

錯視図形の認識における時間的条件の影響の検討

Temporal factors in recognition of illusion figures

小野 泰[†], 小堀 聡[‡]
Yasushi Ono, Satoshi Kobori

[†] 龍谷大学大学院理工学研究科電子情報学専攻, [‡] 龍谷大学理工学部電子情報学科
[†] Division of Electronics and Informatics, Ryukoku University,
[‡] Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University
[†] t11m019@mail.ryukoku.ac.jp, [‡] kobori@rins.ryukoku.ac.jp

Abstract

We have measured magnitudes of illusion in 3 angle conditions and 7 exposure time conditions for Muller-Lyer illusion, and investigated the relation between spatial factors and temporal factors. The results suggest that the angle conditions affect the characteristics of magnitude of illusion for exposure times.

Keywords — visual illusion, magnitude of illusion, temporal factor

1. はじめに

われわれの見る物の形や大きさは、外界の実際の物の形や大きさと必ずしも一致しないことがあり、そうした現象のことを錯視と呼ぶ。錯視には様々な種類があるが、本研究では幾何学的錯視を取り扱う。幾何学的錯視というのは、平面図形における大きさ、長さ、方向、角度、曲率、形などの幾何学的性質が、刺激の客観的關係より組織的にかつ相当量異なって知覚される現象である[1]。

しかしながら、錯視は何ら特別な現象でも異常な現象でもなく、知覚の歪みは通常の視知覚において一般的に生じていることであり、錯視図形でそのような歪みが特に顕著に現れるにすぎない[2]。ただ、錯視においては比較的簡単な刺激布置の割に顕著な歪みが生じるとことから、2次元知覚の機制を解く手がかりとしての役割が期待されているのである[1]。

幾何学的錯視に関する研究は19世紀半ば以降、数多くなされてきた。1890年代には研究が特に活発であって、今日知られている多くの錯視図形は、ほとんど19世紀末までに多くの学者たちによって案出された。それらの学者の中には、生理学者、心理学者、物理学者、天文学者など様々の領域の

学者がいる。多くの錯視図形は、考案した学者の名をつけて誰々の錯視と呼ばれている。その後も幾何学的錯視に関する研究がなされており、特にわが国で盛んである[2]。

錯視についての研究においては、錯視図形の幾何学的条件や提示条件によって錯視量がどのように変化するかが調べられるとともに、錯視の生じる理由が検討され、いくつもの学説が提案された。

現在、錯視が起こる原因については非常に多くの理論が示されている。しかし、いまだにすべての錯視現象を説明できる統一的な説明理論はなく、これが錯視の複雑さの現れともいえる。

ミュラー・リヤー錯視は、多くの錯視の中でも極めて有名であり、研究例も多く、この錯視が起こる要因として、注視点索引説、眼球運動説、遠近法説など数多くの学説が提出されている[3]。

本研究では、錯視図形の認識に影響を与える様々な要因を検討することを目的としている。本報告では、その要因の一つとして図形提示の時間的條件に着目する。なぜならば、錯視図形の認識における時間的要因の研究は多数見られ、ミュラー・リヤー図形などでは、提示時間の変化によって錯視量の差異が認められないという報告例が数多くあるが[3]、われわれの予備的な研究では、ミュラー・リヤー図形やエビングハウス図形において、提示時間が短くなると錯視量が大きくなるという結果を得ており、この現象についてさらに検討していく必要があると考えているからである。

また、提示時間以外の要因として、たとえば、ミュラー・リヤー図形における矢羽の角度が錯視量に影響を与えることが報告されており、本研究

では、それらの要因が時間的条件とどのように関係するかについても着目しているが、そのような研究報告はまだほとんど見られない。

本研究では、ミュラー・リヤー図形を対象とするが、ミュラー・リヤー図形は、錯視量が大きく、提示条件に伴う変化が測定しやすいこと、また、比較可能な先行研究が数多くあることによる。

本報告では、錯視図形の認識実験をコンピュータ画面上で行えるように作成した実験システムを用い、錯視図形について予備知識のない者を対象とした実験を行い、実験データを解析し、提示時間と錯視量の関係について考察した結果について述べる。

認識実験としては錯視図形の操作実験と判定実験を行う。操作実験では、矢羽の角度について3段階の条件を設定し、標準図形と比較図形の主線の長さを見比べて長さが同じに見えるように、比較図形の主線の長さを調整させることで錯視量を測定する。一方、判定実験では3段階の角度条件と7段階の提示時間を設定し、標準図形と比較図形とを比べてどちらの主線が長く見えるかを判定させることで錯視量を測定する。

2. 実験方法

2.1 実験システム

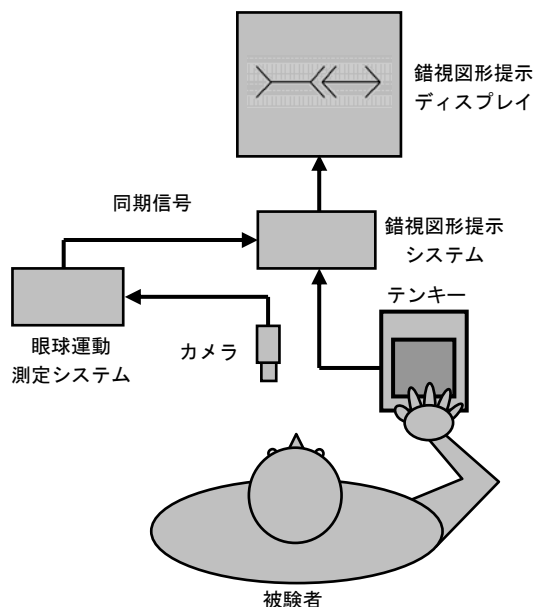


図1 実験システムの構成

実験システムは、図1に示したように錯視図形提示システムと眼球運動測定システムから構成されている。錯視図形提示システムから送信される信号により、眼球運動測定システムでの測定との同期が取られる。

2.1.1 錯視図形提示システム

錯視図形提示システムは、市販のパーソナル・コンピュータと周辺機器を中心に以下のもので構成されている。

コンピュータ：Optiplex 980（デル）、Core i5-670 3.46GHz、4GB、300GB、Windows XP Professional

ディスプレイ：15型 TFT 液晶ディスプレイ LCV-15MAT（エプソン）、1024×768画素

デジタル入出力ボード：PIO-16/16T(PCI)（コンテック）

テンキーパッド：NT-9USV（サンワサプライ）

2.1.2 眼球運動測定システム

眼球運動測定システムは、ナックイメージテクノロジーの眼球運動測定装置 EMR-8BNL を中心に以下のもので構成されている。特に記載のないものは同社の製品である。

コンピュータ：Dimension 8400（デル）、Pentium4 2.8GHz、1GB、160GB、Windows XP Home

ディスプレイ：15型 TFT 液晶ディスプレイ 1503FP（デル）、1024×768画素

データプロセスボード

画像入力表示ボード：MSG1105HR（日立超LSIシステムズ）

コントローラ

LED電源ボックス

ビデオモニタ：LL-M17W1（シャープ）

ビデオデッキ：GV-D1000（ソニー）

信号変換ボックス

眼球撮影カメラ

あご台

眼球データ解析ソフトウェア

キャリブレーションソフトウェア

これらのうち、眼球データ解析ソフトウェアに

は、眼球データを実時間でコンピュータに取り込む機能が含まれており、視線データとして錯視図形提示用ディスプレイの座標値（x軸方向およびy軸方向、単位は画素数）がサンプリング周波数60Hzで得られる。視距離は66cmである。

2.2 実験課題

実験では、以下のように課題や条件によって異なる図形を用いる。

対照課題

H型図形：主線と斜線の角度 90°

30° 条件

内向図形：主線と斜線の角度 30°

外向図形：主線と斜線の角度 150°

45° 条件

内向図形：主線と斜線の角度 45°

外向図形：主線と斜線の角度 135°

60° 条件

内向図形：主線と斜線の角度 60°

外向図形：主線と斜線の角度 120°

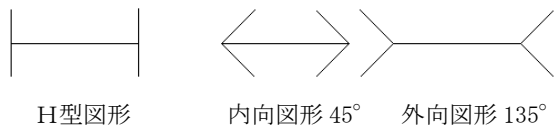


図2 実験に用いる図形

2.2.1 操作実験

被験者の課題は、左右に表示される標準刺激と比較刺激の図形を見比べて、主線の長さが同じに見えるように調整することである。3段階の角度条件（ 30° 、 45° 、 60° ）で実験を行う。

標準刺激：内向図形（主線の長さ 150 画素、斜線の長さ 53 画素）

比較刺激：外向図形（主線の長さ 103～109 画素または 143～149 画素、斜線の長さ 53 画素）

比較刺激の配置として右側配置と左側配置があり、また、比較刺激の主線の長さを調整させる向きとして上昇系列と下降系列がある（上昇系列では短い状態から長くなる方へ調整し、下降系列で

は長い状態から短くなる方へ調整する）。

比較刺激の主線の長さ（1画素刻み）はランダムに設定される。被験者は主線の長さが同じに見えるようになった時点で確定させるが、それまでの操作量と操作中の視線データが記録される。

2.2.2 判定実験

被験者の課題は、左右に表示される標準刺激と比較刺激の図形を見比べて、主線の長さの長短を答えることである。錯視課題においては3段階の角度条件（ 30° 、 45° 、 60° ）で実験を行う。

(a) 対照課題

目印の提示：画面の中心点に一辺 20 画素の十字を 1 sec 表示、その後 200msec は無表示

SOA：200msec

図形の提示時間：500msec

標準刺激：H型図形（主線の長さ 100 画素、斜線の長さ 35 画素）

比較刺激：H型図形（主線の長さ 88～112 画素、斜線の長さ 35 画素）

刺激間の間隔：20 画素

マスキング時間：200msec

マスキングパターン：横 300×縦 99 画素の範囲に 3×3 画素の白または黒のドットをランダムに表示

(b) 錯視課題

図形の提示時間：50m, 100m, 200m, 500m, 1, 2, 5 sec の 7 段階

標準刺激：内向図形（主線の長さ 100 画素、斜線の長さ 35 画素）

比較刺激：外向図形（主線の長さは可変、斜線の長さ 35 画素）

主線の長さの変化の範囲は、以下のように角度条件によって異なる。

30° 条件：45～77 画素

45° 条件：51～83 画素

60° 条件：57～89 画素

目印の提示、マスキングについては対照課題と同じである。

比較刺激の表示位置（左または右）と主線の長

さ（対照課題では3画素刻み、錯視課題では4画素刻み）はランダムに設定される。各図形に対する長短の判定と判定時間、および視線データが記録される。

2.3 被験者

操作実験では、18歳から23歳までの健常な大学生24名（男性13名、女性11名）を、判定実験では、18歳から22歳までの健常な大学生21名（男性17名、女性4名）を被験者とした。すべての被験者について、錯視図形について予備知識のないこと、また、裸眼もしくは眼鏡・コンタクトレンズの使用により、本実験を行うのに十分な視力（両眼で0.7以上）を有していること確認した。

2.4 実験条件

操作実験では、3段階の角度条件の実験順序、および比較刺激の配置と系列の4つの組み合わせの出現順序を被験者によって変えることで順序効果を相殺する。

判定実験では、21名の被験者を7名ずつの3つの角度条件群に分ける。また、7段階の図形の提示時間の順序を被験者によって変えることで順序効果を相殺する。

2.5 実験手順

実験に先立ち、被験者には、文書により実験の概要と手順を理解させたうえで、実験への参加の同意書と視力や利き手などに関する調査票に記入させる。

測定に入る前に、まず、実験課題を確認し、実験機器などに慣れさせるため、どちらの実験においても、練習試行を行い、次に、眼球運動測定装置の個人別較正を行う。以上の準備ができれば、実験条件に従って実験を行う。

操作実験では、操作課題の前後に標準図形と比較図形を見比べるプレテストとポストテストを行う。判定実験では、錯視課題の前に対照課題を実施する。

3. 解析方法

3.1 主観的等価点の算出

操作実験においては、操作量データから、確定時の比較図形の長さを主観的等価点とする。

判定実験においては、被験者の各図形に対する長短の判定を-1, 0, 1のいずれかとする評価値とし、その評価値について以下の式に示した距離の重み付き総和の絶対値を算出し、比較図形の主線の長さの関数として表す。

$$s(n) = \left| \sum_{m=-k}^k x(n-m) |m| \right|$$

そして、この関数の最小値を与える長さを錯視の主観的等価点（以下、等価点）とする。

具体的には、以下のような手順で等価点を算出する。

- (1) 図形ごとの評価値を計算する（標準図形より比較図形が短いという判断は-1, 長いという判断は1, 同じという判断は0とする）。
- (2) 比較図形の長さごとに評価値の和を算出する。
- (3) 比較図形の長さを1画素刻みにして、その間の評価値をうめるために線形補間を施す。
- (4) 評価値について、前後の一定個数（ここではk=3とする）のデータに距離の絶対値を重みとしてかけた総和を算出し、さらにその絶対値を求める。
- (5) この評価値の総和の関数の最小値を求める。
- (6) 最小値に対応する図形の長さを錯視の等価点とする。最小値を与える長さが複数ある場合はそれらの平均値を等価点とする。

3.2 錯視量の算出

等価点をもとに絶対錯視量および錯視率を以下のように定義し、算出する。

$$\text{絶対錯視量} = |\text{等価点} - \text{標準図形の長さ}|$$

（単位は画素数）

$$\text{錯視率} = (\text{絶対錯視量} / \text{標準図形の長さ}) \times 100$$

（単位は%）

操作実験においては、錯視量のすべての被験者

の平均値に基づいて、試行に伴う変化、配置による違い、系列による違いを示したグラフを作成する。

判定実験においては、角度条件別に、各提示時間についての被験者ごとの錯視量を算出するとともに、すべての被験者の評価値を合計することによっても錯視量を求める。そして、提示時間と錯視量についての関係をグラフで表す。

3.3 分散分析

操作実験では、被験者ごとに算出した絶対錯視量について、角度 (30° , 45° , 60°) と試行番号 (1~8) を被験者内要因とした 3×8 の分散分析を行う。また、角度 (30° , 45° , 60°) と配置 (右側, 左側) と系列 (上昇, 下降) を被験者内要因とした $3 \times 2 \times 2$ の分散分析を行う。

判定実験では、被験者ごとに算出した絶対錯視量について、角度条件別に、試行順序 (1~7) を被験者内の要因とした1次元配置の分散分析を行う。また、角度 (30° , 45° , 60°) を被験者間要因、提示時間 (50m, 100m, 200m, 500m, 1, 2, 5 sec) を被験者内要因とした 3×7 の分散分析を行う。

4. 結果と考察

4.1 操作実験の結果

4.1.1 試行に伴う変化

すべての被験者の平均値に基づく絶対錯視量の試行に伴う変化を図3に示す。

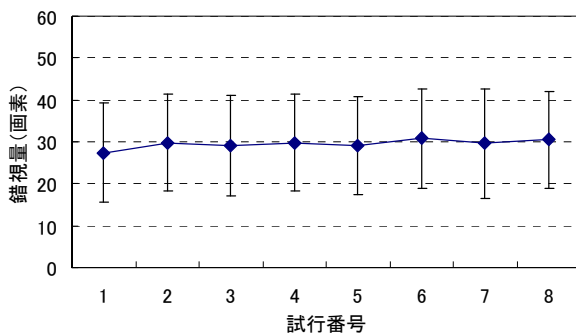


図3 絶対錯視量の試行に伴う変化

実験全体においては、試行番号についての有意

な主効果はなく ($F(7, 161) = 1.630, p = 0.130$), 錯視量は試行に伴って変化しないといえる。

しかしながら、角度と試行番号に交互作用があり ($F(14, 322) = 2.180, p < 0.001$), 下位検定から角度 60° においてのみ試行番号についての主効果があり ($F(7, 161) = 3.804, p < 0.001$), 試行に伴って錯視量が大きくなることが確認できた。

4.1.2 提示条件の影響

すべての被験者の平均値に基づく絶対錯視量の比較図形の配置 (右側, 左側) による違い、および比較図形の系列 (上昇, 下降) による違いを図4および図5に示す。

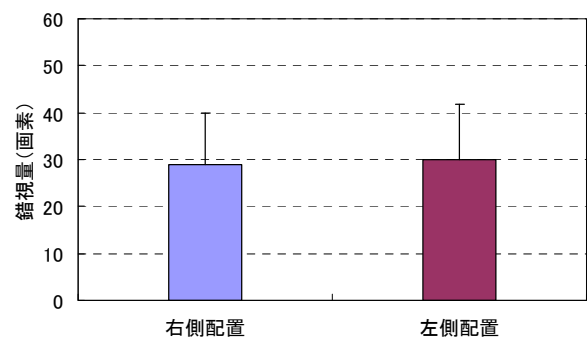


図4 絶対錯視量の配置による違い

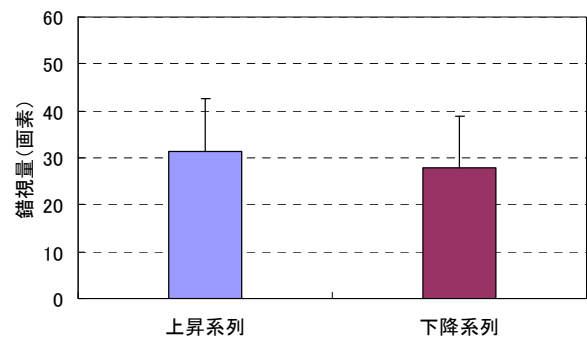


図5 絶対錯視量の系列による違い

実験全体においては、配置についての主効果はないのに対して、系列についての主効果があり、上昇系列の方が下降系列よりも錯視量が大きいことが示された (配置: $F(1, 23) = 2.320, p = 0.141$, 系列: $F(1, 23) = 15.912, p < 0.001$).

しかしながら、角度と配置と系列に交互作用があり ($F(2, 46) = 3.893, p < 0.05$), 下位検定から角度 30° においてのみ配置についての主効果

があり ($F(1, 23) = 5.593, p < 0.05$), 左側配置の方が右側配置よりも錯視量が大きいことが確認できた。

4.1.3 角度条件の影響

すべての被験者の平均値に基づく錯視量の角度による違いを図6に示す。

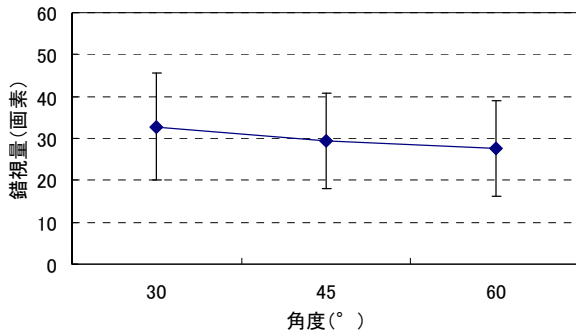


図6 絶対錯視量の角度による違い

角度が 30° , 45° , 60° の錯視率は、それぞれ 21.3%, 19.5%, 18.7%であった。分散分析の結果からも角度についての主効果が認められ、角度が小さいと錯視量が大きいということが確認された ($F(2, 46) = 5.928, p < 0.01$)。

4.2 判定実験の結果

被験者ごとの錯視率を角度条件別に平均した値は、角度 30° , 45° , 60° の順に、提示時間が 50msec では、43.9%, 43.4%, 30.0%, 5 sec では 33.9%, 28.6%, 22.5%であった。提示時間による錯視率の変化は図7に示した通りである。

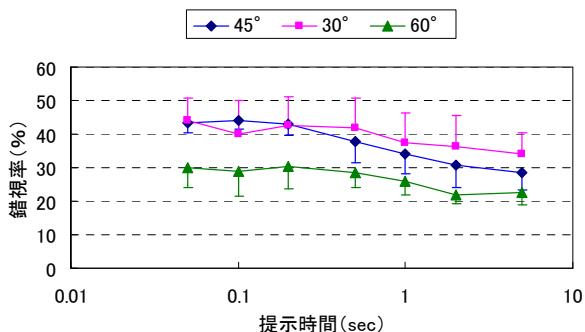


図7 提示時間による錯視率の変化

角度条件別に分散分析を行った結果、試行順序についての主効果はなく、順序効果は認められな

い ($30^\circ : F(6, 36) = 0.345, p = 0.908, 45^\circ : F(6, 36) = 0.231, p = 0.964, 60^\circ : F(6, 36) = 0.312, p = 0.927$)。

一方、角度と提示時間を要因とした 3×7 の分散分析を行った結果、角度と提示時間のそれぞれについての有意な主効果が認められた (角度: $F(2, 18) = 10.983, p < 0.001$, 提示時間: $F(6, 108) = 27.487, p < 0.001$) が、角度と提示時間の交互作用も見られた ($F(12, 108) = 2.106, p < 0.05$)。

そこで、角度条件別に分散分析を行ったところ、どの角度においても提示時間についての有意な主効果が認められた ($30^\circ : F(6, 36) = 5.415, p < 0.001, 45^\circ : F(6, 36) = 16.733, p < 0.001, 60^\circ : F(6, 36) = 8.3930, p < 0.001$)。

また、2つの角度条件の組み合わせにおいて、角度と提示時間を要因とした分散分析を行った。その結果、まず、 30° と 45° の2つの条件においては、角度については主効果がなく、提示時間についての主効果と角度と提示時間の交互作用が見られた (角度: $F(1, 12) = 0.495, p = 0.495$, 提示時間: $F(6, 72) = 19.417, p < 0.001$, 角度×提示時間: $F(6, 72) = 2.518, p < 0.05$)。次に、 45° と 60° の2つの条件においては、角度と提示時間についてのそれぞれの主効果と角度と提示時間の交互作用が見られた (角度: $F(1, 12) = 25.082, p < 0.001$, 提示時間: $F(6, 72) = 24.932, p < 0.001$, 角度×提示時間: $F(6, 72) = 3.096, p < 0.01$)。さらに、 30° と 60° の2つの条件においては、角度と提示時間についてのそれぞれの主効果が見られたが、角度と提示時間の交互作用はなかった (角度: $F(1, 12) = 14.412, p < 0.01$, 提示時間: $F(6, 72) = 12.719, p < 0.001$, 角度×提示時間: $F(6, 72) = 0.518, p = 0.793$)。

4.3 考察

操作実験の結果から、実験全般においては、試行に伴う変化はなく、練習効果は認められなかったが、角度によっては通常の練習効果 (試行に伴って錯視量は減少) とは異なる結果が示された。このことは、先行する角度条件が後続の角度条件

に影響を与えた可能性を示唆しており、角度条件を被験者内要因としたことが原因として考えられる。また、比較図形の配置や系列についても、実験結果に影響を与える可能性が示された。

また、角度条件が錯視量に明確な影響を与えることが示されたが、操作実験では提示時間が10sec以上となるため、これは十分な提示時間を与えた場合の結果であるといえる。

次に、判定実験の結果からは、どの角度においても、提示時間が短くなれば有意に錯視量が大きくなることが示された。ミュラー・リヤー図形などでは、提示時間の変化によって錯視量の差異が認められないという報告例が数多くあるが[3][4]、それらとは異なる結果となった。

一方、角度条件による錯視量の違いとしては、 30° と 60° では、いずれに提示時間においても、 30° の方が錯視量が有意に大きいことが示されたが、 30° と 45° では、200msecより短い提示時間においては差異が見られなかった。つまり、提示時間が短い方が錯視量が大きく、また、角度が小さい方が錯視量が大きいとしても、ある程度以上、提示時間が短くなり、かつ、角度が小さくなると、差異が見られにくくなると考えられる。

すなわち、提示時間が短くなると錯視量が大きくなるが、提示時間に対する特性は角度によって異なることが示された。

5. おわりに

本研究では、錯視図形の認識に影響を与える時間的要因について検討することを目的とした。ミュラー・リヤー図形を対象とし、矢羽の角度の条件(30° 、 45° 、 60° の3段階)と提示時間の条件(50msec～5secの7段階)を組み合わせた実験を実施し、錯視量を測定した。その結果、いずれの角度においても、提示時間が短くなれば有意に錯視量が大きくなることが確認できたが、角度が異なると、提示時間に対する特性も異なることが明らかになった。

本報告の段階では、判定実験の被験者が21名(各実験群が7名ずつ)であり、今後実験を継続

して十分な数のデータを得たうえで、解析を行う必要がある。また、被験者実験の際には、眼球運動[5]も同時に測定しており、サッケードの頻度や移動距離などが錯視量とどのように関連しているかについても、今後検討していく予定である。

参考文献

- [1] 田中 平八：幾何学的錯視と残効，大山 正，今井 省吾，和気 典二（編）：新編 感覚・知覚心理学ハンドブック，誠信書房，681-736（1994）。
- [2] 大山 正：視覚心理学への招待，サイエンス社，117-146（2000）。
- [3] 後藤 倬男，田中 平八：錯視の科学ハンドブック，東京大学出版会，14-135（2005）。
- [4] Oyama, T. and Moriyama, K.: Temporal Development of Optical Illusions, McGaugh, J. L. (Ed): Contemporary Psychology: Biological Processes and Theoretical Issues, 385-393（1985）。
- [5] 淀川 英司，東倉 洋一，中根 一成：視聴覚の認知科学，電子情報通信学会，45-50（1998）。