

眼の事典

総編集

三島 濟一

編集

岩田 誠
金井 淳
酒田 英夫
澤 充
田野 保雄
中泉 行史

朝倉書店

5

点 字 と 脳

点字は、触覚によって読むことが可能となるよう、凸点を組み合わせて文字体系とした盲人用の文字である。縦3点×横2点の6点の各点の組み合わせによってできる63種類により点字組織を形成している¹⁾。6点方式の点字は、1829年ルイ・ブライユ (Louis Braille, 1809-52) によって公表され、現在にいたっている。

アルファベットを基本とする外国の点字に対し、日本の点字は、仮名に対応する表音文字を基本としている。一般の文字形態とは異なる点字を使用していることで、一般社会とのコミュニケーションにおいて困難のあることが指摘されているが、読みや書きの困難性、紙面の節約などの面から、一般の文字とは異なる点字が盲人用文字として使われてきた。

触覚を用いて読むことが可能であることは、点字の長い歴史から明らかであるが、その脳内機構は不明であった。例えば、文字の認識は通常視覚系で行われている。正常な視覚機能を発達させるためには生後すぐからの視覚入力が重要であり、これが生後6カ月までの急速な視力増強に欠かせない²⁾。一方盲人の視覚野は、視覚入力を失っているために、その本来の目的のためには用いられていないと考えられるが、では視覚情報処理以外にどのような機能を果たしているか、とくに点字読における役割は不明であった。このような研究のためには、ヒトの脳の活動を外部から観察することが必要であるが、近年臨床医学、とくに放射線診断学および核医学の領域で発達した断層画像法により、これが可能となった。

5.1 脳賦活検査

臓器としての脳には、機能の局在と統合という特徴がある。それゆえ、神経活動の空間的分布とその連関状態をヒト脳で非侵襲的に観測することは、脳を理解するうえで不可欠である。局所の神経活動、とくにシナプス活性とそのグルコース代謝とは平行し、さらに、局所脳血流は酸素供給を媒介としてグルコース代謝と平行しているといわれ³⁾、局所の脳血流の変化を測定することにより局所脳神経活動の変化を知ることができる。脳血流を用いた脳賦活検査では、この局所脳血流の増加と神経活動によるエネルギー消費の増大が連関しているという事実にもとづき、課題遂行中の脳血流と対照となる状態（多くは課題を遂行していない安静状態）における脳血流と比較し

て、脳血流の増大している領域の分布を全脳にわたり描出するという方法を用いるのである。血流の有意な増加が認められた領域が、その課題の遂行に何らかの役割を負っていると推論することにより、ある課題に関連した神経活動の変化のおこった場所を同定することができる。これが脳血流を用いた脳賦活検査の原理である。

脳血流測定の手法は、1960年代の ^{133}Xe ガスによる計測⁴⁾に始まる。1972年の Hounsfield による X 線コンピューター断層撮影法 (CT) の発明⁵⁾を契機に、断層画像再構成技術が脳血流測定に取り入れられ、1980年代にはポジトロン断層画像 (positron emission tomography; PET) を用いて局所脳血流を定量する方法が確立した。PET とは、陽電子 (positron) が消滅するときに放射する消滅ガンマ線を同時計測することにより、生体内の陽電子放射トレーサーの局所濃度分布を算出し、断層画像にする技術であり、適切なトレーサーを用いることにより脳血流以外にもさまざまな生理的・生化学的な計測が可能な方法である⁶⁾。例えばグルコース類似化合物である ^{18}F -fluorodeoxyglucose (FDG) による糖代謝測定、あるいは ^{15}O 酸素ガスによる酸素代謝測定などが PET により可能である。O-15 標識水は血液から脳へ自由に拡散するトレーサーで、脳血流量に応じて脳組織に拡散し、また洗い出される。PET により得られる局所濃度分布画像と動脈採血による入力関数を用いて、数学モデルにより局所脳血流の絶対値を pixel by pixel に測定することができる⁷⁾。O-15 は半減期が2分であるため、被曝線量も少なく、約10分間隔で検査を繰り返すことができ、1980年代より世界各地の研究者により広く用いられてきた。この方法の強味は、全脳の神経活動を一挙に観察することができ、また、その部位同定が容易な点である。

さらに1990年代に入って、磁気共鳴画像法 (MRI) の高速化に伴い、血中の酸素を内因性の造影剤とする機能的 MRI (functional magnetic resonance imaging; fMRI) が開発された。fMRI は主に、神経活動亢進時におこる血管内の血液酸素化のバランスの局所的変化による、わずかな信号増強をとらえているので、blood oxygen level dependent (BOLD) method と呼ばれている。酸化ヘモグロビンと還元型ヘモグロビンは磁性的性質が異なることが古くから知られており⁸⁾、還元型ヘモグロビンが血管内に存在することにより、血管周囲の磁場の局所的不均一が惹起される。局所磁場不均一が存在により、NMR 信号は、それが存在しない場合より小さくなる。神経活動亢進時には、脳血流の増大により、脳組織の酸素摂取を上回る酸素が供給されるため、局所還元型ヘモグロビンが減少する。このため、NMR 信号が増加する⁹⁾。この方法の利点は、数秒間隔で全脳の脳血流変化を記録でき、データ収集量も PET に比べてはるかに大きくできる点である。このため、空間的・時間的に複雑に展開したデータを処理する方法の開発が望まれている。

5.2 視覚野の可塑性

PET を用いた検査で、出生後早期に失明した盲人の後頭葉のグルコース代謝が暗眼者に比較して亢進していることが示され¹⁰⁾、後頭葉が視覚処理以外の機能を果たし

ている可能性が示唆されたが、課題特異的な反応は観察されなかった。また脳波検査によって、点字読により、後頭部の電極での脳波の活性化が示された¹¹⁾。脳波の発生源は不明瞭であるものの、体性感覚入力の後頭部に投射されている可能性が示唆された。点字読においては、単純な触覚情報を、言語として意味のあるパターンに変換する必要がある。点字の触覚情報は体性感覚領野で処理されるのであろうが、文字の認識は通常視覚系で行われている。盲人において点字読を遂行する神経回路網を特定するために、筆者らは、O-15 標識水と PET を用いた脳賦活検査を行った^{12, 13)}。

点字読に熟達した 8 人のボランティアに対し、O-15 標識水と PET を用いた脳賦活検査を行った。うち 2 人は先天盲、残り 6 人は早期に視力を失った後天盲である。課題は、8 文字からなる点字列を 2.5 秒ごとに提示し、これが意味のある単語か否かを判定させるというものである。この点字読により、盲人の一次視覚野を含む後頭葉が賦活された (図 5.1)。また、全脳で観察すると一次運動感覚野から頭頂葉、後頭葉背側部にかけての賦活もみられた。盲人と晴眼者に対し、同一の非点字性触覚弁別課題を遂行させたところ、盲人では、一次視覚野を含む後頭葉腹側が賦活化される一方、二次体性感覚野は抑圧されていた。晴眼者では、これとちょうど逆のパターン、すなわち後頭葉腹側が抑圧、二次体性感覚野が賦活化されていた。

二次体性感覚野 (SII) は頭頂葉弁蓋部シルビウス裂内にみられる¹⁴⁾。動物実験では、SII は、一次体性感覚野から辺縁系にいたる触覚情報の処理において、重要な中継点であることが知られている¹⁵⁾。ヒトの PET 検査でも、晴眼者における触覚弁別課題において、SII が賦活されることが確認されている^{14, 16)}。一方、後頭葉腹側部は視覚弁別に必要である¹⁷⁾。Macaque monkey を用いた動物実験では、下側頭葉後部 (area TEO) を破壊すると視覚パターン弁別に著しい障害をきたす¹⁸⁾。area TEO は、

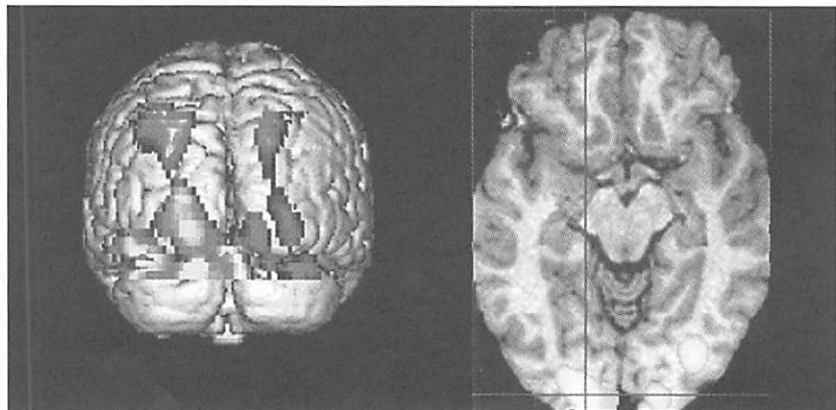


図 5.1 8 人の盲人の、右示指による点字弁別課題中の脳賦活状態を、高分解能 MRI に重畳した。右に体軸横断像、左に背側より見た脳表面像を示す。両側一次視覚野の賦活化がみられるとともに、視覚連合野の賦活がみられる。

ヒトでは Brodmann area 37 に対応するといわれている^{19, 20)}。ヒトの PET 検査では、Brodmann area 37 は画像弁別²¹⁾、単語黙読²²⁾、相貌認知^{23, 24)}、性別弁別²⁵⁾の各課題で賦活されることが報告されている。Murray and Mishkin¹⁵⁾は、Macaque monkey を用いた研究で、触覚による形状弁別における SII は、SI から島、辺縁系へいたるまでの中継点として重要であり、一方視覚弁別における area TEO は、一次視覚野から前部側頭葉、辺縁系への中継点に当たり、視覚と触覚の経路に類似性があることを指摘している。以上の事実から、暗眼者においては SI-SII-島-辺縁系で担われる触覚弁別処理が、盲人においては、触覚情報が SI-Brodmann area 7-後頭葉背側部へと伝えられ、本来視覚弁別に用いられる一次視覚野-後頭葉腹側部-前部側頭葉-辺縁系で行われていると考えられる。

もし実際にこのようなことが起こっているとするならば、熟達した点字読の盲人の一次視覚野に損傷がおきた場合、点字を読めなくなることが推測される。最近そのような症例が報告された²⁶⁾。未熟児網膜症による先天盲である 63 歳女性で、6 歳時より点字読を学習し、熟達した点字読者となり、1 日 4~6 時間を点字読に費やしていた。52 歳に脳梗塞をおこし、その翌日より、触覚に変化がないにもかかわらず、点字が読めなくなった。MRI では両側後頭葉内側に梗塞を認めた。この症例は、視覚喪失に起因する、触覚領域から視覚領域への情報伝達という“長距離”の脳可塑性を裏付けるものである。

さらに盲人の視覚領の機能性を実験的に確認するために、視覚領域の連続的経頭蓋的磁気刺激 (transcranial magnetic stimulation ; TMS) が行われた²⁷⁾。皮質の電氣的刺激は一過性にその領域に特異的な認知機能を遮断すること、連続刺激はより効果的であることが知られている。近年、経頭蓋的磁気刺激により、大脳皮質を非侵襲的局所的に刺激することができるようになった。これを用いて、点字読を行っている盲人の後頭葉を連続的に刺激すると、他の領域を刺激した場合に比べ点字読の正確さが落ちた²⁷⁾。これらのことから、長期にわたる視覚入力による遮断にもかかわらず、視覚野が機能性を保っていること、また触覚弁別処理が、必ずしもその本来の入力を受ける領域以外のところ (視覚野) で処理されうることが示された。

視覚と触覚のいずれでも形状を認知できるが、その担われる情報は同一ではない。形状認知には、これらの異なる感覚の統合が必要である²⁸⁾。その意味で、視覚系と触覚系は完全に別の系ではなく、相補的な関係があると思われる。盲人においては、視覚入力の喪失によって形状の入力が触覚にかたより、視覚野が触覚から入力された形状情報の処理に用いられるのであろう。

[定 藤 規 弘]

文 献

- 1) Nolan, C. Y. *et al.* : Perceptual factors in braille word recognition. Research Series No. 20 American Foundation for the Blind, American Foundation for the Blind, New York (1969)
- 2) Maurer, D. *et al.* : *Science* **286** : 108 (1999)
- 3) Raichle, M. E. : Section 1 The nervous system. Volume V. Higher functions of the brain. In : Handbook of Physiology, p. 643. Am. Physiol. Soc., Bethesda (1987)
- 4) Lassen, N. A. *et al.* : *Prog. Nucl. Med.* **1** : 376 (1972)
- 5) Hounsfield, G. N. : *Br. J. Radiol.* **46** : 1016 (1973)
- 6) Hoffman, E. J. *et al.* : Positron Emission Tomography and Autoradiography (Phelps, M. E., Mazziotta, J. C., Schelbert, H. R. eds.), p. 237, Raven Press, New York (1986)
- 7) Herscovitch, P. *et al.* : *J. Nucl. Med.* **24** : 782 (1983)
- 8) Pauling, L. *et al.* : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **22** : 210 (1936)
- 9) Ogawa, S. *et al.* : *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **87** : 9868 (1990)
- 10) Wanet-Defalque, M.-C. *et al.* : *Brain Res.* **446** : 369 (1988)
- 11) Uhl, F. *et al.* : *Neurosci. Lett.* **124** : 256 (1991)
- 12) Sadato, N. *et al.* : *Nature* **380** : 526 (1996)
- 13) Sadato, N. *et al.* : *Brain* **121** : 1213 (1998)
- 14) Burton, H. *et al.* : *Somatosensory and Motor Res.* **10** : 297 (1993)
- 15) Murray, E. *et al.* : *Behav. Brain Res.* **11** : 67 (1984)
- 16) Ledberg, A. *et al.* : Hum. Brain Mapp. Suppl. 1, 167 (1995)
- 17) Ungerleider, L. G. *et al.* : Analysis of Visual Behavior (Ingle, D. J., Goodale, M. A., Mansfield, R. J. W. eds.), p. 549, MIT Press, Cambridge (1982)
- 18) Blake, L. *et al.* : *Brain Res.* **120** : 209 (1977)
- 19) Desimone, R. *et al.* : Handbook of Neuropsychology (Boller, F., Grafman, J. eds.), vol. 2, p. 267, Elsevier, Amsterdam (1990)
- 20) Damasio, H. *et al.* : Lesion Analysis in Neuropsychology, Oxford Univ. Press, New York (1989)
- 21) Corbetta, M. *et al.* : *Science* **248** : 1556 (1990)
- 22) Petersen, S. E. *et al.* : *Nature* **331** : 585 (1988)
- 23) Haxby, J. V. *et al.* : *Neuropsychologia* **29** : 539 (1991)
- 24) Haxby, J. *et al.* : *J. Neurosci.* **14** : 6336 (1994)
- 25) Sergent, J. *et al.* : *Brain* **115** : 15 (1992)
- 26) Hamilton, R. *et al.* : *Neuroreport* **11** : 237 (2000)
- 27) Cohen, L. G. *et al.* : *Nature* **389** : 180 (1997)
- 28) Millar, S. : Understanding and Representing Space, Oxford University Press, New York (1994)

総編集者略歴

三島清一（しみま・さいいち）

1927年 兵庫県に生まれる

1949年 東京大学医学部卒業

1971年 東京大学医学部教授

現在 東京大学名誉教授・医学博士

眼の事典

定価は外函に表示

2003年9月5日 初版第1刷

総編集者 三島 清一

発行者 朝倉 邦造

発行所 株式会社 朝倉書店

東京都新宿区新小川町6-29

郵便番号 162-8707

電話 03 (3260) 0141

FAX 03 (3260) 0180

<http://www.asakura.co.jp>

《検印省略》

© 2003 《無断複写・転載を禁ず》

新日本印刷・波辺製本

ISBN 4-254-30070-0 C 3547

Printed in Japan