

# Hans Berger の夢 — How did EEG become the EEG? — その 1

宮内 哲

**要旨** Hans Berger がヒトの脳波の発見者であり、 $\alpha$  波と  $\beta$  波の名付け親であることはよく知られている。しかしそれ以上のことを知っている人は少ない。Berger は脳と心の関連を解明するために脳血流を計測し、脳温を計測し、そしてついに脳波を発見した。しかしそれは同時に、脳波がアーチファクトかもしれないという Berger 自身の、そして他の研究者からの疑念を晴らすための長くて困難な道への入口にすぎなかった。そして当時のドイツを席卷していたナチスとの関係に苦しみながら、ようやく栄光を掴んだにもかかわらず、意に反して脳波研究をやめなくてはならなかった。Berger の研究と生涯、当時の社会や脳研究の実態を調べれば調べるほど、単に脳波を発見した精神科医ではなく、まともな増幅器や記録装置がなかった時代に、脳と心の関連を脳活動計測によって研究しようと苦闘した 20 世紀初頭の生理心理学者としての姿が浮かび上がってくる。その姿を三回に分けて紹介する。その 1 では、脳波の研究を始める前に Berger が行った研究、それらの研究と脳波の研究との関連について述べる。その 2 では、Berger が行った脳波の研究の詳細と、脳波が当時の神経生理学に受け入れられなかった理由について考察する。その 3 では、脳波が神経生理学や臨床医学に受け入れられていった過程と、その後の Berger、特にナチスとの関係、自殺の原因などについて述べる。

## はじめに

2011 年のクリスマスにハンガリーの知り合いの研究者からカードが送られてきた (図 1)。1938 年のクリスマスカードであること以外は、誰が誰に出したカードなのかもわからなかった。由来を調べたところ、現在でも脳波電極の標準的配置法として使われている国際 10-20 法を提唱した Herbert Jasper が、1938 年のクリスマスに Hans Berger (図 2) に送ったカードであることがわかった<sup>1)</sup>。Jasper の頭から増幅された脳波が  $\alpha$  波から  $\beta$  波、さらに文字に変わり、“Wishing you a Pleasant Yuletide (著者注: Christmas) and New year as you like it”, そしてまた  $\alpha$  波に戻っている。自分の思いが脳波という脳の電氣的活動として表されること、裏返して言えば、脳波を研究すればヒトの精神活動がわかるだろうという、当時の研究者の脳波に対する期待を巧みに表現している。

Berger がヒトの脳波を最初に記録したドイツの精神科医で、electroencephalogram (EEG),  $\alpha$  波,  $\beta$  波の名付け親であることは知っていたが、それ以上のことは知らなかった。さらに調べると、

- ・母方の祖父が、詩人・東洋哲学者の Friedrich Rückert だったこと、
  - ・脳波を発見する前に、神経解剖学、脳血流・脳温計測など、さまざまな最先端の研究を行っていたこと、
  - ・最初の脳波記録に成功してから論文を出すまでに 5 年、論文が認められるまでにさらに 5 年かかったこと、
  - ・テレパシーの存在を信じていたこと、
  - ・脳波の発見により、数度にわたってノーベル賞に推薦されたこと、
  - ・1941 年に自殺していること
- などがわかった。

資料 1 に Berger の年譜と、当時の社会や神経科学・心理学・無線通信に関する主立った出来事を示した。Hans Berger を一言で表せば、

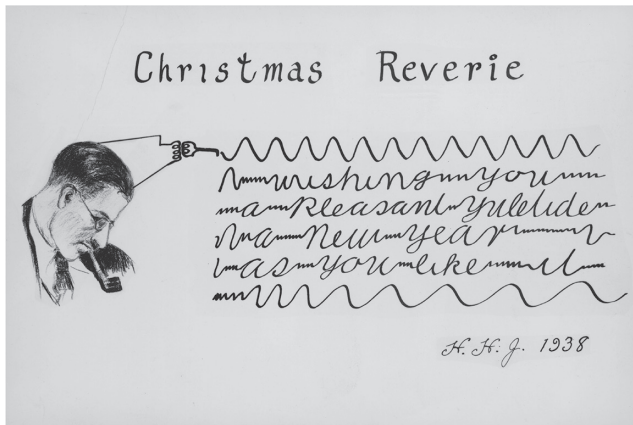


図1 1938年のクリスマスに、JasperがBergerに送ったクリスマスカード

Deutsches Museum (München) の許可を得て掲載。

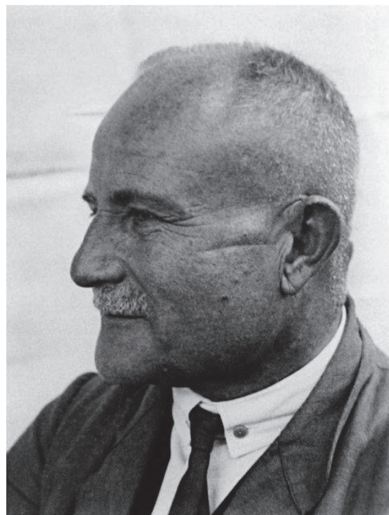


図2 Hans Berger

Jena大学 (Friedrich-Schiller-Universität Jena) の許可を得て掲載。

- ・祖父 Rückert の血を受け継ぎ、
  - ・10代でのテレパシー体験をきっかけに脳研究に興味を持ち、
  - ・19世紀末～20世紀初頭の脳科学を学び、
  - ・他の研究者からの疑念に対して脳波が脳の活動であることを検証する研究を黙々と続け、
  - ・当時のドイツを席卷していたナチスとの関係に苦しみながら脳研究に生涯を捧げた研究者、
- ということになる。Bergerの研究と生涯を調べれば調べるほど、単に脳波を発見した精神科医ではなく、まともな増幅器や記録装置がなかった時代に、創意工夫と試行錯誤を繰り返しながら脳と心の関連を実証的

に研究しようと苦闘した最初期の生理心理学者としての姿が浮かび上がってくる。Bergerがどのような着想のもとに脳波の研究を始めたのか、最初の脳波記録から論文を出すまでの5年間に何を考え何をしたのか、なぜ最初の論文が認められるまでにさらに5年もかかり、どのように認知されていったのか、何故自殺しなければならなかったのか？ その詳細を一世紀前の脳神経科学や当時の社会状況とともに知ることは、飛躍的に発展した既製の計測装置やコンピューター、既存の解析プログラムを用いて研究を行っているわれわれにとって、自らの研究を見つめ直すための良い契機となるに違いない。

### 1. 祖父 Rückert の影響

Bergerの母方の祖父であったFriedrich Rückert (1788-1866)の名前は、クラシック音楽に造詣の深い人ならば知っているだろう。ベルリン大学、エルランゲン大学の東洋言語学の教授であり、それ以上に詩人として有名だった。Schubert, Schumann, Mahler, Brahmsなど、当時の多くの著名な作曲家が彼の詩に啓発されて作曲している。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が、Jena大学<sup>\*1</sup>の彼の研究室の壁には、この総説の最後に引用するRückertの詩が掲げられていた。またBergerは非常に几帳面に日誌をつけていたが、その日誌にもたびたびRückertの詩が引用されている<sup>2)</sup>。

### 2. 脳波発見以前のBergerの研究

1897年にJena大学医学部を卒業したBergerは、当時の精神医学の第一人者、特に進行性麻痺の治療で有名だったOtto Binswangerの研究室に入った。そこで同僚だったのが、後に細胞構築と髄鞘構築でそれぞれ脳地図を作製して名を成すBrodmannとVogtだった。そしてヒトの脳波の研究を始める前にさまざまな研究を行っている。それらは発達行動学・神経解剖学的研究からヒトでの脳血流、脳温の計測、皮膚電気反射の計測、脳への電流刺激まで多岐にわたる。

<sup>\*1</sup>Jena大学：Jena大学の現在の名称は、Friedrich-Schiller-Universität Jenaである。大学名が変わった経緯については、その3で述べる。本稿ではBergerが脳波を発見した当時の名称であるJena大学を用いる。

## 資料 1 Berger の年譜

Berger		社会・神経科学・心理学・無線通信に関する出来事	
1873/5/21	Coburg の Neuses に生まれる 父親は Coburg の医師 Paul Berger 母親は Anna Rückert	1875	Caton: ウサギ, イヌ, サルの脳波を記録
		1876	Bell: 電話機を発明
		1879	Wundt: 心理学実験室を設立 Edison: 実用的な電球の発明
1892	Coburg のギムナジウム (Casimirianum) 卒業 Berlin 大学に入学。天文学と数学を専攻 ドイツ陸軍 (砲兵連隊) に入隊	1881	Mosso: ヒトの脳血流計測 ドイツで最初の電車の営業運転
1892/10		1887	Waller: 毛細管電流計で心電図を記録
1888		Herz: 電磁波の存在を実験的に確認	
1893	行軍中にテレパシー体験 医学部に入学 (Würzburg, Berlin, Munich, Kiel, Jena 大学)	1890	Beck: ウサギとサルの脳波を記録 Ray & Sherrington: Neurovascular coupling を提唱
		1893	Scherrington: 拮抗筋の相補的抑制
1897	Jena 大学医学部卒業 医師国家試験に合格 Otto Binswanger の助手として Jena 大学精神科に勤務	1895	Röntgen: X 線を発見 Marconi: 無線の送受信に成功
			1897
1898	再び陸軍 (歩兵連隊) に入隊 最初の論文: 進行性麻痺の脊髓前角細胞の変性	1898	Thorndike: 問題箱 Tesla: 模型のボートを無線で操縦
		1899	Gotch: 神経の不应期を発見
1900	論文: 子イヌ・子ネコの視覚剝奪が発達に及ぼす影響 大公ザクセン州立精神病院に勤務	1900	Freud: 夢解釈 Lewandowsky: 脳血液閘門
1901	Jena 大学講師 論文: 視覚剝奪した子イヌの視覚野を電気刺激し, 眼球運動を記録 論文: ヒトの脳血流に関する論文	1901	Röntgen: 第 1 回ノーベル物理学賞 Vogt による造語 "Neurophysiology" Marconi: 大西洋横断無線通信 Tesla: Tesla Tower の建設を開始
1902	イヌの脳波記録	1902	Pavlov: 条件反射を発見
1904	1901 年の脳血流に関する論文の続報	1903	Einthoven: 心電図を記録 テレフンケン (ドイツの無線技術会社) 設立
		1904	Pavlov: ノーベル医学生理学賞 日露戦争
1906	Jena 大学助教授	1905	Binet: 知能テスト
		1906	Sherrington: 自己受容感覚 (proprioception) を提案 Golgi と Cajal: ノーベル医学生理学賞 Fessenden: 最初のラジオ放送
1907	ヒトの脳血流に関する論文 再びイヌで脳波記録	1909	Brodmann: 細胞構築に基づく脳地図 Cushing: ヒトの体性感覚野を電気刺激 井上達二: 網膜部位対応を発見 Marconi: 無線電信の研究でノーベル物理学賞 de Forest: 三極真空管を発明
1910	ヒトの脳温の変化に関する論文 再びイヌで脳波記録	1910	Kraepelin: アルツハイマー病を命名
1911	実験助手の Ursula von Bülow と結婚	1911	Bleuler による造語 "schizophrenia"
1912/3	息子の Klaus 誕生		
1913	論文: On the reaction time of the reflex action by threatening the human eye	1913	Adrian: 全か無かの法則
1914-21	三人の娘 Ruth, Ilse, Rosemarie 誕生	1914	第一次大戦勃発
1914-18	第一次大戦に軍医として参加	1917	ロシア革命 Freud: 精神分析入門
		1918	第一次大戦終了 Holmes: 網膜部位対応

1919	Jena 大学精神科教授	1919	Vogt: 髄鞘構築に基づく脳地図 Herrick: 心筋梗塞の心電図
1920	第一次大戦で頭蓋骨が開いている患者で、脳の電気刺激の実験 毛髪の無い医学部生で脳波を記録するが失敗	1920	Watson & Rayner: 恐怖条件付け Forbes: 生体電位用増幅器の発明 最初の商業ラジオ放送
1921	講義録: Psychophygiologie in 12 Vorlesungen を出版	1921	Rorschach: ロールシャッハテスト
		1922	Gasser & Erlanger: Cathode ray oscilloscope の発明
		1923	Einthoven: 心電図の発明でノーベル医学生理学賞
1924	頭蓋骨に欠損のある患者の脳を電気刺激	1924	Sherrington: 脊髄の伸張反射 (stretch reflex)
1924/7/6	最初の脳波記録に成功	1925	Cazzamalli: Mental Radio Bißky: Diagnoscopy
1927-28	Jena 大学学長 学長就任演説 “Über die Lokalisation im Großhirn (大脳の局在に関して)”	1926	Foerster: 電流刺激によるヒトの脳機能マップ Matthews: インク書き心電計の発明
1928	イヌでの脳波記録	1928	Fulton: 局所脳血流と精神活動に関する症例報告
1929/7/25	脳波に関する第 1 報	1929	世界大恐慌 Cannon による造語: “homeostasis” Erlanger と Gasser: 神経線維の太さと伝導速度の関係
1930	脳波に関する第 2 報		
1931	脳波に関する第 3 報	1931	アメリカで Psychograph が流行
1932	脳波に関する第 4 報 脳波に関する第 5 報	1932	Adrian と Sherrington: ノーベル医学生理学賞 Tönnies: 最初の連続記録ができるペン書き脳波計を開発 (Neurograph) Tönnies と Matthews: 差動増幅器を考案
1933	脳波に関する第 6 報 脳波に関する第 7 報 脳波に関する第 8 報	1933	ナチスがドイツで政権を掌握 ナチス: 断種法制定 Einstein: アメリカに亡命 Katz: イギリスに亡命
1934	脳波に関する第 9 報 Adrian と Matthews が London で開催された生理学会で脳波の公開実験 Adrian と Matthews が Berger の結果を確認した論文を発表 (Adrian & Matthews, 1934)	1934	Jena 大学が Friedlich Schiller Universität Jena に改名 Jasper: アメリカで最初の脳波記録 Penfield: Montreal Neurological Institute を創設
1934/12			
1935-1938	Jena 大学副学長	1935	Moniz: 最初のロボトミー手術
1935	脳波に関する第 10 報		
1936	脳波に関する第 11 報	1936	Massachusetts General Hospital (アメリカ) に最初の脳波検査室 ベルリンオリンピック
1937	脳波に関する第 12 報 脳波に関する第 13 報	1937	Papez: Papez 回路を発表 Cazzamalli: イタリア超心理学会を設立
1938	パリで開かれた国際心理学会で招待講演 脳波に関する第 14 報	1938	Freud: イギリスに亡命 Skinner: 道具的条件付け Cerletti と Bini: 最初の電気痙攣療法 ドイツのポーランド侵攻
1938/10/1	Jena 大学退官 (Jena 大学名誉教授) Turingen 州 Bad Blankenburg サナトリウム院長	1939	Hodgkin と Huxley: イカの巨大神経軸索で活動電位を記録 Eccles と O'connor: 神経-筋接合部で終板電位を記録 第二次大戦勃発
1940	Psyche を出版 三名の推薦者からノーベル医学・生理学賞に推薦される	1940/5	ドイツのノルウェー, デンマーク, フランス, オランダ, ベルギー侵攻
1941	Department of Internal Medicine at the Hospital in Jena に入院	1941/3 1941/6	アメリカ参戦 ドイツのソ連侵攻
1941/6/1	病院で自殺		
1941/11/26	息子の Klaus Berger がロシアで戦死	1941/12	ソ連軍による反攻
1970/10/5	妻の Ursula Berger が死去		

## 2-1 生後直後の視覚剝奪が脳・行動の発達に及ぼす影響

最初期の研究において、Berger は極めて興味深い研究を行っている。生まれたばかりの子イヌや子ネコのまぶたを縫合して視覚を剝奪し、数カ月間飼育してから縫合を解き、同じ母親から生まれて視覚を剝奪しなかった子イヌ・子ネコと脳のマクロな構造変化、顕微鏡によるミクロな細胞の変化を比較している。その結果、視覚剝奪により網膜、視神経、四丘体、外側膝状体には変化が認められなかったが、視覚野は小さく脳溝が拡大していたこと、視覚野の細胞も小さく、発達により未成熟な段階にあったことを1900年の論文で報告している。さらに1901年には、視覚野の電気刺激によって眼球の共同運動や輻輳運動が生じることを確認した上で、生後直後に視覚剝奪したイヌではこれらの眼球運動が生じなかったことも報告している<sup>3)</sup>。

これらの研究で、脳のマクロな構造変化やミクロな細胞の変化を調べているのは、同僚だった Brodmann と Vogt の影響だろう。Brodmann は細胞構築に基づいてヒトの脳を約 50 の領域に分類した有名な 1909 年の論文の中で、Berger がこれらの研究を精力的にこなしていたことに触れている<sup>4)</sup>。Berger はそれだけにとどまらず、同じ母親から生まれた子イヌ・子ネコを対照にした歩行行動、眼球運動、瞳孔反射や瞬目反射の比較など、非常に緻密な実験を行い、ネコの一次視覚野の単一神経細胞記録でノーベル賞を受賞した Wiesel と Hubel によって 60 年後に引用されている<sup>5,6)</sup>。

## 2-2 脳血流の計測

次に Berger は、ヒトでの脳血流の計測を試みている<sup>7-9)</sup>。イタリアの Mosso が 1881 年に脳外科手術によって頭蓋骨に欠損のある患者でヒトの脳血流を計測し、精神活動によって脳血流が変化することを報告していた<sup>10,11)</sup>。さらに 1890 年に、Roy と Sherrington が主にイヌでの脳血流・血圧の計測に基づいて、脳活動に伴う代謝の亢進が脳血流を増加させるという現在の fMRI・PET による脳血流計測の基本原則となる脳活動と血流のカップリング現象 (neurovascular coupling) を報告していた<sup>12)</sup>。Mosso が考案した方法は、頭蓋骨に欠損がある患者の欠損部を木製の板とゴム製の樹脂 (ガッタパーチャ) で密閉し、脳の拍動および脳血流の増大に伴う脳容量の変化を空気圧の変化として取

りだしてカイモグラフ (Kymograph) で記録する方法だった (図 3)<sup>\*2)</sup>。Berger は Mosso の方法を踏襲し

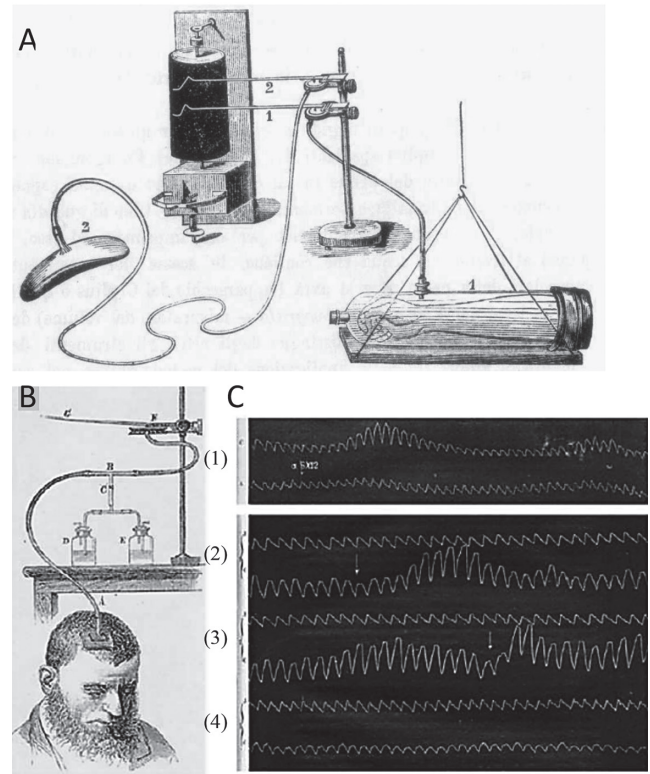


図 3

- A: Mosso が考案した脳と前腕の血流計測装置。前腕をガラスの瓶に差し入れて密閉し (右下)、血流の増大に伴う前腕の容量の変化を空気圧の変化としてカイモグラフで記録した (中央)。
- B: A の左下の木片を頭蓋骨欠損部に当てて周囲をゴム製の樹脂で密閉してチューブを出し、脳の拍動および脳血流の増大に伴う脳容量の変化を前腕の血流と一緒にカイモグラフで記録した。
- C: Mosso による脳血流の記録。(1): 8×12 の暗算をした時の脳血流 (上段) と前腕の血流 (下段)。(2): 時計が 12 時を打った時 (矢印) の前腕の血流 (上段) と脳血流 (下段)。(3): 教会の鐘の音を聞いて、正午のお祈りを忘れていたことに気づいた時 (矢印) の脳血流 (上段) と前腕の血流 (下段)。(4): 安静時の前腕の血流 (上段) と脳血流 (下段)。
- 文献 11 より改変。

\*2 Mosso による非侵襲的脳血流計測: Mosso の方法では、頭蓋骨に欠損がある患者しか脳血流を計測できなかった。その後、Mosso は健康者での非侵襲的な脳血流計測も試みている<sup>22)</sup>。その方法とは、シーソーのような台を自作し (The balance)、被験者を仰向けに乗せてバランスを取った後、暗算などの精神作業や情動刺激を与える。精神活動により脳血流が増えた分だけ頭部側が重くなり傾く、その傾きをシーソーの端に取り付けたカイモグラフで記録するというものだった<sup>23)</sup>。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、創意工夫と手作りの計測器によって脳活動を計測しようとした当時の研究者の熱意を感じる。

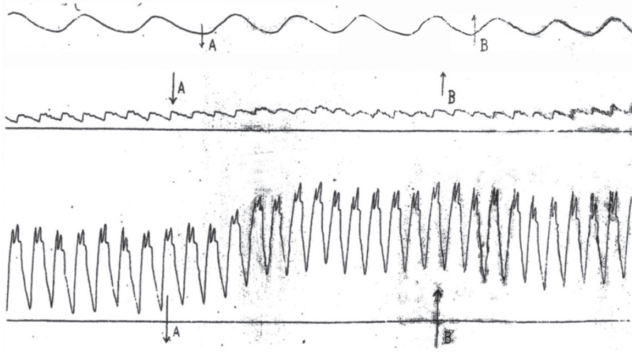


図4 Bergerが記録した暗算時の脳血流変化

上段が呼吸，中段が前腕部の血流。下段が前額部の脳血流。下向き矢印(A)のところで暗算課題を出している。暗算によって前額部の血流は増大しているが，前腕部の血流には明確な変化は認められない。文献2より引用。

て，右半球の感覚運動野周囲に欠損がある患者の左手への触刺激で顕著な脳血流の増大が認められるのに対して，右手への触刺激ではわずかな増大しか認められなかったことを報告している。さらにコカインの投与，暗算などの精神作業(図4)，聴覚・味覚・嗅覚を用いた情動刺激に対する脳血流変化を報告している<sup>2,13)</sup>。

### 2-3 脳温の計測

Bergerは脳血流の次に，1908年にヒトでの脳温の計測を開始している<sup>14)</sup>。脳温の計測も脳血流と同様，Mossoによる計測を踏襲している<sup>15)\*3</sup>。脳外科の手術中に頭蓋骨の開口部から精密な水銀温度計を刺入し(図5A)，感覚刺激，情動刺激，暗算などの精神作業や，クロロホルム麻酔からの覚醒に伴う脳温および直腸温の変化を温度計の目盛をルーペで数倍に拡大して計測した(図5B)。さらに脳温計測のためにチンパンジーまで購入している<sup>13,16)</sup>。そして単に精神活動に伴う脳温の上昇を計測するだけでなく，ヒトの脳の灰白質の温度が1℃上昇するためにはどの程度の熱量が必要かを計算し，実際の計測によって得られた精神活動に伴う脳温の上昇から，それぞれの精神活動に必要な精神エネルギー(Psychic energy: P-energy)を計算している<sup>16,17)</sup>。

ここでBergerが考えていた精神エネルギーについて説明しておく。19世紀後半から20世紀初頭の全て

の科学分野に大きな影響を与えたものとして，19世紀中頃にJ. Mayer, J. Joule, H. Helmholtzらによって確立されたエネルギー保存の法則がある。すなわち「エネルギーは仕事をしうる潜在能力で，閉じた系では常に保存されるという意味で最も基本的な物理量の一つである。エネルギーは種々の形態をとり，よく知られたものとして力学的エネルギー，内部エネルギー(熱エネルギー)，化学エネルギー，電気・磁気エネルギー，光エネルギーなどがあり，これらの形態の間で変換が起きるが，エネルギーの総和は時間の経過に関係なく一定に保たれる」<sup>18)</sup>。

Bergerは，血液によって脳に運ばれたエネルギーが異化作用により熱エネルギー，電気的エネルギー，そして精神活動のための精神エネルギーに分解・変換され，その総和はエネルギー保存の法則に則り，血液によって脳に運ばれたエネルギーに等しいと考えた<sup>17,19,20)</sup>。現在の知識からすれば，熱エネルギーと電気エネルギーはともかく，それに加えて精神エネルギーに変換されるという考えは奇異に思えるかもしれない。しかし当時の生理学では一般的な考え方だった。例えば，大脳皮質の神経細胞が水平方向に5層をなし，しかも脳部位によって差があることを発見し，後のBrodmannによる細胞構築に基づく脳地図の先鞭をつけたTheodor Meynertも，「脳血流による大脳皮質への十分なエネルギーの供給が活発な脳活動および『快』の感情と関連し，不十分な供給が神経細胞の低栄養状態および『痛み』の感覚と関連する」と述べている<sup>17)</sup>。そこでBergerは，まず脳血流計測で精神活動に伴う脳血流の増大によって脳へのエネルギー供給の増大を確認した上で，次に精神活動に伴う脳温上昇を計測して熱エネルギーへの変換を確認し，さらに脳波によって電気的エネルギーへの変換を確認し，残りが精神エネルギーであると考えた。Bergerのこの考えは，彼が最初に脳波記録に成功した日の日誌に書いた以下の文章が如実に物語っている。“Cortical currents (circulation, temperature, electrical processes!)..., which I experience time and again when I apply precise measuring instruments to the brain” (Gloorによる英訳<sup>8)</sup>，原文はドイツ語)。ここで“Cortical currents”とは，電流だけを意味しているわけではない。次の(circulation, temperature, electrical processes!)から

\*3 Paul Broca: Broca野で知られるPaul Brocaも，1870年代にヒトの脳温を計測し，脳温計測の先駆者の一人だった<sup>11,25)</sup>。

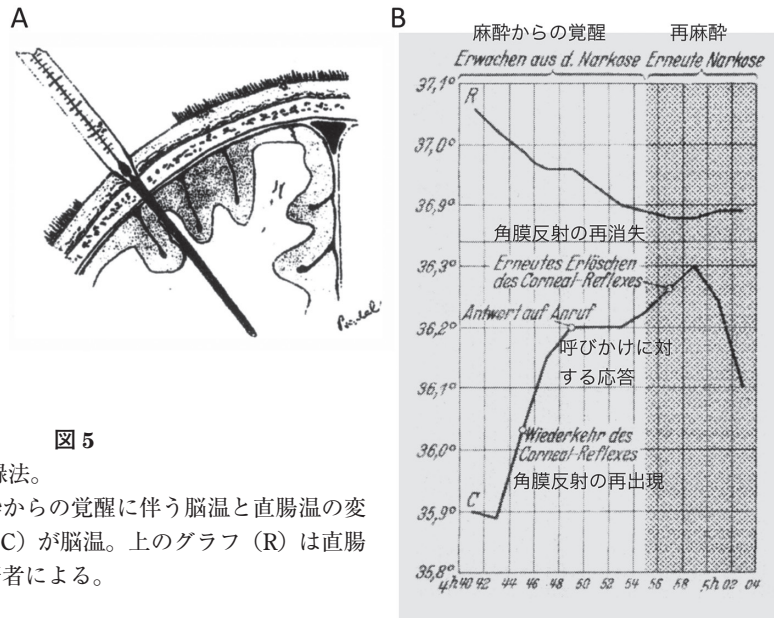


図 5

A: Berger の脳温記録法。

B: クロロホルム麻酔からの覚醒に伴う脳温と直腸温の変化。下のグラフ (C) が脳温。上のグラフ (R) は直腸温。日本語訳は著者による。

文献 2 より引用。

わかるように, circulation (脳血流), temperature (局所脳温変化による温度勾配), electrical process (脳波あるいは, その他の脳の神経活動) の全てを指している。すなわち,

$$\begin{array}{|c|} \hline \text{血液を介して脳に} \\ \text{供給されたエネルギー} \\ \hline \text{(A)} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \text{脳で発生した} \\ \text{熱エネルギー} \\ \hline \text{(B)} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{脳で発生した} \\ \text{電気エネルギー} \\ \hline \text{(C)} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{精神} \\ \text{エネルギー} \\ \hline \text{(D)} \\ \hline \end{array}$$

であり, 脳血流と脳温計測により (A) と (B) が既知となり, 脳波によって未知項だった (C) がわかれば, Berger が最終的に目的としていた精神エネルギーが算出できる。“electrical process!” の最後の “!” には, そのような意味が込められているのかもしれない。Berger がどの時点で, どこまで計画的に意識していたのかはわからないが, 脳血流計測→脳温計測→脳波と一見手当たり次第ともとれる彼の研究経歴には, このような壮大な研究構想があったと思われる。

#### 2-4 脳への電気刺激による研究

その後 Berger は, Tarchenoff が 1890 年に発見した皮膚電気反射 (Galvanic Skin Response: GSR) も 1910 年に試している<sup>1)</sup>。そして第一次大戦に軍医として参加した後 (1914~1918), 1919 年に Otto Binswanger の後継者として Jena 大学精神科の教授となった Berger

はヒトの脳への電流刺激による研究を開始した。中心溝周囲の頭蓋骨が欠損した患者の感覚運動野に微弱な電流を流し, 電流刺激に対する対側の手による反応時間を計測している。そして文献によっては, 「電気刺激の実験後に, 電気刺激装置から外した電極を電流計につないだところ脳波が計測できた。その後 Berger は電気刺激の実験をやめて, 脳波の計測に集中するようになった」と書かれている<sup>17)</sup>。

いずれにせよ, Berger による脳血流, 脳温の計測および電流刺激による反応時間の計測自体は大きな成果を生み出さなかった。しかし, 1990 年代以降に飛躍的に発展した非侵襲脳活動計測技術は,

- ① 脳活動の一次信号: 脳の神経細胞の電氣的活動の計測 (EEG: Electroencephalograph, MEG: Magnetoencephalograph)
  - ② 脳活動の二次信号: 脳の代謝活動の計測 (PET: Positron Emission Tomography, MRS: Magnetic Resonance Spectroscopy)
  - ③ 脳活動の三次信号: 脳血流の計測 (fMRI: functional Magnetic Resonance Imaging, NIRS: Near-Infrared Spectroscopy)
  - ④ 磁気刺激・電気刺激による実験的な神経心理学 (TMS: Transcranial Magnetic Stimulation, TES: Transcranial Electrical Stimulation)
- に大別できる<sup>21)</sup>。局所脳温は, 動脈血による冷却効果

が定量できれば、総合的な脳代謝の指標となる。したがって以下に述べる脳波も含めて、Bergerは100年前にこれら全ての計測を試みていたことになる。そして1900年代初頭から20年間にわたって行った頭蓋骨が欠損した患者の頭蓋開口部での脳血流・脳温計測と電気刺激による研究が、その後のヒトの脳波計測の大きな布石になった。(その2に続く)

### 謝辞

執筆にあたり、橋本文彦氏(大阪市立大学経済学部・哲学)、加藤誠氏(情報通信研究機構)の協力を得た。文献や資料を無償で送ってくれたMs. Sabine Weiß(ドイツ, イェーナ在住のツアーガイド)とProf. G. Pascaldi(Università di Bologna, Italy)に感謝する。

### 文献

- 1) Borck C: *Hirn Ströme. Eine Kulturgeschichte der Elektro-enzephalographie*. Wallstein Verlag, Göttingen, 2005.
- 2) Bauer J, Kluge H (eds): *Das wissenschaftliche Gesamtwerk des Jenaer Nervenarztes Hans Berger*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2011.
- 3) Schmidt D, Spillmann L: Guest editorial. First research on developmental amblyopia due to early deprivation—Hans Berger's experiments in 1900. *Perception* 34: 765–767, 2005.
- 4) Brodmann K: *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde*, Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1909. In Garrey LJ (ed). *Brodmann's Localisation in the Cerebral Cortex*. Springer Science + Business Media, New York, 2005.
- 5) Wiesel TN, Hubel DH: Single-cell responses in striate cortex of kittens deprived of vision in one eye. *J Neurophysiol* 26: 1003–1017, 1963.
- 6) Wiesel TN, Hubel DH: Effects of visual deprivation on morphology and physiology of cells in the cat's lateral geniculate body. *J Neurophysiol* 26: 978–993, 1963.
- 7) Berger H: *Zur Lehre von der Blutzirkulation in der Schädelhöhle des Menschen namentlich unter dem Einfluß von Medikamenten*. (Experimentelle Untersuchungen). Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1901. (文献2に部分的に収録)
- 8) Berger H: *Über die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. Weitere experimentelle Beiträge zur Lehre von der Blutzirkulation in der Schädelhöhle des Menschen*. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1904. (文献2に部分的に収録)
- 9) Berger H: *Über die körperlichen Äußerungen psychischer Zustände. Experimentelle Beiträge zur Lehre von der Blutzirkulation in der Schädelhöhle des Menschen II*. Teil. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1907. (文献2に部分的に収録)
- 10) Zago S, Ferrucci R, Marceglia S, et al: The Mosso method for recording brain pulsation: the forerunner of functional neuroimaging. *Neuroimage* 48: 652–656, 2009.
- 11) Zago S, Lorusso L, Ferrucci R, et al: Functional neuroimaging: A historical perspective. In Bright P (ed). *Neuroimaging—Methods*. InTech, pp 1–28, 2012. Available from: <http://www.intechopen.com/books/neuroimaging-methods/the-origins-of-functional-neuroimaging-techniques>
- 12) Roy CS, Sherrington CS: On the regulation of the blood-supply of the brain. *J Physiol* 11: 85–158, 1890.
- 13) Gloor P: Berger lecture. Is Berger's dream coming true? *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 90: 253–266, 1994.
- 14) Mosso A: Temperature of the brain in relation to psychical activity. *Proceedings of the Royal Society of London* 51: 83–85, 1892.
- 15) Berger H: *Untersuchungen über die Temperatur des Gehirns*. Verlag von Gustav Fischer, Jena, 1910. (文献2に部分的に収録)
- 16) Gloor P: Hans Berger and the discovery of the electroencephalogram. In Gloor P (ed). *Hans Berger on the Electroencephalogram of Man*. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol Suppl* 28. Elsevier, Amsterdam, pp 1–36, 1969.
- 17) Millett D: Hans Berger: From psychic energy to the EEG. *Perspect Biol Med* 44: 522–542, 2001.
- 18) 妹尾 学: エネルギーとその保存則. *生活工学研究* 5: 78–87, 2003.
- 19) Niedermeyer E, Schomer DL: Historical aspects of EEG. In Schomer DL, Da Silva FH Lopes (eds). *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*. Lippincott Williams & Wilkins, Baltimore, pp 1–16, 2011.
- 20) Brenninkmeijer J: Brainwaves and psyches: A genealogy of an extended self. *History of the Human Sciences* 28: 115–133, 2015.
- 21) 宮内 哲: 脳を測る—改訂 ヒトの脳機能の非侵襲的測定—. *心理学評論* 56: 414–454, 2013.
- 22) Mosso A: Applicazione della bilancia allo studio della circolazione sanguigna dell'uomo. *Atti della R Acad Lincei Mem Cl Sci Fis Mat Nat* XIX: 531–543, 1894. (文献23のAppendix 1に収録)
- 23) 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.
- 24) Borck C: Through the looking glass: Past futures of brain research. *Medicine Studies* 1: 329–338, 2009.