

アンモナイト類の螺環の内部構造を説明するための模型試作

後藤道治

福井県立恐竜博物館 福井県勝山市村岡町寺尾 51-11

要 旨

アンモナイト類の殻は螺環とよばれ、筒状の外殻とその中を仕切る数多くの隔壁、およびそれらを貫く連室細管からなっている。このようにアンモナイト類の螺環は複雑で、その内部を断片的にしか見ることができない実物化石や図からは、理解されにくい内部構造をしている。そこで筆者は、螺環の内部構造を理解してもらうための補助教材として、アクリル板などを利用して、内部が見えるアンモナイト類の螺環の模型を試作した。この模型は螺環の内部構造を理解するのに役立つだけでなく、螺環の形成過程を理解してもらう上でも有効である。

キーワード：アンモナイト類、オウムガイ類、螺環、内部構造、形成過程、教材

GOTO, Michiharu (2013) A model of ammonite whorl, showing the growth mode of the shell. Mem. Fukui Pref. Dinosaur Mus. 12 : 87-92.

Ammonite shell called whorl consists of cylindrical outer shell, many septa dividing the shell, and a siphuncle which penetrates those septa.

Thus, the internal structure of the whorl is complicated, and it is generally hard to be understood, even though using the real material with views of the fragmentary internal structure and figures. Then the author made a model as a teaching material which indicates the ammonite whorl structure by using materials such as clear acrylic plate. This model can be used not only to facilitate understanding the internal structure of the whorl but to simulate the system of whorl formation.

はじめに

アンモナイト類は、古生代から中生代にかけて世界中の海に生息した有殻頭足類の一グループである。その環状の殻は螺環とよばれ、筒状の殻（外殻）とその中を仕切る隔壁（Septum）、および隔壁を貫く連室細管（Siphuncle）で構成されている（Fig. 1）。また、アンモナイト類の隔壁は外殻に近い周辺部において複雑な皺状の構造となるため、隔壁と外殻が接する交線は樹枝状の幾何学的な模様となり、この模様は縫合線（Suture）とよばれる（Fig. 2A）。

このように、アンモナイト類の螺環構造は複雑なため、一般には理解されにくいことが多い。例えば、筆者はこれまでにアンモナイトをテーマとする展示や講演などを行ってきたが、二次元的な図や写真から螺環の三次元的な構造を、参加者に理解してもらうことが非常に難しいことを実感した。また、隔壁の形状が立体的に観察できるかなり良質な標本（ラースン、2009 : p. 63）でなければ、実物化石であってもその構造は理解されにくいこともわかった（Fig. 2B）。そこで、筆者は、螺環の構造を理解してもらうための補助教材として、透明なアクリル製の筒、ビニールチューブと片面が波型に加工されたスポンジを利用して、アンモナイト類の螺環の単純化した模型を製作した（Fig. 3）。本論文では、その模型の製作工程等について詳述するとともに、模型を使って螺環の内部構造を示し、有殻頭足類としてアンモナイト類とよく比較されるオウムガイ類を参考にした殻の形成過程をシミュレーションし、本模型の教材としての有効性について述べる。なお、今回使用した素材は全て当館の展示に使用されたものである。市販の素材を購入して製作しても良いが、ここでは

2013年4月18日受付、2013年10月7日受理。
Fukui Prefectural Dinosaur Museum
51-11, Terao, Muroko, Katsuyama, Fukui 911-8601, Japan
Phone : +81-779-88-0001, Fax : +81-779-88-8710
E-mail : m-goto@dinosaur.pref.fukui.jp

身近に既にある素材が創意工夫によって教材として十分活用できることを示すとともに、その創意工夫によって螺環の構造をより深く理解しようとする意欲を製作者に喚起させる教育的効果があるものと考えている。

アンモナイト類の螺環模型の製作

今回の模型の材料および製作について次に述べる (Fig. 3).

外殻 (Outer shell) : 外殻には厚さ 3 mm の透明なアクリル板を使用した。これを切断して貼り合わせ、四角い筒 (内寸: 縦 80 mm, 横 80 mm, 長さ 850 mm) を作る (Fig. 3A)。今回は展示で使用された筒状の容器を再利用した。ここで透明なアクリル板を使用したのは、内部がよく見えるようにするためである。

隔壁 (Septum) : 透明なアクリル板に対してコントラストをつけるために、隔壁には暗灰色のスポンジ (厚さ 50 mm) を使用した。これを外殻の筒の内寸に合わせて四角く切断する。もともと軟らかい素材であるスポンジは、隔壁の形成過程をシミュレートする際に筒の中で動かすため、歪みが生じないようにある程度の厚みが必要である。また、隔壁に見られる複雑な褶曲構造を表現するために、片面が波型に加工されたスポンジを使用した。さらにアンモナイト類の隔壁は内側ではかなり単純な曲面であるのに対し、外周に近づくと急に褶曲するので、より現実的な隔壁に近づけるためスポンジの波型の突出部は周辺部を除いて中央部を切除した (Fig. 3B)。

連室細管 (Siphuncle) : 透明なビニールチューブ (径 7 mm) を使用した。ビニールチューブは隔壁の形成過程をシミュレートする際に、隔壁 (スポンジ) に引きずられて撓みが生じないようにある程度の硬さが必要である。

軟体部 (Body) : 隔壁に使用したスポンジと同形状、同質で色違い (黄白色) のもの (縦 80 mm, 横 250 mm, 厚さ 50 mm) を使った。波型に加工されている面を上にして長方形の長辺を二つ折りにする。さらに、隔壁の形状と雄型雌型の関係になると考えられる有機質の膜を分泌する軟体部の後端については、隔壁と同様にスポンジの突出部の周辺部を除いて中央部を切除した。

組立方法 :

- ① 連室細管であるビニールチューブを、外殻である筒の中の腹側に模した面の中央に置く。
- ② 隔壁である暗灰色のスポンジの波型に加工されている面を、外殻前方の殻口 (aperture) に向けて置く。その際、スポンジが筒内で倒れないために、手ないし断面積が広い棒や筒を利用してスポンジに均等に力が加わるようにゆっくりと挿入する。挿入に失敗した際には、先端がフック状になった針金などでスポンジを回収し、再度挿入を繰り返す。
- ③ 隔壁を挿入する際には、ビニールチューブの端を指でつまみ、やや引っ張り気味にして撓みが生じないようにする。また、チューブが隔壁の腹側面の中央を通るように調整する。
- ④ 軟体部である黄白色のスポンジを、波型に加工された面が上になるように二つ折りにして挿入し、後端部を隔壁の波型に加工された面に密着させて完了。

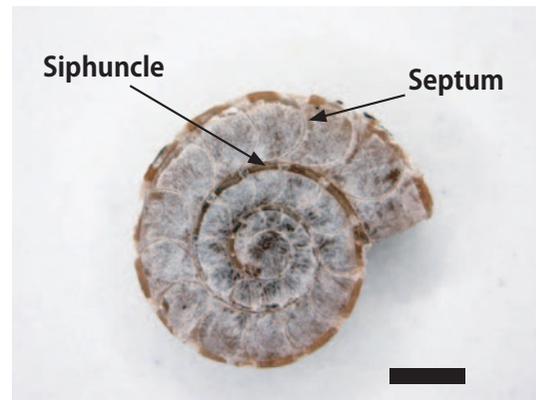


FIGURE 1. Median cross section of the early whorl of Mesozoic ammonite showing the septa and siphuncle. Scale = 1 mm.

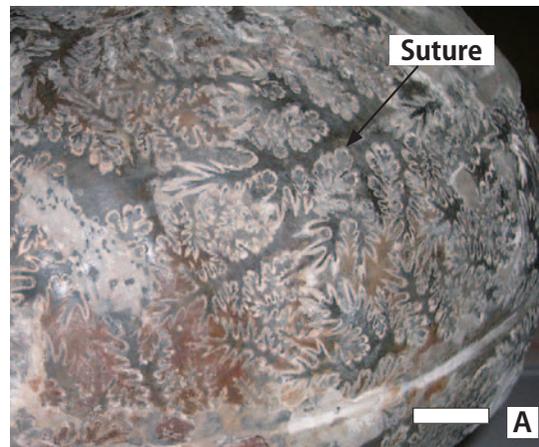


FIGURE 2. A part of the ammonite whorl. A, Sutures showing dendritic geometrical patterns. Scale = 10 mm. B, Natural cross section. Siphuncle and a septum are discernible. Scale = 10 cm.

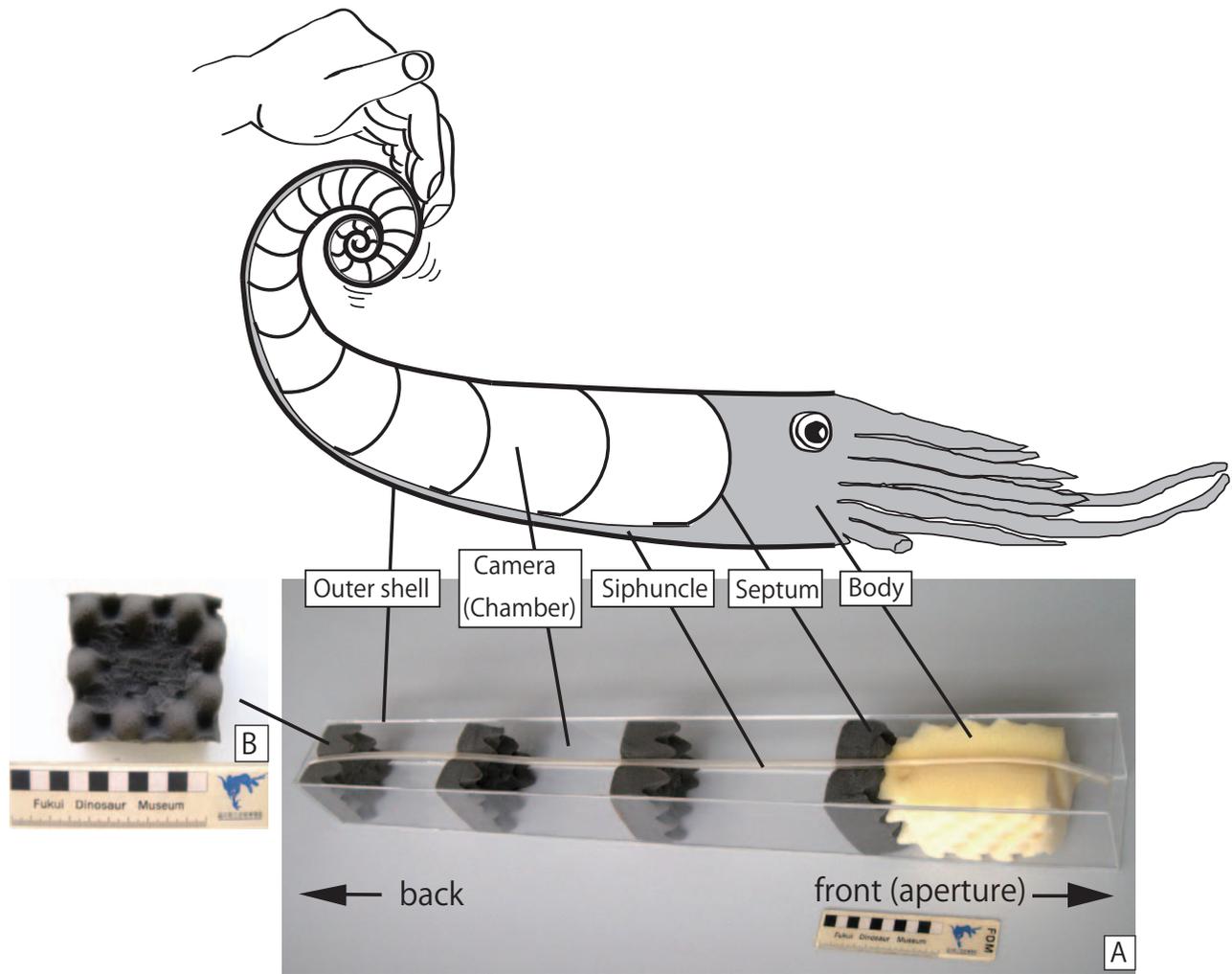


FIGURE 3. A model of ammonite whorl. A, Body is made of pale canary waffle face sponge, septa are made of dark gray waffle face sponges, and siphuncle is made of polyvinyl chloride tube. Camera (Chamber) is a compartment between two adjacent septa. Outer shell is represented by a cuboid box made of transparent acrylic plates. B, Front side of a dark grey waffle face sponge. Waffle face is only in periphery. Scale = 10 cm.

現生オウムガイ類の隔壁と気室の形成過程

オウムガイ類の殻は現在生存している有殻頭足類の中で、隔壁と連室細管をもつ点においてアンモナイト類の殻とよく類似している (Greenwald and Ward, 1987; 重田, 2001 など)。また、生態学や生理学的な研究でも、両者は比較されることが多い (Jacobs and Chamberlain, 1996; Okamoto, 1996 など)。オウムガイ類の隔壁と隔壁の間の空間は気室 (Camera or Chamber) とよばれるが、そこは空洞になっていてガスが充填されており、浮力を保つための役割を担っている (Fig. 4)。

オウムガイ類の場合、新しい隔壁と気室を作る過程は、まず外殻を形成しつつ成長し、住房 (Body chamber) とよばれる部屋にある軟体部を前方の殻口の方向へ移動させる (Fig. 4B)。次に、移動した軟体部後端に有機質の膜を形成し、一つ前に形成した隔壁と軟体部後端との間に体液 (外套膜外液) を分泌、充填する。その結果、体液の中に溶けていたカルシウムが結晶化し、炭酸カルシウムとなって有機質の膜の表面に付着していく。つまり、石灰化 (バイオミネラリゼーション) が起こり、やがて、石灰化の進行と共に有機質の膜に付着した炭酸カルシウムは厚みを増し、新たな隔壁と気室が形成される (Ward et al., 1981)。

その後、連室細管の上皮細胞内に局部的に血中濃度の高い部分を作り、濃度勾配による浸透圧を利用して新たな気室内に存在する体液を連室細管から体外へ排出し、その結果、気室は空洞となり、減圧とともに体液中に溶けていた分子が気化してガスで充填される (Greenwald et al., 1980).

模型による隔壁と気室の形成過程のシミュレーション

アンモナイト類の連室細管の組織形状を示す化石は、アメリカ、ネバダ州のペルム紀の *Akmilleria electraensis* で見られ、現生のオウムガイ (*Nautilus pompilius*) のものと類似した構造であることが指摘されている (Tanabe et al., 2000). したがって、アンモナイト類の気室の形成過程は、基本的にはオウムガイ類と同様であると考えられる。上述したオウムガイ類の隔壁と気室の形成過程を参考に、この模型を使ってアンモナイト類の隔壁と気室の形成過程をシミュレーションしてみる。軟体部の移動、隔壁の形成などは全て手で取り外しや挿入を行う。

成長前の段階では軟体部 (黄白色のスポンジ) は隔壁 (暗灰色のスポンジ) に後端を付着している状態である (Fig. 5A). 外殻の形成および軟体部の成長と共に、軟体部を前方へ移動させる (Fig. 5B). 一つ前の隔壁と軟体部の間に空間ができ、そこに体液 (Camaral liquid) が充填される (Fig. 5C). 軟体部後端を有機質の膜 (Organic membrane) の形と考え、その膜の形状に合わせるように石灰化が起こり、有機質の膜の雌型となるような波型形状をした新たな隔壁が形成される (Fig. 5D). スポンジ前端の波型形状の断面とアクリル板との交線が縫合線に相当する (Fig. 5B, E の波形で示した赤線). 新たな隔壁が形成された後は、連室細管から気室内の体液は排出される。このようにして形成されたアンモナイト類の螺環は、浮き袋という役割を担って、成長が止まるまで形成され続ける。

おわりに

透明なアクリル板の筒と波型に加工されたスポンジ、ビニールチューブを利用して製作したアンモナイト類の螺環の模型は、複雑なその基本構造を単純化したものである。こうすることで、螺環の基本構造や隔壁と気室の形成過程をより良く理解することができる。実際に福井県立恐竜博物館の教育普及行事などにおいて、この模型を使用して参加者の反応を確かめてみたところ、理解度が高まることもさることながら、“気室の空間には何があるのか”、“連室細管に触れることがないように思える気室内の体液は、どのように排出されるのか”などの活発な質疑が起こり、アンモナイトの螺環構造をより深く理解したいという学習意欲も喚起することができた。さらに、地質学、古生物学の専門家に対して提示してみても、殻形成に関する石灰化や連室細管の浸透圧などについて活発な議論を誘発することができた。したがって、この模型は教材としての利用価値が高く、素材も容易に入手できるため、学校の授業や博物館の講義等に広く活用されやすいと考える。今後この模型を基に改良を加え、より完成度の高い模型を開発したいと考えている。

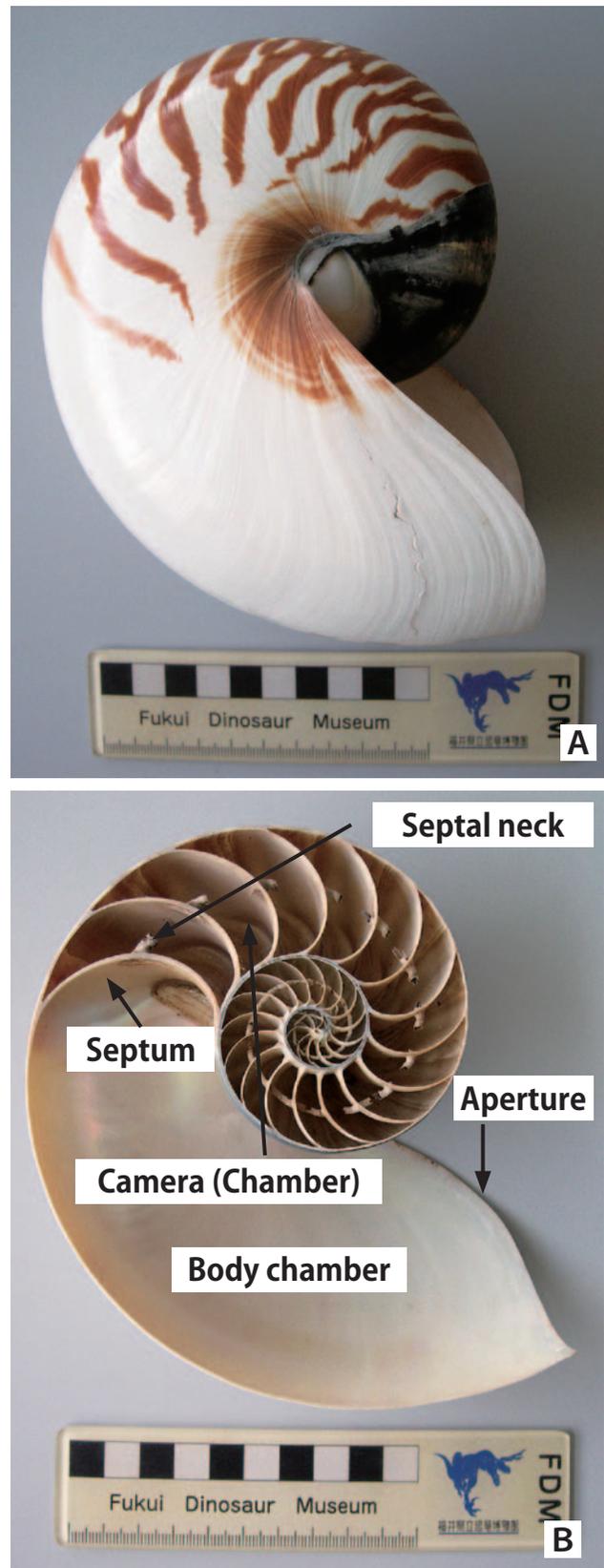


FIGURE 4. Shell of a modern *Nautilus*. A, Lateral side view. B, Median cross section. Scale = 10 cm.

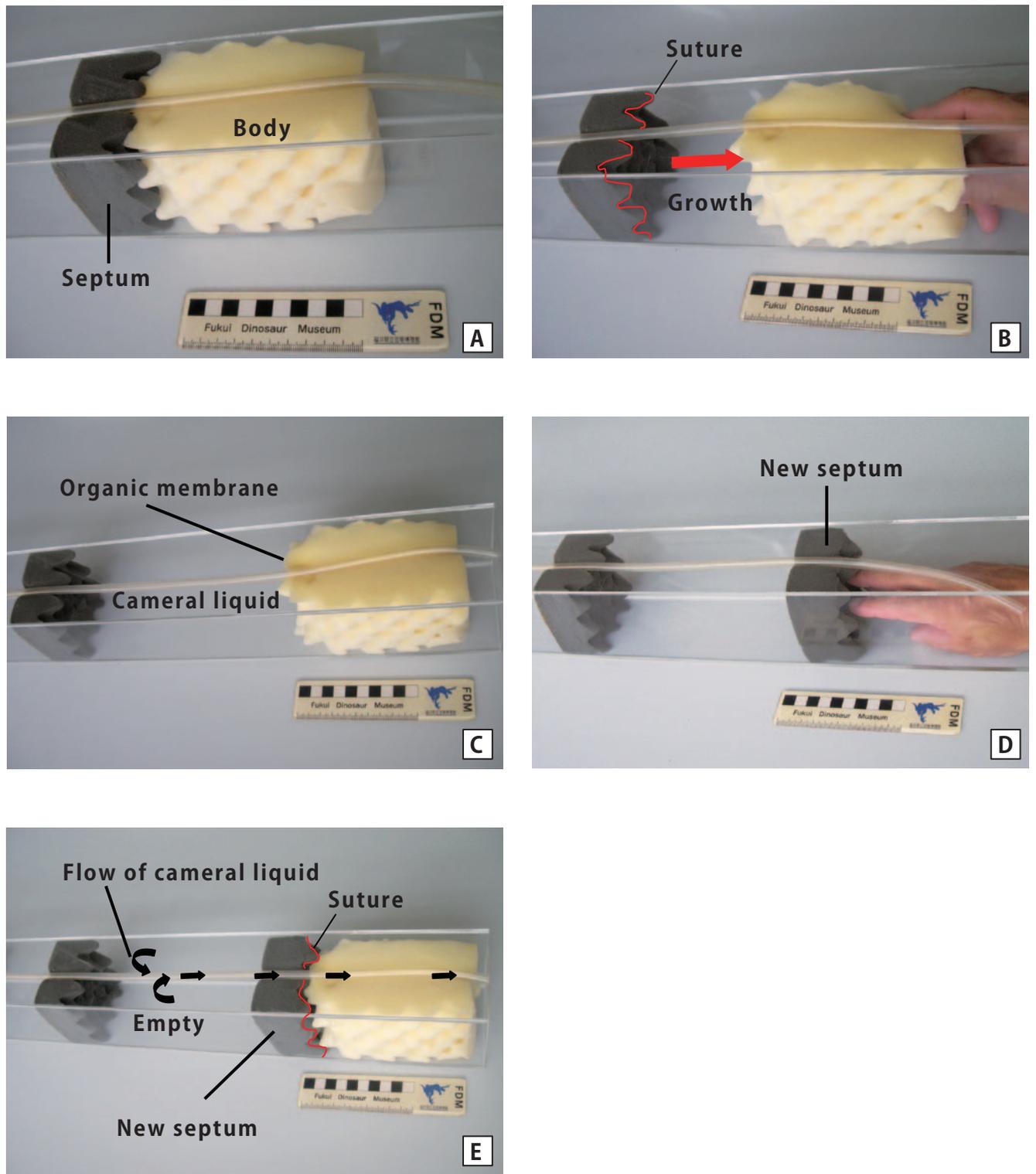


FIGURE 5. A model of ammonite shell showing septum and chamber formation process. A, Starting position. The back of the body adheres to the septum. B, Apertural shell growth and enlargement of the body chamber, followed by growth of the body and forward movement. C, The organic membrane is secreted on the interior of the body, cameral liquid occupies empty space between the last formed septum and the body. D, Calcification of a new septum on the organic membrane. E, New septum continues to thicken, cameral liquid of the new chamber is gradually drained through the siphuncle. The red wave line indicates the suture. Scale = 10 cm.

謝 辞

査読者である徳島県徳島市在住の両角芳郎氏には、アンモナイト類の構造や模型についてはもちろんのこと、本論文の内容の完成度を高めるために細部にわたりご教示いただいた。同じく名古屋大学名誉教授の糸魚川淳二氏には、古生物学的な視点はもちろん、博物館学的な視点からも査読していただけたものと認識している。また、紀要編集委員会編集幹事の一鳥啓人氏には原稿を丁寧に読んでいただき、原稿を改善する上で多くの示唆をいただいた。さらに、著者の講義あるいは研究室内で、模型についての説明を聴いてくださった多くの方々には、模型の教育的意義を深めるための数々の質問や有益な議論をしていただいた。福井県福井市在住の福田佳史氏には、模型の素材収集にご協力いただいた。以上の方々に、心より深く感謝申し上げます。

引用文献

- Greenwald, L., P. D. Ward and O. E. Greenwald. 1980. Cameral liquid transport and buoyancy control in chambered nautilus (*Nautilus macromphalus*). *Nature* 286 : 55-56.
- Greenwald, L., and P. D. Ward. 1987. Buoyancy in *Nautilus* : pp. 547-560 in W. B. Sanders and N. H. Landman (eds.), *Nautilus*, The Biology and Paleontology of a Living Fossil. Plenum Press, New York.
- Jacobs, D. K., and J. A. Chamberlain, Jr. 1996. Buoyancy and Hydrodynamics in Ammonoids; pp. 169-224 in N. H. Landman, K. Tanabe and R. A. Davis (eds.), *Ammonoid Paleontology*. Plenum Press, New York and London.
- Okamoto, T. 1996. Theoretical Modeling of Ammonoid Morphology; pp. 225-251 in N. H. Landman, K. Tanabe and R. A. Davis (eds.), *Ammonoid Paleontology*. Plenum Press, New York and London.
- ラースン, ニール L. 2009. アンモナイト化石最新図鑑 アンモナイト - 蘇る太古からの秘宝 -, 棚部一成監訳, 坂井 勝訳. アンモナイト研究所, 東京, 256 pp.
- 重田康成. 2001. 国立科学博物館叢書② アンモナイト学 絶滅生物の知・形・美. 国立科学博物館 (編). 東海大学出版会, 東京. 155 pp.
- Tanabe, K., R. H. Mapes, T. Sasaki and N. H. Landman. 2000. Soft-part anatomy of the siphuncle in Permian prolecanitid ammonoids. *Lethaia* 33 : 92-94.
- Ward, P., L. Greenwald and Y. Magnier. 1981. The chamber formation cycle in *Nautilus macromphalus*. *Paleobiology* 7 (4) : 481-493.