッチングの結果が“見えの視角”マッチングの結果より小さい値であり、どちらも物理的な視角よりも常に小さきかった。

#### 4. 考 察

##### 4.1 見えの視角

実験結果より、“見えの視角”マッチングは、被験者内で安定しており、被験者間でも同様の傾向を示すことがわかった。そこでまず、この見えの視角について考察する。

実験では3種の比較刺激の距離 ( $D_c$ ) を用いたが、この違いによって刺激間の両眼非対応が同じでも絶対的な

輻輳角の大きさが異なる。そこで見えの視角に及ぼす  $D_c$  の影響を調べる。Fig. 6 は、両眼の場合の見えの視角の結果 (Fig. 2~4) をリプロットしたものである。各グラフは各被験者の結果であり、横軸は Fig. 2~4 の両眼のグラフと同様に両眼非対応であるが、縦軸は視角である。そして各点は比較刺激の大きさ ( $S_c$ ) を  $D_c$  に応じて換算した物理的な視角である。各グラフには、テスト刺激の大きさ ( $S_t$ ) と  $D_c$  に応じた 9 本のデータがプロットしてあり、3 本の直線は 3 種の  $S_t$  に対応する物理的視角である。

3 人の被験者の結果とも、9 本のデータが 3 本ずつまとまっている。これは、 $S_t$  が同一ならば、 $D_c$  の異なる場合でも結果がよく一致していることを示している。このことより、少なくともこの実験で用いた  $D_c$  の範囲内では、絶対的な輻輳の値に関わらず、対象間の両眼非対

応によって、テスト刺激と比較刺激の間の相対的な“見えの視角”が決まっていると考えられる。

Fig. 7 に、大きさマッチング時における、テスト刺激に対する比較刺激の視角の比をプロットしたグラフを示す。左列のグラフは両眼、右列は単眼の結果である。両眼のグラフの横軸はこれまでのグラフと同様、両眼非対応である。各グラフは被験者の違いであり、シンボルの違いは  $S_t$  に対応しており、大きいものから順に  $S_t = 36, 28, 20$  mm の結果である。各点は、 $D_c$  の異なるものをまとめてあり、両眼の場合は 12 応答、単眼の場合は 36 応答の平均である。また誤差棒は SD を示す。

これより、両眼の場合は視角の比が両眼非対応 0.0

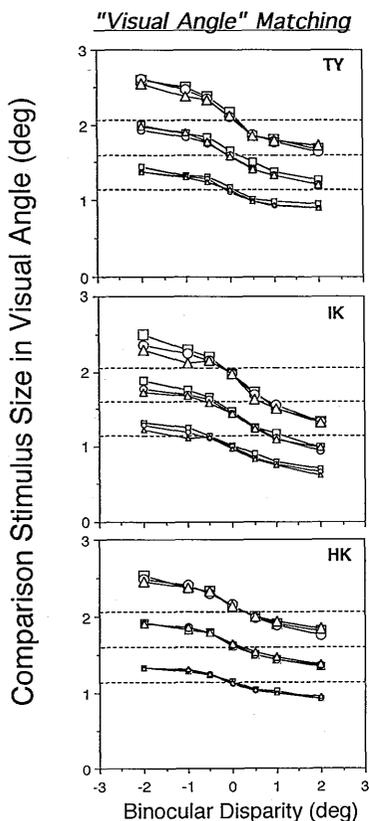


Fig. 6 Matched size of a comparison stimulus in visual angle as a function of binocular disparity under “perceived visual angle” instruction for three subjects. Symbol sizes indicate  $S_t$ : 36 mm (large), 28 mm (middle) and 20 mm (small). Symbol shapes indicate  $D_c$ : 1, 100 mm ( $\square$ ), 2, 000 mm ( $\circ$ ) and 3, 000 mm ( $\triangle$ ).

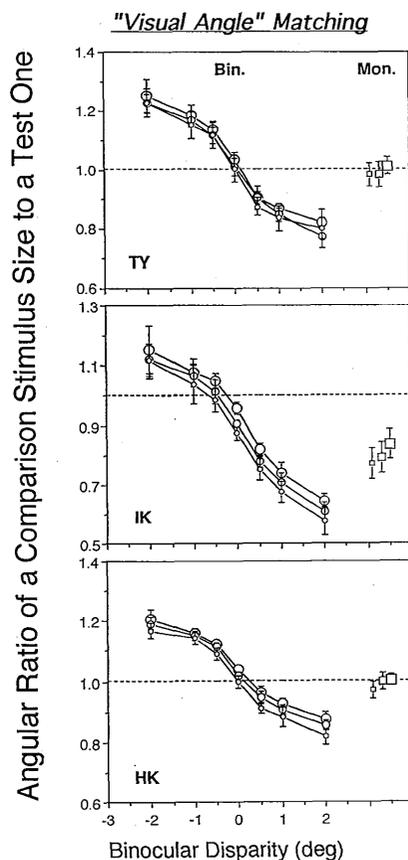


Fig. 7 Angular ratio of a comparison stimulus size to a test one averaged in each  $D_c$  in the monocular viewing condition (square symbol) and in the binocular viewing condition (circle symbol) as a function of binocular disparity under “perceived visual angle” instruction for three subjects. Symbol sizes indicate  $S_t$ : 36 mm (large), 28 mm (middle) and 20 mm (small). Vertical bars represent standard deviations.

deg 付近を中心にS字型の曲線を描いていることが明らかである。被験者 TY, HK の場合は、両眼非対応 0.0 deg の場合に視角の比がほぼ 1.0 になっている。一方 IK の場合は曲線全体が下方に移動しているが、形状は同様である。そして IK の結果に、あるいは HK においても若干であるが、 $S_t$  の大きい条件ほど視角の比が大きいという傾向が多少見られる。しかしそれはグラフの形状には影響を及ぼしてはいない。一方単眼の場合では、被験者 TY, HK は物理的な視角ごりのマッチングを行っていることが確認される。また被験者 IK の結果は全体に下方にずれているが、この被験者は両眼の場合も同様の傾向があり、単眼の結果は両眼時の視差 0.0 deg の結果と近い値を示している。また、 $S_t$  の影響が3人の被験者において若干見られるが、両眼の場合と同様、顕著ではない。

以上の結果は“見えの視角”の比が、両眼非対応を変数として非常に安定して決まっていることを示している。本研究で“見かけの視角”と表現している感覚が過去の研究では apparent size<sup>3,4,6,16)</sup>, angular size<sup>11,16)</sup>, analytic size<sup>14)</sup>, phenomenal size<sup>17)</sup> といったようにさまざまな呼び方をされている。しかし、今回の単眼条件

の“見えの視角”マッチングが、物理的な視角を等しくすることにほかならなかったことを考慮すると、この感覚が“視角”に対する感覚であることを示していると思われる。すなわちこの感覚を表現するためにはやはり“見かけの視角”または“視角に対する感覚”といったものが適当なのではないか。

#### 4.2 実物の大きさ

次に“実物の大きさ”マッチングについて考察する。

Fig. 8 に、両眼条件の実物の大きさ応答の結果 (Fig. 2~4) をリプロットしたものを示す。これは、Fig. 6 と同様に、Fig. 2~4 の各点の値を  $D_c$  に応じて視角に換算したものである。9枚のグラフは、縦方向に同一被験者の結果が並んでおり、横方向は同一のテスト刺激の大きさ ( $S_t$ ) である。各グラフの横軸はこれまでと同様に両眼非対応であり、シンボルの違いは比較刺激の距離 ( $D_c$ ) に相当する。

これより多くの場合で、 $D_c$  によって異なる結果を示していることが確認される。たとえば、被験者 TY の各グラフで、 $D_c=1,100$  mm の結果 (■シンボル) は  $D_c=2,000, 3,000$  mm の結果と比べて、両眼非対応が正の場合はより大きい値を示し、両眼非対応が負の場合

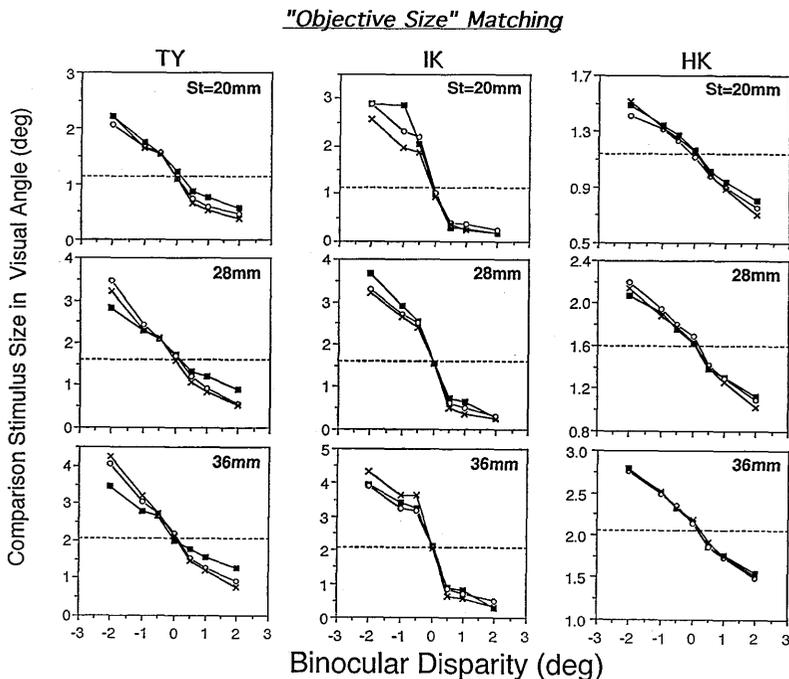


Fig. 8 Matched size of a comparison stimulus in visual angle as a function of binocular disparity under “perceived objective size” instruction for three subjects and three  $S_t$ . Symbol shapes indicate  $D_c$ : 1,100 mm (■), 2,000 mm (○) and 3,000 mm (×).

は小さくなっている ( $S_t=20$  mm の場合以外). マッチングの結果が, 両眼非対応が正の場合は  $D_c$  が大きくなるに連れて小さく, 両眼非対応が負の場合は  $D_c$  が大きくなるに連れて大きくなる, という傾向は, 被験者 HK の  $S_t=20, 28$  mm と IK の  $S_t=28, 36$  mm の, 両眼非対応が正の領域でも見られる. これは“見えの視角”マッチングの結果とは明らかに異なる. すなわち“実物の大きさ”に対する知覚は, 両眼非対応のみの関数ではなく比較刺激の距離 ( $D_c$ ) に影響されることを示している.

上の結果, すなわち“実物の大きさ”マッチングが達成された時点の比較刺激の視角 ( $\theta_c$ ) が, 両眼非対応が正の場合は  $D_c$  が小さいほど大きい値になり, 負の場合は  $D_c$  が小さいほど小さくなるという傾向は, 以下のよう説明することができる. ある一定の両眼非対応量とそれに対応する実際の物理的距離の関係は下の式で表される.

$$\begin{aligned} \delta &= V_t - V_c = 2 \{ \tan^{-1}(i/2D_t) - \tan^{-1}(i/2D_c) \} \\ &= i(D_c - D_t)/D_c D_t \\ &= id/D_c(D_c - d) \end{aligned} \quad (1)$$

となる. ただし  $\delta$  は二つの対象間の両眼非対応,  $V_t, V_c$  はそれぞれテスト刺激, 比較刺激までの輻輳角,  $D_t, D_c$  はそれぞれテスト刺激, 比較刺激までの物理的距離,  $i$  は両眼間の距離,  $d$  はテスト刺激と比較刺激の奥行き ( $D_c - D_t$ ) である.

一方, ある一定の両眼非対応に対応する知覚的奥行き量が, 観察距離の増加に伴って大きくなるのが過去の研究によって確かめられている<sup>18-21)</sup>. この知覚的奥行きの変化の方向は, 式(1)に示される, 観察距離 ( $D_c$ ) が増加するのに従って, ある両眼非対応量 ( $\delta$ ) に対応する奥行き ( $d$ ) も増加する, という物理的關係に対応している. ここでテスト刺激までの知覚的距離 ( $D_t'$ ), 比較刺激までの知覚的距離 ( $D_c'$ ), 両刺激の知覚的奥行き ( $d'$ ) 両眼非対応量 ( $\delta$ ) の関係が式(1)に対応したものであると仮定する. これは以下のような式で表される.

$$\begin{aligned} \delta &= k id'/D_c'(D_c' - d') \\ &= k i(D_c' - D_t')/D_c' D_t' \end{aligned} \quad (1')$$

ここで  $k$  は定数である.

またテスト刺激と比較刺激の物理的大きさ ( $S_t, S_c$ ), 距離 ( $D_t, D_c$ ), 視角 ( $\theta_t, \theta_c$ ) の間にはそれぞれ以下の関係がある.

$$S_t = D_t \tan \theta_t \doteq D_t \theta_t \quad (2)$$

$$S_c = D_c \tan \theta_c \doteq D_c \theta_c \quad (3)$$

そして実物の大きさの知覚 ( $S_t', S_c'$ ) が, 上の(2), (3)

式と同様な形で知覚的距離 ( $D_t', D_c'$ ) に影響されると仮定すると

$$S_t' = k D_t' \theta_t \quad (2')$$

$$S_c' = k D_c' \theta_c \quad (3')$$

と表せる ( $k$  は定数). テスト刺激と比較刺激の実物の大きさを等しくした場合には,

$$S_t' = S_c' \quad (4')$$

となっていると考えられるため, この場合の視角の比は式(2'), (3')から以下のように表される.

$$\theta_c/\theta_t = D_t'/D_c' \quad (5')$$

ここで式(1')を代入して

$$= i/(i + D_c' \delta) \quad (6')$$

となる. ここで  $\delta$  が正の場合すなわちテスト刺激が比較刺激より近くにある場合に,  $\theta_c/\theta_t$  は  $D_c'$  が大きいほど小さくなり,  $\delta$  が負の場合はその逆で  $D_c'$  が大きいほど  $\theta_c/\theta_t$  は大きくなる.

以上のように, 一定の両眼非対応に対する知覚的奥行き量が, 絶対距離によって物理的關係に従って変化すると仮定すること (式(1')), そして実物の大きさに対する知覚が, 知覚的奥行きの影響を受けると考えること (式(2'), (3')) で, 本実験の結果 (特に被験者 TY) で見られた実物の大きさマッチングに及ぼす  $D_c$  の影響が, その変化の方向に関して, 説明可能である.

しかし Fig. 8 の結果の中には, この考えによって説明できないものもある. たとえば被験者 IK の  $S_t=20, 28$  mm の両眼非対応が負の場合である. これらの場合には  $D_c$  が大きくなるに従ってマッチングの値が小さくなっており, 上の考えとは逆方向の変化である. 上に述べた考えが正しいことを明確に示すためには, さらに多くの実験をすることが必要であろう

#### 4.3 大きさ応答のための手がかかり

本実験で得られた大きさ応答にはいくつかの手がかかりが関与していると思われる. 考えられるものは, 刺激の実際の大きさ (視角), 両眼非対応, 輻輳, 調節, である. 実験装置にステレオスコープを用いたためこれ以外の手がかかりの影響は少ないと考えられる. また被験者 IK の場合, 単眼条件では“実物の大きさ”マッチングは“見えの視角”マッチングの結果より小さく, それらは物理的な視角より常に小さかった. この原因の一つとして, 二つの刺激の配置の影響が考えられる. 上方に位置する刺激をより遠方に知覚し, その結果, 上方の刺激をより大きく知覚してしまうというものである.

Fig. 7 に示すように, “見えの視角” 応答の物理的な視角からのずれは, 刺激間の両眼非対応量に対して単調に

変化するものではなく、両眼非対応が小さい範囲では曲線の傾きが大きく、両眼非対応が大きくなるとなだらかに変化した。このことからこの応答に対して両眼非対応と輻輳の2種の手がかりが関与していると考えられる。両眼非対応によって奥行き感が得られるのは、非対応量が $1^\circ$ 付近までであることが知られている<sup>22,23)</sup>。この限界点は、本実験の見えの視角応答の傾きの変化する点に近いと思われる。またこの応答に対して比較刺激の距離の影響が見られなかったことから調節による寄与はないと考えられる。

“実物の大きさ”の知覚には、上述した網膜両眼非対応、輻輳、調節、そしてこれらによって生み出された知覚的奥行きが関与していることが示唆される。これは先に述べたように、実物の大きさの応答が両眼非対応量だけでは決まらず、絶対的な距離を考慮したかのような方向にシフトしたという理由による。しかし被験者間の差が大きく、現段階では定量的な考察はできない。被験者IKおよびTYは、内観として実物の大きさの応答に与える相対的な大きさの影響を述べている。それは比較刺激の大きさを変えると奥行き感が変化してしまい“実物の大きさ”マッチングが難しい、というものである。このように実物の大きさは、多くの手がかりによって決まっておりその関数も被験者によっても異なる可能性がある。それは実物の大きさに対する知覚が、知覚的奥行きとも関係してより高次で決まり、経験によっても変化を受ける場合もあることを示唆する。また大きさ応答までの時間がインストラクションによって異なるという過去の研究<sup>17)</sup>があるが、今回の実験でも同様の傾向が得られた。本実験では特に時間制限を設けなかったが、各被験者とも“実物の大きさ”マッチングは“見えの視角”マッチングより時間を要した。このことも“実物の大きさ”に対する知覚が複数の要因で決まり、経験や推論の過程を経ているという考えを支持すると思われる。

## 5. ま と め

刺激の同時比較によるマッチング法を用いることにより、“見えの視角”と“実物の大きさ”に対する知覚を分離することができた。“見えの視角”は被験者内で安定しており、被験者間でも同様の傾向を示した。またこれは、両眼非対応量のみ関数として記述できることが示唆され、網膜両眼非対応および輻輳の手がかりが関与していると考えられる。一方“実物の大きさ”は個人差が大きかったが、多くの手がかり、さらには知覚的奥行きによる影響を受けることが示唆された。

## 文 献

- 1) A. H. Holway and E. G. Boring: "Determinants of apparent visual size with distance variant," *Am. J. Psychol.*, **54** (1941) 21-37.
- 2) J. Shallo and I. Rock: "Size constancy in children: A new interpretation," *Perception*, **17** (1988) 803-813.
- 3) J. L. Rapoport: "Attitude and size judgment in school age children," *Child Development*, **38** (1967) 1188-1192.
- 4) H. W. Leibowitz and L. O. Harvey, Jr.: "Size matching as a function of instructions in a naturalistic environment," *J. Exp. Psychol.*, **74** (1967) 378-382.
- 5) W. Epstein: "Attitudes of judgment and the size-distance invariance hypothesis," *J. Exp. Psychol.*, **66** (1963) 78-83.
- 6) H. W. Leibowitz and L. O. Harvey, Jr.: "Effect of instructions, environment, and type of test object on matched size," *J. Exp. Psychol.*, **81** (1969) 36-43.
- 7) 金子寛彦, 内川恵二, 池田光男: "輻輳による距離知覚と大きさ知覚の比較", *光学*, **20** (1991) 285-293.
- 8) T. Oyama: "Perceived size and perceived distance in stereoscopic vision and an analysis of their causal relations," *Percept. Psychophys.*, **16** (1974) 175-181.
- 9) T. Oyama and F. Sato: "Perceived size-ratio in stereoscopic vision as a function of convergence, binocular disparity and luminance," *Jpn. Psychol. Res.*, **9** (1967) 1-13.
- 10) T. Oyama and S. Iwawaki: "Role of convergence and binocular disparity in size constancy," *Psychol. Forsch.*, **35** (1972) 117-130.
- 11) M. Komoda and H. Ono: "Oculomotor adjustments and size-distance perception," *Percept. Psychophys.*, **15** (1974) 353-360.
- 12) H. W. Leibowitz, K. Shiina and R. T. Hennessy: "Oculomotor adjustments and size constancy," *Percept. Psychophys.*, **12** (1972) 497-500.
- 13) H. Leibowitz and D. Moore: "Role of changes in accommodation and convergence in the perception of size," *J. Opt. Soc. Am.*, **56** (1966) 1120-1123.
- 14) W. R. Biersdorf, S. Ohwaki and D. J. Kozil: "The effect of instructions and oculomotor adjustments on apparent size," *Am. J. Psychol.*, **76** (1963) 1-17.
- 15) H. Ono, P. Muter and L. Mitson: "Size-distance paradox with accommodative micropsia," *Percept. Psychophys.*, **15** (1974) 301-307.
- 16) A. Higashiyama, T. Ishikawa and K. Tanaka: "Visual alleys as a function of instructions under informative and reduced conditions of viewing," *Percept. Psychophys.*, **47** (1990) 468-476.
- 17) W. Epstein and K. Broota: "Attitude of judgment and reaction time in estimation of size at a distance," *Percept. Psychophys.*, **18** (1975) 201-204.
- 18) H. Wallach and C. Zuckerman: "The constancy of stereoscopic depth," *Am. J. Psychol.*, **76** (1963) 404-412.
- 19) A. O'Leary and H. Wallach: "Adaptation in stereoscopic depth constancy," *Percept. Psychophys.*, **27** (1980) 403-408.
- 20) H. Wallach, B. Gillam and L. Cardillo: "Some consequences of stereoscopic depth constancy," *Percept. Psychophys.*, **26** (1979) 235-240.
- 21) J. M. Foley: "Binocular distance perception," *Psychol. Rev.*, **87** (1980) 411-434.
- 22) K. N. Ogle: "On the limits of stereoscopic vision," *J. Exp. Psychol.*, **44** (1952) 253-259.
- 23) W. Richards: "Anomalous stereoscopic depth perception," *J. Opt. Soc. Am.*, **61** (1971) 410-414.