

# 縦格子を通してドット平面を両眼視したときに発生する 立体錯視現象の研究

## A Study of a Solid Illusion which occurs when we see Dots Plane through Vertical Gratings with Both Eyes

大塩 智規, 大槻 正伸, 小泉 康一<sup>†</sup>  
Tomonori Ohshio, Masanobu Ohtsuki, Koichi Koizumi

<sup>†</sup>福島工業高等専門学校  
National Institute of Technology Fukushima College  
17PI03@fukushima.kosen-ac.jp

### Abstract

There is a Solid Illusion by Dots Plane and Vertical Gratings. In this Solid Illusion, nonexistent solid stripes are perceived by seeing Dots Plane through Vertical Gratings. Studies of this illusion have been conducted but the precise calculation process in the brain has not been clarified.

The purposes of this study are to measure the illusion conditions (i.e. the distance  $h$  between Dots Plane and Vertical Gratings which makes most (worst) clear solid stripes) more precisely than before, to compare the measured and simulation results, and to find the error factors between them.

As a result, we found a function which reduces the error between measured and simulation results.

**Keywords—Solid Illusion, Dots Plane, Vertical Gratings**

### 1. はじめに

透明なシート等の上に縦長な長方形を一定の間隔で印刷した縦格子(図 1)を通して, ドット(小正方形)のある規則に従って並べたドット平面(図 2)を自然に両眼視することで, 実際には存在しない帯状立体を知覚することができる<sup>(1)</sup>(付録). この現象は, 縦格子とドット平面を用いた立体錯視現象の一つであり, 縦格子とドット平面との距離によって, 帯状立体の知覚の程度に違いが生じることが過去の研究で判明している<sup>(2)</sup>. 具体的には, この距離を徐々に大きくしていくことによって, 実際には存在しない帯状立体が「明確に知覚できる」→「知覚できなくなっていく」→「知覚できなくなる」→「知覚できるようになっていく」→「明確に知覚できる」といったことが繰り返されるというものである(図 3). しかし, この現象が起きているときの人間の脳内計算過程の詳細については明らかになっていない.

そこで本研究では, 縦格子とドット平面を用いた立体錯視現象における計算モデルを作成し, モデルのシミュレーション結果と実験で得た測定結果との比較を行う. また, 両データ間の誤差要因の発見と, 誤差を

限りなく小さくするようなモデルの改善によって, この現象が起きているときの脳のメカニズムを知ることが目的とする. この目的を達成すると, 脳の情報処理分野の発展へ貢献することが期待できる.

今回の成果としては, 一人の被験者に限定されるが, シミュレーション結果と測定結果との誤差を小さくするような補正を行う関数を見つけることができた. 現在は, 他の被験者においても同様の関数による補正が成功するか, より精密な実験を行い検討している.

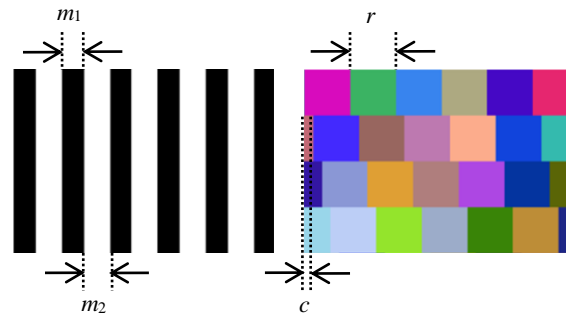


図 1 縦格子

図 2 ドット平面

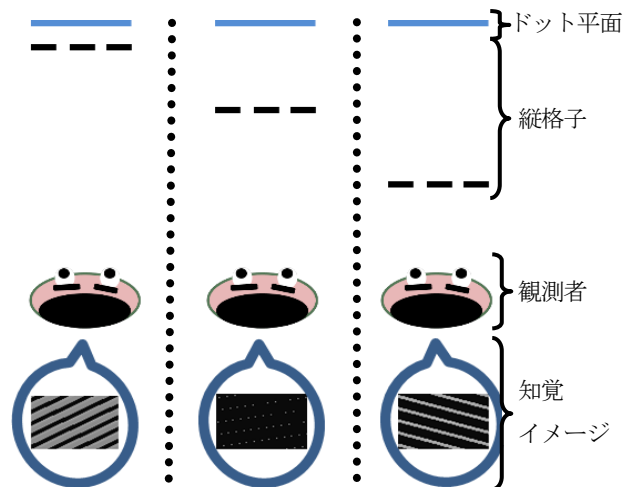


図 3 上から見た縦格子とドット平面による  
立体錯視現象のイメージ

## 2. 実験

### 2.1 実験パラメータの設定

今回の実験では、図1における縦格子幅  $m_1$  を 0.1cm, 縦格子間隔  $m_2$  を 0.2cm, 図2における小正方形の辺  $r$  を 0.319cm, 次の行の開始ドット位置をずらす間隔  $c$  を 0.028cm, ドット平面・被験者間距離  $d$  を 170cm とする. 被験者の両目(瞳)間距離  $w$  は 6.3cm であった.

### 2.2 実験内容

実験の手順は以下の通りである. ここで,  $i$  は 1, 2, 3, ... とし, 周期的に発生する(消滅する)帯状立体がドット平面に近い順に何回目に観測できたかを表すものとする.

- (1) 図4のようにセッティングを行う. このとき, 被験者は, あご台で顔を固定する.
- (2) 縦格子とドット平面との距離  $h$  を少しずつ大きくしていきながら(最大 50cm), 以下の2つの値を知覚できる限りすべて測定し記録する. その際, 「レーザ距離計」を使用し, 従来より正確な測定を行っている.
  - ① 帯状立体が最もよく知覚できたときの縦格子・ドット平面間距離  $h_a(i)$
  - ② 帯状立体が知覚できなくなったときの縦格子・ドット平面間距離  $h_b(i)$
- (3) ドット平面横においてあるディスプレイ装置に, 計算モデルによるシミュレーション結果(計算モデルについては後述する)を画像で表示し,  $h_a(i)$ ,  $h_b(i)$  測定時に実際に知覚できているものと最も似た画像になるようシミュレータ画面上の縦格子・ドット平面間距離をマウスで調整し, その値を記録する. 図5に, 実験で使用したシミュレータの画面を示す.

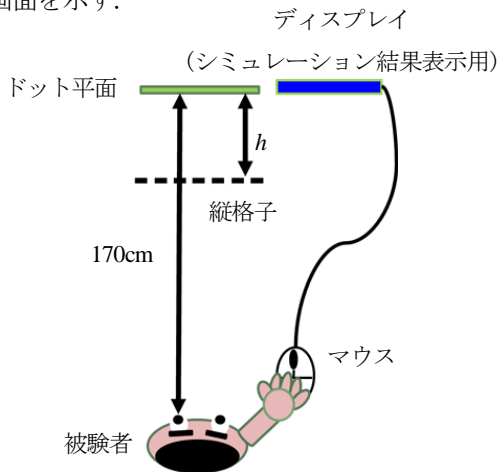


図4 上から見た実験のセッティング図

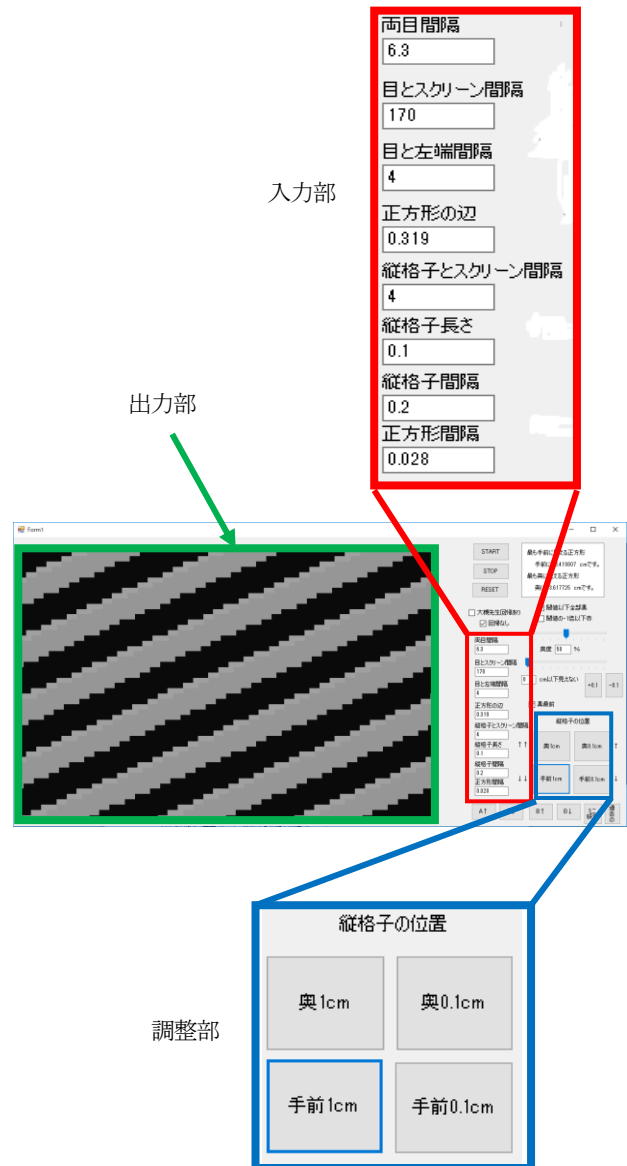
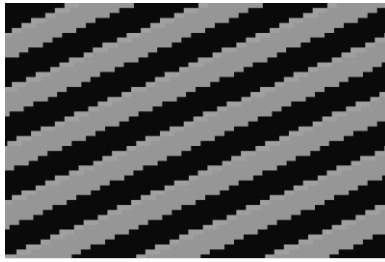


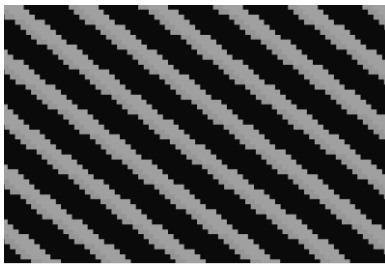
図5 シミュレータ画面

図5のシミュレータの操作順序は以下のとおりである.

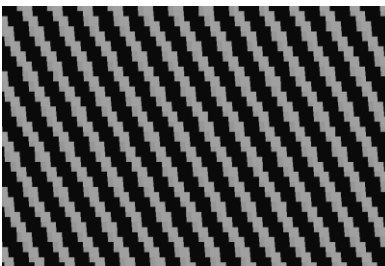
- (1) 入力部に, 使用するドット平面における小正方形の一辺の長さや縦格子の間隔等のパラメータを入力する.
- (2) 出力部に, 計算によって得ることができた結果が画像として出力される. 図6に出力結果の例を示す. 今回のシミュレータでは, 立体的に見えないという計算結果がでている部分のみ黒色で表示し, それ以外の部分は灰色(より手前にあるほど明るい)で表示している.



(a) 縦格子・ドット平面間距離  $h = 4.0\text{cm}$



(b) 縦格子・ドット平面間距離  $h = 21.0\text{cm}$



(c) 縦格子・ドット平面間距離  $h = 37.0\text{cm}$

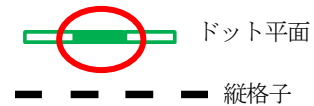
図6 シミュレータ出力結果例

(3) 調整部の各ボタンをクリックすることで、シミュレーション上の縦格子・ドット平面間距離が変化し、その値に応じた画像が出力部に出力される。具体的には、調整部の「手前1cm」というボタンを押すと、シミュレーション上での縦格子の位置が被験者の方向に1cm動く。その後、出力部に表示されている画像が、縦格子の動きに合わせて変化する。

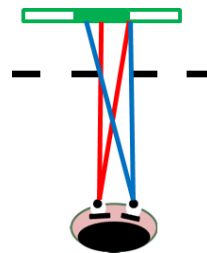
### 2.3 計算モデル

計算モデルとは、実験による測定を行うことなく、使用するドット平面における小正方形の一辺の長さや縦格子の間隔等の必要なパラメータを入力することによって、おそらくこのように見えるであろうと思われる画像をコンピュータ上で計算し出力させることができるモデルのことである。このモデルを作成すること

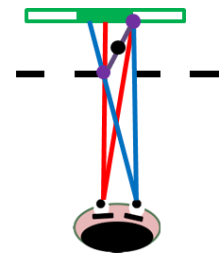
で、縦格子とドット平面を用いた立体錯視現象が起きているときに、人間の脳がどのような計算を行っているのかを推定することができる。図7に、モデルの計算過程(上から見たイメージ)を示す。ここでは、(a)におけるドット平面中央の丸で囲んだドット(小正方形)が、どのくらい立体的に知覚できるかの計算について説明する。まず、(b)に示すように、観測者のそれぞれの目から、対象ドットの見える範囲(縦格子の位置を考慮する)の両端に2本ずつ直線を引く。その後、それぞれの目から伸びている左側の直線同士の交点の座標と右側の直線同士の交点の座標を求める。これはドットの左端点(右端点)を同一視し、ドットの存在位置を推定することを意味する。すなわち、左眼で見えるドット像と右眼で見えるドット像から、そのドット像が同一のドットのものとする、それはここに存在するはずであるという、ドット位置の推定を行うことを意味する。最後に、(c)に示すように、(b)で求めた2交点を結ぶ直線を引き、その直線の midpoint の座標を求める。ここで求めた midpoint の座標の位置に対象ドットが飛び出して見えるものとしている。すなわち、midpoint の座標がドット平面より手前にあればあるほど、対象ドットはより立体的に知覚できるとしている。実際には、ここで説明した計算をすべてのドットについて行っている。



(a)



(b)



(c)

図7 上から見たモデルの計算過程のイメージ

## 2.4 実験結果

実験結果を図8に示す。

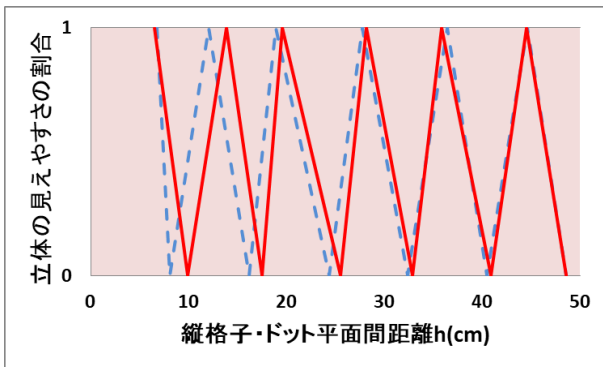


図8 実験結果

グラフの縦軸は立体の見えやすさの割合を表している。带状立体が知覚できないときを0とし、带状立体がより知覚できるようになるにつれ1へと近づき、带状立体が最もよく知覚できたときを1としている。グラフの横軸は縦格子とドット平面との距離  $h$  を表している。実線で示しているのが被検者の結果で、破線で示しているのが計算モデルによるシミュレーション結果である。

この被験者の実験結果では、 $h$  が小さいときに両データ間の誤差が大きく、 $h$  が大きくなるにつれ両データ間の誤差が小さくなっていることが分かった。

## 3. 補正

### 3.1 補正

本研究におけるシミュレータの補正は、図9における  $g(h)$  を求めることを目的としている。図9は、錯視画像について従来のシミュレータの結果による画像出力と人間が見ている画像とで誤差があるため、両者の間に生じている誤差を関数  $g(h)$  によって小さくできることを期待している。

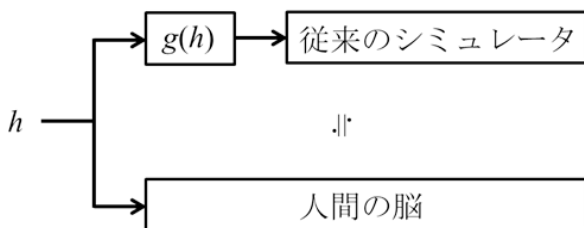


図9 関数  $g(h)$  による補正のイメージ

### 3.2 回帰分析

この節では、線形回帰分析を用いて行った補正について述べる。今回は、被験者のすべての測定結果  $(h_a(i), h_b(i))$  (→ 2.2) を  $y(i)$ 、シミュレーション結果  $(h_a(i), h_b(i))$  に対応する) を  $x(i)$  とおき、

$$y = a_0 + a_1x$$

の形にまとめたときに最適となる、定数  $a_0$  および  $a_1$  を求めた。上記の関数を求めることは、図9における  $g(h)$  を求めることと同義である。分析の結果、

$$y = 1.43 + 0.97x$$

という回帰式を得ることができた。すなわち、

$$g(h) = \frac{1}{0.97} (h - 1.43)$$

である。この式で補正を行った結果を図10に示す。

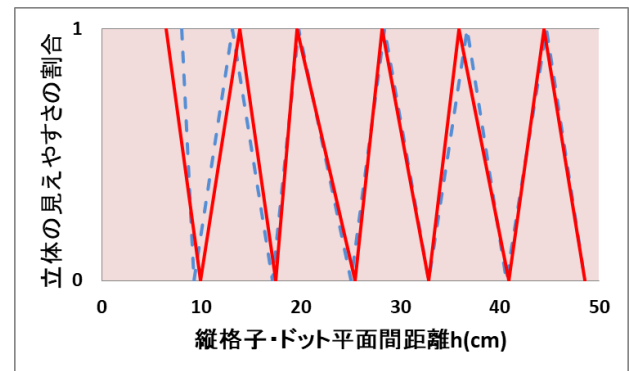


図10 回帰分析による補正を行った実験結果

次に、「带状立体が最もよく知覚できたときの距離  $h_a(i)$ 」と「带状立体が知覚できなくなったときの距離  $h_b(i)$ 」に分けて同様の分析を行ったところ、 $h_a(i)$  では、

$$y = 0.97 + 0.97x$$

という回帰式を得ることができ、 $h_b(i)$  では、

$$y = 2.08 + 0.96x$$

という回帰式を得ることができた。これら二つの回帰式によって補正を行った結果を図11に示す。

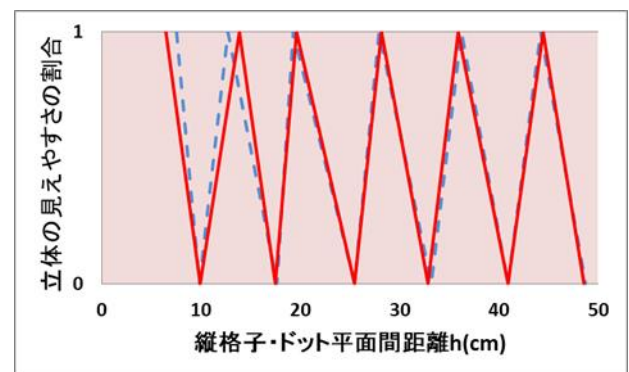


図11 回帰分析(2式)による補正を行った実験結果

#### 4. 考察

補正前の実験結果(図 9)と回帰分析による補正を行った後の実験結果(図 10)を比較すると、全体的な誤差が小さくなったことが分かる。だが、補正前から誤差が大きかった、縦格子・ドット平面間距離  $h$  が小さい範囲ではある程度の誤差が残ってしまった。この理由としては、線形回帰分析の性質上、近似して得られるグラフの形状が直線となるため、もともとのデータが直線近似しにくいものであったことが考えられる。そこで、「帯状立体が最もよく知覚できたとき」と「帯状立体が知覚できなくなったとき」に分けて回帰分析を行ったところ、わずかではあるが誤差をさらに小さくすることができた(図 11)。 $h$  が小さい範囲での誤差については、被験者が複数回の測定練習を行っている際、 $h$  が小さい範囲では結果に多少のばらつきが見られ、 $h$  が大きい範囲では安定した結果が得られていたということがあったので、 $h$  が小さい範囲でも安定した結果が得られるよう実験を行うことができれば、全体的な誤差をさらに小さくすることができるのではないかと思われる。

#### 5. まとめ

今回、私たちの研究では、縦格子とドット平面を用いた立体錯視現象において人間がどのように帯状立体を知覚しているかを知るために従来より精密な測定実験を行い、その実験結果と、作成した脳内計算モデルのシミュレーション結果との比較を行った。また、両データ間の誤差を小さくするため、線形回帰分析による補正を 2 パターン行った。結果として、今回の被験者においては、「帯状立体が最もよく知覚できたとき」と「帯状立体が知覚できなくなったとき」に分けて回帰分析を行ったほうが誤差をより小さくできることが分かった。

#### 6. 今後の課題

今後の課題として、以下のことがあげられる。

- (1) 今回は被験者一名のみで実験や補正を行ったため、多くの被験者で同様の実験を行い、回帰分析をして得られる回帰式の特徴を調べる。
- (2) 一次式による線形回帰分析のほかに、さまざまな関数による非線形回帰分析を用いることで、誤差をさらに小さくできないか試す。
- (3) より精度の高い実験を行う。また、より精密な脳内計算モデルを作成する。

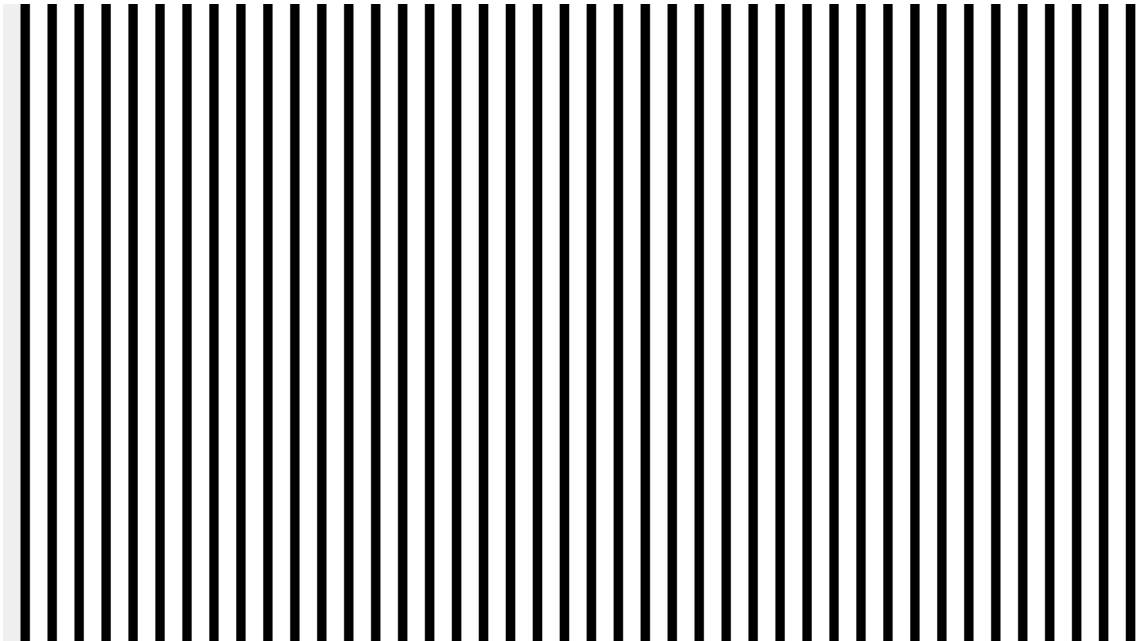
#### 参考文献

- (1)大槻 正伸, 大野 雄基, 保科 龍也, 中野 良樹, "縦格子とドット平面による立体錯視現象の脳内距離計算に関する基礎研究," 2010 年度日本認知科学会第 27 回大会発表論文集, 2010.
- (2)大槻 正伸, 大越 祥太, "縦格子とドット平面による立体錯視現象の研究—縦格子とドット平面間距離の変化と錯視像の変化の関係—," 2014 年度日本認知科学会第 31 回大会発表論文集, 2014.

<付録> (このページを OHP シート等に印刷し、縦格子を通してドット平面を両眼視すると錯視現象が発生する)



ドット平面



縦格子