

# 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 ——<sup>1)</sup>

浜口 恵治

(人文学部人文学科心理学研究室)

## An Experimental Study of the Diagonal Underestimation of the Rectangle: In Relation to the Metzger's Theory on the Geometrical Illusion

Keiji HAMAGUCHI

(Laboratory of Psychology, Faculty of Humanities and Economics)

The diagonal of the rectangle is underestimated. This underestimation was interpreted according to the hypothesis that the rectangle (distorted form) has a tendency to be perceived the form restored to the square (good form). Various rectangle with a interior line that passes through the center of the rectangle were constructed. The orientation of each line was varied in ten steps:  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $90^\circ$  clockwise from the horizontal. The apparent lengths of these lines were estimated by twenty-two university students. The diagonal ( $30^\circ$  interior line) of the rectangle was underestimated, but the results of other interior lines did not support the hypothesis. The underestimation of the diagonal of the rectangle was discussed in relation to the Müller-Lyer illusion.

Key words: illusion, Metzger's theory on geometrical illusion, good Gestalt, Sander illusion, Müller-Lyer illusion.

---

### 脚注 1

本研究は第27回知覚コロキウムで発表した。

Rausch(1952)は,平行四辺形の長対角線(平行四辺形の長短二本の対角線のうち長い方の対角線)は過小視され,短対角線(同図形の短い方の対角線)は過大視されることを発見した.Metzger(1953, 盛永訳1968)は,このRauschの発見に基づき,よい形態の法則を用いてザンダー錯視を説明した.すなわち,平行四辺形はよい形態をしている長方形の歪んだ形態であるため,もとのよい形態である長方形に復帰させて知覚しようとする傾向が生じ,この傾向によりザンダー錯視図形の長対角線(ザンダー錯視図形の場合,小さな方の平行四辺形の対角線)は押し縮められて過小視され,逆に,短対角線(同錯視図形の大きな方の平行四辺形の対角線)は引き伸ばされて過大視されるというのである.そしてMetzgerは,一般的に,歪んだ形態をもとのよい形態に復帰させて知覚しようとする傾向が錯視を生起させると考えて,このよい形態の法則により多数の錯視が説明できると主張している.以後,このよい形態の法則による錯視の説明をメツガー説と呼ぶ.

このメツガー説を単純に延長すると,長方形は平行四辺形の一つの特別な形ではあるが,よい形態をしているので,その対角線は過小視も過大視もされないとの仮説を立てることができる.Hamaguchi(1993a)は,メツガー説の妥当性をさらに検討するために,長方形を中心にして,歪みの程度をいろいろ変化させた幾つかの平行四辺形の長対角線や短対角線の見掛けの長さを測定すると共に,これらの対角線が長方形の対角線となった場合も測定した.平行四辺形の対角線は,歪みの程度が大きくなるにつれて長対角線はより過小視され,逆に,短対角線はより過大視されて,メツガー説の妥当性は検証されたが,長方形の対角線も錯視が生起し過小視された.つまり,長方形の対角線の過小視を中心にして,平行四辺形の歪みの程度が大きくなるにつれて長対角線はより過小視され,短対角線は過小視を凌駕してより過大視されるようになり,単純に,メツガー説のみでは平行四辺形の対角線の錯視を説明できないことが分かった.

作業仮説として,平行四辺形は,正方形の歪んだ形態である長方形のさらに歪んだ形態,つまり,二重に歪んだ形態であるので,二重に歪んだ形態をもとのよい形態に二重に復帰させて知覚しようとする傾向が生じると考えることができる.この傾向は,平行四辺形の長対角線の場合,まず平行四辺形の長対角線の過小視を生起させ,さらに長方形の対角線の過小視を生起させる効果を加重する.またこの傾向は,平行四辺形の短対角線の場合,まず平行四辺形の短対角線の過大視を生起させ,さらに長方形の対角線の過小視を生起させる効果を加えるが,過大視量が過小視量を上回るため結果的には平行四辺形の短対角線は過大視になる.このように考えれば,Hamaguchiの結果をメツガー説のみで説明できる.それ故,平行四辺形の対角線の錯視をメツガー説で説明してきた文脈上,長方形の対角線の過小視をも,メツガー説で説明できるかどうかを,本論において検討してみることにした.

Hamaguchiは,上記のメツガー説の検討実験の他に,底辺と対角線の角度が $30^\circ$ で,底辺と左側辺の角度が $50^\circ$ であるザンダー錯視図形に関してもメツガー説の検討実験を行い,長対角線の過小視,短対角線の過大視の結果を得たが,これらの対角線が長方形の対角線となった場合も錯視が生起し過小視の結果を得た.底辺と対角線の角度が $30^\circ$ である長方形が,この長方形の四辺の和と等しい四辺の和を持つ正方形に,Figure 1の点線図のように復帰すると仮定すると,正方形の対角線は長方形の対角線の0.966倍になり,長方形の対角線の過小視を説明できる.もし,長方形が歪んだ形態と知覚され,もとのよい形態の正方形に復帰させて知覚しようとする傾向が長方形の対角線の過小視を生起させたのであれば,この傾向は,長方形の他の内部線分の見掛けの長さにも影響すると仮定される.上記の長方形の長軸方向( $0^\circ$ )の直線を,長方形の中心に関して時計回りに $10^\circ$ ステップで短軸方向( $90^\circ$ )まで回転させた場合,この直線がこの長方形によって切り取られる線分が,Figure 1の実線図のように幾つかできる.長方形の対角線の場合と同じ仮定をすると,長方形の $0^\circ \cdot 10^\circ \cdot 20^\circ \cdot 30^\circ \cdot 40^\circ \cdot 50^\circ \cdot 60^\circ \cdot 70^\circ \cdot 80^\circ \cdot 90^\circ$ の内部線分は,点線図のように,正方形においてそれぞれ,0.789倍 $\cdot$ 0.812倍 $\cdot$ 0.876倍 $\cdot$ 0.966倍(対角線) $\cdot$ 1.066倍 $\cdot$ 1.163倍 $\cdot$ 1.247倍 $\cdot$ 1.312倍 $\cdot$ 1.352倍 $\cdot$

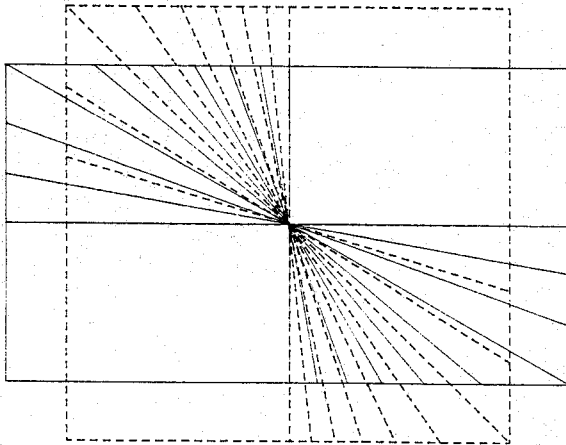


Figure 1 実線で描いた幾つかの内部線分を持つ長方形が、この長方形の四辺の和と等しい四辺の和を持つ正方形に変化すると仮定した場合、長方形及びその内部線分は点線で描いた図のようになる。

1.366倍になる。しかし、長方形が完全に正方形に復帰されて知覚されるはずはなく、正方形に近いように復帰されて知覚されると仮定しているだけなので、この倍数は、1より小さければ過小視が生起し、より小さいほどより過小視が生起すると仮定し、1より大きければ過大視が生起し、より大きいほどより過大視が生起すると仮定しているに過ぎない。この仮定を検討するため、上記の長方形の内部線分の見掛けの長さに関して次の仮説が立てられ、検討実験が行われた。

**仮説** 長方形の対角線は過小視され、長軸方向の内部線分になるにつれてより過小視される。また、対角線より短軸方向の内部線分になるにつれて過小視から過大視に変わりより過大視される。

### 方 法

**被験者** 大学生22名(男7・女15)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(縦12.0cm×横19.2cm)に白いドット(1ドット=0.3mm)で描かれて呈示された。標準刺激図形は、Table 1の条件欄に示されているような、長方形(縦151ドット×横261ドット)の中心(375,150)を通る底辺に平行な線分を、中心に関して時計回りに、 $0^{\circ}$ ・ $10^{\circ}$ ・ $20^{\circ}$ ・ $30^{\circ}$ ・ $40^{\circ}$ ・ $50^{\circ}$ ・ $60^{\circ}$ ・ $70^{\circ}$ ・ $80^{\circ}$ ・ $90^{\circ}$ 回転させた場合に、長方形によって切り取られる線分を内部線分を持つ10種の実験条件刺激図形(以下において、それぞれ、 $10^{\circ}$  実験条件刺激図形のように角度を冠して記述する)と、これらの内部線分のみ(単一線分)からなる、261.00ドット( $0^{\circ}$ )・265.20ドット( $10^{\circ}$ )・277.75ドット( $20^{\circ}$ )・301.53ドット( $30^{\circ}$ )・234.18ドット( $40^{\circ}$ )・197.31ドット( $50^{\circ}$ )・174.27ドット( $60^{\circ}$ )・160.70ドット( $70^{\circ}$ )・153.39ドット( $80^{\circ}$ )・151.00ドット( $90^{\circ}$ )の10種の統制条件刺激図形(以下において、それぞれ、 $10^{\circ}$  統制条件刺激図形のように角度を冠して記述する)である。比較刺激図形は、点(150,300)より右の長さの変化する水平線(上昇系列は101ドットから長くし、下降系列は351ドットから短くする)である。刺激図形の一例をFigure 2に示した。

**手続** 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(以下において、PSE(Point of Subjective Equality)と記述する)を各被験者の各条件の見掛けの長さとした。被験者は、比較刺激図形の線分の長さを、左向きか右向きの矢印キィを押すことによって、長方形の内

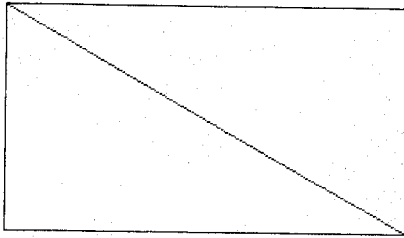


Figure 2. 刺激図形の一例(白いドット(1ドット=0.3mm)で、パソコンのディスプレイ上に描かれた、30°(対角線)実験条件刺激図形と下降系列の比較刺激図形。長方形(縦151ドット×横261ドット)の中心は、(375,150)に位置した。被験者は比較刺激図形の線分(左端(150,300))の右端の長さを調整して、長方形の内部線分の見掛けの長さと等しく見えるようにした。

部線分及び単一線分の見掛けの長さと等しく見えるように調整するようにと告げられた。左向きの矢印キィを押すと、線分の右端の長さが短くなり、右向きの矢印キィを押すと、線分の右端が長くなった。続いて被験者は、調整が完了したらスペース・キィを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、比較刺激図形の長さが記録され、ランダム順に次の刺激図形が呈示された。一人の被験者に対して、80回(20条件(10実験条件+10統制条件)×4ブロック)の測定をランダム順に行った。観察距離は約60cmであった。測定は被験者のペースで行われ、所要時間は一人平均約17分であった。

## 結果

各実験条件における22名の被験者のPSEの平均を各条件の見掛けの長さ(実験条件の場合はPSEe, 統制条件の場合はPSEcと略す)とし、錯視量を百分率( $((PSEe - PSEc) \div PSEc) \times 100$ )で表し、これらPSEe・PSEc・錯視量をTable 1に示し、Figure 3に表した。Table 1とFigure 3から明らかなように、

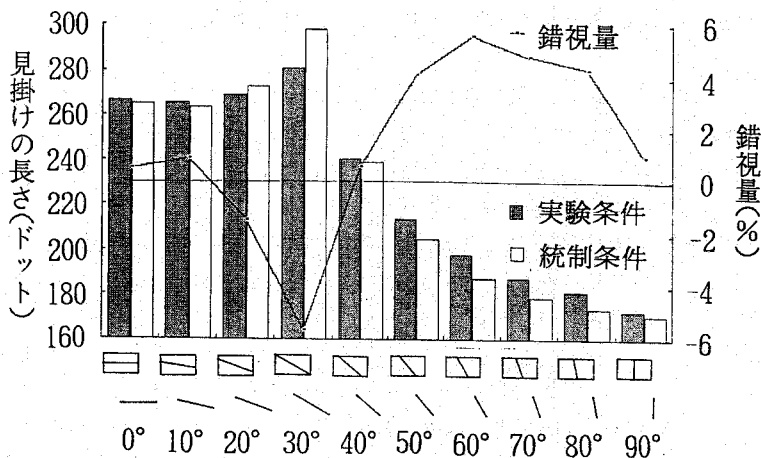






















Figure 3. 横軸は、実験条件と統制条件を示す。左側の縦軸は、両条件の見掛けの長さを示し、右側の縦軸は実験条件の錯視量を示す(いずれも被験者22名の平均)。長方形は、よい形態である正方形に復帰されて知覚される傾向があるとの仮定が正しければ、長軸(0° 実験条件)が最も過小視され、対角線(30° 実験条件)の過小視を経て、しだいに過大視されるようになり、短軸(90° 実験条件)が最も過大視されるはずであるが、この結果はこの仮定に従っていない。  
 $(\text{錯視量}(\%) = ((\text{実験条件のPSE} - \text{統制条件のPSE}) \div \text{統制条件のPSE}) \times 100)$

Table 1. 実験条件の見掛けの長さ(PSE)と対応する統制条件の見掛けの長さ及びその差(%)とt検定。  
 (差(%)は四捨五入前の値で計算) (単位:ドット(1ドット=0.3mm))  
 (差(%)=((実験条件のPSE-統制条件のPSE)÷統制条件のPSE)×100)

統制条件	0° 	10° 	20° 	30° 	40° 
PSE	265.38	263.73	273.45	298.66	239.63
統制条件	50° 	60° 	70° 	80° 	90° 
PSE	205.60	187.81	178.98	174.27	171.30

実験条件	0° 	10° 	20° 	30° 	40° 
PSE	266.73	266.09	269.42	281.74	241.07
差(%)	0.51	0.90	-1.48	-5.67	0.60
t検定	t=0.63 ns	t=1.27 ns	t=0.90 ns	t=6.85 **	t=0.51 ns

実験条件	50° 	60° 	70° 	80° 	90° 
PSE	214.15	198.40	187.63	181.85	173.01
差(%)	4.16	5.64	4.83	4.35	1.00
t検定	t=3.59 **	t=6.08 **	t=4.69 **	t=4.44 **	t=0.67 ns

\*p<.05    \*\*p<.01

30° (対角線)実験条件は過小視された(Table 1参照)が,20°・10°・0° (長軸)実験条件になるにつれて,仮説に従った方向に過小視されず,過小視が減少して錯視が生起しなくなり,仮説に反した結果になった.また,30° 実験条件から90° 実験条件にかけても,60° 実験条件までは過小視が減少して過大視が増大していった(40° 実験条件は有意でなかったが,50°,60° 実験条件は有意であった(Table 1参照))が,60° 実験条件から90° 実験条件にかけて過大視(70°,80° 実験条件は有意(Table 1参照))が減少して,90° (短軸)実験条件では,錯視が生起しなくなり,仮説の方向に反した結果になった.

### 考 察

Hamaguchi(1993a)の結果と同様に,本実験においても長方形の対角線は過小視された.しかし,メッツアー説の要因に従って,長方形が正方形の歪んだ形態として知覚され,もとのよい形態の正方形に復帰させて知覚しようとする傾向が生じたならば,対角線以外の内部線分条件も仮説に従った結果が得られたはずであるが,そうではなかった.本論では,底辺と対角線の角度が30°である長方形が,この長方形の四辺の和と等しい四辺の和を持つ正方形に復帰すると仮定して論を進めて来たが,このような長方形と正方形に限らなくても,一般的に,本実験の結果のように,長方形の長軸と短軸に錯

視が生起しないで対角線が過小視されるように、長方形が復帰できる正方形が有るとは考えられない。したがって、長方形の対角線の過小視はメッツガー説の要因によって生起されたものではないと結論できる。

楕円の場合は、円から細長い楕円になるにつれて、楕円の長軸は過小視されるようになり、短軸は過大視されるようになる(浜口,1992a)ので、楕円は円の歪んだ形態として知覚されると考えられる。同じように、長方形を正方形の歪んだ形態として知覚されると作業仮説を立てて検討実験したが、本論の結果から、楕円は円の歪んだ形態として知覚されても、長方形は正方形の歪んだ形態として知覚されないものと考えられる。また、本論の結果は、長方形の場合、正方形から細長い長方形に変化していても、長方形の長軸の見掛けの長さも短軸の見掛けの長さも殆ど変化しない(浜口,1992b)ことと矛盾しない。

Figure 3を見ると、長方形の内部線分は、辺と直交する実験条件(長軸線分・短軸線分)においては錯視が生起していないが、内部線分が辺と斜交する実験条件において、過小視や過大視の錯視が生起している。また、正方形の内部線分の見掛けの長さに関して、本論とよく似た結果が得られている(浜口,1993b)。ミュラー・リヤー(以後MLと略す)錯視は斜線(矢羽)の長さ及び挟角(主線と斜線のなす角度)の変化の影響を受けることはよく知られている(Lewis,1909;島田,1952;Oyama,1960;Robinson,1972;Coren & Girgus,1978)。内部線分と辺との交叉角度を挟角として、交叉点から長方形の角までの長さの辺を斜線としてML錯視図形と対応させると、内部線分とこれと交叉する辺とは、ML錯視図形の矢羽が内向きの内向図形成分(例えば、 $10^\circ$  実験条件の場合、アルファベットのZを横にしたような形)と、矢羽が外向きの外向図形成分(内向図形成分の矢羽部分を除いた線分と内部線分とが構成する形)とが合体した図形になっている。そして、内向図形成分は過小視を、外向図形成分は過大視を生起させるが、二つの成分は相接しているので、二つの成分の効果が差引され、いろいろな大きさの過小視になったり、過大視になったりするようである。長方形の対角線は、他の内部線分と比べて外向図形成分を持たず、二倍の内向図形成分を持つ。長方形の対角線の大きな過小視は、これに因るのであろう。

序において、長方形の対角線の過小視はメッツガー説によって説明できると仮定したが、このメッツガー説に替えて、長方形の対角線の過小視は内向図形成分によって説明できると、仮定を修正する必要がある。そして、平行四辺形の長対角線の過小視は、まずメッツガー説の要因による過小視が生起し、さらに内向図形成分による過小視が加重した結果であり、平行四辺形の短対角線の過大視は、まずメッツガー説の要因による過大視が生起し、さらに内向図形成分が過小視を生起させるが、過大視量が過小視量を上回るため結果的には過大視になると考え直す必要がある。

内向図形成分や外向図形成分が何故錯視を生起させるのかの問題について、主としてML錯視を実験的に研究することによって明らかにする必要があるが、それは、別に研究の機会を設けることにして、ここでは、簡単に考察することに止めたい。Blakemore, Carpenter & Georgeson(1970)やCarpenter & Blakemore(1973)は、二本の線分が角度を構成するとき、それぞれに応答する方向検出器間の側抑制により、いかに角度錯視が生起するかを実験し、鋭角の過大視、鈍角の過小視を発見した。浜口(1995)もML錯視図形における挟角錯視を実験し、内向挟角の過大視、外向挟角の過小視を発見した。対角線を持った長方形は、鋭角である内向図形成分を持つので、内向角度が過大視されるとすれば、対角線と交叉する部分は直角より過大視されることになる。したがって、対角線を持った長方形は、幾分短対角線を持った平行四辺形に変形され、過小視が生起する可能性がある。

Hubel & Wiesel(1979)は、一次視覚野に方向検出器の存在を指摘している。したがって、内向図形成分による錯視の生起は一次視覚野のレベルであろう。それでは、メッツガー説の要因は、どのレベルに関係するのであろうか。Zeki(1992)によると、視覚野は、機能別に大きく5つの領野に分かれている。

視覚野の窓口であるV1野(一次視覚野)は“郵便局”の役目をしており,画像信号をいったん集めて形や色や運動などの成分に分け,各成分を直接あるいはV2野経由でV3野とV4野とV5野に分配する.V5野は運動成分,V4野は色成分,V3野とV4野は形成分を扱う領野である.V2野は,V1野から入力を受け,V3野等の領野に信号を分配しているから,V1野とV2野は,異なる信号を適切な領野に配達する郵便局として働いているはずである.そして,V1野の細胞の受容野は小さく,V2野の細胞の受容野は大きいので,V1野は視覚情報処理能力が高く,V2野は視覚情報処理能力が低いといえる.したがって,V1野は細胞の受容野が小さいので,平行四辺形をかなり複雑な成分に分析できるが,V2野の細胞は受容野が大きいので,平行四辺形を比較的単純な成分にしか分析できず,たぶん長方形に近い平行四辺形の成分にしか分析できないのではなかろうか.つまり,V2野は,平行四辺形を単純化して長方形に変形する原因になる可能性を持っているので,このV2野の機能が,メッツガー説の要因の働きに密接に関係していると考えるのはそんなに不自然ではないであろう.しかし,平行四辺形の対角線の錯視を神経生理学的に説明するには,まだ,多くの研究が必要とされるであろう.

### 引用文献

- Blakemore,C., Carpenter,R.H.S., & Georgeson,M.A. 1970 Lateral inhibition between orientation detectors in the human visual system. *Nature*, **228**, 37-39.
- Carpenter,R.H.S., & Blakemore,C. 1973 Interactions between orientations in human vision. *Experimental Brain Research*, **18**, 287-303.
- Coren,S., & Girgus,J.S. 1978 *Seeing is deceiving: The psychology of visual illusions*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- 浜口恵治 1992a Metzgerの錯視理論に関する実験的研究 --- 楕円の長軸及び短軸の錯視を用いて --- 心理学研究, **63**, 337-340.
- 浜口恵治 1992b Metzgerの錯視理論に関する実験的研究(2) --- 長方形の長軸及び短軸の見かけの長さを用いて --- 高知大学学術研究報告, **41**, 人文科学, 39-45.
- Hamaguchi,K. 1993a An experimental study of the Sander illusion. *Japanese Journal of Psychonomic Science*, **12**, 39-44.
- 浜口恵治 1993b 正方形の対角線の過小視について 高知大学学術研究報告, **42**, 人文科学, 31-37.
- 浜口恵治 1995 ミュラー・リヤー錯視と角度錯視の関係 基礎心理学研究, **13**, 89-92.
- Hubel,D.H., & Wiesel,T.N. 1979 Brain mechanisms of vision. *Scientific American*, **241**, 150-162. [河内十郎(訳) 1982 視覚の脳内機構 塚田裕三(編) 脳を探る. 82-97, 日本経済新聞社]
- Lewis,E.O. 1909 Confluxion and contrast effects in the Müller-Lyer illusion. *British Journal of Psychology*, **3**, 21-41.
- メッツガー 盛永四郎(訳) 1968 視覚の法則 岩波書店 (Metzger,W. 1953 *Gesetze des Sehens*. Frankfurt: Waldemar Kramer)

- Oyama, T. 1960 Japanese studies on the so-called geometrical-optical illusions. *Psychologia*, 3, 7-20.
- Rausch, E. 1952 *Struktur und Metrik figural-optischer Wahrnehmung*. Frankfurt: Waldemar Kramer.
- Robinson, J.O. 1972 *The psychology of visual illusion*. London: Hutchinson.
- 島田一男 1952 ミュラー・リヤー錯視に関する文献の整理 心理学研究, 23, 111-123.
- Zeki, S. 1992 The visual image in mind and brain. *Scientific American*, 267, 42-50. [赤瀬英介・外山敬介(訳) 1993 脳と視覚 伊藤正男(監修) 松本元(編) 脳と心. 78-89, 日本経済新聞社]

平成7(1995)年9月1日受理

平成7(1995)年12月25日発行