

## 炭酸カルシウム系バイオミネラル

### 研究背景

炭酸カルシウム系バイオミネラルの代表例には、卵殻・貝殻・サンゴなどがあります(Fig. 1)。これらの炭酸カルシウム系バイオミネラルは、岩石の炭酸カルシウムとは異なり、有機物を含んでおり、特異なマクロ形態を持ちます。さらに、多孔質な構造やプレート状の構造など、多様なマクロ構造を持つことが明らかにされてきました。しかし、そのナノスケールの構造の解析は進んでいませんでした。また、このような構造は、生物が自ら分泌した生体分子が結晶成長を制御することで形成されると考えられていますが、形成プロセスについては未だ理解が不十分です。多様な炭酸カルシウム系バイオミネラルのナノ構造や形成プロセスを解明は、生物に倣ったボトムアップでの材料作製に繋がると考えられます。



Fig. 1 炭酸カルシウム系バイオミネラルの代表例  
(アコヤガイ、サンゴ、卵殻、有孔虫、ホネガイ)

### 研究成果

#### ●ナノブロックの発見

当研究室では、様々な炭酸カルシウム系バイオミネラルを対象に研究を行っており、マイクロスケールに留まらず、ナノスケールでの解析も行なっています。そこで、ほとんどの炭酸カルシウム系バイオミネラルがナノスケールの微小結晶の集積体であることを発見しました。Fig. 2に、貝殻の真珠層・サンゴ骨格・ウニの棘・有孔虫骨格・卵殻の階層構造を示します。それぞれ特徴的なミクロ構造をもっていますが、それらはさらに小さなナノスケールの結晶（アラゴナイトやカルサイト）粒子から構成されていることがわかります。さらに、これらの粒子は有機分子で覆われており、それらの結晶方位は同一で単結晶のよ

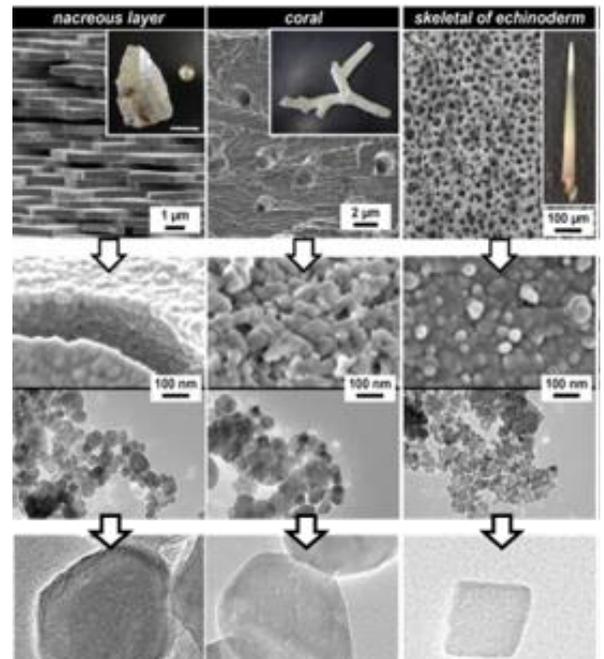


Fig. 2 炭酸カルシウム系バイオミネラルの階層構造  
(貝殻の真珠層、サンゴ、ウニの棘)

うに配列していることを突き止めました。このような構造はメソクリスタルとよばれ、新規な結晶構造のカテゴリーと考えられています。最近の研究では、メソクリスタルは、炭酸カルシウム系に限らず多くのバイオミネラルにおける基本構造と考えられるようになっていきます。

● サンゴの構造解析および形成プロセスの解明

造礁サンゴは大型で強固な炭酸カルシウムの骨格を形成することで知られています。このようなサンゴの骨格構造は構造材料の手本となるだけでなく、その形成プロセスの理解は、二酸化炭素固定化の観点からも重要であると考えられます。当研究室では、沖縄本島や八重山諸島などの海底に生息しているサンゴ「コユビミドリイシ」(Fig. 3)の卵を採取し、それをふ化させたプラナラ幼生からポリプを成長させて、その骨格構造を観察しました (Fig. 4(a))。Fig. 4(b)~(d)に示すように COC(Center of calcification)と呼ばれる、有機物を多く含む粒状結晶の集合体から繊維状のアラゴナイトが方位をそろえて成長し、緻密な骨格が形成されていることを明らかにしました。



Fig. 3 コユビミドリイシ

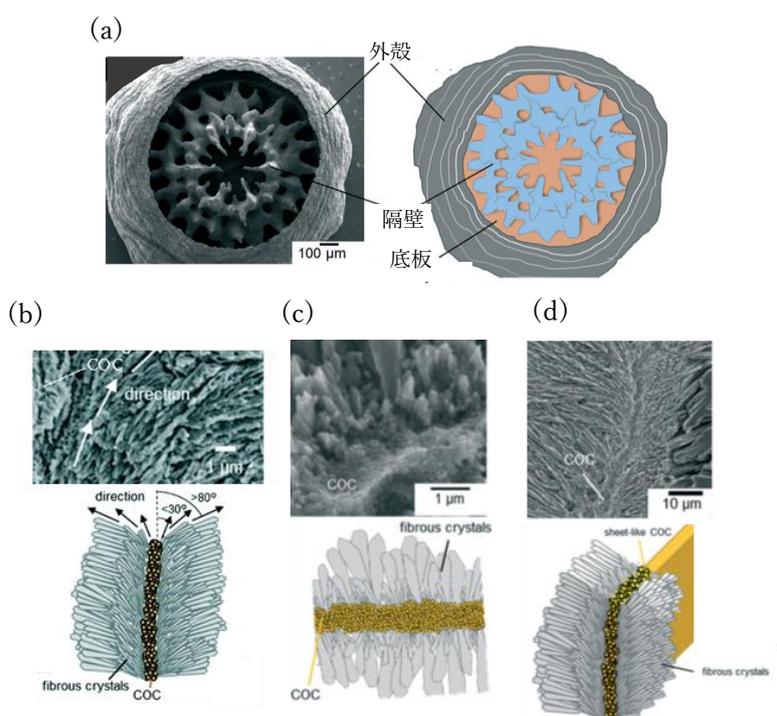


Fig. 4 コユビミドリイシのポリプの骨格構造

- (a) 稚ポリプを上から見た図と模式図 (b) 隔壁 (柱) の SEM 像と模式図  
 (c) 隔壁 (梁) の SEM 像と模式図 (d) 外殻の SEM 像と模式図

● 有孔虫の殻におけるメソクリスタル構造

有孔虫とは、炭酸カルシウムの殻をもつ原生生物であり、そのほとんどが海中に生息しています。当研究室では、カルサイトの殻をもつ *Ammonia beccarii* (Fig. 5(a)) とアラゴナイトの殻をもつ *Hoeglundina elegans* (Fig. 5(d)) についてナノレベルの構造を解析しました。どちらもナノロッドが殻の表面に垂直に配向したメソクリスタル構造であることを明らかにしました (Fig. 5(b),(c),(e),(f))。

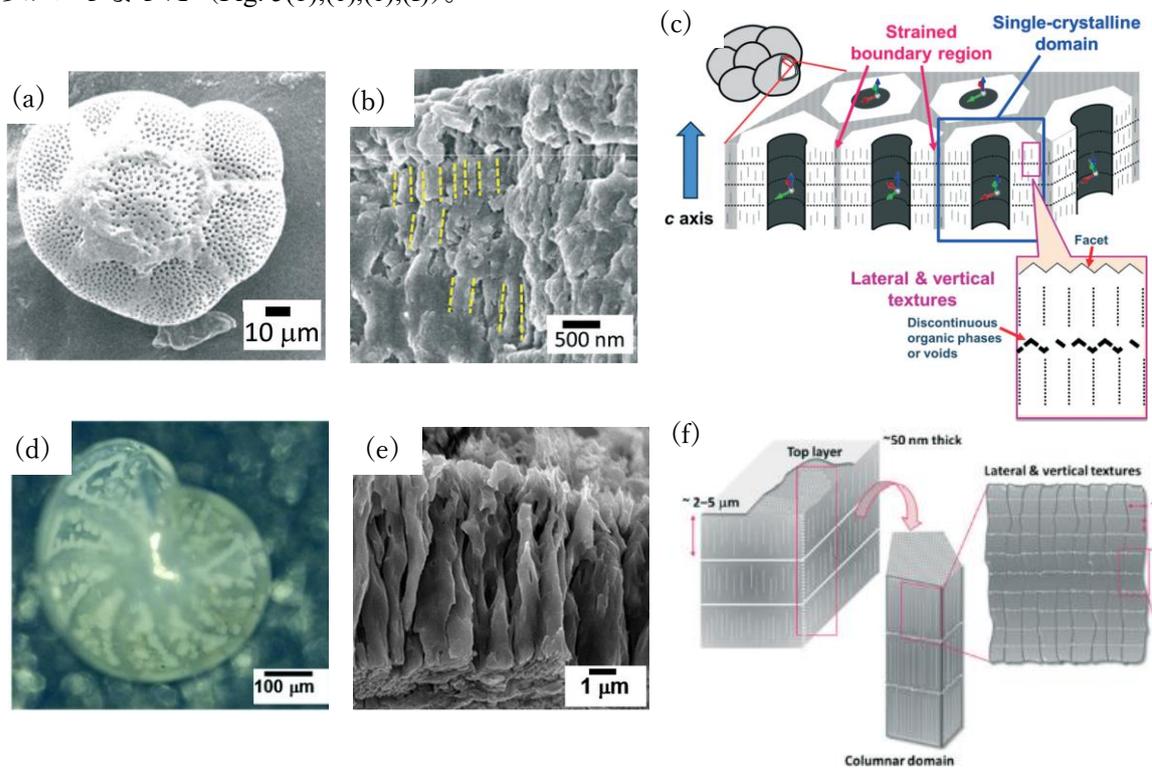


Fig. 5 有孔虫 *Ammonia beccarii* および *Hoeglundina elegans* の殻とその階層構造

- (a) *Ammonia beccarii* 殻のマクロ像 (b) *Ammonia beccarii* 殻の断面の SEM 像  
 (c) *Ammonia beccarii* 殻の模式図 (d) *Hoeglundina elegans* 殻のマクロ像  
 (e) *Hoeglundina elegans* 殻の断面の SEM 像 (f) *Hoeglundina elegans* 殻の模式図

● マルカメガイの殻におけるらせん状のメソクリスタル構造

クリオネなどを含む腹足綱翼足目に属するマルカメガイ (Fig. 6) は海洋を泳ぐ貝として知られています。その貝殻の構造解析を行ったところ、特異なメソクリスタル構造であることが判明しました。アラゴナイトのロッドが方位を少しずつ変化させながららせん状に集積しています。厚さ約 50  $\mu\text{m}$  の殻の中に幅約 100-300 nm のアラゴナイト繊維がらせん

状構造を構成しており、そのアラゴナイト繊維が長さ約  $1 \mu\text{m}$  の棒状単結晶を構成単位としていることも明らかになりました。(Fig. 7) この構造が貝殻に軽量で高強度な特性を与えていると考えられます。



Fig. 6 腹足綱・翼足目・カメガイ科「マルカメガイ (Cavolinia globulosa)」

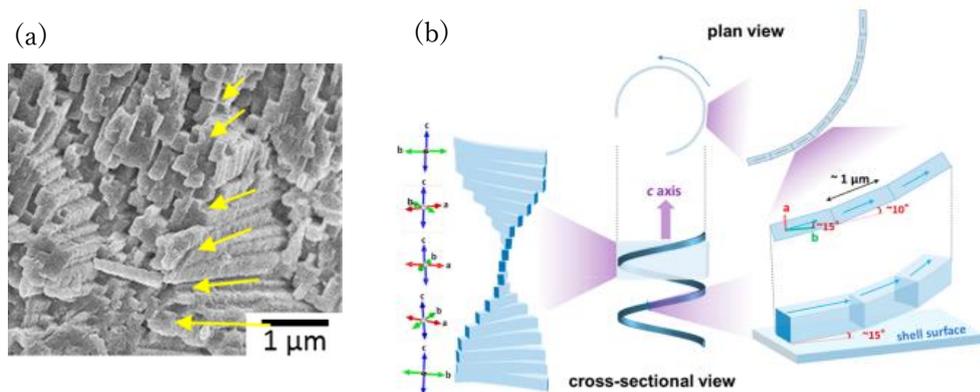


Fig. 7 マルカメガイの殻におけるらせん状構造  
(a)殻の断面の SEM 像 (b)殻のらせん状構造の模式図

➤➤➤[関連リンク](#) [結晶成長](#) [ナノブロック](#) [バイオミネラル模倣](#)