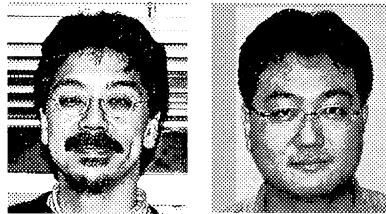




3次元世界を見る脳のしくみ

泰羅雅登・筒井健一郎

日本大学



はじめに

バーチャルリアリティの目指すところは「仮想」や「虚構」の空間を構築することではなく、「現実には目の前にない」けれども「知覚のレベル」では「我々が生活している空間」と「全く同等の空間」を「表象」として生じさせ、その空間に入り込んで「インタラクティブに操作を行う」ことにあると以前に館先生（VR学会前会長）からお話をお伺いしたことがあります。つまりバーチャルリアリティの実現のためには、普段の生活で我々が脳の中に再構成している表象とまったく同じ表象を人工的に作り出すことがどうしても必要なわけです。では、我々の脳は普段どのようにして外界をとらえ、再構成しているのだろうかという疑問がでできます。奥行きをとらえる立体視の問題は、心理学（心理物理学）の領域では古くから研究のテーマとしてとりあげられ、たくさんの研究成果がでていますが、脳内メカニズムそのものについてはブラックボックスとして扱われてきた経緯があります。一方、脳のメカニズムを直接研究しようとする神経生理学の領域では、1980年代に視差信号の初期の情報処理過程についての研究が詳しくなされましたが、その後しばらくこの問題は取り上げられませんでした。しかし、ここ数年、認知の側面から奥行き知覚・立体視の問題をとりあげた研究が行われるようになってきました。本稿では最近の我々の研究について、その背景も含めてご紹介したいと思います。

1. 基本的な視覚情報処理メカニズム

サルやヒトの脳は肉眼で観察すると一見一様に見えま

すが、細胞の並び方や、発達途中で完成される順序などによって細かな領域に分類できます。このような解剖学的な区分を「細胞構築学的分類による脳地図」と呼びますが、この構造の違いは各領域の機能の違いと密接な関係にあります。

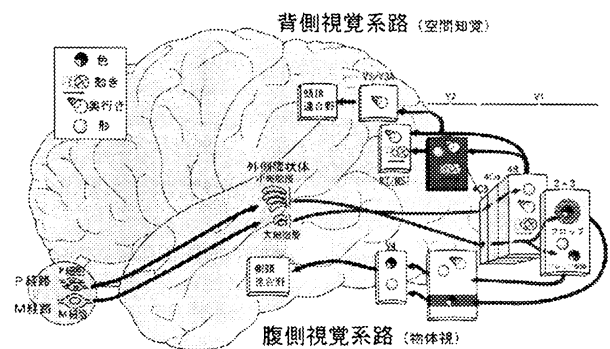


図1 視覚の情報処理 経路視覚情報は情報の種類によって別々の経路で処理される。(Principles of Neuroscience より改変)

これまでの研究で、網膜からの情報が一次視覚野に到達したあとの情報処理経路は大きく2つに分けられることがわかってきました(図1) [1]。視覚前野を経て側頭連合野にいたる経路は腹側視覚経路と呼ばれ、視覚前野を経て頭頂連合野に至る経路は背側視覚経路と呼ばれています。それぞれの機能については、腹側視覚経路は主として色や形の情報を処理し、この経路が障害されると物体の同定ができなくなるので、この経路は形や色の情報からその物体が何であるのか同定する物体視の経路であると考えられています。一方、背側視覚経路は、この

経路が障害されると物の位置が識別できなくなることから、物体の位置情報など空間知覚に関連しているとされてきました。また、最近の研究で背側視覚経路は空間知覚だけでなく手の運動に必要な視覚情報、つまり物の傾き、形状などの形態の情報処理をしていることもわかっています [2, 3]。より詳しい地図では視覚野は約 30 もの領域に分かれています、それぞれの小領域は構造も違ってきますし機能も違ってきます。しかし大切なことは、視覚情報処理にあたってこれらの領域が個々に独立して機能するのではなく、図にあるように、視覚情報はいくつかの種類に分類されて階層的に各領域を経て処理されるということです。

この考え方にそえば、『腹側視覚経路は物体の同定の経路であるから、扱われる視覚情報は色や形の 2 次元情報で、背側視覚経路は空間知覚に関連するから扱われる情報は 3 次元情報である。そして、「外界を脳内に再構成する能力」は空間知覚と密接に関わるので背側視覚経路の仕事である』という考え方が出来ます。このような基本原則は間違っていないのですが、当然、いくつかの疑問もわいてきます。例えば、奥行きの手がかりには左右の網膜像のずれの情報である視差手がかりが重要であることはもちろんのことですが、その他に、陰影、テクスチャー、透視画法による輪郭などの 2 次元的な絵画の手がかりも重要です。では、このような絵画的な手がかりはどう処理されるのでしょうか。2 次元の視覚情報だから腹側視覚経路で処理されるのでしょうか。2 次元情報だけれど、空間知覚に関わる情報だから背側視覚経路で処理されるのでしょうか。腹側視覚経路でも奥行き情報が処理されていることがわかってくるなど [4 - 6]、脳の情報処理がそんなに簡単ではないことを示しています。

2. ヒトの空間認知障害からわかること

繰り返しになりますが、奥行きをとらえるための視覚的な手がかりには左右の網膜像のずれの情報、視差手がかり以外に、陰影、テクスチャー、透視画法による輪郭などの 2 次元的な絵画の手がかりがあることもよく知られています。

Holms は先ほど述べた背側視覚経路にあたる頭頂葉が障害された患者（第一次世界大戦で右の後頭頭頂領域から左の角回付近へ機関銃の弾が貫通した）で立体視に障害が生じた症例を報告しています (図 2) [7]。この患者はすべての物が平面的に見えるのですが、他の同様な症例でも「人間が動く厚紙のように見え、マッチ箱も一枚

の紙に見える」と患者は報告しています [8]。これらの症例は奥行き手がかりのうち視差情報が失われたからだと一般に解釈されていますが、患者の報告からすると陰影や透視画法による輪郭があっても立体感を得ることができないように思われます。つまり、形や、おそらくは陰影がわかっても、それだけでは立体感が生じないということです。

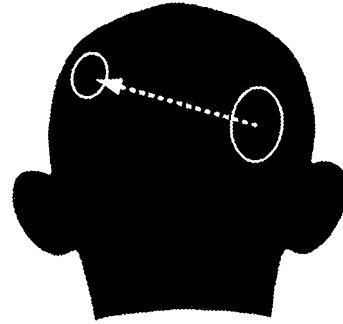


図 2 頭頂葉の障害で立体視ができなくなった症例。頭を後方から見た図で、銃弾が矢印の方向に貫通した。(Holmes and Horrax 1919 を改変)

ヒトでは頭頂葉が空間知覚に重要であることは確かな事実です [9]。右の頭頂葉に障害があると、2 枚のカードに描かれている点の位置が同じかどうか判断できなくなるという報告がありますし、頭頂葉損傷で手の運動機能に異常がないにもかかわらず、対象の位置に正確に手を伸ばすことができなくなります。これは対象の位置の識別ができないことによる障害と考えられます。また、やはり右の頭頂葉が障害されると線分の傾きの識別ができなくなることが報告されています。ほとんどの報告は 2 次元平面上での傾きの識別ですが、アンテナのような細い棒を使った研究もあり、この場合、3 次元的な軸の傾きの認識が右の頭頂葉の障害で生じることが報告されています [10]。また、興味深い頭頂葉の損傷症状の一つの構成失行と呼ばれる症状があります。この症例では、積み重ねたブロックを手本にして同じようにブロックを積み重ねるように指示してもうまくできません。また、おもしろいことに、多くの場合は 3 次元的に書かれた線画をコピーするように指示してもコピーした図からは立体的な特徴がなくなってしまいます (図 3) [11]。

これらの報告は、先にあげた疑問に対して、頭頂葉は空間知覚に深く関わっているのですが、視差情報だけでなく、2 次元的な奥行き情報、絵画の手がかりもこの領域で重要な役割をはたしているだろうという解答のヒントを与えてくれています。

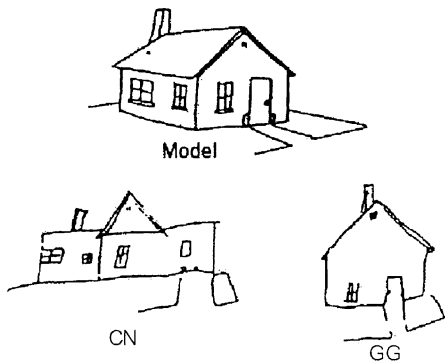


図3 頭頂葉損傷による絵画的な立体感の喪失。上段の図をコピーしたとき、立体感がなくなっている。(Poizner et al. 1989を改変)

3. 3次元形態知覚の神経機構

冒頭で「外界を脳内に再構成する能力」と書きましたが、もちろん今の段階でそこまでの脳内メカニズムが解明されたわけではありません。

3.1 Marrの仮説

Marrは2次元の網膜像から3次元モデルを脳内で再構成するための計算理論を提唱し、その中で、軸の傾きと面の傾きが視覚情報の中間処理の段階で重要であることを指摘しています[12]。また、彼は基本円柱(Generalized cylinder)の組み合わせで3次元の形態が再構成できることを示唆しました。つまり、面の傾きを検出し、面と面との組み合わせから基本的な立体を識別し、さらに、その軸の方向と、他の要素との相対的な位置の関係を検出して3次元の形態を認識するような階層的な神経情報処理機構がある可能性を示唆しているわけです。

このモデルは我々にとって魅力的なものでした。というのは、3次元形態の識別の研究前に、頭頂葉のAIP領域で、いろいろな形状のスイッチを操作する時に活動して、操作運動の視覚的なコントロールに関係している操作運動ニューロンを調べていたのですが、そのときにレバー型のスイッチのレバーの向きによって反応の違うニューロンを見つけました[2]。スイッチを操作するときにはスイッチの“大きさ・形”・“傾き”を判断する視覚システムが必要なわけで、レバーの向きによって反応が違うということは、軸の傾き、それもおそらく3次元の傾きを識別する神経機構があることが示唆されたわけです。そこで、軸の傾きを識別しているニューロンを探したところ、操作運動ニューロンとは少し離れたCIPという領域

に確かに見つかりました[13]。これらのニューロンの特徴は、3次元の軸の傾きに選択的に反応し、ほとんどの物が両眼性の視覚ニューロンで、単眼視するとその反応は著しく減弱します。また、刺激の長さを長くすると反応が増強する傾向にあり、幅を広げたり、厚みを増すと逆に反応が減弱します。つまり、細くて長い物によく反応し、傾きの識別は視差信号によって行われているということです。では、Marrが仮説で言うように、面の傾きの識別はどうでしょうか。

3.2 面の傾きの識別：心理物理学から

実際に、我々の研究でMarrが予測したような面の傾きを識別するニューロンがやはりCIP領域で見つかりました[14-16]。実際のニューロン活動についてお話する前に、面の傾きの識別に関する心理物理学の研究成果についてふれておきます。これらの研究はニューロン活動の解析に重要な示唆を与えてくれるものです。

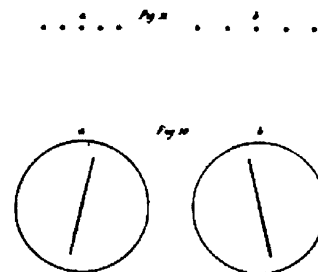


図4 Wheatstoneが立体鏡で用いた線画図形。上段：左右像で点の間隔が違っている。視線を交差させて融合すると点が右手前から左奥に向かって並んで見える(幅視差)。下段：左右増で線分の傾きが違っている。視線を交差させて融合すると奥に傾いた線分が見える(方位視差)。(Wheatstone 1838を改変)

(1) 面の傾きと両眼視手掛かり

Wheatstoneは一对の線画図形を両眼に呈示する立体鏡という装置を使って立体視に関する研究を行いました(図4)[17]。彼が実験に用いた線画図形を詳しくみると、垂直軸回りに傾いている線分、たとえば左が手前、右が奥にある線分では、右目と左目の網膜像の長さを比べると右目像のほうが左目像よりも長いことがわかります。AmesやOgleはmeridional lensという像が一軸の方向にそって拡大する特殊なレンズを使って片目の像を水平方向に拡大し、知覚される面の傾きについて詳しく調べています(図5)[18, 19]。このように、右目と左目で像の幅が異なると垂直軸周りの奥行き感が生じるわ

けですが、このような視差を幅視差 (width disparity) と呼んでいます [20]。一方、右目像と左目像で傾きが異なる線分を融合させると、手前、あるいは奥に傾いた線分が知覚できます。このような左右の像の傾きの違いを方位視差 (orientation disparity) と呼びます [20]。ところで、Jules が開発したランダムドットステレオグラム (RDS) の刺激でも傾いた面を知覚することができます [21]。この場合、線画とちがって右目像、左目像は輪郭を持たないので、幅視差、方位視差といった手掛かりを使うことはできません。また、絵画的な手掛かりもありません。この場合には Marr が指摘しているように、視差の勾配を検出する神経機構があって、それによって面の傾きを検出していると考えられます。

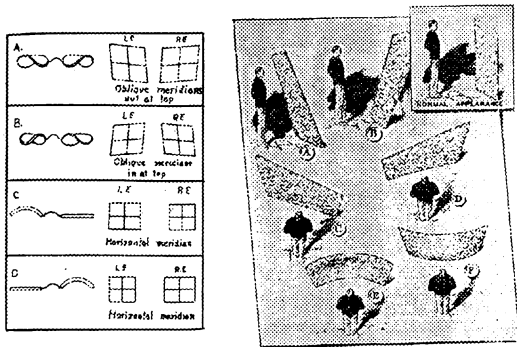


図5 Amesの実験。特殊なレンズを使って片目の像をいろいろな方向に引き伸ばした時に知覚される平面が示してある。A,B: 斜め方向に引き伸ばしたとき、C,D:水平方向に引き伸ばしたとき (Ames 1946)

(2) 面の傾きと単眼性の手掛かり

Gibson は傾きの検出には、面の表面のテクスチャーの大きさや、密度、線の間隔などのなだらかな変化 (勾配) が重要であると指摘しています [22]。実際にテクスチャーの情報だけから面の傾きを識別させると、識別は可能ですが、我々が調べたところ、実際の傾きよりも小さく判断する傾向にあります [23]。また、透視画法による輪郭も面の傾きを知覚する手掛かりになることが知られています。この場合もテクスチャーと同様、面の傾きが小さく判断される傾向にあります [23]。面の傾きの識別に限って言えば、絵画的な手がかりは、視差手がかりの補助的な役割を果たしているといえるようです。これについては次の章でも触れます。

3.3 面の傾きに反応する神経細胞

(1) サルに立体視が出来るのか?

実際に面の傾きを検出しているニューロンがあるかどうかを調べる前にクリアしなければいけない大きな問題がひとつあります。ニューロン活動の研究ですから、ヒトで調べる訳にはいきませんからサルの脳で調べるわけですが、サルもヒトと同様に立体視が出来て、面の傾きを識別出来るのでしょうか。ヒトなら言葉で答えてもらえるので簡単ですがサルではそうはいきません。

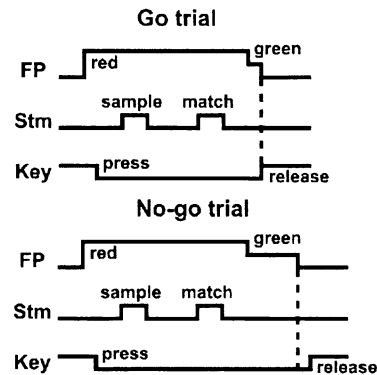
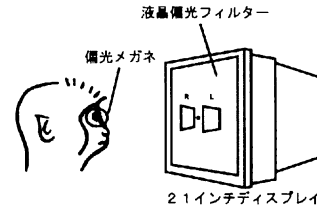


図6 実験のセットアップと遅延見本合わせ課題。遅延見本合わせ課題：傾いた面が刺激として (sample と match が) 時間をおいて呈示される。サルは両者の傾きが同じならば Go 反応、違うなら No-go 反応で解答する。FP:注視点 (色が赤から緑に変わる)、Stm:視覚刺激 (傾いた面)、Key:反応キー

この問題に対して解答を与えてくれる手法が遅延見本合わせ課題と RDS です (図6)。実験ではヒトでの実験と同じように、サルに偏光眼鏡をかけさせて、ディスプレイの前の偏光液晶フィルターを画面に同期させて切り替えて、左右独立した画像をそれぞれの目に呈示して立体画像を作ります。我々はまず遅延見本合わせ課題をサルに訓練しました。これは傾いた面を時間をおいて2つ呈示して、はじめに呈示された面の傾きと後で呈示された面の傾きが同じか違うかをスイッチを使って答えさせる課題です。もし2つの面の傾きが同じなら、画面上の注視点の色が変わったらすぐに手元のキーから手を離せば報酬のジュースがもらえます (Go 試行)。また、2つの面の傾きが違うときには注視点の色が変わってからしばらく待ち、注視点が消えたところでキーから手を離すとジュースがもらえます (No-go 試行)。そしてこの課題を RDS

を使ってやることで、サルがヒトと同様に立体視が出来るかどうかわかります。RDSは左右のそれぞれの画像には何も情報がありませんから、像を融合して立体画像が見えていないとこの遅延見本合わせ課題が出来ません。実際サルは訓練によってRDSを使った遅延見本合わせ課題が出来るようになりますから、サルもヒトと同様に立体視の能力があること、そして面の傾きに注目することが出来ることがわかるわけです。ちなみにこの訓練は大変で、サルが出来るようになるまで半年から1年はかかります。サルの実験は気が長くなければ出来ません。

(2) 面方位識別 (Surface orientation selective, SOS) ニューロン

最初の研究では、正方形の板 (プレート) を 45° 、8つの方向に傾けた立体図形と垂直面に平行なプレートの合計9方向の立体図形 (Solid Figure Stereogram, SFS) と、それらをRDSで作成したものを作り、先に述べた遅延見本合わせ課題を使ってニューロンの選択性を調べました。その結果、CIP領域には確かに面方位に選択的に反応するニューロンがあることがわかりました [15]。

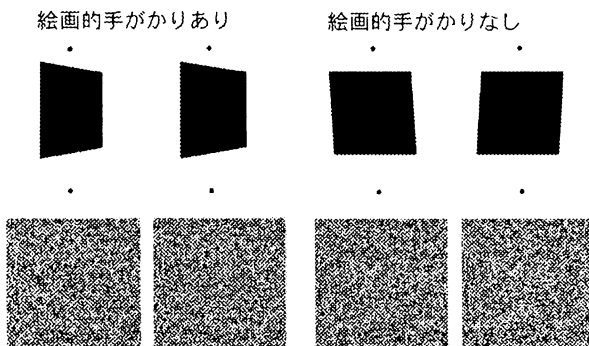


図7 実験で用いた視覚刺激。左：視差と絵画的手がかりを含んだ刺激。右：視差手がかりのみの刺激。それぞれ上段は輪郭のある刺激 (SFS)、下段はランダムドットステレオグラム (RDS)

a. 視差手がかりの効果

前の章で述べたように、奥行き手がかりには視差手がかりと絵画的手がかりがあります。最初の研究で用いた刺激は面の傾きによって輪郭が変化しますから、この両方の手がかりを含んでいます。そこで、次の研究ではまず視差手がかりに対する反応だけを調べることにしました [15]。方法は簡単で、面の傾きが変わっても輪郭が変化しない立体図形を計算して作って、両眼視差信号だけを持つ刺激も用意して反応を調べたわけです (図7)。その

結果、SFSには反応するが、RDSには反応しないニューロン、逆にRDSにだけ反応し、SFSには反応しないニューロン、そして両者に反応するニューロンが見つかりました (図8)。この結果は前の章で述べたように両眼視差信号にもいろいろな種類があるという心理物理実験の結果とよく対応しています。すなわち、SFSだけに反応するニューロンは輪郭部分の視差信号を手掛かりに面の傾きを識別していると考えられるニューロンで方位視差や幅視差を使って面の傾きを検出している可能性があります。また、RDSにだけ反応するニューロンは面を横断的に見たときの視差勾配を使って面の傾きを識別していると考えられ、視差勾配から面の傾きが計算できるというMarrの理論そのものともいえるニューロンです。そしてこの両方の手掛かりを使っていると考えられるニューロンがあるというも納得のいくところでした。

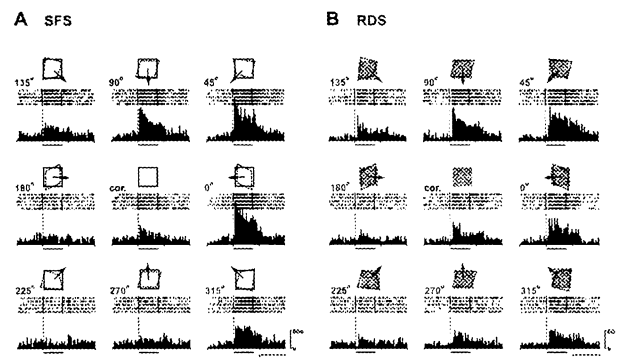


図8 面方位選択性ニューロンの視差に対する応答。絵画的手がかりを持たない刺激に対するSOSニューロンの反応が示してある。SFS (左) に対しても、RDS (右) に対しても同じ方向選択性を示している。

これまでにサルや、ネコの初期の視覚関連領域で水平視差を検出するニューロン群が見つかっています [24]。視差勾配を検出するためにはこれらの視差検出細胞からの出力が統合されるような神経機構があればよいのですがその詳細はまだわかっていません。最近、CIP領域の隣にあるV3Aという領域で同じ視差に反応するニューロンがコラム状に並んでいることがわかっています (Adams and Zeki 未発表)。このような構造は視差勾配を検出するために有用と思われます。一方、ネコの一次視覚野では方位視差に反応するニューロンが見つかっていますが [25]、幅視差の検出に対応するようなニューロンはまだ見つかっていません。ただし、幅視差や方位視差はそれぞれ水平視差の水平方向での勾配、垂直方向の勾配と定義することもできます。幅視差、方位視差について、そ

それぞれに特異的な情報処理システムがあるのか、水平視差信号から計算的に導かれるのか興味のある問題です。

b. 絵画的手がかりの効果

次に絵画的手がかりの影響を調べるために視差のない刺激に対する反応を調べてみました [16]。するとCIP領域のSOSニューロンはその多くが視差のない刺激に対して反応しますが (Odisp.)、反応が減弱することがわかりました (図9)。この結果は、この領域で両眼視差信号と、単眼の奥行き手掛かりの統合が行われている可能性を示唆しています。また、反応が減弱するという事は、先に述べたように絵画的手がかりが補助的な役割を果たしている可能性を示しています。また、最近、この領域にテクスチャーを手掛かりとして面の傾きを識別するニューロンも見つかりました (図10) [26]。テクスチャー刺激は先に使ったプレート刺激に比べて視野を占める大きさが広いので一概に比較することは出来ませんが、輪郭の影響などよりも強いかもしれません。

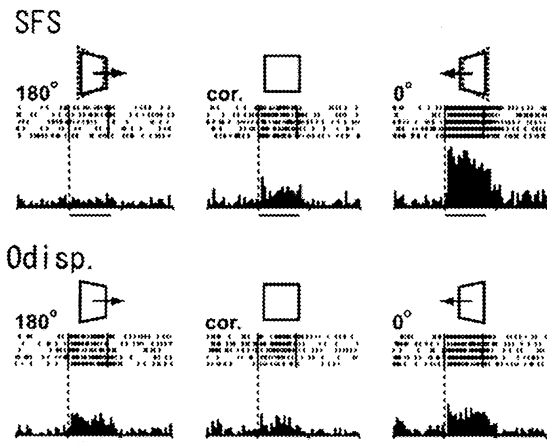


図9 面方位選択性ニューロンの絵画的手がかりに対する反応。上段：SFS刺激に対する反応。右側のエッジが手前の面に強く反応している。下段：上段のSFS刺激から視差信号を取り除いた刺激に対する反応。同じく、右側のエッジが手前の面に強く反応しているが、SFSに対する反応より弱い。

最近イメージングの研究でヒトのCIP領域で絵画的な手がかりを使って3次元の形態情報処理をしているという結果が報告されています。Shikataはテクスチャー情報で面の傾きの識別をさせたときに [27]、Tairaは陰影で面の凹凸を判断させたときに [28] (図11)、それぞれヒトの頭頂間溝の後方部が活動していることを報告しています。また、絵画的手がかりではないですがshape-from-motionの課題やネッカーキューブで被験者が立体図形を

認識したときにこの領域が活動したという報告もあります [29、30]。

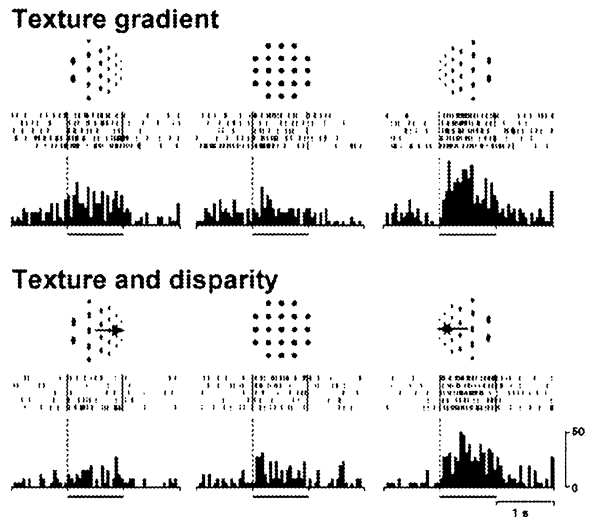


図10 テクスチャーによる面の傾きに反応するニューロン。上段：テクスチャー刺激に対する反応。右側が手前になるようなテクスチャーパターンに対して選択的に反応している。下段：テクスチャー刺激に視差を付けたときの反応。視差情報を付加しても、反応はあまり変わらない。従ってこのニューロンはテクスチャーから面の傾きを識別していると考えられる。

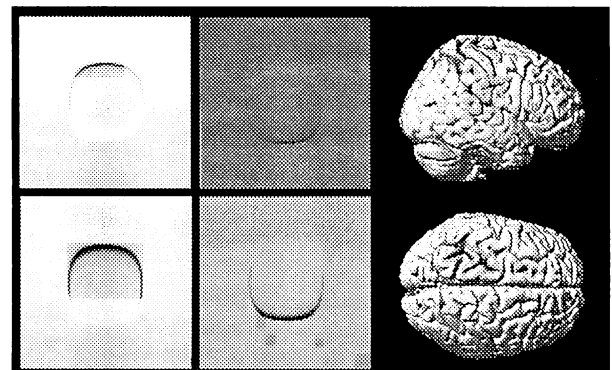


図11 陰影による凹凸の識別で活動する脳領域。左：実験に使用した刺激。陰影だけで凹凸が判断できる。図を180°回転させると印象が逆転する。右：陰影から凹凸を判断しているときに活動している脳領域。上段は脳を右側面から見た図。下段は脳を上方から見た図。頭頂葉、特に頭頂間溝の後方部が強く活動している (赤い部分)。

以上の結果は、CIP領域のニューロンは、種々の両眼視差信号や、単眼の奥行き情報を統合して面の傾きが識別している可能性を示唆しています。方位視差や、幅視差を検出するには、その前段階で線分の傾きや長さの情報検出が必要であり、視差の勾配を計算するには面全体にわたって視差を検出し、さらに隣り合った点と点の視差の差の情報が必要です。従ってCIP領域は、階層的に処理された3次元情報が集約される、3次元的な視覚

情報処理機構の中でもかなり高次な領域であると考えられます。

4. まとめ

繰り返しになりますが、頭頂連合野には様々な手がかりを統合して3次元視覚を処理する高次中枢であるらしいことがわかってきました。しかし、最初で述べたように、最近では側頭葉にも視差に反応するニューロンが見つかり [4 - 6]、その中には曲面に選択的な反応を示すニューロンも見ついています [4]。今後、頭頂連合野との機能の違いについてさらなる研究をしなければなりません。われわれが知り得るところはまだ断片的にすぎませんが、神経生理、神経心理、心理物理の研究を互いに連携してすすめていくことで今後、将来きっと脳内のメカニズムが明らかになるであろうと思っています。

参考文献

- [1] Ungerleider L. G. and Mishkin M.: Two cortical visual systems. in *Analysis of Visual Behavior*, MIT Press (1982)
- [2] Taira M. et al.: Parietal cortex neurons of the monkey related to the visual guidance of hand movement, *Exp Brain Res*, vol83, pp29-36 (1990)
- [3] Milner A. D. and Goodale M. A., *The visual brain in action*, Oxford (1995)
- [4] Janssen P. et al.: Macaque inferior temporal neurons are selective for disparity-defined three-dimensional shapes, *Proc Natl Acad Sci U S A*, vol96, pp8217-8222 (1999)
- [5] Uka T. et al.: Disparity selectivity of neurons in monkey inferior temporal cortex, *J Neurophysiol*, vol84, pp120-132 (2000)
- [6] Tanaka H. et al.: Processing of shape defined by disparity in monkey inferior temporal cortex, *J Neurophysiol*, vol85, pp735-744 (2001)
- [7] Holmes G. and Horrax G.: Disturbances of spatial orientation and visual attention with loss of stereoscopic vision, *Arch Neurol Psychi*, vol11, pp385-407 (1919)
- [8] Riddoch G.: Dissociation of visual perceptions due to occipital injuries, *Brain*, vol40, pp15-57 (1917)
- [9] Heilman K. M. and Valenstein: *Clinical Neuropsychology*, pp165, Oxford (1993)
- [10] De Renzi E.: Disorders of space exploration and cognition, Wiley (1982)
- [11] Critchly M.: *The parietal lobe*, Hafner (1953)
- [12] Marr D.: *Vision*. Freeman (1982)
- [13] Kusunoki M. et al.: Response properties of axis-orientation selective neurons of the parietal association cortex of the monkey studied by 3D computer graphics, *Soc Neurosci Abstr*, vol22, pp398 (1996)
- [14] Shikata E. et al.: Selectivity of the parietal visual neurones in 3D orientation of surface of stereoscopic stimuli, *Neuroreport*, vol7, pp2389-2394 (1996)
- [15] Taira M. et al.: Parietal neurons represent surface orientation from the gradient of binocular disparity, *J Neurophysiol*, vol83, pp3140-3146 (2000)
- [16] Tsutsui K. et al.: Integration of perspective and disparity cues in surface-orientation-selective neurons in area CIP: Single unit recording and muscimol microinjection experiments, *J Neurophysiol*, in submitting
- [17] Wheatstone C.: Contributions to the physiology of vision, *Philosoph Trans of the Royal Soc*, vol128, pp371-394 (1838)
- [18] Ames A.: Aniseikonia-A factor in the functioning of vision, *Am J Ophth*, vol18, pp1014-1020 (1935)
- [19] Ogle K. N.: *Researches in Binocular Vision*, Hafner (1950)
- [20] Howard I. P. and Rogers B. J.: *Binocular vision and stereopsis*, Oxford (1995)
- [21] Julesz B.: *Foundations of Cyclopean Perception*. University of Chicago Press, (1971)
- [22] Gibson J. J.: *The Perception of the Visual World*, The Riverside Press (1950)
- [23] 戸沢純子、筒井健一郎、泰羅雅登：平面の傾き知覚における奥行き手がかりの統合—両眼視差と絵画的手がかり—、*基礎心理学研究*, vol19, pp149 (2001)
- [24] Poggio G. F. et al.: Stereoscopic mechanisms in monkey visual cortex: binocular correlation and disparity selectivity, *J Neurosci*, vol8, pp4531-50 (1988)
- [25] Barlow H. B. et al.: The neural mechanism of binocular depth discrimination. *J Physiol (Lond)*, vol193, pp327-42 (1967)
- [26] Tsutsui K. et al.: Coding of surface orientation by the gradient of texture and disparity in the monkey caudal intraparietal area, *Soc Neurosci Abstr* vol25, pp670 (1999)

- [27] Shikata E. et al.: Surface orientation discrimination activates caudal and anterior intraparietal sulcus in humans: an event-related fMRI study, *J Neurophysiol*, vol85, pp1309-1314 (2001)
- [28] Taira M. et al.: Cortical areas related to attention to 3D surface structures based on Shading: An fMRI study, *NeuroImage* in press
- [29] Orban G. A. et al.: Human cortical regions involved in extracting depth from motion, *Neuron*, vol24, pp929-940 (1999)
- [30] Inui T. et al.: Neural substrates for depth perception of the Necker cube; a functional magnetic resonance imaging study in human subjects, *Neurosci Lett*, vol282, pp145-148 (2000)

【略歴】

泰羅雅登

昭和56年東京医科歯科大学歯学部卒業。昭和60年東京医科歯科大学大学院歯学研究科博士課程修了。昭和60年(助)東京都神経科学総合研究所流動研究員。昭和62年日本大学医学部助手。平成6年より助教授 現在に至る。その間、平成2年米国 Johns Hopkins 大学客員研究員(兼任)平成3年米国 Minnesota 州立大学客員講師(兼任)。専門は認知神経生理。サルを使ったニューロン活動の記録実験と fMRI を使ったヒトの脳機能マッピングの実験で高次の認知機能の脳内メカニズムを研究中。

筒井健一郎

平成6年東京大学文学部心理学専修課程卒業。平成11年東京大学大学院人文社会系研究科博士課程修了・博士(心理学)、同年より、日本大学医学部・学振特別研究員。サルを使ったニューロン活動の記録実験で三次元視覚認知機能の脳内メカニズムを研究中。