

2012 年度 卒業研究
錯覚とハイブリッド画像について

岡山理科大学
総合情報学部
情報科学科

澤見研究室

1091008 岡田 裕斗

目次

1. はじめに.....	1
2. 錯覚とは.....	2
3. 錯視の原因.....	2
4. ぼやけた画像の構造描写について.....	3
5. 文字画像の構造描写について.....	4
5.1. アルファベットの場合.....	4
5.2. 数字と簡略化文字の場合.....	5
6. ハイブリッド画像とは.....	7
7. 空間周波数.....	8
8. 高周波成分および低周波成分のグラフの波長と格子模様.....	9
8.1. 低周波成分の場合.....	9
8.2. 高周波成分の場合.....	10
8.3. 高周波成分と低周波成分を混ぜた場合.....	11
8.4. 高周波成分の割合の方が強い場合.....	12
8.5. 低周波成分の割合の方が強い場合.....	13
8.6. 輝度値による明暗の評価と格子模様の作成について.....	14
8.6.1. 格子模様生成用 HTML ファイル.....	15
9. ハイブリッド画像の格子刺激の対比の評価.....	15
10. 格子の対比閾値.....	16
11. まとめ.....	17
12. 今後の課題.....	17
13. 謝辞.....	17
参考文献.....	18
付録 ハイブリッド画像以外の錯視図形.....	19
付録 1.1. ルビンの壺.....	19
付録 1.2. ポッケンドルフ錯視.....	20
付録 1.3. 運動誘発盲.....	20

1. はじめに

日常生活を送っていく中でしばしば何かしら“間違い”を犯しながら生活をしている。このような“間違い”の中でも、人間の視覚に訴え、見方によって二通りの解釈ができる画像がある。このような二通りの解釈ができる性質を持つ錯視画像および現象に興味を持っていた。

錯視現象を引き起こす図形や画像は、主に 1800 年代から 1900 年代にかけて多く発見されている。その中でも、二通りの見え方ができるハイブリッド画像というものに注目した。ハイブリッド画像が初めて発表され世の中に知れ渡ったのは 2007 年であり、他の錯視図形や画像に比べはるかに新しい画像である。そこで、最初によく知られている錯覚現象はどのようなものなのかや錯視の原因について調べ、次にハイブリッド画像についてその性質を詳しく調べるために各種格子模様を作成し、比較検討をした。

ハイブリッド画像は、周波数成分の割合が異なる画像の組み合わせであり、ハイブリッド画像に関係した格子模様は、高周波成分が主の画像と低周波成分が主の画像の組み合わせで作られる画像とみなすことができる。この空間周波数成分を組み合わせるため、フーリエ級数展開を利用し、高周波成分のおよび低周波成分の比率を変えたグラフと格子模様を作成した。これにより、高周波成分が主の画像のグラフはどういったものでどんな格子模様になるのか、反対に低周波成分が主の画像のグラフの形はどのようになっているか格子模様はどのようになっているのかを具体的に検証できるようにし、明暗の変化に対応する輝度値と目視によって評価した。そして、それらの結果に基づき、遠くから見た場合に明瞭に見える低周波成分の強い(ぼやけた)画像と、近くから見た場合に明瞭に見える高周波成分の強い(輪郭を抽出した)画像を組み合わせたハイブリッド画像を作成し、目視による検証を行った。また併せて、錯視とは一般的に何なのか、錯視の原因など基本的なことも調べたので報告する。

2. 錯覚とは

錯覚は、人間の脳が対象物を知覚して認識する過程において、脳が対象物を間違って解釈してしまうために生じる。この認識と知覚の相違が錯覚と呼ばれている。ここでは一般的によく知られている錯視の仕組みを説明する。

人間は様々な感覚器官を持っており、そこから視覚、聴覚、触覚、味覚、臭覚などの刺激を感じ、それを信号にして脳に送っている(図1)。脳はその信号を受け取ることで対象物を知覚する。脳はその信号(光、音、振動、味、匂い)を解釈することで対象物を認識する。この中で、視覚に関する錯覚のことを錯覚という。このような原因による錯視について簡単に示すと以下のようなになる(図1) [1, 2].



図1 錯覚の起こり方

3. 錯視の原因

人間の錯覚の原因には、欠けてしまった文字列を的確に認識するために、欠けている情報の部分に自分なりに情報を補うことがあげられる。情報の欠けている文字列(図2)のままだと文字の形を作っている青い線が途切れてしまっていて、このままだと何の文字列なのか分からないが欠けている部分を赤い丸で補った例(図3)では、途切れた部分が赤い丸によって青い線の一部になっているように見える(図3の赤い丸)。これは、人間は自分なりに補った情報と欠けている情報の中でも、認識できる部分の両方を組み合わせて自分なりに頭の中で対象物の意味を予想して復元しており、その復元の処理の際に間違っただ復元をすることで錯視は発生するためである。

しかし対象物の意味を推測して復元する過程において、間違っただ復元をしてしまうと、人間の頭の中で考えている推測した情報と実際の対象物の情報との間にずれが発生してしまう。そのずれた状態(図2の文字列)での対象物の意味を、正しい情報として認識してしまうと錯覚という現象が起こる。尚、ここで説明したことが錯視原因のすべてではない[3, 4].

例えば、欠けている情報のままでは何と書いているのかわからないが、補うことによってこの文字列は英単語“ORANGE”を読み取ることができる(図3).



図2 情報の欠けている文字列



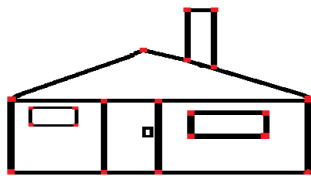
図3 欠けている部分を補った例

4. ぼやけた画像の構造描写について

普通の画像とは違う輪郭がぼやけた画像を見る場合にどのように認識しているかという、普通の対象物の画像を抽象化した基本的な構造を頭の中で想像し、特徴を捉えていると考えられている。

ぼやけた画像を、ある程度まで認識するためには、まず頭の中で対象物を細かい点に分けてその点と点をつなぐことによって、対象物のおおよその輪郭をつかむ必要がある(図3(a)の赤い点)。

対象物の輪郭は、その点の位置や方向や長さなどによって変化する(図3(b))。しかしながら画像をぼかし過ぎてしまえば、対象物の骨組みに関する情報が拾えなくなることから、何の対象物の画像なのかわからなくなってしまう(図3(c)) [5]。



(a) 頂点を点にした画像



(b) 画像をぼかした画像



(c) ぼかし過ぎた画像

図3 ぼやけた画像の構造

5. 文字画像の構造描写について

日常生活の中では、車や家などの物体の他に文字や数字など2次元の対象物もあふれている。この章では、そういった2次元の対象物の構造描写について説明する。

5.1. アルファベットの場合

同じ意味を有した二つ以上の対象物があった場合に、私たちがどのようにしてその対象物を同じ意味の対象物だと認識することができる理由の一つとして、それらの対象物に共通した構造や色などが挙げられる。以下に画像を用いて説明する(図4) [2, 5].



図4 さまざまなアルファベットの例

ここにアルファベットの大文字「A, B」小文字「b」がある(図4)。アルファベットそのものの字の象徴となる構造はどこなのか頭の中で明確化しており、それに基づいて文字を認識しているため、このアルファベット”A”または”B”または”b”を認識するのはそれほど難しくないと考えられる[5].

ここでいうAの象徴となる構造には、以下が考えられる。

- ① 一つの頂点を境に直線が鋭角に折れ曲がっていること、直線の長さは左右対称にすること
- ② 折れ曲がった直線の中点となるところからもう一方の直線の中点に向けて平行な横線を引くこと
- ③ 頂点の平行な線の間は三角形になっていること

次にアルファベットの「B」の特徴の例として以下のものが考えられる。

- ①直線の端から直線の中点に向かって曲線を描く
- ②次に、その中点からもう一方の直線の端に向かって同じ割合で曲線を引く

尚、アルファベット小文字「b」の特徴から、音楽記号のフラットを描くようにするときれいになる。

これにより、日常生活で多く見てきたアルファベットの構造と、現在認識しようとしているアルファベットの象徴となる構造と一致するかどうかを見極めているようである。

5.2. 数字と簡略化文字の場合

数字と簡略化文字の場合は、次に示す(図 4.1)のように一般によく利用されているような数字やオーソドックスな文字とは少し違った、特徴的な数字や電卓などで使用されている数字のようなさまざまな構造をもった数字が存在する。かな文字や漢字の場合は、一部分をつなげて書くとか、漢字の偏や造りを簡略化して書く場合などがある。

これらは、アルファベットと同様に、基本的な漢字やかな文字や数字の構造が私たちの日常生活の中で抽象化され記憶されているため、これらの文字の一部が他のものより少し違っていただけからといって、人間はたいいていの場合には、意味を誤認することはないと考えられる。

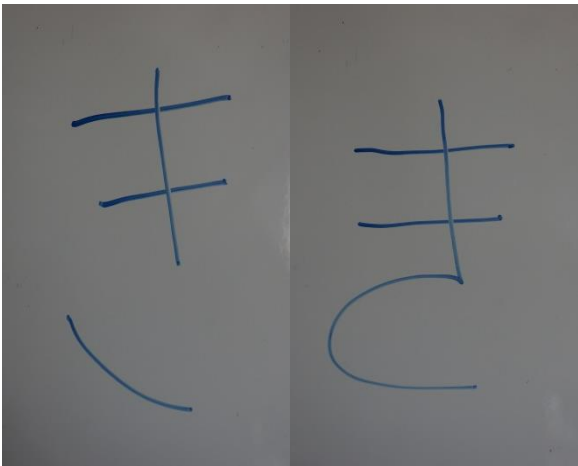
一部の例外としては、その人が文字や数字を書くときの日常的な癖が強くて、本人と相手との間で解釈の相違が生じ、相手に対して正確な文字情報が伝わらなくなる文字が考えられる。その原因としては、以下のことが考えられる。

- ① 仕事で相手の話のメモを取らなければならない場合文字を簡略化してしまうこと
- ② 書く文字を複数回間違えてしまい、消しゴムなどで消す場合に用紙が黒くなってしまい文字が読み取りづらくなってしまうこと

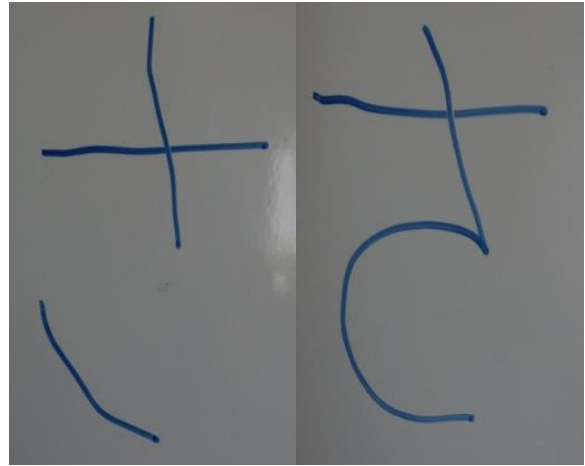
アルファベットや数字や漢字などの2次元の対象物は、対象物の構造の違いによって対象物は何なのか知覚し意味を認識しているようである。このような対象物のおおまかな構造というのは、私たちが日常生活を送っていく中で無意識的に脳の中に記憶として蓄積されている。

よって、常に対象物の構造を考慮し、記憶として残っている対象物の構造の特徴と現在知覚している対象物の特徴を比較しなくてもその対象物が何なのかある程度は認識できる[5]。

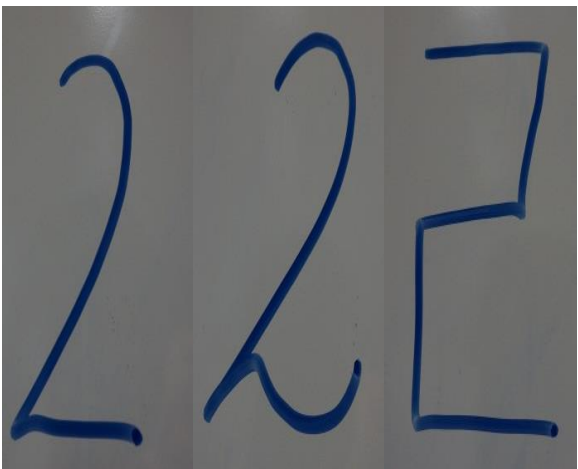
次に手書きによる文字とその特徴について簡単に説明する。



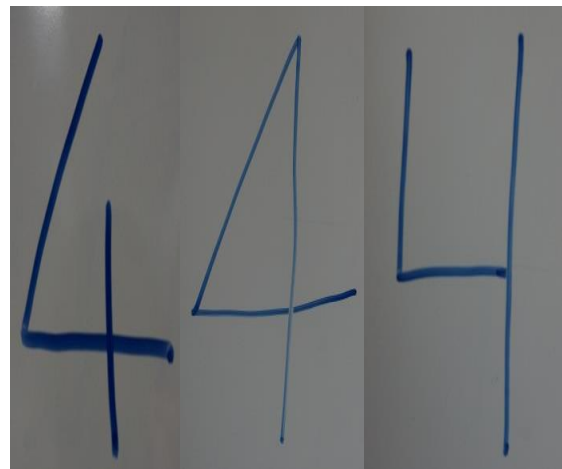
(a) 手書きのかな文字 “き”



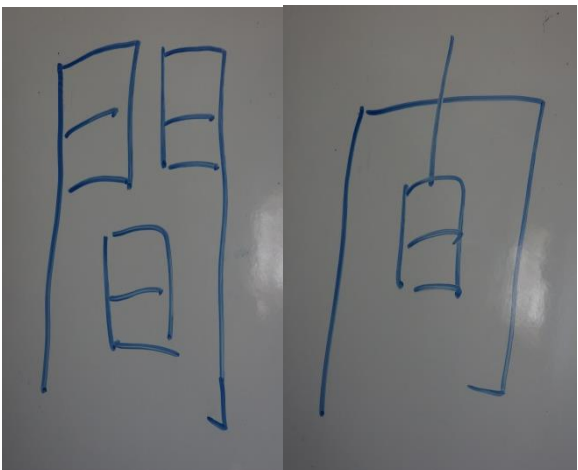
(b) 手書きのかな文字 “さ”



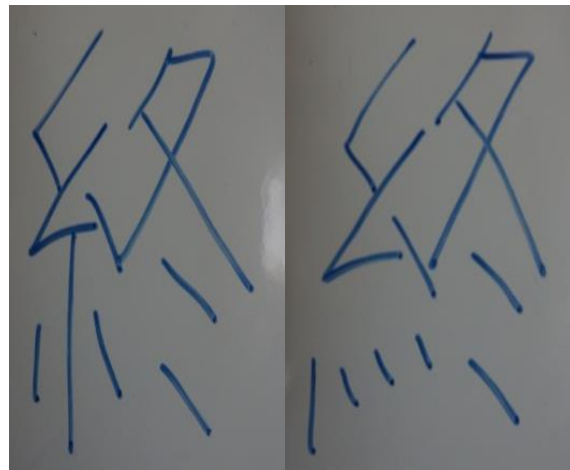
(c) 手書きの数字 “2”



(d) 手書きの数字 “4”



(e) 手書きの漢字 “間”



(f) 手書きの漢字 “終”

図 4.1 さまざまな特徴を持った数字やかな文字や漢字

かな文字の“さ”や“き”などの文字(図 4.1(a), (b))は、違いとしては最後の 4 画目のところを 3 画目とつなげて書く場合と離して書くかの違いだけなのでこれだけでは意味を間違えない。数字の“2”と“4”の場合も同様に、“2”の最後の直線を直線で書くか、“4”の縦の直線をつなげて書くか話して書くかの違いだけである(図 4.1(c), (d))。

しかし、漢字の“間”や“終”など(図 4.1(e), (f))は、漢字の偏の造りの形が正しい漢字の偏の造りと全く違う形になっているため、このままでは人によっては何の漢字なのか分からず意味を誤認してしまう可能性がある。このような特徴をとらえて、文字として認識しているものと考えられる。

次の節では、認識の仕方が文字とは異なるハイブリッド画像について説明する。

6. ハイブリッド画像とは

ハイブリッド画像(Hybrid Image)とは、二つ以上の異なった画像を組み合わせた画像のことであり、ハイブリッド画像は、画像を遠くから見るか近くから見るかによって二種類の画像として見える。すなわち、二つの画像を区別している特徴は、遠くから見たか、近くから見たかという見え方の差異である。

ハイブリッド画像には、空間周波数の高低が関係しており、高周波成分および低周波成分を主とした画像を組み合わせたものがある。空間周波数の高い成分が多ければ輪郭がはっきりわかる画像(例えば図 5(d))になり、空間周波数の低い成分が多いとぼやけた画像(図 5(b))になる。ハイブリッド画像を近くから見た場合は高周波の画像が見えて遠くから見た場合は低周波の画像が見える。また、低周波の画像が見えているときは高周波の画像が見えなくなる[6, 7, 8]。



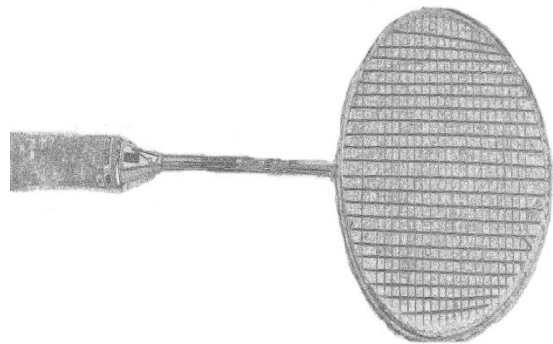
(a)元の画像(コンピュータ)



(b)ぼやけた画像



(c)元画像(ラケット)



(d)輪郭を抽出した画像

図 5 ぼやけた画像と輪郭を抽出した画像の例

ぼやけた画像(図 5(b))と輪郭を抽出した画像(図 5(d))を用いて実際に制作したハイブリッド画像を以下に示す(図 5(e)).



図 5(e) ぼやけた画像(5(b))と輪郭を抽出した画像(5(d))を用いて制作したハイブリッド画像

7. 空間周波数

空間周波数とは、一周期または単位長あたりに存在する正弦波(格子)の数のことである。空間周波数 k に関しては一般的には、フーリエ級数展開として式で表すことができる[9, 10].

$$f(x) = \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos \frac{2\pi kx}{T} + b_k \sin \frac{2\pi kx}{T} \quad (1)$$

ここで、 T は周期を表しており、以降の計算においては0から360度を一周期にしている。変数 k は周波数であり、 a_k および b_k は周波数 k に関するフーリエ係数であり、それぞれ偶対称および奇対称成分を表している。

画像の低周波成分と高周波成分の二つのみに注目すると、上式を直流成分と二つの周波数成分を用いて書き表すことができる。尚、 a_k と b_k および a_l と b_l はフーリエ係数、 a_0 は直流成分である。

$$f(x) = \frac{a_0}{2} + a_k \cos \frac{2\pi kx}{T} + b_k \sin \frac{2\pi kx}{T} + a_l \cos \frac{2\pi lx}{T} + b_l \sin \frac{2\pi lx}{T} \quad (2)$$

値 $\sqrt{a_k^2 + b_k^2} + \sqrt{a_l^2 + b_l^2}$ は周波数 k と l に関するスペクトル強度すなわち、輝度の強さの合計を表しており、直流成分 $\frac{a_0}{2}$ をこの値にして、 $f(x)$ の値が正になるようにしている。

$$\frac{a_0}{2} = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} + \sqrt{a_l^2 + b_l^2} \quad (3)$$

Microsoft Office Excel で式(2)に関して空間周波数の値を変更し計算し格子模様の見え方を検証ができるようにする。これにより、周波数とフーリエ係数の組み合わせを変えることで、どのように見え方が変化するのかを計算し、高周波成分と低周波成分を混ぜて作成した各種の格子模様の画像を用いて目視による評価を行った。以下に検証結果を示す。

8. 高周波成分および低周波成分のグラフの波長と格子模様

空間周波数の低周波成分と高周波成分に関するフーリエ係数を変えた際の、格子模様をグラフと画像で対比させ検証する。波形の違いを分かりやすくするため、高周波成分の周波数を 10、低周波数を 1 に固定している。そして周波数成分の大きさを表す係数を変えることにより、高周波成分の割合が多いグラフと対応する格子模様、低周波成分の割合が多いグラフと対応する格子模様を作成した。格子模様の明るさの違いについては明暗の変化に対応する輝度値と目視で検証した。また、一周期に対応する区間を 0 度から 360 度に設定し、2 度刻みに計算することにより、格子の明暗の変化が細かくわかるようにした。使用ツールは、Microsoft Excel 2010 で、計算をして結果をもとに格子模様を生成する HTML ファイルを作成して格子模様としてブラウザで表示できるようにした。

8.1. 低周波成分の場合

空間周波数 $k=1$ 、フーリエ係数 $a_k=10$ 、 $b_k=0$ の場合のグラフは以下のようなになる(図 7)。

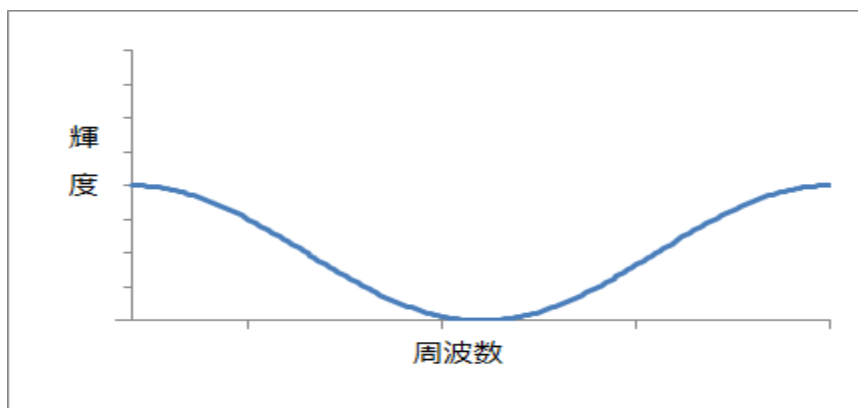


図 7 低周波成分だけの場合

グラフを見ると、グラフの両端部分は輝度が高くなっており中央部分は、低くなっているため、白い部分(輝度が高い)から徐々に黒い部分(輝度が低い)になり再び白くなって輝度が高くなっているのが見て取ることができる。

同様に、空間周波数 $k=1$ 、フーリエ係数 $a_k=10$ 、 $b_k=0$ の場合、格子模様の画像は次のようになる(図 8)。



図 8 低周波成分の格子模様

格子模様を見ると，グラフで評価した輝度の減少が滑らかなので格子模様の変化の仕方も滑らかなのがわかる．

8.2. 高周波成分の場合

空間周波数 10，フーリエ係数 $a_k=10$ ， $b_k=0$ の場合のグラフは以下のようになる (図 9)．

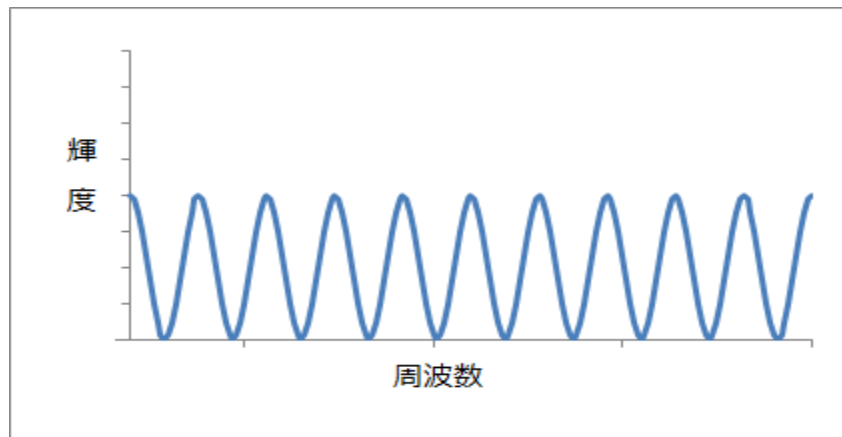


図 9 高周波成分だけの場合

グラフを見てみると短い周期で輝度が同じ割合で高くなったり低くなったりしており，滑らかな変化の仕方ではなく変化の度合いがはっきりしているのがわかる．

同様に，空間周波数 $k=10$ ，フーリエ係数 $a_k=10$ ， $b_k=0$ の格子模様は，以下のようになる (図 10)．

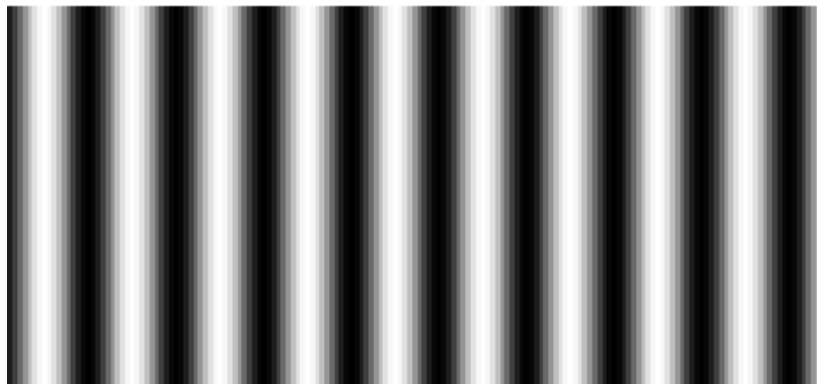


図 10 高周波成分の格子模様

格子模様を見ると、輝度の変化がはっきりしているため、高周波の部分と低周波の部分の境目がはっきり見て取ることができる。

8.3. 高周波成分と低周波成分を混ぜた場合

空間周波数 $k=1$ ，フーリエ係数 $a_k=10$ ， $b_k=0$ のグラフと空間周波数 $l=10$ ，フーリエ係数 $a_l=10$ ， $b_l=0$ のグラフと格子模様は以下のようなになる (図 11, 図 12)。

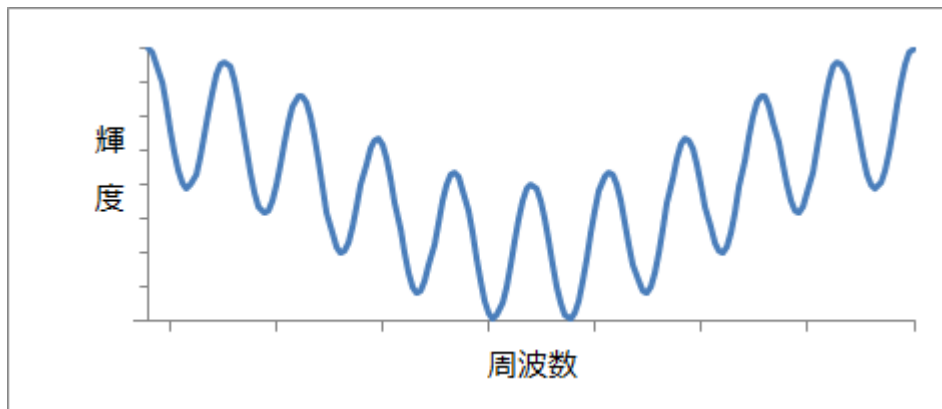
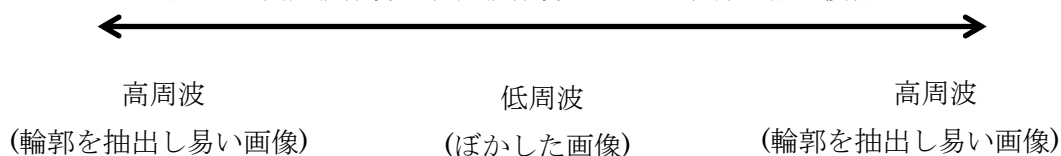


図 11 高周波成分と低周波成分を混ぜた場合

グラフを見ると、両端部分は輝度が高い高周波成分で中央部分に行くと輝度が低い高周波成分であることがわかる。



図 12 高周波成分と低周波成分を混ぜた場合の格子模様



グラフおよび格子模様を見ると低周波数と高周波数の、フーリエ係数を同じ値にしていたため、明暗の変化が緩やかな部分の格子模様も明暗の変化がはっきりしている部分の格子模様も両方ともに明瞭に認識することができる。

8.4. 高周波成分の割合の方が強い場合

フーリエ係数の値に大小の差を導入し、を前とは異なる値の組み合わせにした場合のグラフと格子模様の変化を検証してみる。

空間周波数 $k=1$ ，フーリエ係数 $a_k=1$ ， $b_k=0$ の場合と空間周波数 $l=10$ ，フーリエ係数 $a_l=10$ ， $b_l=0$ のグラフは以下ようになる(図 13)。

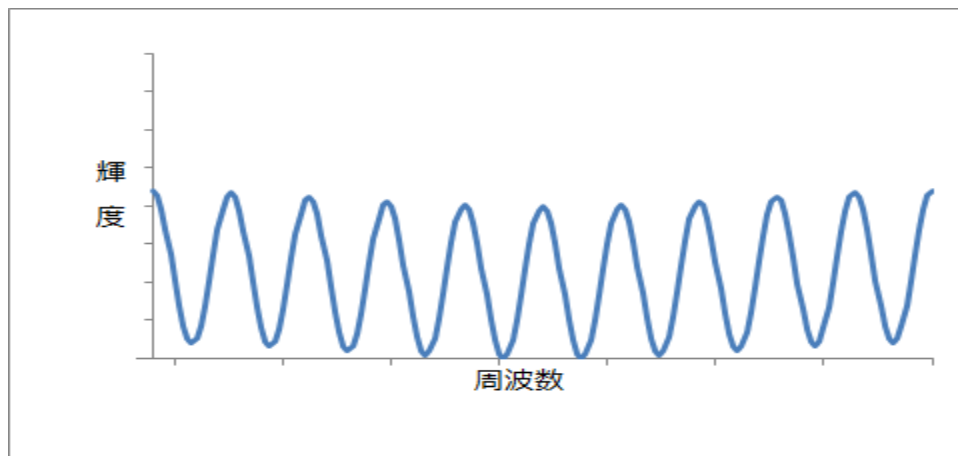


図 13 高周波成分の割合が多い場合

低周波成分の係数値が小さいことから、一周期の区間内での最初と最後では低周波成分の影響が若干見て取れるが、大部分では高周波の波形に見えてしまう。その結果、グラフの周期は高周波成分のみのグラフとあまり変化がないことがわかる。

空間周波数 $k=1$ ，フーリエ係数 $a_k=1$ ， $b_k=0$ の場合と空間周波数 $l=10$ ，フーリエ係数 $a_l=10$ ， $b_l=0$ の格子模様は以下のようなになる(図 14)。

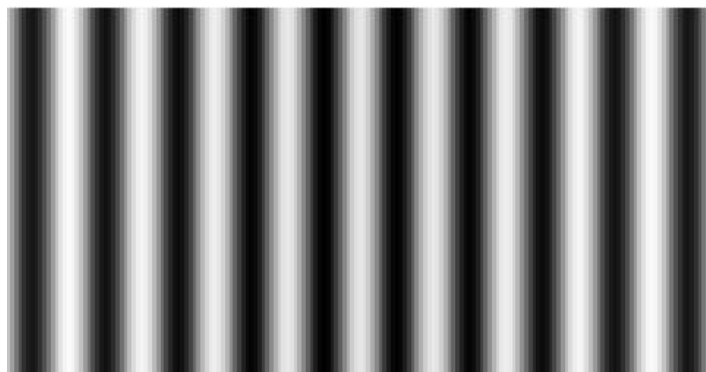


図 14 高周波成分の割合が多い格子模様

グラフの格子模様にして見てみると、高周波成分だけだった格子模様と比べて低周波成分の格子模様の影響で若干ではあるが表れ、白および黒の部分の境目の変化が少しだけ滑らかになっていることがわかる。

8.5. 低周波成分の割合の方が強い場合

空間周波数 $k=1$, フーリエ係数 $a_k=10$, $b_k=0$ の場合と空間周波数 $l=10$, フーリエ係数 $a_l=1$, $b_l=0$ を混ぜたグラフは以下ようになる(図 15).

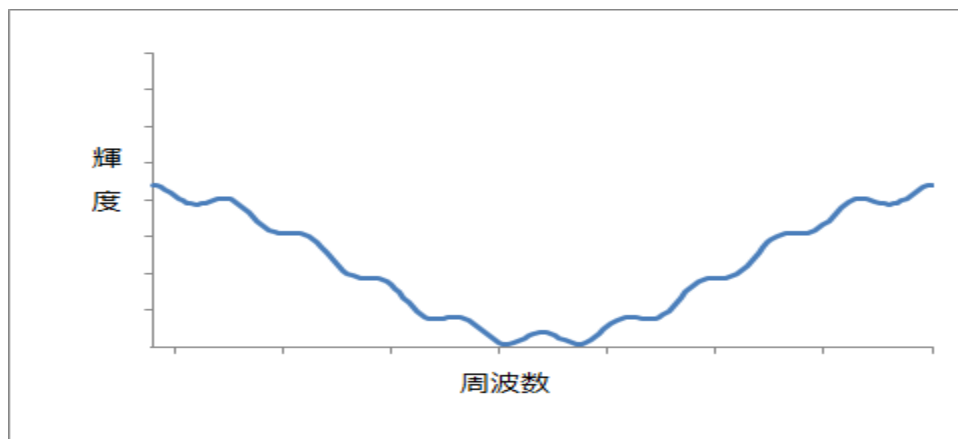


図 15 低周波成分の割合が多い場合

このグラフでは, 低周波成分のみの波形に, 高周波成分の波形を重ねたものであり, 滑らかな曲線ではあるが波形は細かく変化している. しかし波形の大部分は低周波成分が占めているので, グラフとしての形は低周波成分のみのグラフとあまり変化はないことがわかる.

同様に, 空間周波数 $k=1$, フーリエ係数 $a_k=10$, $b_k=0$ の場合と空間周波数 $l=10$, フーリエ係数 $a_l=1$, $b_l=0$ の格子模様は以下のようなになる(図 16).

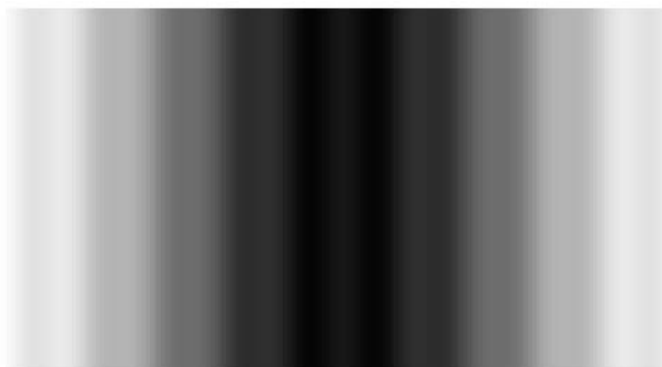


図 16 低周波成分の割合が多い格子模様

この結果を見ると, 低周波成分の格子模様(図 8)は明から暗に滑らかに変化しているのに対し, 低周波成分の多い格子模様(図 16)の格子模様では, 白い部分, 灰色の部分, 黒い部分のそれぞれの境目に低周波成分(図 8)の格子模様にはなかった黒い筋のような直線模様が認識できる. ハイブリッド画像を作成する際には, 二つの画像の高周波成分および低周波成分に重み付けをして重ねることで見え方を格子模様を重ねた場合と同様に変わることができる.

8.6. 輝度値による明暗の評価と格子模様を作成について

空間周波数の高周波成分と低周波成分のグラフとエクセルファイルの値だけでは単純な数値の変化しかわからないため、具体的にどんな格子模様なのかイメージしづらかった。そのために周波数成分の格子模様の変化を分かりやすくなるように HTML ファイルを作成し、色の変化を表示するようにした。以下に輝度値の変化(表 1)を図にして示す(図 17)。

8.1 節から 8.5 節までは目視によって格子模様の明暗の判断を行った。この節では、具体的な輝度の数値で明暗の変化を評価する。表 1 の輝度値の一部の表をみると、①の輝度値が一番高いため図の左端の白い部分になり、徐々に輝度値が低くなれば、同様に色の変化も徐々に白から黒に変化していることがわかる(図 17)。



図 17 HTML を用いた色の変化

表 1 輝度値の一部

①	22
②	21.39632
③	19.65801
④	16.99452
⑤	13.72675
⑥	10.24833
⑦	6.978148
⑧	4.309851
⑨	2.564335

空間周波数に対応する格子模様(図 8, 10, 12, 14, 16, 17)を作るためにエクセルを用いている。エクセルの計算式では、DEC2HEX 関数を用い画素値を指定できるようにした。この関数は、式(2)で求められた関数 $f(x)$ の値を 0 度から 360 度に関して求め、得られた値の最大値で割って正規化した後、8 ビット符号なし整数の最大値の 255 をかけたものを 2 桁の 16 進数にすることにより、画素値として扱えるようにしている。

例えば、この表の中の⑥番の色に対応する画素値を計算したい場合は、以下のようにする。

$$\text{DEC2HEX}(\text{⑥の値} \div \text{表中の最大値 } 22 \times 255) \quad (4)$$

8.6.1. 格子模様生成用 HTML ファイル

以下に表 1 の輝度値で格子模様を作成した場合の HTML ファイルのソースを示す(図 18).

```
<HTML>
<HEAD>
<TITLE>周波数成分 2 個による格子模様</TITLE>
</HEAD>
<BODY TEXT="000000" BGPROPERTIES=FIXED VLINK="">
<center>

</center>
<table border=0 width=200px cellspacing=0 cellpadding=0 align=center height=500px>

<tr><td bgcolor="#FFFFFF"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#F8F8F8"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#E3E3E3"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#C4C4C4"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#9F9F9F"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#767676"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#505050"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#313131"> </td></tr>
<tr><td bgcolor="#1D1D1D"> </td></tr>

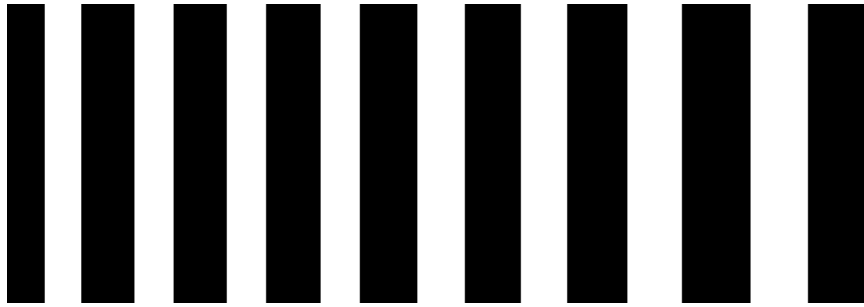
</table>
</center>
</BODY>
</HTML>
```

図 18 表 1 の値の画素値を組み込んだ HTML ファイル

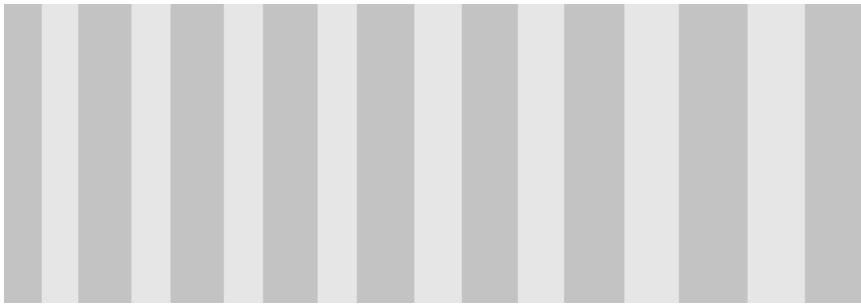
9. ハイブリッド画像の格子刺激の対比の評価

次ページ図 19 の (a), (b), (c) の格子模様と 8 章の検証に基づいて, 6 章で示した自作のハイブリッド画像の評価を目視で行うと, ハイブリッド画像の輪郭を抽出した画像は, 背景と対象物の境目がはっきり見て取れることから輝度が高く変化が大きい格子模様(19(a))や輝度が高く変化が小さい格子模様(19(b))のような輝度が高い格子模様で主に構成されているように見える. よってハイブリッド画像の輪郭を抽出した画像は高程度な対比を持っていることがわかる.

一方, ぼやけた画像は, 色と色の境目がはっきりしないため輝度が低く変化が小さい格子模様(19(c))のような格子模様で主に構成されているように見える. よって, ハイブリッド画像のぼやけた画像は低程度な対比をもっていることがわかる.



(a) 輝度高く変化が大きい格子模様



(b) 輝度が高く変化が小さい格子模様



(c) 輝度が低く変化が小さい格子模様

図 19 さまざまな格子模様

10. 格子の対比閾値

上記の輝度が高度の格子模様と輝度が低度の格子模様のどちらか一方に画像を極限にまで近づけていくと、徐々に格子模様の明暗の差が失われていき次第に区別がつかなくなってくる。そして極限にまでどちらかに近づけたならば、その画像は灰色一色の画像となんら変わらない画像になってしまい、色の区別がつかなくなってしまうと考えられる。この明暗の区別がなくなった画像の状態を対比閾値以下という。閾値というのはある対象物の状態を自分自身の目で確認することができる境目の値のことである[5]。

画像の対比が閾値以下の場合にその画像は灰色のみの画像になるが画像が閾値以上になった場合にモノクロ画像でもその画像がなんなのか知覚することができる。しかしながら実際に画像の明暗を判定するのは人間であるためいつでも同じコンディションで同じように明暗を判別することは困難であり、その日のやる気や健康状態などによって日々結果は変化していくと考えられる。

ハイブリッド画像以外の錯視として、ハイブリッド画像と同様に見え方により二通りの画像および現象として見える錯視を付録で紹介する。

11. まとめ

ハイブリッド画像は、見る距離を変えることによって二通りの見え方ができる特殊な画像である。研究を始める前は、ハイブリッド画像を作成するためには特別な知識が必要ではないかと考えていた。ハイブリッド画像は錯視画像の一種だと考えていたので、ハイブリッド画像について調べる前に、錯覚とは何か、錯視が発生する原因にはどのようなものが有るのかなど基本的なことを調べた。その結果、一般的な錯覚とは見えたものを間違っして解釈することで生じるということのある程度理解することができた。また文字画像については、基本的な文字の構造が日常生活を送る中で無意識的に記憶されているので、記憶に基づいて認識されることから、ハイブリッド画像とは見方が異なることがわかった。そこでハイブリッド画像の性質を調べるために、計算式に基づいた明暗の変化する格子模様を作成し、見え方を検証した。このような方法を用いて高周波成分と低周波成分の見え方に対する影響の違いを調べた。その結果、画像を構成する低周波成分と高周波成分の割合を調整することで、二通りの見え方が確認できた。そして、この原理に基づけば、錯視を生じるハイブリッド画像を作成できることがわかった。

本研究では、Microsoft Office Excel を使って空間周波数の高周波成分と低周波成分の波長、高周波成分と低周波成分を混ぜた場合の波長を具体的にグラフと図で明示し、格子模様に対応する輝度値と目視で比較検証できるようにし、それらの結果に基づいて自作したハイブリッド画像の明暗の変化について目視で評価した。今後の課題を解決していく上で、この研究で分かったことや手法を活用していきたい。

12. 今後の課題

卒業研究を一年間継続するにあたり次の三つの課題を自分なりに設定した。ハイブリッド画像の研究をするにあたって見る距離を変えるということの他にその日の観察者の体調、気象条件、夜間に画像を見るか昼間に画像を見るかなどさまざまな条件の下で結果は変わってくると考えられる。しかし、今回の卒業研究においてそういった見る条件を変えてハイブリッド画像を見る具体的な実験ができなかった。今後は様々な条件の下で実験を重ね、具体的に何メートルぐらい近づけば輪郭を抽出した画像が見え、逆に何メートルぐらい離ればぼやけた画像が見えるか裏付けをやっていくのが課題である。

また、今回の卒業研究は画像処理ソフト「PaintShopPro9.0」を用いて画像の輪郭を抽出したりぼかしたりする処理を行った。しかし、今後の課題の二つ目としてとしてこういった処理を自作プログラムで行うとさらに詳しいことがわかると考える。

卒業研究では、単純な白と黒の格子模様の空間周波数変化を図で明示することによりハイブリッド画像について理解を深めることができた。機会があれば自作したハイブリッド画像の輝度の値を変化させてハイブリッド画像自体の空間周波数の変化を調べることができるようなプログラムを自作していきたい。

13. 謝辞

本研究をするにあたり、岡山理科大学総合情報学部情報科学科澤見英男教授には、たくさんのご指導をいただきました。お礼申し上げます。

参考文献

- [1]What an Illusion
<http://www.sandlotscience.com/EyeonIllusions/whatisanillusion.htm>
- [2]Microsoft Office Word クリップアート
- [3]錯視のメカニズムーだまし絵が語る視覚認識の脳内機構ー
<http://www2.bpe.es.osaka-u.ac.jp/pdf/rinsyokagaku97.pdf>
- [4]錯覚
<http://www.usiwakamaru.or.jp/~doraemon/jyuku/sakkaku/sakkaku.htm>
- [5]ジョン・P・フリスビー著, 村山久美子訳, シーイング 錯視ー脳と心のメカニズム, 誠信書房, (1982)
- [6]ISP imaging developersー視覚特性
http://image-d.isp.jp/commentary/vision_spec/index.html
- [7]竹内龍人著, 脳の仕組みを活かせば描けるだまし絵練習帖〜基本の錯視図形からリバーズスペクティブまで〜, 誠文堂新光社, (2010)
- [8]錯視と錯聴を体験! Illusion Forum イリュージョンフォーラム ハイブリッド画像
<http://www.brl.ntt.co.jp/IllusionForum/v/hybridImage/ja/index.html>
- [9]フーリエ級数展開
<http://www.wa.commufa.jp/~obaqq75/study/dsp/fourierseries.html>
- [10]5章 視覚系の空間周波数特性 - 電子情報通信学会知識ベース
http://www.ieice-hbkb.org/files/S3/S3gun_02hen_05.pdf
- 以降は付録の参考文献である.
- [11]図と地(多義図形の一つ)
<http://www.geocities.jp/sakushiart/zutozil.htm>
- [12]錯視と錯聴を体験! Illusion Forum イリュージョンフォーラム ポッケンドルフ錯視
<http://www.brl.ntt.co.jp/IllusionForum/v/poggendorff/ja/index.html>
- [13] 錯視と錯聴を体験! Illusion Forum イリュージョンフォーラム 運動誘発盲
<http://www.brl.ntt.co.jp/IllusionForum/v/motionInducedBlindness/ja/index.html>

付録 ハイブリッド画像以外の錯視図形

ハイブリッド画像以外にも錯視現象を起こすものがある。ここで数例簡単に紹介していく。画像を見る際に注目してみる場所を変えることによって二通りの見え方が見える錯視、対象物を障害物で隠すことによって元の対象物と違った形で見える錯視、静止している状態で一つの点を凝視し、そして動き始めることによって凝視している点の周りの点が消えてしまう錯視の三つを紹介する。

付録 1.1. ルビンの壺

二種類以上の解釈ができる画像のことを多義図形という。二種類の見え方には図と地 (Figure Ground) という関係性が存在しており、図とは目で見て脳が知覚し認識している対象物のことをいう。地とは対象物を認識することによってできる背景のことを地という。

図と地の画像で有名な”ルビンの壺”という画像では、この画像は見方によって二人の人間が向かい合っている画像と壺の画像の二通りの見え方ができる画像である(図 20) [11]。

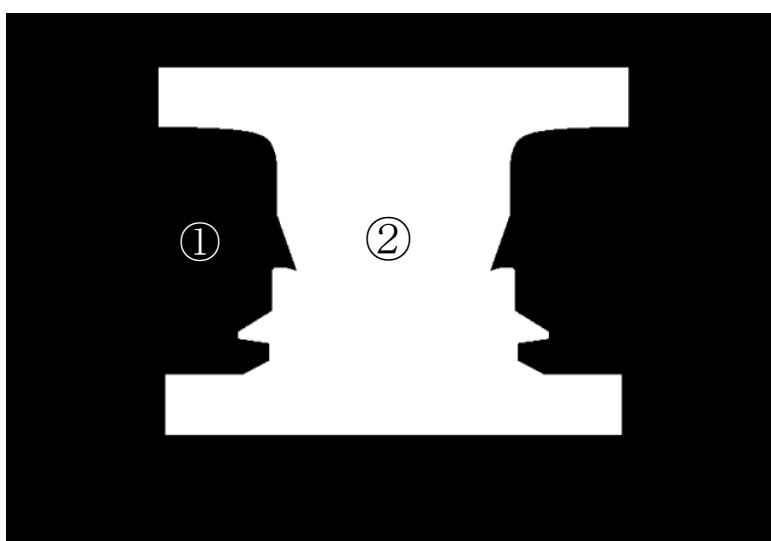


図 20 ルビンの壺 (図は論文作成者の自作)

対象物①(黒い部分)として認識された場合は、二人の人間が向かい合っているように見え、対象物②(白い部分)が背景になる。一方で、②(白い部分)が図になった場合は、壺の画像になり、①(黒い部分)が背景になる。

ルビンの壺は、なにも物理的な処理をしなくても“図と地”の関係性から二通りの見え方ができる。このような観点からハイブリッド画像と類似した性質があると考えられる。

付録 1.2. ポッケンドルフ錯視

次に画像の一部分を隠すことによって見え方に違いが発生する錯視を紹介する。

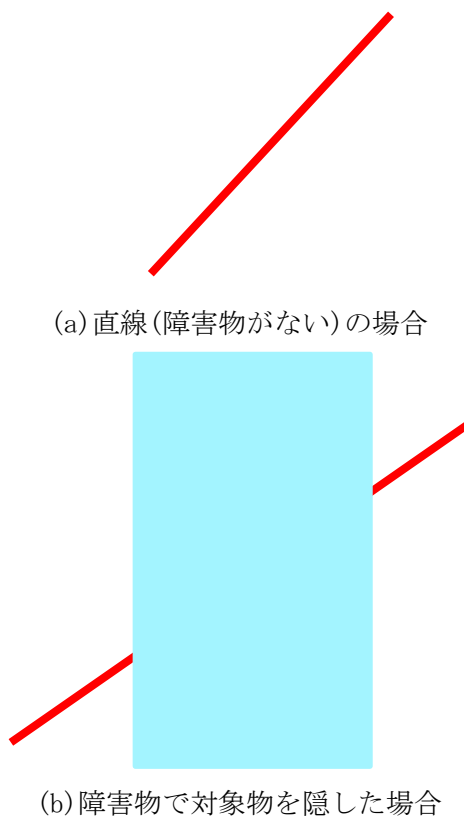


図 21 ポッケンドルフ錯視

画像の一部を対象物で隠すことによって歪んで見えなかった対象物が歪んで見える錯視がある。“ポッケンドルフ錯視”と言われる錯視である(図 21)。ポッケンドルフ錯視は図中にある直線(図 21(a))を障害物(図 21(b))で隠すことによって直線が歪んでいるように見える錯視である[12]。

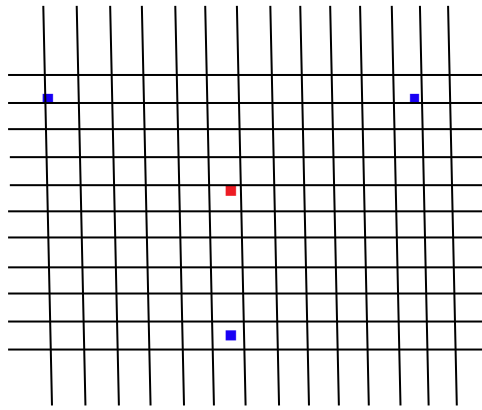
直線を高周波成分障害物を低周波成分と仮定した場合に、障害物が大きくなると高周波成分の直線が曲がって見える。しかし障害物が小さくなると隠れている部分が少なくなるため、直線はまがったようには見えなくなる。このような観点からハイブリッド画像と類似したような性質があると考えられる。

付録 1.3. 運動誘発盲

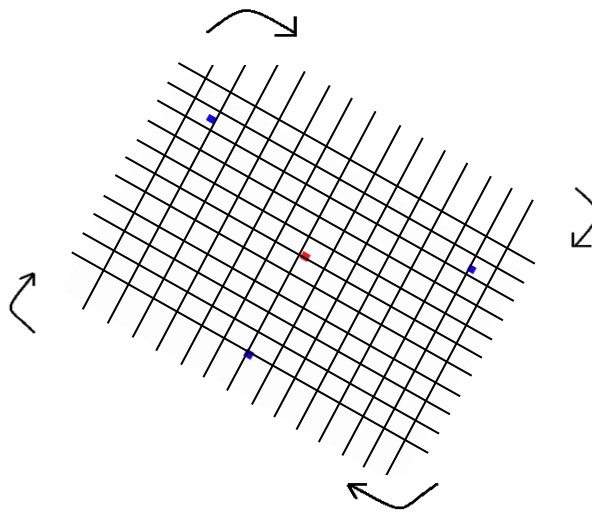
画像が動くことによって二通りの見え方ができるものを紹介する。このような運動錯視の一例として”運動誘発盲”(うんどうゆうはつもう)という錯視がある[13]。

まず、次ページの図中(図 22(a))の赤い点を凝視する。次に、回転運動(図 22(b))をしばらく続けると青い点が消えたように見えてしまうという錯覚(図 22(c))である。

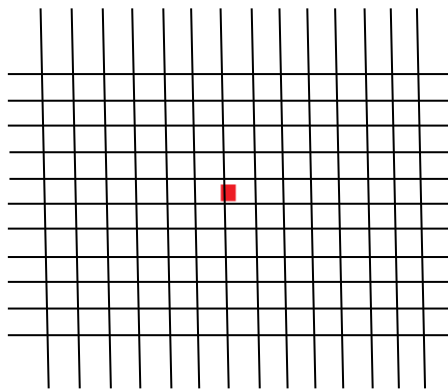
この錯視現象は、静止していれば、すべての点が見えているが、画像が動くことによって周りの点が消えてしまうため静止しているときに見えるものと動いているときに見えるものに違いがあり二通り見ることができる。このような観点からハイブリッド画像と類似した性質があると考えられる。



(a) 静止している状態



(b) 回転運動している状態



(c) 回転運動をしばらく続けた状態

図 22 運動誘発盲

尚、瞬きをすると再び静止している状態の画像(図 22(a))のように見ることができる。この錯視は動画で体験したほうがより明瞭にその違いに気づくことができる。