

平行四辺形の対角線の錯視に関するメッツガー説の検討実験 ——斜辺の傾きの角度錯視と関連して——¹⁾

浜口 恵治

(人文学部人間文化学科心理学研究室)

An Examination of the Metzger's Theory on the Parallelogram Diagonal Illusion: In Relation to the Inclination Angle Illusion of the Oblique Side

Keiji HAMAGUCHI

(Laboratory of Psychology, Faculty of Humanities and Economics)

The oblique side inclinations of the parallelograms were varied in nine steps: 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150° counterclockwise from the horizontal. The apparent lengths of the right downward diagonals and the apparent inclinations of the right oblique sides of such various parallelograms were estimated by nineteen university students. The minor diagonal lengths (30°, 45°, 60°, 75°) were overestimated and the major diagonal lengths (105°, 120°, 135°, 150°) were underestimated, and it was found that the greatest overestimation of the minor diagonal length and the greatest underestimation of the major diagonal length occur in the most distorted parallelograms (30° and 150°) irrespective of the relative sizes of the areas of the parallelograms. The acute oblique side inclinations (30°, 45°, 60°) were overestimated and the obtuse oblique side inclinations (105°, 120°, 135°, 150°) were underestimated, and it was found that the greatest overestimation of the acute oblique side inclination occurs in the most distorted parallelogram (30°) and the greatest underestimation of the obtuse oblique side inclination occurs in the more distorted parallelogram (135°). The overestimation of the minor diagonal length and the underestimation of the major diagonal length were discussed in relation to the Metzger's theory (the law of good gestalt) that a distorted form has a tendency to be restored to the good form and the illusion is caused by this restoration tendency.

Key words: illusion, Sander parallelogram illusion, oblique side inclination, law of good gestalt

脚注 1

本研究は日本心理学会第64回大会で発表した。

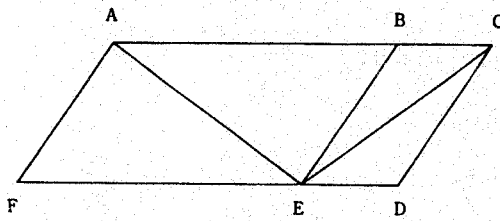
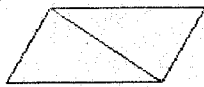
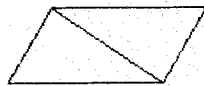


Figure 1. ザンダーの平行四辺形
(ザンダー錯視図形)



A



B

Figure 2. 刺激図形の例

- A: 対角線の見掛けの長さ実験に用いられた斜辺角度 60° 実験条件刺激図形と下降系列の比較刺激図形。被験者は比較刺激図形の線分の長さを対角線の見掛けの長さと同しくなるように調整した。
- B: 斜辺の傾き実験に用いられた斜辺角度 60° 実験条件刺激図形と下降系列の比較刺激図形。被験者は斜辺の延長上近辺にある比較刺激図形の点を斜辺の見掛け上の延長線上に位置するように調整した。

Figure 1の三角形AECは、二等辺三角形であるので、左側の平行四辺形ABFEの対角線AEと右側の平行四辺形BCDEの対角線CEは、客観的に等しいのであるが、主観的には左側の対角線AEの方が長く、右側の対角線CEの方が短く見える。これをザンダー錯視 (Sander illusion) という。この錯視図形は、1926年にSanderにより考案され、ザンダーの平行四辺形と呼ばれている (今井, 1984)。この錯視の原因についていろいろな説が提出されている (Cooper, Runyon, Tatz & Heimer, 1972; Metzger, 1953; Pressey, 1967; Robinson, 1972; Runyon & Cooper, 1970)。浜口 (1986) と Hamaguchi (1993) はそれらの説の正否の検討実験を行い、Rausch (1952) のデータに基づいて「よき形態の法則」 (Wertheimer, 1923) によりザンダー錯視を説明したメッツガーの説 (Metzger, 1953) を支持する結果を得た。メッツガーは、平行四辺形は、よい形態である長方形の歪んだ形態であり、平行四辺形は直立することにより、よい形態である長方形に近づくようとする傾向 (直立傾向) があり、ザンダー錯視は、この直立傾向により、短対角線 (Figure 1の左側の平行四辺形の対角線AE) は過大視され、長対角線 (同右側の平行四辺形の対角線CE) は過小視されると説明した (メッツガー説)。

さて、本論はメッツガー説の妥当性をさらに精神物理学的に検討するために計画された。平行四辺形は、長短二本の対角線を持ち、長い方の対角線は長対角線、短い方は短対角線と呼ぶ。Figure 2の平行四辺形の上下の辺と左右の斜辺の長さを固定し、斜辺の傾きをFigure 3の条件図形欄の平行四辺形のように、 30° から 15° ステップで 150° まで変化させれば、平行四辺形の右下がりの対角線は、短対角線から長対角線まで段階的に変化する。メッツガー説によれば、 90° の斜辺を持つ平行四辺形 (長方形) から、 150° の斜辺を持つ平行四辺形になればなるほど、より歪んだ形態になっていき、その反動として直立することにより、よい形態である長方形に復帰しようとする傾向が強くなり、その分、右下がり対角線 (この場合は長対角線になる) の過小視傾向が大きくなっていくと仮定される。

すなわち、平行四辺形の左右の斜辺が直立し、上下の辺と直角をなすように（長方形になるように）しようとすれば、長対角線は押し縮められることになるからである。逆に、90°の斜辺を持つ平行四辺形（長方形）から、30°の斜辺を持つ平行四辺形になればなるほど、より歪んだ形態になっていき、その反動として直立することにより、よい形態である長方形に復帰しようとする傾向が強くなり、その分、右下がり対角線（この場合は短対角線になる）の過大視傾向が大きくなっていくと仮定される。すなわち、平行四辺形の左右の斜辺が直立し、上下の辺と直角をなすようにしようとすれば、短対角線は引き伸ばされることになるからである。

平行四辺形の長対角線は過小視され、短対角線は過大視され、そして、より歪んだ平行四辺形程長対角線はより過小視され、短対角線はより過大視されるとの実験結果はすでに得られている（浜口, 1987; Hamaguchi, 1993）ので、本論の目的は、この追実験（対角線の見掛けの長さの錯視実験:長さ実験）とともに、平行四辺形の直立傾向を精神物理学的に測定し、メッツガー説の妥当性を検討実験することにある。直立傾向は、斜辺の傾きの角度を測定（斜辺の傾きの角度錯視実験:傾き実験）すれば確認できる。メッツガー説によれば、90°の斜辺を持つ平行四辺形（長方形）から、150°の斜辺を持つ平行四辺形になればなるほど、より歪んだ形態になっていき、その反動として直立することにより、よい形態である長方形に復帰しようとする傾向が強くなり、その分、斜辺の角度の過小視傾向が大きくなっていくと仮定される。逆に、90°の斜辺を持つ平行四辺形（長方形）から、30°の斜辺を持つ平行四辺形になればなるほど、より歪んだ形態になっていき、その反動として直立することにより、よい形態である長方形に復帰しようとする傾向が強くなり、その分、斜辺の角度の過大視傾向が大きくなっていくと仮定される。

以下において、長さ実験と傾き実験により次ぎの2つの仮説を検証する。

仮説 1 平行四辺形の長対角線は過小視され、短対角線は過大視される。そして、これらの錯視はより歪んだ平行四辺形程大きい。

仮説 2 平行四辺形の鈍角斜辺の角度は過小視され、鋭角斜辺の角度は過大視される。そして、これらの錯視はより歪んだ平行四辺形程大きい。

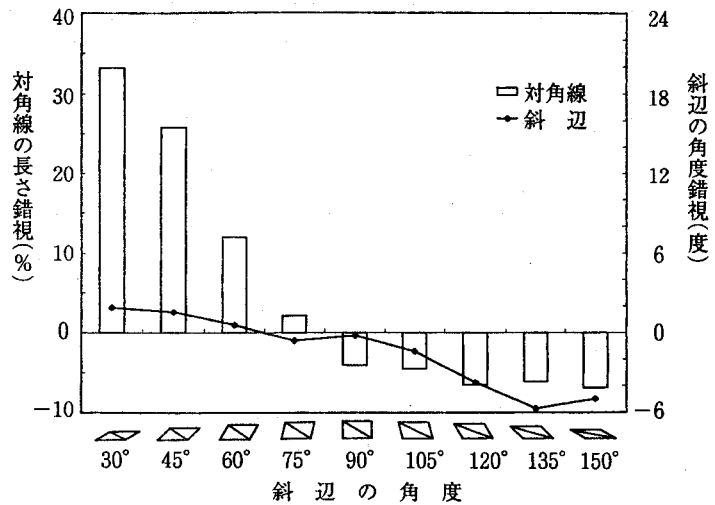


Figure 3. 横軸は平行四辺形の斜辺の傾きの角度を30° から15° ステップで150° まで変化させた場合の実験条件刺激図形を表す。左側の縦軸は対角線の長さ錯視量を表し、右側の縦軸は斜辺の角度錯視量を表す。短対角線が過大視されている場合はほとんど斜辺の角度は過大視され、長対角線が過小視されている場合はすべて斜辺の角度は過小視された。そして、対角線の長さ錯視量が大きい場合は斜辺の角度錯視量も大きいとほぼいえる。

$$\text{長さ錯視量 (\%)} : 100 \times (\text{PSE}_e - \text{PSE}_c) / \text{PSE}_c$$

$$\text{角度錯視量 (差)} : \text{PSE}_e - \text{PSE}_c$$

仮説1は、すでに幾つかの実験で検証されているが、仮説2の検討実験はまだなされていない。もし、仮説2が検証されれば、メッツガー説のより直接的な証拠を得ることになる。

方 法

被験者 大学生19 (男6・女13) 名が本実験に参加した。全員正常視力かあるいは正常視力に矯正されていた。

刺激 刺激図形は、標準刺激図形と比較刺激図形よりなり、NEC製のPC-9801NA40/Cの液晶ディスプレイ (横19.2cm×縦12.0cm) に白いドットで描かれて呈示された。刺激図形は約60cmの距離で観察された。このようなドット図形の場合、ドットとドットの間隔は、ごく僅かなので、60cmぐらいの観察距離では、ドットが垂直や水平に配列されている場合は、ドット群直線としてではなく、直線として自然に知覚されるが、斜めに配列されるといくぶんドット群直線として知覚される (Figure 2 参照)。しかし、先行して行った幾つかの実験において、実線図形による錯視実験とドット群直線による錯視実験とではほぼ同じような結果を得ているので、両者間に機能的な違いはほとんど無いものとしてドット図形を用いることにした。したがって、以下の図形に関する記述は、640ドット×400ドットのディスプレイ上におけるものなので、長さはドット単位で記述する。しかし、nドットの長さは、約0.3mmのn倍に等しい。また、点の位置は左上をXY座標の原点とするので、Yは下方を+として記述する。

標準刺激図形は、Table 1 の条件欄に示されているような、実験条件刺激図形と統制条件刺激図形よりなる。実験条件刺激図形は、右下がりの対角線を持つ9種の平行四辺形である。これらは、下辺の長さが104ドット (長さ実験: (200, 300) - (303, 300), 傾き実験: (217, 350) - (320, 350)), 左右斜辺の長さが60ドットで同じであるが、下辺と左斜辺の角度が30° (対角線の長さ61.0ドット), 45° (同75.6), 60° (同91.2), 75° (同106.6), 90° (同120.1), 105° (同131.9), 120° (同142.8), 135° (同151.5), 150° (同157.8) と変化した。これらの図形の名称は、EL030とかED030のように、最初の二文字にアルファベットの大字を用いて、長さ実験の実験条件刺激図形 (EL) か、傾き実験の実験

Table 1. 平行四辺形の対角線の長さと同斜辺の傾きの角度のPSE (PSEe) とその対応する統制条件のPSE (PSEc), 及びその錯視量とt検定

(19人の平均) (1ドット=0.3mm) (錯視量(差)は四捨五入前の値で計算)

長さ錯視量 (%) : $100 \times (PSEe - PSEc) / PSEc$

角度錯視量 : $PSEe - PSEc$

対角線 PSE(ドット)	EL030	EL045	EL060	EL075	EL090	EL105	EL120	EL135	EL150
	83.22	100.22	110.09	117.21	121.63	127.20	133.04	140.59	142.07
統制 PSE(ドット)	CL030	CL045	CL060	CL075	CL090	CL105	CL120	CL135	CL150
	62.50	79.67	98.29	114.80	126.82	133.24	142.43	149.86	152.71
錯視量(差) (%)									
	33.16	25.80	12.01	2.10	-4.09	-4.53	-6.60	-6.18	-6.97
t検定	** t = 8.80	** t = 9.86	** t = 6.86	ns t = 1.27	* t = 2.36	** t = 3.15	** t = 3.87	** t = 4.10	** t = 4.49

斜線 PSE(度)	ED030	ED045	ED060	ED075	ED090	ED105	ED120	ED135	ED150
	30.77	46.68	62.28	75.84	89.84	102.08	114.57	127.96	145.84
統制 PSE(度)	CD030	CD045	CD060	CD075	CD090	CD105	CD120	CD135	CD150
	28.89	45.14	61.71	76.45	90.07	103.47	118.31	133.69	150.85
錯視量(差) (度)									
	1.88	1.54	0.57	-0.60	-0.23	-1.39	-3.74	-5.73	-5.00
t検定	** t = 4.24	* t = 2.76	ns t = 1.57	* t = 2.77	ns t = 1.62	** t = 5.39	** t = 9.34	** t = 9.37	** t = 7.01

* $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

条件刺激図形（ED）を表し、次ぎに斜辺の角度を続けることにより表した（EL030は斜辺の角度30°の長さ実験の実験条件刺激図形）。統制刺激図形は、長さ実験では対角線のみ、傾き実験では右斜辺のみである。これらの図形の名称は、同様に、CL030とかCD030のように、長さ実験の統制条件刺激図形（CL）か、傾き実験の統制条件刺激図形（CD）を表し、次ぎに斜辺の角度を続けることにより表した（CD030は斜辺の角度30°の傾き実験の統制条件刺激図形）。

比較刺激は、長さ実験では、(350, 100)を左端とする長さの変化する水平線（上昇系列は41ドットより長くし、下降系列は201ドットより短くする）である。傾き実験では、(320, 350)を中心とする半径300ドットで回転する点（上昇系列は斜辺の角度より10°小さい角度より大きくし、下降系列は斜辺の角度より10°大きい角度より小さくする）である。長さ実験の刺激図形の一例をFigure 2-Aに、傾き実験の刺激図形の一例をFigure 2-Bに示した。

手続 各被験者は二つの実験を受けた。約半数の被験者は最初に長さ実験を、約1時間後に傾き実験を受けた。残りの被験者は逆の順序であった。被験者調整法（上昇系列2回・下降系列2回）が用いられ、この4回の測定値の平均（PSE（Point of Subjective Equality））を各被験者の各条件の見掛けの長さあるいは見掛けの傾きの角度とした。長さ実験の場合は、標準刺激図形の対角線の見掛けの長さと同しく見えるように比較刺激の線分の長さを、キーボードの右向きあるいは左向きの矢印キーを押すことによって調整し、傾き実験の場合は、標準刺激図形の右斜辺の見掛けの延長上に来るように、比較刺激図形の点を、右向きあるいは左向きの矢印キーを押すことによって調整するようにと被験者は告げられた。長さ実験の場合は、右向きの矢印キーを押すと、線分の右端が右に移動し、左向きの矢印キーを押すと、線分の右端が左に移動して線分の長さが増減した。傾き実験の場合は、左向きの矢印キーを押すと、点が反時計回転方向に移動し、右向きの矢印キーを押すと、点が時計回転方向に移動して、(320, 350)と点とを結ぶ角度が増減した。続いて被験者は、調整が完了したらスペースキーを2回押すようにと告げられた。これにより1回の測定が終わり、比較刺激の長さあるいは角度が記録され、次の刺激図形が呈示された。各実験の一人の被験者に対して、72回（18条件（9実験条件+9統制条件）×4ブロック）の測定を行った。刺激図形はランダムな順序で呈示された。測定は被験者のペースで行われ、各実験の72回の測定所要時間は、長さ実験の場合は、平均9分33秒（7分38秒～12分49秒）、傾き実験の場合は、平均10分33秒（8分23秒～15分07秒）であった。

結 果

長さ実験及び傾き実験の各実験条件のPSE（PSE_e）とこれらの実験条件に対応する統制条件のPSE（PSE_c）をTable 1に示した。そして、対角線の長さの錯視量を%（ $100 \times (PSE_e - PSE_c) / PSE_c$ ）で表し、斜辺の傾きの角度錯視量を差（PSE_e - PSE_c）で表し、これらをTable 1に示すとともに、平行四辺形の対角線の長さ錯視と斜辺の傾きの角度錯視の関係をFigure 3にグラフで表した。

仮説1の検証のため、Figure 3を見ると、短対角線は過大視され（30°条件： $t(18)=8.80$ $p<.01$, 45°条件： $t(18)=9.86$ $p<.01$, 60°条件： $t(18)=6.86$ $p<.01$, 75°条件： $t(18)=1.27$ ns）、長対角線は過小視され（105°条件： $t(18)=3.15$ $p<.01$, 120°条件： $t(18)=3.87$ $p<.01$, 135°条件： $t(18)=4.10$ $p<.01$, 150°条件： $t(18)=4.49$ $p<.01$ ）、そして、最も歪んだ平行四辺形の短対角線（30°条件）が最も過大視され、最も歪んだ平行四辺形の長対角線（150°条件）が最も過小視されていることが分かる。このように結果は仮説1を支持しているといえる。また、この結果は先行研究（浜口, 1987; Hamaguchi, 1993）とほとんど一致しているといえる。

さらに、仮説2の検証のため、Figure3を見ると、長対角線をもつすべての平行四辺形の右斜辺の角度は過小視され(105°条件: $t(18)=5.39$ $p<.01$, 120°条件: $t(18)=9.34$ $p<.01$, 135°条件: $t(18)=9.37$ $p<.01$, 150°条件: $t(18)=7.01$ $p<.01$), 短対角線を持った4つの平行四辺形のうち3つの平行四辺形の右斜辺の角度が過大視され(30°条件: $t(18)=4.24$ $p<.01$, 45°条件: $t(18)=2.76$ $p<.05$, 60°条件: $t(18)=1.57$ ns), そして、最も歪んだ平行四辺形の右斜辺(30°条件)の角度が最も過大視され、より歪んだ平行四辺形の右斜辺(135°条件)の角度が最も過小視されていることが分かる。75°条件が何故か過小視された($t(18)=2.77$ $p<.05$)り、最も歪んだ平行四辺形の右斜辺(150°条件)の角度が最も過小視されていないが、より歪んだ平行四辺形の右斜辺(135°条件)の角度錯視量と最も歪んだ平行四辺形の右斜辺(150°条件)の角度錯視量との間に有意な差はない($t(18)=1.60$ ns)ので、結果は概ね仮説2を支持しているといえる。

考 察

本論の目的は、平行四辺形はよい形態である長方形の歪んだ形態であるので、平行四辺形は直立することにより、よい形態である長方形に近づこうとする直立傾向があり、ザンダー錯視は、この直立傾向により短対角線は過大視され長対角線は過小視されるというメッツガー説の妥当性を検討実験することになった。つまり、短対角線は過大視され、長対角線は過小視され、そして、より歪んだ平行四辺形程長対角線はより過小視され、短対角線はより過大視されるとの実験結果はすでに得られている(浜口, 1987; Hamaguchi, 1993)ので、仮説1(平行四辺形の長対角線は過小視され、短対角線は過大視される。そして、これらの錯視はより歪んだ平行四辺形程大きい。)を検証することにより、これらの実験結果を再確認するとともに、この再確認実験内において、仮説2(平行四辺形の鈍角斜辺の角度は過小視され、鋭角斜辺の角度は過大視される。そして、これらの錯視はより歪んだ平行四辺形程大きい)の検証を行い、さらに、メッツガー説の妥当性を検討実験することが本論の目的であった。

仮説1に関する結果は先行の二つの研究とほとんど同じであったので、この結果の考察はそれらに譲ることにして、仮説2に関する結果の考察を行う。メッツガー説が妥当ならば、本論の場合、平行四辺形の右斜辺の角度は、短対角線が過大視される場合はすべて過大視され、長対角線が過小視される場合はすべて過小視されるはずである。すなわち、歪んだ形態の平行四辺形がよい形態の長方形に近い形に知覚されれば、短対角線の過大視と斜辺の角度の過大視、あるいは、長対角線の過小視と斜辺の角度の過小視が生起すると考えられるからである。本論では、8種の平行四辺形条件のうち、75°条件の斜辺の傾きの角度錯視だけがメッツガー説に反したが、残りの7条件は仮説を支持する結果なので、概ねメッツガー説は妥当であると結論できる。

また、メッツガー説が妥当ならば、本論の場合、短対角線が最も過大視される平行四辺形の右斜辺の角度は最も過大視され、長対角線が最も過小視される平行四辺形の右斜辺の角度は最も過小視されるはずである。すなわち、よい形態の長方形から、より歪んだ形態の平行四辺形になっていくと、その反動として直立することにより、よい形態である長方形に復帰しようとする傾向が強くなっていき、その分、短対角線の過大視と斜辺の角度の過大視傾向が大きくなり、あるいは、長対角線の過小視と斜辺の角度の過小視傾向が大きくなっていくと考えられるからである。本論では、短対角線が最も過大視された平行四辺形の右斜辺の角度は最も過大視されたが、長対角線が最も過小視された平行四辺形の右斜辺の角度は2番目の過小視量であった。しかし、Figure3のグラフで分かるように、最も大きな過小視量との差はほとんどなく、概ねメッツガー説は妥当であると結論で

きる。

本論の条件設定は、長方形を中心にして、平行四辺形の歪の程度がしだいに大きくなるように、斜辺の傾きの角度をしだいに鋭角（90°から30°）に、そして、しだいに鈍角（90°から150°）に変化させるとともに、75°と105°、60°と120°、45°と135°、30°と150°の条件どうしが線対称になるようにしてある。互に対称な平行四辺形の対角線の長さ錯視と斜辺の傾きの角度錯視において、一方が過大視ならば、他方が過小視となっているので、平行四辺形の大きさが過大視や過小視に影響する可能性は否定される。

90°条件は長方形なので、メッツガー説によれば、よい形態の長方形には錯視は生じないはずである。斜辺の傾き錯視は生じなかったが、対角線は過小視された ($t(18)=2.36$ $p<.05$)。長方形の対角線の過小視はHamaguchi (1993) や浜口 (1986, 1995) でも生じている。短対角線は長方形の対角線の過小視を凌駕して過大視され、長対角線は加算されてより過小視されるのではないかと考えられる。平行四辺形の対角線の錯視には、メッツガー説以外にも四辺形の対角線の過小視に関する要因が存在するようだ。

引用文献

- Cooper, M. R., Runyon, R. P., Tatz, S. J., & Heimer, W. I. 1972 The Sander illusion as a function of relative space and component lines. *Perception & Psychophysics*, 11, 102-104.
- 浜口恵治 1986 ザンダー錯視の研究 高知大学学術研究報告, 35, 人文科学, 47-53.
- 浜口恵治 1987 平行四辺形の対角線の見掛けの長さ 高知大学学術研究報告, 36, 人文科学, 1-9.
- Hamaguchi, K. 1993 An experimental study of the Sander illusion. *The Japanese Journal of Psychonomic Science*. 12, 39-44.
- 浜口恵治 1995 長方形の対角線の過小視に関する実験的研究 —Metzgerの錯視理論と関連して— 高知大学学術研究報告, 44, 人文科学, 1-8.
- 今井省吾 1984 錯視図形 —見え方の心理学— サイエンス社
- Metzger, W. 1953 *Gesetze des Sehens*. Frankfurt: Waldemar Kramer. 盛永四郎 (訳) 1968 視覚の法則 岩波書店
- Pressey, A. W. 1967 A theory of the Mueller-Lyer illusion. *Perceptual and Motor Skills*. 25, 569-572.
- Rausch, E. 1952 *Struktur und Metrik figural-optischer Wahrnehmung*. Frankfurt: Waldemar Kramer.
- Robinson, J. O. 1972 *The psychology of visual illusion*. London: Hutchinson.
- Runyon, R. P., & Cooper, M. R. 1970 Enhancement of Sander illusion in minimal form. *Perception & Psychophysics*, 8, 110-111.
- Wertheimer, M. 1923 Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II. *Psychologische Forschung*, 4, 301-350.

平成12年(2000)9月30日受理
平成12年(2000)12月25日発行