Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

バイオメカニズム学会誌，VOL. 1，№2（1977）

エ ツ セ イ

自然史とバイオメカニクス

― 古く楽しい時代から ―

遠藤萬里*

自然界がすべて物理学的法則に支配されているとの予測は、すでにルネッサンス時代からあったようである。動物の身体または人体の運動器―骨と筋肉―についても、Galileoが力学的原理にもとづき、土木機械と同様の仕組みで働いているという考えを明らかにした。このような考えは叡知をもたない人には理解を越えたものだったが、一部の人々に受継がれ、次第に発展してきた。

自然界を理解する学問の分野は自然哲学として出発し、その母体を、ヘレニズム時代のPtolemaios の天文学を頂点とするMuseion（ミューズの神殿→博物館）から回教の学問所やキリスト教の修道院、さらにその発展派生体であるUniversitas（学習組合→大学）へと移しながら、その名も自然史（Natural History）へと変ってきた。この自然史科学の一分野の脊椎動物学に関しては、近代の医学の発達にともない、自然史観を基盤にもつ医学者等が、Cuvierの型式学をのりこえ、Darwinの進化論を軸として発展させるようになった。このような人々のなかで19世紀末に、RouxとDelageが自然史解明の一分野としてEntwicklungsmechanikとBiomechanikをデビューさせるに至り、生物体の力学は当時華かな脚光を浴びた。Rouxが著明な実験発生学の開祖であることから、この分野は解剖学や整形外科学で注目され、「Rouxの法則」や「Wolffの法則」が骨格の力学的原理として現在の教科書に至るまで記述されている。

基礎医学と脊椎動物学の重複する（人も機関も）発展にともない、医者でない自然史研究者によるバイオメカニクス(Biomechanik, Biomechanics）の展開も続けられた。しかし、日本では一般にこの分野は殆んど顧られず、たまに研究者が現われても、冷笑を浴びることが起った。このようななかで、つむじ曲りの私は、人類学専攻学生として、1957年に無手勝流でバイオメカニクスに挑み始めた。指導教官の鈴木尚教授だけが理解者であり、しかも積極的に私をその方向へ押し出させた人であった。ここで、何年もたって習い覚えたもののなかから、私にとって古く楽しい話を捨い上げてみたい。

脊椎動物学では、四足性の陸棲動物が主要な生命維持の臓器をもつ軀幹をどのように釣り下げているかという問題が、力学的興味の対象となった。この作用が脊椎を中心としていることはすぐ理解され、脊椎の構造の力学に目が向けられた。図1の上段は馬の脊椎とそれに附属する靱帯を表わしている。これが圧縮部材と引き綱からなる橋の構造と同じ様に理解できるとBarthez（1798）が主張し、これを肯定する以後の研究者達は、脊椎構造のモデルとして、さまざまな形の橋の絵を数多く動物学や解剖学の論文に登場させた。

＊ 東大理学部人類学

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

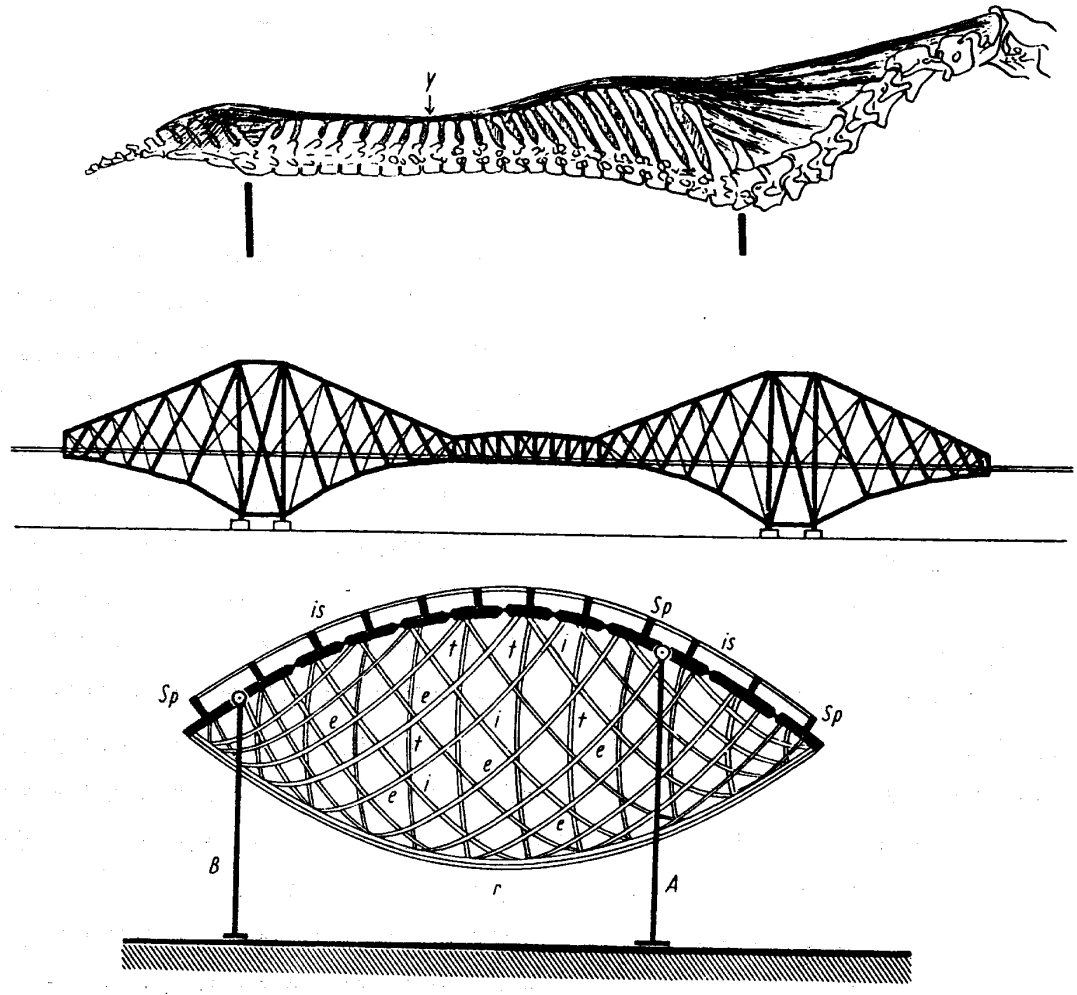


図1　脊椎の問題。　上：馬の脊椎と靱帯、
中：Thompson の橋のモデル、　下：Kummer のモデル
（Kummer より）

図1の中段の橋は、比較的有名な例として、Thompson（1917）の絵である。その後Strasser（1913）やSlijper（1946）の力学的解釈にもとづき、下段のようなモデルがKummer（1959）によって作られるに至った。このあたりでは、もはや橋というより四足動物そのものになっている。これによって、Kummer は脊椎の静力学を組立てることとなった。

古脊椎動物の進化や分化の研究では、頭蓋骨が最も重視されている。爬虫類から哺乳類への進化も頭蓋骨を中心に系統立てがなされた。哺乳類は爬虫類のなかでもかなり原始的な単弓爬虫類から進化したことが定説となっている。ところで頭蓋骨の主要な力学的機能は摂食・咀嚼である。この機能に関する進化のことをCrompton（1963）やAlexander（1967）のまとめた解釈によってみる。

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

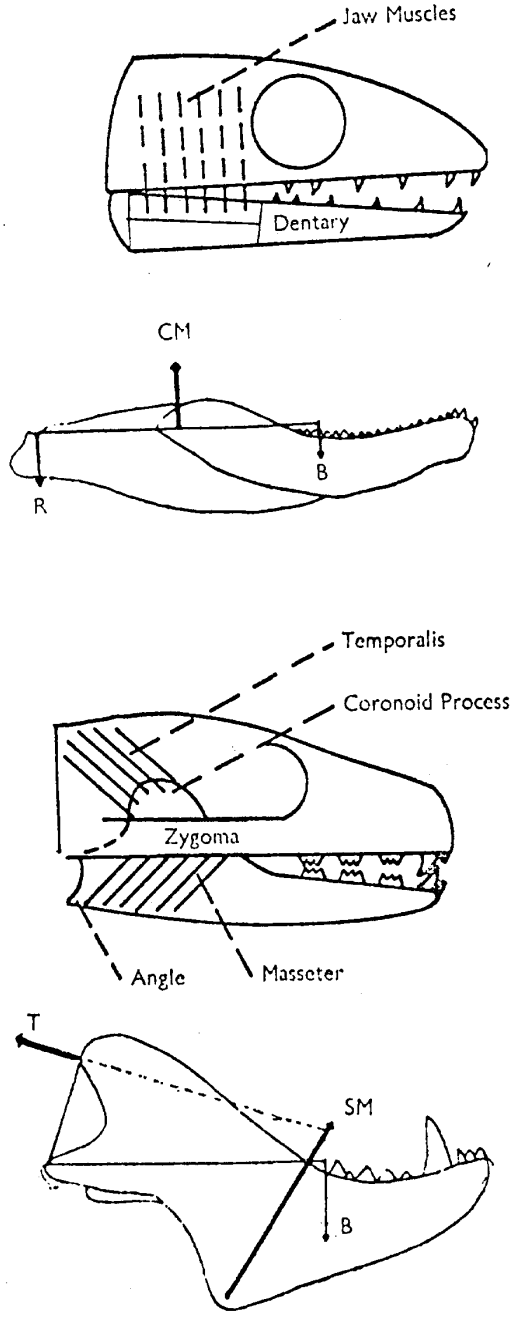


図2. 頭蓋骨の哺乳類へ向う進化とその力学的説明
上の頭蓋骨：原始的単弓爬虫類
下の頭蓋骨：哺乳類
（Alexander より）

図2の上段の頭蓋骨の模式図は原始的単弓爬虫類を示し、下段の頭蓋骨の模式図は哺乳類を表わしている。噛むため必要な筋（顎筋）は平行に並ぶ線で示されている。上の原始的単弓爬虫類は咬み合わす歯の平面に対して垂直な顎筋しかもたず、下顎の運動の自由度は2しかなく、噛みこなして食べることができなかったと考えられる。したがって、歯もすべて従来型の円錐歯で充分ですべて同形だった。これを同歯性と呼ぶ。しかし哺乳類に進化すると、下段のように顎筋が二分して斜に交叉し、運動の自由度も5に進化する。多彩な顎運動に呼応して、歯も複雑な形をなし、位置によるちがい（異歯性）を示している。つまり顎運動の進化が歯の進化をひき起したといえる。さらに、原始的単弓爬虫類では、下側に描かれている下顎骨のように、強く噛んでも筋力（CM）の大半は関節へ行きその反力（R）で消され、歯の力（B）はたいした力とならない。ところが、哺乳類に近く進化すると、下段の下図のディアルトログナトスの下顎で典型的であるが、顎関節に加わる力は軽減される。奥歯で噛むときは、顎筋の合力（TとSMの合力）は歯の力の作用線とほぼ一致し、余分な顎関節力をほぼなくしてしまう。要するに爬虫類から哺乳類に向って顎運動の自由度の増大と顎関節力の軽減化という進化が起ったと考えられる。それによって哺乳類はさまざまな食物をよく噛みこなすようになったわけである。この話のまとめはあまり古くないが、大進化を力学的に見ていることで興味がある。

頭蓋骨の問題は、私の属する自然史科学の一分野の人類学でも重要である。図3は現生人類に至る人類進化の三段階の頭蓋骨を描いてある。進化は上から下へと行われた。

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

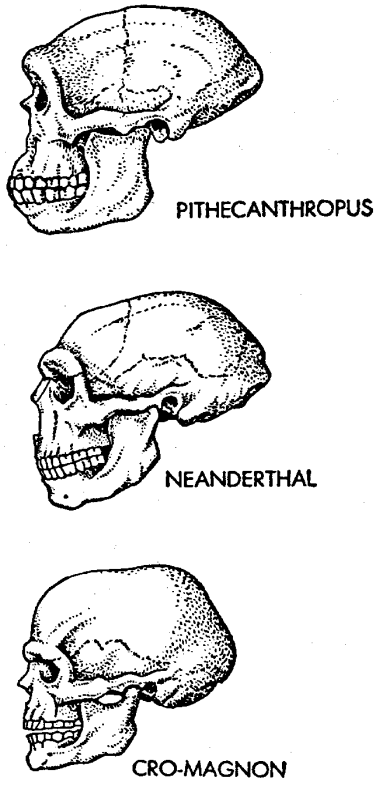
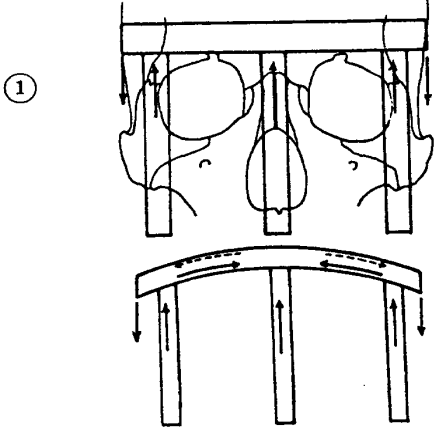


図3　現生人類への進化の三段階。
上から下へと進化する。下の
Cro-Magnon は化石現生人類。

ここでは脳頭蓋の増大と共に顔面頭蓋の縮小が起っている。顔蓋頭蓋は遠感覚器保持の機能以外は咀嚼機械といえる。ところがこの咀嚼機械部分の力学的退化を解釈することが難しい。顔面頭蓋にどのような力学的解析をもちいるか、どのような力学的モデルで把えるかが昔から研究者の頭を悩ませ、そのためさまざまな意見や図形が提出され、面白い歴史となった。代表的な図をあげてみると、図4



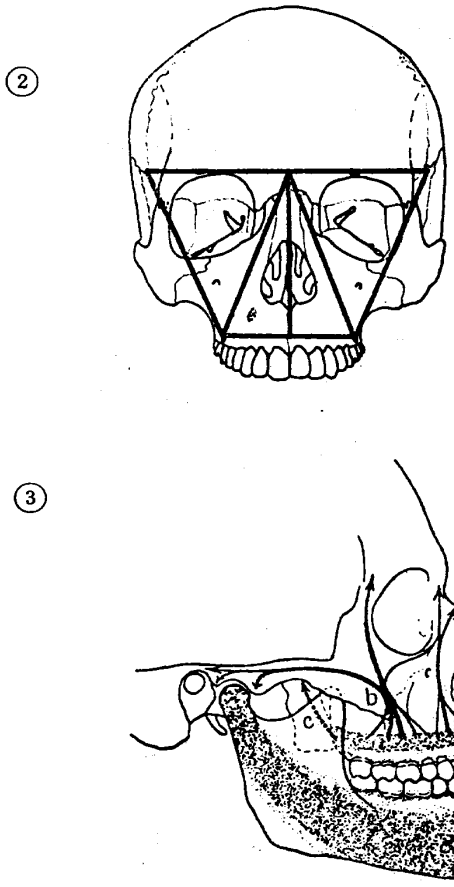


図4　人の顔面頭蓋の力学的説明のいろいろ
①: G″orke のモデル
②: Richter のモデル
③: Bluntschli の咬合力軌跡（?）
（著者より）

の上段は G″orke（1904）の三柱横梁モデルであり、これは著名な人類学者 Toldt（1914）に引用され議論されたため、長く人類学の常識化していた。中段は Richter（1920）のトラスモデル、下段は Bluntschli（1926）の咬合力軌跡（?）図である。今にしてみて、昔の人はよくいろいろ考えつくものだと思う。その頃 Benninghoff（1925）の骨組織配列図（図5）が発表され、これが咀嚼による応力の方向を示すとの仮説が立てられ、議論がわき上った。今でも古いタイプ

NII-Electronic Library Service

Society of Biomechanisms Japan (SOBIM)

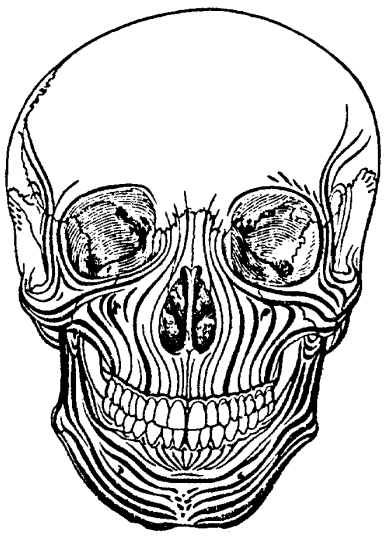


図5　Benninghoff による
人の顔面頭蓋の割線分布。
〔骨組織の配列を示す〕
（Benninghoff より）

の人類学者や解剖学者はその通り考えているようである。実は、これが私の研究を始めた背景であり、テーマが顔面頭蓋の応力解析だったのである。

ここまでは話は静力学だったが、高等な脊椎動物は速い運動をするので、動力学こそ重要といえる。その運動のなかで移動（歩行と走行）が普遍的であり、まず取り上げられた問題である。動力学の問題では力と運動の測定が不可欠であり、古くから試みられてきた。1872年には Carlet がパリの自然史科学年報の動物学部門に、人の歩行時の足底の力の測定結果を発表している。彼はゴム袋による空気圧測定器を靴底に作り、チューブでゴム球につないで挺子針を振らせ、煤紙に記録している（図6）。ここですでに、Elftman（1934）によって一応確立された垂直床反力の二峰性の波形が検出されている。

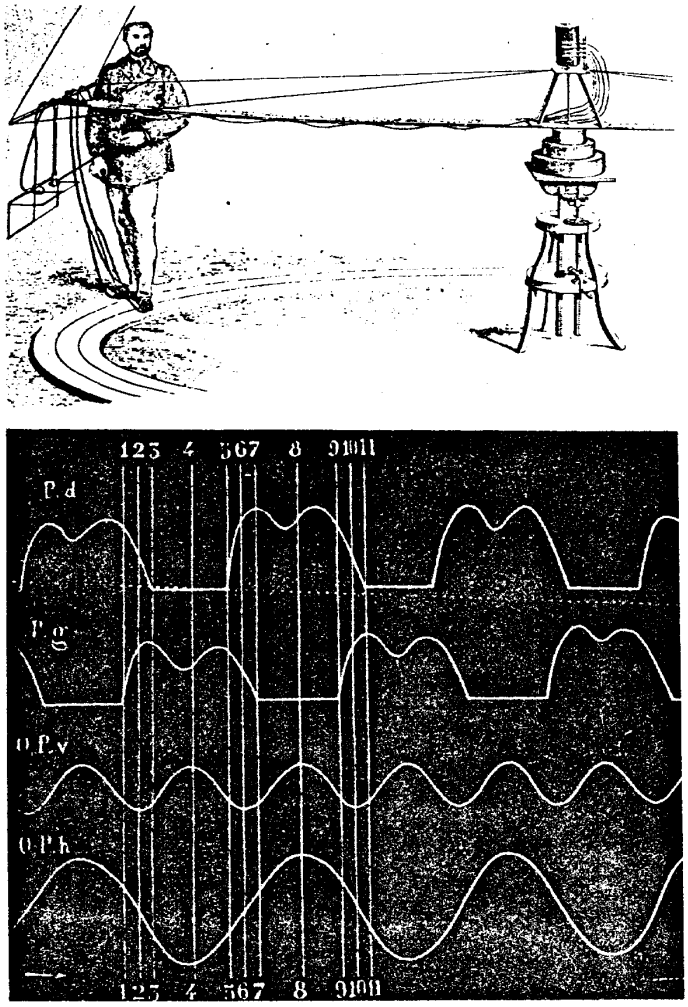


図6　Carlet による歩行時の足底の
力の測定実験
（Carlet より）

人の歩行時の身体の速度、加速度については、20世紀初頭の Braune と Fischer の一連のシネマトグラフィーが広く知られた古典となっている。

以上比較的古い話を並べたが、日本ではあまり日の当らない自然史科学からバイオメカニクスが発生し発達してきたこと、ここではかなり古い歴史をもつ分野であることがお分りいただけたと思う。今後はこの分野に更に運動機構の解析や制御の理論が積重ねられていくものと思われ、自然史のバイオメカニズムともいえるようになるかもしれない。

NII-Electronic Library Service