



宮内 哲

Hans Berger の夢 —How did EEG become the EEG?— 補遺

宮内 哲

はじめに

初めてヒトの脳波を記録したドイツ人医師, Hans Berger の生涯と研究について著した「Hans Berger の夢 —How EEG did become the EEG?—」が2016年の「臨床神経生理学」に掲載された¹⁻³⁾。当初持っていた Berger に関する疑問の多くは, さまざまな資料を調べることにより明らかになった。しかし解消されなかった疑問や書ききれなかったことも多々あった。その後手に入れた資料により明らかになった疑問と新たにわかったことを補遺として記しておきたい。

1. 何故山極一三は帰国後に脳波の研究を行わなかったのか?

「その3」に記したように, 山極一三が1934年に東大医学部からケンブリッジ大学の Adrian の研究室に留学した時, ちょうど Adrian が Berger の論文に気がついて追試を始めていた。山極が明瞭なアルファ波の持ち主だったこともあり, Adrian と一緒に最先端の研究を行い, 共著で論文まで出した⁴⁾。ところが山極は, 帰国直後の1936年に岩波の「科学」に「学界展望 Berger リズム (大脳動作電流) に就て」という解説を書いた以外は脳波の研究を全く行わなかった⁵⁾。そのことが不思議でならなかったが, 1954年に当時の心境を述懐している資料があった⁶⁾。「その3」の記述と重複し, 少し長くなるが, 山極と Adrian, Matthews のやりとりが軽妙で, 当時の神経生理学者の脳波に対する見解が率直に述べられているので, 以下に全文を引用する。

—二十年前のケンブリッジ—

「私が往年英国ケンブリッジにおいて Adrian 教授と共に脳波の研究に携わった当時の, 世界におけるその研究の情勢, 感想, 見通し等々について語れとの御注文であります, 幸い当時の概況については帰朝当時 (1936年春), 「科学」に寄せた総説がありますので, それを基本として内菌耕二君に書きまとめて貰うことにしました。ここでは只御主旨の一部に副うために, 小さな思い出を二, 三述べてみたいと存じます。

私がケンブリッジに着きましたのはたしか1934年の春で, 丁度今から20年の昔になります。着いて間もなくの頃, ケンブリッジの生理学教室で生理学会の例会があり, 新参の私は講堂の後方に坐って物珍しく見たり聞いたりしておりました。やがて順番が来て Adrian 教授が現れましたが, 見ると頭に一杯繻帯をしております。どうしたことかと眼を見張りましたが, それは頭の上に一対の大きな電極をのせ, それを固定するために繻帯でぐるぐる巻きにした姿だったのです。

その電極は後でちょっと見ましたが, 直径およそ二糎, 中にリングル綿を詰め, それにたしか銀板を封入した粗大なものでありました。目的は当時騒がれ出した所謂ベルギーリズムの示説で, 検者は Matthews, 被検者は Adrian です。その頭に装備された電極を Amplifier を通してインク書きオシログラフに導き, そのペンの動きと次次に繰り出されて来る記録テープとを直接スクリーンに拡大投影して, 全会衆に一度に供覧する仕組みでありました*¹。主題は眼の開閉による α 波の出現及び消失, それに脳活動による α 波の消失などで, Matthews の “Shut your eyes” 又は “Open your eyes” の指令によってその都度スクリーン上に美事な波の出現又は消

失する様子を見せ、また例えば「13の3乗はいくら？」というような注文に応じて Adrian が頭をひねり出すと α 波が忽ち消えて直線になり、「あア駄目だ！」といながら暗算を諦めるととたんに α 波が出現して、満場拍手喝采という次第でした。これが今から丁度 20 年前のケンブリッジにおける脳波研究の模様でありました。

-エドリアンとの共同研究-

その後間もなくのこと、或る日 Adrian と Matthews に呼ばれて、今度は私が実験台上がりました。そこで又例の「13の3乗」をやられたわけですが、当時私には未だ言葉がよく聞きとれず、殊に Matthews の言葉が解り難かったので、「暗算も暗算だが、指令の言葉を理解するのも相当頭を使う。暗算で α 波が出るとか消えるとかいったって、私の場合は意味がないではないか」と抗議して、Adrian 教授を苦笑させたことを覚えております。後で知ったのですが、当時彼等は、このようにして教室の人達を片端から調べ、結局綺麗な α 波を出すのは Adrian と私だけということになり、そこで私共の共同研究が計画されたのだということでした。

Matthews は“You have a very nice head.” といっておりましたが、如何に α 波が似ていようと、Adrian の頭と私の頭は月とすっぽん。してみれば波のよしあしは少なくとも頭のよしあしの判定には役に立たないことは確かであります。Matthews の感嘆詞には、いみじくも「実験動物として…」が省略されていたのでしょう。それはとにかくとして、脳波がとりもつ不思議な縁で、巨人 Adrian との共同研究の機会を得、したくその実験ぶりに接し得たことは、誠に思いがけぬ収穫でありました。

私共のやりましたことはアルファ波の根源に関することで、その成果は Brain の第 58 巻 (1935 年) に載っております。この実験で用いた電極とその固定装置は、

実は私の考案で、これは大いに Adrian から喜ばれました。丁度その頃、ロンドンで開かれた生理学会で、隣に坐り合わせた若い英国人から、私共のことが漫画誌に出ていることを聞きました。私はとうとう見ませんでした、ともかく脳波の研究は当時漫画になるだけの新鮮味を持っているのであります。たった 20 年後の今日と対照して全く隔世の感があります。

-それから-

脳波の研究に携わった日本人としては時間的には私が最初でありました。それに脳波の問題は、当時洋々たる前途を荷ない、甚だ有望な研究領域でもありましたので、帰朝後それを推進する責任を感じないではなかったのですが、それにも拘わらず遂に手を触れずに仕舞ったのには、私相応の理由があったのであります。勿論私の怠惰と非力が最大原因ではありますが、そのほかに私自身の経験からみても、また当時の他の人の業績からみても、所謂脳波なるものが如何にも曖昧模糊としていて、何とでもいえばいえるようで而も何ともいい得ぬ真に掴みどころのないもの、という印象が強く、敢えて手を出す勇気がなかったのであります。私共の調べたアルファ波にしても、第一多数の人の中の私共二人だけが明瞭であったという事実は、それを以て正常の存在とする事の妥当か否かを疑わしめました。正常でなくとも確実不動の事実であれば、それを追求していくことも一つの切り込み方ではありますが、ところが私共のアルファ波も必ずしも恒存というわけでなく、長い記録を取ってみますと特別の理由もないのに間々不明瞭な部分、不規則な部分、ひどく様子の異なった部分などがあります。

記録されたものがそのまま本質的なものか否かの疑問も当然湧きますが、批判実験のメドが立ちません。そこで方法を出来るだけ厳格に吟味した上で一応記録をそのまま受け入れて、真正面からそれと取っ組んで行く方法も考えられるわけですが、それにしても物理学、電気学、とりわけ数学上の相当な力備が要りますし、といってこれを脳の内部から考察してやろうとすれば、解剖学、組織学の詳細な知識は勿論、脳の生化学、薬理学からも、果ては心理学まで登場することになります。

自分のような鎗一筋の御家芸だけでは到底どうなるものでもないという一種の諦観があったのでありま

*1 最初に山極の文章を読んだ際に、「八十数年前に、記録した脳波をリアルタイムで講演会場のスクリーンに投影できたのか？」と不思議だった。当時 Adrian の研究室にいた Walter が 1934 年 10 月 5 日のイギリスの週刊誌 “The Spectator” に、Adrian と Matthews によるケンブリッジでの実験について寄稿し、その中でエピソード (現在のオーバーヘッドプロジェクターの原型) を用いたと書いている⁵⁴⁾。インク書きガルバノメーターやオシロスコープの発明が 1920~30 年代で、それまでは毛細管電流計の液面や弦線電流計の弦のわずかな振動を光学的に拡大して生体の電気現象を観察していた当時の研究者にとっては容易なことだったに違いない。

す。これは私一個のひそかなる感じであったのでありますが、それより数年前から、脳電流の研究に従事していた Adrian も、流石に時には閉口したとみえて、「脳は駄目だ！自分も早晩再び神経に帰る」と述懐しておりました。

その後ケンブリッジを去って大陸に渡り電気生理学の一方の碩学 Gildemeister 教授をお訪ねして談たまたま脳波に及んだ時、教授のいわれるのに、「君、あれはほんとうか？どこか壁からでも入って来るのではありませんか」、「でも1秒10回という波が確かにありますが……」、「フン、それじゃほんとうかな——こういった調子で、本場の独逸でも未だ半信半疑の状態でありました。

このような印象を抱えて日本に帰って来た私は、これから脳波をやるという或る若い人に意見を聞かれて、「やるのもいいが、やるなら根本的にやれ。それには回り遠い道だが、まず単一神経細胞の電気生理学から始めて、それを段々積み重ねて行かねばなるまい」といったことがあります。当時としては夢のようなことでしたが、私はしかし真剣に考えていたのであります。ところがその後数年の間に情勢は急変いたしました。脳波熱が非常に勢いで世界各国に勃興し、学会が出来、専門雑誌が発刊され、遂に国際学会まで生まれました。一方、単一神経繊維用微小電極の発明に伴って、単一神経細胞の電気生理学が誕生し、これ又猛烈な勢いで発展しつつあることは御承知の通りであります。」

山極の述懐は以下の言葉で終わる。帰国後に全く脳波の研究を行わなかったにもかかわらず、六十数年前に山極が残した言葉は、的確に現在の脳波が進むべき道を言い当てている。

「頭蓋の外部から総括的に現象全体を把握しようとする従来の脳波の方法と脳の内部から細胞機能学的に事態を開明しようとする方法、敢えていえば熱力学的方法と機序論的方法といもいうべきものが、いつどこでどの

ように手を握り合うかは、今の私には予想もつきません。併し、その時こそ脳波が真に脳波になる時ではないかと思っております。)*2

脳波に対するこのような見方は山極だけではなかった。Adrian によって Berger の脳波は国際的に認められ、特にアメリカでは、脳波の成因が不明であったにもかかわらず、てんかんや脳腫瘍の診断、睡眠の研究に使えることで急速に普及した。1935年には専用の脳波計が製作され、1936年に Massachusetts General Hospital に最初の脳波検査室が設立され、毎月20人の脳波が記録され、1941年には MGH だけで毎月240-260件の脳波検査が行われていた⁷⁾。しかしその他の国では、まだ脳波に対する懐疑的な見方が残っていた。1950年代から脳波の定量的解析を行い、向精神薬が脳波に及ぼす影響を明らかにしたトルコ出身の神経科医 Itil は、1950年代のドイツにおいても、まだ Berger の脳波は信用されていなかったと述懐している⁸⁾。それに呼応するかのようには、脳波、特にアルファ波は、やはり脳の電氣的活動ではなくアーチファクトであるという説は1950-60年代から^{9,10)}、70年代^{11,12)}、80年代まで^{13,14)}、何度も狙上にあがっている。特に1970年に Lippold が Nature に出した、アルファ波は外眼筋の微小な振戦によって変調された網膜-角膜間電位であるという説は物議を醸し、Lopes Da Silva らが反論している^{15,16)}。

コラム 昭和天皇と脳波

本文の山極一三の述懐は、1954年に開催された第三回日本脳波学会の折に、勝沼精蔵、本川弘一、秋元波留夫、藤森聞一、島藺安雄（敬称略）らが「脳波を語る」という座談会を行い、入院中のため参加できなかった山極が寄稿した文章である。座談会では本川が興味深いエピソードを紹介している。

「話は変わりますが、過日学士院の授賞式があった際、いろいろな脳波記録を天覧に供しましたところ、天皇陛下はご興味を寄せられ、いろいろ御下問を賜りました。その中で『目で物を見たり、物を考えたりするとき、脳波が著明になるのかと思ったら却って小さくなるのはどういうわけか』という御質問であります。これは余りに大きい問題であるために即答を御遠

*2 山極の述懐には、以下の編集後記が添えられている。「(病氣御入院中の山極先生から意義深き御追想をいただくについて、先生と特別な関係にある東大生理内菌耕二博士の絶大なる御恩恵を受けました。ここに記して謝意を表します。なおあとで伺いましたところ、山極先生は同博士に口述されたのではなく、御自身で筆をとられた由、感激を深くいたしました—編集後記)」⁶⁾。

慮申し上げ、翌日宮中での御陪食の後にお話の機会が与えられましたので、一応御説明申し上げたようなわけでありました。(中略) こうした急所をお突きになられた陛下の御慧眼にはただただ恐懼するほかはありませんでした。」

「その2」で、Bergerの脳波が信用されなかった理由の一つとして、「安静閉眼時に出現する α 波が、開眼や精神活動によって減弱して低振幅の β 波に変わる、いわゆる α ブロッキングも当時の神経生理学にとって受け入れがたいものであった。」と書いた。本川が語っているように、(おそらく)短時間の説明で脳波の本質を問うた昭和天皇の見識には瞠目するほかはないが、質問を受けた時の本川の胸中は察するに余りある。

2. 「これがベルガーリズムだよ！」

「その2」で、Bergerの脳波に対する懐疑的な見方として、ハーバード大学医学部の教授で、アメリカで最初にヒトの脳波を記録した研究者の一人であるDavisの述懐を紹介したが、その後、より詳しい資料が手に入った¹⁷⁾。以下のDavisの述懐は、Bergerが発見した脳波に対する当時の研究者の懐疑と、それがアーチファクトではなく、脳の電氣的活動であることがわかった時の興奮をよく物語っている。

「1933年から34年にかけての冬、二人の学生(Bill DervyshireとHoward Simpson)がやってきて質問した。『Bergerというドイツの精神科医が、彼の息子や他の人の頭から10 Hzの自発性電気活動を記録したという論文をドイツの精神医学のジャーナルに出しましたが、先生はどう思いますか?』。私は彼らにBergerが報告したものは、彼の装置の振動か何かのノイズに違いないと辛抱強く説明した。なぜなら脳の中であのように遅い電位を生み出すために多くの神経線維が同期して活動するとは思ってもよらなかった。しかし彼らは、『でも試してみてもいいですよ?』と引き下がらなかった。当時の私の研究室の装置は感度を調整すれば10 Hzの遅い現象を記録できたので^{*3}、彼らに実験の許可を与え

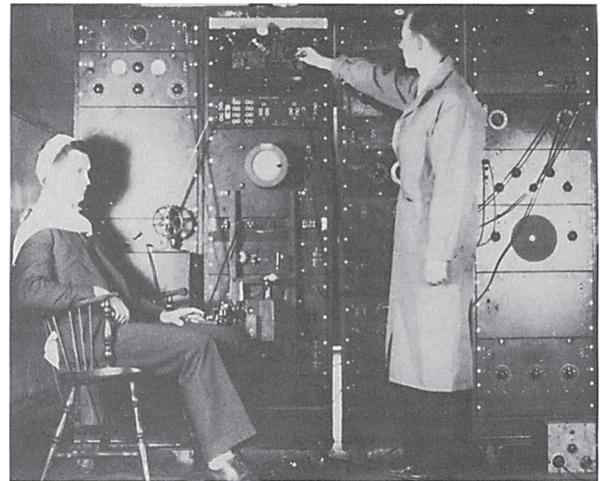


図1 Havard 大学での脳波の計測風景 (1934年12月5日)
右がDavisの学生だったDervyshire (本文参照)、左がDavisと共にアメリカで最初期の脳波研究を行ったLindsley。頭部に電極を付けている。DervyshireとLindsleyの間に円形のオシロスコープの管面が見える。アメリカで最初に記録されたDavisの脳波が映し出されたのは、このオシロスコープの管面かもしれない (本文参照)。文献17より引用。

た。3週間後に彼らは私の部屋に決まり悪そうに入ってきた。『先生の言う通りでした。二人でお互いに針電極を頭部に付けて記録してみました。基線の変動はありますが、リズム的な変動はありませんでした。でも結論を出す前に、われわれの計測が間違っていないか、ちょっと見てくれませんか』。私は彼らと一緒に実験室に行き、もう一度BillがHowardの頭に針電極を付けた。Howardが座って眼を閉じている間も、オシロスコープの光点はフラフラと動揺しているだけだった。『私が言った通りだね。でも二人だけではなく、もう一人取ってみよう。私の頭にも電極を付けてくれ』。私は頭に電極を付けてもらい、記録室の中で座って目を閉じた。その途端、記録室の外で歓声が上がった。『これだ。これがベルガーリズムだよ!』たしかにそれはBergerが報告しているアルファ波だった。私はアルファ波が豊富に出現する方で、BillとHowardはアルファ波があまり出現しないか、精神的に緊張していたのかもしれない。研究室のスタッフの半分はベルガーリズムが出現し(Bergers)、半分は出現しなかった(non-Bergers)。われわれはBergerが正しかったことを確信した。(その後、われわれはAdrianが既にBergerの脳波を確認していたことを知ったが、私のアルファ波は西半球で記録された最初のアルファ波となった。)われわれは脳の神経細胞か

^{*3} Hallowell Davis: 当時のDavisの研究テーマは、ネコの蝸牛や聴神経の神経生理学的研究だった。Davisは、図1の写真に写っているDerbyshireらと共に聴覚生理学の分野でも多くの成果を挙げた⁵⁵⁾。

ら発生する新たな遅い電位を目の当たりにしていた」。

3. Berger とナチス

3-1 Binswanger の研究室

「その1」で、Jena 大学医学部を卒業した Berger は Otto Binswanger の研究室に入り、同僚には Brodmann や Vogt がいたことを記した。他にも当時の Binswanger の研究室には、後に精神医学の各分野で名を馳せる多彩な研究者がいた。神経病理・解剖学から心理学、精神医学に及ぶ広範な領域で成果を挙げた Theodor Ziehen (1862-1950) は、Berger を指導して、Berger のその後の研究に大きな影響を与えた¹⁸⁾。Otto Binswanger の甥で後に現存在分析を提唱した Ludwig Binswanger (1881-1966)、児童精神医学の創始者の一人である Wilhelm Strohmayer (1874-1936)¹⁹⁾、さらに後に自律訓練法を考案した Heinrich Schultz (1884-1970) も Binswanger のもとでハビリテーションを取得している*⁴。後に Vogt は、ナチスからのユダヤ人研究者の解雇要請を拒否し、またソビエトとの交流が深かったために、1936年に Kaiser Wilhelm Institutes for Brain Research (現在の Max Planck Institute for Brain Research) の所長の職を追われた (Brodmann は 1918年に亡くなっている)²⁰⁾*⁵。一方 Schultz はナチスの党員となり、T4 作戦や同性愛に関して明らかにナチスに迎合する論文を書いた。さらにベルリンのドイツ心理学精神療法研究所の副所長・外来診療部長としてナチスの人種政策にも関与し、同性愛者の鑑定を行い、治療不能と見なした同性愛者を強制収容所に送った^{21,22)}。また Binswanger と直接の関係は無いが、長年にわたってウィーン大学・心理学教授を務め、microvibration の発見や「性格学入門」(Kleine Charakterkunde, 1934)の著者としても有名な Hubert Rohrer

(1903-1972) は、1934年の Adrian による追試の前から Berger の脳波に興味を示していた。そして脳波には精神活動に対応した 1000-1500 Hz の成分があると主張し、ナチスから研究費を受け取って脳波の戦争への応用を試みた^{18,23)}。

「その3」に「おそらく Berger はナチスに積極的に迎合したというよりは、Jena 大学で脳波の研究を続けるための手段としてナチスに最低限の協力をしたのだろう。それが (中略) ナチスのプロパガンダの中心地であった Jena 大学で脳波の研究を続ける唯一の選択肢だったのではないだろうか。」と書いた。Berger は、Vogt のようにナチスに対して公然と反対することはしなかったが、Schultz や Rohrer のように、ナチスに迎合することもしなかった。

3-2 Berger の退官

「その3」で「Berger は 1938 年 9 月 30 日の回診中に、既にナチスに支配されていた大学当局からの『明日で辞めるように』という屈辱的な電話で Jena 大学を辞めなければならなかった」と書いた。しかし Berger は遅くとも 1936 年末か 1937 年の始めには、自身の退官について考えていた。当時の日記には、退官の 1938 年 10 月 1 日以降の可能性として、(1) 1938 年 10 月 1 日より前に死んでいる。(2) まだ生きているが、1938 年 10 月 1 日以降は研究を続けることはできない。(3) 研究は続けられるが、Jena 大学をやめて、開業しなければならない。(4) Vogt の研究所に行く*⁶、(5) ノーベル賞を受賞して、研究を続けている、など 7 つの可能性が挙げられている¹⁸⁾。Berger の退官に関するナチスの関与については諸説あるが、突然の電話で一方向的に解雇されたのではないらしい。

3-3 Ginzberg による誹謗

「その2」で、Berger の脳波の研究が信用されなかった理由の一つとして、「その際に同僚だった Strohmayer との間に熾烈な後継者争いがあった。その争いの後遺症として、Jena 大学医学部でも孤立していた」と書いた。この記述は、Ginzberg (1949) の記述に依っ

*⁴ ハビリテーション：ドイツやフランスの伝統的な大学に見られる一種の教授資格認定制度。博士号取得後に大学などで研究職に就き、研究を進めた後にハビリテーションの資格審査に応募する。講義能力や研究能力が審査され、合格すれば博士課程の学生の指導が認められる。

*⁵ Vogt と Lenin：レーニン は 1922 年に脳梗塞を発症し、1924 年に亡くなった。ソビエト政府はレーニンの脳が極めて優秀な脳であることを科学的に証明するために、Vogt にモスクワにレーニンの脳を調べるための研究所の設立やロシア人研究者の教育を要請した。Vogt はレーニンの脳を 30,000 枚以上のスライスにして細胞構築を調べ、レーニンの大脳皮質の第三層には巨大な錐体細胞が数多くあったことを報告している⁵⁶⁻⁵⁸⁾。

*⁶ Vogt の研究所：前述したように、Vogt は 1936 年にナチスによって公職を追われた。それを予期していた Vogt は、クルップ財団の援助で、スイスとの国境に近いノイシュタット (Schwarzwald) に私立の研究所を作っていた⁵⁸⁾。Berger は、Jena 大学精神科に新しいビルの建築が計画された際に、散逸を防ぐために、1938 年の 9 月に脳波記録を Vogt の研究所に送っている¹⁸⁾。

た²⁴⁾。Binswanger の後継を決める際に Berger は筆頭候補でなかったこと、Berger と Strohmayer の関係が必ずしも良好ではなかったことは事実だが、Berger が Binswanger の後継を争ったのは Strohmayer ではなかった^{18,19)}。さらに Ginzberg は Berger に関して、以下のことを記している。

- 「Berger はナチコミュニティの信頼できるメンバーだった」(その3)
- 「Berger は Binswanger の後継争いの際に政治的なコネクションを利用した」
- 「Berger が精神科を選んだのは、医学部の教授になるには精神科が最も簡単だったからではないのか」
- 「Berger は 1919 年の 10 月に Binswanger の後を継いで教授になったが、同僚の教授達は (筆者注: 政治的なコネクションを利用した) 彼の昇進を疑いの目で見ていた」

私的な文章ならともかく、公の文書で根拠となる事実を示さずにこのように書くことは、それが事実だとしても、誹謗と言わざるを得ない。しかし Ginzberg は、何度も脳波実験の被験者になり、Berger の日常をよく知っていた関係者の一人でもある。Ginzberg の記述の信憑性について、“Hirn Ströme”¹⁸⁾ の著者の Borck に問い合わせたところ、「Berger が Binswanger の後継を争っていた頃に、Ginzberg は Jena にはいなかったし、彼の記述を裏付ける史料を Jena 大学で見つけることはできなかった。Ginzberg の記述は信用に値しない」との回答を得た。

4. 祖父 Friedrich Rückert の影響

「その1」で、Berger の母方の祖父が言語学者・詩人として有名な Friedrich Rückert であり、「Berger が祖父から具体的にどのような影響を受けていたのかを示す資料は見当たらない」、「その3」で、「医学を志す前に興味を持っていた天文学への思いか、時には自宅の屋根裏部屋から望遠鏡で星を観察していた」と書いた。Berger はギムナジウムを卒業して大学に進む直前の期待と不安が入り交じった心境を 1891 年 2 月 12 日の日記に書いている²⁵⁾。

高校を卒業したら、私の熱意と能力の全てを数学と自然科学の研究に捧げたい。

そして回りの人達がどう思おうが、天文台で天文学者としての職を見つけたい。

でも私は美術を無視したり、芸術や文学に関心のない無趣味な人間にはなりたくない。

私には偉大な先祖の記憶と哲学への愛情があるから。

それでも、私は自分の仕事として数学をえらびたい。

何故なら他のどんな分野よりも数学でより多くのことを達成できると信じているから。

「偉大な先祖」とは Rückert だろう。Jena 大学の彼の研究室の壁には Rückert の詩が掲げられていたことも考え合わせれば(その1)、Berger が数学・天文学や医学などの自然科学だけでなく、Rückert の子孫であることを誇りとし、文学や哲学にも関心を抱いてことが伺える。実際、大学での専攻を天文学から医学に変えたこと以外は、Berger は日記に書いたことを忠実に実行している。Berger は毎日就寝前に Rückert の詩を朗読し¹⁸⁾、第一次大戦中に西部戦線の陸軍病院 (Rethel, Sedan) に勤務していた間は (1915-1918)、時間のある時にスピノザ、カントなどの哲学書や聖書を読んでいた²⁵⁾。

コラム Berger と Nietzsche (ニーチェ)

Nietzsche は Berger より 30 歳近く年上だが、二人の人生には奇妙な一致点や交錯がある。「その3」で、Berger がテレバシーを信じるようになったきっかけとして、陸軍の砲兵師団での行軍中に落馬したエピソードを紹介した。Nietzsche も 1867 年にドイツ陸軍の砲兵師団に所属していた。そして Berger と同様に行軍中に落馬し、重傷を負って退役している。さらに Nietzsche は、1889 年 1 月 8 日から 1890 年 3 月 24 日まで Jena に滞在して Binswanger による治療を受け (実際に治療にあたったのは Ziehen)、進行性麻痺の症例供覧として医学生たちの前に引き出されている²²⁾ (Berger が Binswanger の研究室に入ったのは 1897 年なので、Berger は Nietzsche に会っていないだろう)。

おまえは人生で何を成し遂げたいのか? 何になりたいのか?

大脳皮質の電気的变化

われわれがケンブリッジで行った大脳皮質で生じている電気的变化に関する研究に関して、最近いくつかの新聞がセンセーショナルに報道した。われわれはこれらの記事において、頭部に装着した電極によってヒトの脳から記録される電気的リズムをあたかもわれわれが発見したかのように報じられていることに深い危惧の念を抱いている。

これは確かに重要な発見である。しかしこの発見はイエーナの精神科・神経科のハンス・ベルガー教授によって6年以上前になされたものであり、ベルガー教授は既に8本の論文を出している。われわれはベルガー教授の追試をしたにすぎない。脳の電気的リズムに対するベルガー教授とわれわれの見解は多少異なる。しかし、はっきりしておきたいのは、われわれが最近行ったのは主にベルガー教授が発見したことの確認であって、ベルガー教授は既にこの脳の電気的リズムに関して多くの被験者で詳細な研究を行っており、精神活動、感覚刺激、睡眠、薬物などによって変化することも報告している。

まもなくBrainに掲載されるわれわれの論文によって、ベルガーリズムと、それが精神活動によって変化することをわれわれが発見したという印象が取り除かれることを希望する。

エドガー・エイドリアン
ブライアン・マッシュス

ケンブリッジ大学生理学教室
12月3日

図2 1934年の12月3日に Adrian と Matthews が Nature に送ったレター⁶³⁾

5. Adrian と Berger

5-1 Adrian の Berger に対する敬意

Adrian が Berger の功績を称えるためにアルファ波を“Berger rhythm”と命名し、国際学会に招待し、さらにノーベル賞に推薦したことは「その2」で述べた。新たに Adrian の Berger への敬意を表すエピソードを紹介する。1934年の11月30日にイギリスの王立協会が年次報告の中で、その年の5月の Adrian と Matthews によるケンブリッジでの脳波のデモンストレーションに言及した。翌日、多くのイギリスの新聞がその事を記事にしたが、その中のいくつかはあたかも Adrian と Matthews がヒトの脳波を初めて発見したかのように報道し、Berger の名前すら載せなかった。Adrian は、このままでは Berger が再び正当に評価されなくなると危惧し、報道の翌々日の12月3日には Nature やイギリスの主要な医学誌 (Lancet, British Medical Journal) に手紙を出して、「脳波の発見者は Berger であり、われわれは追試を行ったにすぎない」と伝えている (図2)。そしてケンブリッジでのデモンストレーションのことを Berger に手紙で知らせるとともに、Berger の許可を得て、ドイツの複数の医学誌 (Medizinische Welt, Naturewissenschaft など) にも同

様の手紙を送っている。

5-2 Adrian が Berger の論文に気がつかなかった理由

さらに Adrian が80歳を過ぎてから出版された Handbook of Electroencephalograph and Clinical Neurophysiology の第一巻 (1971) への寄稿文では「当時、われわれ (電気) 神経生理学者が Berger の発見の重要性を判断すべきであった。私も含めて当時の神経生理学者が Berger の研究を数年間も見逃していたことは非難されるべきである」と述べている²⁶⁾。Adrian はノーベル賞を受賞する前年の1931年に、キンギョの脳幹で自発性の遅いリズムミクな脳活動があることを報告した論文で Caton の論文を引用している²⁷⁾。1934年の4月4日に投稿した論文でも1913年と1925年にイヌの脳波を硬膜上や頭皮上から記録した Neminsky の論文を引用している²⁸⁾。しかし Berger の論文には気づいていなかった。そのことに対する痛恨の思いがあったのだろう。

Adrian は Berger の研究を見落とした理由として、以下の理由を挙げている²⁶⁾。

(1) Berger が脳波の論文を出した Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten は精神医学の学術誌

で、当時の神経生理学者は読んでいなかったし、神経生理学教室の図書室にもなかった。

- (2) Berger の脳波の論文は非常に長く難解で、ドイツ語に通じた人でなければ理解が困難だった*7。
- (3) Berger の脳波論文の“Über das Elektrenkephalogramm des Menschen” (“Concerning the human electroencephalogram”) というタイトルも、内容を想像しにくいタイトルだった*8。
- (4) Berger の論文が出版された 1929 年に大恐慌が起り、国際的な情報交換の機会が少なかった。
- (5) 当時の神経生理学者は末梢の神経メカニズムの研究に集中していて、中枢神経系の研究はしていなかった*9。

5-3 アルファ波に関する Berger と Adrian の論争

しかし Adrian は単に Berger を賞賛しただけではない。Berger がアルファ波は全脳から出現し、意識と関連した根源的な脳活動の反映と考えたのに対し、

Adrian はアルファ波が双極導出では後頭で明確な位相の逆転を示すことから、アルファ波は視覚野から出現し、視覚野の神経細胞のアイドリングであると主張した²⁹⁾。これに対してベルガーは第 10, 11 報でアルファ波は盲人でも出現することから視覚皮質のアイドリングではなく、また視覚野起源説にも反論している^{30,31)}。他人の研究のプライオリティを最尊重し、その功績を称えるだけでなく、その研究に気づくのが遅れたことを自己批判し、その上で実験結果に基づいて科学的論争を行った Adrian の科学者としての姿勢には敬服せざるを得ない。

アルファ波に関する Berger と Adrian の論争について、アルファ波が後頭の視覚野から出現しているという点では Adrian が正しい。しかし感覚運動野のミュー波や側頭葉のタウ波^{32,33)}、さらに Berger は頭蓋欠損部からも脳波を記録していたので、ブリーチリズムも含めて考えれば³⁴⁾、アルファ波は全脳から出現しているという Berger の主張が正しいと考えることもできる。またアルファ波が視覚皮質のアイドリングにすぎないという点も、従来は Adrian の見解が正しいとされてきたが、近年の安静時の自発性脳活動に関する知見を考えると³⁵⁾、(Berger がそこまで洞察していたかどうかは別として) Berger の方が正しかったと言ってもいいだろう。Lopes da Silva は、「アルファ波帯域の律動的な振動が thalamocortical system 内の情報の流れを制御し、注意や知覚を調整しているのかもしれない。アルファ波をアイドリング状態と対応させるのは適切ではない」と述べている³⁶⁾。さらに Berger は 1938 年の第 14 報で、アルファ波とベータ波の発生源に関して、「証明するのは困難だが、アルファ波は大脳皮質の深い層の錐体細胞に起源があり、一方、ベータ波は皮質表層の小さいニューロンが起源だろう」と述べている³⁷⁾。この推測もサル³⁸⁾の視覚野の腹側経路で multiunit recording と local field potential (LFP) を同時記録し、ニューロンの発火と LFP ガンマ帯域 (40-60 Hz) のコヒーレンスを調べたところ、アルファ波を含む周波数帯域 (6-16 Hz) は皮質の深層で最もコヒーレンスが高く、ガンマ帯域は皮質の浅層で最もコヒーレンスが高かったという近年の知見と一致する^{38,39)}。

*7 Berger の論文：Berger の 14 本の脳波の論文には、通常の論文には必ずある Method, Results, Discussion などの見出しが全くなく、Summary や Conclusion もない。一つ一つの脳波記録や図に対して方法・結果・考察が入り交じった文章が延々と続き、非常に読みづらい。最後の著作となった“Psyche”に至っては、見出しも図もない三十頁近い文章がわずかに八つのパラグラフから構成されている。Berger の脳波の論文が掲載された Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten の他の論文を見たところ、同様に全く見出しのない論文が多かった。当時の精神医学の学術誌では一般的なスタイルだったのかもしれない (<https://archive.org/details/archivfpsychia29nervgoog> で、1860-1900 年代の Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten を閲覧・ダウンロードできる)。

*8 electroencephalogram：既に 1912 年に Neminsky がイヌの脳波を記録し、electrocerebrogram と命名していた。しかし Berger は 1929 年の第一報で、ギリシャ語とラテン語が混ざった浅学な命名という理由で、Waller によって命名された electrocardiogram に倣って、新たに electroencephalogram と命名した⁵⁹⁾ (数十の言語を理解したと言われていた、祖父 Rückert の影響かもしれない)。したがって、(おそらく)当時の生理学者にとって、electroencephalogram という用語は全く馴染みがなかった。ある現象 (脳波) を発見・命名した最初の論文の短いタイトルでその名前を使うというのは、確におかしいし、脚注 7 に書いたように、そのドイツ語の論文には summary も見出しもなかった。この点は Berger の配慮が足りなかったと言われても仕方がないだろう。

*9 真空管増幅器と陰極線オシログラフ：Forbes と Thacher が弦線電流計の出力を真空管増幅器につないで、カエルの座骨神経から活動電位を記録したのが 1920 年、Gasser と Erlanger が初めて陰極線オシログラフで活動電位を記録したのが 1922 年だった⁶⁰⁾。これらの開発により、Galvani が 18 世紀末に見つけて以来、百数十年にわたって多くの生理学者が取り組んできた動物電気 (神経インパルス) の正体、すなわち活動電位の正確な波形が初めて観察可能となった。当時の神経生理学者が末梢神経での活動電位の記録に夢中になったのも無理はない。

コラム Einstein の脳波

1950年代には脳波と性格・知能の関係が盛んに研究され⁴⁰⁾、マスコミも競って紹介した。それは現在のfMRI以上かもしれない。図3は、天才の脳がどのように働いているかを調べるという目的で計測されたEinsteinが相対性理論を考えている時の脳波である。アメリカの多くの新聞や雑誌に掲載された。計測は、Massachusetts General Hospitalに在籍していたペルー人医師、Arellanoによって1950年9月8日にプリンストン大学内にあるEinsteinの家で行われた。計測に際してArellanoがEinsteinに「できるだけリラックスして安静にしてください」と頼んだところ、Einsteinは次のように答えた。「あなたは私が人生で一度もやったことのない、非常に難しいことを頼んでいる」⁴¹⁾。

Einsteinは1935年にもAlfred Loomisが自宅に作った睡眠実験室で睡眠脳波を計測されている^{*10}。Einsteinは深い徐波睡眠から突然覚醒した。そしてプリンストン大学の共同研究者に「数日前に行った計算を見直していたら、間違いを見つけた」と電話で伝えてから、再び眠った⁴²⁾。90年代後半から、睡眠による記憶の定着(memory consolidation)が注目されているが、興味深い逸話である。

6. Angelo Mosso

「その1」で、BergerがMosso(図4)による脳血流と脳温の計測方法を踏襲したことを述べた。BergerはMossoに傾倒していたようで、Bergerの日記や脳波の論文には、たびたびMossoの名前が出てくる。そして「その1」の脚注2で、頭蓋骨に欠損のある被験者で最初に脳血流を計測したMossoが、健常者で脳血流を計測するためにシーソーのような装置(The Balance, 図5)を作ったことを紹介し、「この方法で実際に脳血流の変化を計測できたとは思えないが」と書いた。

2014年にイギリスの大学の研究チームがThe Balanceを復元し(図6)^{*11}、台上の被験者に視覚や聴覚の刺激を与えた時の台の傾きを計測したところ、この装置で脳血流増加による頭部重量の変化が計測できることを報告した⁴³⁾。MossoがThe Balanceを作ったのは1882年なので⁴⁴⁾、20世紀をまたぎ、130年以上の

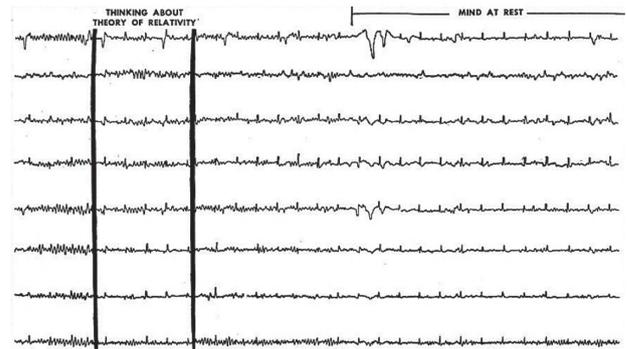
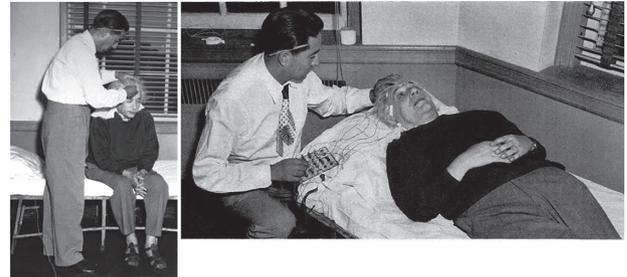


図3

上：脳波電極を装着されているEinstein。

下：Einsteinが相対性理論を考えている時(二本の垂直線の間)と安静時のEinsteinの脳波。

左上の写真は、文献41より引用。右上の写真と脳波記録は文献64より引用。

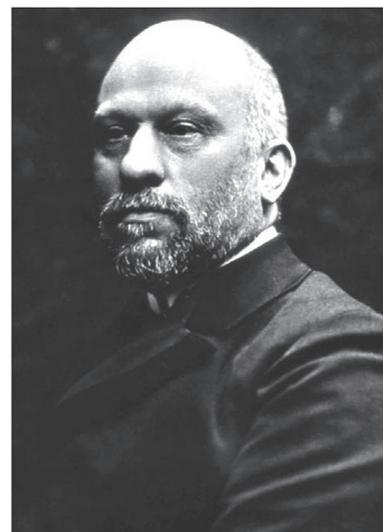


図4 Angelo Mosso (1846-1910)

文献44より引用。

^{*10} Alfred Loomis: 大富豪だったLoomisは、ニューヨーク郊外のTuxedo Parkの大邸宅内に私設の研究所を作った。単に研究資金を提供しただけではなく、私費でEinstein, Werner Heisenberg, Niels Bohr, Enrico Fermiらを研究所に招いて、超音波、マイクロ波、分光計測、精密時間計測など、当時の最先端の研究を行い、脳波もその一つだった⁶¹⁾。

^{*11} イギリスでは、1936年にもThe Balanceが復元され、同様の試みがなされている⁶²⁾。

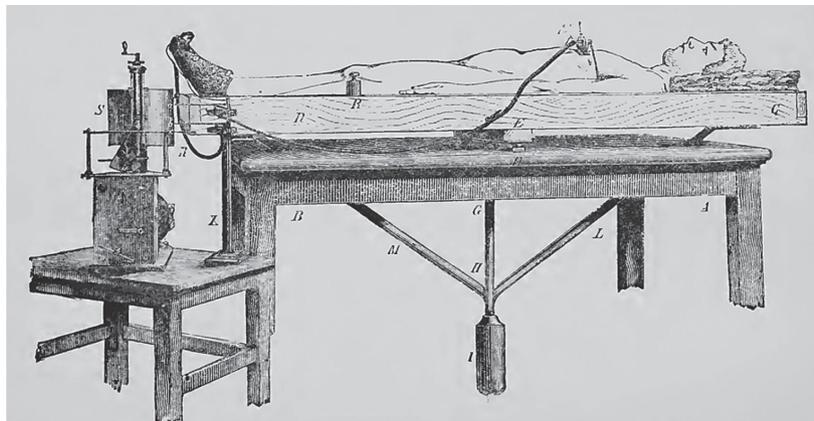


図5 Mosso が製作した The Balance

膝付近に描かれている分銅を動かして水平にし、足側に設置したカイモグラフで台の傾きを計測した。台の下の円筒は、小さな振動で台が揺れ続けるのを防ぐための金属製の重し。文献 45 より引用。



図6 2014年に復元された The Balance

台の傾きを測る代わりに、台の頭部側（写真の手前）の下に置いた電子秤で頭部側の重量の変化を計測した。文献 43 より引用。

時を経て Mosso の計測が正しかったことが証明されたことになる^{*12}。Mosso はこの装置を “machine to weigh the soul (魂の重さを測る機械)” と呼び、「その 1」の図 3 で紹介した頭蓋欠損部での脳血流計測やこの装置による脳血流や心拍の変化から、情動に関する本も書いている⁴⁵⁾。その中で睡眠時には脳血流が減少するが、睡眠中の刺激に対して一過性に脳血流が増大することを報告している。

Mosso は最初にヒトの脳血流や脳温を計測しただけでなく、医学・生理学の分野でさまざまな業績を挙げている。疲労という現象を最初に科学的に研究したのも Mosso である。中指を屈曲させて、どの程度重りを持ち上げられたかをカイモグラフで記録する装置を製作し（現在でも疲労や運動の研究で用いられているエルゴグラフの原型）、屈曲運動の繰り返しに伴って持ち上げる高さが徐々に低下することで筋肉の疲労を定量的に計測した^{46,47)}*13。高山病の研究では、スイスとの国境にあるイタリアの最高峰モンテローザ（標高 4,634 m）の頂上付近に建てた実験室や、自分の研究室に作った減圧室で、低酸素状態での心拍や呼吸の計測を行い、高山病のメカニズムを明らかにしている^{48,49)}。当時のトリノ大学の Mosso の研究室には、世界中から研究者が来訪していた。後に neurovascular coupling を発見し、その後の神経生理学的研究によって Adrian と共にノーベル生理学・医学賞を受賞する Sherrington や、近代脳神経外科の父と呼ばれる Cushing も Mosso の研究室で研究を行っていた。生涯を人体の生理学的計測に捧げた科学者だったが、晩年にはトリノ大学の学長、上院議員としてイタリアにおけるスポーツ教育の普及に尽力し、さらに地中海文明に関する文化人類学・考古学の本も出版している^{50,51)}。

*12 Mosso の The Balance と減圧室の動画：イタリアの科学教育番組だと思われるが、YouTube で、Mosso が The Balance、減圧室、エルゴグラフを使って計測している様子を再現した動画を見ることができる（“Angelo Mosso: fisiologo”, <https://www.youtube.com/watch?v=g4cb5E-Ybd4>, 2018 年 4 月 11 日アクセス）。

*13 Mosso のエルゴグラフの動画：Mosso が製作したエルゴグラフが実際に動作している詳細も動画で見ることができる。動画の最後、中指の屈曲に伴ってカイモグラフの針が黒い煤紙に描く白いシュプールが美しい（“ASTUT Unito - Strumenti ritrovati - Torino 1991 - Ergografo di Mosso”, <https://www.youtube.com/watch?v=cjo5vIRnvaQ>, 2018 年 4 月 27 日アクセス）。

Mossoの研究で特筆すべきは、研究に用いたほとんど全ての計測装置を彼自身が作り、それらを用いた計測に対して徹底的なこだわりを持っていたことである。例えば上述のThe Balanceによる計測では、ヒトが直立した状態から横になると、下半身の血液が徐々に上半身に戻るため少しずつ頭部側が重くなる。この変化を除去するために、被験者をThe Balanceの上に1時間横たわらせてから計測を始めた⁵²⁾。高山病の研究では長期にわたってモンテローザの実験室に滞在して実験を行い、研究室に作った減圧室では、自らも被験者となって高度8,000 m以上に相当する低圧環境で実験を行った⁵¹⁾。Mossoはトリノの大工の父親と裁縫師の母親の子供として生まれた。家は貧しく、幼い頃から父親の仕事を手伝い、さまざまな道具の扱いに習熟していた。苦学の末に奨学金を得てトリノ大学医学部に入り、薬理学・生理学の教授になった⁵²⁾。The Balanceを始めとするMossoが作った計測装置には、幼少期に父親と母親から学び覚えた技術が存分に活かされているにちがいない。

7. Carl Zeiss 社と Ernst Abbe

「その2」で、「Bergerの兄（あるいは弟）が、Jenaに本社があるCarl Zeiss社のエンジニアで、さまざまなアドバイスや便宜を受けることができた」と書いた。Carl Zeiss社がBergerの脳波の研究に対して研究費や技術的なサポートをしていたことは間違いないが、Carl Zeiss社に勤めていたドイツ人を通して確認したところ、Carl Zeiss社から「Prof. Hans Bergerの兄弟がCarl Zeissに在籍していたことは確認できなかった」との回答を得た。

イエーナ大学の数学・物理学の教授で、光学機器の設計・製造で多くの成果を挙げ、Carl Zeiss社を世界的な光学機器メーカーに育てたErnst Abbe（図7）は1905年1月14日に亡くなったが、直前まで治療にあたったのがBergerだった¹⁸⁾。創業者Carl Zeissの死後に経営を任されてからは、Carl Zeiss社を創業者の名前で公益財団化してほとんどの私有財産を寄付し、特許権も全て開放した。Mossoと同様、Abbeの家も貧しかった。幼い頃に、紡績工場で早朝から夜まで休憩無しに働く父親に昼食を届けていたAbbeは、8時間労働制、従業員の有給休暇、医療保険、企業年金な



図7 Ernst Abbe (1840-1905)

(<https://www.zeiss.com/corporate/int/history/founders/carl-zeiss/ernst-abbe-joins-forces-with-zeiss.html> よりダウンロード)

ど、今日われわれが当たり前のように享受している制度を1900年までにいち早く確立した。職工とほとんど変わらない衣服をまとい、爵位、名誉市民などの称号はすべて固辞した。Abbeの葬儀には多くのJena市民が参列した⁵³⁾。

謝辞

執筆にあたり、“Hirn Ströme”の著者のProf. Cornelius Borck (Universität zu Lübeck)に質問のメールを送り、全ての質問に対して詳細な回答をいただいた。ドイツ語の翻訳に際してLeipnizt Kenji氏(情報通信研究機構)の協力を得た。資料の収集にあたり、小川景子氏(広島大学総合科学部)、佐藤佳代氏(東京大学教育学部)、小笠原史織氏(九州大学医学部)の協力を得た。

文献

- 1) 宮内 哲: Hans Bergerの夢—How did EEG become the EEG?—その1. 臨床神経生理学 44: 20-27, 2016.
- 2) 宮内 哲: Hans Bergerの夢—How did EEG become the EEG?—その2. 臨床神経生理学 44: 66-70, 2016.
- 3) 宮内 哲: Hans Bergerの夢—How did EEG become the EEG?—その3. 臨床神経生理学 44: 106-114, 2016.
- 4) Adrian ED, Yamagiwa K: The origin of the Berger rhythm. *Brain* 58: 323-351, 1935.
- 5) 山極一三: Bergerリズム(大脳動作電流)に就て. 科学(岩波書店) 6: 391-394, 1936.
- 6) 山極一三: 脳波を語る<座談会>. 日本医事新報 第1582

- 号 : 3447-3463, 1954.
- 7) Schwab RS: The clinical application of electroencephalography. *Medical Clinics of North America* 25: 1477-1489, 1941.
 - 8) Interviewed by Tone A: Turn M. Itil. In Ban T, Blackwell B (eds). *An Oral History of Neuropsychopharmacology. The First Fifty Years. Peer Interviews*. Volume 9 Update. American College of Neuropsychopharmacology, pp 230-243, 2011.
 - 9) Kennedy JL: A possible artifact in electroencephalography. *Psychol Rev* 66: 347-352, 1959.
 - 10) Miller H: Alpha waves—Artifact? *Psychol Bull* 69: 279-280, 1968.
 - 11) Lippold O: Origin of the alpha rhythm. *Nature* 226: 616-618, 1970.
 - 12) Lippold O: Bilateral separation in alpha rhythm recording. *Nature* 226: 459-460, 1970.
 - 13) Castillo HT: A cardiac hypothesis for the origin of EEG alpha. *IEEE Trans Biomed Eng* 30(12): 793-796, 1983.
 - 14) Jansen BH: Comments on “a cardiac hypothesis for the origin of EEG alpha”. *IEEE Trans Biomed Eng* 32(5): 347-348, 1985.
 - 15) Lopes Da Silva FH, Storm Van Leeuwen W: The cortical source of the alpha rhythm. *Neurosci Lett* 6: 237-241, 1977.
 - 16) Butler SR, Glass A: Alpha rhythm and fine eye and eyelid movement. *Nature* 228: 1110-1112, 1970.
 - 17) Davis H: Crossroads on the pathway to discovery. In Worden F, Swazey J, Adelman G (eds). *The Neurosciences: Paths of Discovery*. I. Birkhäuser, Boston, pp 311-321, 1975.
 - 18) Borck C: *Hirn Ströme: Eine Kulturgeschichte der Elektroenzephalographie*. Wallstein Verlag, Göttingen, 2005 (2018 年 1 月に英訳が出版された。 *Brainwaves: A Cultural History of Electroencephalography*. Routledge, 2018)。
 - 19) Demmler A: Wilhelm Strohmayer (1874-1936) Ein Wegbereiter der Kinder- und Jugendpsychiatrie. Dissertation, Zur Erlangung des akademischen Grades doctor medicinae (Dr. med.). Vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2003.
 - 20) Zeidman LA: Neuroscience in Nazi Europe part II: resistance against the third reich. *Can J Neurol Sci* 38: 26-38, 2011.
 - 21) Brunner J, Schrempf M, Steger F: Johannes Heinrich Schultz and National Socialism. *Isr J Psychiatry Relat Sci* 45: 257-262, 2008.
 - 22) 田野大輔 : 子供にそのことを話しましょう—第三帝国における性的啓蒙の展開をめぐって。 *ゲシヒテ* 1: 27-38, 2007.
 - 23) Benetka G: Austrian Psychology during the National Socialist Era. (<https://scilog.fwf.ac.at/kultur-gesellschaft/4996/oesterreichische-psychologie-im-nationalsozialismus> より 2018/4/20 にダウンロード)
 - 24) Ginzberg R: Three years with Hans Berger. A contribution to his bibliography. *J His Med Allied Sci* IV: 361-371, 1949.
 - 25) Jung R: Hans Berger und die Entdeckung des EEG nach seinen Tagebüchern und Protokollen. In Werner R (ed). *Jenenser EEG-Symposion. 30 Jahre Elektroenzephalographie*. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, pp 20-53. 1963.
 - 26) Adrian ED: The discovery of Berger. In Remond A (ed). *Handbook of Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*. Volume 1, Part A. Elsevier, Amsterdam, pp 1A5-1A10, 1971.
 - 27) Adrian ED, Buytendijk FJJ: Potential changes in the isolated brain stem of the goldfish. *J Physiol* 71: 121-135, 1931.
 - 28) Adrian ED, Matthews BH: The interpretation of potential waves in the cortex. *J Physiol* 81: 440-471, 1934.
 - 29) Adrian ED, Matthews BHC: The Berger rhythm: potential changes from the occipital lobes in man. *Brain* 57: 355-385, 1934.
 - 30) Berger H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen X. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 103: 444-454, 1935.
 - 31) Berger H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen XI. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 104: 678-689, 1936.
 - 32) Niedermeyer E: Alpha-like rhythmical activity of the temporal lobe. *Clinical Electroencephalography* 21: 210-224, 1990.
 - 33) Niedermeyer E: The “Third Rhythm”: further observations. *Clinical Electroencephalography* 22: 83-96, 1991.
 - 34) Brigo F, Cicero R, Fiaschi A, et al: The breach rhythm. *Clin Neurophysiol* 122: 2116-2120, 2011.
 - 35) Buzsaki G: *Rhythms of the Brain*. Oxford University Press, New York, 2006.
 - 36) Lopes da Silva F: Multimodal imaging of alpha rhythms: from local field potentials, EEG/MEG, fMRI, to BCI. Abstracts of Presentations at the International Conference on Basic and Clinical Multimodal Imaging (BaCI), 2013.
 - 37) Berger H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen XIV. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 108: 407-431, 1938.
 - 38) Buffalo EA, Fries P, Landman R, et al: Laminar differences in gamma and alpha coherence in the ventral stream. *Proc Natl Acad Sci USA* 108: 11262-11267, 2011.
 - 39) 松浦雅人 : α 波を再考する。第 44 回日本臨床神経生理学会学術大会抄録集, 2014.
 - 40) Walter WG: *The Living Brain*. Gerald Duckworth & Co. Ltd, London, 1953. (懸田克躬, 内蘭耕二訳 : 生きている脳。岩波書店, 東京, 1959.)
 - 41) Arellano y Einstein: una perla en las manos del médico peruano. <http://stalker21.com/arellano-y-einstein-una-perla-en-las-manos-del-medico-peruano/> (2018/4/20 にアクセス)。
 - 42) Jasper HH: Herbert H. Jasper. In Squire LR(ed). *The History of Neuroscience in Autobiography*. Vol. 1. Society for Neuroscience, Washington DC, pp 318-347, 1996.
 - 43) Field DT, Inman LA: Weighing brain activity with the balance: a contemporary replication of Angelo Mosso’s historical experiment. *Brain* 137: 634-639, 2014.

- 44) Sandrone S, Bacigaluppi M, Galloni MR, et al: Weighing brain activity with the balance: Angelo Mosso's original manuscripts come to light. *Brain* 137: 621-633, 2014.
- 45) Mosso A: *Fear*. Longmans, Green, And Co., London, 1896.
- 46) Mosso A: Über die Gesetze der Ermüdung: Untersuchungen an Muskeln des Menschen. *Archiv für Physiologie* 89-168, 1890.
- 47) Mosso A: *Fatigue*. G. P. Putnam's Sons, New York, 1897.
- 48) West J: *High Life: A History of High-Altitude Physiology and Medicine*. Springer, New York, 2013.
- 49) Heggie V: Higher and colder: The success and failure of boundaries in high altitude and Antarctic research stations. *Social Studies of Science* 46: 809-832, 2016.
- 50) Gori G: The Apostle of Italian sport: Angelo Mosso and English athleticism in Italy. In Mangan J (ed). *Reformers, Sport, Modernizers: Middle-class Revolutionaries*. Frank Cass, London, pp 230-252, 2002.
- 51) Di Giulio C: Angelo Mosso: a holistic approach to muscular fatigue. *Arch Ital Biol* 149: 69-76, 2011.
- 52) Kulshreshtha P: Angelo Mosso (1846-1910). *Indian J Physiol Pharmacol* 53: 109-112, 2009.
- 53) 吉森 賢: ドイツ同族大企業. NTT 出版, pp 165-199, 2015.
- 54) Walter WG: Thought and brain: a Cambridge experiment. *The Spectator* 153: 478-479, 1934.
- 55) Galambos R: *Hallowell Davis 1896-1992*. National Academies Press, Washington, 1998.
- 56) Richter J: Pantheon of brains: The Moscow Brain Research Institute 1925-1936. *J Hist Neurosci* 16: 138-149, 2007.
- 57) Possony ST: *Lenin: The Compulsive Revolutionary*. Henry Regnery Company, Chicago, 1964.
- 58) Klatzo I: Cecile and Oskar Vogt: The visionaries of modern neuroscience. In Reulen HJ (ed). *Acta Neurochir Suppl*. Springer-Verlag, Wine, 2002.
- 59) Berger H: Über das Elektroencephalogramm des Menschen. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten* 87: 527-570, 1929.
- 60) McComas A: *Galvani's Spark—The Story of the Nerve Impulse*. Oxford University Press, 2011. (酒井正樹, 高畑雅一訳: 神経インパルス物語—ガルヴァーニの火花からイオンチャンネルの分子構造まで—. 共立出版, 東京, 2014.)
- 61) Alvarez W: *Alfred Lee Loomis 1887-1975. A Biographical Memoir by Luis W. Alvarez*. National Academy of Sciences, Washington DC, 1980.
- 62) Lowe MF: The application of the balance to the study of the bodily changes occurring during periods of volitional activity. *Br J Psychol Gen Sect* 26: 245-262, 1936.
- 63) Adrian E, Matthews B: Electrical changes in the cerebral cortex. *Nature* 134: 901, 1934.
- 64) Einstein's brain waves. They are charted to learn how a genius thinks. *LIFE*, p 40, 1951/2/26.