

機械論的生理学と動物精気の検証実験

小島 比呂志（玉川大学大学院脳科学研究科）

はじめに

脳科学の歴史において、古代エジプトから17世紀に至るまで、心と脳機能の関係がおぼろげながら明らかになって来ていた。しかし、18世紀中ごろにガルバーニが神経系において生物電気の実在を発見するまで、神経の中を「プネウマ」や「動物精気」などと呼ばれる実体の明らかになっていない流体のようなものが流れていると考えられていた。

一方、17世紀に科学革命が既に成し遂げられると、この動物精気の実在を生理学的に検証しようとする試みが始められていた。ガルバーニの発見とそれに続くマテウッチらによる近代的神経生理学の夜明けまであと一步のところまで来ていた。

この17世紀の科学革命は、ケプラー、ガリレオ、デカルト、ハーヴィ、ニュートンらによって達成され、以後の自然科学は大きく変貌し現代の形式へと整えられた。この科学革命によって達成された近現代科学は以下の3つの規範によって特徴づけられる。

- ①自律的因果法則によって自然現象を統一的に記述する。
- ②これらの法則を数学的記述によって法則定式化する。
- ③数学で表現された法則によって自然現象を予測し、これを同じ状況下で得られた実験結果と比較する。これによって法則の検証を行う。

生体の機能を追求する生理学においてもこの近現代の科学革命の影響は現れていた。しかし、16世紀から17世紀にかけての神経学の領域では、解剖学に重きが置かれており、生理学はその難しさから、依然研究が遅れていた。

本稿では、ニューロン、筋肉、シナプスなどの神経生理学が20世紀中ごろに完成される契機となったガルバーニによる生物電気の実験前夜の生理学者たちの努力を紹介する。

1. ハーヴィの血液循環説とデカルトの機械的生理学

デカルト（Rene Descartes, 1598-1650）と同時代の英国の医師ハーヴィ（William Harvey, 1578-1657）は、血液が心臓から出て体内を巡り最終的にまた心臓に戻ってくるという血液循環説を確立した（図1.1）。彼は心臓の収縮による血液の排出量を約30gと考え、心臓が1分間に72回脈打つとすれば、一時間に130kgの膨大な血液を送り出すと見積もった。さらに考察を巡らせ、この血液は、再び心臓へ戻ってくるとの考え以外に可能性がなく、静脈を通して心臓へ戻ってくると推察した。このようにして今日知られているように、血液は心臓の左心室→大動脈→全身→組織の隙間→静脈→右心房→右心室→肺→左心房→左心室と循環していることを明らかにした。ここでハーヴィは、上記のように、実際の心臓からの血液の排出量を見積もり、また心臓の拍動数の実験

データなどから簡単ではあるが、計算によって血液量を推定するという方法を採用している。この定量的方法で正しい結論に達している。これは、まさしく、ガリレオなどが実験データからモデルを立て、それから得られた



図 1.1 ハーヴィの肖像画図

予測をさらに自然の観察結果と比較するという方法と同じ推理過程である (1)。

ハーヴィは、動脈と静脈がどのように末梢で連結しているかについては、説明をしていない。動脈と静脈が末梢で連続的につながっていることを観察するためには、顕微鏡の導入が必要であり、イタリアの医師で解剖学者であったマルチェロ・マルピーギ (Marcello Malpighi, 1628-1694) のカエルの肺での毛細血管を観察した結果を待たねばならなかった。

デカルトはハーヴィの血液循環説に関する知識は既にあったが、この血液循環説をそのまま採用はしなかった。結果的に彼の血液循環に関する考え方は不十分であったが、生体を機械的なメカニズムで説明しようとする生理学的考え方をとっていた (2)。

2. 解剖学者トマス・ウィリス

ハーヴィにより心臓の働きが明らかになり、さらにグリソン (後述) によって肝臓の働きが明らかにされ、残る重要な器官として脳の正確な機能が依然不明のままであった。古代ローマの医師ガレノスは、脳室の中に存在する液体に大きな役割を与え、16世紀の解剖学者ヴェサリウスは、脳室の形状に注目していた。デカルトは精神を脳の機能によると考え、脳室と特に脳内に対を形成せず一個しか存在しない松果腺を特別な部位と考えた。

英国の医学者トマス・ウィリス (Thomas Willis, 1621-1675) はこのハーヴィの血液循環説を支持していた。ハーヴィは、オックスフォード大学で血液循環や心臓の重要性を示す公開実験を行っていたが、この公開実験にウィリスが参加していたかどうかは、はっきりわかっていない。またウィリスとハーヴィが個人的に知り合いであったかどうかは定かではない。ただ、ウィリスはハーヴィの仕事の重要性を聞き知っていた (3)。しかし、他の研究者によると、ハーヴィが1660年代にオックスフォード大学に自然哲学の講義で訪れたときにウィリスとハーヴィは出会っているとしている文献もある (4)。いずれにしろ、ウィリスはハーヴィの生理学上の重要な発見を知っていたし、ハーヴィの研究から大きな影響を受けていたと考えられる。また、1660年にロンドン王立協会 (The Royal Society of London) が創設されたとき、ウィリスはその設立メンバーの一人になっている。

このような状況下で、彼は、1664年に二部よりなる『脳の解剖学』*Cerebri Anatome* (*The Anatomy of the Brain and nerve*) を著した (図2.1)。この著書で、そ



図2.1 ウィリスの脳の解剖学の表紙の部分 左側に立っているのがクリストファー・レンで、右側で脳の部分を指示しているのがトマス・ウィリス (小島による模写)

れまで神経の機能の中心は、脳室であると考えられていた説を脳の皮質であると訂正した。

脳室論:Ventricle Cell Doctrineに象徴されるように、彼以前のルネッサンスの時代を通じて、それまでは、脳室が重要な働きをし、記憶は後脳室などに保持されていると信じられていた。さらに小脳にも記憶機能の一部が含まれている可能性も指摘されていた。ヴェサリウスは『ファブリカ』の中でもこのことを簡単に触れている。17世紀の前半では、ドイツの解剖学者ヨハン・ヴェスリング (Johann Vesling, 1598-1649) やオランダの医師でアムステルダム市長でもあったニコラス・テュルプ (Nicolaes Tulp, 1593-1674) など小脳に記憶の座が存在すると考えていた。ニコラス・テュルプについてはレンブラントの絵画のモデルとして絵画にも描かれている。これによって、脳の局在論を事実上近代化することになった。

ウィリスも最初は、小脳に記憶の座があるとする考えを受け入れていたが、このアイデアをその後否定し、記憶は大腦半球の皮質部分に存在しているとの考えを示している。現代の神経科学では、記憶は皮質全体に分散して固定されていて、必要に応じてアクセスして呼び出されていると考えられており、ウィリスの考えと基本的に一致している。皮質の表面に存在する深い溝に注目し、イヌ、ネコ、鳥類、魚類の皮質表面がヒトのそれより、

スムーズである点を指摘して、これらの動物が単純で物まねしか学習できない点を指摘している。これは、彼の臨床経験にも由来している。すなわち、皮質を損傷すると記憶障害が現れることや、生まれつき知的障害があるヒトの死後の検死からこの考えに至った。しかし、ヒトが物事を思い出そうとする際にこめかみや額をこすることから、これが皮質を刺激して記憶をよびさましている行動であると関連付けるなどの間違いも起こしている。灰白質とその下の脳梁(corpus callosum)の区別も行い、この灰白質に多くの血管が配置されていることから、精神はこの灰白質で生み出され、ここに蓄えられるとした。

彼はその他の多くの現代的視点から見てもある程度正確な記述を著作の中で行っている。さらに、フランスの科学史家カンギレムは反射の概念を最初に確立したのは、このウィリスであるとしている。ただし、その機能は、ガレノス以来受け入れられてきた「精気」の概念で説明されている。

このように、記憶は脳皮質に、想像は皮質と基底核の間の白質に、そして知覚は線条体にあるとした。彼が脳と脳神経に注目したのは、随意的及び不随動的機能の局在を探索する目的で解剖を行った結果である。はじめは、中世の解剖学者と同様に、感覚、想像・思考、記憶という三つの機能を脳室内の脳脊髄液に含まれていると考えていたが、解剖を続けるに従い、自分の考えを変更していった。またウィリスは、ヴェサリウスでは不十分にしか記述されていない脳神経に関する記述もある（第11神経など）。さらに現代においてそのメカニズムが明らかにされた重症筋無力症についても初めて記録している。このウィリスの業績を記念して、現代の国際脳卒中学会では、トマス・ウィリス賞が設けられている。

さらにウィリスは、自律神経系についても先駆的な解剖学的観察を行い、胸部の神経節鎖を「肋間神経：頸部交感神経鎖」と命名した。この肋間神経に関しては、これを切断すると、眼に関する種々の症状が出ることを1710年にフランソワ・プルフル・デュ・プティ(François Pourfour du Petit, 1664-1741)が観察した。

ウィリスの『脳の解剖学』の出版が1664年であり、デカルトは1650年に亡くなっているため、ウィリスの『脳の解剖学』の初版は目にしていないが、当然当時の正確な脳の解剖学の図はどこかで目にしていたはずである。そのデカルトでさえも精神の実態を担っているのが脳の皮質やその他の組織であるとの考えには至らなかった。

ウィリスは1637年からオックスフォード大学で古典を学び、その後医学に転向して1646年に医学の学位を取得した。

特に彼の著書における脳の解剖図は、同じ英国人のクリストファー・レン(Christopher Wren, 1632-1723)によって一部が描かれた(図2.2)。一般にレンは建築家として名が知られているが、若い頃に医学の勉強もある程度していた。その経歴によって、ウィリスの助手をしていたことがあり、その時この著書の脳の図を描いた。レンは建築家として英国でその後名を成し、ロンドンのセント・ポール教会やケンブリッジ大学、トリニティ・カレッジのレン図書館など多くの著名な建築物の設計を残している。このセント・ポール教会については、夏目漱石による逸話が残っている。夏目漱石は若いころ一時建築家になりたいと思っていた時期があった。しかし、ある人物から「建築家になるならロンドンのセント・ポール教会をつくるような建築家にならないといけない」と言われ、それは自分の才能では無理であると判断して、建築家になることを断念した。

ウィリスには印象的な逸話も残っている。1650年に乳幼児を殺したという罪で死刑の宣告をされたアン・グリーン(Anne Green)という一人の女性がいた。刑の執行日にこの女性の縛り首の刑が行われた。このとき、死体は、刑執行後30分以上経過した後、検死のために、当時検死も行っていたウィリスに引き渡された。ウィリスは、この女性の検死をしているときに彼女がまだ生きていることに気が付いた。そこで蘇生の処置を試みた結

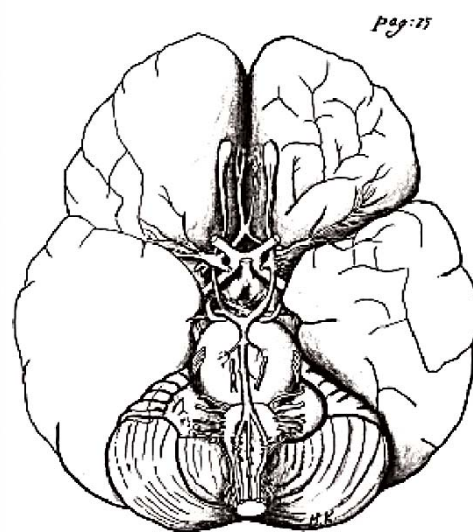


図 2.2 Cerebri Anatome 中の助手レンによって描かれた有名なヒトの脳底部の図 ウィリスの輪が描かれている

果、彼女を生き返らせることができた。その後、彼女は第二の人生を送ることができるようになった。

3. ウィリス以後の発展と動物精気の検証実験

ガレノス以来、デカルトも提唱したように、17世紀においても神経系の筋肉に対する働きに関するほとんどすべての説明は、筋肉に神経を通して一種の流体である「動物精気」が流れ込むことでこの筋肉の収縮が行われると信じられていた。さらに、この説を実験的に検証しようと試みる科学者も現れた。特に筋肉の収縮に伴うその体積変化に注目した実験が複数の研究者によって行われた。このように仮説を実験によって実際に検証しようとの試みが行われるようになったのは、17世紀に科学革命が起こったことの影響とみることができる。以下の節でこれらの代表的な検証実験をみていく。

3.1 フランシス・グリソンの実験

英国ケンブリッジの医学者フランシス・グリソン (Francis Glisson, 1599-1677) は、当時すでに科学の方法論として定着しつつあった「仮説を検証しようとする実験」を行った17世紀の医学者の一人であった。彼はどちらかというと肝臓の生理学の専門家であり、それに関する著作『肝臓の解剖学』*Anatomia hepatis* (1659) も出版している。特に、肝臓との関係で胆嚢について調べ、これが神経の入力や刺激もなしに胆汁を分泌している点に注目した。このことから、胆嚢のような分泌腺の筋肉は、内在的なエネルギーを持っていると考えようになり、この筋肉が持つ内在的エネルギーを“irritability” (被刺激性、あるいは、刺激感受性ともいう) という言葉で表現した。さらに、もしこの被刺激性が胆嚢で見いだされるならば、当然他の筋肉においてもこの被刺激性は見いだされるはずであるとの考えに至った。そこでさらに考えを進めて、この筋肉が被刺激性を持っているならば、筋肉が活動する際にこの筋肉内に動物精気である流体が流れ込むことはありえないと仮定した。結果として筋肉の膨張は起こらないはずだとの「仮説」をたてた。

そこで、実際に筋肉に被刺激性があるかというこの仮説の成否をテストするために以下の検証実験を行った。密封された容器の中に水を入れ、この中にヒトの腕を浸した。この状態で手のひらを閉じたり開いたりして、水面の上下変化を詳しく観察した。もし、動物精気である流体が、収縮によって筋肉中に流れ込むとすると腕の筋

肉が膨張する。その結果、水面の上昇が観察されるはずである。しかし、水面の上昇は観察されず、むしろ、わずかに減少した。この実験によって、グリソンは、筋肉は動物精気などの流体が流れ込むことで収縮するのではなく、筋肉がもっている内在的な被刺激性によって収縮すると結論した。さらに、彼は、動物精気という概念自体も否定し、筋肉のみならず、すべての生物組織は、この被刺激性を持つと結論づけた。ここでは、自分の仮説をたて、その検証実験を行なうという近現代科学的方法的手順が採用されている。

この学説は、当時としては、非常に有力な学説であると思なされた。すなわち、この学説のアイデアによって、小部分にスライスされた虫やウナギなどの動物が、スライス状になっても、依然として動いている点を説明でき、また、生体から取り出された心臓がしばらくの間鼓動していることを説明できるとされた。

3.2 スワンメルダムの実験とウィリス以後の脳の解剖学

1662年、オランダのライデン大学の生物学者 (昆虫の生物学を主に研究した) であり顕微鏡学者であるヤン・スワンメルダム (Jan Swammerdam, 1637-1680) も、このグリソンと同様の考えに至った。顕微鏡の発明が1590年であり、レーウエンフックが微生物を観察したのが1674年とされている。従って、スワンメルダムの顕微鏡学者としての位置づけは初期の顕微鏡学者ということになり、赤血球を初めて観察した (1658年)。顕微鏡学者らしく、今日では一般的な方法であるこの機器を利用しての標本の切りだしを行った。

彼は、実験動物としてカエルを利用し、大腿筋とこれに接続している神経線維とを一緒に切り出した標本を使用して実験を行った。この神経と筋肉を一緒に切り出した標本は、以後世界中で生理学の実験のために用いられるようになった。20世紀のバーナード・カッツ (Bernard Katz, 1911-2003) らもカエルのこの標本を用いて、シナプス伝達の生理学的メカニズムの解明を行った。スワンメルダムはこの標本において神経を刺激すると筋肉の収縮や痙縮が起こることを観察し、さらにこのカエルを利用した別の実験で、心臓を取り出しても反射的な体の反応は起こるが、頭部を切断するとこの反応が起こらなくなることも観察している。この実験から、一般的かつ自然に導かれる結論として、脳があらゆる動きの源泉であるという結果になる。しかし、スワンメルダムは、この頭部を切断したカエルで実験を行い、さらにメスで神

経を刺激すると筋肉が収縮することを見出した。これによって、筋肉は脳との直接の接続がなくても収縮することが可能であると結論づけた。これらは、筋肉が運動するためには「動物精気」が、脳から神経を通して流入する必要があるとする伝統的な考えを否定するもう一つの発見であった。

さらに、彼はガレノス以来発展させられてきた動物精気論の是非を検証するために、別の実験も行った。この説は、デカルトによって、動物精気などの流体に適応できる水力学を基礎として発展させられていた。カエルから切り出された神経線維が接続している大腿筋標本を先端が細くなった密閉したチューブの中に入れておく（図3.1）。さらにこの細くなった先端部分に少量の水を入れておく。もし、動物精気（流体と考えている）が神経を通して筋肉を収縮させるために筋肉中に流れ込むとすると、この筋肉は流れ込んだ流体によって膨張し、チューブ内の水を押し上げる。その結果、チューブの先端部にある少量の水（水泡）が押し上げられるのが観察されるはずである。しかし、この実験の結果では、そのような上昇は観察されなかった。従って、動物精気が収縮の際に筋肉内に流れ込むという説は否定され、筋肉の運動はその被刺激性（irritability）によって引き起こされるという結論が得られた。

この実験は、3.1節で前述したグリソンの実験とその目的は同じであるが、これをさらに精密にした実験である。ここでも仮説をたてて検証実験を行うという手順がとられている。このような実験的研究を行ったことにより、彼は筋収縮の実験におけるパイオニアとみなされて

いる（5）。

これらの実験以後の脳の解剖学や生理学分野の進展を簡単に見ていくと、1664年のウィリスの代表的な解剖学書の刊行以後、脳の解剖学の分野において、レイモン・ヴィユサンス（Raymond Vieussens, 1641-1715）が、1685年に『全神経図』*Neurographia universalis*を刊行した。彼はフランスの古くから伝統のある医学校、モンペリエ大学において研究をおこなっていた。

18世紀に入るとデンマーク人のヤコブ・ベニグヌス・ウインスロー（Jakob Benignus Winslow, 1669-1760）が1733年に『人体の構造についての解剖学的概説』*Exposition anatomique de la structure du corps humain*を刊行した。この著書は、その後約100年間にわたり標準的なテキストとなった。彼は、交感神経系を、小交感神経と大交感神経（神経節をもっている）との二つに分類した。また、ウィリスがヴェサリウスの誤りを訂正して脳神経を既に分類していたが、サミュエル・トーマス・フォン・ゼンメルリンク（Samuel Thomas von Soemmering, 1755-1830）が、その起始部についての記述を行った。以後、ウィリスの分類のかわりに彼による分類が、使われるようになった（6）。

1965年に我が国の山本長三郎博士と英国のマッキルウィン（McIlwain）博士によって、嗅覚の急性スライス標本が電気生理学実験に初めて導入された。この導入以来、電気生理学実験において*in vitro*（試験管の中で、を意味するラテン語で、反対語は*in vivo*）の代表的な標本として、ノマルスキー顕微鏡下に神経細胞を直接同定することが可能なこのスライス標本を利用するのが一般的となっている。ここでは、標本を灌流するために、人工脳脊髄液（artificial cerebro-spinal fluid）が調合されているが、この脳脊髄液は、イタリアのドメニコ・コトゥーニョ（Domenico Cotugno, 1736-1822）によって1774年に発見された。

18世紀の生理学の発展においてはブルハーフェ（Hermann Boerhaave, 1668-1738）の貢献が重要である。このブルハーフェは、1701年にオランダ、ライデン大学の教授に任命された。彼は、生理学のみならず医学一般に広い業績を上げ、また多くの弟子を育てた。ライデン大学を一流の医学校へ押し上げ、近代におけるもっとも偉大な医師の一人とみなされている。ゲッティンゲン大学を拠点として実験医学を研究した医学者であり詩人でもあったハラー（下記）は、スイスから彼のもとへやっ

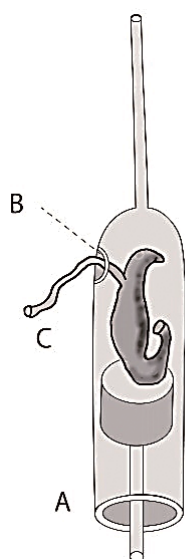


図 3.1 スワメルダムの実験装置

て来て医学を学んでいる。また徹底した唯物論者のラ・メトリもパリから彼のもとへ留学して医学を本格的に学びなおしている。プールハーフェによる生理学の著作『医学概要』*Institutiones Medicae*は、当時のヨーロッパのあらゆる医学校で使用された。彼の名声は、中国までも達しており、中国から出したプールハーフェ宛の手紙は、「ヨーロッパ、プールハーフェ教授」と宛名を書くだけで、配達されたと言われている (7)。

3.3 生理学者であり詩人であったスイスのハラー

18世紀に入るとスイス、ベルン生まれの医師アルブレヒト・フォン・ハラー (Albrecht von Haller, 1708-1777) が大きな業績をあげた。彼は18世紀のもっとも偉大な医学者の一人に数えられ、多方面にわたって多くの業績を上げた。ドイツのチュービンゲンとオランダのライデン大学 (Universiteit Leiden) で医学を学んだ。ライデン大学は1575年に設立され、現存するオランダ国内の大学としては最も古い大学である。ここでは、当時ヨーロッパ随一の医学者とみなされていた前節でふれたプールハーフェに学んだ。このプールハーフェは、ラテン名フランシスクス・シルヴィウス (Franciscus Sylvius, 1614-1672: 本名、フランツ・デ・レ・ボーエ Franz de le Boë) の後継者である。17世紀のライデン大学は、当時のオランダの自由な空気を求めて、デカルト、レンブラント、スピノザ、グロティウスなどの活動の拠点となっていた。ハラーはその後、ドイツのゲッティンゲン大学の教授の地位に17年間あった。このゲッティンゲン大学に着任する前は、故郷のベルンで医師として活動しながら、詩人としても著名であり、著作『アルプスの山々』*Alpen*などを1729年に著した。

ハラーはゲッティンゲンに着任してから、学者としての活動が本格化し、解剖学・外科学・植物学の教授として活動し、植物園や図書館を整備し、ゲッティンゲン学術新聞を創刊した。さらにゲッティンゲン王立科学協会を設立した。1200編以上の論文を著し、その中には、2編の百科事典なども含んでいる。特に重要な著作は、1757-1766年にかけて出版された8巻の『人体生理学要論』(*Elementa physiologiae corporis humani*、英訳: *Elements of Physiology*) である。この本は余すところなく生理学に関しての内容を含んでおり、フランスの生理学者マジヤンディをして「いつも新しいことを考えると、ハラーが既に行っていた」と不平を言わしめるほどであった。また、1747年に出版された『生理学初

歩』(*Primae lineae physiologiae*、英訳: *First Lines of Physiology*) はラテン語で書かれており、多くの大学で使われるなど、学生の標準的な教科書として定評があった。この著書は、ラテン語から英語、ドイツ語、フランス語などにも翻訳されている。彼はまた実験家としても有名で、自説を実験によって確かめるために多種にわたる動物を使った。

ハラーは、ニュートンが確立した力学の影響を強く受けていて、生体がいわゆる「魂」によって支配されているという考え方に反対の立場をとっていた。すなわち、ヒトの体は宇宙を支配している基本的な法則とおなじ法則に従って機能が営まれていると考えていた。これは、明らかに17世紀の科学革命の影響を受け、近現代科学の特徴へと近づいていることを示唆している。この考えに従って、魂と独立に働く基本的な生理学的な力として自ら運動し純粋に機械的な「刺激感応性」という考え方を採用していた。しかし、体の組織全体について「irritability: 刺激感応性」という性質を想定していたグリソンと異なり、ハラーは、この刺激感応性を筋肉のみに限定した (3.1節参照)。そして、筋肉が生体から切り離された後でも、運動する能力を持っていることを多くの例でもって示した。このことが、筋肉線維が、神経インパルスや他の刺激に対して反応して力を生み出す物理学的な性質 (*vis insita*) を持っているという証明であると考えていた。

一方、ハラーは、神経系はこれとは異なるタイプの生理学的な性質を持っていると考え、これを「sensibility: 感受性」とよんだ。さらに、この感受性が、感覚情報を(魂の場である) 脳へと伝達し、また、筋肉を収縮させる引き金になるとした。そして、以前は動物精気とよばれていたこの力を新しく定義しなおし *vis nervosa* (いわば「神経力」) とよんだ。しかし、この力にはなんら神秘的な要素はなく、これは、希薄な、無色・無臭でなんの味もしない一種の液体に過ぎないとした。これは、言葉を変えたと、デカルトが、彼の機械論的生理学で展開した水力学的に定義した物理的世界に属する力である。

このように「筋肉の刺激感応性」と「神経の感受性」を区別することで、アリストテレス以来漠然と考えられてきた「魂の力」のような曖昧なものによって体が動かされているという説を否定する立場になった。すなわち、刺激に対して反応する力学的なシステムによって体が動かされているという考えである。このハラーの学説は、神経系の機能についての現代的な解釈を推し進めること

になり、またこの学説は、実験によって検証することも可能である。すなわち、体のどの部位を刺激すれば、筋肉の収縮がおこり、また他のどの部位を刺激すれば、動物が苦痛を感じるかをテストすることが実際に可能である。実際に、ハラーは多くの多様な動物を使い、200回に及ぶ動物実験を行って実験的に彼の学説を検証しようと試みた。この際、刺激としては針で刺し、また刺激性の化学物質を木片で与えるなどの多様な刺激方法を用いた。この実験の成果を1752年に「人体の感受的部分と刺激感応的部分について」という論文として発表した。一方、この論文は、動物に対する残酷な実験であるとして大きな批判も浴びた。

ハラーは、脳に対しても同様の実験を行った。この実験によって、大脳皮質と小脳の表面の灰白質は、刺激に対して感受性がなく、痛みや運動を生じさせないことを観察した。一方、白質に刺激を加えると、動物は苦痛で悲鳴を上げ、しばしば激しい発作を引き起こすことが観察された。これらの効果は、視床や延髄などを含む多数の脳領域で観察された。これらの結果から、ハラーは、触れられた印象を脳に伝える感受性がある部位と運動を引き起こす刺激反応性の部位の両方が脳の灰白質に存在すると結論した。しかしながら、ハラーは、この実験で灰白質のすべての領域間における機能性の違いを明確に区別することができなかったため、脳神経と脊髄の起始部である延髄を最も「普遍的な感覚sensus communis」が存在する部位と結論した。また、神経が最初に形成されるはじまる部位が、心の宿る場所であるとの学説を提唱した。このハラーの考えは、ウィリスの主張する「大脳皮質や線条体、小脳に異なる機能が局在する」という考え方に反する説であることを彼は十分認識していた。しかしハラーは、自分の確固たる実験結果から得られた結論の方を確信し、ウィリスの類推による方法を批判していた。

このように、多様な業績を残したハラーであるが、彼の業績を現代の神経科学の視点でまとめると以下になる。①神経の働きについても古代から続く神経の内部にある種の流体が流れているという考察や、精神の座に関する考察を多くの観察事実を基礎に刷新して、近代的な神経系の理論を作り上げた。②さらに、筋線維の研究を行い、筋線維は何らかの刺激によって収縮し、その後再び元の長さに戻る傾向を持っていると指摘した。そして、この性質が心臓や腸管の運動の一因になっていると認識した。③またこの筋肉の収縮に関与する作用以外

に、この筋肉へ脳からの作用が伝達されていることを実験的に示した。このように脳からの運動経路を考察したと同時に、感覚器の側から神経が脳へと集まる様子も明らかにした。④これらの観察及び実験結果から、大脳皮質が重要であることを認識し、その中心部に魂の本質的部位が存在すると考えた(8)。

彼はこのような精神の座に関する問題を考えるにあたって、単なる推測によって不明瞭な点を発展させることを行わず、観察と実験で得られた経験的な事柄から推測できることとそうでないことの区別をつけている。その意味では、ハラーは、生理学者としてデカルトやウィリスより、近代の科学の方法に近づいているといえる。

彼の業績や学説をみると、17世紀の科学革命が確立され、近現代的な意味での科学の規範が整いつつある18世紀の科学者である特徴を示していることが理解できる。特に実験の重要性を強調し、実験の裏付けがない推論を退ける点など明らかである。例えば、彼と同じライデン大学の師であるブールハーフェに師事した唯物論者の医師ラ・メトリなどの著書に対しては非常に批判的であった。

3.4 ロバート・ホイットの業績

ハラーは近現代的な科学的方法で実験を精力的に行ったが、生理学から動物精気や生氣論といった概念を分離することはできなかった。むしろ、このハラーの説に反対するアリストテレス-ガレノスの伝統的思想を継承するグループの方が、当時はより影響力が強かった。この伝統的思想では、生きている生体は、その身体を動かすために神秘的で非物質的な魂のような力を含んでいるとしていた。ハラーの彼らの学説に対する手厳しい批判は、スコットランド人のロバート・ホイット(Robert Whytt, 1714-1766)に向けられた。このホイットは、エディンバラ大学の教授で、ロンドン、パリ、ライデンで医学を学び、その後スコットランド国王の侍医になった。

ホイットは、忠実な生氣論者であり、1751年に強力に自身の考えを擁護するための意見を発表した。この中で、心臓の鼓動や他の生命に本質的な運動を生じさせている力学的な生理学的システムの可能性を、レベルが低く不合理であるとした。そしてどのような哲学者によっても採用されるべきではない概念であるとした。一方で、「感覚原理sensitive principle」とよばれる非物質的な力の存在を信じ、この力が、体に生命を吹き込み、自動運動を行うために脳と神経全体にわたって作用して

いるとした。筋肉は収縮する力学的な能力を持っていることを否定はしなかったが、神経に流れ込む「能動的な原理 active principle」によって起動させられるのであれば、収縮することはできないと信じていた。ハラーは、ホイットの批判をよく認識していたので、強力に自分の刺激感应性と感受性の学説を擁護し、彼らの間の論争は1766年のホイットの死まで続いた。ハラーが指摘したように、ホイットも首を切断された動物が死後も動いたり痙攣をおこしたりすることがある事実は認めていた。そして、ハラーによると、この事実は「刺激感应性」が存在する証拠であるとされていた。しかし、これに関しても、ホイットは死後も筋肉中に少量の「感覚原理 sentient principle」が残っているためであるという説明を行った。

ホイットは2つの実験によって、自説を裏付けようとした。

- (1) 神経をつまんで刺激を加え、あるいは、熱で刺激すると、筋肉は確かに収縮するが、脊髄がこの神経と一緒にくっついていての方が、より大きな反応が引き起こされる。彼は、この実験事実によって、「感覚原理 sentient principle」が神経系の中に存在するとすれば、自説をよく理解できるとした。
- (2) 脳を破壊したカエルの体は、最初は弛緩しているが、次第に座っている姿勢をとるようになる。さらに反射をも行うことができる。脳がないカエルでも、その足をつまむと、刺激から逃れるように反応するということが観察した。ホイットによれば、これらの反応はハラーの刺激感应性という考えを支持していないが、脊髄の中に感覚原理 sentient principle が存在するとすれば説明可能であるとし、自説が正しい証拠であるとされた。実際このような反射が起こるためには、脊髄の一部が残っていれば十分であるという実験も行い、自説を支持する証拠と考えた。

ホイット自身は、知らなかったが、これは、今日われわれが知っている脊髄反射の最初の実験を示すものであり、脳からの神経支配がなくても脊髄のみによって制御されている単純な自動運動の例である。

ハラーとホイットの論争は、18世紀の生理学者を二分する大きな論争へと発展した。この論争でのキーとなる点は二つあり、

- (1) デカルトが提唱したように、身体と器官は、運動を遂行し、それを制御することができる自動機械であるのか？

- (2) 古代ギリシャの自然哲学者が提唱したように、定義できない魂のようなもの「感覚原理 sentient principle」が存在し、作用しているのか？

これらの論点は、神経系と脳を理解するために必要な深い示唆を与えるポイントとなる点であった。しかし、このハラーとホイットの両者も知る由もなく、この疑問は、1790年代にイタリアの生理学者ルイジ・ガルバーニ (Luigi Galvani) による動物電気の発見によって全く新しい次元の問題へと移っていった。

このガルバーニの発見は、当初、脳によって作られた非物質的な力の作用が神経系内を灌流しているという説を支持した。しかし、すぐに電気の知識が、ホイットの「感覚原理 sentient principle」やハラーの「刺激感应性と感受性という定式化」に取って代わることになった。

このハラーの刺激感应性や感受性という考えは、その後、フランスの生理学者で解剖学者であるマリー・フランソワ・クサヴィエ・ピシャ (Marie François Xavier Bichat, 1771-1802) やクロード・ベルナール (Claude Bernard, 1813-1878) などにもその本来の意味に変更を加えながらも別の形で受け継がれた。特にベルナールにおいては、感受性は、刺激感应性の特殊な一様態にすぎず、この刺激感应性が生体において基本的なものであり、さらに組織（この場合、細胞に相当）の原形質が、この刺激反応性の特性を示す場であると結論した。ただし、ベルナールは、「刺激感应性も感受性も、われわれの精神の創造物であり、いかなる働きかけも及ぼすことができないような形而上学的な表象である。われわれは、非物質的なものである刺激感应性には本当の意味では到達することができない。われわれが到達できるのは物質的な原形質のみである」と結論し、刺激感应性は、形而上学的概念であるとして科学的研究の対象から除外するような考え方も示している。ここには、彼の実証主義的な哲学の背景がある。

神経生理学の分野のウィリス以後の発展は以上であるが、これ以降は、ガルバーニの発見へと引き継がれ、「はじめに」に記述したような重要な一連の発見と研究が行われた。これらは、ヒトではなく、下等な動物を利用して行われた。20世紀の神経生理学上の重要な研究が、ヒトではなく、比較的下等な動物の標本を使って行われたという点は、注目すべき点である。これはやはり、19世紀後半から提唱されてきたダーウィンの進化論が大きな役割を果たしている。下等な動物で行われている基本的なメカニズムは、高等な動物でも保存されているとす

る暗黙の了解が、その背景にあると考えられる。

3.5 ハラーの人物像についてカサノヴァの描写

上記のハラーについて、その人となりを実際に彼に会ってその感想を書き残している人物がいる。その人物とは、イタリア、ヴェネチア生まれのジャック・カサノヴァ・サンガール（Jacques Casanova de Seingalt, 1725-1798）である。彼の著した有名な著書、『カサノヴァ回想録』*Histoire de ma vie*の中で、彼が、ハラーに会った時の様子を生き生きと描いている。少々長いが、ハラーという人物を知るために、引用する（9）。

■わたしは、背丈が1メートル95センチもある立派な風貌をした大男に会った。彼はド・ミュラール氏の手紙を読むと、非常に丁寧にもてなしてくれた。そして、知識の宝庫をわたくしのために開き、わたしのいっさいの質問に対して正確に、しかも極端と思えるほどの謙虚さをもって答えてくれた。彼はわたしにものを教えるとき、まるで学生のような態度を示そうとしたからである。同じように、彼がわたしに科学上の質問をするとき、そこにはわたしが返事を間違えないようにしなければならぬほどの知識が見出された。この男は大生理学者であり、医者にして解剖学者だった。そして、彼が先生とよんでいるモルガニと同じく、小宇宙界に数々の新しい発見をした。

彼の家に滞在中に、彼はわたしに、モルガニのおびただしい手紙や、同じ大学の植物学の教授であるポンテデラ（モルガニもポンテデラもともに、パトヴァ大学の教授で、カサノヴァはその講義をうけた）の手紙を見せてくれた。ハラーもまた、大変すぐれた植物学者だったからである。わたしが教えを受けたこれらの大学者についての話をわたしの口からきいた彼は、やさしくポンテデラのことを嘆いた。というのは、ポンテデラの手紙はほとんど判読できず、その上に、彼のラテン語は極めて曖昧だったからである。ベルリンのあるアカデミー会員は、プロシャ王がハラーの手紙を読んで以来、二度とラテン語の全面的な廃止を考えなくなった、と彼に手紙をよこした。ハラーはプロシャ王宛ての手紙でこう書いたのである。「文学共和国から、キケロとホラチウスの言語を追放することに成功した君主は、自らの無知に対する不滅の記念碑を建てることになりました。もし文学者たちが、自分たちの知識を伝えあうに共通言語を持たねばならないとすれば、死語のなかで最も純粋なものは、も

しろんラテン語です。ギリシャ語アラビア語の支配は終わったからです。」

ハラーはピンダロス（ギリシャの大詩人）ふうの大詩人であるとともに、祖国に大いに貢献した立派な政治家だった。彼の素行はつねに、じつに純粹だった。彼はわたしに、人に掟を課し得る唯一の方法は、例えばその掟のすぐれた価値を証明することにあると言った。彼は良き市民であったので、家庭にあっても素晴らしい父親でなければならなかった。わたしは、彼がそのような人間であることを認めた。彼には妻がいたが、それは最初の妻を亡くしてしばらく後に結婚した妻で、顔は美しく、賢かった。十八歳になる彼の娘は、食卓では傍らの青年にときどき低い声で話しかけるだけだった。食後に主人と二人だけになったときに、わたしは娘の横にいた青年は誰かと彼に尋ねた。

「家庭教師です」

「あのような先生と生徒では、じきに恋人同士になってしまうでしょうね」

「そうならなければありがたいんですがね」

このソクラテスふうの返事を受けたわたしは、思慮のない自分の愚かな無作法さに気がついた。わたしは、彼の書物の八折判の巻を開き、次の言葉を読んだ。『予は記憶が死後にも残ることを疑う』（アルフレッド・フォン・ハラー）

「すると、記憶は魂の本質的な部分だとは思いませんか？」とわたしは聞いた。

「その質問には、どう答えればいいでしょうか？」とハラーは、謙虚に返事をした。

この賢者はここで、間接的な方法を用いなければならなかった。彼には、自分の正統さを疑われたくないという、さまざまな理由があったからである。

わたしは食卓で、ヴォルテール氏はしばしば訪ねてくるかと彼にきいた。彼は微笑しながら、理性の大詩人の次の詩句を読みあげた。『穀物の神ケレスの、聖なる神秘の幕をはぐ者とは、同じ屋根の下に住まず』（ホラチウス）この返事をきいて以来わたしは、彼と共に過ごした三日間というもの、宗教の話は二度としなかった。わたしが、有名なヴォルテールに会いにいけることをたのしみにしていると言うと、彼は、きみがあの男と知り合いになりたいと思うのはもっともだが、何人もの人間が自然の法則に反して、『近くで見るより遠くから見るほうが偉大だ』（ラ・フォンテーヌ）と言っている、と少しもとげとげしくなく答えた。

ハラー氏の食卓は、料理は極めて豊富だが大変質素だった。彼は水しか飲まず、デザートにも、大きなコップにリキュールを少し入れて飲むだけだった。彼は、自分がその愛弟子だったブルハーフェ（注1）のことを盛んに話した。そして、ヒポクラテス以後、ブルハーフェはあらゆる医者の中で最も偉大な医者であり、ヒポクラテス以来この世に存在した、いっさいの一級化学者のなかでも最大の化学者だとわたしに言った。

「でも、彼はどうして長生きしなかったんでしょう？」

「死に勝る薬はなし、と言いますからね。しかし、ホメロスが根っからの詩人として生まれてきたように、もしブルハーフェが医者として生まれてこなかったら、十四歳前に、いかなる医者も治せない有毒潰瘍によって死んでいたでしょうよ。彼は、普通の塩を自分の尿にひたし、それをこすりつけて治したんです」

「夫人はわたしに、彼が賢者の石（ラテン語：lapis philosophorum、英語：philosopher's stone）（注2）を持っていたとおっしゃいましたが」

「そうは言われていますが、わたくしはそうは思いません」

「あなたは、賢者の石はつくれるとお思いですか？」

「わたしは三十年も研究しましたが、つくれないことが分かりましたよ。でも、まだ絶対的な確信をもったわけではありません。その大仕事の可能性を物理学と認めない限りは、人は立派な化学者ではあり得ませんよ」

暇を告げると、彼は、大ヴォルテールについてのわたしの考えをどうか手紙で教えてもらいたいと言った。これがきっかけで、われわれはフランス語で文通することになった。わたしは、この男の手紙を二十二通持っているが、その最後のものには、彼の死の六か月前の日付がついている。彼もまた夭逝したのである。わたしは年をとればとるほど、昔の文書をなつかしく思う。それは、わたしを生に執着させ、死を憎ませる真の宝なのだ。

わたしはベルンで、ちょうどルソーの小説『新エロイズ』を読んだところだったので、ハラー氏がルソーについてどう考えているかを聞いたかった。彼は、友人を満足させるために少しだけこの小説を読んでみたが、それだけで十分に作品全体を判断できると言った。

「あれは、あらゆる小説の中で最もつまらぬものですね。なぜかと言えば、雄弁すぎますものね。ヴォー地方を見て下さいよ。あそこは美しいところですが、ルソーが描いている華やかな描写の源がそこに見られると期待してはいけませんよ。ルソーは、小説では嘘が許される

と思ったのです。あなたの国のペトラルカは嘘をつきませんでしたよ。わたしは彼のラテン語で書かれた作品を持っていますが、そのラテン語が美しくないから、誰ももうそれを読まないというのは間違いです。ペトラルカは学者でした。そして、彼が愛した貞淑なラウラへの恋では、ぺてん師みたいなことは全くしません。ひとりの女に恋し、愛する他の男たちと少しも変わりがなかったのです。もし、ラウラがペトラルカを幸せにしなかったら、彼は、彼女をほめたたえたりはしなかったでしょう」

このようにハラー氏はルソーから脱線してペトラルカについて語ったが、ルソーのことは、その雄弁ささえもそれが単に対句と逆説によって光っているにすぎないと言って、好まなかった。この大柄のスイス人は第一級の学者ではあったが、彼は街いにより、家庭にあるときに学者であったのではなかったし、また、科学的な話などを必要とせず楽しむために話をする人たちと共にいるときにも、決して学者ぶらなかつた。彼は、どんな人ともうまく話を合わせ、愛想もよく、誰からもいやがられなかつた。だが、彼にはいったい、そのように誰にも気に入られるいかなる要素があつたのか？ わたしはそれについて何も知らない。彼は自分が持っていることより、持っていないことを喋るほうがより楽だったのだろう。彼には、才人とか学者とか呼ばれる人間にあるあの欠点は、ひとつとしてなかつたのである。

彼の美德はきびしいものだったが、彼はそのきびしさを、つとめて人にさとられないように注意した。もちろん彼は、愚かな自分の立場に甘んじないで、でたらめに何のことも話したが、ものを知っている人たちを嘲笑しようとする無知な連中を軽蔑していた。しかし、彼はそれを表にあらわさなかつた。軽蔑された無知な者は相手を憎むということをよく知っていたし、憎まれることを望まなかつたからである。ハラー氏は、自分の考えていることを人に推察されがらない学者だった。というのは、彼はなんの隠し立てもしなかつたからだ。そして彼は、自分の評判を利用しようとはしなかつた。話上手な彼はいろいろな話をしたが、仲間の誰もがその話を邪魔したりはしなかつた。また、自分の著書のことは決して語らず、人がその話をする話題をそらした、そして、人と意見を異にするときには、残念そうに反対した。■

筆者注1) ここでのブルハーフェとは、オランダのライデン大学教授で、当時ヨーロッパ随一の医

学者とみなされていたブルハーフェ (1668-1738) のことである。

筆者注2) 中世の錬金術師が、他の金属を金に変えることができると信じた仮説的な物質。

このように、カサノヴァは、ハラーに対して最大級ともいえる賛辞でもって表現し、彼のことを称えている。また、この中で、ハラーは錬金術に関して否定的な意見を述べて、この仮説の検証は物理学の仕事であるとして、現代の核物理学を予言しているかのようなのである。さらに神経を伝達する信号の速度に関しても19世紀のミュラーやヘルムホルツよりはやくから興味を示し、詩人らしくローマの詩人アエネイス (Aeneis) の詩の一節を音読できる速度をもとに、一分間に舌の筋肉を収縮する回数からその速度を測ることを試みている。

本稿は文献 (10) 第9章を一部改変した。

参考文献

1. 城戸義明 (2016) 『科学とはなにか、科学はどこへ行くのか』, 三恵社
2. 小林道夫 (2006) 『デカルト入門』, 筑摩書房.
3. Finger, S. (2000) Minds behind the Brain. A History of the Pioneers and their Discoveries. Oxford University Press.
4. Clarac, F., Ternaux, J-P. (2008) Encyclopédie Historique des Neurosciences. De Boeck.
5. Wickens, P. (2015) A History of the brain: From Stone Age surgery to modern neuroscience, Psychology Press.
6. Singer, C., Underwood, E. A. (1962) A Short History of Medicine, 2nd ed. Oxford at the Clarendon Press. シンガー、アンダーウッド『医学の歴史』, 朝倉書店, p247.
7. Singer, C., Underwood, E. A. (1962) A Short History of Medicine, 2nd ed., Oxford at the Clarendon Press. シンガー・アンダーウッド『医学の歴史』, 朝倉書店, p153.
8. Singer, C., Underwood, E. A. (1962) A Short History of Medicine, 2nd ed. Oxford at the Clarendon Press. シンガー・アンダーウッド『医学の歴史』, 朝倉書店, p158.
9. Jacques Casanova de Seingalt (1960) Histoire de Ma Vie jusqu'à l'an 1797. ジャック・カサノヴァ・サンガー, 窪田般彌訳 (1995) 『カサノヴァ回想録』 6, 河出文庫
10. 小島比呂志, 奥野クロエ (2017) 『心はいつ脳に宿ったのか: 神経生理学の源流を訪ねて』, 海鳴社.