

奥行運動に反応する猿頭頂連合野ニューロン

渡部 美博*, 楠 真琴**, 酒田 英夫**

*千葉大学医学部眼科学教室, **日本大学医学部第一生理学教室

要 約

覚醒猿の頭頂連合野後部(7a野)から奥行運動に反応するニューロンを記録し, 網膜像の大きさおよび両眼視差の変化に対する反応を調べた。像の拡大縮小は可変スリットにより, 視差の変化は偏光フィルターを通した一対の像の間隔を変えることによって作り出した。7頭, 11半球から記録された視覚刺激に応じるニューロン227個の内32個が像の大きさの変化または両眼視差の変化に反応した。大きさの変化に応じるニューロンの中には長さの変化だけで反応するものもあったが, 像全体の均等な拡大縮小に特異的に反応するものが多かった。視差の変化に応じるニューロンは単眼刺激では反応が弱く, 両眼刺激で視差の変化を与えたときに特異的に反応した。さらに, 大きさの変化と視差の変化を同時に与えたときに最大の反応を示すニューロンが記録され, これが二つの信号を統合して真の奥行運動を識別している細胞であると考えられた。(日眼会誌 94: 1031-1039, 1990)

キーワード: 視覚刺激, 覚醒猿, 単一ニューロン活動, 大きさの変化, 視差の変化

Neurons in Monkey Parietal Association Cortex Sensitive to Depth Movement

Yoshihiro Watanabe*, Makoto Kusunoki** and Hideo Sakata**

*Department of Ophthalmology, School of Medicine, Chiba University

**Department of Physiology, Nihon University School of Medicine

Abstract

We recorded neurons sensitive to depth movement from the inferior parietal lobule (area 7a) of alert behaving monkeys, and studied their response to changing sizes of retinal images and to changing binocular disparity. The size of the stimulus was changed by changing both the height and width of a slit in the same way, and the disparity change was produced by varying distances between a pair of polarized stimuli on a screen. Of 227 purely visual neurons recorded from 11 hemispheres of 7 monkeys, 32 neurons responded to the change of either the size or disparity, or both. Some of the neurons sensitive to size change could be activated by changing length on only one axis, but the optimal stimulus for most of them was a uniform change of size in all directions. The neurons sensitive to disparity change responded weakly to monocular stimuli, but showed clear selectivity in the direction of change of disparity when binocular stimuli were applied. We also found a group of depth movement sensitive neurons that responded maximally to the simultaneous change of size and disparity. This type of neurons may signal real depth movement by integrating the signals of size change and disparity change. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 94: 1031-1039, 1990)

別刷請求先: 280 千葉市亥鼻1-8-1 千葉大学医学部眼科学教室 渡部 美博

(平成元年12月14日受付, 平成2年4月19日改訂受理)

Reprint requests to: Yoshihiro Watanabe, M.D. Department of Ophthalmology, School of Medicine, Chiba University.

1-8-1 Inohana, Chiba 280, Japan

(Received December 14, 1989 and accepted in revised form April 19, 1990)

Key words: Visual stimulation, Alert monkeys, Single unit activity, Size change, Disparity change

I 緒 言

身の回りの物体が近づいて来るのか遠ざかって行くのかを識別する奥行運動の知覚には平面上の直線運動の知覚に比べ、より複雑な視覚の手がかりが必要である。奥行運動の主な手がかりとしては網膜像の大きさの変化と両眼視差の変化があり、この二つの要素が合わさって奥行運動の知覚をひき起こすことが心理物理学的研究により示されている¹⁾。一方、人間の頭頂連合野、特に角回の損傷で運動視の障害が起こり、その中でも奥行運動の知覚障害が著しいことは古くから臨床的に知られている²⁾³⁾。したがってこれらの視覚情報が頭頂連合野で処理されている可能性が高い。生理学的研究では、猫の Clare-Bishop 野で Toyama ら⁴⁾がこれら二つの視覚情報の入力を受けるニューロンを発見している。また、猿では視覚前野で Zeki⁵⁾⁶⁾が大きさの変化に反応するニューロンと視差の変化に反応するニューロンを記録しており、Saito ら⁷⁾は MST 野で大きさの変化に反応するニューロンを記録している。頭頂連合野でも Sakata ら⁸⁾が覚醒猿を用いて大きさの変化に反応するニューロンを記録しているが、両眼視差の変化に対する反応様式についてはまだ十分な解析はおこなわれていない。そこで本実験では猿の頭頂連合野で人間の角回に当る 7a 野(下頭頂小葉後部)から奥行運動に反応するニューロンを記録し、大きさの変化に対する反応、視差の変化に対する反応を調べ、さらにこれら 2 つの刺激の相互作用についても検討した。

II 実験方法

マカクサル 7 頭 (アカゲザル *Macaca mulatta* 4 頭: 体重 3.5~5kg, ニホンザル *Macaca fuscata* 3 頭: 体重 4~6kg) を用いた。猿は実験に先だち小さなスポットを固視するよう訓練した。スポットは猿が何もしなければ 4~5 秒間隔でごく短時間 (500~600 ms) の点灯を繰返すが、点灯の間に猿が手元にあるプレススイッチを押し、そのまま 2~3 秒押し続ければ 800ms の間暗くなって消える。暗くなっているうちにスイッチを離せば猿は報酬として少量のジュースが得られる。小さく暗いスポットを用いており、スイッチを押してから暗くなるまでの時間がランダムなので、

猿はスポットを固視しなければ、このタスクに失敗し、ジュースが得られない。このようなタスクの成功率が 80% を越えた後、全身麻酔下で電磁誘導方式の眼位検出用コイル⁹⁾を角膜輪部近くの結膜下に埋めこみ、頭部固定用のボルトを頭蓋骨に取り付けた。術後、眼位測定装置⁹⁾により眼位を観察しながら前述のタスクを行なわせ、猿がスポットを固視していることを確認した。ここで全身麻酔下に頭蓋骨に直径約 2cm の穴を開け、ニューロン活動記録用のシリンダーを取り付けた。術後数日して猿が回復してからニューロン活動の

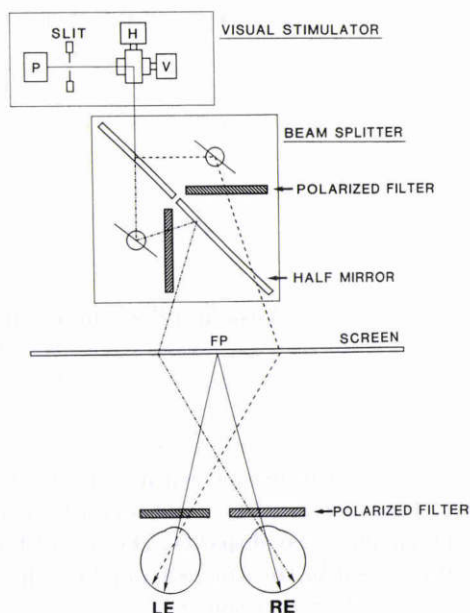


図1 視覚刺激装置と両眼視差刺激用ビーム・スプリッターの略図。一点破線は右眼用の刺激の経路を、破線は左眼用刺激の経路を示す。スクリーン上の像の拡大縮小は視覚刺激装置のスリットの幅を変化させることによって行なった。視差の変化は、プロジェクターからの光をハーフ・ミラーで二分し、偏光フィルターを通してスクリーンに投影し、猿にも同様の偏光フィルターを通してこれらの像を見せることにより行なった。右眼用像と左眼用像はビーム・スプリッター内のミラー・ガルバノメーターによりそれぞれ独立して水平方向に移動でき、これにより任意の視差変化を与えることができる。
P: プロジェクター, H: 水平方向移動用ミラー・ガルバノメーター, V: 垂直方向移動用ミラー・ガルバノメーター, FP: 固視点, LE: 左眼, RE: 右眼。

記録を開始した。

覚醒猿の下頭頂小葉後部(7a野)へ油圧式のマイクロマンピュレーターを用いて微小電極(ガラスでコートされた白金イリジウム線)を刺入し、単一ニューロン活動を記録した。猿の眼前56cmにリアプロジェクションスクリーンを置き、猿が頭部を固定された状態で正面のスポットを固視している間に種々の視覚刺激をスクリーン上に投影し、刺激とニューロン活動の関係を調べた。記録中、猿の視線の方向は常に眼位測定装置で観察し、スポットから視線がはずれたときはタスクを中断した。図1は視覚刺激装置とビーム・スプリッターの略図である。刺激の拡大縮小は視覚刺激装置の可変スリットの縦横の幅を同じ速度(約10°/s)で変化させることにより行なった。両眼視差の変化には偏光フィルターを用いた。刺激装置からの光をハーフ・ミラーで右眼用と左眼用に二分し、互いに偏光面の直交する偏光フィルターを通してスクリーン上に投

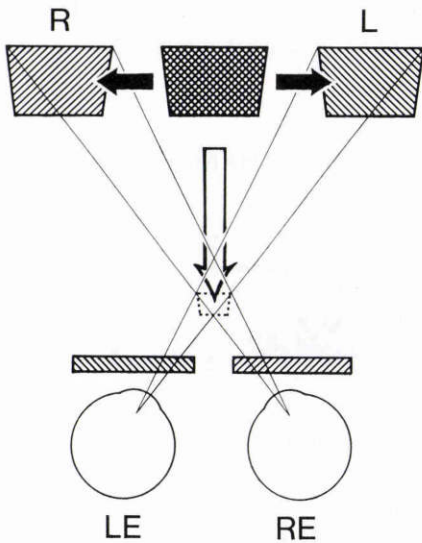


図2 スクリーン上の像の移動による視差の変化を示す模式図。右眼用の偏光像(右上がりの斜線の入った四角形)と左眼用の偏光像(左上がりの斜線の入った四角形)は最初スクリーン上で重なっている。この状態から黒い矢印で示すように右眼用の像を左へ左眼用の像を右へ動かすと、白抜き矢印で示すように物が猿に向かって近づくときと同じ視差の変化を与えることができる。逆にこれらの離れた像を最初の位置に向かって近づければ物が猿から遠ざかるときと同じ視差の変化を与えることができる。以降の図でも刺激像の中の斜線は、同様の偏光像であることを示す。

影した。猿にも互に直交する偏光フィルターのメガネをかけさせ、それぞれの目に別々の像が見えるようにした。これらの像をそれぞれ別々のミラー・ガルバノメーターで約10°/sの速さで反対方向に動かすことにより視差の変化を与えた(図2)。猿が一点を固視している間に四角形の厚紙を近づけたり遠ざけたりしてニューロンの反応を調べ、奥行運動に反応するものに

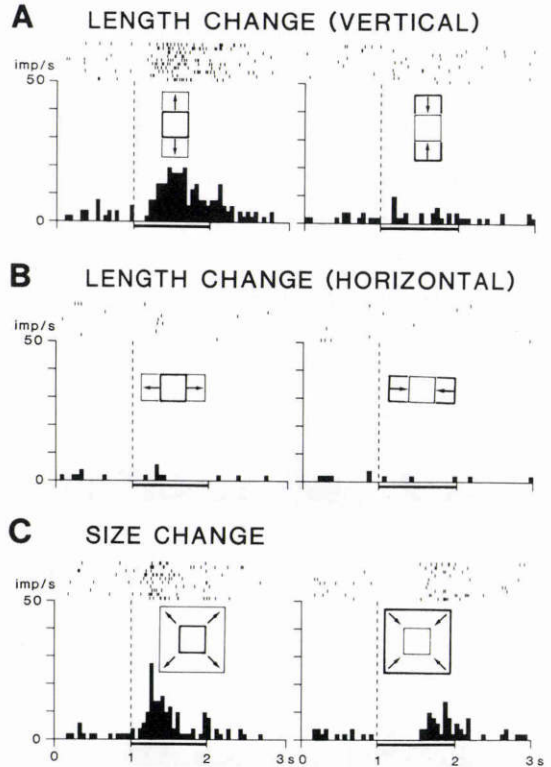


図3 縦方向の延長に対し反応するニューロンの例。このニューロンは縦方向の延長(A, 左側)および縦横両方向の拡大(C, 左側)の刺激により興奮したが、横方向の延長(B, 左側)および縦、横の短縮(A, Bの右側)には反応しなかった。像の縮小(Cの右側)に対しては刺激の前半部分に抑制が見られた。上の多数の点が10回の試行に対するニューロンの発火時点を示すラスタースタンプで、下のヒストグラムはこれを加算平均して得られたニューロンの発火頻度を示す。縦軸がニューロンの発火頻度、横軸が時間である。時間軸の下の実線は、刺激を与えた期間を示し、この部分で各ヒストグラム上の挿入図に示す刺激を与えた。今後示すニューロンの発火パターンは、すべて同様の表示方向をとる。像の大きさ: 縮小時が5°×5°の正方形、拡大時が12.5°×5°の長方形または12.5°×12.5°の正方形。

ついて視覚刺激装置による実験を行なった。

III 結 果

7頭11半球の7a野から記録された視覚刺激に応じるニューロン227個の内32個が奥行運動に反応した。この中には、主に大きさの変化に応じるもの、両眼視差の変化に応じるものがあり、また、両者を同時に与えたときに最大の反応を示すものもあった。

1. 大きさの変化に反応するニューロン：大きさの変化に反応するニューロンのうち最も単純なものは光スリットの長さ（または幅）を変えただけで反応するものである。図3はそのようなニューロンの1例で、スリットを縦方向に延長したときに興奮し（図3 A, 左側）、短縮したときは反応しなかった（図3 A, 右側）。これに対し、横方向の長さの変化に対しては、延長、

短縮ともに反応しなかった（図3B）。縦と横を同時に延長して像を均等に拡大したときの反応も、縦方向の延長に対する反応とほとんど同じであった（図3C）。したがって、このニューロンは像の縦軸の長さの変化に反応しているといえる。しかし、本当の意味で大きさの変化を検出するニューロンならば形が変わらずに均等に大きさが変化した時に最もよく反応するはずである。図4はそのようなニューロンの1例で、像が縮小するときに反応した。縦方向の長さの変化に対しては、延長にはほとんど反応せず（図4A, 左側）、短縮に対し弱い反応があった（図4A, 右側）。横方向の長さの変化に対しては、延長したときにも、短縮したときにもわずかな反応しかなかった（図4B）。しかし縦横の長さを同時に変化させたときには、像の縮小に対して強い興奮がみられ、拡大に対しては反応がなかった（図4C）。大きさの変化に応じるニューロンは計25個記録され、拡大に応じるものが15個、縮小に応じるものが10個であった。図3のように一方の長さの変化だけに反応するものもあったが、図4のように刺激全体の均等な拡大縮小に対し最もよく反応するニューロンが多かった。

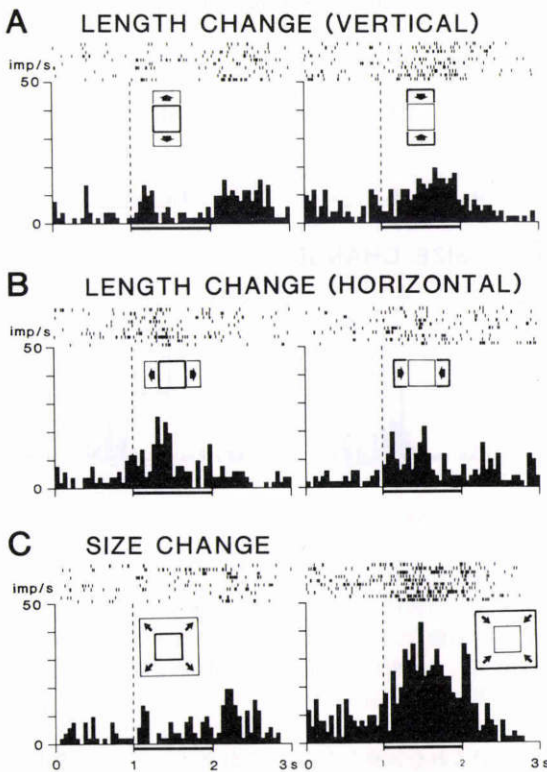


図4 縮小に反応するニューロンの例。縦方向のみ(A)、および横方向のみ(B)の長さの変化ではわずかな反応しか見られないが、Cのように縦横の長さを同時に変えて大きさの変化を与えたときには、像の縮小に対して強い興奮が見られた(C, 右側)。像の大きさ：縮小時が $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ の正方形、拡大時が $20^{\circ} \times 10^{\circ}$ の長方形または $20^{\circ} \times 20^{\circ}$ の正方形。

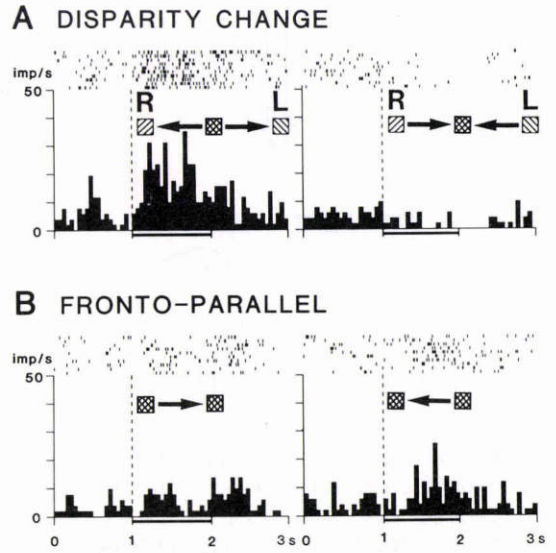


図5 接近方向の両眼視差変化に反応するニューロンの例。視差変化の刺激(A)に対しては、接近方向の視差変化に対して興奮した(A, 左側)。これに対し、視差の変化を伴わないスクリーン平面内の平行移動に対してはほとんど反応がない(B)。刺激は一辺が 3° の各眼用の正方形像をそれぞれ約 10° ずつ往復運動させておこなった。

2. 両眼視差の変化に反応するニューロン：図5は両眼視差の変化に反応するニューロンの例である。このニューロンは、はじめ中央に重なっていた二つの像のうち右眼用の刺激が左へ、左眼用の刺激が右へ動いて接近方向の視差変化が与えられたときに興奮したが(図5A, 左側), 逆に両者が離れた位置から中央にもどり、遠ざかる方向の視差変化が与えられると活動が抑制された(図5A, 右側)。右眼用の刺激と左眼用の刺激が重なったまま同じ方向に平行移動するときはほとんど反応しなかった(図5B)。この視差変化に対する

反応は偏光フィルターの入った眼鏡をはずして両眼に同じ刺激が入るようにすると完全に消失した。このような両眼視差の変化に反応するニューロンに単眼性の刺激を与えたときの反応を調べると、Zeki⁵⁾が報告しているような右眼と左眼の方向選択性が逆向きのもののほかに、単眼刺激に対する方向選択性はあまり強くないが両眼視差変化に対しては方向選択性が強いものが多かった。図6はそのようなニューロンの1例である。左眼だけを刺激したときは、像が右へ動くときも、

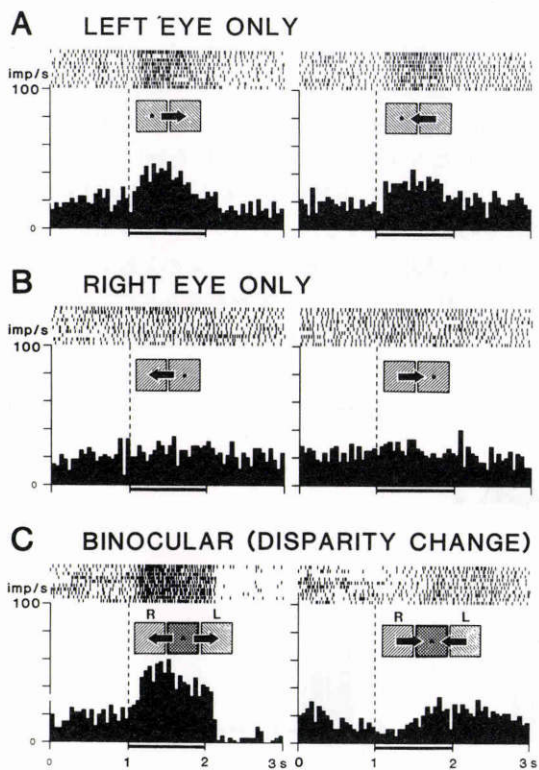


図6 接近方向の両眼視差変化に反応するニューロンの例。単眼刺激と両眼刺激の比較を示す。Aは左眼のみ、Bは右眼のみの刺激を、CはAとBの刺激を同時に与えたときの反応。左眼のみの刺激では、左右両方向の運動で弱い興奮が見られるが(A)、右眼のみの刺激ではほとんど反応しない(B)。しかし、Cに示すようにこれらの刺激を同時に与えると、接近方向の視差刺激では単眼のみでみられた反応を加算したよりずっと強い反応になっている(A, B, Cの左側)。また、離反方向の視差刺激では、左眼のみの刺激で見られた興奮(A, 右側)は見られず、逆に抑制が起っている(C, 右側)。像の大きさは一辺約10°の正方形。黒丸は固視点を示す。

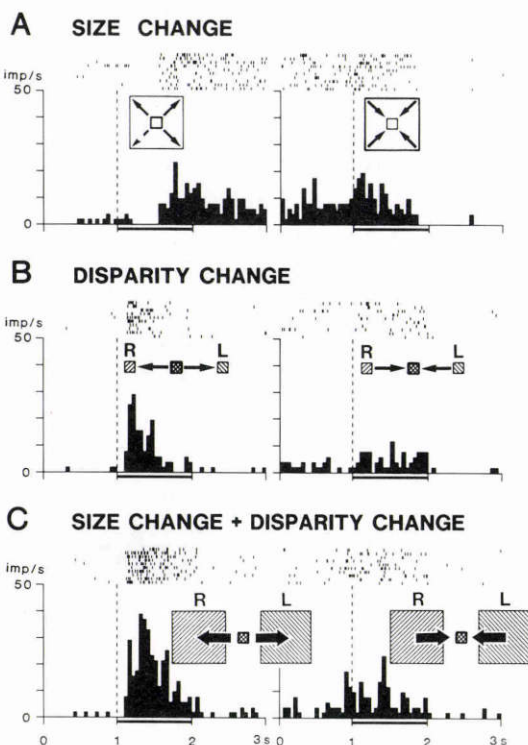


図7 両眼視差の変化と大きさの変化を同時に与えたときの相互作用。物が近づいて来るときに反応するニューロンの例である。Aは大きさの変化だけ、Bは視差の変化だけ、Cはこれらを同時に与えた時の反応を示す。像の拡大に対しては漸増的な興奮が見られ、拡大像に対して持続的な興奮を示し(A, 左側)縮小に対して興奮が徐々に弱まる(A, 右側)、また、接近方向の視差変化に対しては興奮が見られるが(B, 左側)、離反方向の視差変化に対してはほとんど反応しない(B, 右側)。両者の刺激を同時に与えると、接近方向の刺激に対して最も強い興奮が見られるが(C, 左側)、離反方向の刺激に対しては弱い反応しか見られない(C, 右側)。像の大きさは縮小時が一辺3°、拡大時が一辺13°の正方形。視差の変化は0°から20°。

左に動くときも弱い興奮が見られた(図 6A)。しかし、右眼だけの刺激では、ほとんど反応しなかった(図 6B)。両眼刺激では、接近方向の視差変化に強く反応し、その時の反応はそれぞれの目の刺激に対する反応の加算よりもずっと強かった(図 6C, 左側)。また、離反方向の視差変化に対して抑制がみられた(図 6C, 右側)。これらの反応は単眼刺激に対する反応の単純な加算では説明できず、両眼からの入力との相互作用が存在すると考えられる。

3. 大きさの変化と両眼視差の変化の相互作用: 拡大と接近方向の視差変化、または縮小と離反方向の視差変化を組合せると実際に物が近づいたり離れたりするときに近い奥行運動の知覚が起きる。今回我々が調べた頭頂連合野のニューロンには、少数ではあるが大きさの変化または視差変化の単独刺激に対しては弱い反応しかみられないのに両者を同時に与えると非常に強い反応を示すニューロンがあった。図 7 は、接近方向の視差刺激と網膜像の拡大の組合せで最もよく反応したニューロンの例である。このニューロンは大きさの変化だけを与えると、大きな刺激像に対しては持続的に興奮し(図 7A)、接近方向の視差の変化に対して

も弱い興奮が見られた(図 7B)。しかし、両者を同時に与えたときに最も強い興奮が引き起こされた(図 7C)。

4. 奥行運動に反応するニューロンの受容野: 奥行運動に応じたニューロンは記録された半球の対側に広い受容野を持つことが多く、受容野内であれば、どこに刺激を出してもほぼ同様の反応をする傾向があった。図 8 に接近方向の奥行運動に反応する左半球のニューロンの例を示す。受容野は視野の中心から右下方に広がっていて、中心、右20°、下20°に刺激を与えたときの反応はほぼ等しかった。このように、このニューロンは広い受容野を持ち、その中では刺激の位置と関係なく奥行運動の方向を検出していることがわかる。

5) 奥行運動に反応したニューロンの記録部位: 図 9 に奥行運動に反応したニューロンのうち大きさの変化に応じたニューロンの記録部位を示す。これらのニューロンは全て 7a 野の中でも上側頭溝(STS)の前壁に分布していた。また、アカゲザルとニホンザルの間で奥行運動に反応するニューロンの記録部位に大きな違いは見られなかった。両眼視差変化に反応した細胞もほぼこれと同じ部位に分布すると考えている。

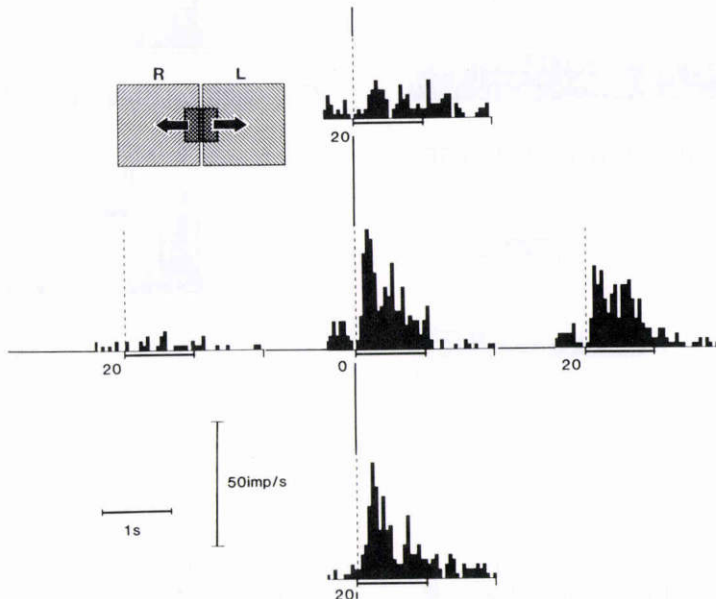


図 8 奥行運動に反応するニューロンの受容野。図の左方に示すように最初は重なっている一辺5°の正方形の像が拡大しながら接近方向の視差変化を生じた際の反応。注視点を視野の中心として、刺激を中心、上下20°、左右20°に与えたときの反応の大きさを示す。このニューロンは、中心、下20°、右20°での刺激に対し強い興奮を示したが、上20°、左20°での刺激に対してはほとんど反応しなかった。このニューロンは左半球から記録されたので、受容野は対側に広いことが分る。

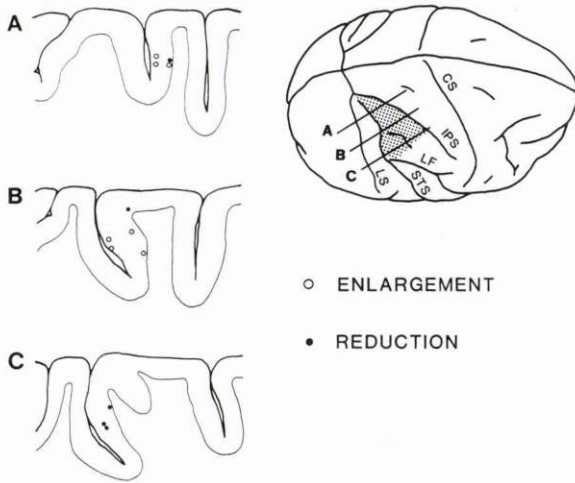


図 9 奥行運動に反応したニューロンの記録部位。右側に脳を右上方から見た外観図を、左側に外観図の A, B, C の部分で脳表に垂直に切った断面図を示す(どちらも右が前方)。白丸は像の拡大に応じたニューロン、黒丸は像の縮小に応じたニューロンである。4 頭 6 半球からの結果を重ねて描いた。いずれも上側頭溝の前壁に存在した。

CS: 中心溝, IPS: 頭頂間溝, LF: 側頭裂, STS: 上側頭溝, LS: 月状溝。影の部分が 7a 野。

IV 考 按

本研究の特色は猿の頭頂連合野の奥行運動感受性細胞について、奥行運動の 2 つの主な手がかりである大きさの変化と視差変化に対する反応を同時に調べたことである。

大きさの変化に応じるニューロンには一方向のみの長さの変化に対して反応するものもあるが、全方向で長さの変化が同時に起った場合、すなわち、像の拡大縮小に対して最も強く興奮するものが多いことが明らかになった。Zeki⁶⁾が報告した一方向の長さの変化に反応するニューロンは、上側頭溝の後壁の 19 野から記録されている。したがって、今回記録されたニューロンとは異なると思われる。一方 Saito⁷⁾が麻酔下の猿で 7a 野の一部である上側頭溝前壁の MST 野で記録した大きさの変化に反応するニューロンは今回我々が記録したニューロンと同じく受容野が広く、記録部位も重なっているの、おそらく今回我々が記録したニューロンと同じものであると考えられる。このような像の拡大縮小に特異的に反応するニューロンは一方向のみの長さの変化に反応するニューロン群から

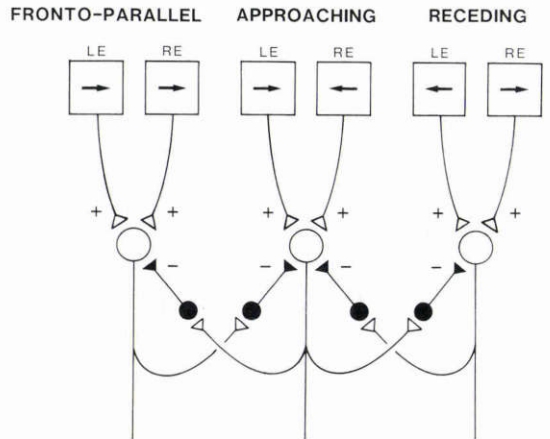


図 10 両眼視差変化に対する反応性を説明するための神経回路。この図では接近方向の視差変化に反応するニューロンを中心にして示す。最上段の四角は前額面内の水平運動を検出するニューロンで、LE は左眼から、RE は右眼から入力を受けている。最適刺激となる物体の運動方向を矢印で表わす。中段の白丸は 3 タイプのニューロンを表し、左からそれぞれ一定距離の平面内での平行移動、接近方向の視差変化、離反方向の視差変化が最適刺激である。黒丸は抑制性介在ニューロンを表す。単眼刺激時には中段のニューロンはいずれもほとんど興奮しないので抑制性の回路は働かないが、接近方向の視差変化の刺激をすると中段の真ん中のニューロンが強く興奮し、他の二つのタイプのニューロンの興奮は抑制性介在ニューロンにより抑制される。しかし、前額面内の運動や、離反方向の視差変化の刺激に対しては、それぞれ中段の左、または右のニューロンが強く興奮し、接近方向の視差変化に反応するニューロンは抑制される。他のタイプのニューロンについても同様な相互の抑制を考える。

入力を受け、それらの信号を統合し、像の均等な拡大、縮小の識別に関与していると考えられる。

一定の視差を保って移動する網膜像を両眼に与えたときに反応するニューロンは視覚野 (17 野) や視覚前野 (18, 19 野) に多数存在することが知られている^{10)~14)}。両眼視差の変化に反応するニューロンについても、Cynader と Regan¹⁵⁾がネコの 18 野で、Toyama⁴⁾が猫の Clare-Bishop 野で記録している。しかし、猿では Poggio と Talbot¹⁶⁾が 17, 18 野の視野中心領域で、また Zeki⁵⁾⁶⁾が上側頭溝周辺の 19 野と思われる部位で奥行運動の視差変化に反応するニューロンがあると報告しているが、いずれも極めて少数である。今回初めて頭頂連合野の一部である上側頭溝前壁で視差変化

に対し選択的に反応するニューロンが記録された。Toyama ら⁴⁾, Poggio と Talbot¹⁶⁾, Zeki⁵⁾などはいずれも両眼視差の変化に対する反応を左右の眼からの入力 of 単純な加算で説明している。つまり、右眼のみを刺激したときには像の左方向の動きに興奮し、左眼のみを刺激したときには像の右方向の動きに興奮するニューロンが、接近方向の視差変化に対し最大の反応をするというものである。一方、Cynader と Regan¹⁵⁾は、両眼視差の変化に対する方向選択性が片眼からの抑制によって生じたと報告している。本実験で記録されたニューロンは、単眼刺激時には図6のように方向選択が弱く、両眼刺激時に初めて強い方向選択性を示すものが多かった。また、図5のごとく右眼と左眼に同じ方向の運動刺激を与えることにより前額面方向の運動刺激を与えると視差変化でみられた興奮が抑制された。これらのことは、それぞれの眼からの入力の単純な加算だけでは説明できず、これらのニューロンが両眼からの相互作用の結果生じた入力を受けていると仮定せざるを得ない。そこで、我々はこのような反応を生み出す神経回路として図10のような相反性抑制を考えた。接近方向の視差変化、離反方向の視差変化、視差変化を伴わない一定距離の平面内での移動、に応じる3タイプのニューロンを仮定し、その一つにとって最適な刺激の組合せが加えられると、その興奮が抑制性介在ニューロンを介して他のタイプのニューロンの興奮を抑えるのである。この回路により単眼刺激ではみられなかった抑制反応が両眼刺激時に出現したことを説明できる。また、これら3タイプのニューロンへ信号を送っている片眼から優位の入力を受け、視野のかなり広い範囲で一定の方向選択性を持つニューロンは今回の記録部位に隣接した上側頭溝の後壁(MT野)に多数存在する¹⁴⁾。相反性抑制は脊髄反射ばかりでなく感覚系においても体性感覚野の関節ニューロンなどで反応選択性を高めるために重要な役割を果たしていることが知られており、奥行運動の知覚においても方向選択性を高めるためにこの回路が存在する可能性は高い。

最後に視差の変化に対する反応と大きさの変化に対する反応の相互作用について述べる。今回の実験では図7のように両眼視差変化にも、大きさの変化にも反応し、両者を同時に与えたとき最大の反応を示すニューロンが記録された。このようなニューロンは大きさの変化に応じるニューロンと視差変化に反応するニューロンからの興奮性の入力を受け、これら二つの

入力が入り込んできたときに最適の反応を示すより高次のニューロンで、真の奥行運動の知覚に関与していると考えられる。本実験の結果からこのような階層的な情報処理が頭頂連合野の中で行なわれていることが示唆された。Maunsell と Van Essen¹⁷⁾, Desimone と Ungerleider ら¹⁸⁾¹⁹⁾による電気生理学および神経解剖学的研究によって17野から視覚前野のMT野を経て頭頂連合野に投射する神経経路があること、この経路では主に視覚的運動に関する情報処理が行なわれていることが明らかになっている。また、各ニューロンの受容野は頭頂連合野に近づくにつれて広くなり、より複雑な運動パターンに応じるニューロンが現れ、情報処理に階層性があることが示唆されている。今回記録を行なった上側頭溝の前壁は頭頂連合野の中では視覚前野に最も近い部位で、彼らがMST野と呼んでいる領域と思われる。本研究によりこの領域で初めて両眼視差変化の情報と網膜像の大きさの変化の情報が統合された奥行運動の知覚が起こることが示唆された。しかし、今回記録されたニューロンの活動が知覚現象と直接的に関係するかどうかについてさらに詳細な検討が必要である。

稿を終えるにあたり、多大の御助力をいただいた千葉大学眼科学教室安達恵美子教授、日本大学第一生理学教室泰羅雅登先生、田中裕二先生に深謝致します。

本論文の要旨は第27回日本神経眼科学会で発表した。

文 献

- 1) **Regan D, Beverley KI**: Binocular and monocular stimuli for motion in depth: Changing-disparity and changing-size feed the same motion-in-depth stage. *Vision Res* 19: 1331—1342, 1979.
- 2) **Holmes G**: Disturbances of visual orientation. *Br J Ophthalmol* 2: 449—468, 506—516, 1918.
- 3) **Zihl J, von Cramon D, Mai N**: Selective disturbance of movement vision after bilateral brain damage. *Brain* 106: 313—340, 1983.
- 4) **Toyama K, Komatsu Y, Kasai H, et al**: Responsiveness of Clare-Bishop neurons to visual cues associated with motion of a visual stimulus in three-dimensional space. *Vision Res* 25: 404—414, 1985.
- 5) **Zeki SM**: Functional organization of a visual area in the posterior bank of the superior temporal sulcus of the rhesus monkey. *J Physiol* 236: 549—573, 1974.
- 6) **Zeki SM**: Cells responding to changing image size and disparity in the cortex of the rhesus

- monkey. *J Physiol* 242: 827—841, 1974.
- 7) **Saito S, Yukie M, Tanaka K**, et al: Integration of direction signals of image motion in the superior temporal sulcus of the macaque monkey. *J Neurosci* 6: 145—157, 1986.
 - 8) **Sakata H, Shibutani H, Kawano K**, et al: Neural mechanisms of space vision in the parietal association cortex of the monkey. *Vision Res* 25: 453—463, 1985.
 - 9) **Robinson DA**: A method of measuring eye movement using a scleral search coil in a magnetic field. *IEEE Trans Bio-med Engng BME-10*: 137—145, 1963.
 - 10) **Barlow HB, Blakemore C, Pettigrew JD**: The neural mechanism of binocular depth discrimination. *J Physiol* 193: 327—342, 1967.
 - 11) **Pettigrew JD, Nikara T, Bishop PO**: Binocular interaction on single units in cat striate cortex: Simultaneous stimulation by single moving slit with receptive fields in correspondence. *Exp Brain Res* 6: 391—410, 1968.
 - 12) **Hubel DH, Wiesel TN**: Stereoscopic vision in macaque monkey. *Nature* 225: 41—42, 1970.
 - 13) **Poggio GF, Fischer B**: Binocular interaction and depth sensitivity in striate and prestriate cortex of behaving rhesus monkey. *J Neurophysiol* 40: 1392—1405, 1977.
 - 14) **Maunsell JHR, Van Essen DC**: Functional properties of neurons in middle temporal visual area of the macaque monkey. II. Binocular interactions and sensitivity to binocular disparity. *J Neurophysiol* 49: 1148—1167, 1983.
 - 15) **Cynader M, Regan D**: Neurons in cat parastriate cortex sensitive to the direction of motion in three-dimensional space. *J Physiol* 274: 549—569, 1978.
 - 16) **Poggio GF, Talbot WH**: Mechanisms of static and dynamic stereopsis in foveal cortex of the rhesus monkey. *J Physiol* 315: 469—492, 1981.
 - 17) **Maunsell JHR, Van Essen DC**: The connections of the middle temporal visual area (MT) and their relationship to a cortical hierarchy in the macaque monkey. *J Neurosci* 3: 2563—2586, 1983.
 - 18) **Desimone R, Ungerleider LG**: Multiple visual areas in the caudal superior temporal sulcus of the macaque. *J Comp Neurol* 248: 164—189, 1986.
 - 19) **Ungerleider LG, Desimone R**: Cortical connections of visual area MT in the macaque. *J Comp Neurol* 248: 190—222, 1986.
-