

諸恒常現象間の相関に関する研究(第6報) : 知覚恒 常性とLuneburgの視空間理論 (4)

石井, 克己

<https://doi.org/10.15017/2328759>

出版情報 : 哲學年報. 25, pp.1-21, 1964-10-20. 九州大学文学部
バージョン :
権利関係 :

諸恒常現象間の相関に関する研究

(第 6 報告)

—知覚恒常性と Luneburg の視空間理論(4)—

石 井 克 己

1. 序 言

前回の報告(8)では、大きさの恒常度 Z_s 、形の恒常度 Z_F と Luneburg 定数 σ 、 k との相関を検討したが、その結果、大きさや形の恒常現象と深い関連を有するのは、奥行知覚の正確さを表わす定数 σ よりもむしろ視空間の曲率を示す定数 k であることを知った。すなわち、 k が +1 から -1 へと変化するにつれて、恒常度 Z は高くなる傾向(負の相関)を見出した。

Luneburg(6), (10)は、既に大きさの恒常性が、 k が -1 に近づくほどよく保たれると述べているが、 $k > 0$ の方向については言及していない。なぜならば、Luneburg(9)は、視空間の曲率の符号は、実験によって決定すべきであると云うが、Blumenfeld(1913)の実験結果を用いて $k < 0$ であること、すなわち、われわれの視空間は、負の定曲率をもった双曲的 Riemann 空間であると考えからである。

その後、2, 3の研究は、Luneburg のこの考えを支持している。たとえば、Zajaczkowska(13), (14)は、Luneburg の 3点および4点法によって、 σ 、 k を測定し、30名の観察者(O)全部について、 $k < 0$ なることを認め、また、印東氏など(4), (5)も、3点および4点法、ならびに並木実験を実施した結果、8名のOの殆んど全員が $k < 0$ であった。しかし一方において、Hardy など(3)は、並木実験により、その15名のO中、9名は $k > 0$ で、残りの6名は $k > 0$ であるとの結果を得た。また Shipley(11), (12)も2名

のOについての並木実験の結果から、われわれの視空間は、双曲的であるよりもむしろ楕円の ($k > 0$) であると主張している。

そこで、視空間は、Lunenburg が示唆するように、 $k < 0$ の双曲的空間なのであろうか、それとも、Shipley の主張するように $k > 0$ の楕円の空間なのであろうか、或はまた Hardy などや筆者の結果が示すように両者にわたるのであろうか。これは、視空間の研究にとっての1つの重要な課題であると考えられる。

今回の報告は、主としてこの問題をとり扱うことにした。さいわい、Blank (1), (2) は、曲率の符号を決定する比較的容易な方法を提案しているので、これを採用することにした。

なお、この曲率の符号に関連した2、3の問題も考察したいと思う。

2. 視空間の曲率 k の符号の決定—Blank の方法

視空間の曲率 k の値は、正、負の符号も含めて Lunenburg (10) の3点法、4点法および並木法などによって決定されるが、Blank は、 k の符号のみを決定する簡単な3つの方法を提案している。その中の2つは、暗室内で2個の光点のみをとり扱うので、上記の Lunenburg の方法に対して2点法とも呼べよう。第3の方法は、6個の光点をとり扱うものでやや複雑である。これらの方法の原理を、先ず述べることにする。

2.1. 2点法(1)—正三角形法

暗室内で、観察者 O の両眼を通る水平面 ($\theta = 0$) 上で、2個の光点 P_1 (r_1, ϕ_1)、 P_2 (r_2, ϕ_2) を提示し*、この内一方 P_1 は固定し、他方 P_2 を動かして、3つの見えの距離が等しくなるように— $(OP_1) = (OP_2) = (P_1P_2)$ 、すなわち観察者 O と2個の光点 P_1 、 P_2 とで見かけ上正三角形をなすように P_2 を調整することが求められる (図 [1] 参照)。

* 両眼を極とする両極座標では、視空間の点Pは (r, ϕ, θ) で表わされる。

$\theta = |\phi_2 - \phi_1|$ とするとき*, もし $\theta = 60^\circ$ ならば, 視空間の曲率は $k=0$ (Euclid 的), $\theta < 60^\circ$ ならば, $k < 0$ (双曲的), また $\theta > 60^\circ$ ならば $k > 0$ (楕円の) と判定される。

この理由は, 次のように説明される。

図〔1〕の $\triangle OP_1P_2$ で, 見えの距離が $r_1 = r_2 = r_3 = r$ であるとして, 余弦法則を適用する**。

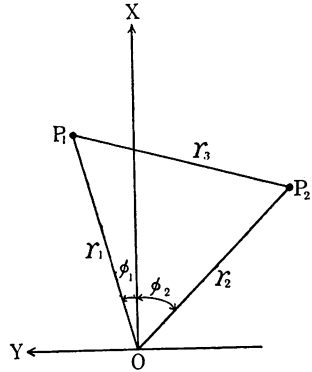
先ず Euclid 空間 ($k=0$) では,

$$\begin{aligned} r_3^2 &= r_1^2 + r_2^2 - 2r_1r_2\cos\theta \\ r^2 &= 2r^2 - 2r^2\cos\theta \\ 2r^2\cos\theta &= r^2 \\ \cos\theta &= 1/2 \\ \therefore \theta &= 60^\circ \end{aligned}$$

次に, 双曲空間 ($k < 0$) では,

$$\begin{aligned} \cosh r_3 &= \cosh r_1 \cosh r_2 - \sinh r_1 \sinh r_2 \cos \theta \\ \cosh r &= \cosh^2 r - \sinh^2 r \cos \theta \\ &= \cosh^2 r - (\cosh^2 r - 1) \cos \theta \\ \cos \theta &= \frac{\cosh^2 r - \cosh r}{\cosh^2 r - 1} \\ &= \frac{\cosh r (\cosh r - 1)}{(\cosh r + 1) (\cosh r - 1)} \\ &= \frac{\cosh r}{\cosh r + 1} \\ &= \frac{1}{1 + 1/\cosh r} > 1/2 \quad (\because \cosh r > 1) \\ \therefore \theta &< 60^\circ \end{aligned}$$

図〔1〕 正三角形法における
光点の配置
(P_1 は固定, P_2 は可動)



* 正中線 OX に対して ϕ_1 と ϕ_2 は両側にあるので $\phi_1 > 0$ とすれば $\phi_2 < 0$ となるから, 両者の差の絶対値 $|\phi_2 - \phi_1|$ で, $\theta (= \angle P_1OP_2)$ が表わされる。
 ** この理由は, 余弦法則を用いなくても, 三角形の内角の和が, Euclid 幾何学では 180° に等しく, 双曲或は楕円幾何学では 180° より小或は大 (図〔4〕参照) であることから容易に明説できる。

また楕円空間 ($k > 0$) では,

$$\begin{aligned} \cos \gamma_3 &= \cos \gamma_1 \cos \gamma_2 + \sin \gamma_1 \sin \gamma_2 \cos \varnothing \\ \cos \gamma &= \cos^2 \gamma + \sin^2 \gamma \cos \varnothing \\ &= \cos^2 \gamma + (1 - \cos^2 \gamma) \cos \varnothing \\ \cos \varnothing &= \frac{\cos \gamma - \cos^2 \gamma}{1 - \cos^2 \gamma} \\ &= \frac{\cos \gamma (1 - \cos \gamma)}{(1 + \cos \gamma)(1 - \cos \gamma)} \\ &= \frac{1}{1 + 1/\cos \gamma} < 1/2 \quad (\because \cos \gamma < 1) \\ \therefore \varnothing &> 60^\circ \end{aligned}$$

Blank (1) は、この方法を用いて、1名のOは $\varnothing = 39.5^\circ$ (平均値) で、他のOは $\varnothing = 37.8^\circ$ であったと報告している。すなわち、この2名のOは $k < 0$ と判定され、その視空間は、いずれも双曲的性質を示すと考えられた。

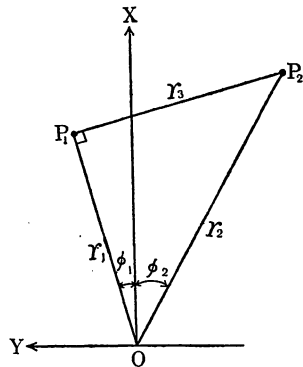
2.2. 2点法(2)——直角二等辺三角形法

この方法でも、 $P_1(r_1, \phi_1)$ を固定し、Oは $P_2(r_2, \phi_2)$ を次のように調整することが求められる。すなわち、図〔2〕に見るように、 P_2 が、 P_1 における OP_1 への垂線上にあるように見え、しかもその直角を夾む2辺の見えの長さが等しく、 $(OP_1) = (P_1P_2)$ となるように調整することである。

正三角形法の場合と同様に、 $\varnothing = |\phi_2 - \phi_1|$ とするとき、もしも $\varnothing = 45^\circ$ ならば、視空間の曲率は、 $k = 0$ (Euclid 的)、 $\varnothing < 45^\circ$ ならば、 $k < 0$ (双曲的)、また $\varnothing > 45^\circ$ ならば、 $k > 0$ (楕円の) と判定される。

この理由も、次のように説明される。図〔2〕の見えの直角二等辺三角形で、

図〔2〕 直角二等辺三角形法における光点の配置
(P_1 は固定、 P_2 は可動)



$r_1=r_3=r$ として、角 θ の正接を求める*。

先ず、Euclid空間 ($k=0$) では

$$\begin{aligned} \tan \theta &= r_3/r_1 = r/r = 1 \\ \therefore \theta &= 45^\circ \end{aligned}$$

次に、双曲空間 ($k<0$) では

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{\tanh r_3}{\sinh r_1} = \frac{\sinh r_3 / \cosh r_3}{\sinh r_1} = \frac{\sinh r / \cosh r}{\sinh r} \\ &= 1 / \cosh r < 1 \quad (\because \cosh r > 1) \\ \therefore \theta &< 45^\circ \end{aligned}$$

また、楕円空間 ($k>0$) では

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{\tan r_3}{\sin r_1} = \frac{\sin r_3 / \cos r_3}{\sin r_1} = \frac{\sin r / \cos r}{\sin r} \\ &= 1 / \cos r > 1 \quad (\because \cos r < 1) \\ \therefore \theta &> 46^\circ \end{aligned}$$

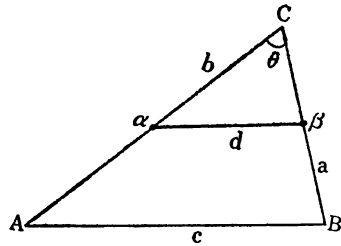
Blankは、この実験の結果については、別に報告していない。

2.3. 中点法

Blank(2)の第3の方法は、三角形の2辺の中点を使用するが、別に特定の名称がないので、仮りに中点法と呼ぶことにする。

前の2つの方法は、いずれも三角形の特定の角度の測定に基づいてkの符号を判定したが、この方法は、線分の長さの測定に基づくものである。「三角形の2辺の中点を結ぶ線分の長さの2倍は、第3辺の長さに等しい」という定理を、われわれはEuclid幾何学で学んだが、この性

図〔3〕 $\triangle ABC$ の2辺の中点 α 、 β を結ぶ線分と底辺 AB との関係



* この理由も、 θ の正接を求めなくても、三角形の内角の和が3つの幾何学によってそれぞれ 180° に等しい、より小或はより大なることから知ることができる。

質は、双曲幾何学や楕円幾何学では成立しない。前者では、上記の線分の長さの2倍は、第3辺の長さより小となり、また後者では、反対により大となる。その理由は、次のように考えられる。図〔3〕の $\triangle ABC$ で辺の長さを a, b, c とし、辺 AC, BC の中点 α, β を結ぶ線分の長さを d とし、それぞれの空間での余弦法則を適用する。

先ず Euclid 空間 ($k=0$) では、

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \theta$$

$$d^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2 - 2\left(\frac{a}{2}\right)\left(\frac{b}{2}\right)\cos \theta$$

この両式から $4d^2 = c^2$

$$\therefore 2d = c$$

次に双曲的空間 ($k < 0$) では

$$\cosh c = \cosh a \cosh b - \sinh a \sinh b \cos \theta \quad (\text{A})$$

$$\cosh d = \cosh \frac{a}{2} \cosh \frac{b}{2} - \sinh \frac{a}{2} \sinh \frac{b}{2} \cos \theta \quad (\text{B})$$

この両式から

$$\cosh 2d = \cosh c - 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta^* \quad (\text{C})$$

従って $\cosh 2d < \cosh c$

ところが、双曲余弦は、単調増加函数であるから、双曲空間では、すべての三角形に対して、 $2d < c$ (図〔4〕の(a)参照)。

また、楕円空間 ($k > 0$) では、

$$\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos \theta$$

$$\cos d = \cos \frac{a}{2} \cos \frac{b}{2} + \sin \frac{a}{2} \sin \frac{b}{2} \cos \theta$$

この両式から

$$\cos 2d = \cos c - 2 \sin^2 \frac{a}{2} \sin^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta^{**}$$

従って $\cos 2d < \cos c$

$$\begin{aligned}
 * \quad \cosh 2d &= \cosh (d+d) = \cosh^2 d + \sinh^2 d = \cosh^2 d + (\cosh^2 d - 1) \\
 &= 2 \cosh^2 d - 1, \text{ ここで上の (B) を代入して} \\
 \cosh 2d &= 2 \left(\cosh \frac{a}{2} \cosh \frac{b}{2} - \sinh \frac{a}{2} \sinh \frac{b}{2} \cos \theta \right) - 1 \\
 &= 2 \left(\cosh^2 \frac{a}{2} \cosh^2 \frac{b}{2} + \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \cos^2 \theta \right. \\
 &\quad \left. - 2 \cosh \frac{a}{2} \cosh \frac{b}{2} \sinh \frac{a}{2} \sinh \frac{b}{2} \cos \theta \right) - 1 \\
 &= 2 \cosh^2 \frac{a}{2} \cosh^2 \frac{b}{2} + 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} (1 - \sin^2 \theta) \\
 &\quad - 4 \cosh \frac{a}{2} \cosh \frac{b}{2} \sinh \frac{a}{2} \sinh \frac{b}{2} \cos \theta - 1 \\
 &= (2 \cosh^2 \frac{a}{2} \cosh^2 \frac{b}{2} + 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} - 1 \\
 &\quad - 4 \cosh \frac{a}{2} \cosh \frac{b}{2} \sinh \frac{a}{2} \sinh \frac{b}{2} \cos \theta) \\
 &\quad - 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta \\
 &= \left[\cosh^2 \frac{a}{2} \cosh^2 \frac{b}{2} + \cosh^2 \frac{a}{2} (\sinh^2 \frac{b}{2} + 1) + \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \right. \\
 &\quad \left. + \sinh^2 \frac{a}{2} (\cosh^2 \frac{b}{2} - 1) - (\cosh^2 \frac{a}{2} - \sinh^2 \frac{a}{2}) \right. \\
 &\quad \left. - 2 \sinh \frac{a}{2} \cosh \frac{a}{2} \cdot 2 \sinh \frac{b}{2} \cosh \frac{b}{2} \cos \theta \right] \\
 &\quad - 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta \\
 &= \left[\cosh^2 \frac{a}{2} \cosh^2 \frac{b}{2} + \cosh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} + \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \right. \\
 &\quad \left. + \sinh^2 \frac{a}{2} \cosh^2 \frac{b}{2} - \sinh a \sinh b \cos \theta \right] \\
 &\quad - 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta \\
 &= \left[(\cosh^2 \frac{a}{2} + \sinh^2 \frac{a}{2}) (\cosh^2 \frac{b}{2} + \sinh^2 \frac{b}{2}) - \sinh a \sinh b \cos \theta \right] \\
 &\quad - 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta \\
 &= \left[\cosh a \cosh b - \sinh a \sinh b \cos \theta \right] \\
 &\quad - 2 \sinh^2 \frac{a}{2} \sinh^2 \frac{b}{2} \sin^2 \theta
 \end{aligned}$$

この〔 〕内は (A) 式の右辺を表わすから、(C) 式が導かれる。

**この式も、前の (C) 式と全く同様に導かれる。

ところで、余弦は、0 から π までの間では、単調減少函数であるから、楕円空間において、すべての十分小さな三角形 (例えば、 $a, b, c < \pi$ のような三角形) に対して

$$2d > c \quad (\text{図〔4〕の (b) 参照}).$$

以上のように、3種の空間によって、 $2d$ と c との関係を変にするので、この性質に基づいて k の符号を判定することができる。

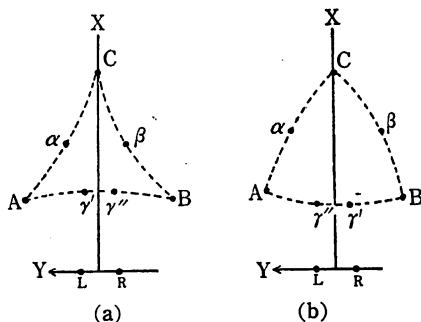
次にその方法を具体的に述べよう。図〔4〕に示すように、暗室内で、 O の両眼 R, L を通る水平面上に3個の固定光点 A, B, C が提示される。

この水平面上の点の座標 ($x,$

y) を示すために、 X 軸として正中線 OX を、 Y 軸として、両眼を通る直線 RL を用いる。Blank は data のとり扱いに都合がよいように、上記の3個の点の座標 (単位: 吋) を、それぞれ $C(108, 0), A(28, 21), B(28, -12)$ としたので、 $\triangle ABC$ は正中線に対称に作られる。

まず、3光点 A, B, C のみが提示される。第4の可動光点 α が、正中線の左側の任意の位置に提示され、 O は α が $\triangle ABC$ の左辺 AC 上にあって両頂点 A, C から等距離に見えるように、すなわち $(A\alpha) = (C\alpha)$ となるような位置に α を動かすことを実験者 (E) に申出る。この調整が終わったら、光点 α は消され、第5の可動光点 β が正中線の右側に提示される。同様に、 $(B\beta) = (C\beta)$ となるような位置に β が調整される。 α, β について、この最初の調整が終わった後は、両光点を共に提示したままで、それぞれの位置を random に動かして、以上のような調整を繰り返す。最初は、 α お

図〔4〕 中点 d, β を決定し、 $A\gamma', B\gamma''$ がそれぞれ線分 $d\beta$ と等しく見えるように調整された点 γ', γ'' の位置
(a) 負曲率 ($k < 0$) の場合
(b) 正曲率 ($k > 0$) の場合



よび β の位置の変動は著しいが次第に安定してくる. α, β の座標 (x, y) の代表値として, それぞれ安定した最後の 5 回以上の値の median (x_α, y_α) および (x_β, y_β) を用う. Blank は, 7 名の O にこの実験を行ったが, 実施した調整回数は O により異り 11~31 回で, また代表値として使用した回数は 5~14 回であった. このようにして決定した α, β の座標の代表値から, 更に次の座標 (x^*, y^*) を計算する.

$$x^* = \frac{1}{2}(x_\alpha + x_\beta), \quad y^* = \frac{1}{2}(y_\alpha - y_\beta)$$

実験の次の段階では, 第 4, 第 5 の光点が $\alpha(x^*, y^*), \beta(x^*, -y^*)$ の位置に固定される. いずれの O も, このような光点 α, β が, 確かにそれぞれ辺 AC, BC の中点に見えることを認めた. 次に O は, 底辺 AB 上で, 別の光点 r を, 次のように調整することが求められた: (1) 先ず A からこの r までの見えの距離が, α から β までのそれと等しくなるように, (2) 次に B から r までの見えの距離が, α から β までのそれと等しくなるように調整するのである. すなわち, これらの調整での見えの距離の関係は,

$$(\alpha\beta) = (Ar') = (r''B)$$

このような調整が, 交互に 5 回づつ行われ, A および B からそれぞれ調整された 5 個の点 r の座標 (x, y) の median (x', y') および (x'', y'') で, r', r'' を代表する. そこで,

$$\bar{y} = \frac{1}{2}(y' - y'')$$

を計算すれば, これによって, 視空間の曲率 k の符号が次のように判定される.

先ず, もし $\bar{y} = 0$ であれば, これは r' と r'' が一致する場合で, 前述の $2d = c$ に当るから $k = 0$ と判定される.

次に, $\bar{y} > 0$ であれば, これは Ar' と $r''B$ とが重ならない場合 (図[4]の(a)) で, $2d < c$ に当り, $k < 0$ である.

また $\bar{y} < 0$ は, Ar' と $r''B$ が重なる場合 (図[4]の(b)) で, $2d > c$ に

当るから $k > 0$ と判定される。

さて Blank の 7 名の O 中、1 名のみが $\bar{y} (= -0.10) < 0$ で、 $k > 0$ 、他の 6 名は、 $\bar{y} (= 5.58, 4.32, 4.07, 3.40, 1.68, 0.80) > 0$ で $k < 0$ と判定された。これら 6 名の調整では、5 回とも $A\gamma'$ と $\gamma''\beta$ とが重なることはなかったという。このように \bar{y} の符号によつて、 k の符号が判定されるが、 \bar{y} の絶対値の大きいほど、双曲的或は楕円の傾向が強いことが予想される。

3. Blank の方法による実験

前節で述べた Blank の方法の中で、正三角形法および直角二等辺三角形法を実施して、視空間の曲率 k の符号の決定を試みたので、本節では、その結果と考察を述べ、この方法の信頼性などにも言及したいと思う。

3.1. 実験 I —— 正三角形法 (1)

実験装置 暗室内で、水平なテーブル上に光点 $P_1 (r_1, \phi_1)$ を固定し、もう 1 つの光点 $P_2 (r_2, \phi_2)$ は、これに連結したハンドルによつて、O が自由にこのテーブル上で動かすことができるようにした (図〔1〕)。テーブル上には、O の位置を中心として、 r_2 および ϕ_2 が測定できるように、多くの同心円および放射状直線を引いた。

実験手続き P_1 の位置として、 $r_1 = 50, 100\text{cm}$; および $\phi_1 = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ の組合せで 6 点を選んだ。O は、顔面固定器によつて、その眼の高さを殆んどテーブルの高さと等しく保つて光点を観察する。O の課題は、自身と 2 光点 P_1, P_2 とで作られる $\triangle OP_1P_2$ が正三角形に見えるように、可動光点 P_2 を調整することである。O が十分に暗順応ができるまで、予備的の試行を課した。 P_1 の 6 個の位置は、random な順序で選び、各位置について、O が十分と思うまで P_2 の位置を調整させて、 r_2 および ϕ_2 を測定した。 P_1 の各々の位置について、 P_2 の測定は 4 回行った。O は 12 名で、いずれも心理学専攻学生であった。

実験結果 表〔1〕に示す。この中 (a) は各々の O について、各 P_1 の位置での ϕ_2 の平均値から、 $\theta = |\phi_2 - \phi_1|$ を求めた結果である*。この表は、大体において θ の値の小さい者から大きい者へと排列した。

表〔1〕 実験 I —— 正三角形法(1)の結果：

(a) $\theta = |\phi_2 - \phi_1|$

Obs. $\phi_1 \backslash r_1$		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		15°	50(cm)	47.5	60.5	53.5	52.0	54.8	56.0	60.0	58.3	61.5	62.3
	100	48.3	50.0	53.3	50.8	49.3	59.3	55.0	59.5	57.5	61.3	65.0	66.5
	Ave.	47.9	55.3	53.4	51.4	52.1	57.7	57.5	58.9	59.5	61.8	22.2	63.3
30°	50	53.3	55.8	52.8	52.8	53.0	54.8	61.8	63.0	62.3	61.3	64.8	70.0
	100	51.5	51.3	53.0	56.0	55.3	61.8	57.3	60.8	60.8	65.0	65.0	74.0
	Ave.	52.4	53.6	52.9	54.4	54.2	58.3	59.6	61.9	61.6	63.2	64.9	72.0
45°	50	58.0	53.3	53.8	57.5	58.5	53.8	66.0	65.5	63.8	64.8	66.0	83.8
	100	55.0	51.8	57.3	57.0	60.3	62.0	59.3	59.8	64.3	65.5	68.8	82.5
	Ave.	56.5	52.6	55.6	57.3	59.4	57.9	62.7	62.7	64.1	65.2	67.4	83.2

(b) K の符号

Obs. $r_1 \backslash \phi_1$		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
		Ave.	15°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+
	30°	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
	45°	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+
総合判定		-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+

また表〔2〕は、この表〔1〕(a) の data を分散分析した結果である。この表によれば、各 O の θ の値の間には、著しい個人差が認められる。またこの θ の値は、固定点 P_1 の方向 (ϕ_1) の間でも有意差が認められるが、 P_1 の距離 (r_1) の間には有意差が認められない。そこで、各 O の θ の値は、各 ϕ_1 (15°, 30°, 45°) ごとに、距離 r_1 (50, 100cm) を無視して平均し (表〔1〕(a) の Ave. の行、60° 以上の値は、ゴシック体で示す)、この平均

* 同様の表が、 r_2 についても得られ、これも視空間の性質を考察する上に興味があると思われるが、当面の k の符号の判定の問題には直接関係しないので省略した。

表〔2〕 実験Ⅰの結果の分散分析表

SV	SS	df	MS	F
角 度 (ϕ)	337.03	2	168.52	36.32**
辺の長さ (r)	0.35	1	0.35	—
被 験 者 (I)	2,342.47	11	212.95	45.89**
交互作用($\phi \times r$)	5.85	2	2.68	—
" ($\phi \times I$)	344.64	22	15.67	3.38**
" ($r \times I$)	191.51	11	17.41	3.75**
誤 差	102.14	22	4.64	
全 体	3,323.49	71		

値について、 k の符号を判定することにした。

従って、表〔1〕(a)によれば、各Oについて k の符号の判定は、3回可能となる。前節2.1で述べたように、 $\phi=60^\circ$ ならば $k=0$ 、 $\phi < 60^\circ$ ならば $k < 0$ 、また $\phi > 60^\circ$ ならば $k > 0$ であるから、この表でAからFまでの6名は、3回の判定とも $k < 0$ 、またJ, K, Lの3名は、3回とも $k > 0$ である。しかし、G, H, Iの3名は、3回中2回の判定は同一で1回のみ異にしている。Gは1回のみ正であるから、全体として $k < 0$ と判定し、H, Iは1回のみ負であるから、結果として $k > 0$ と判定することにした。このような判定結果を、正、負の符号で表わしたものが表〔1〕(b)である(3回とも同符号であった者の符号は、ゴシック体で示す)。この表によれば、12名のO中、AからGまでの7名(58.3%)が $k < 0$ で、H以下の5名(41.7%)が $k > 0$ となり、Luneburg等の主張するように、 $k < 0$ の者のみでなく、 $k > 0$ の者も相当含まれる結果となった。

3.2. 実験Ⅱ—正三角形法 (2)

実験Ⅰで、 ϕ の値は、固定光点 P_1 のOからの距離 r_1 に無関係であることを知ったので、この実験Ⅱでは、 $r_1=100\text{cm}$ を省き、50cmのみを用い、また $\phi_1=45^\circ$ を除き、 15° 、 30° として、同様の実験を行った*。これ

* Oの内省によれば、 $r_1=100\text{cm}$ よりも50cmの方が調整容易であるので、これを選び、またこの実験Ⅱは、次のⅢと比較するのに $\phi=45^\circ$ は不適当なのでこれを除いた。

の実施は、前回の実験後約5ヶ月であり、Oは前回の6名A(9), E(10), F(4), H(16), J(16), K(14)*のほか、別の11名を加えて17名(いずれも心理学専攻学生)であった。

結果は、表〔3〕に示す。この表〔3〕(a)は、大体において ϕ の値の小さい者から大きい者への順に排列してある。この表によれば、1から10までの10名と12のOは、 $\phi_1=15^\circ, 30^\circ$ のいずれにおいても $\phi < 60^\circ$ であるから、 $k < 0$ なることは明らかである。また14, 16, 17の3名は、いずれも $\phi > 60^\circ$ であるから、明らかに $k > 0$ と判定される。しかし、残りの3名(11, 13, 15)は、 ϕ のいずれか一方が 60° より大、他方が小となっているので、 k の符号の判定に苦む。このような場合には、より大きい傾向で決定することにした。例えば、11のOは、 $\phi = 55.8, 61.4$ であるが、 $55.8 - 60 = -4.2, 61.4 - 60 = +1.4$ で、

表〔3〕 実験Ⅱ—正三角形法(ϕ)の結果:
(a) $\phi = |\phi_2 - \phi_1|$

Obs. r_1 / ϕ_1	r _s																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15°	39.4	40.2	45.2	47.6	49.2	47.8	46.2	53.4	51.8	55.0	55.8	57.8	56.8	60.4	59.0	63.6	62.2
30°	41.8	42.2	38.6	50.4	52.8	57.2	59.8	55.8	57.8	56.2	61.4	59.6	64.4	65.4	67.0	64.0	68.2
																	0.86

(b) Kの符号

Obs. r_1 / ϕ_1	Kの符号																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
15°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+
30°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+	+	+
総合判定	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+

* (罫)中の数字は、Oの今回の実験でのNo.を示す。

負の傾向が大きいので $k < 0$ と判定する。同様に、13, 15のOは、ともに $k > 0$ と判定される。このように、 $\phi_1 = 15^\circ, 30^\circ$ の2つの場合について、 θ を比較してみると大体よく一致しているが、両者の相関(Spearmanの順位相関)をとってみると、 $r_s = 0.86$ でこの事実を示している。以上のような判定の結果を、正、負の符号で表わしたのが表[3](b)である。これによれば、17名のO中、12名(70.6%)は $k < 0$ で、残りの5名(29.4%)が $k > 0$ である。実験Iに比べて、 $k < 0$ の割合が大きくなっているが、それにしても $k > 0$ の比率も相当あることが認められる。

3.3. 実験Ⅲ—直角二等辺三角形法

実験装置は、実験Iの場合と全く同一で、ただOの課題が異なり、Oは固定光点 $P_1(r_1, \phi_1)$ を直角の頂点とし、 $\triangle OP_1P_2$ が直角二等辺三角形に見えるように(見かけの上で、 $OP_1P_2 = 90^\circ$, $(OP_1) = (P_1P_2)$ となるように)、可動光点 $P_2(r_2, \phi_2)$ の位置を調整することである(図[2])。実験IIの場合と同様、 P_1 の位置は、 $r_1 = 50\text{cm}$, $\phi_1 = 15^\circ, 30^\circ$ の2点とし、この P_1 の各々の位置について、 P_2 の調整を4回行って、それぞれ r_2, ϕ_2 を測定した。Oは、実験IIの場合と同一の17名である。表[4]の(a)は、4回の ϕ_2 の測定値の平均に基いて計算した $\theta = |\phi_2 - \phi_1|$ である* (45°以上の値は、ゴジック体で示す)。

前節2.2で述べたように、 $\theta = 45^\circ$ ならば $k = 0$, $\theta < 45^\circ$ ならば $k < 0$, また $\theta > 45^\circ$ ならば $k > 0$ と判定される。表[4](a)によれば、1, 4, 5, 6, 9, 12の6名は、両方とも $\theta < 45^\circ$ であるから、明らかに $k < 0$ である。また一方、2, 7, 13~17の7名は、いずれも $\theta > 45^\circ$ であるから $k > 0$ なることは明白である。

ところが、残りの4名(3, 8, 10, 11)は、一方が $\theta < 45^\circ$ で、他方が $\theta > 45^\circ$ となっているので、実験IIの場合に準じて、45°からの正或は

* r_2 の値は、当面の k の符号の判定には直接必要がないので省略したが、この値も各Oの視空間の特性を調べる上に有用だと思われる。

3.4. 実験 I, II, IIIの結果の比較—Blank の方法の信頼性

ここで、以上の3つの実験結果を比較して、k の符号を判定する Blank の方法について、その信頼性を検討してみよう。

先ず実験 I, IIの結果を比較してみる。表〔5〕は、両実験を行った6名の Oの結果を示す。表〔5〕(a) について、 ϕ の値を比較すれば、 P_1 (50cm, 15°) では、A, E, F の3名は、両実験を通じて $\phi < 60^\circ$ であるが、H, J, K の3名は、いずれか一方で $\phi < 60^\circ$ 、他方で $\phi > 60^\circ$ となっている。また両実験結果の相関は 0.60 である。ところが、 P_1 (50cm, 30°) については、初の3名は両実験について $\phi < 60^\circ$ であり、後の3名は $\phi > 60^\circ$ 、また相関は 0.66 とやや高くなっている。従って、この両実験結果は、かなりよく一致したと云えよう。なお、表〔5〕(b)について、両実験による k の符号の判定結果を比較してみれば、このことはいっそうはっきりする。すなわち、両実験を通じて、符号の判定は、殆んど完全に一致している。

表〔5〕 実験 I, IIの結果の比較:

(a) $\phi = |\phi_2 - \phi_1|$

Exp. \ Obs.		A	E	F	H	J	K	r_s
		9	10	4	16	15	14	
I	$r_1=50\text{cm}$	47.5	54.8	56.0	58.3	62.3	59.3	0.60
	$\phi_1=15^\circ$	51.8	55.0	47.6	63.6	59.0	60.4	
II	$r_1=50\text{cm}$	53.3	53.0	54.8	63.0	61.3	64.8	0.66
	$\phi_1=30^\circ$	57.8	56.2	50.4	64.0	67.0	65.4	

(b) K の 符 号

Exp. \ Obs.		A	E	F	H	J	K
		9	10	4	16	15	14
I		—	—	—	+	+	+
II		—	—	—	+	+	+
総合判定		—	—	—	+	+	+

表〔6〕 実験Ⅱ、Ⅲの結果の比較:

(a) $\phi = |\phi_2 - \phi_1|$

Exp.	Obs.																	r _s
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Ⅱ	r ₁ = 50 cm																	0.28
	φ ₁ = 15°																	
Ⅲ	r ₁ = 50 cm																	0.51
	φ ₁ = 30°																	

(b) K の符号

Exp.	Obs.																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ⅱ	-																
	+																
Ⅲ	-																
	+																
総合判定																	
- ? ? ? - - - ? - - ? - + + + + + +																	

実験 I, II は, 条件を全く同一にした正三角形法であって, 異なるのは単に施行期日で, 前述のように, 実験 II は, I の施行後約 5 ヶ月して行われた。従って Blank の正三角形法は, 安定性 (stability) の観点からみた信頼性は, 相当にたかいと認めてよろしかろう。

次に実験 II, III の結果を, 表〔6〕について比較してみよう。表〔6〕(a) で, 先ず $P_1(50\text{cm}, 15^\circ)$ についての ϕ を比較すれば, 17 名の O 中, 12 名 (70.6%) は両実験を通じて, 同一の傾向を示している。すなわち, 実験 II において $\phi < 60^\circ$ を示す者は, III においても $\phi < 45^\circ$ を示し, また実験 II において $\phi > 60^\circ$ を示す者は, III においても $\phi > 45^\circ$ を示している。しかし, 残りの 5 名 (29.4%) は, 両実験を通じて反対の傾向を示している。なお両実験についての ϕ の相関は 0.28 で低い。次に $P_1(50\text{cm}, 30^\circ)$ についてみると, この傾向の一致した者は 13 名 (76.5%) に増し, 相関も 0.51 とやや高くなっている。なお表〔6〕(b) で, k の符号の判定結果について比較してみると, 符号の一致した者は, 13 名 (76.5%), 符号の相反した者は, 4 名 (23.5%) である。従って, この 4 名は, 総合的に k の符号を判定しかねる。実験 II, III は, 同一時期に行い, 固定点 P_1 の条件も同一であるが, O の課題のみが異なり, 実験 II では正三角形, III では直角二等辺三角形をつくるのであるから, この場合の信頼性は, いわば内的整合性 (internal consistency) に関するものと云えよう。この観点からすれば, Blank の方法の信頼性は, 高いとは云えない。

以上 2 つの比較を通じて, Blank の方法は, かなり安定性はあるが, 内的整合性に乏しいのではないかと考えられる。しかし, これらの点については, もっと多くの O について, より多くの実験条件も考慮に入れて検討する必要がある。

以上の実験結果をまとめたものが, 表〔7〕である。この表によれば, 実験 I ~ III を通じてその比率は異なるが, いずれにしても, $k < 0$, $k > 0$ の両者を含み, 前述の Hardy などの結果と同様の傾向を示している。とく

に、実験Ⅱ、Ⅲについて考察すれば、正、負の判定の困難な者を除いて、 $k < 0$ が 8 名(47.1%)、 $k > 0$ が 5 名(29.4%)である。したがって、Lunenburg などの主張するように、われわれの視空間の曲率は $k < 0$ のみで

表〔7〕 実験Ⅰ、Ⅱ、Ⅲの結果：
正、負曲率の分布

Exp. \ K	-	?	+	計
I	7	0	5	12
II	12	0	5	17
III	8	0	9	17
Ⅱ, Ⅲ	8	4	5	17
	47.1	23.5	29.4	100

はなく、また Shipley が示唆したように $k > 0$ のみでもなく、両者を含むと考えるべきではなからうか。

最初に述べたように、視空間の曲率決定の問題は、空間知覚の基礎的な課題と考えられるので、この問題については、もっと多くの O について、種々の方法について十分に検討する必要があると思う。

4. 結 語

以上の実験結果から、最初にかかげた課題に対して、次のように答えられよう。

(1) われわれの視空間は、Lunenburg が主張するように、一義的にその曲率が負 ($k < 0$) である双曲的 Riemann 空間とは云えない。

(2) また Shipley が示唆するように、一律に正曲率の楕円的 Riemann 空間であるとも云えない。

(3) われわれの中には、その視空間の性格が、双曲的のものから、楕円的のものまでを含むと考えるべきではなからうか、したがって、曲率が零 ($k=0$) の Euclid 的性格の視空間のものも含まれることが予想できよう。

なお、この視空間の曲率に関連して次の 2、3 の問題が考えられる。

(4) 以上のように、視空間の曲率が $-1 < k < 1$ にわたると考えると、大きさや形の恒常度は、果して k が +1 から -1 の方へ近づくとつれ、す

なわち楕円の空間から双曲的空間へと移るにつれて、高くなると云えるであろうか。

(5) Luneburg の理論から導かれた、並木の方程式は、実験結果とかなりよく一致するが、前々回報告(7)したように前額面ホロプターの方程式は、実験結果と相反する場合がある。それは、とくに $k > 0$ の場合に多いように考えられる。従って、このような場合を記述できる方程式が必要であろう。

(6) これまで Luneburg 定数 σ , k と恒常度との関連を考えて来たが、これらの定数と Thurstone の空間知覚の因子や Cattell の人格の因子などとの関係は、どのようなものであろうか。

これらを、今後の課題として研究を進めたいと思う。

本研究は、昭和37年度文部省科学研究費による「精神現象における変換、不変性および群構造に関する数理的、実験的研究、代表者秋重義治教授」の一部をなすものである。

文 献

- (1) Blank, A. A., Analysis of experiments in binocular space perception. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1958, 48, 911~925.
- (2) —————, Curvature of binocular visual space. An experiment. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1961, 51, 335~339.
- (3) Hardy, L. H., Rand, G., and Rittler, M., Investigation of visual space. The Blumenfeld alleys. *A. M. A. Archives of Ophthalmology*, 1951, 45, 53~63.
- (4) Indow, T., Inoue, T., and Matsushima, K., An experimental study of the Luneburg theory of binocular space perception(1). The 3-and 4-point experiments. *Jap. Psychol. Res.*, 1962, 4, 6~16.
- (5) —————, An experimental study of the Luneburg theory of binocular space perception (2). The alley experiments. *Jap. Psychol. Res.*, 1962, 4, 17~24.
- (6) 石井克己, 諸恒常現象間の相関に関する研究(第3報告)—知覚恒常性と Luneburg の視空間理論, 哲学年報, 1960, 22, 347~378.

- (7) ———, 同上 (第4報告). 哲学年報, 1961, 23, 39~57.
- (8) ———, 同上 (第5報告). 哲学年報, 1962, 24, 121~136.
- (9) Luneburg, R. K., *Mathematical analysis of binocular vision*. Princeton University Press, Princeton, 1947.
- (10) ———, The metric of binocular visual space. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1950, 40, 627~642.
- (11) Shipley, T., Convergence function in binocular visual space. 1. A note on theory. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1957, 47, 795~803.
- (12) ———, Convergence function in binocular visual space II. Experimental report. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1957, 47, 804~821.
- (13) Zajaczkowska, A., Experimental determination of Luneburg's constant σ and κ . *Q. J. Exptl. Psychol.*, 1956, 8, 66~78.
- (14) ———, Experimental test of Luneburg's theory. Horopter and alley experiments. *J. Opt. Soc. Amer.*, 1956, 46, 514~527.