

大阪大学大学院基礎工学研究科 教授

藤田 一郎

「視覚認識の脳内過程」

## 1. 研究実施の概要

霊長類大脳皮質における視覚情報処理のあり方、物体の知覚や認識にいたる脳内機構の理解を目指した。物体視知覚の後期過程に焦点を置き、側頭葉視覚経路の最終段である下側頭葉皮質（IT：後半部 TE0 野と前半部 TE 野）とその前段 V4 野の神経細胞の機能的性質と領野の機能解剖学的構築を解析した。また、行動実験によりサルの物体視知覚能力の検討を行った。

### （1）側頭葉経路（IT 野および V4 野）における両眼視差選択性細胞の発見

奥行き方向の位置手がかりである両眼視差は、頭頂葉経路で処理されと考えられてきた。しかし、私たちは IT・V4 野の細胞の多くが両眼視差に感受性を持ち、一部の細胞は両眼視差と形の情報から算出した 3 次元面構造を伝えることを見出した。また、サルがヒトと同様、一般像抽出原則に基づき面構造を知覚することを行動学的に確認した。さらに、「細かい奥行き」を弁別する課題を遂行中の IT 細胞の活動から、サルの奥行き判断を 80% 以上の確率で予言できることを示し、これらの神経活動が奥行き判断に使われている可能性が高いことを示す証拠を得た。IT・V4 野に似た両眼視差に反応する細胞が集まる機能的構造が存在すること、IT に両眼視差のみから定義された形に反応する細胞が存在することも見出した。これら一連の発見は、側頭葉経路で両眼視差に関する多様な情報処理がなされていることを示し、霊長類の大脳視覚システムの捉え方に変更を迫るとともに、両眼視差脳内処理の研究に新分野を拓いた。

### （2）TE 野細胞の図形選択性と受容野形成における GABA 抑制の機能的意義の同定

TE 野細胞の複雑な 2 次元図形特徴に対する選択的反応性および受容野構造を形成する情報処理過程に TE 野内における伝達物質 GABA を介する抑制性機構が関わっていることを見出した。抑制性 TE 野細胞が図形に対する反応選択性を有することも確認し、刺激選択的抑制が TE 野細胞の性質の生成に重要な役割を果たすことを明らかにした。

### （3）TE 野の水平軸索構造の特異性と発達過程の発見・記載

TE 野錘体細胞の水平軸索側枝の解剖学的構成が V1 と大きく異なり、その特徴が TE 野の機能的コラム構造の性質と一致することを発見した。この解剖学的構造は、胎児期にその基本が出来、出生後、ヘブ則に沿ったシナプスの増減により最終構築が完成する証拠を得た。

### （4）霊長類大脳皮質におけるシナプス可塑性の多様性の実験的証拠

水平軸索側枝に連発電気刺激を与えると、TE 野ではシナプス長期増強が、一方 V1 ではシナプス長期抑圧が起こることを示し、皮質領野によりシナプスの可塑性が異なることを示

した。

(5)「全体の知覚」と「部分の知覚」における IT の機能分化に関する仮説の提唱

私たちは、物体を全体として知覚した後、その物体を構成する部分を知覚する。サルもヒトと同様、全体の知覚が部分の知覚に先立つことを確認した上で、サルに陽電子断層 (PET) 法を適用した。全体の知覚では TE0 野が、部分の知覚においては TE 野が主に活動することを見出し、IT 野がその前後軸方向で機能分化していることを提唱した。

## 2. 外部発表

### (1) 論文発表

#### ・投稿論文

- 1) Murayama, Y., Fujita, I. and Kato, M.: Contrasting forms of synaptic plasticity in monkey inferotemporal and primary visual cortices. *Neuroreport*, 8,1503-1508 (1997)
- 2) Tanigawa, H., Fujita, I., Kato, M. and Ojima, H.: Distribution, morphology, and GABA immunoreactivity of horizontally projecting neurons in the macaque inferior temporal cortex. *J. Comp. Neurol.*, 401,129-143 (1998)
- 3) Uka, T., Tanaka, H., Kato, M. and Fujita, I.: Behavioral evidence for visual perception of 3-dimensional surface structures in monkeys. *Vision Res.*, 39, 2399-2410 (1999)
- 4) Takao, M., Wang, Y., Miyoshi, T., Fujita, I. and Fukuda, Y.: A new intraretinal recording system with multiple-barreled electrodes for pharmacological studies on cat retinal ganglion cells. *J. Neurosci. Methods*, 97, 87-92 (2000)
- 5) Wang, Y., Fujita, I. and Murayama, Y.: Neuronal mechanisms of selectivity for object features revealed by blocking inhibition in inferotemporal cortex. *Nature Neurosci.*, 3, 807-813(2000)
- 6) Uka, T., Tanaka, H., Yoshiyama, K., Kato, M. and Fujita, I.: Disparity selectivity of neurons in monkey inferior temporal cortex. *J. Neurophysiol.*, 84, 120-132 (2000)
- 7) Tanaka, H. and Fujita, I.: Global and local processing of visual patterns in macaque monkeys. *Neuroreport*, 11, 2881-2884(2000)
- 8) Tanaka, H., Uka, T., Yoshiyama, K., Kato, M. and Fujita, I.: Processing of shape defined by disparity in monkey inferior temporal cortex. *J. Neurophysiol.*, 85, 735-744 (2001)
- 9) Tanaka, H., Onoe, H., Tsukada, H. and Fujita, I.: Attentional modulation of neural activity in the macaque inferior temporal cortex during global and local processing. *Neurosci. Res.*, 39,469-472 (2001)
- 10) Shimojo, S., Paradiso, M. and Fujita, I.: What visual perception tells us about mind and brain. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, in press. (2001)
- 11) Watanabe, M., Tanaka, H., Uka, T. and Fujita, I.: Disparity-selective neurons in area V4 of macaque monkeys. *J. Neurophysiol.*, in press. (2001)
- 12) Wang, Y., Fujita, I., Murayama, Y.: Contribution of GABAergic inhibition to receptive field structures of monkey inferior temporal neurons. *Cerebral Cortex* (in press)

#### 総説・著作

- 13) Fujita, I.: Functional architecture and synaptic plasticity in the monkey inferior temporal cortex. In: *"Integrative and Molecular Approach to Brain Function"* (eds. Ito, M. and Miyashita, Y.) pp. 147-155, Elsevier, Amsterdam. (1996)
- 14) 宇賀貴紀、藤田一郎：錯視のメカニズムーだまし絵が語る視覚認識の脳内機構．*臨床科学* 33(3),348-356 (1997)
- 15) 藤田一郎：生体におけるシナプス可塑性・記憶学習．*Clinical Neuroscience* 15(10), 1146-1149 (1997)
- 16) 藤田一郎：記憶と学習の脳内メカニズム．*数理科学* 415,42-49 (1997)
- 17) 田中宏喜、藤田一郎：物体形状の視覚情報処理．*細胞工学* 17(6), 969-979 (1998)
- 18) 藤田一郎：陳述記憶の獲得制御．*脳* 21 1(1), 91-93 (1998)
- 19) 藤田一郎：モジュール構造に見る脳の笑顔．*脳* 21 1(3), 220-224 (1998)
- 20) 藤田一郎：マップ、モジュール、情報構造．*脳* 21 1(3), 225-230 (1998)
- 21) 田村弘、金子秀和：視覚連合野における機能的コラム．*脳* 21 1(3), 255-264 (1998)
- 22) 尾上浩隆：サル脳の非侵襲機能マッピング．*脳* 21 2(3), 87-91 (1999)
- 23) 藤田一郎：視覚系における三次元面構造の復元．*実験医学* 17(16), 2191-2197 (1999)
- 24) 藤田一郎、田中宏喜、谷川久：腹側視覚経路における両眼視差と面の情報処理．*Vision*, 13(2), 87-91 (2001)
- 25) 田中秀樹、藤田一郎：全体の知覚、部分の知覚-森を見て、木を見る．*脳* 21, 4(1), 90-92 (2001)
- 26) 藤田一郎、谷川久：側頭葉における両眼視差、形、面の情報処理．丹治順、吉澤修治編「脳の高次機能」朝倉書店 (2001)
- 27) 藤田一郎：脳が見る、脳を見る。「生物はどのように世界を見ているか」学会出版センター、印刷中。(2001)
- 28) 藤田一郎：ものはどうして見えるのか。小幡邦彦編「脳研究への招待」、共立出版、印刷中。(2001)
- 29) 吉山顕次、藤田一郎：形態視の情報処理。「眼の事典」、印刷中。(2001)
- 30) 村上富士夫、倉橋隆、藤田一郎：「脳の秘密を探る」大阪大学出版会、印刷中。(2001)

### (2) 学会発表

#### ・国際学会

#### a) 招待、口頭講演

- 31) Fujita, I.: Functional architecture and synaptic plasticity in the monkey inferior temporal cortex. 上原記念生命財団国際シンポジウム 1996 「脳機能への統合的および分子的アプローチ」(東京)(招待講演、発表内容は、上記文献 13 として刊行)
- 32) Fujita, I.: Long-term potentiation in the inferior temporal cortex. 1st Congress of the Federation of Asian Oceanian Neuroscience Societies, Symposium on "Recognition and memory function in the association cortex" (Pattaya,

- Thailand)(招待講演) 1996
- 33) Wang, Y., Fujita, I., and Murayama, Y. (1997) GABAergic mechanisms of neuronal selectivity for visual object features in monkey inferior temporal cortex. *Chinese J. Neuroanat.*, 13, 340, 王毅、藤田一郎、村山雄亮 中国神経科学学会(中国) 1997.10.
  - 34) Xu L-H., Tanigawa, H. and Fujita, I.: Modular structure and cortical hierarchy displayed by distribution of ANPA-type glutamate receptors in the monkey ventral visual cortical pathway. *Chinese J. Neuroanat.*, 13, 342, 許麗華、谷川久、藤田一郎 中国神経科学学会(中国) 1997.10.
  - 35) Fujita, I.: Representation of objects and object features in monkey visual cortex. A Symposium at the 5th International Congress of Neuroethology "Population coding" (San Diego, U.S.A.) (招待講演) 1998
  - 36) Fujita, I.: Representation of objects in monkey visual cortex. International Symposium sponsored by Monbusho "Comprehensive Brain Research" Project "Interface between systems brain science and neuroethology" 1999.9 藤田一郎 「サル」の視覚の高次中枢」文部省科学研究費補助金特定研究(A)「総合脳」特別研究会国際ワークショップ「脳機能のシステムの解析-脳と行動研究の視点から-」 1999.9(仙台)(招待講演、ワークショップ講師)
  - 37) Fujita, I.: Neural processing of binocular disparity and surface depths in monkey inferior temporal cortex. Symposium on "Neuronal mechanisms of object recognition". 5th IBRO World Congress of Neuroscience. (Jerusalem, Israel) (招待講演) 1999
  - 38) Fujita, I.: Processing of Shape, Diparity, and Surfaces in Inferior Temporal Cortex. NIPS international COE Symposium "Neural Mechanisms of Visual Perception and Cognition" 生理学研究所 COE 国際シンポジウム(岡崎)(招待講演) 2000
  - 39) Fujita, I.: Representation of surfaces and features of objects in the visual temporal cortex. The NIBB International COE Symposium "Mechanisms of Neural Network Formation." 基礎生物学研究所 COE 国際シンポジウム(招待講演) 2000

b) ポスター発表

- 40) Wang, Y., Fujita, I. and Murayama, Y.: Role of GABAergic inhibition in generation of visual response properties of temporal cortex neurons in the monkey. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 22, 1614. 王毅、藤田一郎、村山雄亮 第26回北米神経科学大会(ワシントン D.C., アメリカ) 1996.11.
- 41) Murayama, Y., Fujita, I. and kato, M.: Long-term potentiation and depression in the monkey visual cortex. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 22, 1614. 村山雄亮、藤田一郎、加藤誠 第26回北米神経科学大会(ワシントン D.C., アメリカ) 1996.11.
- 42) Kato, M., Uka, T. and Fujita, I.: Columnar organization in inferior temporal cortex of awake monkey. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 22, 1614. 加藤誠、宇賀貴紀、藤田一郎 第26回北米神経科学大会(ワシントン D.C., アメリカ) 1996.11.
- 43) Tanigawa, H. and Fujita, I.: Topographical relation between horizontal projections from adjacent sites in the macaque inferior temporal cortex: A double anterograde labeling study. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 23, 2062. 谷川久、藤田一郎 第27回北米神経科学大会(ニューオリンズ) 1997.10.
- 44) Onoe, H., Kato, M., Tsukada, H. and Fujita, I.: Representation of face in the inferior temporal cortex: A PET study in behaving monkeys. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 23, 2065. 尾上浩隆、加藤誠、塚田秀夫、藤田一郎 第27回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 1997.10.
- 45) Uka, T., Tanaka, H., Kato, M. and Fujita, I.: Disparity sensitivity and representation of 3-Dimensional surface structure in monkey inferior temporal cortex. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 23, 2063. 宇賀貴紀、田中宏喜、加藤誠、藤田一郎 第27回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 1997.10.
- 46) Xu, L-H., Tanigawa, H., Fujita, I.: Distribution of AMPA-type glutamate receptors along the ventral visual cortical pathway in the macaque: A gradient reflecting the cortical hierarchy. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 23, 2062. 許麗華、谷川久、藤田一郎 第27回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 1997.10.
- 47) Uka, T., Tanaka, H., Kato, M. and Fujita, I.: Perception of surface of structure obeys the principle of generic image sampling in monkeys. *ARVO (Florida, U.S.A.)* 1998.5.
- 48) Tanigawa, H., Xu, L-H. and Fujita, I.: Postnatal development of expression of mGluR2/3 and GluR2/3 in the primary visual cortex of the macaque monkey. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 24, 1887. 谷川久、許麗華、藤田一郎 第28回北米神経科学大会(ロサンゼルス、アメリカ) 1998.11.
- 49) Wang, Q.X., Tanigawa, H. and Fujita, I.: Postnatal development of horizontal axons in the inferior temporal and primary visual cortices in the monkey. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 24, 900. 王全新、谷川久、藤田一郎 第28回北米神経科学大会(ロサンゼルス、アメリカ) 1998.11.
- 50) Kato, M., Uka, T. and Fujita, I.: Re-examination of columnar organization in monkey inferior temporal cortex: Stimulus selectivity tested with a large number of predetermined stimuli. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 24, 900. 加藤誠、宇賀貴紀、藤田一郎 第28回北米神経科学大会(ロサンゼルス、アメリカ) 1998.11.
- 51) Uka, T., Tanaka, H., Kato, M. and Fujita, I.: Segmentation of surfaces by disparity or contours in monkey inferior temporal cortex. *Soc. Neurosci. Abstr.*, 24, 899. 宇賀貴紀、田中宏喜、加藤誠、藤田一郎 第28回北米神経科学大会(ロサンゼルス、アメリカ) 1998.11.
- 52) Tanaka, H., Uka, T., Yoshiyama, K., Kato, M., and Fujita, I.: Shape defined by disparity evokes responses in monkey inferior temporal neurons. *Soc. Neurosci. Abstr.* 田中宏喜、宇賀貴紀、吉山顕次、加藤誠、藤田一郎 第29回北米神経科学大会(マイアミビーチ、アメリカ) 1999.10
- 53) Tanaka, H., Onoe, H., Tsukada, H. and Fujita, I.: Brain regions involved in maintenance of attention and shifting between global and local structures of visual patterns: A PET study in Macaque monkeys. *Soc. Neurosci.*

- Abstr. 1999.10 田中秀樹、尾上浩隆、塚田秀夫、藤田一郎 第29回北米神経科学大会(マイアミビーチ、アメリカ) 1999.10
- 54) Kato, M., Uka, T., Fujita, I.: How selective and reliable are visual responses of inferior temporal cortex neurons?: Comparison between anaesthetized and awake conditions. Soc. Neurosci. Abstr. 1999.10 加藤誠、宇賀貴紀、藤田一郎 第29回北米神経科学大会(マイアミビーチ、アメリカ) 1999.10
- 55) Tanaka, H., Onoe, Hiroataka., Tsukada, Hideo. and Fujita, I.: Brain regions involved in shifting between global and local structures of visual patterns: A PET study in Macaque monkeys. The NIBB International COE Symposium "Mechanisms of Neural Network Formation." 2000.3 田中秀樹、尾上浩隆、塚田秀夫、藤田一郎 基礎生物学研究所 COE 国際シンポジウム(岡崎) 2000.3
- 56) Tanaka, H., Onoe, Hiroataka., Tsukada, Hideo. and Fujita, I.: Brain regions involved in shifting between global and local structures of visual patterns: A PET study in Macaque monkeys. The 8th International Conference: Peace through Mind/Brain Science- Photonics in Imaging of Gene Expression. 2000.2 田中秀樹、尾上浩隆、塚田秀夫、藤田一郎 光科学技術で拓く脳・精神科学平和探求国際会議(第8回)(浜松) 2000.2
- 57) Onoe, H., Tsukada, H. and Fujita, I.: Visualization and characterization by PET of the face-processing area in the inferior temporal cortex of macaque monkeys. Soc. Neurosci. Abstr. 尾上浩隆、塚田秀夫、藤田一郎 第30回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 2000.11
- 58) Kawasaki, K., Tamura, H., Miyata, K. and Fujita, I.: Quantitative comparison of intrahemispheric and interhemispheric persons of area TE neurons in macaques. Soc. Neurosci. Abstr. 川寄圭祐、田村弘、宮田健二、藤田一郎 第30回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 2000.11
- 59) Tanaka, H. -K., Onoe, H., Tsukada, H. and Fujita, I.: Attentional modulation of neuronal activity in the macaque inferior temporal cortex during global and local processing of hierarchical visual patterns. Soc. Neurosci. Abstr. 田中秀樹、尾上浩隆、塚田秀夫、藤田一郎 第30回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 2000.11
- 60) Watanabe, M., Tanaka, H., Uka, T. and Fujita, I.: Disparity selective neurons in area V4 of macaque monkeys. Soc. Neurosci. Abstr. 渡邊雅之、田中宏喜、宇賀貴紀、藤田一郎 第30回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 2000.11
- 61) Miyata, K., Kawasaki, K., Wang, Q., Tamura, H. and Fujita, I.: Columnar interhemispheric connections between area TEs in macaque. Soc. Neurosci. Abstr. 宮田健二、川寄圭祐、王全新、田村弘、藤田一郎 第30回北米神経科学大会(ニューオリンズ、アメリカ) 2000.11

#### 国内発表(招待講演のみ)

- 62) 藤田一郎:「物体認識のメカニズム」 科学技術振興事業団異分野研究者交流フォーラム(京都)1996.12.
- 63) 藤田一郎:「下側頭葉皮質:シナプスと可塑性と刺激選択性」 岡崎国立共同研究機構生理学研究所研究会「運動及び行動の発現のストラテジー:感覚認知、自律神経/情動及び運動各系の相互関連」(岡崎) 1997.1.
- 64) 藤田一郎:「サル」の視覚の最終段階における処理」(抄録なし) 第10回マルチエージェント研究会(けいはんな) 1997.10.
- 65) 藤田一郎:「腹側視覚経路と対象認知」イブニングスタディセッション「知覚から認知へー新しい研究の展開」(抄録なし) 第20回日本神経科学会(仙台) 1997.7.
- 66) 藤田一郎:「下側頭葉皮質の機能構築」 視覚科学フォーラム 第2回研究会、抄録集 p38 (岡崎) 1998.8.
- 67) Uka, T., Fujita, I.: Physiology, psychophysics, and computation in early vision - Toward the understanding of a role of context.宇賀貴紀、藤田一郎 シンポジウム「初期視覚の生理、心的物理、計算論一文脈の役割を探る」 1998.5
- 68) 藤田一郎:「下側頭葉皮質ニューロンによる面構造の表現」平成10年度生理学研究所研究会 脳の情報統合と行動発現のメカニズムー感覚認知から生体反応形成までー(岡崎) 1999.1
- 69) 藤田一郎:「霊長類側頭葉の機能構築」微小脳システムの適応的設計第1回公開シンポジウム「もうひとつの脳の世界」 1999.2
- 70) 藤田一郎:「腹側視覚経路における両眼視差関連情報の処理」生理学研究所研究会「視覚知のメカニズム-生理、心理物理、計算論的アプローチ」プログラム (岡崎) 1999.6
- 71) 藤田一郎:「認知の脳科学」広島大学50周年記念事業 ブレインサイエンスシンポジウム「脳を科学する」 1999.11
- 72) 藤田一郎: 研究領域「脳を知る」のシンポジウム "脳神経科学の最先端 1999" (名古屋) 1999.12
- 73) 藤田一郎: 「視覚系の行動学的理解」文部省特定領域研究「高次脳機能のシステム的理解」第4回公開シンポジウム(東京) 2000.1

#### (3) 投稿準備中論文(第一稿完成以後のもの)

- 74) Tanigawa, H., Wang, Q-X., Fujita, I. Differences in the organization of intrinsic horizontal connections between inferior temporal cortical area TE and primary visual cortex of the macaque monkey.
- 75) Kato, M., Uka, T., Fujita, I. Columnar organization in inferior temporal cortex of awake monkeys.
- 76) Tamura, H., Kaneko, H., Fujita, I. Improved signal-to-noise ratio by pooling of neuronal activities in inferior temporal cortex fails to enhance signal discriminability.
- 77) Tamura, H., Kaneko, H., Fujita, I. Functional properties of inhibitory neurons in the macaque inferior temporal cortex.
- 78) Kawasaki, K., Tamura, H., Miyata, K., Fujita, I. Quantitative comparison of intrahemispheric and

transhemispheric responses in area TE of the monkey

- 79) Miyata, K., Kawasaki, K., Wang, Q-W., Tamura, H., Fujita, I. Interhemispheric projections of area TE in macaque inferior temporal cortex.
- 80) Wang Q-X., Fujita, I. Intrinsic and extrinsic connections of the perirhinal cortex area 36 and the ventral TE of the inferior temporal cortex.
- 81) Xu, L-H., Tanigawa, H., Fujita, I. Distribution of AMPA-type glutamate receptor subunits (GluR2/3) along the ventral visual pathway in the monkey.