

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—

Research on a Solid Illusion by Dots Plane and Vertical Gratings

—The Relationship of “the Variance of the Distance from the Vertical Gratings to the Dot Plane” to the “Variance of the Illusion Image”—

大槻 正伸[†], 大越 翔太[†]

Masanobu Ohtsuki, Shohta Ohkoshi

[†]福島工業高等専門学校

Fukushima National College of Technology

ohtsuki@fukushima-nct.ac.jp

Abstract

When we see a controlled dots plane through a vertical gratings plane, with both eyes, we can recognize some solid stripes which does not really exist. It is a kind of a solid illusion.

As we vary the distance from the vertical gratings to the dots plane, we can recognize solid stripes at some distances, and we cannot recognize it at some distances. This phenomenon is repeated periodically.

We measured the distances from vertical gratings to the dots plane when this solid illusion occurs, and when it does not occur.

Next we construct a computer program which simulates this solid illusion, with “the theory of unifying edge points”, and compare the measured distances and the distances conjectured by the simulation program.

The conjectured distances are almost coincident with the measured distances, as they become large.

を立てて置きそれに平行に $Gr(m_1, m_2)$ を h ($h=0.5 \sim 30[\text{cm}]$ 程度) だけ離して配置し、 $Gr(m_1, m_2)$ を通して $PL(R, c)$ を距離 d ($d=30 \sim 150[\text{cm}]$ 程度) だけ離れた位置から自然に両眼視すると、ある条件下で物理的に存在しない帯状の立体が明瞭に知覚される (図 2、付録、[1]~[6])。

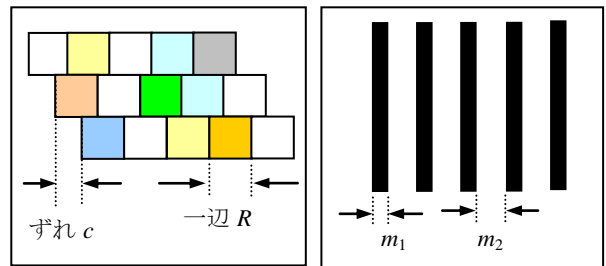


図 1 ドット平面 $PL(R, c)$ (左) と 縦格子 $Gr(m_1, m_2)$ (右)

Keywords — Solid Illusion, Vertical Grating

1. はじめに

「縦格子とドット平面による立体錯視現象」とは次のような現象である。まず「ドット平面 $PL(R, c)$ 」とは、一辺 R の正方形 (以下「ドット」という) を、1つの行に対して次の行では、開始位置を c だけずらして隙間なく配置したものである (図 1(左)、付録)。「縦格子面 $Gr(m_1, m_2)$ 」とは幅 m_1 の黒色の帯を平面 (透明な OHP シート等) に縦に m_2 の間隔で規則的に配置したものである (図 1(右)、付録)。

$R=0.2 \sim 0.5[\text{cm}]$ 程度、 $c=0.05[\text{cm}]$ 程度、 $m_1=0.1 \sim 0.2[\text{cm}]$ 程度、 $m_2=0.1 \sim 0.3[\text{cm}]$ 程度とし、 $PL(R, c)$

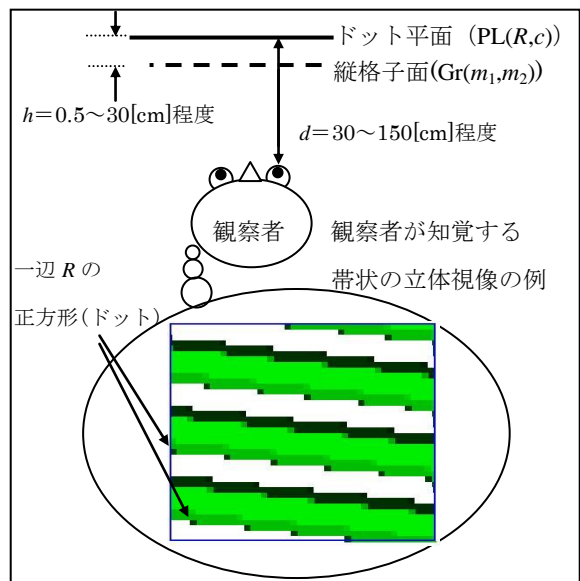


図 2 縦格子とドット平面による立体視

この現象には次のような特徴があることが分かっている。

- 単眼視では錯視は発生しない。従って、この現象は両眼視差から人間が何らかの計算を行った結果であると考えられる。
- $R=k(m_1+m_2)$ (k :整数) という条件でこの錯視現象は明瞭に生起する。
- 数パーセント程度の人にはこの錯視現象が発生しない。

さて、今回は、 $R=m_1+m_2+a$ ($a=0.03\sim 0.1$ [cm]程度) として、ドット平面-縦格子間距離 h をだんだん大きくしていくと、ある距離では右上がりの帯状立体が知覚され、ある距離では全く帯状立体が知覚されず、さらに縦格子面を離していくと

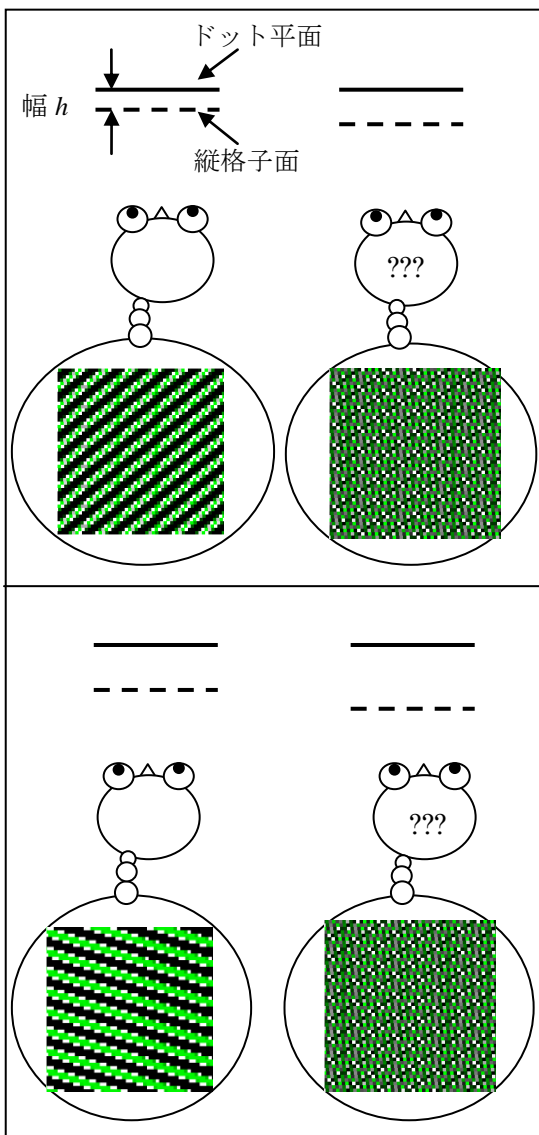


図3 縦格子-ドット平面間距離と立体錯視像の変化

右下がりの帯状立体が知覚され、... というように周期的に帯状立体が現れることがわかった (図3)。

本論文では、明瞭に帯状立体が知覚される時の h とその錯視像の形状 (錯視像の傾き、本数等)、全く立体錯視が生起しない時の h を測定した。さらに、「端点融合」によるシミュレーションプログラムを作成し、シミュレーションにより予想される、立体錯視が生起する h とそのときの錯視像、立体錯視が生起しない h を求め、測定結果と比較した。

その結果、 h はある程度の精度で、特に h が大きいところで一致することがわかった。本立体錯視が生起しているとき、人間は端点融合に関する計算をしている可能性があることが示唆された。

2. 端点融合

この錯視現象の発生メカニズムはおおよそ以下のように予想される ([6][7][8])。まず、図4では(a)(b)とも縦格子によりドットが遮蔽され、左眼ではA、右眼ではBの像が得られている。実際に観察者が得る像はA、Bとも、もとのドット(正方形)の一部が欠けた不完全な長方形となっている。

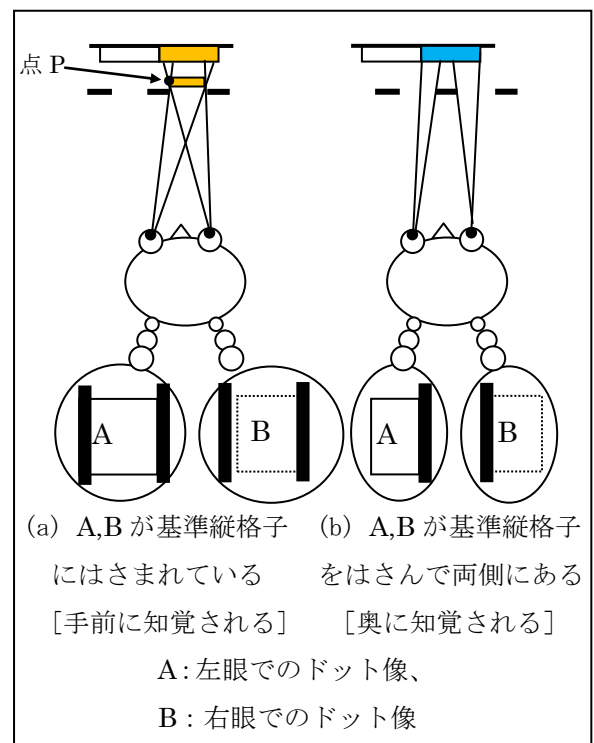


図4 遮蔽パターンと認知距離

(a)ではAとBが共通の2本の縦格子にはさまれており、(b)ではA、Bがある縦格子の左右両側にある。脳は、これらの一部が欠けた長方形という不完全な情報から、ドット位置を推定計算することになるが今は(a)の場合について考える。

得られている2つのドット像が同一のドットで、左端点が同一であるとすると、図4(a)のように、左端点に両眼から引かれた2つの線の交点Pにドットがなければ矛盾するから、これがドットの位置と推定され、知覚される。このような計算、推定を「(左)端点融合」とよぶことにする。各ドットは様々なパターンに遮蔽され、実際のものではない距離が端点融合によって知覚される。そうして実際よりも近くに知覚されるドット集団があり、それがあがる図形(例えば带状図形)になっているとわれわれはその図形を認識する。

本現象のメカニズムは、以上のように予想されるが、脳内で実際に左端点融合による距離計算が行われているか、それとも右端点融合による距離計算がなされているのか、あるいは両方の計算がなされてその平均が取られているのか、また個人によって脳内計算は違うのか等々の詳しいところは明らかになっていない。ただし、確かに、図4(a)の場合、実際よりも奥に、また図4(b)の場合、実際の位置よりも手前に知覚されることは実験的に確認されている([3][6])。

第4節で、このメカニズムの推定を元にシミュレーションプログラムを作成する。

3. 心理物理学実験

3.1 実験装置

実験装置を図5のように製作した。

ドット平面 $PL(R,c)$ をコンピュータディスプレイで実現し、縦格子面 $Gr(m_1, m_2)$ は OHP シート上にインクジェットプリンタで印刷し、この縦格子面を「コの字型枠」に図のように取り付けた。

コの字型枠は、左右の枠がレールに乗っており、観察者が前後に動かして、ドット平面—縦格子面間距離 h を変化させられるようになっている。

また、観察者の両眼を $PL(R,c)$ に平行に位置させ、 x, y, z -座標軸を図のように、観察者の両眼(瞳の位置)を $y=0$ とし、一番左の縦格子の左端点を $x=0$ に合わせた。なお z 軸は垂直方向にとっている。

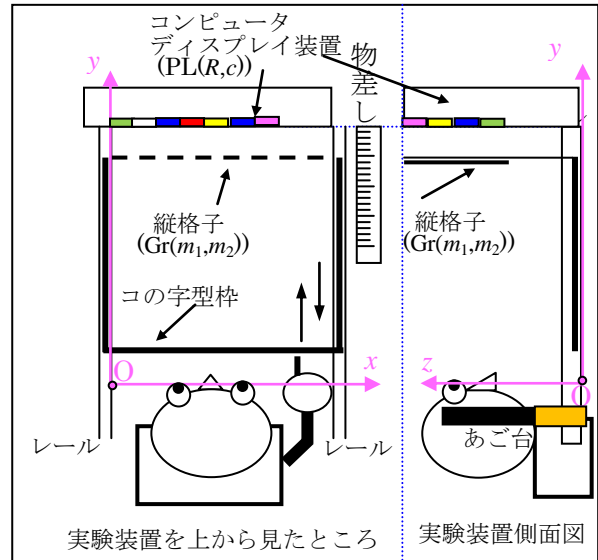


図5 実験装置

実験は、観察者(被験者)と測定者の2人で次のように行った。

(1) ディスプレイにドット平面 $PL(R,c)$ をコンピュータプログラムにより描画する。 $PL(R,c)$ は長方形(縦 13.5[cm]×横 24.7[cm])とした。

(2) 縦格子面 $Gr(m_1, m_2)$ を、コの字型枠を押し $h=0$ としディスプレイにぴったりとつけておく。

(3) 観察者はあご台に顔を乗せ、眼(両眼の瞳)の位置を $y=0$ に固定し、ドット平面—縦格子面間距離 d を 120[cm] に固定する。測定者は観察者の左眼、右眼の空間位置座標を測定する。

(4) 観察者は、縦格子面を通してドット平面を両眼で見続ける。そしてコの字型枠を手前に引いてきて、带状立体が最も明瞭に知覚できたところで、レールを止め、測定者に「最もよく見えた」と報告する。

測定者は、ドット平面—縦格子面間距離 h を物差しにより測定する。

観察者は「最も明瞭に錯視像が知覚できる位置」を確定するために、縦格子面を前後に動かすことが許されるものとした。

このとき、帯状立体が何本知覚されるか、またその角度を測定する。角度の測定は測定者が縦格子面上（観察者側）に置いて示す棒（鉛筆程度の太さの棒）に対して、観察者が「今より右上がり」等指示し、測定者がその指示通りに角度を変えていき、角度が一致した時「一致した」旨を測定者に報告し、そのときの棒の角度を測定者が測定した。

(5) 同様に錯視像が全く現れないときの h も測定する。

(6) $h \leq 30[\text{cm}]$ の範囲で (4)、(5) を繰り返す。

3.2 実験条件

実験条件は以下の通りとした。

- $PL(R,c)$ $R=0.30[\text{cm}]$ 、 $c=0.05[\text{cm}]$

$PL(R,c)$ 全体は長方形（縦 $13.5[\text{cm}]$ ×横 $24.7[\text{cm}]$ ）とし（図1をもとに、左右のスペースを埋めて、図6（左）のように長方形とする）、 $PL(R,c)$ の左上端点Aを $x=0$ 、 $z=30.0[\text{cm}]$ に合わせる。

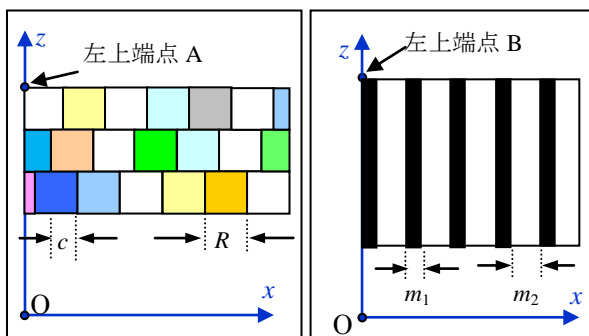


図6 実験用のドット平面 $PL(R,c)$ (左) と縦格子 $Gr(m_1, m_2)$ (右)

- $Gr(m_1, m_2)$ $m_1=0.10[\text{cm}]$ 、 $m_2=0.164[\text{cm}]$
 $Gr(m_1, m_2)$ は、A4版OHPシートの縦

$19.8[\text{cm}]$ ×横 $28.4[\text{cm}]$ の長方形の範囲に縦格子を描画したものとした。

これをドット平面 $PL(R,c)$ に平行に、縦格子が垂直方向になるように、かつ $Gr(m_1, m_2)$ 面の左上端点Bを $x=0$ 、 $z=32.0[\text{cm}]$ となるように調整する（図6（右））。

- 観察者（両眼）—ドット平面間距離 d は $d=120.0[\text{cm}]$ とした。

3.3 実験結果

今回は2名の被験者（0, I）で実験を行った。測定結果を表1、表2に示す。

表では、測定結果に加えて、[]内にシミュレーション予測も示してある。シミュレーション予測は、次節で説明する端点融合を用いたシミュレーションプログラムにより、帯状立体が明確に知覚できると予想される距離、全く知覚できないと予想される距離等である。

表1 被験者0の実験結果

（左眼 $(11.5\text{cm}, 0.0\text{cm}, 34.0\text{cm})$

右眼 $(17.5\text{cm}, 0.0\text{cm}, 34.0\text{cm})$ ）

（測定結果[シミュレーション予想] シミュレーションについては4節参照）

帯状立体向き	角度[度]	本数	$h[\text{cm}]$
1. 右上がり[〃]	45 [38]	11[17]	1.8[0.5]
2. — (知覚なし)	—	—	4.7[5.3]
3. 右上がり[〃]	21[30]	7[13]	6.8[5.8]
4. —	—	—	9.6[10.6]
5. 右下がり [右上がり]	3[13]	5[10]	11.8[11.0]
6. —	—	—	14.2[15.9]
7. 右下がり[〃]	29[5]	8[8]	16.2[16.4]
8. —	—	—	19.1[21.2]
9. 右下がり[〃]	42[25]	12[13]	21.8[21.7]
10. —	—	—	24.2[26.4]
11. 右下がり[〃]	54[39]	16[17]	26.5[27.1]

表2 被験者 I の実験結果

(左眼 (7.9cm, 0.0cm, 34.0cm))

右眼 (14.4cm, 0.0cm, 34.0cm))

帯状立体向き	角度[度]	本数	h [cm]
1. 右上がり[μ]	34 [40]	11[17]	2.4[0.4]
2. — (知覚なし)	—	—	4.8[4.9]
3. 右上がり[μ]	28[28]	8[14]	6.4[5.3]
4. —	—	—	10.1[9.8]
5. 右下がり [右上がり]	9[20]	6[11]	11.8[10.2]
6. —	—	—	14.6[14.6]
7. 右下がり[μ]	29[8]	9[9]	17.1[16.6]
8. —	—	—	20.3[19.5]
9. 右下がり[μ]	43[26]	13[12]	22.1[21.6]
10. —	—	—	25.4[24.4]

4. シミュレーションプログラムの設計

第2節の端点融合の計算モデルを用いて、シミュレーションプログラムを次のように設計し、Delphi2010により実現した（実行結果例：図7）
 <シミュレーションプログラム（概要）>

```
begin
```

```
  左右眼の座標、各種パラメータ( $R, c, m_1, m_2, d$ )入力；  
   $h_{max}, dh$ を設定；( $h_{max}$ :30[cm]程度,  $dh$ :0.1[cm]程度)  
   $h \leftarrow 0$ ；
```

```
  while ( $h <= h_{max}$ ) do
```

```
    begin
```

```
      for 各ドットD do
```

```
        begin
```

```
          縦格子面—ドット平面間距離を $h$ として  
           $p_1(p_2) \leftarrow D$ に対する左(右)端点融合距離；  
           $p \leftarrow (p_1 + p_2) / 2$ ；  
           $p$ にしたがい色分けしてドットを表示  
          (手前ほど緑を濃く、奥ほど白く、 $p=0 \Rightarrow$ 黒)
```

```
        end；
```

```
          一定時間表示画面を維持した後画面クリア；
```

```
           $h \leftarrow h + dh$ 
```

```
      end
```

```
end.
```

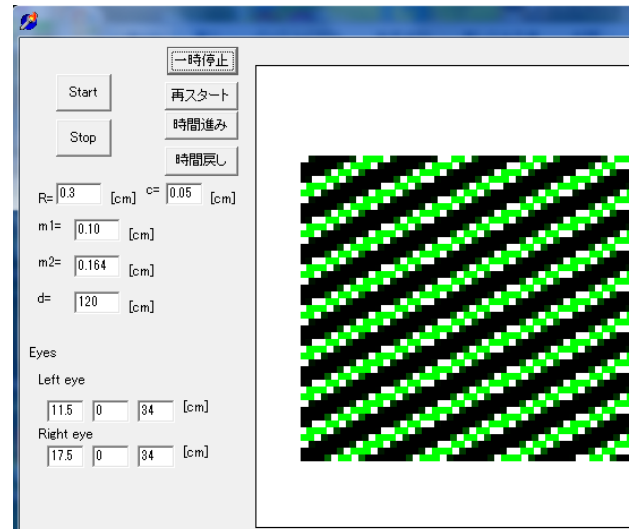


図7 シミュレーションプログラム実行画面例

このシミュレーションプログラムに被験者のデータを入力し実行した結果を前節表1、表2に [] で書き入れてある。ただし、シミュレーションプログラムで表示された画面に対し、どの h で明瞭に帯状立体が出現するかの判断は人手で行った。

5. 実測値とシミュレーション予測の比較

被験者 0, I で、帯状立体が明瞭に知覚される h 、全く知覚されない h については、平均誤差(測定値—シミュレーション予測)はそれぞれ、-0.47[cm] (標準偏差=1.21[cm])、0.77[cm] (標準偏差 0.67[cm]) であった。

誤差絶対値平均はそれぞれ、1.05[cm] (標準偏差 0.71[cm])、0.79[cm] (標準偏差 0.65[cm]) であった。

帯状立体が明瞭に知覚された距離（表の奇数の項番）で、かつ、 h が大きいところ（項番 7, 9, (11)）でみると誤差絶対値平均が被験者 0, I でそれぞれ 0.3[cm]、0.5[cm] と小さくなっている。 h が大きいところでは誤差が小さく、 h が小さいところでは誤差が大きくなる傾向にあることが見て取れる。

h の実測値とシミュレーション予測の比較を

図8に示す。これを見る限り、脳内計算と端点融合の計算とはかなり近いものとも考えられるが、表1,表2の「帯状立体の本数」「角度」等を比較すると、やや大きな誤差が見られる(本数について言えば、やはり h が大きいところでは誤差が少なくなっている)。被験者数を増やし、さらに精密な実験により、これらの誤差の考察をすることは今後の課題である。

また、 h が小さいところでは単に端点融合以外の計算の可能性も考えられる。これらについての考察も今後の課題である。

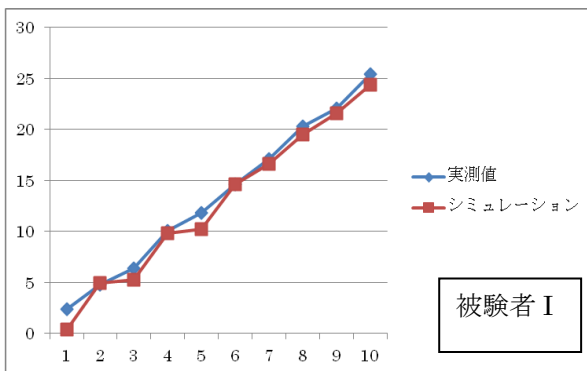
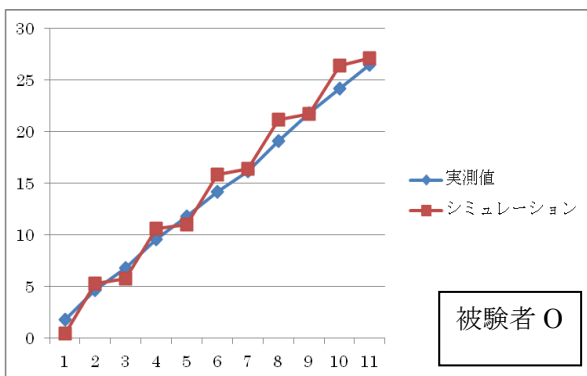


図8 実測値とシミュレーション予測の比較

(横軸: 明瞭に見えた h 、全く知覚されなかった h の番号(明瞭に見えた:1,3,5、知覚されなかった:2,4,6...), 縦軸 h の値[cm])

参考文献

- [1]大槻, 中野: ランダムドット平面と垂直グレーティングの重ね合わせによる帯状立体面の出現(2), 日本認知科学会第19回大会発表論文集 pp200-201, 2002年
- [2]大槻, 中野: ランダムドット平面と縦格子の重ね合わせによるトーラス状図形の立体錯視像の出現 日本認知科学会第20回大会発表論文集 pp306-307, 2003年
- [3]大槻, 會田, 中野: ランダムドット平面と縦格子による立体錯視におけるドットの遮蔽パターン解析 日本認知科学会第21回大会発表論文集 pp86-87, 2004年
- [4]大槻, 掛札, 相樂, 若松, 中野: 縦格子とドット平面による立体錯視現象におけるドット遮蔽と脳内距離計算に関する基礎研究 日本認知科学会第24回大会発表論文集 pp74-77, 2007年
- [5]大野, 大槻, 中野: 縦格子による立体錯視現象において単純な図形を立体視させるためのドット平面の制御法 日本認知科学会第26回大会発表論文集 pp210-211, 2009年
- [6]大槻 正伸・大野雄基・保科龍也、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—2つの異なる長方形の同一視と認知距離の測定— 日本認知科学会第27回大会発表論文集 pp571-574, 2010年
- [7]下條 信輔: 視覚の冒険 pp15-59 産業図書 1995年
- [8]杉原 厚吉: 立体イリュージョンの数理 共立出版 2006

付録（縦格子による立体錯視現象を誘起する刺激）

下記縦格子を OHP シート等にコピーし、ドット平面から 1~2[cm]程度離して縦格子面を配置し、50~100[cm]程度離れた位置から縦格子面を通してドット平面を自然に両眼視すると帯状立体が数本知覚される。縦格子面を変化させると、帯状立体が知覚されたり、知覚されなかったりする

