

ヘルマン格子錯視に関する盲点の動的移動

西 山 豊

要旨

ヘルマンは1870年に格子錯視を発見したが、その理由は150余年たっても未だに謎だ。バウムガルトナーは1960年に神経細胞の受容野で錯視の仮説を提唱したが、ガイエルは2008年にその反例を示した。スピルマンは1994年にヘルマン錯視を改良したきらめき錯視を考案した。筆者は盲点（視神経乳頭）による仮説で格子錯視の解明に大きく寄与できると考える。

AMS Subject Classification: 92C20, 00A79

キーワード: ヘルマン格子錯視, きらめき格子錯視, 受容野, 側抑制, 盲点, 視神経乳頭

1. ヘルマン格子錯視

ドイツの生理学者ルディマール・ヘルマン（1838-1914）は、1870年に格子錯視を発見した¹⁾。彼は物理学者ジョン・ティンダル（1820-1893）の講義録（ドイツ語訳）を読んでいるときに、169ページの音に関する図を見て気づいた²⁾。その図は、黒い正方形が縦8行横5列の40個が整然と並び、それぞれの黒い正方形の上には音の振動を表す「クラドニ図形」が描かれていた。ヘルマンは、その黒い正方形の配列の間に生まれる白い格子の交差点に、薄暗い影が見えることに気づいた。しかし、そのような影は実際には印刷されていなかった。ヘルマンは音ではなく錯視に興味を持ったところが面白い。

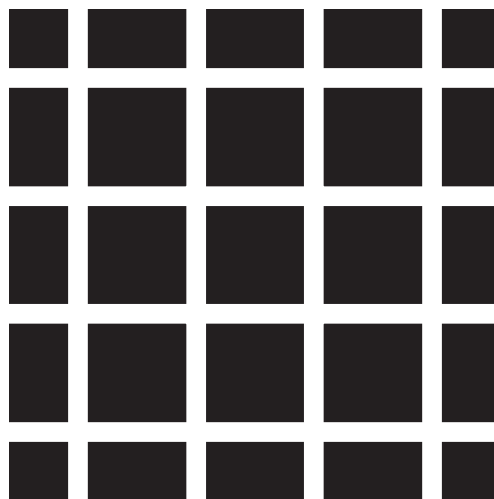


図1 ヘルマン錯視（1870）

図1の中心に視線を向けつつ、その周辺の交差点に目を向けると薄ぼんやりと黒っぽい影が見える。その影を見ようとして追いかけると影は消える。このような影は、実際には存在しない。

2. バウムガルトナーの側抑制とその反例

ヘルマン格子錯視の一般的な説明は、「中心-周辺型」の神経細胞が関与しているというバウムガルトナーの説である³⁾。図2のように神経細胞の受容野を交差点と道と比較している。交差点の周りには垂直、水平方向に白い領域があるが、道の周りには白い領域は垂直か水平のどちらかである。つまり、交差点の周りのほうが道の周りよりも明るい。プラスは明るい光、マイナスは暗い光を表す。

この二つの「中心-周辺型」の神経細胞からの応答は異なっていることが予測される。つまり、交差点の中心への応答が、道の中心への応答よりも弱まると考えられる。前者では、周辺がさほど暗くないことにより、神経細胞の出力が抑えられるからだ。これは神経細胞の側抑制（そくよくせい）と呼ばれている。そのため、交差点の中心はほかの道の部分より暗く見えるというわけだ。

ところで、見つめている交差点では黒い影はあらわれない。それは、見つめている点、すなわち視野の中心では、神経細胞の受容野がとても小さいため、交差点の中心と道の中心では神経細胞の応答に差がでないからだ、と考えられている。

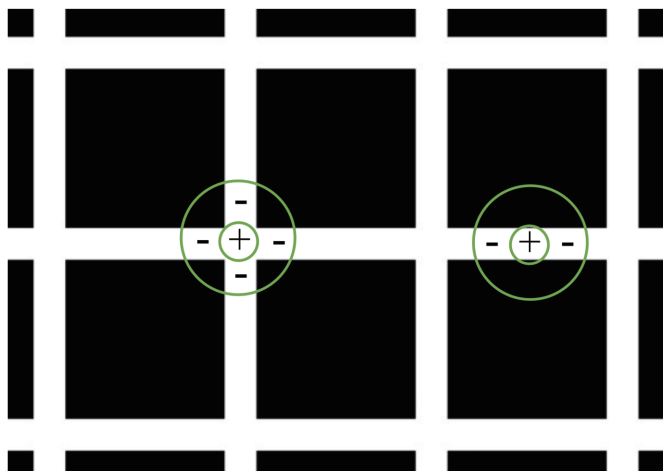


図2 バウムガルトナーの受容野 (1960)

しかし、神経細胞の側抑制では説明できない現象も複数発見されている。たとえば、ガイエルのパターンのように、ヘルマン格子錯視に対して道を歪めると交差点に影は見えない(図3)⁴⁾⁵⁾。これはバウムガルトナーの「中心-周辺型の神経細胞」による仮説では説明できず、別のメカニズムが働いていることを示唆している。

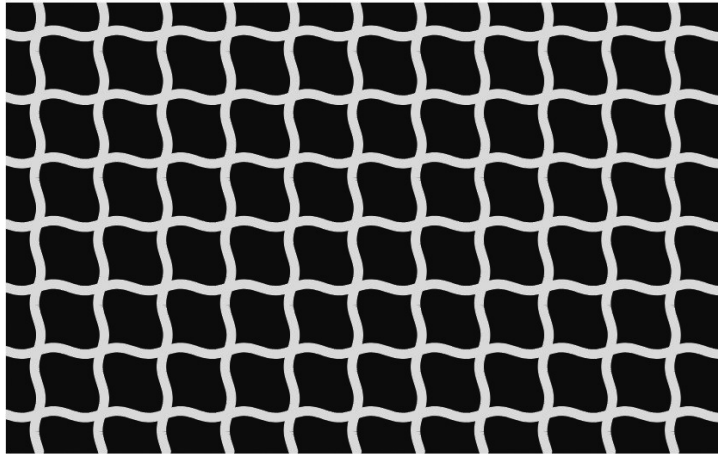


図3 ガイエルの反例 (2008)

3. スピルマンのきらめき格子錯視

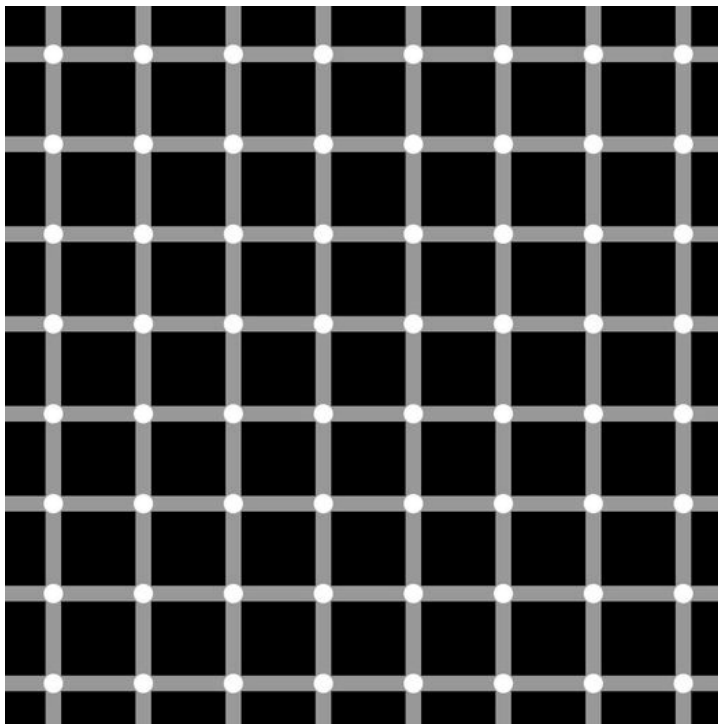


図4 スピルマンのきらめき格子錯視 (1994)

スピルマン（1994）は、ヘルマン格子錯視を改良し、より鮮明な錯視が見えるようにした⁶⁾。図4のように、道路を灰色にし、交差点を白丸とするだけで、錯視の効果が顕著であり「ヘルマン格子錯視」に対して「きらめき格子錯視」と呼ばれている。以後、この図で錯視の理由を考えてみよう。

交差点の白丸は横に8個、縦に8個の合計64個が等間隔で並んでいる。図4の中央に視線を向け、周りの白丸をぼんやりと眺めると黒色になっている。黒丸の方に視点を移動すると白丸に変化し、まるで黒丸が点滅しているようである。黒丸ではなく、白丸の中に直径が小さい黒い点のようにも感じる。点滅する黒点は正方形の地の黒とも違い、ブラックホールのように感じた。錯視は片目でも確認できるが、両目の方がより鮮明である。図形を何パターンか作り、いろいろ実験する中で、私はひとつの仮説を思いついた。それはこの論考の主テーマである。

4. 格子錯視の最小モデル

図4の全体、64個の白丸全部を見ていると不思議を感じるだけで理由がわからず疲れるだけだ。そこで私は、図4から横一行または縦一列の8個を取り出して観察することにした（図5、図6）。

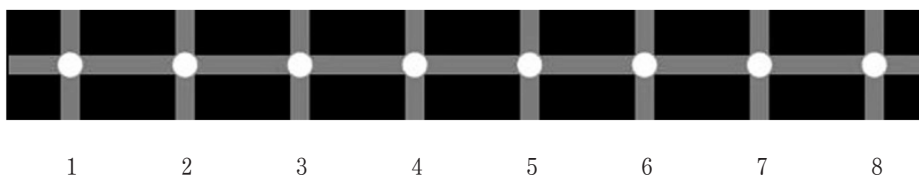


図5 横一行格子モデル（8個）

図5で視点を左右に移動させると、白丸が黒点に変わり点滅する。白丸は8個が横に並んでいるが、説明のために1から8の番号を左からつけておく。両目で4または5の中央の白丸に視線を向ける。すると3と6は白丸に見えるが、両端の1と2、7と8が黒点となり点滅する。黒点を追って1や2に視点を移動すると、1や2は白丸に変わるが4と5あたりが黒点に点滅する。同様に7や8に視点を移動すると4や5あたりが点滅する。

図6で視点を上下に移動させても、ほとんど白丸が黒点に変わらない。ただし、左右両目の視点が左右にゆれないよう慎重に上から下まで視点をずらすこと。



図6 縦一列格子モデル（8個）

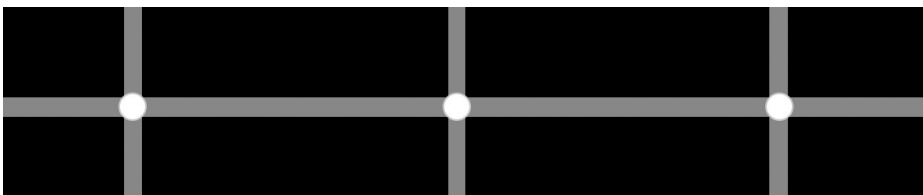


図7 格子錯視の最小モデル（3個）

以上より，ヘルマン格子錯視もスピルマンのきらめき格子錯視も，理由を考えるには2次元平面でなく1次元で再現できたことになる。私は，図5の横一行8個のモデルをさらに数を少なくした図7のような最小モデルを考えた。白丸は3個である。図5では白丸が8個でその図を拡大して切り取ると灰色の道の幅と交差点の白丸が大きくなるので，道の幅と白丸を調整した。

両目で中央の白丸に視点を向けると，左右の白丸は黒点が点滅する。これは視点が左右に微妙にゆれているためだ。左端の白丸に視点を移動すると右側の2つの白丸は黒点で点

滅し、右端の白丸に視点を移動すると左側の2つの白丸は黒点で点滅する。図7の最小モデルで錯視を何度か確認する中で、私は錯視の理由がヒトの盲点に関係しているのではないかと考えた。

5. 盲点の動的移動



図8 盲点の実験

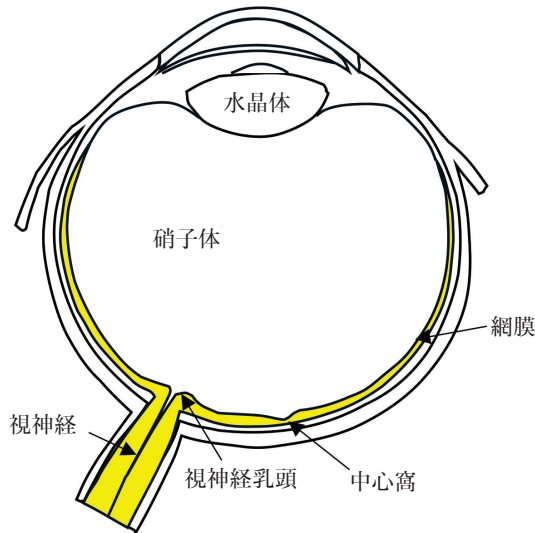
盲点の実験をしてみよう。十字と黒丸の間隔が10cm くらいに印刷しておく(図8)。パソコン画面にこの画像を映した状態でも体験できる。

1. 印刷した紙を手を持ち、紙の中央を眉間あたりに持ってくる。
2. 左眼を閉じて、右眼で十字を見る。
3. 右眼で十字を見たまま、紙の位置を固定し、頭を前後に動かし、黒丸が消える位置を探す。ちょうど黒丸が消えたとき、黒丸が右眼の盲点の位置に投影された状態になる。個人差もあるが、目と紙の距離が25~30cm のとき盲点を確認できる。

ヒトは目に入った光を網膜にある視細胞で電気信号に変換し、それを脳で処理することで最終的な知覚を得る。その情報は視神経を通して脳に送られるため、視神経の出口である視神経乳頭(optic disk)には視細胞がなく、光を感じるができない。この視神経乳頭を「盲点」と呼び、発見者である17世紀のフランスの物理学者マリオット(1620-1684)にちなんでマリオット暗点と呼ぶ。

人間の眼の模式図を図9に示す。これは右眼を上空から見た水平断面図である。左が鼻側で、右が耳側である。光は水晶体、硝子体を通して網膜に映される。水晶体が凸レンズであるので網膜では風景が反転している。中心窩は下部にある。視神経乳頭(盲点)は中心窩の左側、鼻側にある。

鼻側



耳側

図9 右眼（横断面図）

図10 視神経乳頭（盲点）⁸⁾

図10はヒトの眼底写真である（Wikipedia「盲点」より）⁸⁾。白い円形の部分が視神経乳頭（盲点）である。直径は約0.7mm。写真では網膜中心動脈が視神経乳頭から網膜の各部位に広がっている様子が分かる。中央に黒っぽく映っている部分は中心窩である。

盲点は網膜の中央に位置する中心窩（ちゅうしんか）から鼻側に約15度（5mm）ずれている。視角にして約5度で、長軸が垂直方向にある円に近い楕円形の形状をしている。5度とは1m離れたところにある直径8cmの円に相当する。マリOTTは盲点の大きさを最初に測定した人と言われている。対象物の大きさと目からの距離の比は1/9から1/10としている⁷⁾。これは大きさを2cmとすると明視距離は18cmから20cmになる。

盲点は左右両眼に1個ずつある。外界のある1点からの光が同時に両方の眼の盲点に入ることはない。両眼で見ているときには、盲点に対応する対象は反対の眼で見ることができるので、普段私たちは盲点に気づくことはない。

格子錯視の最小モデル（図7）に左右両眼の盲点を重ねて、錯視が起こる理由を考えてみよう（図11）。

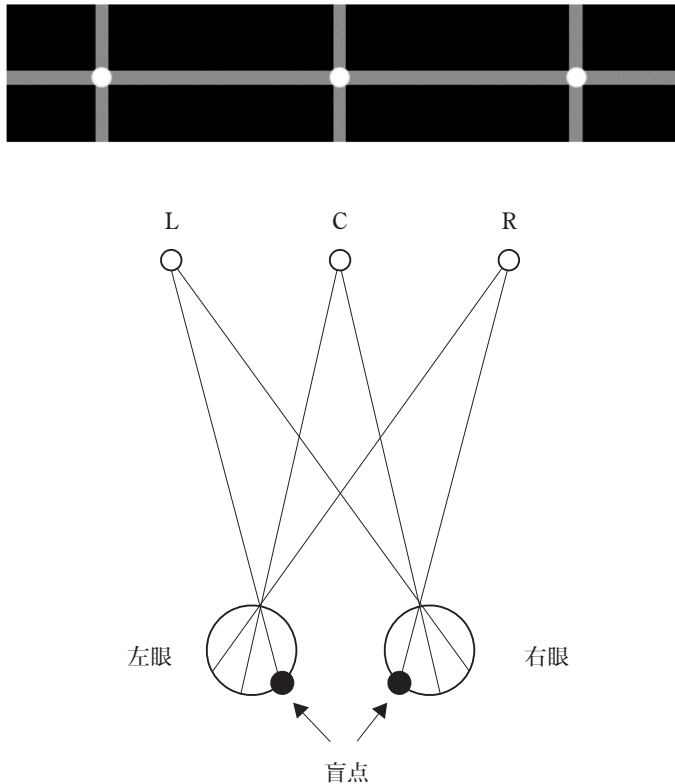


図11 左右両眼の盲点

盲点（視神経乳頭）は左右両眼にある。右眼の盲点は中心窩より左側に、左眼の盲点は中心窩より右側にある。つまり耳側でなく鼻側ということだ。

白丸が3個並んでいる。左、中央、右をL, C, Rとする。

1. 左右両眼で中央の白丸Cを注視しているときは、盲点に影響されず白丸として見える。
2. 右眼で左の白丸Lを注視したとき、左の白丸Lは白丸として見えるが、右の白丸Rは盲点になるため黒点となる。
3. 左眼で右の白丸Rを注視したとき、右の白丸Rは白丸として見えるが、左の白丸Lは盲点になるため黒点となる。

ヒトは左右両眼で上記3つの動作を同時に刻々と行っている。視線はたえず動的に移動

する。視点が移動するたびに盲点もそれにつられて動的に移動するので、それがヘルマン格子錯視になっていると思われる。

参考文献

- 1) L. Hermann, Eine Erscheinung simultanen Contrastes, *Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere*, **3**, 13-15, 1870.
- 2) von John Tyndall. Hrsg. durch H. Helmholtz u. G. Wiedemann, Der Schall: acht Vorlesungen gehalten in der Royal Institution von Großbritannien, Tyndall, John: Sound, p. 169, 1869.
<https://www.digitale-sammlungen.de/en/details/bsb11018530>
- 3) G. Baumgartner, Indirekte Größenbestimmung der rezeptiven Felder der Retina beim Menschen mittels der Hermannschen Gittertäuschung, *Pflügers Arch ges Physiol*, **272**: 21-22, 1960.
- 4) J. Geier, L. Bernath, M. Hudak, L. Sera, Straightness as the main factor of the Hermann grid illusion, *Perception*, **37**, 651-665, 2008.
- 5) M. Bach, Die Hermann-Gitter-Täuschung: Lehrbucherklärung widerlegt, *Der Ophthalmologe*, **106**, 913-917, 2009.
- 6) L. Spillmann, The Hermann grid illusion: a tool for studying human perceptive field organization, *Perception*, **23**, 691-708, 1994.
- 7) A. Grzybowski, History of Ophthalmology, Edme Mariotte (1620-1684): Pioneer of Neurophysiology, *Survey of Ophthalmology*, **52**(4), 443-51, 2007.
- 8) Wikipedia, 盲点,
<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%9B%B2%E7%82%B9>

(上記 URL の最終閲覧日：2024年 7 月 3 日)