

大脳機能の科學的基礎

本 川 弘 一

「頭が良し悪し」と云う言葉の示す通り智恵其の他の高等精神作用が大脳に宿つてゐるという考は今日の常識である。吾々は斯の様な常識が確實な科學的根據に基づいて發達したものと信じてゐる。實際大脳が心理作用、精神作用と極めて密接な關係を持つ事を示す科學的事實或は實驗は甚だ多い。併し其の反面には大脳の器質的疾患は必ずしも精神異常を伴わず、又明らかた精神異常者に必ずしも大脳の器質的變化を證明することが出来ない。後の場合は屢々大脳の機能的疾患と呼ばれるが、此の命名法は明らかに精神作用が大脳の機能であるとの假定の上立つてゐる。

生理學に於ては心臟、肺臟等個々の臓器の機能を生理學的方法によつて他の臓器と切り離して研究し、且つ其の働きが個體の全體と如何なる關連にあるかを定めることが出来る。併し相關と統制とを主たる働きとする大脳は他の臓器の様に臓器そのものを切り離して實驗的研究

の對象とすることが困難であり、又動物實驗の結果を人間の脳にそのまま適用することが許されないという事情によつて甚だしく研究が立遅れたのである。

大脳機能検査法として心理學的方法或は精神醫學的方法を採用することも從來は生理學的方法以上に行われ、吾々の今日の大脳機能に關する多くの知識の基礎をなしてゐる状態である。併し上述した様に大脳の生理學的機能と心理精神作用とは一應は分離して考えなければならぬものであつて、此等無條件に結びつけ或は混同するという態度は科學的態度とは看做し難い。

從來の精神病學の傾向は此の點に關しては甚だあいまいであつた。多くのものは暗々裡に精神が腦細胞の所産或は機能状態であることを假定してゐた。所謂機能的大脳疾患も技術が進歩すれば必ず何等かの變化が大脳に見出されるに相違ないと考へるか、或は一步進んで精神的異常そのものが大脳の機能異常であると斷定するのであ

る。

フロイド一派の精神病學者達が以上の考えを獨斷として排撃するのは正しい。併しリビドという様な概念的なもので一切を説明しようとし、大脳の生理的機能に目をつぶる態度は行き過ぎである。

斯様に大脳の生理作用と精神作用とを同一視する獨斷と、前者を全然考慮以外に置こうとする偏見とが相對立して存在することは大脳の科學的研究が立遅れてゐる今日では致し方が無いにしても、現在確立されている科學的事實はどの程度のものであるか、又此等の事柄からどの程度の推論が許されるかを明らかにすることは必要なことである。

一

大脳生理學の研究法には大體三つの行き方がある。其の第一の方法は臨床的所見と死後の剖見所見とを對照することによつて大脳の構造變化と生前の機能的異常との因果關係を推論するものであつて、最も古くから發達した古典的な方法である。大脳は質の一定の分野には一定の機能が局在するという所謂機能局在説は此の方法によつて發達した。又最近の外科手術の發達は大脳の外科的手術に際して、大脳の各部を刺激し或は損傷することに

よつて如何なる客觀的或は主觀的な變化が起るかを實驗することを許す様になつた。同様な實驗は可なり古くより（フルーラン、一八二二年）動物に就て行はれ、大脳皮質の運動中樞の決定には寄與する所が少なくなかつた。併し感覺に關するもの或は更に高等なる精神作用の研究には動物實驗は殆んど無力であつた。

臨床的病理學的方法によつて確立された多くの事實の中で最も興味深く又從來屢々引用された事項は失語症の問題であろう。或特定の大脳皮質部位が傷害を受けると言葉と言葉として他の音より區別する機能が失はれたり（感覺性失語症）、或は運動器官に障礙なくして言葉の發音が不可能になつたりする現象である（運動性失語症）。

又最近の研究によると大脳の或る局所を電氣を以て刺激しつゝアルファベツトを言わせると、刺戟の興へられてゐる間、同じシラブルを繰り返す現象が見られるといふ。此等の現象は言語という人間特有のものに關係し、高等精神作用と最も密接なつながりを持つてゐる様に見えるので大脳と精神の關係を論ずるための好材料と目される。

此等の所謂言語中樞は右利の人は左側、左利の人は右側の大脳半球にのみ存在するが、大脳皮質の左右對稱の部分の構造を調べて見ても明らかな形態學的な相違を證

明することは出来ない。勿論之は吾々の技術が未だ幼稚であるために其の相違が判らないのかも知れないけれども、少くとも今日の科學的水準では言語中樞は機能的なものだと考えざるを得ない。機能的なものの存在する範圍即ち中樞の空間的擴がりを決定するのに從來の様に脱落現象（或る一局部の破壊によつて起る現象）のみに頼るといふことは正しくない。脱落現象は部分の欠損による全體の機能的變化であつて、それから直ちに欠損部分の機能を判定することは出来ない。

そこで、損傷を興へることなく、何等かの方法で問題の大脳皮質部を刺戟して起る現象によつて此の部の機能を判定しようと試みられた。

上述の電氣刺戟による發音の障礙等も其の一つである。此の實驗は甚だ興味深いが、未だ一般の承認を経ていないものであり、又電氣刺戟の有効なのは從來言語中樞と考えられていた部分とは随分かけ離れた部分である。未だ所謂言語中樞の刺戟によつて何等かの變化が認められたとの報告には接しない。

大脳皮質に於ける知覺に關すると考えられている所謂知覺領を電氣的に刺戟しても何等の變化も起らないか或は起るにしても極めて異質的な感覺しか起らない。例へ

ば觸覺や溫度感覺に關係するといわれている後中心回轉を電氣で刺戟して被檢者の答申を求めて見ると普通の觸覺や溫度感覺を感ずると答える者は殆んど皆無であつて、何かしらびり／＼する様な一種異様の感覺を此の領野に相當する身體部位に投射して感ずるといふ答をするものが大部分である。夫故に斯様な方法によつて夫々の知覺領を決定出来るとは考えられない。唯上述の脱落現象とにらみ合せて大體のところを推定しているに過ぎないのである。大脳皮質の電氣刺戟によつて正常の感覺が惹き起されないといふことは機能局在論者に取つては都合の悪い事ではあるけれども唯それだけで此の考えを否定出来ない。若し大脳の夫等の部分が實際知覺に關與する部分であつたとしても、外界の刺戟を五官器を通して受け容れた場合と直接電氣で刺戟した場合とで相違するのは何等不思議ではないからである。

此の事に關連して想い起されるのはヨハネス、ミュラーの特殊知覺勢力の法則である。此の法則は心理學や感覺生理學の第一頁に掲げられている有名な法則であるから、今更説明を要しないと思われるが、屢々問題となつたものであるから説明を加へることは無益ではないと思う。吾々の五官器は夫々眼は光、耳は音といつた様に

定まつた種類の刺戟を受け容れる役目をしている。併しこれは例えば眼ならば眼が光のみに感じ他の刺戟を受け容れることが全然出来ないのではない。眼を電気で刺戟しても機械的に刺戟しても光の感覺が起る。唯光の刺戟が最も光覺を惹き起すのに能率が良いだけである。ミューラーは此の性質は五官器につらなる中樞神経系、殊に大脳皮質の性質によつて決定されるのだと考えた。如何なる刺戟でも知覺神經に興奮を起すことが出来さえすれば刺戟の如何に拘わらず其の神經の所屬する大脳皮質に特有な感覺が起るといふのが此の法則の具體的な表現である。此の法則の表現をそのまま信じて極端な議論をすれば、吾々の知覺は外界が吾々に與える刺戟とは無關係に大脳皮質によつて決定されるという事になり、又吾々の外界に對する認識は全く主觀的なものだといふ事にもなる。併し斯様な議論は此の法則の生理學的内容を知悉して居れば誤りであることが直ぐ判る。眼を電気で刺戟して起る光覺は光で刺戟した時のものと決して同じではない。視神經を刺戟しても、大脳皮質の視覺領を刺戟しても眼を光で刺戟した時と全く等しい感覺を惹き起し得るといふ保證をミューラーの法則は與えていたのではないのである。

眼を機械的、電氣的に刺戟しても吾々が光によつて外界を視る時の様な印象とは凡そ縁の遠い感覺が起るだけである。極めてプリミチフな光覺が起る様に、光刺戟が與えられても電気で刺戟した時とは判つきり異つた印象を受ける。味覺神經を電気で刺戟しても甘酸鹹苦の様にはつきりした味覺は起らない。それは刺戟の方法が悪いからで將來方法に改良を加えれば電気で刺戟しても光で刺戟したと等しい感覺を惹き起し得る様になるかも知れないという異議も成り立つかも知れぬが、私の問題にしてゐるのは將來の事ではない。唯ミューラーの法則を上述の様に解釋する科學的根據が未だ與えられていないといふ事を指摘するのである。

以上大脳皮質の機能が古典的方法で未だ明らかにされないといふことを述べた。然らばせめて末梢神經や五官器の事は生理學的に良く研究され相當明らかになされてゐるだろうと考えられる讀者も相當あることと思われる。過去二十年の吾が國の生理學は筋と神經の生理學だつたといわれる位本邦に於ても神經や筋に就ての研究が盛んであつた。外國でもそうであつた。神經に就て最も輝かしい業績は何といつても悉無律の確立である。此の法則の確立によつて神經の働き方が判り、興奮傳道の基本的

性質が此の簡單で美しい法則にまとめ上げられたということは確かに生理學の勝利に相違無い。

刺戟が大きければ反應も亦大きいとの考えは最も常識的であり、原始的な研究方法で神經や筋に就て得られた結果は皆此の常識に適なうものであつた。然るにボードウヰツチ、リユーカス、エドリヤン、吾が國では加藤其の他の人々によつて見事に此の常識は打ち破られたのである。神經の單位をなす神經纖維は刺戟が如何にあらうとも苟くも反應すれば常に等しい大いさの反應しか示さないことが明るみに出されたのである。従つて知覺神經が外界の刺戟の強さを中樞に傳えるには反應の大いさによつて之を傳えるのではないと考へなければならなくなつた。神經を傳導する興奮の大いさは刺戟の大小に拘はらず常に等しいのである。エドリヤン其の他によれば、刺戟の大いさを表わすものは一つ一つの興奮ではなく、斯様な興奮が幾度繰り返されるかということである。つまり興奮の頻度であるから刺戟の大いさは單位時間に就ての興奮の數に翻譯されて中樞に運ばれるということが明らかにされた譯である。

併し總ての神經が此の法則で律せられ、興奮傳導の凡ての性質は此の法則であます所なく説明されるかという

とそうは行かない。此の法則が假に凡ての種類の神經に當て嵌まるとしても、之は一本の神經纖維についての法則であるから神經纖維の集合である普通の神經の性質が此の法則から凡て引出されないのは當然である。例えば刺戟の質（光ならば色等）、其の空間的擴がり等が如何にして神經中を傳導されるかが問題である。此等は恐らく單一神經纖維の問題ではあるまい。幾萬本幾百萬本の纖維の集合、其の中に問題の謎が潜んでいるのであらうが吾々は未だ其の正體を見届けることが出来ないのである。

最も簡單そうに見える神經について尙且つ斯の通りである。吾々が古典的な方法で如何に分析を繰り返そうともあの複雑神祕な大脳の謎を解き得る日が来ようと思われぬ。

二

此の秋に當つて大脳生理學は露西亞の天才バブロンを迎えた。彼は大脳機能の可塑性に着眼した。古典大脳生理學が大脳機能を大脳の各部に固定せんとして進んだのに反し、彼は其の變化發展の法則を追求せんとした。そして其の用いる方法も古典大脳生理學とは全く異なり、主觀的な内省や答申に依存することを止めて、客觀的な

生物の反應を其の標識に選んだ。

生物は生れたがらにして外界の刺激に反應する能力をもつてゐる。そして此等の作用の多くのものは大脳皮質とは無關係に起る。それは大脳皮質を破壊してもやはり同様な反應を示すから判る。此等の作用を反射と云い、反射の複雑なものは本能と呼ばれてゐる。

食物を食う時には唾液が分泌されるが、唾液の分泌は大脳の無い無脳犬でも起る。吾々人間に於て意志の働きによつて自由に出來ない様な作用は皆反射である。内臓器官は皆反射によつて働く、内臓の働きが意志によつて左右されないといつても大脳とは全く關係が無いということではない。關係はあるが大脳が無くても働き得るというだけである。生體の凡ての働きをより合目的にするためには大脳の最高度の統制を必要とするのである。身體の諸々の反射にはそれ／＼の刺激が定まつてあり、その刺激以外の刺激によつては其の反射は起らないのが普通である。例えば唾液は食物が與えられなければ分泌されない。併し吾々の經驗では、うまそうな食物の香を嗅いだだけで唾液分泌が起り、甚だしきは正午のサインを聞いただけでも分泌が起ることを知つてゐる。此等の作用は大脳に於て特殊の變化が起つたために起るもの

であることを條件反射の研究が吾々に示して呉れる。

サインによつて唾液の分泌が起るといふことは正午のサインを聞いて直ぐ晝食を攝るといふ習慣をもつた者に見られる現象である。若し此の人が喇叭の合圖によつて食餌を攝るといふ様な環境に移され之に馴れてしまへばもはやサインによつては唾液分泌は起らず此度は喇叭によつて分泌が起る様になるのである。斯様に本來は其の反射の刺激でない様な刺激によつて起つて來る反射を條件反射と名づける。條件反射が形成されるのは本來の刺激(例えば食物)と條件刺激(例えばサイン)とが時間的又は空間的に接近して與えられることが繰り返される結果、中樞神經系の中に新しい結合が生ずるからであると考えられる。新しい結合の發生過程はいわば學習の過程である。それ故に條件反射の方法は學習過程の法則性を純客觀的に研究することを可能ならしめるものである。

目的論的な觀方をすれば、條件反射の成立は環境に對する生體の適應であり、環境の變化によつて之が消失するのはその必要性が無くなつたからである。反射が無くなるのにも其の必要性が無くなり自然に消滅する場合と其の反射が起ることが都合が悪いので積極的に之を抑制

するために反射が消失する場合がある。そして此の兩者は外見こそ等しいが其の成立機序は全く異なることが明らかにされたのである。

例へば此處にA、Bなる二つの刺激があると考えよう。Aには常に食物が附随しBには常に刑罰が伴なうとしよう。若しAとBとがよく似ている場合には最初はAとBとが混同されてBが興えられても唾液の分泌が起る。併し此等の刺激を繰り返して興えている中にAならば分泌が起りBならば決して分泌が起らない様になる。即ちA、Bの兩刺激が被刺激が被檢生體によつて辨別されたといふことが客觀的に證明出來たのである。此の辨別能力の獲得を分化という。分化が起つた時にBによつて唾液の分泌が起らぬというのは唾液分泌を抑制する或る種の過程が中樞神経系内に發生するのであらうと考へさせる幾多の事實がある。

鈴の音を聞かすと唾液の分泌が起る様に習借づけられてゐる犬があるとしよう。此の犬に外敵を近づけつゝ鈴の音を聞かしても唾液の分泌は起らぬ。見知らぬ人が傍に立つていてさえ條件反射は起つて來ない。バブロンが條件反射を發見した當時甚だ得意になつて此の實驗を大衆の前で公開しようとして見事に失敗した。それは犬が

馴れない環境におかれたからである。斯様な場合條件反射が永久に消滅したのかというところではない。其の様な環境條件が除かれたならば再び鈴の音によつて唾液分泌が起つて來るのである。總じて強烈な刺激は皆條件反射を抑制する働きをもつてゐる。

條件反射は後天的に獲得されたものであるから不安定ですぐ抑制されたり消滅したりする。つまり大脳の可塑性の現われである。そして此の不安定な後天的性質が吾々の生活の最も重要な部分を占めてゐるのである。

鈴の音で條件反射を形成してある犬に鈴の音のみを聞かせて食物を興えないごと、つまり空手形だけを頻繁に數回繰り返すと鈴の音を聞かせても唾液分泌が起らなくなる。これは空手形によつて欺かれまいとする意志によるのではない。意志によつて唾液の分泌は自由にならぬものだからである。又音と食物の結びつきが絶えたために鈴の音によつて食物を想起出來なくなつたためでもない。若し忘却であるならば時間が経てば經つ程反應の消失が著しくなる筈であるが、此の現象は一時的で、暫く時間を経て鈴の音を聞かすと再び唾液分泌が起るのである。どうしても一時的な抑制過程が中樞神経系内に發生すると考へねばならぬ。實際そうであらうといふこと

は斯の様な時には凡ての反射がおしなべて起り難くなつてゐることも知られる。

抑制（又は制止ともいう）に相對する過程は興奮である。凡ての反射の根柢には中樞の興奮が横わつてゐる。

吾々は反射の起り方を見て中樞の興奮の程度を知ることが出来る。又反射の一時的消失は中樞の抑制過程を代表する。永久的な反射消失は興奮も抑制も起つていない中立の状態である。興奮と抑制とは互に他を打消す様に作用する。例えば上述の様に空手形を繰り返すことによつて反射が抑制されている時に何か他の強烈な刺激を興えると抑制が破壊されて鈴によつて唾液の分泌が起る様になる。強烈な刺激によつて惹き起された中樞の興奮が同じく中樞に存在している抑制を打ち消した結果であると考えられる。

條件反射の法則は興奮抑制相剋の法則である。分化發展の經過にも此等兩過程相剋の有様がよく現われている。分化が起る前にどんな刺激にでも無差別に反應する時期がある。之は何物にも反應しない中立の状態よりも一歩進んだ段階である。此の時には主として中樞の興奮が支配しているものと考えられる。次に反應が極めて不活動となる時期がある。これは抑制過程が生じて興奮を打消

すからであると考えられる。最後に特定の刺激Aには反應し非Aには反應しない段階即ち分化の段階に到達する。刺激に應じて興奮と抑制とを使い分けることの出来る状態が辨別能力が獲得された状態である。人間に於ける學習も恐らく此の様な段階を経るものと思われる。學習には何等かの意味の恩賞と刑罰とがなければならぬ。此等の訓練が條件反射の實驗に於ける如く先天的働き或は本能に基いて行われる時に最も良く徹底するのである。

パブロフに依れば睡眠は大脳の一局部に起つた抑制過程が腦全體に擴がることによつて起るといふ。パブロフ及び其の門下は抑制過程が大腦の一つの場所から他の場所へと擴がつて行く有様を條件反射を用いて手に取る様に追求することが出来ることを示した。又或種の神経症は興奮と抑制の激しい相剋によつて生ずることを立證した。

條件反射は本能又は先天的反射を基底として形成される時に最も形成が容易であり、且つ形成されたものは割合に安定である。併し一旦形成された條件反射を基底として他の條件反射を形成することも出来る。例へば鈴の音で唾液分泌が起る様な條件反射が形成されるときに、鈴の音と他種の刺激例へば光刺激とを結合して繰り

返し興えることにより光刺激でも唾液分泌が起る様になるのである。これを第二次條件反射という。

人間の高等な生活に於ては直接本能と結びついたもの以外に此等第二次第三次の條件反射の形成が重要であると考えられる。

以上示した如く、條件反射學は主觀的な内省や答申によらず専ら客觀的な反應のみを標識として居ること、また古典大脳生理學の様に主として病的な現象に依存することなく全く健全な個體の出來事を取り扱つていゝといふ點が非常に強味である。此の強味を強調する人々は更に進んで心理的、精神的な現象をも條件反射學の對象となし得ると考えて居る。

例えば言語の習得、思考、判斷、意志等も條件反射的な產物として理解出來ると考えている。

讀んだり、聞いたりする言葉は條件刺激である。言葉を話す時、字を書く時に用いられる筋、腱、關節等の内部で發生する刺激（筋覺的刺激）も亦條件刺激となり得る。斯くてベルグソン等の指摘した思考と筋運動の關係が生ずる。そして記憶を呼び起すところのものは環境よりの刺激のみならず、上述の體內で發生する一切の刺激であることが理解されるといふのである。

條件反射學の對象となるものは何等かの外的表現をもつものでなければならぬ。併し凡ての内部過程が外的表現を持つてあろうか。又外的表現をもつと假定しても條件反射學で考える様に夫等の外的表現は果して内部過程の忠實な標識であらうか。吾々は或る種の大脳の疾患や動物實驗に於て外的表現が内部過程の忠實な映像であるとしては理解し難い幾多の例を擧げることが出来る。併しそれは病的な内外の分離であらうと反駁されればそれまでである。併し吾々は後に述べる新しい研究法によつて、中樞神經系内で起つた幾多の興奮が末梢の筋や腺の如き奏効器に達することなくして消滅するといふ事實を掴むことが出来る。しかも大脳の發達が高度であればある程内部のみに局限される興奮が多いことを指摘することが出来るのである。

パブロフが想定する中樞神經系内の興奮と抑制の概念は實驗事實を統一的立場から説明するために考へ出されたもので、いわば假説的なものである。そして其の本態に就てはパブロフは何等觸れる所が無い。又此等の過程が大脳に起ることを主張するためには古典的な方法即ち大脳を損傷する方法も採らねばならないのである。古典大脳生理學の欠點を避けて發達した條件反射學が其の根

本過程を解決せんがために再び古典大脳生理學に歸るといふことは明らかに矛盾である。此の矛盾から條件反射學を救うものは次に述べる第三の方法以外にはなさそうである。

三

末梢神經が働くときには活動電流が生ずるのであるから中樞神經系の働きに際しても電氣的變化が證明されるであろうと期待されてはいたが、其の實現が遅れ、やつと最近になつて申分無き研究が出来る様になつた。それは中樞の電氣的變化は甚だ微弱なもので真空管技術の高度の進歩に俟たねばならなかつたからである。最初は麻醉した動物の腦内に電極を挿入して之を證明したのであるが、腦の如き微妙な器官に斯の様な障礙を興えつゝ取り出されたものが果して大脳機能の標識となり得るかどうかは疑問であつた。一九二九年獨逸の精神學者ベルガーは人間の頭皮上から大脳の電氣的變化を描記することが出来ることを發見した。頭皮上に電極を置き、これより増幅器に導きオツシログラフで描記するのである。斯くて描記されたものは波狀を呈し腦波と呼ばれる。

人間の腦波は種々の波の混合から成つてゐるが、其中で最も振幅が大きく且つ規則正しいのは約十分の一秒

を週期とする波である。

ベルガーは此の種の波を α 波と呼んだ。 α 波の上に振幅が小さくて不規則な波が重疊してゐる。其の週期は約十七分の一秒から五十分の一秒位であつて、ベルガーは之に β 波と命名した。其の他に週期が α 波よりも長くて不規則な波が現われることがある。此の種の波は大脳機能が異常と思われる時に出るもので、吾々は之を δ 波と呼んでゐる。

α 波が最も規則正しく又著明に現はれるのは内外の刺戟によつて大脳の機能が擾亂を受けない時である。無念無想、無關心の時に最もよく α 波が現われる。そして内外の刺戟によつて α 波は消失するか或は減少して其の代りに β 波が現われる。此の變化は非常に微妙で且つ敏感である。如何なる従來の方法でも斯様な微妙な變化を證明することは出来ない。若し此の現象と相關せしめ得るものがありとすればそれは心理的な諸現象位のものであろう。

殊に注意すべきことは、少くとも人間では視覺的な刺戟が他の如何なる種類の刺戟よりも此等の變化を起すのに有效だということである。試みに暗室に入つて何物も見えない様にしておき、被檢者に視覺的な注意を喚起せ

しめると忽ちにして α 波は消失する。

筆者は殘像と此の現象との關係を調べたことがあるが、殘像が感じられている間は、 α 波は抑制されている。そして殘像が週期的に消長すれば、 α 波抑制の度合にも亦之と同様の週期性が認められた。

此の現象に對する刺戟の作用を決定するのは決して其の物理的な強さではなく全く主觀的な強さである。暗室に在り、外からの光は全く無くても色々の形のものが見える。之は固有光といわれるもので網膜又は其の他の場所に興奮が殘存しているためだと考えられている。固有光の如き弱い刺戟でも、 α 波には可なりの影響を及ぼすものであるが、其の反對に相當強い光刺戟でも全く α 波に影響を及ぼさないことがある。それは網膜全體を一樣に照し視野に何等の像も生ぜしめない場合である。

即ち腦波の變化は光覺自體によるよりも輪廓形狀の認知に關係すると考えねばならぬ。或は言葉を換えていえば注意に關係するということになる。注意ということが大切であることは次の實驗でも判る。單獨に興えたのでは、何れも α 波を消失せしめる様な種々の刺戟、例えば光、音、觸等の刺戟を同時に作用せしめると一向に影響がない。或は光刺戟によつて α 波が消失している時に

音刺戟を加えると却つて α 波が現われて来る。個々の場合はそれに注意を集中することが出来るが、多くのものが一時に興えられると注意が散漫になつて斯様な結果を來すものと考えられる。

視覺的殘像は音樂を聞かすと割合に速かに消失する。そして腦波の所見は正に此の心理的事實に一致する。斯くして或る刺戟が大腦に印した殘效を消失せしめるためには、大腦を無刺戟状態に保つよりも他の異質的な刺戟を與えることがより有效であることを客觀的に證明することが出来るのである。

注意と同様、生理學的な言葉で表はすことの困難なものに意識がある。意識と腦波との間に非常に密接な關係があることは種々の實驗から判つて來た。正常な個體に起る意識の消失は睡眠の際に見られる。睡眠に當つての腦波の變化は α 波の減少次いで消失、それから β 波の出現である。兩者の移行期に α 波より稍々週期の短い波が一時的に現われることがある。 α 波から β 波への移行は睡眠に陥る場合には徐々であつて意識の消失の程度との波の出現との間には密接な關係がある。睡眠の深さを覺醒させるに要する刺戟の強さで測定すれば、 α 波が多い程睡眠が深いことが知られる。強い刺戟を加へ

て覺醒させる場合は、波から直ちに α 波に移行する。軽く刺戟して被檢者が目醒めない場合でも一寸の間 α 波が現われて再び β 波になつてしまふことがある。斯様な場合には被檢者が覺醒した後に之を意識してないことが多いから、短時間だけ腦波が正常に恢復しても意識が恢復しないのかも知れない。併し又一瞬の意識の恢復は忘掉され易いために被檢者が想起出来ないのかも知れないとも考えられる。

夢と腦波との關係に就ては未だ信賴すべき研究は少ないが、假睡に陥り易い人に就て、絶えず腦波を觀察して、或る變化が認められた時に被檢者を呼び覺まして夢を見たかどうかを尋ねるといふ方法で調べると、或る變化が起つて一二分の中に尋ねれば被檢者は夢を記憶しているが、それ以上では全く記憶していない。勿論夢の内容などは少くとも現在の所では腦波所見から推論することは不可能であるが、何事かが大脳内で起つてゐることだけは推察出来る。併しそれが夢であるかどうかは被檢者の答申に頼るより仕方がない。

睡眠に似たものに催眠術がある。併し催眠術にかかつてゐる人の腦波は睡眠中のものとは全く異なつてゐるか

ら生理學的に見ても兩者は全く異つたものである。意識と腦波の關係を調べるに都合のよい例は小發作といわれる疾患である。此の病氣をもつ患者はほんの一瞬間意識を失うので傍から觀ている人も餘程注意深くなければ其の意識消失に氣附かない。患者は一瞬間動作を停止したり會話が一寸とぎれたりする位のものである。併し斯様な現象が屢々繰り返されることが多いから意識の消長と腦波との關係を觀察するのに都合がよい。此の種の患者の腦波は其の意識消失と一致して極めて劇的な變化をする。そして此の著明な變化が忽ちにして恢復して正常となる。此の特殊な變化は此の疾患に典型的であつて、一度見た人は決して忘れられない位奇妙なものである。

腦波には非常に個體差が多い。人間では殊に個人差が甚だしく、十人十色である。唯一卵性双生兒の腦波は互に區別がつき兼ねる程似てゐることが多いが其の他では親子兄弟と雖も夫々異つてゐる。此の點は科學的研究には都合が悪く、其の研究には氣質や體質の研究と同様な困難さがある。それ故に腦波が高等精神作用と如何に關係するかといつた様な問題には目下のところ何等の解答をも與えることは出来ない。腦波は質及び量に於て夫々異なるとはいへ、蛙の如き下等動物から人間に到るま

で證明出来るのであるから最も基本的な脳細胞の生理的現象であることには間違はない。従つて其の研究によつて知られることは、大脳の生理的機能の範圍に屬する事柄に限られていると思なければならぬ。

腦波は古典大脳生理學で目指した事柄の研究にも少なからぬ貢獻をしている。上述の如く視、聽、觸、味、嗅等の知覚は大脳皮質の夫々の領域で行われ、それを綜合中枢があつて高等精神作用を齎しているというのが其の構想である。腦波の立場から見れば斯様な考は正しいものかどうかにかつて筆者は色々實驗もし考察もめぐらして見た。

視覚が視覚領（大脳の後頭葉に存在する）に於て起るものであるならば、視覺的刺戟によつて惹き起される腦波の變化は視覚領に特有なものか或は少くとも此處で最も著明であろうと考えられる。α波の消失β波の發現といつた様な變化を標識として調べて見ると、成程後頭部に於ける變化は相當著しい。併し同様の變化は大脳の他の領域に於ても可なりの程度に認められ、又或る局部に於ては後頭に於けるよりも却つて著明ですらある。斯様な關係には一定の規則性があつてそれは電流の物理的擴がりの法則からは到底理解出来ないものである。寧ろ大脳皮質の知覺性の細胞が凡て多かれ少なかれ視覺的知覺

に關與すると考えれば此の規則性を量的に説明することが出来る。所謂運動領と呼ばれる場所は從來の運動のみ關係すると考えられていたのであるが、解剖組織學的な研究によると此の場所にも知覺的な細胞（形態學的類推からそう判定される細胞）が相當多數に存在する。それで或る一部の腦解剖學者は純粹に運動、純粹に知覺に關係する場所などは存在しない、即ち從來の標式的な機能局在説は疑われなければならぬと考へていた。併し細胞の形からだけで其の機能を推すことも亂暴な話であるから此の考へは餘り注目されなかつたのである。併し腦波の所見から觀ると確かに所謂運動領に於て知覺刺戟の影響が相當著しい。しかも其の程度は大體所謂知覺性細胞の數に比例するのである。

即ち大脳は一つの知覺的刺戟に對して全體として反應すると考へねばならぬ。従つて古典大脳生理學の機能局在の考へはそのまゝでは成立しないことになる。

他方動物實驗に於て、夫々の知覺領に直接電極を置いて知覺的刺戟を與えると上述の腦波の變化のほか、特別な形の電位變動が認められた。之は局所活動電流或は誘發電位と呼ばれるもので、此の種の變化は夫々の知覺領に局限されて起る。人間の頭皮上からは此の種の變化

を證明することは相當困難であるが、視覺的刺戟の場合だけは變化が著明だから證明出来る。従つて古典大脳生理學の機能局在の考えも全然否定し去られる必要はないことが判る。要するに大脳の働き方は局所的であると共に全般的存在であるということが腦波の研究から結論されるのである。

此の局所活動電流を標識として用いると、從來被檢者の答申によつてのみ決定された知覺領が客觀的に再検討出来ることになる。それで腦波の方法は古典大脳生理學的方法の甚だ有力な補助手段を提供する。例えば内耳の平衡器官（三半規管、橢圓囊、小圓囊）を受容器とする身體平衡の感覺に關する大脳皮質領野は未決定のまゝであつたが、腦波の方法によつて之が解決された。

條件反射と腦波の關係は戰前には未だ殆んど手がつけられていたかつた。最近筆者の教室で少しづつ研究を進めてゐる。その結果によると、大脳皮質に於ける條件的變化は極めて起り易いものである。唾液分泌の如き末梢器官の反應を標識とすれば條件反射の成立までには條件刺戟と無條件刺戟とを組み合せて相當何回も與えなければならぬ。然るに大脳の條件的變化は普通數回の條件づけ操作で起る様になる。即ち先づ大脳で條件づけが起

り、その變化が相當高度になつて始めて末梢器官に表現されることが判る。仔細に檢すれば、表面にこそ現れないが唯一回の條件づけでも僅かな痕跡を大脳に印してゐることを知ることが出来るのである。

人間に就て分化實驗を行つて見ると二つの異なる刺戟を知的に辨別するということが條件反射的に辨別するのととは等しくないことが判る。例えば甲の音と乙の音とを知的には直ちに辨別出来るにも拘はらず條件反射的には甲と乙とは等しい効果を生ずるのである。甲には反應し乙には反應しない様になること即ち條件反射的分化が成立するためには何回かの分化工作を施さねばならないのである。此のことから考へると少くとも人間では知的判斷と外的表現とは分離されてゐる様に見える。此の考へを支持するもう一つの實驗がある。

或る弱い音を聞かせてから一定の間隔を置いて電気刺戟を與えるという操作を繰り返して條件反射を形成した被檢者では音を聞かせただけで著明な電流性皮膚反射が起る。被檢者が意志を以て平氣にならうと努めても音が聞えると反射が起つてしまう。そこで電気刺戟装置をすつかり外づしてしまつて被檢者が電気刺戟が出来ないことを確信出来る様にしてやつても其の音が聞えると反射

が起るのである。即ち意志や確信ではどうにもならぬ身體的變化が印せられているのである。しかも此の變化が大脳自體に印せられていることは腦波の所見から明らかである。兎も角も條件反射が起るに先だつて或る變化が現はれる。其の變化は暗算其の他の精神的勞作をする時のものと似てはいるが腦波の波形からだけでは其の内容は判らない。此の變化が極めて一過性である時には之に續いて外的反應が現われないから外の反應だけを見てみると何事も起らなかつた様に見えるが實は内部で條件的變化が起つてゐるのである。

パプロフの所謂抑制が起る様な條件を作つて腦波をしてらべて見ると何か特別の腦波的變化が起りはしないかと思つて色々やつて見たが、吾々の検査した範圍では抑制に相當する腦波の表現を見出すことが出来なかつた。

唯抑制がある時には腦波の興奮所見が甚だ少ないだけである。夫故に抑制と興奮がパプロフの考える様な別個の過程であるか或は同一過程の量的相違であるか更に検討を要することであると思われる。

腦波の方法の優れた點は被檢者に何等の苦痛も傷害も與えないで研究が出来ることでもう一つの利點は非常に敏感であるということである。其の表現が複雑で解釋が

容易でないということは難點には相違ないが、それは吾々の分析力が足りないということでも方法の罪ではない。若し直ぐに分析し盡せる様な現象だつたら大脳機能の良い標識とはならないだろう。それでは此の方法に本質的な缺點はないかということそれは大いにある。この缺點を指摘するに當つては生理學的方法一般に對する批判に觸れる必要がある。

物質の世界に於ては測定の精度には本質的な制限があることを不確定性原理が吾々に教える。然らば生物ではどうか。生體の内部状態を仔細に研究しようとするれば生體を傷つたり或は其の機能を歪めたりしなければならぬ。又分析を徹底的に行えば分子や原子の世界となり生物が生物ではなくなる。そして此等の操作を避けようとすれば内部状態を窺うことが出来なくなる。ポーアは此の事情が正に彼の所謂相補性の生物界に於ける表現であると見ている。併し此の見解に反對を表明している學者も少なくない。

マイヤー・ホーフやブライラーは技術が充分に進歩すれば生命現象に影響を及ぼさずして之を正しく觀測出来る様になるに相違ないと信じている。そして腦波の方法などは彼等の所謂技術的進歩の賜であつてさしたる觀測の

影響を生體に與えることなく内部の觀測を可能ならしめる方法であるといふのである。上述の如く實際腦波の方法は殆ど何等の肉體的制限も被檢者に與えようとは思われず、又實驗に馴れれば被檢者は精神的にも全く平氣であり得る。しかも敏感な方法であるからブローラー等の意見を支持するもの様にも見える。併し一般に電氣生理學的方法の欠點は位置的觀察の精度が余り高くないことである。それは電流は物理的に媒質中に擴がる性質をもつてゐるからである。腦波の方法では僅かの電流でも兎も角も電流を出してゐる細胞があればこれを捕えることが出来るが、それがどの細胞から出ているか或は細胞のどの部分から出ているかといふことになることさつぱり判らない。頭は上から描寫された腦波によつて廣い範圍の大腦部分の機能狀態を察知することは出来るけれども個々の細胞、あるいは細胞群のものを區別して知ることとは出来ない。之を敢てしようとするれば細胞附近に直接電極を挿入しなければならやはり生體を傷つけることになる。之に反して顯微鏡的に細胞又は組織を研究する組織學的方法是個々の細胞の微細構造までも追求することを許し、位置的或は形態的性質の觀測方法としては最も優れた方法ではあるけれども、細胞の機能を著しく

害することなくして此の方法が用いられないのは正に電氣生理學的方法と對蹠的である。そして未だ兩方面に申分なき方法といふものを吾々は持たないのであるから生體の觀測方法自體に既にボーブの所謂相補性が認められると考へて差支無いのではあるまいか。物の性質と觀測とは別々ではあり得ないことがやはり生體でも當倣まりそうである。

最後に大腦のエネルギー代謝に就て一言しなければならぬ。物質代謝及び之に附隨するエネルギー代謝は生命現象の物質的基礎をなすもので生物の特徴である。大腦は最高の神經系としてエネルギー代謝の最高統制器官であり、自己も亦其の統制下にあらねばならぬ。此處に大腦のエネルギー代謝の特性が存する。

精神活動が物質的基礎に立つものとすれば精神活動とエネルギー代謝との間に或關係が無ければならぬ。此の疑問を解くためにルブネル、ベネダクト等を始めとして多くの學者達が精神活動時と精神安靜時との身體の基礎代謝を比較研究した。所が其の差は非常に少ないのである人々は精神活動にはエネルギーを要しないもの或は精神は物質とは獨立のものであると解釋した。解釋は兎も角として現象自體は其の後の研究でも確かめられたこと

で間違ひではなかつた。併しこの事實は大脳がエネルギーを要しない事を意味するのではなく、唯所謂精神活動時と安静時の差が少ないというだけの事である。動物に於て大脳が消費する酸素の量を測定して見ると、何れの器官よりも割合にして大きいことが判つた。例えば單位重量單位時間に費される酸素の量は大脳では静止筋の約二十倍である。之を大脳の白質（神経纖維の部）を除いて神経細胞だけの部に換算すれば實に莫大なエネルギー消費が大脳細胞に於て行われることになる。以上の事實は精神安静時に於て既にエネルギー消費が高いのであるから精神活動時に消費が増しても目立たないとも解釋出来る。

腦波の所見は正に此の代謝學的事實と符合する。即ち精神安静時にも睡眠時にも常に腦波が證明出来るのであつて唯精神活動時のみ之が現われるのではない。電氣的エネルギーは細胞の化學的エネルギーから轉換されるものであるから、大脳では生の續く限りエネルギー轉換が行われていることを腦波は吾々に示すのである。刺戟が加へられた大脳が特別の活動を奮む時には活動電流という特殊の型の電氣的變化が起ることは既に述べたが、其のエネルギーとても精神安静時の腦波のエネルギーと

間違ひのものではないから、大脳のエネルギー消費が大脳の所謂活動によつて相違ひに増加しようとは考えられない。

大脳は酸素供給不足に對して如何なる器官よりも敏感である。頸動脈を壓迫して血液の供給を断てば約四―七秒にして意識が消失する。動物で頸動脈を完全に壓迫すれば約二十秒にして腦波は消失する。しかも腦波の消失は分化の進んでいる部分或は發生學的に觀て最も新らしい部分程速やかである。

個體が酸素不足に曝されると自動的に大脳に對する酸素の供給を確保すべくあらゆる身體の調節機能が動員される。例えば心臓は其の搏動を速めて多量の血液を大脳に送らうとし、肺は換氣量を高めて多量の酸素を血液に補給しようとし、内臓や末梢の血管は收縮して腦循環の血液量を豊富にしようとする。

何故斯の様な調節機構が發達しているのであろうか。それは大脳が酸素不足に敏感であり、しかも生命維持に大切な器官であるからであらう。然らば何故大脳は他の器官よりも酸素不足に敏感なのであろうか。それは最も高等な器官であるから最も抵抗力が弱いのであろう。併し此等の問に對する上述の解答は餘りに目的論的に過ぎ

はしないだろうか。寧ろ大脳が餘裕あるエネルギー代謝様式を採り、上述の様に僅かの酸素不足で機能を喪失する様な事が無ければ生命維持の目的に最も適うのではないか。何故その様になつていないのかは目的論からは理解されない所である。次に此の問題を腦波の立場から考察して見たい。

個體を低酸素壓の氣中に置くと意識喪失が起る前に先づ腦波に變化が起る。腦波のリズムが本規則になつて、大きな振幅ののろい波が出現する。これはやはり、^{デューク}波の一種であつて此の波の存在のために腦波のエネルギーは寧ろ正常時より高まつているかの様に見える。

大脳の正常時や異常時のエネルギー代謝の有様を理解するためには腦波のエネルギーに如何なる法則性があるかを知ることが必要である。大脳の化學的變化を個體を傷けることなくして追求することは不可能だから、化學的エネルギーから由來する腦波のエネルギーを追求するのである。腦波のエネルギーは其の振幅と週期との函數である。如何なる函數で表わされるかは腦波が吾々の觀測器にかゝるまでに通過する途の性質によつて決定される。腦細胞から發した腦波が觀測器にかゝるまでには細胞の媒質と頭蓋骨、頭皮等の組織を通らなければならぬ。

そして其處を通る時に一部は熱のエネルギーとして消費され、残りの部分が觀測器に到達するのである。斯くて失はれるエネルギーと通過して觀測器に到達するエネルギーの割合は頭のインピーダンスを測定することによつて決定される。斯様にしてエネルギーを測定して見ると、腦波のエネルギー（單位時間について發生する量）は精神安靜時と雖も時々刻々變化することが判る。此の事は腦波の振幅が極めて不規則に變化するといふことにも現われているのである。

此の不規則な動搖は抑々何を意味するのであろうか。其の間に一定の法則性があるのであろうか。筆者の統計的な研究により腦波の振幅の動搖は極めて不規則ではあるが其の間に嚴然たる統計法則が支配していることが明らかとなつた。

吾々が腦の状態或は進んで意識状態を考える時には必ず一定期間の持續というものを考える。極めて短い瞬間の大脳の出來事だけから吾々に有用な結論を得ることは困難であらう。正常と思われる人でも或る瞬間を捉えて見れば殺人鬼よりも恐ろしい状態であるかも知れぬし、精神異常者でも暫時の觀察では正常人と變りがないかも知れない。吾々の大脳の状態を或る期間の平均値で現わ

さねばならぬといふことは色々な意味に解釋出来る。

第一は便宜上の問題であつて、個々の瞬間のことに就ては吾々の知識が及ばぬから平均だけを取り上げるか、あるいは個々の瞬間のことが判つたとしても餘り役に立たないから唯平均だけで話をすますのである。第二の可能性は個々のものには意味が無く唯統計的な量にのみ意味がある場合である。

古典力学では巨視的な物理状態は分子の運動状態によつて決定され、分子の位置や運動量は同時に確實に決定出来る可能性のあるものだが吾々の知識が及ばないために止むなく統計的に取り扱うのだと考へた。然るに量子力学は統計的なことが物の本質であつて吾々の知識が足りないためではないことを吾々に教へた。そこで大脳の状態が事實上統計的なものとして取り扱われる事及び既に吾々が明らかにした様に、大脳状態の標識たる脳波が統計的なものであるといふことに注目しよう。大脳の機能或は脳波の此の統計的な性質が古典力学的な意味のものであるか或は量子力学でいう様な本質的なものであるかは私は知らない。勿論物質現象としての脳細胞過程が量子力学の例外であり得ようとは考へられないが、併しそれだけの事ならば何も取り立てゝいふ程の事は無い。

吾々の真面している現象が生物に特有な不確定性によるものではあるまいかといふ疑をもつことも全然許されたい事でもなからうと考へるのである。

筆者は振幅に關する統計法則を個々の脳細胞或は個々の細胞群から出る要素波の位相の偶然性を假定して統計學的に導き出すことに成功した。其後脳波のエネルギーを測定するに及んで尙一層簡單な統計法則がエネルギーに就て成り立つことを實驗的に證明した。此のエネルギーに關する統計法則は既に増山氏が氏の理論から導き出されていたものであつて筆者の振幅の法則を特別の場合として包含するものである。

増山氏の理論の假定は『(一)大脳のエネルギーの總括は一定である。(二)大脳には幾つかのエネルギー群があつて各群の大きさは任意であり、其の中の何れかの一群が脳波のエネルギーとなる』といふのである。増山氏の第二の假定は大脳の細胞は一時に全部働かず交替的に働いてゐるといふ意味になる。エネルギーは細胞の化學的エネルギーであるからエネルギー群は即ち細胞群と考へられるからである。しかも交代が蓋然的な法則によつて行はれ、そこに必然性がないとするのである。細胞は隨時活動に參加し隨時活動を止めるものとすれば要素波の位相は任

意となるであろう。即ち筆者の位相偶然的假定と増山氏の第二の假定とは生理學的には同じことになる。斯の様な大脳細胞の働き方が脳波の統計的性質を特徴づけているものと考えられる。

筆者は増山氏の第一の假定即ち大脳のエネルギーの總和は一定であるとの假定の必要性に疑義をもつた。大脳に出入するエネルギーは色々な生理的要因によつて影響を受ける筈であるが、それにも拘わらず出入の差引が常に零であるということは極めて考えにくいことである。若し左様なことがあつたにしてもそれは近似的にそうだというに過ぎないだろう。近似的なものを理論の出発點に選ぶことは理論に取つては大きな缺點でなければならぬ。そこで筆者は増山氏の第一假定に代えるに、『大脳のエネルギーの總和は或る上の限界を超えることはない』という假定を以てした。

苟くも生物である限り、無限にエネルギーが大きくなることは出来ないことは自明であるから此の假定は省略してもよいのである。しかも全く同一のエネルギー法則を導き出すことが出来た。尙注目すべきことは、大脳のエネルギー總和は或る限界以内の任意の値を取り得る譯ではあるが、其の限界に近く保たれる確率が非常に大き

いということが筆者の理論から結論されるということである。即ち事實上、大脳のエネルギーの總和は一定で、しかも取り得る最大限に近く保たれるというのが理論の出発點でなくてその結論である。

これは全く脳細胞の統計的な働き方からの歸結である。吾々は何故脳細胞が斯の様な統計的な働き方をするのかは知らない。それは疲勞を來さないためだと解するのは擬人的な考え方である。此の統計的な働き方を假定すれば脳波の統計法則は勿論のこと、大脳のエネルギー水準が常に高く保たれているという生理學的事實、そしてそれが餘り動搖しない様に身體的調節が行われているという既述の事實と矛盾しない結論が導き出されるのである。大脳のエネルギー單位が最大限に近く保たれるということが脳細胞の正常機能の現われであるとすれば、エネルギー單位が少しでも下がるということは即ち機能の障礙でなければならぬ。夫故に大脳が酸素缺乏に對して特に敏感であるというのもやはり斯うした大脳細胞の統計的働き方に基づくと考えられる。

若し酸素の供給が充分でなければ大脳のエネルギーの總和が少くなり上限より遠ざかる確率が増す。此の確率を支配するものは吾々の理論ではエネルギー群の數であ

るから酸素缺乏や麻酔時にはエネルギー群の数が少なくなると考えなければならぬ。そうなると平均エネルギーや平均振幅は却つて増加しなければならぬということが推論される。併し麻酔や、酸素不足に際して脳波が大きくなることは一見常識に反することである。機能が低下すれば脳波も亦小さくなりそうに考えられるからである。所が事實は麻酔や酸素不足に於て、^{デルタ}波の發生があつて脳波のエネルギーの平均値は増大するのである。そして此の一見常識的ならざる關係こそ吾々の理論が既に豫言したところのものである。

以上は證明抜きの記事であるから讀者に満足を興えることは覺えないと思われる。併し兎も角も統計的な性質が大脳機能の根本に横わつてゐることを知つて置ければ本論文の目的は達せられるのである。

物理的世界を統一的な立場から記述するために發展して來た最近の統計力學は其の根本に量子假定とフェルミイ・ディラックの法則、ボーズ・アインシュタインの法則の如き統計的法則を假定している。統計的なことが本質である物理的世界で統計的法則が出發點となることは當然のことであろう。此の物理學の體系は實に美しく正に自然科学の典型である。吾々自然科学中の生理學の研

究に従事するものも常に此の物理學の形式にのつとつて研究を進めてゐる。然し之は方法を物理學に借り形式を眞似るのであつて必ずしも生理現象が物理學によつて解決し盡されることを信ずるからではない。生命現象の物理學的な分析を重ねてゐる中に超ゆべからざる限界にぶつかるとも知れないといふ豫感をもちつゝ進んでいるのである。物理學よりの類推が許されるとしたら、生物學的な或る不確定性が物理學と生物學の限界をなすかも知れないとも考えられる。その様なものは未だ具體的には把握されてはいないけれども、古典力學が徹視的世界に足を踏み入れて始めて不確定性原理に到達した如く、生物學も未踏の領域に研究の歩を進めて始めてその様なものに逢着するのもかも知れない。複雑微妙な大脳の問題などに案外その様な問題が潜んでゐるかも知れないといふ様な氣がしてならない。

文獻

(昭和十二年六月)

- 本川弘一、感覺と胸電流、科學十一卷十一頁(一九四一)
 本川弘一、腦電氣現象の蓋然性に就いて、條件反射卷一頁(一九四二)
 本川弘一、腦波から觀た大脳の機構、科學十五卷三十五頁(一九四五)
 増山元三郎、腦波の推計學的取り扱ひ方、科學十四卷二六六頁(一九四四)
 パプロフ著、條件反射學、三省堂發行