

二枚貝の開閉殻運動に関する力学的考察（第2報）： 閉殻筋の等伸度線に就て

三宅，正人
九州大学農学部水産学教室

<https://doi.org/10.15017/21156>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 12 (2), pp.165-175, 1951-08. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：



二枚貝の開閉殻運動に関する力学的考察 (第2報)

閉殻筋の等伸度線に就て

三 宅 正 人

Studies on the mechanism of the opening and closing
movement of bivalves. 2. On the iso-elongative
line of fibres of adductor muscles

Masato Miyake

I. 緒 言

第1報¹⁾に於て記したように非常に大きい力が働いている開閉殻運動には当然合理的な力の配置が存在せねばならないが、此の運動を力学的に見ると次の2通りの考え方があげられる。

(1) 閉殻筋夫れ自体の2構成部、即ち平滑筋部と横紋筋部の位置及び性質を力学的に解説しようとする考え方。

(2) 開閉殻運動を殻全体の系から考えて力学的観点から閉殻筋の大きさ、位置又はその合力の大きさ、作用点等を論ずる考え方。

(1)に就て少しく説明すると、二枚貝の閉殻筋は白い不透明な部分と透明な部分との2部から構成されているのが普通であるが、その境界線は凸面又は凹面に形成されているのが見られる。前者は平滑筋から成り後者は横紋筋から成っているが之は Bronn²⁾以来注目されたことであり Uexküll³⁾がその生理に就て研究して前者を Sperrmuskel (Catch muscle) 後者を Bewegungsmuskel (Motor muscle) と名付けた所のものである。

その生理的機能に就て述べると Catch muscle を切り離し Motor muscle のみとしその作用を見ると、外套膜等に刺戟を与えている間は閉殻しているがその刺戟がなくなると直ちに開く。一方 Motor muscle を除き Catch muscle のみとしその作用を見ると殻はその位置で閉じたままである。即ち Motor muscle は瞬間性閉殻(従つてその閉殻速度は早い)を、Catch muscle は持続性の閉殻を行うものである。^{*}

次に之等両構成部の力学的機能に就て述べると、最初此の問題に関し力学的解説を加えたのは Coutance⁵⁾で次に Anthony⁶⁾、その後 Marceau^{7), 8)}が研究している。Coutance は閉殻筋を殻から切り離すと nacré (平滑筋部) は vitreuse (横紋筋部) よりもよく縮

^{*}之等の生理的機能は追歯車にたとえると分り易い (Grützner⁴⁾)。即ち追歯車の逆止め爪の役目をするのが白色部で、追歯車に相当するのが透明部と考えられる。

むが、此の収縮度は殻に於ける筋の位置と関係があり *nacré* は収縮係数が大で殻と殻との距離が短い所に位置し、又 *vitreuse* は係数が小で間隔の大きい所に見出されることを述べ、Anthony は *nacré* は常に殻の周縁部に、*vitreuse* は常に内方に存在し且つ前者の総ての筋繊維は後者のそれよりも短くなるように配置されており、* 従つて両者の境界線は閉殻筋の殻への挿入面の形によつて支配されるものであると説明した。即ち挿入殻面が凹面の時は閉殻筋の両部の境界線は Fig. 1 の bl の如く凸面となり（二枚貝の多くはそうである）。殻面が凸面の時は境界線は凹面となる（*Anomia ephippium*, *Placuna sella*, etc）。つまり此の境界線は両部が上の条件を満足するような配列をとる結果成立する線であることを述べている。所が更によく調べて見ると之等のことは多くの二枚貝には必ずしも当てはまらないのであつて、特に單柱類や異柱類ではそうでないことを Marceau⁷⁾ が見出

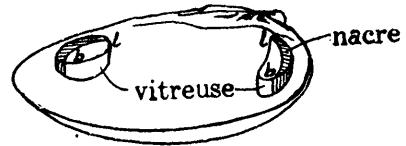


Fig. 1.

した。即ち *Mactra glauca* では殆ど全く Anthony の言う通りであるが *Cardium norvegicum* の場合後閉殻筋では一致するが前閉殻筋では一致せず Fig. 2, a に示すように、前閉殻筋に於て平滑筋部の黒く塗つた部分の筋繊維は横紋筋部の最小の繊維よりも長い。*Tapes decussatus* では Fig. 2, b に示すように前、後閉殻筋共に平滑筋部の黒く塗

つた部分は前と同じ関係にある部分で Anthony の説に従わない。*Dosinia exoleta* では此の関係は一層顯著である。*Mytilus edulis* では Fig. 2, c のように ei は両筋部の境界線であるが Anthony の言う通りであるとすれば e'i' の如くならねばならない。*Ostrea edulis* では Anthony の説によれば Fig. 2, d の如く境界線は ae とならねばならない。

所で上例のような Anthony 説の矛盾に対し Marceau は

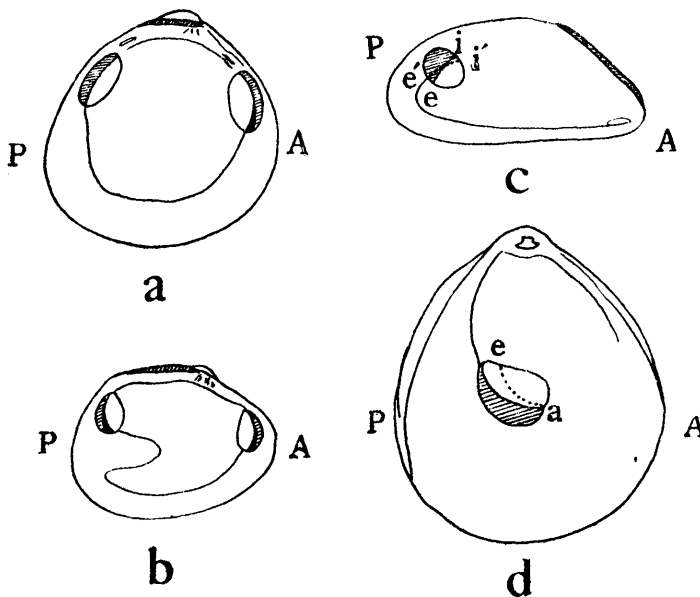


Fig. 2.

- a : *Cardium norvegicum* Spengler
- b : *Tapes decussatus* Linné
- c : *Mytilus edulis* Linné
- d : *Ostrea edulis* Linné

*結局此の境界線上の各筋繊維は同じ長さを示すことになる。

次のように、“力の能率”を考慮に入れて之を補足説明しようとした。即ち平滑筋部は出来る丈筋繊維の長さが短かくて済むような位置を占めて伸縮の度を高めると同時に、廻転軸（靱帯）から作用点迄の距離が大になるように即ち靱帯の線から遠くなるような位置を占めることにより力の能率を大ならしめるものである。Fig. 3 のように平滑筋部の力の能率を大にする為には作用点から軸迄の距離を長くすれば良いが（即ち $nn' > vv'$, $NN' > VV'$ ）その結果腹部へ出張ることになり、その部分では繊維の長さが長くなり、従つて横紋筋繊維の一番短いものよりは長くなることになると説明したのである。

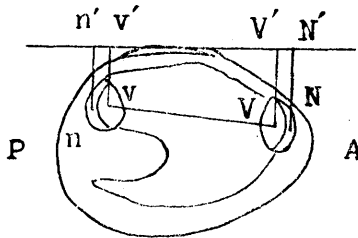


Fig. 3.

以上の説に於ては着想及び一部の事実就ては肯定されるが尙大きな誤りのあることは見逃せない。即ち之等の説に於ては閉殻したままの

静止状態に於て筋繊維の力学的配置を論じているに過ぎないが、只は勿論静止状態にあるものではなく始終開閉殻運動を行つてゐるものである。従つて上の説は實際の開閉殻運動を論ずるに当つては最早意味を為さないことになる。

平滑筋部及び横紋筋部は開閉殻の何れの状態若しくはその道程に於ても、力学的に矛盾のないような配列をとらねばならないと考えるのが至当と思われる。而して斯る力学的配置に於て平滑筋部と横紋筋部との境界が形づくられる可きである。

つまり今迄平面的に解説しようとした所に無理があつたのであるが、著者は立体的に考え筋繊維の伸縮率を導入することにより、開閉殻した場合閉殻筋の平滑筋部と横紋筋部との境界線上にある各筋繊維は同じ伸縮率を持つこと*を見出したのであるが、多くの実験により平滑筋部は開閉殻運動の際は必ず横紋筋繊維の何れよりも大きい伸縮率を持つような位置を占めて機能上から見て矛盾のない配列状態にあることが判然としたのである。

（上記の諸氏の説のように仮に此の境界線が同じ長さの筋繊維より成ることを原則的に認めるならば、開殻した時にはその線上にある筋繊維の伸度は夫々異なり機械的に性質の異なる筋繊維が配列していることになるが、このような矛盾、或は之に対する Marceau のような苦しい説明は全く解消されることになる。）

今二枚の板が一つの蝶番軸を中心として開閉するとすれば Fig. 4, a に於て次のような関係が成立する。

AO 及び A'O は O を中心として開閉する 2 枚の板、

AO 及び A'O が aO 及び a'O に開いたとすれば

$$\frac{ab}{AB} = \frac{cd}{CD} \dots\dots\dots (1)$$

即ち(1)式により 2 枚の板が如何ように開閉しようとも両板の間に挟まれた 2 間隔の AB 及び CD の伸縮の度合は上の関係により等しい。従つて此の関係を満足する板の間に存在して開閉を司る筋肉は同じ性質のものでよい筈である（逆に言えば同じ性質の筋肉は同

*従つて此の境界線上の各筋繊維は同じ機械的性質を持つ。

に機械的変化を受ける点に配列するものであるとも言える)。此の關係が表題の等伸度線に関する研究の根本をなすものである。

今(1)の問題に就て著者の研究により確められた事実を要約すれば次の如く言い得る。

即ち平滑筋部の繊維は殻と殻との間の距離が短い位置即ち殻の周辺部にあつて殻が開閉する際それ等筋繊維の受ける伸縮率が大きくなるようになって居る——平滑筋部は閉殻を強力に維持しようとする性質から言つて斯くの如き配置をとれば、少しの開殻に対してその張力は鋭敏に影響され靱帯の力に拮抗することが出来る——又横紋筋部の筋繊維は殻と殻との間の距離が遠い位置即ち殻の内方にあつて殻の開閉の際筋繊維の受ける伸縮率は平滑筋よりは小さくて済むようになって居る。逆に言えば筋の僅かな收縮によつて殻は大きく閉ち、速かに閉殻しようとするその性質に適しており、且つ開閉殻した場合両筋繊維の斯る力学的機能が相互に整然と守られるような配置をとり、その結果としてその境界線が形成されているものであることを明らかにした。

II. 実 験 之 部

A. 蝶番軸の測定法

殻の開閉運動に関し力学的考察を行うには先づ二枚の殻の開閉運動の中心となる蝶番軸の位置及び方向を知らねばならない。アカガイ、コケガラスの如く蝶番が一直線をなし且つ固定しているものは測定するまでもないがアサリ、シオフキ等の如く可変性蝶番軸を持つ貝ではその軸を如何にとればよいかが問題である。著者は次の如く測定を行つた。

既に第1報に於て述べた如く可変性蝶番軸を持つ貝では開閉殻の際最も力学的に釣合を要するのは靱帯の開殻力の最も強力に働く開殻の始め又は閉殻の終りであることを考えれ

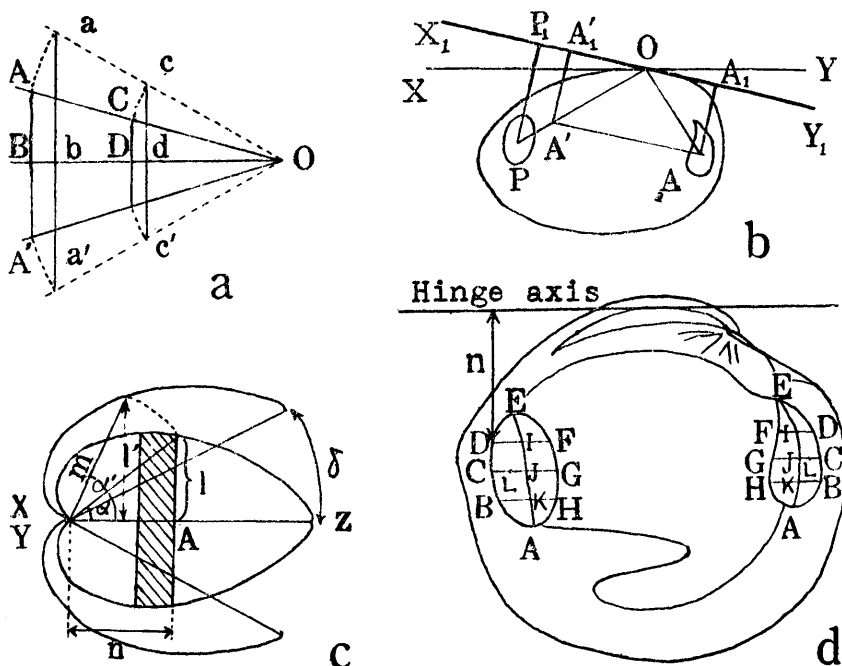


Fig. 4.

ば、之等の貝では重要な蝶番軸はその際とられる軸であることが考えられる。

今 Fig. 4, b に於てO点を可変性軸の何れもが通る靱帯上の一点とする。A, P は前後閉殻筋の中心, XY は見掛けの蝶番軸, $X_1 Y_1$ は求める蝶番軸。Aより $X_1 Y_1$ に平行線を引き OP との交点を A' とし之より $X_1 Y_1$ に垂線を立て $X_1 Y_1$ との交点を A_1' とする, 又Aより $X_1 Y_1$ に垂線を立て A_1 を得る。

然る時は第1報(1)式により

$$\text{柱の長さの比 } \frac{p}{a} = \frac{PP_1}{AA_2} = \frac{PP_1}{A'A_1'} = \frac{OP}{OA'}$$

故に閉殻筋の長さの比 p/a を求め OP 上に上式の成立するような A' 点を求め AA' に平行でO点を通る線を引けば求める蝶番軸を得る。

B. 閉殻筋の伸(縮)度測定法

Fig. 4, c に於て仮に A 点に於ける閉殻筋繊維の伸(縮)度に就て論ずるとする。閉殻状態からある角度 2δ 開設した場合の筋繊維の伸度は如何になるかと云うと、

1……閉殻時のA点に於ける筋繊維の長さの $\frac{1}{2}$, XY……蝶番軸, α ……殻に於ける筋繊維着点と XY 軸とを結ぶ線が XZ 面となす角度, α' …… $\alpha + \delta$ (δ は開設した角度の $\frac{1}{2}$), m……筋繊維の殻に対する着点より蝶番軸迄の距離, n……A点より蝶番軸迄の距離, l' …… 2δ 開設した場合の筋繊維の長さの $\frac{1}{2}$ 。然る時は伸度は次の如くして求められる。

$$l' = m \sin \alpha' \quad \text{但し } m = n \sec \alpha$$

又 α は $\frac{1}{n} = \tan \alpha$ より求められる。

従つて筋繊維の伸度 $l'/1$ を求めるには l 及び n を測定し 任意の角度を与えれば上の如く l' が計算されるから原長 l に対する比が求められる。

1 即ち筋繊維の長さの測定法としては Marceau⁷⁾ は貝にフォルモールの稀水溶液を加え固定し次に酸で殻を溶かし離脱せしめた閉殻筋の筋繊維の長さをコンパスで測定しているが、之は不正確であるので著者は次のようにして測定した。即ち左右殻の相称である貝をとりその何れかの殻の縁に跨つて平板を差渡し、そこから閉殻筋の痕に印した測定点迄の距離をミクロスケールで測定する。但し殻の縁は凹凸のある平面を形成しないことを要するわけである。

又測定点及び m の測定は次のように行つた。即ち Fig. 4, d に見るように蝶番軸にほぼ平行な線で閉殻筋を4分し且つ此の各々の線の中央を通つて縦に線を引き定めたもので、L, M は夫々C, J 及び J, G の中点である。尤も之等の点のとり方は厳密なるを要しない。又 n の測定法としては原寸写生器⁹⁾で殻、蝶番軸及び閉殻筋痕の上記諸点を写生すれば此の図上に於て計測される(Fig. 5 及び9を参照)。

之等の測定法はアサリ、ハマグリ等左右殻の相称である貝は殻巾が同一であることを確かめ何れか一方の殻に就て行えば良いのであるが、カキのように非相称であるものには適用出来ないので著者は閉殻筋の位置に粘土或は石膏のような可塑剤を充填し閉殻筋の型をとり、此の閉殻筋の模型に印された閉殻筋痕の一方の印 A, B……の諸点及び他の面上の A' B' ……諸点間の距離をキャリパスで測定して求めた。次に少しく開設せしめた位置に於て

同様のことを行い開殻した場合の筋繊維の長さを求めた。

又開殻角度に就ては之が大きくなると蝶番軸の可変性である貝では軸の位置が移動し n の値が変り従つて計算値も変つて来るので (但し変化は少い) 成可く小さい角度を選ぶべきである。

C. 実 験 結 果

i) イタボガキ *Ostrea denselamellosa* Lischke (1949年3月博多湾産)

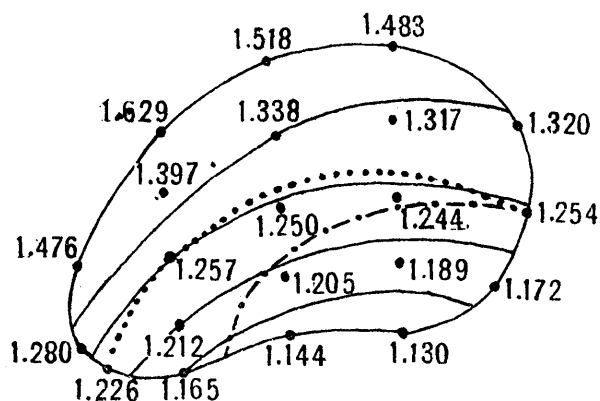


Fig. 6.

イタボガキ閉殻筋に於ける等伸度線分布図。点線は平滑筋部と横紋筋部との境界線、破線は Marceau 等の説による線。

Fig. 5, a に示した原図の閉殻筋に於て A, B …… U 諸点の筋繊維伸度測定結果を Fig. 6 に示す。即ち上記の方法によりカキの貝殻を或る角度開殻せしめた場合の筋繊維の伸度を計算し、之等の伸度の内等しい値を持つ点を結んだ等伸度線分布図を作製して見ると等伸度線の或る 1 本の線は平滑筋部と横紋筋部との境界線に大体一致することが分る。又破線は Anthony²⁰, Marceau⁷⁾ 等の説による境界線 (A 点に於ける筋繊維の長さと同じ長さを持つ点を連ねた

線である) を示したのであるが、図に示す如く実際の境界線とは甚しく背馳していることが認められる。

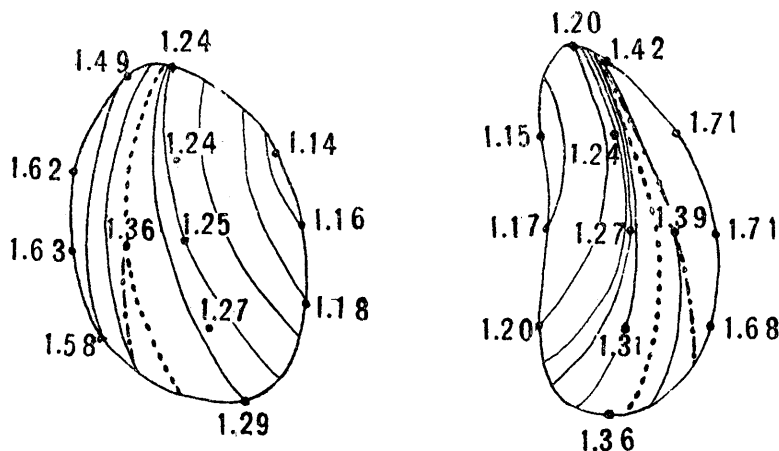


Fig. 7.

カガミガイ閉殻筋に於ける等伸度線分布図。

ii) カガミガイ *Dosinia japonica* (Reeve)* (1949年3月博多湾産)

結果は Fig. 5, b 及び Fig. 7 に示す如く境界線 b l は等伸度線の或るものと一致することが認められる。又 Marceau 等の線† (破線) は一致しないことを示している。

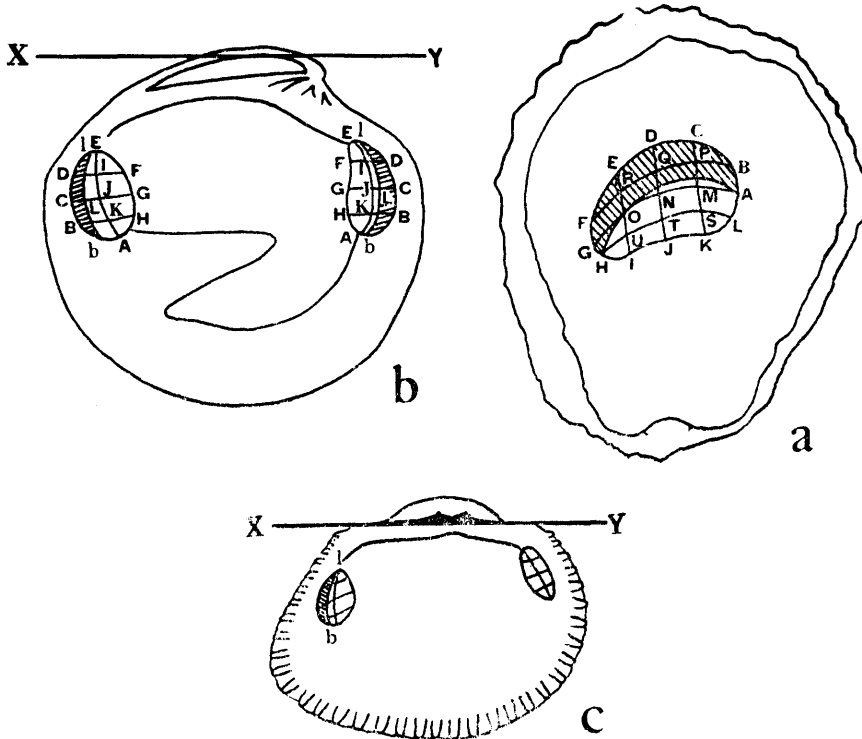


Fig. 5. (×1)

a : *Ostrea denselamellosa* (Lischke)b : *Dosinia japonica* (Reeve)c : *Anadara subcrenata* (Lischke)

閉殻筋に於ける斜線の部分は平滑筋部， b, l は平滑筋部と横紋筋部との境界線。 A, B…の諸点は伸度の測定点。

結果は Fig. 5, c 及び Fig. 8 に示す如くであるが上2例と同様のことが言える。尚サルボウでは前閉殻筋に於ける境界線 b l が判然としないので記入してない。

iv) ハマグリ *Meretrix meretrix* (Linné) (1949年1月有明海産)

結果は Fig. 9, a 及び Fig. 10 に示す。

*以下の実験例では殻が 3° 開いた場合の結果を示す。

†以下の図ではE点側に於ける境界線端の筋繊維の長さと同じ長さを持つ点を連ねた線である。

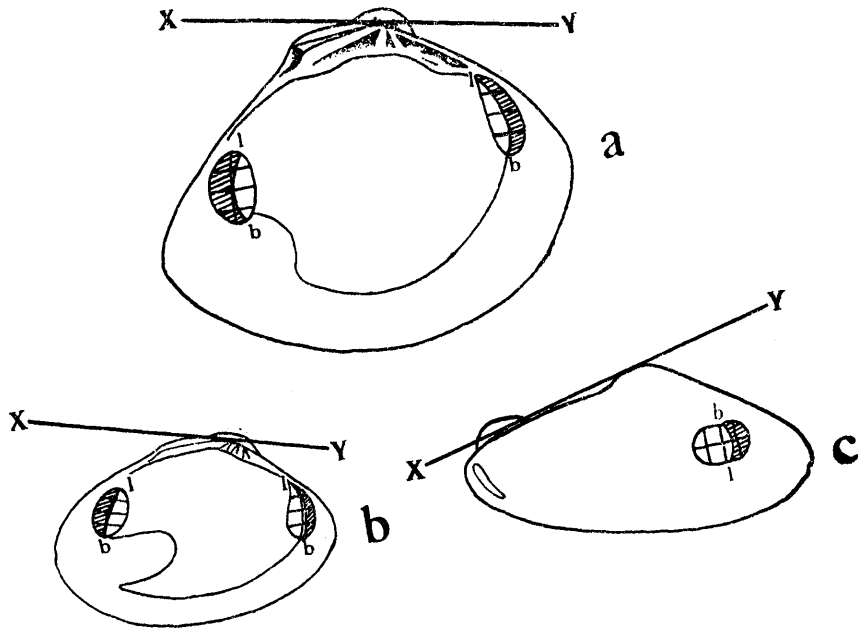
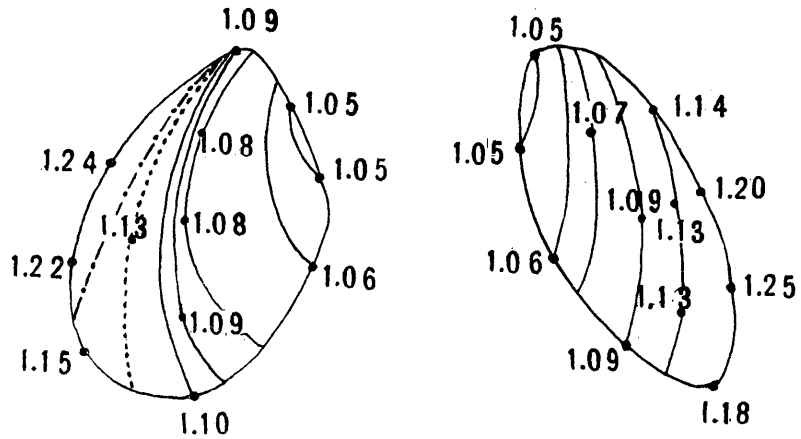
Fig. 9. ($\times 1$)a : *Meretrix meretrix* (Linné)b : *Paphia philippinarum* (Adams et Reeve)c : *Volsella metcalfei* (Hanley)iii) サルボウ *Anadara subcrenata* (Lischke) (1949年3月有明海産)

Fig. 8.

サルボウ閉殻筋に於ける等伸度線分布図。

v) アサリ *Paphia philippinarum* (Adams et Reeve) (1949年3月有明海産)
結果は Fig. 9, b 及び Fig. 11 に示す.

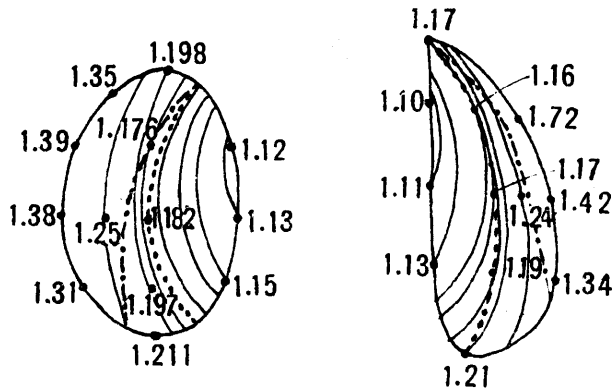


Fig. 10.

ハマグリ閉殻筋に於ける等伸度線分布図.

vi) コケガラス *Vollsellia metcalfei* (Hanley) (1949年3月有明海産)
結果は Fig. 9, c 及び Fig. 12 に示す.

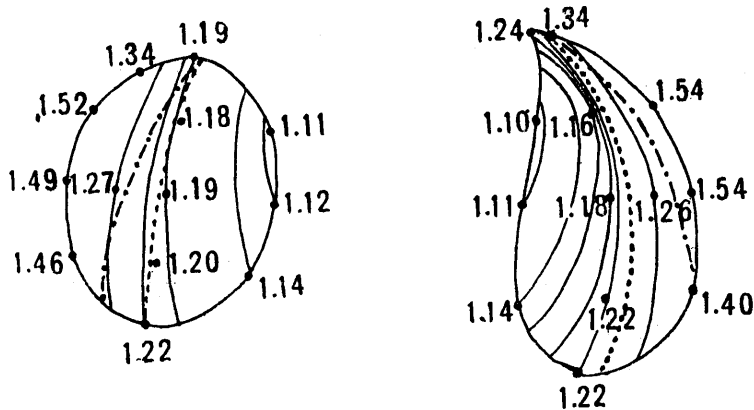


Fig. 11.

アサリ閉殻筋に於ける等伸度線分布図.

D. 考 察

以上の各実験例に於て貝が或る角度開殻した場合閉殻筋の諸点に於ける筋繊維の伸度を測定した結果次のことが明らかとなった。即ち等しい伸度を持つ点を結んだ等伸度線分布図を作製して見ると閉殻筋を構成する筋繊維は各図例に示したような一定の配列状態にあり、平滑筋部は開閉殻に当り横紋筋部よりも伸縮率の大くなるような点に位置を占めて之等筋繊維の受ける伸縮率が大きくなるようになっており、平滑筋の強力に閉殻を維持し

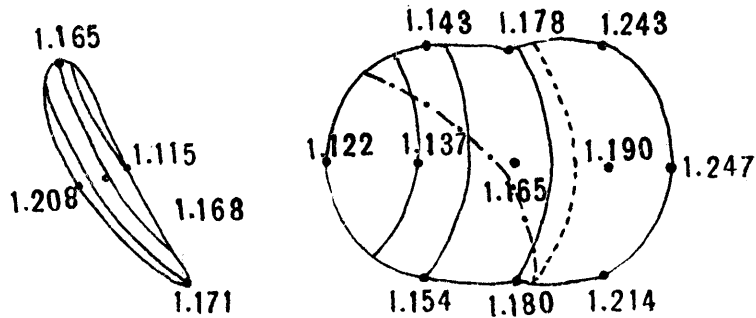


Fig. 12.

コケガラス閉殻筋に於ける等伸度線分布図*。

ようとする性質から言つてこのような配置は少しの開殻に対してもその張力が鋭敏に影響され靱帯の力に対抗するのに都合良くなつてゐる。又横紋筋部の筋繊維は之と逆の關係にあり伸縮率の小さい点に位置を占め筋の僅かな収縮によつて殻が大きく閉ぢるのに都合よく配置されているのである。しかも開閉殻した場合両筋繊維の斯る力学的機能が相互に整然と守られるような配置をとり、又その結果としてその境界線が形成されているものであることは、閉殻筋の両構成部即ち Catch muscle と Motor muscle との境界線が此の等伸度線の内の或る1本の線と一致することから自ら諒解される所である。

尙各実験例に於て Anthony 及び原則的には彼の説を認めている Marceau 等の解釈によつて求めた境界線を夫々破線で示したが、実際の境界線からの背馳は相当甚しく閉殻状態のみで論じた問題の取扱ひ方の根本的な誤りと相俟つて全く妥当性を欠くことが認められる。

III. 摘 要

1. 可変性蝶番軸を持つ貝の場合の同軸の求め方を記した。
2. 任意の角度に開殻した場合の閉殻筋各筋繊維の伸度を求め等伸度の点を連ねた等伸度線分布図を数種の二枚貝に就て作製した。
3. 此の等伸度線分布図により閉殻筋の平滑筋部と横紋筋部の力学的機能が整然と配列され、しかも相互に混同することなく區別されるように等しい伸度を持つ境界線により区分配列されていることを明らかにし得て、従来の力学的説明に比し矛盾なく閉殻筋の力学的配列を解明することが出来た。

文 献

1. 三宅正人：九州大学農学部学芸雑誌，第12卷，第2号，第1報（1951）。
2. Brönn, H. G.: Klassen und Ordnungen der Weichthiere, Bd. III, 360 (1862).

*此の例の破線はG点側に於ける境界線端の筋繊維と同じ長さを持つ点を連ねたものである。

3. Uexküll, J. V. : Zeitschr. f. Biol., 58, 305 (1912).
4. Grützner, P. : Ergeb. Physiol., 3 (2), 12 (1904).
5. Coutance, A. : De l'énergie et de la structure musculaire chez les Mollusques acéphales. (Paris) (1878)*.
6. Anthony, R. : Bull. Soc. Philom. de Paris, 9^e série 6, n° 3 (1904)*.
7. Marceau, M. F. : Arch. de Zool. expér. et gén., 5^{me} série 2, 295 (1909).
8. Marceau, M. F. : Mém. Mus. Hist. nat., Belg., (2) 3, 941 (1936).
9. 三宅正人 : 科学, 20, 519 (1950).

*Marceau⁷⁾による。

(九州大学農学部水産化学教室)

R é s u m é

This report describes the results of the experiments made for research (A) mentioned in Report 1. Considering the static ways of explanation adopted by Anthony and Marceau unsatisfactory, the author gave these matters dynamic methods of research, by which the opening and closing movement of the adductor muscles would be explained consistently and adequately.

The author measured the elongation of the fibres of adductor muscles when the shell was opened to a certain angle, and drew up the diagram of isoelongative line, and found that the fibres of adductor muscles were oriented in a regular system. As the smooth muscle was placed nearer the edge of the shell, the elongation of its fibres was larger than that of the striated muscle. Thus the smooth muscle, with its function of strongly closing the shells, was enabled to oppose effectively the opening power of the ligament by its high susceptibility to the opening tension of the shell. The fibres of the striated muscle, being placed nearer the center of the shell, had smaller elongation and could quickly close the shell by contracting itself comparatively little.

Moreover, from the fact that the border line between the two components of the adductor muscle corresponded to one of the isoelongative lines, it could be clearly recognized that, when opening and closing, the fibres of these component muscles strictly conformed to their function, and, as a result, the border line was properly drawn between them.

The author also pointed out both the incorrectness of the border line drawn up by Anthony and Marceau who approved in principle Anthony's theory, and the fundamental lack of validity in their attitude towards, and treatment of the subject, which was restricted to the condition of the shell only when it was closed.