

# 清 穆

おだやかなること

BOKUJO SEIFŪ

# 風 如

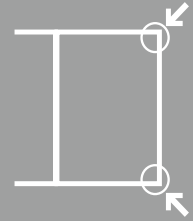
きよきかぜのごとし

**複雑系**と医療の原点

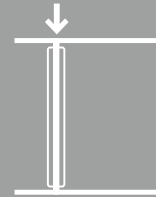
中田力



四隅 クリックでページ移動 (全 11 ページ)



中央 クリックで全画面表示 (再クリックで標準モードに復帰)



\* OS・ブラウザのバージョン等により機能が制限される場合があります。

## 第3章 — アインシュタインの博士論文

### ●ターヘル・アナトミア

医学部に入って最初に習うものは解剖学である。

構造を知ることが機能を知ることへの第一歩であり、人間の身体がどのように出来上がっているかを理解しないまま医学を学ぶことは不可能なのである。医師になるための道は、まず、自ら人体を解剖することから始まる。

英語のアナトミー (anatomy) は「切り開く、切り離す」という意味のギリシャ語から来ている。人体解剖の授業はまさにその通りの作業をこなす過程であるが、それは同時に、医学生たちに、自分たちがもう戻ることのできない一線を越えてしまったことをはっきりと意識させることにも役立つている。

日本において最初に人体解剖を行ったのは山脇東洋とされる。1754年のことである

から、西洋諸国と比較するとかなり遅いことになる。肉食文化の世界では動物の解体は日常作業であったが、日本においては「卑しいこと」とされていた。医師という職業もあまり高貴なものとは考えられていなかった時代である。そんな中、人体を解剖する行為は、「学術的」というよりは「猟奇的」とされていたのだろう。それでも日本の近代医学も徐々にその夜明けを迎えることとなり、1774年、杉田玄白の翻訳書「解体新書」の刊行へとつながったのである。

人種による能力差がないように、人間の叡智の発芽には地域差は存在しない。ただ、それぞれの時代背景に従った、適応のための装飾があるだけである。東洋古典医学における解剖学の遅延は儒教思想に基づいた死者への畏敬と儀礼によるところが強く、医学における解剖学の大切さの認識が東洋に薄かったというわけではない。むしろ、東洋における哲学の充実度の表れである。

生体における機能構築は特殊な構造形成によってなされている。従って、医学の基本が形態学であることは否定し難い。必然的に、生理的構造にせよ病理的構造にせよ、人体が示す様々な形態形成は詳細に検索されることとなる。発生学においても、受精から成体まで、

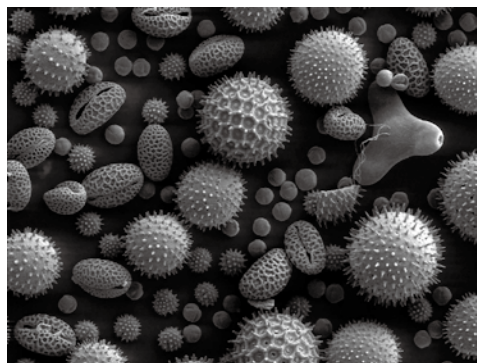


図5 走査電子顕微鏡で撮影された様々な花粉

どのような構造がどの時期にどのように形づけられていくかが正確に記載されている。

構造を検索する技術も大きく進歩した。

まず登場したのは光学顕微鏡である。今でも医療現場で必須のアイテムである。他の説を唱える学者もいるが、光学顕微鏡と望遠鏡の開発は同時になされ、ヤンセン<sup>1)</sup>の手によるとするのが一般的である。次に登場したのが電子顕微鏡でルスカ<sup>2)</sup>を開発者とする。電子顕微鏡はプロの間では大変重宝がられたが、その画像が一般社会に回ることはなかった。

鏡で、普通の人にも馴染みのある三次元表面画像(図5)を与えることから、電子顕微鏡写真がバラエティ番組にまで登場するようになったのである。

21世紀に入っても進化の速度を緩めない顕微鏡の世界は、今や分子レベルまでも直接可

視化できる時代に突入している。

### ●触らない解剖学

「切り開く」ことから始まった解剖学が「切り開かない解剖学」へと移行を始めたのは20世紀後半である。先陣を切ったのがコンピュータ断層(CT)で、1972年に登場したこのX線画像の革命児は瞬く間に医療の世界を一変させた。産みの親であるハンスフィールド<sup>4)</sup>とコーマック<sup>5)</sup>は1979年、ノーベル医学・生理学賞を受けている。

CTが実践医療、特に脳神経学へ与えた影響は計り知れない。単純X線写真の時代は、頭蓋骨の写真是撮れるものの、頭蓋に収められた脳そのものを映し出す技術は存在しなかった。脳神経学は脳の病気を対象とする臨床であるのに、頭蓋を開けない限り脳そのものを見る方法がなかったのである。CTのおかげで脳神経疾患の診断学は驚愕するほどの進歩を遂げた。

ところが、医療革命とまで言われたCTの登場から数年も経たないうちに、その天下を

4) Godfrey N. Hounsfield

5) Allan M. Cormack

1) Zacharias Jansen

2) Ernst Ruska

3) Max Knoll

あっさり奪い取ってしまう全く新しい画像法が生まれた。磁気共鳴画像(MRI)である。それはまた、レントゲン以来画像診断の根幹をなしていたX線そのものを無用とする技術だった。100年にわたって使われてきた「放射線診断学」という名称すらも消し去ってしまったこの新時代の画像学は、水分子の画像学である。

画像診断学への応用が比較的遅かったおかげで新しい学問と考えられやすいMRIであるが、その歴史は割と古い。MRIの基本となる物理現象である核磁気共鳴(NMR)の誕生は1946年に遡る。原子核の磁化が示す物理現象に関する二つの論文がほとんど同時に発表された時である。一つ目の論文は東海岸の雄ハーバード大学から<sup>6)</sup>、もう一つは西海岸の雄スタンフォード大学からの報告<sup>7)</sup>であった。ハーバードチームのリーダーは物理学の若きエース、34歳のパーセル<sup>8)</sup>、スタンフォードチームを率いていたのは41歳の主任教授ブロック<sup>9)</sup>であったが、二人は1952年、ノーベル物理学賞を分け合っている。

その後、NMRはコンピュータ技術の進歩によってフリーエ化され、構造解析の手段としてなくてはならない存在となる。これは1991年、ノーベル化学賞に輝いたエルンスト<sup>10)</sup>に率いられたNMR装置の大手メーカー、ヴァリアン(Varian)の業績による。実際のと

ころ、エルンスト自身が語っているように、このフリーエNMRのアイデアはエルンストのオリジナルではなくジェイナー<sup>11)</sup>のものであった。彼は論文を書かずにほとんど自分のアイデアを公開し、NMRの発展に大きく貢献したことで有名な科学者であるが、フリーエNMR同様、MRIが生まれるための最大の成果であるNMRの多次元化で名を残した。こちらの方は、後々の科学者が彼のセミナーでの発表<sup>12)</sup>を論文同様に扱ったことでジェイナーのクレジットが確保されたという心温まる話がおまけに付いてくる。

古今東西、ジェイナーのように科学の発展が誰の成果とされるかには興味がなく、ほとんど自説を公開して人類に貢献しようとする科学者はいるが、エルンストのように正直にすべてを話す科学者はほとんどいない。むしろ、不必要にクレジットをめぐる争いが起こることの方が多い。MRI開発が誰の手になるかの論争は、その典型である。最終的にMRIのノーベル医学・生理学賞を2003年に獲得したのはローター<sup>13)</sup>とマンズフィールド<sup>14)</sup>である。前者がMRIの基礎理論、後者がEPI撮像法<sup>15)</sup>の提唱者であるが、この二人の組み合わせでMRIの成果論争に決着をつけたカロリンスカ研究所の妥協の仕方は、ある意味天才的と言える。

11) Jean Jeener

12) Ampère International Summer School in Basko Polje, Yugoslavia (1971)

13) Paul C. Lauterbur 14) Peter Mansfield

15) Echo Planar Imagingと呼ばれる、ファンクショナルMRIには必須の超高速撮像法のこと

6) Purcell EM, Torrey HC, Pound RV: Phys Rev 69: 37, 1946.

7) Bloch F, Hansen WW, Packard ME: Phys Rev 69: 127, 1946.

8) Edward Mills Purcell 9) Felix Bloch

10) Richard R. Ernst



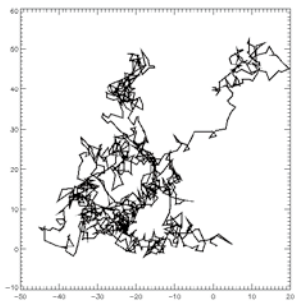


図6 ブラウン運動

ボルツマンを祖とする統計力学の代表的存在がブラウン運動である(図6)。現象そのものはイギリスの植物学者ブラウン<sup>19)</sup>が、水に浮かべた花粉を顕微鏡で観察していた時に発見したものであるが、その数理解析がアイ

ン・ボルツマンを祖とする統計力学の代表的存在がブラウン運動である(図6)。現象そのものはイギリスの植物学者ブラウン<sup>19)</sup>が、水に浮かべた花粉を顕微鏡で観察していた時に発見したものであるが、その数理解析がアイ

ン・ボルツマンを祖とする統計力学の代表的存在がブラウン運動である(図6)。現象そのものはイギリスの植物学者ブラウン<sup>19)</sup>が、水に浮かべた花粉を顕微鏡で観察していた時に発見したものであるが、その数理解析がアイ

17)  $S = k \log_e W$

18) Claude Elwood Shannon

19) Robert Brown

### ●見ても分からない設計図

MRIは量子力学の申し子である。そして、量子力学は熱力学の範疇に入る。

19世紀の終わり、熱力学の近代化を成し遂げ、人類が近代科学に向けて出発する大きな足掛かりを築いたのがボルツマン<sup>16)</sup>である。一言でその業績を表すとしたら、確率と統計の概念を物理学に持ち込んだことと言える。今では当たり前のことであるが、ボルツマンの時代には簡単には受け入れ難い概念であった。結果として、ボルツマンも、優秀な人間が

MRIは極端に守備範囲の広い画像技術としても名高い。今や、構造のみならず脳機能を直接可視化する技術として広く世の中に知れ渡っている。一般にファンクショナルMRIと総称される画像法である。医療における最終兵器として注目されているものは、病理検査と同等の画像を与える生体病理組織顕微鏡画像である。MRI分子マイクロイメージングと呼ばれる。

21世紀の解剖学は、「切り開かない」どころか、「触りもしない」ものとなったのである。

16) Ludwig Eduard Boltzmann

シュタイン<sup>20)</sup>の博士論文となっている。現代では、ランダムウォークと呼ばれる離散系の確率過程の連続化として教えられるのが一般的だが、マルコフ連鎖の典型例として、複雑系科学の基本概念としても重要なものである。

ある状態 ( $M_n$ ) から次の状態 ( $M_{n+1}$ ) に移行するルール (Rule  $M$ ) だけが決まっていれば、同じプロセスが何度も繰り返されていく過程をマルコフ連鎖と呼ぶ(図7)。ある環境のもとに置かれた粒子は、マルコフ連鎖の過程によって自然と形態を形成する。一般に自己組織化、もしくは自己形成 (self-organization) と呼ばれる過程である。

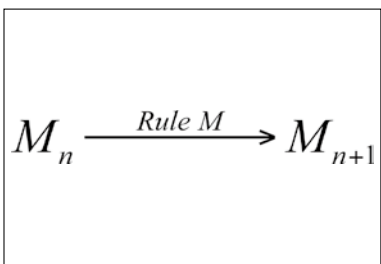


図7 マルコフ連鎖

その代表例が雪の結晶である。単純な規則だけで美しい幾何学模様を作り上げる。同時に、全く同じ規則に従いながら、ちよつとした環境の変化で様々なバリエーションも生み出す。

自然界に現れる形態はすべて自己形成する。生体もしかりである。

自己形成を左右するものは「法則」と「環境」である。一つの自己形成に必要な法則は一つ (Rule  $M$ ) であり、あとは初期条件とどこまでマルコフ連鎖を続けるかの決定だけを記載しておけばよい。それで特異的な形態が完成する。

生体において、ある自己形成過程が正しく起こるための環境とは、一つ前の自己形成過程が作り上げた状態を意味する。つまり、生体とは、ある自己形成の結果出来上がった環境の中で新しい自己形成の法則がDNAから読み取られ、新しい自己形成が始まり、その自己形成が終わるとまたその結果を環境とする次の自己形成の法則がDNAから読み取られて、次の自己形成が開始される——というように、小さなマルコフ連鎖が順々に繰り返されて作られる大きなマルコフ連鎖の結果生まれてくる、いわば複合的な自己形成過程の産物である。その出発点が受精であることは言うまでもない。だからこそ、ミミズの2倍程度の遺伝情報でも、ヒトが完成されるのである。もし染色体に詳細なブループリントの保持が必要だったとすれば、ヒトという種が進化することはなかっただろう。

マルコフ連鎖で形成される形体は、規則の記載を読んだだけでは、どのようなものになるかは全く分からない。実際に作ってみないと駄目なのである。ここから、ヒトの遺伝情

20) Albert Einstein

報をすべて解読したとしても、ヒトは理解できないことが分かる。

全能の神になりたがる人々には、地球が太陽の周りを回っているという事実よりも、認め難いことのようにである。