

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

石井, 克己

<https://doi.org/10.15017/2328778>

出版情報：哲學年報. 22, pp.347-378, 1960-03-31. 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 3 報 告)

——知覚恒常性と Luneburg の視空間理論——

石 井 克 巳

1. 序 言

これまでの報告(1~7)で、諸恒常現象ことに大きさと形の恒常現象間には、有意な相関関係が成立し、しかもその相関の程度は、両現象を規定する条件によってかなり規則的に変化することを報告した。他方 Luneburg の研究(8,9)によれば、われわれの視空間は、物理的空間とはいちぢるしく異なるもので、結局各個人の 2 つの定数によって解明できるという。したがって、上記の結果も、この理論によってある程度説明できる筈である。今回の報告の目的は、この点にあるので、先ず Luneburg の理論の展開の跡を、上記の論文や、Blank の論文(10,11)に基づいてたどってみよう。

空間知覚の理論は、われわれが物理的空間を観察するとき、実際にどのように“見える”かを精細に記述しなければならない。空間知覚には、非常に多くの因子が作用するので、すべてを一諸に考察すれば、その効果を明らかにすることができないので、限られた個数の因子を分離して、その効果を調べることが望ましい。Luneburg の理論は、両眼視の因子 (factor of binocularity) のみを問題にする。したがってその実験は、暗室内で光点を、光度を低くして観察者 O に観察させるのである。このような状況では、両眼視の因子のほかに視力調節 (accommodation) の因子も作用するが、これはさほど重要でないことが明らかにされた。また運動の因子が入

ることも問題を複雑にするので、Oの頭部は、固定器で運動を防ぐ。ただし、眼球の運動は自由とする。

Luneburg の理論の目標とするところは、物理的空間と両眼視空間との関係を確立することにある。われわれは物理的空間をあるがままに見ている、と考える人々には、この問題は無用のように思えるであろう。しかし、物差で測った世界と感覚で測った世界とは異なるものであって、われわれはこの区別を忘れがちである。ある色は、ただ色の知覚として感じられ、ある波長の電磁波として感じられるのではない。どの波長の電磁波が、そのような知覚を与えるかが問題である。これと同様なことが物理的空間と視空間との間に考えられる。物理的測定と感覚的測定との2方法が確立されると、両眼視空間が非 Euclid 的であるという事実は別にあやしむに足らない。ただ注意すべきことは、多くの観察結果が、Lobatchevski-Bolyai の双曲的幾何学、すなわち負の定曲率の Rieman 幾何学に従うと言う事実である。

2. Luneburg の理論の講造

2.1. 視空間の距離

物理的空間の幾何学的性質を決めるのに物指を使用するように、両眼視空間の幾何学的性質を決めるにも視覚的“物指”を使用する。たとえば、物理的空間に3点 Q_1, Q_2, Q_3 があれば、O はこれらを3点 P_1, P_2, P_3 と知覚し、 P_1, P_2 間の距離は、 P_2, P_3 間の距離よりも大きいと云うであろう。そして前者を単位として、後者が何倍位であるかと言うこともできるであろう。このような見え方の関係は、対応する刺激布置の物理的關係と直接関連をもつことを必要としない。

ある一定の視的距離を単位にとれば、他の視的距離を、少くとも考えの上では、この単位で表わすことができる。このようにして、視空間における任意の2点 P_1, P_2 間の距離として、ある正の数値 $D(P_1, P_2)$ を割り

当てることができる。他の単位を選んでも同様の函数が見出されるが、それは $D(P_1, P_2)$ にある定数 C を掛けたものに外ならない。

視空間に、まっすぐの感じがあることを、実験的に示すのは容易である。Oは、3点 P_1, P_2, P_3 について、 P_3 が P_1, P_2 と一直線上にあるかどうかを判断することができる。たとえ、まっ直ぐと感じられても、その刺激布置が必ずしも物理的に一直線をなすとは限らない。このような一直線をなす感じ (sense of alignment) は、両眼視知覚のもっとも著しい特徴の1つである。3点 P_1, P_2, P_3 の関係は、距離函数を用いて、次の不等式で示される。

$$D(P_1, P_2) + D(P_2, P_3) \geq D(P_1, P_3)$$

この不等式は、 P_1 から P_3 へ、ほかの点 P_2 を通って行くのは、 P_1 から P_3 へ“まっすぐ”行くよりも近くはないことを示すのである。そして3点が一直線上にあるように見えるのは、上の関係が等しい場合に限る。物理的にまっすぐであることと、視覚的のまっすぐの感じとを区別するために、まっすぐに見える刺激布置は視的測地線 (visual geodesic) と云う。

以上の考察は、両眼視空間が、距離空間 (metric space) として数学的に記述できることを暗示する。すなわち、次に示すような条件をみたす、視的距離函数あるいは距離 $D(P_1, P_2)$ の存在を意味する：

$$(A1) \quad D(P, P) = 0$$

点のそれ自体からの距離は零である。

$$(A2) \quad D(P_1, P_2) = D(P_2, P_1) > 0, \quad P_1 \neq P_2$$

もし P_1 と P_2 が異なる点であれば、両者間の距離は正であって、点のとり方の順序には無関係である。

$$(A3) \quad D(P_1, P_2) + D(P_2, P_3) \geq D(P_1, P_3)$$

すべての点 P_1, P_2, P_3 に対して、 P_1 から、ほかの点 P_2 を通って P_3 へ行く距離は、 P_1 から直接 P_3 への距離よりも近くはない。

このような函数 $D(P_1, P_2)$ が、視的測定 of 物指となるためには、更に次のような条件を必要とする：

(B1) もし P_1, P_2 間の距離が、 P_3, P_4 間のそれよりも大きいと感じられれば、次の関係がなければならない。

$$D(P_1, P_2) > D(P_3, P_4)$$

(B2) 点 P_1, P_2, P_3 が一直線上にあると感じられるのは、次の関係が成立する場合に限る。

$$D(P_1, P_2) + D(P_2, P_3) = D(P_1, P_3)$$

上述の A, B の条件をみたす函数 $D(P_1, P_2)$ を両眼視空間の距離 (metric) あるいは精神測定距離函数 (psychometric distance function) と呼ぶ。

2.2. 距離函数の不確定性

2.1 に述べた条件だけで、 $D(P_1, P_2)$ が完全に決定される訳には行かない。なぜならば、それらの条件は、距離函数に任意の正の定数 C を掛けても十分満たされるからである。これは、単位を選ぶことの自由によるもので当然なことである。しかし、次の一般的仮定のもとで、このような不確定性は、ただ 1 つとなるが考えられる：

(C) 視空間は、コンベックス (とつ) (convex) である。

視空間におけるすべての異なる点の対 P_1, P_2 の間には、 P_1 と P_2 を結ぶ線分上にほかの点 P_3 が存在する。この条件を距離によって表わせば、次の方程式を満足する点 P_3 の存在することを意味する。

$$D(P_1, P_3) + D(P_3, P_2) = D(P_1, P_2)$$

(D) 視空間は、コンパクト (compact) である。

視空間における点の無限集合には少なくとも 1 つの集積点 (cluster point) がある。この条件は、無限の点列 $P_1, P_2, P_3, \dots, P_1, \dots$ について、 P のような点が存在し、その部分列 $P_1', P_2', P_3', \dots, P_1'$ に対して、極限に

においては、 P_j' は P に接近することを述べている。

すなわち、 $\lim_{j \rightarrow \infty} D(P, P_j') = 0$

このような 1 対の条件のもとでは、距離は、一定の正の因子 C をもって完全に決定されることが証明できる。

コンパクトなコンベックスの距離空間の級(class)は非常に大きいので、選択の範囲を縮小するために視空間の性質を更に仮定する必要がある。これは、次に述べるように、きわめて簡単にできる。

2.3. 視空間の双曲的性質

経験に一致させて視空間に平面の知覚の存在を仮定することは当を得たことで、次のように公理として述べることができる：

(E1) 視空間における 3 つ組の点は、すべて視的平面に含まれる。

(E2) 視的平面は、その上の任意の 1 対の点と共に、それらを結ぶ視的測地線を含む。

このような性質を満足する表面をもつ幾何学を Desargues 幾何学と呼ぶ。

また経験によれば、小さな範囲では、視空間は Euclid 的で、このことは次の公理で述べられる：

(F) 視空間の幾何学は、局所的には Euclid 的である。

この(F)の性質は視空間の幾何学が Riemann 幾何学であることを示すもっとも簡単な方法である。

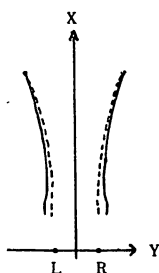
Desargues 的ならびに Riemann 的幾何学が、一定の正、零、および負の Gauss 曲率をもつ Riemann 空間のいずれか 1 つに当ることは、驚くべき事実である。

零の曲率 ($k=0$) の Riemann 幾何学は、普通の Euclid 幾何学である。正の定曲率 ($k>0$) の楕円の幾何学は、2 次元の場合は球面幾何学として親しまれている。また負の定曲率 ($k<0$) の幾何学は Lobatche-vskii-Bolyai の双曲的幾何学である。

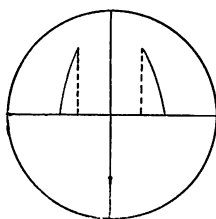
両眼視空間のモデルとして、これら 3 者の中でどれが適切であるかを見

出すのは困難ではない。これの解答は、今は古典的となった Blumenfeld の並木実験によって求めることができる。この実験では、O の正中面の両側に、両眼の水平面上に光点の 2 列が提示される。O から最も遠くにある 1 対の光点が、正中面に関して対称に固定される。O は、固定された光点から自身の方へと；まず“平行並木” (parallel alley) を、次に“距離並木” (distance alley) を作ることが求められる。前者では光点を正中面に関して対称的に 2 列に並べ、それぞれがまっすぐで、かつ相互に平行に見えるようにする。後者では、対をなす光点は正中面に対して対称的であって、その視的距離は、固定した 2 点間のそれに等しく一定に保たれるようにする。

図〔1〕 距離並木 (実線) と
平行並木 (点線)



図〔2〕 球面上に表示した距離
並木 (点線) と平行並
木 (実線)

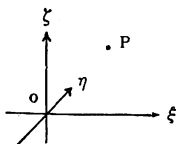


この実験の典型的な結果が、図〔1〕に示してある。一般に平行並木は距離並木よりも正中面に対し接近して設定される。このように、等距離と平行の 2 つの基準が同一の結果を生じないから、視空間の幾何学は Euclid 的ではない ($k \neq 0$)。もし楕円の幾何であるとすれば、前述のように 2 次元では球面上に、等距離表示 (isometric representation) をもつことになる。図〔2〕で左右の方向が赤道で表わされるとすれば、平行並木は、両極を通り赤道に直交する 2 つの大円上の線分 (実線) から成立する。また距離並木は、赤道に垂直な緯度の小円上の線分 (点線) から成立する。したがって、楕円の幾

何学によれば、距離並木の方が、平行並木よりも正中面に接近することになり、これは図〔1〕の実験の結果に反する。それ故に、両眼視空間の幾何学は、楕円の ($K > 0$) ではなく、双曲的 ($K < 0$) でなければならない。

2.4. 双 曲 的 距 離

図〔3〕 視空間の主観的座標系



図〔3〕に示すように、Luneburg は主観的な座標軸として、前後、左右、および上下の方向をとり、これらの軸に対応する座標を (ξ, η, ζ) とした（これに対して、図〔6〕は客観的な座標軸を示す）。原点 $(0, 0, 0)$ は、観察者の主観的中心である。主観的な前額面、正中面、水平面はそれぞれ方程式 $\xi=0$, $\eta=0$, $\zeta=0$ で表わされる。双曲的幾何学では、視空間の2点を、 $P_1(\xi_1, \eta_1, \zeta_1)$, $P_2(\xi_2, \eta_2, \zeta_2)$ とすれば、この2点間の視的距離 $D(P_1, P_2)$ は次式で与えられる。

$$\text{Sin h} \left[\frac{(-k)^{\frac{1}{2}}}{2} \cdot \frac{D}{C} \right] = \left[\frac{-\frac{K}{4} \{ (\xi_1 - \xi_2)^2 + (\eta_1 - \eta_2)^2 + (\zeta_1 - \zeta_2)^2 \}}{(1 + \frac{K}{4} \rho_1^2)(1 + \frac{K}{4} \rho_2^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

ここで $\rho_i^2 = \xi_i^2 + \eta_i^2 + \zeta_i^2 \quad (i=1, 2)$

定数 C は距離の不確定因子、 K は Gauss 曲率である。

この距離は、双曲的空間を Euclid 空間にきわめて簡単に写像できる点で有用であるが、ここでは、主観的極座標 (r, φ, ϑ) を用いる方がいっそう便利である。この座標は前記の座標 (ξ, η, ζ) と次の変換式によって関係づけられる。

$$\begin{cases} \xi = \rho \cos \varphi \cos \vartheta \\ \eta = \rho \sin \varphi \\ \zeta = \rho \cos \varphi \sin \vartheta \end{cases} \quad (2)$$

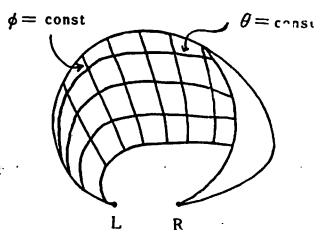
また半径座標 r は、次式によって与えられる。

$$\rho = (\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{(-k)^{\frac{1}{2}}} \tanh \frac{r}{2} \quad (3)$$

$C=1$ として、距離 D を標準型とすれば、極座標によって次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \cosh D = & \cosh r_1 \cosh r_2 - \sinh r_1 \sinh r_2 \{ \cos(\varphi_2 - \varphi_1) \\ & - \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 [1 - \cos(\vartheta_2 - \vartheta_1)] \} \end{aligned} \quad (4)$$

半径座標 (radial coordinate) r は、他の主観的な距離との関係で、 O からの主観的な距離を表わす量と考えられる。しかし絶対的距離を示すものではない。 r = 一定 は、 O から等距離に見える点の軌跡 (主観的の球) を表わす方程式である。



図〔4〕 γ = 一定の輪環面上で ϕ = 一定および θ = 一定の曲線

座標 ϑ は主観的な水平面からの仰角 (angle of elevation) を、また座標 φ は、主観的な正面からの偏差角 (angle of deviation) を表わす。主観的の球 r = 一定 上で、 ϑ = 一定 の曲線は、左右の両極を通る経度の子午線を表わし、また φ = 一定 の曲線は、主観的な正中面に平行な緯度の円を表わす (図〔4〕)。

距離の式(4)から、双曲的平面三角法の定理を簡単に導くことができる。普通の三角法での直角三角形の定理と、対応する性質が双曲的空間でも認

められる。

$C=90^\circ$ とする直角三角形の角を A, B, C とし、これに対する辺をそれぞれ a, b, c とすれば、Pythagoras の定理に対応する定理は、

$$\cosh c = \cosh a \cosh b \quad (5)$$

また角の函数は、次のように与えられる。

$$\sin A = \sinh a / \sinh c \quad (6)$$

$$\cos A = \tanh b / \tanh c \quad (7)$$

$$\tan A = \tanh a / \sinh b \quad (8)$$

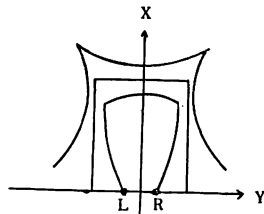
小さな三角形では、これらの定理が、Euclid 幾何学の定理に 接近することが見られよう。これが、公理 (F) に示されたことがらである。

視空間の性質が決定され、またその距離が明白に表示されても、問題は まだ半分解決されたに過ぎない。なぜならば、視的座標 $(\xi, \eta, \zeta; r, \varphi, \vartheta)$ と物理的座標 $(x, y, z; \gamma, \phi, \theta)$ との関係を決定する重要な問題が残っているからである。この問題を次節において考察しよう。

3. 視的空間と物理的空間の関係

両眼視知覚では、異なる刺激布置から、同じ効果を生ずることがある。この適例は、A. Ames が Dartmouth Eye Institute で組み立てた歪

図〔5〕Ames の歪んだ室



んだ室 (distorted room) である。これは、図〔5〕に示すように、その壁が曲面となっているが、矩形の室のように知覚されるのである。

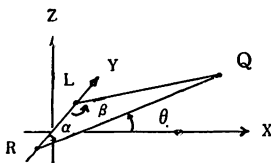
Luneburg は、このような事実を説明するのに 2 つの可能な仮説を見出した。その第 1 の仮説は、歪んだ室が、両眼視では、等価な手がかりを与えんと言うことである。すなわち、一方の室について、1 つの点から他の点へと凝視するときの網膜像の系列が、他方の室についてのそれと等しいと言うのである。第 2 の仮説は、歪んだ室が、双曲的視空間の翻訳的変位 (translatory displacement) によって、矩形の室に関係づけられると考えるのである。

Luneburg は、別に実験的の裏付けなしに、この前者を少しく変形して用いた。しかし、最近になって、実験的研究の結果、もう一方の方法が正しいことが明らかにされた。

3.1. 両極座標

物理的空間における点 Q の位置は、特別な角座標 (angular coordinates) によって決定され、これらの座標が両眼視空間における点 P の知覚に対して本質的に重要であることがわかるであろう。

図〔6〕 物理的点の両極座標



物理的空間の状況は、両眼の位置を水平面上の 2 点と定めることによっていく分理想化することができる。図〔6〕で、 R , L をそれぞれ右、左の眼の位置とし、 Q を両眼によって見られる点とする。線分 RQ , LQ は視線 (line of sight) と呼び、これらの視線と基線 (base segment) RL とのなす角をそれぞれ α, β とすれば、点 Q は次の 3 つの両極座標によって決定される：

両極視差 (bipolar parallax) γ , 両視線のなす輻輳角 (angle of convergence),

$$\gamma = \pi - \alpha - \beta \quad (9a)$$

両極緯度 (bipolar latitude) ϕ , 正中面に対して, 時計の針の進行方向と逆の方向に測った両視線の平均方向,

$$\phi = \frac{1}{2} (\beta - \alpha) \quad (9b)$$

仰角 (高低角) (angle of elevation) θ , 平面 RQL が水平面となす角.

このような座標を用いると, 上述の歪んだ等価の室の現象は, 数学的にみごとに説明できる.

3.2. 等価布置. 等像座標

Lunenburg は, 等価の室の構造が, O に対して等しい両眼視の手がかりを与えるとの仮説から出発した. すなわち, 2 組の室の刺激は, その 1 点から他の点へとながめるとき, 網膜像の系列が等しいものと仮定すれば, 両者の関係はきわめて簡単に記述できる. いま一方の室の点の両極座標 γ', ϕ', θ' は, これと関連する他方の室の点 γ, ϕ, θ と次の等像変換 (iseikonic transformation) によって関係づけられる.

$$\gamma' = \gamma + \lambda, \quad \phi' = \phi + \mu, \quad \theta' = \theta + \nu \quad (10a)$$

ここで λ, μ, ν は定数で, とくに Ames の室は, 次のような特別な変換を用いて組み立てられている.

$$\gamma' = \gamma + \lambda, \quad \phi' = \phi, \quad \theta' = \theta \quad (10b)$$

この変換を導いた仮説については, 別に考察しないでもよい. ただここでは, この変換の妥当性が, 少なくとも 2 次元, $\theta = 0$ の場合に実験によって確められたことを知れば十分である.

刺激布置内の諸点間の, 両眼視的距離関係は等像変換によって変化しないから, 視的座標を, 直接に両極座標 (γ, ϕ, θ) によって表わすよりも, 等像変換のもとで不変であるような座標で表わす方が便利である. こ

のために刺激布置の中で、ある点 $Q_0(\gamma_0, \phi_0, \theta_0)$ を選び、他の任意の点 $Q(\gamma, \phi, \theta)$ を次のように表わす。

$$\Gamma = \gamma - \gamma_0, \quad \Phi = \phi - \phi_0, \quad \Theta = \theta - \theta_0. \quad (11)$$

これらの3つの値、 Γ, Φ, Θ は、 Q の等像座標 (iseikonic coordinates) と呼び、等像変換のもとでは不変である。

$Q_0(\gamma_0, \phi_0, \theta_0)$ は任意に選んでもよいが、後で述べる理由から、その布置の中で γ_0 の値が最小であるような点を選ぶべきである。したがって、輻輳角が最小となる点に対しては、 $\Gamma=0$ となり、輻輳角のより大きな点に対しては、 $\Gamma>0$ となる。

3.3. 視的定位と方向知覚

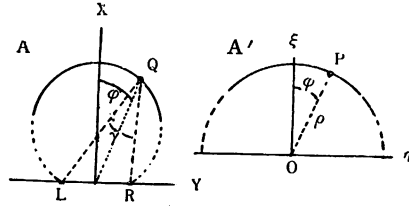
通常 O は、前述の主観的前額面、正中面、水平面は、客観的な物理的世界の重要な平面と対応しているものと考えている。しかし、たとえば、飛行機や汽船などに乗って運動している場合には、事情は一変して、必しも両者は一致しないが、主要な視的平面と物理的平面との正しい対応 (coordination) が、可能であると考ええる。

物理的な2点 Q_1, Q_2 は、両者が等しい角座標 ϕ, θ を持つ時に限って O は、同一方向にある2点 P_1, P_2 として知覚する。したがって物理的空間において、 $\theta =$ 一定、 $\phi =$ 一定である双曲線は、視空間においては、 $\vartheta =$ 一定、 $\varphi =$ 一定である直線として知覚される。

その上、物理的座標 ϕ, θ における等しい変化は、視的座標 φ, ϑ においても等しい変化として知覚される。主要な平面の主観的位置づけが、物理的のそれと一致するものとすれば、 $\varphi = \phi$ 、 $\vartheta = \theta$ とおいてもよいであろう。一般に等像の変換を考慮すれば、1点から他の点をながめる際の φ, ϑ における変化は、それぞれ ϕ, θ における変化に等しいであろう。

3.4. 半径距離の知覚

図〔7〕 A : 物理的空間の両極座標 (VM円)
A' : 視空間の極座標



視的方向と物理的座標との関係がわかったから、次の問題は、視的半径 r と物理的座標 γ , あるいは Γ との関係 $r=f(\gamma)$, あるいは $r=r(\Gamma)$ を実験的に決定することである。実験により、水平面 $\theta=0$ 上において、 O を中心として等距離に見える点の軌跡は、ほとんど VM 円 $\gamma=\text{一定}$ に近いことがわかった。水平面上には、両眼の中心 R, L を通る、このような円の族がある。図〔7〕に示すように、 OP と等距離に見える点の軌跡（主観的の円）は、物理的には Q を通る VM 円である。

LR を軸として、VM 円を回転して生じた表面 $\gamma=\text{一定}$ は、VM 輪環面 (Vieth-Müller torus) と呼ばれる。上記にの実験から、VM 輪環面は、 O を中心とした球に見えろと考えられよう。すなわち、物理的空間における輪環面 $\gamma=\text{一定}$ は、視空間においては球 $r=\text{一定}$ として知覚される。

3.5. 視的座標の方程式

前節 3.3. の結果から、次のように表わされる。

$$\varphi = \Phi, \vartheta = \Theta \quad (12a)$$

ここで φ, ϑ は、視的角座標、また Φ, Θ は、(11) の等像座標である。前述のように、 Φ, Θ は任意のパラメーター ϕ_0, θ_0 に依存している。しかし、どのような θ_0 が選ばれても、さしつかえない。もちろん、 θ_0 が変化すれば、 ϑ の値は一定の値だけ変化する。このような変換は、双曲的

視空間の単純な回転である。同様に、もし $\theta = 0$ の 2 次元的部分空間のみを考えるならば、 ϕ_0 の変化は単にこの空間の回転を生ずる。

しかし 3. 4. の結果を考えると、事情は少し変わってくる。実験によれば、その型ははっきりしないが、視的半径 r は、 Γ の函数である。

$$r = r(\Gamma) \quad (12b)$$

したがって、 r_0 の値を自由に 変えてよい と言うのは 眞実ではない。なぜならば、半径座標 r だけは、双曲的空間において、不変変換 (rigid transformation) ができないからである。すなわち、(12b) のような関係が妥当であれば、 γ_0 の変化は、公式 (4) によって記述される距離関係の変化をもたらす。それ故 (12b) のような関係を保つためには、 γ_0 の値は、任意に決めるべきではなく、刺激布置から必然的に決定しなければならない。

ところが r_0 の値は、 O に提示される刺激布置にきわめて複雑な仕方に関連する可能性がある。しかし、半径座標 r を決定する実験は、当面の刺激布置に対して r の最小値をもった点 (最遠の点) には、布置に無関係に、いつも同一の半径座標 ω を割り当てなければならないことを明らかにした。換言すれば、 O から最も離れていると感じられる点は、その刺激布置がどのようなであっても、 O の中心からいつも同一な一定の双曲的距離 ω のところにあると感じられる。このように視空間は境界づけられ、どのような刺激状況においても、最大の視的距離をもつ点は、丁度この境界 (boundary) 上にあると感じられる。このような結果は、われわれの視空間において、無限遠とか無限大の観念に対応するものはないと言う観察や実験の上の事実と一致する。たとえば、頭上の天空は、限られた広がりをもった丸天井であり、太陽は、貨幣の大きさに比較されるほどの円板と知覚される。

どのような刺激状況においても、 r_0 の値は、 O の両眼に入るすべての

点の γ の値の中で、最小値とすべきである。したがって、 Γ は最遠と感じられた点については零であり ($\Gamma = r - r_0$, $r = r_0$, $\therefore \Gamma = 0$)、より近くにあると感じられた点については正である ($r > r_0$, $\therefore \Gamma > 0$)。

ここで、視的座標 (r, φ, ϑ) と物理的座標との関係をまとめてみれば、

$$r = r(\Gamma) \quad \varphi = \Phi \quad \vartheta = \Theta \quad (13a)$$

ここで Γ, Φ, Θ , と両極座標 (r, ϕ, θ) との関係は、

$$\Gamma = \gamma - \gamma_0, \quad \Phi = \phi - \phi_0, \quad \Theta = \theta - \theta_0. \quad (13b)$$

ただし、 ϕ_0 と θ_0 は任意に、 γ_0 は上述のように 布置の中で最遠の点について決定した値である。

(13a) について、重要な事実は、特定の O について、その視空間の特性を知ろうとするならば、ただ函数 $r(\Gamma)$ を決定すればよいと言うことである。実際、 $r(\Gamma)$ を、限られた個数のパラメーターを用いて表わすことができる。すなわち、個人の視空間を少数の特性定数で記述することができる。 $r(\Gamma)$ は、異なる O に対して、必ずしも等しいことを要しない。

一方この点に関して、われわれの平均的行動は何も知られていないので、この方面の研究はきわめて重要である。

Luneburg は、この半径座標 r は、両眼視差 γ の函数だと仮定した。しかし、上述の観点からすれば、これは当面のすべての布置が、 γ_0 の等しい値を持つと限定された特別の場合についてのみ妥当である。日常生活では、 γ_0 の値は、きわめて零に近いので、この2つの考 [Luneburg, $r = f(\gamma)$; Blank, $r = r(\Gamma)$] の差は、通常余り大きな食い違いを生じない。上述の理論に基づいて、特定の O の視空間を完全に特性づける、 $r(\Gamma)$ を、決定することは可能である。では、この函数をどのように決定するかの問題を次に考察しよう。

4. 函数 $r(\Gamma)$, および定数 σ , K の実験的決定

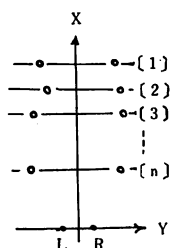
これまで論じたことによって、結局 Luneburg の理論は、函数 $r(\Gamma)$

の決定を必要とするものである。またこれに関連して定数 σ, k の決定も必要である。以下水平面 $\theta=0$ 上で、これらを決定する2つの実験的方法について述べよう。

4.1. Blumenfeld の並木実験

前述のように、Blumenfeld の実験は、視空間の双曲的性質を証明したが、これはまた、函数 $r(\Gamma)$ の測定にも利用できる。

図〔8〕 並木実験



図〔8〕に示すように、この実験では、暗室内で水平面上に n 個の光点を、正中面の両側にそれぞれ提示する。左、右の光点を Q_i^L および Q_i^R ($i=1, 2, 3, \dots, n$) で表わす。対をなす光点、 Q_i^L, Q_i^R は、前額平行面上 i の位置に提示される以外は制限を設けないが、最遠 $i=1$ での2光点は、正中面に関して対称の位置に固定する。

並木の調整には、平行並木と距離並木の2つの場合があって、それぞれ教示を異にする。平行並木では、最遠の1対の光点は固定しておいて、光点の2列を、それぞれまっすぐに相互に平行で、その上正中面にも平行に並べるように教示する。距離並木では、最遠の固定した光点、および調整しようとする位置 i の1対の光点以外は消して、近い方の1対の光点を、その距離が、遠方の1対のそれと等しく見え、その上対称的に並べるように教示する。この教示に従って調整を完了したとき、すべての光点を O に見せれば、光点の2列はそれぞれまっすぐでも、また平行であるようにも

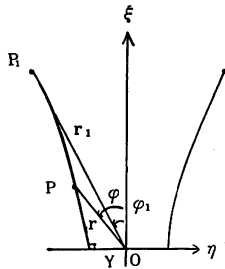
見えないであろう。図〔1〕で見たように、これらの教示のもとで得られた結果は、一般に平行並木は、距離並木より内側に位置を占める。この実験での等像座標は、次のようになる。

$$\Gamma = \gamma - \gamma_1, \quad \Phi = \phi \quad (14)$$

ここで γ_1 は、 $i=1$ における固定点の両極視差である。

4.1.1. 平行並木

図〔9〕視空間における平行並木



平行並木は、図〔9〕に示すように、視空間においては、主観的正中面に関して対称で、前額面に直交する視的測地線である。いまYで、この交点の主観的中心Oからの双曲的距離 (hyperbolic distance) を表わし、また左側の並木上の動点を $P(r, \varphi)$ で表わせば、(7)によって次の関係が与えられる。

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \tanh Y / \tanh r$$

ここで、 $\cos\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right) = \sin \varphi$ であるから、

$$\tanh Y = \tanh r \sin \varphi \quad (15a)$$

同様に、固定点 $P_1(\gamma_1, \varphi_1)$ について、

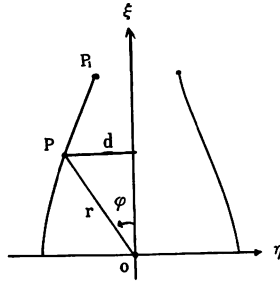
$$\tanh Y = \tanh \omega \sin \varphi_1 \quad (15b)$$

ここで $\omega = r(0) = r_1$ である。(15a)、(15b)により、視空間における平行並木の方程式は、次のように与えられる。

$$\tanh r \sin \varphi = \pm \tanh \omega \sin \varphi_1 \quad (16)$$

4.1.2. 距離並木

図〔10〕 視空間における距離並木



一方、距離並木は、図〔10〕に示すように、正中面から一定の視的距離 d にある点 P の軌跡である。いま左側の動点を $P(r, \varphi)$ とすれば、(6)によって、

$$\sin \varphi = \sinh d / \sinh r$$

$$\text{したがって、} \sinh d = \sinh r \sin \varphi \quad (17a)$$

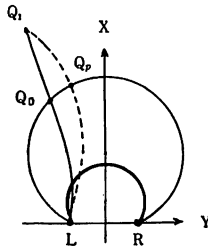
同様に、固定点 $P_1(r_1, \varphi_1)$ については、

$$\sinh d = \sinh r_1 \sin \varphi_1 \quad (17b)$$

したがって、(17a)、(17b)により、視空間における距離並木の方程式は次のように与えられる。

$$\sinh r \sin \varphi = \pm \sinh r_1 \sin \varphi_1 \quad (18)$$

図〔11〕 距離並木(実線)、平行並木(点線)とVM円との交点



次に、図〔11〕に示すように、左側の平行並木、および距離並木がVM円と交わる点を $Q_P(\Gamma_P, \phi_P)$ 、および $Q_D(\Gamma_D, \phi_D)$ とする。この2点

は、同じ座標 Γ_0 を有すから、その視的半径 r_0 も等しい。これらの交点の座標を、それぞれ平行並木の方程式 (16) と距離並木の方程式 (18) に代入して、

$$\tanh r_0 \sin \phi_p = \tanh \omega \sin \phi_1$$

$$\sinh r_0 \sin \phi_D = \sinh \omega \sin \phi_1$$

この2つの方程式から r_0 を消去すれば、

$$\cosh^2 \omega = \frac{\sin^2 \phi_D - \sin^2 \phi_1}{\sin^2 \phi_p - \sin^2 \phi_1} \quad (19)$$

この公式によって、特定のOに対する ω の値を決定することができる。このようにして ω , すなわち、函数 $r=r(\Gamma)$ の $\Gamma=0$ のときの値 $r(0)$ がきまれば、上述の(16)あるいは、(18)によって種々の φ , したがって種々の Γ に対する r の値を求めることができる。

Luneburg の理論に、函数 $r=r(\Gamma)$ を導入したのは、主として Blank であるが、Luneburg 自身は、視的半径 r の代りに ρ を用い、この ρ は次に示すような、輻輳角 γ の函数であると仮定する。^{*1}

$$\rho = 2e^{-\sigma\gamma} \quad (20)$$

ここで、 e は自然対数の底、 σ は O についての定数で、奥行知覚の程度 (degree of depth perception) を示し、この値の大きいほどその精度がたかい。^{*2}

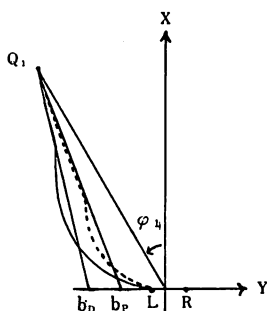
Zajaczkowska (13) は、並木実験を用いて、この定数 σ , および k を測定した。 k も O についての定数で、視空間の曲率を示す。その方法は、図 [12] に示すように、O に、共通の出発点 Q_1 をもった平行並木、および距離並木を作らせることである。 Q_1 において、この2つの並木(曲線)

*1 ρ と r の関係は(3)で示されるが、 $r = 2 \operatorname{arc} \tanh \left[\frac{(-k)^{\frac{1}{2}}}{2} \rho \right]$ としてもよい。

また(20)により、 γ = 一定ならば ρ = 一定となるから、 γ = 一定なる点の軌跡 (VM円) は、O を中心とする半径 ρ の円に見える (図[13]参照)。

*2 なぜなら $\frac{d\rho}{d\gamma} = 2e^{-\sigma\gamma}(-\sigma) = -\sigma\rho$ となるからである。

図〔12〕 共通点における距離並木(実線)と平行並木(点線)の接線



に引いた接線のY切片 b_P , b_D を図上で求めると, σ , k の値は次の公式によって計算できる.

$$\sigma = \frac{1}{pd \tan \varphi_1} (b_P b_D)^{-\frac{1}{2}} \quad (21)$$

$$k = e^{2\sigma\gamma_1} \frac{\left[\frac{b_P}{b_D} \right]^{\frac{1}{2}} - 1}{\left[\frac{b_P}{b_D} \right]^{\frac{1}{2}} + 1} \quad (22)$$

ここで pd は, O の瞳孔間の距離 (interpupillary distance) である.

定数 σ, k を測定する方法はこのほかいろいろあるが, 次に2つの VM 円を用いる方法について述べよう.

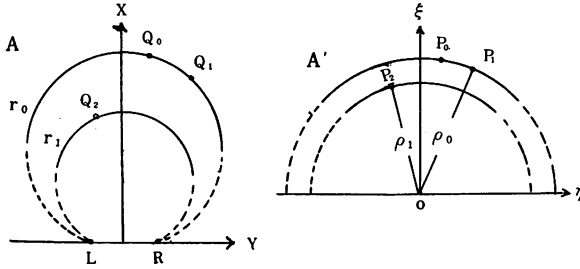
4.2. Luneburg の VM 円の実験

この実験は, Luneburg (9) によって考案されたもので, O はただ視的大きさを等しくすればよいと言う点で興味がある. これには, 次に述べるように3点法 (3-point experiment) と4点法 (4-point experiment) とがあるが, この実験の結果は, 視空間が双曲的性質を有することを一様に示した.*

* Zajaczkowska (12) は, 30名のOにこの実験を行なって一様に $K < O$ なる結果を得た.

4.2.1. 3点実験

図 [13] 3点実験：A—物理的空間，A'—視空間



この実験では、図 [13] のAに示すように3光点 Q_0, Q_1, Q_2 が提示される。 Q_0 と Q_1 は、視差が γ_0 である VM 円上を動き、 Q_2 は、視差が γ_1 である VM 円上を動く。 O がこれを観察するときは、図 [13] のA'に示すように、 Q_0, Q_1 は半径 $\rho_0 = 2e^{-\sigma\gamma_0}$ なる円周上の P_0, P_1 にまた Q_2 は半径 $\rho_1 = 2e^{-\sigma\gamma_1}$ なる円周上の P_2 にあるように知覚される。 O は、固定した2点 Q_0, Q_1 に対して、 $D(P_0, P_1) = D(P_0, P_2)$ になるように Q_2 の位置を調整する。このような測定を、 (Q_0, Q_1) の種々な距離について行なう。このように調整された場合は、(1)から次の関係が立する。

$$\frac{\{2\rho_0^2[1-\cos(\phi_1-\phi_0)]\}^{\frac{1}{2}}}{1+\frac{k}{4}\rho_0^2} = \frac{[\rho_0^2+\rho_1^2-2\rho_0\rho_1\cos(\phi_2-\phi_0)]^{\frac{1}{2}}}{\left(1+\frac{k}{4}\rho_0^2\right)^{\frac{1}{2}}\left(1+\frac{k}{4}\rho_1^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (23)$$

両辺を2乗して、次のように変形できる。

$$4\sin^2\frac{1}{2}(\phi_2-\phi_0) = \frac{\rho_0}{\rho_1} \cdot \frac{1+\frac{k}{4}\rho_1^2}{1+\frac{k}{4}\rho_0^2} \times 4\sin^2\frac{1}{2}(\phi_1-\phi_0) - \left[\left(\frac{\rho_0}{\rho_1}\right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\rho_1}{\rho_0}\right)^{\frac{1}{2}}\right]^2 \quad (24)$$

ここで,

$$A = \frac{\rho_0}{\rho_1} \cdot \frac{1 + \frac{k}{4} \rho_1^2}{1 + \frac{k}{4} \rho_0^2}; \quad B = \left[\left(\frac{\rho_0}{\rho_1} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(\frac{\rho_1}{\rho_0} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^2 \quad (25)$$

これらは、各Oについての定数である。また、

$$X = 4 \sin^2 \frac{1}{2} (\phi_1 - \phi_0); \quad Y = 4 \sin^2 \frac{1}{2} (\phi_2 - \phi_0) \quad (26)$$

これらは、 (Q_0, Q_1) をいろいろ変化して幾組みかの値として得られる。したがって、(23) は次のように表わすことができ、測定値 Y を X に対してプロットすれば直線が得られる筈である。

$$Y = AX - B \quad (27)$$

したがって、このプロットの最適直線の y 切片 B の値が得られ、次の公式*によって定数 σ の近似値が求められる。

$$\sigma = \frac{\sqrt{B}}{\gamma_1 - \gamma_0} \quad (28)$$

σ がきまれば、原理的には、直線の勾配 A の値と(25)の A の式を用いて、もう1つの定数 k が計算できる。しかし、2つの VM 円が相当離れていないと、この計算に対して A の値は十分でない。それ故、 k を求めるには、次の4点法を用いる。

4.2.2. 4 点 実 験

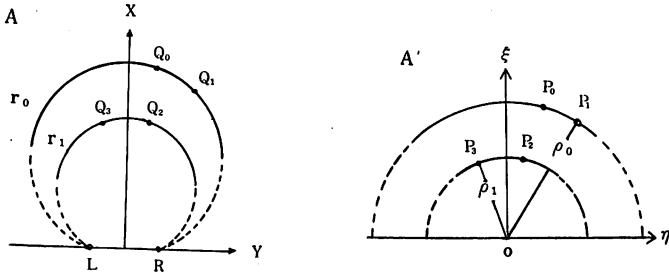
この実験では、図 [14] の A に示すように、4 光点 Q_0, Q_1, Q_2, Q_3 が

* (20) を (25) の B の式に代入すれば、

$$\begin{aligned} B &= \left[(e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)})^{\frac{1}{2}} - (e^{\sigma(\gamma_0 - \gamma_1)})^{\frac{1}{2}} \right]^2 \\ \sqrt{B} &= e^{\frac{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}{2}} - e^{\frac{\sigma(\gamma_0 - \gamma_1)}{2}} = e^{\frac{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}{2}} - e^{-\frac{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}{2}} \\ &= 2 \sinh \frac{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}{2} \approx \sigma(\gamma_1 - \gamma_0) \\ \therefore \sigma &\approx \frac{\sqrt{B}}{\gamma_1 - \gamma_0} \end{aligned}$$

提示される．初の1対は，視差 γ_0 の VM 円上を動き，後の1対は，視差 γ_1 の VM 円上を動く．Oは，固定した3点 Q_0, Q_1, Q_2 に対して，

図〔14〕4点実験：A—物理的空間，A'—視空間



Q_3 を調整して， $D(P_0, P_1) = D(P_2, P_3)$ なるようにする（図〔14〕のA'）．
そうすれば，(1)によって次の関係が成立する．

$$\frac{\{2\rho_0^2[1-\cos(\phi_1-\phi_0)]\}^{\frac{1}{2}}}{1+\frac{k}{4}\rho_0^2} = \frac{\{2\rho_1^2[1-\cos(\phi_3-\phi_2)]\}^{\frac{1}{2}}}{1+\frac{k}{4}\rho_1^2} \quad (29)$$

これは，次のように変形できる．

$$2 \sin \frac{1}{2}(\phi_3-\phi_2) = \frac{\rho_0}{\rho_1} \cdot \frac{1+\frac{k}{4}\rho_1^2}{1+\frac{k}{4}\rho_0^2} \times 2 \sin \frac{1}{2}(\phi_1-\phi_0) \quad (30)$$

ここで，

$$A = \frac{\rho_0}{\rho_1} \cdot \frac{1+\frac{k}{4}\rho_1^2}{1+\frac{k}{4}\rho_0^2} \quad (31)$$

$$X = 2 \sin \frac{1}{2}(\phi_1-\phi_0) ; \quad Y = 2 \sin \frac{1}{2}(\phi_3-\phi_2) \quad (32)$$

とすれば，(29)は次のような1次方程式となる．

$$Y = AX \quad (33)$$

それ故，種々のXに対して測定値Yをプロットすれば，原点を通る直線が

得られる筈である。この直線の勾配 A の値は、2つの VM 円が十分離れていれば、 K の値と共に著しく変化するので、3点法で σ が既知であれば、次の公式*によって K が算出できる。

$$A = e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} \cdot \frac{1 + ke^{-2\sigma\gamma_1}}{1 + ke^{-2\sigma\gamma_0}} \quad (34)$$

したがって、

$$k = \frac{2e^{2\sigma\gamma_0} \sinh[\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)]}{A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}} - e^{2\sigma\gamma_0} \quad (35)$$

Zajaczkowska (12) は、この方法によって、 σ , k , の値を求め、これらの値が、並木法によって得られた値と相当よく一致することを確認、Luneburg の理論を支持している。

5. 大きさ、および形の恒常度と Luneburg の定数 σ , K との関係

以上で Luneburg の視空間理論の概観を終えたので、本節では、この

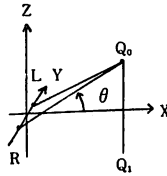
* (81)に(20)を適用すれば、(34)が導かれる。(34)の分母を払えば、

$$\begin{aligned} A(1 + ke^{-2\sigma\gamma_0}) &= e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}(1 + ke^{-2\sigma\gamma_1}), \quad A + kAe^{-2\sigma\gamma_0} \\ &= e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} + ke^{-\sigma(\gamma_1 + \gamma_0)} \\ ke^{-2\sigma\gamma_0}(A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}) &= e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} - A, \\ k &= \frac{e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} - A}{e^{-2\sigma\gamma_0}(A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)})} = \frac{e^{2\sigma\gamma_0}e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} - e^{2\sigma\gamma_0}A}{A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}} \\ &= \frac{e^{2\sigma\gamma_0}[e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}] - e^{2\sigma\gamma_0}[A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}]}{A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}} \\ &= \frac{2e^{2\sigma\gamma_0} \sinh[\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)] - e^{2\sigma\gamma_0}[A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}]}{A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}} \\ \therefore k &= \frac{2e^{2\sigma\gamma_0} \sinh[\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)]}{A - e^{-\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}} - e^{2\sigma\gamma_0} \end{aligned}$$

報告の主要な目的であるこの視空間理論と恒常現象との関連について考察しよう。

先ず Luneburg (9) 自身の恒常現象についての見解を述べておく。図 [15] に示すように、正中面において x 軸に対称である 2 点 $Q_0(x, 0,$

[15] 正中面における線分



$z)$, $Q_1(x, 0, -z)$ を考える。その視の大きさ D は、公式(1)によって次のように表わされる。

$$\begin{aligned} \frac{2}{(-k)^{\frac{1}{2}}} \sinh \left[\frac{1}{2} (-k)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{D}{C} \right] &= \frac{[2\rho^2 (1 - \cos 2\theta)]^{\frac{1}{2}}}{1 + \frac{k}{4} \rho^2} \\ &= \frac{2\rho \sin \theta}{1 + \frac{k}{4} \rho^2} \quad (36) \end{aligned}$$

ここで、 $\sin \theta = \frac{z}{(x^2 + z^2)^{\frac{1}{2}}} = z \tan \frac{\gamma}{2}$ ， また $\rho = 2e^{-\sigma\gamma}$

であるから、(36) は次のように変形できる。

$$\frac{2}{(-k)^{\frac{1}{2}}} \sinh \left[\frac{1}{2} (-k)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{D}{C} \right] = z \frac{4 \tan \frac{\gamma}{2}}{e^{\sigma\gamma} + ke^{-\sigma\gamma}} \quad (37)$$

もし Z を一定に保ち、2 点の位置 x を、したがって γ を変化すれば、 D/C は γ の函数として表わされる。 Z の小さな値に対しては、 D/C は近似的に次のようになる。

$$\frac{D}{C} = z \frac{4 \tan \frac{\gamma}{2}}{e^{\sigma\gamma} + ke^{-\sigma\gamma}} \quad (38)$$

それ故、視的の大きさ D は、観察距離を無限に大きくし、 $x \rightarrow \infty$ したがって $\gamma \rightarrow 0$ とすれば、 $k = -1$ でない限り零に近づく。しかし、 $k = -1$ の場合は、漸近的に有限の極限值に達する。そこで Luneburg は、大きさの恒常性は、 O の定数 K の値が、 -1 に近づくほど長い間保たれると結論している。しかし氏は、恒常性と σ との関係については別に言及していない。

次に、前述の 4 点実験を手がかりとして、恒常現象の問題を考えよう。この実験では、 O は $S_s, (Q_0, Q_1)$ に対して $S_c, (Q_2, Q_3)$ を調整して、視的距離が、 $D(P_0, P_1) = D(P_2, P_3)$ になるようにするのであるから、われわれが普通行なう大きさの恒常性の実験の 1 種と考えることができる。この場合、

$$2 \sin \frac{1}{2} (\phi_3 - \phi_2) = Y, \quad 2 \sin \frac{1}{2} ((\phi_1 - \phi_0) = X$$

とおけば、前述のように、Luneburg の理論によると、 Y は X に正比例する。その比例定数（前節の式での A ）を C とすれば、

$Y = CX$ なる関係が成立する。いま調整の結果が、 $\phi_3 - \phi_2 = \phi_1 - \phi_0$ であれば、恒常度は零で、 $C = 1$ となる。 $\phi_3 - \phi_2 > \phi_1 - \phi_0$ ならば、恒常度は正で、 $C > 1$ となる。また $\phi_3 - \phi_2 < \phi_1 - \phi_0$ ならば、恒常度は負で、 $C < 1$ となる。したがって、 C を恒常度の指標として取り扱うことができる。

一方 C を、Luneburg の個人定数 σ, k で表わせば、

$$C = e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)} \cdot \frac{1 + k/e^{2\sigma\gamma_1}}{1 + k/e^{2\sigma\gamma_0}} \quad (39)$$

となり、恒常度 C は、明らかに σ, k の函数である。ここで興味ある問題は、個人定数 σ, k の変化に伴って C がどのように変化するかである。すなわち、個人定数は、恒常度とどのような関連をもつかと云うことである。

先ず、上式によって、これらの関係を考えてみよう。Kを一定とすればCは σ によってどのように変化するであろうか。すなわち、Kを等しくする個人間では、 σ の変動がCにどのような効果をもたらすであろうか。これまでの僅かな研究(12,13)によれば $\sigma > 0$, $k < 0$ であることが知られている。この実験では、 $\gamma_1 > \gamma_0$ であるから、 σ が大なるほど、 $e^{\sigma(\gamma_1 - \gamma_0)}$ は大きく、 $(1+k/e^{2\sigma\gamma_1})/(1+k/e^{2\sigma\gamma_0})$ も大きい。したがって、 σ が大きい個人ほど、Cの値が大きいことが考えられる。換言すれば、奥行の知覚が正確な個人ほど、恒常現象を著しく現わすと予想される。次に σ を一定とすれば、CはKによってどのように変化するであろうか。すなわち、 σ の値を大体等しくする個人については、Kの変動は、Cにどのような変化をもたらすであろうか。前述のように、 $K < 0$ であるからKの絶対値について考えることにする。この場合、問題は $(1+k/e^{2\sigma\gamma_1})/(1+k/e^{2\sigma\gamma_0})$ であるが、この比の値は、Kの絶対値が大きいほど(Kの値が小さいほど)大きくなる。したがって、Cの値についても、Kの絶対値が大きいほど大きくなることが考えられる。すなわち、視空間の幾何学が、Euclid 幾何学から離れる個人ほど、恒常現象を著しく現すと予想される。以上のことがらをまとめて考えれば、恒常度Cは、個人定数 σ が大なるほど、Kの絶対値が大なるほど大きくなる。すなわち、奥行知覚の正確な個人ほど、またその視空間の幾何学的性質が、Euclid 幾何学から離れる個人ほど、恒常現象をよく現わすことになる。これがLuneburgの視空間理論から、恒常現象に関して下される結論である。以上は、大きさの恒常現象について考察したが、実験を少しく工夫すれば、同様な結論が、形の恒常現象についても下されるであろう。すなわち、形の恒常度C'も、個人定数 σ , kの函数であり、C'の値は、 σ の大なるほど、Kの絶対値が大なるほど大きいであろう。

これまでの報告(1~7)で、大きさの恒常度と、形の恒常度との相関 r_{sf} が有意であることを明らかにしたが、上記のように、この2つの恒常度C,

C' がいずれも個人定数 σ, k によって規定されることを考えれば説明されるのではなからうか. すなわち, 両恒常度が, $C=S(\sigma, k)$, $C'=F(\sigma, k)$ のように, σ, k の函数として記述されれば, C, C' の間にもある函数関係が成立し, したがって $r_{\sigma F}$ が有意になることが考えられる.

さて上述の Luneburg の理論からの推論を検証するためには, 実験に訴えなければならない. すなわち, 多くの O について, それぞれ定数 σ, k を前述の方法のいずれかによって測定し, 一方従来の大きさや形の恒常現象の実験を行ない, 恒常度を算出し, はたして両者の間に上述の関係が成立するかどうかを検討しなければならない. この測定を計画しているが, まだ報告する段階に至っていないので, 次に Zajackowska (12) の実験結果によって考察しよう.

表〔1〕は, 氏が3点法, および4点法を用いて, 個人定数 σ, k を測定した結果の一部を示す. この表で pd は, 各観察者の瞳孔間の距離を示す. この表によれば, K の等しい観察者の間では, σ が大きいほど, C が大となる傾向が見られる. また σ の等しい観察者の間では, K の絶対値が大きいほど, C が大となる傾向が認められる. したがって, σ, k の変動を同時に考慮すれば, 観察者の σ の値が大きく, かつ K の絶対値が大きいほど, C の値は大きくなる傾向が見られるといえよう. すなわち, 観察者の奥行知覚が正確なほど, またその視空間の幾何学が Euclid 幾何学から離れるほど, 大きさや形の恒常度が大きくなる傾向があると考えられる. この考察を確かめるために, これらの定数 C, σ, k (絶対値) 間の相関を求めた結果が表〔2〕に示してある. この表で, 左側の3個の相関, $r_{C\sigma}$, r_{Ck} , $r_{\sigma k}$ の中, 有意なのは, r_{Ck} のみであるが, 右側の偏相関, $r_{C\sigma, k}$, $r_{Ck, \sigma}$ および重相関 $R_{C, \sigma k}$ はいずれも有意である. したがって, $r_{C\sigma, k}$ の有意なことから, K を一定としたとき, σ と C との間には正の相関々係があり, $r_{Ck, \sigma}$ の有意であることから, σ を一定とすれば, K の絶対値と C との間

表〔1〕VM円の実験(3点, 4点法)による σ , k ($^{\circ}$ 印は男子)

観 察 者	年 令	pd (cm)	C	σ	K
1 $^{\circ}$	6,10	5.00	2.151	10.8	— .71
2	7,1	6.00	2.975	11.8	— .94
3 $^{\circ}$	7,6	5.20	1.455	8.3	— .23
4	8,0	5.00	2.870	13.8	— .91
5	8,6	5.60	1.690	10.7	— .29
6 $^{\circ}$	11,3	6.00	1.724	9.1	— .40
7	12,9	5.80	2.042	7.4	— .75
8	13,1	6.00	1.881	7.0	— .62
9 $^{\circ}$	14,2	5.80	1.670	9.9	— .30
10	16,11	5.85	1.998	11.9	— .47
11	18,6	5.85	3.563	14.8	—1.06
12 $^{\circ}$	25	6.40	2.076	11.9	— .47
13 $^{\circ}$	26	6.30	1.745	7.8	— .48
14 $^{\circ}$	29	6.70	2.295	11.7	— .60
15	30	5.88	2.986	6.8	— .99
16 $^{\circ}$	32	6.48	1.967	10.7	— .45
17	37	6.40	2.118	8.7	— .68
18	38	6.65	2.939	8.5	— .97
19	38	6.25	2.222	7.5	— .79
20	39	6.30	1.910	0.0	—1.00

表〔2〕 c と σ , k との相関

$r_{c\sigma}$ = .39	$r_{c\sigma, k}$ = .88
r_{ck} = .83	$r_{ck, \sigma}$ = .96
$r_{\sigma k}$ = —.12	$R_{c, \sigma k}$ = .97

にも正の相関が成立することがわかる。また $R_{c, \sigma k}$ の有意であることから、 σ と K (絶対値)との総合値と C との間にも正の相関々係があることが知られる。このように相関係数の算出によって、上記の実験結果についての考察の妥当なことが確かめられた。

さて、以上用いた σ , k の値は、3点および4点法によって求めたも

ので、とくにKはC（前述のA）から算出されたから、このような高い相関が得られたのではないかとの疑問が起る。しかし、 σ , k の値は、3 点、4 点法以外の方法によっても求められ、Zajackowska (13) の研究によれば、表〔3〕に示すように、異なる方法（並木実験）によって得られた σ , k と、前述の方法（VM 円の実験）によって得られた値との間には

表〔3〕VM円の実験、並木実験による σ , k の比較（°印は男子）

観 察 者	年 令	3 点, 4 点実験		平行, 距離並木	
		σ	K	σ	K
1°	29	11.7	-0.60	20.2	-0.29
2°	32	10.7	-0.45	11.3	-0.40
3	37	8.7	-0.68	10.6	-0.57
4	38	7.5	-0.79	9.0	-0.65
5	38	9.7	-0.98	14.9	-0.69
6°	47	16.9	-0.55	26.4	-0.29
7°	53	5.4	-0.57	10.9	-0.28
8°	59	8.6	-0.65	16.1	-0.26
9°	72	3.8	-0.05	13.9	-0.08

相当高い一致性が認められる（両者の相関は、 σ については 0.75, k については 0.84 である）。したがって、ある方法によって、個人の σ , k を求め、この方法とは全く独立した方法によって恒常度Cを求めたとしても、上述のようなCと σ , k の間に高い相関関係が認められることは予測に難くない。このような訳であるから、Luneburg の定数 σ , k の値を、各個人について測定しておくことは、恒常現象間の関係を考えるにはもとより、知覚の諸問題を考察する上にも重要であろう。

6. 結 論

以上考察したところに次を要約する。

- (1) 大きさの恒常度Cは、Luneburg の定数 σ , k の函数である。a) k

が一定ならば, C は, σ の大なるほど大である. すなわち, 恒常現象は, 奥行知覚の正確な観察者にいっそうよく現われる. b) σ が一定ならば, C は, K の絶対値が大きいほど (K の値が小さいほど) 大である. すなわち, 恒常現象は, その視空間の幾何学が, Euclid の幾何学からずれる観察者についていっそうよく現われる. したがって, c) C は, σ の大なるほど, K の絶対値が大なるほど, (K の値が小さいほど) 大きい.

(2) 形の恒常度 C' も, Luneburg の定数の函数であり, C' と σ , k との間にも, (1)と同様の傾向が認められることが予想される. これまでの報告(1~7)で, 大きさや形についての超恒常, あるいは負恒常の異常現象が特定の観察者について認められる事実は, この予想をある程度裏付けるものと考えられる.

(3) 大きさの恒常度 $C=S(\sigma, k)$ と, 形の恒常度 $C'=F(\sigma, k)$ との間に存意な相関 r_{sf} が成立することは, 両者が, 同一の定数の函数であることから理解されるであろう.

本研究は, 昭和 32, 33 年度文部省科学研究費による「知覚的恒常性の理論とその応用に関する総合的研究, 代表者 秋重教授」の一部をなすものである.

文 献 :

- (1) 石 井 克 巳, 諸恒常現象間の相関に関する研究, 哲学年報, 1954, 16.
- (2) _____, 同 上 (第2報告) 哲学年報, 1957, 20.
- (3) _____, 恒常現象研究の方法論に就いて, 日本心理学会第18回大会報告, 1954.
- (4) _____, 諸恒常現象間の相関に関する研究 I, 日本心理学会第19回大会報告, 1955.
- (5) _____, 同 上 II, 日本心理学会第20回大会論文抄録, 1956.
- (6) _____, 同 上 III, 日本心理学会第21回大会論文抄録, 1957.
- (7) _____, 同 上 IV, 九州心理学会第20回大会紀要, 1958.
- (8) Luneburg, R. K., Mathematical analysis of binocular vision. 1947.
- (9) _____, The metric of binocular visual space. J. Opt. Soc. Amer., 1905, 40, 627.
- (10) Blank, A. A., The Luneburg theory of binocular visual space. J. Opt. Soc. Amer., 1953, 43, 717.
- (11) _____, The Luneburg theory of binocular space perception. Psychology : A study of a science, Vol. I, 1959.
- (12) Zajaczkowska A., Experimental determination of Luneburg's constant σ and k .
Q. J. Exptl. Psychol., 1956, VIII, 66.
- (13) _____, Experimental test of Luneburg's theory.
Horofter and alley experiments.
J. Opt. Soc. Amer., 1956, 46, 514.