ヒトの脳機能局在

池田 昭夫¹⁾

1) 京都大学医学研究科脳病態生理学講座臨床神経学

Functional Brain Mapping in Humans

Akio Ikeda, M.D., Ph.D.¹⁾

1) Department of Neurology, Kyoto University School of Medicine

Historically, there have been two main streams to detect the abnormality of the central nervous system and brain mapping, i.e., function such as EEG since 1929 vs. morphology such as CT/MRI mainly since the late 70s. Both are essential and complement each other, and the neurosurgical approach has helped develop these clinical methods. Since the old era of 19th century, lesion study and seizure semiology study have provided us with the most important, fundamental knowledge of functional mapping of the cerebral cortices. Lesion study provides the information of chronic state of the brain pathology where compensatory mechanisms are already developed, whereas seizure semiology study only provides transient change of brain function without compensatory mechanisms, and thus the two methods may ultimately produce different results. Similarly, recently well established methods, namely 1) direct cortical stimulation and 2) activation studies by means of EEG/MEG (evoked potentials, event-related potentials and the equivalent magnetic field), cerebral blood flow (functional MRI) or receptor imaging (PET, SPECT), also provide similar features with regard to the compensatory mechanism. As for human brain mapping, delineation of the pre-supplementary motor area (SMA) and SMA proper, mapping of the higher cortical function such as language, praxis and will, out-of-body-experience, and ictal apraxia will be discussed. In summary, clinically, brain mapping method with the information of the degree of compensatory mechanism will be expected and cortical mapping should always be interpreted with its own sensitivity and specificity.

(Received December 26, 2012; accepted January 16, 2013)

Key words : cerebral cortex, functional localization, cortical electric stimulation, cerebral functional imaging
Jpn J Neurosurg (Tokyo) 22 : 170-177, 2013

はじめに

本誌の「機能外科と神経科学」の特集で、「ヒトの脳機能局在」を概説するにあたり、ヒトの脳機能局在の検索方法の発展には、脳外科のニーズと脳外科的手法の両者が大きな原動力になっていることは明白であり、それゆえ「ヒトの脳機能局在」においては、単に mapping そのものにとどまるだけでなく、代償機転を予想・考慮した脳機能局在が期待されることを最初に明記した

い。本稿では、主に臨床神経生理学・臨床神経学の立場から、発展の経緯、大脳皮質の機能局在の検索方法とその特徴、最近の話題・重要な点・見落としがちな点などを概説する。なお、本稿は、過去の筆者の総説¹⁴⁾と同じテーマであるが、本稿ではその後の発展とより重要な点を選択して強調した。

連絡先：池田昭夫，〒606-8397 京都市左京区聖護院川原町 54 京都大学医学研究科脳病態生理学講座臨床神経学
Address reprint requests to : Akio Ikeda, M.D., Ph.D., Department of Neurology, Kyoto University School of Medicine, 54 Shogoin-Kawaracho, Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto 606-8397, Japan

Fig. 1 Historical profiles of clinical methods used to investigate abnormalities of the central nervous system (such as epilepsy) and brain mapping

Two main streams, i.e., “function” such as EEG since 1929 and “morphology” such as CT/MRI mainly since late 70s, are both essential and complement each other. Furthermore, “gene” and “immunology” are also closely linked, and especially the latter becomes abnormal before abnormality in “function” and “morphology”.

EEG: electroencephalography, ECoG: electrocorticography, MEG: magnetoencephalography, TMS: transcranial magnetic stimulation, SPECT: single photon computed tomography, PET: positron emission tomography, NIRS: near infrared spectroscopy, MRS: magnetic resonance spectroscopy, fMRI: functional MRI, CT: computed tomography, CBF: cerebral blood flow

(Cited from ref. 20)

発展の経緯：脳外科手術が近代的機能局在の手法の源動力となり、「機能」と「形態」の2基軸が相補的に発展してきた

近代的な大脳機能局在は、19世紀後半からの Jackson (内科医), Broca (脳外科医) によるヒトのてんかん発作と脳機能局在の関連、局在病変と脳機能局在の関連が注目された。Pavlov により、条件反射が学習に伴うより複雑な行為で大脳皮質内に獲得維持されることが明らかにされた。特にヒトの脳機能 mapping は、1874 年米国シンシナチー市の脳外科医 Bartholow によって最初になされた。その後、Ranson (1892), Cushing (1909), Foerster (1936), Penfield (1937) らによって脳外科手術の患者の大脳皮質の電気刺激の結果より、哺乳類での大脳機能局在はきわめて類似していることが明らかにされていった。これらをまとめて、1950 年に *The cerebral cortex of man: a clinical study of localization of function*¹⁹⁾ が、次いで 1954 年に *Epilepsy and the functional anatomy of the human brain*²⁰⁾ が相次いで発刊された。

その中で前者の第 1 章では、臨床的立場からの大脳機能局在の研究への貢献は、歴史的に 2 通りの方法があったと記されている。一つは、病態により局所性病変がもたらす症状を分析することで、これは通常単純な機能消失につながる (lesion study)。もう一つは部分てんかん発作の症状とその進展様式を分析すること (seizure semiology study) で、これは皮質の自発的な一過性の機能活性化が起こる、と記載されている²⁰⁾。

一方、臨床的な脳機能検索法の進歩の概要をまとめたものが Fig. 1 である¹⁴⁾。中枢神経系の機能検索方法には、大きく分けて「機能」と「形態」の 2 方法があり、前者の基軸は 1929 年に世界で初めて発表されたヒトの脳波とその臨床応用であり²⁾、電気生理学的方法として、脳磁図、デジタル脳波、磁気刺激などが進展した。脳の非侵襲的形態検査は、脳波に比較して立ち後れ、当初は気脳写、脳血管撮影しかなく、頭部 CT が 1970 年代、MRI が 1980 年代に臨床で使用されるようになった。また核医学的手法においては、とりわけ 1990 年代前半までは H_2O^{15} を用いた PET での課題負荷試験で局所脳血流変化

Table 1 Clinical methods for human brain mapping

1) Methods related to clinical situation
a) Lesion study (intracerebral lesions vs. symptoms)
b) Seizure semiology study
2) Modern, sophisticated methods for brain mapping
a) Cortical mapping by means of electric- and magnetic stimulation (extrinsic brain activation methods)
b) Intrinsic brain activation (steady state activation)
b-1) Cortical generators of evoked potentials (magnetic fields), event-related potentials (magnetic fields), and high frequency oscillation (HFO)
b-2) Regional cerebral blood flow analysis (functional MRI, PET, SPECT, etc.)

から大脳機能 mapping を進める方法が主体であった。その後 1993 年に functional MRI の手法が開発され、外部からの放射性トレーサーを用いずに、局所脳血流の増加を deoxy-Hb の変化から計測する画期的な手法が実用化された。

2000 年代になり、MRI での fiber tractography による皮質間の連結を画像化する方法も実用化されてきた。また機能検査の基軸である頭皮上脳波を上述した functional MRI と同時記録することにより、脳波変化に相当する事象に伴う局所脳血流変化を脳表面だけでなく、皮質下構造での変化をも可視化することが可能となってきた。

大脳機能局在の検索方法：各方法の感度（鋭敏度）と特異度を念頭に置き、代償機能の関与などを常に考慮する

上述の大脳機能 mapping の進歩と、脳機能検索法の進歩をまとめると、臨床的には、大脳機能局在の検索方法は、Table 1 に示すように、1) 病態との関連による臨床的手法、2) 近代的検索方法に大きく分けることができる。1) は、現代的な手法が発達する前の 19 世紀以降に臨床の場において病態研究の中で臨床的知見に基づいて培われてきた臨床的叡智といえるもので、さらに a) lesion study: 脳内病変と症状との関連、b) seizure semiology study: てんかん発作の症候分析、に分けることができる。2) は近代的な脳機能検索法として発展してきた脳科学的手法であり、a) 大脳皮質の電気・磁気刺激法（外的脳刺激方法）と、b) 脳機能賦活検索法（常態での賦活領域の検索）に分けることができる。

概して、検索方法には、1) すべからく感度（鋭敏度）と特異度があり、2) また大脳機能の症状を対象とする場合はそれが急性の症状なのか、慢性期の病態に伴う症状であれば反対側あるいは周辺部位による代償機能が働

いた状態なのかで、意義が大きく変わってくる。3) さらに、ある手法で大脳機能局在が同定できた場合、その部位が障害された時に実際に症状が出現するのか、一過性の症状で回復するか、永続的な障害をもたらすのか、などは、次のステップの臨床的にむしろ重要な課題となってくる。以上の点を考慮しつつ、Table 1 に記した代表的な検索方法について最初に概説する。

① Lesion study（脳内病変と症状との関連）：慢性期の代償機能後の症状を反映する

本方法は急性期症状の分析にとどまらず慢性期の神経心理学的症状の意義づけに重要な情報をもたらしてきた。逆に急性期を過ぎて安定した症状と病変との関連からもたらされる情報は、脳内の多彩な代償機能がすでに賦活された後の病態を反映するととらえることができる。そのため、重要なことは、局所脳代謝や脳血流変化などによる健常者での脳機能 mapping あるいは皮質電気刺激での mapping の結果と一部解離することがあることである。たとえば、優位半球前頭葉の 1 cm²のサイズの脳表を電気刺激した場合、Broadmann 44 野とその近傍の機能野であれば陰性運動反応（negative motor response: NMR）（電気刺激中に、意識は保持されているが随意的な持続筋収縮あるいは連続した随意運動が遂行できなくなる）などの症状がもたらされる⁹⁾¹⁰⁾¹⁷⁾。しかし同領域の慢性期病変の症状のうち運動に関しては肢節運動失行であり、運動喪失にはならない。

② Seizure semiology study（てんかん発作の症候分析）：てんかん発作の症状は正常機能の 3 変化（刺激、脱落、変容）

「熱力学が蒸気機関によって飛躍的に発展したように、てんかん学は神経科学に重要な役割を果たしてきた」とかつて 20 世紀にてんかん学が評された。てんかん発作は大脳皮質の神経細胞群が突発的に脱分極して過剰な興

Table 2 Comparison of symptoms among epileptic interference, activation and inactivation (or inhibition)

Cortical areas	Interference	Activation	Inactivation (or Inhibition)
MI SI primary visual area auditory cortices		convulsion, myoclonus hyperesthesia elementary visual hallucination tinnitus, auditory hallucination	paralysis, negative myoclonus sensory defects scotoma deafness
SMA proper SII frontal eye field		tonic convulsion pain, hyperesthesia contralateral version	proximal weakness
speech area SNMA (pre-SMA) PNMA (Brodmann's 44)	aphasia NMS NMS	(negative myoclonus)	

MI: primary motor area, SI: primary somatosensory cortex, SMA: supplementary motor area, SII: second sensory area
 SNMA: supplementary negative motor area, PNMA: primary negative motor area
 NMS: negative motor seizure
 (Modified from ref. 12)

奮をもたらすことで、神経学的には陽性症状（刺激症状）をもたらすことが多く、特に一次感覚運動野では単純な刺激症状として、痙攣、しびれ感、あるいは視覚・聴覚の陽性症状が起こる（epileptic activation）²⁰⁾。一方、皮質の神経細胞群が脱分極することで本来の脳機能そのものが抑制（epileptic inhibition）（＝不活性化 inactivation）あるいは干渉（epileptic interference）されて、陰性症状（機能低下症状）をもたらすこともある²⁰⁾。epileptic inhibition の例としては、発作時麻痺、陰性ミオクローヌス、視野欠損、聴覚低下、感覚鈍麻などがある。epileptic interference は高次の大脳領野で本来の高次脳機能が干渉されて低下する 경우가多く、発作時失語、陰性運動発作（発作時運動制止）などが挙げられる（Table 2）¹³⁾。これ以外に、干渉により本来の正常高次脳機能が変容して出現することもあり、たとえば déjà vu（既視感）・jamais vu（未視感）は、親近感（familiarity）が発作性に变化することであるが、本来の海馬と扁桃体の有する記憶と情動機能が、一部変容して刺激症状として出現したものととらえられる。

このように、てんかん発作の症状は、正常脳機能を介して初めて発現する、正常機能の3変化（刺激、脱落、変容）といえる（Fig. 2）。しかもそれが、一過性・超急性期の症状として発現しており、上記の慢性期の脳内病変による症状分析でみられる「慢性期の代償機転後の症状」ではないことはきわめて重要である。

③ 大脳皮質の電気・磁気刺激法：外的刺激によっててんかん発作と類似の状態を脳機能にもたらしことができる画期的な方法である

皮質電気刺激は、最も確実な大脳機能マッピング法である。運動野あるいは一次感覚野は、単発刺激で誘発反応（単発の筋収縮、感覚症状）を検索することもできるが、通常は高頻度電気刺激（1 cm 間隔で脳表に装着した直径 3 mm の硬膜下電極間を 50 Hz, 0.2 msec の持続時間の極性交互の矩形波で 1~15 mA の範疇）で刺激する。

刺激の最中には刺激電極およびその近傍の電極から持続して脳波を記録して、後発射あるいは脳波上の seizure pattern が誘発されていないか確認する必要がある。陽性感覚反応の誘発（一次感覚野、二次感覚野）、陽性運動反応の誘発（一次運動野、補足運動野）、陰性運動反応（negative motor response）の誘発⁹⁾、失語症状（通常はまず刺激中に音読の障害が出現するかどうかでスクリーニングされる）（言語野）などが同定される。特に高次脳機能の検索には、5 秒以上の刺激時間を要することもある。さらに症例によっては、Gerstmann 症候群の可能性が考えられる優位半球の頭頂葉では、失書、失算、手指失認、左右失認の検索を行う場合もある¹⁸⁾。

皮質電気刺激には、以下の問題点が列挙される。a) 刺激電極あるいはその近傍にてんかん原性焦点が存在する場合、発作誘発の危険を伴う。またそのために十分に刺激強度を上げられない場合があり、真に刺激電極直下の皮質機能が陰性か陽性か確認できないことがある。b) 適切な刺激強度では、電極直下の皮質にきわめて限局して電流密度が高くなるため、刺激効果は電極に直接接した皮質（脳冠部分）のみしか検索できない。一方脳溝内の

Ictal symptoms could represent 3 changes of normal cortical functions, i.e., activation, inhibition, and distortion.

Fig. 2 Schema of functional localization in human cortices for understanding epileptic seizure semiology

皮質は、硬膜下電極を脳溝内に留置しないため電気刺激検索が実際はなされないことになる。c) 小児の場合は、電気刺激に対する皮質の興奮性が成人と異なるために、成人で設定された刺激上限でも陽性反応が表れないこと（偽陰性）が少なからずある。d) また一方、電気刺激の周囲への伝播などの影響により偽陽性所見も示し得る。

④ 各種脳機能検索法：人工的な脳刺激などではなく、生理的な常態での脳賦活領域を検索できる

上述した大脳の直接の電気・磁気刺激は、いわば人工的な状態であり、また電気刺激がてんかん発作を限りなく模倣した状態とすれば一種の病的状態で脳機能 mapping がもたらされたものといえる。一方、Table 1 に示された近代的な各種脳機能検索法は、生理的な感覚刺激、運動負荷、心理的課題などによって生理的に脳機能が賦活された状態を、脳電位、血流の微細な変動としてとらえることで可視化している。正常に賦活される領域には、重要で中核的な領域だけでなく、二次的に賦活される（余剰あるいは代償機転に関連するような）領域をも同時に含まれていることが少なくない。すなわち、Table 1 の古典的な検索方法のうち、lesion study で記したように慢性期の代償機転後の状態を反映している部分も、同時に賦活化して可視化していることが容易に理解できる。

1. 誘発電位磁場・事象関連電位磁場、高周波律動の発生源検索

各種の感覚誘発電位（体性感覚誘発電位 SEPs, 聴覚誘発電位 AEPs, 視覚誘発電位 VEPs 等）を直接硬膜下電極から記録することは、それぞれの一次感覚野の同定にきわめて有用である。同様に頭皮上記録の誘発電位あるいは脳磁場変動の発生源を同定する方法も大脳機能 mapping には重要な情報を提供する⁸⁾¹²⁾¹⁶⁾。一次感覚野以外にも、二次感覚野あるいは補足運動野からの SEPs の記録もなされており、機能同定に有用である。詳細は、別途総説を参照されたい¹⁴⁾。一方、100 msec 以上の潜時の誘発電位の中で、感覚刺激の様式によらない内因性脳活動の変化を反映するものは事象関連電位（event-related potentials）と呼ばれ、1960 年代から高次脳機能（準備、期待、判断、言語、注意など）とその局在同定の研究が進められてきた。その中で、運動野の機能 mapping には、事象関連電位の一つである運動準備電位が臨床応用されている。特にてんかん外科の術前機能 mapping では、電気刺激と異なり、a) 痙攣発作を誘発せず安全、b) 同時に 50~100 電極といった多数の電極を検索できる、c) 検索したい随意運動を対象にできる、など、高頻度皮質電気刺激による運動 mapping の問題点を解決できることが注目に値する⁷⁾。

上記の誘発電位磁場・事象関連電位磁場は、加算平均により S/N 比を改善して反応波形を同定抽出してその

Fig. 3 Schema of localization of supplementary motor area (SMA) proper and pre-SMA in human mesial frontal cortices

Currently, the human SMA is divided into the rostral- (pre-SMA) and caudal (SMA proper) parts by the VAC line. The SMA proper has its own somatotopy as M1, and the foot area of the SMA proper often extends into the lower part of the paracentral lobule.

The SNMA and PNMA manifest negative motor response via high frequency cortical stimulation as described in the text, and both roughly correspond to Brodman's area 44 and pre-SMA, respectively.

VAC: a line on the anterior commissure perpendicular to the AC-PC line, SNMA: supplementary negative motor area, PNMA: primary negative motor area, SSMA: supplementary sensorimotor area, M1: primary motor area, S1: primary somatosensory area.

(Cited from ref. 15)

発生源を検索してきた。近年の機器の発達により、生体信号を多チャンネルから同時に非常に広い周波数帯域から記録することが容易となり、特に 50~100 Hz あるいはそれ以上の周波数の高周波律動 (high frequency oscillation: HFO) を、単一試行で同定することが可能となってきた。特に、言語、運動感覚野、記憶などの機能に関連する領域を検索することが可能となりつつある。また高周波律動が運動感覚野さらには言語野の mapping に有用であることが最近指摘されている⁴⁾⁵⁾。

2. 局所脳血流変化の検索 (Functional MRI, PET, SPECT 等)

局所脳血流の増加により流入する oxy-Hb によって deoxy-Hb が相対的に減少して MRI 信号が相対的に増強することを画像化する手法が実用化されて以来、非侵襲的に大脳機能局在を mapping できる手法として注目

されている。

臨床的な大脳機能局在の話題

① 前補足運動野と固有補足運動野

Fig. 3¹⁵⁾に示すように、1949年にPenfieldとWelchがヒトの下肢の一次運動野の前方領域での内側前頭葉で、電気刺激によって「肩腕の運動、両側の体幹の」運動反応が誘発された領域を補足運動野 (supplementary motor area: SMA) という呼称で記載した。Sir John Eccles は 1981 年に「すべての随意運動においては、最初の神経活動は専ら両側の SMA に起こる」という仮説を提唱するに至った。その後の研究で、補足運動野は前方の「前補足運動野」(pre-SMA) (6aβ) と「固有補足運動野」(SMA proper) (6aα) に分かれ、それぞれ随意運動の高位の発現中枢の役割と、記憶に基づく随意運動遂行とその補足的な役割 (運動前に先行した体幹・四肢近位部の姿勢制御) を担っていることが明らかにされてきた。固有補足運動野自体にも体性機能局在 (somatotopy) があり、後方は傍中心小葉 (paracentral lobule) の下半分に及ぶこともある⁶⁾。今後臨床症状との相関の検討が進められることが期待される¹¹⁾。

② ミラーニューロンシステム

Broadmann 44 野は、古典的には Broca 野に相当して言語中枢とみなされてきたが、サルの研究で他人の運動の観察、理解、模倣、学習にかかわることが示され、ヒトでも同領域を中心に運動関連領域に広く分布することが示唆された。臨床的には自閉症、運動回復のリハビリテーション、失行の一つである反響動作 (echopraxia) との関連が注目されている²¹⁾。

③ 高次脳機能局在

高頻度電気刺激で大脳機能局在を検索する際には、p. 172-②で記したような発作時抑制 (epileptic inhibition) あるいは干渉 (epileptic interference) と同様に、高頻度電気刺激で本来の脳機能活動が抑制・干渉されて、高次脳機能が脱落症状として出現することによる失語、麻痺、運動制止、Gerstmann 症候群の症候¹⁸⁾などが報告されている。しかしながらその感度は高くなく、上述した高周波律動 (HFO) の解析は、単一試行で可能なことなど、今後飛躍的に発展する可能性がある。

④ 感覚統合

体外離脱体験 (out-of-body-experience) は、temporopa-

rietal junction)である角回や角回前方・上側頭回後方を
含む側頭葉・頭頂葉境界領域に本症候の責任領域が推定
されている。同部位における、触覚、視覚および前庭感
覚の統合は、運動や感覚を介した身体内空間 (personal
space) の統合と、身体外空間 (extrapersonal space) で
の位置の統合に欠かせない。この統合障害が身体内空間
と身体外空間の解離を引き起こし、本症状が出現する原
因の一つと考えられている³⁾²²⁾。さらにこの左領域の電
気刺激では、後方に影のようにヒトが潜んでいるように
感じる幻覚が誘発されることも指摘されている¹⁾。

5) Ictal apraxia

Broadmann 44 野あるいは pre-SMA 領域を高頻度で
5 秒間電気刺激すると、上述したように、陰性運動反応
(negative motor response: NMR) (電気刺激中に、意識は
保持されているが随意的な持続筋収縮あるいは連続した
随意運動が遂行できなくなる) が出現する。これが麻痺
(paresis) か失行 (apraxia) かは議論の余地がある。

一般的に apraxia は、lesion study における症候学とし
て記載されてきた慢性の病態であり、少なくともある程
度以上の代償的機転が脳内ネットワークですでもたら
された後の状況である。短時間の高頻度皮質電気刺激に
よる超急性の誘発症状は、たとえ同じ脳内構造と機転が
関連していても慢性期の症状とは異なると予想される。

同様にてんかん発作中に意識はありながら発作時に体
の一部が動かなくなる症状 (negative motor seizure) が
まれながらあり、NMR にきわめて類似する¹⁸⁾。その発
作型を記載するには、「ictal apraxia」という用語が妥当
か否かは議論の余地がある¹⁸⁾。加えて、電気刺激自体で
も、慢性の病態と考えられる ideomotor apraxia が下頭頂
小葉の電気刺激で出現することがあり²³⁾、単なる代償機
転の有無だけで、ideomotor apraxia か arrest of motion か
の 2 分論ではなさそうである。

おわりに

以下の 2 点をまとめたい。1) 大脳機能局在の検
索方法の違いにより、機能局在の結果と解釈が異なる。
2) 代償機転を予想・考慮した、大脳機能局在の mapping
が期待される。

文 献

- 1) Arzy S, Seeck M, Ortigue S, Spinelli L, Blanke O: Induction of an illusory shadow person. *Nature* **443**: 287, 2006.

- 2) Berger H: Über das Elekrenkephalogramm des Menschen. *Arch Psychiatr Nervenkr* **87**: 527-570, 1929 (山口成良訳: ヒトの脳波について [第 1 回, 第 2 回, 第 3 回]). *精神医学* **23**: 829-838, 951-962, 1073-1081, 1981).
- 3) Blanke O, Ortigue S, Landis T, Seeck M: Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature* **419**: 269-270, 2002.
- 4) Buzsáki G, Silva FL: High frequency oscillations in the intact brain. *Prog Neurobiol* **98**: 241-249, 2012.
- 5) Crone NE, Korzeniewska A, Sinai A, Franaszczuk P: ERD/ERS and ERP. in Ikeda A, Inoue Y (eds): *Event-related potentials (ERPs) in patients with epilepsy: from current state to future prospects, Progress in epileptic disorders*. vol. 6, Paris, John Libbey, 2008, pp.214-246.
- 6) Ikeda A, Lüders HO, Burgess RC, Shibasaki H: Movement-related potentials recorded from supplementary and primary motor area: role of supplementary motor area in voluntary movements. *Brain* **115**: 1017-1043, 1992.
- 7) Ikeda A, Shibasaki H: Intracranial recording of Bereitschaftspotentials in patients with epilepsy. in Jahan-shai M, Mallett M (eds): *The Bereitschaftspotentials: movement-related cortical potentials*. New York, Kluwer Academic/Plenum, 1993, pp.45-59.
- 8) Ikeda A, Shibasaki H: Event-related evoked potentials to delineate eloquent cortex. in Rosenow F, Lüders HO (eds): *Handbook of Clinical Neurophysiology: epilepsy*. Amsterdam, Elsevier, 2004, pp.333-345.
- 9) 池田昭夫: 陰性運動野-1. 臨床脳波 **48**: 303-312, 2006.
- 10) 池田昭夫: 陰性運動野-2. 臨床脳波 **48**: 371-377, 2006.
- 11) 池田昭夫: ヒトの随意運動における補足運動野の機能と臨床的意義. 臨床神経 **47**: 8-20, 2007.
- 12) Ikeda A, Shibasaki H: Cortical mapping using evoked potentials and Bereitschaftspotentials. in Lüders HO (ed): *Textbook of epilepsy surgery*. London, Informa UK Ltd, 2008, pp.1036-1048.
- 13) Ikeda A, Hirasawa K, Kinoshita M, Hitomi T, Matsumoto R, Mitsueda T, Taki JY, Inouch M, Mikuni N, Hori T, Fukuyama H, Hashimoto N, Shibasaki H, Takahashi R: Negative motor seizure arising from negative motor area: is it ictal apraxia? *Epilepsia* **50**: 272-284, 2009.
- 14) 池田昭夫: ヒトの大脳機能局在概説—機能局在研究の大航海時代—. *Clin Neurosci* **28**: 1096-1103, 2010.
- 15) Lim SH, Dinner DS, Pillay PK, Lüders H, Morris HH, Klem G, Wyllie E, Awad IA: Functional anatomy of the human supplementary sensorimotor area: results of extraoperative electrical stimulation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **91**: 179-193, 1994.
- 16) Lüders H, Dinner DS, Lesser RP, Morris HH: Evoked potentials in cortical localization. *J Clin Neurophysiol* **3**: 75-84, 1986.
- 17) Lüders HO, Dinner DS, Morris HH, Willie E, Comair YG: Cortical electric stimulation in humans: the negative motor areas. in Fahn S, Hallett M, Lüders HO (eds): *Negative motor phenomena. Adv Neurol* vol. 67, New York, Lippincott-Raven, 1995, pp. 115-129.
- 18) Morris HH, Lüders H, Lesser RP, Dinner DS, Hahn J: Transient neuropsychological abnormalities (including Gerstmann's syndrome) during cortical stimulation. *Neurology* **34**: 877-883, 1984.
- 19) Penfield W, Rasmussen T: *The cerebral cortex of man: a clinical study of localization of function*. New York, MacMillan Company, 1950.
- 20) Penfield W, Jasper H: *Epilepsy and the functional anatomy*

of the human brain. Boston, Little, Brown, 1954.

- 21) Rizzolatti G, Fabbri-Destro M, Cattaneo L: Mirror neurons and their clinical relevance. *Nat Clin Pract Neurol* 5: 24-34, 2009.
- 22) 下竹昭寛, 松本理器, 池田昭夫. 頭頂葉てんかん, *Clin Neurosci* 27: 452-454, 2009.
- 23) 下竹昭寛, 松本理器, 國枝武治, 福山秀直, 三國信啓, 宮本享, 高橋良輔, 池田昭夫: 行為関連ネットワークの機能分化: 皮質電気刺激による失行様症状の検討, *臨床神経生理学* 40: 446, 2012 (抄).

要 旨

ヒトの脳機能局在

池田 昭夫

歴史的に、中枢神経系の異常を検索する、あるいは脳機能 mapping のための臨床的検査方法には、1929 年以降の脳波などの「機能」検査と、主に 1970 年代以降の CT, MRI などの「形態」検査の 2 基軸があった。両者は基本的かつ相補的手法であり、脳外科臨床がこの 2 大手法を発展させてきた。19 世紀以来、lesion study と seizure semiology study はこの流れの中で最も重要な基礎的臨床知見をもたらした。lesion study は慢性期の代償機転が働いた状態での症状を示したが、seizure semiology study は、慢性期の代償機転がない状態の一過性の症状をもたらした。そのために両者は時に違う結果を生じさせる。同様に、1) 大脳の直接電気刺激と、近年発展が目覚ましい、2) EEG/MEG・局所脳血流・受容体イメージングを用いた大脳賦活化課題研究は、同様の代償機転の関わりの有無を同時に考慮する必要がある。ヒトの脳機能 mapping として、補足運動野の新知見、高次脳機能局在、体外離脱体験、発作時失行について概説する。ヒトの脳機能 mapping においては、代償機転の関わりと、それぞれの感度と特異度を常に考慮する必要がある。

脳外誌 22: 170-177, 2013