

総説

特集「知的画像処理の最先端研究動向」

視覚処理のインテリジェンス

Intelligence in Human Vision

Satoshi SHIOIRI*

*Faculty of Engineering, Chiba University

1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba, 263-8522 JAPAN

塩入 諭*

1. はじめに

ラスコー洞窟やあるいはキトラ古墳の例からもわかるように、画像を用いた情報の伝達、記録は、絵を用いた表現が最初であろう。その絵を描くためには、それなりの技術や技能が必要であることは容易に想像できる。文字の発達により、情報伝達、記録を容易にしたであろうが、それは基本的に言葉の情報である。絵を用いた情報とは多くの点で異なるものである。

印刷技術の発達は情報の伝達、記録に大きな変化をもたらしたが、その主役は文字であったといえよう。映画やテレビさらにコンピューターとインターネットの発明、普及は、画像、映像の情報としての役割を大きく増加した。実際、世の中には多くの画像があふれている。10年前と比べても、例えば大学の講義の資料として用いられる図の数も圧倒的に増加しているのではないかと思う。

絵も文字も視覚情報であるが、それらの伝える情報には質的な差がある。美術館で絵画を見るときを考えればわかるが、絵の持つ意味を言葉で表すことは不可能に近い。少なくとも人間の視覚を理解することなしにそれを試みるのは困難きわまりない。画像情報があふれ、さらに画像技術の発展する現在、画像情報に対する人間の処理を理解することは、いままでにない程重要性が高まっている。視覚は日常生活のあらゆる面で不可欠であるが、画像技術の進歩は、視覚に関する新たな重要性を生み出している。ある画像が視覚にどのような効果があるかについて理解することなしに画像技術の適切な利用は考えられない。

具体的な問題は様々であるが、本稿では人間の視覚情報処理過程の基本的な方略について、視覚の初期過程とそれに続く中期過程を中心に考察したい。

2. 視覚の役割

視覚が何をしているかという問いについての答えは、一見自明である。「視覚はものを見ている」といえる。しかし、ものを見るときはどのようなことを考え始めると、それが簡単に答えることができない問いであることに気付く。この文章を読んでいる場合、読者は文字を見ている。しかし脳の作業としては、文章の内容を理解することである。視覚は個々の文字の認識をしているともいえるが、内容を理解しているともいえる。実際個々の文字を読むことができなくても、文章が理解できれば十分である。

図1はいわゆる文脈効果の例である。図1(a)も図1(b)も単語の理解に問題はないと思うが、「いんさつ」の「ん」

1986年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了(工学博士取得)。モントリオール大学心理学科博士研究員、(株)ATR視聴覚機構研究所研究員、千葉大学助手、助教授を経て、2004年より千葉大学教授。視覚科学の分野で、主に心理物理学的手法を用い奥行知覚、運動視、視覚的注意、色覚などの研究に従事。日本視覚学会、応用物理学会、日本光学会、映像情報メディア学会、Optical Society of America(米国光学会)、Association for Research in Vision and Ophthalmology(米国眼科学会)など会員。

塩入
諭



Profile

*千葉大学工学部 メディカルシステム工学科
(〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町1-33)



図1 文字認識の文脈効果.

(a)と(b)の2文字目は同じであるが、それぞれ前後の文字から、「ん」「く」と読める。

と「さくら」の「く」は同じ形である。視覚は、個別の文字ではなく、文字の集合としての単語を理解していることになる。

もう少し一般的な視覚処理について考えても、何を見ているかはそれほど自明なことではない。我々は視覚を通して周囲になにかがあるかを、例えば歩いていて障害物を見る必要がある。もし誰かが、進行方向にいた場合にはぶつからないよう行動することを考える。この場合、それが誰であるかは問題ではない。おそらく人であるかどうかも問題ではない。ここでの問題は障害物にぶつからずに歩くことであり、視覚の目的はそれに必要な処理をすることである。

カエルの逃避行動も同様である。カエルは、視野全体が暗くなった場合におそらく外敵が近づいているとの判断をし、逃避行動をとる。それがへびであるのか人間であるかは問題としない。実際に、カエルの視覚ニューロンの中には、広い視野にわたる光の遮断を検出するものがある。ここでカエルの視覚は、敵らしきものを見る（発見する）ことを目的としているのであろう。視野全体が暗くなったときに外敵（比較的大きなもの）が目前に迫っているというのは、ありそうなことではあるが必ずしも正しくない。それを外敵の存在であると見なすのは推定である。このときカエルにとって、例えば接近速度は重要な情報かもしれないが、正確な大きさや形は不要であろう。カエルの見ているものは、ある早さで接近する敵（かもしれない）ものであり、推定の結果得られる実際の世界の非常に粗い近似モデルである。

一方、我々が周りのものを避けながら迅速に移動するためには、網膜上に得られた像からその行動のためにより高い精度を持つ外界のモデルを作ることが必要である。当然のことながら目的に応じて必要な処理は異なるわけである。見るとはその処理結果を知ることであるといえるが、処理結果の目的によりその意味も異なるであろう。

人間の視覚の周辺環境の推定の具体的例を、図2、3に示す。図2(a)は明るさの錯視の例で、図中の矢印の指す部分の明度は等しいが、知覚的には大きく異なった明度に感じられる。図2(b)は我々の知覚を図示している。我々が見ているのは、それぞれの場所の明るさではなく、背景にある塗り分けられたパイチャートの上に半透明のセロファンのようなものが載っている状況である。つまり、図2(a)で生じている錯視は紙に印刷されたものに対しては誤った知覚であるが、3次元世界では必ずしも誤りとはいえない。図2(b)の状況を考えてむしろ正しいといえる。逆に図2(a)の矢印で示す2つの部分を、その反射光がたまたま同じであったとしても、同じ反射率（同じ明度）の面と見なすことが正しいとはいえない。

図3は実際の写真の例を示す¹⁾。図3は市松模様の床に影がある状況で、丸で囲んだ部分は紙面上では同じ明度で

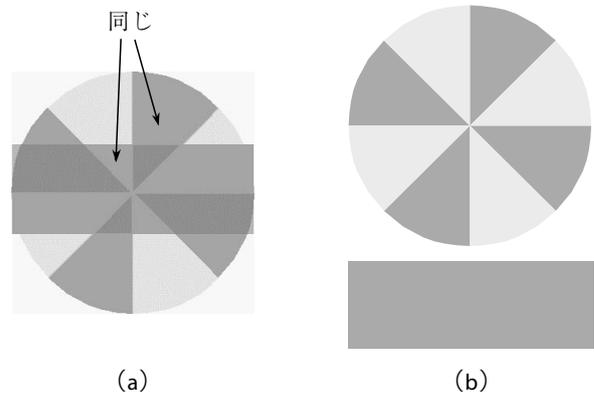


図2 錯視的明度知覚と透明視.

(a)の矢印の明度は紙面上では等しいが、左側が明るく知覚される。(b)はこの刺激の知覚を示す。実際に円グラフのような図形の上に長方形の半透明のフィルムが乗っているとすると(a)の錯視的知覚が、むしろ正しいことになる。



図3 錯視的明度知覚と影.

丸で囲まれた部分の明度は紙面上では等しいが、影の中の方が明るく知覚される。図2と同様に、紙面上の明度変化が影のせいであるとすれば、この錯視的知覚がむしろ正しいことがわかる。

あるが、影の部分ではより明るく知覚される。図2の例と同様に、ここでの知覚は床面の特徴である市松の明暗であり、影によるその反射光の変化は無視されている。言い換えると、我々の知覚は影による反射光の変化を積極的に補正し床面の特徴を「見て」いるといえる。視覚の目的が周囲の環境を推定し、理解することであることが納得できる。視覚がどのようにそれを実現しているかは大きな問題である。その理由を明確に答えることはできないが、その手掛りの一端については後述する。

これらの議論から、視覚は周囲の世界を我々の必要に応じた形で理解するための処理をしているといえる。では、そのために実際にどんな処理をしているであろうか。以下では、網膜に映し出された像から必要な情報をいかに抽出するかについて、その初期視覚過程を中心にまとめる。

3. 情報の低減

まず網膜像からの情報抽出過程において大きな情報低減がある。これは、莫大な視覚情報から必要な情報を抽出するための最初の過程である。視覚処理は左右眼の網膜像を入力として始まる。網膜像は2次元の光の分布とその時間変化である。ひとつの眼の各網膜位置について考えると、3次元の座標 (x, y, t) と光の波長 (λ) の関数として光の強度を $I(x, y, t, \lambda)$ のように表現することになる²⁾。

ここで空間と時間の変数の数を考えてみる。空間位置についていえば、600万以上の錐体と1億以上の桿体が網膜には存在し、それぞれ異なる入力を受け取りうることになる。時間については、1秒間に10コマの静止画像の処理をしたとして1時間で3万6千コマになる[†]。そこに3種類の錐体の区別と左右網膜像の次元が加わることになる。1時間の間に視覚系が取り扱う情報は、10の13乗の数におよぶ信号を得ることになる。もし我々が1時間の間に網膜で検出した光の情報を正確に処理したいのであれば、10の13乗次元の空間の中の点の集まりとして表現する必要がある。直感的に言ってこれは我々の視覚が直接的に扱っている情報量ではない。目的によらず大きな情報量の低減がなされているのは間違いない。

ここで必要な情報という観点から図3について考えてみよう。おそらく我々は床の市松模様のそれぞれの四角形の中にある明暗の小さな強弱には興味がないであろう。また日差しの変化によって全体が多少暗くなっても、ものの認

識には重要なことではないであろう。一方、カップと背景の境界はそれがカップであることを知るためにも、そのカップを手で掴むためにも必要な手掛りである。多くの場合、画像のエッジに対応する局所的な輝度変化を視覚情報として脳へ伝達することには大きな意味がある。

人間の網膜には錐体、桿体の他に、水平細胞、双極細胞、アマクリン細胞、神経節細胞の4種類の細胞があるが、これら細胞の重要な役割は、空間的あるいは時間的な変化検出(エッジ検出)であるといわれている。神経節細胞の出力は脳へと向かうが、その数(視神経の数)は100万本程度と見積もられている。この事実はもちろん光受容体の数が不必要に多いことを意味していないが、大きな情報低減が網膜処理の重要な特徴であり、視覚は大きな画像圧縮を行っているといえる。

4. 視覚処理の分業

前節では入力からの特徴抽出が大幅な情報低減を行うことを述べた。しかし、必要な情報を抽出することは、必ずしも情報量の低減を伴わない。その典型例を色覚に見ることができる。

色覚は3種類の錐体(赤、緑、青錐体あるいは、L, M, S錐体と呼ばれる)の反応から始まるため、その入力は3次元である(図4(a))。一方、色に対する知覚は色相、彩度、明度の3属性で表現されやはり3次元である(図4(c))。その中間過程に赤緑、青黄の反対色と輝度の3次元での表現が存在することは心理物理学および生理学の研究から明らかにされている(図4(b))。つまり色覚過程は、入力から最終結果まで基本的に3次元であり、色は3次元空間の1点として表現できる。すべての処理過程で色が3次元で表現されるということは、非線形な特性を含むにしても単なる変換である。このような処理に何か意味があるのかとの疑問も生じる。しかし、それぞれの過程での空間の意味を考えると、そこには視覚系の知的処理の一面が見える³⁾。

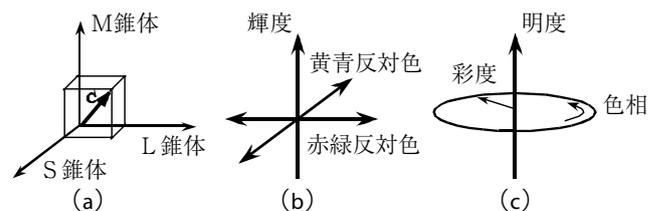


図4 色覚の変換。

(a) 錐体応答での表現, (b) 反対色過程での表現, (c) 色の三属性での表現。

[†] この値は、人間の視覚の時間周波数特性がおおよそ10Hz付近で感度の最大をとることによるが、ここでの計算のために用いるだけであり、このような数値を用いることも含めて特に妥当な推定であるということではない。

Palmer は、錐体次元から反対色次元への変換を、給湯システムと対応づけて説明する。今、L 錐体、M 錐体のみについて考えると、錐体から反対色過程への変換は、色を L 錐体と M 錐体の応答量で表現する座標から、 $L-M$ (L 錐体と M 錐体の応答の差をとる) で表現されるような赤/緑反対色過程の応答と、 $L+M$ で表現されるような輝度過程の応答量で表現する座標への変換となる。

この変換は、水とお湯の混合によって湯温を制御する 2 つのシステムの間の変換に対応づけられる。錐体の応答量に対しては、水とお湯の 2 つのノブによりそれぞれの水量を制御するもの、反対色過程に対しては上下左右に動くノブによって水量と水とお湯の混合比を独立に制御するものである。後者は適当な湯温に設定したままその量を変えることができ大変使い易い。

反対色過程での色の表現は、質的な違い(色)と量的な違い(光強度)を別々の軸で表現するという意味で類似した効果が期待できる。実際に床に影が落ちている状況での影と床の分離を考えるとその有効性がわかる。図 3 の原画は、市松模様は色の異なる四角形からできている。このとき網膜像には市松模様の四角形の輪郭と影による明暗差の輪郭が存在する。影による輪郭は外界の物体の特性ではないので床の特徴を知るうえでは無視すべきものである。錐体の応答を考えると影の内外ではすべての錐体で応答量が変化する。しかし、反対色過程で考えると影の内外で変化するのは明暗変化を抽出する輝度過程の応答だけであり、反対色過程の応答は一定である。網膜像に対する影の影響を排除したければ、反対色過程の応答のみをみれば良いことになる。簡単な画像処理結果からもそれが有効であることは容易に示すことができる。

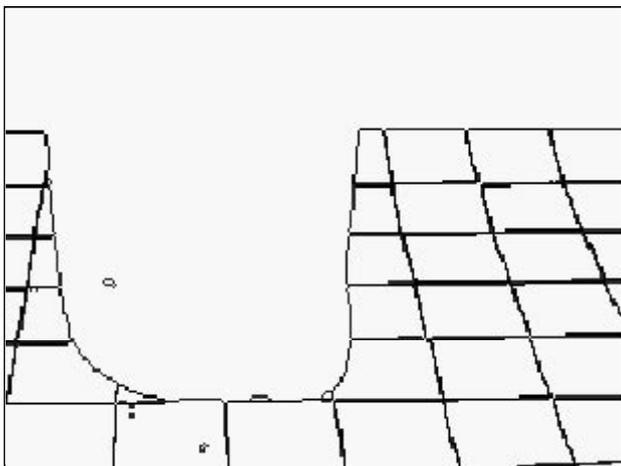


図 5

色の変化に注目して、図 2 の元画像(カラー画像)から輪郭を抽出した結果。

図 5 は図 3 の画像から反対色過程の応答の差に基づき輪郭を抽出した結果である。影の輪郭は現れていないことがわかる。これは画像処理技術における色情報利用の有効性を示し、また視覚系においても積極的に利用されている可能性を示している。視覚系は、色の変化がなく明暗変化のみ生じている場合は面の変化ではなく影の影響であるとの仮定から、うまく物体表面の境界を推定できることになる。

ここでの問題を考えると、視覚系は始めから反対色の処理を行うとの選択をすることが望まれるようにも思える。しかし光受容体は、波長に依存した感度特性を持っているだけであるため、単一の種類の錐体では原理的に波長の変化と強度の変化は区別することはできない。我々の視覚系は、このような受光という現象の物理的制約のもとで 3 種類の錐体を持ち、その出力を適当に変換することで、強度の次元と色相の次元をうまく分離して取り扱うことに成功しているといえる。

5. 相補的な処理

情報の抽出という点でもうひとつ別な観点がある。それはできるだけ広範囲の視覚刺激に対応するために、相補的な働きをする 2 つの(あるいは複数の)処理過程を持つというものである。

最初の例は錐体と桿体の 2 種類の光受容体の存在に関連するものである。我々の視覚系が対応している網膜像の明るさの範囲は瞳孔径による光量の調整を考慮しても 10 の 7 乗を越えると推定される。非常に明るいところから非常に暗いところまでもを見るためには、網膜に入ってくる光の量に応じて、入出力特性を適切に変更する必要がある。カメラにおいては、絞りやシャッター速度、さらにはフィルムの感度を変えて行うことであるが、視覚系においてもいくつかの手段を用いて行っている。

その中でもっとも重要なものとして錐体と桿体の 2 種類の光受容体を持つことが挙げられる。明るいところでは感度の低い錐体が、暗いところでは感度の高い桿体が働くことで広範囲の明るさの変化に対応することができる。明るいところでは桿体の出力は飽和してしまうため錐体のみが働き、暗いところでは錐体が感度を持たないため桿体のみが働く。つまり相補的に働く。

桿体と錐体の相補的処理はそれだけではない。おそらくは高い感度を得るために桿体システムの解像度は低い。広い網膜範囲(多くの桿体)から光を集めればそれだけ感度は増加するが、その分解像度は低下する。一方、錐体はその必要はなく解像度を高めることが可能である。錐体の数

は神経節細胞の数より多いが、視野の中心部に対応する網膜部位（中心窩）では、1つの錐体が1つの神経節細胞に対応しているという。

空間解像度を比較すると、錐体の働く明所視では60cyc/deg程度であるのに対し桿体の働く暗所視では10cyc/deg以下になる（視力が1/6以下）⁴⁾。つまり視覚系は、解像度が高いが十分明るいところでしか働かない錐体システムと、感度が高く暗いところでも働くことができるが解像度が低い桿体システムを持つ（図6(a)）。両者は感度と解像度という意味で相補的である。視覚系が体験する多くの環境に対応するために、生理学的な制約の中でもっとも有効な選択のひとつとして、2つの異なる性質をもつ光受容体を持つにいたったものと推測できる。

よく似た2重性は、神経節細胞から外側膝状体、大脳視覚野に至る処理経路にもみられる。初期視覚には2つの経路、大細胞経路と小細胞経路がある。この2つの経路は網膜と大脳の中継組織である外側膝状体の細胞の分類に基づくが、2つの並列的な処理過程は網膜神経節細胞から大脳視覚野の各領野にわたると考えられている^{5,6)}。両者が完全に独立であるというわけではないが、多くの処理レベルで時間特性、空間特性、波長選択性などで顕著な差が確認されている。

時空間周波数特性についておおまかにまとめると以下の通りである。大細胞経路の処理では時間的には高周波まで感度を持つのにに対して、空間的には低周波に感度を持つ。逆に小細胞経路の処理では空間的には高周波まで感度を持つのにに対して、時間的には低周波に感度を持つ。これは、縞刺激を使ってコントラスト感度を測定すると、空間的に高周波の細かい縞ではその時間変化がわかりにくいのにに対して、粗い縞あるいは一様な面では速い変化まで検出できるということである。いいかえるとゆっくり細かいものを見る処理が小細胞経路であり、速くおおまかな特徴を捉え

るのが大細胞経路であるともいえる。この2つの経路については、小細胞経路が形状知覚処理過程へ、大細胞経路が空間知覚処理へと繋がる信号処理の流れとして理解されている。

さて、小細胞経路と大細胞経路の感度を時空間周波数領域で示すと、両者の相補性が窺える。図6(b)からわかるように、両者の感度は対角線上に位置している。空間視の解像を得るために時間解像度を、時間解像度を得るために空間視の解像度を犠牲にしているようにみえる。

実際に速い応答をするためには、短時間に大きな応答を得る必要があり、そのためには広い範囲から信号を集めることは有効である。しかしこの処理は空間解像度の低下をまねく。逆に解像度を上げたければ、狭い範囲で長時間の積分をすることが必要となり、速い時間応答は望めない。相補的な機能を持つ2つのメカニズムを用いて、できるだけ広い時空間周波数の刺激に対応している意味で、錐体と桿体の場合とよく似た関係が見て取れる。

6. 隣接領域の相対処理

前項までの話は、主に視野のある位置の処理についてであった。我々の見るものは、物であり風景全体であることを考えると、広い範囲にわたる視覚処理が必要である。図2, 3の知覚はまさにそれを示している。つまりある位置での処理より、周辺との相対的な処理、さらに広い範囲での大域的な処理が問題となる。図3については、少なくともその一部は、視覚が光の強度そのものではなく周辺とのコントラストの検出をしているということの説明できる。コントラストの処理は、狭い領域ではあるが、周辺部分との関わりつまり相対関係の処理である。

図7は、図3の原画から空間的に高周波成分を取り出した画像である。ここで市松模様注目すると、影の外でも中でも、全く同じ変化になっていることがわかる。影は画像の低周波成分に影響するが、市松模様にはほとんど影響しないため、影の外と内でのコントラスト、つまり相対的な明度は同じになる。視覚系が局所的な相対明度から面の明るさを知覚するとすれば、図3の錯視を説明できる。もちろん、これが全てではないことは、同じ処理が図2の知覚については説明できないこと、また図3で影の部分が暗いとの知覚がなくなっているわけではないことから明らかである。

相対関係の重要性は、太陽光の下でも電球の下でも白い紙は白く、黒い紙は黒く知覚されることから明らかである。照度に100倍の差があるとすると、電球の下の反射率

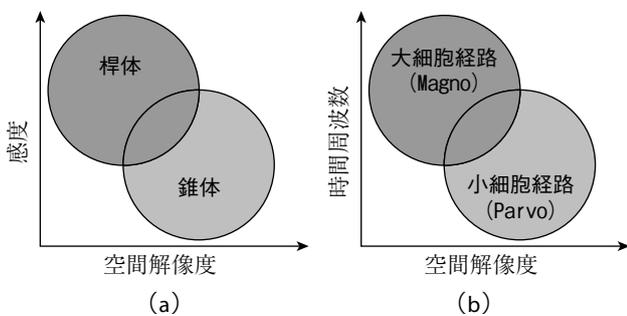


図6

(a) 錐体と桿体の空間解像度と感度。

(b) 初期視覚の2つの経路（小細胞経路と大細胞経路）の時空間周波数特性

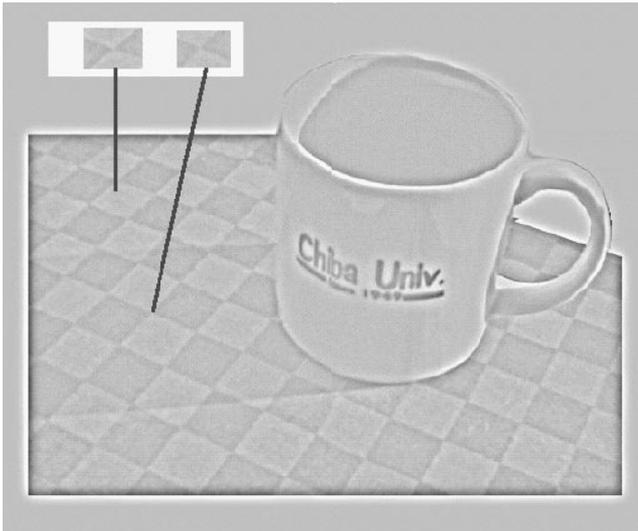


図 7

図 3 から高空間周波成分のみを抽出した画像。図 3 で異なる明度であった影の内と外は、同じになっている。視覚が高周波成分によって明度を知覚しているとするれば、図 3 の錯視は説明可能である。

90%の白い紙と太陽光の下の反射率 10%の黒い紙を比べると、黒い紙が 10 倍以上の多くの光を反射することになる。それにも関わらず、白と黒の知覚が逆転するなどの問題が生じないのは、面の明るさがそこから反射してくる光だけで決まっていないためである。

実際、我々にとって重要なのはものの属性（反射率）であることから、この処理が生態学的に妥当であることは間違いない。周囲との比較により、ものの特性をとらえているというわけである。これが、明度のみの問題ではないことも視覚の研究が示すところである。

他の例として、運動についての知覚を挙げることができる。我々の網膜像は、視線の移動に伴い大きく変動するし、また視線が動かないときでも眼球は小さく揺れ続けている（固視微動）。もし網膜像をそのまま眺めるとすると、頻繁に揺れ動くものとなり、視覚にかなりの混乱を生じるであろう。運動視のメカニズムは、この問題を解決するために相対運動に注目した処理を行っていると考えられる。

ジッター錯視という現象は、番組終了後のテレビ画面のようなちらついた画像に囲まれた静止領域を刺激とした順応であるが、その研究は相対運動と眼球運動の関係を明らかにした^{7,8)}。この順応刺激をしばらく見た後に、静止領域が不規則に移動して見えるのがジッター錯視である⁹⁾。これは眼球運動による網膜像のぶれが知覚された結果見えるものである。この通常見ることがない眼球運動由来の網膜像の変化が検出される理由は、視覚系の網膜の絶対的な動きに対する感度は低く、相対的な動きに対する感度が高いことによる。

ちらつき画面により、それが呈示されている位置の運動検出器（動きに選択的に応答する大脳視覚野のニューロン）では、運動刺激に順応し感度低下が引き起こされる（運動残効、あるいは滝の錯視と呼ばれる現象と同様である）。その効果は、眼球運動によって網膜像が移動したとき、順応していない領域と周囲との間に相対運動を生み出す。眼球運動による網膜像の移動は視野全体にわたるが、ちらつきにより感度低下した部分の運動検出器の応答はそうでない部分より小さくなる。その結果、隣接領域の速度を比較し相対運動を検出するニューロンが反応することになる。通常は、視野全体の動きには相対運動成分が含まれないため、眼球運動によりゆれた像が知覚されることはない。

実際、人間の視覚は視野全体の動きのように一様な運動に対しては感度が低く、相対運動に非常に高い感度を持つことが知られている。条件によっては、検出できる運動刺激の最小速度は、相対運動で 10 倍程度遅いこともある¹⁰⁾。相対運動と一様運動で異なる運動検出のしくみを持ち相対運動検出の感度を高くすることで^{7,8,10,11)}、ものの動きをよく見ることができ、しかも眼球運動による視野の揺れを知覚しないシステムを実現しているわけである。

このように相対運動検出器の働きによる、眼球運動由来の網膜像の揺れの低減は有効である。しかし、それによってすべての眼球運動の影響を排除できるわけではない。視野の中である対象物から別の対象物に、視線を動かす大きな眼球運動（サッカード眼球運動）が生じた時には、一様運動は大きく応答するはずである。しかし実際には我々がそれに気付くことはない。これを確認する簡単な例は、鏡の中で自分の右眼を見てそこから視線を左眼に移動して見ることである。自分の目の動きはほとんど気付かないはずである。それに対して、他のだれかが同じ視線移動しているところを見れば、明らかな動きが観察できる。これは、サッカード眼球運動時に付随する抑制効果、サッカード抑制として知られる現象のひとつである¹²⁾。サッカード抑制は一般にサッカード中に呈示された刺激の見えに関する問題であるが、運動視においてはサッカードの前と後の網膜像の変化も含めて抑制効果が知られている¹³⁾。

なお、相対関係の重要性は、両眼立体視による奥行き検出などにおいても知られている現象であり^{14~16)}、網膜像から最も特性を抽出するために重要な機能である。奥行きに関していえば、左右眼網膜像の差、両眼視差は、対象物までの距離に依存して変化するため絶対的な値はものの形と直接関連がない。むしろ相対的な視差の変化が、ものの形にとって意味のある手掛りであろう。

7. 広範囲の大域処理

相対処理が隣接領域の情報に関する処理であるのに対して、大域処理はより広い領域を考えたものである。もちろんどの程度の広さが大域と呼ぶかについて明確な定義があるわけではない。ここでは、隣接していない領域の間の統合処理から全視野にわたる処理を考える。

運動視についていえば、視野全体の並進運動、回転運動、拡大/縮小運動などは大域運動と呼ばれ、大域処理の典型である。これらの網膜像の変化は、自身の運動に関連するものであり、運動制御に利用できるはずである。大きな視野を用いて大域の運動刺激を呈示すると、実際には動いていないのに観察者は動いているように感じたり（自己運動感覚、ベクション）、重心の動揺が生じたりする¹⁷⁾。また、心理物理実験から大域運動の知覚が広い視野範囲の情報が加算された結果であること、サルの電気生理学から大域運動に関連するニューロンが存在することなども知られている¹⁸⁾。

大域運動を紙面で再現することはできないが、図8はそれに類似した2次元の静止画像の現象を示す。図8はランダムドットパターンを水平移動(図8(a))、回転(図8(b))、拡大(図8(c))して重ねたものである(グラスパターンと呼ばれる)。どのような変化が与えられたかは、パターン全体の印象として知覚することができる。これらを比べると、個々のドットに関してはその方向を除けばよく似た移動である。全体の印象の違いを決めるのは広範囲のわたる移動方向の違いである。したがって、これらは大域的な処理過程の存在を示す現象であるといえる。

輪郭線についての大域的処理の存在を示す現象として図9に示すものが知られている^{19,20)}。図9(a)には、いろいろな傾きの線分がランダムに配置されている。その中に図9(b)と同じ曲線状に並んだ線分があることが見てとれる。個々の線分のみでは各図の間に特別な違いはないので、この現象には広範囲の処理が関連する。類似した傾きの線分が、比較的広い範囲で統合されてひと繋がり連続した曲線として統合されると考えられるからである。この現象については大脳視覚野のニューロンの働きとの対応も取れつつあり、離れた位置での情報をいかに統合するかは大域処理の問題を解く鍵のひとつといえる。

ゲシュタルト心理学では、離れた位置にある要素がひとつのまとまりとして統合される要因を、群化(grouping)の要因としてまとめている²¹⁾。これはまさに、大域処理の問題である。それらは、空間的に近いものほど同じグルー

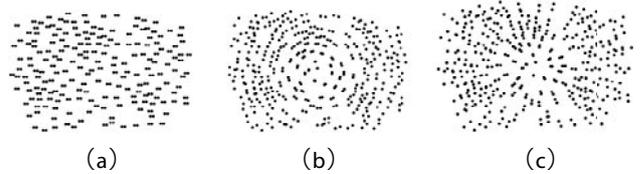


図8

- (a) ランダムドットパターンを水平方向に移動して重ねた図。
 (b) ランダムドットパターンを回転して重ねた図。
 (c) ランダムドットパターンを拡大して重ねた図。

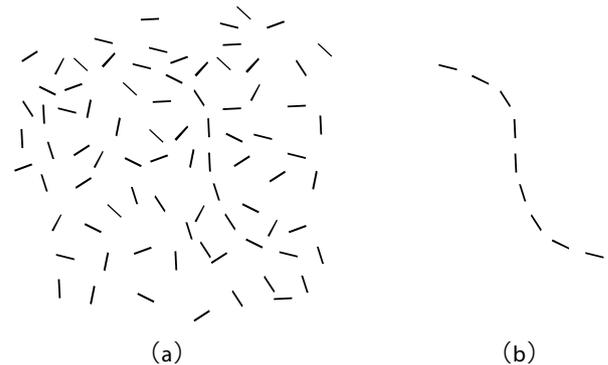


図9

- (b) 図で示す曲線状に並ぶ線が、(a) 図にあるが、それを見ることができ、視覚に類似した線分を統合する機能が備わっていると考えられる。

プにまとめられるという近接性の要因、似たものがまとめられる類同性の要因、運動方向の同一性による共通運命の要因、なめらかなつながりによる連続性の要因、対称性の要因、平行の要因、などである。図9(a)の曲線の知覚は連続性の要因の働き、大域運動の処理は共通運命の要因の働きということもできる。

ゲシュタルト心理学は情報統合の問題を非常にうまく分類しているといえる。しかし、視覚処理の問題は、実際どのような情報処理的過程が働いているかを知ることであり、それには現象の分類のみでは不十分である。本節で挙げた幾つかの例は、この問題を、初期視覚過程に続く統合過程(中期視覚過程)の問題として情報処理的アプローチを行った成果といえる。

8. おわりに

本稿では、視覚処理の初期過程およびそれに続く過程を中心に、視覚の基本的な特性および関連する処理メカニズムについて概説した。ここでは触れなかったが、視覚の高次過程に関する研究は、さらに多くの重要な知見を与えている。例えば、視覚的注意は、広い視野からの情報の選択のための視覚機能であるが、視線の移動を含め、認知だけ

でなく行動と関連している点でも重要である^{22~24)}。

今後、画像関連のみならず多岐にわたる科学技術の発展によって、人間の視覚の理解の重要性が増すであろう。高次過程も含めて視覚の基礎研究が、今後ますます大きく社会に貢献できることを期待したい。

参考文献

- 1) 塩入 論：基礎心理学研究, **22** [1], 94 (2003).
- 2) E. H. Adelson and J. R. Bergen: "Computational models of visual processing", J. A. Movshon (ed), MIT Press, Cambridge, (1991).
- 3) E. S. Palmer: MIT Press, Cambridge, (1999).
- 4) F. L. van Nes, J. J. Koenderink, H. Nas, and M. A. Bouman: *J. Opt. Soc. Am.*, **57** [9], 1082, (1967).
- 5) M. Livingstone and D. Hubel: *Science*, **240** [4853], 740, (1988).
- 6) W. H. Merigan and J. H. Maunsell: *Annu. Rev. Neurosci.*, **16**, 369 (1993).
- 7) I. Murakami and P. Cavanagh: *Nature*, **395** [6704], 798 (1998).
- 8) I. Murakami and P. Cavanagh: *Vision Res.*, **41**[2], 173(2001).
- 9) I. Murakami, , retrieved.
- 10) S. Shioiri, S. Ito, K. Sakurai, and H. Yaguchi: *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image. Sci. Vis.*, **19** [11], 2169 (2002).
- 11) S. Shioiri, H. Ono, and T. Sato: *J. Opt. Soc. Am. A Opt. Image. Sci. Vis.*, **19** [8], 1465 (2002).
- 12) 塩入 論：“眼球運動の実験心理学”，古賀一男編，（名古屋大学出版，名古屋（1993）p. 101.
- 13) S. Shioiri and P. Cavanagh: *Vision Res.*, **29**[8], 915 (1989).
- 14) C. J. Erkelens and H. Collewijn: *Vision Res.*, **25** [4], 583 (1985).
- 15) D. Regan, C. J. Erkelens, and H. Collewijn: *Invest. Ophthalmol, Vis. Sci.*, **27** [4], 584 (1986).
- 16) S. Shioiri, H. Saisho, and H. Yaguchi: *Vision Res.*, **40** [19], 2565 (2000).
- 17) 日本視覚学会編：朝倉書店，東京（2000）.
- 18) M. C. Morrone, C. D. Burr, and L. M. Vaina: *Nature*, **376**, 507 (1995).
- 19) R. F. Hess, A. Hayes, and D. J. Field: *J. Physiol. Paris*, **97** [2-3], 105 (2003).
- 20) D. J. Field, A. Hayes, and R. F. Hess: *Vision Res.*, **33** [2], 173 (1993).
- 21) メッツガー：岩波書店，(1953/1968).
- 22) 塩入 論：光技術コンタクト, **42** [4], 3 (2004).
- 23) 塩入 論：映像情報メディア学会誌, **58** [11], 1619 (2004).
- 24) 塩入 論：光学, **28** [5], 261 (1999).