解　説

J. Jpn. Soc. Colour Mater., **87**〔1〕，13–18（2014）

海洋付着生物を模倣した機能性材料

内藤昌信*,†

*独立行政法人物質・材料研究機構　茨城県つくば市並木1-1（〒305-0044）
† Corresponding Author, E-mail: NAITO.Masanobu@nims.go.jp

（2013年11月27日受付，2013年12月16日受理）

要　　旨

船底や岩礁などで群生しているムラサキイガイは，代表的な海洋付着生物である。ムラサキイガイは，足糸と呼ばれる接着タンパク質を分泌し，それを不溶化することで強固な接着能を獲得している。このタンパク質にはチロシンの翻訳後修飾によって得られたL-ジヒドロキシフェニルアラニン（DOPA）が多く含まれており，それが接着機構に重要な役割を果たしている。ムラサキイガイは水中で接着タンパク質を分泌し，それを固化することで強度な接着力を得ていることから，優れた水中接着剤として注目されている。本稿の前半では，DOPAの化学構造・物性を巧みに使った水中接着メカニズムを概説した後，最近注目されているムラサキイガイの接着物質を模倣した水中接着剤について，最近の研究動向を代表的な研究例とともに紹介した。古来より，漆の原料であるウルシオールや柿渋の苦味成分である胆汁酸は自然塗料や接着剤として用いられてきた。これらの天然材料はいずれもカテコール基を分子内にもち，それが自動酸化してクロスリンクすることで塗膜や接着剤としての性能を発揮する。MAPを模倣した最近の万能接着剤も，一見すると原点回帰のようにも見える。しかし，MAPを模倣した接着剤が新しいテクノロジーとして迎えられた背景には，化学の進歩によって接着剤の新たな活躍の場が生まれてきたからにほかならない。ムラサキイガイのほかにも世の中にはたくさんの付着生物が生息している。今後，接着生物の付着機構が解明されれば，このような分野がますます発展していくと考えられる。

キーワード：ムラサキイガイ，L-ジヒドロキシフェニルアラニン（L-Dopa），イガイ接着タンパク質（MAP）

1. はじめに

接着剤の用途は多岐にわたり，われわれの日常生活に欠かせないものとなっている。一方で，高い信頼性，簡便な施工性，過酷条件下での安定性など，さらなる機能の向上が求められている。中でも，次世代接着剤が目指すターゲットの一つとして，水中などの湿潤環境下でも使える接着剤が挙げられる。

水中で硬化し，かつ，高い接着性を長期間にわたり維持できる接着剤を作ることは，最先端の接着材料をしても非常に困難な課題である。これをいとも簡単に実現しているのが，フジツボやイガイなどの付着生物と呼ばれる水棲生物である。付着生物の代表格であるイガイは，岩礁や水中建造物，船底などに付着するときに，「接着タンパク質」と呼ばれる接着物質を分泌する[1)]。その際，岩礁やガラスなどの無機物質，木材や塗料，プラスチックなどの有機・高分子材料，金属のみならず，テフロンやポリプロピレンなど，既存の接着剤との接着性に乏しい高分子材料や，バクテリアが作るバイオフィルムなど，被着体を選ばないというのも大きな特徴である。一般的に水は接着剤の性能を著しく損ねてしまうが，イガイ類が作る接着物質は，水溶性の前駆体タンパク質が被着体付近に分泌された後，酸化酵素の作用で不溶化が急速に進行し，数分以内に岩礁や船底などに強固に固着する。いったん接着すると，流速10 m/s以上の水流にさらされても剥がれることはないという[2)]。これは風速268 m/sの風に抗うのに匹敵するというから，イガイがどれほどの水流の負荷に耐えているのか想像いただけるだろう。

近年，このイガイ類が分泌する優れた接着物質に注目し，水中で使える万能接着剤に応用する研究が盛んになっている[3-7)]。本稿では，イガイの付着タンパク質の接着機構について，最近の知見をまとめた後，接着タンパク質をモチーフとした人工接着剤やコーティング材料について，その勃興から現在の潮流までを紹介する。

〔氏名〕ないとう　まさのぶ
〔現職〕独立行政法人物質・材料研究機構
〔趣味〕Mac全般
〔経歴〕2001年東京工業大学大学院生命理工学研究科修了博士（工学）。同年日本学術振興会特別研究員PD。2002年奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科助手，2007年同助教，2011年同特任准教授，2012年独物質・材料研究機構主幹研究員。2009年科学技術振興機構さきがけ研究員（兼任）2012年天津大学-NIMS連携研究センター客員教授。

2. ムラサキイガイの接着機構

ここでは，水中接着剤として卓越したムラサキイガイの接着タンパク質の特殊な化学構造と，それを巧みに利用した接着機構について概説する。

2.1　接着タンパク質の構造

これまで接着タンパク質に関する研究は，イガイとフジツボを中心に行われてきた。これらの付着生物は生息範囲が地球規模で広がっており，また，大量に採取することができることも一因である。イガイやフジツボが分泌する接着物質は，タンパク質が主成分であるが，両者の分子構造に相同性は見いだされていない[8)]。そのため，イガイとフジツボの接着機構はまったく異なるものと考えられている。たとえば，フジツボの場合は，外殻の石灰質面を通じて基面上に接着性タンパク質を分泌・固

© 2014 Journal of the Japan Society of Colour Material