

# 縦格子立体錯視像の3Dステレオグラムによる再構成

## Reconstruction of Solid Illusion Images of Vertical Gratings by 3D Stereogram

大槻 正伸・小泉 康一

福島工業高等専門学校 電気電子システム工学科

OHTSUKI Masanobu ,KOIZUMI Kouichi

National Institute of Technology, Fukushima College, Department of Electrical and Electronic System Engineering

(2022年9月5日受理)

It is known that a kind of solid illusion occurs by vertical gratings and a random dots plane.

We have designed a computer program which makes two images for 3D stereogram with which we can get an image almost the same as the illusion image got by vertical gratings and a random dots plane.

**Key words:** Solid Illusion by Vertical Gratings, 3D Stereogram, RDS(Random Dot Stereogram)

### 1. はじめに

縦格子による立体錯視現象<sup>2)-9)</sup>とは、縦格子を通して地面や制御されたドット平面を自然に両眼視すると、現実には存在しない立体像が知覚される現象である。

例えば家庭の網戸を通して地面（特に何の制御もされていないドット平面と同等とみられる）を自然に両眼視すると、地面が波打って見えることが確認できる<sup>3)8)9)</sup> (Fig.1)。これは網戸の横線群には無関係で、縦線群（縦格子群）のみによることが知られている。

また、縦格子群を通して、Fig.2左上のように制御された「ドット平面（小正方形1つをドットとよぶ）」を自然に両眼視すると、帯状の立体が知覚される<sup>4)</sup>（付録参照）。別の制御されたドット平面にすると、トラス状の立体群を錯視させることもできる<sup>5)</sup>。

これらの立体錯視現象は単眼視では生起しないから両眼視による錯視現象である。このような錯視現象が生起する理由、すなわち各ドット（小正方形）が縦格子によりどのように遮蔽され、それがどのような遠近感を与えるのか等についても調べられている<sup>6) 7)</sup>。

さて、この縦格子群（Gratings）とドット平面（Dots Plane）による立体錯視現象（以下GDP錯視という）は、言葉で説明されても実感を得にくい。例えばFig.2下の、観察者が知覚していることを示す錯視像は、文献6) 7) により得られた知見をもとに設計されたシミュレータが計算した像である（色が濃い部分ほど手前

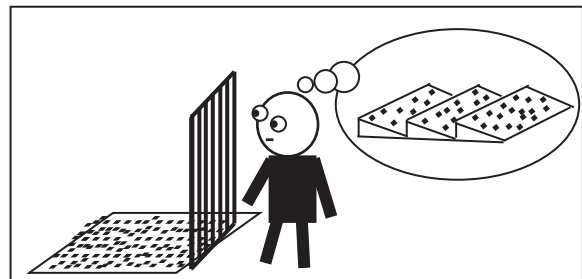


Fig.1 Solid Illusion by Vertical Gratings and Ground

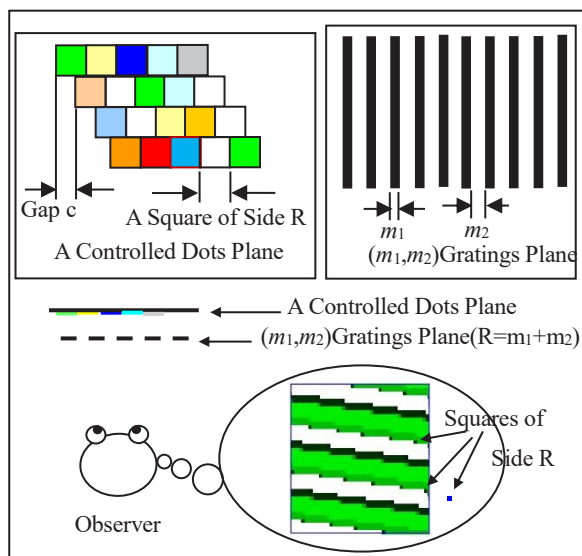


Fig.2 An Example of Solid Illusion by Controlled Dots Plane and Vertical Gratings(Overhead View)

に見えることを示している)。

実際に付録等をもとにこの錯視現象を経験した後になれば、Fig.2のシミュレータ像も理解できるが、経験なしに言葉のみではこの立体錯視現象は実感しにくい。

一方、3Dステレオグラム(以下3DSという)<sup>1) 10) 11)</sup>は、自然な両眼視でなく、眼球操作をして左右眼に異なる像を入力し、あとは脳内の立体認知計算にまかせ脳内のみ存在する立体錯視像を得るものである。その一つにランダムドットステレオグラム(以下RDS)があるが、これは例えば、Fig.3のようにランダムな色

(この場合白か黒かの色がランダム)のドットで構成された2つの画像を、交差法(Cross Viewing, CV:いわゆる「寄り目」にして(A)を右眼に、(B)を左眼に入力する)か、または平行法(Parallel Viewing, PV:「さり目」にして(A)を左眼に(B)を右眼に入力する)かどちらかの眼球操作をすると、交差法では、中央付近に小さな正方形が浮かび上がって見え、平行法では小さな正方形が奥の位置に知覚される(図の2つの●が3つに見えるように眼球操作をすると錯視像が得られる)。

3DS,RDSでは、Fig.3などよりもはるかに複雑で、芸術的な錯視像が得られる作品が集められた本も出版されている<sup>12)</sup>。

本論文の目的は、GDP錯視による立体像を、3DS像として得るための、3DS用の画像(A)、(B)を計算・出力するコンピュータプログラムを設計することである

(Fig.4)。すなわち、ドット平面、縦格子、両眼位置等の条件をコンピュータに入力すると、コンピュータは3DS用の画像(A)、(B)を計算・出力する。そして(A)、(B)を交差法または平行法で両眼立体視すると、もとのGDP錯視像(X)とほぼ同じ3DS錯視像(Y)が得られるというものである。

このコンピュータプログラム設計は次の二点で意義があるものと考えられる。

交差法、平行法の眼球操作は多少訓練が必要ではあるが、この眼球操作ができるようになれば、前述のとおり言葉では実感しにくかったGDP立体錯視像が、物理的な実体(例えば付録をOHPシートにコピーした平面や実際の網戸等)なしで実感できるようになる。

また、例えば「A」の文字等をGDP錯視像として得るためのドット平面設計を行おうとする際、実際にドット平面と縦格子を用意しなくとも、「A」が錯視像として得られるかどうか分かるようになる。すなわち、GDP錯視のドット平面、縦格子設計の際のシミュレータが手に入ることになる。

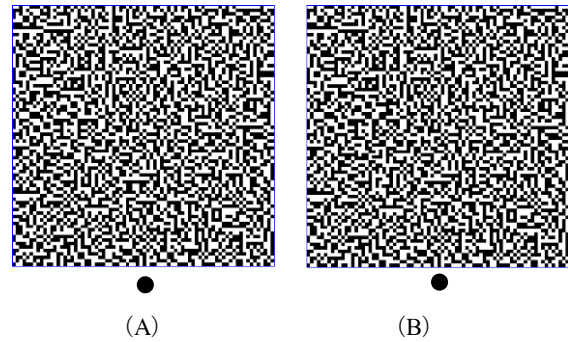


Fig.3 An Example of RDS

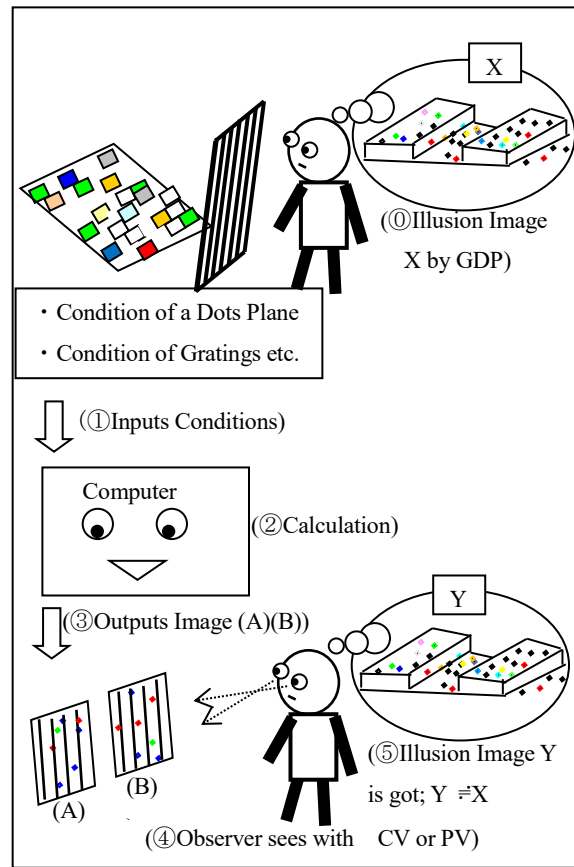


Fig.4 The Concept of the Computer Program to be Designed

## 2. プログラム設計

### 2.1 同一視とドットの認知位置

まず、3DSやGDP等の立体視錯視の基本的な事項「同一視と遠近感」について概観する。Fig.5 (1)は、観察者が現実に存在する対象物(□■)を正しく位置認識をしているところである。ここで(2)のように実際の対象物の位置よりも奥のスクリーンに2つの画像(A)と(B)を描いておき、それを3DSの交差法で見ると、

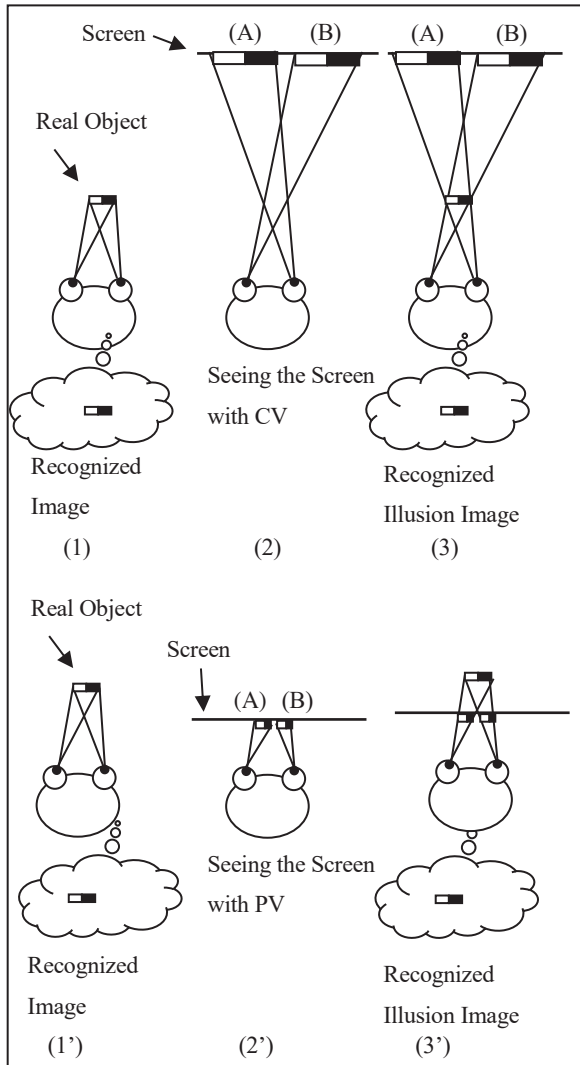


Fig.5 Identification of 2 Objects and Recognized Position

左端点、右端点、中央の白領域と黒領域の境界等が同一視（1つの対象物の同じところと脳内で認識）され、そうすると(3)で示す視線の交点の位置に対象物が無いと同一視と矛盾するから、脳内ではその位置が計算されそこに対象物が存在すると認知される<sup>11)12)</sup>。このようにして実際の(1)と同様の像が認知されることになる。この認知像は錯視像であり、それは脳内のみにならぬデータの構造として存在していることになる。Fig.5 (1')(2')(3')は同様に平行法での認知についての図である。

実際の3DS（例えばFig.3、文献(12)）では各ドットごとに、同一視によりどこに認知させるべきか、そのためには画像(A)(B)のどこにどのようなドットを配置すべきかが計算され、全体の画像(A)(B)が構成される。

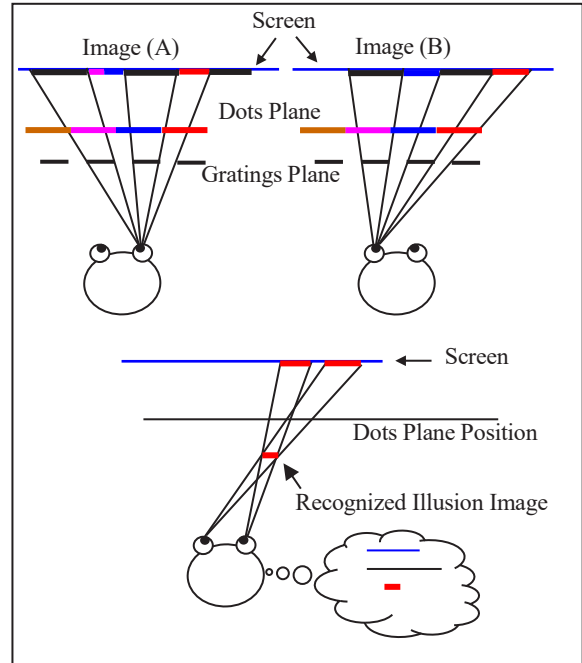


Fig.6 GDP Illusion(Overhead View)

## 2.2 GDP錯視における左右眼入力像

Fig.2のGDP錯視は、自然な両眼視、すなわち眼球操作を必要としない両眼立体錯視であるから、縦格子により、左右眼には同一視が容易に起こるような、異なった画像(A),(B)（それは、スクリーン（ドット平面に平行な別の平面）上のImage (A)、Image(B)と同等の画像）が入力されていると考えられる(Fig.6)。そして同一視された各ドットは、矛盾のない位置に認識され（Fig.6下：図では赤色のドットに注目している）、ドット平面全体として存在しない立体が認識される。

そうすると、左眼に入る画像（Fig.6 Image(B)）、右眼に入る画像（Fig.6 Image(A)）を平面のスクリーンに射影するという計算により構成し、それを交差法で見るように観察者に与えれば、GDP錯視像とほぼ同じ錯視像が3DSで得られると考えられる。平行法の場合には、縦格子面の手前にスクリーンを配置すれば全く同様にImage (A)、Image(B)が計算できる。

以上述べた、平面に描かれた画像とその同一視、各ドットの脳内での遠近感計算はあくまでも近似的であり、正確に脳内のデータ表現、脳内計算と一致するものではないし、個人差もある。したがって、今回この理論をもとに3DSにより得られる錯視像と元のGDP錯視像は「ほぼ等しい」とまでしか保証されない。

### 2.3 画像(A)(B)計算プログラムの設計と実装

2.2の考察をもとに、次のようなプログラムを設計し、パソコンに実装した。

まずFig.7のようにx,y,z座標系を設定し、

- ・ 観察者の左眼の位置座標( $exL, eyL, ezL$ )  
右眼の位置座標( $exR, eyR, ezR$ )
- ・ 縦格子面の大きさ(長方形とし縦横の長さを指定)
- ・ 縦格子の太さと透明部分の間隔 ( $m_1, m_2$ )
- ・ 縦格子面のxy平面とのなす角 $\theta_G$  (縦格子面は、各格子がx軸に垂直に、かつx軸に接するように設置するものとする)
- ・ ドット平面の大きさ(長方形とし縦横の長さを指定)
- ・ 各ドットの横の長さ ( $Sx$ )、縦の長さ ( $Sy$ )
- ・ ドット平面は、ドットをFig.2のように各行を一定のずらし量  $c$  ずつずらすことができるようにした。
- ・ ドット平面とxy平面とのなす角 $\theta_D$  (ドット平面の長方形の一边はx軸に平行に設置するものとする)
- ・ ドット平面 (長方形) の開始位置 $y_D$
- ・ 射影スクリーンの位置 $y_p$  (スクリーンは、xz平面に平行とする。)

等のパラメータを設定しプログラムを実行すると、3DS用の2つの画像が出力される。実行例をFig.8に示す。ドット平面の各ドットはプログラム実行のたびにランダムな色で染めることとしてある。

アルゴリズムは以下のとおりである。

**begin**

```

for 各ドット (小正方形) ∈ ドット平面 do
  begin
    col:=ランダムな色 ;
    ドットの4 端点の物理位置 $P_i(x[i],y[i],z[i])$ を計算
      ( $i=1,2,3,4$ ) ;
    右眼と $P_1, P_2, P_3, P_4$ を結ぶ直線と $y=y_p$ 平面との交点
      計算し、それを $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ とする;
    四角形 $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ をcolの色で(A)平面に描く ;
    左眼でも同様にして(B)平面に描く
  end;

```

**end**;

```

for 各縦格子 do

```

**begin**

```

  縦格子の長方形も上と同様に $y=y_p$ 平面に射影し
  黒色で(A)(B)平面に描く

```

**end**

**end.**

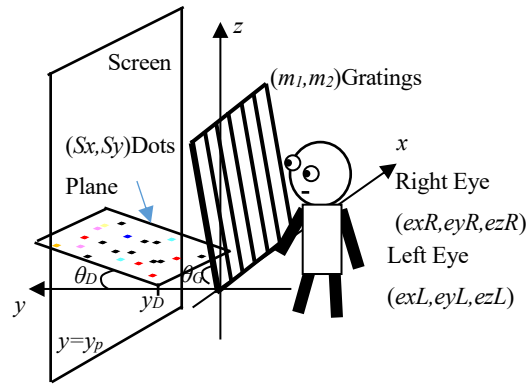


Fig.7 Main Parameters to be Input to the Program

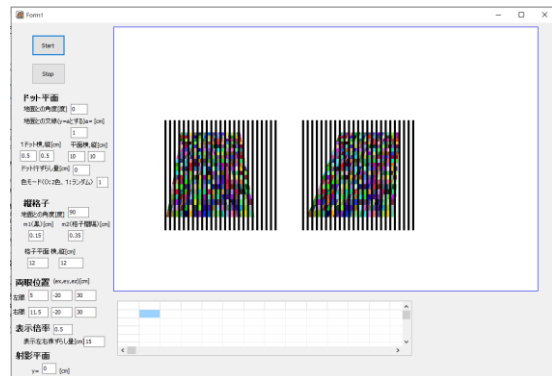


Fig.8 Execution Screen of Designed Program

( $y_D=1.0\text{cm}$ ,  $\theta_D=0$ 度,  $\theta_G=90$ 度, Rowgap  $c=0.0\text{cm}$ )

For PV (Parallel Viewing) )

例えば、 $y_D=1\text{cm}$ ,  $\theta_D=0$ 度,  $\theta_G=90$ 度とすると、縦格子と地面の立体視 (Fig.1) になるし、 $y_D \neq 0$ ,  $\theta_D=90$ 度,  $\theta_G=90$ 度としずらし量  $c \neq 0$  とすると縦格子と制御されたドット平面による立体視 (Fig.2) になる。Fig.8の例は  $y_D=1\text{cm}$ ,  $\theta_D=0$ ,  $\theta_G=90$ 度,  $c=0$  として、縦格子と地面による立体錯視で平行法 (PV) 用に画像を計算させたものである。

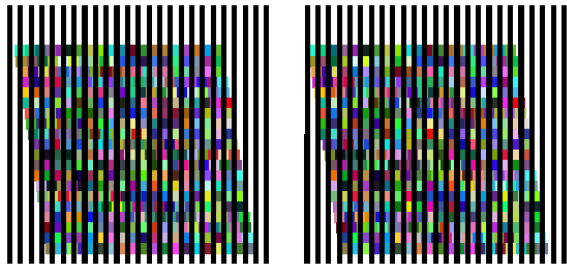
実際に、平行法でFig.8の画像を見ると実際の網戸を通して地面を見たように波状の錯視像が得られる。

またFig.9にいくつかの実行例 (表示された左右眼に入力する画像Image(A)、Image(B)のみ) を示す。

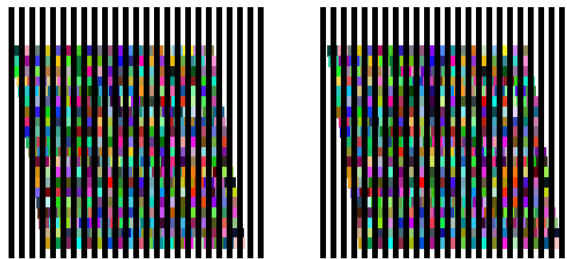
Fig.9は、Fig.2や付録のようにドット平面と縦格子面を平行に置き、ドット平面では、各行ともずらし量

(Gap  $c \rightarrow$  Fig.2) を持たせ、帯状立体の錯視像を得るものである ((1): 交差法用 (2) 平行法用)。2つとも3DSにより、同じような帯状立体が得られることがわかる。

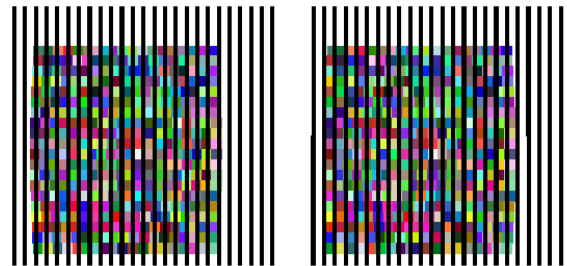
(3)は文献(5)の方法によりトーラス状立体の錯視像を得るために制御されたドット平面として、プログラムに計算させた結果である (交差法用)。実際に交差法で見るとトーラス状図形が認知できる。



(1)  $y_c=0.6\text{cm}$ ,  $\theta_b=90$  度,  $\theta_G=90$  度, Gap  $c=0.08\text{cm}$ (CV)



(2)  $y_c=0.6\text{cm}$ ,  $\theta_b=90$  度,  $\theta_G=90$  度, Gap  $c=0.08\text{cm}$ (PV)



(3)  $y_c=1.0\text{cm}$ ,  $\theta_b=90$  度,  $\theta_G=90$  度, Gap  $c=0\text{cm}$ (CV)

Each Dots are Moved to Left or Right, Proportional to the Distance From the Center of the Dots Plane  
Fig.9 Examples of Execution Result

### 3. 結言および今後の課題

GDP錯視像を、3DSにより得るための右眼入力像と左眼入力像を計算するプログラムを設計し実装した。従来知られている、波状立体、帯状立体、トーラス状立体の錯視像が実際に得られることが確認できた。

確認はO,K他4名の観察者で行い、例えばFig.9(1)では4本の水平の帯状立体が知覚できること、その位置がほぼ同じであること等をインタビューによって明らかにし、全員がほぼ同じ錯視像が得られていることが確認された。なおシミュレータ画像で縦格子なしとした場合GDP錯視像は得られないことも確認できた。

今後の課題として

- これらの3DSによる像はGDP立体視像の近似であるからこれらがどの程度誤差があるかを測定すること
- このプログラムをシミュレータとして活用し、ドット平面を制御し、ある程度自由に、簡単な文字や図形をGDP錯視像として得るための縦格子とドット平

面を設計すること、等があげられる。

### 参考文献

- 1) 内川恵二、塩入 諭 視覚II pp100-157 朝倉書店 (2007)
- 2) 大塩智規, 大槻正伸, 小泉康一 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 日本認知科学会第35回大会発表論文集 pp. 455-460(2018)
- 3) 大槻正伸, 中野良樹 縦格子を通したランダムドット平面の両眼視による波状立体面の出現 (2) -計算論的アプローチ-, 日本認知科学会第 17 回大会発表論文集 pp. 206-207(2000)
- 4) 大槻正伸, 中野良樹 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 -融合アルゴリズムの検討- 日本認知科学会第 18 回大会発表論文集 pp. 170-171(2001)
- 5) 大槻正伸, 中野良樹 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 pp. 306-307(2003)
- 6) 大槻正伸, 會田祐輔, 中野良樹 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 pp. 86-87(2004)
- 7) 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- 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 pp. 571-574 (2010)
- 8) 大槻 正伸, 小泉 康一, 中野 良樹 網戸と地面の立体錯視 日本基礎心理学会主催 錯視・錯聴コンテスト 2020 (第 12 回) <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/sakkon/sakkon2020.html> (2022 年 9 月現在)
- 9) 中野良樹, 大槻正伸 縦格子を通したランダムドット平面の両眼視による波状立体面の出現 (1) -心理物理学的アプローチ-, 日本認知科学会第 17 回大会発表論文集 pp. 206-207(2000)
- 10) 下条 信輔 視覚の冒険 pp.1-59 産業図書(1995)
- 11) 杉原 厚吉 立体イリュージョンの数理 p37-42 共立出版(2006)
- 12) CG STEREOGRAM 小学館 (1993)

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 1~2cm 程度離して縦格子面を配置し、50~100cm 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。

