両眼網膜非対応をもたないステレオグラムに対する奥行反応： “Lau 効果” について¹

九州大学 柳田多聞・原口雅浩²
東京商船大学 下野孝一
筑紫女子学園短期大学 酒井均
北九州大学 近藤倫明

Apparent depth by the stereograms without binocular retinal disparity: Is Lau effect artifact?

Tamon Yanagida (*Department of Psychology, Kyushu University, Hakozaki, Fukuoka, 812*), Masahiro Haraguchi (*Department of Psychology, College of General Education, Kyushu University, Ropponmatsu, Fukuoka 810*), Koichi Shimono (*Social Science Laboratory, Tokyo University of Mercantile Marine, Etchujima, Koto-ku, Tokyo 135*), Hitoshi Sakai (*Preschool Education Course, Chikushi Jogakuen Junior College, Ishizaka, Dazaifu 818-01*) and Michiaki Kondo (*Department of Psychology, Kitakyushu University, Kokuraminami-ku, Kitakyushu 802*)

We examined the idea that, when the Zöllner figure in one eye and the principal lines in the figure in the other eye were presented, the perceived depth is due to “phenomenal” disparity. The phenomenal disparity is defined as apparent displacement between two illusory “oblique” principal lines in one eye and two “parallel” principal lines in the other. Observers were asked whether depth was seen or not at upper or lower part of the two perceived lines and, if seen, which line was closer. Seventeen observers showed that only 9% of their responses was consistent with the idea, although they reported depths for disparity stimuli. This suggests that the dichoptic presentation of such figures should not be considered as that requires the processing of binocular disparity.

Key words: phenomenal disparity, Zöllner illusion, stereopsis, “Lau” effect, apparent depth

Wheatstone (1838) は互いに水平方向のずれを持った一組の刺激を両眼分離 (dichoptic) 提示すると奥行印象が生じることを示した。それ以来、刺激の作りだした網膜上のずれ (binocular retinal disparity: 両眼網膜非対応, 以下網膜非対応) は見えの奥行感を生む手がかりの1つとして認められている。この網膜非対応によって引き起こされる見える奥行感は両眼立体視 (binocular stereopsis) と呼ばれている。

一方、網膜非対応のない刺激を両眼分離提示しても奥行感が生じるという現象もいくつか報告されている (例えば, Kaufman, Bacon, & Barroso, 1973; Shipley &

Hyson, 1972; 和田, 1978; 吉岡, 1983)。そのような現象の1つに、Lau (1922) によって報告された “Lau 効果” がある (和田, 1978; 吉岡, 1983)。Lau は一方の眼に Zöllner 錯視図形を、他方の眼にはその錯視図形から斜線 (条件線分) を除いた平行線分 (主線) を提示すると奥行感が生まれることを報告した (Squires, 1956; 和田, 1978; 吉岡, 1983)。例えば、Figure 1 において Pz の縦の線分は上端が見かけ上内側へ偏位しているが、物理的には、垂直線分 Pp と同じように平行である。ここで、右眼で Pz を左眼で Pp を観察すると、2本の線分の上部では右側が左側より手前に見え、下部では左側が右側より手前に見える場合がある。その奥行方向は、錯視図形によって生じた見かけ上の偏位に基づく “現象的” 非対応 (phenomenal binocular disparity) によって予測される奥行方向と一致している。この場合の奥行効果

¹ この実験の一部は文部省科学研究費 奨励研究 (A) (課題番号 63790025) の補助を受けた。

² 現所属 久留米大学文学部人間科学科

を Lau 効果という(和田, 1978).

Lau 効果を引き起こす刺激対は網膜非対応を生じない. このことは, 先述の両眼立体視の定義と矛盾している. この矛盾を解くには, 両眼立体視の定義を修正し, “物理的” 網膜非対応に加え, “現象的” 非対応も両眼立体視を生じうるとする必要がある. はたして, 現象的非対応は, 物理的網膜非対応同様に両眼立体視を引き起こすといえるだろうか.

今までの研究は, Lau 効果は必ずしも明白なものではなく, むしろ “微弱なものである” ことを示唆している(和田, 1978; 吉岡, 1983). 和田(1978)の報告は1人の被験者の観察であり(和田, 1986³), また, 吉岡(1983)によれば, Zöllner 錯視図形を使った場合には, 4人の被験者の反応の 7.1% しか Lau 効果は生じていない. もし, Lau 効果が現象的非対応によるものであれば, 現象的非対応を持つ刺激対に対する奥行反応の生起率は, それを持たない刺激対に対する奥行反応の生起率より高くなるはずである. 和田(1978)や吉岡(1983)の実験では, 現象的非対応を持つ刺激対と持たない刺激対に対する奥行反応との比較がなされていないため, 得られた奥行反応が Lau 効果なのかどうかはわからない. 本実験では, 現象的非対応を持つ刺激対と持たない刺激対での奥行反応の生起率を比較し, Lau 効果が存在するかどうかを検討する.

方 法

刺激と装置 Figure 1 に示す6種類の刺激図形が用いられた. 主線は互いに平行である垂直線分(P刺激)と垂直方向から互いに内側に 2° 傾いている線分(O刺激)の2種類があった. O刺激の輻輳角は, 本実験で用いられた Zöllner 錯視図形の錯視量に相当する⁴. P刺激には条件線分が斜線であるもの(Pz), 水平線分であるもの(Ph), 条件線分のないもの(Pp)の3種類があり, O刺激にも条件線分が斜線であるもの(Oz), 水平線分であるもの(Oh), 条件線分のないもの(Op)の3種類があった.

すべての原刺激図形の主線と条件線分はインスタントレタリングによって作成された. まず, 平行な主線と傾いた主線をそれぞれ1つずつ作成し, それらのコピーに条件線分を書き加えた. この方法は, 刺激を作る際に生

じる歪みを刺激図形間で等しくし, 主線が歪んで網膜非対応を作らないようにするためにおこなわれた. さらにこの原刺激図形を OHP フィルムに縮小コピーし, それを透明アクリル板に装着した. 最終的にできあがった刺激図形の主線の長さとは幅はそれぞれ, 3.20 cm, 0.02 cm であり, 条件線分の長さとは幅はそれぞれ, 1.35 cm と 0.02 cm であった. Pz, Oz 刺激の場合, 主線と条件線分のなす角度は約 30° であった. この角度は, これまでの研究から Zöllner 錯視図形において最も大きな錯視量が得られた角度である(和田, 1978を参照).

これらの刺激図形はハプロスコープ(東京光学, SYNOPTOPHORE ED-011)によって提示された. ハプロスコープの両眼輻輳角は調節距離と輻輳距離を一致させるために 18° に保たれた.

手続き 実験に使われた刺激は網膜非対応をもつもの3種類(Pz-Oz, Ph-Oh, Pp-Op: 以下非対応刺激), 現象的非対応をもつと仮定されるもの1種類(Pz-Pp: 以下現象的非対応刺激), 網膜非対応も現象的非対応も持たないもの8種類(Ph-Pp, Pz-Pz, Pp-Pp, Pz-, Ph-, Pp-, Oh-, Op-: 以下統制刺激)の12種類であった. Pz-, Ph-, Pp-, Oh-, Op- と表記されたものは, 左右いずれかの眼にのみ刺激が提示され, もう一方の眼には何も提示されていないものである. 統制刺激のうち Pz-Pz と Pz- が Zöllner 錯視図形を含む錯視刺激であった.

被験者の課題は実験者の合図に従い, ハプロスコープを観察し, それぞれの刺激に対する以下の質問に口頭で答えることであった.

- (1) 2本の縦の線分は同一平面上にあるか
- (A. 同一平面にあると答えた場合)
- (2) 線分の上部が広いのか, 下部が広いのか, 平行か
- (3) 線分の上端間と下端間の距離はそれぞれ何 mm

Figure 1. 刺激図形: P刺激—主線が物理的に平行である刺激. O刺激—主線が内側へ 2° 傾いている刺激.

³ 和田陽平, 1986年(私信)

⁴ この錯視量は4人の被験者の平均値である. 被験者は, 本実験と同じ実験装置上に置かれた Zöllner 錯視図形を観察し, 見えの傾きを再生した. 被験者は彼らの前方に置かれた一枚のウッドラックパネル CP 紙に装着された2本の棒(6 cm×0.5 cm)を回転させることによって見えの傾きを調整した. その2本の調整棒は中央を中心に回転し, 回転中心間の距離は3 cmであった.

Table 1
各刺激条件に対する反応カテゴリーの頻度

反応カテゴリー	刺激条件											
	非対応			現象的非対応				統 制				
	Pz-Oz	Ph-Oh	Pp-Op	Pz-Pp	Pz-Pz	Pz-	Ph-Pp	Pp-Pp	Pp-	Ph-	Oh-	Op-
奥行あり												
一致	34	34	33	3	0	1	2	0	3	2	5	2
不一致	0	0	0	2	1	0	3	4	0	1	6	1
奥行なし												
平行	0	0	0	13	4	8	27	28	27	26	4	1
下広	0	0	1	16	29	24	0	0	1	4	19	30
上広	0	0	0	0	0	1	2	2	3	1	0	0

か

(B. 同一平面にないと答えた場合)

(2) 線分の上部および下部で左右いずれの線分が手前にみえるか

(3) 線分の上端および下端で、左右線分間の奥行は何 mm か

各被験者は上述した 12 種類の刺激とそれぞれ左右の単眼視野図形を入れ換えた合計 24 個の刺激に対する見えを報告した。24 個の刺激は被験者ごとにランダムな順序で提示された。

被験者 大学生および大学院生 20 名、視力は矯正視力を含め、全員 0.8 以上であった。

結果と考察

被験者の反応を、質問 1 の回答に基づいて、まず奥行があるかないかの 2 つに分けた。奥行が報告された場合、2 本の主線の知覚された奥行関係が網膜非対応あるいは現象的非対応によって予測される奥行関係と一致しているかどうかによって、“一致”と“不一致”に分類した。ただし、統制刺激については、2 本の主線の上部では左側が手前で下部では右側が手前、あるいはその逆の奥行関係が知覚されたならば“一致”に、それ以外の奥行関係が知覚されたならば“不一致”に分類した。これらは質問 B の 2 による。統制刺激についての被験者の反応をこのように分類した理由は、網膜非対応も現象的非対応も持たない統制刺激と現象的非対応を持つ刺激に対する奥行反応の比率を比較することによって、Lau 効果における見えの奥行が、現象的非対応によって生じたものであるかどうかを検討するためである。

また、奥行が報告されなかった場合、2 本の線分が平行に知覚されるか、Zöllner 錯視と一致する歪みがあるか（線分の下部が広い）、一致しない歪みがあるか（線分の上部が広い）によって、“平行”、“下広”、“上広”

の 3 つに分けた。これは質問 A の 2 による。

被験者が網膜非対応を検出できることと錯視を報告することが本実験の前提条件である。被験者が網膜非対応をもつ刺激を観察したとき、網膜非対応に基づく予測に対応した奥行を報告した場合、彼らは網膜非対応検出能力があると考えられる。さらに、現象的非対応が生じるためには、Zöllner 錯視図形を観察したとき、それに一致した歪みが生じなければならない。そこで、非対応刺激と錯視刺激に対する被験者の反応を分析した。その結果、20 名の被験者のうち 19 名の被験者は非対応刺激のいずれかに対して“一致”反応をし、18 名が錯視刺激のいずれかに対して“下広”反応をした。網膜非対応をまったく検出できなかった 1 人の被験者と錯視をまったく報告しなかった 2 人の計 3 名の反応は以下の分析対象から除外した。

本実験では、網膜非対応による奥行量と現象的非対応による奥行量を比較するために、被験者に見えの奥行量を報告してもらった。しかし、以下に述べるように現象的非対応に対する奥行の生起率が非常に低かったので、見えの奥行量の分析はしていない。

Table 1 に各刺激に対する反応カテゴリーごとの生起頻度を示す。現象的非対応刺激における反応をみると、確かに現象的非対応の予測と一致する奥行が報告されている。ただしその生起率は非常に低い(9%)。もし、Lau 効果を両眼立体視によって生じたものであると考えるならば、奥行の生起率の低さを説明する必要がある。一方の眼に提示された錯視図形(Pz)が錯視を生じなかったために、現象的非対応は生まれなかったと仮定すれば、その差は説明できる。しかし、錯視刺激に対する反応を見ると 85% (Pz-Pz) および 71% (Pz-) が“下広”に分類されており、上記の仮定は支持できない。

また、統制刺激のうち、Ph-Pp と Ph- に対する“一致”反応はともに 6% であり、現象的非対応刺激の場

合の生起率とほとんど同じであった。このことは、Lau 効果は現象的非対応によって生じたというよりはむしろ、条件線分の付加という要因によって生じたようにみえる。

さらに、単眼にしか刺激を提示しなかった Pz-, Pp-, Oh-, Op- の場合、“一致”に分類された反応はそれぞれ、3%, 9%, 15%, 6% であり、これらの比率も現象的非対応刺激の場合の生起率とほとんど同じである。これらの結果もまた Lau 効果を現象的非対応の概念で説明する必要がないことを示している。

本実験結果から、統制条件である、条件線分に水平線分を付加した刺激 (Ph-Pp) や単眼にしか刺激が提示されない刺激 (例えば、Pz-) での“一致”の生起率が、現象的非対応をもつと仮定される刺激 (Pz-Pp) での生起率と差がないということがわかった。これらの結果に基づけば、Lau 効果における見えの奥行を現象的非対応によって生じたものであるという意見には同意できない。このことは、Lau 効果は両眼立体視の枠組みの中で説明する必要がないということを意味している。したがって、Lau 効果の説明に現象的非対応の概念を持ち込む必要はないと考えられる。

引用文献

- Kaufman, L., Bacon, J., & Barroso, F. 1973 Stereopsis without image segregation. *Vision Research*, **13**, 137-147.
- Lau, E. 1922 Versuche über das stereoskopische Sehen. *Psychologische Forschung*, **2**, 1-4.
- Shipley, T., & Hyson, M. 1972 The stereoscopic sense of order: a classification of stereograms. *American Journal of Optometry and Archives of American Academy of Optometry*, **49**, 83-96.
- Squires, P. 1956 Stereopsis produced without horizontally disparate loci. *Journal of Experimental Psychology*, **52**, 199-203.
- 和田陽平 1978 幾何学的錯視による両眼像差の持つ奥行効果の観察 明星大学研究紀要(人文学部), **14**, 9-21.
- Wheatstone, C. 1838 Contributions to the physiology of vision. Part the first. On some remarkable and hitherto unobserved phenomena of binocular vision. *Philosophical Transactions of Royal Society*, 1838 (11), 371-394.
- 吉岡一郎 1983 図形の双眼呈示による幾何学的錯視の研究 昭和 57 年度科学研究費補助金研究成果報告書.