脳スライス標本における電気刺激効果範囲の検討

非会員 瀧森 徹 (秋田大学)

非会員 小川 哲朗

正会員 西田 眞 (秋田大学)

Effective Range of Electrical Stimulation in Brain Slice Preparation

Tohru Takimori, Non-member (Akita University), Tetsuro Ogawa, Non-member,

Makoto Nishida, Member (Akita University)

In order to examine the confines of electrical stimulation in layer 2/3 of visual cortex in the brain slice preparation, we estimated the effective range of the stimulation based on the excitatory postsynaptic potential (EPSP) evoked in layer V neuron which receives input from layer 2/3. For this purpose, we recorded and compared EPSPs amplitudes evoked by stimulations at directly over site of recording electrode and lateral site in layer 2/3. Since the EPSP increased linearly with stimulus intensity before the saturation, it was considered that the EPSP correlates with the number of projecting neurons in area directly excited with the stimulation. Then we formed the region model by which we can get the ratios between the neuron numbers in areas excited by different sites stimulations against the stimulus effective ranges. And in the stimulus intensity for action potential threshold of layer 5 neuron, we evaluated the effective range for the relative values of EPSPs to be produced with the stimulations of $250\mu\text{m}$ lateral site and directly over site. In the model, the ratio increased monotonically with the effective range and in the case of $250\mu\text{m}$ for the effective range, the ratio between those EPSPs was less than the value in the model. These results led the conclusion that the effective range of the intensity for layer 5 neuron to generate the output is confined within $250\mu\text{m}$ from directly over site, that is, within layer 2/3.

キーワード : 電気刺激, 興奮性シナプス後電位(EPSP), スライス標本, 皮質視覚野

1. まえがき

脳の薄切切片は脳スライス標本とも言われ、脳と同じ環境に置くと長時間に亘って生かすことができ、生体に付いている脳とは異なり血管の動きの影響がないため長時間細胞内から電位を記録できることや、直視下で刺激や記録ができることから、神経科学の分野では局所的神経回路⁽¹⁾, ニューロン間の信号伝達様式⁽²⁾⁽³⁾, 可塑性⁽⁴⁾などの研究に用いられている。人工的なニューラルネットワークの研究方面からも実際の脳内における神経回路についての知見は貴重である。実際の脳内での神経回路の解明には解剖学的知見に加えて、対象回路を活動させ信号の伝達様式などについても検討する必要がある。神経回路を活性化させるためには、薬物による刺激もあるが電気刺激により当該回路中のある部位を刺激することが一般的に行われている。目標の部位を電気刺激するため、2本の細い金属線から成る双極電極を用いてできるだけ電極近傍のニューロン群を刺激しようとするが、カレントスプレッドのため刺入部位から離れた部位まで刺激される場合もある。従って記録部

位で得られる反応が刺激電極刺入部位に存在するニューロン群からの興奮伝達のためなのかを検討するには、刺激の効果範囲を検討する必要性が出てくる。本研究の電気刺激効果範囲の検討目的は、我々が行った大脳皮質視覚野2/3層から5層ニューロンへの興奮性シナプス結合様式の研究⁽⁵⁾における、2/3層電気刺激効果の限局性を検討するためである。

生のニューロンや支持組織から成る入り組んで不均一な神経組織に対して電気物性的モデルを作成して電流密度の分布状況を算定することは困難である。またこれが可能であっても、刺激の有効性とは、刺激されたニューロンが活動電位を発生しこれが記録ニューロンまで伝播されるような状況を言うのであるから、刺激による電流密度の絶対値を算定しても無意味である。そこで刺激により興奮するニューロンの分布範囲を記録ニューロンからの信号を指標にして検討できないか考えた。これが可能な場合は刺激部位とその周辺部から記録ニューロンへ投射がある場合である。ある範囲に広がりをもって分布しているニューロン群が記録部位のニューロンに投射していれば、刺激強度や刺激部

位の変化に対する記録部位からの信号の大きさに基づいて刺激効果範囲の検討が可能になる。大脳皮質視覚野においては2/3層ニューロンは5層へ投射していることが解剖学的に知られている^{(6) (7)}。指標となる信号は、単一ニューロンの活動電位の閾値に対する刺激強度の2/3層での限局性を問題にするので、単一ニューロンの興奮性シナプス後電位 (EPSP) とした。そして刺激効果範囲と投射ニューロン存在領域を2次的に変えられる領域モデルを作成し、投射ニューロン群の中心部位とそこから離れた部位を刺激して記録ニューロンに誘発されるEPSPの相対値が出るためには刺激効果範囲がどの程度なければならないか検討した。

2. 方法

〈2・1〉 スライス標本の作成と維持 生後2～3カ月以上のネコにペントバルビタール麻酔を行い(40mg/kg, 腹腔内注射)断頭後、速やかに全脳を摘出した。その後、後頭部の皮質1次視覚野(図1)の一部を前額断に沿って振動カッター(電気鋸剃り器を加工し剃刀の刃を取り付けたもの)で切り取って皮質のブロックを作成し(図2),

図1 ネコ大脳皮質1次視覚野
Fig.1. Primary visual cortex of cat cerebrum.

図2 皮質ブロックの作成
Fig.2. Dissecting out of cortex block.

これを4℃の標準メディウム内で冷やし、マイクロスライサー(堂阪イーエム製:DTK3000)(図3)に装着し、厚さ500μmのスライス標本を作成した。室温の標準メディウム中に一時間程保存し組織の代謝系を平衡にした後、スライス標本はGennari線条(ジェンナリの発見した皮質視覚野4層に見られる白帯状の模様)を実体顕微鏡下で観察し4層部位を同定した後、34℃、メディウム灌流速度2～3ml/minの実験槽(図4)に移し、2/3層の電気刺激に対する5層ニューロンの反応の細胞内記録に用いた。標準メディウムの組成はNaCl 124mM, KCl 5mM, NaH₂PO₄ 1.25mM, MgSO₄ 1mM, CaCl₂ 3mM, NaHCO₃ 25mM, Glucose 10mMで保存槽内においてO₂ 95%, CO₂ 5%の混合ガスの小泡で十分に飽和した後重力で実験槽に送り、スライス標本通過後ポンプによる吸引で実験槽外に排出した。

図3 マイクロスライサー
Fig.3. Microslicer.

図4 実験槽
Fig.4. Experimental chamber.

〈2・2〉 電気刺激及び記録 2/3層を局限して電気刺激するためと細胞内記録中に刺激電極を組織から出し入れして刺激部位の移動を行うため、非常に細い刺激電極を自作し使用した。作製した刺激電極の絶縁双極白金イリジウム電極は先端径30~50 μm 、幅50~70 μm 、露出部分30~50 μm である。これを表層から250 μm の2/3層中央部(図5)に刺し、電気刺激装置(秋田大学医学部第一生理学教室佐藤紳一製作:図6)から方形波幅100 μsec 、数10~数100 μA の定電流を流し電気刺激を行った。刺激の効果範囲の検討は、細胞内記録中に上述の双極白金イリジウム電極をスライス標本から出し入れし2/3層内を記録電極直上部から側方へ移動させを行った。記録電極は皮質表面から皮質の厚さの3分の2の部位にある5層(図5)へ刺し入れた。細胞内電位の記録には4 M酢酸カリウムを充填したガラス微小電極(電極抵抗 50~80M Ω)を用い、その出力を微小電極用直流増幅器(Axon社製:AXOCLAMP-2A)で増幅し、

図5 スライス標本における記録と電気刺激部位

Fig.5. Recording and electrical stimulating sites in slice preparation.

図6 記録と電気刺激装置の概略

Fig.6. Schematic diagram of recording and electrical stimulating apparatus.

メモリオシロスコープ(日本光電社製:VC11)やデジタルデータレコーダー(ソニー社製:PCM-108M)を用い記録した(図6)。本文中の波形はこれらの記録をXYレコーダ(日本光電社製)(図6)に描かせたものである。また静止電位や細胞内電位の変動の長時間記録はペンレコーダ(日本光電社製)(図6)で行った。

3. 結果と検討

〈3・1〉 2/3層電気刺激により5層ニューロンに誘発されるEPSPについて

1次視野野5層ニューロンから2/3層電気刺激によって誘発されるシナプス後電位を細胞内記録した。図7は電極が10時間以上にわたって細胞内にあつて、本論文の電気刺激の効果範囲の検討の他に受容体についての検討も行えたものからの記録である⁽⁵⁾。このニューロンの細胞内記録では静止膜電位が70mVで、2/3層刺激に対して2.5msecの潜時のEPSP(興奮性シナプス後電位)が得られた。刺激電極を記録電極の直上部の2/3層に刺し直してから、刺激強度を上げこのニューロンへのシナプス入力を増加させてPSP(シナプス後電位)のパターンの変化を見た。図9のグラフ中0 μm は直上部での刺激強度の上昇にともなうEPSPの振幅値をプロットしたものである。刺激強度の上昇でEPSPの振幅は増加し、約200 μA の強度で飽和した。200 μA 以上の強度から活動電位が出はじめ、強度400 μA で100%の確率で活動電位(図7 Action potential)が発生した。50 μA の刺激強度に対するEPSPはその下降相においてほぼ一定の下降速度で振幅が減少しているのに対して、100, 200 μA の強度に対しては速い上昇相(fast rising phase)のピーク直後から急激に下降するが(sharp falling phase)すぐに遅い下降相(slow falling phase)に移っているのが見られる。この遅い下降相は50 μA の

図7 直上部での刺激強度上昇に対するEPSPパターンの変化

Fig.7. EPSP pattern changes to increasing stimulus intensity at directly over site.

刺激に対するものより更に遅く、100 μ Aの強度では明瞭ではないが、200 μ Aの強度では急激な下降後無下降な期間が見られ、新たに別の遅いEPSP成分が加わったように考えられる。今回35個の細胞から細胞内記録を行ったが、活動電位の閾値以下の刺激強度に対しては、刺激強度の増大で短期間の急激な下降相とその後の遅い下降相というPSPパターンが多く見られた。本論文では示していないが、このような刺激強度の上昇に対するPSPのパターンの変化は5層ニューロンへの3つのシナプス入力（速い上昇相のEPSP、IPSP（抑制性シナプス後電位）、遅い上昇相と下降相のEPSP）によることが膜電位の変動実験や薬物投与の実験から判明している⁽⁵⁾。図7に見られた速い上昇相とその直後の急激な下降相は各々速いEPSPとIPSPに、遅い下降相は遅い上昇相と下降相EPSPに対応している。これらの反応は記録5層ニューロンの直上部から少しずれた部位の2/3層刺激からも誘発され、5層に投射するニューロンが直上部からある一定の範囲に分布することが観察された。図8に示されているように刺激部位を2/3層に平行に側方に250 μ mづつ750 μ mまで移動した場合、この速いEPSPと

IPSPは250 μ m側方までの刺激により誘発されたが、500 μ m以上側方からの刺激には誘発されなかった。これに対して遅いEPSPは750 μ m側方からの刺激にも誘発された（図8 750 μ m、図9 750 μ m）。

〈3・2〉 2/3層電気刺激効果範囲の検討 2/3層電気刺激により誘発されるEPSPの性質について検討する場合、電気刺激効果範囲の2/3層内への限局性が問題となる。一般に電気生理学では生体を電気刺激する場合、刺激範囲を限定する目的で双極電極を用い、それら2本の電極間もしくはそれらの極近傍にだけ電流が流れることを期待して電気刺激を行う。今回は通常の実験室で製作可能で、可能な限り細く狭い幅の双極電極を作成し、実験に用いた。電極間幅50 μ m、先端径30 $\sim$ 50 μ m、露出部分30 $\sim$ 50 μ m双極刺激で先端の絶縁露出部分も完全に組織内に刺入されていることから、電流は電極間及びその極近傍にしか流れないという考え方が出てくる（これを刺激範囲限局説と呼ぶことにする）。この場合刺激範囲が限定されるので、刺激してそれに対する反応が記録されれば当該刺激部位にソースがあると考えられるため、図8 250 μ m列 200 μ A、400 μ Aにあるように速いEPSP成分に関するソースは少なくとも250 μ mまでは分布しており、その境界は250か500 μ mの間にあると見なすことができる。しかし以上の双極電気刺激を行った場合のこのような考え方に対して、電解質中に密集して脂質や蛋白質から成る神経組織のような不均一媒体を電流が流れる場合、必ずしも最短距離の電極間だけを流れるとは限らない。このため刺激強度の上昇と共にある程度は刺激範囲が拡大すると言う考え方（これを刺激範囲拡大説と呼ぶことにする）も出てくる。刺激範囲限局説による刺激効果範囲は一般に拡大説による効果範囲より狭いので、刺激範囲の限局性と言う点からここでは後者の考え方で実験結果を検討する。本研究は2/3層から5層単一ニューロンへの興奮性シナプス入力の研究における2/3層内への刺激の限局性を検討するが、その大きさとしては5層ニューロンへ出力を出させる程度のシナプス入力即ち活動電位の閾値に相当するサイズを問題にし、そのサイズのEPSP誘発に効果がある刺激強度の効果範囲を検討する。また図8に示されているように速いEPSPは250 μ m側方までしか無く、直上部と250 μ m側方では刺激強度対振幅特性が異なるのに対して遅いEPSPは750 μ m側方までその特性は変わっていない（図9）、速いEPSPの方が刺激部位への依存性が強いと考えられるので速いEPSPをこの検討のための指標とした。

このように単一ニューロンシナプス入力への効果と言う点から刺激の効果範囲や投射ニューロン分布を検討するために、細胞内記録中に刺激部位の移動を行い刺激強度を変えながらEPSPの振幅を記録した。〈3・1〉で述べたように5層ニューロンへシナプス入力を送る2/3層ニューロンはある広がりを持った範囲内に限局して分布していることが観察されているので、刺激効果がその分布領域をカバー

図8 刺激部位移動効果
Fig.8. The effects of stimulus position shift.

図9 各々の刺激部位で刺激強度を変えた場合のEPSP振幅値のプロット
Fig.9. Plot of EPSP amplitudes against stimulus intensities at each stimulation site.

する程度に応じてEPSPの大きさが変化すると考えられ、また上述の刺激強度での効果範囲が推定できる。

<3・1>で述べたように直上部での刺激反応特性においては速いEPSPは50 μ Aの強度に対して出ており強度200 μ Aで飽和しているのに対して、図8に見られるように250 μ m側方では強度が100 μ Aを超えたあたりから速いEPSPが出始め400 μ Aまで直線的に増加している。これは250 μ m側方部には速いEPSPのソースとなる5層投射ニューロンは存在しないことを示している。もし存在すれば直上部におけるように50 μ Aから出ているはずである。また直上部では5層投射ニューロン群は刺激電極の極近傍だけでなくその中心位置からある範囲にわたって分布しているため、250 μ m側方部からの刺激が400 μ Aまで増加するに従い刺激効果範囲が拡大し直上部の刺激電極周辺部にあったソースをしだいにカバーするようになってEPSPのサイズが増加したと考えられる。従って側方部からの刺激によりどの程度5層

α_n, β_n : α, β 領域内の投射ニューロン数
 n_0 : $r=0$ の投射ニューロン分布密度
 $a \cdot n_0$: $r=p$ の投射ニューロン分布密度
 $r < p$ の場合

$$\alpha_n = n_0 \cdot \left[\pi r^2 - \frac{4}{3} \left\{ \frac{(1-a)}{p} \right\} \cdot r^3 \right]$$
 $r > p$ の場合

$$\alpha_n = n_0 \cdot \left[2r^2 \cdot \sin^{-1}(p/r) + 2p \sqrt{r^2 - p^2} - \frac{4}{3} \left\{ \frac{(1-a)}{p} \right\} \{ r^3 - \sqrt{(r^2 - p^2)^3} \} \right]$$
 $r < 250 - p$ の場合
 $\beta_n = 0$
 $r > 250 - p$ の場合

$$\beta_n = n_0 \cdot r^2 \cdot \left[\sin^{-1} \left\{ \frac{(p-250)}{r} \right\} + \left\{ \frac{(p-250)}{r} \right\} \cdot \sqrt{1 - \frac{(p-250)^2}{r^2}} + \pi/2 \right] - n_0 \cdot \left\{ \frac{(1-a)}{p} \right\} \left[250r^2 \cdot \left\{ \sin^{-1} \left\{ \frac{(p-250)}{r} \right\} + \left\{ \frac{(p-250)}{r} \right\} \sqrt{1 - \frac{(p-250)^2}{r^2}} + \pi/2 \right\} - \frac{2}{3} \sqrt{\{ r^2 - (p-250)^2 \}^3} \right]$$

図10 領域モデル

Fig.10. Region model.

投射ニューロン存在領域がカバーされるかがそのEPSPサイズを反映し、このことは直上部の刺激における場合も同様である。

以上のことを踏まえて250 μ m側方部と直上部刺激で誘発される各々のEPSPサイズを比較して刺激効果範囲を検討するため図10に示される領域モデルを作成した。ここで言う刺激効果範囲とは、指標となる信号は2/3層から投射を受ける5層ニューロンのシナプス電位であり、2/3層ニューロンは発火していなければならないので、ある刺激強度でカバーされる領域内のニューロンの大部分が発火するような領域と定義する。また投射ニューロンから5層ニューロンへのシナプス入力とは<3・1>で述べたようにEPSPの他IPSPもあり、ここで見ているEPSPの振幅はEPSPとIPSPの総加算結果であるが、それが飽和するまでは刺激強度の増加によるその有効範囲の拡大と近似的にリニアな関係が見られるので(図9 0 μ A, 250 μ A)、興奮性入力と抑制性入力の比率は刺激効果範囲が拡大してもほぼ一定と見られる。従ってEPSP間の比は刺激有効範囲内に含まれる全5層投射ニューロン数の比と対応すると考えられる。図10では刺激の効果範囲の半径を r 、5層投射ニューロン存在域を p (中心から境界までの距離)、 p 内で直上部刺激でカバーされる領域を α 、 α 内の5層投射ニューロン数を α_n 、 p 内で250 μ m側方からの刺激(直上部と同一強度)によりカバーされる領域を β 、 β 内5層投射ニューロン数を β_n と表している。従って、ある5層投射ニューロン存在域 p で、ある刺激強度に対する効果範囲を r とした時、 r に対応する β_n と α_n の比の値を求めることになるが、ここで α_n と β_n を決めるため5層投射ニューロンの分布密度は直上部から存在域境界の p まで直線的に減衰する(n_0 から $a \cdot n_0$ へ)ものとして近似した。250 μ m以内で細かく刺激部位を変えていないので正確に5層投射ニューロン存在域を指定出来ないが、直上部の極近傍だけの刺激でEPSPが誘発されたわけでないので、その存在域の境界を直上部から125~240 μ mとし、その各々の p に対して r を変えて β_n と α_n の比を計算した。図11のグラフでは $a=1$ 即ち分布密度が存在域内で一様な場合、 p をパラメータとして r を変えたときの β_n の α_n に対する比の値をプロットしているが、いずれの p に対してもその比の値は単調増加している。この r に対する β_n と α_n の比の値の単調増加性は a が0から1まで変化しても変わらないことが数値計算結果から確認された。存在域の境界が以上の場合いずれも刺激効果範囲が250 μ mではその比の値は0.3より大きく、このニューロンの活動電位の閾値200 μ Aでの250 μ m側方部と直上部からの刺激に対する各々のEPSPのサイズ(4mVと15mV)の比の値0.266となるには刺激範囲は250 μ m未満でなければならないことになる。200 μ A刺激強度での効果範囲の境界については、直上部から250 μ m以内で細かく刺激部位を変えることが困難であったため、刺激効果範囲が250 μ mを超えるか否かで議論を止めた。250 μ m内外の議論においては直上部と250 μ m側方部の刺激で重なる領域がかなりあるので、分布密度が

直上部から周辺に向かって低下しても議論の大勢には影響は少ないと考えられる。実際、分布密度式において a の値を0.1まで低下させても、表1に示されているようにいずれの p に対しても比の値0.266より上回り、 a を0にして初めて $p=125$ で下回った。2/3層の厚さが500 μm 程度であるから以上の検討により、5層ニューロンに活動電位を起こさせるシナプス入力を誘起させる刺激強度の効果範囲は2/3層内に局限していると考えられる。

図11 5層投射ニューロン分布密度が一樣な場合の刺激有効範囲に対する β_n と α_n の比の値のプロット
Fig.11. Plots of ratio between β_n and α_n against stimulus effective range in case of the uniform distribution density of layer 5 projecting neurons.

表1 5層投射ニューロン分布密度を変えた場合の刺激有効範囲が250 μm における β_n と α_n の比の値
Table 1. Ratio between β_n and α_n in stimulus effective range of 250 μm in case of changing the distribution density of layer 5 projecting neurons.

$\frac{a}{p}$	125 μm	150 μm	175 μm	200 μm	225 μm	240 μm
1.0	0.3210	0.3528	0.3842	0.4169	0.4534	0.4791
0.9	0.3176	0.3489	0.3798	0.4118	0.4472	0.4721
0.8	0.3138	0.3446	0.3748	0.4061	0.4405	0.4644
0.7	0.3096	0.3398	0.3694	0.3998	0.4330	0.4559
0.6	0.3048	0.3344	0.3633	0.3928	0.4247	0.4465
0.5	0.2995	0.3284	0.3565	0.3849	0.4155	0.4361
0.4	0.2934	0.3215	0.3487	0.3761	0.4051	0.4244
0.3	0.2864	0.3137	0.3398	0.3660	0.3934	0.4113
0.2	0.2782	0.3045	0.3296	0.3544	0.3800	0.3964
0.1	0.2687	0.2939	0.3177	0.3410	0.3646	0.3794
0.0	0.2573	0.2812	0.3037	0.3253	0.3467	0.3597

p : 仮定された5層投射ニューロン存在域
 a : 分布密度は直上部で n_0 の値をとり、存在域の境界 p まで直線的に低下し、 p で $a \cdot n_0$ になる。

4. まとめ

大脳皮質視覚野スライス標本を用いた視覚野2/3層から5層への興奮性シナプス結合様式の研究において、行った2/3層電気刺激の層内での限局性を検討するため刺激の効果範囲を算定した。5層投射ニューロン群の電気刺激でカバーされる領域内の投射ニューロン数とそのEPSPサイズに相関性を仮定し、細胞内記録中に刺激部位を移動し刺激強度を変えながらEPSPを記録しそれらのサイズを比較した。記録されたEPSPは速い成分と遅い成分から成っていたが、速いEPSP成分の方が刺激効果領域が狭かったことと、刺激強度振幅特性の刺激部位への依存性が高かったことから速い成分をこの検討の指標に用いた。記録ニューロン直上部から250 μm 側方部と直上部の刺激で誘発されたそのEPSP成分のサイズの比の値は、活動電位閾値の強度では0.266であった。刺激効果範囲と5層投射ニューロン存在範囲を変えられる領域モデルを作成し検討したところ、250 μm 側方部と直上部の刺激でカバーされる領域内に含まれる投射ニューロン数の比の値は刺激効果範囲に対して単調増加し、効果範囲が250 μm の場合0.266より大きかった。従って各々のEPSPのサイズの比の値が0.266未満、即ちそれらの領域内の投射ニューロン数の比の値が0.266未満となるには効果範囲は250 μm 未満でなければならないと結論された。これにより5層ニューロンに出力を出させる程度の電気刺激強度の効果範囲は2/3層内に局限していると考えられる。

(平成8年10月25日受付、平成9年4月7日再受付)

文 献

(1) B. A. MacVicar & F. E. Dudek : " Local Synaptic Circuits in Rat Hippocampal Slices : Interactions between Pyramidal Cells", Neuroscience Abstract, 4, 581 (1978)
(2) B. Sutor & J. J. Hablitz : "EPSPs in Rat Neocortical Neurons in Vitro", Journal of Neurophysiology, 61, 3, 607~619 (1989)
(3) K. A. Jones & R. W. Baughman : " NMDA- and non-NMDA- Receptor Components of Excitatory Synaptic Potentials Recorded from Cells in Layer V of Rat Visual Cortex ", The Journal of Neuroscience, 8, 9, 3522~3534 (1989)
(4) G. S. Lynch, T. Dunwiddie & V. Gribkoff : "Hetro-synaptic Depression; a Postsynaptic Correlate of Long-term Potentiation", Nature (London), 266, 737~739 (1977)
(5) T. Takimori, T. Ogawa & M. Nishida ; "Excitatory Synaptic Connections to Layer 5 Neurons from Layer 2/3 in Visual Cortex", International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources, 4, 1, 30~40 (1996)

-
- (6) J. S. Lund, G. H. Henry, C. L. Macueen & A. R. Harvey :
"Anatomical Organization of the Primary Visual Cortex
(Area 17) of Cat. A Comparison with Area 17 of the
Macaque Monkey", Journal of Comparative Neurology,
184, 599~618 (1979)
- (7) C. D. Gilbert & T. N. Wiesel ; "Clustered Intrinsic Con-
nections in Cat Visual Cortex", The Journal of Neuro-
science, 3, 1116~1133 (1983)

瀧森 徹 (非会員) 1947年9月21日生まれ。 72年

秋田大学大学院鉱山学研究科電気工学専攻
修士課程修了。同年秋田大学医学部第一生
理学講座助手勤務, 視覚神経回路網の研究
に従事。81年医学博士, 90年同鉱山学部情報
工学科講師, 現在ニューラルネットワーク
の研究に従事。

小川 哲朗 (非会員) 1931年11月30日生まれ。 61年

東北大学大学院医学研究科博士課程修了,
医学博士。同年東北大学医学部第二生理学
講座助手, 67年助教授, 71年秋田大学医学部
教授, 視覚神経系の研究に従事。97年退官。
秋田大学名誉教授。日本生理学会評議委員,
日本神経科学学会会員, 日本エム・イー学
会会員。

西田 眞 (正員) 1952年1月18日生まれ。 74年3月

秋田大学鉱山学部電気工学科卒業。同年4月
トヨタ自動車工業(株)入社。75年4月秋田大学
鉱山学部電気工学科助手, 講師, 助教授を
経て, 96年1月情報工学科教授。リモートセ
ンシングデータの解析技術とアルゴリズム,
画像情報応用及び知識情報システムの研究
に従事。63年11月~平成元年クラークソン大学客員研究員。
59年電気学会論文賞, 63年静電気学会論文賞授賞。ファジ
ィ学会, リモートセンシング学会, 写真測量学会, 応用物
理学会, IEEE会員。工博。