

吉澤 それは一、多分、投与する薬の量というのはかなり微量で、それで興奮するニューロンもかなり少ないんじゃないかということ…

司会 はい、どうもありがとうございました。

司会 では、視覚に関して生理学の領域からということで、調節と輻湊という、いろいろ重大な問題を含んでいるタイトルだと思いますけれども、板東先生、お願いいたします。

4) 調節と輻湊と脳

新潟大学医学部第一生理 板東 武彦・戸田 春男
安藤 誠男
新潟大学医学部眼科 高木 峰夫・吉沢 豊久
北里大学医学部眼科 原 直人

Lens Accommodation, Ocular Convergence and the Brain

Takehiko BANDO¹⁾, Haruo TODA¹⁾, Tomoo ANDO¹⁾, Mineo TAKAGI²⁾,
Toyohisa YOSHIZAWA²⁾ and Naoto HARA³⁾

*Departments of Physiology¹⁾ and Ophthalmology²⁾, Niigata University
School of Medicine Asahimachi 1, Niigata, Niigata 951 Japan, and
Department of Ophthalmology³⁾, Kitasato University School of Medicine,
Sagamihara, Kanagawa, Japan.
(Director: Prof. Takehiko BANDO¹⁾)*

Experimental findings obtained by our group were reviewed, and functional significance of the visual association cortex in controlling lens accommodation and ocular convergence was discussed. By intracortical microstimulation in an extrastriate visual area in the cat, lens accommodation and vergence eye movement were evoked. In the same cortical area, a group of neurons was also activated in correlation with lens accommodation or ocular convergence. In addition, after the lesion in this area, the velocity of ocular convergence was significantly reduced. Human psychophysical studies on these topics were referred, and it is suggested that this cortical area contributes to the pre-programed control of lens accommodation and ocular convergence, especially in their dynamic phase.

Key words: lens accommodation, ocular convergence, vergence eye movement, near response, visual cortical area, brain, physiology
焦点調節, 輻湊運動, 近見反応, 視覚連合領, 大脳, 生理学

Reprint requests to: Takehiko BANDO,
Department of Physiology, Niigata
University School of Medicine,
Asahi-machi 1, Niigata 951,
JAPAN.

別刷請求先: 〒951 新潟市旭町通1番町
新潟大学医学部生理学第一講座
板東武彦

大脳は視覚に関係した多くの領野を持つ。これらの領野は形状視（形や色）の領域と、空間視（動きや空間的な位置関係）の領域に2分できる。サルの場合、17の領野が知られ、互いに階層的な結合関係を持つ。視覚情報処理が進むに従って、形状視の系は下側頭葉へ、空間視の系は頭頂葉へ到る。

形状視に関係した視覚生理学のトピックスの1つは、下側頭葉での形の認識に関係した細胞活動についての発見である。下側頭葉では、複雑な図形（例えば顔）にのみ応答する細胞が記録されるが、理研国際フロンティアの田中啓治、玉川大の齊藤秀昭らは、その尾側部のニューロン活動の特徴は比較的簡単な幾何図形に対する選択性に帰着しうることを示した。これより高次の下側頭葉吻側部は尾側部から線維結合を受けるが、ここのニューロン応答は簡単な図形選択性に帰着できない。従って、この2領域の情報処理は質的に異なる。その間の投射様式が解ければ高次の視覚情報処理を解く鍵が得られよう。

下側頭葉吻側部は、形についての高次の情報処理と共に、視覚再認識に関係する。東大の宮下保可らは100個の異なるフラクタルパターンを用いてサルに視覚パターン弁別学習を行わせ、視覚記憶に関係するニューロン群を下側頭葉に見出した。この弁別は、形に依存し、パターンの大きさや向き、色などには関係しない。

空間視に関係する研究も後頭葉吻側部や頭頂葉を中心に盛んに行われている。NIHのWurtzのグループ、日大の酒田英夫のグループなどがある。ここでは、私達の研究について述べたい。視覚刺激による行動の多くは連合領における他の感覚情報との統合、過去の記憶との照合、意志決定など高次処理を経て行われる。しかし、高次中枢を経ずに行われる行動も存在する。その1例は、視線の方向を決める首や眼球の運動である。このような運動は精緻な視覚の前提条件として必要であるから、精緻な視覚が実現される以前に、視覚環境に合わせて為さねばならない。従って、視覚連合領による情報処理の結果が比較的早期に、運動を制御する中枢（脳幹）に伝達される必要がある。

このような視覚連合領の働きは、脳機能としては比較的単純である。しかし、視覚刺激に応じ最適の運動を起こすための計算（運動パターン・軌道の決定等）、環境に適応した行動をとるための運動学習など脳機能の基本を備えている。一方、系が比較的単純なので、入出力を統一的に扱い、ニューロン回路網の性質に基づいてその機能を解釈することが比較的容易であるという利点を持つ。

運動視・立体視に関係する視覚情報処理が早期に、一次・二次視覚領（17野や18野）で行われることは近年、Johns Hopkins 大の Poggio らや Dalhousie 大の Regan らをはじめ多くの研究者が明らかにした。また視覚連合領が眼球運動の制御に密接な関係を持つことは、私達のグループ（内眼筋運動や輻輳運動）や Wurtz のグループ（追跡視覚運動や視機能性眼振）を含む多くの研究で示された。

私達は必要に応じて、予め麻酔下で手術をしておき、実験中は覚醒状態の動物を用いた。このときには、報酬を与え、動物が実験に必要な行動を行うよう訓練した。まず、内眼筋運動の1つであるピントの調節について述べる。焦点調節を赤外線オプトメータを用いてモニター、同時に大脳視覚連合領ニューロンの活動を微小電極を用いて記録した。LS 領とよばれる視覚連合領について調べたが、この領域は空間視・運動視の領野であることが知られている。

訓練した動物の眼前で接近・離反する視標を見せると、視標が近づくと眼の屈折力が増加する（焦点調節）。ネコが焦点調節や輻輳運動の能力を持つことは知られている。このときに視覚連合領（LS 領）ニューロン活動を調べると屈折力の変化に先行してその活動の増加が始まっていた。

しかし、これだけではニューロン活動が視標の接近による視覚的応答なのか焦点調節に関係した応答なのか分からない。このため、同じニューロンの活動を部屋を暗くして調べた。暗闇でも眼の屈折力の変動が起こるので（ネコが暗闇でピントを調節するかどうかは分からないが）、この自発性の屈折力変化とニューロン活動を比較できる。一部のニューロン（焦点調節ニューロン）は、自発性の屈折力変化に約400ミリ秒先立って活動を始めた。このとき、屈折力変化の始まる直前700ミリ秒間のニューロン活動の強さは屈折力変化速度と統計的に有意な正の相関を示した。

LS 領には視標の接近・離反に応じて活動する視覚ニューロン（接近・離反ニューロン）が全体のはぼ3割存在する。これらの接近・離反ニューロンのうちの約3割、即ち全体の8%程度が焦点調節に先行して活動した。これらのニューロンが直接脳幹へ投射することは電気生理学的に示した。

焦点調節と輻輳運動は近見反応という複合反射により密接に共同して起こる。そこで次に、LS 領が焦点調節のみでなく輻輳運動にも関係することを示した。まず、眼球運動を magnetic search-coil（磁気・探索コイル）

法でモニターしながら、LS 領の系統的な微小刺激を行った。LS 領は網膜との間に部位対応関係（1対1ではないが）を持ち、その物側部と尾側部の両方に中心視の領域を持つ。輻輳運動はこの2つの中心視領域のいずれを刺激しても起こすことができた。潜時の検討により尾側領域が脳幹の運動支配領域に出力すると考えられる。物側部は解剖学的知見から、輻輳運動についての大脳・小脳連関を通じて、運動軌跡の計算や運動学習などもっと高次の処理を行っていると考えられる。

次に視標の接近に伴って輻輳運動を起こすようにネコを訓練し、大脳ニューロン活動と輻輳眼球運動との関係を調べた。輻輳運動を行わせながら、LS 領の中心視領域からニューロン活動を記録すると、その一部は輻輳運動の速度変化と関係して活動することが分かった。焦点調節の場合と同様に、ニューロン活動の強さと輻輳運動の最大速度との間に有意な正の相関関係がみられた。輻輳運動の最大速度が得られた時点より200~400ミリ秒早くニューロン活動が増加することが多かった。

これらの結果を確かめるため、LS 領を破壊する実験を行った。LS 領のみの破壊は視覚には大きく影響せず、形やパターンの弁別学習も損なわれないことが知られている。私達の実験では、LS 領破壊後に輻輳運動はみられたが、運動の速度が有意に減少した。同様に LS 領破壊により視機能眼振の運動速度が減少することを Johns Hopkins 大の Tusa らが報告している。

ヒトでの心理学的な実験から、焦点調節は網膜像のぼけを、また輻輳運動は両眼視差を誤差信号として、共にフィードバック制御を受けることが知られている。しかし、これらの運動の速度はその潜時と比較するとかなり速い。そのため、変化の速い入力を連続的に受けた場合には、フィードバック制御のみでは安定な制御を行えぬことが指摘された。一方、これらの系がオープンループのプログラム制御を受けることを示す心理工学的なデータも多い。例えば、大阪大の笠井は焦点調節について慣れた被験者と初心者では応答速度が異なることを報告した。また New York 州立大の Kruger と Pola は網膜像のぼけを起こさずに視標の大きさを変化させる実験装置を開発し、大きさの変化だけで焦点調節が起こることを示した。焦点調節により網膜像の大きさは殆ど変化しないので、オープンループ制御を受けることは明かである。実際、この応答はぼけを誤差信号とした通常のフィードバック制御の応答より位相が進んでいた。

私達は焦点調節と輻輳運動の制御に視覚連合領の1つである LS 領が関与し、これらの運動が外界の速い変

化に追従できるよう、促進的な信号を脳幹の運動系に与え、運動を加速することを示した。すなわち、LS 領は焦点調節や輻輳運動に対するプログラム制御の基礎となる神経機構を備えているとすることができる。これらの機能は、視覚情報の分析と共に視覚連合領の重要な役割である。

さらに私達は瞳孔系についての分析を行った結果、LS 領は近見反応の3要素（焦点調節・縮瞳・輻輳運動）のすべてに関係すること、これらの3つの運動の各々に関係する LS 領微小領域間に線維結合が存在することを示した。これらの結果から、LS 領が近見反応に重要な役割を果たすことが示唆される。これらの知見を基礎として、近見反応の適応的連関に、LS 領を中心とする視覚連合領が小脳とともに果たす役割とその機構を調べることが今後の私達の課題である。

謝 辞

生理学第一講座、涌井修治、国原広二両氏の技術的助力に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 板東武彦: 焦点調節系と瞳孔調節系の中樞神経支配, 日本生理学雑誌, 47(11): 705~717, 1985.
- 2) Bando, T. and Toda, H.: Cerebral cortical and brainstem areas related to the central control of lens accommodation in cat and monkey. *Comp. Biochem. Physiol.* 98C: 229~237, 1991.
- 3) Bando, T., Takagi, M., Toda, H. and Yoshizawa, T.: Functional roles of the lateral suprasylvian cortex in ocular near response in the cat. *Neurosci. Res.*, 15: 162~178. 1992.

司会 どうもありがとうございました。どなたか、ご質問などありましたら、お願いいたします。

ひとつだけ先生、時間があまりないのですが、お話をうかがってますとLSは、パソコンの、いわばアクセラレーターのような働きをしているような感じがしたんですけれども、つまり、そこを壊した時にちょっと遅くなりますよね、反応が。その経路は具体的には、どういうことが考えられるんですか。

板東 経路は焦点調節系に関しては、上丘に下りる系と視蓋前野に下りる系と両方あってもいいと考えています。上丘への系は上丘の浅層へ下りるわけですけども、上丘の浅層から視蓋前野に行く経路は、九大の森本先生

たちの論文が出てまして、そういう経路は可能です。

また、我々の昔の実験からは上丘に、調節に関係したニューロンが下りているのは間違いのないと思います。上丘から視蓋前野へゆき、そこから副交感動眼ニューロンに行くという系をひとつ考えています。

それから猿では、アラバマ大学のメイズのグループとか、イギリスのオックスフォード大学のジャッジのグループが、中脳網様体に調節と輻湊の両方に関係するニューロンをみつけています。丁度、プリモーターニューロンに相当するニューロンですので、この中脳ニューロン群が中継の役割をしている可能性もあります。電気生理の実験から計算をいたしますと、脳幹で消費している時間が10ミリ秒から20ミリ秒だけ最短経路より長い、だから

その分は何か余分なことをしている、そういう感じです。シナプスの数は分かりませんが、3つやそこら入っていてもかまわないと考えられます。

司会 これはとても面白い話なんで、もう少しいろいろとDiscussしたいんですけど、残念ながら時間がきてしまいましたので後でまた…。どうもありがとうございました。

司会 今度は解剖学領域からということで、第二解剖の芹澤さんの発表です。芹澤さん、星野さん、平野先生と車田先生が共同演者です。

題は視覚運動反射に関する皮質視覚領からの線維連絡、主に線条体、上丘への投射についてです。お願いします。

5) 視覚運動反射、特に視覚性方向定位行動に関わる神経回路

新潟大学医学部解剖学第二講座 (主任: 車田正男教授)

芹澤 正博・星野嘉恵子
平野 茂樹・車田 正男

Neural Pathways Related to Visually Guided Orientation Behavior

Masahiro SERIZAWA, Kaeko HOSHINO, Shigeki HIRANO and Masao NORITA

Department of Anatomy, Niigata University School of Medicine
(Director: Prof. Masao NORITA)

Projections from the visual cortical areas to the striatum and superior colliculus are believed to play integral roles in visual attentive and orienting behaviors. In the cat, the direct corticotectal and indirect corticostriatal (via the substantia nigra) projections of the lateral suprasylvian cortex (LS) are thought to converge on neurons situated in the deep laminae of the superior colliculus and exert their influences via the outputs of the superior colliculus (Norita et. '91¹⁾).

Key words: Visuomotor reflex, Orientation behavior, Extrageniculate visual system, Striatum, Superior colliculus
視覚運動反射, 方向定位行動, 非膝条体視覚系, 線条体, 上丘

Reprint requests to: Masahiro SERIZAWA,
Department of Anatomy, Niigata
University School of Medicine,
Asahimachi-dori 1, Niigata City, 951,
JAPAN.

別刷請求先: 〒951 新潟市旭町通1番町
新潟大学医学部解剖学第二講座
芹澤 正博