

地球上でもっとも硬い生物を探す

田中 祐圭

硬いとは、外力に対する抵抗力が大きく、容易に形を崩さないものを指す形容詞である。では生体における硬い組織とは、どのような生物がどういった構造体として保持しているのだろうか。

地球上に生命が誕生してから約40億年の間に、生物は見事なまでに多様な進化を遂げてきた。その長い過程の中で、ミネラル成分を利用することで、非常に硬い組織を獲得した生物が多数誕生している。人間の骨や歯、アコヤガイの真珠、ウニの殻やトゲなどがこれにあたる。このような生物による無機鉱物の生産プロセスは、バイオミネラリゼーションと呼ばれる。このプロセスの大きな特徴は、環境中という穏やかな条件で、非常に緻密にナノサイズスケールで制御された構造物が作られることである。そのため、このバイオミネラリゼーションプロセスを理解し応用することで、これまでにない特性を持った材料を、環境に負荷のない条件で作製できることが期待されている。本稿ではこのバイオミネラルの構造と硬さに注目した最近の研究を紹介する。

もっとも硬い構造を作るバイオミネラリゼーションはどのような生物に存在するのであろうか。進化のことを考えると、多様な環境にさらされる可能性があり、硬ければ硬いほど生物にとって有利であるものに、恐らくその候補があると予想される。近年、軟体動物の組織を守る貝殻、岩を砕いて餌を得るための歯、そして標的を砕く捕脚、それぞれに使われるバイオミネラルの研究から、生物が硬い材料を作るときの戦略が見えてきている。

たとえばアワビの貝殻は数百ナノメートル程度の炭酸カルシウム結晶層と、数十ナノメートル程度のタンパク質などを含む有機層の積層構造からなっている。さらにこの炭酸カルシウム結晶層自体も数十ナノメートルの炭酸カルシウムナノ粒子の集合体であることがわかってきている。こういった緻密な結晶の隙間に粘弾性の高い有機層が入り込むことによって、衝撃に対するエネルギーを分散していると考えられている。この特徴的なナノ粒子の集合体と有機物質の繰り返し構造により、無機成分のみの場合に比べて1000倍以上もの強度を達成している¹⁾。

また、ヒザラガイなどに見られる歯舌^{しづつ}という生体組織をご存知であろうか。歯舌は、しなやかなりボン状の膜の上に「歯」が規則正しく並んだ形をしている。この歯舌を前後に動かすことにより、硬い岩の表面に付着している藻類を岩ごと削り取って食べる。この歯舌はCore

とShellに分類される2つの構造からなる複合構造を形成している。主成分としてCoreにはリン酸鉄が、Shellには酸化鉄が存在する。一方でそれぞれに数%の有機成分が含まれており、アワビの貝殻に見られるような、ナノサイズスケールの結晶の集合と有機成分による階層構造が存在する。やはりこの階層構造が、単純なミネラル組成からなる構造を超える硬い組織を形成する要因であると考えられている。このヒザラガイの歯舌は、貝殻などの既存のバイオミネラルに比べて3倍以上の硬さを獲得している^{2,3)}。

最後にシャコのバイオミネラルを紹介する。お寿司のネタとして知られるシャコは、エビに背格好はよく似ているが、実は似ても似つかない性格を持つ。捕脚^{ほきやく}と呼ばれる脚をカマキリのカマのようにして、上から振り下ろすことで相手に衝撃を与え、鋭いトゲでがっちり捕縛する。その捕脚の力は大変強力で、水による抵抗が大きい状況にも関わらず、獲物である貝の殻や、カニやエビの甲羅をたたき割る程の力を持っている。散弾銃などと比較されることもあると言えば、その力の凄まじさがお分かりいただけるであろうか。この捕脚もバイオミネラルから形成されている。標的と接触する層はハイドロキシアパタイトやリン酸カルシウムなどにより形成されているが、その内部に直鎖型の多糖高分子であるキチンファイバーが非常に規則正しくねじれ構造を取りながら配列している。このファイバー構造によって、標的に攻撃した際のショックを吸収、分散していると考えられている⁴⁾。

上記のように、生物は硬い材料を獲得するためにバイオミネラリゼーションを行い、複数の成分を用いて用途にあった構造を形成する。そしてそれを複合化することで、非常に硬い構造を獲得していることが明らかになってきている。今後はこういった仕組みを模倣、さらには改変し、人工真珠、半導体材料、光学材料、人工歯や人工骨など我々の生活に役立つ新たな材料が作られることが期待される。

- 1) Kakisawa, H. and Sumitomo, T.: *Sci. Technol. Adv. Mater.*, **12**, 064710 (2011).
- 2) Weaver, J. C. et al.: *Materials today*, **13**, 1 (2010).
- 3) Gordon, L. M. and Joester, D.: *Nature*, **469**, 7329 (2011).
- 4) Weaver, J. C. et al.: *Science*, **336**, 6086 (2012).