

エンメルトの法則と大きさ－距離不変仮説の等価性の検証

今村 真理子*・中溝 幸夫**

*九州大学大学院 人間環境学府

**九州大学大学院 人間環境学研究院

〒812-8581 福岡市東区箱崎 6-19-1

(受付：2005年5月18日；改訂稿受付・受理：2005年7月13日)

Evidence for the Formal Equivalence between Emmert's Law and Size-Distance Invariance Hypothesis

Mariko IMAMURA* and Sachio NAKAMIZO**

* The Graduate School of Human-Environment Studies, Kyushu University

** Faculty of Human-Environment studies, Kyushu University

6-19-1 Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka-shi, Fukuoka-ken 812-8581

(Received 18 May 2005; Received in revised form and accepted 13 July 2005)

Emmert's law and the size-distance invariance hypothesis have been said to be equivalent formally if Emmert's law can be assumed to state that perceived size of an afterimage is proportional to perceived distance of the projected surface of the afterimage. However, there have been very few studies that attempted to verify this formal equivalence empirically. We measured perceived sizes and distances of an afterimage and real objects. Nineteen participants projected afterimages of 1 deg in visual angle on the wall located at 1 m to 23 m away from the participants, and also observed real objects of 1 deg in visual angle, which were located at the same physical distances as those of the afterimage. Each participant reproduced apparent sizes of the afterimages or real objects using the reproduction method and estimated apparent distances using the magnitude estimation method. When the mean apparent sizes of the afterimage and real objects represented as a function of apparent distance were fitted to linear functions, the slopes did not differ between afterimage and real object. These results were interpreted as evidence for the formal equivalence of Emmert's law and the size-distance invariance hypothesis.

1. はじめに

エンメルトの法則とは、残像の大きさが眼から残像の投影面までの距離に比例するという法則である。残像の大きさと投影面の距離に関して、これまでに2つの解釈が提案されている。1つは、残像の“客観的な大きさ”が眼から投影面までの物理距離に比例するという解釈であり、もう1つは、残像の“見かけの大きさ”が眼から投影面までの見かけの距離に比例するという解釈である（例えば、Edwards and Boring,

1951¹⁾; Weintraub and Gardner, 1970²⁾; 東山, 1994³⁾; Hershenson, 1999⁴⁾).

最初の解釈は、残像の物理的大きさ、すなわち、投影面において残像の占める領域の物理的大きさは、眼から投影面までの観察距離が増大（減少）するに従って大きく（小さく）なるというものである。残像の物理的大きさを S 、眼から投影面までの物理距離を D 、残像の視角的大きさ（網膜像の大きさ）を θ で表すと、この解釈に基づくエンメルトの法則は次の数式で表現できる：

$$S = D \cdot \tan \theta \quad (1)$$

(1)式において扱われる変数はすべて物理学的な測定によって得られるものであるので、(1)式は心理学的法則ではなく、幾何光学的法則であるといえる。幾何光学的法則としてのエンメルトの法則の解釈は Weintraub and Gardner (1970) や Young (1948)⁵⁾ によってその妥当性が確認されている。

第2の解釈は、投影面に形成される残像の見かけの大きさは、眼から投影面までの見かけの距離が増大(減少)するに従って大きく(小さく)なるというものである。残像の見かけの大きさを s 、眼から投影面までの見かけの距離を d 、残像の視角の大きさ(網膜像の大きさ)を θ で表すと、この解釈に基づくエンメルトの法則は次の式で表現できる：

$$S = d \cdot \tan \theta \quad (2)$$

(2)式は、(1)式の物理量 (S, D) を、それぞれに対応する知覚量 (s, d) に置き換えたものである。(2)式の妥当性は知覚量を測定することによってテストすることができる。実際に、井上(1972)⁶⁾、Nakamizo & Imamura (2004)⁷⁾ は、残像の見かけの大きさと見かけの距離が比例関係にあり、それらにあてはめた直線の勾配が理論値に非常に近いことを見出している。本稿では心理学的な法則である後者をエンメルトの法則として扱う。

エンメルトの法則は、大きさ-距離不変仮説と等価であるという主張がある(東山, 1994; Howard and Rogers, 2002⁸⁾)。両者が異なるのは、エンメルトの法則が“残像”の知覚の大きさと残像が投影された面までの見かけの距離の関係を表すのに対し、大きさ-距離不変仮説は“実際の対象”の見かけの大きさと見かけの距離の関係を表している点である。エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説が等価であることは、数学的にも論証できる。大きさ-距離不変仮説とは、対象の視角が一定の条件の下では、見かけの大きさと見かけの距離の比が一定であるという仮説である。そのため、見かけの大きさを s 、眼から対象までの見かけの距離を d で

表すと、大きさ-距離不変仮説は次の式で表現することができる：

$$\frac{s}{d} = K \quad (K \text{ は定数}) \quad (3)$$

(3)式を変形すると、

$$s = K \cdot d \quad (4)$$

エンメルトの法則の(2)式の $\tan \theta$ は定数なので、エンメルトの法則の(2)式と大きさ-距離不変仮説を変形した(4)式とは理論的に等価であると言える。

しかし、エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説の形式的等価性を“実際に”検証した研究は、われわれの知る限りまだない。そこで、本研究では、日常空間内における同じ観察距離において、実際の対象と残像の見かけの大きさおよび観察面までの見かけの距離を19名の観察者について測定し、エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説が等価であることを検証した。

2. 実 験

知覚された残像の大きさおよび残像と視角的大きさが同じ実際の円板の見かけの大きさを8水準の観察距離でマッチング法を用いて測定し、同時に見かけの距離をマグニチュード推定法で測定した。その結果に基づいて、エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説が等価であるかどうかという観点から分析した。

2.1 刺激

刺激は残像と実際の円板の2種類であった。残像は視角1°の大きさで、円形であった。残像は写真撮影用ストロボの観察面を直径3.5cmの円が切り抜かれた黒紙で覆い、視角1°となるように被験者の眼から2mの距離に置いて、被験者の眼に照射して形成した。残像を形成する際に、被験者はストロボの観察面上の中央にある凝視点(+印)を両目で注視するように教示された。円板は発泡スチロール製の灰色円板で、各観察距離で視角が1°となるように8枚(直径：1.8, 5.2, 10, 15, 20, 24, 32, 40cm)用意された。

2.2 手続き

被験者は成人のボランティア 19 名（男性 9 名，女性 10 名の計 19 名）であり，正常視力（矯正視力を含む）であった。

実験は十分に明るい廊下（26.83m×2.06m）において，両眼観察下で行い，廊下の一端の白色壁面（2.06m×3.02m）に残像を投影または円板を提示した．円板は円の中心が直立した被験者の眼の高さになるように提示された．被験者は直立姿勢で観察した．観察距離は 1, 3, 5.7, 8.6, 11.5, 13.8, 18.3, 23.0m の 8 水準であった．被験者は各観察距離へは歩いて移動した．以下に述べるように，観察距離はランダムな順番で呈示された．

残像と円板の知覚的大きさはマッチング法によって測定された．本稿におけるマッチング法とは，被験者が残像および円板の見かけの大きさ（この場合は円の直径）と等しくなるように，両手の人差し指の先端の間隔を調整し，実験者がその指の間隔を測定する方法である．再生法による残像および円板の見かけの大きさは各観察距離で合計 3 回ずつ測定した．残像および円板の大きさを測定する際，被験者には，視角的大きさではなく，見かけの大きさを再生するように，その際，壁面上に見える残像および円板が手元にあったらどれくらいの大きさを想定しながら再生するように教示した．また，残像はポジティブであったが，時間の経過に伴って変色して見えにくくなり，大きさの判断が難しいという被験者の報告ごとに残像が新たに形成された．1 セッションは，8 試行からなり，それぞれの試行は 8 水準の観察距離に対応し，合計 3 セッションを行った．各セッション内での観察距離の提示順序はランダムであった．1 名の被験者につき，各刺激について総計 24 試行（8 距離×3 繰返し）を行った．残像と円板との提示順序は，被験者の半分が最初に残像の見かけの大きさを測定し，残りの半分が最初に円板の見かけの大きさを測定した．

見かけの距離の測定には基準となる刺激を被験者に与えるマグニチュード推定法を用いた．

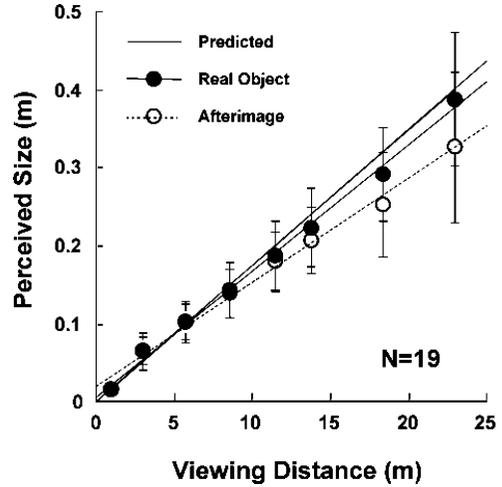


図1 観察距離（物理距離）を関数とした実際の対象と残像の見かけの大きさ．実線は実際の大きさおよび残像の予測値．黒丸が実際の対象，白丸が残像の見かけの大きさを表す．

本稿におけるマグニチュード推定法とは，1mの棒を標準刺激としてそのモデュラスを1とし，被験者の眼から刺激の提示される面までの見かけの距離を数値で表現する方法である．被験者は標準刺激の棒を手にとって自由に観察しながら，刺激面までの見かけの距離を数値で回答した．マグニチュード推定法による見かけの距離は各観察距離で3回ずつ測定した．観察距離の提示順序はランダムであり，1名の被験者につき24試行（8距離×3繰返し）を行った．

2.3 結果

残像と円板の見かけの大きさについて3試行の平均値を分析の単位とし，2要因繰返し分散分析（2刺激種類×8観察距離）を行った．その結果，刺激種類の主効果 [$F(1, 18)=9.67$, $p<.01$] と観察距離の主効果 [$F(7, 126)=222.01$, $p<.001$] が有意であった．また，刺激種類と観察距離の交互作用 [$F(7, 126)=11.70$, $p<.001$] も有意であった．Ryan法による下位検定の結果，観察距離 13.8, 18.3, 22.9mにおいて残像と円板の見かけの大きさの間に有意差が得られた．図1は，残像と円板の見かけの大きさの平均値を観察距離の関数としてプロットしたものである（残像の勾配は0.013，円板の勾

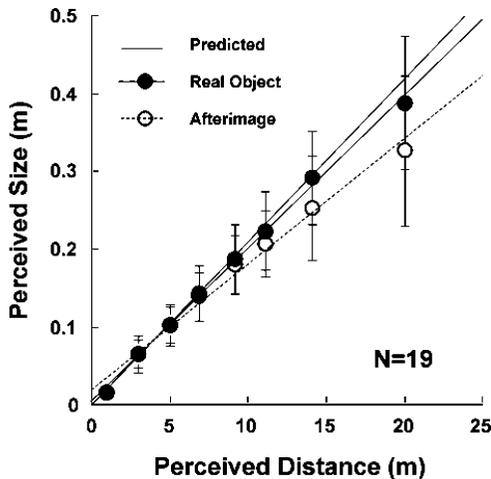


図2 見かけの距離を関数とした実際の対象と残像の見かけの大きさ。実線は実際の大きさおよび残像の予測値。黒丸が実際の対象、白丸が残像の見かけの大きさを表す。

配は 0.016 であった)。

エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説はともに見かけの距離を変数に持つ。図2は、残像と円板の見かけの大きさの平均値を見かけの距離の関数としてプロットしたものである。図2から、残像と円板の見かけの大きさが見かけの距離に比例しているのがわかる。被験者ごとに各刺激についてあてはめた直線の勾配を基礎データにして、残像と円板刺激のそれぞれについて19名の被験者の平均の勾配と標準偏差を算出した。残像の平均勾配は0.175 ($SD=0.0073$)、円板の平均勾配は0.196 ($SD=0.0054$)であった。これらの平均勾配の間で、対応のある t 検定を行った結果、残像と円板の平均勾配の間には有意な差は見られなかった [$t(18)=1.68, n.s.$]。

また、図3は見かけの距離を観察距離の関数としてプロットしたものである。被験者ごとに得られた見かけの距離の測定値から、各観察距離における平均値の95%信頼区間を算出した。その結果、観察距離8.6m (5.70-8.04)、11.5m (7.46-10.84)、13.8m (9.18-13.11)、18.3m (11.84-16.35) という結果になり、これらの観察距離条件では見かけの距離は物理距離から過

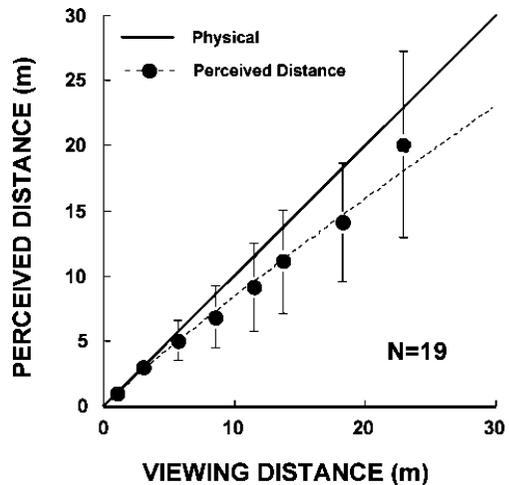


図3 観察距離を関数とした見かけの距離。実線は物理距離を、黒丸は見かけの距離を表す。

小視されていた。以上の結果から、観察距離が遠距離になるにつれて、見かけの距離が過小視されることがわかる。しかし、通常、見かけの距離の判断にはベキ指数が指標として用いられ、日常空間条件におけるベキ指数は0.8-1.4の範囲に収まるとされている³⁾。本実験の見かけの距離にベキ関数をあてはめた結果、ベキ指数は0.916、決定係数 (r^2) は0.996となり、従来の距離知覚と同様の結果を示した。

3. 考 察

エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説が等価であるという主張はこれまでも提案されてきたが、それを検証した研究はなかった。本稿では残像と実際の対象を用いて、見かけの大きさと見かけの距離を測定することによって、両者の等価性を実験的に検証した。その結果、観察距離約12mまでは網膜像サイズの等しい残像と実際の円板との見かけの大きさはほぼ等しかった。また、見かけの距離の関数として、残像と実際の円板との見かけの大きさをプロットしたとき、あてはめた直線の勾配は両者でほぼ等しかった。この結果から、エンメルトの法則と大きさ-距離不変仮説は本実験で用いられた観察距離において、実際にも等価性が成り立つと結論できる。

観察距離が大きくなった (>約 12m) とき、残像と実際の対象との見かけの大きさには差が生じた。その理由は、必ずしも本実験の結果だけからは明らかではないが、われわれは次のように考えている。実対象は、距離の手がかりとともにさまざまな奥行手がかりを含んでいるので、“大きさの恒常性”が働いて、約 24 メートルの距離までほぼ正確に (veridically) 知覚された。一方、残像は実対象とは異なって、それ自体がいわば“ヴァーチャルな”対象なので、大きさの恒常性が働きにくく、見かけの距離の影響を直接的に受ける。本実験の結果から、比較的遠距離では見かけの距離が過小視されたため、残像の見かけの大きさも過小に評価されたのであろう。“観察距離”を関数として見かけの大きさをプロットした図 1 が示すように、12m 以降の観察距離においても実際の対象の見かけの大きさは非常に正確で、大きさの恒常性が成立していることがわかる。一方、残像の見かけの大きさは過小視されているように見える。“見かけの距離”の関数として見かけの大きさをプロットした図 2 についても、上に述べたことと同様である。だが、前述したように、見かけの距離について調べてみると、見かけの距離は、約 8.6m より大きな観察距離において、実際の距離 (物理距離) に比べて過小視されていた (図 3)。残像の見かけの大きさは、このような見かけの距離の過小視の影響を“直接的に”受けたというのがわれわれの解釈である。

文 献

- 1) W. Edwards and E. G. Boring: What is Emmert's law? *The American Journal of Psychology*, **64**, 416-422, 1951.
- 2) D. J. Weintraub and G. T. Gardner: Emmert's law: Size constancy vs. optical geometry. *The American Journal of Psychology*, **83**, 40-54, 1970.
- 3) 東山篤規: 空間知覚. 大山 正, 今井省吾, 和気典二 (編): 新編 感覚知覚ハンドブック. 誠心書房, 768-801, 1994.
- 4) M. Hershenson: Empiricist view: Perceived size and shape. *M. Hershenson (Eds.): Visual Space Perception*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, pp. 107-144, 1999.
- 5) F. A. Young: The projection of after-image and emmert's law. *The Journal of General Psychology*, **39**, 161-166, 1948.
- 6) 井上恵美子: 視空間における残像の大きさ (I) 屋内の場合. *日本心理学会第 36 回大会発表論文集*, 114, 1972.
- 7) S. Nakamizo and M. Imamura: Verification of Emmert's law in actual and virtual environments. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, **23**, 325-329, 2004.
- 8) I. P. Howard and B. J. Rogers: Depth constancies. *I. P. Howard and B. J. Rogers (Eds.): Seeing in Depth Volume 2 Depth Perception*, pp. 445-467, 2002.