

側頭葉視覚連合野における物体視覚像の処理

藤田 一郎

Key words : 下側頭葉皮質, 多点神経活動記録, 抑制性細胞, 視覚認識, 霊長類

大阪大学大学院基礎工学研究科
脳科学講座*

緒言

霊長類の下側頭葉皮質 TE 野は物体認識に不可欠である。TE ニューロンは、動物に対して単純な刺激（光点やバー）を提示してもほとんど反応せず、特定の形や、形に色や模様などを施した複雑な図形特徴に反応する。この性質は図形特徴選択性と呼ばれる^{1,2)}。最近、我々は TE ニューロンの図形特徴選択性の形成に伝達物質ガンマアミノ酪酸 (GABA: gamma-aminobutyric acid) の A 型受容体を介する抑制性相互作用が貢献していること、およびこれらの抑制性相互作用がコラム内もしくはごく近傍のコラム間で生じていることを示した³⁻⁵⁾。GABA-A 受容体の特異的拮抗剤ビキュキュリンメチオダイド (BMI: bicuculline methiodide) を TE ニューロンに与えると、あらゆる図形に対する反応が増強するのではなく、ごく一部の図形に対する反応のみが増強する。また、もともとはまったくそのニューロンに対して無効であった視覚刺激が反応を引き起こすようになる場合があるが、その刺激は、近傍の別ニューロンの有効刺激であることが多い。これらの結果は、図形特徴選択性の形成が TE 野でも進行しており、その過程に GABA 抑制が寄与していることを示唆する。

このように BMI の効果は視覚刺激特異的に現れたがこのことは必ずしも、TE 野の中の抑制性ニューロンが視覚刺激特異的な反応、すなわち図形特徴選択性をもつことを意味しない。選択性の低い抑制性ニューロンであっても、そのターゲットとするニューロンの樹状突起別に刺激特異的な興奮性入力が入っていれば、BMI による刺激特異的脱抑制効果を説明することが可能である。

本研究では、TE 野ニューロン複数から細胞外活動電位の同時記録を行い、それらの活動電位列に対して相互

相関解析法を適用し、抑制性ニューロンを同定し、その視覚刺激に対する反応を調べることで、抑制性ニューロンが図形特徴選択性を有するかどうかを検証した。

方法

麻酔不動化したニホンザル 4 頭の TE 野のニューロンから、先端に記録プローブを 7 つもつ電極を用いて、複数の単一ニューロン活動を同時に単離した。同時に記録された 1 組の活動電位列に対して相互相関解析を適用し、相互相関ヒストグラムに時間ビン 0 ms から横にずれた「谷」（発火確率の減少）があるとき、その減少を引き起こしている元になっているニューロンを抑制性ニューロンと同定した。視覚刺激は、白または黒の幾何学図形および様々な物体の写真 64 枚を用いた。

結果

上記方法により同定した抑制性ニューロンも、興奮性ニューロンと同様、用意した視覚刺激に対して反応を示し、視覚反応確率は両者で変わらなかった。さらに、どの程度、特定の刺激に選択的に反応するかを、テストした刺激セットに対する最大応答の 25% 以上の大きさの反応を引き起こす刺激の数で評価したところ、抑制性ニューロンでは 21%、興奮性ニューロンでは 23% で、両者には差がなかった ($p > 0.05$; U-test)。すなわち、TE 野の抑制性ニューロンは興奮性ニューロンと同程度の刺激選択性を有していた (図 1)。

近接する抑制性ニューロンと興奮性ニューロンが反応を示す刺激がどの程度似ているかを次に検討した。64 枚の各視覚刺激に対する反応の強さを、一つの記録サイトで同時に記録されたニューロンペアについてプロットした散布図から、2 つのニューロンの反応相関係数を計算した。ペア間に興奮性結合がある場合の反応相関係数は、ペア間に抑制性結合がある場合のそれに比べて、有

* 現所属：大阪大学大学院生命機能研究科認知脳科学研究室

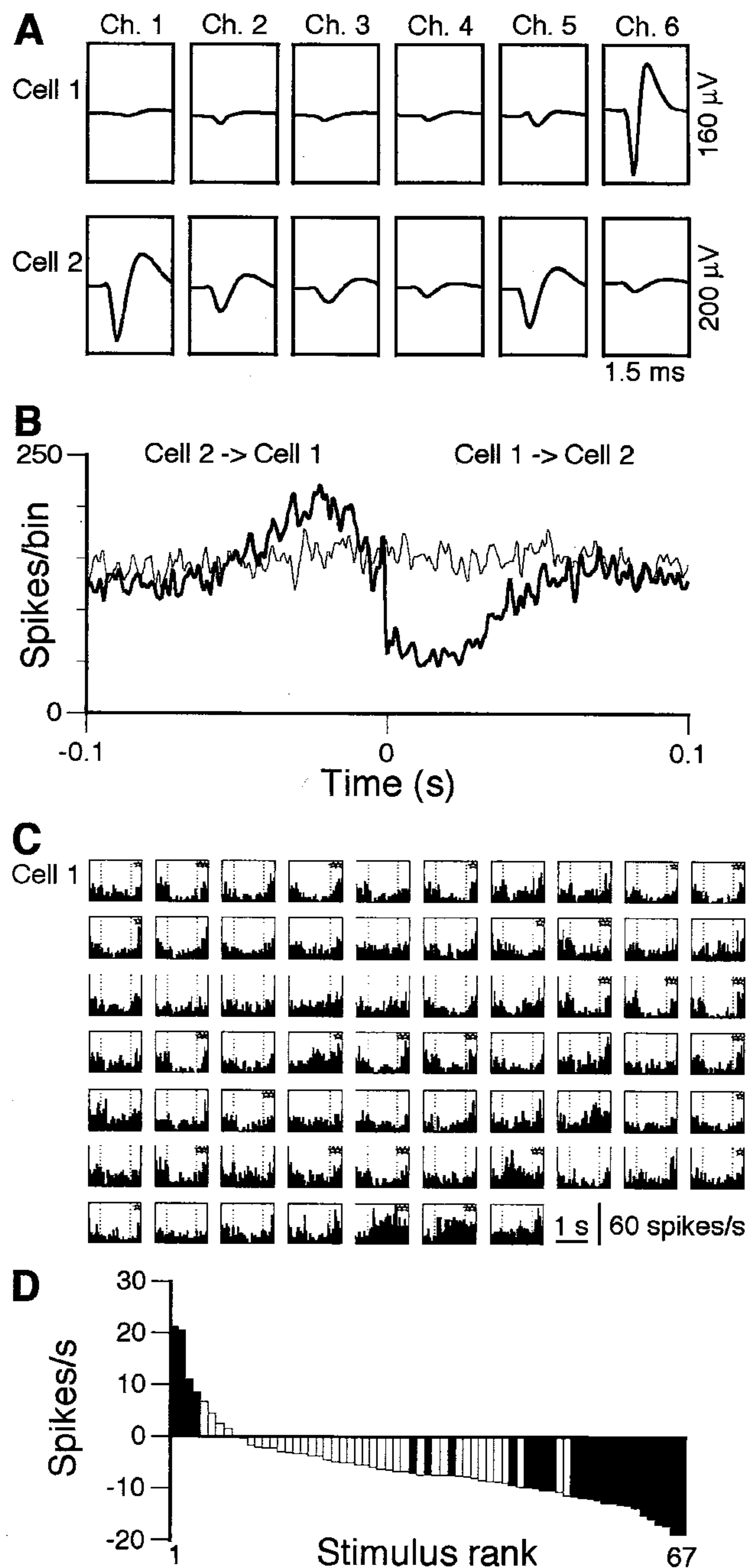


図 1. 抑制性 TE ニューロンの視覚反応.

A : 6 つの記録プローブ (ch. 1~6) で記録された 2 つの細胞 (cell 1, cell 2) の活動電位波形. 波形の振幅と形のパターンが両者の間で異なることから, 2 つの細胞を明瞭に分離することが可能である.

B : 2 細胞間の相互相関ヒストグラム. Cell 1 が発火した時刻を 0 として cell 2 の発火タイミングをヒストグラムとして示すと正の方向に大きな谷間 (発火確率の減少) が見られる. この谷間は, cell 1 と cell 2 のデータを視覚提示トライアル 1 つ分ずらして作成したヒストグラム (細線) には生じない. これらの結果は, cell 1 が cell 2 に対して抑制性影響を及ぼしていること, すなわち, cell 1 が抑制性細胞であることを示す.

C : 抑制性 TE 細胞 (cell 1) の図形 64 枚に対する反応を示すポストスティムラスヒストグラム. 横軸—時間, 縦軸—細胞の発火頻度. ☆, ☆☆ : 細胞反応が自発発火頻度に比べて統計学的に有意に異なる反応 (☆ : $0.01 < p < 0.05$. ☆☆ : $p < 0.01$).

D : Cell 1 の 64 種類の図形刺激に対するの反応強度を強度順に並べた反応チューニングヒストグラム. 黒いコラムは反応が自発発火頻度から統計学的に有意に異なっていたものを示す. この細胞は 64 枚の刺激のうち 4 枚の刺激に対してのみ興奮性反応を示した.

意に大きかった^{6,7)}.

考 察

TE野の抑制性ニューロンは、特定の視覚刺激に対して反応を示した。BMI微量投与による刺激選択的脱抑制は、これら抑制ニューロンによる刺激特異的な抑制作用を解除した結果が現れたものと考えられる。TE野抑制性ニューロンは、ターゲットニューロンやそれを含む神経回路の活動レベルを刺激非特異的に調節しているのではなく、刺激特異的な作用を及ぼすことで、刺激選択性形成に寄与していると考えられる。

本研究の共同研究者は、大阪大学大学院生命機能研究科認知脳科学研究室の田村 弘である。

文 献

- 1) Fujita, I. : The inferior temporal cortex : Architecture, computation, and representation. *J. Neurocytol.*, 31 : 359-371, 2002.
- 2) DeFelipe, J., Elston, G. N., Fujita, I., Fuster, J., Harrison, K. H., Hof, P. R., Kawaguchi, Y., Martin, K. A., Rockland, K. S., Thomson, A. M., Wang, S. S., White, E. L. & Yuste, R. : Neocortical circuits : Evolutionary aspects and specificity versus non-specificity of synaptic connections. Remarks, main conclusions and general comments and discussion. *J. Neurocytol.*, 31 : 387-416, 2002.
- 3) Wang, Y., Fujita, I. & Murayama, Y. : Neuronal mechanisms of selectivity for object features revealed by blocking inhibition in inferotemporal cortex. *Nat. Neurosci.*, 3 : 807-813, 2000.
- 4) Wang, Y., Fujita, I., Tamura, H. & Murayama, Y. : Contribution of GABAergic inhibition to receptive field structures of monkey inferior temporal neurons. *Cereb. Cortex*, 12 : 62-74, 2002.
- 5) Wang, Y., Fujita, I. & Murayama, Y. : Coding of visual patterns and textures in monkey inferior temporal cortex. *NeuroReport*, 14 : 453-457, 2003.
- 6) Tamura, H., Kaneko, H., Kawasaki, K. & Fujita, I. : Inhibitory mechanisms underlying stimulus-selective responses of inferior temporal neurons. *In The Neural Basis of Early Vision, ed. by Kaneko, A., Springer-Verlag, Tokyo, pp 245-249, 2003.*
- 7) Tamura, H., Kaneko, H., Kawasaki, K. & Fujita, I. : Presumed inhibitory neurons in the macaque inferior temporal cortex : visual response properties and functional interactions with adjacent neurons. *submitted for publication.*