

縦格子立体錯視のドット制御結果解析プログラムの開発 Development of a computer program for analysing the result of controlled dots of solid illusion by vertical gratings

大槻 正伸[†], 小泉 康一^{††}

Masanobu Ohtsuki, Koichi Koizumi

[†]福島工業高等専門学校 非常勤講師 ^{††}同電気電子システム工学科

National Institute of Technology, Fukushima College

gajway0712@gmail.com

概要

縦格子を通して、制御されたドット平面や地面を自然に両眼視すると、立体縞模様、トーラス、波打った地面などの立体錯視像が得られる。

本研究では、上記以外の図形を錯視像として得られるように、制御ドット平面を設計するための支援プログラムを設計した。さらにこれを用いて、いくつか今までに知られていない錯視像を得ることができた。

キーワード：縦格子立体錯視、3DS (3D ステレオグラム)、色立体視

1. はじめに

1 辺 R [cm] の小正方形 (ドットとよぶ) を、各行を下に行ほど右に多くずらしながら隙間なく配置した平面 (「ドット平面」) をまず用意する。さらに幅 m_1 の縦の帯を間隔 m_2 で周期的に多数配置した「縦格子群」を用意する (図 1 (左))。縦格子群を、ドット平面から 0.5 ~ 2[cm] 程度離して平行に配置し、縦格子群を通してドット平面を自然に両眼視すると帯状立体の錯視像が得られる (図 1 (右)) (大槻・中野, 2001)。図 1 では錯視像 (右図) の色や大きさを変えてある (錯視像では浮かび上がって知覚される領域 (青と紫) と、ドット平面位置に知覚される領域 (赤と白) を区別して表示してある)。

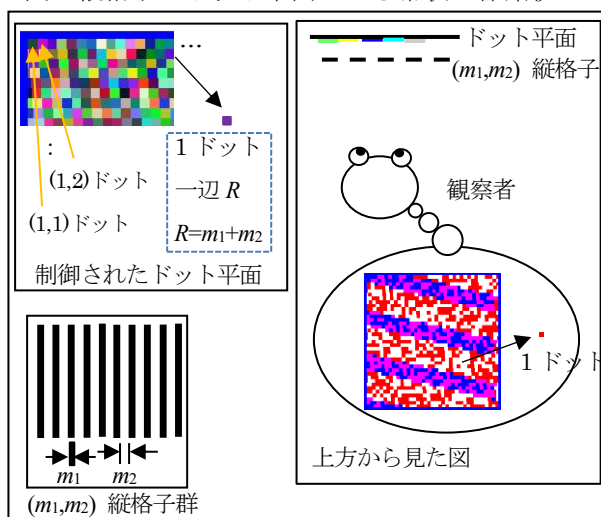
またドット平面のずらし方を変えると複数のトーラス状の錯視像が得られる (大槻・中野, 2003) (→付録)。

単眼視ではこれらの錯視像は得られないから、この錯視現象は、左右眼で得た画像情報から、何らかの脳内計算により生じる錯視現象である。

なお、両眼とも正常でありながらこの錯視が生じない人も数%いることが経験的に分かっている。

また、網戸 (の縦格子) を通して、地面を自然に両眼視すると、波打ったような立体錯視像が得られる (大槻他 2020)。この錯視を以下「GDP 錯視 (Illusion by Gratings and Dots Plane)」と呼ぶこととする。現在のところ、GDP 錯視により、帯状立体、トーラス以外のいろいろな図形を自由に錯視像として得られるほどにはドット平面の

図 1 縦格子とドット平面による帯状立体錯視



作り方, i.e. ドットの位置制御法は確立されていない。

そこで、今回の研究では、いろいろな図形を GDP 錯視像として得るためのドット位置制御方法を開発するための支援ツールの開発を目的とした。これは将来、絵本製作、モニュメント作成等への応用が期待できる。

この支援ツールのコンピュータプログラムは、ドット平面の作り方を各 (i 行, j 列) のドット (図 1 左上) に対してその標準位置からの左右ずらし幅を (i, j) の関数として指定し、縦格子のパラメータ (m_1, m_2 (図 1)), ドット平面位置, 縦格子群平面位置, 両眼位置等のパラメータを設定すると、ドット制御結果の GDP 錯視像を短時間で確認できるものである。確認は、

- (※ 1) ディスプレイに表示されたドット平面に対し、実際に縦格子群を通して両眼視をして実験する
 - (※ 2) 色立体視 (色立体視 (進出色・後退色) について, 2025 年現在) で近似錯視像を脳内に再構成する
 - (※ 3) 3D ステレオグラム (北岡, 2017, 下条, 1995) の要領で近似錯視像を脳内に再構成する
- という 3 つの方法で行うことができるものである。

そして今回は実際に、今までになされていなかったドット制御法により新しい GDP 錯視像を、単純なものではあるがいくつか得ることができた。

2. GDP 立体錯視像解析プログラムの設計

2.1 GDP 錯視の近似像の脳内再構成

GDP 立体錯視の生起する理由は次のように説明される(図2)(大槻・中野,2001). ドット平面の各ドットは、縦格子により一部が見えなくなるが、ドットのどの部分が見えるかは左眼と右眼によって異なる. 左右眼で認知される縦長の長方形が同一視され、特に左右眼で得た左端同士(図2左 A,C), および左右眼で得た右端同士(同 B,D) が同一視、融合され位置計算がなされる. 結果、このドットは実際のドット平面よりも手前に認知される(図2右 PQ). この位置計算が各ドットに対して行われ、手前に浮き上がって見えるドットが群をなすとその群が立体図形として認識される.

今回のプログラムでは、この位置計算を行い、手前に見えるドットと、もとのドット平面の位置近くに認識されるドットを色分けし、「色立体視」の像(大槻・小泉,2023(2論文), 色立体視(進出色・後退色)について,2025年現在)として表示する機能を持たせた.

正確には、認知される位置により何色か、あるいは色の濃さ等で色分けすべきであるが、色立体視の像により認知立体図形をわかりやすく表示することを優先し、閾値を設け、上述のように、閾値より手前に見えるか否かのための2段階の表示とした.

さらに、色立体視は個人差もあり、人によってはなかなか立体像が得にくい場合もあるため、3D ステレオグラムにより認知立体の近似像表示機能も持たせた.

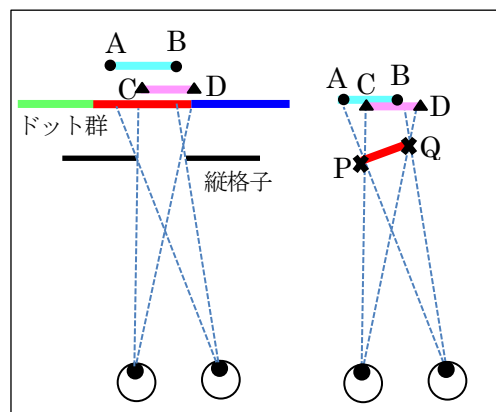
これは次のように設計した. まず左右眼の位置、ドット平面の位置、縦格子群の位置、各ドットの位置、各縦格子の位置のパラメータが決まれば、左右網膜像の近似像が決まる. この近似像は左右眼の前に仮想的に置いた平面への投影図として計算できる(大槻・小泉,2023(2論文)). この投影図を今回はステレオグラムの交差法で GDP 錯視近似像が得られるように、右(左)眼による投影像を左(右)に配置した. これをステレオグラムの方法(交差法)で見ると、GDP 錯視像の近似像が得られることになる.

2.2 解析プログラムの設計

今回の解析プログラムを次のように設計し、Windows10 を OS とするパソコン上の Delphi12 (→ Delphi について 2025 年現在) を用いてパソコンに実装した. 設計したプログラムの概略を示す.

図2 ドットの認知位置計算

(観察の様子を上から見た図) PQ が認知される像(実際には、まわりの認知ドット像などから P,Q の位置は平均化されて、図の PQ のように傾かずドット平面に平行なドットが認識され则认为られる)



【解析プログラムの構成】

<各種パラメータ設定>

- ・両眼位置、・ドット平面位置、・縦格子群位置
- ・ドット(小正方形)1辺の長さ R
- ・縦格子のパラメータ m_1, m_2
(R, m_1, m_2 は任意であるが、 $R = m_1 + m_2$ のとき様々な錯視像が得られやすい)

<ドット位置制御関数 $f(i,j)$ の設定> ($i, j = 1 \sim 40$ 程度)

$f(i,j)$ は i 行 j 列のドット(→図1(左上))を標準位置より左右にどれだけ移動するか関数

(標準位置: 各ドットをずらさずに敷き詰めた位置, i.e. ドット(i,j)の左上端点(x,y)),

$$(x,y) = ((j-1) \cdot R, y_{\max} - (i-1) \cdot R)$$

に配置するのを標準位置とする.

ここで $y_{\max}[\text{cm}]$ は表示画面の高さである)

<プログラム本体>

各種パラメータ、ドット位置制御関数により

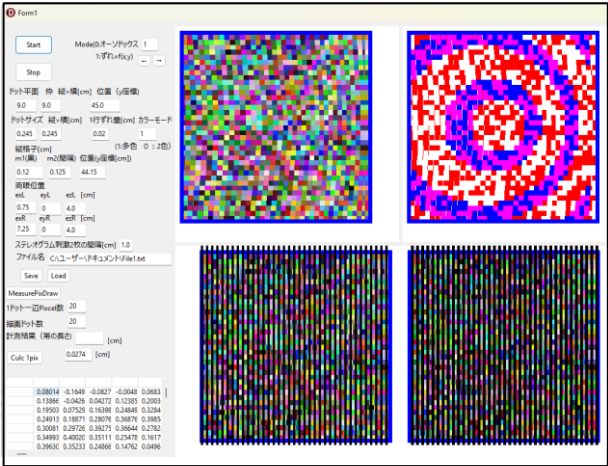
- (1) $f(i,j)$ により制御されたドット平面を表示
- (2) 色立体視による脳内近似像表示
- (3) ステレオグラム用の左右網膜像の近似像表示

【以上プログラム概略】

このプログラムの実行例を図3に示す.

図3 プログラム実行例

$f(i,j) = -\sqrt{((j-R-x_c)^2 + (i-R-y_c)^2)} * 0.05[\text{cm}]$
(x_c, y_c)は画面の中心点座標
中心から遠いドットほど左に多くずらした例
設定した主なパラメータは次の通り
 $m_1=0.12[\text{cm}]$, $m_2=0.125[\text{cm}]$, $R=0.245[\text{cm}]$
両眼幅=6.5[cm]
両眼面-ドット平面間距離=45[cm]
ドット平面-縦格子間距離=0.85[cm]



実際に、現実の空間の尺度と、コンピュータディスプレイ画面の尺度は一致するように設計されている。例えば、ドットの一边 R を 0.25[cm]と設定すると、実際にコンピュータ画面で一边 0.25[cm]のドットが表示されるようになっている。図3のような表示がなされれば、前述のように（＊1）（＊2）（＊3）（→1.）で錯視像が確認できる。そして、これらの像はほぼ一致していることも確認される。

2.3 いくつかの新しい錯視像

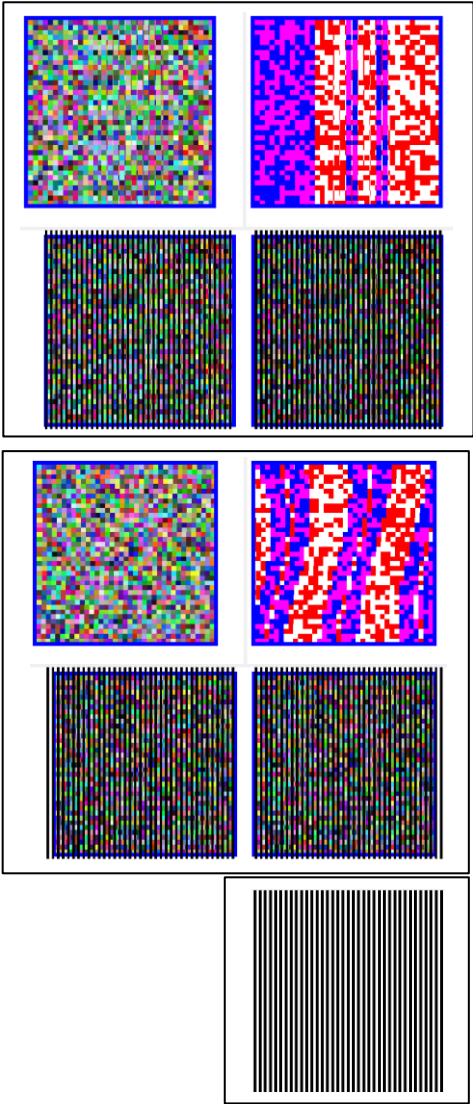
今回開発したシステムを用いて、いくつか新しいGDP 錯視像を見つけることができた（図4）。図4の主要なパラメータは図3と同じである。

3. 結論と今後の課題

GDP 錯視に関して、各ドットのずらし量を変化させたときの錯視像を簡単に調べられる、ドット制御結果解析プログラムを開発した。
これにより、今までに知られていない GDP 錯視像を得るドット制御法—ずらし方がいくつか見つかった。
従来は、
・実験用ドット平面作成、各ドットの認知位置の

図4 いくつかの新しい GDP 錯視像

(上) $f(i,j)=(j-1)*R+0.05*d$
ここで $d=(dn/3 < j < dn*3/4)$ のとき j
それ以外のとき 0
 dn : 画面全体の横ドット数=37
(中) $f(i,j)=(j-1)*R+0.05*\sin(0.05*(j+2*i))$
ドット平面-縦格子間距離=2.85[cm]
(下) 縦格子群（これを OHP シート等にコピーし、左上のドット平面から数 mm 離して設置することにより,GDP 錯視の実験ができる。ただしこれは小さく、やや見にくいいため最終ページに付録（図3の拡大図）も用意した）



計算,色分け表示プログラムが個別に開発されていた。
今回は、脳内再構成法を取り込み統合し、
・新たにずらし方 f を一般的に記述可能とし、 f に対する錯視像を手軽に調べられる柔軟なシステムを開発したことが新しい点である。

今後の課題として次があげられる.

- (1) DGP 錯視像と色立体視による近似像, ステレオグラムによる近似像の誤差を精密に測定すること
- (2) 新しいGDP 錯視像を得るいろいろなずらし方を見つけること
- (3) 先にGDP錯視像を与えて, それを実際に得るためのずらし方を求めるプログラムを開発すること

文献

北岡明佳(2017), 錯視の科学, 日刊工業新聞社, 88-90

大槻正伸, 中野良樹(2001), 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, 170—171

大槻正伸, 中野良樹(2003), 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, 306—307

大槻 正伸, 小泉 康一, 中野 良樹(2020), 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) 入賞作品 <http://www.psy.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/sakkon/sakon2020.html> (2025 年 7 月現在)

大槻 正伸, 小泉 康一(2023), 縦格子立体錯視像の 3D ステレオグラムによる再構成, 福島高専研究紀要 第63号, 6-11

大槻 正伸, 小泉 康一 (2023), 縦格子により立体錯視像に対する 2つの脳内再構成法, 日本認知科学会第 40 回大会発表論文集, 205-208

下条信輔, 視覚の冒険(1995), 産業図書, 1—59

Delphi について <https://www.embarcadero.com/jp/products/delphi> (2025年7月現在)

色立体視 (進出色・後退色) について <https://www.ritsumei.ac.jp/~akitaoka/scolor.html> (2025 年 7 月現在)

付録 GDP 錯視刺激 (図 3 の拡大図) 右下の縦格子を OHP シート等に印刷し, 0.5[cm]程度離れた縦格子を通して左上のドット平面を両眼視するとトーラス図形が認知できる. これは図 (下) 左 2 つからステレオグラム (交差法) の要領で得られる像、右上図の色立体視像とほぼ同じであることが確認できる.

