

エンメルトの法則の再考

今村, 真理子
九州大学大学院人間環境学府

<https://doi.org/10.15017/15689>

出版情報 : 九州大学心理学研究. 6, pp.133-139, 2005-03-31. Faculty of Human-Environment Studies, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :

エンメルトの法則の再考

今村真理子 九州大学大学院人間環境学府

Reconsideration of emmert's law

Mariko Imamura (*Graduate school of human-environment studies, Kyushu university*)

This paper reviews the theoretical and empirical studies on Emmert's law describing relationships between sizes and distances of an afterimage. The paper is divided into six main parts. The first part introduces the origin of the problem of Emmert's law. The second part describes three interpretations of Emmert's law discussed previously: (1) the law as geometrical optics, (2) the law stating relationships of perceived size and *physical* distance, and (3) the law stating relationships of perceived size and *perceived* distance. The present paper adopts the third interpretation. The third part describes that Emmert's law is equivalent to the size-distance invariance hypothesis when the third interpretation is valid. The fourth part reviews various empirical studies of Emmert's law. The fifth part describes experiments to estimate the perceived distance by using Emmert's law. Finally, the sixth part reviews the results of studies examining the range of viewing distance to which Emmert's law can be applied.

Keywords: Emmert's law, afterimage, size-distance invariance hypothesis, anisotropy

1. はじめに

残像の大きさと残像を投影する距離との量的な関係を述べたエンメルトの法則 (Emmert's law) は、実際にはエンメルト (Emil Emmert 1844-1911) の発表の2世紀前にイタリアの物理学者カステリ (Benedetto Castelli 1578-1643) によって発見されていたが、それを1881年に論文として発表したのがスイスの眼科医であり心理学者でもあったエンメルトであった。かくしてエンメルトの名前は、残像の大きさと距離との関係に関する法則の名称として視覚科学史に生き残り、カステリの名前は忘れ去られた。このエピソードは「あるアイデアを論文として残す」ことが科学史においてはいかに重要であるかを物語る。しかし、以下に述べるように、エンメルトの文章表現は曖昧であった。そのことが、エンメルトの法則に関するその後の視覚科学者たちの論争と実験的研究を刺激し、その影響は21世紀の現在でも持続している。

2002年8月、スコットランドのグラスゴーで行われたヨーロッパ視覚会議 (European Conference on Visual Perception, ECVF) において、この学会の創設者の一人であり、視覚研究の世界的重鎮の一人でもあるグレゴリー (Gregory, R. L.) のレクチャーは、「エンメルトの法則について」であった。本稿の著者は、グレゴリー自身に『今、なぜエンメルトの法則を取り上げるのか?』と質問してみた。彼曰く、『われわれは、エンメルトの法則をまだよく理解していないから。』この小さなエピソードは、エンメルト自身が意図せずに投げかけてしまった

“謎” (つまり、彼の文章表現の“曖昧性”) が、エンメルトの発表から一世紀以上も経過した後の時代における研究を刺激したことを意味している。「エンメルトの法則の再考」と題する本稿もそれに刺激されて生まれた研究の一つである。

法則に関するエンメルト自身の表現を一文で表すと、「投影された残像の大きさは投影距離が増大すれば大きくなり、投影距離が減少すれば小さくなる」となる (Weintraub & Gardner, 1970)。エンメルトのこの表現は多義的である。残像の大きさとは「物理的」大きさなのか、それとも「知覚的」大きさなのか? 投影距離とは「物理的」距離なのか、それとも「知覚的」距離なのか? この文からは一意的に解釈できない。このような用語の意味の多義性が、エンメルトの法則が何を意味するかについての後世の議論を生み出す原因になったのである。

Edwards & Boring (1951) はエンメルトの法則の解釈を2つに分類した。第1は「物理的な大きさに関するエンメルトの法則」であり、第2は「知覚的な大きさに関するエンメルトの法則」である。本稿では第1の解釈を物理的距離と物理的大きさに関する法則と解釈して幾何光学的法則と呼ぶ。本稿では、Edwards & Boring の第2の解釈をさらに2つに分類した。その1つは投影距離を「物理距離」とみなす解釈であり、もう1つは「知覚距離」とみなす解釈である。2節ではこれら3つの解釈のうちどれが心理学的に適切なのかについて述べる。3節では、エンメルトの法則が「大きさ-距離不変仮説」

と等価であることを述べ、4節では、エンメルトの法則に関する従来の研究を概説する。5節では、エンメルトの法則を利用した知覚距離の測定方法を、6節ではこの法則の適用範囲について述べる。

2. エンメルトの法則の解釈

2.1. 幾何光学的法則としてのエンメルトの法則

この解釈は、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 とすると、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：

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

(1)式において扱われる変数は全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。また、(1)式は、視角の法則 (law of visual angle) と等価であるとも言える。(視角の法則とは、ある事物の網膜像の大きさを視角で表す式のことをいう。) 幾何光学的法則としてのエンメルトの法則の解釈は Weintraub & Gardner (1970) や井上 (1972) によって確認されており、その妥当性が確認されている。

2.2. 物理距離と知覚的大きさの関係に関するエンメルトの法則

この解釈は、投影面に形成される残像の知覚された大きさは、眼から投影面までの物理的な観察距離が増大（減少）するに従って大きく（小さく）なるというものである。残像の知覚された大きさを 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 とすると、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：

$$s = D \cdot \tan \theta \dots\dots\dots(2)$$

残像の知覚された大きさは観察距離の一次関数として増大するという Price (1961) の報告は(2)式が検証されたように見える。しかし、(2)式が単に物理距離と残像の見かけの大きさ及び網膜像の大きさとの3者の形式的 (formal) 関係を意味するだけでなく、残像の見かけの大きさが観察距離と残像の網膜像の大きさによって“決定されている”という因果関係を表すとすれば、概念的には問題がある。なぜならば、知覚（残像の見かけ

の大きさ）を決定するための心的プロセス（あるいは、脳内プロセス）の中に、直接的に物理量（物理距離）が含まれることは概念的に不可能であるからである (Hershenson, 1999)。従って、本稿はこの解釈に同意しない。

2.3. 知覚距離と知覚的大きさとの関係に関するエンメルトの法則

この解釈は、投影面に形成される残像の知覚された大きさは、眼から投影面までの知覚距離が増大（減少）するに従って大きく（小さく）なるというものである。残像の知覚された大きさを s 、眼から投影面までの知覚距離を d 、残像の視角的大きさ（網膜像の大きさ）を θ とすると、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：

$$s = d \cdot \tan \theta \dots\dots\dots(3)$$

(3)式は、既に複数の研究がその妥当性を確認している第1の幾何光学的解釈としての(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。物理量を知覚量に置き換えることにより、第2の解釈における概念的難点を回避することができる。すなわち、残像の見かけの大きさ（心理的変数）が見かけの距離（心理的変数）によって“因果的に決定される”ことは、概念的には問題ないのである。井上 (1972) や Nakamizo & Imamura (2004) は、残像の知覚された大きさと知覚距離が線形関係にあることを見出しており、これらの研究は(3)式の妥当性を意味する。

Dwyer, Ashton, & Broerse (1990) は、エームズの歪んだ部屋の模型を用いてエンメルトの法則を検証する実験を行なっている。エームズの歪んだ部屋の模型において、観察窓の反対側に位置する壁面にある2枚の窓までの距離は、物理的には異なるが、知覚的には等しい。つまり、観察者には自分から歪んだ部屋の正面にある2つの窓までの距離が等しく‘見える’。Dwyerらは残像をその2枚の窓に投影して知覚された残像の大きさを比較した。その結果、それぞれの窓に投影された残像の知覚された大きさの間には、統計的な差は認められなかった。また、Imamura & Nakamizo (2002) は、仮想現実空間 (virtual image space, 以下、仮想空間) の中で、観察者から様々な距離 (1~24m) にあるようにスクリーンをシミュレートし、その面に残像を投影して残像の知覚された大きさを測定した。その結果、残像の知覚された大きさの平均は実際のスクリーンまでの物理的距離ではなく、シミュレートされたスクリーンまでの知覚距離に比例して大きくなった。これらの研究結果は、残像の知覚された大きさが物理距離ではなく知覚距離に基づいてい

ることを意味しており、第3の解釈の妥当性を示している。

3. エンメルトの法則と大きさ—距離不変仮説

大きさ—距離不変仮説とは、知覚された大きさと知覚距離の比は一定であるという仮説である。Kilpatrick & Ittelson (1953) は、その比が視角的大きさ（網膜像の大きさ） θ によって一義的に決定されると主張した。知覚された大きさを s 、知覚距離を d とした時、この仮説は次のような数式で表すことができる：

$$\frac{s}{d} = f(\theta) \dots\dots\dots(4)$$

f は未確認の関数であるが、Gilinsky (1951) が $f(\theta) = \theta$ 、Kilpatrick & Ittelson が $f(\theta) = k\theta$ (k は定数)、Foley (1967) が $f(\theta) = k\theta^p$ (k, p は定数) を提唱している（東山, 1994）。いずれの主張を採用するにせよ、 $f(\theta)$ の値が定数であることに変わりはない。ところで、2.3節で述べたエンメルトの法則を表す(3)式を変形すると次式のようになる：

$$\frac{s}{d} = \tan \theta \dots\dots\dots(5)$$

エンメルトの法則では、 θ （視角）は一定なので、 $\tan \theta$ は定数である。つまり、エンメルトの法則は残像に限定された“大きさ—距離不変仮説”であると言える。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 Howard & Rogers (2002) でも述べられている。

4. 従来の研究の概説

4.1. エンメルトの法則に関する従来の研究

エンメルト自身は幾何光学的なエンメルトの法則だけを考えていたようだが、前述したように Edwards & Boring (1951) が残像の物理的大きさだけでなく、残像の知覚的大きさについても考察した。その後、Zajac (1960)、Price (1961)、Weintraub & Gardner (1970) が残像の知覚された大きさについても研究を行なった。そして、現在では残像の物理的大きさだけでなく、残像の知覚された大きさについてもエンメルトの法則が成立することが確認されている。

1940年代以降、エンメルトの法則と大きさの恒常性との関係が議論の対象となった。Boring (1940) は、エンメルトの法則が成り立てば、大きさの恒常性も成り立ち、またその逆もあり得ると主張した。この意見には、Young (1950)、Irwin (1969) も賛成した。その後、Furedy

& Stanley (1970) は、大きさの恒常性が成り立つ状況下でエンメルトの法則は成立しないと述べた。しかし、Teghtsoonian (1971) によれば、彼らの意見が根拠にしている実験には問題点があり、賛成できないと述べている。更に Irwin は、距離の手がかりが減少すると、エンメルトの法則も大きさの恒常性も成り立たなくなることに関及している。つまり、エンメルトの法則も大きさの恒常性も、距離知覚の確度に基づくということである。

長距離環境で残像の知覚された大きさを測定した実験に Young (1952)、井上 (1972)、藤沢 (1972, 1973, 1974, 1976) がある。井上、藤沢の実験では知覚距離も同時に測定しており、知覚距離と残像の知覚された大きさの間に線形関係が成立することが報告されている。これは、本稿のエンメルトの法則の解釈とも一致している。また、25~1250m の巨大な観察距離で残像の知覚された大きさを測定した Young (1952) の実験では、知覚された残像の大きさはエンメルトの法則に基づいた理論値より常に過小視だったと報告している。

遠距離空間における残像については、Irvin & Verrillo (1979) が投影面より手前に浮いて見えると報告している。この現象を検討した Imamura & Nakamizo (2004) の研究では、24m までの物理距離において残像の見かけの距離を測定したところ、観察距離が増大するに従って残像が投影面より手前に浮いて見えることがわかった。この現象について Imamura & Nakamizo は、残像までの見かけの距離が投影面の観察距離より小さくなるために、特に遠距離では残像の知覚された大きさが理論値より過小視されると解釈している。

残像が投影面より手前に浮いて見える現象の解釈として、輻輳誤差にもとづく絶対網膜像差仮説を考えることができる。遠距離の投影面を注視したとき、両眼視軸の交点が投影面上になくて、手前にあるとしたら、投影面と中心窩（残像の位置）との間に両眼網膜像差が生じることになり、この網膜像差が処理された結果、残像が浮かんでいるという印象が生まれると考えられる。この仮説をテストした研究はまだない。

距離手がかりの非常に少ない完全暗室におけるエンメルトの法則に関する実験も行なわれてきた。Taylor (1941) は、暗室の中で被験者が頭を前後に動かすことで、残像の知覚的大きさが変化したと報告している。明室と暗室とを比較した Suzuki (1986) では、明室において残像の知覚された大きさは投影距離に比例して大きくなったが、暗室においては観察距離 2 m 以上の残像の知覚された大きさにはほとんど差が見られなかった。また、Suzuki は両眼を閉じた状態でも残像を観察しており、明室でも暗室でも残像の知覚された大きさは通常 30cm の位置に見える時とほぼ一致する大きさに見えると報告している。更に、Suzuki は残像の知覚的大きさを恣意

的に変化させる実験を明室と暗室で行なった。その結果、明室では輻輳した位置で自由に残像を観察することができた Zajac (1960) の実験結果と同じであったのに対し、暗室では誰も残像の知覚的大きさを変化させることが出来なかった。Suzuki は、暗室での結果は、眼球運動性手がかりが関与していると考え、特に調節と輻輳の静止位置 (resting position) が関係していると考えしている。

最近、Carey & Allan (1996) は、腕の位置を伝える運動信号が残像の知覚的大きさに関与していることを示唆する研究結果を報告した。彼らは、暗室中で被験者の手を被験者自身が前方／手前に動かす能動条件 (feedforward と feedback の情報あり) と実験者が被験者の手を前方／手前に動かす受動条件 (feedback 情報のみ) で被験者の手の残像を観察した。その結果、能動条件と受動条件には差はなく、暗室のため手が見えていないにも関わらず、前方に手を動かした時には残像は大きく、手前に手を動かした時には残像は小さく知覚された。このことから、Carey & Allan はこの現象が生じるには、残像の知覚的大きさに手の運動情報が用いられていると考察している。また、Mon-Williams, Tresilian, Plooy, Wann, & Broerse (1997) も手の残像を使って実験を行っており、Carey & Allan と同様に、暗室で見えない手を前後に動かすことで手の残像の知覚的大きさが変化したことを報告している。Mon-Williams らは、この現象生起には手の動きではなく、眼の輻輳運動が必要十分条件であると説明している。一方、Bross (2000) は暗室における残像の見えと手の運動との関係について、異なる考えを提唱している。彼は、ルービックキューブの残像を用いて暗室で実験を行なった。被験者が腕を伸ばし、実験者が手から肘まで実物のルービックキューブを被験者の腕に沿って移動させていき、最終的に被験者がマグニチュード推定法で残像の知覚的大きさを報告した。この実験には開眼条件と閉眼条件の2条件があったが、被験者は両条件ともほぼエンメルトの法則から推測される通りの大きさを判断している。この結果について Bross は、眼球運動性手がかりではなく、自己受容感覚的 (proprioceptive) 手がかりと触覚の手がかり (あるいはどちらか一方の手がかり) が関係していると述べている。以上に概説した暗室における残像の見えと手の筋運動感覚情報との関係に関するいくつかの研究は、残像を視覚の問題のみならず他の感覚情報との相互作用の問題としてとらえるという意味で、残像研究の新たな展開といえるかもしれない。

4.2. エンメルトの法則と距離知覚の異方性

異方性 (anisotropy) とは、見る方向によって対象の知覚的特性 (大きさ、位置、向きなど) が異なって見える現象のことを言う。距離知覚の場合は、見る方向によ

って知覚距離が異なって見える。この節では、距離知覚の異方性に関してエンメルトの法則が用いられた研究を紹介する。

King & Gruber (1962) は残像を水平線近くの空、仰角45°の空、仰角90° (垂直上) の空に投影し、その大きさをそれぞれ比較した。その結果、水平線近くの残像が最も大きく、垂直上の空に投影した残像が最も小さかった。このことから、知覚されている空は平らなドーム型であると King らは結論した。同様に、空に残像を投影した藤沢 (1973, 1976) でも結果は同じだった。これらは月の錯視 (地平線近くの月が大きく見え、天頂の月が小さく見える現象) とも一致した結果である。空ではなく、数十 m ~ 数 km の範囲で実験を行なった井上 (1972)、藤沢 (1972, 1974)、鈴木 (1983) においても、上方に投影した残像の知覚された大きさは水平方向に投影したものより小さいと報告している。鈴木の研究では水平方向と上方向に加え、下方向にも残像を投影している。その結果、上方・下方ともに水平方向の残像の知覚された大きさより小さかった。彼らは知覚された距離を測定していないので、明確に結論できないが、残像の大きさから推測すると、水平方向に比べて上方向・下方向の距離が小さく知覚されていたのかもしれない。

5. エンメルトの法則に基づいた知覚距離の測定

これまで、知覚距離を測定するために言語報告法やマグニチュード推定法といった直接的な方法が採られてきた。しかし、これらの直接的な方法が純粋に知覚距離を測定しているかどうか疑問視されている (例えば、Loomis, Da Silva, Fujita, & Fukushima, 1992)。後述するが、Loomis らによると、これらの直接的測定方法は認知的修正を受けやすいという。それでは、認知的修正を受けることの少ない、あるいはまったく修正されることのない知覚距離の測定方法はないのだろうか？

エンメルトの法則 (3) 式を変形させた次の式を見て頂きたい：

$$d = \frac{s}{\tan \theta} \dots\dots\dots (6)$$

(6) 式は、知覚距離 (d) が知覚された残像の大きさ (s) と視角 (θ) から算出できることがわかる。もし残像の知覚的大きさの測定に認知的要因の影響がないと仮定されるなら、この式を利用して知覚距離を測定すれば、そこに認知的要因の影響もないことがわかる。

(6) 式を使った知覚距離の算出手順は次の通りである。まず、ある視角的大きさの残像を作り、次にある面に投影された残像の知覚された大きさと一致するように、残像の横幅をテープ等で再生する。これを数回行なった後、

その平均値と視角を(6)式に代入して知覚距離を算出する。

この方法による知覚距離測定の利点は次の2点が挙げられる。①認知的修正を受けにくいので、より正確な知覚距離を測定することが可能である。②2次元面上での見かけの横幅（前額平行面の幅）を再生する課題は、奥行次元での知覚された距離間隔を再生する課題より確度（accuracy）と精度（precision）が高い。

利点①に関して考察する。前述したが、言語報告法やマグニチュード推定法などの直接的な距離測定方法には問題がある。その理由として考えられていることは、成人の観察者は遠くにある距離の間隔が次第に縮小することを認識しており、被験者は自己の判断をそれに基づいて修正するという意見があるためである（例えば、Gogel, 1974; Loomis et al., 1992）。これに対し、残像の知覚された大きさから知覚距離を求める方法は間接的な方法であるため、観察者は知覚距離の測定であることを意識することが少なく、その判断に認知的修正が影響することも少ない。

利点②に関して考察する。距離の知覚は2次元である網膜像から3次元である奥行を様々な手がかりを基にして復元したものである。それに比べ、前額平行面の幅の知覚は2次元の網膜像から2次元を復元したものであるため、距離よりも再生が容易で誤差が少ないと考えられる。この意見の根拠として、Wagner (1985) がある。彼は杭をフィールドに立て、前額平行面の距離と奥行方向の距離を測定した。その結果、同じ距離でも、奥行方向の距離は前額平行面の距離の半分にしか知覚されていないことがわかった。この結果は、前額平行面における幅の再生のほうが奥行の再生よりも確度が高いと言える。

今村・中溝 (2001) は1～約23mまでの観察距離で、マグニチュード推定法によって測定した知覚距離と、残像の知覚された大きさを再生法で測定し、(6)式を利用して算出した知覚距離（エンメルトの法則による知覚距離測定法）とを比較した。19名の被験者の結果、両測定法による結果の間には統計的に有意な差は見られなかった。一方、両測定法による結果から変動係数を算出した結果、エンメルトの法則による知覚距離の測定法の方がマグニチュード推定法によるものよりも平均的に小さかった。この結果は、平均的にはエンメルトの法則による方法の方が測定精度の高いことを意味する。

通常、知覚距離の確度は、測定値をベキ関数にあてはめて、そのベキ指数によって評価されている。今村・中溝 (2001) によるエンメルトの法則を用いた知覚距離のベキ指数は0.895であった。日常空間における知覚距離のベキ指数は通常0.8～1.4の範囲に収まるとされているので（東山, 1994）、エンメルトの法則を利用した知覚距離の測定結果でも通常の測定法の結果とほぼ等しいと

言える。

今村 (2002) は残像を用いて0.5～10mの観察距離で知覚距離の異方性について調べた。上方向・水平方向・下方向の3方向において残像の知覚された大きさを測定し、(6)式を利用して知覚距離を算出した。その結果、水平方向の知覚距離が最も過小評価されており、下方向の知覚距離が最も大きかった。この結果は従来の異方性研究の結果とほぼ一致する。水平方向の知覚距離が最も小さく知覚されるのは、通常ヒトが垂直方向よりも水平方向へ主に行動するため、水平方向にある対象と自分とを‘より緊密化しよう’とする傾向があると述べた von Allesch (1931) の考えとも一致する。しかし、4.2節で述べた King & Gruber (1962) や鈴木 (1983) の結果とは逆の結果である。

これらの結果の違いをどのように解釈したらよいか。1つの考えは、測定対象としての空間が異なり、異なる空間では異なる原理が働くことによる説明することが可能かもしれない。Grüsser (1982) は人間を中心に空間を5つに分類した（grasping space, instrumental grasping space, near-distant action space, far-distant action space, visual background）。King & Gruber や鈴木が測定した空間は、km 単位の距離、つまり Grüsser の言う視覚的背景（visual background）であるのに対し、今村が測定した空間は、数 m の距離、つまり Grüsser のいう近距離行動空間（near-distant action space）及び遠距離行動空間（far-distant action space）であったと考えられる。

6. エンメルトの法則の適用範囲

ところで、エンメルトの法則はどの程度の距離まで適用可能なのだろうか？視角 1° の残像を使って、1～約23mまでの知覚距離と残像の知覚された大きさを調べた日常空間内での実験と、1～24mまでの知覚距離と残像の知覚された大きさを調べた仮想空間内での実験でその適用範囲を調べた研究がある（Nakamizo & Imamura, 2004）。

エンメルトの法則の(3)式の θ に実験で用いた 1° を代入すると、次式が得られる：

$$s = d \cdot \tan 1^\circ = 0.0175 d \dots\dots\dots (7)$$

(7)式は、勾配0.0175の直線を表す。従って、残像の知覚された大きさの平均を用いて知覚距離を関数としたグラフを描き、それらの平均値にあてはめた直線の勾配が0.0175から有意に異ならなければ、エンメルトの法則が適用可能だと考えられる。Nakamizo & Imamura (2004) は、19名の被験者それぞれについて直線をあて

はめ、その勾配を算出し、それらの平均値と標準偏差を用いて平均勾配の95%信頼限界を求めた結果、日常空間内で用いた距離（1～約23m）範囲ではエンメルトの法則が適用可能であることがわかった。しかし、仮想空間内では1～20mの範囲までしか適用できなかつた。この結果は、日常空間と仮想空間の違いを表しており、仮想空間が日常空間を完全にシミュレートできていないことを示唆している。

日常空間内では用いた全ての距離にエンメルトの法則は適用可能であったが、前述した通り、エンメルトの法則は遠距離になればなるほど投影するスクリーンから残像が手前に浮いて見える現象も報告されている。23m以上の遠距離で実験を行なうことによって、日常空間内でのエンメルトの法則の適用限界を明らかにすることができると思われる。

謝 辞

本稿を執筆するにあたり、九州大学大学院人間環境学研究院の中溝幸夫教授と三浦佳世教授から懇切丁寧なご指導および示唆に富むコメントを頂きました。心より感謝を申し上げます。

引用文献

- von Allesch, G. J. 1931 *Zur nichteuklidischen Struktur des phänomenalen Raumes*, **4**, 154. 秋重義治（編）知覚の世界の恒常性 認識心理学IV 以文社 Pp501-502.
- Boring, E. G. 1940 Size constancy and Emmert's law. *The American Journal of Psychology*, **53**, 293-295.
- Bross, M. 2000 Emmert's law in the dark: active and passive proprioceptive effects on positive visual afterimages. *Perception*, **29**, 1385-1391.
- Carey, D. P. & Allan, K. 1996 A motor signal and "visual" size perception. *Experimental Brain Research*, **110**, 482-486.
- Dwyer, J., Ashton, R., & Broerse, J. 1990 Emmert's law in the Ames room. *Perception*, **19**, 35-41.
- Edwards, W. & Boring, E. G. 1951 What is Emmert's law?, *The American Journal of psychology*, **64**, 416-422.
- Foley, J. M. 1967 Binocular disparity and perceived relative distance: an examination of two hypotheses. *Vision Research*, **7**, 655-670.
- 藤沢伸介 1972 視空間における残像の大きさ（Ⅱ）屋外・遠距離の場合 日本心理学会第36回大会発表論文集, 116.
- 藤沢伸介 1973 視空間における残像の大きさ（Ⅲ）空の場合 日本心理学会第37回大会発表論文集, 652.
- 藤沢伸介 1974 視空間における残像の大きさ（Ⅳ）日本心理学会第38回大会論文集, 246.
- 藤沢伸介 1976 視空間に於ける残像の大きさ（Ⅴ）夜空の場合 日本心理学会第40回大会発表論文集, 407.
- Furedy, J. J. & Stanley, G. 1970 The apparent size of "projected" afterimages under conditions where size-constancy holds. *Perception and Psychophysics*, **7**, 165-168.
- Gilinsky, A. S. 1951 Perceived size and distance in visual space. *Psychological Review*, **58**, 460-482.
- Gogel, W. C. 1974 Cognitive factors in spatial responses. *Psychologia*, **17**, 213-225.
- Gregory, R. L. 2002 Emmert's flaw. *Perception (Supplement)*, **31**, 53.
- Grüsser, O. J. 1982 Space perception and the gazemotor system. *Human Neurobiology*, **1**, 73-76.
- Hershenson, M. 1999 Empiricist view: Perceived size and shape. In Hershenson, M. (Ed.), *Visual Space Perception*. Cambridge, MA, USA: The MIT Press, Pp.107-144.
- 東山篤規 1994 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 Pp.768-801
- Howard, I. P. & Rogers, B. J. 2002 Depth constancies. In Howard, I. P. & Rogers, B. J. (Ed), *Seeing in Depth Volume 2 Depth Perception*, Pp.445-467.
- 今村真理子・中溝幸夫 2001 残像の知覚された大きさによる知覚距離の測定 — 日常空間におけるエンメルトの法則の応用 — 日本心理学会第65回大会発表論文集, 160.
- 今村真理子 2002 残像法を用いた日常空間における視覚的距離知覚（未刊行）
- Imamura, M. & Nakamizo, S. 2002 The validity of Emmert's law tested for the afterimage in real and virtual environments. *Perception (Supplement)*, **31**, 128.
- Imamura, M. & Nakamizo, S. 2004 Emmert's law at far distance. *PROGRESS IN BIOCHEMISTRY AND BIOPHYSICS (Supplement)*, **31**, 109.
- 井上恵美子 1972 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.
- Irvin, G. & Verrillo, R. T. 1979 Absolute estimation of line length and afterimage as a function of viewing distance. *Sensory Processes*, **3**, 275-285.
- Irwin, R. J. 1969 Emmert's law as a consequence of size

- constancy. *Perception and Motor Skill*, **28**, 69-70.
- Kilpatrick, F. P. & Ittelson, W. H. 1953 The size-distance invariance hypothesis. *The Psychological Review*, **60**, 223-230.
- King, W. & Gruber, H. 1962 Moon illusion and Emmert's law. *Science*, **135**, 1125-1126.
- Loomis, J. M., Da Silva, J. A., Fujita, N., & Fukushima, S. S. 1992 Visual space perception and visually directed action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **18**, 906-921.
- Mon-Williams, M., Tresilian, J. R., Plooy, A., Wann, J. P., & Broerse, J. 1997 Looking at the task in hand: vergence eye movements and perceived size. *Experimental Brain Research*, **117**, 501-506.
- Nakamizo, S. & Imamura, M. 2004 Verification of Emmert's law in actual and virtual environments. *Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science*, **23**, 325-329.
- Price, G. R. 1961 An Emmert's law of apparent sizes. *The Psychological Record*, **11**, 145-151.
- 鈴木光太郎 1983 巨大空間における投射残像 — 東京タワーの場合 — 日本心理学会第47回大会発表論文集, 211.
- Suzuki, K. 1986 Effects of oculomotor cues on the apparent size of afterimages. *Japanese Psychological Research*, **28**, 168-175.
- Taylor, F. V. 1941 Change in size of the after-image induced in total darkness. *Journal of Experimental Psychology*, **29**, 75-80.
- Teghtsoonian, M. 1971 A comment on "The apparent size of "projected" afterimages under conditions where size-constancy holds". *Perception and psychophysics*, **10**, 98.
- Wagner, M. 1985 The metric of visual space. *Perception and Psychophysics*, **38**, 483-495.
- Weintraub, D. J. & Gardner, G. T. 1970 Emmert's law: Size constancy vs. optical geometry. *The American Journal of Psychology*, **83**, 40-54.
- Young, F. A. 1950 Boring's interpretation of Emmert's law. *The American Journal of Psychology*, **63**, 277-280.
- Young, F. A. 1952 Studies of the projected after-image: III. Projection over large distances. *The Journal of General Psychology*, **47**, 207-212.
- Zajac, J. L. 1960 Spatial localization of after-images. *The American Journal of Psychology*, **73**, 505-522.