

ニコラウス・ステノによる筋の幾何学的記述

——17世紀における筋運動の探究——

安西なつめ, 澤井 直, 坂井 建雄

順天堂大学医学部 解剖学・生体構造科学

受付：平成25年7月3日／受理：平成25年12月6日

要旨：地質学者として知られているニコラウス・ステノ（1638-1686）は生前は解剖学者としても有名であった。『筋学の要素の例証あるいは筋の幾何学的記述』は解剖学におけるステノの主著である。彼は筋を幾何学的に表し、デカルトを踏まえて機械論的に筋運動を考察した。ステノは筋線維を筋の構造的・機能的単位とし、線維が集積してできる平行六面体によって筋をモデル化した。線維の短縮は平行六面体を変形させ、その変形の結果として筋運動が起こると考えた。ステノによる平行六面体のモデルは筋を力学的な対象として扱うことを可能にした。ステノの方法とモデルは機械論的な筋生理学に方法論的な基礎を提供し、ボレリなどの17世紀後半の筋運動の探究者に影響を与えた。

キーワード：ニコラウス・ステノ, 解剖学, 筋運動, 筋線維, モデル

はじめに

筋の構造と機能は、古代から現代に至るまで多くの人々の関心を集めてきた。古代のガレノス（Galenus, 129-216）は全身の骨格と筋の構造を観察・記述し、筋がどのようにして身体を動かすかを論じた。16世紀にはヴェサリウス（Andreas Vesalius, 1514-1564）による解剖学の復興を経て、17世紀にはデカルト（René Descartes, 1596-1650）以後の機械論的な思潮の中で、筋の収縮がどのような仕組みで行われるかに関心が寄せられ、多くの研究者がこの問題に取り組んだ。17世紀はまさに筋運動研究の黎明期であり、多様な議論が現れている。このような筋への関心は18世紀の生理学研究に引き継がれ、器官の機能を基礎とした身体理解をめぐる主要な論点となった。19世紀以降は実験生理学の手法により筋の収縮機構の解明が進んだ。

ニコラウス・ステノ（Nicolaus Steno, 1638-1686）は現在では地層の形成過程を明らかにした地質学

者として知られているが、彼は身体のさまざまな構造を探究した解剖学者でもあった¹⁾。ステノの解剖学研究は多岐にわたり、外分泌腺、脳、筋についての論考を著して、耳下腺管（Stensen's duct）、切歯孔（Stensen's foramen）、渦静脈（Stensen's vein）に名前を残している。筋については3本の論考を著しており²⁾、その中で本稿で扱う『筋学の要素の例証あるいは筋の幾何学的記述（Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica）』（1667）（以降は『筋学の要素の例証』と表記）はステノの筋研究の到達点である。この著作は表題が示すとおり、幾何学を用いて筋運動を基本的な原理から論じようとしたもので、17世紀の他の筋運動の研究とは異なる独自の方法を採用している。

17世紀における筋運動の研究に関しては、ボレリ（Giovanni Alfonso Borelli, 1608-1679）が著作『動物の運動について（De motu animalium）』（1680-1681）³⁾において力学的研究をすすめて成果を挙げたことが知られている。一方ステノは、これま

で筋運動研究の系譜の一部として取り上げられてきたものの、17世紀における筋運動研究の主流をなす人物としては扱われてこなかった⁴⁾。1990年以降にカーデル (Troels Kardel) は『筋学の要素の例証』の英語訳を行い、ボレリやウィリス (Thomas Willis, 1621–1675) など当時の研究者との相異と影響を明らかにし、更にステノの筋のモデルを現在の筋の理解に照らしてステノを再評価してきた⁵⁾。またメリ (Domenico Bertoloni Meli) は、17世紀において解剖学者と数学者の連携が新しい成果をもたらしたことを明らかにする中で、筋運動への幾何学の利用に関してヴィヴィアーニ (Vincenzo Viviani, 1622–1703) と連携したステノに注目している⁶⁾。

本稿ではステノが筋運動の力学的研究に果たした役割を明らかにするため、ステノが採用した研究方法に注目した。アンドロー (Raphaële Andraut) もステノが幾何学を利用したことについて検討しているが⁷⁾、ステノの『筋学の要素の例証』が独自の方法を採用した意義とその役割、またその後の影響についてはまだ十分な研究がなされていない。

本稿では『筋学の要素の例証』の内容からこの著作の目的と幾何学的方法の意義を考察し、更にステノが与えた影響から、17世紀の筋運動研究におけるステノの位置づけを述べる。

1. 『筋学の要素の例証』における筋のモデルと筋運動の原理

ニコラウス・ステノは1638年にコペンハーゲンで生まれた。彼はコペンハーゲン大学で、解剖学者のトマス・バルトリン (Thomas Bartholin, 1616–1680) のもとで医学を勉強し、卒業後はライデン大学で本格的に解剖の研究を始めた。彼ははじめに腺の研究を行い、羊や牛などの解剖から耳下腺管を発見している。その後は腺から身体全体の筋に関心を広げた。ステノによる筋研究の最初の成果は、1663年4月30日の日付でトマス・バルトリンに宛てられた『筋と心臓の新しい構造 (Nova musculorum et cordis fabrica)』にまとめられた⁸⁾。また1664年には一時帰国したコペンハーゲン

で『筋と腺の観察の例証 (De musculis et glandulis observationum specimen)』(1664)を完成させている。その後1666年以降はフィレンツェで筋やサメの歯についての研究に取り組み、1666年7月から9月にかけて集中的に行われた筋研究の成果が『筋学の要素の例証』にまとめられた。

この『筋学の要素の例証』の正式な表題は、『筋学の要素の例証あるいは筋の幾何学的記述、並びにサメの頭部の解剖と小ザメ類の解剖』である。ラテン語で書かれ、判型は縦30センチ、横21センチで、1667年にフィレンツェで出版されている。全体は123頁の文章部分と巻末に収録された7枚の図版からなる。トスカーナ大公フェルディナンド2世 (Ferdinand II de' Medici, 在位1621–1670) に宛てた献辞 (6頁) に続いて『筋学の要素の例証あるいは筋の幾何学的記述』(以下、サメの解剖を扱った二つの小稿を除いたこの部分を『筋学の要素の例証』と表記) (68頁) が収録され、その後で、捕獲されたサメの頭部の解剖結果を記した『サメの頭部の解剖 (Canis carchariae dissectum caput)』(42頁) と『小ザメ類の解剖 (Dissecti piscis ex canum genere)』(9頁) という二つの小稿が加えられている。献辞では収録されたすべての論考に共通する「解剖学」という学問の特徴と、『筋学の要素の例証』の目的や意義などが述べられている。

『筋学の要素の例証』は、筋運動を論じた本編とその後に置かれた書簡で構成されている。本編には24点の図が挿入されており、文章による説明を図によって理解できるよう配置されている⁹⁾。また巻末の7枚の図版は、『サメの頭部の解剖』、『小ザメ類の解剖』の後に付されている。このうち3枚は『筋学の要素の例証』に関する図版で、残りはサメの解剖に関する図版である。

本編は内容によって論証部分と例証部分の二部に分けることができる。論証部分 (34頁) では筋のモデル化とモデルによる運動の仕組みが扱われ、例証部分 (15頁) では提示した筋のモデルが実際の筋の構造と運動の仕組みに応用可能であることが示される。そして本編の後に置かれた書簡 (21頁) では、基本原理を扱ったそれまでの部

分を踏まえ、観察内容に基づいてモデルと実際の筋の構造との対照が行われる。

まず論証部分では、幾何学の論証形式に則り、定義、仮説、補助定理、命題の順で筋のモデルと運動の仕組みが示される。

定義においては、筋を構成するものは何か、筋における長さ・高さ・厚みとはどこを指すかといった事柄が一つ一つ定義され、最終的に44の定義を経て筋の幾何学的なモデルが構築される。ステノによるモデル化の手順の概要は以下の通りである(図1)。

- ①筋の単位は細く長い線維であり、線として表される。個々の線維の中央は肉質部であり、両端は腱部である。両端の腱部は、肉質部と同一直線上にある場合もあれば一定の角度で屈曲している場合もある。
- ②同じ長さの肉質部を持つ線維が多数平面上に配列され、肉質部によって平行四辺形が作られる。
- ③線維の肉質部でできた平行四辺形の面が層状に集積して平行六面体が作られる。
- ④線維の肉質部の集積である平行六面体が筋本体に対応し、その両端に伸び出した腱部が腱に対応して、両者をあわせて筋のモデルとする。

このようにして作られたモデルは、実際に観察される筋と同じく、中央に肉質部があり、その両端には肉質部と骨を結びつける腱を持つ。ステノ自身はこのモデルが身体の全ての筋に適合するものであり、どのような複雑な構造の筋もこのモデルの変形と組み合わせによって表すことができるとした。また線維中央の肉質部には収縮能が想定されている。

続く仮説ではこの平行六面体の筋のモデルを用いて運動前と運動後の筋の形態変化を幾何学的に表し、筋の体積は運動の前後で変化しないという仮説が立てられる。

補助定理では仮説の証明のために必要な事柄が確認される。ステノは運動時の筋の形態変化の仕組みを説明した上で、運動前と運動後の筋をいく

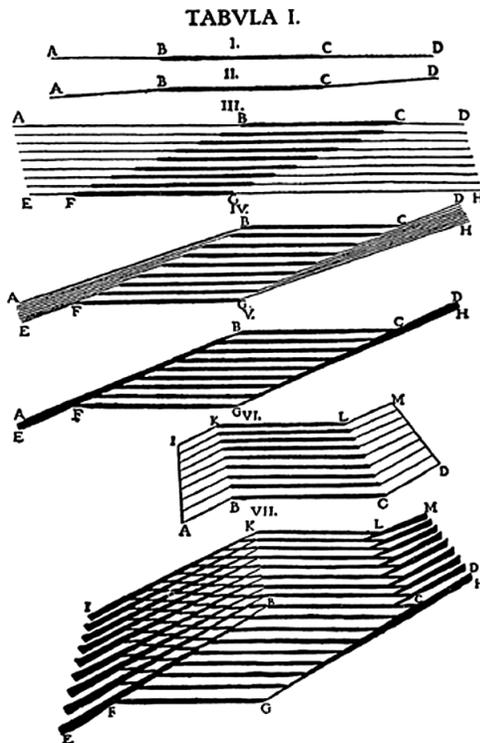


図1 ステノによる筋のモデル化の手順。
(Nicolai Stenonis Opera philosophica, 1910)

I・II: 筋の基本単位としての線維。中央のBCが肉質部。両端のAB, CDが腱部。Iは肉質部と腱部が同一直線上にある場合。IIは肉質部に対し腱部が屈曲している場合。
 III: 肉質部と腱部が同一直線上にある線維の平行な配列。肉質部は平行四辺形をなす。
 IV・V: 肉質部に対し腱部が屈曲している場合の線維の平行な配列。Vでは腱部の複数の線維が、線状に束ねられている。
 VI・VII: 線維の肉質部が作る平行四辺形と両端に伸び出した腱部が層状に連なって作られる筋のモデル。肉質部は平行六面体をなす。VIは上面のみを描く。

つもの幾何学的な図で示しながら、運動の前後に起こる筋の変化を確認した。運動時の筋の変化は以下のように整理される。

- ①筋を構成する線維一つ一つに収縮性がある。
- ②平行六面体の筋のモデルにおいて、平行面上に置かれた二面の腱部のうち一面は固定されている。
- ③筋を構成する一つ一つの線維の運動によって、固定された面の対面がひきよせられてスライドする。

④運動は平行面上で行われるため、平行六面体の底面積と高さは変わらない。ただし運動時の筋では筋の厚みが増す。

このような運動時の変化において、平行六面体の底面積と高さは変化せず、筋の体積も変化しない。すなわち、ステノは変形によって筋の厚みだけが増すことを明らかにしている。

命題では補助定理の内容を実際の筋運動で見られる現象に即して解釈しなおし、「全ての筋において、筋が短縮するとふくらみが生じる。」¹⁰⁾ という命題を提示した。彼はモデルを用いて、運動時に筋がふくらむという現象は、筋の体積は不変のまま、筋の厚みに相当する部分が見かけ上増大し、それに伴って筋の長さが短縮することであると説明した。体積が増加しないということは外部からの物質が付加されないということを意味する。従ってステノはこの命題において、当時支持されていた精気などの物質の流入による筋運動の仕組みを否定し、運動時には筋がふくらむという古代から知られてきた現象を、モデルを用いた新しい原理で説明した。

論証部分ではモデルを考案して基本原理である筋の構造と運動の仕組みを提示することに主眼が置かれていたが、続く例証部分では実際に観察される筋を具体的に列挙して、提示されたモデルとモデルによる運動の仕組みが実際の筋に応用可能であることを示した。

ステノは例証の方法として、はじめに身体全ての筋にどのようにモデルが適用されるかを示し、次に具体的に挙げた幾つかの筋にモデルが適用されることを示して、実際の全ての筋にモデルが応用可能であると論じてみせた。

すなわち、ステノは全ての筋が平行六面体のモデルの変形あるいは組み合わせとして捉えられることを示している。彼はモデルのパリエーションを以下の三種に規定し、各パリエーションにおける運動時の変化を幾何学的に説明した。

①肉質部の辺が腱部の辺より著しく長い平行六面体

②肉質部の辺が腱部の辺より著しく短い平行六面体

③複数の平行六面体の組み合わせ

次に、モデルが実際の筋に適用されることを示すため、当時の解剖学において既によく知られていた筋の中から、一つのモデルで表される最も単純な筋として腓腹筋、二つのモデルの組み合わせによって構成されている筋として上腕二頭筋、二つ以上の複数のモデルの組み合わせによって構成されている筋として三角筋などを挙げている。彼はこれらの筋を幾何学的に再構成し、その上で運動時に実際に見られる筋の変化を幾何学的に説明した。また続いて、ステノはこれまでの確に理解されてこなかった筋として半棘筋などの脊柱周辺の筋を挙げ、同様に図示してみせている。つまりステノはこの手順によって実際の全ての筋にモデルが適用されることを示すとともに、これまでよく知られてきた筋だけでなく構造や機能が複雑でまだよく理解されていない筋もモデルを利用して理解できるとして、考案したモデルの妥当性と有効性を示している。

以上のように彼がモデルの例証のために採用した方法は、全体を数種のカテゴリーに分類し、各カテゴリーから抽出したサンプルを例として全体を推測させるという方法であり、解剖学書で行われていたような一つ一つの筋を網羅的に記述する方法とは異なっていた。

最後に本編の後に添えられた書簡においては、提示された基本原理を当時理解されていた筋の知識と対照させ、より一般的な言葉で筋を説明している¹¹⁾。ステノはこの書簡で、論証の出発点として筋の構造の基本単位と定義した線維について改めて説明した。

ステノはまず設定した線維が実際の筋において観察されること、線維は人のみならず動物全般における全ての筋に普遍的に存在して筋を構成することなどを指摘して、論証の前提として筋の基本単位に線維を定義したことの妥当性、つまり論証部分全体の妥当性を高めている。またステノは線維の存在と、線維による筋の構造の普遍性を具体

的に述べるために、当時は筋として認められていなかった心臓を取り上げた。ステノは実験的な見地も踏まえながら、運動時の筋と運動時の心臓では同様の現象が認められることから、心臓もまた線維によって構成される筋であると結論することで、心臓をも筋学の対象とした。彼は線維によって構成される器官を筋と見なすという概念が当時身体における特別な器官と見なされていた心臓にもあてはまることを示すことで、線維を基本単位として筋の構造と運動を考察する筋学の有用性を示唆している。

またこの書簡では、ステノが否定した物質流入による運動説について、流入するとされている物質自体が正確に理解されていないこと、また解剖学における化学的理解の必要性など、筋研究において依然残されている課題についても書き添えられた。

2. 『筋学の要素の例証』の目的と幾何学

この著作でステノは「筋学 (myologia)」という一つの学問を打ち立てることを目的とした。そしてこの目的のもとで、筋を数学的に扱い身体の全ての筋を普遍的に論じるための具体的な方法として幾何学の論証形式を採用している。

この著作の目的と方法は、『筋学の要素の例証あるいは筋の幾何学的記述』という表題によく表れている。この表題において「要素 (elementum)」とされるのは、「筋学」において筋を論じる出発点となる基本原理のことである。この「要素」という語はユークリッド (Euclides, B.C 300 ca.) の『原論』のラテン語訳の表題に用いられている語であり、ギリシア語の「στοιχεῖα」に対応する。「στοιχεῖα」は「列」という意味を持ち、そこから派生して言葉を構成する個々の文字 (アルファベット) や物事の基本的な構成要素を指すようになった¹²⁾。ステノが表題にこの語を選んだことは、筋の考察を行う学問をいかに構築すべきかという観点から、筋学の要素を提示することに関係している。この著作の目的を述べた大公への献辞においては、筋を数学的に扱うという姿勢が次のように表明されている。

私はこの例証で、筋学が数学の一部になるのでなければ、筋の各部を明らかにすることも、その運動を十分に考察することもできないことを示したい。なぜ我々は数学を筋に与えないのだろうか。天文学者が空に、地理学者が大地に与えているように、またマイクロコスモスの例で言えば、光学についての著述家が眼に認めているように、彼らはよりよく理解するために自然物を数学的に扱っているのである。¹³⁾

ステノは筋の構造と運動を数学的に扱うことができる学問分野の確立を目的とし、その具体的な方法として幾何学を採用して、幾何学的な作図によって筋のモデルを提示したのである。

ステノは既に『筋と腺の観察の例証』(1664)と『筋と心臓の新しい構造』(1667)の中で、筋は線維で構成され、線維の配列によって一様な形態をとるというアイディアを示していた¹⁴⁾。しかし、個別の筋の観察に基づいて説明が行われたこれらの著作とは異なり、『筋学の要素の例証』では「筋学」の確立という明確な目的のために、原理的な説明が重視された。そのためステノはこの著作においてはじめて、その他の著作には見られない幾何学的な筋のモデルを収録した。

『筋学の要素の例証』は徹底して筋を幾何学的に論じているため、一見すると筋の研究書とは分からない程である。このような著作はステノ以前にも以後にも見当たらない。幾何学を利用して筋をモデル化したこの方法こそ、この著作を独自のものに行っていると言える。ではステノはどういった背景のもとで、何故筋運動を幾何学的に論じようとしたのだろうか。

3. 自然の数学化と『筋学の要素の例証』

古代のガレノスは、身体の意志的な運動の指令が脳から伸び出した神経を介して筋に運ばれるとした。以降は17世紀に至るまで、様々な人物が筋について考察していた。

解剖学書においては、筋は骨や動脈、神経などとともに身体を構成する一要素として扱われ、各部における筋の位置や形状が個別に説明された¹⁵⁾。

また運動時の筋の形態変化に伴って起こる関節の運動について、一般にはガレノスに沿って、脳から伸び出して筋に挿入される神経の中を精気が流れることで生じると理解されていた。しかし神経がどのように筋に挿入されるか、神経の中を流れる精気とはどのようなものかについて議論される一方で、筋の形態変化の仕組みについては未解明のままだった。

こうした中でデカルトが機械論を提唱すると、以降は身体のあらゆる現象が機械論の枠組みの中で解釈されるようになった。デカルト自身は、血液から分けられた精気が脳から神経を通り、筋に流入することで運動が起こると考えていた。彼は精気を、大きさや量を持つ物質としての粒子であると捉えていたため、筋内でこのごく微細で活動的な粒子の量が増すことで、筋の幅が広くなり、筋の長さが短くなるという形態変化が起こると考えていた。彼は精気と筋の関係を説明するために、空気が球の中に流入することで球がふくらみ硬くなるというアナロジーを用いている。物質の流入による筋運動という理解はステノの時代にも広く支持され、17世紀における筋運動研究の主流と見なされてきたクルーン(William Croone, 1633-1684)やボレリも採用していた。

しかし既に述べたように、ステノは当時支持されていた物質の流入による筋運動を否定している。この結論は筋運動を幾何学的に論証したことによって裏付けられた。つまり筋運動の仕組みの考察に関して、ステノとその他の研究者とは筋運動を説明する方法自体から異なっていたのである。ではステノは何故、筋運動を論じる方法として幾何学を用いたのだろうか。

第一に、既にこれまで多数の研究で明らかにされているように、17世紀には身体を含む自然の事物全体を数学的に説明しようとする傾向が現れていた¹⁶⁾。特にステノが研究の場を移して『筋学の要素の例証』を完成させたフィレンツェにおいては、数学が各種の運動の考察に利用されていた。

当時フィレンツェではガリレオ(Galileo Galilei, 1564-1642)の死後、大公フェルディナンド2世とその弟レオポルド(Leopoldo de' Medici, 1617-

1675)によって、科学アカデミー、アカデミア・デル・チメント(実験アカデミー, *Academia del cimento*)が組織され、ガリレオによる自然学への数学の利用と力学的実験の成果が引き継がれていた¹⁷⁾。

アカデミア・デル・チメントは1657年にイギリスのロイヤル・ソサエティ、フランスのアカデミー・デ・シアンスに先立って設立された。「実験、そして実験 *Provando e Reprovando*」をモットーとするこの会では、多様な装置を使用して大気圧や真空、液体の凍結などについて力学的・化学的実験が行われ、様々な動物が観察された¹⁸⁾。

このアカデミア・デル・チメントにおいて設立から中心的役割を果たしたのが数学者のヴィヴィアーニである。彼はガリレオの最後の弟子であり、ガリレオの『機械学および位置運動に関する二つの新しい科学についての議論と数学的証明(新科学対話) *Discorsi e dimostrazioni matematiche: intorno à due nuove scienze attenenti alla mecanica i movimenti locali*』(1638)¹⁹⁾にも研究面で助力した。ステノの筋運動への幾何学の利用に関しては、ヴィヴィアーニによる協力があったことが知られている²⁰⁾。

同じくアカデミア・デル・チメントの主要メンバーであったボレリは、当時実験を行って物体の運動を幾何学的に説明していた。ボレリはまた1660年頃からマルピーギとともに医学の研究を行っている²¹⁾。ボレリは動物の運動について早くから関心を持ち、研究する意図を有していたようである。1663年にはマルピーギから、動物の運動に関する研究成果の出版を促されている²²⁾。その後ステノが『筋学の要素の例証』を出版した1667年にも、ステノが筋運動の考察に幾何学を用いている点を危惧した知人から、出版を早めるよう望まれていた²³⁾。

しかしボレリは動物の運動についての研究を完成させる前に、当時アカデミア・デル・チメントで行っていた実験の成果として、1667年に『衝突の力について *De vi percussiois*』(1667)²⁴⁾を、続いて1670年に『重さによる自然な振り子運動について (*De motionibus naturalibus a gravitate*

pendentibus)』(1670)²⁵⁾を出版している。どちらの著作においても実験に基づいて物体の運動が幾何学的に説明された。『動物の運動について』は、こうした物体の運動についての考察を踏まえた上で、その成果を身体に応用した著作であり、当時の研究者たちの様々な知見を取り入れている。この著作は生前には刊行されず、没後の1680年に第一部が1681年に第二部が出版された。ボレリは1667年にはフィレンツェを去っている。ステノは1666年の到着後すぐに幾何学に関してボレリに協力を求めたようであるが²⁶⁾、実際にはヴィヴィアーニと連携して『筋学の要素の例証』を完成させた。

また特に筋運動への幾何学の利用に影響を与えた人物としては、ステノに先行して筋の考察に幾何学を利用したチャールトン(Walter Charleton, 1619-1707)が挙げられる。チャールトンはロイヤル・ソサエティの創立メンバーであり、1659年出版の『動物のオエコノミア(Oeconomia animalis)』(1659)²⁷⁾で筋の運動を考察した。ボレリも1662年の書簡でこの著作に言及している²⁸⁾。

この著作においてチャールトンは、数学の原理なしには運動についての論考は不明瞭で不十分なものになるとして、筋運動研究における数学の利用の必要性を述べた。その上で、彼は筋を幾何学の図に置き換え、論証に必要な定理を指定するなどして筋運動の説明に幾何学を取り入れている。ステノとチャールトンには、筋運動への幾何学の論証形式の使用や運動時の形態変化における筋の厚みへの注目など、着眼点の類似が見られる。

ステノは著作において直接チャールトンに言及していないが、『筋学の要素の例証』以前からステノと親交があったクルーンは『筋運動の原因について(De ratione motus musculorum)』(1664)²⁹⁾で力学的な原理によって筋運動を説明した人物としてチャールトンに言及していた³⁰⁾。ステノはチャールトンをクルーンを介して知り得たと推測される。クルーン自身は筋運動の説明に幾何学的な図を加えた肘関節の図を一枚使用した。

ただしチャールトンの幾何学の利用は平面上に留まり、立体としての筋のモデルを幾何学的に作

図したステノとは利用方法が異なっていた。またチャールトンはガレノスに則って物質の流入による筋運動を支持していたため、ステノが提示したような線維自体の収縮能を想定していない。

最後に、ステノが考察と記述の方法として幾何学を利用した点について、デカルトそしてスピノザによる影響も考慮しなければならない。当時の自然学における数学の利用の傾向は、実験による数値の使用や機械とのアナロジーを用いた力学的な説明のほか、ユークリッドに見られるような幾何学における論証の利用にも現れていた。たとえばデカルトは1644年に出版された『哲学原理(Principia philosophiae)』(1644)において、哲学における幹と表現した自然学の大系を展開し、自然学においては幾何学による論証を通して演繹されるものだけを真理とすると宣言した³¹⁾。更にこうしたデカルトの著作を踏まえ、人間の精神と身体の観念といった諸問題を幾何学を用いて著したのがスピノザである。スピノザは『デカルトの哲学原理(Renati Des Cartes principiorum philosophiae)』(1663)³²⁾や、1665年にはおよそ完成されていたとされる主著『幾何学的秩序によって証明されたエチカ(Ethica ordine geometrica demonstrata)』(1677)³³⁾などの著作を、徹底して幾何学の論証形式で著した。ステノは1662年にスピノザと知り合い、晩年にも書簡を交わしている³⁴⁾。ステノはこうした関わりの中で幾何学的論証に早くから触れ、方法論的な手法として取り入れていたと考えられる。

以上のようにステノによる筋運動への幾何学の使用の背景には、ヴィヴィアーニやボレリらに現れていたアカデミア・デル・チメントにおける自然の数学的理解の推奨や、チャールトンによる筋運動への部分的な幾何学の導入、そしてデカルトやスピノザによる自然学への幾何学の論証形式の利用といった要因があった³⁵⁾。

『筋学の要素の例証』は17世紀における自然の数学的理解とその方法の模索という当時の傾向に色濃く反映しつつも、そうした動向の最先端にあって数学の利用を一早く筋に応用したステノの意欲的な試みであり、筋を徹底して幾何学的に扱

うという点で、独自の発想のもとに著された著作だったと言えることができる。

4. ステノによる筋の研究が与えた影響

『筋学の要素の例証』はフィレンツェで出版された後、翌年にはイギリスで紹介され、1669年にはアムステルダムで再版されている。この著作の直接的な影響は1680年代までに出版された解剖学書、筋運動の研究書に顕著である。

たとえば解剖学書におけるステノの影響は、筋一般を論じる際に、ステノが表題に用いて学問の一分野としての確立を目指した「筋学」の語が使用されていること、そして線維によって構成される筋の構造が受容されていることなどに見出される。こうした影響はジョン・ブラウン(John Browne, 1642-1700)や、ビドロー(Godfred Bidloo, 1649-1713)の著作に顕著である。

チャールズ2世(Charles II of England, 在位1660-1685)の外科医だったジョン・ブラウンによる『人体に見られる全ての筋について(A compleat treatise of the muscles as they appear in humane body)』(1681)³⁶⁾では、序文の大部分で、ステノに言及しながら線維による筋の構造と運動が説明される。身体の構成要素のうち筋のみを取り上げたこの書の本文では従来の解剖学書と同様に筋の位置や働きについて述べられるが、各筋の形状の説明には線維の走行についての言及も見られる。

また1685年にアムステルダムで出版されたビドローの『人体解剖学(Anatomia humani corporis)』(1685)³⁷⁾は、まさに解剖されている場面を描いた美しい解剖図が多数収録されていることで知られている。この著作における解剖図には、各筋における線維一つ一つを表すかのように、筋の走行が丁寧に描かれ、線維による筋の構造が受容されていたことが窺われる。腕の解剖図の一枚では、皮膚を薄く剥いだ上腕から指先までの左腕の解剖図と、ステノが提示した筋のモデルや線維の図と同様の図が7点併置されている。この図において、腕の解剖図はモデルの実例を示すように、モデルは実際の筋の解剖の理解を助けるために配置されているように見える。

またテキスト中にもステノの影響が見られる。ビドローの各図の説明では筋の構造が平行な線維の配列によって説明され、四肢を扱う部分では、筋の構造や位置、大きさなど、筋一般を述べることに對して「筋学(myologia)」の語が用いられている。

しかし更に重要なのは、17世紀においてステノ以後に行われた筋運動の研究への影響である。この頃にはデカルトが行ったように、身体を機械とのアナロジーによって説明する方法が現れた³⁸⁾。筋の運動に関しては、筋をバネに、関節の運動を梃子にたとえた説明がなされるようになった。だがそのためには、実際に身体と機械とのアナロジーが成り立つこと、つまり身体の運動が数学に基づく力学によって理解されることに對する方法的な裏付けが必要であった。ステノによる筋のモデルはこの裏付けとして機能していた。

以下ではステノによる線維そしてモデルを使用した筋運動研究の例として、ローワー(Richard Lower, 1631-1691)とウィリス、メイヨー(John Mayow, 1640-1679)、クルーンという4人のロイヤル・ソサエティのメンバー、およびボレリを取り上げる³⁹⁾。

(1) ローワーとウィリス：線維が平行に走る筋の構造のみを受容

ローワーは『心臓論(Tratatus de corde)』(1669)⁴⁰⁾において、ステノと同様、他の筋と同じく心臓にも線維を認めて心臓の運動を考察した。ウィリスは『筋の運動について(De motu musculari)』(1670)⁴¹⁾でステノに言及し、ステノによる筋運動の仕組みを紹介した。彼らはステノによる『筋学の要素の例証』の発表直後に、筋が平行に配置された線維によって構成されることを受け入れたが、筋運動の原因は依然として外的な物質の流入であると考えていた。

(2) メイヨー：線維による筋の構造を受容し、筋の力学的な考察に着手

メイヨーは『医学—自然学の5つの論文(Tractatus quinque medico-physici)』(1674)⁴²⁾の中

で、ステノがはじめて線維は腱と腱の間を平行に走ると見なしたと述べている。彼は線維が平行に走るというステノの説を受容し、筋運動が力学的に理解できる点をいち早く取り入れて筋運動を考察した。ただし彼は線維の更に微細な構造として微小線維 (fibril) を認めている。彼はステノが述べた線維と同じ走行をとる微小線維が多数束ねられて線維が構成され、この微小線維こそが運動を担うと考えた⁴³⁾。

運動の原理については簡易な幾何学的な図を用いてステノによる筋運動の仕組みを検証したが、運動の原因についてはステノの理解と異なっていた。メイヨーは筋運動が血液によって運ばれる物質の流入によって起こると考え、運動時の筋の変化が体積の増加なく起こることを認めなかった。彼は跳躍時の下肢の運動をデカルトが述べた投石機の運動と比較するなど、力学的な考察方法を取り入れた。

(3) クルーン：化学的理解とステノ以後に取り入れた筋のモデルを用いて運動を説明

クルーンはステノに先立って『筋運動の原因について』を著し、生涯にわたって筋運動を研究した。当時は運動の力学的理解の一方、化学的理解の傾向も現れていた。クルーンも化学的理解を進めていた一人であり、運動の原因は外的な物質である神経液であると考えていた。彼は意志的な運動は脳から伸び出した神経を介して筋によって行われるという古代以来の理解に基づきながら、デカルトの機械論的な理解を取り入れて筋運動を研究した。彼は袋状の筋に精気が流入することで筋の形態変化が起こるとしたデカルトの説を、動物精気が非常に微細で活動性のある神経の液であるという点から論じた。

また1681年には、『筋運動の原因について』以前と同様物質の流入説を保持しながらも、新たに幾何学的な筋のモデルを取り入れている。クルーンが提示した筋のモデルは、肉眼では観察されないレベルで、線維を菱形で表される多数の小球あるいは小囊の鎖状の連なりで表すというもので、ステノから直接取り入れられたというより、むしろ

ステノのモデルを応用して新たに提示されたボレリのモデルに類似していた。

(4) ボレリ：ステノのモデルを応用し、筋を単純機械に見立てた力学的な筋運動の考察を展開

ボレリはデカルトによる機械論的な思潮に影響を受け、単純機械に見立てることによって全身の筋を力学的に扱った。そのために没後に出版された『動物の運動について』は17世紀に発展した力学的な筋運動研究の代表的な著作と見なされてきた。ただし、ボレリが単独で全く新たな筋運動の理解を提示したわけではない。ボレリは1660年はじめにはこの主題に取り組み始めていたと考えられ、マルビーギと連携した動物の観察やアカデミア・デル・チメントでの実験結果を踏まえた後、呼吸運動や心臓の運動による血液循環についてなど解剖学における広範な課題を、当時の様々な知見を取り入れながら考察した。その過程において、筋の構造に関しては以下で見るように、ローワー、ウィリス、メイヨー、クルーンらと同様ステノの影響下にあった。すなわちボレリは線維を筋の基本単位としたステノの成果を取り入れ、運動を考察するために筋の構造を模したモデルを使用するという方法を採用して考察を展開したのである。

ボレリは『筋の運動について』の中で、ステノの名前には言及せずに近年新しく提示された説として、平行六面体のモデルとその運動の原理を説明している⁴⁴⁾。彼はステノの線維による筋のモデルを踏まえた上で、自身による顕微鏡での観察や実験結果を考慮し、平行四辺形が無数に連なっている鎖状の構造を筋のモデルに採用したのである。ステノが提示した筋の線維は一つの筋の起始から停止まで至る長さを持っているとされていた。対してボレリは筋の起始から停止までを微小な鎖状の構造に細分化し、細分化された構造の一つ一つに平行四辺形のモデルをあてはめた。この過程でステノの線的な線維は線を構成する点に分解されて理解されたと言える。

ステノ以後、顕微鏡の利用によって観察される構造のレベルは各研究者によって異なり、筋を構

成する構造の名称も、fibra, filament, fibrilなどの多様な語で表されるようになる。そうした中でボレリは、肉眼では観察されない線維のレベルにおいてもモデル化が可能であり、またそのモデルが力学的な運動の考察に使用できることを示した⁴⁵⁾。彼はモデルの利用そのものに加え、線維の形態を運動に結びつけて考察することができる点もステノから引き継いでいる。ボレリもクルーンらと同様、外部からの物質流入を運動の原因としたため、ステノが想定していたような線維の収縮による筋運動の原理を受け入れていない。しかし運動の原理としては、外的な物質が流入することで各平行四辺形の形態変化による力が連なって筋全体の大きな運動の力となると考えたのである。

ステノの『筋学の要素の例証』における成果の一つは、筋の構造が数学的に扱えること、そして線維を基本単位とする筋の運動が力学的に扱えることを示したことである。こうしたステノの成果はボレリによって最も効果的に利用された。ステノが『筋学の要素の例証』で実践してみせたモデルの利用は、ボレリによる力学的な筋運動研究のための実践的な道具を提供していたと言える。ボレリは筋の運動がごく微細なレベルで力学的に考察可能であることを示した上で、モデル化された筋を更に単純な機械に置き換えて説明した。ボレリはこの方法によって個々の筋における運動を詳細に分析し、機械を用いた実験によって運動を再現しただけでなく、個々の筋の組み合わせによる関節の運動、そして関節の運動の組み合わせによる全身の運動を分析することができた。つまりステノが個々の筋における運動の原理のみを提示したのに対し、ボレリは原理を応用することで、実際に観察される運動の広範な分析を可能にしたのである。この点はステノと異なるボレリの優れた点であり、筋運動研究の系譜においてボレリの影響力が重視される理由となっている⁴⁶⁾。モデルを効果的に使用したボレリの影響は大きく、以降の筋運動研究におけるステノの影響は、ステノによる直接的影響ではなく、ボレリによる成果を通して見出すことができる。

特にボレリが線維による筋の構造を受容したこ

とは、線維への注目を高めることになった。

解剖学では身体を構成するものは何かという問いを構造的・形態的に扱ってきた。しかし18世紀になると、その問いが生理学的な成果となって現れ始めた。その中で線維を身体を構成する単位として広めたのが、ブールハーフェ(Herman Boerhaave, 1668-1738)そしてハラー(Albrecht von Haller, 1708-1777)である。彼らは筋の運動に関して、身体への機械的、数学的アプローチという点で、ボレリを踏まえていた。つまり線維を筋を含めた身体の基本単位とするという系譜は、ボレリに影響を与えたステノの理解を出発点としていたと言える。

しかしステノによる線維の集積としての筋という考えがそのままブールハーフェへと引き継がれたわけではない。ステノにおいては線維は筋のモデルを構成する概念的な構造にすぎなかったが、以後は顕微鏡による観察に基づいて筋が観察され、ステノが想定したよりも微細なレベルでの線維の存在が実際に筋を構成する実体として認められるようになった。既に述べたように、ボレリはモデルを用いて運動を考察するというステノの方法自体を引き継ぎ、ステノを応用した新しいモデルを考案したが、このようにより細分化された線維による筋という考えは、レーベンフックの顕微鏡による観察によって裏付けられていた。レーベンフックは1677年に『フィロソフィカル・トランザクションズ』において、線維は無数の小球で構成されていると報告している。しかしボレリの死後、1681年と1682年には、筋が小球ではなく無数の紐状の構造からなり、この紐状の構造は更に下位のレベルで、ごく細い糸状の構造(filament)から出来ていると自説を修正した。

これ以降、線維自体が次第に筋のモデルを構成する概念的な構造から、顕微鏡によって観察可能な身体の実体的な構造へと変容していった。この実体的な構造としての線維の理解に特に影響力を持ったのがブールハーフェ⁴⁷⁾であり、彼の弟子で著作の注釈を手がけたハラーである。彼らは身体を固体部分と液体部分に分け、筋のみならず身体

とした。ハラーは筋が持つ被刺激性 (irritabilis) と神経のもつ感覚性 (sensibilis) という 18 世紀の生理学に重要な概念を提唱して身体の機能を説明した人物である。彼の『生理学初歩 (Primaе lineae physiologiae)』(1747)⁴⁸⁾ では 35 章に分かれた本文の最初に線維の項目が設けられた。彼は身体の構成の基礎となるのが固体部分であり, その固体部分である骨や筋, 靭帯, 膜などを構成するのが線維であるとして, 身体の構造的な単位としての線維の理解を広げた。ハラーは運動の原因を, 筋を構成する線維が刺激に反応して起こる収縮によって説明している。ハラーが線維を構造的な単位としてだけでなく, 運動の原因となる機能的な単位として認めたことで, ステノによって提示された概念的な筋の線維は身体の様々な場所に見られる実際の構造的・機能的単位へと変化し, 現在の線維の理解に続くものとなったのである。ステノが線維を筋の構造と運動の基本的な単位に設定したことは, 筋線維を基本単位として力学的作用から説明される現在の筋運動の理解の出発点となっていたと言える。

5. 17 世紀の筋運動研究における ステノの位置づけ

これまで 17 世紀における筋運動研究の系譜において, ステノは力学的な筋運動研究の主流をなす人物とは見なされてこなかった。これは, ステノが当時支持されていた物質の流入による筋運動を否定したことばかりが取り上げられてきたためであり, また筋を幾何学的に論じるというステノ独自のスタイルの意義について考慮されてこなかったためでもあったと考えられる。

ボレリをはじめとする 17 世紀における筋運動研究者の多くは物質の流入による筋運動を支持していた。そのため研究の力点はどのような物質がどのように筋に流入するかを説明することに置かれていた。他方ステノは, 精気などの不確かな要素を前提として観察される事象を巧みに説明づけようとする当時の研究方法自体を問題視した。このような事情から, 彼は幾何学にならって筋運動を論証するという新しい学問分野, 及び方法を考

案して, 新しい運動の原理を提示したのである。

近年ではこうしたステノによる自然学の研究方法も注目されている⁴⁹⁾。本研究では, これまで行われてきたように単にステノと各研究者による筋運動の仕組みの差異を比較するのではなく, また幾何学を用いたその背景と方法を整理するだけでなく, ステノが『筋学の要素の例証』で実践してみせた目的と方法が, どのような意義と役割を持っていたのかを検討した。著者間での方法論的な影響関係は, 運動の原因が物質の流入かあるいは線維そのものの収縮かという問題設定に比して気づきにくいものであるが, 第 4 節で明らかにしたように, 実際にステノの影響は「筋学」という枠組みや筋を数学的に扱うためのモデルの利用など, 彼が独自の方法に基づいて提示した具体的な成果として同時代の研究者に影響を与えていた。幾何学による物体の運動の考察を筋運動に応用して, 力学的な筋運動研究の代表者とされてきたボレリも, ステノの研究に負うところが大きかったのである。

筋運動の力学的理解の系譜において, ステノの『筋学の要素の例証』は身体の機械論的な理解を広めたデカルトと, 機械とのアナロジーを用いて力学的な筋運動の研究を行ったボレリとの間で, 筋を数学的に扱い得ることの証明の役割を果たしていた。すなわち『筋学の要素の例証』はこれまで筋運動の研究の主流をなすとされてきた著作群に対し, 方法論に関して, 研究そのものの基盤となるものを提供しており, むしろ 17 世紀の力学的な筋運動研究の潮流を生んだ著作であったことが新たに位置づけられた。

おわりに

ステノは筋運動の研究にあたり, 既存の方法や前提されていた概念にとらわれることなく問題を整理・再設定した上で考察を行った。ステノのこうした方法は筋運動のみならず自然学全般の研究に及ぶ。その姿勢は, 『筋学の要素の例証』の後に書かれた地質学の主著『固体の中に自然に含まれた固体についての論文への前駆 (De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis pro-

dromus)』(1669) 第一部においてより明確に表明されている。彼は地中に見られる事物の生成について論じた第一部で、自然における諸問題が解決されない原因は、明確に決定され得ないものが明確に決定され得るものから区別されていないことにあるとして次のように述べた。

ある別の者たちは、……彼ら自身に心地よく、巧みである全てのものが正しいと信じている。それどころか経験の擁護者たちが、最も確実な自然の諸原理さえ全てを退けることも、彼ら自身によって見出された諸原理を証明済みのものとしてしまうことを避けるよう抑制することも、まれなのである⁵⁰⁾。

その後の自然学研究においてステノの厳密な幾何学的方法自体が踏襲されることはなく、また筋運動研究の方法も、構造より機能を重視する生理学的な方法へと移っていった。しかしステノの取り組みは自然の数学的理解、つまり自然の諸現象を理解する方法そのものの転回が試みられていた17世紀における一つの成果である。彼が不確かなものを前提せず、自然学の諸問題を目に見える構造と形態から論じようとしたことこそが、解剖学者としてそして自然学の探求者として筋運動を考察した『筋学の要素の例証』という成果を生んだのだと言える。

注

- ニコラウス・ステノの生涯と業績については、シェルツ (Gustav Scherz, 1895–1971) による決定版の英語訳を収録した Kardel, Maquet (2013) のほか、Poulsen, Snorrason (1986), ステノ, 山田 (2004), 山田 (2010) などを参照。現在知られているステノの解剖学関連の全著作は Steno, Maar (1910) に収録され、この英語訳が Kardel, Maquet (2013) に収録されている。
- 『筋と腺の観察の例証 (De musculis et glandulis observationum specimen)』(1664), 『筋と心臓の新しい構造 (Nova musculorum et cordis fabrica)』(1667), 『筋学の要素の例証』(1667) である。このほかにタイトルに筋の語が含まれるものとして、鷺に見られる筋を列挙・報告した『鷺の筋の記述 (Historia musculorum Aquilae)』(1675) がある。Steno (1664), Steno (1667a),

- Steno (1667b), Steno (1675)
- Borelli (1680), Borelli (1681)
 - 筋研究の通史に関しては以下を参照。Bastholm (1950), Brazier (1984), Needham (1971)
 - Kardel (1990), Kardel (1994), Kardel (1996), Kardel (1997), Kardel (2008).
 - Meli (2008)
 - Andrault (2010)
 - 『筋と心臓の新しい構造』は1663年に書かれたバルトリン宛ての書簡であり、バルトリンが医学関係者と交わしたその他多くの書簡とともにまとめられ1667年に出版された。Steno (1667a)
 - 24点の図において、はじめの1点では袋状の紡錘形をした従来の筋の描き方を示し、残りの23点の図では直線を基調とする幾何学的な図形によって、筋そして筋を構成する線維が表されている。こうした図には文中で示される線維を基本とする幾何学的な筋の把握が反映されている。
 - “In omni musculo, dum contrahitur, tumor contingit.” Steno (1667b) p. 25
 - 書簡はテヴノー (Melchisedeck Thévenot, 1620–1692) に宛てたものである。ステノは1665年のパリ滞在時に、テヴノーが主催していたサークルに出入りして脳の解剖についての講義を行った。また、テヴノーはフィレンツェへ向かうステノに大公宛ての推薦状を渡していた。
 - 『ユークリッド原論第1巻注解』を著したプロクルス (Proclus, 410–485) は、幾何学における「要素」の語を、論証を行うために最初に置かれる基本的な定理のことで言語において単語を構成するアルファベットの文字にあたりと説明している。Proclus, Morrow (1992) p. 59
 - Steno (1667b) n. pag.
 - ステノは『筋と心臓の新しい構造』の中で、当時取り組んでいた心臓と筋の研究成果として、近いうちに筋の構造を図とともに完全に示すことができるだろうという期待を述べていた。彼はこの報告をまとめた1663年の時点で筋の構成要素としての線維に注目し、『筋学の要素の例証』で提示することになる筋のモデルを思わせる簡易な図を描いている。Steno (1667a)
 - たとえばステノの時代に用いられていた解剖学書に、ステノのコペンハーゲン大学時代の師であったトマス・バルトリンの『改新解剖学書 (Anatomia reformata)』(1641) がある。『改新解剖学書』ではそれ以前の解剖学書の構成にならぬ、腹部、胸部、頭部、四肢の各部位ごとに観察される構造がそれぞれ扱われ、同様に筋も各部で個別に位置や形状が説明された。また17世紀には解剖学書の他にオエコノミアと題して身体諸器官の活動全般を論じる著作群が現れている。たとえばチャールトンが『動物のオエ

- コノミア (Oeconomia animalis)』(1659), クラーネン (Theodor Craanen, 1620–1690) が『血液循環に関する動物のオエコノミアの小論 (Oeconomia animalis ad circulationem sanguinis breviter delineate)』(1685) を著した。これらの著作では、血液と精気の精製、栄養、呼吸、そして筋の運動について論じられる。クラーネンは『血液循環に関する動物のオエコノミアについての小論』を改訂した『人間についての自然学—医学論 (Tractatus physico-medicus de homine)』(1689) の「筋の運動について」という項目でステノの『筋学の要素の例証』に言及している。オエコノミアの著作群に関しては以下を参照。Brown (1981), 本間 (2003)
- 16) ヘンリー, 東 (2005)
 - 17) アカデミア・デル・チメントの活動に関しては Middleton (1971), Boschiero (2007), Beretta, Clericuzio, Principe (2009) が詳しい。
 - 18) Magalotti (1667)
 - 19) Galilei (1638), ガリレオ, 今野, 日田 (1948)
 - 20) Meli (2008)
 - 21) Meli (2011)
 - 22) Malpighi, Adelman (1975) p. 175–176
 - 23) 医学者であったカプッチ (Giovanni Battista Capucci, 1614–?). Malpighi, Adelman (1975) p. 351–354
 - 24) Borelli (1667)
 - 25) Borelli (1670)
 - 26) Malpighi, Adelman (1975) p. 318–319
 - 27) Charleton (1659). チャールトンに関しては Booth (2005) が詳しい。
 - 28) Malpighi, Adelman (1975) p. 120–124
 - 29) Croone (1664)
 - 30) ステノは1665年12月に、モンペリエでクルーンに出会っている。ステノはこの地で牛の頭部の解剖を行い、この解剖にイギリスのレイ (John Ray, 1627–1705) やリストア (Martin Lister, 1639–1712), クルーン (William Croone, 1633–1684) が立ちあい、ステノは見事な解剖の技量を示したとされる。その後ステノはクルーンと書簡を交わしている。書簡では直接筋運動について扱われていないが、相互に影響があったことは間違いない。
 - 31) 『哲学原理』第2部64項。Descartes (1644) p. 69–70, デカルト, 本多 (2001)。ステノの大学時代の研究ノートである「カオス手稿」で言及されていることから、ステノは1659年の時点で既にデカルトの『哲学原理』(1644) を読んでいた。またステノは1662年には幾何学への関心から一時解剖学を断念しようとも考えていたようであるが、この年、ライデンで出版されたデカルトの『人間論 (De Homine)』(1662) に大きな影響を受けて解剖学の研究を続けた。
 - 32) スピノザ, 畠中 (2004)
 - 33) 1662年末には第一部の主要部分が完成し、友人たちの間で回覧していたとされる。スピノザ, 畠中 (2001)
 - 34) スピノザ, 畠中 (1958)
 - 35) ステノによる幾何学の利用の背景については、シェルツもアカデミア・デル・チメント, スピノザ, チャールトンの影響を指摘している。Kardel (2013)
 - 36) Browne, Casseri, Molins (1681)
 - 37) Bidloo (1685)
 - 38) デカルトは『人間論』において機械仕掛けの噴水を例に、神経を各種の管に、筋や腱を様々な仕掛けやバネにあたと説明した。その他説明にはふいごやふるいなどが使用された。Descartes (1662), デカルト, 伊東, 塩川 (2001)
 - 39) 数学者 Johann Bernoulli (1667–1748) は筋・線維を幾何学的に表してその収縮現象を力学的に考察した。彼はステノに言及しており、ステノと並べて論じられることも多いが、直接的にはボレリの影響下であり、本研究においては扱わない。
 - 40) Lower (1669)
 - 41) Willis (1680)
 - 42) Mayow (1674)
 - 43) ステノは『筋学の要素の例証』において、筋を構成する最小の単位として設定した運動性の線維 (fibra motrix) は非常に微少な線維 (fibril) であると定義した。これに対しメイヨーの用いる微小線維 (fibril) は、線維 (fibra) を構成する更にミクロなレベルの構造を指しており、ステノとメイヨーでは fibril の語が意味するものが異なっている。
 - 44) Borelli (1680) p. 7
 - 45) ボレリ自身はステノと同様、筋の肉質部を構成する平行に走る線維に fibra の語を使用した。
 - 46) こうした影響力の大きさから、ボレリはしばしばバイオメカニクスの祖と見なされている。Melcolm (2005)
 - 47) 坂井, 澤井 (2012)
 - 48) Haller (1801)
 - 49) ステノの自然学研究の方法と取り組みを再評価している研究に Hansen (2009) がある。
 - 50) Steno (1669) p. 9.

一次文献

- Bidloo G. Anatomia humani corporis. Amstelodami: Someren, Dyk& Boom; 1685
- Borelli GA. De vi percussionis. Bononiae: typographia Jacobi Montii; 1667
- Borelli GA. De motionibus naturalibus a gravitate pendentibus. Regio Iulio: Officina Domenici Ferri; 1670
- Borelli GA. De motu animalium pars prima. Romae: typographia Angeli Bernabo; 1680. (tr. Maquet P. On the movement of animals. Berlin, New York: Springer-Verlag; 1989)

- Borelli GA. De motu animalium pars altera. Romae: typographia Angeli Bernabo; 1681. (tr. Maquet P. On the movement of animals. Berlin, New York: Springer-Verlag; 1989)
- Browne J, Casseri GC, Molins W. A compleat treatise of the muscles as they appear in humane body, and arise in dissection: with diverse anatomical observations not yet discover'd. Savoy: Tho. Newcombe; 1681
- Charleton W. Oeconomia animalis: novis in medicina hypothesis superstructa & mechanice explicate. Londini: Typis R. Danielis & J. Redmanni; 1659
- Croone W. De ratione motus musculorum. Londini: F. Hayes; 1664. (tr. Maquet P, Nayler MA. William Croone. On the reason of the movement of the muscles. Philadelphia: American Philosophical Society; 2000)
- Descartes R. Principia philosophiæ. Amstelodami: Ludovicum Elzevirium; 1644. (Œuvres de Descartes VIII, Charles Adam et Paul Tannery: Paris; 1905. p. 3–329)
- Descartes R. De homine. Lugduni Batavorum: Franciscum Moyardum & Petrum Leffen; 1662. (Œuvres de Descartes XI, Charles Adam et Paul Tannery: Paris; 1909. p. 119–202)
- Galilei G. Discorsi e dimostrazioni matematiche: intorno a due nuoue scienze attenenti alla mecanica i movimenti locali. Leida: Appresso gli Elsevirii; 1638
- Haller AV. First lines of physiology. Edinburgh: Ad. Neill & Co; 1801
- Lower R. Tractatus de corde. Amstelodami: Danielem Elzevirium; 1669
- Magalotti L. Saggi di naturali esperienze fatte nell' Accademia del cimento. Firenze: G. Cocchin; 1667
- Mayow J. Tractatus quinque medico-physici. Theatro Sheldoniano: Oxonii; 1674. (tr. Leonard Dobbin, Alexander Crum Brown. Medico-physical works; being a translation of Tractatus quinque medico-physici. Edinburgh: The Alembic club; 1907)
- Malpighi M, Adelman HB. The correspondence of Marcello Malpighi. Ithaca: Cornell University Press; 1975
- Proclus, Morrow GR. Proclus a commentary on the first book of euclid's elements. Princeton: Princeton University Press; 1992
- Steno N. De musculis et glandulis observationum specimen. Cum epistolis duabus anatomicis. Hafniae: Literis Matthiae Godicchenii; 1664
- Steno N. Nova Musculorum & Cordis fabrica. In: Bartholin T. Epistolarum medicinalium centuria IV. Hafniae: Petri Haubold; 1667a. p. 414–421
- Steno N. Elementorum myologiæ specimen, seu musculi descriptio geometrica: Cui accedunt canis carchariae dissectum caput, et dissectus piscis ex canum genere. Florentiæ: Typographia sub signo Stellæ; 1667b
- Steno N. De solido intra solidum naturaliter contento dissertationis prodromus. Florentiæ: typographia sub signo stellæ; 1669
- Steno N. Historia musculorum Aquilae. In: Thomae Bartholini Acta medica & philosophica hafniensia anni 1673. vols. 2. Hafniae: Georgii Gødiani; 1675. p. 320–345
- Steno N, Vilhelm Maar. Nicolai Stenonis Opera philosophica; At the expense of the Carlsbergfond. Copenhagen: Vilhelm Tryde; 1910
- Willis T. De motu musculari. In: Opera omnia, Genevae: Samuelem de Tournes; 1680
- ガリレオ, 今野武雄, 日田 節次訳: 新科学対話. 東京: 岩波書店; 1948
- ステノ, 山田俊弘訳: プロドロムス: 固体論. 神奈川: 東海大学出版会; 2004
- スピノザ, 畠中尚志訳: スピノザ往復書簡集. 東京: 岩波書店; 1958
- スピノザ, 畠中尚志訳: エチカ (上)・(下). 東京: 岩波書店; 2001
- スピノザ, 畠中尚志訳: デカルトの哲学原理. 東京: 岩波書店; 2004
- デカルト, 本多英太郎訳: 哲学原理. デカルト著作集3. 東京: 白水社; 2001
- デカルト, 伊東俊太郎, 塩川徹也訳: 人間論. デカルト著作集4. 東京: 白水社; 2001

二次文献

- Andraut R. Mathématiser l'anatomie: la myologie de Stensen (1667). Early science and medicine. vols. 15: 2010; p. 505–536
- Bastholm E. The history of muscle physiology: from the natural philosophers to Albrecht von Haller: a study of the history of medicine. Acta historica scientiarum naturalium et medicinalium. vols. 7: København: Munksgaard; 1950
- Beretta M, Clericuzio A, Principe LM. The Accademia del cimento and its european context. Sagamore Beach: Science History Publications; 2009
- Booth E. "A subtle and mysterious machine": the medical world of Walter Charleton (1619–1707). Dordrecht: Springer; 2005
- Boschiero L. Experiment and natural philosophy in seventeenth-century Tuscany: the history of the Accademia del cimento. Dordrecht: Springer Verlag; 2007
- Brazier MAB. A History of neurophysiology in the 17th and 18th century from concept to experiment. New York: Raven press; 1984
- Brown T. The Mechanical philosophy and the "Animal Oeconomy". New York: Arno Press; 1981
- Foster M. Lectures on the history of physiology: During the 16th, 17th and 18th centuries. Cambridge: Cambridge University Press; 1901
- French RK. Medicine before science: The rational and learned

- doctor from the middle ages to the enlightenment. Cambridge: Cambridge University Press; 2003
- Hansen JM. On the origin of natural history; Steno's modern, but forgotten philosophy of science. *Bulletin of the geological society of Denmark*. 2009; 57: p. 1–24
- Kardel T. Niels stensen's geometrical theory of muscle contraction (1667): a reappraisal. *Journal of biomechanics*. 1990; 23 (10): p. 953–965
- Kardel T. Steno on muscles introduction, texts, translations. Philadelphia: The American philosophical society; 1994
- Kardel T. Willis and Steno on muscles: rediscovery of a 17th-century biological theory. *Journal of the history of the neurosciences*. 1996; 5 (2): p. 100–107
- Kardel T. Function and structure in early modern muscular mechanics four episodes and a dialogue between Stensen and Borelli on two chief muscular systems. *Acta anatomica*. 1997; 159: p. 61–70
- Kardel T. Nicolaus Steno's new myology (1667): rather than muscle, the motorfibre should be called animal's organ of movement. *Nuncius*. 2008; 23 (1): p. 37–64
- Kardel T, Maquet P, Nicolaus Steno biography and original papers of 17th century scientist. Heidelberg: Springer; 2013
- Melcolm H. Giovanni Alfonso Borelli—The father of bio-mechanics. *Spine*. 2005; 30 (20): p. 2350–2355
- Meli DB. The collaboration between anatomists and mathematicians in the mid-17th Century. with a study of images as experiments and Galileo's role in Steno's myology. *Early science and medicine*, 2008; 13: p. 665–709
- Meli DB. Mechanism, Experiment, Disease: Marcello Malpighi and Seventeenth-Century Anatomy. Baltimore: the Johns Hopkins University Press; 2011
- Middleton WEK. The experimenters; a study of the Accademia del cimento. Baltimore: Johns Hopkins Press; 1971
- Needham DM. *Machina carnis: The biochemistry of muscular contraction in its historical development*. New York: Cambridge University Press; 1971
- Poulsen JE, Snorrason E. Nicolaus Steno. 1638–1686: a reconsideration by Danish scientists. Gentofte: Nordisk Insulinlaboratorium; 1986
- 坂井建雄, 澤井直. ブールハーフェ (1668–1738) の『医学教程』. *日本医史学雑誌* 2012 ; 58: p. 357–372
- ヘンリー, 東慎一郎訳: 一七世紀科学革命. 東京: 岩波書店; 2005
- 本間栄男. 17世紀ネーデルランドにおける機械論的生理学の展開. 東京大学大学院総合文化系大学院博士論文 (未公刊); 2003
- 山田俊弘. ニコラウス・ステノ, その生涯の素描 新哲学, バロック宮廷, 宗教的危機. *ミクロコスモス* 2010 ; 1: p. 236–253

Nicolaus Steno's Geometrical Description of Muscle: The Investigation of Muscle Movements in the 17th Century

Natsume ANZAI, Tadashi SAWAI and Tatsuo SAKAI

Juntendo University, Faculty of Medicine, Department of Anatomy and Life Structure

Famous geologist Nicolaus Steno (1638–1686) was known as a skillful anatomist in his time. His main work about anatomy is “Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica”. Steno introduced geometrical representation into muscle study. His purpose was to handle muscle movements in the style of Cartesian mechanical philosophy, assuming muscle fibers as the structural and functional unit of muscle. Steno modelled muscles as parallelepiped integrations of fibers. Steno thought the shortening of muscle fibers modified parallelepiped integration and its modification resulted in muscle movements. His parallelepiped model enabled the regarding of muscles as objects of physics. Steno's assumption and model built a methodological foundation of mechanistic physiology of muscle, and influenced latter 17th century thinkers, especially Borelli.

Key words: Nicolaus Steno, anatomy, muscle movements, muscle fiber, model