

# 錯視図形の認識における提示時間と視線固定の有無の影響

## Exposure time and eye fixation in recognition of illusion figures

小堀 聡<sup>†</sup>  
Satoshi Kobori

<sup>†</sup> 龍谷大学工学部電子情報学科

<sup>†</sup> Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University  
kobori@rins.ryukoku.ac.jp

### Abstract

We have conducted two kinds of experiment and measured magnitudes of illusion and eye tracking data for Muller-Lyer illusion. We measured them in 3 angle conditions and 7 exposure time conditions in the free gaze experiment, and in 4 exposure time conditions in the fixed gaze experiment. We have investigated the relation between temporal conditions and illusion magnitudes in both experiments. The results suggest that the differences of illusion magnitudes would be interactively related to the characteristics of eye movement.

**Keywords** — visual illusion, magnitude of illusion, temporal condition, eye movement

### 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]。

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]。

幾何学的錯視図形の認識に影響を与える要因は様々あると考えられるが、時間的要因についての研究[4]は、空間的要因に関するものと比べて圧倒的に少なく、特に相対的に短い提示時間(10数秒以下)については研究例が少ない。そうした範囲ではあるが、ミュラー・リヤー錯視などにおいて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いくつかある[5]。

しかしながら、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いえる。

本研究では、錯視図形の提示時間と錯視量の関係を検討することを目的とするとともに、眼球運動が錯視図形の認識に影響を与えると考え、知覚と運動の相互作用という観点から錯視現象を考察する。

そのため、ここでは、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、実験データを解析する。

具体的には、ミューラー・リヤー図形を対象とし、図形の提示時間を変化させて、試行における錯視量と眼球運動を測定したが、視線自由実験では自由に視線を動かすことのできる条件で行ったのに対して、視線固定実験では視線を固定させた条件で行った。

本報告では、これらの実験により提示時間の錯視量への影響を検討するとともに、眼球運動と錯視がどのように関係しているかについて検討した結果について述べる。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験システム

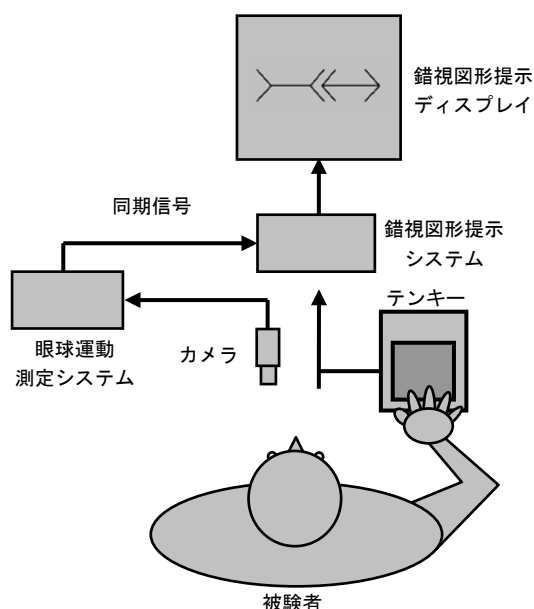


図1 実験システムの構成

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জ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：MSGII05HR（日立超 LSI システムズ）

コントローラ

LED 電源ボックス

ビデオモニター：LL-M17W1（シャープ）

DVD レコーダー：SR-DVM700T（ビクター）

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  $90^\circ$   
 30° 条件  
 内向図形：主線と斜線の角度  $30^\circ$   
 外向図形：主線と斜線の角度  $150^\circ$   
 45° 条件  
 内向図形：主線と斜線の角度  $45^\circ$   
 外向図形：主線と斜線の角度  $135^\circ$   
 60° 条件  
 内向図形：主線と斜線の角度  $60^\circ$   
 外向図形：主線と斜線の角度  $120^\circ$



図2 実験に用いる図形

#### (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

マスク時間：200msec

マスクパターン：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，マスクングについては対照課題と同じである。

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（「短い」，「同じ」，「長い」）を答えることである。

ここでは，視線の固定を行わない／行うにより，次に述べる視線自由実験と視線固定実験を実施する。

#### (1) 視線自由実験

自由に視線を動かすことのできる条件での実験であり，被験者には標準図形と比較図形を見比べる際に，視線を積極的に動かすように教示する。ただし，図形の提示時間は 50m, 100m, 200m, 500m, 1, 2, 5 (sec) の 7 段階であり，500msec 以上について視線を動かすことを指示する。また，矢羽の角度は， $30^\circ$ ， $45^\circ$ ， $60^\circ$  の 3 段階である。

#### (2) 視線固定実験

視線を固定した条件での実験であり，被験者には標準図形と比較図形を見比べる際に，視線を動かさないように教示する。図形の提示時間は 500m, 1, 2, 5 (sec) の 4 段階である。なお，矢羽の角度は  $45^\circ$  のみである。

いずれの実験においても，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。また，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

視線自由実験では 18 歳から 23 歳までの健常な大学生 42 名（男性 32 名，女性 10 名）を被験者とし，角度条件により 14 名ずつの実験群に分けた。一方，視線固定実験では 20 歳から 22 歳までの健常な大学生 16 名（男性のみ）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

視線自由実験では42名の被験者を14名ずつの3つの角度条件群に分ける。また、図形の提示時間（視線自由実験では7段階、視線固定実験では4段階）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校正を行う。以上の準備ができれば、実験条件に従って実験を行う。

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

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%）

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（ここでは、絶対錯視量および錯視率を総称して、概念的に錯視量と呼ぶ）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

視線自由実験では、被験者ごとに算出した錯視量について、角度（30°、45°、60°）を被験者間要因、提示時間（500m～5sec）を被験者内要因とした3×7の分散分析を行う。

一方、視線固定実験では、提示時間（500m～5sec）を被験者内要因とした1元配置の分散分析を行う。

さらに、2つの実験を比較するため、視線自由実験では角度が45°の500msec以上のデータを用い、実験の種類（視線自由、視線固定）を被験者間要因、提示時間（500m～5sec）を被験者内要因とした2×4の分散分析を行う。

### 3.4 視線データの解析

先行研究により、提示時間が 500msec 以上において眼球運動（サッケード）が観測されることが明らかになっているので、視線自由実験における解析対象は、提示時間が 500msec, 1 sec, 2 sec, 5 sec の 4 条件とした。

まず、実験で得られた視線データに対する停留点 [6] を以下の手順により算出する。

- (1) 実験で得られた視線データ（生データ）をテキストデータに変換する。
- (2) (1) で得られたデータをもとに、解析に必要なデータを抽出する。
- (3) (2) で得られたデータをもとに、異常なデータが含まれる区間を取り除き、線形補間により補正する。
- (4) (3) で得られたデータをもとに、停留範囲の直径（画素）、停留時間（msec）の条件から停留点を算出する。

次に、算出した停留点について、ある停留点から次の停留点への移動をサッケードとし、1 回での試行での回数を計数し、1 sec あたりの回数に換算して正規化し、これをサッケード頻度とする。また、ある停留点から次の停留点への移動の距離を停留点間距離とする。

なお、視線固定実験においては、サッケードが生じていないことを、アイカメラによる測定で確認した。

## 4. 結果

### 4.1 錯視率

#### (1) 視線自由実験

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、45.7%、39.0%、29.9%、5 sec では 34.0%、28.2%、23.6% であった。提示時間による錯視率の変化は図 3 に示した通りである。

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： $F(2, 39) = 27.125$ ,  $p < 0.001$ , 提示時間： $F(6, 234) = 39.183$ ,

$p < 0.001$ ) が、角度と提示時間の交互作用も見られた ( $F(12, 234) = 2.035$ ,  $p < 0.05$ )。

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° :  $F(6, 78) = 14.591$ ,  $p < 0.001$ , 45° :  $F(6, 78) = 16.054$ ,  $p < 0.001$ , 60° :  $F(6, 78) = 10.405$ ,  $p < 0.001$ )。

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が、すでにその結果を示しているので [7]、ここでは省略する。

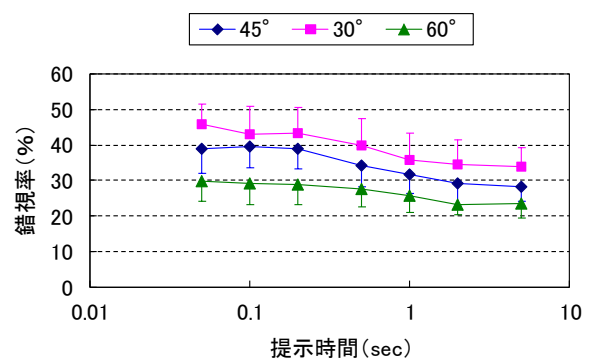


図 3 提示時間と錯視率の関係（視線自由実験）

#### (2) 視線固定実験

提示時間による錯視率の変化については、図 4 に示した。ここでは、視線自由実験の 45° 条件のグラフも同時に描いて比較できるようにした。

提示時間を要因とした 1 元配置の分散分析を行った結果、有意な主効果が認められた ( $F(3, 45) = 2.977$ ,  $p < 0.05$ )。

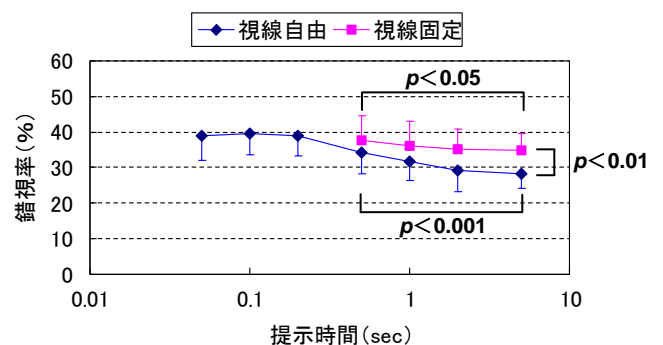


図 4 視線自由（45° 条件）と視線固定の錯視率の比較

### (3) 視線自由と視線固定の比較

実験の種類（視線自由，視線固定）と提示時間を要因とした $2 \times 4$ の分散分析を行った結果，実験の種類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（実験の種類： $F(1, 28) = 7.730$ ,  $p < 0.01$ ），提示時間： $F(3, 84) = 10.920$ ,  $p < 0.001$ ）が，実験の種類と提示時間の交互作用は見られなかった（ $F(3, 84) = 1.447$ ,  $p = 0.235$ ）。

## 4.2 眼球運動の特性

500msecの眼球運動を見ると，全18回の試行すべてではないが，42名すべてにサッケードの発生が見られた。ただし，発生の頻度には個人差があり，18回中2～3回の者もいればそれ以上の者もいた。1secにおいては42名のほぼすべての試行においてサッケードの発生が確認でき，2sec，5secにおいては常にサッケードが発生していた。

そこで，錯視率とサッケード頻度の関係を調べるため，散布図を描いたところ，角度や提示時間の条件に関係なく，負の相関が見られたので，解析対象とした全データに対して，回帰分析により線形近似を行い，相関係数も求めた（図5）。その結果，弱い負の相関（ $r = -0.311$ ）があること，すなわち，サッケード頻度が高くなると錯視率が減少することが分かった。

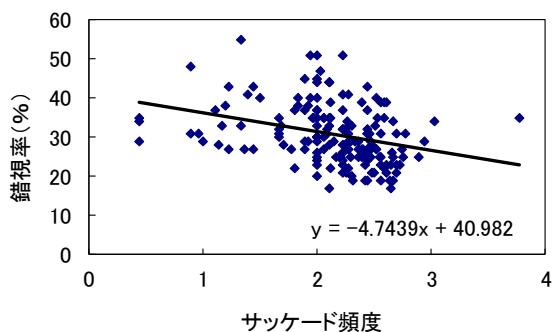


図5 サッケード頻度と錯視率の関係

同様に，錯視率と停留点間距離の関係調べるため，散布図を描いたところ，角度や提示時間の条件に関係なく，負の相関が見られたので，解析対象とした全データに対して，回帰分析により線

形近似を行い，相関係数も求めた（図6）。その結果，弱い負の相関（ $r = -0.381$ ）があること，すなわち，停留点間距離が長くなると錯視率が減少することが分かった。

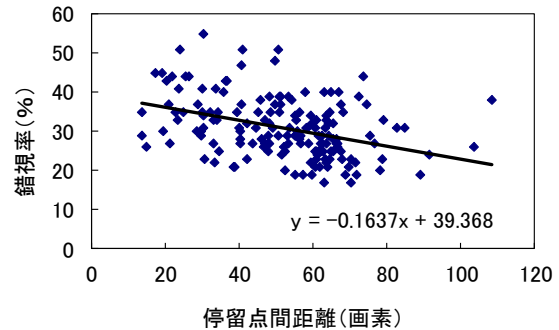


図6 停留点間距離と錯視率の関係

## 5. 考察

### 5.1 提示時間の影響

視線自由実験の結果からは，どの角度においても，提示時間が長くなれば有意に錯視率が小さくなることが示された。一方，角度の影響については，角度条件による錯視率の違いが有意であることや角度が異なると提示時間に対する特性が異なることも示されたが，すでに考察を示しているので[7]，ここでは省略する。

次に，視線固定実験の結果においても，視線自由実験と同様，提示時間が長くなると錯視率が小さくなるという傾向は統計的に有意であった。

### 5.2 眼球運動との関係

サッケードは500msec以上においてのみ観測され，サッケード頻度と錯視率の間には負の相関があることが分かった。これらのことから，提示時間が長くなり，サッケードが頻繁に生じるようになるにつれて錯視率が小さくなるということが予測される。このことは，眼球運動を頻繁に行うことで，図形の物理的な情報をより正確に獲得し，より実際の物理量に近い認識に修正されるということの意味していると推察される。

一方，錯視率と停留点間距離の間には負の相関があること，すなわち，停留点間距離が長くなる

と錯視率が減少することが分かった。このことは、錯視という現象において、図形を実際に認識した量に応じて視線を動かしていることを意味していると推察される。

以上のことから、錯視と眼球運動は相互に関係していることが示唆される。

### 5.3 視線固定の影響

視線固定実験は、視線自由実験の結果を踏まえて、もしサッケードにより錯視量が減少するのであれば、視線を固定させた条件では錯視量が大きくなるはずであるという予測に基づいて実施した。

2つの実験を比較し、視線固定の有無の影響を検討した結果、視線固定により錯視率が有意に大きくなることが分かった。このことは、サッケードが錯視量に影響を及ぼすという仮説を支持する。つまり、視線を固定させれば、提示時間が長くなっても錯視量の減少は抑制されるということが推察される。

このことは、錯視と眼球運動の相互作用という観点からすれば、錯視という知覚現象に対応した眼球運動が生じるだけでなく、生じた眼球運動によって錯視も影響を受けるということが考えられる。

しかしながら、その一方で、実験の種類と提示時間の間に交互作用がなかったことから、提示時間に対する相対的な特性には違いはなく、視線固定の場合でも、提示時間が長くなると錯視率が小さくなることが示されたため、サッケード以外にも錯視率を減少させる要因があることが示された。

## 6. まとめ

本研究では、ミュラー・リヤー図形を対象とし、視線自由と視線固定の2つの条件において、図形の提示時間を変化させた場合の実験を実施し、錯視量と眼球運動を測定した。その結果、図形の提示時間と視線固定の有無が錯視量に影響を与えることを明らかにし、錯視と眼球運動は相互に関係している可能性を示した。

今後は、さらにエビングハウス図形などの他の

様々な錯視図形に対して、錯視と眼球運動との関係について検討していく必要がある。

[追記]

その後、エビングハウス図形についても錯視図形の認識実験を行い、同様の方法により、サッケード頻度と停留点間距離を算出して錯視率との関係を検討した。

その結果、エビングハウス図形においては、錯視率とサッケード頻度との間には有意な相関は見られず、錯視率と停留点間距離の間には弱い正の相関が見られた。

これらのことから、ミュラー・リヤー図形とエビングハウス図形は幾何学的錯視に属するという点では同じであるが、刺激としての図形の構成が大きく異なることから、眼球運動が錯視図形の認識に与える影響も異なるものになることが推察される。

## 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] 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，195-219（2005）。
- [6] 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）。
- [7] 小堀 聡，小野 泰：ミュラー・リヤー錯視の時間的条件と眼球運動について—知覚と運動の相互作用から錯視を考える—，日本認知科学会第30回大会発表論文集，253-259（2013）。