

## 形態知覚異常と最近の話題

仲泊 聡

神奈川県厚木市七沢516  
神奈川リハビリテーション病院 眼科  
〒243-0121 神奈川県厚木市七沢516

### 1. はじめに

幽霊の正体見たり枯尾花。見えているものの形が目の前にある実体の物理的形狀とは必ずしも一致してはいないということは、視覚を研究している者なら皆認識している。暗闇の中の曖昧な視覚情報はススキの枯れ草を幽霊に見せてしまう。また、視覚学会の会員にはおなじみの錯視図形もこのことを鮮明に表現している。これらの現象が、「見る」という認知プログラムのバグであるのか、それともその不具合を埋めて余りある効率化の鍵なのか、大変に興味深いところであるがいまのところ明言はできない。しかし、いずれにしても実際に眼を使っている日常生活の中で、我々はこれらの不具合をほとんど感じないで、外界をごく普通の自然なものとして知覚している。

ところが、自分の眼に映る外界が思惑に反して見える場合、人はその状態を病気であると自覚して眼科医のところを訪れる。多くは、眼球に異常をきたしている場合であるが、眼球をくまなく調べてもどこにも異常を見つけられず、また対光反射など視神経における異常も見つからない場合がある。このような場合、脳の異常も見え方の異常の原因として考える必要がある。それは、見ている主体が我々の眼ではなく、他ならぬ我々の脳であるからである。

筆者の勤務する病院は、脳外傷や脳血管障害の患者が多く集まる。そのため、脳に異常をきたし

た際に見え方に異常を生じてしまった患者が、他院に比べはるかに多くやってくる。今回は、形態知覚に焦点をあてて、筆者の経験した3つのタイプの形が変に見える症例について紹介し、それに関連した最近の脳機能画像法の知見を踏まえてそのメカニズムについて考察したい。最初の症例は、「色が分かるが形は分からない」と訴えた症例、2番目は輝度差がないと形が分からなかった症例、そして3番目は形が変形して見えてしまった症例である。

### 2. 形態知覚障害とそのメカニズム

#### 2.1 症例1「色が分かるが形が分からない」

最初の症例は、洋品店に勤務していた58歳の男性である。利き手は右であった。ある時、持病の喘息の発作がひどく起こって、某大学病院を緊急受診したが、心臓と呼吸が止まってしまった。何とか蘇生には成功したものの、心肺停止時間は13分に及んだ。これを境に彼の見えている世界は一変した。

見ようとするものが思うようには見えてこない。色はついているのに形が分からなかった。入

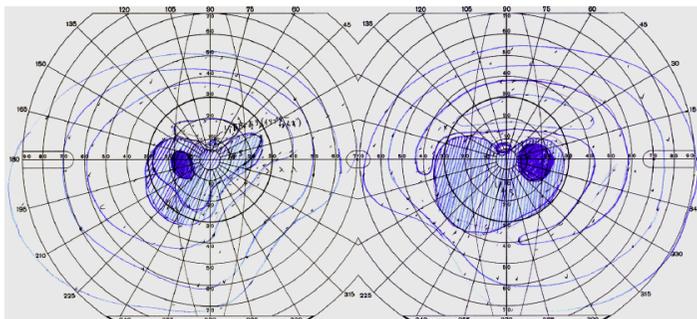


図1 症例1のGoldmann視野検査の結果。中心部の斜線の範囲ではI/4視標が見えたり見えなかったりした。

院中、たまたま病院の窓から近くで行われた花火大会の花火が展望できた。この花火を見た時の感想を彼は「それまでに見たことのないきれいな花火だった。形がバラバラで色とりどりのすばらしいものであった」と語っている。

当科への紹介状には皮質盲の診断名があった。初診時の視力は、右眼が30 cm 指数弁で、左眼が20 cm 指数弁であった。眼球内には異常な所見はなく、対光反射も正常であった。視野検査をすると図1のごとく盲点を含む左右20°、上方10°、下方20°くらいの空豆型の見えにくい範囲があった。ここではGoldmann 視野計のI/4 視標(最も小さくて最も明るい)が見えたり見えなかったりした。この範囲で、ものを見るときの見え方を、患者は「粉がふいたように見える」と表現した。

通常では視力がこの程度の人には、視対象の判断がきわめて困難である。ところが、彼は時に非常に小さいものまで見ただけで判別可能なため、視力がもっとよいのではないかと思われた。そこで、この患者に色覚検査を行ったところ、石原色覚検査表は全表読めなかった。第1表も読めないのは視力低下によるものと通常は判断される。なぞるように指示しても同様であった。ところが、驚くべきことにパネルD-15テストが完璧にできてしまったのである。パネルD-15テストは、直径2 cmほどの小さな円筒形の色標を色相順に配列する課題であり、通常0.01程度に視力が低下した場合は、検査は施行できても正解は得られない。

そこで、十分に時間をかけて視力検査を再検査してみたところ、じつに右眼矯正0.7、左眼矯正1.0までランドルト環の方向を区別することができたのである。実はこうした事例は、筆者の外来では稀ではなく、視野異常に知的な問題を合併しているような症例では生じることがあり、これまでに何度も体験してきた。ただこの症例には明らかな知的障害はなく、これまで筆者が経験してきたパターンとは異なっていた。

次に一般の眼科では行われていない、いくつかの形態認知検査を行った。簡単な図形の模写課

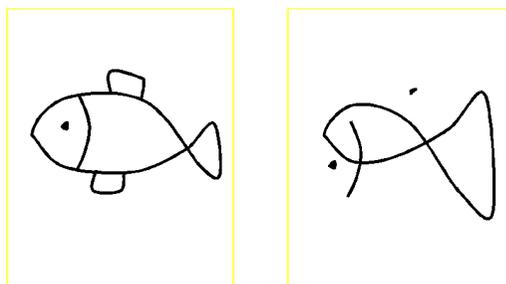


図2 症例1の模写課題の結果。



図3 症例1の描画課題の結果。

題では、部分部分をバラバラに描画した(図2)。描画課題でも同様で、たとえばトンボを描くように指示すると「眼があって、胴があって、羽があって、ヒゲがある(ヒゲは足など)」といいながら、各部分を無関係な場所に描いた(図3)そこで、どういう風に見えるのか質問したところ、ある部分を描いている時、鉛筆の先と描いているものは見えるのだが、いったんその部分を描き終わるとすぐに見えなくなり、別の部分を描く時には、その直前に描いたものは見えていないと答えた。いくつかの代表的な長さや平行線の錯視図形の見え方について質問したところ、図形が見えた場合は、いつもその反応は正常であった。

Schiller (1995)<sup>1)</sup>は、サル(V4野)を破壊して、形態知覚が障害されることを示している。筆者は、この時に用いられた課題と同様の検査を作成して本患者に行ってみた。まず、丸、三角、星形、十字形の四つの図形を四隅に参照刺激として配置し、その中央にそのうちのどれかをテスト刺激として提示して、どれと同じであるかを指差しさせた。これは、V4野破壊サルでも施行可能であったのと同様に本患者も施行可能であった。次に、テスト刺激の大きさを変えて示し

たところ、同じ形はないと指差しを行わなかった。また、斜めに交差した黒い格子で参照刺激にマスクをかけたところ、三角を丸と見誤った。さらに輪郭線をもたない点で構成された背景に白抜きで参照刺激を示したところ、輪郭線を有するテスト刺激以外に図形はないと答えた。これらの課題は、V4野破壊サルでも失敗している。

MRIでは、脳梗塞のような局所的な信号変化はなく、全体的な脳萎縮を示していた(図4)。

このような症例は大変に稀と思われるが、これまでにも報告されていて、いずれも脳が酸素不足に陥った状態で生じている。Zekiら(1999)<sup>2)</sup>が報告した症例は、感電により心肺機能停止になったのをきっかけに同様の症状を示した。Zekiは、この症例が色についてよく弁別できるものの色の恒常性が障害されていることを示した。そしてその症例にfunctional MRI(以下fMRI)実験を行い、色に対する脳活動を記録したところV1野の反応は明確であったがV4野の反応が明確ではないということを見いだした。Zekiは、この症例の色恒常性異常をV4野の機能低下のためと推測している。

一方、この症例の形態知覚異常の原因について、Zekiは、その可能性としてV1野のブロッツ間領域の選択的損傷を挙げている。これまで視覚的形態情報は、色情報とともに網膜のP $\beta$ 神経節細胞から外側膝状体のP細胞層を介してV1野の4C $\beta$ 層に入る。そして4A層から2/3層に行くところで色情報と分岐して2/3層ではブロッツ

間領域に入る。そしてV2野では淡線条領域に投射され、VP野、V4野へと伝達されていくことが知られている。V1野のブロッツ間領域は、色情報が入るブロッツ領域に比べて血流が少ない。そのため、脳全体が酸素不足に陥った場合にブロッツ領域のダメージに比較してブロッツ間領域のダメージが先にそして大きく生じる可能性がある。障害が重度で両方損傷した場合は、色も形も分からなくなり、いわゆる皮質盲の状態になるが、その一歩手前で助かるとこの症例のような色は分かるが形は分からないという状態を作り出すのではないかとZekiは推測した。

本症例が、このZekiの推測したようなメカニズムで生じていたかどうかは明確ではないが、その臨床症状からみて納得できる点が少なくない。色が分かるのにV4破壊サルとよく似た形態知覚異常を示した点は、Zekiの推測に従うと納得できる。また、視野の見える部分と見えない部分がモザイク状になっているとしたら、これは受容野が比較的小さい領野での損傷が必要で、これがV1野であれば受容野の小ささとしては申し分ない。

## 2.2 症例2「輝度差がないと形が分からない」

次の症例は、72歳の右利きの男性である。両側の後頭側頭葉底部の脳梗塞から大脳性色覚異常をきたした患者で、矯正視力は両眼とも0.7であった。本症例の色覚異常については他に報告した<sup>3,4)</sup>ので本稿では省略するが、石原色覚検査表が当初判読困難であったにもかかわらずパ

ネルD-15テストが施行可能であった点は、最初の症例に類似していた。視野検査では両眼の右上視野に楔状の欠損を認めた。

本症例に立体視検査を施行したところ、たいへんに興味深い所見を得ることができた。腕をのばして眼の高さの空間上の任意の点をポインティングすることは容易で、Titmus Stereo Test(以下、TST)で

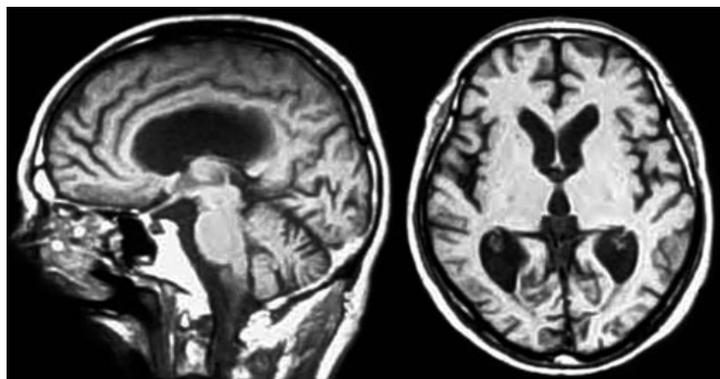


図4 症例1の頭部MRI. 局所的な信号変化は認められず、全体的な脳萎縮を示す。

も、難なく奥行きを弁別した。それにもかかわらず、TNO random dots stereo test (以下、TNO) では、ことごとく失敗した。TNOは、赤緑の眼鏡を使って左右眼を分離し、片眼では形態が知覚できないが、両眼で見ると視差から形態が浮かび上がってくるという刺激を利用した検査法である。TSTが偏光眼鏡で左右分離して各眼に各々形態情報が与えられるという点でTNOはこれとは異なっている。

TNOは、赤緑眼鏡を使用しているため、色覚異常との何らかの関与があるかもしれないと考え、眼鏡を用いないタイプのランダムドットステレオグラム(Frisbee, Random dots E test, Lang test)も施行したが、これらのテストすべてに本症例は失敗した。これらの検査はいずれも片眼では形状が与えられず、両眼にして初めて形状が得られるものばかりであった。

ここで、色覚検査の結果を思い出すと石原色覚検査表ができなかったことが、単に「色覚」の異常から生じたものであるかについて疑問が生じる。それは、石原表のような仮性同色表は当たり前のものであるがモノクロにすると誰にも読めない。すなわち輝度定義の形態情報を持っていない色定義の形態情報できている図形がこの刺激なのである。この点でランダムドットステレオグラムの場合と共通している。すなわち、本症例の視機能異常は「輝度差がないと形が分からない」ということと換言することができるのではないだろうか。

筆者は、この点を二つの方法で確かめようとした。まず、第一は同様の症状を持っている別の患者を探すことで、第二は正常被験者の後頭側頭葉底部に輝度定義されない図形での形態知覚に関連する脳活動をfMRIで証明することであった。第一の確認は、比較的容易にできた。これは後頭葉下部に病巣を有する患者は、筆者の病院では稀ではない

からで、これまで色覚異常にばかり目を奪われて検査してこなかった立体視検査をこれらの患者に行ってみたところ、同様の症状が次々に見つかったのである。また、本症例では両側病変であったが、片側病変であっても同様の症状がみられる場合も存在した。

第二の確認は、共同研究者の市原によって行われた<sup>5)</sup>。市原は、以前より石原表に興味を持ち、その色度分析を行っていた。そこで筆者と共同で石原表の刺激を使用したfMRI実験を計画した。刺激は4種類で、まず、石原表をスキニングして、fMRIの刺激スクリーン上での色度と輝度を調整したものとこれをグレースケールにしたものを作成した。このグレースケールは数字の読めないモノクロランダムドットパターンであった。石原表の色点はいくつかの大きさや色を使用しているが、同じ大きさの他の色同士の色点を入れ替えてランダムドットパターンにすることで数字が読めなくしたものを次に作成した。そして最後に、グレースケールの灰色点を同様に入れ替えることで、輝度定義により数字が読めるものを作成した。このような操作により、全体の点のパターンが全く同じで、構成している点の輝度も同じで、形態の有無と色の有無だけが異なっている4種の視覚刺激を手に入れることができた。

これらを順に提示しながらfMRIを撮像した。その結果、石原表刺激とモノクロランダムドッ

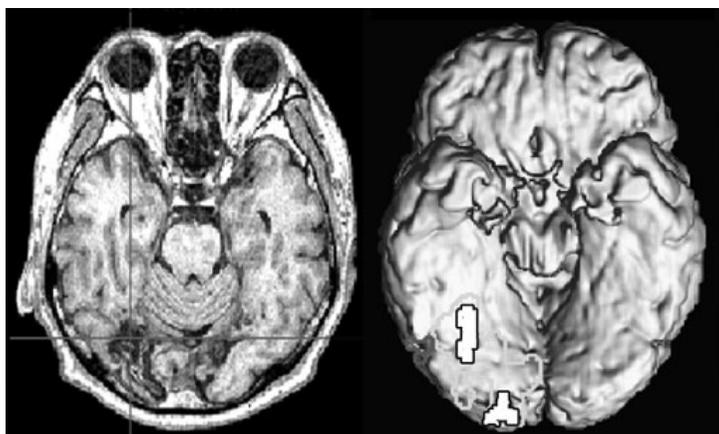


図5 症例2の頭部MRI (左図) と等輝度カラーグレーティングで検出したV4野の反応部位 (右図の黒枠白抜き部分)。

ト刺激との比較で後頭葉下部の反応を認めた。ところが、カラーのランダムドットパターンとモノクロのランダムドットパターンの比較ではこの反応はほとんど認められなかった。

また筆者は、等輝度カラーグレーティングを用いたfMRIの結果を利用して、この一連の石原表関連刺激に対する反応を検討した。MRI装置内で赤と緑のフリッカーフォトメトリーを行った後、等輝度カラーグレーティングを作成し、これの1 Hz反転刺激と等輝度の灰色色との対比で反応を検出した。こうして得られた後頭葉底部の反応は、Zekiら<sup>6)</sup>が報告した典型的V4野の場所と一致して得られた。また、この部分は本症例の病巣とぴったりと一致している(図5)。

そこで、同一被験者において、この実験で得られた後頭葉下部の反応領域を関心領域として、この部分における一連の石原表刺激に対する信号変化を比較したところ、図6に示すように、カラーのランダムドットパターンでもわずかに反応があるものの、石原表刺激では反応が明らかに増大していることが分かる。

以上により、本症例にみられた石原表の誤読とTNOなどのランダムドットステレオグラムの失敗がV4野の形態知覚への関与を示すものであることが確認された。

### 2.3 症例3「形が変形して見えた」

最後の症例は、52歳の右利きの男性である。ものが歪んで見えると訴えて筆者の外来を訪れた。丸いものが歪んで見える、人の顔を見ると向かって左の口元が平面的に伸びてしまったように見えるという。しかも口を閉じているはずなのに歯が見えるという。このような症状は稀ではあるが報告はあり、変形視と呼ばれている<sup>7)</sup>。また、この患者は爪の表面にできる反射が実際よりも遠くに

見えるとも訴えた。

本症例の眼球内には異常を認めず、視力も正常であった。立体視や色覚のルーチン検査にも異常を認めなかった。Goldmann視野検査では中心近くの左下視野にわずかな沈下を認めただけであったが、Humphrey視野検査では、この領域の閾値低下がより顕著に認められた(図7)。この範囲に物を見せても見えないということはなかったが、物が歪んで見える場合はいつもこの部分で生じていた。MRIでは右後頭葉の外側面に病巣を認めた(図8)。病巣は右後頭葉に局限

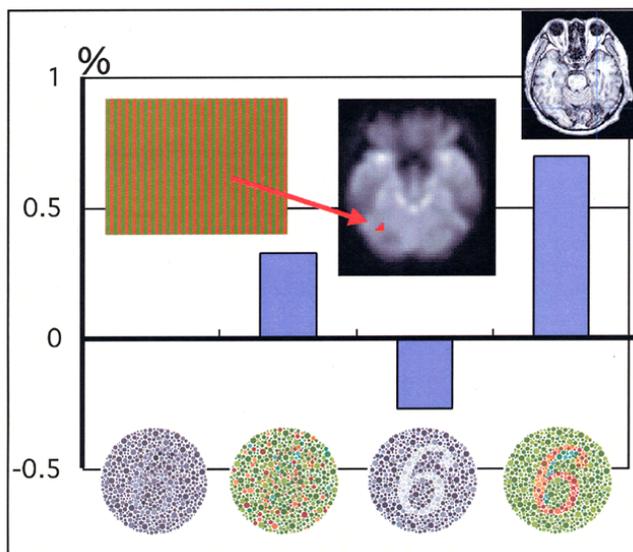


図6 等輝度カラーグレーティングで検出した反応部位における各種石原表刺激に対する反応。視覚刺激は左からグレーランダムドット、カラーランダムドット、グレー可読視表、オリジナルの石原表視標。縦軸は、グレーランダムドットを見た時の平均信号値を基準とした信号変化率(%)を表す。

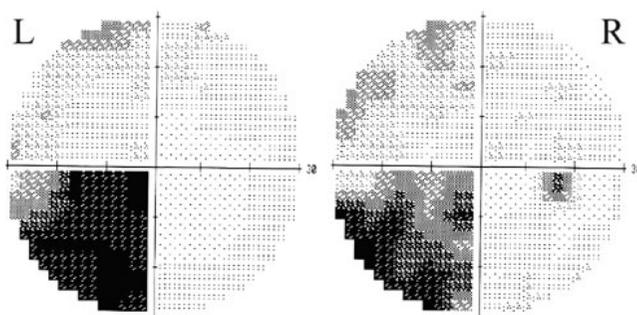


図7 症例3のHumphrey視野検査。左右眼の左下視野に感度低下を認める。

した脳梗塞であったが、深部白質に及んでおり、視野障害の部位と一致するものと考えられる。この部位はMT野の後方でlateral occipital complex (以下、LOC) と呼ばれる領域に属していると考えられた。LOCは後頭葉側頭葉の底部から外側面にかけての広い領野を含んでいて、特に画像の形態に関連していると考えられている<sup>8)</sup>。中でもこのあたりは、V3BとかV4dとかとも呼ばれる場所を含んでおり、その機能地図が現在でもはっきりしていない領野である。

そこで視機能評価を詳しく行うことでこの領野の機能の解明に何らかの情報が得られるものと考え、特に形態知覚と運動視に関わる以下のような一連の検査を行った。まず、形態知覚として基本的な図形の同定課題(症例1に行ったSchillerの課題)、錯視図形の見え、円筒形表面にできる反射光の位置判断、Mooney face図形の判断を、運動視の検査として視野部位毎に運動方向の判断をそして形態知覚と運動視の両方に関連する課題としてshape from motion, structure from motionを行った。また、実際の顔が変形して見える条件について光源の位置を変えて検討した。

Schillerの課題は問題なく可能であった。錯視の見えにおいても異常は見つけられなかった。しかし、爪の反射が遠くに見えるという訴えに一致して円筒形表面にできる反射光が表面に乗らず、ずっと遠くに見えるということが分かった。Mooney faceというのは、白と黒の二値で描画された輪郭線の曖昧な顔の絵で、光のあたっ

ている部分と陰の部分の形態から立体像が認知することが要求される<sup>9)</sup>。この絵を見た時の患者の反応は他のどの検査にもまして明確で、全く顔ということが分からなかった。それが顔を表していることを伝えても納得できず、同席した家族も非常に驚いていたほどであった。

運動方向の判断は、視野検査で感度低下がみられた左下の視野であっても正しく判断できた。MT野の近傍に病巣があるため、運動視に変調をきたすかもしれないと考えたのだが、異常が明確ではないのは片側病巣のためであろう。shape from motionとstructure from motionでは正常に比べれば機能低下が疑われたが、欠落しているわけではなかった。

実際の顔が変形して見える条件について、暗室内においてスタンドで顔を照明して、その位置によって顔の変形の出現しやすさに違いがないかを検討したところ、左上からの照明の時に最も変形が顕著であった。最も変形して見えるという位置での見え方を写真に撮り検討したところ、変形して見えた左下の部分にあたる唇の上縁に数個の反射光が生じていることが分かった。

この症例における明確な異常は、反射光の位置判断、Mooney faceの知覚、そして変形視である。これらの症状をどう関連づけて説明できるのであろうか。Mooney faceが知覚できないことについて、画像が二値であることに着目して他の二値画像を見せたところ、輪郭線が明瞭な図形では認知が悪くなるということではなかった。

これは、単に画像の諧調が少ないために知覚ができないということではないと考えられる。反射光の位置判断が悪いことと考えあわせても、どうも立体に光が当たって生じた反射面の形状と陰になっている面の形状から元の立体構造を再構築する過程にこの異常が関わっているのではないだろうか。

Mooreら(2001)<sup>10)</sup>は、LOCを関心領域として二値画像か

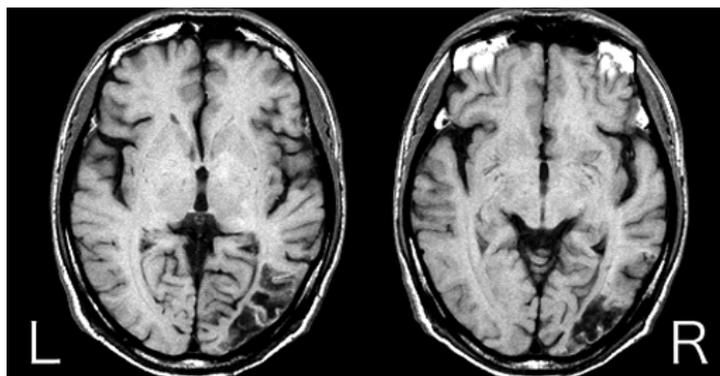


図8 症例3の頭部MRI。右後頭葉外側面に限局した脳梗塞を認める。

ら立体を認知できる場合とできない場合での信号変化について報告している。

Moore らの論文で LOC の活動域が示されている画像と本症例の病巣を直接比較することができなかったので、筆者は光と陰からの立体認知に関わる視覚刺激を使用した fMRI 実験を行い、標準化した本症例の脳の立体画像に正常被験者の活動域を重ね合わせてみた。視覚刺激は、白色の立方体を 4 つ用いてつくった立体の写真とそれから平均輝度を揃えて作成した二値画像とモザイクをかけて形態を分からなくした画像であった。そしてこれらを各々二つ並べて異同判断させるという課題を与えた (図 9)。その結果、モザイクに対して他の 2 刺激はほぼ同様の活動を示し、本症例の病巣はこの活動域に含まれていた (図 10)。本症例にこれらの画像を見せたところ、二値画像とそのもとになった写真が同じ立体を表していることは Mooney face のときと同様に受け入れることのできないものであると語った。以上のことから本症例の病巣が光と陰からの立体認知に関わっているものと推定した。

では、変形視はどうして生じたのであろうか。これはまだ不明であるが、筆者は以下のように考えている。光と陰からの立体認知は、視野部位によらず生じている。一方、変形視は左下視野にのみ生じている。それも反射光が左下視野にあることがその引き金になっているらしい。

我々に見えている絵 (視覚表象) は、目に入ってきた視覚情報がいろいろなモジュールで情報処理されて最終的に一つに再構築されると考えられている。この視覚モジュールは多数あるため、そのうちのいくつかが矛盾のない出力をすれば、ほとんど一義的な最終出力である視覚表象が成立するような冗長性のあるダイナミックなシ

ステムであるに違いない。しかし、モジュールによる出力が拮抗した場合、最終的な出力は、モジュール間のちょっとした力関係によって変動することになる。もしかしたらこれが錯視の原因かもしれない。

また、入力が制限された場合はどうであろうか。幽霊の正体見たり枯尾花。心霊写真のように曖昧図形が顔に見えるような場合を想定すると容易にわかるように、視覚入力への制限は、見えているものをトップダウン的に作り出してしまう要因になる。本症例では Humphrey 視野検査で左下に感度低下を認めた。これはすなわちその部分に入力の制限が生じていたことを意味している。

ここで、本病巣によって上述のように光と陰からの立体認知に何らかの異常をきたしたとしよう。そうすれば光と陰からの立体認知に関わるモジュール以外の情報が欠落している Mooney face のような入力の場合、この情報処理ができない本症例では形態知覚に重度の障害を生じる

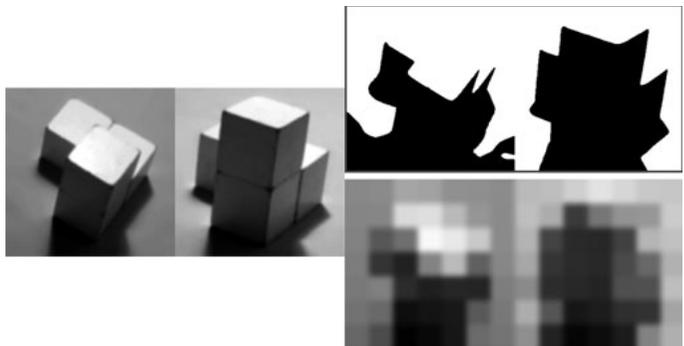


図9 光と陰からの立体認知に関する大脳部位を見つけだすために行った fMRI 実験で用いた視覚刺激。

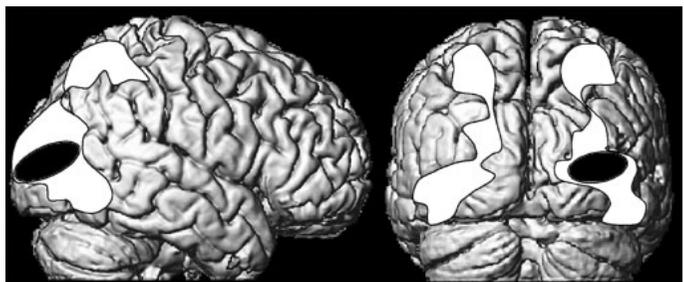


図10 光と陰からの立体認知に関する大脳部位を見つけだすために行った fMRI 実験の結果を標準化した症例 3 の病巣との位置関係。図中の白領域は実験で得られた反応部位、黒領域は症例 3 の病巣を表す。

ことになる。一方、実空間の情報には光と陰からの立体認知に関わるモジュール以外の情報が多数含まれているため、この情報処理が障害されていた場合であっても他のモジュールによる情報処理で通常の視覚表象が問題なく形成される。ところが、視野異常にみられるような入力制限が部分視野に生じ、さらに反射光が妨害刺激として与えられた場合、光と陰からの立体認知に関わるモジュール以外の情報からだけでは正しい視覚表象を作り出すことができなくなって、枯尾花から幽霊を作り出す過程が部分視野にのみ生じてしまうのではないだろうか。これが変形視の本態であり、本症例の場合、口唇縁の反射光の枯尾花が歯の幽霊を生じていたものと考えられる。

### 3. おわりに

形が見えるための視覚情報処理にはいくつもの段階がある。輝度や色によって定義された点がつながって様々な角度の線分になる。線分が閉じてフレームになり、その中の連続性が面を作る。そして面の組み合わせや重なりから立体が作られる。さらには、こうしてできた形態が意味との連合を生じて初めて生活に有意義な形態認知が生じる。このような情報処理はほかならぬ我々の頭蓋の中にある脳という臓器で行われている。本稿では、この臓器が損傷を受け、この情報処理の一部に支障をきたした3名の患者について紹介した。彼らは皆自分の異常な視知覚に疑問と不安を抱いて筆者のもとを訪れた。筆者は、彼らの異常な視知覚をなんら治療することはできなかったが、十分に時間をかけて問診をし、どうしてそんな風に見えるかについていっしょに考えた。時間が症状を改善したという面もあるが、漠然とであっても異常な状態について科学的に説明したことが、患者の不安の低減に少しでもつながってくれていればと思っている。

最後に本研究に技術的な援助ならびに示唆に富む助言を惜しまず与えて下さった通信総合研

究所の宮内哲氏、NTTCS基礎研究所の栗木一郎氏、村上郁也氏、宝仙学園の市原恭代氏、慈恵医大の北原健二教授に深謝します。

### 文 献

- 1) P. H. Schiller: Effect of lesions in visual cortical area V4 on the recognition of transformed objects. *Nature*, **376**, 342-344, 1995.
- 2) S. Zeki, S. Aglioti, D. McKeefry and G. Berlucchi: The neurological basis of conscious color perception in a blind patient. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, **96**, 14124-14129, 1999.
- 3) 仲泊 聡: 色が消える: 大脳損傷と色覚異常. カラーフォーラム *Japan 2000 論文集*, 79-85, 2000.
- 4) 仲泊 聡, 浅川晋宏: 大脳性色覚異常とその合併症. *神経眼科*, **18**, 384-397, 2001.
- 5) Y. G. Ichihara, S. Nakadomari, H. Takeuchi, S. Miyauchi and K. Kitahara: The difference between seeing a random colour dot picture and reading shapes from the same colour dot picture in the Ishihara pseudoisochromatic plates: Artistic research of coloured picture using functional MRI. *Proceeding AIC 2001 Rochester*, 2001.
- 6) A. Bartels and S. Zeki: The architecture of the colour center in the human visual brain: new results and review. *European Journal of Neuroscience*, **12**, 172-193, 2000.
- 7) A. J. Mooney, P. Carey, M. Ryan and P. Bofin: Parasagittal parieto-occipital meningioma with visual hallucinations. *American Journal of Ophthalmology*, **59**, 197-205, 1965.
- 8) Grill-Spector, Z. Kourtzi and N. Kanwisher: The lateral occipital complex and its role in object recognition. *Vision Research*, **41**, 1409-1422, 2001.
- 9) H. Lansdell: Effect and extent of temporal on two lateral deficits. *Physiology and Behavior*, **3**, 271-273, 1968.
- 10) C. Moore and S. A. Engel: Neural response to perception of volume in the lateral occipital complex. *Neuron*, **29**, 277-286, 2001.