

長方形の対角線の見掛けの長さ (2)

— 異方性と関連して —

浜 口 恵 治

(人文学部文学科心理学研究室)

The Apparent Lengths of the Diagonals of Rectangles (2): In Relation to the Anisotropy

Keiji HAMAGUCHI

(Laboratory of Psychology, Faculty of Humanities)

Abstract: The rectangle and the square with the diagonal of the same length were constructed, and the apparent lengths of the diagonals of each figure were measured when the orientation of each figure was varied in eight steps: 0.0° , 22.5° , 45.0° , 67.5° , 90.0° , 112.5° , 135.0° and 157.5° counterclockwise from the horizontal. In each figure the anisotropy of the apparent length of the diagonal was observed. The apparent lengths of the diagonals of the rectangles were underestimated when the diagonal angles were varied from 45.0° to 135.0° . The apparent lengths of all the diagonals of squares were underestimated and its underestimation increased when the diagonal angles ranged from 45.0° to 135.0° except 90.0° . The underestimation magnitude of diagonal of the square was larger than that of the rectangle. The illusionary underestimation of each figure was discussed in relation to the law of the good gestalt.

序

Metzger¹⁾は、平行四辺形の長い方の対角線（長対角線）の過小視、短い方の対角線（短対角線）の過大視を、「よき形態の法則」²⁾によって説明した。平行四辺形は、「よき形態」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、「よき形態」である長方形に近づこうとする傾向があると考えられる。平行四辺形が長方形になれば、長対角線は押し縮められ、逆に、短対角線は引き伸ばされることになり、その結果、長対角線の過小視、短対角線の過大視が生じることになる。

上記のような考えを延長すると、長方形は「よき形態」をしているので、長方形の対角線は、過小視も過大視もされないとの仮説がたてられる。そしてこの仮説の検討実験³⁾が行われたが、過小視されたものの統計的有意差に至らず、仮説を疑う根拠は得られなかった。しかし、統計的に有意に過小視されたとの実験結果⁴⁾もあり、長方形の対角線は過小視されるのであるが、ただ、なんらかの理由で、過小視量があまり大きくないので、統計的な誤差項である測定の変動を凌駕することができないため、統計的に有意になりにくいのであろうと考察された。

そして、統計的に有意に過小視されにくい理由の一つとして、空間の異方性の影響が考察された。ツェルナー錯視の場合、平行線（主線・この方向をもってこの図形方向とする）が、空間の主要方向である水平方向や垂直方向にあるときよりも、これより45°傾いた方向にあるときの方が、その錯視量は大きい^{5),6)}。長方形の対角線の見掛けの長さも、空間の異方性の影響を受けるかもしれない。先行の実験³⁾で用いた長方形の方向（横長に配置した長方形の長辺の方向をもってその図形方向とする）は、水平で、空間の主要方向と一致していたので、過小視されにくかったが、もし、長方形の方向を空間の主要方向より何度か傾けたならば、対角線の見掛けの長さはより多く過小視され、統計的に有意な結果が得られ易いかもしれない。

本論は、先行実験³⁾の考察の検討実験である。先行実験では、対角線の角度（水平な辺と対角線とのなす角度）が、5°、15°、25°、35°、45°の5種の長方形が用いられたが、本論では長方形の方向条件が加えられるので、あまり多種の長方形を用いると被験者に過大な測定時間を加することになり、2・3種しか用いることができない。先行実験において統計的には有意でなかったものの、対角線が45°の長方形（正方形・幾何学的には長方形の一種であるが、以下において、この長方形を正方形と記述する）の対角線の過小視が最も大きかった。それで、本論では、異方性と関連してより過小視され易いように正方形が一つと、その他の長方形の代表として、対角線の角度が22.5°の長方形が一つ用いられた。そして、これらの長方形と正方形を、その中心に関して、反時計回りに22.5°ステップで157.5°まで回転させ、長方形や正方形の方向が空間の主要方向より外れた場合、空間の異方性の影響を受けて、対角線の過小視がより大きくなるかどうか検討することが本論の目的とされた。

実 験

方 法

被験者 大学生12人（男2・女10）が用いられた。

刺激 標準刺激は、Fig. 2の条件欄に図示されている24種の図形である。実験条件刺激の長方形条件は、長辺と22.5°の角度をなし、長さが7.50cmの対角線をもった長方形（長辺の長さ6.93cm、短辺の長さ2.87cm）である。I条件は、長辺が水平に位置した長方形であり、この中心に関して22.5°ステップで反時計回りに回転させて、J～P条件とした。実験条件刺激の正方形条件は、辺と45.0°の角度をなし、長さが7.50cmの対角線をもった正方形（一辺の長さ5.30cm）である。Q条件は、各辺が水平・垂直にあり対角線の角度が45.0°である正方形であり、この中心に関して22.5°ステップで反時計回りに回転させて、R～X条件とした。統制条件刺激は、実験条件刺激図形の対角線に対応する同じ長さと同方向をもった単一線分である。A条件は、長さが7.50cmの水平な線分であり、この

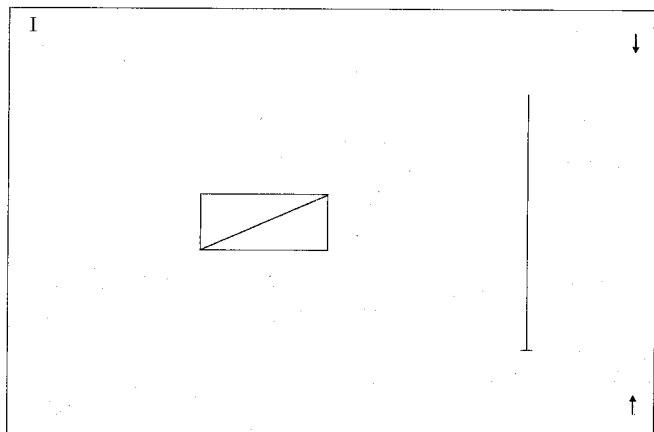


Fig. 1 刺激図の一例（I条件）

中心に関して22.5°ステップで反時計回りに回転させて、B~H条件とした。比較刺激は、標準刺激の中心より14.10cm右に描かれた長さ13.00cmの垂直な線分である。刺激図形は、PC-8801に接続したXYプロッター・WX-4636によって描かれた原図をB4判のリコピー感光紙に青焼きしたものである。これらの図は、縦22.00cm、横34.00cmの枠で囲み、印刷により図の位置がずれても、枠に対して相対的にずれないようにされた。線の太さはすべて0.5mmとされた(刺激図の一例(I条件)をFig.1に示した)。

手続 被験者調整法が用いられた。測定は、一人の被験者に対して96回行われたが、それを4つのブロックにわけ、それぞれのブロックにおいて24条件が、ランダムな順序でそれぞれ一回ずつ、上昇系列又は下降系列で測定された。第一ブロックにおいて上昇系列(下降系列)で測定された条件は、第二ブロックにおいては下降系列(上昇系列)、第三ブロックにおいては下降系列(上昇系列)、第四ブロックにおいては上昇系列(下降系列)で測定された。上昇系列の場合、被験者は、10cm×10cmの白紙で、比較刺激の下部の長さが、標準刺激の対角線あるいは、単一線分の見掛けの長さより短いように残して覆い、そこから白紙を次第に上にずらせて、対角線あるいは単一線分と見掛けのうでで等しい長さに見えるように調整し、その位置に印を記した。下降系列はこの反対であった。それぞれのブロックの24条件の測定で、上昇系列で測定される条件数と下降系列で測定される条件数とは、等しく12条件ずつになるようにされ、また、奇数番目の被験者が、ある条件を第一ブロックにおいて、上昇系列(下降系列)で測定された場合は、その条件は、偶数番目の被験者において、第一ブロックに下降系列(上昇系列)で測定されるようにした。このように、可能なかぎり順序効果が相殺されるようになされた測定順序は、被験者ごとに表にされ、24(刺激条件)×4(ブロック)=96枚の刺激図は、表の順序に並べられていくつかの冊子にされた。実験は、この冊子を各被験者に配布し、同時に行われた。測定に要する時間は、被験者のペースに任された。実験所要時間は、20分前後であった。

結 果

被験者12人のPSEの平均を長方形条件に関してはTable 1に、正方形条件に関してはTable 2に示した。また、統制条件・長方形条件・正方形条件別にそれらのPSEをFig.2に示した。統制条件である単一線分、長方形の対角線、正方形の対角線のそれらの見掛けの長さは(PSE)、それぞれ空間の異方性の影響を受けているようである。この結果を分散分析したところ、統計的に有意であった(統制条件： $F=14.19$ $df=(7, 77)$ $p<0.01$ 、長方形条件： $F=5.97$ $df=(7, 77)$)

Table 1 長方形の対角線の見掛けの長さ(PSE)と対応する統制条件のPSE、及びその錯視量とt検定

長方形	I	J	K	L	M	N	O	P
PSE	7.05	6.98	7.22	7.21	7.30	7.24	7.18	6.99
統制	B	C	D	E	F	G	H	A
PSE	7.00	7.30	7.51	7.45	7.54	7.48	7.10	7.05
錯視量	0.05	-0.32	-0.29	-0.24	-0.24	-0.24	0.08	-0.06
t検定	$t=0.52$	$t=2.94^*$	$t=4.34^{**}$	$t=2.01$	$t=4.09^{**}$	$t=2.00$	$t=0.88$	$t=0.80$

PSE (12人の平均・cm) * $p<0.05$ ** $p<0.01$

Table 2 正方形の対角線の見掛けの長さ (PSE) と対応する統制条件の PSE, 及びその錯視量と *t* 検定

正方形	Q	R	S	T	U	V	W	X
PSE	6.56	6.74	6.90	6.78	6.70	6.62	6.58	6.49
統制	C	D	E	F	G	H	A	B
PSE	7.30	7.51	7.45	7.54	7.48	7.10	7.05	7.00
錯視量	-0.74	-0.77	-0.55	-0.76	-0.78	-0.48	-0.47	-0.51
<i>t</i> 検定	<i>t</i> =7.32**	<i>t</i> =14.8**	<i>t</i> =5.93**	<i>t</i> =9.07**	<i>t</i> =7.42**	<i>t</i> =4.95**	<i>t</i> =6.42**	<i>t</i> =6.14**

PSE (12人の平均・cm) * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

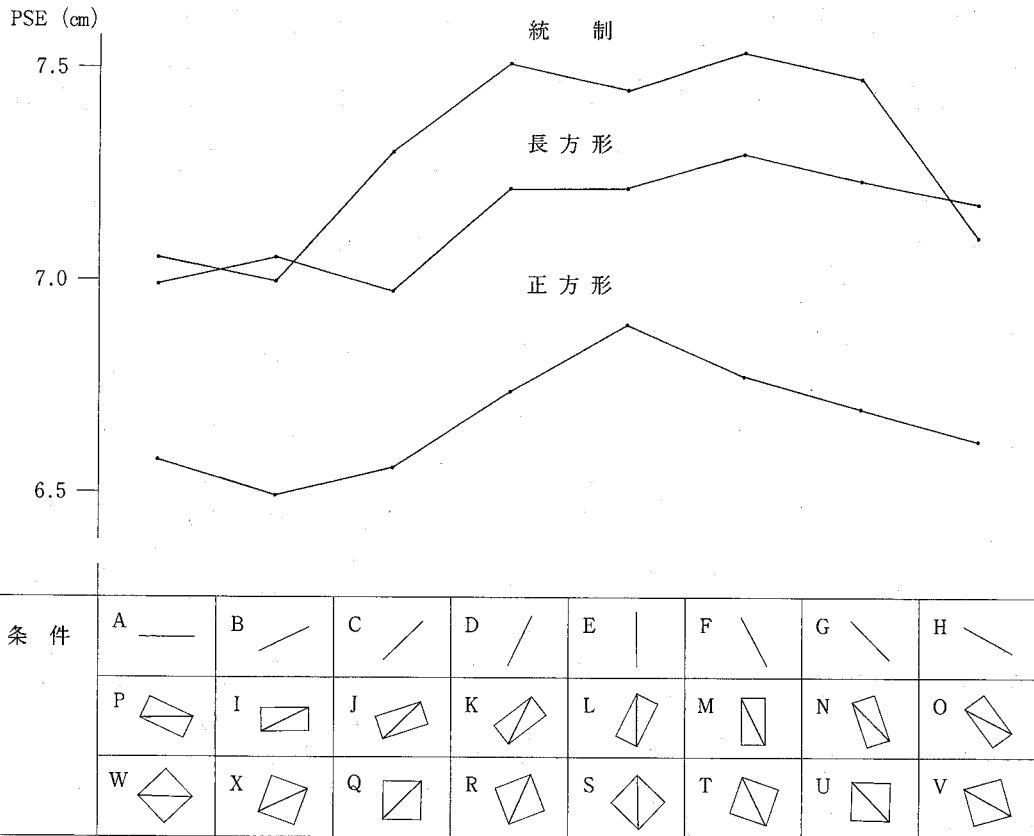


Fig. 2 各条件の見掛けの長さ (PSE・12人の平均)

$p < 0.01$, 正方形条件: $F = 6.41$ $df = (7, 77)$ $p < 0.01$ 。

長方形条件及び正方形条件の PSE とその対応する統制条件の PSE との差をもって錯視量とし、その錯視量を長方形条件に関しては Table 1 と Fig. 3 に、正方形条件に関しては Table 2 と Fig. 4 に示した。長方形及び正方形の対角線はそれぞれ過小視されているようであり、これらの過小視錯視量は統計的に有意であった (長方形条件: $F = 5.99$ $df = (1, 11)$ $p < 0.05$, 正方形条件: F

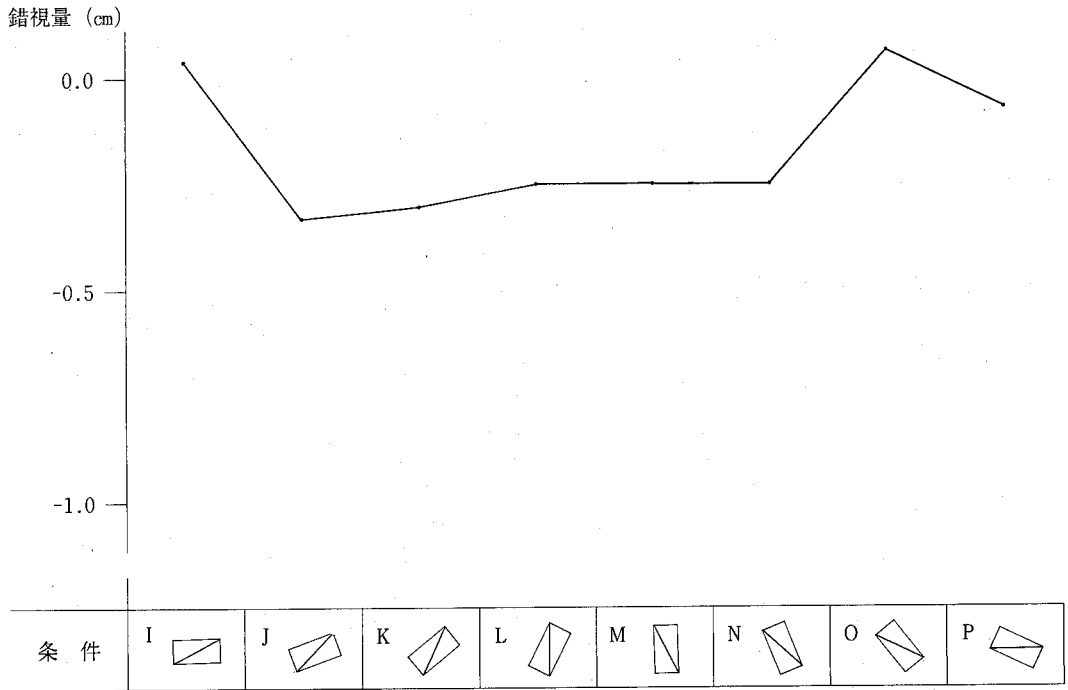


Fig. 3 長方形の対角線の錯視 (12人の平均)

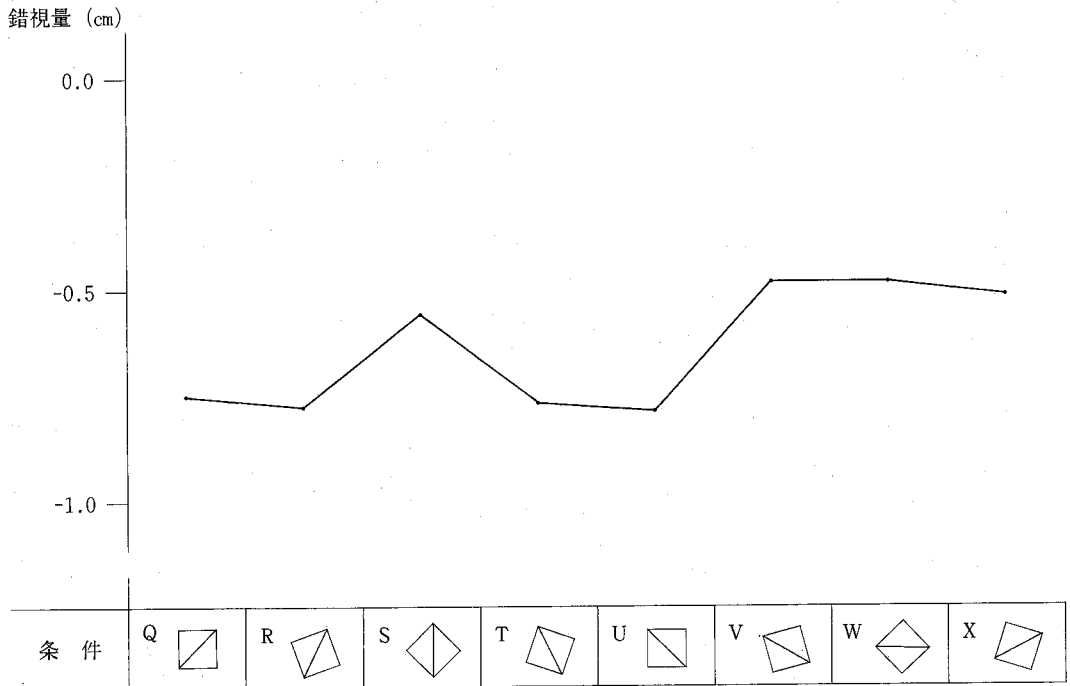


Fig. 4 正方形の対角線の錯視 (12人の平均)

$=110.63$ $df=(1, 11)$ $p<0.01$ 。さらに、長方形及び正方形の対角線の錯視量は、図形の方
向により異なっていて、空間の異方性の影響を受けているようであり、図形の方
向による錯視量の
差は統計的に有意であった(長方形条件: $F=4.39$ $df=(7, 77)$ $p<0.01$, 正方形条件: F
 $=4.30$ $df=(7, 77)$ $p<0.01$)。

Fig. 2を見ると、正方形の対角線のPSEは、長方形の対角線のPSEと比較して非常に小さい。
したがって、Fig. 3とFig. 4を比較しても明らかなように、正方形の対角線の錯視量の方が大きい
ようであり、長方形と正方形の対角線の錯視量には統計的に有意な差があった($F=41.66$ $df=$
 $(1, 11)$ $p<0.01$)。さらに、Fig. 3とFig. 4を比較すると、長方形の対角線の錯視量は、対角線
が $45^\circ\sim 135^\circ$ になるように、長方形が配置されているときに大きい、正方形の対角線の錯視量は、
対角線がおおむね $45^\circ\sim 135^\circ$ になるように、正方形が配置されているときに大きいものの、途中、
対角線が 90° になるように配置されているとき急激な錯視量の減少がある。したがって、長方形と
正方形の対角線の錯視の異方性は異なっているようであり、統計的に、図形と方向の交互作用が有
意であった($F=2.79$ $df=(7, 77)$ $p<0.05$)。

考 察

このように、長方形と正方形の対角線の錯視量間に差があり、また、長方形と正方形の対角線の
錯視の異方性も異なっている、対角線の錯視に関して、長方形と正方形とを分けて考察する。

長方形の対角線の錯視

















全体的には、長方形の対角線は、過小視されたが、Table 1を見ると、統計的に有意に過小視さ
れたのはJ・K・M条件だけであった。Fig. 3をみると、対角線が $45^\circ\sim 135^\circ$ になるように長方形
が配置されているときに錯視量が大きく、空間の異方性が生じている。しかし、ツェルナー錯
視^{5),6)}では、図形の方が空間の主要方向に配置されたとき、錯視量の減少が見られたが、長方形
の方向が空間の主要方向にあるM条件には、錯視量の減少が見られなかった。Table 3に見るように、
長方形の方向が空間の主要方向にあるI条件とM条件とは、錯視量において統計的に有意な差があ
った。Fig. 2を見ると、長方形の対角線が水平方向から垂直方向になるにつれて、そのPSEは大き
くなっているが、統制条件である単一線分のPSE程大きくはなっていない。これは、あたかも長
方形の枠組が、対角線の見掛けの長さ(PSE)の変化を抑制しているかのようである。その結果、
錯視量は両者のPSE間の差であるから、対角線の方向が水平に近い横長の長方形であるI条件で
は錯視量は小さく、対角線の方向が垂直に近い縦長の長方形であるM条件では錯視量は大きくなっ
て、両者の間に有意な錯視量の差が生じたのであろう。

ミュラー・リヤー錯視図(主線の方角をもってこの図形の方角とする)の場合、その主線の見掛
けの長さの異方性は、単一線分の見掛けの長さの異方性^{7),8),9)}と平行的な関係を示す¹⁰⁾。しかし、
長方形の見掛けの長さの場合にはそうでなかった。ミュラー・リヤーの錯視図は、「よき形態」であ
るH型の歪んだ形である^{1),11)}ので、主線と単一線分との見掛けの長さの異方性の平行関係が生じ
たのであろう。そして、長方形は、「よき形態」であるので、その対角線の見掛けの長さの異方性
を抑制し、そのため、単一線分の見掛けの長さの異方性と平行関係が生じなかったのであろう。

このように、長方形の対角線の錯視に異方性が生じたり、横長の長方形(I条件)と縦長の長方
形(M条件)との間に錯視量の差が生じたりしたのは、長方形の「よき形態」性のせいであると考
えられ、この結果は、Metzger¹⁾の仮説を疑う根拠にはならないと思われる。

水平方向にある横長の長方形の対角線が、わずかに過小視錯視されることがある^{3),4),12)}。この

Table 3 長方形の対角線の錯視に関する各条件間の t 検定

条件 錯視量	I 	J 	K 	L 	M 	N 	O 	P 
	0.05	-0.32	-0.29	-0.24	-0.24	-0.24	0.08	-0.06
I  0.05								
J  -0.32	$t=3.63^{**}$							
K  -0.29	$t=3.92^{**}$	$t=0.25$						
L  -0.24	$t=3.01^*$	$t=0.68$	$t=0.51$					
M  -0.24	$t=3.79^{**}$	$t=1.00$	$t=0.89$	$t=0.01$				
N  -0.24	$t=2.18$	$t=0.75$	$t=0.45$	$t=0.03$	$t=0.03$			
O  0.08	$t=0.27$	$t=4.35^{**}$	$t=4.00^{**}$	$t=2.43^*$	$t=3.49^{**}$	$t=2.45^*$		
P  -0.06	$t=1.04$	$t=3.35^{**}$	$t=2.42^*$	$t=1.46$	$t=2.69^*$	$t=1.48$	$t=1.64$	

















錯視量 (12人の平均・cm) * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

場合、対角線は $0^\circ \sim 45^\circ$ の傾きを持つため、この対角線の見掛けの長さは、空間の異方性の影響を受け、傾きが増すにつれて大きくなるが、長方形の「よき形態」性が、その対角線の見掛けの長さの異方性を抑制するため、統制条件である単一線分の見掛けの長さの異方性程、対角線の見掛けの長さは大きくなる。錯視量は両者の差であるから、結果として、長方形の対角線は過小視錯視されることになる。先行実験で正方形の対角線の錯視が最も大きかったのは、 45° のとき、両者の差が最もおおくなるからであろう。このように、もし、長方形の対角線が過小視錯視されても、Metzger¹⁾の仮説を疑う根拠にはならないと考えられる。

正方形の対角線の錯視

Table 2 に見るように、正方形条件は、すべて統計的に有意な過小視錯視が生じた。また、Fig. 4 を見ると、正方形の回転に伴い錯視量は変化し、空間の異方性が生じた。しかし、正方形の方向

Table 4 正方形の対角線の錯視に関する各条件間のt検定

条件 錯視量	Q  -0.74	R  -0.77	S  -0.55	T  -0.76	U  -0.78	V  -0.48	W  -0.47	X  -0.51
Q  -0.74								
R  -0.77	$t=0.38$							
S  -0.55	$t=1.61$	$t=1.95$						
T  -0.76	$t=0.27$	$t=0.23$	$t=2.02$					
U  -0.78	$t=0.40$	$t=0.05$	$t=1.60$	$t=0.24$				
V  -0.48	$t=5.01^{**}$	$t=3.00^*$	$t=0.58$	$t=3.69^{**}$	$t=2.32^*$			
W  -0.47	$t=3.03^*$	$t=3.54^{**}$	$t=0.88$	$t=3.97^{**}$	$t=2.80^*$	$t=0.08$		
X  -0.51	$t=2.35^*$	$t=3.50^{**}$	$t=0.40$	$t=3.25^{**}$	$t=2.95^*$	$t=0.19$	$t=0.40$	

錯視量 (12人の平均・cm) * $p < 0.05$ ** $p < 0.01$

(便宜上Q条件を水平方向にある正方形とする) が空間の主要方向にあるQ条件やU条件より、正方形の方向が空間の主要方向より45°外れたS条件やW条件のほうが錯視量が小さく、Table 4 に見るように、統計的に有意に達するものもあった(Q : W, U : W)。このように、空間の主要方向より外れた方向に配置された図形の方が、錯視量が小さいという異方性の現れ方は、ツェルナー錯視の場合^{5),6)}と逆である。

斜線が90°をなす内向ミュラー・リヤー錯視図を、その斜線が接するまで延ばせば対角線を持った正方形になる。それで、Q~X条件の刺激図を、ミュラー・リヤー錯視図を回転させたものとするれば、SとW条件は主線が空間の主要方向にあり、QとU条件は主線が空間の主要方向より45°外れた方向にあるミュラー・リヤー錯視図と考えることができる。そして、Q・U条件における錯視量の増大を、図形の方向が空間の主要方向より外れたためであると説明できる。しかし、ミュラー・リヤー錯視には異方性はない¹⁰⁾ので、Q・U条件における錯視量の増大をミュラー・リヤー錯

視に関連させて説明することはできない。

S・W条件を、正方形を45°回転させた図形と知覚しないで、菱形と知覚することができる。そして、Q～X条件を正方形を回転させて得た一連の図形と知覚しないで、菱形を回転させて得た一連の図形と知覚することができる。そうすると、S・W条件は、空間の主要方向と一致した菱形(この対角線の方向をもってこの図形の方向とする)ということになり、Q・U条件は、空間の主要方向より45°外れた菱形ということになる。そして、Fig. 4に見るQ・U条件における錯視量の増大は、菱形の対角線の錯視の異方性が、ツェルナー錯視の異方性^{5), 6)}と同じように、菱形が空間の主要方向より45°外れた方向に配置されたために生じたのであると考えることができる。しかし、この考え方の正否は、もっと一般的な形の菱形を用いた、対角線の錯視の異方性の検討実験を待たねばならない。

正方形の対角線の錯視量は、長方形の対角線の錯視量と比較して非常に大きい。そして、先行実験³⁾で用いた当実験と同じ正方形(Q条件)の対角線の錯視量よりも非常に大きい(先行実験: -0.43cm 当実験: -0.74cm)。このように、当実験における正方形の過大な錯視量は、上述したように、Q～X条件の図形が、正方形としてではなく、菱形として知覚されたためではないだろうか。一般的な菱形は、見方によっては、ゴムや布の幕の裂け目の真ん中を開き伸ばして広げたように見える。すなわち、歪んだ図形として知覚することができる。そして、その反動としての過小視が生じたのではないだろうか。

当実験において、何故、正方形が菱形として知覚されたのではないかと考える理由は、Q～X条件の作り出す文脈にある。Table 2やFig. 4の正方形条件欄にあるように、空間の主要方向と一致した正方形であるQ条件から順番に図形が呈示されていけば、一連の図形は、正方形を回転して得られた図形であると知覚される可能性が高いであろうが、図形の呈示はランダムにおこなわれたので、一連の図形が、正方形を回転した図形であるとの知覚は成立しにくく、正方形は一般的には菱形の一種であるので、むしろ、一連の図形は、菱形を回転して得られた図形であると知覚されたのではないだろうか。もちろん、先行実験³⁾のように、方向が水平方向にある一連の長方形の文脈の中に正方形が呈示されれば、正方形を菱形として知覚するようなことはおこらないであろう。それゆえ、先行実験の正方形の対角線の過小視は、統計的に有意になるほど大きくはなかったのであろう。このように、当実験の結果は、Metzger¹⁾の仮説を疑う根拠にはならないと思われる。

References

- 1) Metzger, W.: *Gesetze des Sehens*. Waldemar Kramer, Frankfurt (1953). [盛永四郎(訳) 視覚の法則, p. 150-155, 岩波書店(1968)]
- 2) Wertheimer, M.: Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt. II.: *Psychologische Forschung*, 4, 301-350 (1923).
- 3) 浜口恵治: 長方形の対角線の見掛けの長さ. 高知大学学術研究報告, 37, 人文科学, 27-33 (1988).
- 4) 浜口恵治: 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 (1986).
- 5) 盛永四郎: ツェルナー氏錯視の研究. 心理学研究, 8, 195-242 (1933).
- 6) Oyama, T.: Determinants of the Zöllner illusion. *Psychological Research*, 37, 261-280 (1975).
- 7) Shipley, W. C., Nann, B. M., & Penfield, M. J.: The apparent length of tilted lines. *Journal of Experimental Psychology*, 39, 548-551 (1949).
- 8) Pollock, W. T., & Chapanis, A.: The apparent length of a line as a function of its inclination. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 4, 170-178 (1952).
- 9) Suto, Y. Study on the interdependence of the horizontal-vertical illusion and the divided illusion: I. *Japanese Psychological Research*, 2, 81-93 (1960).

- 10) 浜口恵治：ミュラー・リヤー錯視の異方性. 高知大学学術研究報告, 34, 人文科学, 63-70 (1986).
- 11) 浜口恵治：見る世界 — あなたは、外界をどのように知覚していますか — . 中島 誠 他著 新心の探検隊 (あなたも心の中をのぞいてみませんか). P.127-180 (1988).
- 12) 浜口恵治：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 (1987).

(平成元年10月5日受理)

(平成元年12月27日発行)